T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ
Science Tokyo Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	交通事故データを用いた乗員傷害予測式の構築と予測外れ事故の分析に関する研究
Title(English)	
著者(和文)	國行浩史
Author(English)	Hiroshi Kuniyuki
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:乙第4093号, 授与年月日:2013年12月31日, 学位の種別:論文博士, 審査員:天谷 賢治,木村 康治,宮崎 祐介,岸本 喜久雄,高原 弘樹
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:乙第4093号, Conferred date:2013/12/31, Degree Type:Thesis doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Type(English)	Doctoral Thesis

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

交通事故データを用いた
乗員傷害予測式の構築と予測外れ事故の分析に関する研究

Studies on Analysis of Occupant Injury
Prediction Models and Outlier Accidents
Using Accident Data

國行　浩史

目 次

第 1 章　緒論 **6**
1.1 研究の背景 6
1.1.1 日本の交通事故の現状 6
1.1.2 日本の交通事故データベースの現状 12
1.1.3 米国の交通事故データベースの現状 13
1.2 これまでの自動車安全性能評価と乗員傷害軽減の課題 15
1.2.1 自動車衝突安全性能評価試験法 15
1.2.2 自動車乗員に対する安全性能向上施策 19
1.2.3 乗員傷害軽減に対する現状の課題 19
1.3 事故解析の役割と要因解析 20
1.3.1 事故解析の役割 20
1.3.2 乗員傷害予測式による要因解析と予測外れ事故分析 21
1.3.3 データマイニングにおける外れ値分析 22
1.4 事故自動通報を目的とした乗員傷害予測に関するこれまでの研究 22
1.4.1 米国における乗員傷害予測の研究 23
1.4.2 日本における乗員傷害予測の研究 24
1.4.3 日本における乗員傷害予測を活用した事故自動通報の必要性 26
1.5 本研究の目的 27
1.6 本研究の構成 29

第 2 章　分析手法 **31**
2.1 緒言 31
2.2 分析の流れ 31
2.3 乗員の傷害指標 31
2.4 衝突事故時の車両と乗員の 1 次元衝突モデル 32
2.4.1 前面衝突時の 1 次元衝突モデル 33
2.4.2 側面衝突時の 1 次元衝突モデル 38
2.4.3 後面衝突時の 1 次元衝突モデル 41
2.5 乗員傷害の影響因子の推定 45
2.6 順序ロジスティック回帰モデルを用いた乗員傷害予測手法 48
2.6.1 ロジットモデル 48
2.6.2 順序ロジスティック回帰モデル 50
2.6.3 多重共線性確認による説明変数の縮約 51
2.6.4 変数の選択と *AIC* 基準 51
2.7 ITARDA マクロデータを用いた検証手法 52
2.7.1 ΔV 解析手法と擬似 ΔV 52

2.7.2 車両の衝突部位 . . . 54
2.7.3 車両の損壊程度 . . . 54
2.7.4 人身損傷程度 . . . 54
2.7.5 比較検証内容 . . . 56
2.8 予測外れ事故の分析手法 . . . 58
2.9 結言 . . . 58

第 3 章 前面衝突時の乗員傷害予測式とその影響因子 60
3.1 緒言 . . . 60
3.2 前面衝突事故の分析の対象 . . . 60
3.3 説明変数の初期選定 . . . 61
3.4 順序ロジスティック回帰分析 . . . 61
3.4.1 オッズ比の確認と変数のカテゴリー化 . . . 61
3.4.2 多重共線性確認による説明変数の縮約 . . . 69
3.4.3 順序ロジスティック回帰モデル . . . 71
3.5 ITARDA マクロデータを用いた検証 . . . 74
3.5.1 致死率，重傷率および死亡重傷率の比較 . . . 74
3.5.2 各影響因子による傷害状況比較 . . . 76
3.6 予測残差分析 . . . 80
3.6.1 予測外れ事故の状況 . . . 80
3.6.2 予測外れの大きい事故の特徴 . . . 83
3.7 考察 . . . 84
3.7.1 先行研究との乗員傷害予測式の比較 . . . 84
3.7.2 乗員傷害予測精度の課題 . . . 87
3.8 結言 . . . 90

第 4 章 予測外れの大きい事故の分析（1）前面ポール衝突事故 91
4.1 緒言 . . . 91
4.2 前面ポール衝突事故の分析の対象 . . . 91
4.2.1 分析の流れ . . . 91
4.2.2 分析の対象 . . . 92
4.3 予測残差有無別の事故の特徴 . . . 92
4.4 主成分因子分析を用いた影響因子の抽出 . . . 95
4.4.1 主成分分析手法 . . . 95
4.4.2 主成分分析による因子間の相互関係 . . . 97
4.4.3 予測残差に影響する主成分因子 . . . 97
4.5 乗員傷害予測モデルの改善 . . . 99
4.5.1 乗員傷害予測式の改善因子 . . . 99
4.5.2 改善した乗員傷害予測式 . . . 99
4.6 ITARDA マクロデータを用いた検証 . . . 103
4.6.1 電柱の折損する車両衝突速度 . . . 103
4.6.2 ポールの折損確率を組み込んだ乗員傷害予測式 . . . 104
4.6.3 検証結果 . . . 105

4.7 考察 . . . 108
4.7.1 残っている予測外れ事故 . . . 108
4.7.2 防護柵と電柱衝突との傷害リスク比較 . . . 108
4.8 結言 . . . 109

第 5 章 予測外れの大きい事故の分析（2）大型車との前面衝突事故 111
5.1 緒言 . . . 111
5.2 大型車との前面衝突事故の分析の対象 . . . 111
5.2.1 分析の流れ . . . 111
5.2.2 分析の対象 . . . 112
5.3 予測残差別の事故の特徴 . . . 113
5.4 影響因子 ΔV の再解析 . . . 117
5.5 乗員傷害予測モデルの確認 . . . 120
5.5.1 ΔV と MAIS との関係 . . . 120
5.5.2 大型車との衝突事故の標準傷害予測式への適合性 . . . 120
5.5.3 1 次元衝突モデルによる質量比の影響検討 . . . 121
5.6 ITARDA マクロデータを用いた検証 . . . 122
5.6.1 検証手法 . . . 122
5.6.2 衝突相手種別による影響 . . . 122
5.6.3 衝突相手質量比による影響 . . . 124
5.6.4 影響因子の感度比較 . . . 124
5.7 考察 . . . 125
5.7.1 シミュレーションによる ΔV の再解析 . . . 125
5.7.2 推定衝突速度差による車両挙動への影響 . . . 127
5.8 結言 . . . 128

第 6 章 側面衝突時の乗員傷害予測式とその影響因子 129
6.1 緒言 . . . 129
6.2 前面衝突事故の分析の対象 . . . 129
6.3 説明変数の初期選定 . . . 131
6.4 順序ロジスティック回帰分析 . . . 132
6.4.1 オッズ比の確認と変数のカテゴリー化 . . . 132
6.4.2 多重共線性確認による説明変数の縮約 . . . 146
6.4.3 順序ロジスティック回帰モデル . . . 150
6.5 ITARDA マクロデータを用いた検証 . . . 156
6.5.1 致死率，重傷率および死亡重傷率の比較 . . . 156
6.5.2 各影響因子による傷害状況比較 . . . 160
6.6 予測残差分析 . . . 166
6.6.1 予測外れ事故の状況 . . . 166
6.6.2 予測外れの大きい事故の特徴 . . . 174
6.7 考察 . . . 174
6.7.1 先行研究との乗員傷害予測式の比較 . . . 174
6.7.2 乗員傷害予測精度の課題 . . . 178

6.8 結言 184

第 7 章 後面衝突時の乗員傷害予測式とその影響因子 185
7.1 緒言 185
7.2 分析の流れ 185
7.3 後面衝突事故の分析の対象 186
7.4 説明変数の初期選定とカテゴリー別マクロデータの集計 187
7.5 順序ロジスティック回帰分析 188
7.5.1 オッズ比の確認 188
7.5.2 後突標準傷害予測式による順序ロジスティック回帰分析 191
7.5.3 追加因子による順序ロジスティック回帰分析 191
7.5.4 各影響因子による傷害状況比較 192
7.6 ITARDA ミクロデータを用いた乗員傷害予測式の検証 198
7.7 考察 199
7.7.1 先行研究との乗員傷害予測感度比較 199
7.7.2 乗員傷害予測感度に関する課題 201
7.7.3 乗員傷害予測精度向上の課題 201
7.8 結言 202

第 8 章 日本と米国における自動車事故の類似性と相違性 204
8.1 緒言 204
8.2 分析手法 204
8.2.1 分析の流れ 204
8.2.2 分析の対象 205
8.2.3 各因子に対する分布，オッズ比の比較 205
8.2.4 マハラノビス距離による多次元分布比較 206
8.2.5 説明変数とグループ化 207
8.3 比較分析結果 212
8.3.1 ヒストグラムによる因子別分布比較 212
8.3.2 各因子に対するオッズ比の比較 220
8.3.3 マハラノビス距離による多次元分布比較 222
8.4 乗員傷害予測結果の日米比較 224
8.4.1 比較手法と比較対象 224
8.4.2 感度とオーバートリアージ率の比較 224
8.4.3 アンダートリアージとなる事故 225
8.4.4 オーバートリアージとなる事故 228
8.4.5 最適なカットオフ値に対する考察 230
8.5 本研究の乗員傷害予測式と URGENCY アルゴリズムとの相違 234
8.6 現実的に対応可能となる日本版乗員傷害予測アルゴリズムの提言 235
8.7 結言 245

第 9 章 結論 246
9.1 研究のまとめ 246
9.2 今後の展望と課題 252

謝辞 **254**

参考文献 **255**

付録 **262**

付録A 262
付録B 264
付録C 265
付録D 267
付録E 268
付録F 273
付録G 275

第1章　緒論

自動車が量産・普及されはじめてから，既に一世紀以上の年月が経つ．この一世紀以上に渡り，自動車の恩恵を受け人々の暮らしは豊かになった．今では，自動車は人々の生活に欠かせないものとなったが，反面，自動車による環境への影響や交通事故による死傷者の発生などのネガティブな面も，無視できない状況にある．特に人の生命に影響を及ぼす安全面に関する配慮は，最も重要な項目である．交通事故死傷者の低減を目指し，これまで行政機関，自動車メーカーなどの取組みは様々に行われ，大きな効果を上げてきた．しかし，究極の交通事故死傷者の無い世界への道のりは，決してたやすいものではない．死傷事故の大きな要因への対応は進んできた中で，これまでのように一つ二つの対策で，大きな効果を上げることは期待できなくなってきている．交通事故死傷者のさらなる低減に向け，これまでにない多角的な取組みや各機関の連携による新たな視点での取組みが求められる．

本研究は，その一助として，交通事故データを用いた統計的な解析から傷害メカニズムを解明し，新たな課題を抽出し分析する手法を提示した．すなわち，医学と工学の視点から実際の交通事故例データを用いて自動車乗員に対する傷害予測式を構築し，その予測式による予測外れ事故に着目することにより，これまで明確になっていない潜在的な傷害要因を解明した．さらに，この乗員傷害予測式は衝突事故時の乗員に対する重症度判定として活用でき，適切な救急救命活動に貢献することで，衝突事故時の被害軽減に繋がることを目指した．また，この予測外れの事故解析から乗員傷害予測式の精度向上も図れると考えた．以下に，自動車乗員の交通事故に関わる現状と課題，事故解析および自動車乗員の傷害予測に関するこれまでの研究について整理し，本研究の目的と概要を述べる．

1.1　研究の背景

交通事故の問題は，モータリゼションの高まりと共にその被害も甚大となり，重要視されてきた．その科学的な取組みの開始点は交通事故の解析にある．どのような事故が，どれくらい発生し，その原因は何か．交通事故の 3 要素である「人」,「道路」,「車両」に関わるこれらの要因を明確にして，影響の大きい交通事故に対して，重点的かつ効果的な対策を講じることが交通事故対策に求められる．また，交通事故状況も社会的環境や自動車の特性などの変化により変容し，各国その時々に応じて，交通事故の課題や重視すべき対策が変容し進化する．これらを科学的に分析する上で，交通事故に対する継続的な統計解析は非常に重要である．

1.1.1　日本の交通事故の現状

日本における交通事故は図 1-1 に示すように自動車の保有数の増加と共に増加してきた [1]．しかし，産官学によるこれまでの様々な取組みにより，第 1 次交通戦争といわれる 1970 年（昭和 45 年）の過去最大の交通事故死者数のピークから死者数は減少し，その後増加に転じた第 2 次交通戦争と

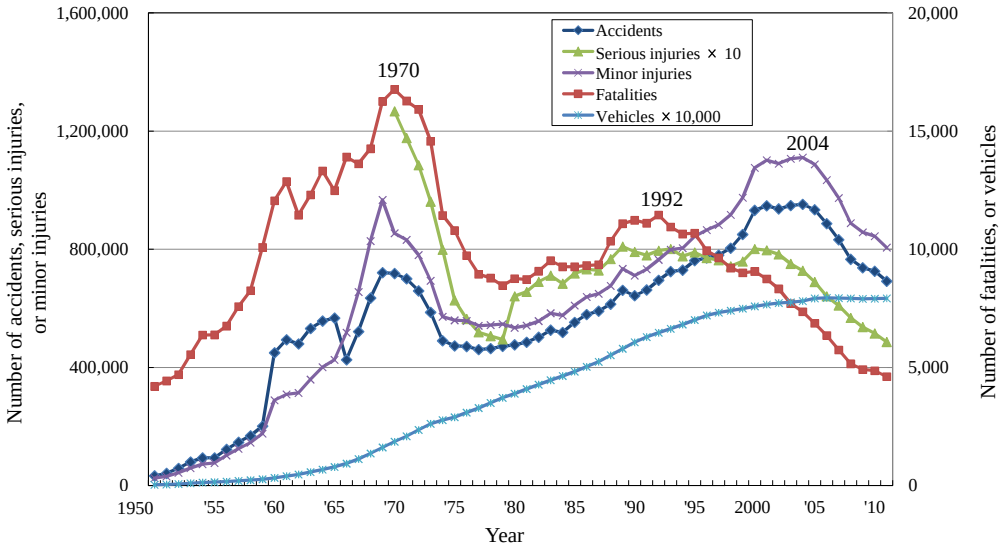


Fig. 1-1: Trend of number of traffic accidents in Japan

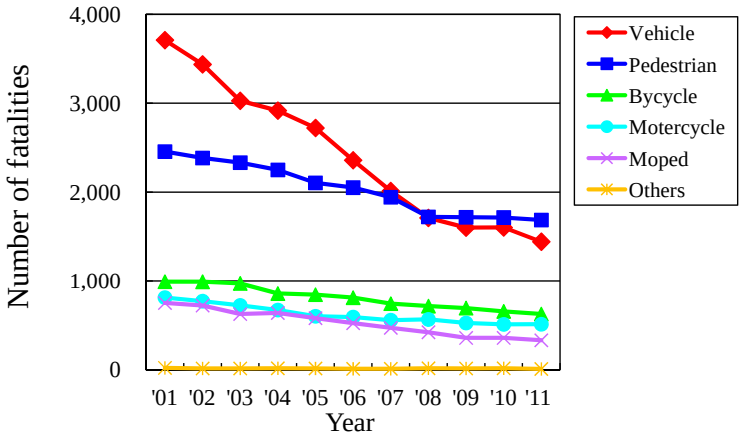
いわれる 1992 年（平成 4 年）を第 2 のピークにして，死者数（24 時間以内死者）は減少傾向に転じてきた．その後，2004 年（平成 16 年）から，軽傷者も減少傾向に転じるようになってきた．ここ数年の状況では，交通事故死傷者数の減少は維持できているが，その減少幅は少なくなってきている．これまでの交通事故に対する諸施策により，大きな課題に対しては効果を発揮してきた．しかし，現状では交通事故死傷者は多様化していることからも，これまでのような大きな効果が期待できる施策の創出は難しくなっている．

図 1-2 に日本における交通手段別の交通事故死者数，重傷者数および軽傷者数の推移を示す．交通事故死者は歩行中が最も多くなっており，日本の交通事故の重要課題の一つとなっている．しかし，自動車乗車中の死者（24 時間以内死者），重傷者および軽傷者は依然多い状況にあり，自動車乗員に対する被害軽減施策が継続して求められている．

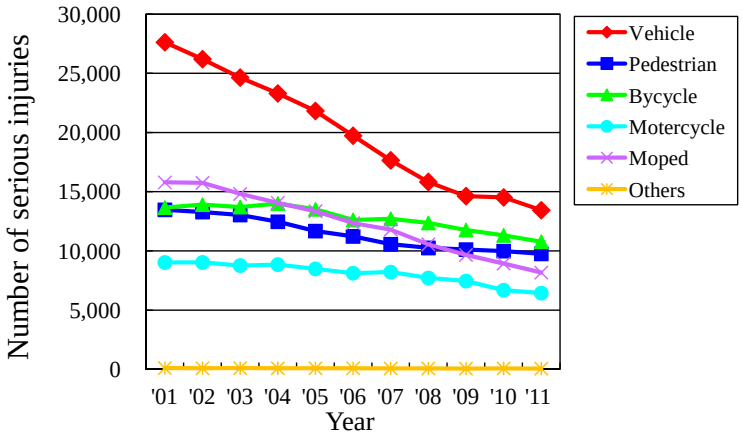
また，図 1-3 に四輪車相互または四輪車単独事故に関して，事故類型別の死傷者の推移を示す．死者は正面衝突事故，車両単独事故に多く，重傷者は出会い頭事故，軽傷者は追突事故，出会い頭事故に多いことが分かる．正面衝突事故，車両単独事故は前面衝突事故となる場合が多く，これまで様々な車両対策が講じられ死傷者数は大幅に減少してきてはいるが，依然多い状況にある．一方，出会い頭事故や追突事故は，一方の車両が側面衝突または後面衝突，もう一方の車両が前面衝突となる場合が多く，前面衝突事故ほど死者は多くないが，重傷者，軽傷者が非常に多い衝突形態といえる．

自動車乗員の座席別，年齢層別の死者数，重傷者数および軽傷者数を分析した結果を図 1-4 に示す．図 1-4 から，死傷者の約 75 %は運転席乗員であり，特に高齢者の死傷者が多いことが分かる．自動車乗員に関しては，年齢層を配慮した交通事故被害軽減が重要課題と考える．

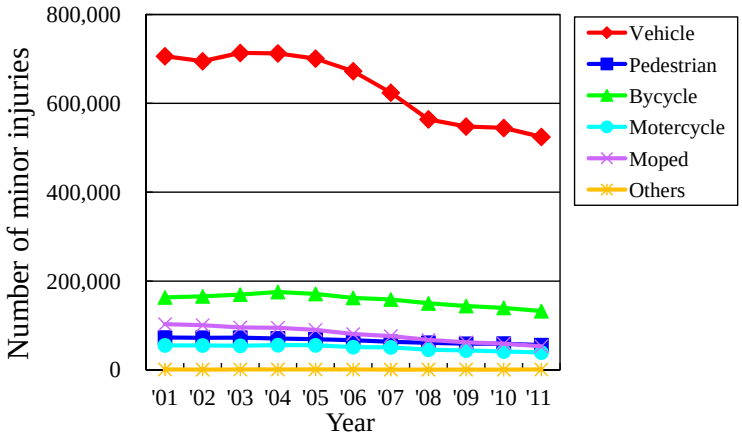
このような日本の交通事故状況を踏まえ，政府から第 9 次安全基本計画（2011 年～2015 年）として世界一安全な道路交通環境の実現に向け（図 1-5 [2]），2030 年までに死者数を半減する目標が立てられた．その中間的目標として，2015 年までに 24 時間以内の交通事故死者数を 3000 人以下, 死傷者数を 70 万人以下とする高い目標が立てられ，図 1-6 に示す 3 つの視点と 8 つの項目を柱とした様々な取組みが始まっている [2]．この目標の達成に向けて，医学と工学の連携など，これまで以上に交通事故の課題を細分化し，多角的な視点での解決が求められる．



(a) Fatalities

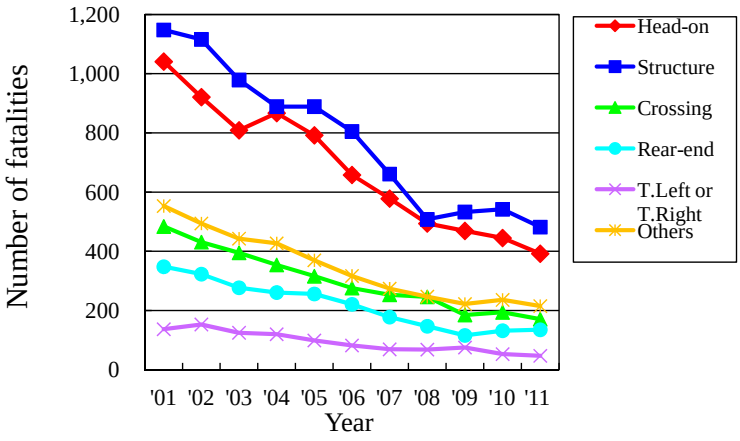


(b) Serious injuries

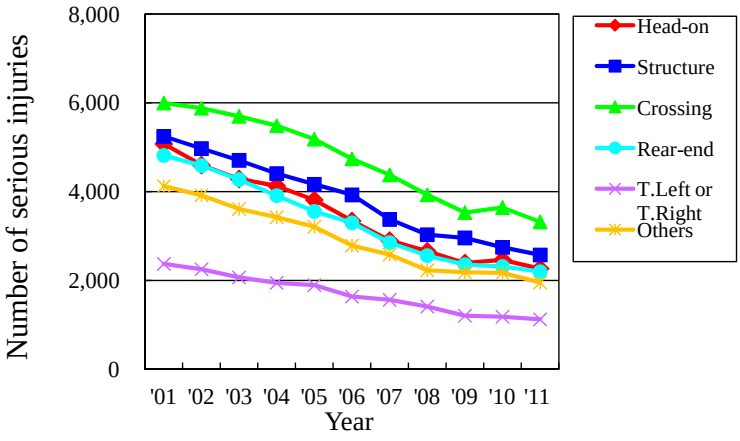


(c) Minor injuries

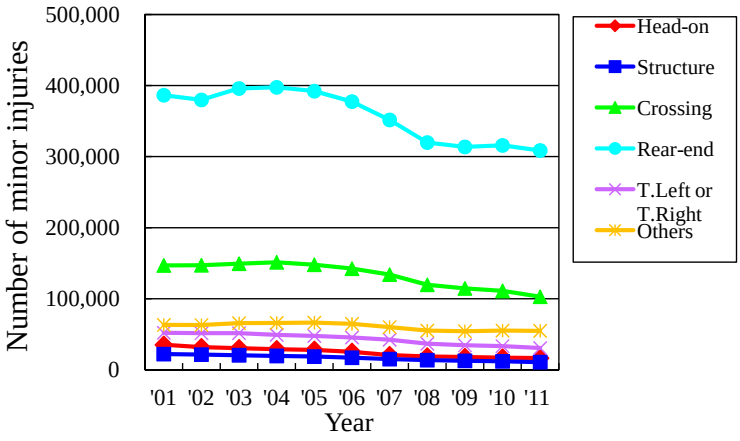
Fig. 1-2: Road user type in traffic accidents in Japan



(a) Fatalities



(b) Serious injuries



(c) Minor injuries

Fig. 1-3: Crash type in traffic accidents in Japan, 4 wheel vehicle’s occupants

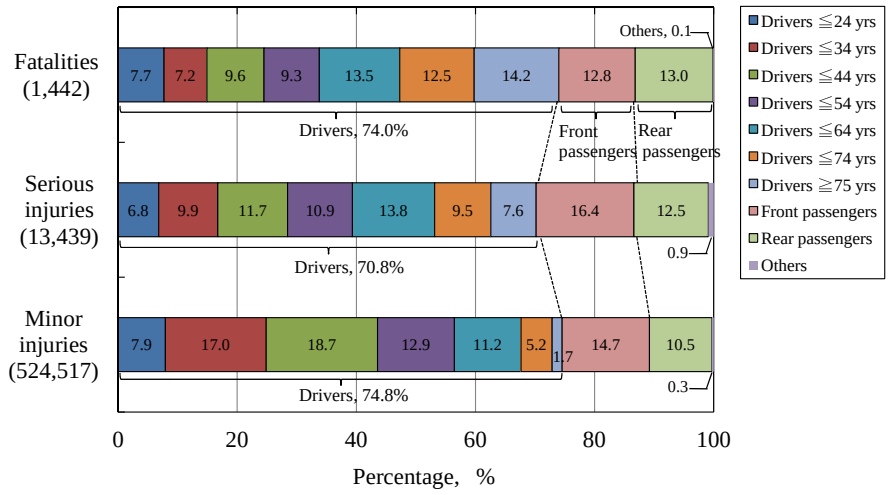
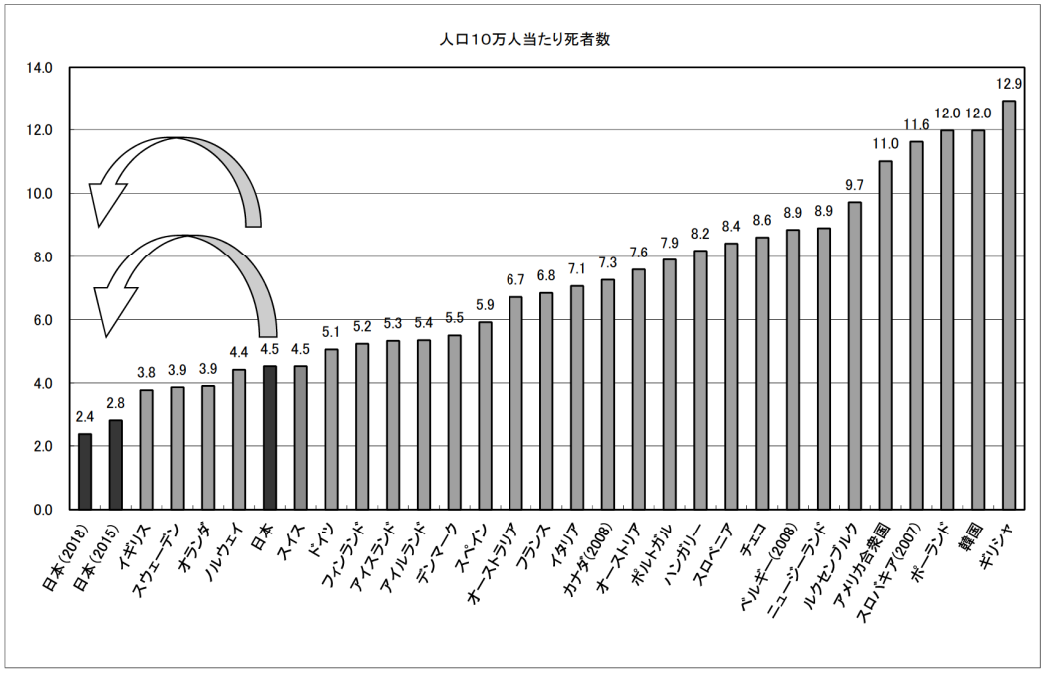


Fig. 1-4: Percentage of occupant's seat position in 2011



注1IRTAD資料による。
2国名に年数(西暦)の括弧書きがある場合を除き，2009年の数値である。(ただし、「日本(2015)」及び「日本(2018)」を除く。)
3数値は全て30日以内死者(事故発生から30日以内に亡くなった人)のデータを基に算出されている。
4日本(2015年)の数値は、第9次交通安全基本計画における数値目標である2015(平成27年)の24時間死者数の目標3,000人に、2010年の日本の24時間死者数と30日以内死者数の比率を乗じることで2015年における30日以内死者数を3,540人と推定し、この推定死者数と125,430千人(2015年における日本の予測人口)を用いて算出した(125,430千人は国立社会保障・人口問題研究所「総人口年齢3区分別人口及び年齢構造係数:出生中位(死亡中位)推計」(平成18年12月推計)より引用)。
5日本(2018年)の数値は、政府方針である2018年(平成30年)の24時間死者数の目標2,500人に、2010年の日本の24時間死者数と30日以内死者数の比率を乗じることで2018年における30日以内死者数を2,950人と推定し、この推定死者数と123,915千人(2018年における日本の予測人口)を用いて算出した(123,915千人は国立社会保障・人口問題研究所「総人口年齢3区分別人口及び年齢構造係数:出生中位(死亡中位)推計」(平成18年12月推計)より引用)。

Fig. 1-5: Target of the 9th basic plan for road safety (2011-2015) [2]

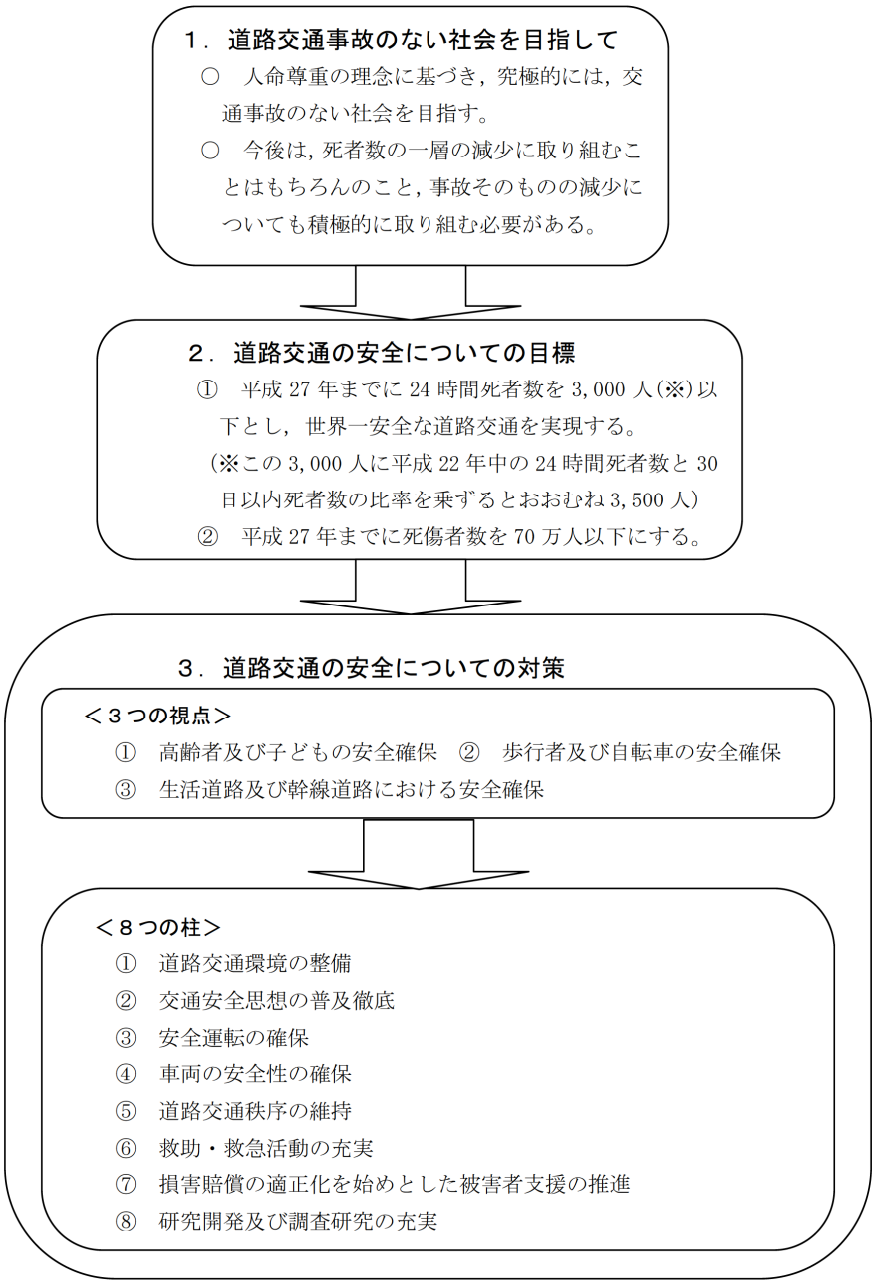


Fig. 1-6: The 9th basic plan for road safety (2011-2015) [2]

1.1.2　日本の交通事故データベースの現状

交通事故の要因を科学的に解明する上で，交通事故のデータベースは欠くことができない．日本における交通事故データベースの構成を図 1-7 に示す．大きな柱の一つは，公益財団法人交通事故分析センターが所有する交通事故統合データベース（以下，ITARDA マクロデータ）である．これは日本の死傷交通事故全件に対して警察庁，各都道府県警察が調査，管理する交通事故データをもとに，警察庁が管理する運転者免許・違反履歴データ，国土交通省が管理する自動車登録データおよび道路交通センサスデータをリンクしたデータベースである．もう一つの柱は，同センターが道路交通法第 108 条 13 に基づき，国内で唯一指定され，茨城県つくば地区を中心に交通事故の詳細調査を行っている交通事故例調査データベース（以下，ITARDA ミクロデータ）である．

ITARDA マクロデータは，日本の全件の死傷交通事故がクロス集計の形で分析が可能であるが，一件一件の情報は公開できないため個別の分析ができない．また，詳細な道路状況，車両の変形状況，乗員傷害の医学的情報などが不足している．一方，ITARDA ミクロデータは，ITARDA マクロデータでは不足している前述の情報を含めて，年間 200～250 件余りの交通事故の一件一件の詳細データが調査され，分析が可能である．1993 年（平成 5 年）の調査開始から総数 5,861 件（2011 年時点）の事故データが蓄積されている．しかし，調査数や調査エリアの限定のため，得られたデータに対してはバイアスの懸案を抱えている状況にある．この二つの事故データベースを柱として日本の交通事故の有機的結合による分析が可能であり，交通安全対策の構築，効果の検証が行われている．さらに近年では，ITARDA マクロデータでは不足していた医学的情報を詳細に分析できるように，(一般社団法人）日本救急医学会および（一般社団法人）日本外傷学会が実質上企画・運営する日本外傷データバンクと ITARDA マクロデータとの照合が進められており，より医学的な情報を加味した詳細分析も可能となりつつある [3]．また，病院を拠点とした事故調査の取組みも見られるようになり，医学と工学の連携に向けての基盤が構築されてきている [4].

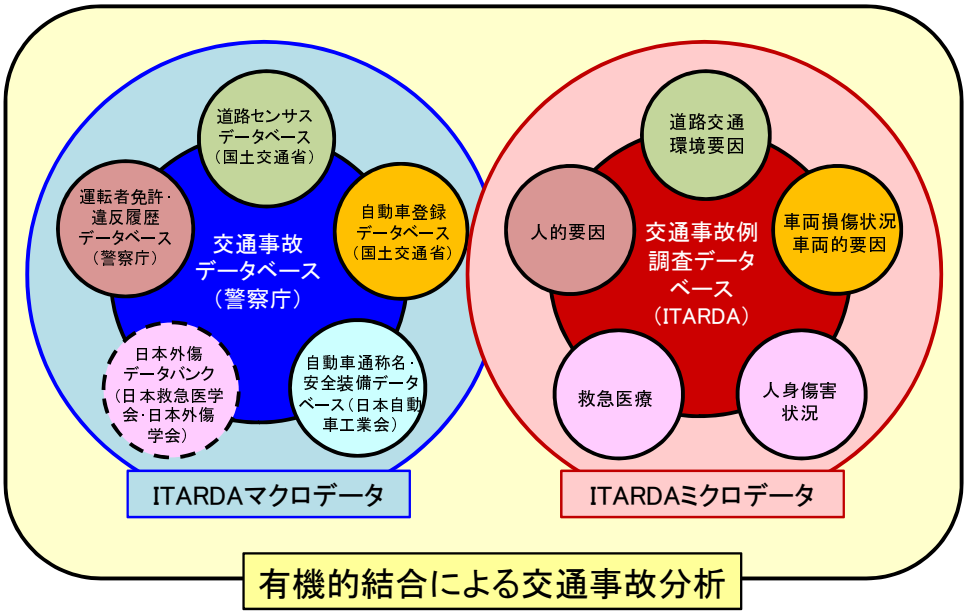


Fig. 1-7: ITARDA database of traffic accidents

1.1.3　米国の交通事故データベースの現状

米国の交通事故データベースの構成を図 1-8 に示す [5]．米国では連邦運輸省，国家道路交通安全局 United State Department of Transportation(US DOT），National Highway Traffic Safety Administration(NHTSA）主導で数種類の事故調査が行われている．その代表的なデータベースは，Fatality Analysis Reporting System(FARS），National Automotive Sampling System Crashworthiness Data System(NASS-CDS），Crash Injury Research and Engineering Network(CIREN) がある．

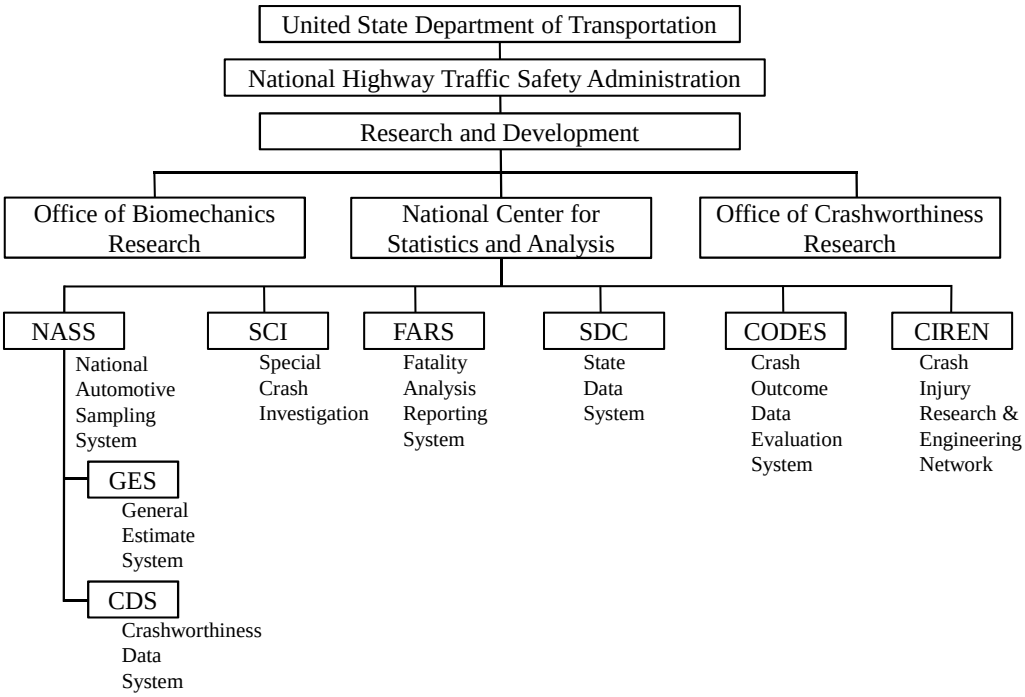


Fig. 1-8: The U.S. database of traffic accidents [5]

FARS は全米における死亡事故（発生後 30 日以内の死亡）全件の調査からなるデータベースである．各州における警察の事故報告などに基づき約 100 項目程度が調査され，全米の死亡事故全体の特徴を統計的に把握することが可能であり，データは公開されている [6].

NASS-CDS はサンプル調査からなるデータベースで，17 州の 27ヶ所のサイトにて交通事故調査が行われ，年間約 10,000 件の事故が登録されている [7]．車両の損傷や衝突速度の解析結果，乗員傷害の情報も収集されており，事故の形態や車両の特徴および乗員の傷害との関係を把握することに使用される．調査事故総数が多くデータも公開されているため，世界中で使用され，交通事故統計解析などに幅広く活用されている．また，各事故には全米の交通事故総数に換算したウェイト値（ratio inflation factor）が算出されており，精度上の議論はあるが，全米としての特徴把握や重要度の評価も可能である．なお，全米の全体傾向の把握に特化した交通事故データベースとしては，National Automotive Sampling System-General Estimate System(NASS-GES) がある [8].

CIREN は交通事故における傷害発生メカニズムを医学と工学の連携から解明し，改善していくことを目的に，現在（2011 年），米国内の 6 か所の Trauma Center（救命救急センター）を拠点に

実施されている事故調査である（図 1-9）．NHTSA の提唱により 1996 年から 8 拠点でスタートし，NHTSA の収集基準に従い年間約 330 件の事故に対して調査され，これまで約 4,200 件以上（～2011 年 6 月）調査されている [9]．Trauma Center に搬送された患者が対象となるため，調査される乗員の傷害は高めになっているが，より詳細な医療情報の入手が可能であり，傷害メカニズムの詳細解明に活用されている．このデータに関しては，調査活動に出資，参加するメンバーのみが分析可能となっている．

以上のように，米国における事故データは，日本のように全米死傷事故全件の正確な情報は把握できないが，様々な目的に応じた多彩な事故調査データから構成されており，統計的な推計なども用いながら全体の状況や，さらに詳細分析も可能となる交通事故分析システムを構築している．



Fig. 1-9: CIREN center in the U.S. [9]

1.2　これまでの自動車安全性能評価と乗員傷害軽減の課題

道路交通の安全性向上には，まず図 1-10 に示すように交通事故の調査，解析結果を受け，事故再現をもとにそのメカニズムや原因を究明し，その結果から対策施策を車両開発や道路環境，規制化や人への教育などに反映させることが重要である．そして，市場の交通事故状況にてその効果を振り返り，さらなる安全性能の向上に向けてこのサイクルを繰り返していくことが求められる．また，安全に対する取組みも，以前までの衝突時の安全を中心とした開発だけではなく，表 1-1 に示すような事故前後の状況を細分化し，「危険が顕在化していない」状態から「衝突後」までの総合的な安全技術向上への取組みが行われている [10, 11, 12].

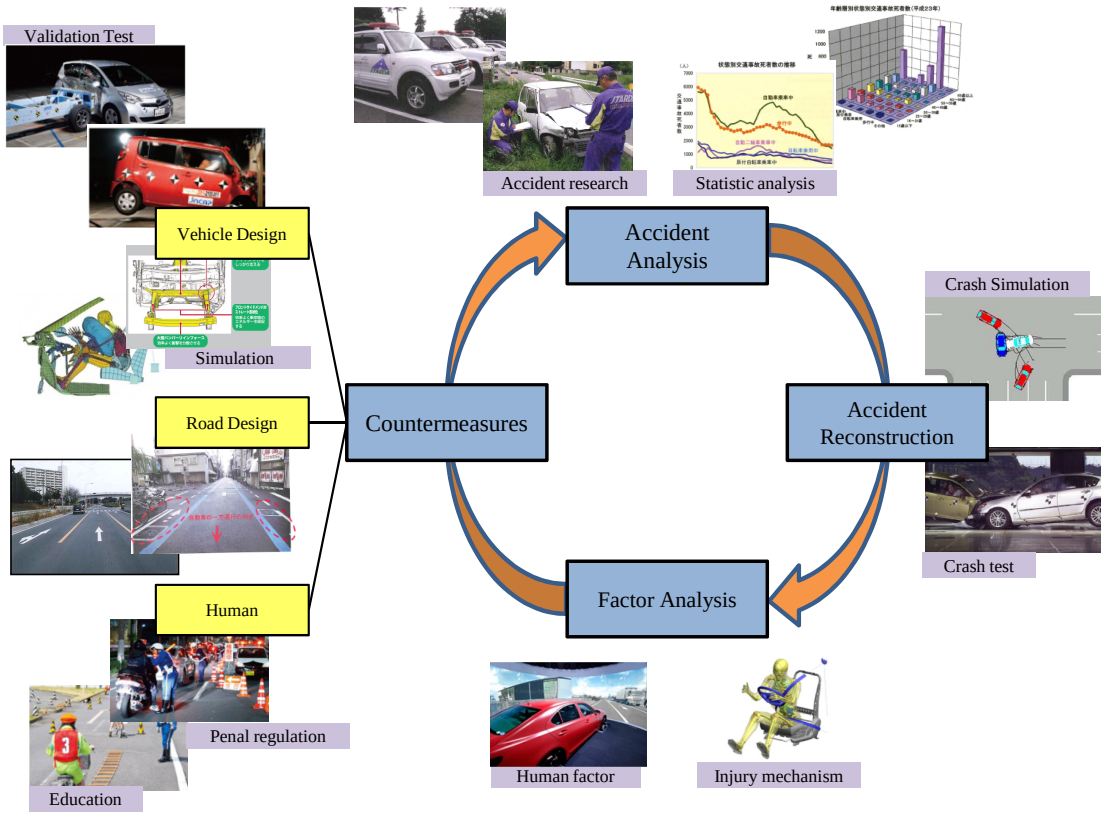


Fig. 1-10: Improvement cycle for traffic safety (cited by Nissan, Toyota, NASVA and NHTSA web-site etc.)

1.2.1　自動車衝突安全性能評価試験法

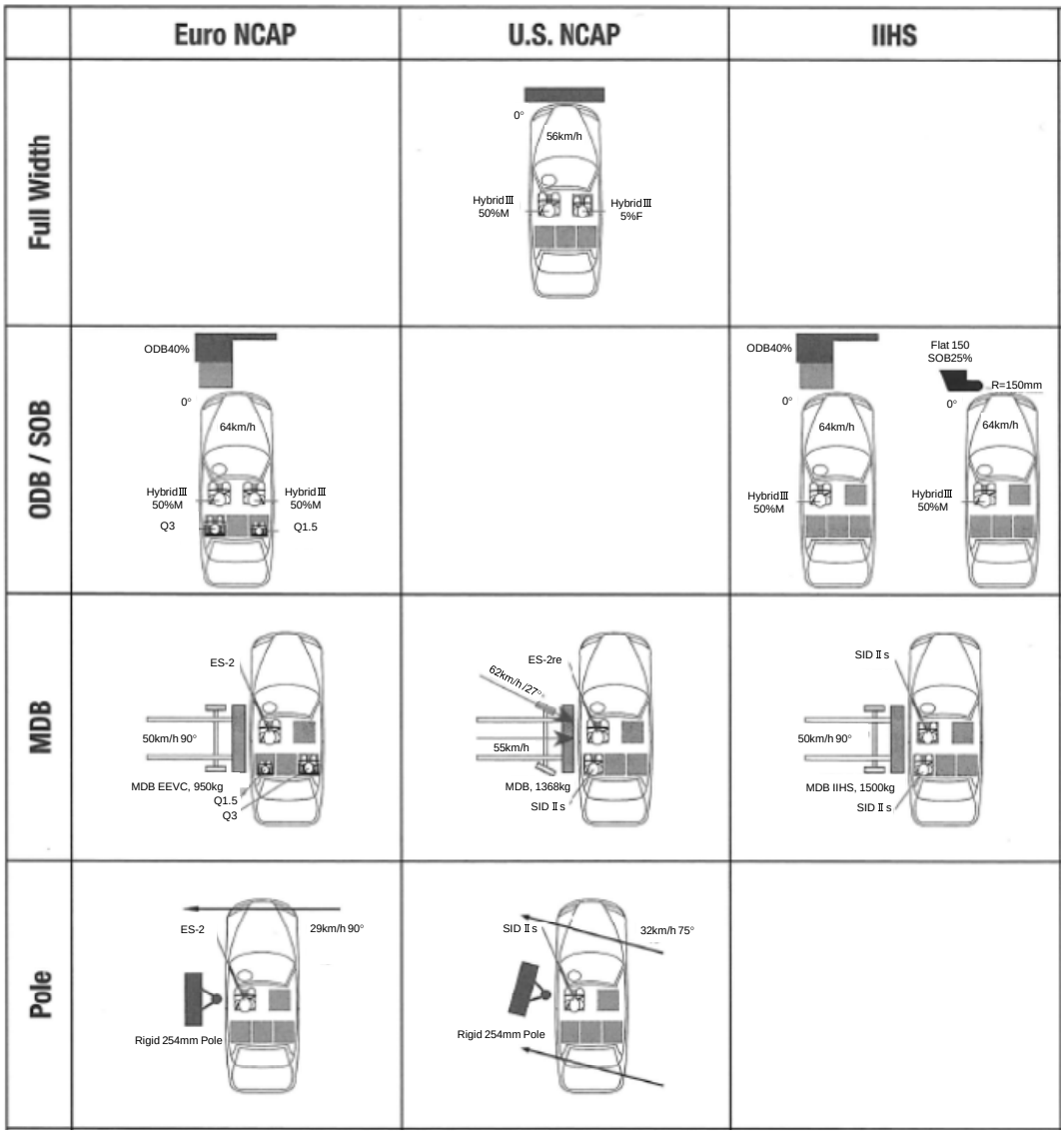
自動車の安全性能評価として，交通事故状況をもとに代表的な衝突形態を模擬し，車両開発に活用できる再現性のある試験法が確立されている．既に各国にて法規化，情報公開試験に適用されている．図 1-11 に各国の情報公開試験で行われている実車を用いた乗員に対する衝突安全性能試験内容について示す [13]．これらの試験には，人体を模擬し傷害の評価となる荷重や加速度などを計測できるダミー（Anthropomorphic Test Dummy）が搭載され，それらを用いて乗員の傷害評価を行っ

Table. 1-1: Safety shield concept and safety equipments [12]

Technical classification	Driving scene	Safety equipment	Abbreviation
Active safety / ITS	Risk has not yet appeard	Distant Control Assist System	DCS
		Adaptive Cruise Control	ACC
		Adaptive Front Lighting System	AFS
		Night vision	
	Risk has appeared	Lane Departure Warning	LDW
		Lane Departure Prevention	LDP
		Driving Safety Support System	DSSS
	Crash may occur	Anti-lock Braking System	ABS
		Brake Assist	BA
		Electronic Stability Control	ESC
		Collision Prevention Braking System	
Pre-crash Safety	Crash is unavoidable	Pre-Crash seat Belt	PCB
		Advanced Emergency Braking Sysytem	
Passive safety	Crash	Zone body construction	
		SRS Airbag Systems	
		Pre-tensioner seat belt	
		Active Head Restraints	
Post crash safety / Emergency medical	Post crash	Emergency call service	eCALL
		Helicopter Emergency Medical Service	HEMS
		Advanced Automatic Collision notification	AACN

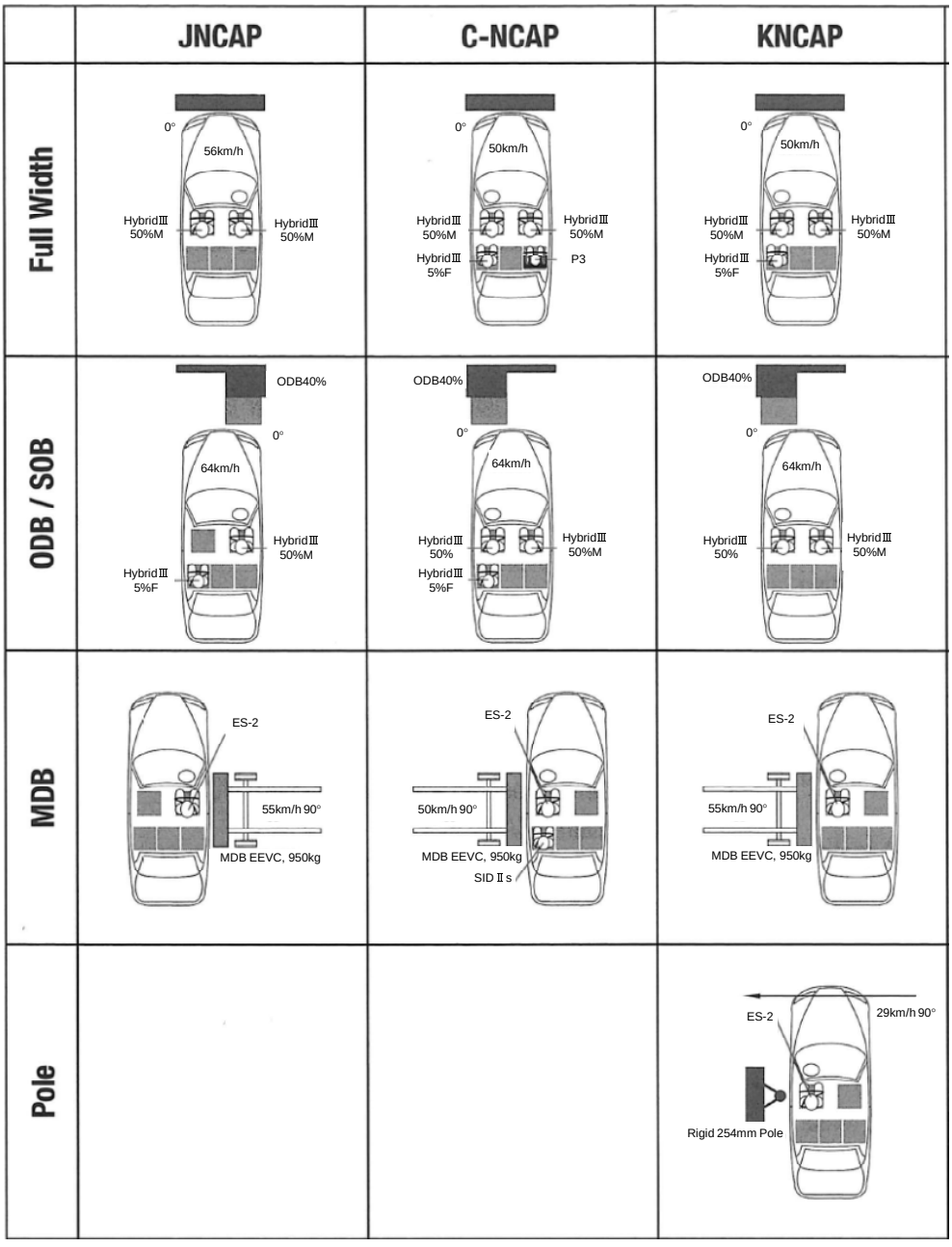
ている．また，このダミーは米国や欧州で開発されたものが世界共通で使用されており，その体型は米国人の標準的な男性 AM50（50 パーセンタイル) と小柄な女性 AF05（5 パーセンタイル）と限定されたものが主に使用されている [14].

1990 年代半ばからのこれらの衝突試験の法規化および情報公開試験（日本では（独立行政法人）事故対策機構（NASVA）が行っている JNCAP 試験）の適用により，自動車の安全性能開発は目覚ましく向上した．代表的な条件による評価ではあるが，これらの試験内容も市場での交通事故状況を踏まえ時代と共に細分化され，進化してきた [15, 16]．また，各国でもその地域の交通事故状況を踏まえて，評価内容を改善，追加しながら，より安全性を高めた自動車開発を推進できるようにしている．



(a) EuroNCAP, USNCAP, IIHS

Fig. 1-11: World NCAP test [13]



(b) JNCAP, CNCAP, KNCAP

Fig. 1-11: World NCAP test [13]

1.2.2　自動車乗員に対する安全性能向上施策

表 1-1 に，交通事故に至るまでの過程を運転シーンで細分化して示した．自動車の安全性能の基本的な技術領域として，事故そのものを防止する予防安全（Active Safety），事故時の被害を軽減する衝突安全（Passive Safety），および事故後の被害拡大を防止する衝突後安全（Post Crash Safety）の 3 領域がある．近年では，これらの領域間の融合を重視した統合安全（Integrated Safety）や情報技術の発達により，道路環境を含めた ITS（Intelligent Transport Systems：高度道路交通システム）技術を用いた施策が打たれるようになってきた．また，衝突後安全には，救命救急（Emergency medical）分野の対応も含まれ，事故時の救命率の向上が期待されている．交通外傷に関しては「防ぎ得た外傷死（Preventable trauma death)」が数多くあると報告されており [17]，救急医療分野でも注目されている施策となっている．表 1-1 に併せて，衝突事故の前後のそれぞれの領域に対して，代表的な安全性能向上施策を示す．このように，これまで様々な施策が打たれ車両の安全性向上に貢献してきたと考える．

1.2.3　乗員傷害軽減に対する現状の課題

前節までの取組みなどにより，自動車の安全性能は大幅に向上していた [18, 19]．しかし，依然，日本では多くの方が交通事故の死傷者となっている状況にある．自動車の乗員に対する現状の課題を，国土交通省による第 9 次安全基本計画 [20]，および同計画の車両の安全対策の考え方となっている平成 22 年度に開催された交通政策審議会陸上交通分科会自動車交通部会による「交通事故のない社会を目指した今後の車両安全対策のあり方」[18] から整理すると，今後の自動車乗員に対する安全性向上における日本の主要な課題は，以下の項目が挙げられる．

(1) 高齢者等に対応した乗員保護技術の開発・普及

(2) 高齢ドライバーに対応した運転支援システムの開発・普及

(3) チャイルドシート等の確実かつ適切な使用の徹底

(4) 超小型モビリティの安全性能の確保

(5) 大型車がからむ重大事故対策

(6) 医療機関と連携した事故発生時の自動事故通報システムの開発・普及

高齢者への安全性に関しては，現状では体型や耐性を考慮した安全性能評価がまだ十分でないといえる．加齢に伴い胸部傷害耐性の低下や [21]，車両が大破する重傷の例において 55 歳代から胸部の傷害構成率が高くなり 70 歳代では約 40 %近くを占め最も高くなる [22] などが報告されており，シートベルトなどの乗員保護性能のさらなる向上が求められる．今後の高齢化社会に向けて，重要度は増していくと考える．

また，高齢運転者特有の交通事故発生の傾向として，ペダル踏み間違いなどの操作誤りや [23]，信号の見落とし出会い頭事故も多くなる傾向が指摘されている [24]．これらの要因などを削減する運転支援策が求められる．

チャイルドシートの装着に関しては，不使用者は正しく使用する者に比べ，交通事故時の致死率が 24.7 倍となる [1] と報告されている．日本において 2000 年より義務化されているが，2012 年の調査では装着率は 58.8 %であり [25]，正しく確実に装着できるようにしていくことが求められる．

超小型モビリティに関しては，今後の地方高齢者の移動手段として注目されており [26, 27]，安全性能を含めた技術基準づくりの推進が必要である．構造上は四輪車ではあるが，小型化のため乗員を防備しにくい環境が考えられ，交通環境の中でどのような運用が適切か議論していく必要があると考える．

大型車との衝突事故は，悲惨な事故としても取り挙げられ [20]，加害側となりやすい大型車の運転支援装備の普及が進められている．また，乗用車とのコンパティビリティ性能も論議されており，既に大型車への潜り込みを防止するアンダーライドプロテクターなどの法制化などの動きが開始されている [28].

救急救命に関しては，政府の取り組みとしてドクターヘリやドクターカーの整備を推進し，救命救急に要する時間を低減する取り組みがスタートしている．既に国内では，41 機のドクターヘリの体制が取られ（2013 年 5 月時点），救命救急活動に活躍している [29]．また，衝突時の自動通報システムの開発や普及，さらには乗員傷害予測を加味した救命救急活動の最適化など，医療分野からの期待も大きい [30].

1.3 事故解析の役割と要因解析

これまで挙げた乗員の被害軽減に対する課題解決に向けて，まず実施しなければいけないことは，実際に発生した事故を詳細に解析することである．事故解析は，図 1-10 で述べた安全の改善サイクルの開始点といえる．実際の事故は様々な状況で発生しており，それらの要因は複雑となる場合が多い．実際に発生した事故によって生じた結果は，実際に起きた事実を示している．そこに存在する真の原因を突止め，今後の対策に繋げていくことが求められる．

1.3.1 事故解析の役割

事故解析のもとになるのは事故調査である．事故調査は，個々に発生した事故に対して「人」,「道路」,「車両」の視点で，状況とその要因を調査する．ITARDA ミクロデータで行っている事故調査では，1 件あたり約 800 の調査項目を年間 200〜250 件実施している．一方，警察庁が行っている事故調査をもとにした ITARDA マクロデータでは，1 件あたり約 100 の項目を日本で発生した交通死傷事故全件に対して調査されている [31].

事故解析は，これらの事故調査からなるデータベースの情報を用いて実施する．一つの役割は，個別の事故に対して要因解析を行い，個別の詳細原因を解明することである．ITARDA ミクロデータでは事故一件一件の情報が得られるため，それらを用いて個別の要因解析を行い，詳細原因を解明することができる．また，事故シミュレーションなどを活用して事故当事者の位置関係や車両挙動などの事故検証を行い，個別の事故に対してその詳細を解明することが可能である．

事故解析のもう一つの大きな役割は，統計解析による事故の解明である．個別の事故調査結果を集約してできた事故データベースは，事故情報の源泉となる．これらのデータを用いて，統計的に年次推移，比較分析，因子間の関係などを分析し，要因の解明や時代変化および諸施策の効果検証などを行う．また，各因子の因果関係をもとに回帰分析などを用いてモデル化し，要因の解明や各因子の寄与を明らかにすることができる．俯瞰的な傾向を分析する場合は，全交通死傷事故が登録されている ITARDA マクロデータを用いることが多いが，詳細に分析する場合は，ITARDA ミクロデータを用いることが有効であると考える．これらの事故解析を駆使することから，事故防止，事故被害軽減に資する情報が入手可能となる．

1.3.2　乗員傷害予測式による要因解析と予測外れ事故分析

実際の交通事故にて乗員に発生する傷害の要因は，多岐にわたり複雑である．衝突時の速度や衝突位置関係，乗員の性別や身長，年齢などの属性，乗員のシートベルトの状況やエアバックの展開状況など，個々の事故では様々な状況となっている．これらの各因子に対して，乗員の傷害への影響度を明確し，要因を切り分けながら評価できる手法として，統計的な回帰分析による乗員傷害予測式を用いることができる．乗員の負う傷害程度を各因子との関係から評価するものである．また，ここで構築する乗員傷害予測式は，後述する衝突事故時の乗員傷害に対して重症度を判定する機能をもつことができ，迅速な救命救急活動への活用などが期待されている．

実際の事故データを用いて構築する乗員傷害予測式は，事故に共通する主要因を解明することができる．ただし，想定したモデルによって事故が評価されることに留まってしまう．多くの事故はこの予測式にて評価することができると考えられるが，ここから得られる結果だけでは，さらなる事故被害軽減に向けた新たな施策に繋げていくのに不十分であると考える．また，主要因の中に潜む真の要因に関しては，まだ解明が不足している懸念がある．

そこで本研究では,「予測外れ事故」に着目した．図 1-12 に乗員傷害予測式と予測外れ事故による要因解析のイメージ図を示す．回帰モデルを構築する際の予測外れの解析は，残差解析として実施される．構築したモデルの妥当性を確認するものであり，正当な理由があれば，サンプルデータを取り除いて，回帰モデルを再構築する [32]．これらのモデルによる結果は，モデルに想定された現象に対して得られるものあり，想定されていない現象に対しては，対応できているとはいえない．

一般的に予測モデルから外れることはネガティブな項目として捕らわれる．しかし，本研究ではあえて予測外れを積極的に探究することで，これまで明確にされていない潜在的要因を解明することができると考えた．本研究で考えた「予測外れ事故」とは，事故全体から求められる主要因だけでは傷害リスク要因が十分説明できず，メカニズムが不明の要因をもっている事故を指す．この特異な「予測外れ事故」に，解明すべき真の傷害要因があると考えた．究極のゴールである「交通事故死傷者ゼロ」を達成するためには，予測モデルに当てはまる事故に対する主要因の対策だけではなく，潜在的傷害要因分析として「予測外れ事故」に対して一つ一つ解明し，新たな対策を講じていくことが必要であると考える．

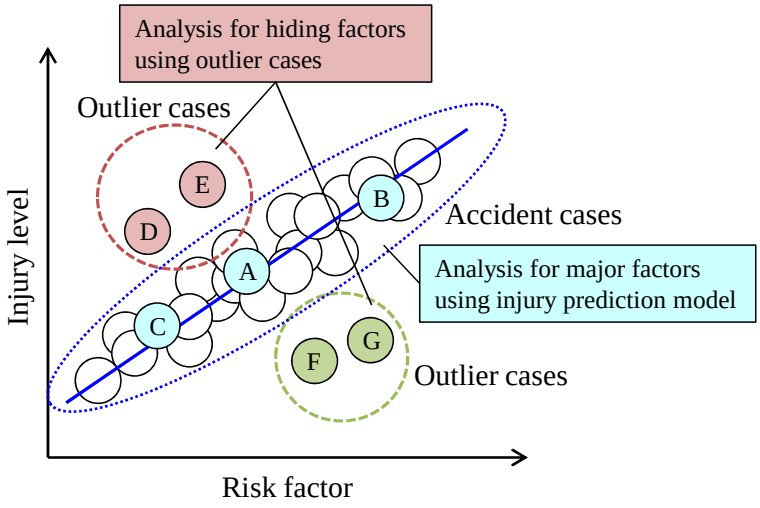


Fig. 1-12: Image of outlier cases using injury prediction model

1.3.3　データマイニングにおける外れ値分析

コンピュータ能力の向上や高性能廉価版の普及を追い風にして，近年，膨大なデータ，いわゆるビックデータをもとにその中から有益な情報を引き出すデータマイニングの取組みが盛んに行われるようになってきた．Berry ら [33] によると，データマイニングとは「意味のあるパターンやルールを発見するために大量のデータを自動的ないし半自動的手段で分析および探求するプロセス」と定義されている．このデータマイニングには図 1-13 に示すように 2 つのアプローチがある．その一つである目的志向的データマイニングは，予測したい対象についてはわかっており予測モデルについては関心が無くブラックボックスとして扱う場合のアプローチである．このアプローチでは，モデルの構造より最良の予測結果を得ることを求めていく．もう一つの探索的データマイニングはデータの中に潜む新たなパターンを発見するためのもので，モデルはセミトランスペアレントボックス（半透明の箱）として扱われる．このアプローチでは，モデルによる予測精度よりモデルがどのように答えを見つけ出すかを探求していく [33]．本研究におけるアプローチは後者の探索的データマイニングに類似しているといえ，これまで解明できていないメカニズムを求める取組みである．

さらに本研究で着目した「予測外れ」は，このデータマイニングの中では「外れ値」として分析，活用されている．Hawkins の「外れ値」の定義では，以下のように示されている [34].

「外れ値」の定義：

- 外れ値とはそれが別のメカニズムによって引き起こされたかと疑うくらいに他の観測データから非常に異なっているような観測データのことである．

この不明のメカニズムを解明するために積極的に外れ値を探求する研究として，以下の事例が挙げられる．異常値の検出やチャンス・予兆の発見への応用 [35] は，希少ではあるが価値の高い重要な事象を捉える取組みであり，これらには本研究と共通する考え方が見られる．したがって，本研究で行う「予測外れ分析」は外れ値の中から新たなパターンを発見することを目的としているため，「潜在的要因分析」として捉えることができると考える．

- 異常値検出
  … 機器の異常検出
  　ネットワークの不正侵入検知
  　クレジットカード不正行為検出
  　新語義（辞書に未登録）の検出 [36]
- チャンス発見
  … 株価の暴騰・暴落
  　販売データからビジネスチャンス発見
- 予兆発見
  … 地震の予知
  　気象の予知

1.4　事故自動通報を目的とした乗員傷害予測に関するこれまでの研究

乗員傷害予測式は要因解析だけではなく，救命活動の向上を目的とした衝突後安全への活用が期待され，研究が進められている．救命救急活動の充実は，第 9 次安全基本計画において重要な課題の

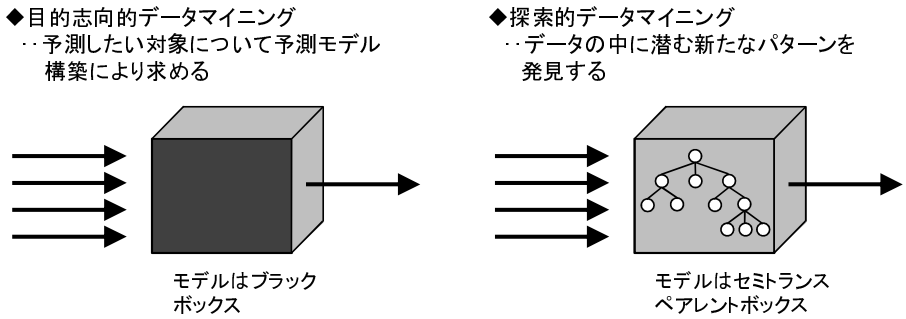


Fig. 1-13: Data mining approach [33]



Fig. 1-14: eCALL by URGENCY [37]

一つである．その柱として，ドクターヘリ等を活用した救命救急活動の向上があり，自動車側の対応として衝突自動通報システム（ACN: Automatic Collision Notification）がある．これは衝突時のエアバック展開信号などで自動的に基地局のオペレータに事故発生を通報する，または，運転者が手動で事故発生を通報するシステムである．既に一部で実用化されるようになってきた．さらに，このシステムに衝突時の情報から乗員の傷害発生確率を推定し，その情報から適正な救急センターに迅速に搬送できる AACN（Advanced Automatic Collision Notification：先進衝突自動通報システム）または eACN（enforced Automatic Collision Notification）と呼ばれるシステムが研究，開発され，欧米の一部では実用化が始まっている（図 1-14）[37]．このシステムで鍵となる部分は，乗員の傷害発生確率を推定するアルゴリズムであり，適正なアルゴリズムの開発に向け様々な研究が行われている．

1.4.1　米国における乗員傷害予測の研究

自動車乗員の傷害予測の研究は，米国にて早くから実施されてきた。救急救命時の適切なトリアージ判断がその背景にあり，事故時の車両外装の状況や車室内の損傷状況から，乗員の受傷レベルの

判断をするものから始まっている．Jones ら [38] は事故解析から 20 インチより大きい車両損傷がある事故は重症であるとの推測法を提案した．また，Lombardo ら [39] はステアリングホイールの変形にて重症度との関係を推定した．本格的な傷害予測法の構築は Malliaris ら [40] の研究である．米国の NASS-CDS データを用いて車両の情報や乗員の属性などの 21 変数用いたロジスティック回帰分析にて重症確率の算出式を提示した．この重症確率の算出法が AACN の実用化されているアルゴリズムとして米国で開発された URGENCY アルゴリズムの基礎となっている．

その後，Augenstein ら [41] が，William Lehman Injury Research Center での前面衝突事故による傷害データを用いてそのアルゴリズムを検証し，ポール衝突や多重衝突の事故に対する改善の必要性を示唆した．さらに，Augenstein ら [42, 43] は，NASS-CDS データと CIREN データを用いて多重衝突を考慮したロジスティック回帰モデルを提示した．そして，Augenstein ら [44] は，より実用的な乗員傷害予測モデルとしていくつかの有効な変数を用いて乗員傷害予測モデルを構築した．このモデルが URGENCY アルゴリズムの初期のモデルとして完成され，BMW 車の一部で実用化され市場事故での実証が行われている [45].

乗員傷害予測に必要となる車両の加速度情報は，自動車に搭載されるイベントデータレコーダー（Event Data Recorder）にて計測されることが検討されており，実用化に向けてその計測精度に関しての研究も見られる [46, 47]．また，米国では GM を中心として ONSTAR と呼ばれる衝突自動通報システムの開発も行われており [48]，Konnonen ら [49] の研究を中心に乗員傷害予測の確立が検討され，乗員傷害予測を含めた自動通報化が進められている．こちらの取組みも一部の GM 車で実用化が始まっている．

このように，米国では AACN の実用化を目指し，自動車乗員に対する衝突時の傷害予測の研究が様々に取組まれている．これは米国で実施されている充実した交通事故データベースの恩恵を大きく受けていると考える．さらに，搬送先の救急病院レベルを決めるトリアージに関するリコメンドも整備されている．このアメリカ疾病予防管理センター Centers for Disease Control and Prevention(CDC-US) のレポート [50] では，重症の予測確率が 20 %を超えた場合は高い重症リスクを伴っていると判断し，適切な高次救急病院，処置を行うことを推奨している（図 1-15）．米国では，実用化を重視したトリアージの妥当性を向上させる取組みなどが多い．Augenstein ら [41] は，一部の予測外れ事故事例について言及しているが，予測が外れる事故の解析や乗員傷害予測の限界を見極めることに正面から取組んだ研究はこれまで見られない．

1.4.2 日本における乗員傷害予測の研究

日本における乗員傷害予測の研究は，米国に遅れるが様々な形で取組み始められている．日本の詳細事故データの不足を補うため，宮崎ら [51]，三上ら [52] は解析シミュレーションを活用した乗員傷害予測モデルをそれぞれ構築している．吉田ら [53]，富永ら [54] は，情報は限られるが ITARDA マクロデータを用いて層別に集計したデータから衝突方向を考慮した乗員傷害予測式を構築した．また，片桐ら [55] は，解析シミュレーションと不足している乗員の年齢，性別情報を米国の NASS-CDS データから分析した結果を活用し，前面衝突時の乗員傷害予測式を構築した．また，西本ら [56] は，ドライブレコーダーに傷害予測機能を持たせた J-ACN（Japanese-Automatic Collision Notification）システムの研究を行っている．

乗員傷害予測技術の推進組織として 2007 年に「交通事故傷害予測と予防・医療に関する検討委員会」が設置され，乗員傷害予測手法の確立と実行に移すための環境整備の提言を行っている．また，2012 年より認定 NPO 法人救急ヘリ病院ネットワーク（HEM-Net）が事務局として，警察庁，厚生労働省，経済産業省，国土交通省等の関係省庁および日本自動車工業会，日本自動車研究所等が参

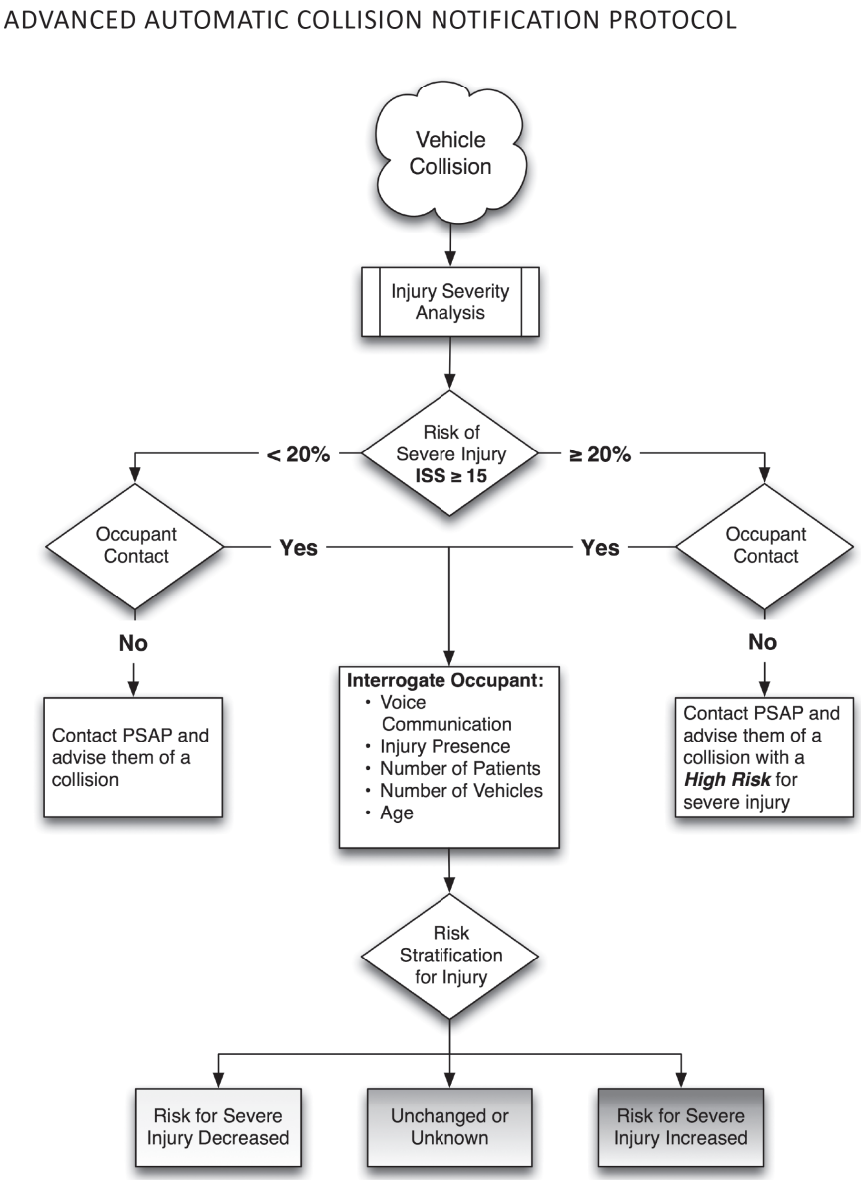


Fig. 1-15: AACN protocol by CDC-US report [50]

加する研究会「AACN 救急医療支援サービス研究会」が発足し，産官学の連携による AACN の実現促進を図る取組みが始まっている [57].

日本でも HELPNET と呼ばれる衝突自動通報のシステムが実用化されている [58]．このサービスは，エアバックの展開信号や手動での要請にコールセンターが応答し，救急車の手配を行い，救急救命時間の短縮を狙っている．しかし，自動通報時に衝突時の情報から乗員傷害予測を行うシステムが組み込まれた AACN システムまでは至っていない [59]．また，日本の事故データとして，乗員情報を含めた事故の詳細情報を持つ ITARDA ミクロデータを用いた統計学的な研究は，衝突前後の速度差（ΔV）と傷害指標（MAIS）との関係を全衝突方向で分析した事例はあるが [60]，重症度判定アルゴリズムを構築する研究や要因解析に活用する研究はこれまであまり行われていない．

1.4.3　日本における乗員傷害予測を活用した事故自動通報の必要性

事故発生時の自動通報時にて乗員傷害予測情報を加味する AACN は，衝突時の車両や乗員の情報から乗員の負傷の程度を推定し，適切な救命救急活動を迅速にできることが期待されている．特に，基地病院から遠方の事故で重篤な傷害を負った乗員がいると推定された場合は，ドクターヘリの要請を通報と同時にすることができ，さらに事故発生から治療開始までの時間の短縮が期待される．救命医療には図 1-16 に示すように「カーラーの救命曲線」と呼ばれる原則がある [30]．大量出血の場合，受傷から 1 時間を超えると救命率はほとんどゼロとなるが，30 分以内であれば救命率が 50 %であるとされており，治療時間開始までの時間をいかに短縮できるかが，救命には非常に重要である．益子ら [61] は，AACN とドクターヘリの連携による実用化を目指し，実証実験を行った．現状，交通事故発生からドクターヘリ搭乗医師が現場で治療を開始するまで，概ね 38 分要している時間が，AACN を活用した実験では 21 分に短縮でき，その期待効果を実証した．

日本におけるドクターヘリの配備は，第 9 次交通安全基本計画において，救助・救急活動の方策としてドクターヘリ事業の推進が明記されており，今後一層の整備拡大が期待されている．しかし，将来の AACN の核となる日本の事故データを用いた乗員傷害予測のアルゴリズムやその影響因子についての研究はまだ遅れている．

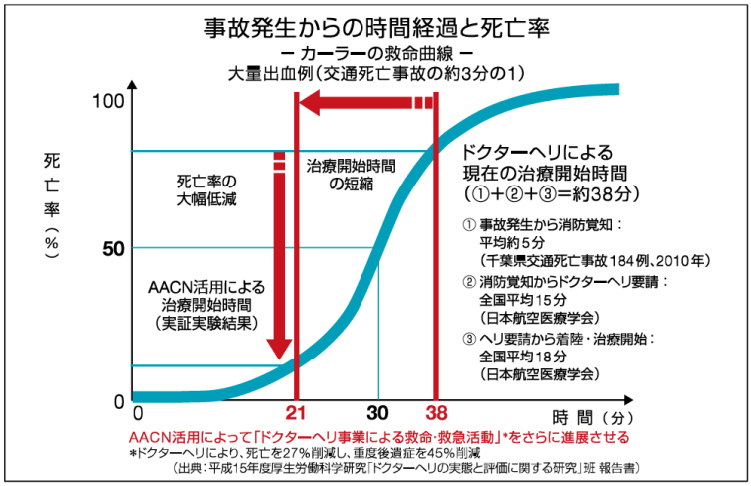


Fig. 1-16: Golden Hour Principle [30]

1.5　本研究の目的

世界一安全な交通社会の実現を目指し，政府が定めたさらなるなる交通事故死傷者低減目標向けて，様々な方策が求められている．これまでの安全に対する取組みとその成果を踏まえると，現状の課題解決に向けて，これまで以上にきめ細かく多角的視点での取組みが求められる．実際に起きている交通事故は，複雑で，多様な要因から発生していると考える．これらの多様な要因からなる交通事故を事故解析から科学的に分析し，要因を切り分けて評価することは重要である．さらに，それらの要因の中に潜んでいるこれまで解明できていない事故の影響因子を抽出し，的確な被害軽減方策に繋げていくことが必要である．この要因分析には，実際の交通事故データを用いた統計学的な乗員傷害予測式が活用できる．また，衝突後安全として注目されている取組みとして，事故時の乗員傷害予測を活用した AACN があり，医学と工学の連携から，交通事故時の自動車乗員の救命率向上が期待されている．

日本においては，事故一件一件を詳細に分析できる事故例データとして ITARDA ミクロデータがある．分析できる事故件数やバイアスの懸案はあるが，要因を解明する上で，実際の事故に立ち返ったこれらの事故に対する分析は非常に有益である．分析上の弱点は，日本の事故全数を統計的に把握できる ITARDA マクロデータとの有機的な活用により補完し，ITARDA ミクロデータから有益な情報を得ることは可能と考える．日本の事故を解析する上で，これらのデータベースの活用は欠くことができない．

そこで本研究は，さらなる被害軽減施策の提言や将来の日本版 AACN の適用に貢献するために，日本の事故例データである ITARDA ミクロデータを用いて，衝突事故時の自動車乗員に関して主要な影響因子からなる乗員傷害予測式を構築する．特に，その乗員傷害予測式を用いた「予測外れ事故」に着目し，これまで明確にできていない特徴的で影響の大きい事故形態を抽出し，その傷害発生メカニズムの解明を図ることを目的とする．この「予測外れ事故」の中に，これから解明すべき潜在的な傷害要因があると考える．これらの潜在的傷害要因分析に取組むことにより，さらなる被害軽減に向けての課題設定や施策に繋げていくことができ，さらに乗員傷害予測式の精度向上に繋げ，将来の日本版 AACN の適用に向けての乗員傷害予測式を構築することが可能となる．本研究における基本的なアプローチを図 1-17 に示す．また，分析の一環として米国の事故データベースとの比較も行い，事故事例数の多い米国データと比較することにより，上記で得られた日本の事故データによる分析結果の妥当性や日本特有の課題を明確にする．また，日本の事故分析として米国の事故を有効に活用する場合の留意点について整理する．これらの結果から，米国の事故データの活用法や日本における事故の留意点について明確にすることにより，解明した日本の事故解析結果をさらに充実なものとする．

以上要するに，本研究の目的として以下の 3 項目を設定する．

- 乗員傷害予測式（日本版）の構築
  ･･･ 主要因の解明および AACN に向けた日本版予測式を構築する．
- 車両対策および道路環境対策の提言
  ･･･ 予測式から外れる事故の解析により，潜在的な傷害要因を解明し，さらなる死傷者低減施策を提示する．
- 乗員傷害予測式の精度向上
  ･･･ 予測外れ要因の解明および米国事故データとの比較から，予測精度を改善し，将来の日本版 AACN 適用に向けた予測式に繋げる．

また，図 1-18 に本研究の全体の流れについて示す．

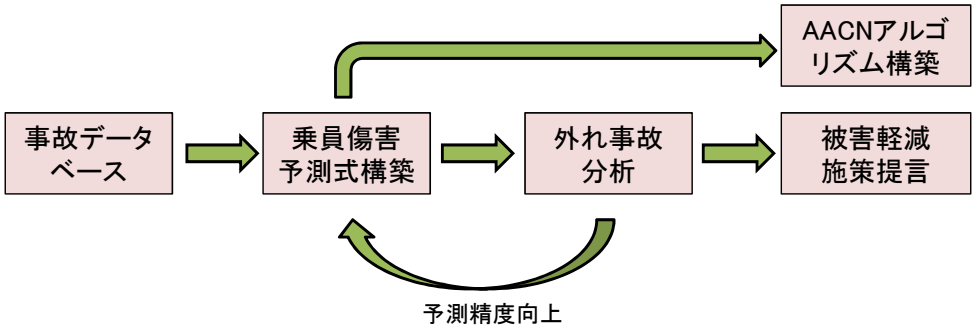


Fig. 1-17: Study approach

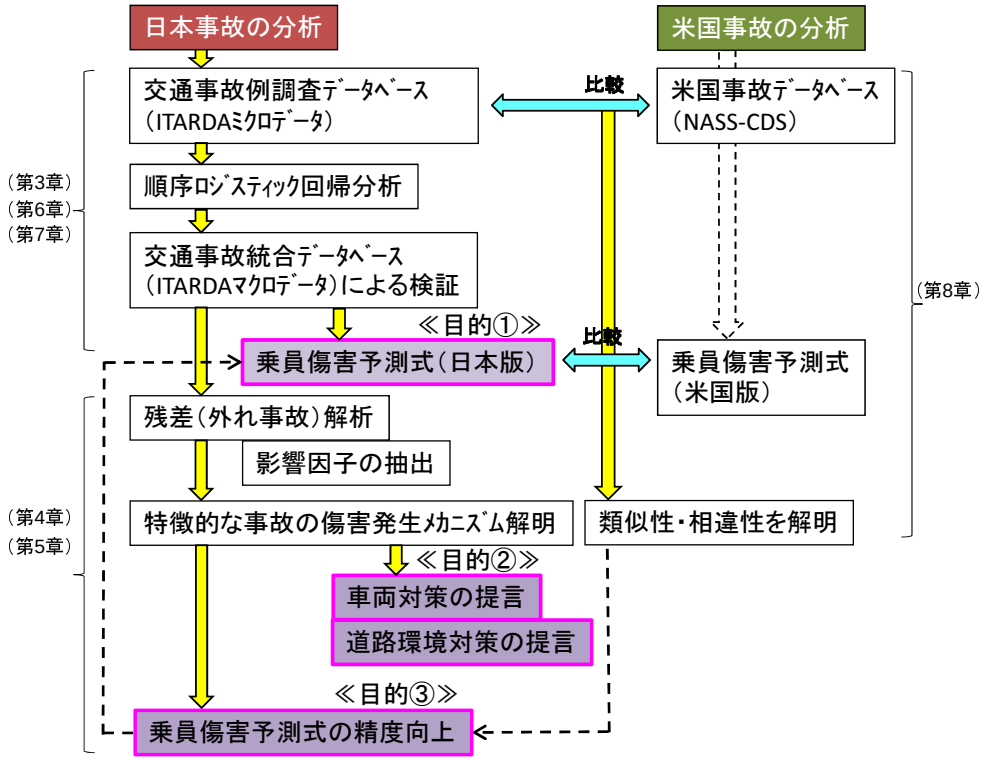


Fig. 1-18: Flow and goal of study

1.6　本研究の構成

本論文は以下の全 9 章から構成される．

第 1 章　緒論
本研究の背景と目的について述べ，本論文の構成を示す．

第 2 章　分析手法
本研究で実施する日本の事故データを用いた自動車乗員の傷害予測手法と全体の分析の流れについて述べる．乗員の傷害指標として解剖学的スケールの最大値である MAIS を用いた順序ロジスティック回帰分析を ITARDA ミクロデータに適用し，定式化する．その際，回帰分析に用いる変数は，車両と乗員の 1 次元衝突モデルを用いて推定し事故データ項目を選定する．さらに，得られた乗員傷害予測手法の検証手法，予測から外れる事故の解析手法を示し，乗員傷害予測精度の改善や今後の衝突被害軽減に向けた重点課題を抽出する分析手法について述べる．

第 3 章　前面衝突時の乗員傷害予測式とその影響因子
第 2 章で述べた分析手法を用いて，前面衝突時の乗員傷害に関して分析した結果を示す．ITARDA ミクロデータを用いた順序ロジスティック回帰分析結果から，有意な変数で構成された乗員傷害予測式を示し，その妥当性を ITARDA マクロデータを用いて検証した結果を示す．さらに，予測外れの事故の分析から，前面衝突事故として特徴的で影響の大きい事故形態の抽出結果について述べる．

第 4 章　予測外れの大きい事故の分析（ 1 ） 前面ポール衝突事故
第 3 章で分析した結果から，前面衝突事故の特徴的な事故形態として抽出された電柱等との前面ポール衝突事故について，その要因を詳細分析した結果を論じる．要因分析の中では，主成分分析を適用し，予測外れの特徴の裏付けを行う．判明した要因から，前面ポール衝突時の傷害発生メカニズムを推定し，乗員傷害予測式の改善手法，特徴的となる傷害リスク要因について示す．さらに，ITARDA マクロデータを用いて検証した結果について述べる．また，これらの結果を受けて乗員の被害を軽減する施策について述べる．

第 5 章　予測外れの大きい事故の分析（ 2 ） 大型車との前面衝突事故
第 3 章で分析した結果から，もう一つの特徴的な事故形態として抽出された大型車との前面衝突事故について，その要因を詳細分析した結果を論じる．予測外れ要因として，事故調査時に解析する ΔV の解析精度の影響が見られたため，衝突シミュレーションなどを用いて予測外れ事故を再解析した結果を示し，大型車との事故における ΔV 解析などの課題を示す．また，得られた結果が妥当であることを検証するために，ITARDA マクロデータを用いて，衝突車両の質量比などの傷害リスクへの影響について述べる．

第 6 章　側面衝突時の乗員傷害予測式とその影響因子
第 2 章で述べた分析手法を用いて，側面衝突時の乗員傷害に関して分析した結果を論じる．側面衝突は乗員に対して近い側からの衝突と遠い側からの衝突があるため，両者を分けて分析する．それぞれの衝突方向に対して，第 3 章と同様に，ITARDA ミクロデータを用いた順序ロジスティック回帰分析による乗員傷害予測式を示し，その妥当性を ITARDA マクロデータを用いて検証した結果を示す．さらに，予測外れの事故の分析から，側面衝突事故として特徴的で影響の大きい事故形態

の抽出結果について述べる．

第７章　後面衝突時の乗員傷害予測式とその影響因子

この章では，後面衝突時の乗員傷害予測に関して分析した結果を論じる．後面衝突事故は軽傷事故が大部分を占めており，死亡，重傷となる事故例が非常に少ないため，ITARDA ミクロデータを用いた回帰分析は事例数が少なく困難である．そこで，ITARDA マクロデータに対して各因子のカテゴリーを設定し，該当する項目に対する死者数，重傷者数および軽傷者数を用いて順序ロジスティック回帰分析を行い，乗員傷害予測式を求めた．さらに，事例は少ないが，ITARDA ミクロデータの事故事例を用いた検証結果について述べる．また，後面衝突時のように軽傷事故の件数は非常に多いが，死亡，重傷となる事故が少ない事故形態の場合における傷害予測判定時のトリアージの課題について述べる．

第８章　日本と米国における自動車事故の類似性と相違性

米国の事故データベースは充実しており，各国の交通事故解析への活用が期待される．しかし，米国の事故データはあくまで米国内での事故情報であるため，各国の分析には事故の類似性と相違性の把握を行った上で得られた結果を判断し，活用していくことが必要である．また，事故事例数の多い米国データと比較することにより，前章まで得られた日本の事故データによる分析結果の妥当性や日本特有の課題を明確にでき，日本の事故解析結果をさらに充実なものにすることができる．そこでこの章では，確率的な距離を示すマハラノビス距離を用いて，多次元的な観点で米国と日本の事故データの分布に関する類似性と相違性を分析した結果を論じる．さらに，実際の差異を具体化するために，米国の事故データベースから求められた URGENCY アルゴリズムを用いて，日本および米国の事故に適用した結果および予測外れ事故について述べ，乗員傷害予測式を解析する場合に留意すべき事項について論じる．また，これらの結果をもとに，日本版 AACN として現実的に対応可能となる乗員傷害予測アルゴリズムに関して検討した結果について述べる．

第９章　結論

本研究で得られた結果を総括し，さらに今後の展望および研究課題について述べる．

第2章　分析手法

2.1　緒言

交通事故の要因は「人」,「道路」,「車両」の要素から構成されており，市場で発生する一件一件の事故を調査するとその状況はそれぞれ異なり，その複雑さを感じざるを得ない．しかし，その一件一件のデータを丁寧に観察し，共通性や相違性を明確にしてモデル化を行うことにより，貴重な事故データを最大限に活用することが可能となる．本研究では，物理的意味のある項目から構成される自動車乗員の傷害メカニズムモデルの構築とそのモデルから外れる事故の分析に着目した．このモデルは, 事故時の情報で瞬時に乗員の傷害程度を予測する将来の AACN に向けた傷害予測アルゴリズムの機能をもつ．さらに，このモデルを用いた予測から外れる事故事例の中から，通常の事故解析では明確化しにくい特徴的で影響の大きい事故を抽出し，その傷害メカニズムを解明することによって，今後の被害軽減に向けた施策に繋げることが可能になると考えた．以下に，本研究に共通している分析手法について述べる．

2.2　分析の流れ

はじめに本研究で行う分析手法の基本的な流れを図 2-1 を用いて説明する．本研究は，日本の ITARDA ミクロデータを用いた回帰分析から，自動車乗員の傷害予測式を求める．目的変数は乗員の傷害程度とし，事故データの情報をもとに評価項目を決定した．はじめに説明変数の選定を行う．回帰分析の事前検討として，1 次元衝突モデルを用いて乗員傷害に関与する因子の推定を行った．この検討をもとにして回帰分析の対象とする事故情報からの説明変数を選定する．さらに回帰分析に際して，選定した変数に対してカテゴリー化，多重共線性の確認を行い，変数の適正化，絞り込みを行う．次に，これらの変数を用いた回帰分析により乗員傷害予測式を求める．回帰分析には，予測外れ分析を考慮して順序ロジスティック回帰分析を適用した．その際，最終的な説明変数は，全て有意なもので構成されるようにする．さらに，この ITARDA ミクロデータから作成した乗員傷害予測式が妥当であることを検証するために，日本の ITARDA マクロデータを用いて比較する．そして，この予測式を用いて，予測から外れる事故の抽出とその特徴を分析する．以上のステップを踏まえ，乗員傷害予測式の構築と事故被害軽減に向けた重要事故の抽出を図る．なお，傷害予測の外れる重要事故の分析は，各事故に対する詳細分析から個別に解析を行う．

2.3　乗員の傷害指標

交通事故における外傷に対して，その傷害スケールを評価する指標はいくつか挙げられる．その代表的な指標を表 2-1 に示す [62]．乗員傷害のモデル化を行う上で，医学的な観点での数値的な傷害スケールが重要である．最も活用されている指標は，解剖学的スケールの AIS（Abbreviated Injury Scale）である．AIS は表 2-2 に示すように 6 段階の簡易傷害スケールであり，一ヶ所の傷害に対す

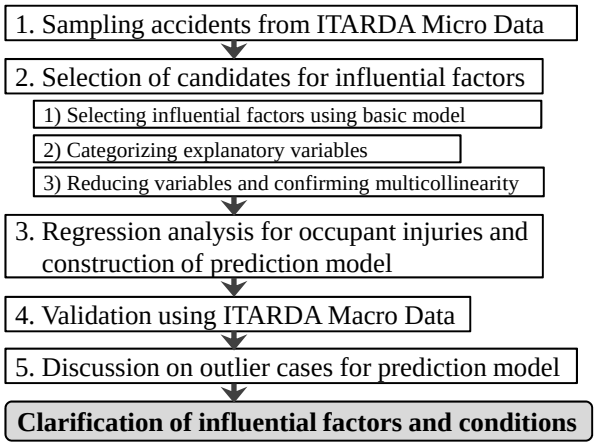


Fig. 2-1: Flow of study method on influential factors

る解剖学的な人体組織構造の破損・破壊の大きさをコードにて分類される [63]．数値そのものに定量的な意味はないが，各部位に対する生命への危険度を順序づけしたものであり，順序尺度変数として扱われる．

交通事故における外傷は，乗員が複数箇所を受傷する多発外傷が多く見られる [5]．AIS は一ヶ所の傷害評価であるため，全体の重症度の評価として，人体部位のうち最も高い AIS スコアを用いる MAIS（Maximum Abbreviated Injury Scale）がある．乗員に関する総合的な傷害指標としてよく用いられ，人体に加わる衝撃入力に最も関連していると考える．また，多発外傷を評価する指標として，傷害度スコア（Injury Severity Score: ISS）がある．ISS は 6 区分に分けた人体各部位において最も高い AIS スコアを求め，スコアの高い 3 部位についてその 2 乗和を求めたものである．ISS の最高値は 75 であり，一ヶ所でも AIS が 6 の場合は ISS を 75 とする．ISS は死亡率との相関が高いと報告されている [62].

本研究では，衝突時の人体に対する衝撃入力と人体の傷害，さらにその相関と相違の分析に着目していることを考慮して，6 段階で評価している MAIS を乗員の傷害指標として採用した．一般的には，MAIS が 3 以上を重症以上と考えられており，この MAIS も順序尺度変数として扱われる．

2.4　衝突事故時の車両と乗員の 1 次元衝突モデル

実際の衝突事故による車両乗員の傷害は，様々な要因から発生している．交通事故データからそれらの要因を洗い出し，統計的にその関連性を特定するが，その物理的な意味合いを明確にすることは，被害軽減施策を考える上で重要である．衝突による車両と乗員の挙動は，主として衝突による衝撃入力を受けた方向に運動すると考えるのが平易で妥当であると考える．そこで簡易的ではあるが車両と乗員からなる 1 次元の衝突モデルを用いて，基本的な乗員の傷害要因となる因子の推定を行った．

Table. 2-1: Injury scale

傷害スケール	英語名	特徴
簡易傷害スケール	Abbreviated Injury Scale : AIS	解剖学的重症度スケール．傷害部位別に 6 段階のスコアにて評価する．外傷において最も用いられている傷害スケール．6 段階のスコアは定量的な意味はない．
簡易傷害スケールの最大値	Maximum AIS : MAIS	各傷害部位の AIS の最大値．複数箇所を受傷する多発外傷の評価の一手法．MAIS が 3 以上を重症として扱う場合が多い．
傷害度スコア	Injury Severity Score : ISS	多発外傷の評価の一手法．人体を 6 部位に分け，その各部位において最も高い AIS スコアを求め，スコアの高い 3 部位の 2 乗和．ただし，1 カ所でも AIS が 6 の場合は ISS は最高値 75 とする．
人身損傷程度	Injury severity	警察庁，ITARDA マクロデータで用いられている死亡/重傷/軽傷/無傷で評価する傷害指標. 死亡は 24 時間以内の死亡，重傷は治療に 30 日以上が見込まれる傷害で分類する．

Table. 2-2: AIS code [63]

AIS code	内容（Description）	症例
1	軽症（Minor）	頸椎捻挫，手指骨折
2	中等症（Moderate）	2〜3 本の肋骨骨折，脛骨単純骨折
3	重症（Serious）	脾臓・腎臓裂傷大，大腿骨骨折
4	重篤（Severe）	頭蓋底開放骨折，血胸を伴う 4 本以上の肋骨骨折
5	瀕死（Critical）	大脳硬膜下血腫大，胸部大動脈裂傷大
6	救命不能（Maximum）	脳幹裂傷，心室の破裂

2.4.1　前面衝突時の 1 次元衝突モデル

前面衝突は，車両の前部を衝突相手となる車両や道路脇の電柱や壁などの工作物に衝突する場合の衝突形態である．代表的な事故形態として，車両相互の正面衝突事故，車両単独の工作物衝突事故が挙げられる．これらの衝突の場合，車両前部のバンパーやエンジンルームが変形して車両の運動エネルギーが吸収される．一方，シートベルトなどの拘束装置で拘束された車両の乗員は，拘束装置の変形によって運動エネルギーが吸収されるが，乗員の車室内の移動量が大きい場合は前方にあるハンドルやインストルメントパネルなどの内装部品と干渉し，その変形により残りの運動エネルギーが吸収される．また，シートベルトなどによる拘束がない場合は，これら前方の内装部品と直接干渉することで運動エネルギーが吸収されることになる．

水野 [62] による固定壁に対する車両と乗員の 1 次元衝突モデル，および嶋村 [64] による衝突相手車両を想定した場合の 1 次元衝突モデルを引用して，図 2-2 に示す前面衝突時の 1 次元衝突モデル

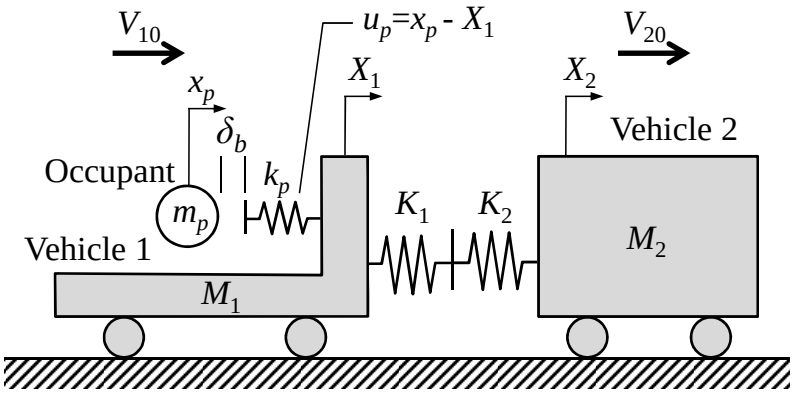


Fig. 2-2: One-dimensional frontal impact model

を考えた．乗員の傷害は様々に挙げられるが，重症度の大きい代表的な傷害指標として，頭部の加速度や胸部加速度による評価が挙げられる [62]．そこで本章では，乗員に加わる加速度が傷害に大きく影響を及ぼすと考え，モデル化を行う．

ここで，車両が衝突した瞬間の速度である衝突速度が高くなるほど車両の反発係数は小さくなり [65]，また，車両の質量は乗員の質量に対して 10 倍以上大きいといえるため，以下の仮定を設けて検討する．

仮定：

- 車両は最大変形に達した後は，完全に停止する（反発係数は 0 である）．
- 乗員の質量は車両の質量に比べて小さく，乗員の挙動または乗員に発生する荷重は車両の動きに影響しない．
- 車両前部の潰れ特性（剛性）は，線形ばねで表現できる．
- 乗員を拘束するシートベルトの拘束特性（シートベルトの荷重–伸び特性）は，線形ばねで表現できる．

傷害程度を評価する乗員の乗車する車両 1 の質量を M_1，車両前部の剛性を K_1，変位を X_1 とし，衝突相手となる車両 2 の質量を M_2，車両前部の剛性を K_2，変位を X_2 とする．乗員の質量を m_p，変位を x_p とし，シートベルトなどの拘束装置のばね乗数を k_p とする．さらに，シートベルトには初期のスラック（ゆるみ）δ_b が存在するものとする．

この時の車両の運動方程式は車両間の力を F_T，合成した剛性を K_T として以下に示される．

$$M_1 \cdot \ddot{X}_1 = -F_T \tag{2.1}$$

$$M_2 \cdot \ddot{X}_2 = F_T \tag{2.2}$$

ここで，

$$F_T = K_T(X_1 - X_2) \tag{2.3}$$

$$K_T = \frac{K_1 K_2}{K_1 + K_2} \tag{2.4}$$

とする．式（2.4）を式（2.1）に代入すると X_2 は，

$$X_2 = X_1 + \frac{M_1}{K_T} \cdot \ddot{X}_1 \tag{2.5}$$

となり，式（2.3），式（2.5）を式（2.2）に代入し，X_2 を消去すると X_1 は以下のようになる．

$$\dddot{X}_1 + \omega_T^2 \cdot \ddot{X}_1 = 0 \tag{2.6}$$

ここで，ω_T は 2 の質点 1 ばね単振動モデルにおける角振動数であり，M_T を以下のように定義すると

$$M_T = \frac{M_1 M_2}{M_1 + M_2} \tag{2.7}$$

ω_T は，

$$\omega_T = \sqrt{\frac{K_T}{M_T}} \tag{2.8}$$

と表すことができる．初期条件として，衝突時 $t = 0$ の車両 1，2 の速度を V_{10}，V_{20} とすると以下の式が成立するので，

$$X_1 = X_2 = x_p = 0 \tag{2.9}$$

$$\begin{aligned} \dot{X}_1 = \dot{x_p} = V_{10} \\ \dot{X}_2 = V_{20} \end{aligned} \tag{2.10}$$

この条件を用いて式（2.6）を解くと，X_1，X_2 は以下のように求められる．

$$X_1 = \frac{M_2(V_{10} - V_{20})}{\omega_T(M_1 + M_2)} \cdot \sin(\omega_T \cdot t) + \frac{M_1 V_{10} + M_2 V_{20}}{M_1 + M_2} \cdot t \tag{2.11}$$

$$X_2 = -\frac{M_1(V_{10} - V_{20})}{\omega_T(M_1 + M_2)} \cdot \sin(\omega_T \cdot t) + \frac{M_1 V_{10} + M_2 V_{20}}{M_1 + M_2} \cdot t \tag{2.12}$$

車両間の力のやり取りがなくなる車両 1 と車両 2 の速度が同じ時刻を t_1 とすると，t_1 は以下のように表される．

$$t_1 = \frac{\pi}{2\omega_T} \tag{2.13}$$

反発係数を 0 としたので，$t \geq t_1$ では車両 1 と車両 2 は等速度運動となる．

次に，車両 1 の乗員における運動方程式を考えると，拘束装置から乗員に力が働き始める（質点がばねと接触する）時刻 t_0 までは，乗員には外力が働かないため乗員は等速運動をする．この時間域 $0 \leq t \leq t_0$ での乗員の加速度，速度，変位は次のようになる．

$$\ddot{x_p} = 0 \tag{2.14}$$

$$\dot{x_p} = V_{10} \tag{2.15}$$

$$x_p = V_{10} \cdot t \tag{2.16}$$

$t \geq t_0$ では，乗員はばねから力を受けるため乗員の運動方程式は以下のようになる．

$$m_p \ddot{x}_p = -k_p(x_p - X_1 - \delta_b) \tag{2.17}$$

式（2.17）を変形すると，

$$\ddot{x}_p = -\frac{k_p}{m_p}(x_p - X_1 - \delta_b) = -\omega_p^2(x_p - X_1 - \delta_b) \tag{2.18}$$

ここで，ω_p は，以下の式とする．

$$\omega_p = \sqrt{\frac{k_p}{m_p}} \tag{2.19}$$

乗員の車両に対する相対変位，すなわち乗員の車室内変位を $u_p(= x_p - X_1)$ とおくと，

$$\begin{aligned} \dot{u}_p &= \dot{x}_p - \dot{X}_1 \\ \ddot{u}_p &= \ddot{x}_p - \ddot{X}_1 \end{aligned} \tag{2.20}$$

となるので，式 (2.18) は以下のように表される．

$$\ddot{u}_p + \omega_p^2(u_p - \delta_b) = -\ddot{X}_1 \tag{2.21}$$

ここで，車両の加速度は，図 2-3 に示すように近似的に衝突時（$t = 0$）の速度 V_{10} から車両 1 と車両 2 の速度が同じとなる時刻 t_1 の時の速度 V_{11} まで一定とみなすと，この時間域の車両 1 の平均加速度 $\bar{a_1}$ は速度変化を ΔV_1 とした場合以下で表される．

$$\bar{a_1} = -\frac{V_{11} - V_{10}}{t_1} = -\frac{\Delta V_1}{t_1} \tag{2.22}$$

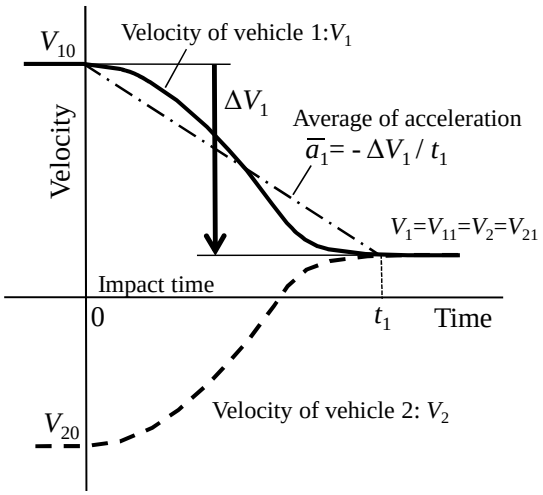


Fig. 2-3: Average of acceleration in frontal impact

式（2.22）に車両の運動から求めた式（2.13）を代入すると，$\bar{a_1}$ は以下と表される．

$$\bar{a_1} = -\frac{2\omega_T \cdot \Delta V_1}{\pi} \tag{2.23}$$

この車両 1 の平均加速度 $\bar{a_1}$ を用いて，式（2.21）を表すと以下となる．

$$\ddot{u}_p + \omega_p^2(u_p - \delta_b) = \bar{a_1} \tag{2.24}$$

式（2.24）の解は一般解と特殊解とからなり，次のようにおくことができる．

$$u_p = A_1 \sin \omega_p(t - t_0) + B_1 \cos \omega_p(t - t_0) + \frac{\bar{a_1}}{\omega_p^2} + \delta_b \tag{2.25}$$

初期値として，時刻 $t = t_0$ での以下の値を代入し，

$$u_p = \delta_b \tag{2.26}$$

$$\dot{u_p} = \dot{x_p} - \dot{X_1} = \bar{a_1} t_0 \tag{2.27}$$

定数 A_1，B_1 を求めると以下となる．

$$A_1 = \frac{\bar{a_1} t_0}{\omega_p} \tag{2.28}$$

$$B_1 = -\frac{\bar{a_1}}{\omega_p^2} \tag{2.29}$$

ここで，拘束装置から乗員に力が働き始める時刻 t_0 は，車両 1 の平均加速度から以下のように表される．

$$t_0 = \sqrt{\frac{2\delta_b}{\bar{a_1}}} \tag{2.30}$$

乗員の車室内変位 u_p は以下と表される．

$$u_p = \frac{\bar{a_1} t_0}{\omega_p} \sin \omega_p (t - t_0) - \frac{\bar{a_1}}{\omega_p^2} \cos \omega_p (t - t_0) + \frac{\bar{a_1}}{\omega_p^2} + \delta_b \tag{2.31}$$

$$\dot{u_p} = \bar{a_1} t_0 \cos \omega_p (t - t_0) + \frac{\bar{a_1}}{\omega_p} \sin \omega_p (t - t_0) \tag{2.32}$$

$$\ddot{u_p} = -\bar{a_1} \omega_p t_0 \sin \omega_p (t - t_0) + \bar{a_1} \cos \omega_p (t - t_0) \tag{2.33}$$

これより乗員の加速度 $\ddot{x_p} (= \ddot{u_p} + \ddot{X_1})$ は以下となる．

$$\ddot{x_p} = -\bar{a_1} \omega_p t_0 \sin \omega_p (t - t_0) + \bar{a_1} \cos \omega_p (t - t_0) - \bar{a_1} \tag{2.34}$$

乗員の最大加速度を求めるために，式（2.34）を以下のように書き直す．

$$\ddot{x_p} = -\bar{a_1} \sqrt{1 + (\omega_p t_0)^2} \cdot \sin\{(\omega_p (t - t_0) + \phi\} - \bar{a_1} \tag{2.35}$$

$$\phi = -\tan^{-1}(\frac{1}{\omega_p t_0}) \tag{2.36}$$

式（2.36）より，乗員の加速度は，車両の平均加速度 $-\bar{a_1}$ に，拘束装置による振動の項が加わったものであることが分かる．したがって，乗員の加速度の最大値とその発生時刻 t_m は以下の式で表される．

$$|\ddot{x_p}|_{max} = \bar{a_1} \left\{ \sqrt{1 + (\omega_p t_0)^2} + 1 \right\} \tag{2.37}$$

$$t_m = \frac{\pi/2 - \phi}{\omega_p} + t_0 = \frac{\pi/2 + \tan^{-1}(1/\omega_p t_0)}{\omega_p} + t_0 \tag{2.38}$$

式（2.23），式（2.30）を式（2.37）に代入すると，

$$|\ddot{x_p}|_{max} = \sqrt{C_1^2 \cdot \Delta V_1^2 + C_1 \cdot C_2 \cdot \Delta V_1} + C_1 \cdot \Delta V_1 \tag{2.39}$$

ここで，C_1，C_2 は以下とする．

$$C_1 = 2\omega_T / \pi \tag{2.40}$$

$$C_2 = 2\omega_p^2 \cdot \delta_b \tag{2.41}$$

式（2.39），式（2.40），式（2.41）を確認すると，乗員の傷害程度を代表する乗員加速度は，車両の ΔV_1，$\omega_T(=\sqrt{K_T/M_T})$，$\omega_p(=\sqrt{k_p/m_p})$，および δ_b の影響を受けていることが分かる．

以上では，シートベルトを着用しているモデルを考慮し検討してきた．シートベルトを着用していない場合は，本モデルにおいて，δ_b が乗員の車室内前方の空間（インストルメントパネルまでの距離）とみなし，k_p が乗員とインストルメントパネルとの接触によるばね特性とみなして考えることができる．したがって，本モデルにてシートベルト着用および非着用時の検討ができると考える．

2.4.2 側面衝突時の 1 次元衝突モデル

側面衝突は，車両の側面部を衝突相手の車両により衝突されたり，車両が道路を逸脱し何らかの原因で車両が回転した後に道路脇の電柱や壁などの工作物に車両の側面部を衝突する場合の衝突形態である．代表的な事故形態として，出会い頭事故が挙げられる．前面衝突と同様に，車両単独の工作物衝突にて衝突方向が車両側面となる事故が挙げられるが，日本における事故件数は多くはない．これらの衝突の場合，車両側面部のドアやセンターピラー部が衝突車両の前面の侵入を受けて大きく変形し，主としてフロア部の変形やセンターピラー部の変形により運動エネルギーが吸収される．乗員にとって近い側からの側面衝突（Nearside 側突）と遠い側からの側面衝突（Farside 側突）の 2 つの形態を考える必要がある．

Nearside 側突の場合，乗員は体側に近接するドアトリムやセンターピラーの車室内侵入による接触の影響を直接受け，この接触で運動エネルギーが吸収され，乗員は胸部などの傷害を受ける場合が多い [66, 67, 68]．前面衝突の場合よりも侵入部からの距離が非常に近いため，乗員がドアトリムなどと接触する前の乗員の移動（車両左右方向への移動）の影響は少ない．また，この場合，一般的にはシートベルトの効果も考慮されていない．

一方，Farside 側突の場合は，乗員はドアやセンターピラーにより直接な侵入の影響は無く，車室内中央側へ移動しようとする動きとなる．その結果，センターコンソールなどへの接触が見られるが，乗員を制止する車室内部品が近くになく，シートベルトによる拘束が不十分の場合は乗員は移動する距離が大きくなり，その他の車室内部品との接触にて運動エネルギーが吸収される．

側面衝突に対しての車両挙動，乗員挙動モデルとして，嶋村 [64] による衝突相手車両を想定した場合の 1 次元衝突モデルを引用し，図 2-4 に示す側面衝突時の 1 次元衝突モデルを考えた．ここでは Nearside 側突となる場合を想定しモデル化を行う．また，乗員の傷害も前面衝突と同様に，乗員の加速度が影響していると考えモデル化を行う．なお，Farside 側突の場合については，車体変形の及ばない反衝突側面部に拘束装置の固定点があると捉えられるので，車両と乗員との関係は衝突方向を車両左右方向と考えた場合の前面衝突の衝突モデルが成立すると考える．

乗員の質量を m_p，車両左右方向に X 軸を考え，変位を x_p とする．乗員と衝突する側面車体部品の質量を M_{1d}，変位を X_{1d} とし，乗員との間のばね定数を k_p とする．また，傷害程度を評価する乗員の乗車する車両 1 の質量（側面車体部品の M_1 を除く変形しない部分の質量に相当）を M_1'，変位を X_1 とし，車両の変形する側面車体部品との間の剛性を K_1 とする．さらに，衝突相手となる車両 2 の質量を M_2，変位を X_2 とし，評価車両に衝突する車両の剛性（前部）を K_2 とする．なお，このモデルには前述のことからシートベルトは考慮しないことにする．

車両 1 と車両 2 が一体として移動し始める時間を t_1 とし，各ばねに作用する力をそれぞれ F_1，F_2，F_p とした場合，$t \le t_1$ における各質点の運動方程式は以下のように表される．

$$M_1' \cdot \ddot{X}_1 = F_1 \tag{2.42}$$

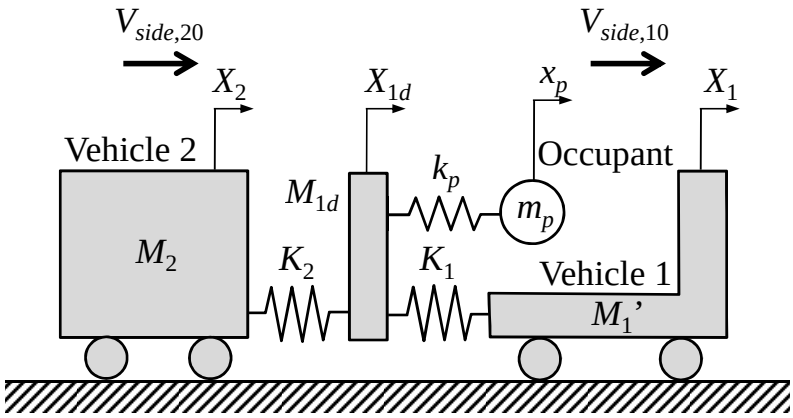


Fig. 2-4: One-dimensional side impact model (Nearside)

$$M_{1d} \cdot \ddot{X_{1d}} = -F_p - F_1 + F_2 \tag{2.43}$$

$$M_2 \cdot \ddot{X_2} = -F_2 \tag{2.44}$$

$$m_p \cdot \ddot{x_p} = F_p \tag{2.45}$$

$t = 0$ における初期条件として，衝突時 $t = 0$ の車両 1 の衝突方向の速度を $V_{side,10}$，車両 2 の衝突方向の速度を $V_{side,20}$ とすると以下の式が成立する．

$$X_1 = X_2 = X_{1d} = x_p = 0 \tag{2.46}$$

$$\begin{aligned} \dot{X_1} = \dot{X_{1d}} = \dot{x_p} = V_{side,10} \\ \dot{X_2} = V_{side,20} \end{aligned} \tag{2.47}$$

各ばねはすべて線形ばねと仮定し，ばねに働く力はばね定数と各部の変位から以下のように表される．

$$F_1 = K_1 \cdot (X_{1d} - X_1) \tag{2.48}$$

$$F_2 = K_2 \cdot (X_2 - X_{1d}) \tag{2.49}$$

$$F_p = k_p \cdot (X_{1d} - x_p) \tag{2.50}$$

また，乗員の質量 m_p および側面車体部品の質量 M_{1d} は車両 1 の質量 M_1 に比べて十分に小さいと考えられるので，$M_1' = M_1$，$M_{1d} = 0$，さらに，乗員との衝突による両車両への挙動の影響は小さいと近似して，車両についての運動方程式を解く．
ここで，

$$F_1 = F_2 = F_T \tag{2.51}$$

$$F_T = K_T(X_1 - X_2) \tag{2.52}$$

$$K_T = \frac{K_1 K_2}{K_1 + K_2} \tag{2.53}$$

とする．式（2.52）を式（2.42）に代入すると X_2 は，

$$X_2 = X_1 + \frac{M_1}{K_T} \cdot \ddot{X_1} \tag{2.54}$$

となり，式（2.44）に代入して，X_2 を消去すると X_1 は以下のようになる．

$$\dddot{X}_1 + \omega_T^2 \cdot \ddot{X}_1 = 0 \tag{2.55}$$

ここで，ω_T は 2 の質点 1 ばね単振動モデルにおける角振動数であり，M_T を以下のように定義すると

$$M_T = \frac{M_1 M_2}{M_1 + M_2} \tag{2.56}$$

ω_T は，

$$\omega_T = \sqrt{\frac{K_T}{M_T}} \tag{2.57}$$

と表すことができる．前面衝突時の車両のモデルと同じに表される．初期条件を考慮して，式（2.55）を解くと，X_1，X_2 は以下のように求められる．

$$X_1 = -\frac{M_2(V_{side,20} - V_{side,10})}{\omega_T(M_1 + M_2)} \cdot \sin(\omega_T \cdot t) + \frac{M_1 V_{side,10} + M_2 V_{side,20}}{M_1 + M_2} \cdot t \tag{2.58}$$

$$X_2 = \frac{M_1(V_{side,20} - V_{side,10})}{\omega_T(M_1 + M_2)} \cdot \sin(\omega_T \cdot t) + \frac{M_1 V_{side,10} + M_2 V_{side,20}}{M_1 + M_2} \cdot t \tag{2.59}$$

車両間の力のやり取りがなくなる車両 1 と車両 2 の速度が同じ時刻 t_1 において，$\dot{X}_1 = \dot{X}_2$ であるので，t_1 は以下のように表される．

$$t_1 = \frac{\pi}{2\omega_T} \tag{2.60}$$

また，X_{1d} については，

$$X_{1d} = \frac{(M_1 K_2 - M_2 K_1)(V_{side,20} - V_{side,10})}{\omega_T(K_1 + K_2)(M_1 + M_2)} \cdot \sin(\omega_T \cdot t) + \frac{M_1 V_{side,10} + M_2 V_{side,20}}{M_1 + M_2} \cdot t \tag{2.61}$$

となる．

乗員の変位 x_p は，式（2.45），式（2.50），式（2.61）を用いて求めると以下となる．

$$x_p = \frac{V_{side,20} - V_{side,10}}{\omega_p^2 - \omega_T^2}\left\{\frac{K_T}{\omega_p M_1}\left(1 - \frac{\omega_p^2}{\omega_1^2}\right)\cdot\sin(\omega_p \cdot t) + \frac{\omega_p^2}{\omega_T^2}\cdot\frac{M_T\omega_1^2}{K_1 + K_2}\cdot\left(\frac{\omega_2^2}{\omega_1^2 - 1}\cdot\sin(\omega_T \cdot t)\right)\right\} + \frac{M_1 V_{side,10} + M_2 V_{side,20}}{M_1 + M_2}\cdot t \tag{2.62}$$

ここで，ω_1 と ω_2 は車両 1 と車両 2 の単振動としての角振動数，ω_p は乗員－側面車体部品計の角振動数であり，以下のように表される．

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{K_1}{M_1}} \tag{2.63}$$

$$\omega_2 = \sqrt{\frac{K_2}{M_2}} \tag{2.64}$$

$$\omega_p = \sqrt{\frac{k_p}{m_p}} \tag{2.65}$$

したがって，乗員に発生する加速度は，式（2.62）を 2 回微分して求めると以下となる．

$$\ddot{x}_p = -\frac{V_{side,20} - V_{side,10}}{\omega_p^2 - \omega_T^2}\left\{\frac{\omega_p K_T}{M_1}\left(1 - \frac{\omega_p^2}{\omega_1^2}\right)\cdot\sin(\omega_p \cdot t) + \frac{\omega_p^2\omega_T\omega_1^2 M_T}{K_1 + K_2}\left(\frac{\omega_2^2}{\omega_1^2} - 1\right)\cdot\sin(\omega_T \cdot t)\right\} \tag{2.66}$$

ここで，車両 1 の x 軸方向の速度変化成分を $\Delta V_{side,1}$ とし，車両 1 と車両 2 が一体となって移動する時間における速度を求めて $\Delta V_{side,1}$ を算出すると，

$$\Delta V_{side,1} = \frac{M_2}{M_1 + M_2} \cdot (V_{side,20} - V_{side,10}) \tag{2.67}$$

と表すことができ，これは反発係数が 0 として運動量保存則によって導かれる関係に一致する．式（2.66）の最大値をこの $\Delta V_{side,1}$ を用いて表すと，

$$|\ddot{x}_p|_{max} = D_0 \cdot \sqrt{D_1 + D_2} \cdot \Delta V_{side,1} \tag{2.68}$$

ここで，

$$D_0 = \frac{\omega_p^2}{(\omega_p/\omega_T)^2 - 1} \tag{2.69}$$

$$D_1 = \frac{1}{\omega_p^2} \cdot \left\{1 - (\omega_p/\omega_1)^2\right\}^2 \tag{2.70}$$

$$D_2 = \frac{K_T M_T}{K_2^2} \cdot \left\{1 - (\omega_2/\omega_1)^2\right\}^2 \tag{2.71}$$

とする．D_0 と D_1 は側面車体部品の特性を含み，D_2 は両車両の車両特性で表される．

嶋村 [64] の事故事例データを用いた分析において，衝突相手としてセダン型，キャブオーバー型共に同一傾向を示し，ω_2/ω_1 はおよそ 1 であるといえると報告されている．したがって，$\omega_2/\omega_1 \approx 1$ であれば，式（2.71）より，$D_2 \approx 0$ と考えることができる．この場合，式（2.56），式（2.53）をもとに式（2.57）を変換すると $\omega_T \approx \omega_1$ となるので，

$$D_0 \cdot \sqrt{D_1 + D_2} \approx D_0 \cdot \sqrt{D_1} \approx \omega_p \tag{2.72}$$

と近似することができる．したがって，式（2.68）は以下と考えることができる．

$$|\ddot{x}_p|_{max} \approx \omega_p \cdot \Delta V_{side,1} \tag{2.73}$$

式（2.73 ）より乗員の傷害程度を代表する乗員加速度は，車両の $\Delta V_{side,1}$，と側面車体部品の剛性と乗員の質量からなる $\omega_p(= \sqrt{k_p/m_p})$ の影響を受けていることが分かる．

一方，$\omega_2/\omega_1 = 1$ と近似できない場合を考えてみる．この場合は，相手車両が乗用車タイプと大きく異なる大型車などが考えられる．この場合は，D_2 は無視できないので，その項に含まれる影響が現れやすくなると考えられる．式（2.71）より D_2 には，分子に M_T，分母に K_2 の項が含まれている．M_T は相手車両の質量が大きくなると大きくなる項である．また，K_2 の項は相手車両の剛性である．したがって，相手車両が乗用車タイプと大きく異なる大型車などの場合は，相手車両の質量や剛性の影響を大きく受けやすいことが推測される．

2.4.3　後面衝突時の 1 次元衝突モデル

後面衝突は，車両の後部を衝突相手となる車両に衝突される場合の事故形態である．自車両が後退中に工作物に衝突する場合もあるが、代表的な事故形態は，車両相互の追突事故が挙げられる．この衝突の場合は，車両後部のバンパーやトランクルームが変形して車両の運動エネルギーが吸収される．乗員は初期よりシートに座っているので，体幹は初期よりシートに拘束され，この変形により運動エネルギーが吸収される．頭部に関しては，シートに装備されているヘッドレストによって拘束される構造になっているが，一般的なシートへの着席状況からは頭部とヘッドレストの間にはクリアランスがある．このため後面衝突時初期はシートバックに押される体幹と拘束されていない頭部との挙動が異なり，この動きから頚部の鞭打ち傷害を受けやすい衝突形態となっている．

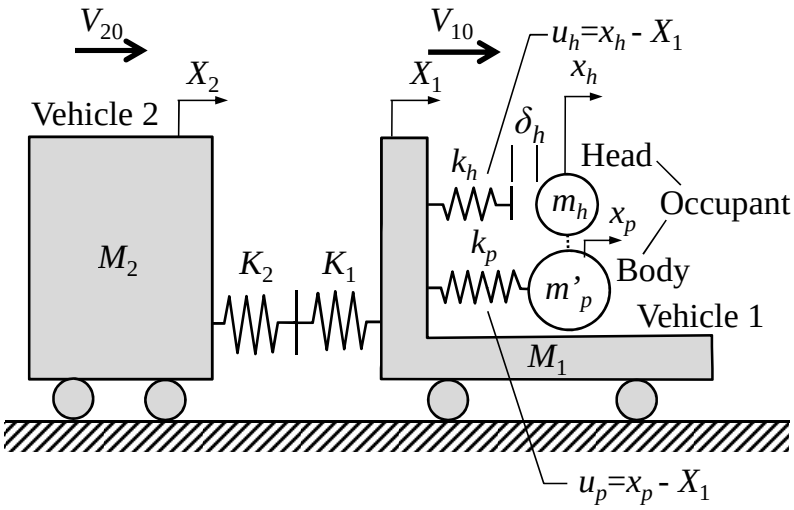


Fig. 2-5: One-dimentional rear impact model

頚部の鞭打ち傷害については，様々な傷害メカニズムが挙げられている [69]．本検討では，頚部の鞭打ち傷害に関連する指標として乗員頭部と乗員体幹部の相対変位を考え，この相対変位の最大値が乗員の頚部鞭打ち傷害の程度と関連しているとした．

後面衝突時の 1 次元衝突モデルは，前面衝突時のモデルの入力方向違いをベースに，図 2-5 に示すモデルを考えた．頚部の鞭打ち傷害を考える上で，ここでは簡易に頭部は体幹部から非常に柔らかい首で支えられていると仮定し，体幹から独立したモデルと考えた．

前面衝突モデルと同様に，傷害程度を評価する乗員の乗車する車両 1 の質量を M_1，車両後部の剛性を K_1，変位を X_1 とし，衝突相手となる車両 2 の質量を M_2，衝突する車両部位（追突では車両前部）の剛性を K_2，変位を X_2 とする．乗員の体幹部の質量を m'_p，変位を x_p とし，シートバックのばね乗数を k_p とする．さらに，乗員の頭部の有効質量を m_h，変位を x_h とし，ヘッドレストのばね乗数を k_h，頭部とヘッドレストの初期のクリアランス δ_h が存在するものとする．

この時の車両の運動方程式は両車両間のばねに発生する力を F_T，合成した剛性を K_T として以下に示される．

$$M_1 \cdot \ddot{X}_1 = F_T \tag{2.74}$$

$$M_2 \cdot \ddot{X}_2 = -F_T \tag{2.75}$$

ここで，

$$F_T = -K_T(X_1 - X_2) \tag{2.76}$$

$$K_T = \frac{K_1 K_2}{K_1 + K_2} \tag{2.77}$$

とする．前面衝突と同様に，X_2 を消去して X_1 に関する式を求めると，

$$\dddot{X}_1 + \omega_T^2 \cdot \ddot{X}_1 = 0 \tag{2.78}$$

$$\omega_T = \sqrt{\frac{K_T}{M_T}} \tag{2.79}$$

ここで，

$$M_T = \frac{M_1 M_2}{M_1 + M_2} \tag{2.80}$$

と表すことができ，車両に関しては前面衝突と同じように表記される．

したがって，初期条件として，衝突時 $t = 0$ の車両 1，2 の速度を V_{10}，V_{20} とするした場合，X_1，X_2 は同様に以下のように求められる．

$$X_1 = \frac{M_2(V_{10} - V_{20})}{\omega_T(M_1 + M_2)} \cdot \sin(\omega_T \cdot t) + \frac{M_1 V_{10} + M_2 V_{20}}{M_1 + M_2} \cdot t \tag{2.81}$$

$$X_2 = -\frac{M_1(V_{10} - V_{20})}{\omega_T(M_1 + M_2)} \cdot \sin(\omega_T \cdot t) + \frac{M_1 V_{10} + M_2 V_{20}}{M_1 + M_2} \cdot t \tag{2.82}$$

また，車両間の力のやり取りがなくなる車両 1 と車両 2 の速度が同じ時刻を t_1 は以下のようなる．

$$t_1 = \frac{\pi}{2\omega_T} \tag{2.83}$$

反発係数を 0 としたので，$t \geq t_1$ では車両 1 と車両 2 は等速度運動となる．

次に，車両 1 の乗員における乗員体幹部と乗員頭部の運動方程式を考える．頭部がヘッドレストに接触する時刻 t_{h0} までは，頭部には外力が働かないため等速運動をする．この時間域 $0 \leq t \leq t_{h0}$ での乗員頭部の加速度，速度，変位は次のようになる．

$$\ddot{x_h} = 0 \tag{2.84}$$

$$\dot{x_h} = V_{10} \tag{2.85}$$

$$x_h = V_{10} \cdot t \tag{2.86}$$

$t \geq t_{h0}$ では，乗員頭部はばねから力を受けるため乗員頭部の運動方程式は以下のようになる．

$$m_h \ddot{x}_h = -k_h(x_h - X_1 + \delta_h) \tag{2.87}$$

式（2.87）を変形すると，

$$\ddot{x}_h = -\frac{k_h}{m_h}(x_h - X_1 + \delta_h) = -\omega_h^2(x_h - X_1 + \delta_h) \tag{2.88}$$

ここで，ω_h は，以下の式とする．

$$\omega_h = \sqrt{\frac{k_h}{m_h}} \tag{2.89}$$

一方，乗員体幹部の運動方程式は，初期よりばねから力を受けるため全時間帯で以下で表わされる．

$$m_p' \ddot{x}_p = -k_p(x_p - X_1) \tag{2.90}$$

式（2.90）を変形すると，

$$\ddot{x}_p = -\frac{k_p}{m_p'}(x_p - X_1) = -\omega_p^2(x_p - X_1) \tag{2.91}$$

ここで，ω_p は，以下の式とする．

$$\omega_p = \sqrt{\frac{k_p}{m_p'}} \tag{2.92}$$

乗員頭部および乗員体幹部の車両 1 に対する相対変位をそれぞれ $u_h(= x_h - X_1)$，$u_p(= x_p - X_1)$ とおくと，

$$\begin{aligned} \dot{u}_h &= \dot{x}_h - \dot{X}_1 \\ \ddot{u}_h &= \ddot{x}_h - \ddot{X}_1 \end{aligned} \tag{2.93}$$

$$\begin{aligned} \dot{u}_p &= \dot{x}_p - \dot{X}_1 \\ \ddot{u}_p &= \ddot{x}_p - \ddot{X}_1 \end{aligned} \tag{2.94}$$

となるので，式 (2.88)，式 (2.91) は以下のように表される．

$$\ddot{u}_h + \omega_h^2(u_h + \delta_h) = -\ddot{X}_1 \tag{2.95}$$

$$\ddot{u}_p + \omega_p^2 \cdot u_p = -\ddot{X}_1 \tag{2.96}$$

ここで，乗員の体幹を支えるシートバック部と頭部を支えるヘッドレストはシートに一体となっているので，角振動数である ω_h，ω_p は等しい，すなわち以下の式が成り立つと仮定する．

$$\omega_p = \sqrt{\frac{k_p}{m'_p}} = \omega_h = \sqrt{\frac{k_h}{m_h}} \tag{2.97}$$

式（2.95），式（2.96）から $\ddot{X}_1$ を消去して以下のように表わされる．

$$\ddot{u}_h + \omega_h^2(u_h + \delta_h) = \ddot{u}_p + \omega_h^2 \cdot u_p \tag{2.98}$$

式（2.98）を整理すると，

$$(\ddot{u}_h - \ddot{u}_p) + \omega_h^2(u_h - u_p + \delta_h) = 0 \tag{2.99}$$

となり，ここでさらに $u_h - u_p = u_n$ とおくと，$\ddot{u}_n = \ddot{u}_h - \ddot{u}_p$ なので，式（2.99）は以下のようになる．

$$\ddot{u}_n + \omega_h^2(u_n + \delta_h) = 0 \tag{2.100}$$

ここで，後面衝突時の車両の加速度は，前面衝突時と同様に（図 2-3），近似的に衝突時（$t = 0$）の速度 V_{10} から車両 1 と車両 2 の速度が同じとなる時刻 t_1 の時の速度 V_{11} まで一定とみなすと，この時間域の車両 1 の平均加速度 $\bar{c_1}$ は速度変化を ΔV_1 とした場合，以下で表される．

$$\bar{c_1} = \frac{V_{11} - V_{10}}{t_1} = \frac{\Delta V_1}{t_1} \tag{2.101}$$

式（2.101）に車両の運動から求めた式（2.83）を代入すると，$\bar{c_1}$ は以下と表される．

$$\bar{c_1} = \frac{2\omega_T \cdot \Delta V_1}{\pi} \tag{2.102}$$

さて，式（2.100）の解は一般解と特殊解とからなり，次のようにおくことができる．

$$u_n = A_3 \sin \omega_h(t - t_{h0}) + B_3 \cos \omega_h(t - t_{h0}) - \delta_h \tag{2.103}$$

初期値として，頭部がヘッドレストに接触する時刻 $t = t_0$ での以下の値を代入し，

$$u_n = \delta_h \tag{2.104}$$

$$\dot{u_n} = \dot{u_h} - \dot{u_p} = \bar{c_1} \cdot t_{h0} \tag{2.105}$$

定数 A_3，B_3 を求めると以下となる．

$$A_3 = \frac{\bar{c_1} t_{h0}}{\omega_h} \tag{2.106}$$

$$B_3 = 2\delta_h \tag{2.107}$$

ここで，ヘッドレストから乗員頭部に力が働き始める時刻 t_{h0} は，車両 1 の平均加速度から以下のように表される．

$$t_{h0} = \sqrt{\frac{2\delta_h}{\bar{c_1}}} \tag{2.108}$$

乗員頭部と乗員体幹部の相対変位を表す u_n は以下と表わされる．

$$u_n = \frac{\bar{c_1} \cdot t_{h0}}{\omega_h} \sin \omega_h (t - t_{h0}) + 2\delta_h \cdot \cos \omega_p (t - t_{h0}) - \delta_h \tag{2.109}$$

乗員頭部と乗員体幹部の最大相対変位を求めるために，式（2.109）を以下のように書き直す．

$$u_n = \sqrt{(\frac{\bar{c_1} \cdot t_{h0}}{\omega_h})^2 + 4\delta_h^2} \cdot \sin\{(\omega_h (t - t_{h0}) + \phi\} - \delta_h \tag{2.110}$$

$$\phi = \tan^{-1}(\frac{2\omega_h \delta_h}{\bar{c_1} \cdot t_{h0}}) \tag{2.111}$$

したがって，乗員頭部と乗員体幹部の相対変位の最大値とその発生時刻 t_m は以下の式で表される．

$$|u_n|_{max} = \sqrt{(\frac{\bar{c_1} \cdot t_{h0}}{\omega_h})^2 + 4\delta_h^2} \tag{2.112}$$

$$t_m = \frac{\pi/2 - \phi}{\omega_h} + t_{h0} = \frac{\pi/2 - \tan^{-1}(2\omega_h \delta_h / \bar{c_1} \cdot t_{h0})}{\omega_h} + t_{h0} \tag{2.113}$$

式（2.102），式（2.108）を式（2.112）に代入すると，

$$|u_n|_{max} = 2\sqrt{E_1 \cdot \Delta V_1 + E_2} \tag{2.114}$$

ここで，E_1，E_2 は以下とする．

$$E_1 = \frac{\delta_h}{\pi} \cdot (\frac{\omega_T}{\omega_h}) \tag{2.115}$$

$$E_2 = \delta_h^2 \tag{2.116}$$

式（2.114），式（2.115），式（2.116）を確認すると，乗員の傷害程度を代表する乗員頭部と乗員体幹部の相対変位は，車両の ΔV_1，$\omega_T (= \sqrt{K_T / M_T})$，$\omega_h (= \omega_p = \sqrt{k_p / m_p'})$，および δ_h の影響を受けていることが分かる．

2.5　乗員傷害の影響因子の推定

前節の 1 次元衝突モデルを用いた検討から，各衝突形態において自動車衝突時の乗員傷害に影響を及ぼす因子を示すことができた。これらの因子について衝突形態別に整理した結果を表 2-3 に示す．表 2-3 において，傷害指標を直接構成する因子を第 1 因子とし，その第 1 因子が構成されている因子を第 2 因子，さらに，これら第 1 因子，第 2 因子に関連する因子を第 3 因子として分類した．

この結果から，乗員傷害に影響が考えられる因子は，衝突前後の速度変化 ΔV，衝突車両間のマスバネ系による角振動数 ω_T，乗員を拘束するマスバネ系による角振動数 ω_p，ω_h および拘束装置等の初期クリアランス δ_b，δ_h に分類される．これらの分類により，関連する交通事故データの項目を整理した．その結果を表 2-4 に示す．

Table. 2-3: Factors influencing occupant injuries for each crash type

Crash type	First factor	Second factor	Third factor
Frontal	ΔV_1	V_{10}	V_{20}, M_1, M_2, EBS [a)]
	ω_T	K_T	K_1, K_2
		M_T	M_1, M_2
	ω_p	k_p	
		m_p	Occupant's attributes
	δ_b		Seat belt, Airbag
Nearside	$\Delta V_{side,1}$	$V_{side,10}$	$V_{side,20}, M_1, M_2$, EBS
	ω_p	k_p	
		m_p	Occupant's attributes
	ω_T	K_T	K_1, K_2
		M_T	M_1, M_2
	ω_1	K_1, M_1	
	K_2		
	K_T	K_1, K_2	
	M_T	M_1, M_2	
Rear	ΔV_1	V_{10}	V_{20}, M_1, M_2, EBS
	ω_T	K_T	K_1, K_2
		M_T	M_1, M_2
	ω_h	k_h	
		m_h	m_p, Occupant's attributes
	δ_h		Seat, Head rest

[a)] EBS:Equivalent Barrier Collision Speed

Table. 2-4: Factors related to accident data for each crash type

Classification		Factors	Factor for crash type [a)]		
			Frontal	Nearside	Rear
ΔV	Objective vehicle	ΔV	●	●	●
		Impact speed	○	○	○
		EBS	△	△	△
	Striking vehicle	Impact speed	△	△	△
ω_T	Objective vehicle	Vehicle category	△	△	△
		Vehicle registration year	△	△	△
		Vehicle curb weight	△	○	△
		Damage grade	△	△	△
		Extent of damage, CDC code	△	△	△
		Lap zone-horizontal, CDC code	△	△	△
		Lap zone-vertical, CDC code	△	△	△
	Striking vehicle	Vehicle curb weight	△	○	△
ω_p	Occupant's attributes	Occupant's gender	△	△	△
		Occupant's age	△	△	△
		Occupant's height	△	△	△
		Occupant's weight	○	○	○
		Occupant's BMI	△	△	△
	Restraint system	Seat belt use	●	△	△
		Air bag deployment	△	△	—
δ_b, δ_h	Initial clearance	Seat belt slack	●	—	—
		Head rest clearance	—	—	●
Others	Accident type	Crash direction	●	●	●
		Collision object	△	△	△
		Multiple impact	△	△	△
		Rollover	△	△	△

[a)] ●:Related to first factor，○:Related to second factor，△:Related to third factor

ここで，分類項目にはその他の項目として事故状況を示す項目を追加した．各因子の関連性として，第 1 因子の項目には●，第 2 因子の項目は○，第 3 因子およびその他関連する項目は△と表記した．第 2 因子までの項目を見ると，前面衝突に関しては，ΔV，衝突速度，乗員の質量，シートベルトの着用有無，およびシートベルトのスラックが挙げられる．側面衝突に関しては，ΔV，衝突速度，車両の質量，相手車両の質量，および乗員の質量が挙げられる．また，後面衝突に関しては，ΔV，衝突速度，車両の質量，乗員の質量，およびヘッドレストと頭部の初期クリアランスが挙げられる．以降の章で検討する各衝突形態別の分析では，表 2-4 の関係を基本として，乗員傷害程度に関連する因子の初期選定を行う．ここで，各衝突形態について収集データの分布確認を行い，後述する各因子のオッズ比が事故事例数の変化で 5 %以下となるような区分（概ね各カテゴリーの事故事例数が 20 以上）で求められるように，適切なカテゴリー化を図る．

参考として，前面衝突時の乗員傷害の影響因子に関して，これまでの知見，参考文献をもとに特性要因図を用いて整理した結果を図 2-6 に示す．特性要因図にて影響を及ぼすと考えられる因子は，1 次元衝突モデルを用いて選定した影響因子に含まれている（図中の下線のある因子）．したがって，因子の初期選定において，前述で求めた表 2-4 の結果が妥当であると判断する．ただし，本 1 次元衝突モデルでは考慮できていない因子がある．侵入量や STRG 変形などの車体変形や，車外放出，閉じ込めなどの特殊事故形態は，本モデルでは表現できていないため，その影響については留意しておく必要がある．

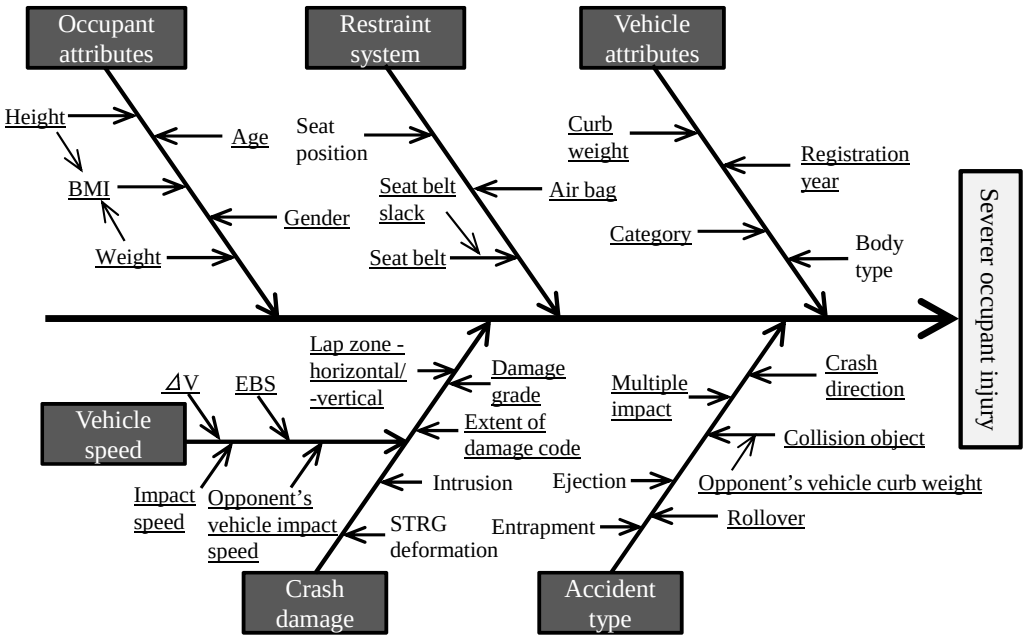


Fig. 2-6: Cause and effect diagram in frontal crashes (Factors which are selected by one-dimensional models are underlined.)

2.6 順序ロジスティック回帰モデルを用いた乗員傷害予測手法

本研究において乗員の傷害予測に用いた回帰モデルについて説明する．回帰モデルの選定には，事故時の傷害リスクを評価でき，その予測外れの評価が明確にできることを考慮する．

2.6.1 ロジットモデル

多変量のデータを用いてある目的変数 object variable（従属変数 dependent variable ともいわれる）を複数の説明変数 explanatory variable （独立変数 independent variable ともいわれる）の影響度合いを解析し，その関係式を求める手法として，一般的に重回帰分析 multiple regression analysis が挙げられる．この場合，各変数の条件として，

- 目的変数は一つ．説明変数は複数あって良い．
- 目的変数，説明変数は共に量的変数である．
- 予測値と実測値の誤差が平均 0，分散 1 の正規分布に従わなければならない．
- 目的変数，説明変数は共にすべて正規分布に従うことが望ましい．

が挙げられ [70]，目的変数を y とした重回帰モデルとして以下の式が与えられる．

$$y = a + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \cdots + b_p x_p \tag{2.117}$$

ここで，a は定数項，b_i は説明変数 x_i に対する偏回帰係数を表し，実測値と予測値の相関が最大となるように最小 2 乗法を用いて求める．実際の適用に際しては，前述の条件は難しい場合もあるため，実用上は説明変数は量的変数だけではなく，3 段階以上の順序尺度変数への適用や，質的変数の二値変数を 0 または 1 に変換したダミー変数に適用する場合がある．

式（2.117）を確認すると，目的変数はすべて各説明変数の 1 次線形式で表現され，量的な変数として求められる特徴を持つモデルである．本研究で取り扱う交通事故時の乗員傷害程度は，2.3 節で述べたように，死亡，重傷，軽傷の評価や 6 段階の AIS コード評価などの順序尺度変数による評価となっている．また，説明変数となる各影響因子（表 2-4）は，順序尺度変数や名義尺度変数が含まれている．また，各変数も正規分布から偏っている場合が多い．このような場合の回帰分析に適するモデルの一つとして，多重ロジスティック回帰モデルがある．このモデルの条件としては，

- 目的変数は一つ．説明変数は複数あって良い．
- 目的変数は 0–1 型の名義尺度変数か順序尺度変数である．
- 説明変数はどのような尺度のデータでも良く，正規分布に従う必要はない．

が挙げられる [70]．この多重ロジスティック回帰モデルでは，目的変数は 0–1 型の二値変数であり，“ 0 ”に対して“ 1 ”の起こる確率を P を考える．図 2-7 にこのモデル化の考え方を示す．

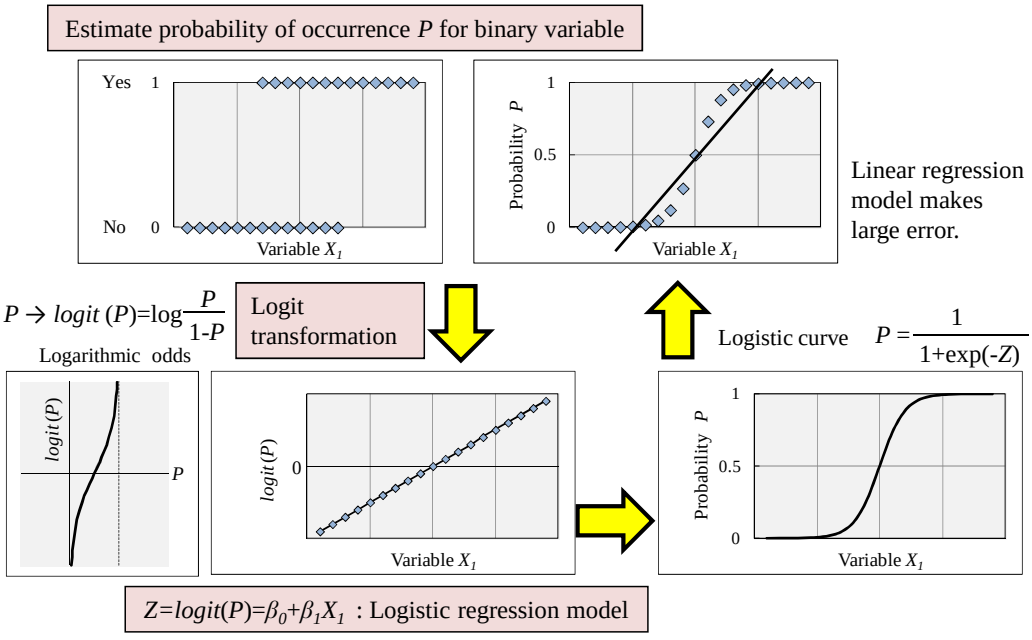


Fig. 2-7: Logit model

図 2-7 に示すように，ある変数 x_1 に対して事象が起きる場合“ 1 ”と起きない場合“ 0 ”が分布し，起きる確率 P が表わされるとする．この場合，重回帰モデルの線形回帰では問題がある。そこで，この確率 P に対して以下の変換を考える．

$$Z = logit(P) = \log \frac{P}{1-P} \tag{2.118}$$

この $P/(1-P)$ をオッズ（odds）と呼び，この変換はロジット（logit）変換と呼ばれる．ロジット変換を行うことにより，確率 P は線形に近い形で変換することができ，この Z について以下の線形回帰を行う．

$$Z = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \cdots + \beta_p x_p \tag{2.119}$$

ここで，β_0 は定数項，β_i は各説明変数 x_i に対する回帰係数を示す．これらの係数は最尤法を用いて算出する．

さらに，このロジットを逆に確率 P に戻すと，もとの確率 P を表わす関係に近い形を表現することができる．この曲線をロジスティック曲線と呼び，以下の式で表わされる．

$$P = \frac{1}{1 + exp(-Z)} \tag{2.120}$$

式（2.119）を確認すると，各因子について対数オッズが線形回帰されている形である．回帰係数は，各因子の値における起きる確率を起きない確率で割ったオッズの比を示している．このモデルを用いる場合，評価変数の数値とそれに対するオッズ比の自然対数（対数オッズ比）が直線関係であることが前提になっている [32]．医薬の効果評価などの医学分野の研究に多く採用されているモデルであり，交通事故時の傷害リスクの評価を確率として表わすことができる考えやすいモデルである．乗員傷害予測に関する先行研究では，重症以上であると重症でないを二値とした形で研究に用いられ，重症以上となる確率：重症確率で評価されている [40, 41].

2.6.2 順序ロジスティック回帰モデル

一般的な多重ロジスティック回帰モデルでは，目的変数は 0–1 型の二値変数を扱うモデルである．本研究では，事故データから乗員の傷害予測式の構築を図ることに加えて，その予測から大きく外れる事故の抽出に着目している．さらに，傷害指標は 2.3 節で述べた MAIS を用いるため，6 段階の順序尺度変数による傷害評価がされている．そこで，MAIS の予測残差にて予測外れ事故の評価ができるように考え，目的変数を順序尺度変数で取扱う順序ロジスティック回帰モデル（order logit regression model，順序ロジットモデルともいわれる）を採用することにした．

順序ロジスティック回帰モデルは，順序カテゴリー Y が Y_j 以下になる推定確率を $P(Y \leq Y_j)$ とした場合，以下と表わされる．

$$logit\{P(Y \leq Y_j)\} = \log \frac{P(Y \leq Y_j)}{1 - P(Y \leq Y_j)} \tag{2.121}$$

$$= \alpha_j - \sum_{i=1}^{l} \beta_i \cdot x_i \tag{2.122}$$

ここで，x_i は説明変数，α_j はカテゴリー Y_j での閾値，β_i は説明変数に対する推定した回帰係数，l は説明変数の数を示す．これら閾値，回帰係数は最尤法を用いて算出され，推定される目的変数のカテゴリー $\hat{Y}$ は推定確率の最も高いカテゴリーとする．多重ロジスティック回帰モデルと基本的な構成は類似しているが，順序尺度変数のカテゴリーを確率だけではなく直接推定できることが利点である．また，一部の群に属するデータが少ない場合でも，全体の最適化が図りやすいモデルと考える．ただし，各変数に対する回帰係数は，目的変数の各カテゴリーにおいて共通となっており，各カテゴリー間において各変数の寄与が大きく異なる場合は，誤差が大きくなってしまうモデルである．

なお，本研究では，順序ロジスティック回帰分析の統計解析プログラムとして，SPSS ver.19(IBM) の PLUM（順序回帰分析）パッケージを用いた．

2.6.3　多重共線性確認による説明変数の縮約

多変量回帰分析を行う場合，説明変数はお互いに独立であることが前提である．説明変数間の相関関係を多重共線性（multicollinearity）と呼び，回帰分析を行う前にこの確認を行い，多重共線性の高い場合は，適切な処理をすることが精度上重要である．多重共線性の高くなる場合として，変数間の相関が高い場合や説明変数の個数が標本の大きさ n に比べて大きい場合が考えられる．標本の大きさ n に関しては十分大きいことが好ましいが，実用的には n は限られてしまう場合が多い．必要とされる標本の大きさは様々推奨されているが，本研究では目安として，対馬が推奨している標本数は評価変数の 10 倍以上を考えた [70]．また，変数間の相関に関しては，量的変数に関しては Pearson の相関係数を用い，順序尺度変数，名義尺度変数に関しては Spearman の順位相関係数を用いた相関行列表にて確認する．各変数間の相関係数 r が，

$$|r| > 0.5 \tag{2.123}$$

かつ，目的変数との相関の有意確率が，

$$p > 0.5 \tag{2.124}$$

となる変数に関しては，事前解析の段階で基本的に除外する．

2.6.4　変数の選択と *AIC* 基準

回帰分析の事前解析にて説明変数を適正に絞り込んだ上で，それらの説明変数を用いて順序ロジスティック回帰分析を行う．最適なモデルを選択するにあたり，変数の選択は有意な変数の見落としがないように考え，変数減少法を用いた．その際に，以下に示す赤池の情報量規準 *AIC*（Akaike's Information Criterion）を確認しながら，Wald 検定による各変数の有意水準が $p < 0.05$ から大きく外れる変数を順に削減した．

$$AIC = -2 \log L + 2(k + l - 1) \tag{2.125}$$

ここで，L は最大尤度，k はカテゴリー数（MAIS の場合は 6 カテゴリー），l は説明変数の数を示す．有意となる変数のみで *AIC* が低くなる変数の組み合わせのものを最適なモデルとした．また，モデルの精度指標として，以下で定義する指標を用いる（表 2-5）．

- 的中精度：推定値が観測値に一致する割合を示す．
- 死亡重症判定的中率：$= (a + d)/(a + b + c + d)$ を示し，傷害予測に関しては死亡または重症とそれ以外を判別することが重要な視点であり，死亡重症の推定が観測値と一致している割合を示す．
- 感度（sensitivity）：$= a/(a + c)$ を示し，重症の人を重症と予測する割合を示す．
- 特異度（specificity）：$= d/(b + d)$ を示し，重症でない人を重症でないと予測する割合を示す．

Table. 2-5: Definition of sensitivity and specificity

	Injury severity	
Prediction	Severe	Not severe
Severe	a	b
Not severe	c	d

Sensitivity = $\frac{a}{a+c}$
Specificity = $\frac{d}{b+d}$
Rate of undertriage = $\frac{c}{a+c}$
Rate of overtriage = $\frac{b}{b+d}$

2.7 ITARDA マクロデータを用いた検証手法

日本の ITARDA ミクロデータを用いた分析は，調査エリアや事故事例数の制約を受けているため，分析されたデータにはバイアスの懸案がある．その懸念を検証するために，日本の交通死傷事故全件が登録されている ITARDA マクロデータを用いて検証を行う．ただし，ITARDA マクロデータでは，ITARDA ミクロデータのように詳細の事故情報がない項目があるため，いくつかの置換えが必要となる．重要な項目として，ΔV，衝突方向，傷害程度がある．それぞれの置換えに関する考え方を記しておく．

2.7.1 ΔV 解析手法と擬似 ΔV

衝突時の ΔV は事故解析から求められる．衝突前後の速度，衝突方向および車両変形の情報から運動量保存＋運動エネルギー保存則から求める方法が簡易的で用いられている場合が多い [71]．また詳細分析では，衝突シミュレーションである，PC-CRASH [72]，CARS [73]，Win SMASH [74] などが用いられている．ITARDA ミクロデータによる ΔV の解析では，運動量保存＋運動エネルギー保存則から求めており，検証が必要な場合は，CARS や PC-CRASH が用いられている．運動量保存＋運動エネルギー保存則から求める手法は，図 2-8 に示すような衝突前後の速度，速度方向を 2 次元的に考慮して，以下の連立式を用いて求める．

$$M_1 V_{10} + M_2 V_{20} \cos\alpha_2 = M_1 V_{11} \cos\beta_1 + M_2 V_{21} \cos\beta_2 \tag{2.126}$$

$$M_2 V_{20} \sin\alpha_2 = M_1 V_{11} \sin\beta_1 + M_2 V_{21} \sin\beta_2 \tag{2.127}$$

$$\frac{1}{2} M_1 V_{10}^2 + \frac{1}{2} M_2 V_{20}^2 = \frac{1}{2} M_1 V_{11}^2 + \frac{1}{2} M_2 V_{21}^2 + \frac{1}{2} M_1 V_{b1}^2 + \frac{1}{2} M_2 V_{b2}^2 \tag{2.128}$$

ここで，各車両の衝突速度 V_{10}，V_{20} は，路面の摩擦係数 μ，重力加速後 g，衝突後の移動距離 L_1，L_2 を考慮した以下の式で求め，

$$V_{10} = \sqrt{2g \cdot \mu \cdot L_1} \tag{2.129}$$

$$V_{20} = \sqrt{2g \cdot \mu \cdot L_2} \tag{2.130}$$

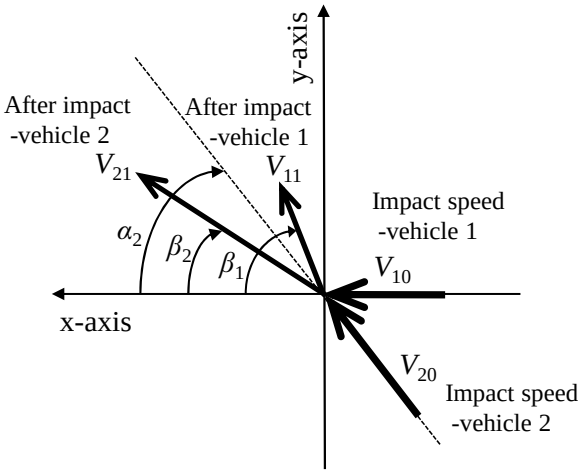


Fig. 2-8: Relation of each velocity in crashes

V_{b1}，V_{b2} は各車両のバリア換算速度を示し，あらかじめ求められている衝突面を細分化した荷重–変位特性を用いて衝突エネルギーを求め，剛体バリアへ衝突した場合の等価速度として換算する．

一方，ITARDA マクロデータでは，この ΔV は解析されていない．しかし換算として，以下の仮定をおいた表 2-6 に示す手法で疑似 ΔV が計算されている [75, 76].

仮定：

- 衝突速度は危険認知した時の速度から減速しない．
- 衝突を跳ね返り係数が 0 の質点運動とする．

この仮定をもとに計算された疑似 ΔV は実際解析された ΔV と相関が高いと報告されている [64]．本研究の ITARDA マクロデータによる乗員傷害予測の検証において，ITARDA マクロデータの ΔV はこの疑似 ΔV を用いる．ただし，精度上の課題もあるため，改善検討が進められている状況にあることは留意しておく必要がある [75, 76].

Table. 2-6: Definition of $Pseudo-\Delta V$

Type of accidents	Definition [a)]
Head-on collision	$Pseudo-\Delta V_1 = \frac{M_2}{M_1+M_2} \cdot (V_{h1}+V_{h2})$
Structure collision	$Pseudo-\Delta V_1 = V_{h1}$
Side impact collision	$Pseudo-\Delta V_1 = \frac{M_2}{M_1+M_2} \cdot V_{h2}$
Rear impact collision	$Pseudo-\Delta V_1 = \frac{M_2}{M_1+M_2} \cdot (V_{h1}-V_{h2})$

[a)] V_h: Vehicle hazard recognition speed
M: Vehicle curb weight
Subscript 1: Calculated vehicle, 2: Opponent vehicle

2.7.2 車両の衝突部位

衝突車両の衝突方向・部位は，図 2-9 に示す SAEJ224 に準じた分類の CDC（Collision Deformation Classification）によるコードで分類され評価されている．このコードによる分類により，前面衝突，側面衝突，後面衝突の区別が一意的に確定できる．また，衝突変形部位の分類もされているため，衝突車両の変形特徴を把握し，比較することが容易となっている．ITARDA ミクロデータでの分析では，本手法による分類評価がされているため，ITARDA ミクロデータを用いた回帰分析にもこの評価項目を考慮する．しかし，ITARDA マクロデータでは，この手法による評価はされていない．ITARDA マクロデータでは，車両の衝突の部位に対しては 8 区分の評価がされている [77]．その内容を図 2-10 に示す．したがって，ITARDA ミクロデータと ITARDA マクロデータとの比較検証では，表 2-7 に示す対比関係を仮定して比較する．

Table. 2-7: Impact direction of CDC code vs ITARDA Macro Data

Crash type	CDC code		ITARDA Macro Data
	Deformation ares	Impact direction	(See in figure 2-10)
Frontal	F	11,12,01	⑧, ①, ⑤
Nearside	R	02,03,04	②
Farside	L	08,09,10	④
Rear	B	05,06,07	⑥, ③, ⑦

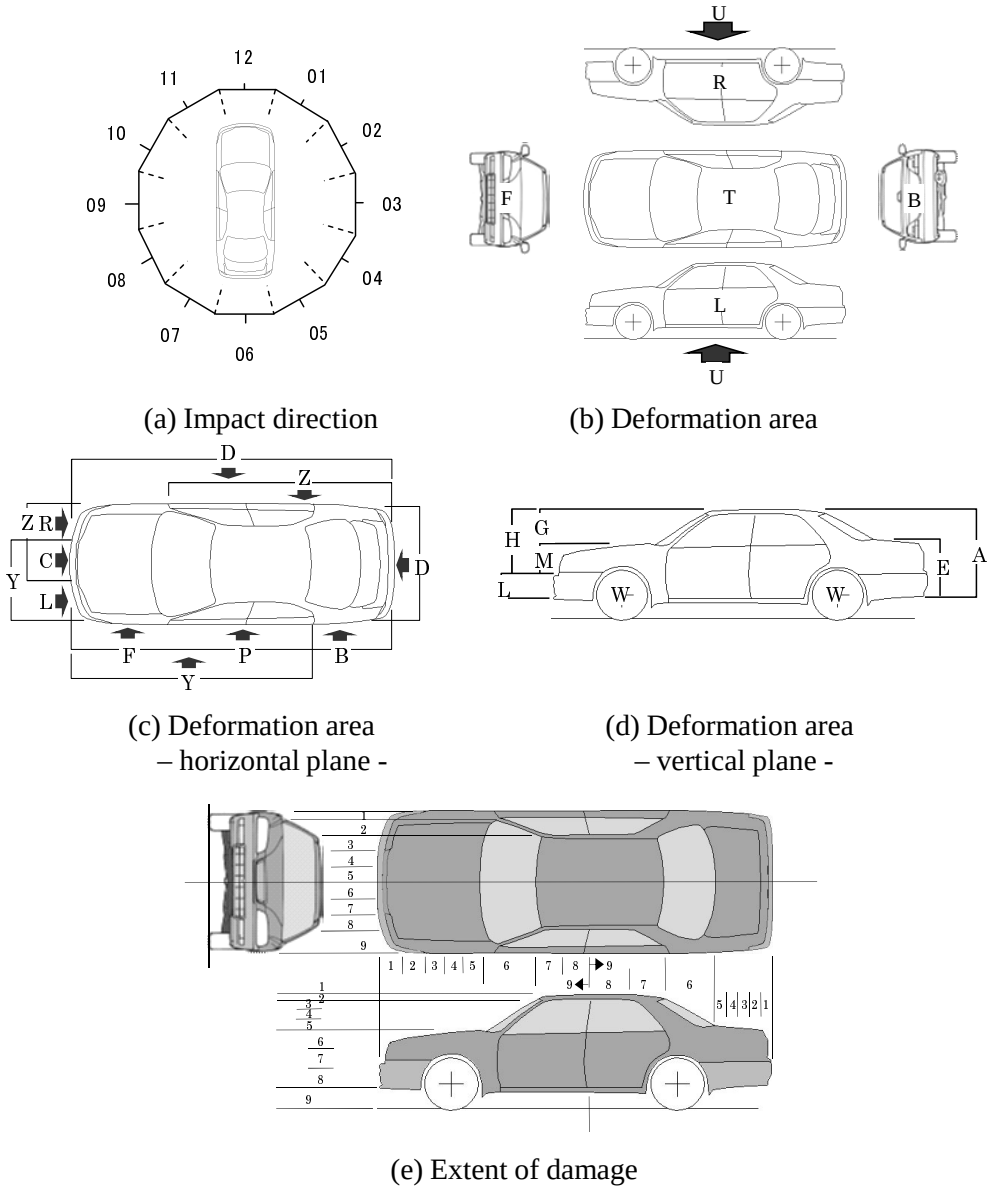
2.7.3 車両の損壊程度

衝突時の車両の外面的損壊に関しては，ITARDA マクロデータでは車両の損壊程度として評価されている．これは表 2-8 に示すように，車両の損壊程度を損壊なしを含めて 4 段階の指標で評価されたものである [77]．ITARDA ミクロデータにおいてもこの記録はされているので、同一水準でも比較評価は可能である．しかし，この指標は国内の事故データ固有の指標であり，米国事故データ等との比較はできない．一般的には，2.7.2 項で述べた CDC コードの車体破損コードで評価されている．そこで，日本の事故データで用いられている車両の損壊程度と CDC コードの車体破損コードの比較について，ITARDA ミクロデータを用いて分析した．その結果を図 2-11 に示す．

図 2-11 から車両の損壊程度が大きいほど（大破ほど），車体破損コードは大きくなる関係があり，大きく関連していることが分かる．ただし，衝突形態に関しては，多少相違が見られる．側面衝突の方が，車両の損壊程度 : 大破における CDC コードの値がやや小さい傾向にある．これは，車両の機能損失の観点で評価する車両の損壊程度と，車両の変形区分で評価する車体破損コードとの関係が，変形面によって異なるためと考える．比較検討する場合は，この関係を考慮して行う必要がある．

2.7.4 人身損傷程度

乗員の傷害程度の評価に関しては，ITARDA ミクロデータを用いた回帰分析では MAIS を採用した．この要素の AIS コードによる傷害程度の評価は，ITARDA マクロデータでは評価されていない．ITARDA マクロデータでは，2.3 節で述べたように，警察で調査された治療に要する日数で分類した人身損傷程度（死亡/重傷/軽傷/無傷）が評価されている．



(a) Impact direction　(b) Deformation area

(c) Deformation area – horizontal plane -　(d) Deformation area – vertical plane -

(e) Extent of damage

Fig. 2-9: Definition of CDC code (SAEJ224)

この MAIS と人身損傷程度との関係を調査したところ，図 2-12 に示す関係が得られた．図 2-12 から，死亡の約 75 %は MAIS が 5 以上，重傷の約 80 %以上は MAIS が 3 以上の関係があることが分かる．したがって，本研究では表 2-9 に示す関係を仮定して，ITARDA ミクロデータと ITARDA マクロデータを比較検証を行う．ただし，この治療を要する日数で区別した人身損傷程度の評価に対しては，医学的観点で評価した AIS 等と一致できていないことが懸案されている．これに関しては，医学的情報がある（一般社団法人）日本救急医学会および（一般社団法人）日本外傷学会が実質上企画・運営する日本外傷データバンクと ITARDA マクロデータとの照合による分析が検討されており [3]，今後はこれらの活用も医学工学の連携に有効と考える．

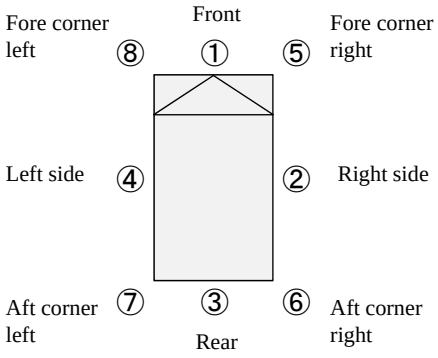
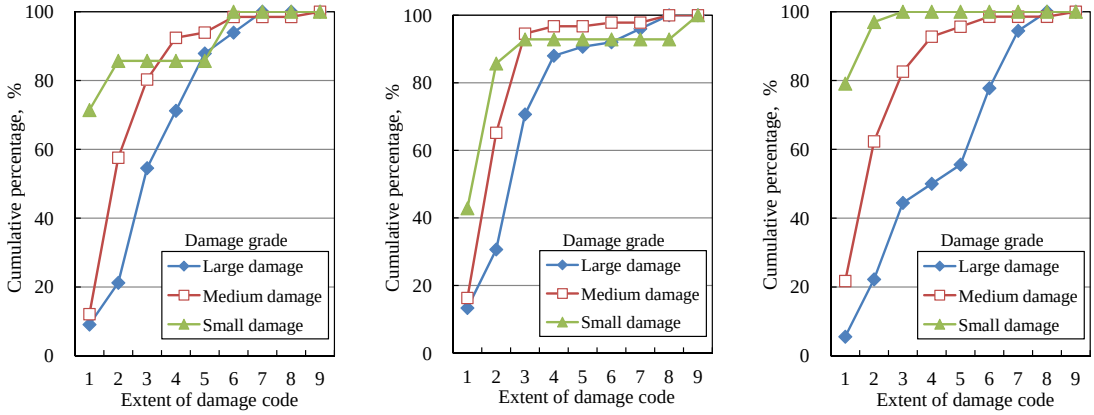


Fig. 2-10: Definition of impact position in ITARDA Macro Data [77]

Table. 2-8: Definition of damage grade in ITARDA Macro Data [77]

車両の損壊程度 Damage grade	定義 Definition
大破 (Large)	完全に車両としての機能をなくし，再生不能と判断される程度の損壊
中破 (Medium)	ラジエターまたはエンジンの分解修理，フロントガラス，ドアまたはフェンダーの取替え修理，または広範囲にわたる板金修理を必要とする程度の損傷
小破 (Small)	バックミラーまたは前照灯の取替え，ドアまたはフェンダー等車体の一部にわずかな擦過痕ができた程度の損壊
損壊なし (No damaged)	車体に損壊のない場合



(a) Frontal crashes (b) Side crashes (c) Rear crashes

Fig. 2-11: Comparison of damage grade vs extent of damage code

2.7.5 比較検証内容

前述した評価指標の差異を考慮した上で，ITARDA ミクロデータを用いた解析結果を ITARDA マクロデータ用いて比較検証する．検証内容は乗員傷害予測結果と予測外れ事故分析の観点から，以

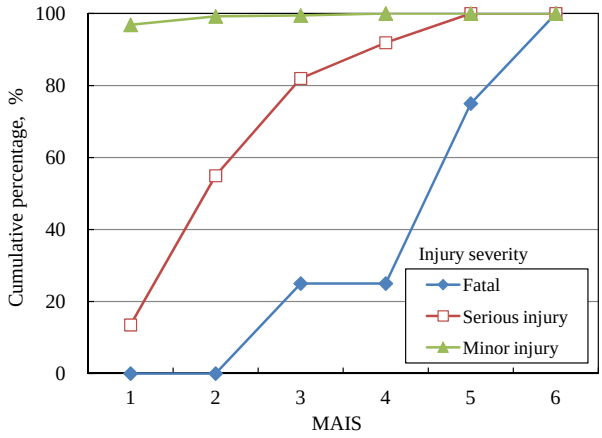


Fig. 2-12: Comparison of Injury severity vs MAIS

Table. 2-9: Definition of MAIS compared to Injury severity

MAIS	Injury severity in ITARDA Macro Data
1– 2	Minor injury
3– 4	Serious injury
5– 6	Fatal

下に示す分析内容を行う．

- 予測結果と ITARDA マクロデータによる致死率，重傷率および死亡重傷率の相関
- 各影響因子別の予測結果と ITARDA マクロデータによる死亡重傷率，死亡率，および重傷率の比較（特に感度の大きな因子として考えられる ΔV 別に比較する）

ここで，本研究で用いる ITARDA マクロデータによる致死率，重傷率，死亡重傷率は，事故に関与した車両の運転者である第 1 当事者と第 2 当事者を対象に，以下と定義する．

$$\text{致死率} = (\text{第 1 · 第 2 当事者死者数}) \,/\, (\text{第 1 · 第 2 当事者死傷者数}) \tag{2.131}$$

$$\text{重傷率} = (\text{第 1 · 第 2 当事者重傷者数}) \,/\, (\text{第 1 · 第 2 当事者死傷者数}) \tag{2.132}$$

$$\text{死亡重傷率} = (\text{第 1 · 第 2 当事者死亡重傷者数}) \,/\, (\text{第 1 · 第 2 当事者死傷者}) \tag{2.133}$$

ここで，第 1 当事者とは，当該交通事故において過失の重い方を示し，過失が同程度の場合は，人身損傷程度の軽い方を示す．その相手側の当事者が第 2 当事者となる．これら以外の乗員（同乗者および第 1，第 2 当事車両以外の車両の乗員）は，第 3 当事者と分類される．また，擬似 ΔV に関しては，5km/h の 2 区分おける合算で評価する．ただし、この区分では事故データ数が少なく致死率，重傷率等の算出には大きく誤差を伴うことが懸念されるため，原則，1 件の事故データの占める割合が 5 %を超える事故データ数 20 未満の条件の場合は，算出条件から除外する．

なお，以下では，ITARDA マクロデータをもとに分析した場合は「重傷」と表記し，傷害予測結果など MAIS をもとに分析した場合は「重症」と区別して表記した．

2.8 予測外れ事故の分析手法

求めた乗員に関する傷害予測式を用いて，予測外れ事故の分析を行うことは非常に重要である．予測外れ事故の状況の解析から，予測精度の改善に繋げられるだけでなく，さらに，これまでの分析では抽出できなかった新たな事故要因を明確にする糸口を見出すことができる．本研究で傷害指標として採用した MAIS は，6 段階の順序尺度変数で評価されており，予測残差の程度をより明確にすることができる利点がある．本研究では，その観測値と推測値の差を予測残差として分析を行う．

ここで具体的には，残差のレベルとして± 1 以内から外れる事故を予測外れの大きい事故と定義して，残差レベル別に過小評価事故（予測値が観測値を下回る）と過大評価事故（予測値が観測値を上回る）の特徴を分析する．例えば，傷害予測の判定として重要である重症 AIS=3 に対して，残差が 2 の場合は軽症 AIS=1 の予測となり，残差が-2 の場合は瀕死 AIS=5 の予測となり，傷害内容の様相が大きく異なる．このことを考慮して残差が± 1 以内から外れる場合を予測外れが大きいと設定した．

さらに，その予測外れの大きい事故の特徴を確かめるために，ITARDA マクロデータを用いて死亡重傷率などを分析し，その特徴の裏付けを図る．その際，死亡重傷率などの算出は各条件別に分割した，死者数，重傷者数，軽傷者数から算出する．ここで，この算出には死傷者総数の違いによる割合の誤差が考えられる．そこで，該当する割合 p_c に対しては，以下の式を用いた 95 %信頼性信頼性区間を考慮した比較を行い差異を判断する [78].

$$p_c \pm 1.96\sqrt{\frac{p_c(1-p_c)}{n_c}} \tag{2.134}$$

ここで，n_c は分析した条件における死傷者総数を示す．なお，抽出された予測外れの大きい事故の傷害発生メカニズムは，予測残差の違いに着目してそれぞれの事故を詳細に比較分析し，その解明を図る．この分析手法については，それぞれの章にて説明する．

2.9 結言

本章では，本研究で実施する日本の事故データを用いた自動車乗員における傷害予測手法の分析の流れとその手法について述べた．さらに，その乗員傷害予測手法の検証手法，予測から外れる事故の解析手法を示し，乗員傷害予測精度の改善および今後の衝突被害軽減に向けた重要課題を抽出する分析手法を提示した．得られた主な内容を以下に示す．

(1) 車両と乗員に関する 1 次元衝突モデルによる検討により，各衝突形態別に乗員傷害に影響する因子の抽出し，候補となる事故データ項目を選定した．

(2) その結果，前面衝突時の乗員傷害に影響する因子として，ΔV，衝突速度，乗員の質量，シートベルト着用有無およびシートベルトスラックが推定された．

(3) 側面衝突時の乗員傷害に影響する因子として，ΔV，衝突速度，車両の質量，相手車両の質量および乗員の質量が推定された．

(4) 後面衝突時の乗員傷害に影響する因子として，ΔV，衝突速度，乗員の質量およびヘッドレストと頭部の初期クリアランスが推定された．

(5) 日本の交通事故例である ITARDA ミクロデータを用いた予測外れの事故分析を行う上で，順序ロジスティック回帰分析が適切と判断し，6 段階の順序尺度変数である MAIS を乗員傷害指標とした定式化および分析手法を提示した．また，予測から外れる事故の分析手法を提示した．

(6) ITARDA ミクロデータを用いて分析した乗員傷害予測手法が妥当であることを検証するため，日本の死傷事故全件が登録されている ITARDA マクロデータと比較する手法を提示した．また，各因子条件別に求められる致死率，死亡重傷率などを比較することにより，得られた結果の妥当性を論じる手法を提示した．

第3章　前面衝突時の乗員傷害予測式とその影響因子

3.1　緒言

1.1 節にて，日本の前面衝突事故による死傷者は依然多い状況にあり，その代表的な事故類型である正面衝突，車両単独事故においては，他の事故類型に比べて死者数が特に多いことを示した．これは自車の衝突時の速度が他の衝突形態に比べて高くなる条件で発生することや，相手車両または衝突する構造物との衝突位置関係が複雑であることなどが考えられる．前面衝突の形態は，車両としての安全対策がこれまで様々に適用されている．法規や情報公開試験においても，その安全性の評価は当初から実施されており，代表的な衝突形態といえる．しかし，この前面衝突時の死傷者の低減はまだ十分とはいえない状況にある．今後の交通事故死傷者のさらなる削減に向けて，前面衝突時の自動車乗員に対する被害軽減策の構築は，重要な課題の一つである．そこでこの章では，前面衝突時の自動車乗員に対して，第 2 章で述べた分析手法を用いて，将来の日本版 AACN に向けての乗員傷害予測式の構築と，さらなる事故被害軽減に向けて重要課題となる事故形態の抽出を行った [79].

3.2　前面衝突事故の分析の対象

乗員傷害予測式の順序ロジスティック回帰分析に用いる ITARDA ミクロデータの分析対象を表 3-1 に示す．分析対象の事故形態は，2000～2009 年に発生した普通・軽乗用車の車両相互・車両単独の前面衝突とし，CDC コードにおける車両への入力方向が 11F，12F，01F の衝突形態を有し，調査結果の欠損の無い運転席 139 例を用いた．なお，ITARDA ミクロデータから収集した分析対象事故の一覧を付録 A に示す．

Table. 3-1: Sampling data for frontal collisions

Accident type	Year of occurence	CDC code	Vehicle type	Sampling number
H–on [a)]	2000–2009	11F, 12F, 01F	Kei-car [c)], Small or regular vehicle	49
f–SVC [b)]				90
Total				139

[a)] Head-on collision
[b)] Frontal single-vehicle collision
[c)] Light vehicle with an engine displacement of 660ml or less

3.3　説明変数の初期選定

乗員の傷害予測式を構成する説明変数の初期選定は、第 2 章で検討した車両と乗員の 1 次元衝突モデルから推定された乗員傷害の影響因子（表 2-4）をもとに行う．

前面衝突に関する第 1 因子，第 2 因子は全て選定する．ただし，シートベルトスラックに関しては，ITARDA ミクロデータでは明確な情報がないため除外し，ΔV，シートベルト着用有無，衝突速度，乗員の体重を選定する．第 3 因子については，ITARDA ミクロデータに調査項目があり，事故データにて差異がみられる項目は選定するが，変数総数が増加してしまうため，関連性のある項目は代表項目のみを選定した．その結果，ロールオーバー有無は前面衝突時の事故事例数が少ないため除外した．相手車両の質量および衝突速度は，衝突対象にて大型車などで区別し，自車の ΔV に反映されているとして除外した．初期選定として採用する変数は，表 3-2 に示す 18 変数とする．

Table. 3-2: Categories of factors for frontal collisions

Classification		Factors [a)]	Variable type [b)]	Categories
ΔV	●	ΔV, km/h	Q	
	◎	Impact speed, km/h	Q	
		EBS, km/h	Q	
ω_T		Vehicle category	C(2)	Kei-car / Small or Regular vehicle
		Vehicle registration year	OS(4)	≤ 1994 / 1995-1999 / 2000-2004 / ≥ 2005
		Vehicle curb weight, kg	OS(3)	<900/ <1300/≥ 1300
		Damage grade	C(2)	Small or Medium / Large
		Extent of damage, CDC code	OS(3)	1–2 / 3–4 / 5–9
		Lap zone-horizontal, CDC code	C(3)	R,L,C / Z,Y / D
ω_p		Occupant's gender	C(2)	Male / Female
		Occupant's age, yrs old	OS(3)	≤ 29/30-54/≥55
		Occupant's height, cm	OS(3)	<155/<170/≥170
	●	Occupant's weight, kg	OS(3)	<50/ <70/≥ 70
		Occupant's BMI	OS(3)	<19/<25/≥ 25
		Seat belt use	C(2)	Belted / Unbelted
		Air bag deployment	C(2)	Yes / No(include no air bag)
Others		Collision object	C(4)	Regular vehicle / Pole/ Structure / Heavy vehicle
		Multiple impact	C(2)	Yes / No

[a)] ●: 1st factors, ◎: 2nd factors
[b)] C:Categorical variable (number of categories)
OS: Ordinal scale variable (number of categories)
Q: Quantitative variable

3.4　順序ロジスティック回帰分析

3.4.1　オッズ比の確認と変数のカテゴリー化

ロジスティック回帰分析は独立変数の数値とそれに対する対数オッズ比が直線関係にあることを前提にしているため，選定した各変数に対して，対数オッズ比の確認を行った．対数オッズ比は，死亡重症の境目として AIS の定義上 AIS=3 が重症と定義されているためそれを区分にして確認した．その際，事故事例が多くないことも考慮して，カテゴリーの集約化も行った．表 3-2 にその区分を示す．さらに，図 3-1 から図 3-4 に，説明変数の対数オッズ比および MAIS3+と MAIS<3 の該当者数の関係を示す．

ΔV に関する因子としては，ΔV，衝突速度，バリア換算速度（EBS）がある．10km/h ごとに対数オッズ比を確認したところ，図 3-1 に示すように，速度の高い領域では事故データ数は少なめとな

るが，すべての因子にて，速度に対して比較的線形に対数オッズ比の上昇が認められる．したがって，これら ΔV に関する因子に対しては，カテゴリー化を行わず，そのまま量的変数として扱うことにした．

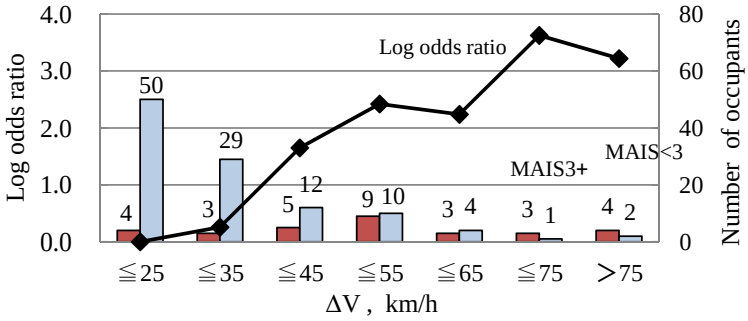
車両の情報である ω_T に関する因子について図 3-2 に示す．自車の車両種別は，軽乗用車と普通乗用車（小型乗用車を含む）に区分けした．登録年に関しては，1995 年から日本での自動車アセスメントが開始され，2000 年からオフセット前面衝突試験が追加されたことを考慮して、その前後を 4 区分にした．車両空車質量の区分は，軽，小型車および普通車の区別が概ね見られることも考慮し 3 区分とした．車両損壊程度に関しては，小破，中破，大破の 3 カテゴリーで事故調査分類されているが，今回の対象では小破の事例は少なく，また中破まではキャビンの変形がほとんどない損壊程度のため，小破と中破は同一カテゴリーとした．また，車両の損傷を示す CDC コードは，車体破損コードを 3 区分とし，車両水平面のラップゾーンに関しては，ラップ量別に 3 区分にした．なお，CDC コードには車両垂直面におけるラップゾーンも分類されている．これは，大型車との衝突で潜り込みが発生している場合などに差異が見られるが，先行研究（1.4 節）では取り挙げられておらず，また，以下に示す衝突対象にて大型車を区分しているため今回は取り挙げなかった．

乗員の属性や乗員の拘束性能に関連する ω_p に関する因子について図 3-3 に示す．乗員の性別を区分けし，年齢，身長，体重 BMI については，文献 [53, 55, 80] を参考とし，年齢は 30 歳と 55 歳，身長は 155cm と 170cm，体重は 50kg と 70kg，BMI は 19 と 25 でそれぞれ区分した．また，乗員の拘束性能は，シートベルト着用（2 点式シートベルト，3 点式シートベルトの区分けなし），非着用，エアバック展開，非展開（非展開にはエアバック仕様の無いものも含む）で区分けした．

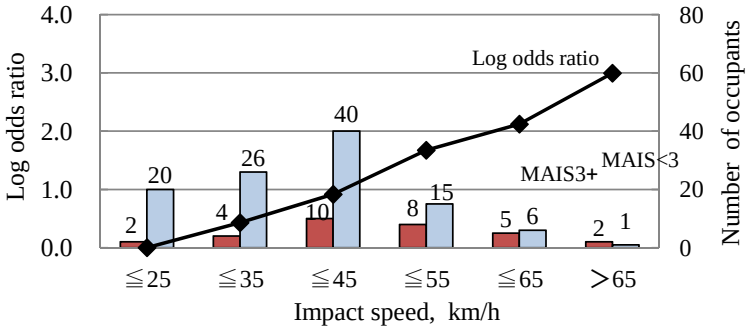
その他の衝突形態を示す因子について図 3-4 に示す．衝突対象は，普通車との衝突 (軽，小型車含む)，電柱等の衝突，その他工作物衝突及び大型車との衝突の 4 区分にした．また，多重衝突も有，無で区分した．

以上で区分した各因子について，基準に対して ± 1 の範囲を超える顕著なオッズ比の上昇，下降が確認できる因子は以下が挙げられた．これらの因子に関しては，因子選定の際に留意して分析を進める．

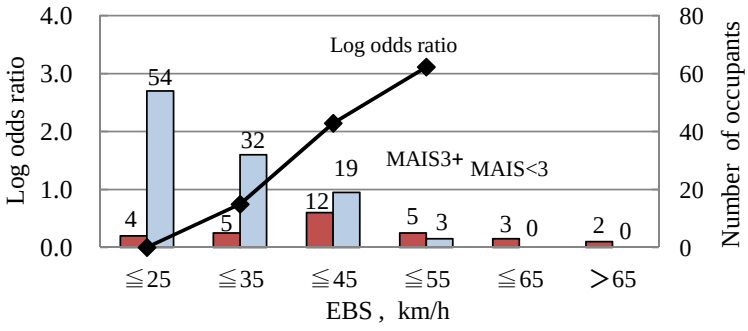
- ΔV，衝突速度，EBS
- 車両登録年，車両損壊程度，車体破損コード，車両水平面のラップゾーン
- BMI，シートベルト着用有無
- 衝突対象（電柱等の衝突，大型車との衝突）



(a) Δ*V*

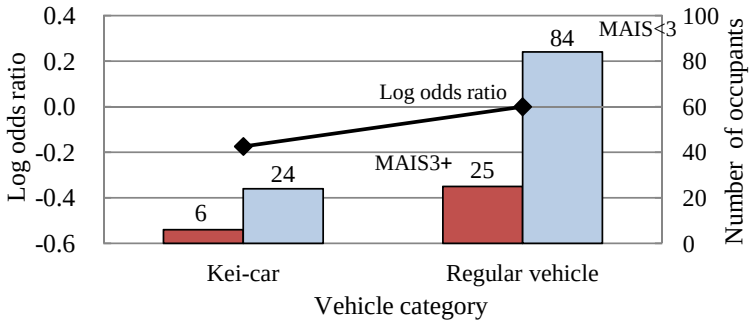


(b) Impact speed

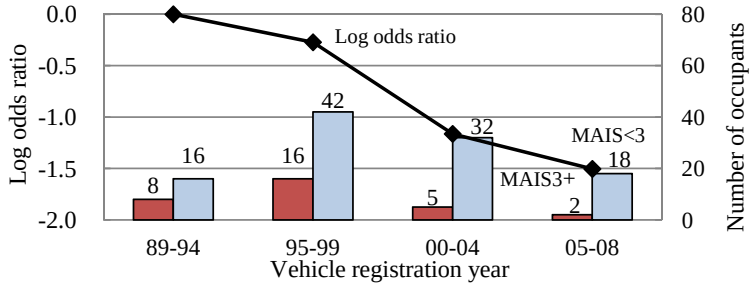


(c) EBS

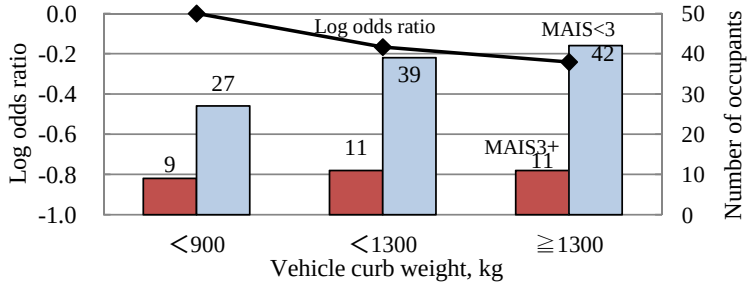
Fig. 3-1: Log odds ratio of variables and number of occupants for Δ*V*



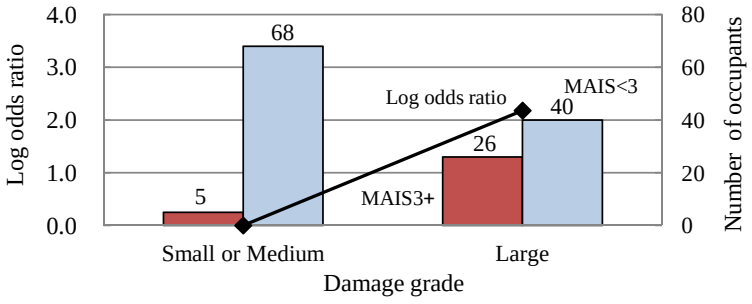
(a) Vehicle category



(b) Vehicle registration year

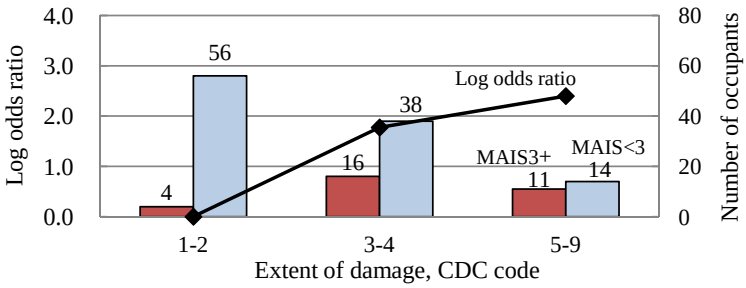


(c) Vehicle curb weight

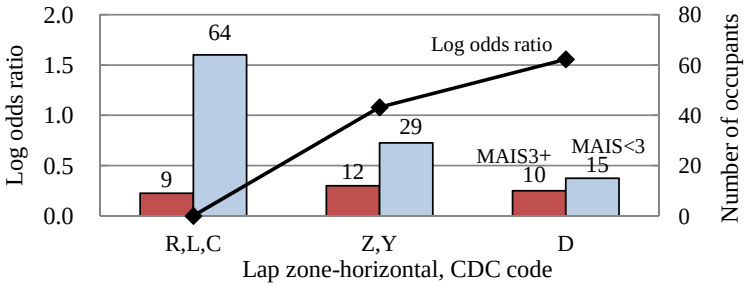


(d) Damage grade

Fig. 3-2: Log odds ratio of variables and number of occupants for ω_T

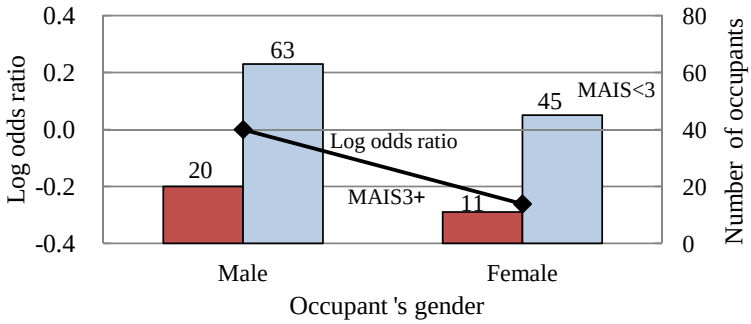


(e) Extent of damage, CDC code

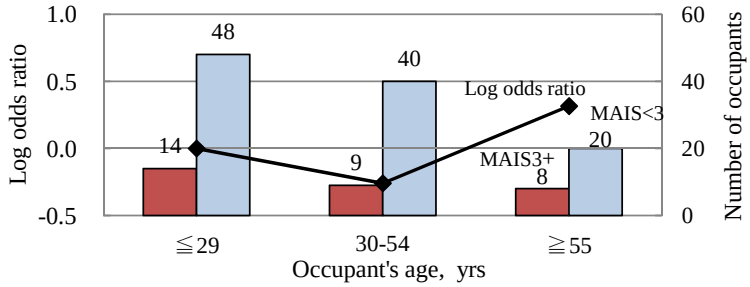


(f) Lap zone-horizontal, CDC code

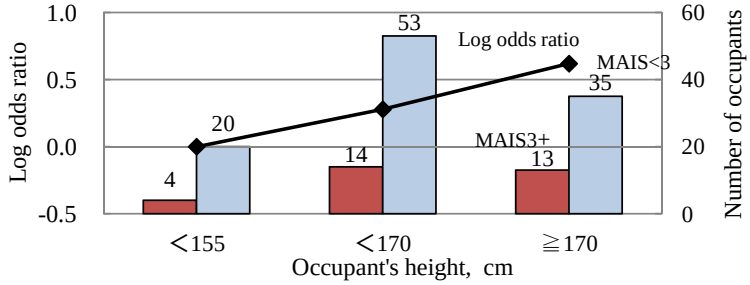
Fig. 3-2: Log odds ratio of variables and number of occupants for ω_T



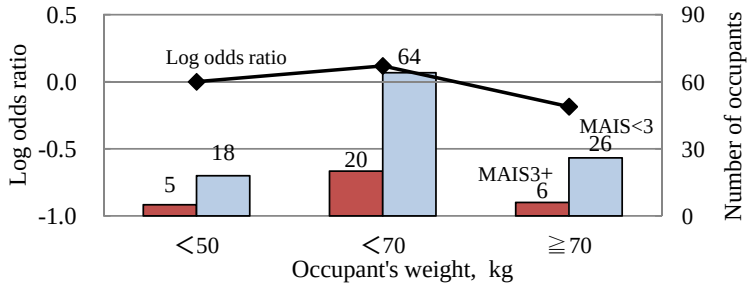
(a) Occupant’s gender



(b) Occupant’s age

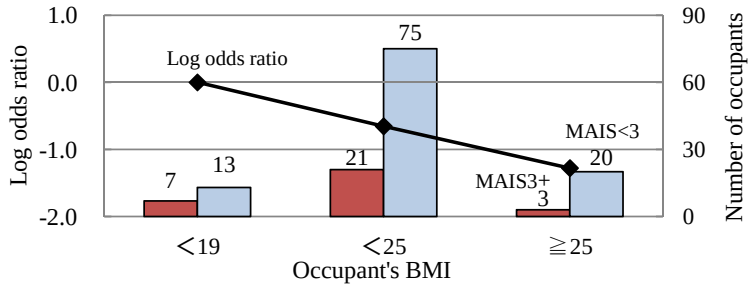


(c) Occupant’s height

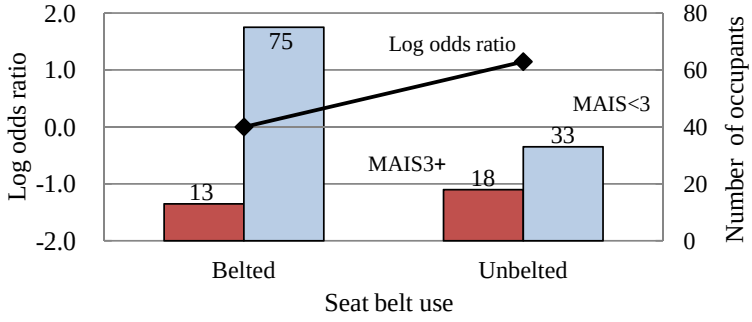


(d) Occupant’s weight

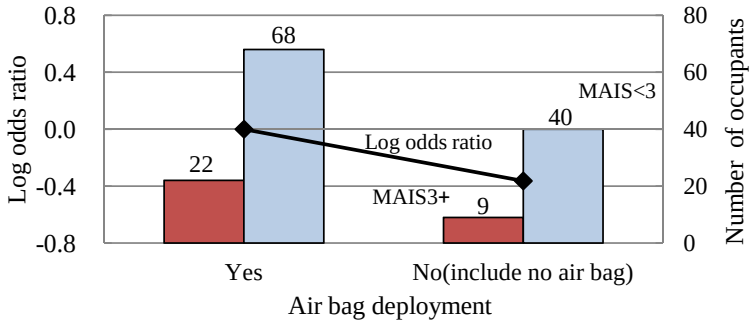
Fig. 3-3: Log odds ratio of variables and number of occupants for ω_p



(e) Occupant’s BMI

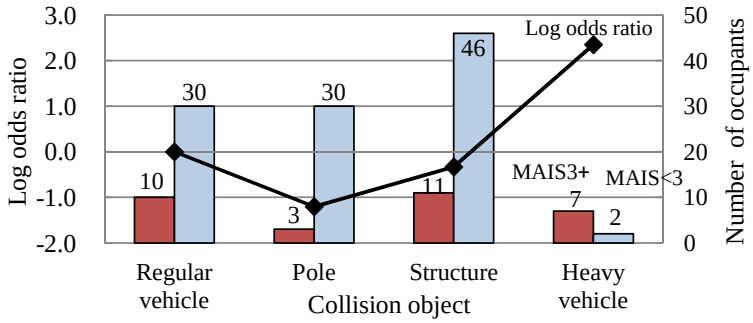


(f) Seat belt use

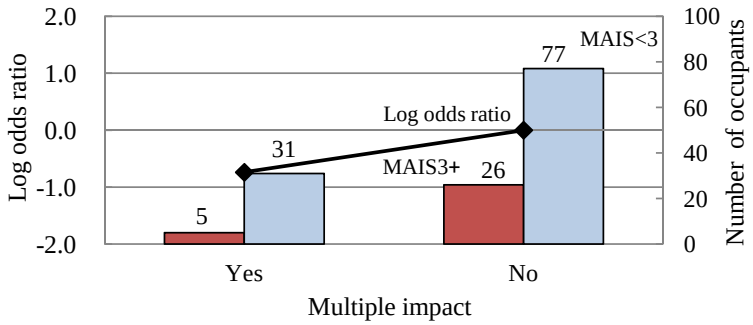


(g) Air bag deployment

Fig. 3-3: Log odds ratio of variables and number of occupants for ω_p



(a) Collision object



(b) Multiple impact

Fig. 3-4: Log odds ratio of variables and number of occupants for others

3.4.2　多重共線性確認による説明変数の縮約

次に，目的変数としている MAIS と明らかに有意な水準となっていない変数および変数間に多重共線性が見られる変数を除外するために，選出した変数に対して簡易的に Pearson，Spearman の相関行列表を用いて確認した．量的変数に対する Pearson の相関行列表を表 3-3 に示す．また，順序尺度変数および名義尺度変数に対する Spearman の順位相関行列表を表 3-4 に示す．

車両速度分類の 3 変数は，それぞれ MAIS と相関は高いが，お互いに強い多重共線性が見られたので，単相関で MAIS と最も Pearson の相関係数が高い ΔV(r=0.586, p<0.001) を代表とした．その他の変数は，カテゴリー化しているため Spearman の順位相関係数を参照し，有意性が p>0.5，他変数との多重共線性が | r | >0.5 を基準に除外を検討した．

その結果，ω_T に関する車両情報の因子では，車両質量は有意性が低く (p=0.677)，車両種別との多重共線性が高い (r=0.658, p<0.001) ため除外した．また，ω_p に関する乗員の属性では，体重の有意性が低く (p=0.907)，BMI との多重共線性が高い (r=0.558, p<0.001) ため体重を除外した．また，車両登録年とエアバック展開有無 (r=0.536, p<0.001)，性別と身長 (r=–0.639, p<0.001) に多重共線性が見られたが，各変数とも明らかに有意でないとはいえないため残した．なお，乗員の属性の中で，年齢と BMI は有意確率が，それぞれ p=0.561，p=0.574 であったが，他との多重共線性が見られないため，選定することにした．

Table. 3-3: Pearson’s product-moment correlation for quantitative variables

Upper: Pearson's product-moment correlation
Lower: p-value
** p < 0.01, * p < 0.05

	ΔV	Impact speed	EBS	MAIS
ΔV	1	.538** .000	.747** .000	.586** .000
Impact speed		1	.638** .000	.295** .000
EBS			1	.517** .000
MAIS				1

Table. 3-4: Spearman’s rank correlation for categorical variables

Upper: Spearman's rank correlation
Lower: p-value
** p < 0.01, * p < 0.05

	Vehicle category	Vehicle registration year	Vehicle curb weight	Collision object	Multiple impact	Damage grade	Lap zone-hirizontal	Extent of damage	Seat belt use	Air bag deployment	Occupant's gender	Occupant's age	Occupant's height	Occupant's weight	Occupant's BMI	MAIS
Vehicle category	1.000	-.280**	.658**	0.161	0.071	0.079	-0.019	0.127	-0.109	-0.021	-0.104	0.015	.256**	0.103	-0.075	0.148
		0.001	0.000	0.058	0.409	0.358	0.827	0.138	0.201	0.806	0.224	0.863	0.002	0.228	0.377	0.082
Vehicle registration year		1.000	-0.136	-.179*	0.128	-0.085	0.077	-0.102	.319**	.536**	.330**	-0.025	-.249**	-.211*	0.161	-.249**
			0.111	0.035	0.134	0.319	0.367	0.234	0.000	0.000	0.000	0.767	0.003	0.013	0.058	0.003
Vehicle curb weight			1.000	0.147	0.140	-0.018	-0.157	0.068	-0.134	0.081	-.229**	0.097	.314**	.207*	-0.037	-0.036
				0.084	0.101	0.832	0.065	0.425	0.116	0.342	0.007	0.255	0.000	0.014	0.670	0.677
Collision object				1.000	0.089	0.151	-0.107	0.059	-.180*	-0.078	-0.122	0.015	0.015	0.120	0.141	0.116
					0.296	0.076	0.210	0.489	0.034	0.359	0.152	0.863	0.861	0.161	0.097	0.175
Multiple impact					1.000	0.030	-.168*	.186*	0.143	0.092	0.117	-0.044	0.004	-0.009	-0.052	-0.161
						0.728	0.048	0.028	0.092	0.279	0.170	0.604	0.963	0.917	0.545	0.059
Damage grade						1.000	0.133	.430**	-0.143	0.068	-0.076	-0.162	0.092	-0.008	-0.090	.475**
							0.119	0.000	0.093	0.424	0.373	0.057	0.280	0.923	0.295	0.000
Lap zone-hirizontal							1.000	-0.110	-0.030	0.129	0.127	-0.125	-0.042	-0.085	-0.076	.190*
								0.196	0.730	0.130	0.137	0.142	0.627	0.320	0.376	0.025
Extent of damage								1.000	-0.066	.173*	-0.051	-.175*	0.154	-0.019	-0.048	.407**
									0.438	0.041	0.551	0.040	0.070	0.828	0.574	0.000
Seat belt use									1.000	.219**	.260**	0.130	-.294**	-.233**	-0.050	-.317**
										0.009	0.002	0.128	0.000	0.006	0.559	0.000
Air bag deployment										1.000	.207*	-0.090	-0.034	-0.070	0.028	0.078
											0.015	0.289	0.692	0.411	0.747	0.361
Occupant's gender											1.000	0.026	-.639**	-.552**	-0.112	-0.105
												0.765	0.000	0.000	0.187	0.218
Occupant's age												1.000	-.244**	0.058	.200*	-0.050
													0.004	0.499	0.018	0.561
Occupant's height													1.000	.600**	0.129	0.137
														0.000	0.130	0.108
Occupant's weight														1.000	.558**	-0.010
															0.000	0.907
Occupant's BMI															1.000	-0.048
																0.574
MAIS																1.000

3.4.3　順序ロジスティック回帰モデル

これら絞り込んだ 14 変数を用いて，第 2 章で述べた順序ロジスティック回帰分析を行った．変数の選択は，式（2.125）に示す赤池の情報量規準 *AIC*（Akaike's Information Criterion）を確認しながら Wald 検定による各変数の有意性を基準に有意でない変数を順に減少させて行った．

その結果，有意性の高い (p<0.1) 変数として，Δ*V*，シートベルト着用有無、車両損壊程度，年齢，多重衝突有無が残った．ここで多重衝突に関しては，多重衝突の無い方が MAIS の高くなる係数となっており，これまでの知見では説明のつかない結果となっているため，今回の変数選択からは除外した．

最終的に選択された有意 (p<0.05) な変数は、Δ*V*、シートベルト着用有無，車両損壊程度，年齢であった．なお，選択されなかった変数を個別に再追加したが，変数が有意 (p<0.05) となり *AIC* がさらに減少することは見られず，本組み合わせが最適と考えた．得られた順序ロジスティック回帰分析の結果を表 3-5 に示す．また，推定された MAIS のカテゴリー と観測されたカテゴリー の対比状況を表 3-6 に示す．本乗員傷害予測式による MAIS の的中精度は 65.5 %，死亡重症判定的中率 (MAIS3+) は 82.7 %となっており，良好な予測結果となった．

図 3-5 に，Δ*V* に対する MAIS カテゴリーの推定確率の一例を示す．車両損壊程度が大破において，シートベルト非着用時の傷害リスク（図 3-5(b)）は，シートベルト着用時（図 3-5(a)）の傷害リスクより高く推定されていることが分かる．また，高齢者 (55 歳以上) のシートベルト着用時で車両損壊程度が大破となる衝突（図 3-5(c)）において，30～54 歳に比べて傷害リスクが高くなっていることが分かる．

しかし，図 3-5 において，MAIS=4 に対しての推定確率が他の区分に対して低く，予測精度に影響を及ぼしていると考えられる．これは，表 3-6 から確認できるように MAIS=4 の事故事例が前後の区分に対して少なくなっていることが影響していると考えられる．また，MAIS=6 に対する推定確率も Δ*V* が 100km/h 以上にならないと高まらない傾向がある．これらに関しては，サンプル数が限られた ITARDA ミクロデータを用いる精度上の課題と考える．これについては，考察にて詳述する．

Table. 3-5: Result of ordinal logistic regression

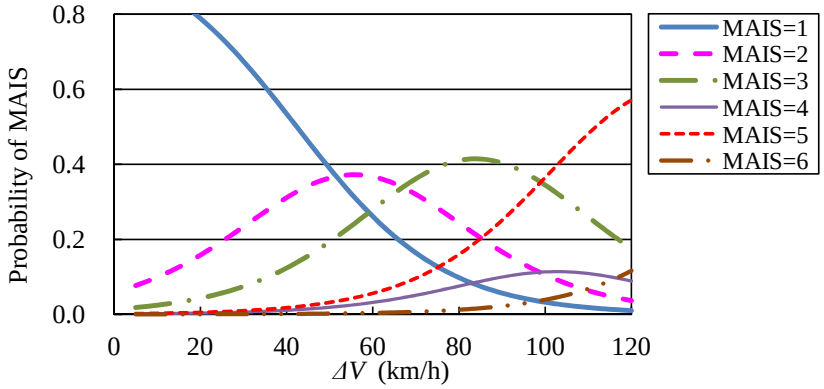
Factors		Coefficients	S.E.	p-value
Intercept	MAIS=1	1.317	0.666	0.048
	MAIS=2	2.883	0.703	< 0.001
	MAIS=3	4.647	0.808	< 0.001
	MAIS=4	5.106	0.850	< 0.001
	MAIS=5	7.921	1.388	< 0.001
ΔV		0.059	0.011	< 0.001
Damage grade	Small or Medium	–1.214	0.441	0.006
	Large	–	–	–
Seat belt use	Unbelted	1.362	0.387	< 0.001
	Belted	–	–	–
Occupant's age	≤29	–1.183	0.509	0.020
	30 – 54	–1.170	0.537	0.029
	≥55	–	–	–

AIC= 238.8, χ^2 =80.48, Nagelkerke R^2 =0.484

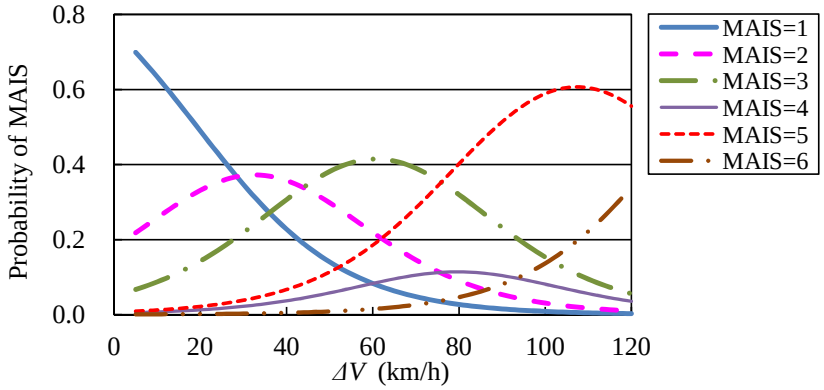
Table. 3-6: Result of predicted MAIS

	Predicted MAIS						
Observed MAIS	1	2	3	4	5	6	Total
1	73	2	4	0	0	0	79
2	14	9	6	0	0	0	29
3	6	5	7	0	2	0	20
4	0	0	3	0	0	0	3
5	1	2	2	0	2	0	7
6	0	0	0	0	1	0	1
Total	94	18	22	0	5	0	139

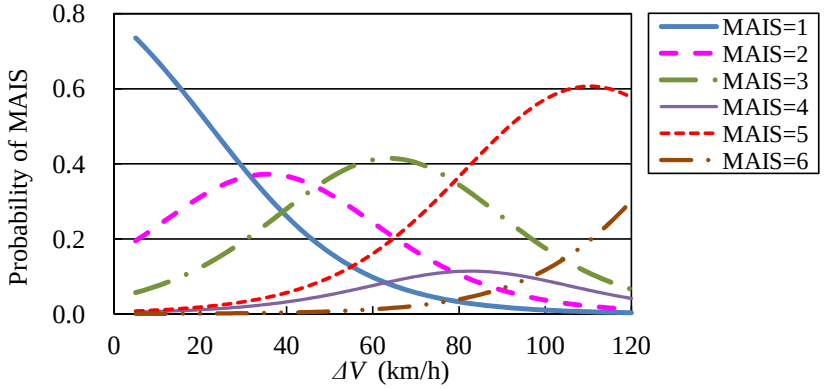
Predictive accuracy :0.655
Judgment rate of fatal and serious injury :0.827
Sensitivity for MAIS3+ :0.548
Specificity for MAIS3+ :0.875



(a) For belted 30–54 yrs old drivers in large damaged crash



(b) For unbelted 30–54 yrs old drivers in large damaged crash



(c) For belted elderly drivers (≥55) in large damaged crash

Fig. 3-5: Predicted probability of MAIS

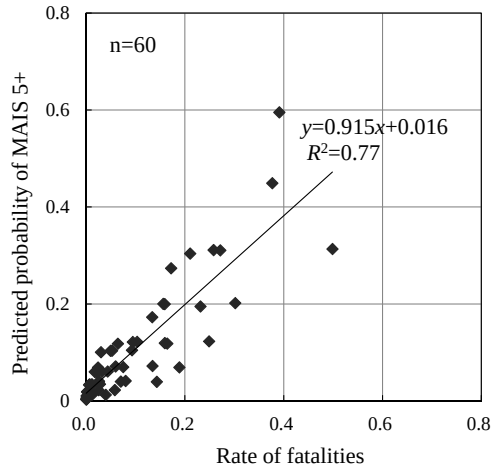
3.5 ITARDA マクロデータを用いた検証

3.5.1 致死率，重傷率および死亡重傷率の比較

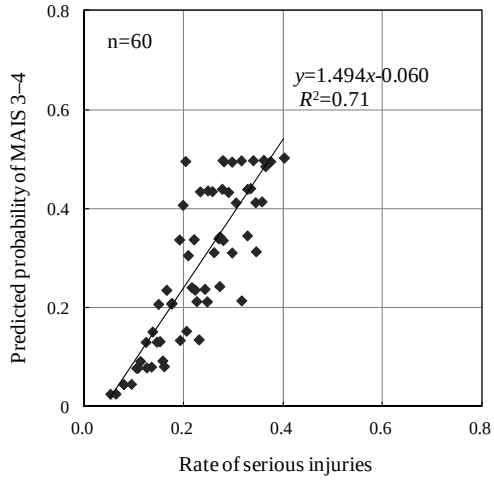
前節で行ってきた前面衝突時の運転席傷害予測式が妥当であることを検証するために，国内の ITARDA マクロデータを用いて前面衝突時の傷害状況の比較を行った．検証手法は，2.7 節に準じて行った．なお，検証に用いた ITARDA マクロデータの分析対象は，予測式を求める条件と同一な 2000 年～2009 年に発生した普通・軽乗用車の事故とし，車両の前部（中央，右角，左角）が衝突部位となる車両相互正面衝突および車両単独事故とした．

本乗員傷害予測式から求めた傷害確率と実事故の死傷率との比較を行う．図 3-6 にその結果を示す．本予測式で求めた致死確率（MAIS5+），重症確率 (MAIS=3～4) および死亡重症確率（MAIS3+) と ITARDA マクロデータでの致死率，重傷率および死亡重傷率は，それぞれ決定係数 R^2=0.77，0.71，0.85 と高い相関があり，本乗員傷害予測式は国内における事故状況を妥当に評価できていると考える．ただし，重傷率に対する直線回帰線の傾きはやや高くなっている．この要因としては，ΔV の代わりに用いた擬似 ΔV が考えられる．擬似 ΔV は，表 2-6 に示すように危険認知速度をもとに算出されており，衝突までの減速行動が考慮されていないため，実際の衝突速度は危険認知速度より低くなっていることが考えられる．その結果，実際の ΔV は簡易的に算出する擬似 ΔV より低めになっているため [64]，重傷率は予測より低くなっていると考える．図 3-6(a) の致死率，死亡重傷率のデータ群にも同様に傾きが高いと考えられるグループが見られるが，低いグループがあるため全体としては顕著に現れていないと考えられる．この顕著に傾きの低いグループは，車両損壊程度が大破でシートベルト非着用時 30～54 歳の運転者の条件であり，致死率，死亡重傷率が高くなる要因が本乗員傷害予測式ではまだ考慮できていない事故群と考えられ，今後詳細に検討していく必要がある．

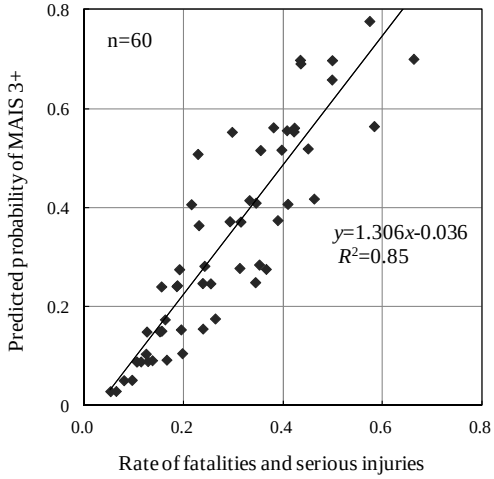
また，今回得られた乗員傷害予測式は限られた 4 因子による予測となっており，予測精度には限界があると考えられる．データ数を今後増やして ITARDA マクロデータとの相関状況を継続して確認していくことも必要である．



(a) Rate of fatalities



(b) Rate of serious injuries



(c) Rate of fatalities and serious injuries

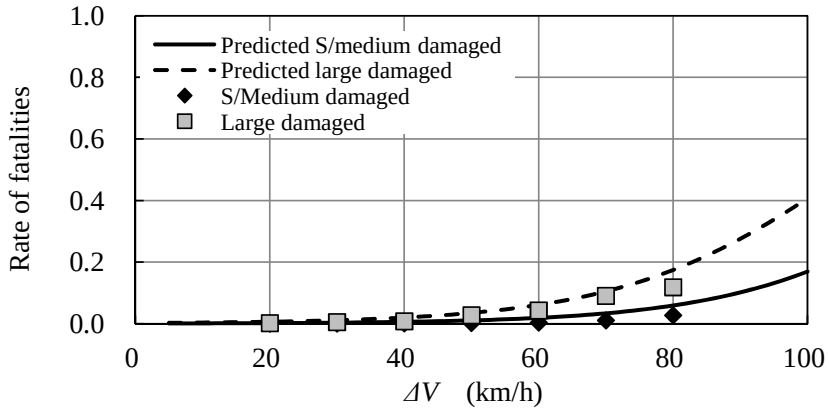
Fig. 3-6: Injury prediction versus rate of casualties

3.5.2 各影響因子による傷害状況比較

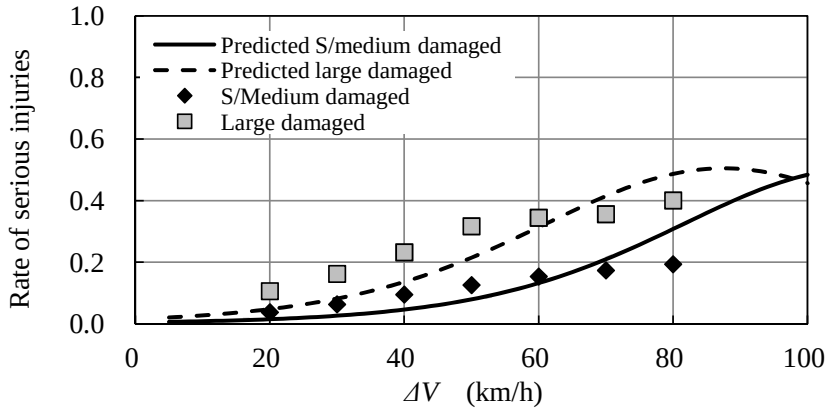
有意な変数として挙げられた因子の条件別に，MAIS5+，MAIS=3〜4 および MAIS3+となる傷害確率を求め，前節と同様に ITARDA マクロデータとの比較検証を行った．ITARDA マクロデータの比較データは，2.7 節の表 2-9 に従い，2.7.5 項で定義した致死率，重傷率および死亡重傷率と比較した．その結果を図 3-7〜図 3-9 に示す．

各因子に対する予測結果は概ね ITARDA マクロデータの傷害状況を捉えている．車両損壊程度が大破となると小破・中破に比べて致死確率，死亡重症確率が約 2 倍高まる．また，ベルトを着用していないと着用している場合に比べて，致死確率は約 3 倍，死亡重症確率は約 1.5 倍高まり，ΔV= 約 20km/h 相当分の影響と等しいことが確認でき，本予測結果と ITARDA マクロデータの結果は良く一致している．このことからも，本予測手法は妥当であり，これら 4 因子は前面衝突事故時の致死確率，死亡重症確率に大きく影響を及ぼしているものと考えられる．

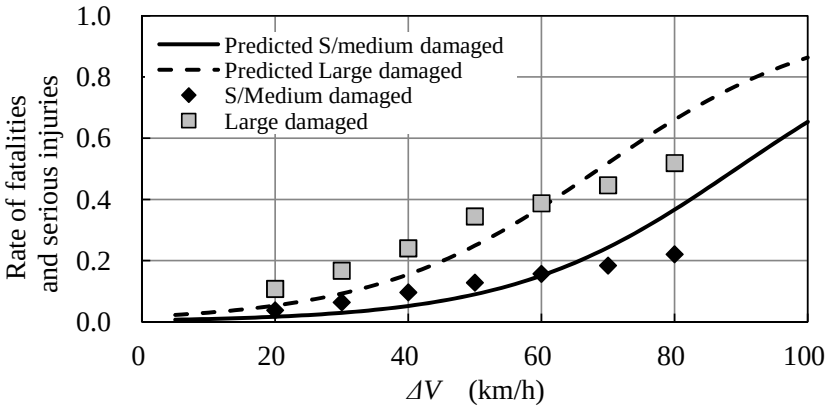
ただし，乗員の年齢に関しては，高齢者の死亡重症確率が高い傾向は両者で確認できるが，絶対レベルには差が見られる．吉田ら [81] の文献によると，車両損壊程度などの条件は無いが前面衝突の ΔV =80km/h 付近で国内マクロデータでの死亡重傷率は約 30 %，米国 NASS-CDS データでの MAIS3+の発生率は約 60 %と報告されている．車両損壊程度，年齢は限定されていないため直接比較はできないが，本研究による結果はその範囲内と考える．年齢は 5 %有意ではあるが，p 値が 0.020，0.029 とその他の因子に比べて高いことも誤差の大きい要因と考える．なお，先行研究で行われた URGENCY アルゴリズムとの比較に関しては，考察にて詳述する．



(a) Rate of fatalities

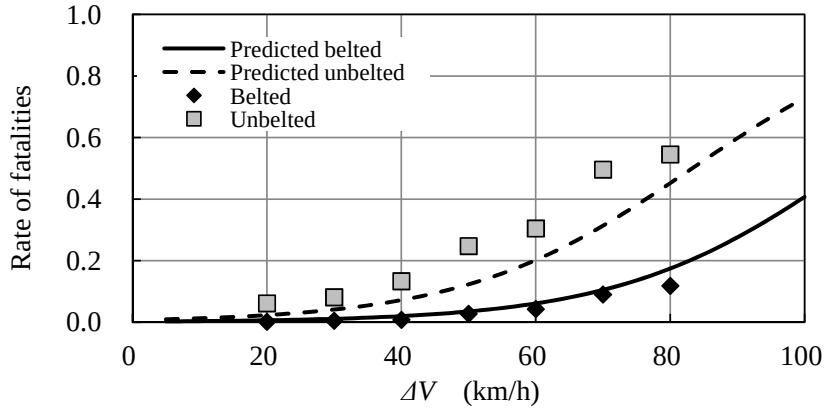


(b) Rate of serious injuries

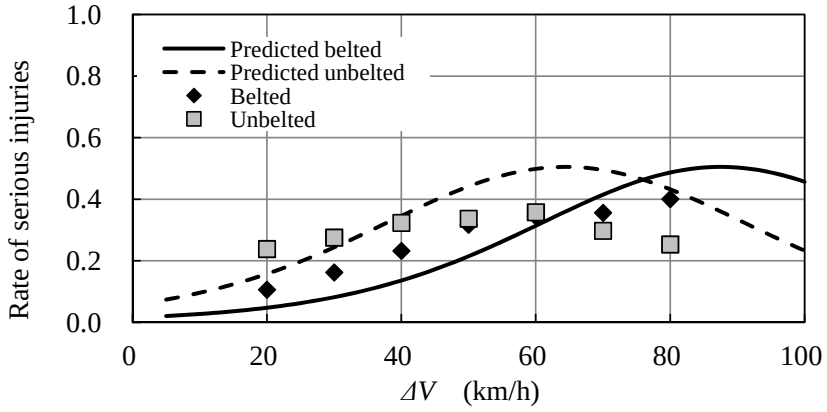


(c) Rate of fatalities and serious injuries

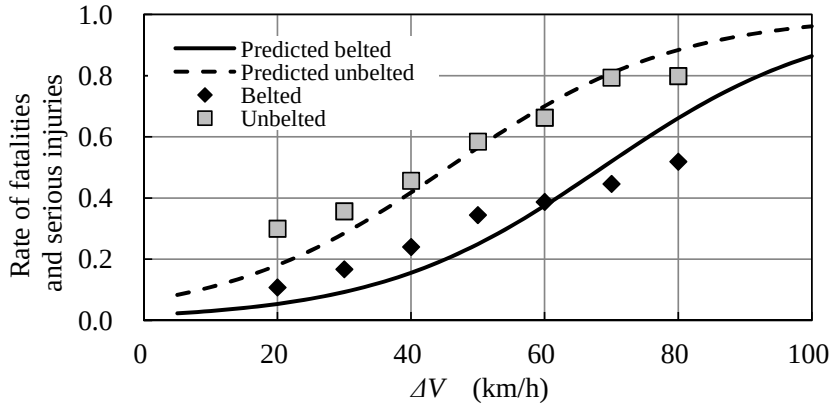
Fig. 3-7: Injury prediction for damage grade of belted 30 – 54 yrs old drivers



(a) Rate of fatalities

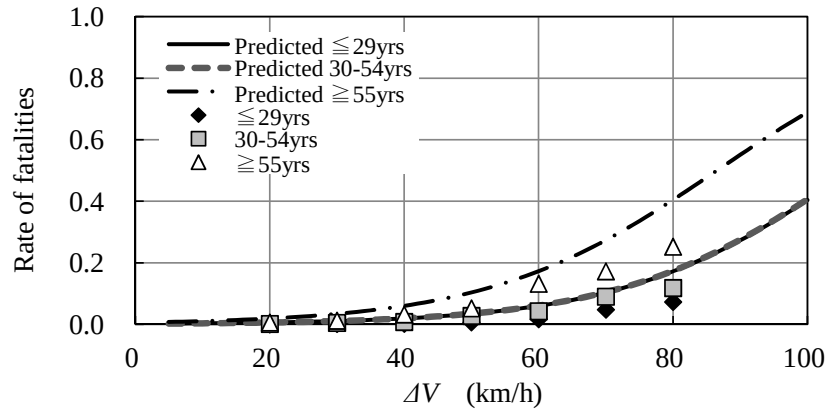


(b) Rate of serious injuries

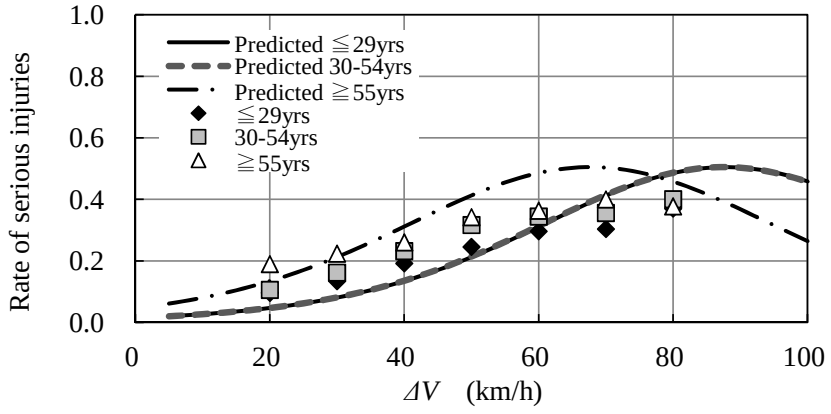


(c) Rate of fatalities and serious injuries

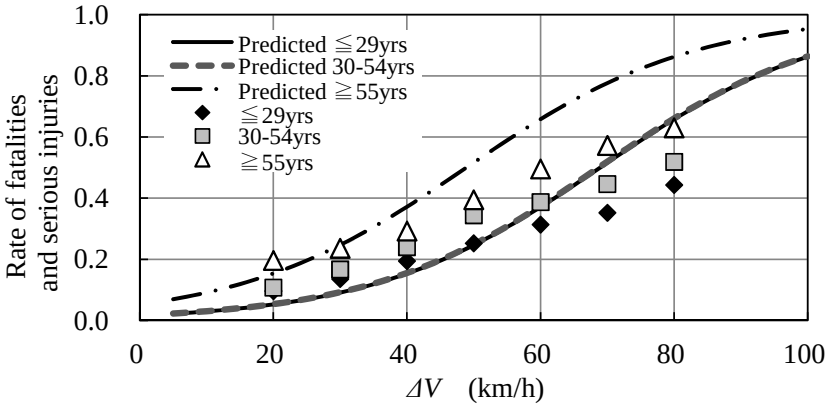
Fig. 3-8: Injury prediction for seat belt use of 30 – 54 yrs old drivers in large damaged



(a) Rate of fatalities



(b) Rate of serious injuries



(c) Rate of fatalities and serious injuries

Fig. 3-9: Injury prediction for occupant’s age of belted drivers in large damaged

3.6　予測残差分析

3.6.1　予測外れ事故の状況

実際の事故は様々な状況で発生しており，いくつかの条件，要因が重なり合って一件の死傷事故として発生している．本研究で得られた 4 因子で大きな傷害要因は評価できると考えられるが，全てを説明することは難しいと考える．しかし，この乗員傷害予測式を事故に対するフィルターとして分析することで，大きな因子から隠れた新たな事故要因を明らかにすることが可能となる．それらの要因を抽出するために，本予測から外れる事故事例の特徴について分析した．表 3-6 における予測結果の中から，MAIS の予測値と観測値の差（予測残差）が 2 以上ある 17 事故事例を調査した．図 3-10 に予測外れの大きい事故の特徴と予測残差のレベルの分布を示す．また，表 3-7 に抽出された事故事例の一覧を示す．

予測残差が 2 以上の 17 事故事例のうち，予測が過小評価事例は 11 例，過大評価は 6 例あった．過小評価事故事例は，電柱や標識，街路樹などとの衝突で，局所的な車両変形が著しい事故が 6 例と多く見られた．その他，高齢の小柄女性運転者の事故，大型車との衝突がそれぞれ 2 例，エアバック不展開の低速時事故が 1 例であった．図 3-11 に，これら予測外れの大きい事故のうち，電柱等との前面ポール衝突および大型車との衝突の車両変形状況の写真を示す．これらの予測外れ事故の特徴は，今回の検討にて因子の候補には入れていたが，有意な因子としては選定されなかった因子である．また，ポールとの前面衝突事故や高齢の小柄な女性の課題は，Augenstein ら [41] の文献でも予測から外れる事例があることが指摘されている．これらの事故には，まだ明確となっていない要因が潜んでいると考える．

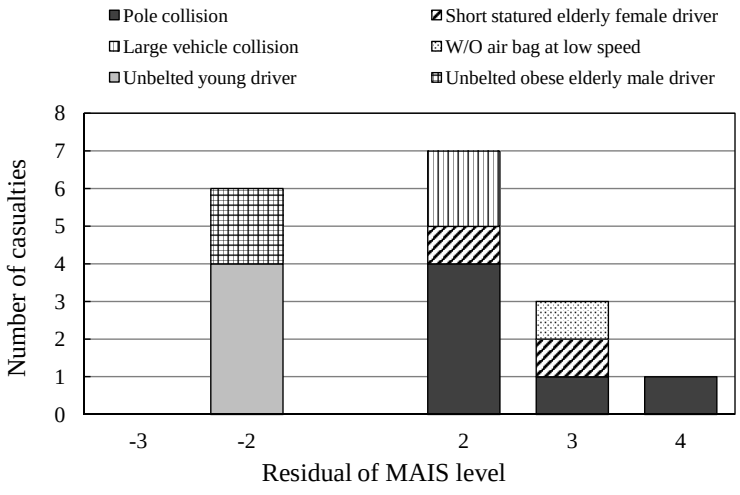


Fig. 3-10: Residual of predicted MAIS for injury prediction model

Table. 3-7: Outlier accident cases

No.	Residual		Delta-V ,km/h	Damage grade	Seat belt use	Air bag deployment	Collision object	Multiple impact	Lap zone-horizontal	Vehicle type	Resistra-tion year	V.curb weight ,kg	Occupant				MAIS	Injury part[a)]
													Gender	Age ,yrs	Height ,cm	Weight ,kg		
3-(1)	Underestimated	4	49	Large	Belted	Yes	Pole	No	R	Regular	1996	1,030	Male	18	168	55	5	HE
3-(2)		3	35	Medium	Unbelted	Yes	Regular V.	No	R	Kei	1999	990	Female	64	150	42	5	CH
3-(3)			40	Large	Unbelted	Yes	Pole	No	Y	Regular	1997	800	Female	23	160	55	5	AB
3-(4)		2	11	Large	Belted	No	Regular V.	No	Z	Regular	1996	1,000	Male	50	158	56	3	HE
3-(5)			20	Medium	Belted	Yes	Heavy V.	No	R	Regular	1999	1,500	Male	64	163	73	3	LE
3-(6)			5	Large	Belted	Yes	Heavy V.	No	D	Regular	1998	950	Male	20	165	60	3	LE
3-(7)			30	Medium	Belted	Yes	Regular V.	No	D	Kei	2004	850	Female	58	147	45	3	CH
3-(8)			45	Large	Unbelted	No	Pole	No	C	Regular	1993	820	Male	59	170	62	5	CH
3-(9)			45	Large	Unbelted	Yes	Pole	No	Z	Regular	1997	1,350	Male	47	173	66	5	CH
3-(10)			20	Medium	Unbelted	No	Pole	No	L	Kei	1991	640	Male	55	172	79	3	CH
3-(11)			40	Large	Belted	Yes	Pole	No	R	Regular	2008	950	Female	21	150	40	3	HE
3-(12)	Overestimated	-2	60	Large	Unbelted	Yes	Regular V.	No	D	Regular	1998	850	Male	66	170	70	3	CH
3-(13)			55	Large	Unbelted	Yes	Regular V.	Yes	D	Regular	1998	1,590	Male	24	175	70	1	HE
3-(14)			68	Large	Unbelted	No	Structure	No	Z	Kei	1995	720	Female	21	152	45	1	FA
3-(15)			25	Large	Unbelted	Yes	Pole	No	R	Kei	2003	710	Male	73	160	70	1	HE
3-(16)			45	Large	Unbelted	Yes	Structure	No	D	Kei	2006	830	Male	28	175	80	1	CH
3-(17)			95	Large	Unbelted	Yes	Pole	Yes	Y	Regular	1996	1,730	Male	23	171	55	3	AB

a) HE:Head, FA:Face, NE:Neck, CH:Chest, AB:Abdomen, UE:Upper extremity, LE:Lower extremity



Case3-(1)



Case3-(3)



Case3-(5)



Case3-(6)



Case3-(8)



Case3-(9)



Case3-(10)



Case3-(11)

Fig. 3-11: Photos of outlier accident cases

3.6.2　予測外れの大きい事故の特徴

予測外れの大きい事故として抽出された電柱・標識との前面衝突事故に対して，実事故での状況を把握するために，ITARDA マクロデータを用いて死傷者数の分析を行った．図 3-12 に普通車 (軽，小型車含む) との正面衝突事故と比較した死亡重傷率の結果を示す．この結果から，電柱・標識などへの衝突事故による傷害は，擬似 ΔV が 45km/h 以下の低速側では普通車との正面衝突事故に比べて傷害リスクが高い傾向があることが分かる．つまり，ΔV の値によって傷害への影響度が異なる傾向が見られる．

このように，予測値と実測値の差が大きく表れる要因として，ΔV との交互作用の影響が考えられる．このことが原因で，電柱・標識との衝突は，傷害程度に影響する因子ではあるが，今回の分析では有意な差が現れなかったと考える．これら因子同士の交互作用などをさらに詳細に分析し，影響を明確にする必要がある．この電柱等との前面ポール衝突事故に関しては，第 4 章にて詳細分析を行う．

また，大型車との衝突 2 例は，ΔV=5km/h，20km/h と低い ΔV にも拘らず MAIS=3 の下肢傷害を受傷している事例であった．大型車との衝突には潜り込みなど特殊な事故形態が見られ，普通車同士の正面衝突より傷害リスクが高いことが考えられ，詳細検討していく必要がある事故形態である．図 3-13 に大型車との前面衝突の場合と普通車との前面衝突の場合の ΔV に対する死亡重傷率の比較を示す。この図からは，大型車との前面衝突の場合と普通車との前面衝突の場合に対して，低 ΔV 領域と高 ΔV 領域にて大型車との前面衝突の方がやや死亡重傷率が高い傾向は見られるが，概ね両者の事故形態に差は見られない．この大型車との前面衝突事故に関しては，第 5 章にて詳細解析を行う．

一方，過大評価の事故例は，ベルト非着用時の 20 歳代の若い運転者の事故が 4 例と多く見られた．運転者の年齢は影響因子として考慮したものの個人の耐性ばらつきや年齢とベルト着用有無との交互作用なども考えられ，これらに関しても今後検討していく必要がある．

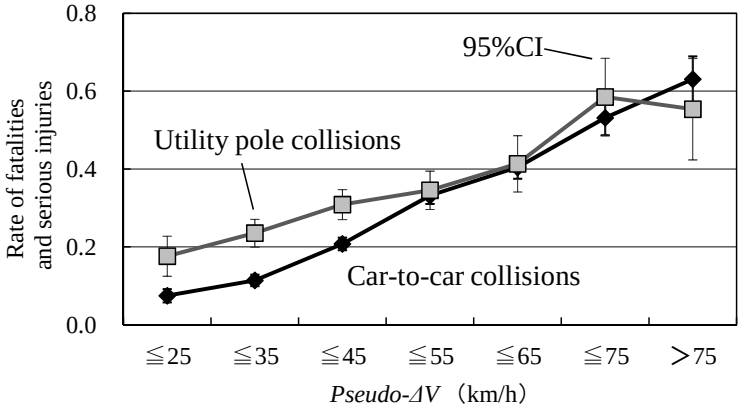


Fig. 3-12: Pole collisions versus car-to-car collisions for belted 30–54 yrs old drivers in large damaged crashes in 2000-2009

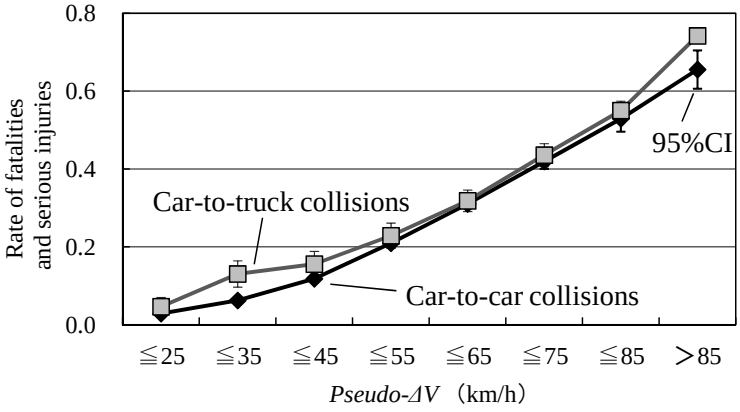


Fig. 3-13: Car-to-truck collisions versus car-to-car collisions for all drivers in 2000-2010

3.7 考察

3.7.1 先行研究との乗員傷害予測式の比較

本研究によって得られた乗員傷害予測結果と，米国の先行研究である Digges ら [82] による URGENCY アルゴリズム を比較する．URGENCY アルゴリズムは，米国 NASS-CDS データを用いた以下の式によるロジスティック回帰分析からなり，MAIS が 3 以上を重症と判断する重症確率 $P(MAIS\,3+)$ は，

$$P(MAIS\,3+) = \frac{1}{1 + exp(-w_u)} \tag{3.1}$$

$$w_u = \beta_{u,0} + \sum_{i=1}^{l_u} \beta_{u,i} \cdot x_{u,i} \tag{3.2}$$

と表される．ここで，$x_{u,i}$ は URGENCY アルゴリズムによる説明変数，$\beta_{u,0}$ は定数項，$\beta_{u,i}$ は説明変数に対する推定した回帰係数，l_u は説明変数の数を示す．

この Digges らの URGENCY アルゴリズムでは，衝突方向別に表 3-8 に示す 4 つの説明変数，すなわち ΔV，多重衝突有無，ロールオーバー有無，シートベルト着用有無を用いて乗員傷害予測を行う．ΔV，シートベルト着用有無は，本研究でも採用された因子である．多重衝突有無に関しては，本研究では影響度が逆傾向となっていたためが採用しなかった因子である．また，ロールオーバーに関しては日本の前面衝突事故では事故数が少ないため分析の対象としなかった因子である．

多重衝突，ロールオーバーが発生しない事故に対して，シートベルト着用有無別に，この乗員傷害予測式による結果と本研究による死亡重症以上となる傷害予測結果との比較を図 3-14 に示す．本研究で得られた乗員傷害予測式は，車両の損壊程度を加えた評価であるので，その差異も含めて比較した．

URGENCY アルゴリズムによる重症確率は，本研究による乗員傷害予測式の車両の損壊程度が大破の場合と小破・中破の場合の重症確率の間に位置し，低 ΔV 域では，小破・中破側，高 ΔV 域では，大破側に近い結果となっていることが分かる．これは，URGENCY アルゴリズムは車両の損壊情報を含んでいないため，一般的に車両の損壊が少ない低 ΔV 域では小破・中破側，車両の損壊が

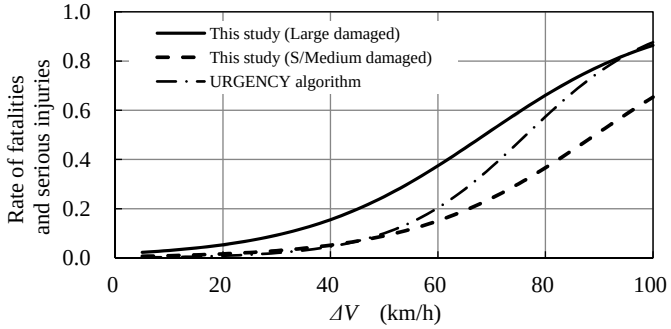
大きい高 ΔV 域では大破側に近くなっているためと考えられる．シートベルト着用有無共に ΔV に対する特性は類似しているため，ΔV，シートベルト着用に関しては URGENCY アルゴリズムと本研究による傷害予測感度は近いことが推測される．したがって両者の大きな違いは，車両損壊程度の考慮の差から生じていると考えられる．

この比較結果から推定すると，URGENCY アルゴリズムを日本の事故に適用した場合，傷害リスクの大きい高 ΔV 域の傷害予測精度は妥当な結果が得られると考えられるが，傷害リスクの小さい低 ΔV 域の精度は，傷害リスクの過小評価となりやすいことが考えられる．さらに，高齢者の傷害リスクは，本研究の乗員傷害予測式から分かったように増加する結果となっているため，この過小評価の影響が大きな課題となることが推測される．

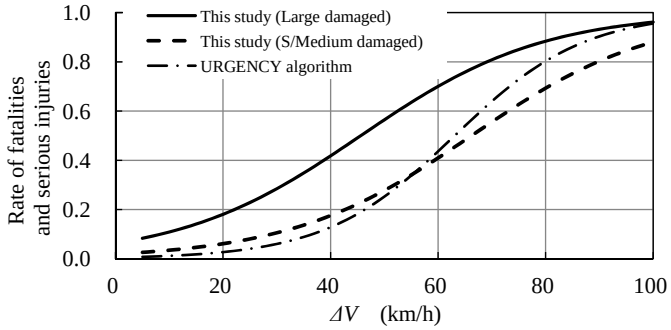
Table. 3-8: Coefficients for URGENCY algorithm [82]

Variables	Frontal [a)]	Nearside	Farside	Rear
Intercept	–5.2321	– 5.9529	–5.0963	–7.5973
	(p=<0.001)	(p=<0.001)	(p=<0.001)	(N.D.)
ΔV	0.1335	0.2092	0.1641	0.1982
	(p=<0.001)	(p=<0.001)	(p=<0.001)	(N.D.)
Multiple impact (Yes)	0.2743	1.0401	0.6528	0.3839
	(p=0.02)	(p=<0.001)	(p=0.11)	(N.D.)
Rollover (Yes)	1.526	–0.4525	0.8247	–1.5046
	(p=0.001)	(p=<0.001)	(p=<0.74)	(N.D.)
Seat belt use (Yes)	–1.1045	–0.5558	–1.9522	–2.4073
	(p=<0.001)	(p=<0.01)	(p=<0.001)	(N.D.)

[a)] Frontal: all frontal crash modes including head-on collisions and frontal single-vehicle collisions



(a) For belted 30 – 54 yrs old drivers



(b) For unbelted 30 – 54 yrs old drivers

Fig. 3-14: Comparison of injury prediction between this study and URGENCY algorithm

3.7.2　乗員傷害予測精度の課題

本研究による乗員傷害予測式の精度上の課題について考察を加える．図 3-15 に予測残差の分布を示す．この図からは，予測残差 0 を中心に正規分布に近い誤差分布をしているといえ，予測結果は妥当と考えられる．ただし，予測残差がややプラス側，すなわち予測が実際より過小評価となってしまう傾向がやや見られる．

図 3-16 に，実際の MAIS 別，予測因子別の予測残差の分布を示す．この図にて，円の面積は該当する事故数（添字で表示）を示している．この図から，車両損壊程度，シートベルト着用有無，乗員の年齢に関しては，予測残差分布の大きな差異はないことが分かり，これらの因子に対しては妥当に評価できていると考える．しかし，MAIS に関しては，重症，死亡となる高い MAIS ほど予測残差がプラス側となり，予測が実際より過小評価となってしまう傾向が見られる．今回分析した ITARDA ミクロデータでは，MAIS の高い事故事例が少ないことの影響もあると考えられる．特に，MAIS が 4 以上の場合に対しての傷害予測誤差に関しては，精度上の課題があると考える．

さらに，量的変数として扱った ΔV に関して予測残差との関係を図 3-17 に示す．ΔV に関しては，低い ΔV に対しての予測残差がプラス側にやや分布している傾向が見られる．今回の研究では有意な因子として抽出されなかったエアバックの作動有無が，システム上 ΔV の大きさに影響しているため，この領域に対しても精度上の課題が残っていると考える．

また，図 3-18 に MAIS 別の ΔV に対する分布状況を箱ひげ図にて表示する．ここで，箱ひげ図中の上下のひげは，最大値，最小値を示す．順序ロジスティック回帰分析において，回帰係数はカテゴリーには依存せず複数の順序カテゴリー間で一定であることを仮定している．これを一般に平行性の仮定（equal slope assumption）という [83]．図 3-18 を確認すると，ΔV の増加に伴い，MAIS が順序付けられていることが分かる．このことから，平行性の仮定は成立していると考える．ただし，MAIS=4，および MAIS=6 のデータが少ないため，さらなる事故データの蓄積による n 増し分析は必要であると考える．

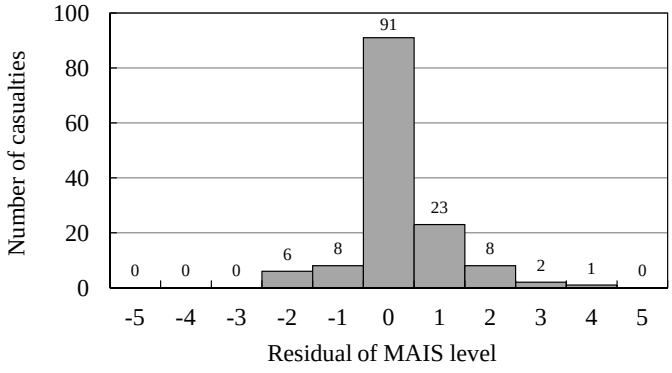
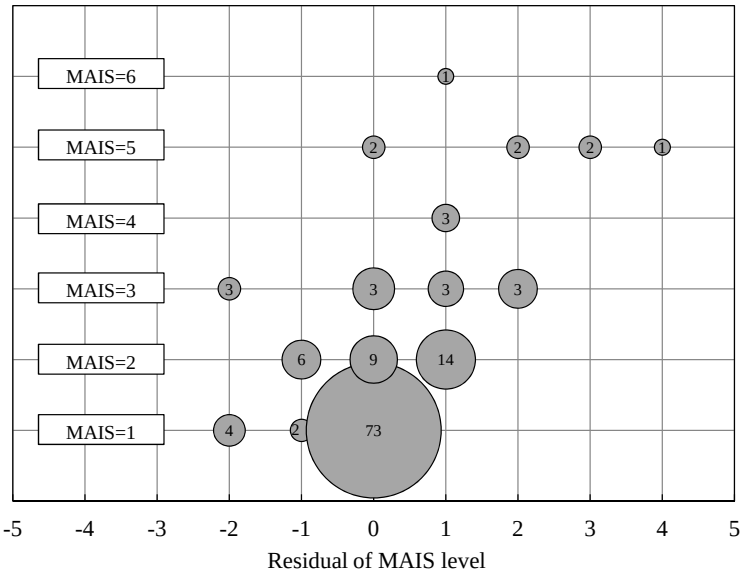
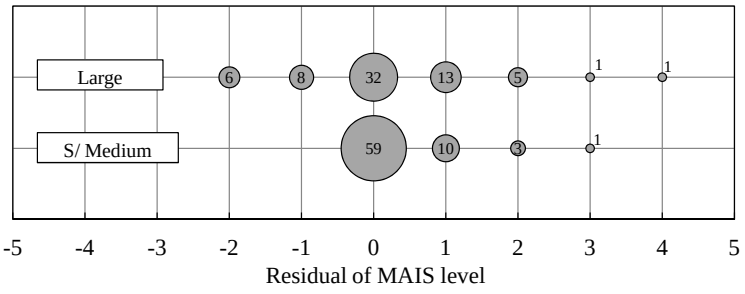


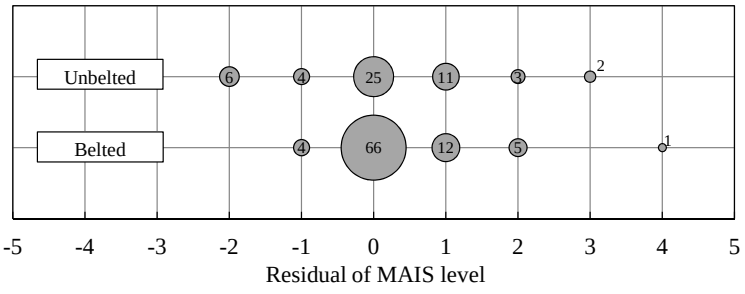
Fig. 3-15: Distribution of residual of injury prediction



(a) For MAIS

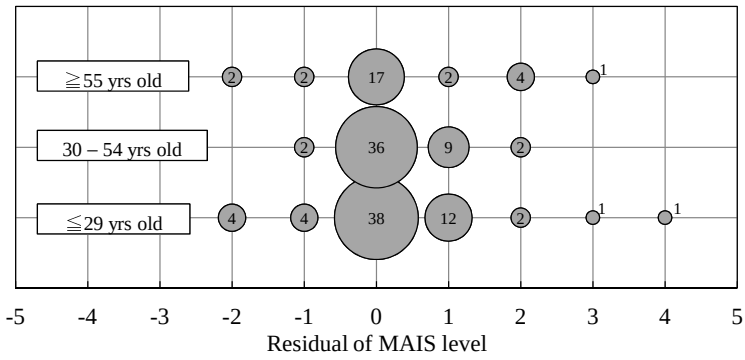


(b) For damage grade



(c) For seat belt use

Fig. 3-16: Residual for injury prediction factors



(d) For occupant's age

Fig. 3-16: Residual for injury prediction factors

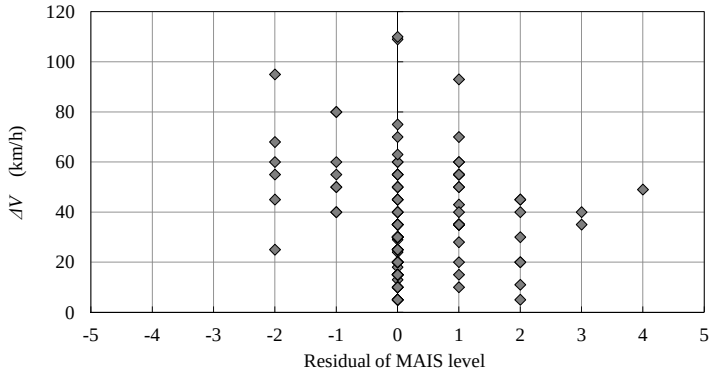


Fig. 3-17: Residual for injury prediction factors : Δ*V*

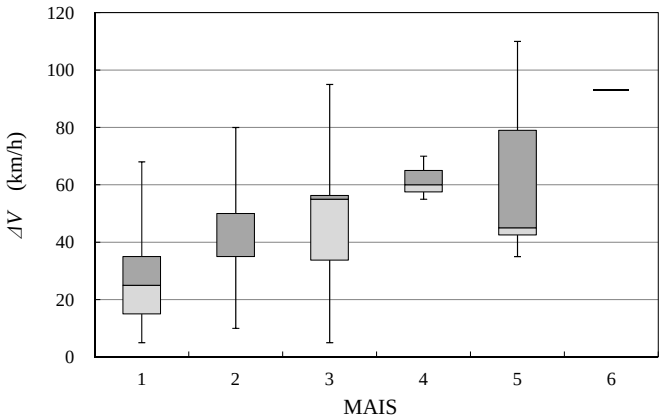


Fig. 3-18: Box plot of MAIS versus Δ*V*

3.8 結言

本章では，前面衝突時の乗員傷害に影響を及ぼす因子を明確にするために，第 2 章の分析手法を用いて分析した．国内の交通事故例である ITARDA ミクロデータから前面衝突時の運転席乗員傷害に対して順序ロジスティック回帰分析を適用し，有意に影響のある因子および乗員傷害予測式を求めた．そして，ITARDA マクロデータを用いてその検証を行った．さらに，予測外れの事故の分析を行うことにより，本予測式では評価できていない事故ではあるが，特徴的で影響の大きい事故の抽出を行った．得られた結論は以下である．

(1) 前面衝突時の乗員傷害に有意に影響のある因子は，ΔV，シートベルト着用有無，車両損壊程度および乗員の年齢である．

(2) 上記因子を用いて求めた乗員傷害予測式は，実際の事故の傷害リスクと概ね良い一致が得られ，的中精度は 65.5 %であった．さらに予測した致死確率，重症確率は実事故の同一条件での致死率，重傷率と相関が高く，本乗員傷害予測式は実事故における乗員傷害を妥当に評価できた．

(3) 本乗員傷害予測式を用いて，前面衝突時の車両損壊程度が大破の場合，小破・中破に比べて運転席乗員の死亡重症確率が約 2 倍高まることが分かった．また，シートベルトを着用していない場合は，着用している場合に比べて死亡重症確率が約 1.5 倍高まることが分かった．

(4) 予測から大きく外れる事故事例から，電柱衝突など局所的な車両変形が著しい前面ポール衝突事故，高齢の小柄女性運転者の事故，大型車との衝突事故など特徴のある事故が抽出できた．本章の検討では有意な因子としては得られなかったが，乗員の傷害に対する影響因子としての可能性が高いと考えられ，詳細分析が必要である．

第4章　予測外れの大きい事故の分析（1）前面ポール衝突事故

4.1　緒言

第 3 章にて，ITARDA ミクロデータを用いて前面衝突時の乗員傷害予測式を順序ロジスティック回帰分析にて求め，その有効性を確かめた．その予測式を用いた予測外れの事故の分析から，電柱等との前面ポール衝突事故が多く抽出され，この事故形態が重要な傷害リスク因子の一つであることが分かった．さらに，この前面ポール衝突事故は，正面衝突事故に比べて ΔV が 45km/h 以下の低速域の傷害リスク増加が ITARDA マクロデータの分析から観測され，因子間の交互作用がある可能性を示唆した．

前面ポール衝突事故は米国でも注視されており，樹木や電柱等との前面衝突が死者数の 20 %以上を占め [84]，MAIS3+の傷害を受ける事故の 30 %以上が，これら狭隘な対象との衝突であると報告されている [85]．このような衝突形態は，衝突車両の変形部位が局所的になり，特にフロントサイドメンバー等の主骨格部材と噛み合わない場合，キャビンへの侵入量が大きく重傷となりやすい [86, 87]．日本の事故においても，電柱への前面衝突事故は，工作物衝突事故の中でも死亡重傷者数が多く，死亡重傷率も高い厳しい事故であることが報告されている [88]．しかし，これらの研究では，車両側の局所的な変形に注目した解析に留まっており，事故全体の状況からの要因分析は十分行われていない．

そこで本章では，予測外れの大きい事故として抽出された前面ポール衝突事故の傷害メカニズム解明および乗員傷害予測式の改善を目的に，第 3 章にて抽出した前面衝突事故の ITARDA ミクロデータから電柱等の狭隘物への衝突となる前面ポール衝突事故を取り出し，詳細に分析した．分析の中では主成分分析を適用し，影響を及ぼす因子間の相互関係を確認した．得られた主成分と予測残差との関係から傷害予測精度を改善する因子を決定し，乗員傷害予測式の改善を試みた．さらに，ITARDA マクロデータを用いて検証を行い，前面ポール衝突事故の傷害発生メカニズムの解明を行った．また，被害を軽減するために有効な車両対策や道路環境施策について示した [89].

4.2　前面ポール衝突事故の分析の対象

4.2.1　分析の流れ

第 3 章で述べたように，対象の前面ポール衝突事故には因子間に交互作用があると推測されるので，本章では主成分分析を用いて因子間の相互関係を確認することを試みた．図 4-1 を用いて本章における分析の流れについて説明する．まず，第 3 章にて求めた乗員傷害予測式（以下，標準傷害

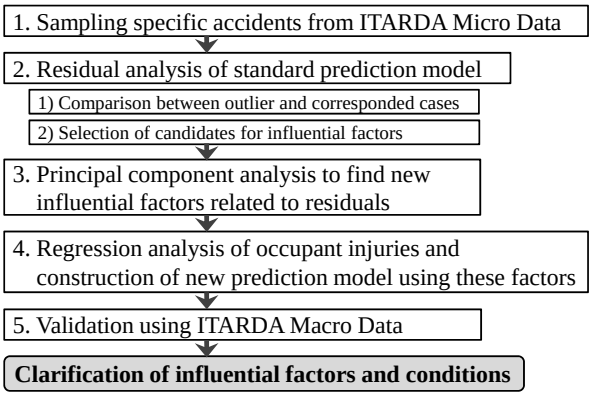


Fig. 4-1: Flow of study method on influential factors for specific accidents

予測式）に対して残差の大きい前面ポール衝突事故を ITARDA ミクロデータから抽出した．主成分分析を行う事前準備として，抽出した事故に対して標準傷害予測式による残差有無群の特徴を比較した．その特徴を踏まえ，候補となる影響因子を絞り込んだ．これら選定した変数を用いて主成分分析を行い，主成分を構成する変数群を求め，さらに，傷害予測精度に影響している主成分を特定するため，予測残差と各主成分の関係を確認した．その結果から前面ポール衝突事故特有の傷害発生メカニズムと乗員傷害予測式の改善因子を検討した．そして，その改善因子を用いて前面衝突事故全体の順序ロジスティック回帰分析を行い，前面衝突に対する改善した乗員傷害予測式を求めた．最後に，ITARDA ミクロデータでは，調査数，調査エリアが限られているため，この乗員傷害予測式が妥当であることを ITARDA マクロデータを用いて検証した．以上のステップを踏まえ，前面ポール衝突事故に適応する乗員傷害予測式の構築と影響する因子の明確化を図った．

4.2.2 分析の対象

分析対象を表 4-1 に示す．第 3 章にて収集した 2000～2009 年に発生した普通・軽乗用車の事故で，CDC コードにおける車両への入力方向が 11F，12F，01F の衝突形態をもつ前面衝突事故の中から，電柱，標識，街路灯，街路樹および衝突面の幅 500mm 以下の構造物等との車両単独事故 58 例を抽出した．狭隘物として設定する衝突面の幅は，車両前部が衝突する際，運動エネルギーを主に吸収する部材であるサイドメンバーが一般的に左右に 2 本あることから，その部材との噛み合いにくいさを考慮して，車両全幅のおよそ 1/3 以下となる 500mm 以下とした．また，ΔV=95km/h の 1 事例が ΔV の分布から大きく外れていたため除外し，最終的な分析対象を 57 例とした．

4.3 予測残差有無別の事故の特徴

前面ポール衝突事故の特徴を捉えるために，予測残差の有無に着目して比較分析を行った．対象とした前面ポール衝突事故から，標準傷害予測式にて MAIS の予測が過小評価となる残差が 2 以上の群 (以下，PU 群) と予測残差が 0 の群 (以下，PC 群) を抽出し，傷害発生メカニズムの特徴を比

Table. 4-1: Sampling data for frontal pole collisions

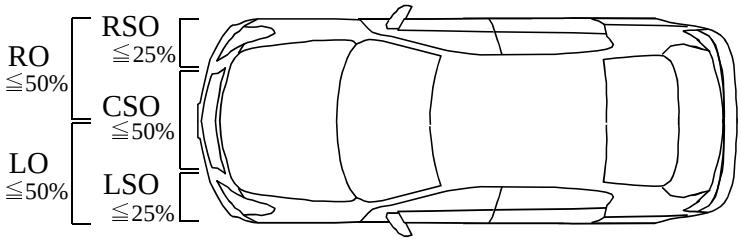
Accident type	Year of occurence	CDC code	Vehicle type	Sampling number
f–SVC [a]	2000–2009	11F, 12F, 01F	Kei-car [b], Small or regular vehicle	57
< Breakdown of accidents >				
Utility pole [c]				32
Sign pole				10
Tree				10
Other narrow object [d]				5
Total				57

[a] Frontal single-vehicle collision
[b] Light vehicle with an engine displacement of 660ml or less
[c] including a signal pole
[d] with impact face's width of 500mm or less

較した．PU 群は 6 例中 5 例の ΔV の範囲が 40～50km/h となっていたため，条件の近い事故を比較できるように PC 群は，± 5km/h 拡げた ΔV=35～55km/h の 12 例とした．また，主骨格部材のフロントサイドメンバーとポールとの噛み合い状況が衝突程度に大きく影響することが考えられるので，車体前部の変形写真または変形図から，ポールとの衝突による水平面での車両前部の変形エリアを図 4-2 に定義した方法で分類した．変形エリアを分類する手法として CDC コードが定義されているが，前部を 3 等分割した分類のため，フロントサイドメンバーとの関係が区別できない事例があり，今回の分類手法を考えた．

比較結果を表 4-2 に示す．PU 群の特徴としては 6 例中 6 例ともポール (電柱，街路樹等) が折損しない事例であった．そのうち 2 例は右外位置 (RSO) の変形エリアで右 A ピラーの変形が大きく，頭部傷害を負った事故，3 例が中央位置 (CSO) の変形エリアでシートベルト非着用で胸腹部の傷害を負った事故であり，フロントサイドメンバーと噛み合わない変形エリアの事故が多く見られた．

一方，PC 群の特徴としてはポールが折損する事例が 12 例中 6 例見られた．また，ポールが折損しない 5 例には右前位置 (RO) または左前位置 (LO) の事故が 4 例あり，フロントサイドメンバーと噛み合った衝突事故が多く見られた．この比較結果から，傷害予測の残差を発生する要因として変形エリアとポールの折損が相互関係していることが観測される．なお，車体変形量との関係に関しては，計測されているデータが少ないこともあり，明確な差は確認できなかった．



RSO : Right-side small overlap (≦25%)
LSO : Left-side small overlap (≦25%)
CSO : Center small overlap (≦50%)
RO : Right-side overlap (≦50%)
LO : Left-side overlap (≦50%)

Fig. 4-2: Definition of classification of deformation area (horizontal plane)

Table. 4-2: Comparison between group PU [a)] and group PC [b)]

Group	Pole breakage	Deformation area [c)]	Seat belt use	Injury part [d)]	Number	Case No.[e)]
PU	No	RSO	Belted	HE	2	3-(1), (11)
		CSO	Unbelted	CH, AB	3	3-(8), (9)
		LSO	Unbelted	CH	1	3-(10)
PC	Yes	RO, LO	Belted	NE, UE	2	
			Unbelted	HE, FA	2	
		RSO	Belted	HE	1	
		CSO	Unbelted	LE	1	
	No	RO, LO	Belted	NE, FA, CH	4	
		CSO	Unbelted	LE	1	
	Unknown	LO	Belted	NE	1	
Total					18	

[a)] PU:Group of underestimated accidents
[b)] PC: Group of corresponded accidents
[c)] Defined in figure 4-2
[d)] HE:Head, FA:Face, NE:Neck, CH:Chest, AB:Abdomen, UE:Upper extremity, LE:Lower extremity
[e)] See in table 3-7

4.4　主成分因子分析を用いた影響因子の抽出

4.4.1　主成分分析手法

因子間の相互関係を確認し，乗員傷害予測式を改善する因子構成を考えるために主成分分析を行った．その手法について説明する．分析対象の変数は，標準傷害予測式に使われている ΔV，車両損壊程度，シートベルトの着用有無および乗員の年齢の 4 変数に，前節の予測残差有無群の特徴から得られた車両前部の変形エリア，ポール折損有無，衝突したポールの種別 (電柱/それ以外) を追加した．さらに，前報の予測外れ事故の特徴として高齢小柄女性の事故例が見られていたので，身長と性別も考慮した．車両前部の変形エリアは特徴を考慮して，右外位置 (RSO)，中央位置 (CSO) および右前位置 (RO) とそれ以外に区分した．ポール折損有無に関しては，事故写真または記録上,「破断」,「折損」,「傾く」,「基礎がずれる」との記載があるものをポール折損有りと分類した．

主成分分析はパラメトリックな手法であるため，考慮する変数はなるべくであれば名義尺度のデータを使用しないことが推奨されている [70]．そこで量的変数はそのまま量的変数として扱い，名義尺度変数に対してはダミー変数に変換して対応した．ダミー変数化した変数も含めて 11 変数を用いて，主成分分析を因子抽出法として選択し固有値が 1 以上となる主成分まで求めた．分析には SPSS ver.19(IBM) を用いた．なお，変数間の多重共線性について Pearson の相関行列表を用いて確認した．その結果を表 4-3 に示す．身長と性別に多重共線性が確認されたが ($r=-0.744$, $p<0.001$)，高齢小柄女性の予測外れの事故が見られていたため変数は削減せず，結果評価の際に留意しておく．それ以外の変数間には多重共線性は見られなかった．

Table. 4-3: Pearson’s product-moment correlation for frontal pole collisions

Upper: Pearson's product-moment correlation
Lower: p-value
** p < 0.01, * p < 0.05

	Utility pole	Pole breakage	Large damaged	RSO	RO	CSO	ΔV	Seat belt use	Occupant's gender	Occupant's age	Occupant's height	MAIS	Residual
Utility pole	1.000	-0.048	0.080	-0.021	0.090	0.057	0.172	-0.062	-.273*	-0.096	0.242	-0.041	-0.135
		0.736	0.556	0.880	0.506	0.674	0.202	0.647	0.040	0.476	0.069	0.761	0.317
Pole breakage		1.000	0.027	-0.102	0.237	0.035	0.017	0.218	-0.132	0.148	0.037	-0.215	-0.223
			0.851	0.471	0.090	0.805	0.906	0.121	0.350	0.294	0.796	0.127	0.113
Large damaged			1.000	0.215	-0.012	0.213	0.205	-0.085	-0.092	-0.104	0.143	.466**	0.253
				0.108	0.928	0.111	0.125	0.528	0.495	0.443	0.287	0.000	0.057
RSO				1.000	-.282*	-0.212	-0.180	0.131	0.052	-0.087	-0.051	0.109	.275*
					0.033	0.114	0.180	0.331	0.701	0.520	0.709	0.418	0.038
RO					1.000	-.319*	0.259	-0.059	-.281*	-0.128	0.229	-0.156	-.271*
						0.016	0.052	0.665	0.035	0.343	0.087	0.245	0.042
CSO						1.000	0.052	-0.087	-0.022	0.046	0.007	.296*	0.174
							0.699	0.518	0.868	0.735	0.960	0.025	0.196
ΔV							1.000	-0.146	-0.197	-0.138	.311*	.454**	.262*
								0.279	0.142	0.307	0.018	0.000	0.049
Seat belt use								1.000	.307*	0.124	-.280*	-.371**	-0.096
									0.020	0.358	0.035	0.004	0.480
Occupant's gender									1.000	0.080	-.744**	-0.149	-0.078
										0.552	0.000	0.268	0.565
Occupant's age										1.000	-.293*	-0.061	-0.219
											0.027	0.652	0.102
Occupant's height											1.000	0.149	0.166
												0.269	0.217
MAIS												1.000	.822**
													0.000
Residual													1.000

4.4.2　主成分分析による因子間の相互関係

主成分分析による各成分の構成および寄与率を表 4-4 に示す．累積寄与率は 68.9 %であった．第 1 主成分を作る主要な変数は，身長，性別，ΔV，ポール種別 (電柱)，ベルト着用有無である．これらは体格や拘束装置，衝突時の車両減速度が関与しているので，傷害評価のベースとなる衝突時の乗員移動量に関連した成分と推測される．身長と性別に関しては体格差によるシート位置の影響と考えられるが，寄与が高いのは前述の多重共線性の影響が出ていることが考えられる．ただし，因子間の関係把握には問題はないと考える．

第 2 主成分を作る主要な変数は，変形エリア (右前位置) とポール折損有無である．変形エリアが中央位置，右外位置の成分も高いことから，変形エリアとポール折損有無に関連した成分と推測される．第 3 主成分は，変形エリア (中央位置，右外位置) と乗員の年齢で構成されており，この成分も変形エリアに関係した成分と考えられる．特に，小ラップ率衝突時の乗員年齢による影響が関連していると考えられる．

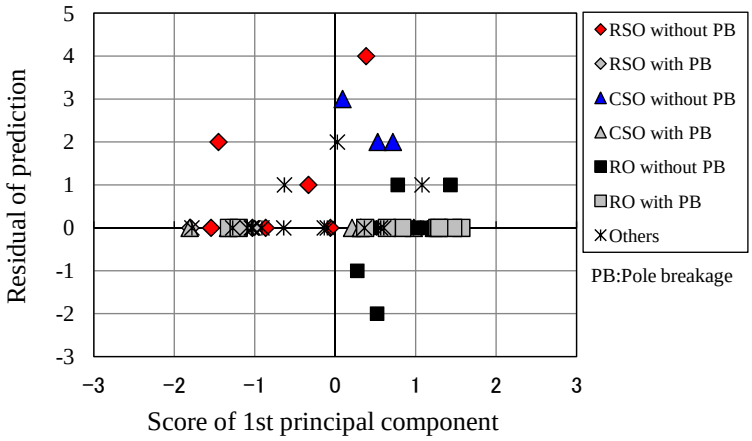
第 4 主成分は，車両損壊程度からなり，ポール折損有無の成分も高いことからも車体変形量に関係した成分と推測される．第 5 主成分は，ΔV の成分が第 1 主成分に次いで高めではあるが，乗員の性別，年齢，身長の成分が全体的に高く，乗員の体格・耐性に関連した成分と推測される．

Table. 4-4: Result of principal component analysis

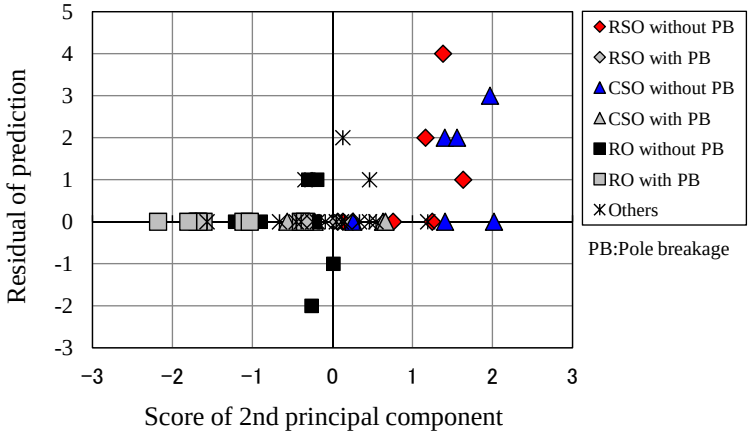
	Principal components				
Factors	1st	2nd	3rd	4th	5th
Occupant’s height	0.825	0.065	0.039	-0.004	-0.275
Occupant’s gender	-0.776	0.035	0.095	-0.012	0.504
ΔV	0.546	-0.005	-0.034	0.139	0.527
Pole type	0.501	0.114	0.148	-0.106	-0.165
Seat belt use	-0.431	-0.406	0.089	0.386	-0.014
RO	0.474	-0.630	0.266	0.063	0.248
Pole breakage	-0.091	0.567	0.295	-0.566	0.149
CSO	0.061	0.449	-0.760	0.144	0.118
RSO	-0.361	0.357	0.517	0.373	-0.414
Occupant’s age	-0.293	-0.305	-0.511	-0.063	-0.383
Damage grade	0.235	0.452	0.032	0.694	0.146
Proportion	23.0 %	13.9 %	11.9 %	10.4 %	9.7 %

4.4.3　予測残差に影響する主成分因子

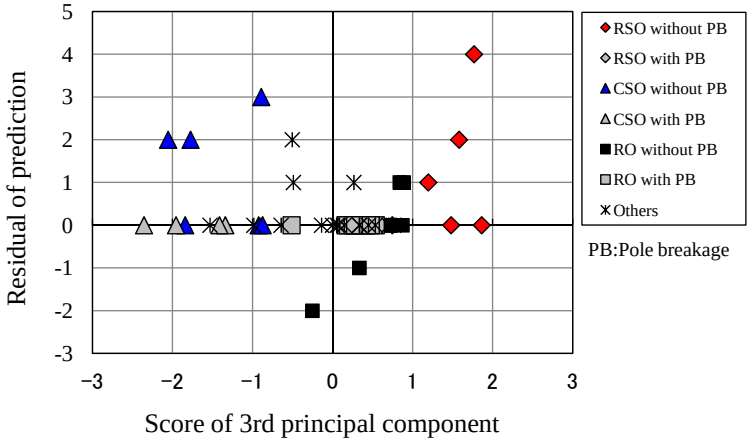
標準傷害予測式による予測残差と分析した第 1〜第 3 主成分得点との関係を図 4-3 に示す．予測残差の大きい事故は，第 2，第 3 主成分の得点に特徴が確認できる．変形エリアが中央位置または右外位置でポールが折損しない予測残差の大きい事例は第 2 主成分の得点が高く，変形エリアが右外位置で予測残差の大きい事例は第 3 主成分の得点が高い傾向にある．これらのことから，第 2，第 3 主成分は，乗員傷害予測精度に影響があり，予測精度の改善にはこの第 2，第 3 主成分を考慮した因子の組み込みが必要であると推測する．すなわち，変形エリアとポール折損有無の相互関係の組み込みが必要と考える．



(a) 1st principal component



(b) 2nd principal component



(c) 3rd principal component

Fig. 4-3: Relation between component scores and residuals

4.5　乗員傷害予測モデルの改善

4.5.1　乗員傷害予測式の改善因子

標準傷害予測式に対して 4.4 節で分析した因子の組み込みを考える．前面ポール衝突事故の傷害リスクは，ポールが折損しない場合における変形エリアが右外位置および中央位置の影響が大きいため，ポール条件として表 4-5 に示すカテゴリーに分類した因子を考慮した．ポールが折損する場合は傷害リスクの上昇が確認されなかったので，前面ポール衝突以外のカテゴリーと合わせた．この変数を標準傷害予測式に追加して第 3 章と同様に，順序ロジスティック回帰分析を行った．目的変数を MAIS とした順序ロジスティック回帰モデルは，2.6.2 項で説明したモデルとする．

Table. 4-5: Categories of a new factor for frontal pole collisions

Classification	Factors [a)]	Variable type [a)]	Categories
Others	Pole condition	C(4)	RSO without PB [b)] / CSO without PB/ Others without PB / With PB (including head-on collision)

[a)] C: Categorical variable (number of categories)
[b)] PB: Pole breakage

4.5.2　改善した乗員傷害予測式

得られた乗員傷害予測モデルの回帰係数を表 4-6 に示す．改善のため追加したポール条件の項目は，ポールが折損しない場合のその他の変形エリアを除いて Wald の検定で 5 %有意であった．この因子の追加に伴い，車両損壊程度と乗員の年齢の 30～54 歳カテゴリー因子がそれぞれ p=0.069, p=0.058 と有意水準 (p<0.05) を若干上回ってしまったが，*AIC* の改善は見られたので，この回帰モデルが最適と考える．推定された MAIS のカテゴリー と観測されたカテゴリー の対比状況を表 4-7 に示す．本乗員傷害予測式による MAIS の的中精度は 66.2 %と数値上は 3.4.3 項で求めた標準傷害予測式から向上しなかったが，死亡重症判定的中率（MAIS3+）は第 3 章の 82.7 %から 86.3 %に改善した．特に，MAIS3+に対する感度は 0.548 から 0.645 に改善が見られた．

第 3 章では，衝突対象として電柱などとの衝突を区別して評価していたが，有意な因子としては抽出されなかった．これは，ΔV との交互作用などから単純な傷害リスク因子として現れにくいことが考えられる．図 3-4 の MAIS3+に対するオッズ比の確認でも，普通乗用車との衝突に対して単純なオッズ比の上昇は確認できなかった．

変形エリアが右外位置および中央位置にてポールが折損しない場合の傷害確率をシートベルトの着用有無別に図 4-4，図 4-5 に示す．これらの衝突でポールが折損しない場合の傷害リスクは，ポールが折損する場合に比べて死亡重症確率が，ΔV=40～60km/h 付近で 1.5～3 倍高くなっている．事故事例比較でも確認できたように，この条件ではエネルギー吸収部材であるサイドメンバーの変形が少なく，それ以外の車両前部の局所変形が大きくなることが傷害リスクに起因していると考える．電柱などの狭隘構造物と衝突した場合でも，局所変形を防止しサイドメンバーでのエネルギー吸収を確保できる車体構造が求められる．

Table. 4-6: Result of ordinal logistic regression for frontal pole collisions

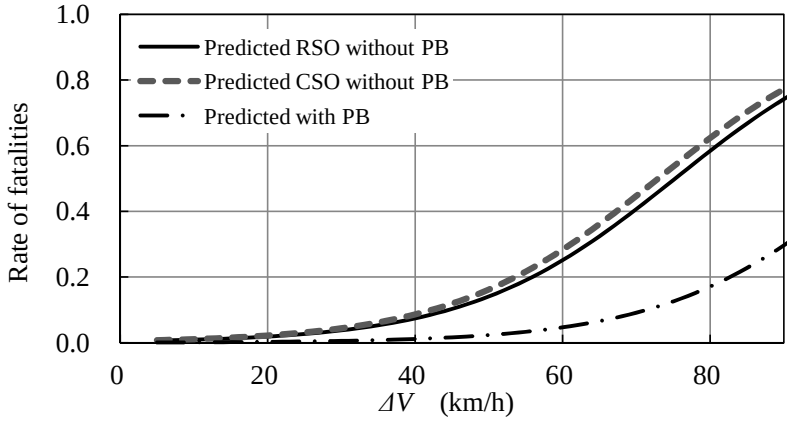
Factors		Coefficients	S.E.	p-value
Intercept	MAIS=1	2.037	0.733	0.005
	MAIS=2	3.713	0.789	< 0.001
	MAIS=3	5.704	0.923	< 0.001
	MAIS=4	6.258	0.972	< 0.001
	MAIS=5	9.331	1.542	< 0.001
ΔV		0.0716	0.0124	< 0.001
Damage grade	Small or Medium	–0.849	0.467	0.069
	Large	–	–	–
Seat belt use	Unbelted	1.454	0.408	< 0.001
	Belted	–	–	–
Occupant's age	≤29	–1.180	0.522	0.022
	30 – 54	–1.046	0.551	0.058
	≥55	–	–	–
Pole condition	RSO without PB	1.919	0.859	0.026
	CSO without PB	2.083	0.833	0.012
	Others without PB	–1.094	0.637	0.086
	With PB	–	–	–

AIC= 236.1, χ^2 =93.69, Nagelkerke R^2 =0.540

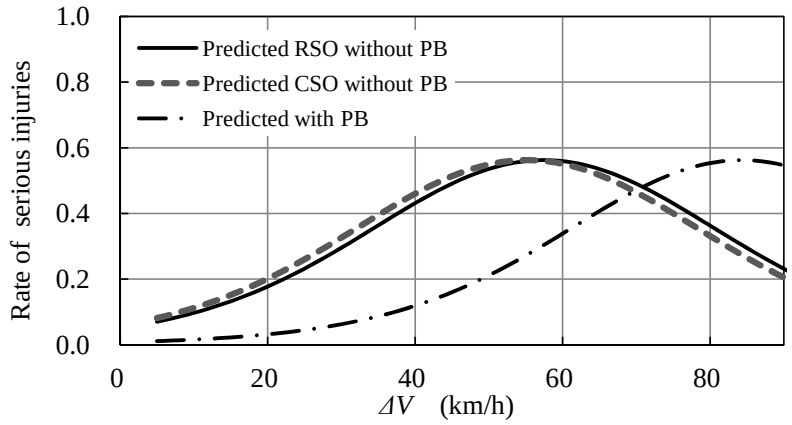
Table. 4-7: Predicted MAIS result for frontal pole collisions

	Predicted MAIS						
Observed MAIS	1	2	3	4	5	6	Total
1	72	5	2	0	0	0	79
2	15	8	6	0	0	0	29
3	5	5	9	0	1	0	20
4	0	0	3	0	0	0	3
5	0	1	3	0	3	0	7
6	0	0	0	0	1	0	1
Total	92	19	23	0	5	0	139

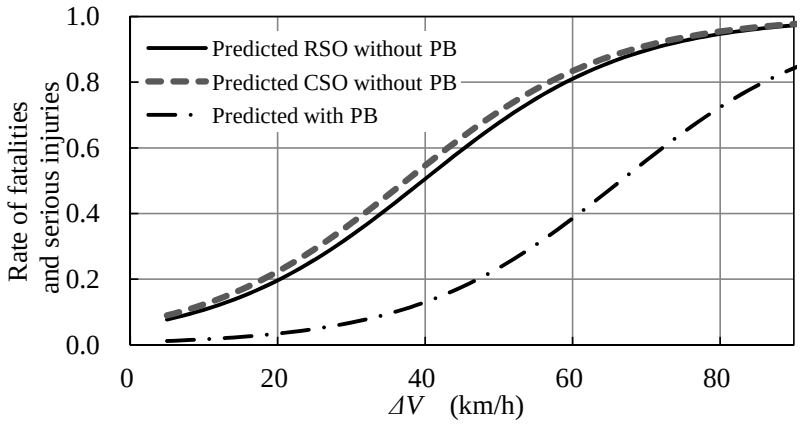
Predictive accuracy :0.662
Judgment rate of fatal and serious injury :0.863
Sensitivity for MAIS3+ :0.645
Specificity for MAIS3+ :0.926



(a) Rate of fatalities

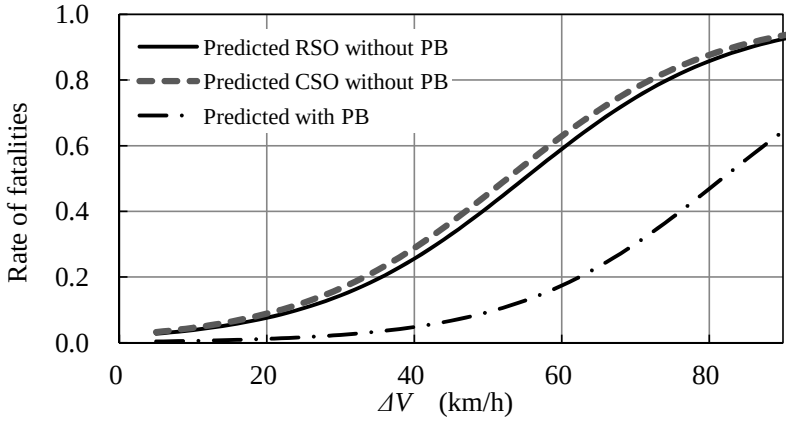


(b) Rate of serious injuries

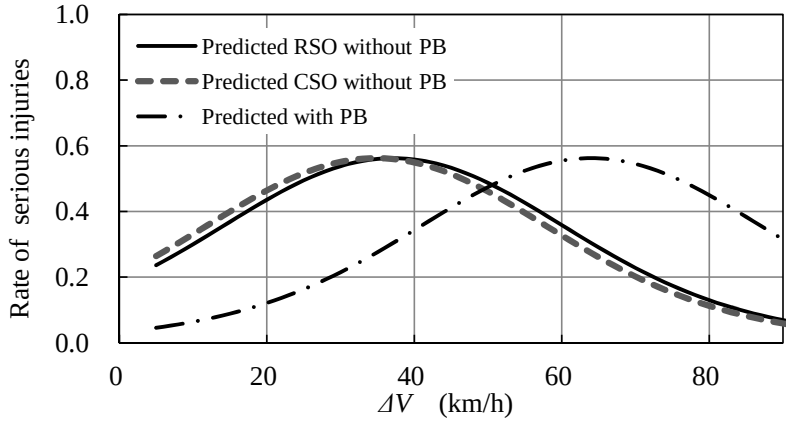


(c) Rate of fatalities and serious injuries

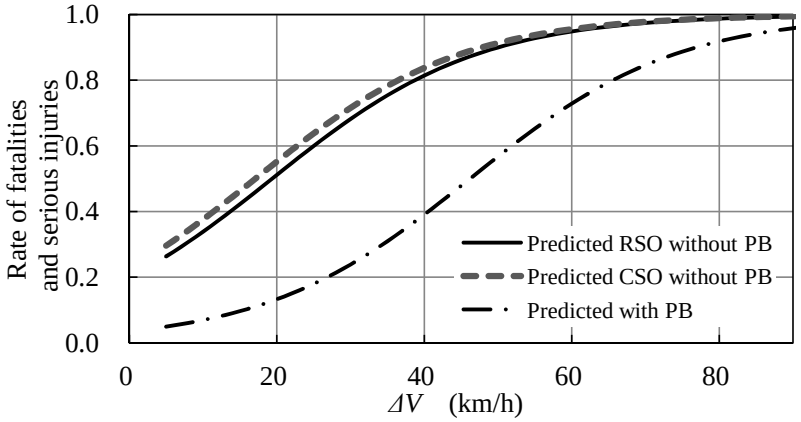
Fig. 4-4: Injury prediction of pole condition for belted 30 –54 yrs old drivers in large damaged



(a) Rate of fatalities



(b) Rate of serious injuries



(c) Rate of fatalities and serious injuries

Fig. 4-5: Injury prediction of pole condition for unbelted 30 –54 yrs old drivers in large damaged

4.6　ITARDA マクロデータを用いた検証

前面ポール衝突事故に適用できるように改善した前面衝突時の乗員傷害予測式が妥当であることを検証するために，ITARDA マクロデータを用いて電柱 (信号柱含む) との車両衝突事故と普通乗用車 (軽乗用車含む) との正面衝突事故の傷害リスクの比較を行う．車両前部の変形エリアに関しては，ITARDA ミクロデータ分析で分類した右外位置 (RSO)，中央位置 (CSO) の定義と同一内容での分類は ITARDA マクロデータではできないため，右外位置を ITARDA マクロデータの衝突部位右角部，中央位置を衝突部位中央前部と比較する．ただし，ポールの折損状況に関しては，ITARDA マクロデータでは情報がないため，他の情報での置換えた結果による検証を考えた．

4.6.1　電柱の折損する車両衝突速度

前面ポール衝突事故は ΔV との交互作用があることが示唆されていたので，ポール折損が車両衝突速度で変化することを考えた．すなわち，車両衝突速度が高まるほど，ポールの折損する確率が高まることが推測される．そこで，電柱への衝突を代表として ITARDA ミクロデータから前面衝突事故を抽出し，電柱の折損状況から車両衝突速度と電柱折損有無の関係をロジスティック回帰分析にて求めた．ここで，対象とした事故は，1993 年～2010 年に発生した普通・軽乗用車における電柱（信号柱を含む）との衝突事故から，CDC コードにおける車両への入力方向が 11F，12F，01F の衝突形態を有し，電柱の折損状況が確認できた 77 件を対象とした．ポールの折損には電柱の径や材質，基礎等の強度による影響も考えられるが，残差有無群の特徴や主成分分析にてこれらの特異性は見られなかったため，それらの影響は少ないと考えた．

その結果，図 4-6 に示すように車両衝突速度（V_i）による電柱折損する確率が得られた．χ 2 検定の結果は p<0.01 で有意であり，車両衝突速度の変数も有意（p<0.01）であった．50 %の確率で電柱が折損する車両衝突速度は，64.0km/h と推定される．さらに，ITARDA マクロデータの情報で置換え，乗員傷害予測式と比較できるように，車両衝突速度から ΔV への変換を行った．図 4-7 に車両衝突速度 V_i と ΔV との相関関係を示す．ここで，ΔV が 10km/h 以下の事故は，ばらつきが大きかったため除外して求めた．この相関式を用いて ΔV による電柱の折損する確率 を求めた．以下の式にその関係を示す．

$$P_p = \frac{1}{1 + exp(-Z_p)} \tag{4.1}$$

ここで，

$$Z_p = \beta_{p0} + \beta_{p1} \cdot \Delta V \tag{4.2}$$

$$\begin{aligned} \beta_{p0} &= -4.362 \\ \beta_{p1} &= 0.0882 \end{aligned} \tag{4.3}$$

なお，電柱の折損する確率を直接 ΔV との関係を用いてロジスティック回帰分析を行ったが，χ^2 検定結果は，p=0.125 と有意な結果が得られなかった．ΔV と V_i との相関が十分でないことが影響していると推測され，精度上の課題であると考える．

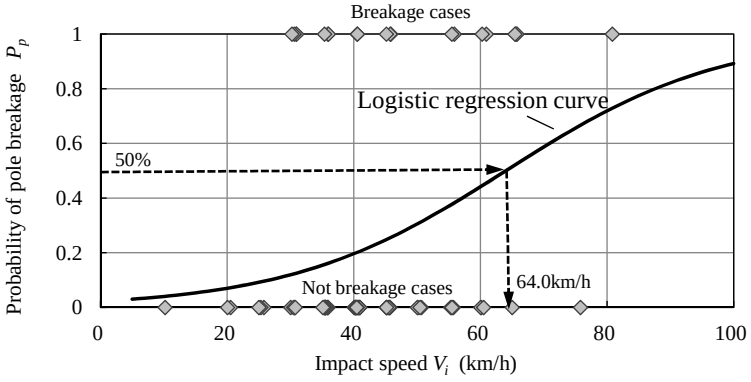


Fig. 4-6: Predicted probability of utility pole breakage versus impact speed V_i

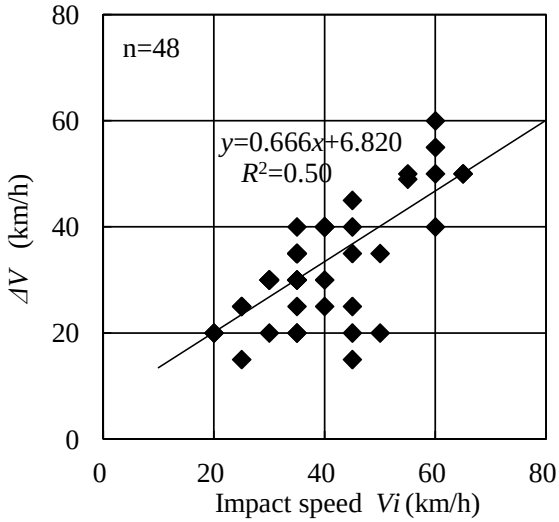


Fig. 4-7: Relation between impact speed V_i and ΔV

4.6.2 ポールの折損確率を組み込んだ乗員傷害予測式

電柱にて求めたポールの折損確率がその他のポールにも適用できると仮定して，乗員傷害予測式の置換えを行った．MAIS カテゴリーに対する傷害確率は，式（4.4）に示すようにポールが折損しない場合の傷害確率 P_0 とポールが折損する場合の傷害確率 P_1 のそれぞれにポールの折損しない確率と折損する確率を乗じた和とした．ここで，ポールの折損確率は，4.6.1 項で求めた電柱の ΔV に対する折損確率 P_p とした．

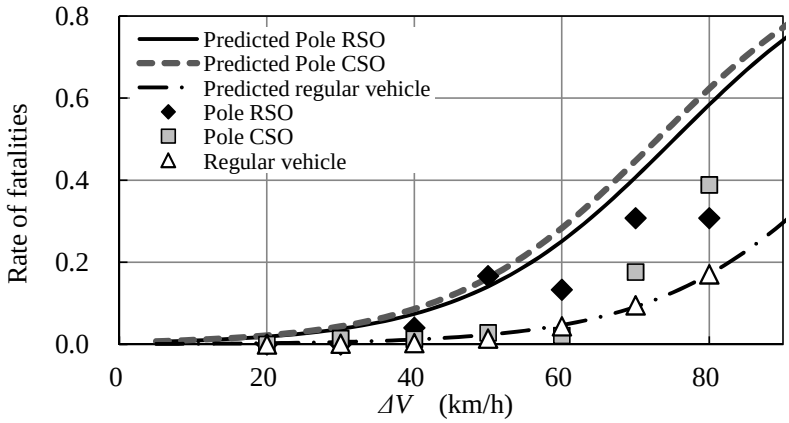
$$P(Y \le Y_j) = P_0(Y \le Y_j) \cdot (1 - P_p) + P_1(Y \le Y_j) \cdot P_p \tag{4.4}$$

4.6.3　検証結果

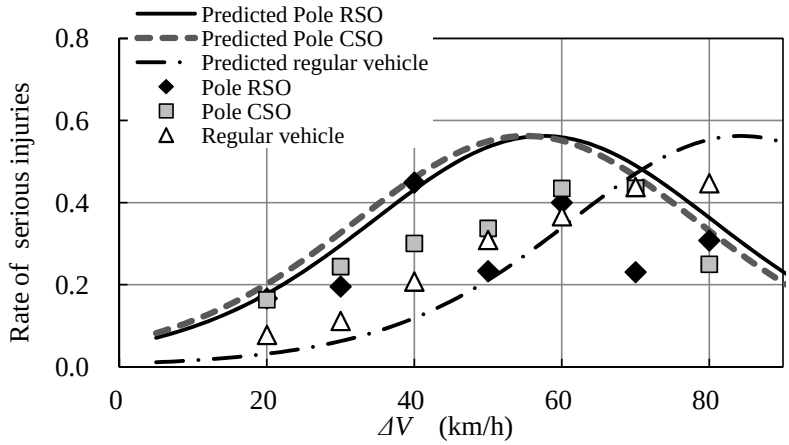
ΔV を用いてポールの折損状況を置換えた乗員傷害予測式と，ITARDA マクロデータを用いて電柱 (信号柱含む) との車両衝突事故と普通乗用車 (軽乗用車含む) との正面衝突事故の傷害リスクとの比較を行った．因子の条件別に，MAIS5+，MAIS=3～4 および MAIS3+となる傷害確率を求め，ITARDA マクロデータでの致死率，重傷率および死亡重傷率と比較した．分析対象は，乗員傷害予測式を求める条件と同一の 2000 年～2009 年では対象事故数が少なかったため，1996 年～2010 年に発生した事故とし，ITARDA マクロデータでの ΔV は± 5km/h の擬似 ΔV を合算して求めた．車両前部の変形エリアに関しては，前述した条件で比較する．その結果を図 4-8，図 4-9 に示す．

位置の定義の違いや，特に右外位置 (RSO) の死傷者数が，条件別に分けると 50 人未満と少なくなり，厳密な比較はできないが，第 3 章にて課題として挙げていた ΔV=45km/h 以下の低速域にて電柱への衝突時の傷害リスクが約 2 倍高まる傾向は概ね一致しており，本予測手法は妥当であると考える．

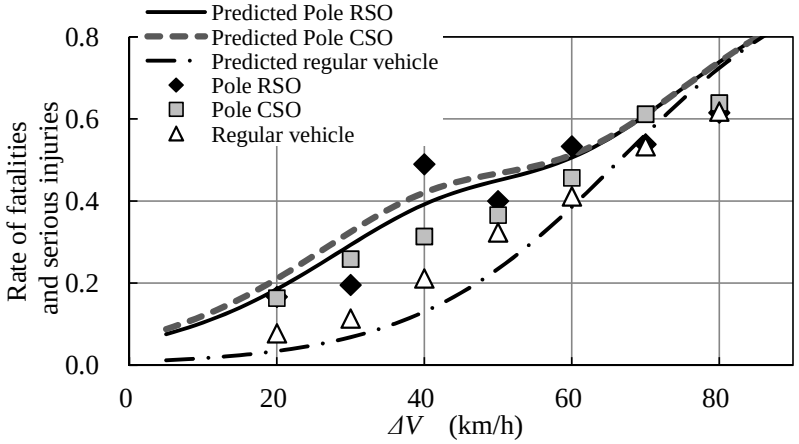
ただし，図 4-9 に示すシートベルト非着用時の乗員傷害予測式に関しては，やや予測誤差がシートベルト着用時より大きい傾向にある．シートベルト着用有無の回帰係数が第 3 章において解析した回帰係数より大きくなっており，普通乗用車に対しては予測は近いが，衝突位置が右外位置や中央位置に対しては傷害確率が大きく算出されている．第 3 章の予測外れ事故事例の中では，予測が過大評価となる 6 例すべてがシートベルト非着用となっており（表 3-7 参照），この影響が大きく現れたと考える．前面ポール衝突時のシートベルト非着用の影響については，後述する考察でも述べるが，まだ精度上の課題があると考える．



(a) Rate of fatalities

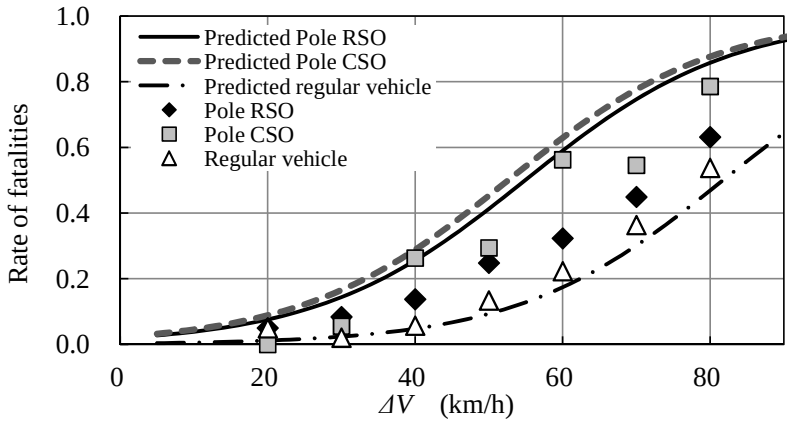


(b) Rate of serious injuries

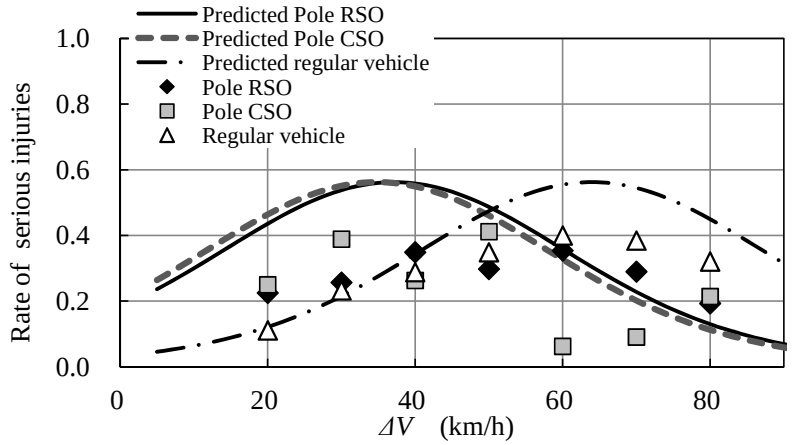


(c) Rate of fatalities and serious injuries

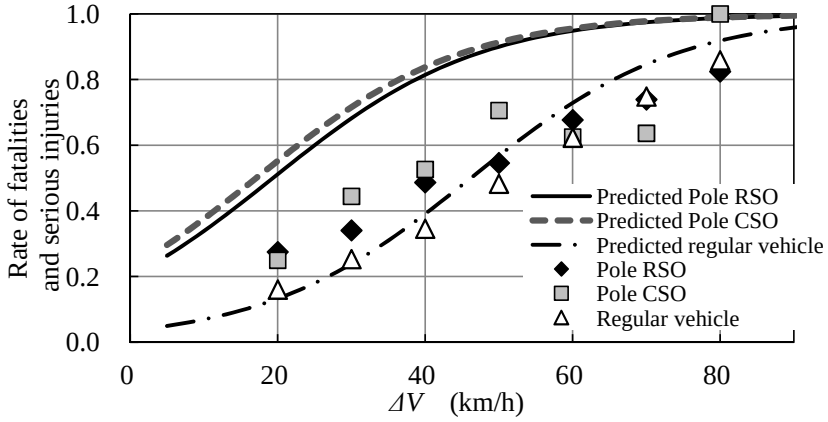
Fig. 4-8: Comparison with ITARDA Macro Data for belted 30 –54 yrs old drivers in large damaged



(a) Rate of fatalities



(b) Rate of serious injuries



(c) Rate of fatalities and serious injuries

Fig. 4-9: Comparison with ITARDA Macro Data for unbelted 30 –54 yrs old drivers in large damaged

4.7 考察

4.7.1 残っている予測外れ事故

本章にて改善した乗員傷害予測式を用いて，対象 ITARDA ミクロデータにて残っている予測残差の大きい事故の確認を行った．残差の基準は第 3 章と同様に MAIS の予測値と観測値の差が 2 以上とする．その結果を図 4-10 に示す.

過小評価となっていた前突ポール衝突事故事例は，3.6.1 項の 6 例から 4 例に減少した．予測外れ事故として残った前突ポール衝突事故も残差の改善は見られたが，残差が± 1 以内には収まらなかった． この原因としては，シートベルト着用非着用の影響が考えられる．予測外れ事故として残っている 4 例のうち 3 例はシートベルト非着用の事故であり，まだ考慮できていない要因による精度上の課題と考える.

また，全体の予測外れ事故事例は 17 例から 12 例に減少した．係数の変更により過大評価となっていた 29 歳以下の運転者の 1 例，高齢の太った男性の運転者の 2 例が予測外れの対象外となった．過小評価となっていた高齢小柄女性運転者や大型車との衝突事故の予測外れは今後の継続課題として残っている.

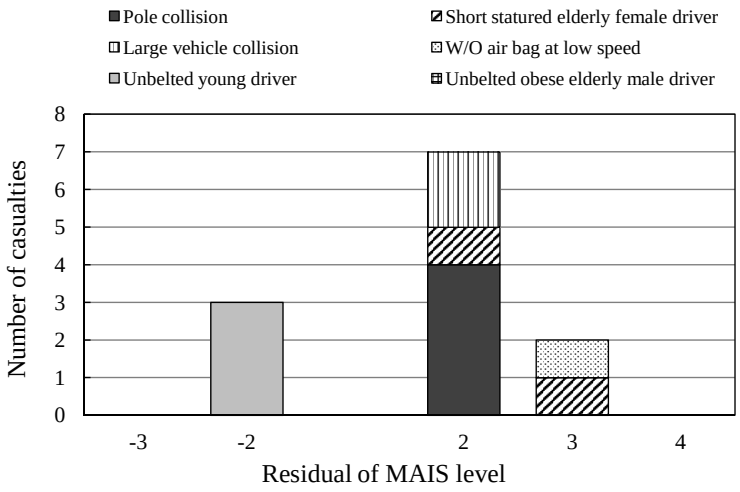


Fig. 4-10: Residual of predicted MAIS for injury prediction model improved by pole condition factor

4.7.2 防護柵と電柱衝突との傷害リスク比較

国内において電柱は幹線道路から生活道路まであらゆる道路で設置されており，路外へ逸脱した場合には電柱との衝突は避けることが困難である．幹線道路などでは歩道の整備と共にガードレールなどの防護柵が設置され，歩道側に電柱が設置されている所がある．そこで，電柱等との衝突のリスクを確認するために，ITARDA マクロデータを用いて，対照的な防護柵への衝突と死亡重傷率の比較分析をした．その結果を図 4-11 に示す.

塩田ら [90] の分析でも指摘されているように，防護柵による被害軽減効果は有り，電柱との正面衝突に比べて，特に ΔV の高い域では死亡重傷率を半減できると考える．道路整備上の課題として，電柱や信号柱の設置に対しては，防護柵の設置と併せて総合的に安全施策を考えていく必要がある.

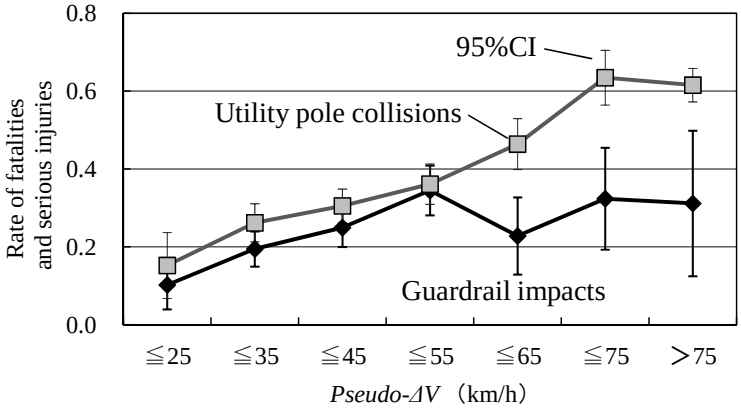


Fig. 4-11: Utility pole collisions versus guardrail collisions in ITARDA Macro Data for belted 30–54 yrs old drivers in large damaged frontal center crash in 2000-2009

4.8　結言

本章では，第 3 章で求めた標準傷害予測式において予測が外れる特徴的な事故として抽出された電柱等との前面ポール衝突時の乗員傷害に対して詳細に分析を行った．この事故形態の乗員傷害に影響を及ぼす因子を明確にするために，ITARDA ミクロデータを用いて主成分分析を適用し，相互に関係のある影響因子の抽出を行った．その結果から，前面ポール衝突特有の傷害発生メカニズムを明確にした．さらにその因子を用いて，前面衝突時の乗員傷害に対して順序ロジスティック回帰分析を適用し，乗員傷害予測精度の改善を試み，ITARDA マクロデータを用いてその有効性を確かめた．また，これらの結果を受けて，乗員の被害を軽減する施策について示した．得られた結論は以下である．

(1) 電柱等との前面ポール衝突事故に対して乗員傷害に影響のある因子は，車両前部の変形エリアとポール折損有無であり，これらは相互関係している．

(2) ITARDA ミクロデータ分析から前面ポール衝突事故の特有な傷害発生メカニズムは以下である．
(a) 右外位置の低ラップ率衝突において A ピラー変形が大きくなり頭部を干渉し受傷．
(b) 中央位置の衝突にて胸腹部を受傷．特にベルト非着用の場合は顕著となる．

(3) 上記影響因子である変形エリアと，ポール折損有無の関係を示すポール条件因子を用いて求めた乗員傷害予測式は，予測精度が改善し，予測感度が向上することができた．

(4) 車両前部の変形エリアが右外位置または中央位置でポールが折損しない場合，ポールが折損する場合に比べて死亡重症確率は ΔV=40～60km/h 付近で 1.5～3 倍高くなる．

(5) ΔV を用いて置換えた乗員傷害予測結果は，前面ポール衝突事故が ΔV =45km/h 以下で正面衝突事故に比べて傷害リスクが約 2 倍高いなど ITARDA マクロデータと概ね良い一致が得られ，その有効性を確認できた．ただし，シートベルト非着用時の前面ポール衝突の乗員傷害予測に関しては，まだ精度上の課題がある．

(6) 前面ポール衝突事故の傷害リスクを低減するには，車両側の対策として，電柱などとの狭隘構造物と衝突した場合でも局所変形を防止し，サイドメンバーでのエネルギー吸収を確保できる車体構造が求められる．

(7) また，傷害リスクを低減するには車両側の対策だけでなく，車両が路面逸脱した時に電柱等との衝突防止に有効な防護柵の設置など総合的な施策が必要であり，ITARDA マクロデータを用いた分析から，その有効性が確認できた．

第5章　予測外れの大きい事故の分析（2）大型車との前面衝突事故

5.1　緒言

第 4 章で分析した前面ポール衝突事故に続き，普通乗用車などが貨物車や大型車と正面衝突する事故 (以下，大型車との衝突事故) が予測外れの大きかった事故として挙げられていた．大型車との衝突事故は，相手車の質量増や衝突面高さや形状の違いによる加害性が懸案されており，傷害リスクの研究や被害軽減に対する施策が行われている．国内では，交通状況から大型車と普通車の混合流による被害の大きい事故が懸案され，大型トラックに衝突した普通乗用ボンネット車乗員の死者数は，普通乗用ボンネット車同士の死者数の約 1.9 倍に相当し，死亡率も 20 倍以上になっていると報告されている [91]．また，貨物車，大型車のフレームの高さは普通乗用車のフロントサイドメンバーの高さより高いため，両者が正面衝突した場合，普通乗用車が大型車へ潜り込むような形となりやすい．米国では交通流で特徴的な小型トラックや SUV 等と乗用車とのコンパティビリティ性能が懸案され，衝突時の荷重や高さ制限の自主規制が始まっている．また欧州では ECE-R93 により，2003 年 8 月より大型車の加害性の軽減として相手車の潜り込みを防止するフロントアンダーランプロテクター（FUP）の義務化が始まっている．FUP は国内でも 2011 年 10 月から義務化され，FUP 装備により 40 %の死者を削減できる効果が試算されている [28]．2012 年における普通・軽乗用車および軽貨物車乗員の事故類型別死傷者の構成では，図 5-1 に示すように大型車との正面衝突事故が死者の 14.4 %と多くを占めている．このように，大型車との衝突事故は普通車側の被害が大きく，注目されている事故形態の一つである．

そこで本章では，大型車との衝突事故の傷害メカニズム解明および乗員傷害予測式の改善を目的に，第 3 章にて抽出した前面衝突事故の ITARDA ミクロデータから大型車との衝突事故を取り出し，詳細に分析した．さらに，ITARDA マクロデータを用いて包括的な分析を行い，日本における大型車との衝突事故に対する乗員傷害に影響する因子の解明を行った．また，分析の中で，大型車との衝突時の ΔV の解析精度の課題が確認できたため，シミュレーションを用いて，ΔV の解析精度の考察を行った [92].

5.2　大型車との前面衝突事故の分析の対象

5.2.1　分析の流れ

図 5-2 を用いて本章における分析の流れについて説明する．まず，対象の事故形態である事故事例を ITARDA ミクロデータから抽出した．次に，抽出した事故群に対して，第 3 章で求めた乗員傷害予測式 (以下，標準傷害予測式) の予測残差別にその特徴を比較した．その結果から得られた特徴的な因子に対して，事故データの再解析を行い，その解析結果を用いて妥当性および乗員傷害予測式への影響を確認した．さらに，その関係の妥当性を検証するために，ITARDA マクロデータを用

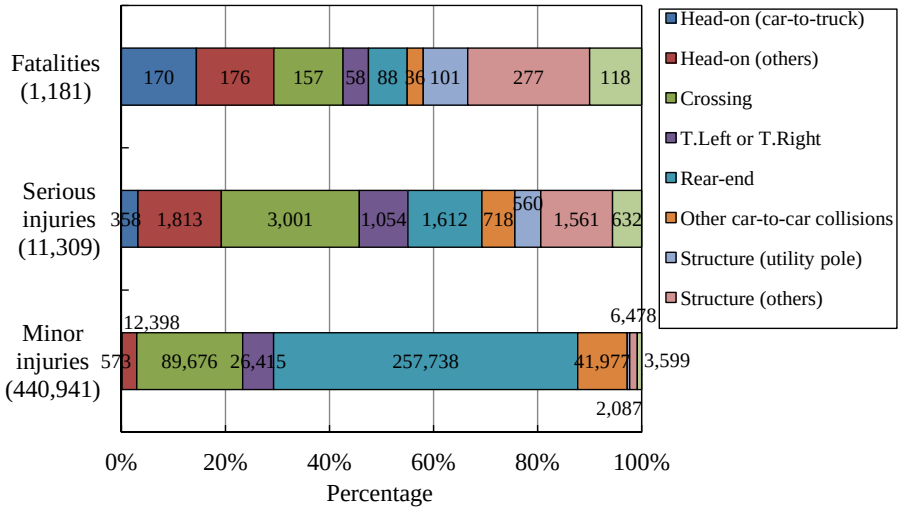


Fig. 5-1: Percentage of accident type in regular car, Kei-car and Kei-truck in 2012 (for first and second party vehicle's occupants)

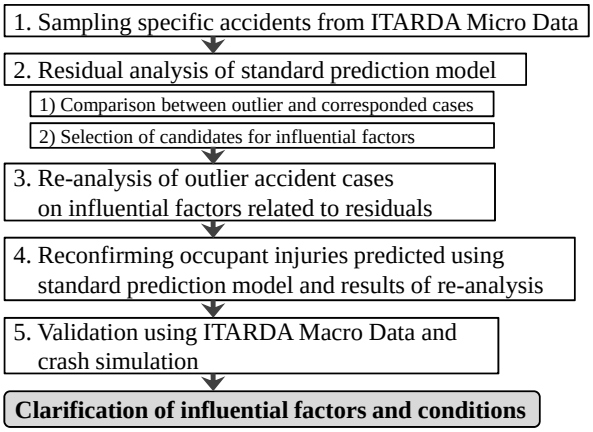


Fig. 5-2: Flow of study method on influential factors for car-to-truck collisions

いて比較分析した．また，影響する因子に対して要因を考察するために，衝突シミュレーションの解析を試みた．以上のステップを踏まえ，大型車との衝突事故に適応する乗員傷害予測式の構築と影響する因子の明確化を図った．

5.2.2　分析の対象

分析対象を表 5-1 に示す．第 3 章にて収集した 2000～2009 年に発生した普通・軽乗用車の事故で，CDC コードにおける車両への入力方向が 11F，12F，01F の衝突形態をもつ前面衝突事故の中から，相手車両の空車質量が 2,500kg 以上の貨物車または大型車である正面衝突事故 9 例の運転席乗員とした．

Table. 5-1: Sampling data for car-to-truck collisions

Accident type	Year of occurence	CDC code	Vehicle type	Sampling number
H-on [a)]	2000–2009	11F, 12F, 01F	Kei-car [b)], Small or regular vehicle	9
< Breakdown of opponent's vehicle >				
Heavy duty truck				6
Regular truck (≥2,500kg)				2
Large-sized special vehicle				1
Total				9

[a)] Head-on collision
[b)] Light vehicle with an engine displacement of 660ml or less

5.3　予測残差別の事故の特徴

大型車との衝突事故の特徴を捉えるために，予測残差の有無に着目して比較分析を行った．対象とした大型車との衝突事故の主な状況を表 5-2 に示す．標準傷害予測式による予測結果より，予測残差が 2 以上となる事故は 2 例見られた．影響因子を絞り込むために，サンプル数は少ないが簡易的に Pearson，Spearman の相関行列表を用いて，予測残差と相関が見られる因子を確認した．ここで，分析対象とした因子は第 3 章で考慮した因子および大型車との衝突事故で懸案される潜り込み有無，自車両の質量 (M_1) と相手車両の質量（M_2）の比（質量比 M_2/M_1）を加えた質的変数 16 因子，量的変数 6 因子の計 22 因子とした．ここで，車両種別は軽自動車が事故事例に含まれていなかったため除外した．その結果を表 5-3 ，表 5-4 に示す

相関の判定基準を $|r|>0.5$，$p<0.2$ として確認した結果，ΔV（r=–0.585, p=0.098），質量比 M_2/M_2（r=0.506, p=0.165），車両登録年（r=–0.578, p=0.103）において残差との相関が見られた．車両損壊程度（r=–0.505, p=0.165），車両破損コード（r=–0.505, p=0.165）においても残差との相関は見られたが，分析対象とした 9 例中大破が 8 例，車体破損コード 5 以上が 8 例となっており，分布が偏った因子となっているため比較できなかった．また，大型車との衝突事故で見られる潜り込みの因子は，今回の対象事例で 5 例見られたが，予測残差との関係は見られなかった．そこで，この予測残差の影響を確認するために，残差別に ΔV，質量比 M_2/M_1，および車両登録年と MAIS との関係を確認した．その結果を図 5-3 に示す．図 5-3 から，予測残差の大きかった 2 事例は，特に ΔV が小さくなっている事例であることが確認できる．その他の質量比 M_2/M_1，車両登録年は MAIS および予測残差との明確な関係は見られなかった．したがって，予測残差が大きい要因としてこの ΔV の解析結果の影響が考えられる．

Table. 5-2: Accident cases of car-to-truck collisions

No.	Residual		Delta-V ,km/h	Damage grade	Seat belt use	Air bag deployment	Entrapment	Deformation area[a)]	Underrun	FUP[b)]	Resistration year	M_1[c)] ,kg	M_2[d)] ,kg	Occupant			MAIS	Injury part[e)]
														Age ,yrs	Gender	Height ,cm		
5-(1)	Underestimated	2	5	Large	Belted	Yes	No	FUL	Yes	No	1998	950	10,150	20	Male	165	3	LE
5-(2)			20	Medium	Belted	Yes	Unknown	RSO	No	No	1999	1,500	12,090	64	Male	163	3	LE
5-(3)		1	93	Large	Unbelted	No	No	RSO	No	No	1992	910	10,220	71	Male	160	6	AB
5-(4)	Corresponded	±0	110	Large	Belted	Yes	Yes	RO	Yes	No	1997	1,410	11,030	22	Male	170	5	HE
5-(5)			75	Large	Belted	Yes	Unknown	RO	Yes	No	1998	970	10,130	20	Female	172	3	HE
5-(6)			109	Large	Unbelted	Yes	Yes	LO	Yes	No	2000	1,390	10,030	34	Female	165	5	AB
5-(7)			55	Large	Unbelted	No	Yes	RO	No	No	1994	1,790	3,510	25	Male	180	3	LE
5-(8)	Overestimated	-1	55	Large	Belted	Yes	No	RO	Yes	No	2004	1,260	10,300	56	Female	150	2	AB
5-(9)			80	Large	Belted	Yes	No	RSO	No	No	2000	1,050	3,120	19	Male	160	2	CH

a) FUL:Full lap, RSO:Right-side small overlap, RO:Right-side overlap, LO:Left-side overlap as defined in figure 4-2

b) FUP:Front Underrun Protection

c) Curb weight of evaluated car

d) Curb weight of opponent truck

e) HE:Head, CH:Chest, AB:Abdomen, LE:Lower extremity

Table. 5-3: Pearson’s product-moment correlation for quantitative variables in car-to-truck collisions

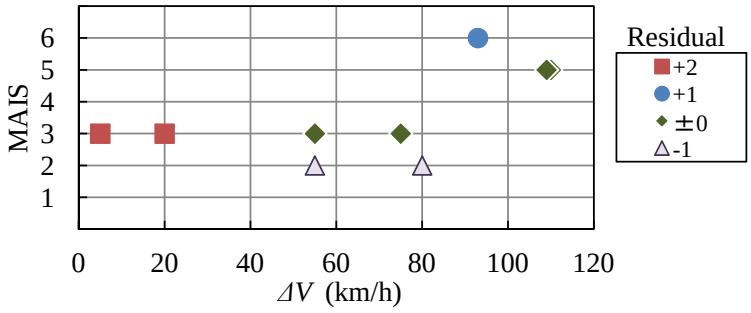
Upper: Pearson's product-moment correlation
Lower: p-value
** p < 0.01, * p < 0.05

	Impact speed	*ΔV*	EBS	Opponent truck curb weight	Opponent truck impact speed	Mass ratio	MAIS	Residual
Impact speed	1.000	0.635 0.066	0.587 0.097	0.275 0.475	0.480 0.229	0.469 0.203	.819** 0.007	0.112 0.775
ΔV		1.000	0.274 0.476	-0.074 0.849	0.385 0.347	-0.106 0.786	0.590 0.095	-0.585 0.098
EBS			1.000	0.607 0.083	0.550 0.158	.777* 0.014	0.491 0.180	0.189 0.626
Opponent truck curb weight				1.000	0.343 0.406	.843** 0.004	0.393 0.296	0.494 0.176
Opponent truck impact speed					1.000	0.198 0.638	0.561 0.148	0.357 0.386
Mass ratio						1.000	0.392 0.297	0.506 0.165
MAIS							1.000	0.262 0.496
Residual								1.000

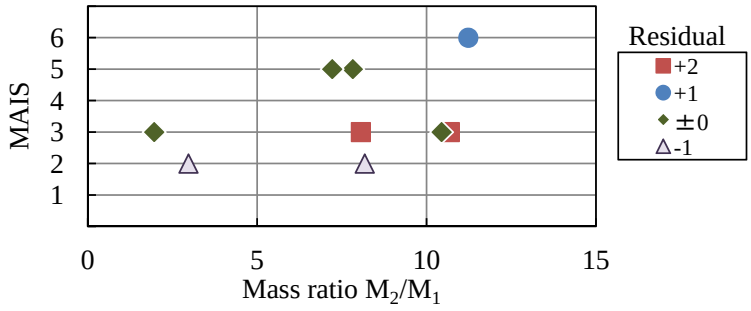
Table. 5-4: Spearman’s rank correlation for categorical variables in car-to-truck collisions

Upper: Spearman's rank correlation
Lower: p-value
** p < 0.01, * p < 0.05

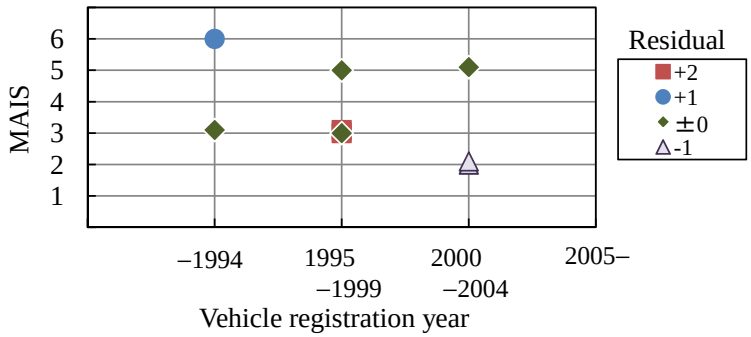
	Vehicle registration year	Vehicle curb weight	Multiple impact	Entrapment	Underrun	Damage grade	Lap zone-hirizontal	Extent of damage	Deformation area	Seat belt use	Air bag deployment	Occupant's gender	Occupant's age	Occupant's height	Occupant's weight	Occupant's BMI	MAIS	Residual
Vehicle registration year	1.000	-0.139	0.277	-0.153	0.417	0.073	0.210	-0.439	0.050	0.390	.775*	0.537	0.080	-0.538	-0.259	0.537	-0.493	-0.578
	.	0.722	0.471	0.744	0.265	0.852	0.588	0.237	0.899	0.299	0.014	0.136	0.839	0.135	0.501	0.136	0.177	0.103
Vehicle curb weight		1.000	-0.478	1.000**	-0.100	-0.395	0.139	0.316	0.000	-0.316	-0.060	-0.158	0.000	0.387	.775*	0.316	0.365	0.183
		.	0.193	.	0.798	0.292	0.722	0.407	1.000	0.407	0.879	0.685	1.000	0.303	0.014	0.407	0.334	0.638
Multiple impact			1.000	-0.354	0.478	0.189	0.111	-0.661	0.231	0.378	0.286	.756*	0.116	-0.116	-0.579	-0.378	-0.436	-0.436
			.	0.437	0.193	0.626	0.777	0.052	0.549	0.316	0.456	0.018	0.767	0.767	0.103	0.316	0.240	0.240
Entrapment				1.000	0.167	.	0.382	0.354	0.242	-0.417	-0.091	0.091	-0.322	0.725	0.725	0.091	0.371	0.000
				.	0.721	.	0.398	0.437	0.602	0.352	0.846	0.846	0.481	0.065	0.065	0.846	0.413	1.000
Underrun					1.000	0.395	.787*	-0.316	.775*	0.316	0.598	0.632	-0.194	0.000	-0.387	-0.316	0.046	-0.137
					.	0.292	0.012	0.407	0.014	0.407	0.089	0.068	0.618	1.000	0.303	0.407	0.907	0.725
Damage grade						1.000	0.439	-0.125	0.459	-0.250	-0.189	0.250	-0.459	0.153	-0.459	-0.500	0.072	-0.505
						.	0.237	0.749	0.214	0.516	0.626	0.516	0.214	0.694	0.214	0.170	0.854	0.165
Lap zone-hirizontal							1.000	-0.073	.926**	-0.098	0.277	0.439	-0.339	0.090	0.050	-0.244	0.113	0.038
							.	0.852	0.000	0.803	0.471	0.237	0.373	0.819	0.899	0.527	0.773	0.924
Extent of damage								1.000	-0.153	-0.250	-0.189	-0.500	-0.459	0.612	0.612	0.250	0.505	0.505
								.	0.694	0.516	0.626	0.170	0.214	0.080	0.080	0.516	0.165	0.165
Deformation area									1.000	0.102	0.231	0.306	-0.458	0.188	-0.146	-0.510	-0.029	0.049
									.	0.794	0.549	0.423	0.215	0.629	0.708	0.160	0.940	0.900
Seat belt use										1.000	.756*	0.000	-0.204	-0.102	-0.510	0.000	-0.577	-0.096
										.	0.018	1.000	0.598	0.794	0.160	1.000	0.104	0.805
Air bag deployment											1.000	0.378	-0.116	-0.231	-0.231	0.378	-0.382	-0.164
											.	0.316	0.767	0.549	0.549	0.316	0.310	0.674
Occupant's gender												1.000	0.204	-0.204	-0.204	0.000	-0.144	-0.433
												.	0.598	0.598	0.598	1.000	0.711	0.244
Occupant's age													1.000	-.688*	-0.021	0.204	0.147	0.167
													.	0.041	0.958	0.598	0.705	0.668
Occupant's height														1.000	0.333	-0.306	0.324	0.088
														.	0.381	0.423	0.395	0.821
Occupant's weight															1.000	0.510	0.324	0.403
															.	0.160	0.395	0.283
Occupant's BMI																1.000	-0.144	-0.048
																.	0.711	0.902
MAIS																	1.000	0.500
																	.	0.170
Residual																		1.000
																		.



(a) ΔV



(b) Mass ratio M_2/M_1



(c) Vehicle registration year

Fig. 5-3: Relation between factors and MAIS

5.4　影響因子 ΔV の再解析

予測残差の大きかった 2 事例の事故状況を詳細に確認した．事故事例 5-(1) は, 小型乗用車が大型貨物車のほぼ前面の中央に正面衝突した事故で，大型車のフロントバンパー下に乗用車側が大きく潜り込んだ形態である．図 5-4 に両車両の変形状況及び事故概況図を示す．この衝突事故により，小型乗用車側の運転席乗員は下肢に MAIS3 の傷害を負った．この時の ΔV は記録上 5km/h となっているが，両車両の危険認知速度は，記録上乗用車側が 45km/h，大型車側が 50km/h であり, 両車両の衝突位置，停止位置を確認する限り，ΔV が極端に低いことは考えにくく，何らかの理由で低く算出されていたことが考えられる．

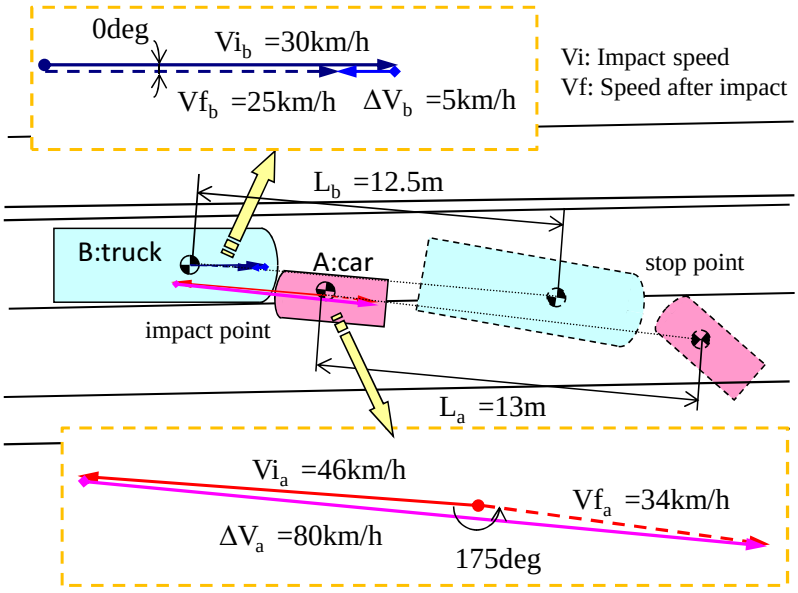
図 5-4 の車両変形量，車両挙動から，2.7.1 項で述べた ΔV の算出手法であるエネルギー保存則と運動量保存則による運動連立式にて衝突前後の速度，方向を求めると ΔV_a=80km/h となり高い値となった．このように大きな潜り込みがある場合，車両挙動からの ΔV の特定は誤差が大きくなることが考えられる．



A: Small car



B: Heavy duty truck



Accident road map

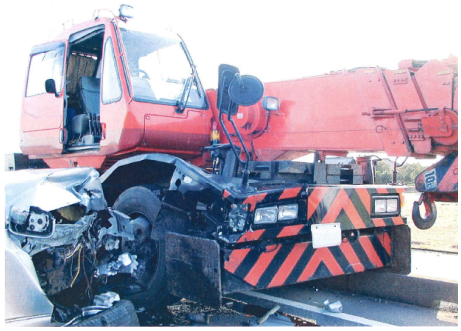
Fig. 5-4: Accident case 5-(1)

もう一つの事故事例 5-(2) は，普通乗用車の右部が，大型クレーン車前面右部にある固定脚付近に衝突した事例である．図 5-5 に両車両の変形状況及び事故概況図を示す．潜り込みは見られないが，右端部の衝突のため衝突後の車両回転が大きい．この衝突事故により，普通乗用車側の運転者は下肢に MAIS3 の傷害を負った．この時の ΔV は記録上 20km/h となっており，危険認知速度は，普通乗用車側が 40km/h，大型クレーン車側が 45km/h となっている．

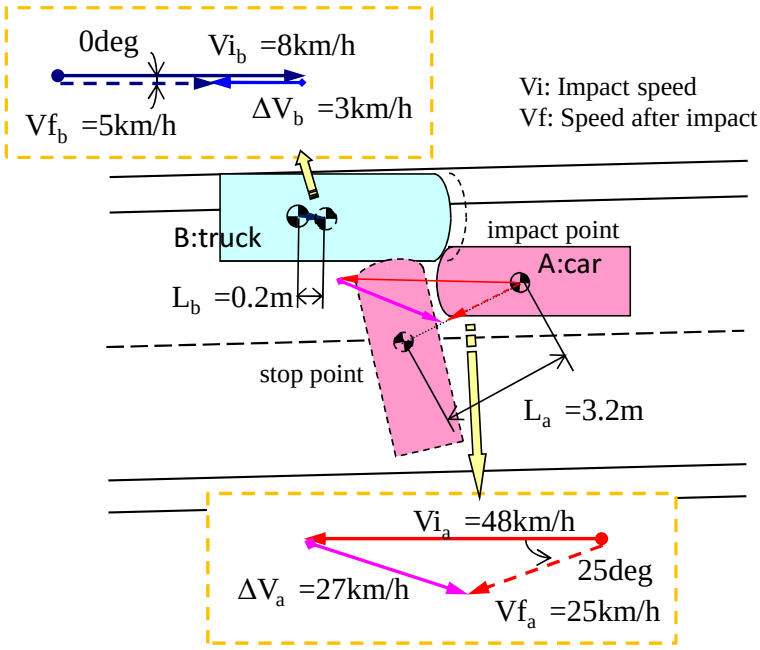
この事故の車両挙動図（図 5-5）を確認すると，衝突面の厳密な同定はクレーン車側の衝突面の構造が複雑なため困難であるが，停止位置，衝突方向を用いて運動連立式より ΔV を求めると ΔV_a=27km/h となり記録値より高く算出された．この場合のように，衝突面が複雑で衝突後に回転挙動の大きい場合も乗用車同士の正面衝突などに比べて ΔV の特定に大きく誤差を伴うことが考えられる．



A: Regular car



B: Large-sized special vehicle (crane truck)



Accident road map

Fig. 5-5: Accident case 5-(2)

5.5　乗員傷害予測モデルの確認

5.5.1　ΔV と MAIS との関係

ΔV は，第 3 章の結果より傷害値と大きく影響している因子であるため，大型車との衝突事故と普通乗用車同士 (軽自動車含む) の正面衝突事故 (以下，普通車との衝突事故) に対して，ΔV と MAIS との関係を比較した．その結果を図 5-6 に示す．ここで，比較した普通車との衝突事故は，3.6 節で見られた高齢小柄な女性の事故など特徴的に予測残差の大きかった 3 例を除いた 37 例とした．また，予測残差の大きかった 2 つの大型車との衝突事例の ΔV の値は，5.4 節で確認した値を用いた．

その結果，どちらの衝突形態とも MAIS に対する ΔV の相関関係に差は見られなかった．すなわち，どの衝突形態でも ΔV の値で傷害程度を示す MAIS がある程度決まっていると考える．予測誤差の大きかった 2 つの大型車との衝突事故も前節での ΔV の見直しにより，全体の ΔV と MAIS との関係の分布の範囲に入り，この見直しは妥当と考える．

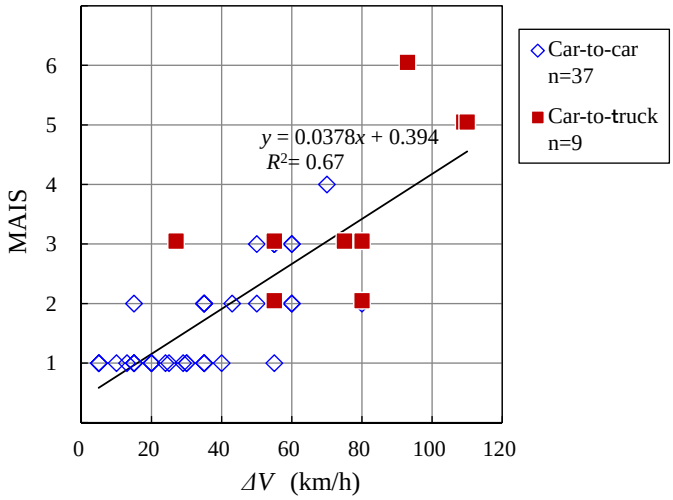


Fig. 5-6: Relation between ΔV and MAIS

5.5.2　大型車との衝突事故の標準傷害予測式への適合性

5.4 節で見直した ΔV を用いて，標準傷害予測式から乗員傷害予測を行った．その結果，事故事例 5-(1) は予測誤差の改善が見られ，予測結果は観測結果と一致した．一方，事故事例 5-(2) については，傷害確率は上昇したが MAIS の予測結果は変わらなかった．これは，ΔV の修正幅が少なかったことが考えられる．この事例は大型クレーン車との小ラップ衝突となっており，衝突後の車両回転挙動が大きくなっている．今回用いた運動連立式による ΔV の算出は，衝突後の車両回転挙動は考慮しておらず，このことが原因となってまだ誤差を含んでいる値と考える．

図 5-7 に大型車との衝突事故と普通車との衝突事故に関して，標準傷害予測式の適合性の比較をした．両事故群とも観測された MAIS と予測された MAIS の関係には相違は確認できなかった．したがって，大型車との衝突事故の乗員傷害予測を行う上で，普通車との衝突と区別せず同じ乗員傷害予測式で扱えると考える．ただし，今回収集できた大型車との衝突事故のサンプル数は 9 例と少なかったため，今後さらなる n 増し確認は必要と考える．

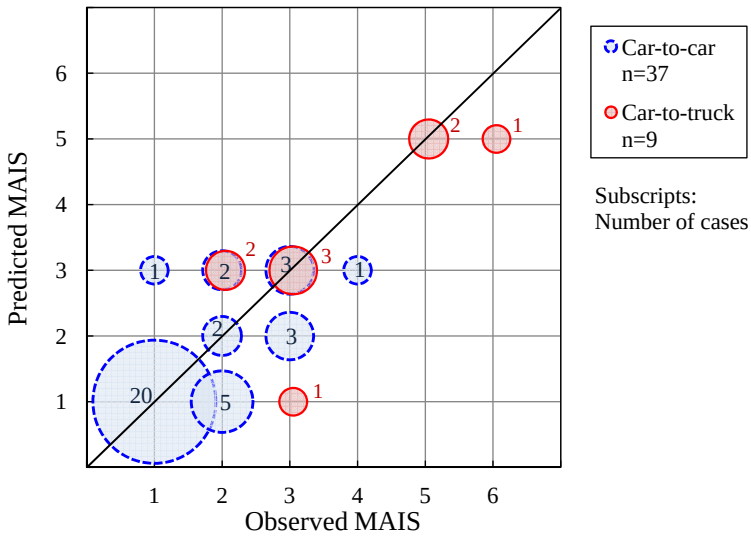


Fig. 5-7: Relation between observed MAIS and predicted MAIS using standard prediction model

5.5.3　1 次元衝突モデルによる質量比の影響検討

2.4 節で行った衝突事故時の車両と乗員の 1 次元衝突モデルを用いて，正面衝突時の車両間の質量比の影響を検討した．乗員の傷害を代表する加速度の最大値は式（2.39）で表わされた．モデルをさらに簡略化するために，シートベルトの初期のたるみがないと仮定すると $\delta_b = 0$ なので，係数 $C_2 = 0$ となり，式（2.39）は以下となる．

$$|\ddot{x}_p|_{max} = 2C_1 \cdot \Delta V_1 \tag{5.1}$$

C_1 は式（2.40）で定義された係数であり，構成されている ω_T を K_T と式（2.7）を用いて表すと，

$$|\ddot{x}_p|_{max} = \frac{4}{\pi}\sqrt{K_T \cdot \frac{M_1 + M_2}{M_1 M_2}} \cdot \Delta V_1 \tag{5.2}$$

$$= \frac{4}{\pi}\sqrt{\frac{K_T}{M_2}}\sqrt{1 + \frac{M_2}{M_1}} \cdot \Delta V_1 \tag{5.3}$$

となる．衝突する車両間の質量比は変わっても，衝突する前部の剛性関係 K_T は変わらないと仮定すると，ΔV_1 が一定の場合の乗員の最大加速度は，両車両の質量比により図 5-8 に示される関係となる．ここで，乗員の最大加速度の変化は，両車両の質量が等しい $M_1 = M_2$ を基準に無次元化した．図 5-8 から，質量比が 2 倍程度の場合は，乗員の加速度への質量比の影響は 20 %程度しかないが，質量比が 5 倍（相手車の質量が自車の 5 倍）の場合は，乗員の最大加速度は両車両の質量が等しい場合の 1.73 倍となり，質量比の影響はやや大きくなる関係となっている．ΔV が低い場合は，もともとの傷害リスクが低いので，質量比の影響は軽微と考えられるが，ΔV が高い場合は，増加幅も大きいため，質量比の影響が顕著となりやすいといえる．今回の検討の範囲では，大型車との衝突と普通車との衝突は ΔV に対する傷害リスクは同等と考えられたが，質量比が大きく ΔV が高い事故に関しては，継続した調査が必要であると考える．

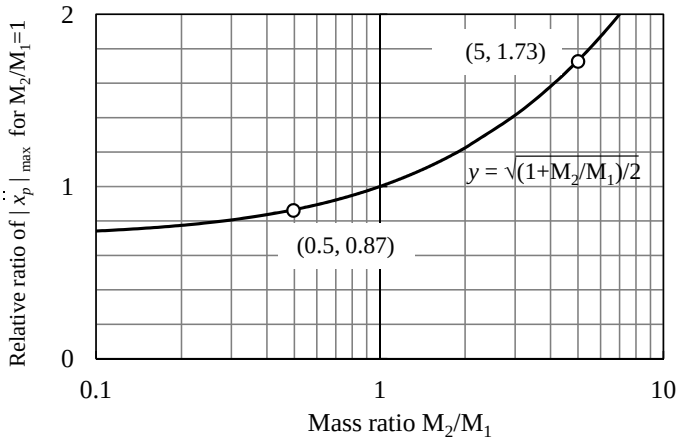


Fig. 5-8: Relation between mass ratio and occupant acceleration using one-dimensional frontal impact model

5.6 ITARDA マクロデータを用いた検証

5.6.1 検証手法

5.5 節の ITARDA ミクロデータによる分析結果では，大型車との衝突事故は，他の衝突形態と区別せず ΔV を用いて乗員傷害予測ができることを示唆した．その結果を検証するために，ITARDA マクロデータを用いて，衝突相手車両種別の影響，衝突相手質量による影響および各影響因子の感度比較を行った．ITARDA マクロデータの分析対象は，2000 年から 2010 年に発生した四輪車の正面衝突事故とし，多重衝突事故は除いた．

5.6.2 衝突相手種別による影響

衝突相手種別の影響を確認するために，大型車との衝突事故と普通車との衝突事故に対して，死亡重傷事故の危険認知速度の分布，擬似 ΔV の分布，および擬似 ΔV 別の死亡重傷率の比較を行った．その結果を図 5-9，図 5-10 に示す．大型車との衝突事故と普通車との衝突事故では，危険認知速度分布の差異は見られない．擬似 ΔV は ITARDA マクロデータにおいて ΔV の代わりに表 2-6 に示す定義で登録されているが，定義上，相手車との質量比の影響を受けるので，大型車衝突の方が擬似 ΔV の分布が高くなっている．また，擬似 ΔV 別に死亡重傷率を比較すると両者には大きな差は見られない．105km/h 超の普通車との衝突の死亡重傷率が下がっているが，これは ITARDA マクロデータのサンプル数が少ないことによるばらつきの影響と考える．

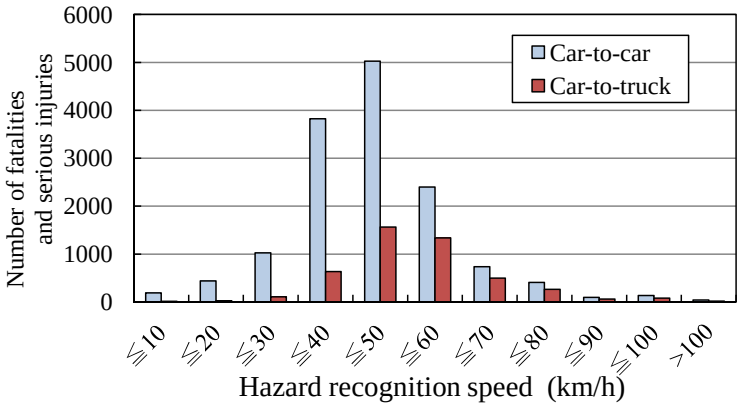
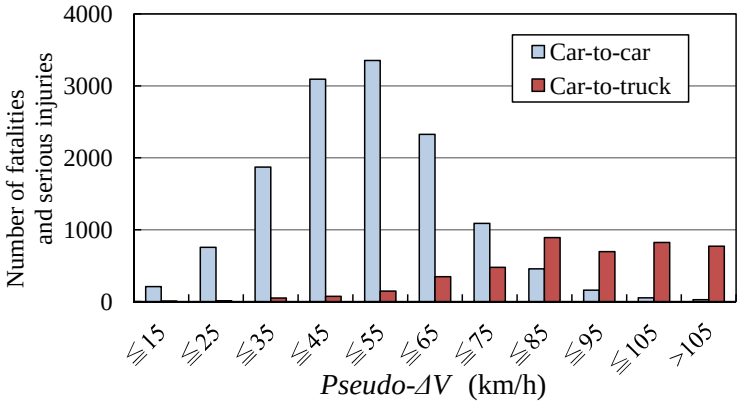
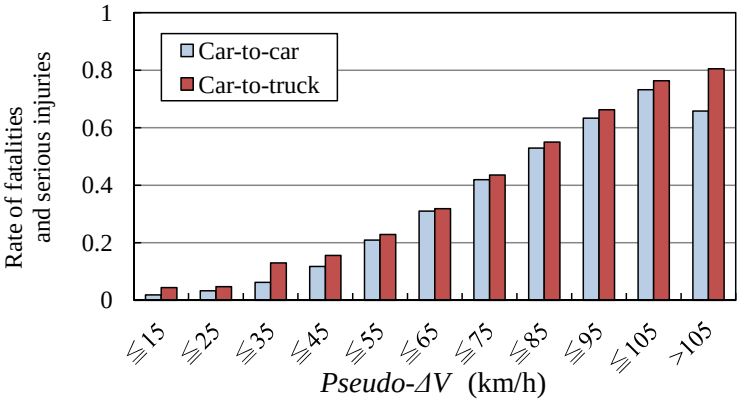


Fig. 5-9: Distribution of hazard recognition speed



(a) Number of fatalities and serious injuries



(b) Rate of fatalities and serious injuries

Fig. 5-10: Distribution of *Pseudo* – Δ*V*

5.6.3　衝突相手質量比による影響

次に，衝突相手の質量比の影響を確認した．自車側の空車質量が 600kg 以上 2,000kg 未満内で 3 区分，相手側空車質量を 600kg 以上 12,000kg 未満内で 7 区分の組み合わせで ITARDA マクロデータから死傷者を集計し死亡重傷率を比較した．その結果を図 5-11 に示す．擬似 ΔV が大きくなると死亡重傷率は高くなるが，相手との質量比の影響は大きくは見られない．

ただし，擬似 ΔV が 75km/h 超かつ質量比が 4.5 以上にて死亡重傷率の高い群が見られる．この群は，衝突速度が高く相手の質量が大きい場合の衝突であり，5.5.3 項の 1 次元衝突モデル式による質量比の検討の中で見込まれた傷害リスクの増加要因が現れていると考える．また，この群は車体変形が非常に大きい事故と考えられる．車体の極度な変形に対する傷害状況に関しては，今後の調査すべき課題の一つと考える．

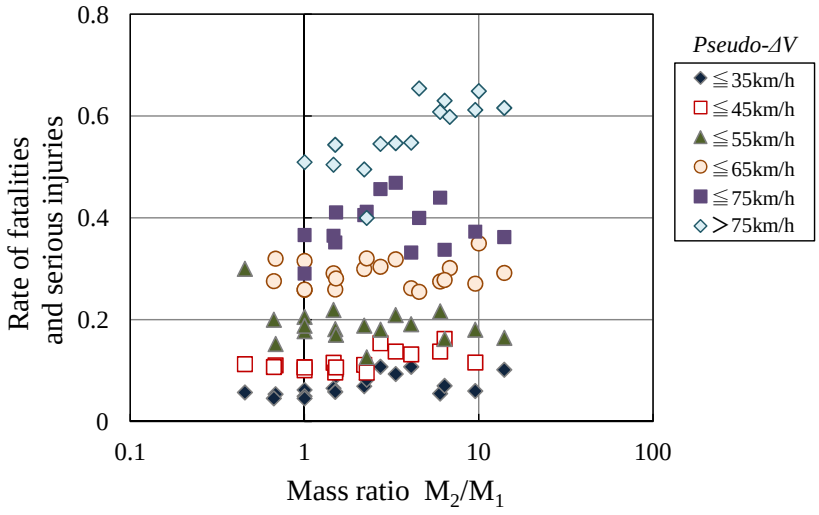


Fig. 5-11: Relation of mass ratio versus rate of fatalities and serious injuries

5.6.4　影響因子の感度比較

普通車との衝突事故と大型車との衝突事故に対して，ITARDA マクロデータを用いて標準傷害予測式に採用した各影響因子の感度比較を行った．図 5-12 に各因子に対して最も小さい水準を基準に求めた対数オッズ比の比較を示す．この結果から，擬似 ΔV，車両損壊程度，シートベルト着用有無および乗員の年齢に対して，普通車との衝突時，大型車との衝突時の影響感度に差は見られないことが分かる．以上までの ITARDA マクロデータ分析結果から，大型車との衝突事故の乗員傷害予測は，ΔV にそのリスク程度が現れ，普通車との衝突事故と同じ乗員傷害予測式の中で扱っても良いと考えられる．この結果は，ITARDA ミクロデータを用いた本乗員傷害予測手法にて得られた結果を裏付けられる．

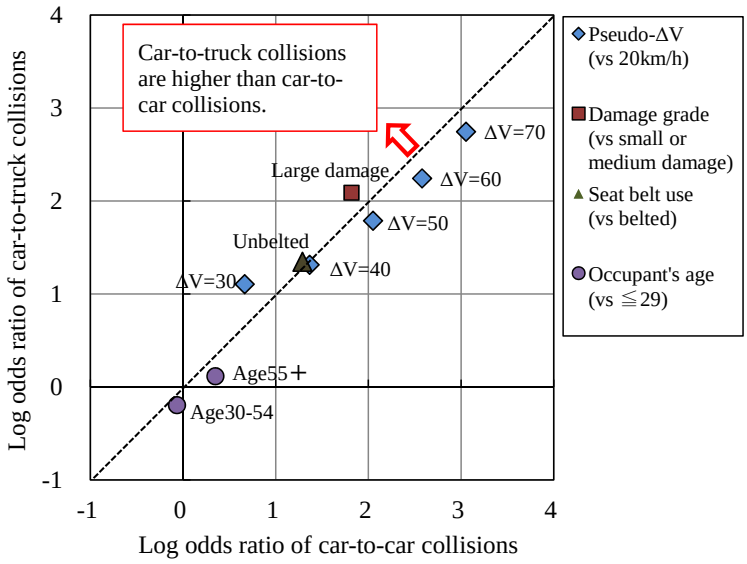


Fig. 5-12: Log odds ratio of car-to-car collisions versus car-to-truck collisions

5.7　考察

5.7.1　シミュレーションによる ΔV の再解析

大型車との衝突における ΔV の解析は，衝突時の車両の潜り込みや衝突面の複雑性から大きな誤差を伴う可能性が高いことが考えられる．そこで，今回，予測残差の大きかった 2 つの事故事例に対して，(一財) 日本自動車研究所が開発した二次元衝突シミュレーションプログラム CARS [73] を用いた解析を試みた．その結果，事故時の車両挙動に近い挙動を示す条件の解析結果が得られた．事故事例 5-(1) および事故事例 5-(2) の解析結果をそれぞれ図 5-13，図 5-14 に示す．この解析結果から推定された ΔV は，事故事例 5-(1) では ΔV_a=86.2km/h，事故事例 5-(2) では ΔV_a=38.3km/h となり，どちらも 5.4 節で求めた ΔV よりさらに高く求められた．このように，潜り込み現象や衝突後の車両回転挙動が大きい事故解析の場合，不確定な要素も多いため ΔV の解析には誤差を伴う可能性がある．いくつかのケースを比較検討して，車両挙動，ΔV などの解析検証することが重要である．また，近年では車両に搭載されている EDR（Event Data Recorder）により衝突前後の速度を実測できる機会が増えてきており [46, 47]，今後これらを活用することで ΔV 等の解析精度検証に繋げられると考える．

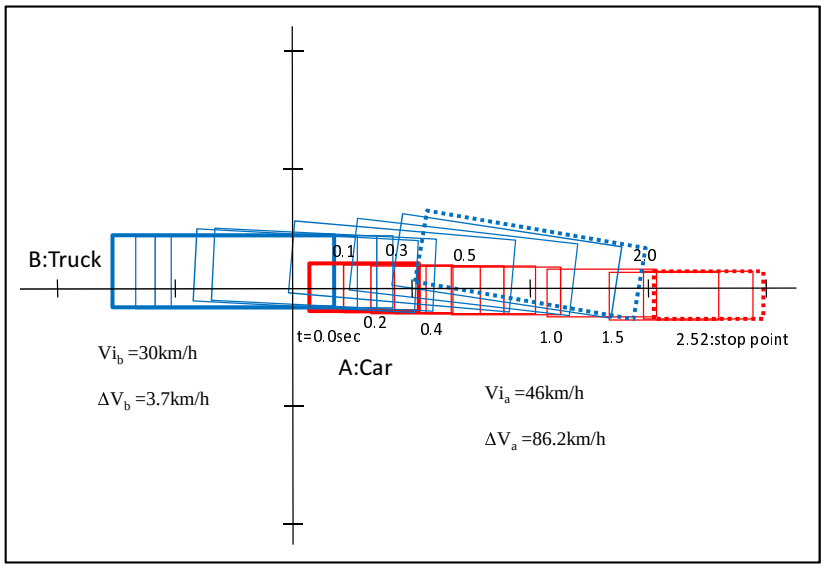


Fig. 5-13: Vehicle's behavior using CARS – Accident case 5-(1) –

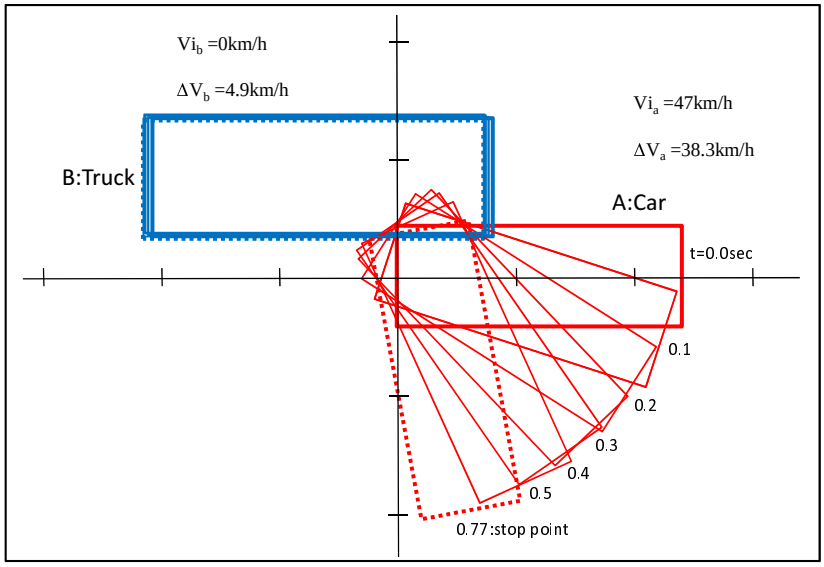


Fig. 5-14: Vehicle's behavior using CARS – Accident case 5-(2) –

5.7.2　推定衝突速度差による車両挙動への影響

実際の事故における車両挙動や ΔV の解析は，事故現場の痕跡や事故車両の最終停止位置などを用いて，いくつかの仮定を置きながら進められている．特に，大型車との衝突事故など大型車側の基礎的な情報が少ない場合は，より顕著となる．そこで，今回解析に用いた CARS のモデルを用いて，推定される両車両の衝突速度の変動に対して，車両挙動がどれくらい変動するか調査した．解析対象は事故事例 5-(1) を用い，車両挙動から最適と判断した解析から得られた条件を基準にして，衝突速度条件を変動させた．ここで，両車両の相対衝突速度は一定とし，簡易的に求められる擬似 ΔV が等しい条件で比較した．図 5-15 にその結果を示す．10 %程度の衝突速度の変動にて，衝突停止位置までの移動距離の変動は約 20 %見られ，衝突速度の変動が大きくなるほど両車両の相対距離も大きくなる．この事例のように，ΔV が等しくても入力条件の変動により車両挙動などの結果が大きく影響されることが確認できた．大型車との衝突では，より詳細に事故解析を行い，車両挙動，ΔV 解析の精度を確保する必要があると考える．

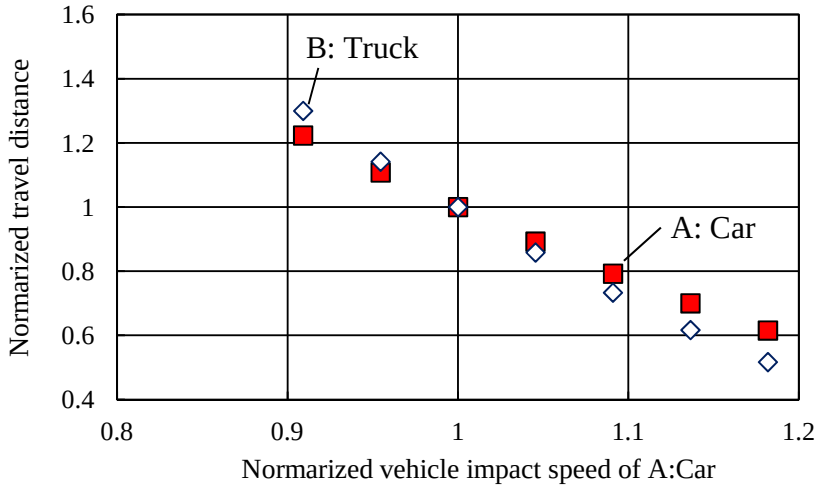


Fig. 5-15: Relation of impact speed and travel distance using CARS – Accident case 5-(1) –

5.8 結言

本章では，第 3 章で求めた標準傷害予測式において予測が外れる特徴的な事故として抽出された普通乗用車と大型車との正面衝突事故に対して詳細に分析を行った．この事故形態の普通乗用車側の乗員傷害に影響を及ぼす因子を明確にするために，ITARDA ミクロデータを用いて分析を行い，これまでの乗員傷害予測に不足していた影響因子の調査を行った．さらに得られた結果の妥当性を確認するために，ITARDA マクロデータと比較した．得られた結論は以下である．

(1) 大型車との衝突事故の乗員傷害に大きく影響を及ぼしている因子は ΔV である．この ΔV にて，普通車との衝突事故と同様に傷害リスクが評価できる．そして，大型車との衝突事故は相手車両との質量比増により ΔV が高くなり，その分傷害リスクは高くなる．

(2) 前面衝突に対して，同じ ΔV ならば相手の車両種別 (大型車/普通車)，相手車両との質量比による傷害リスクの影響は大きく見られない．ただし，擬似 ΔV が 75km/h 超かつ質量比が 4.5 以上にて死亡重傷率の高い群が見られ，ΔV が高い領域にて質量比の影響が見られる．またこの領域は，車体の極度な変形を生じていることが考えられ，今後調査すべき課題がある．

(3) ITARDA マクロデータの分析から，乗員傷害予測に用いる因子に対する傷害リスクへの影響度（オッズ比）は，大型車との衝突事故，普通車との衝突事故にてほぼ等しい結果が得られ，上記結果を裏付けられた．したがって，両衝突形態は同一の乗員傷害予測式（標準傷害予測式）にて評価できると考える．

(4) 予測残差の大きかった大型車との衝突事故 2 例にて，残差の原因は，ΔV の算出精度が問題であったと考えられる．ΔV の見直しにより，この残差は改善された．

(5) 大型車との衝突事故などにおいて車両挙動や ΔV を解析する場合，不確定な要素が多いため解析には精度上の課題があり，車両挙動を検証できるシミュレーション等を活用し精度を確保する必要があると考える．

第6章　側面衝突時の乗員傷害予測式とその影響因子

6.1　緒言

1.1 節にて，出会い頭事故は，日本の衝突事故の中で重傷者が多い事故類型として挙げられていた．この事故形態は，一方の車両が側面衝突，もう一方の車両が前面衝突となる場合が多い．側面衝突には自車側から見ると，相手車両が右側面に衝突してくる場合と，左側面に衝突してくる場合がある．乗員にとって近い側からの側面衝突（Nearside 側突）と，遠い側からの側面衝突（Farside 側突）の 2 つの形態に分けられる．右ハンドル車の場合，運転席乗員にとって，右側からの衝突が Nearside 側突となり，左側からの衝突が Farside 側突となる．Nearside 側突に関しては，運転席乗員，後席乗員を想定して，法規や情報公開試験においてその安全性の評価がされている [93, 94, 95]．一方，Farside 側突に関しては，安全性の評価は論議はされているが，実施までは至っていない [96].

図 6-1 に 2011 年に日本にて発生した出会い頭および右折時，左折時の事故，車両単独工作物衝突事故における運転席乗員の死亡重傷者に対して，Nearside 側突の割合と Farside 側突の割合を示す．出会い頭および右左折時における Nearside 側突の割合は約 15 %，Farside 側突の割合も約 15 %を占めている．また，車両単独工作物衝突時においては，それぞれ約 4 %，約 2 %を占めている．前面衝突側の車両の死亡重傷者の割合が多いが，出会い頭事故の重傷者数自体が多いことを考慮すると，側面衝突事故による死亡重傷者はけっして少なくはない．今後の交通事故死傷者のさらなる削減に向けて，側面衝突時の自動車乗員に対する被害軽減策の構築も重要な課題の一つである．

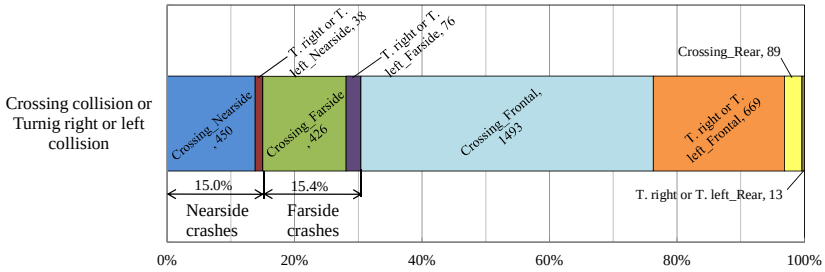
そこでこの章では，側面衝突時の自動車乗員に対して，第 2 章で述べた分析手法を用いて，将来の日本版 AACN に向けての乗員傷害予測式の構築と，さらなる事故被害軽減に向けて重要課題となる事故形態の抽出を行った．分析の対象とする側面衝突は，Nearside 側突と Farside 側突の両者を区別して行い，その違いも評価できるように分析した [97].

6.2　前面衝突事故の分析の対象

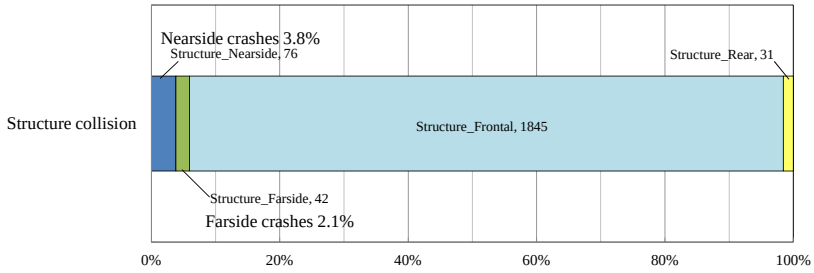
乗員傷害予測式を求める順序ロジスティック回帰分析に用いる ITARDA ミクロデータの分析対象を表 6-1 に示す．分析対象の事故形態は，2000～2010 年に発生した普通・軽乗用車および軽貨物車の車両相互の出会い頭事故および車両単独工作物衝突事故の側面衝突とした．第 3 章の前面衝突事故の分析に対し，軽貨物車を追加した理由は，車幅が狭く車高の高い車両の側面衝突時の横転性の懸案からである．ITARDA ミクロデータにおいて軽貨物車の事故事例も見られたため，車種区別を考慮して分析対象に加えることにした．また，左右からの入力を区別して分析するため，右ハンドル車のみを対象とした．

Nearside 側突は，CDC コードにおける車両への入力方向が 02R，03R，04R の衝突形態から，Farside 側突は，入力方向が 08L，09L，10L の衝突形態から事故事例を抽出し，調査結果の欠損の無い運転

席乗員，Nearside 側突 73 例，Farside 側突 108 例を用いた．なお，ITARDA ミクロデータから収集した分析対象事故の一覧を付録 B，付録 C に示す．



(a) Crossing collisions, or turning right or left collisions



(b) Structure collisions

Fig. 6-1: Fatalities and serious injuries in 2011in Japan

Table. 6-1: Sampling data for side collisions

Accident type	Year of occurence	CDC code	Vehicle type	Sampling number
Cross Nearside [a)]	2000–2010	02R, 03R, 04R	Kei-car [b)], Small or regular vehicle, Kei-truck [b)]	70
ns–SVC [c)]				3
Total Nearside				73
Cross Farside [d)]	2000–2010	08L, 09L, 10L	Kei-car, Small or regular vehicle, Kei-truck	105
fs–SVC [e)]				3
Total Farside				108

[a)] Nearside crashes in crossing collision
[b)] Light vehicle or truck with an engine displacement of 660ml or less
[c)] Nearside single-vehicle collision
[d)] Farside crashes in crossing collision
[e)] Farside single-vehicle collision

6.3　説明変数の初期選定

乗員の傷害予測式を構成する説明変数の初期選定は、第 2 章で検討した車両と乗員の 1 次元衝突モデルから推定された乗員傷害の影響因子（表 2-4）をもとに行う．

Nearside 側突に関する第 1 因子，第 2 因子に対しては，不明の項目を除いて全て選定する．前面衝突に対して相手車両の質量や剛性の影響が上位に挙がっているため，前面衝突時に選定した説明変数の初期設定の変数に，相手車両の質量，車両垂直面のラップゾーンを追加した．また，第 3 因子から，自車の ΔV と関連する相手車両の衝突速度を選定した．さらに，衝突後にロールオーバーする事故が発生しているため，ロールオーバー有無を選定した．ただし，サイドエアバックに関しては，装着事例が見られなかったため選定から除外した．また，モデル上，シートベルトおよびステアリングのエアバックの影響は少ないと考えられるが，乗員拘束への影響が懸念されるため，前面衝突と同様に Nearside 側突にも選定した．したがって，初期選定として採用した変数は，前面衝突時に 4 因子を追加した表 6-2 に示す 22 変数とする．

Farside 側突に関しては，車両と乗員の 1 次元衝突モデル上は入力方向違いの前面衝突と同じとみなされていたので，Nearside 側突として初期選定した変数を同様に用いることにする．

Table. 6-2: Categories of factors for side collisions

Classification		Factors [a)]	Variable type [b)]	Categories
ΔV	●	ΔV, km/h	Q	
	◎	Impact speed, km/h	Q	
		EBS, km/h	Q	
		Striking vehicle impact speed, km/h	Q	
ω_T		Vehicle category	C(2)	Kei-car / Kei-truck / Small or Regular vehicle
		Vehicle registration year	OS(4)	≤1994 / 1995-1999 / 2000-2004 / ≥2005
	◎	Vehicle curb weight, kg	OS(3)	<900/ <1300/≥1300
	◎	Striking vehicle curb weight, kg	C(2)	<3500/≥3500
		Damage grade	C(2)	Small or Medium / Large
		Extent of damage, CDC code	OS(3)	1 / 2–3 / 4–9
		Lap zone-horizontal, CDC code	C(3)	F / P,Y,D / B,Z
		Lap zone-vertical, CDC code	C(2)	A,G,H / E,L,M,W
ω_p		Occupant’s gender	C(2)	Male / Female
		Occupant’s age, yrs old	OS(3)	≤29/30-54/≥55
		Occupant’s height, cm	OS(3)	<155/<170/≥170
	◎	Occupant’s weight, kg	OS(3)	<50/ <70/ ≥70
		Occupant’s BMI	OS(3)	<19/<25/≥25
		Seat belt use	C(2)	Belted / Unbelted
		Air bag deployment (steering)	C(2)	Yes / No(include no air bag)
Others		Collision object	C(4)	Regular vehicle / SUV/ Heavy vehicle/ Structure
		Multiple impact	C(2)	Yes / No
		Rollover	C(2)	Yes / No

[a)] ●: 1st factors, ◎: 2nd factors
[b)] C:Categorical variable (number of categories)
OS: Ordinal scale variable (number of categories)
Q: Quantitative variable

6.4 順序ロジスティック回帰分析

6.4.1 オッズ比の確認と変数のカテゴリー化

前面衝突時の分析と同様に，選定した各変数に対して対数オッズ比の確認を行った．対数オッズ比は，死亡重症の境目として MAIS=3 を区分として確認し，事故事例が多くないことも考慮して，カテゴリーの集約化も行った．表 6-2 にその区分を示す．さらに，図 6-2 から図 6-5 に，Nearside 側突に対する説明変数の対数オッズ比および MAIS3+と MAIS<3 の該当者数の関係を示す．また，図 6-6 から図 6-9 に，Farside 側突に対する関係を示す．

(1) Nearside 側突

ΔV に関する因子としては，ΔV，衝突速度，バリア換算速度（EBS）および相手車両の衝突速度がある．10km/h 毎に対数オッズ比を確認したところ，図 6-2 に示すように，速度の高い領域では事故データ数は少なくなるが，ΔV，衝突速度，バリア換算速度（EBS）に関しては，速度に対して比較的線形に対数オッズ比の上昇が認められる．また，相手車両の衝突速度に関しては，ΔV ≤35km/h にてオッズ比が大きい領域が見られるが，さらに低速の ≤ 25km/h には MAIS3+の事例が見られず，低速では傷害リスクが低いと考えられるため，この上昇はばらつきと判断した．したがって，前面衝突時と同様にこれらの変数に関しては，カテゴリー化は行わず，そのまま量的変数として扱うことにした．相手車両の空車質量に関しては，大きい普通貨物車を区別できることを考慮して，3,500kg を境に 2 区分とした．

車両の情報である ω_T に関する因子について図 6-3 に示す．自車の車両種別は，軽乗用車と普通乗用車（小型乗用車を含む）に，軽貨物車を区分けした．車両登録年，車両空車質量に関しては，前面衝突時と同様にそれぞれ 4 区分，3 区分とした．車両損壊程度，車体破損コードは，前面衝突と同様に 2 区分，3 区分としたが，車体破損コードについては，3 以下の損傷が多く見られたので区分を低めに設定した．CDC コードのラップゾーンに関しては，車両水平面と垂直面の分類を考慮した．車両の水平面のラップゾーンは，衝突後の車両の回転挙動に影響を与えると考えられるので，前部（F）と中央部（P, Y, D），後部（B, Z）の 3 区分に分けた．車両の垂直面のラップゾーンは，主にドアの車室内侵入が懸念される低めの衝突部位（A, G, H）と，SUV や大型車が衝突する場合に見られるルーフ部までの変形となる高めの衝突部位（E, L, M, W）の 2 区分に区分した．

乗員の属性や乗員の拘束性能に関連する ω_p に関する因子について図 6-4 に示す．各カテゴリーの区分は，前面衝突時の分析と同様とした．

その他の衝突形態を示す因子について図 6-5 に示す．衝突対象は，普通車との衝突 (軽，小型車含む)，SUV との衝突（1BOX 車を含む），さらに，質量の大きな大型車（貨物車を含む）および電柱やその他工作物との衝突の 4 区分にした．また，事故事例に見られたので多重衝突の有無と衝突後のロールオーバーの有無を考慮した．

前面衝突と同様に，基準に対して ± 1 の範囲を超える顕著なオッズ比の上昇，下降が確認できる因子は以下が挙げられた．これらの因子に関しては，因子選定の際に留意して分析を進める．

- ΔV，自車衝突速度，EBS，相手車両衝突速度
- 相手車両の空車質量，車両損壊程度，車体破損コード，車両水平面のラップゾーン，車両垂直面のラップゾーン
- 性別，身長，BMI，エアバック展開有無
- 衝突対象（大型車との衝突，工作物衝突）

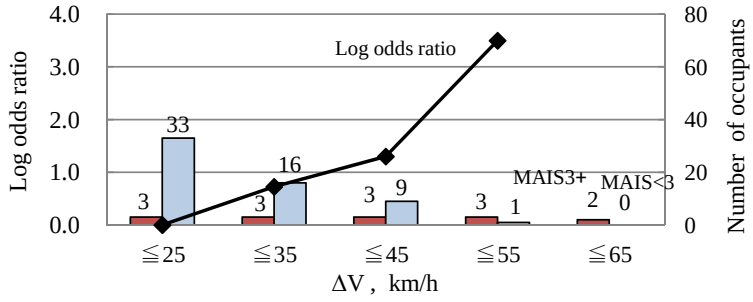
(2) Farside 側突

Farside 側突に関しても，同様にカテゴリーの集約とオッズ比の確認を行った．基本的には，Nearside 側突で区分した内容と同一とした．ΔV に関する因子について図 6-6 に示す．Nearside 側突に比べて，MAIS3+となる重症以上の事故事例が少ない傾向があり，10km/h 区分ではオッズ比の確認ができない区分が多くなってしまっているが，速度が高い方が傷害リスクの大きくなる傾向は見られるので，量的変数としてそのまま採用した．

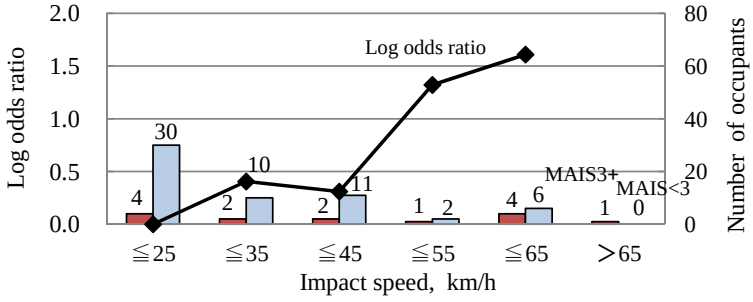
車両の情報である ω_T に関する因子について図 6-7 に，乗員の属性や乗員の拘束性能に関連する ω_p に関する因子について図 6-8 に示す．また，その他の衝突形態を示す因子について図 6-9 に示す．

同様に，基準に対して ± 1 の範囲を超える顕著なオッズ比の上昇，下降が確認できる因子は以下が挙げられた．Nearside 側突の場合と異なる点として，軽貨物車，シートベルト着用有無，ロールオーバー有無などの因子が挙げられている特徴がある．これらの因子に関しては，因子選定の際に留意して分析を進める．

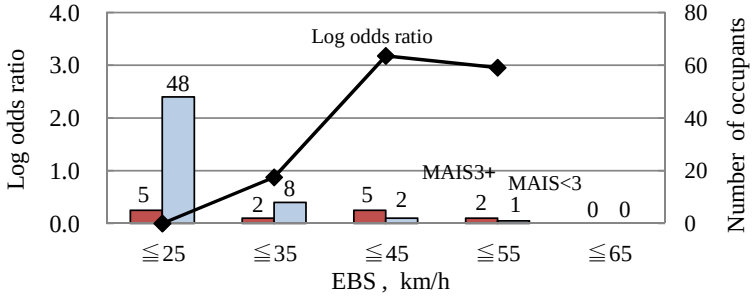
- 自車衝突速度，EBS，相手車両衝突速度,（ΔV はオッズ比が算出できず不明）
- 車両種別（軽貨物車），車両空車質量，車両損壊程度，車体破損コード，車両垂直面のラップゾーン
- 年齢，シートベルト着用有無，エアバック展開有無，
- ロールオーバー有無



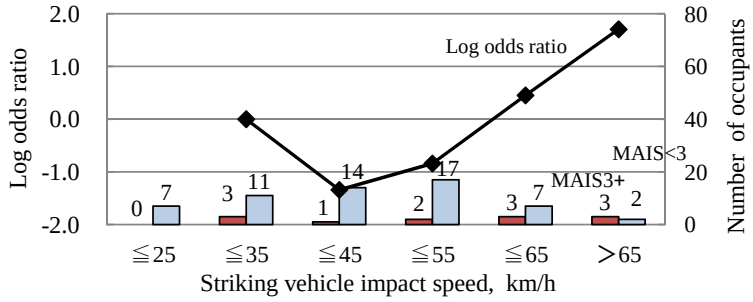
(a) ΔV



(b) Impact speed

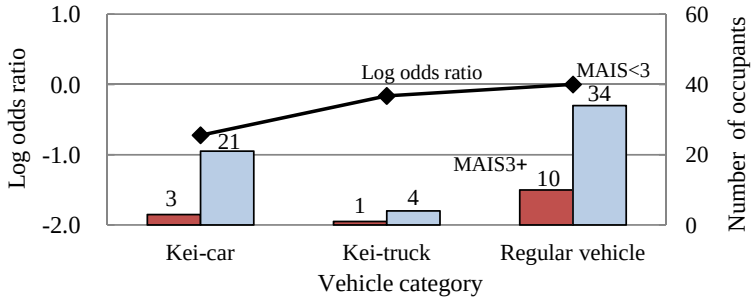


(c) EBS

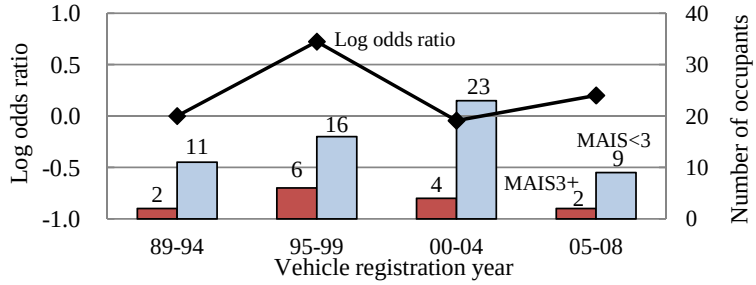


(d) Striking vehicle impact speed

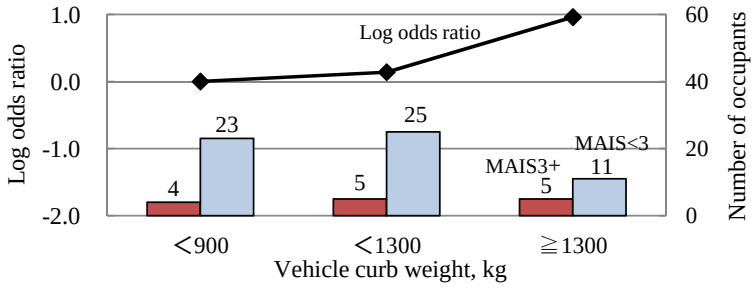
Fig. 6-2: Log odds ratio of variables and number of occupants for ΔV in Nearside



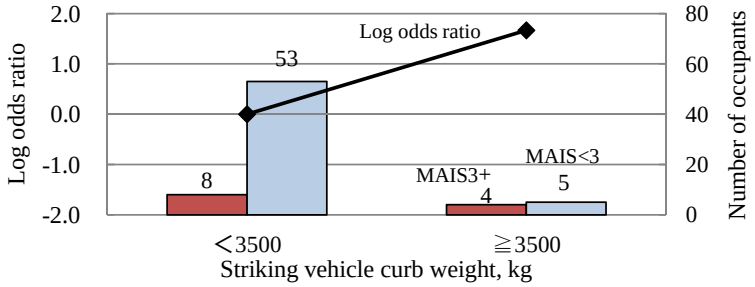
(a) Vehicle category



(b) Vehicle registration year

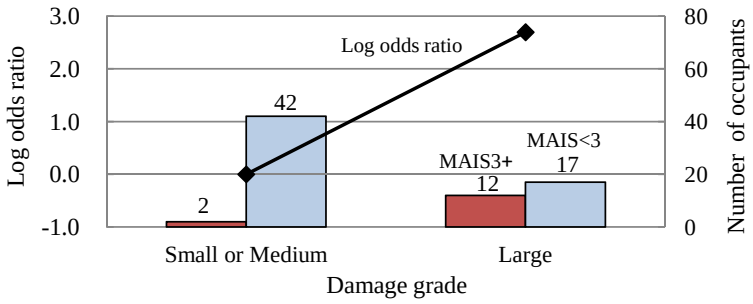


(c) Vehicle curb weight

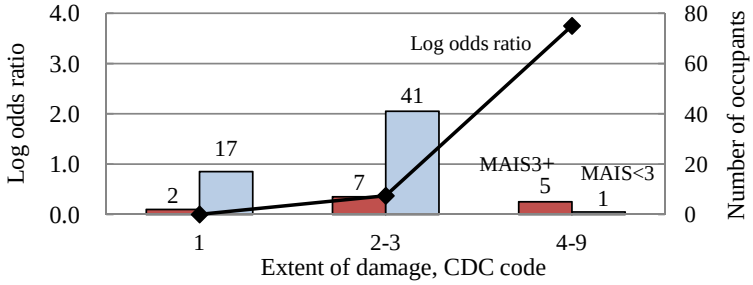


(d) Striking vehicle curb weight

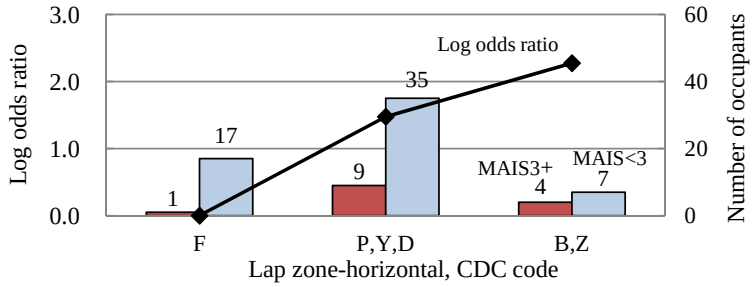
Fig. 6-3: Log odds ratio of variables and number of occupants for ω_T in Nearside



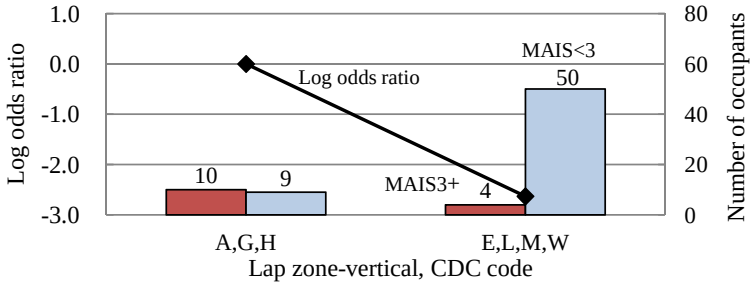
(e) Damage grade



(f) Extent of damage, CDC code

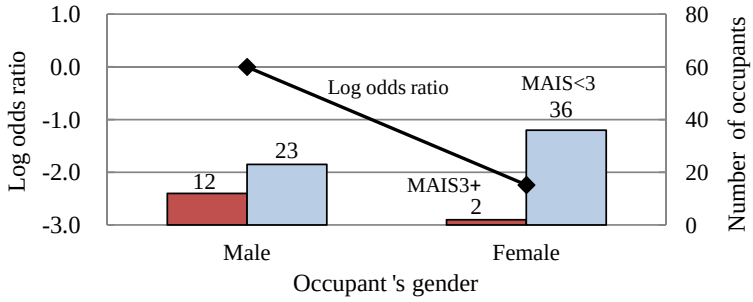


(g) Lap zone-horizontal, CDC code

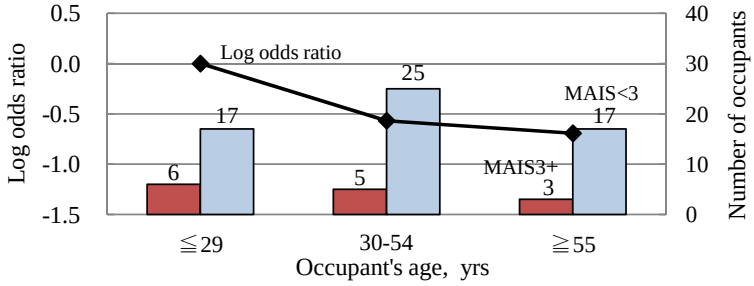


(h) Lap zone-vertical, CDC code

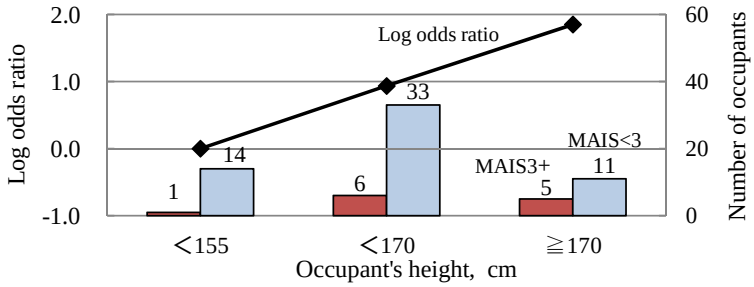
Fig. 6-3: Log odds ratio of variables and number of occupants for ω_T in Nearside



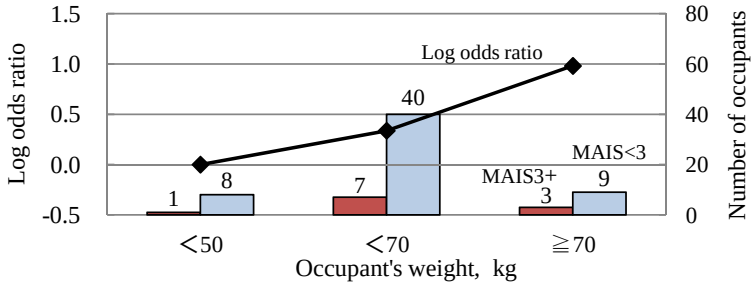
(a) Occupant’s gender



(b) Occupant’s age

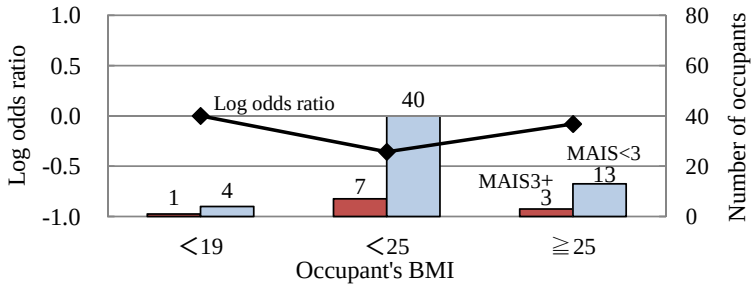


(c) Occupant’s height

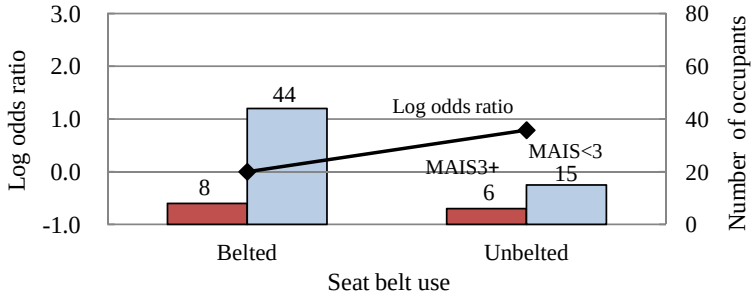


(d) Occupant’s weight

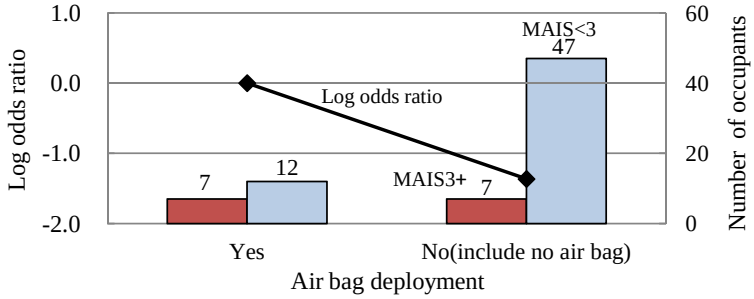
Fig. 6-4: Log odds ratio of variables and number of occupants for ω_p in Nearside



(e) Occupant's BMI

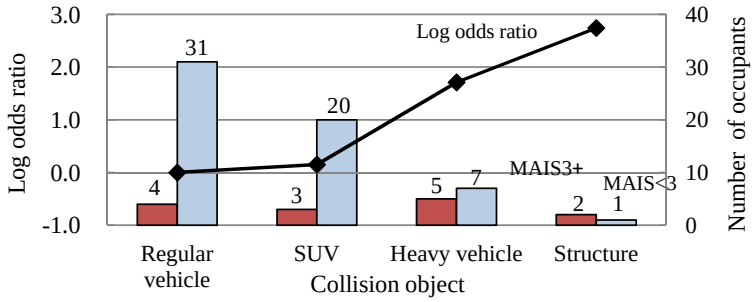


(f) Seat belt use

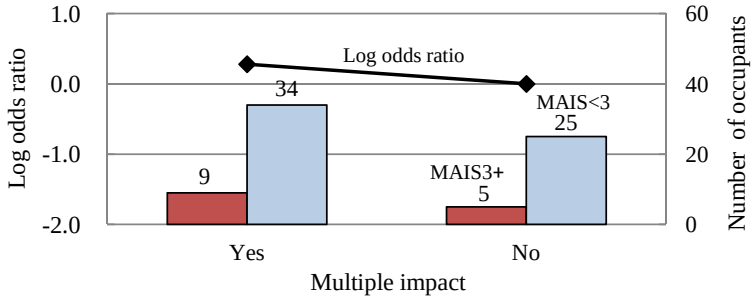


(g) Air bag deployment

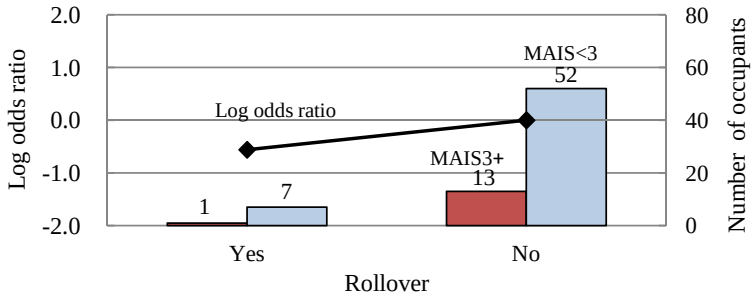
Fig. 6-4: Log odds ratio of variables and number of occupants for ω_p in Nearside



(a) Collision object

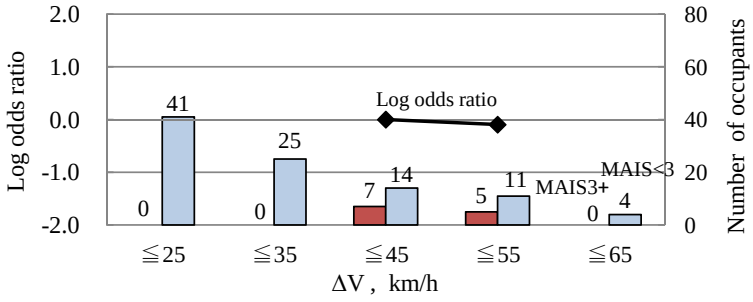


(b) Multiple impact

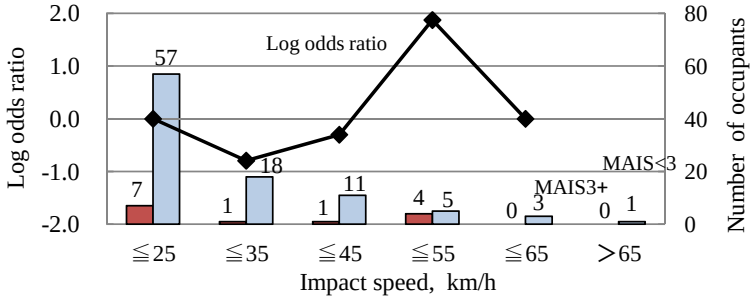


(c) Rollover

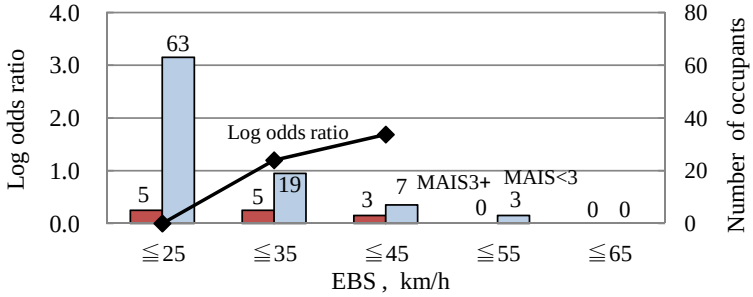
Fig. 6-5: Log odds ratio of variables and number of occupants for others in Nearside



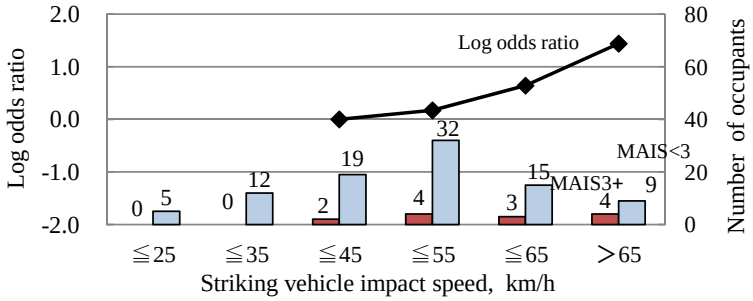
(a) ΔV



(b) Impact speed

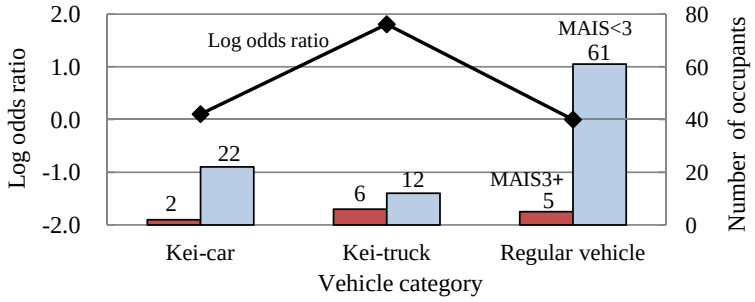


(c) EBS

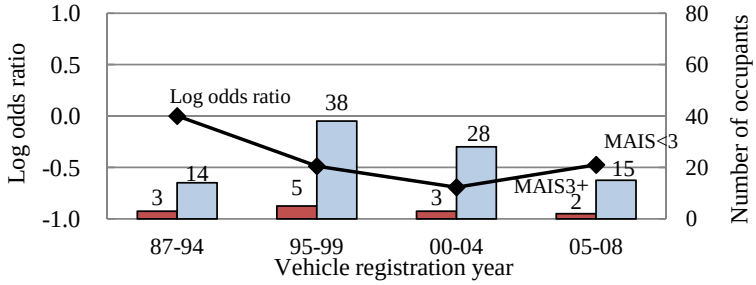


(d) Striking vehicle impact speed

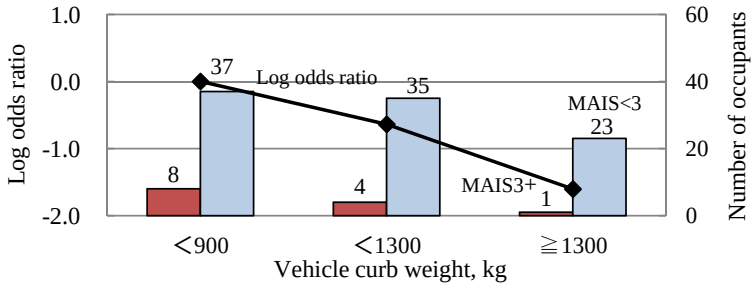
Fig. 6-6: Log odds ratio of variables and number of occupants for ΔV in Farside



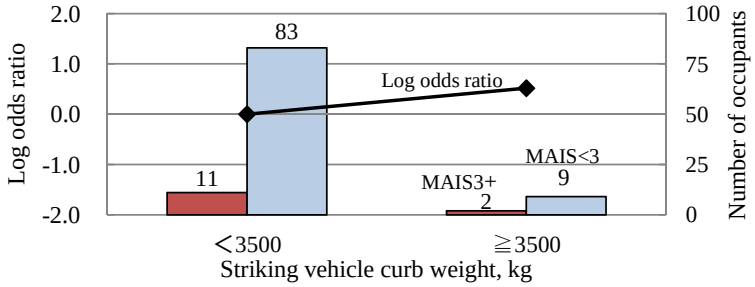
(a) Vehicle category



(b) Vehicle registration year

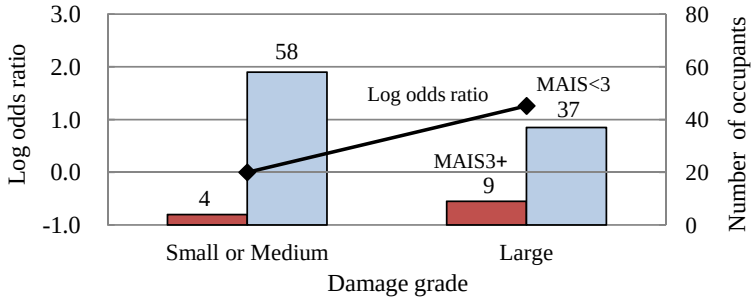


(c) Vehicle curb weight

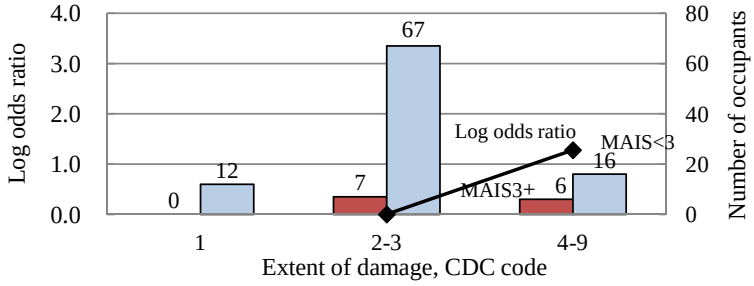


(d) Striking vehicle curb weight

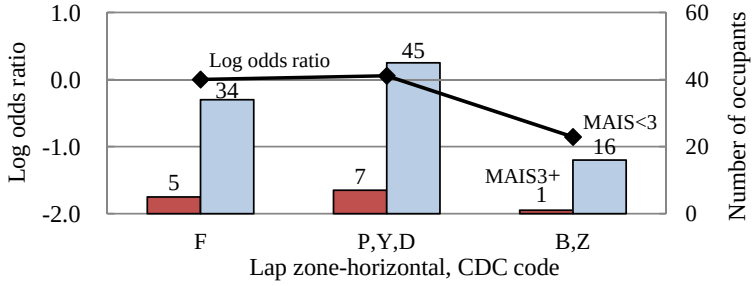
Fig. 6-7: Log odds ratio of variables and number of occupants for ω_T in Farside



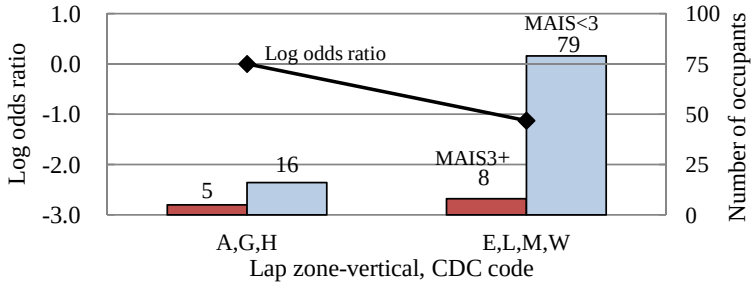
(e) Damage grade



(f) Extent of damage, CDC code

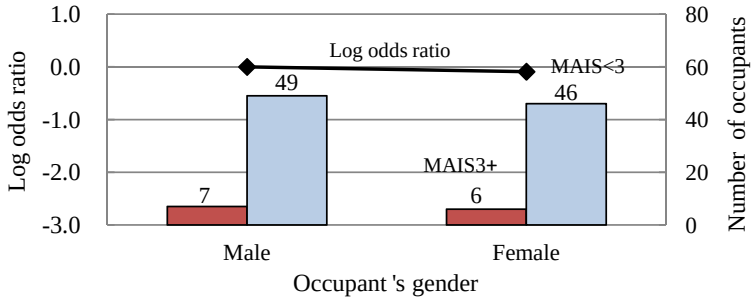


(g) Lap zone-horizontal, CDC code

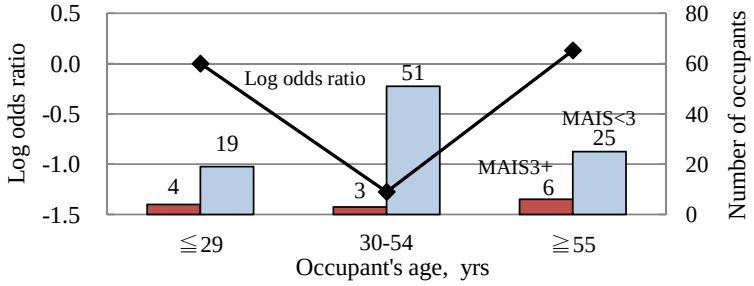


(h) Lap zone-vertical, CDC code

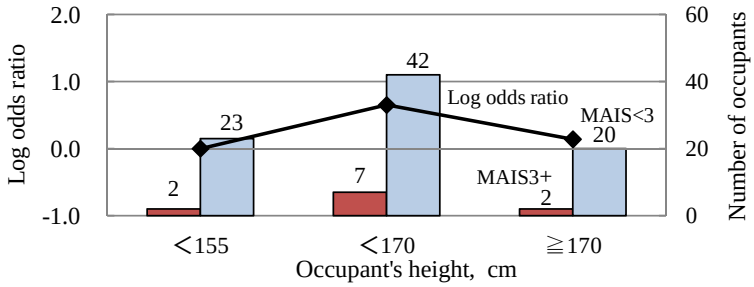
Fig. 6-7: Log odds ratio of variables and number of occupants for ω_T in Farside



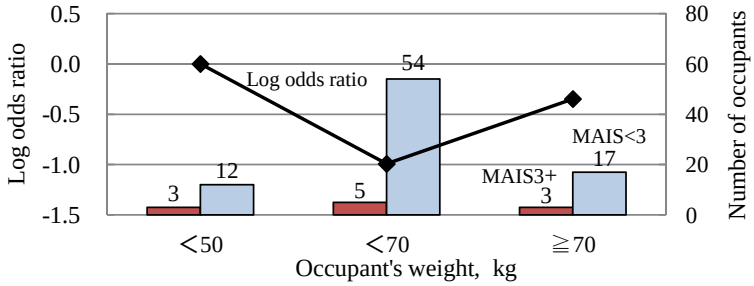
(a) Occupant’s gender



(b) Occupant’s age

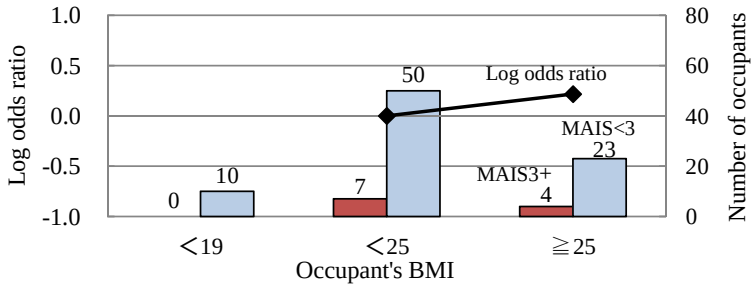


(c) Occupant’s height

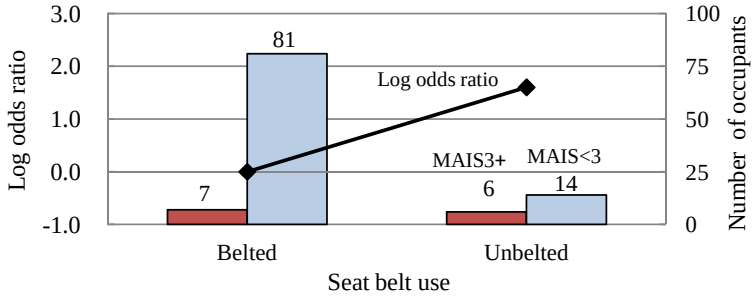


(d) Occupant’s weight

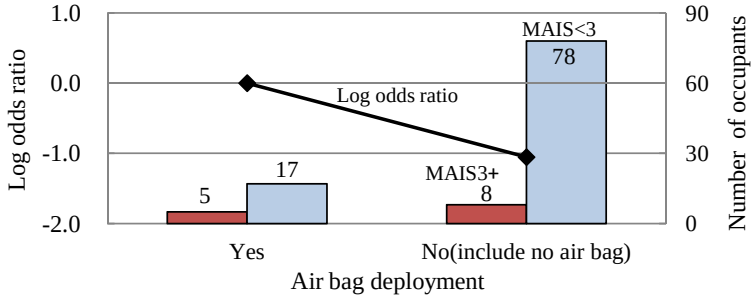
Fig. 6-8: Log odds ratio of variables and number of occupants for ω_p in Farside



(e) Occupant's BMI

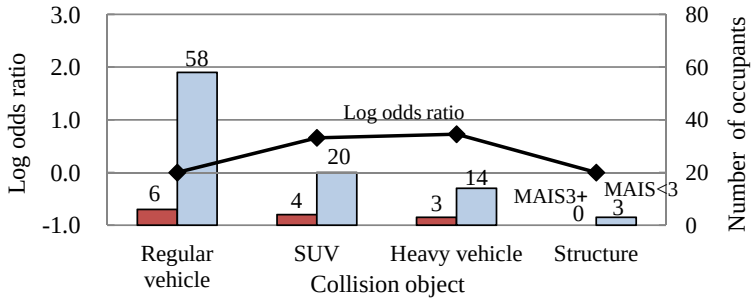


(f) Seat belt use

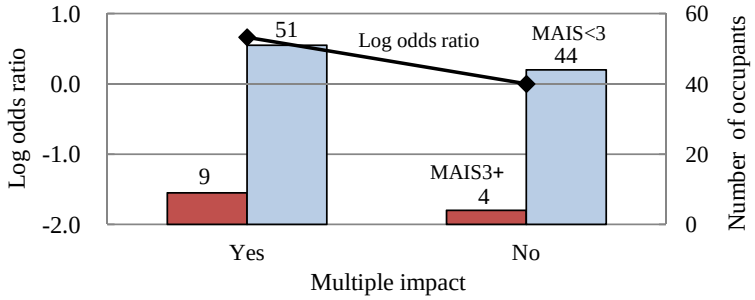


(g) Air bag deployment

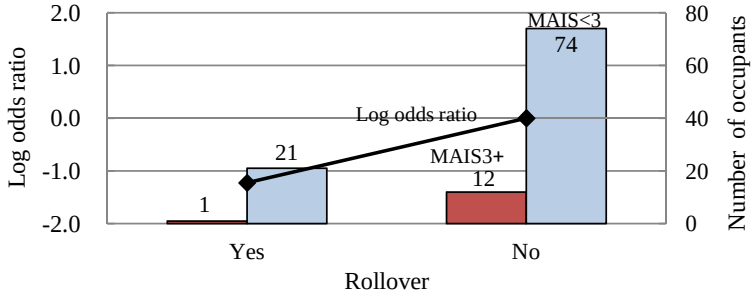
Fig. 6-8: Log odds ratio of variables and number of occupants for ω_p in Farside



(a) Collision object



(b) Multiple impact



(c) Rollover

Fig. 6-9: Log odds ratio of variables and number of occupants for others in Farside

6.4.2 多重共線性確認による説明変数の縮約

（1）Nearside 側突

前面衝突時と同様に，選出した変数に対して簡易的に Pearson，Spearman の相関行列表を用いて確認を行い，目的変数としている MAIS と明らかに有意な水準となっていない変数および変数間に多重共線性が見られる変数を縮約する．量的変数に対する Pearson の相関行列表を表 6-3 に示す．また，順序尺度変数および名義尺度変数に対する Spearman の順位相関行列表を表 6-4 に示す．

車両速度分類の 4 変数は，ΔV と EBS が MAIS と相関が高くお互いに多重共線性が見られる．単相関では EBS の方が若干 MAIS と相関が高い結果 (r=0.523, p<0.001) が見られるが，ΔV の方が衝突直後にデータを収集しやすいと考えられるため，相関はやや低下するが（r=0.507, p<0.001），ΔV を選定し，EBS を除外した．また，相手車両の衝突速度は，ΔV と多重共線性が高く（r=0.547, p<0.001），MAIS との相関が低い（r=0.371, p<0.001) ため除外した．

ω_T に関する車両情報の因子では，車両種別の有意性が低く (p=0.994)，車両の空車質量との多重共線性が高い (r=0.837, p<0.001) ため除外した．また，ω_p に関する乗員の属性では，乗員の身長は，乗員の性別，乗員の体重と多重共線性がそれぞれ r=–0.628(p<0.001)，r=0.511(p<0.001) と高く，乗員の体重は BMI との多重共線性も見られるため (r=0.662, p<0.001)，乗員の身長と体重は除外し，比較的 MAIS との相関が高い乗員の性別 (r=–0.358, p=0.002) と乗員の BMI(r=0.154, p=0.210) を残した．

また，車両登録年，多重衝突有無，ロールオーバー有無，乗員の年齢は，MAIS との相関の有意性は低いが，他との多重共線性も見られず，明らかに影響が低いとはいえないため残した．以上の結果から，Nearside 側突に関しては，説明変数の最終候補として 17 因子が選定された．

Table. 6-3: Pearson’s product-moment correlation for quantitative variables in Nearside

Upper: Pearson's product-moment correlation
Lower: p-value
** p < 0.01, * p < 0.05

	ΔV	Impact speed	EBS	Striking vehicle impact speed	MAIS
ΔV	1	.118 .318	.552** .000	.545** .000	.507** .000
Impact speed		1	.158 .183	-.065 .595	.232* .048
EBS			1	.600** 0	.523** .000
Striking vehicle impact speed				1	.371** .002
MAIS					1

Table. 6-4: Spearman’s rank correlation for categorical variables in Nearside

Upper: Spearman's rank correlation
Lower: p-value
** p < 0.01, * p < 0.05

	Vehicle category	Vehicle registration year	Vehicle curb weight	Striking vehicle curb weight	Collision object	Multiple impact	Rollover	Damage grade	Lap zone-horizontal	Lap zone-vertical	Extent of damage	Seat belt use	Air bag deployment	Occupant's gender	Occupant's age	Occupant's height	Occupant's weight	Occupant's BMI	MAIS
Vehicle category	1.000 .	-0.205 0.082	.837** 0.000	0.175 0.139	0.122 0.303	-0.066 0.580	.284* 0.015	0.069 0.560	-0.076 0.521	0.147 0.215	-.238* 0.043	-0.052 0.660	-0.063 0.599	0.051 0.667	-0.082 0.493	0.092 0.449	-0.129 0.294	-0.159 0.197	-0.001 0.994
Vehicle registration year		1.000 .	-0.174 0.140	-0.048 0.688	0.055 0.646	-0.167 0.159	-0.215 0.068	-0.192 0.104	-0.106 0.371	0.163 0.169	-0.053 0.658	0.130 0.273	.273* 0.020	0.094 0.429	-0.100 0.398	-0.088 0.471	-0.090 0.467	-0.003 0.982	-0.046 0.702
Vehicle curb weight			1.000 .	0.180 0.128	0.115 0.333	-0.169 0.154	0.220 0.062	0.149 0.209	-0.088 0.459	0.104 0.381	-0.198 0.093	-0.083 0.484	0.032 0.790	-0.137 0.249	-0.099 0.405	0.193 0.110	0.015 0.903	-0.102 0.410	0.039 0.745
Striking vehicle curb weight				1.000 .	-0.128 0.280	0.005 0.966	0.156 0.189	0.169 0.154	0.008 0.946	-.411** 0.000	0.123 0.300	-0.045 0.707	-0.095 0.426	-.240* 0.041	0.069 0.561	0.109 0.368	-0.108 0.383	-.283* 0.020	.297* 0.011
Collision object					1.000 .	-0.219 0.062	-0.144 0.224	-0.098 0.407	0.009 0.938	.300** 0.010	-0.063 0.597	-0.068 0.565	-0.042 0.721	-0.037 0.754	-0.227 0.053	-0.028 0.818	-0.165 0.177	-0.184 0.132	-0.175 0.138
Multiple impact						1.000 .	-0.063 0.594	0.005 0.969	0.127 0.284	-0.012 0.919	0.086 0.468	-0.084 0.479	-.242* 0.039	0.189 0.110	0.007 0.953	-0.106 0.384	-0.172 0.160	-0.178 0.145	0.019 0.873
Rollover							1.000 .	-0.074 0.536	-0.124 0.296	-0.008 0.945	0.037 0.754	0.068 0.569	0.108 0.362	-0.161 0.173	-0.079 0.508	0.076 0.534	-0.134 0.275	-0.055 0.659	0.061 0.607
Damage grade								1.000 .	.306** 0.009	-.348** 0.003	.238* 0.043	-.350** 0.002	0.029 0.809	-.286* 0.014	-0.028 0.812	.248* 0.039	0.211 0.084	0.218 0.074	.481** 0.000
Lap zone-horizontal									1.000 .	-.299* 0.010	0.017 0.884	-0.149 0.209	-0.109 0.357	-0.059 0.621	-0.205 0.082	0.006 0.962	-0.067 0.589	0.054 0.662	0.226 0.054
Lap zone-vertical										1.000 .	-.447** 0.000	0.106 0.373	-0.004 0.974	.243* 0.038	-0.112 0.345	-.239* 0.046	-0.211 0.085	-0.038 0.757	-.374** 0.001
Extent of damage											1.000 .	-0.028 0.812	.292* 0.012	-0.189 0.109	0.115 0.334	0.229 0.057	0.220 0.071	0.105 0.395	.312** 0.007
Seat belt use												1.000 .	-0.037 0.757	0.178 0.133	.283* 0.015	-0.177 0.143	-0.127 0.301	-0.119 0.335	-0.209 0.075
Air bag deployment													1.000 .	0.069 0.560	-0.092 0.437	-0.110 0.365	-0.105 0.392	-0.118 0.336	0.220 0.061
Occupant's gender														1.000 .	0.093 0.434	-.628** 0.000	-.514** 0.000	-0.210 0.086	-.358** 0.002
Occupant's age															1.000 .	-0.140 0.249	0.144 0.240	0.209 0.086	-0.066 0.581
Occupant's height																1.000 .	.511** 0.000	0.072 0.558	0.162 0.179
Occupant's weight																	1.000 .	.662** 0.000	0.136 0.268
Occupant's BMI																		1.000 .	0.154 0.210
MAIS																			1.000 .

（2）Farside 側突

同様に，Farside 側突に関しても説明変数の縮約を行う．量的変数に対する Pearson の相関行列表を表 6-5 に示す．また，順序尺度変数および名義尺度変数に対する Spearman の順位相関行列表を表 6-6 に示す．

車両速度分類の 4 変数は，ΔV と EBS の多重共線性が見られ，ΔV の方が MAIS と相関が高い (r=0.412, p<0.001) ため，EBS を除外する．また，相手車両の衝突速度は，ΔV との多重共線性はやや高いが（r=0.475, p<0.001)，基準より低く，MAIS との相関が有意にある（r=0.213, p=0.030) ため残した．

ω_T に関する車両情報の因子では，車両質量が車両種別と多重共線性が高く (r=0.715, p<0.001), MAIS との相関の有意性 (r=–0.117, p=0.229) が車両種別 (r=–0.141, p=0.145) より低いため除外する．また，相手車両の空車質量は，車両垂直面のラップゾーンと多重共線性があり (r=–0.507, p<0.001), MAIS との相関が低い (r=0.240, p=0.012) ため除外した．さらに，ω_p に関する乗員の属性は，Nearside 側突と同様の理由で，乗員の身長と体重を除外した．

また，多重衝突有無，車両水平面のラップゾーン，乗員の年齢は，MAIS との相関の有意性は低いが，他との多重共線性も見られず，明らかに影響が低いといえないため残した．以上の結果から，Farside 側突に関しては，説明変数の最終候補として 17 因子が選定された．

Table. 6-5: Pearson’s product-moment correlation for quantitative variables in Farside

Upper: Pearson's product-moment correlation
Lower: p-value
** p < 0.01, * p < 0.05

	ΔV	Impact speed	EBS	Striking vehicle impact speed	MAIS
ΔV	1	.209* .030	.572** .000	.475** .000	.412** .000
Impact speed		1	.328** .001	-.014 .885	.120 .216
EBS			1	.297** 0	.341** .000
Striking vehicle impact speed				1	.213* .030
MAIS					1

Table. 6-6: Spearman's rank correlation for categorical variables in Farside

Upper: Spearman's rank correlation
Lower: p-value
** p < 0.01, * p < 0.05

	Vehicle category	Vehicle registration year	Vehicle curb weight	Striking vehicle curb weight	Collision object	Multiple impact	Rollover	Damage grade	Lap zone-horizontal	Lap zone-vertical	Extent of damage	Seat belt use	Air bag deployment	Occupant's gender	Occupant's age	Occupant's height	Occupant's weight	Occupant's BMI	MAIS
Vehicle category	1.000	-0.008	.715**	0.000	-0.017	-0.072	.374**	0.015	-0.181	0.091	-0.096	0.129	.196*	-0.158	-0.182	0.186	-0.002	0.010	-0.141
	.	0.937	0.000	1.000	0.859	0.458	0.000	0.882	0.061	0.351	0.323	0.182	0.042	0.103	0.060	0.069	0.988	0.924	0.145
Vehicle registration year		1.000	0.079	-0.148	0.119	-0.143	-0.064	-.228*	-0.081	.257**	-0.088	0.166	0.126	0.040	0.179	-0.103	0.003	0.092	-0.178
		.	0.417	0.127	0.220	0.139	0.508	0.017	0.405	0.007	0.367	0.085	0.195	0.681	0.064	0.319	0.979	0.378	0.065
Vehicle curb weight			1.000	0.060	-0.099	-0.020	.274**	-0.081	-0.160	0.101	-0.047	0.164	0.075	-0.114	-0.061	0.114	0.107	0.142	-0.117
			.	0.539	0.308	0.836	0.004	0.404	0.099	0.296	0.628	0.091	0.442	0.241	0.527	0.268	0.303	0.171	0.229
Striking vehicle curb weight				1.000	-.272**	0.099	0.127	.337**	0.094	-.507**	0.184	-0.029	0.147	0.069	-.199*	0.017	0.017	-0.060	.240*
				.	0.004	0.310	0.191	0.000	0.332	0.000	0.057	0.766	0.129	0.475	0.039	0.871	0.871	0.563	0.012
Collision object					1.000	0.108	-0.101	-.258**	-0.082	.226*	-0.131	0.029	-0.118	-0.019	0.015	-0.037	-0.027	-0.015	-0.102
					.	0.265	0.299	0.007	0.396	0.019	0.175	0.762	0.226	0.844	0.880	0.724	0.797	0.883	0.293
Multiple impact						1.000	-.195*	-0.130	-0.085	0.016	-0.006	0.043	-0.129	-0.079	-0.102	0.098	0.068	0.043	0.000
						.	0.043	0.181	0.384	0.872	0.952	0.661	0.185	0.418	0.295	0.344	0.518	0.680	1.000
Rollover							1.000	0.017	-.316**	-0.074	.245*	-0.004	.199*	-0.111	0.055	0.160	0.042	0.057	0.153
							.	0.860	0.001	0.445	0.010	0.964	0.039	0.254	0.574	0.119	0.689	0.582	0.113
Damage grade								1.000	.215*	-.381**	.269**	-0.120	.262**	-0.006	-0.036	0.013	0.096	0.012	.224*
								.	0.026	0.000	0.005	0.218	0.006	0.955	0.711	0.901	0.356	0.910	0.020
Lap zone-horizontal									1.000	-.256**	-.253**	-0.042	-0.144	0.048	-0.019	-0.036	0.099	0.157	0.008
									.	0.007	0.008	0.665	0.137	0.619	0.847	0.726	0.344	0.131	0.933
Lap zone-vertical										1.000	-0.168	0.187	0.016	0.052	0.056	0.013	-0.128	-0.074	-.344**
										.	0.082	0.052	0.868	0.593	0.568	0.899	0.218	0.480	0.000
Extent of damage											1.000	-0.136	0.122	-.226*	0.035	0.195	.232*	0.200	.325**
											.	0.162	0.209	0.019	0.720	0.057	0.024	0.053	0.001
Seat belt use												1.000	-0.055	0.125	0.015	-0.098	-0.045	-0.027	-.266**
												.	0.573	0.196	0.881	0.340	0.665	0.796	0.005
Air bag deployment													1.000	-0.073	-0.048	0.064	0.045	0.027	0.077
													.	0.451	0.620	0.534	0.665	0.796	0.431
Occupant's gender														1.000	0.086	-.554**	-.608**	-.384**	0.007
														.	0.373	0.000	0.000	0.000	0.946
Occupant's age															1.000	-.226*	0.047	0.093	0.038
															.	0.027	0.653	0.373	0.695
Occupant's height																1.000	.500**	0.202	0.031
																.	0.000	0.051	0.763
Occupant's weight																	1.000	.764**	0.002
																	.	0.000	0.986
Occupant's BMI																		1.000	0.116
																		.	0.266
MAIS																			1.000
																			.

6.4.3 順序ロジスティック回帰モデル

(1) Nearside 側突

これら絞り込んだ 17 変数を用いて，第 2 章で述べた順序ロジスティック回帰分析を行った．変数の選択は，前面衝突時の分析と同様に式（2.125）に示す赤池の情報量規準 *AIC*（Akaike's Information Criterion）を確認しながら Wald 検定による各変数の有意性を基準に有意でない変数を順に減少させて行った．

その結果，有意性の高い (p<0.05) 変数として，Δ*V*，車両損壊程度，相手車両の空車質量，ステアリングエアバック展開有無が残った．ここで，ステアリングエアバック展開有無に関しては，エアバックが展開した方が MAIS の高くなる係数となっており，これまでの知見では説明のつかない結果となっていた．また，このステアリングエアバック展開の変数を考慮しない方が，*AIC* の減少が確認できたため，ステアリングエアバック展開有無の変数は今回の選択から除外した．さらに，先行研究 [41, 53] では，シートベルト着用有無が傷害予測因子として選定されているため，上記変数に加えて確認したが，p=0.862 と有意な変数にはならなかったため，変数として選定しなかった．また，その他の選定されなかった変数についても個別に再追加をしたが，変数が有意 (p<0.05) となり *AIC* がさらに減少することは見られなかった．

最終的に選択された有意 (p<0.05) な変数は、Δ*V*、車両損壊程度，相手車両の空車質量となり，本組み合わせを最適と考えた．得られた順序ロジスティック回帰分析の結果を表 6-7 に示す．また，推定された MAIS のカテゴリー と観測されたカテゴリー の対比状況を表 6-8 に示す．本乗員傷害予測式による MAIS の的中精度は 72.6 %，死亡重症判定的中率 (MAIS3+) は 87.7 %となっており，良好な予測結果となった．

図 6-10 に，Δ*V* に対する MAIS カテゴリーの推定確率の一例を示す．図 6-10 から，車両の損壊程度が大破の方が小・中破より高い MAIS の推定となっていることが確認できる．さらに，相手車両の空車質量が 3,500kg 以上と大きくなった場合，Δ*V* が 35km/h 以上になると重症と予測される確率がさらに高くなることが確認できる．MAIS=6 に対する推定は，今回分析した事故事例では抽出できなかったため行われていない．また，MAIS=3 に対する推定確率が低い結果となっており，MAIS=3 と推定する事故が見られなかった．これらに関しては，サンプル数が限られた ITARDA ミクロデータを用いる精度上の課題と考える．これについては，考察にて詳述する．

Table. 6-7: Result of ordinal logistic regression in Nearside

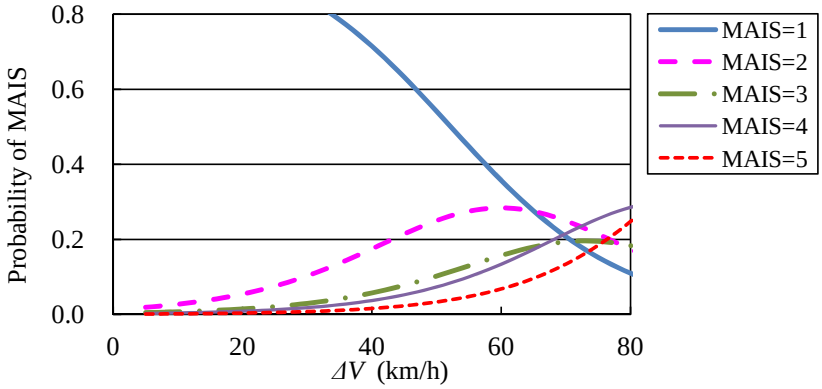
Factors		Coefficients	S.E.	p-value
Intercept	MAIS=1	0.997	1.099	0.364
	MAIS=2	2.165	1.232	0.056
	MAIS=3	2.959	1.169	0.011
	MAIS=4	4.203	1.262	0.001
	MAIS=5	–	–	–
ΔV		0.075	0.024	0.001
Damage grade	Small or Medium	–1.593	0.607	0.009
	Large	–	–	–
Striking vehicle	<3,500kg	–1.344	0.662	0.042
curb weight	≥ 3,500kg	–	–	–

AIC= 116.6, χ^2 =34.65, Nagelkerke R^2 =0.431

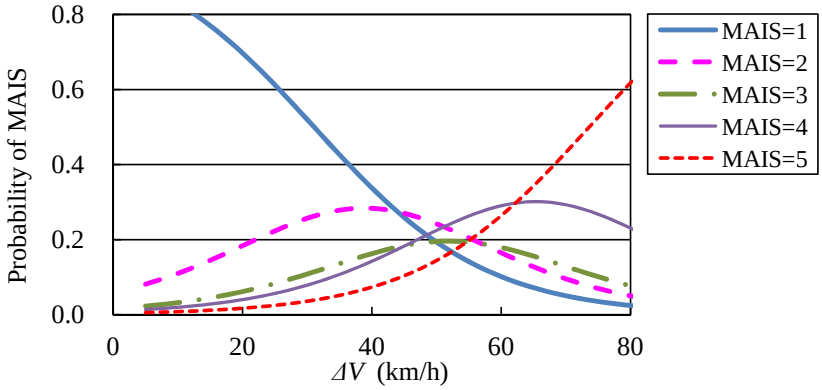
Table. 6-8: Result of predicted MAIS in Nearside

	Predicted MAIS						
Observed MAIS	1	2	3	4	5	6	Total
1	47	1	0	0	1	0	49
2	8	2	0	0	0	0	10
3	2	1	0	2	0	0	5
4	3	1	0	1	0	0	5
5	1	0	0	0	3	0	4
6	0	0	0	0	0	0	0
Total	61	5	0	3	4	0	73

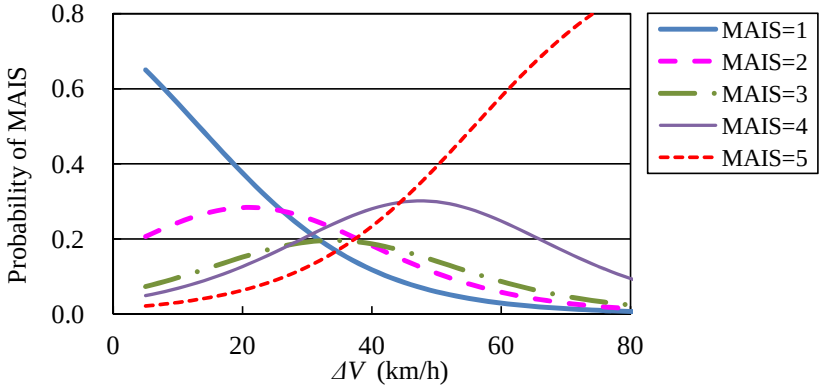
Predictive accuracy :0.726
Judgment rate of fatal and serious injury :0.877
Sensitivity for MAIS3+ :0.429
Specificity for MAIS3+ :0.983



(a) For striking vehicle curb weight < 3,500kg in small or medium damaged crash



(b) For striking vehicle curb weight < 3,500kg in large damaged crash



(c) For striking vehicle curb weight ≥ 3,500kg in large damaged crash

Fig. 6-10: Predicted probability of MAIS in Nearside

(2) Farside 側突

Nearside 側突と同様に，絞り込んだ 17 変数を用いて，第 2 章で述べた順序ロジスティック回帰分析を行った．変数の選択は同様に，*AIC* を確認しながら Wald 検定による各変数の有意性を基準に有意でない変数を順に減少させて行った．

その結果，有意性の高い (p<0.05) 変数として，Δ*V*，車種，車両の垂直面のラップゾーンが残った．Nearside 側突と同様に，シートベルト着用有無の変数が先行研究で乗員傷害予測因子として考慮されていたので，上記変数に追加して確認した．その結果，p=0.139 となり，*AIC* の減少は確認できなかった．しかし，MAIS の予測残差は改善する事故事例が見られたため，今回の変数選択に加えることにした．ここで，シートベルト着用有無の変数を加えることにより，車両の垂直面のラップゾーンの変数の p 値が 0.078 とやや悪化する傾向が見られた．

同様に，その他の因子を個別に再追加して確認したが，変数が有意 (p<0.05) となり *AIC* がさらに減少することは見られなかったため，最終的に，Δ*V*，車種，車両の垂直面のラップゾーン，シートベルト着用有無の組合せのモデルを最適と考えた．得られた順序ロジスティック回帰分析の結果を表 6-9 に示す．また，推定された MAIS のカテゴリー と観測されたカテゴリー の対比状況を表 6-10 に示す．本乗員傷害予測式による MAIS の的中精度は 78.7 %，死亡重症判定的中率 (MAIS3+) は 88.0 %となっており，良好な予測結果となった．

図 6-11 に，Δ*V* に対する MAIS カテゴリーの推定確率の一例を示す．シートベルト着用の場合，普通乗用車の場合は，Δ*V* が 80km/h 以上でないと重症となる確率が低い結果となっている．軽貨物車に対しては，傷害リスクが高い傾向にあり，Δ*V* が 60km/h 以上で重症となる確率が高まる．また，シートベルトを非着用で，車両垂直面のラップゾーンが高め（A, G, H）の衝突の場合になると，傷害リスクが高まり，普通乗用車にても Δ*V* が 50km/h 以上で重症となる確率が高くなる．Farside 側突の場合，Nearside 側突に比べて，重症となる傷害確率が低い傾向となっている．事故事例で ITARDA ミクロデータから抽出した事故事例を確認しても，MAIS が 4 以上となる事例がほとんど抽出されていない．このことからも，Farside 側突にて推定される傷害確率は低くなると推測される．しかし，これらに関しても，サンプル数が限られた ITARDA ミクロデータを用いる精度上の課題があると考える．これについては，考察にて詳述する．

Table. 6-9: Result of ordinal logistic regression in Farside

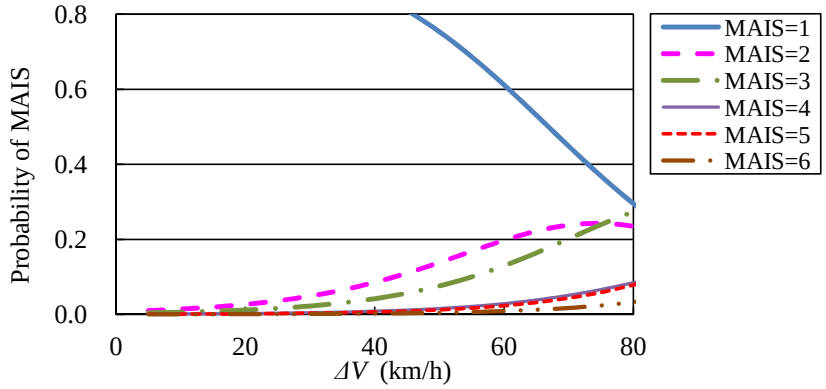
Factors		Coefficients	S.E.	p-value
Intercept	MAIS=1	4.424	0.886	< 0.001
	MAIS=2	5.415	0.956	< 0.001
	MAIS=3	6.705	1.078	< 0.001
	MAIS=4	7.370	1.171	< 0.001
	MAIS=5	8.680	1.498	< 0.001
ΔV		0.066	0.020	0.001
Vehicle category	Kei-car	–0.010	0.649	0.988
	Kei-truck	1.323	0.623	0.034
	S. or Regular vehicle	–	–	–
Lap zone	A,G,H	1.008	0.573	0.078
-vertical	E,M,L,W	–	–	–
Seat belt use	Unbelted	0.846	0.572	0.139
	Belted	–	–	–

AIC= 141.3, χ^2 =31.59, Nagelkerke R^2 =0.316

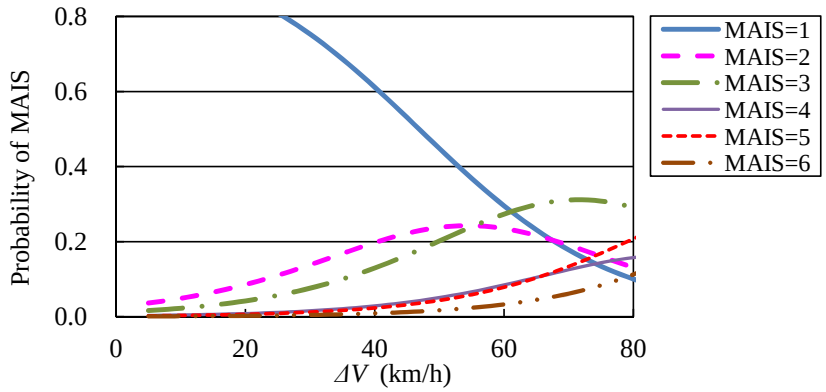
Table. 6-10: Result of predicted MAIS in Farside

	Predicted MAIS						
Observed MAIS	1	2	3	4	5	6	Total
1	83	0	1	0	0	0	84
2	9	0	2	0	0	0	11
3	7	0	1	0	0	0	8
4	2	0	0	0	0	0	2
5	1	0	0	0	1	0	2
6	0	0	1	0	0	0	1
Total	102	0	5	0	1	0	108

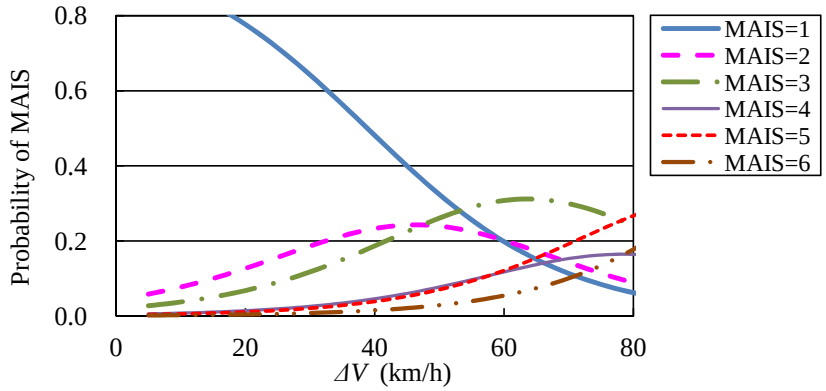
Predictive accuracy :0.787
Judgment rate of fatal and serious injury :0.880
Sensitivity for MAIS3+ :0.231
Specificity for MAIS3+ :0.968



(a) For belted drivers in small or regular vehicle with E,M,L or W lap zone-vertical



(b) For belted drivers in Kei-truck with E,M,L or W lap zone-vertical



(c) For unbelted drivers in small or regular vehicle with A,G or H lap zone-vertical

Fig. 6-11: Predicted probability of MAIS in Farside

6.5 ITARDA マクロデータを用いた検証

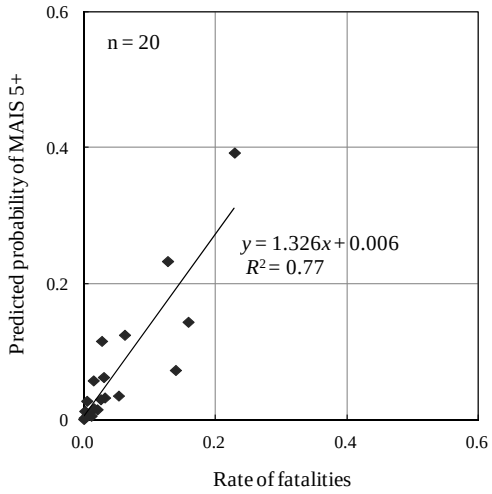
6.5.1 致死率，重傷率および死亡重傷率の比較

前節で行ってきた Nearside 側突時および Farside 側突時の乗員傷害予測式が妥当であることを検証するために，前面衝突時と同様に国内の ITARDA マクロデータを用いて各衝突時の傷害状況の比較を行った．検証手法は，2.7 節に準じて行った．なお，検証に用いた ITARDA マクロデータの分析対象は，乗員傷害予測式を求める条件と同一な 2000 年～2010 年に発生した普通・軽乗用車および軽貨物車の事故とし，車両の衝突部位は，2.7.2 項の表 2-7 に示した対応に従い，右側面と左側面となる出会い頭事故および車両単独工作物衝突事故とした．ここで，各条件で集計した死傷者数が 20 未満の場合，または死者が 0 の場合は，致死率，重傷率などの誤差が大きくなってしまうため，比較条件から除外した．

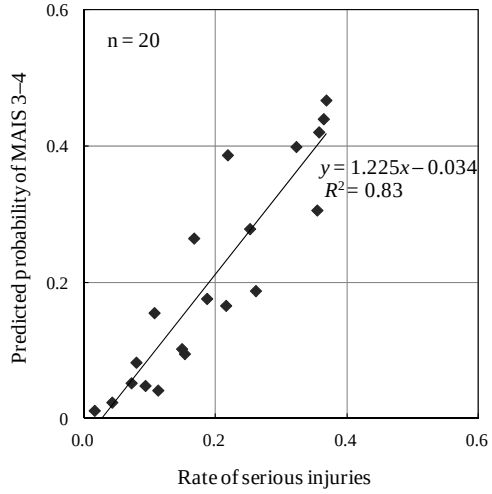
(1) Nearside 側突

Nearside 側突に関して，本乗員傷害予測式から求めた傷害確率と実事故の致死率，重傷率および死亡重傷率との比較結果を図 6-12 示す．本予測式で求めた致死確率（MAIS5+），重症確率 (MAIS=3～4) および死亡重症確率（MAIS3+) と ITARDA マクロデータでの致死率，重傷率および死亡重傷率は，それぞれ決定係数 R^2=0.77，0.83，0.85 と高い相関があり，本乗員傷害予測式は，国内における事故状況を妥当に評価できていると考える．

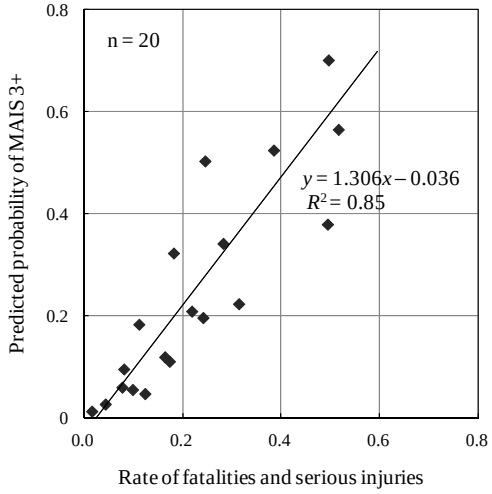
図 6-12(c) 死亡重傷率の比較にて，決定係数は高いが，一部の条件で全体の相関線から上側にやや乖離している条件が見られる．これは，ΔV がやや高い領域の相手車両の空車質量が 3,500kg 以上と大きく，車両損壊程度が小破・中破となっている条件である．本乗員傷害予測式による傷害確率が実事故より高めの傾向となる事故である．前面衝突と同様に，ITARDA マクロデータに用いている ΔV は，2.7.1 項で述べた疑似 ΔV であり，疑似 ΔV の算出精度の影響もあると考えるが，今後詳細に検討していく必要がある事故群の一つと考える．



(a) Rate of fatalities



(b) Rate of serious injuries



(c) Rate of fatalities and serious injuries

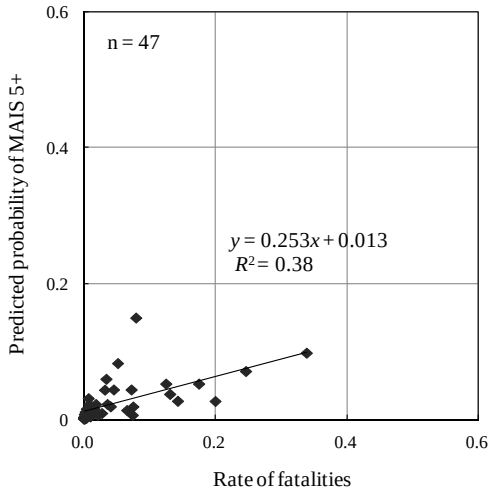
Fig. 6-12: Injury prediction versus rate of casualties in Nearside

(2) Farside 側突

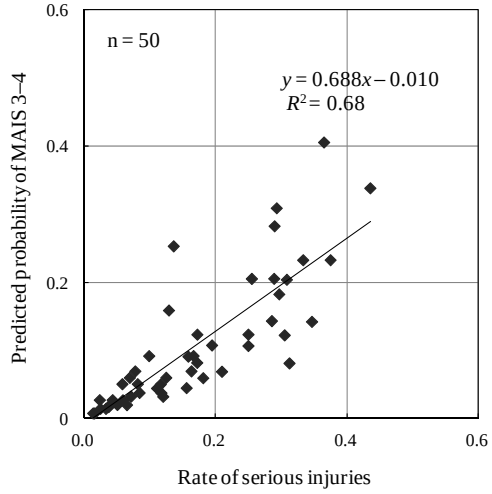
Farside 側突に関して，本乗員傷害予測式から求めた傷害確率と実事故の致死率，重傷率および死亡重傷率との比較を行う．ここで，影響因子として採用された垂直面のラップゾーンの CDC コードに関しては，ITARDA マクロデータには登録されていないため直接の比較はできない．車両垂直面のラップゾーンが，A，G および H の場合は，ルーフなどの車両側面の高い部位まで変形を及ぼしている場合であり，その分変形量が大きく評価されていると考えられる．そこで，今回の比較では，車両垂直面のラップゾーンが A，G および H の場合は，車両損壊程度が大破と仮定し，車両垂直面のラップゾーンがそれ以外の場合は，車両変形程度が少ない小破・中破と仮定した．収集した ITARDA ミクロデータを確認すると，車両垂直面のラップゾーンが A，G，H の場合，約 90 %（=17/21）が大破であった．また，車両垂直面のラップゾーンが E，M，L，W の場合は，約 67 %（=58/87）が小破・中破であり，上記仮定は妥当であると考える．

この比較条件を含めて，Farside 側突に関して，乗員傷害予測式による傷害確率と実事故の致死率，重傷率および死亡重傷率の比較結果を図 6-13 示す．本予測式で求めた致死確率（MAIS5+），重症確率 (MAIS=3～4) および死亡重症確率（MAIS3+) と ITARDA マクロデータでの致死率，重傷率および死亡重傷率は，それぞれ決定係数 R^2=0.38，0.68，0.65 と高い相関があった．Nearside 側突に関する比較結果と比べて，決定係数がやや低い傾向にあるが相関はあり，本乗員傷害予測式は国内における事故状況を妥当に評価できていると考える．

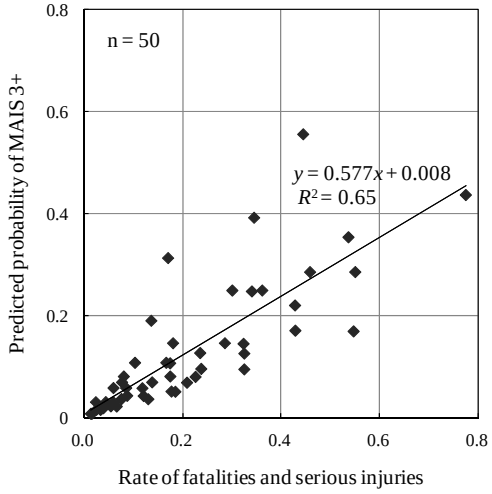
決定係数が低めとなっている要因としては，収集した ITARDA ミクロデータによる Farside 側突において，死亡や重傷の事故事例が少なかったことが挙げられる．継続して，事故事例数を増やしていくことも課題の一つである．また，図 6-13(a) の致死率と MAIS5+との比較においては，相関傾きが高いグループが見られる．この事故群は，軽貨物車のシートベルト着用の条件である．また，図 6-13(c) の死亡重傷率の比較にても，相関線から上側に乖離している条件が見られるが，これも軽貨物車のシートベルト着用の事故群である．これらの事故群には，まだ検出できていない事故要因が潜んでいる可能性があり，さらなる調査が必要な事故群と考える．



(a) Rate of fatalities



(b) Rate of serious injuries



(c) Rate of fatalities and serious injuries

Fig. 6-13: Injury prediction versus rate of casualties in Farside

6.5.2 各影響因子による傷害状況比較

前面衝突時と同様に，有意な変数として挙げられた因子の条件別に，MAIS5+，MAIS=3～4 および MAIS3+となる傷害確率を求め，ITARDA マクロデータとの比較検証を行った．ITARDA マクロデータの比較データは，2.7 節の表 2-9 に従う．Nearside 側突に関する結果を図 6-14～図 6-15 に，Farside 側突に関する結果を図 6-16～図 6-18 に示す．

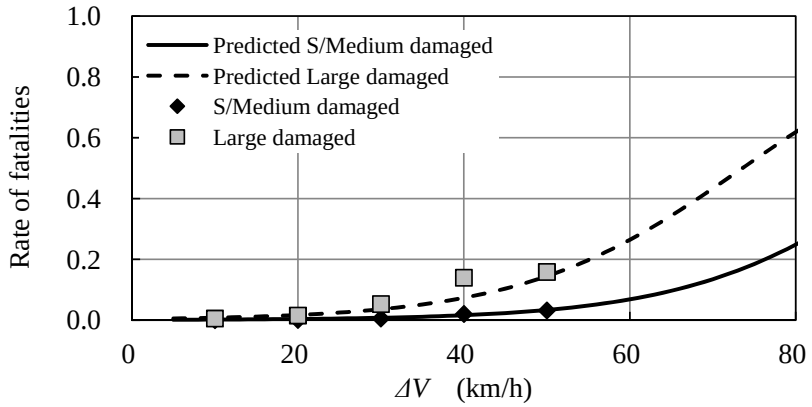
(1) Nearside 側突

図 6-14～図 6-15 から，各因子に対する予測結果は概ね ITARDA マクロデータの傷害状況を捉えているといえる．車両損壊程度に関しては，前面衝突時と同様に，車両損壊程度が大破となると小破・中破に比べて致死確率，死亡重症確率が 2 倍以上高まることが分かる．また，後述する Farside 側突に対して，致死確率，死亡重症確率が約 2 倍高い傾向にあることが確認できる．もう一つの影響因子である相手車両の空車質量に関しては，質量カテゴリー差の影響を定性的には評価できているが，ΔV が高めの領域では，死亡重症確率などの乗員傷害予測結果が ITARDA マクロデータによる死亡重傷率よりやや高めの傾向が見られる．この要因としては，相手車両の空車質量の有意性がやや低め（p=0.042）となっており，誤差が大きくなっていることが考えられる．特に，ΔV が高めの条件における事故データ数は少ない傾向があり，予測誤差も大きくなりやすいと考える．なお，先行研究で行われた URGENCY アルゴリズムとの比較に関しては，前面衝突時と同様に考察にて詳述する．

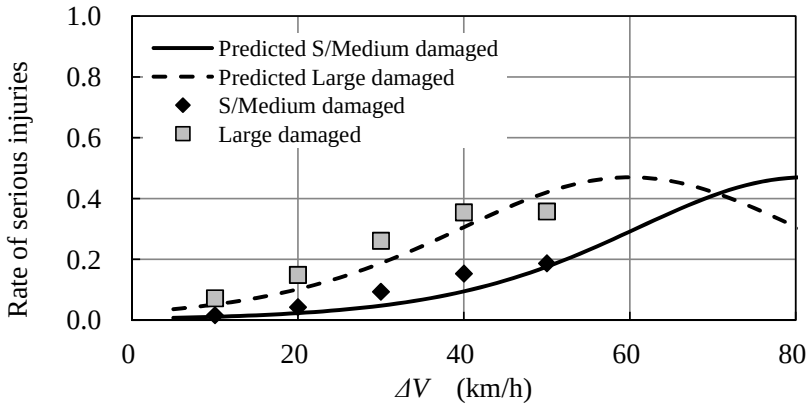
(2) Farside 側突

Farside 側突に関しても，図 6-16～図 6-18 から，各因子に対する予測結果は，定性的に ITARDA マクロデータの傷害状況を捉えているといえるが，傷害リスクの予測誤差は，Nearside 側突よりやや大きい傾向がある．特に厳しめの条件となる場合にて，乗員傷害予測結果が低くくなっている．この要因としても事故データ数の影響が考えられる．特に，抽出された Farside 側突に関する重症となる事故事例はかなり限定されていた．Nearside 側突に対して，傷害リスクが低い傾向が確認できるので，重症となる事故事例が少なくなってしまうことが影響していると考える．

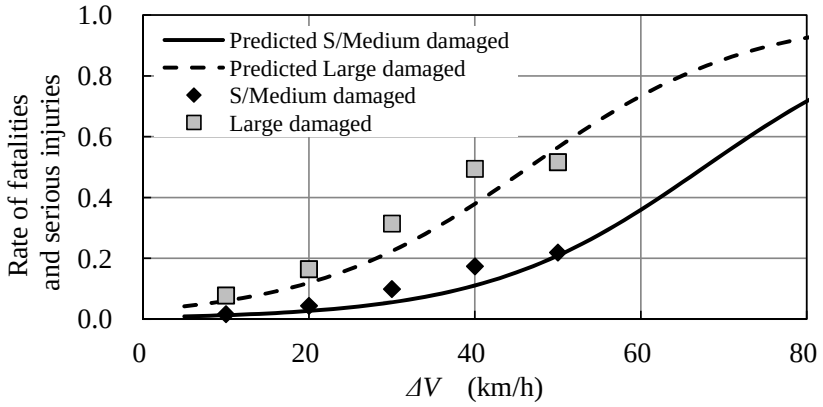
ΔV を除いた車両種別，車両垂直面のラップゾーンおよびシートベルトの着用有無の因子は，影響因子と判断したが，3 因子とも有意性が高くなっていないことからも，誤差が大きくなっていると考えられる．今後，さらなる改善余地があると考える．先行研究の URGENCY アルゴリズムとの比較に関しては，Nearside 側突と同様に考察にて詳述する．



(a) Rate of fatalities

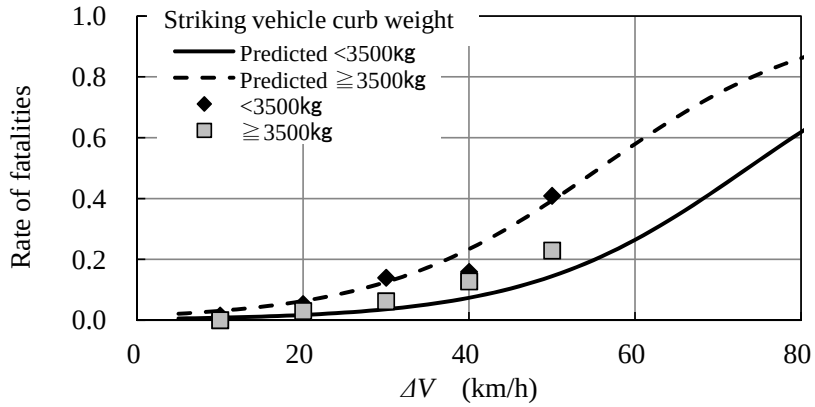


(b) Rate of serious injuries

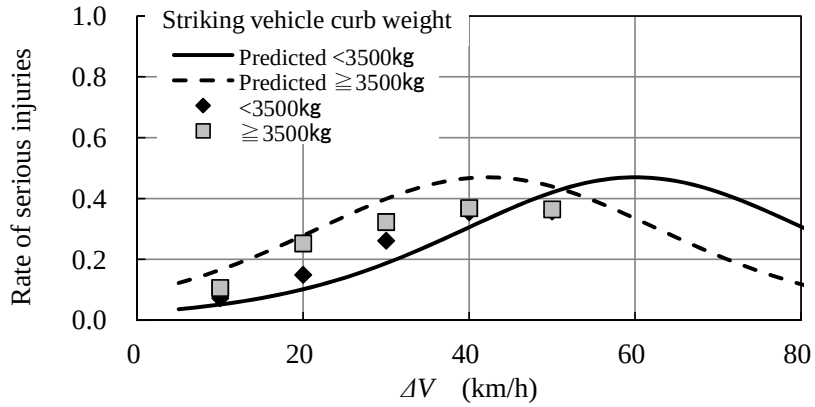


(c) Rate of fatalities and serious injuries

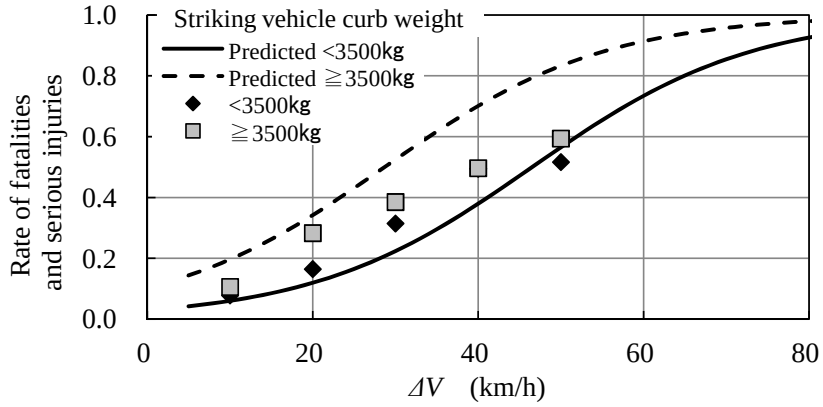
Fig. 6-14: Injury prediction for damage grade of striking vehicle curb weight < 3,500kg in Nearside



(a) Rate of fatalities

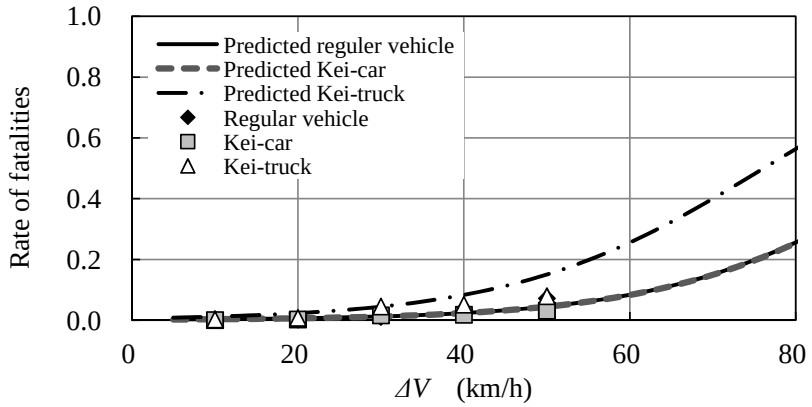


(b) Rate of serious injuries

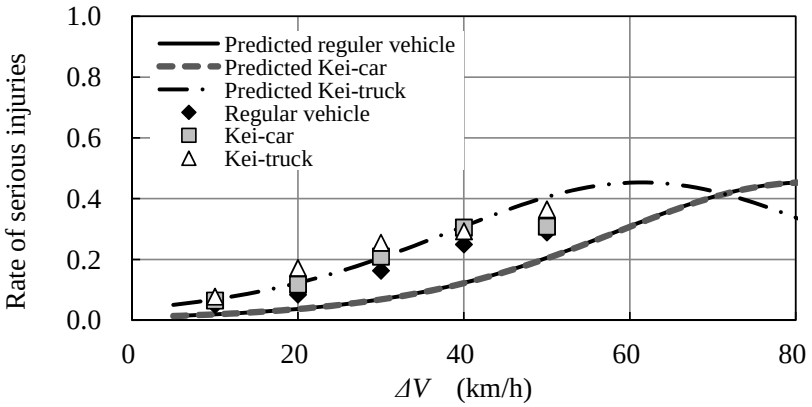


(c) Rate of fatalities and serious injuries

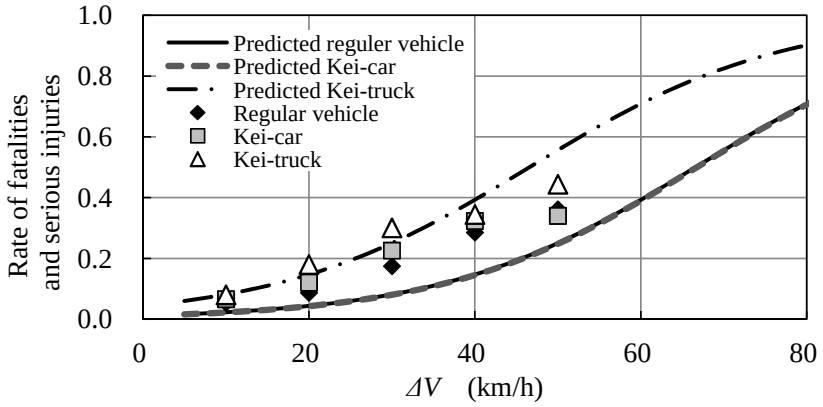
Fig. 6-15: Injury prediction for striking vehicle curb weight in large damage grade in Nearside



(a) Rate of fatalities

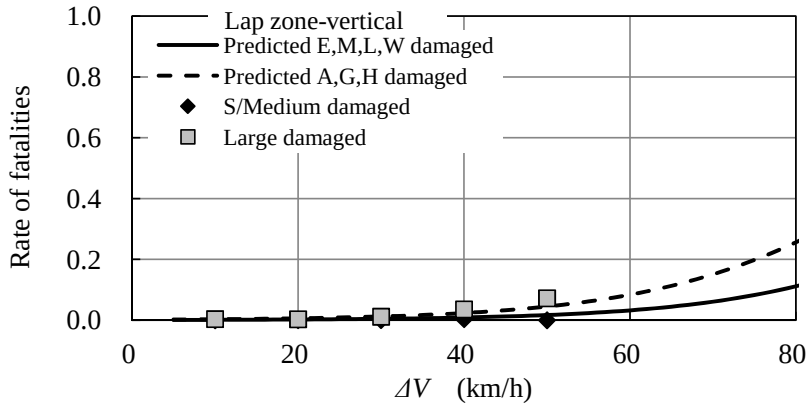


(b) Rate of serious injuries

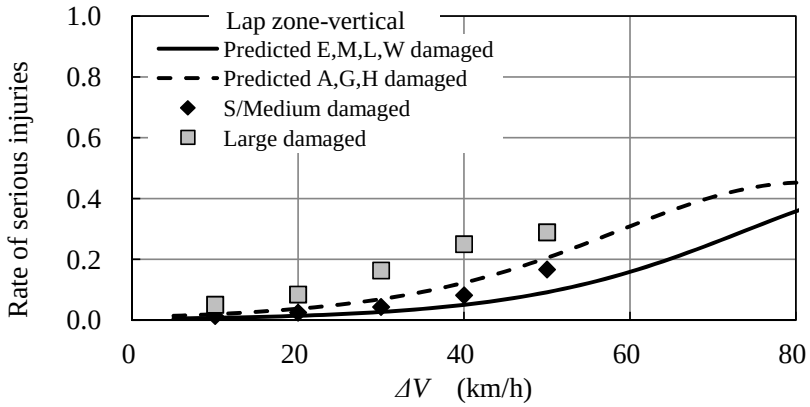


(c) Rate of fatalities and serious injuries

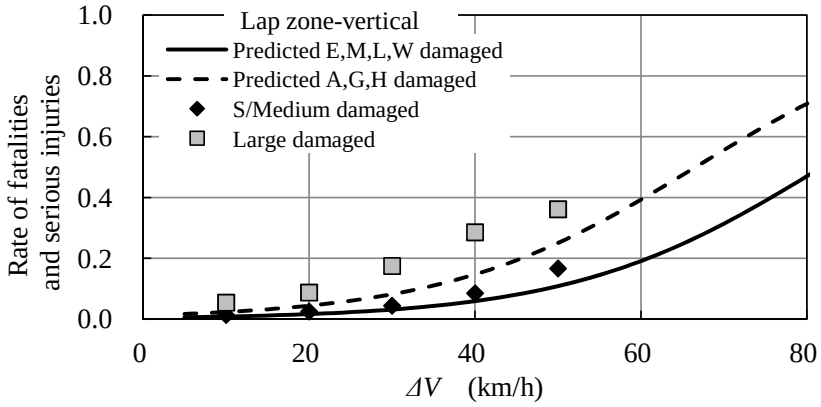
Fig. 6-16: Injury prediction for vehicle category of belted drivers with A,G,or H lap zone-vertical in Farside



(a) Rate of fatalities

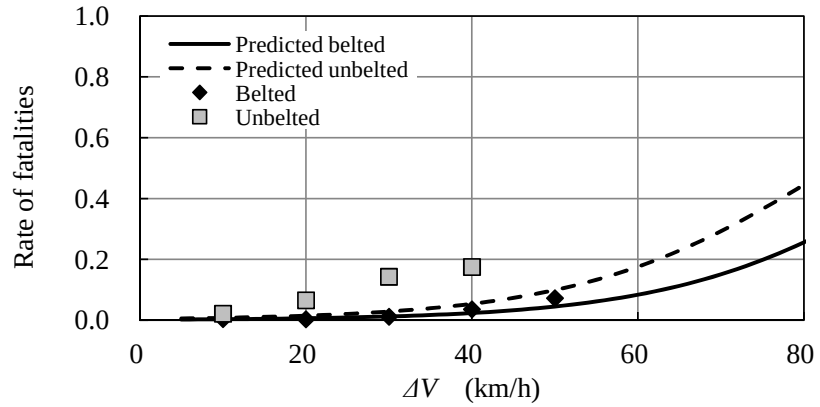


(b) Rate of serious injuries

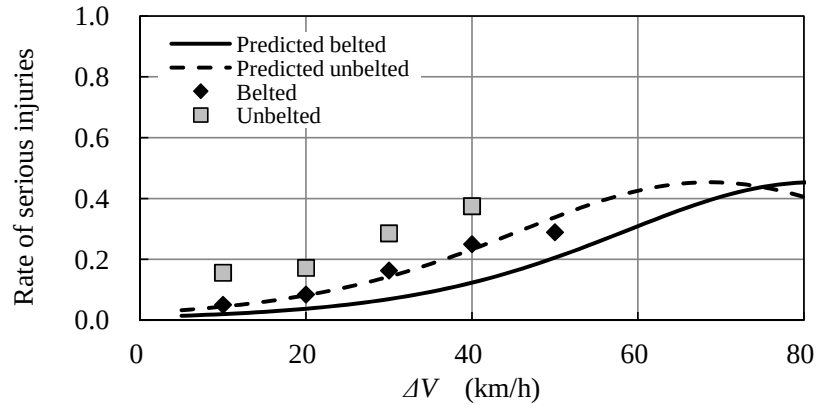


(c) Rate of fatalities and serious injuries

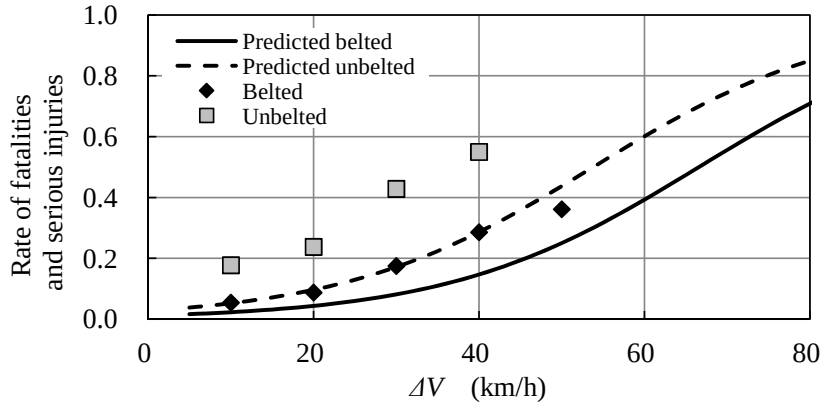
Fig. 6-17: Injury prediction for lap zone-vertical of belted drivers in regular vehicles in Farside



(a) Rate of fatalities



(b) Rate of serious injuries



(c) Rate of fatalities and serious injuries

Fig. 6-18: Injury prediction for seat belt use in regular vehicles with A,G,or H lap zone-vertical in Farside

6.6　予測残差分析

6.6.1　予測外れ事故の状況

前面衝突時と同様に，大きな因子から隠れた新たな事故要因を明らかにするために，本予測式に対して大きく外れる事故事例の特徴について分析した．

(1) Nearside 側突

表 6-8 における予測結果の中から，MAIS の予測値と観測値の差（予測残差）が 2 以上ある 8 事故事例を調査した．図 6-19 に予測外れの事故の特徴と予測残差のレベルの分布を示す．また，表 6-11 に抽出された事故事例の一覧を示す．

予測残差が 2 以上の 8 事故事例のうち，予測が過小評価事例は 7 例，過大評価は 1 例あった．過小評価事故事例は，SUV（1BOX 車含む）や大型車，貨物車による側面衝突される事故が 5 例と多く見られた．衝突する前面部の車高の高い車両は，ドアからルーフにかけて車両変形が著しくなり，乗員の傷害リスクの上昇に繋がることが伺われる．このような形態の影響を考慮できるように，順序ロジスティック回帰分析を行う際，表 6-2 に示すように衝突形態として SUV または大型車を区分して評価していたが，有意な因子として選定されなかった．MAIS3+に対するオッズ比の確認において，図 6-5 (a) に示していたように，大型車との衝突に対しては，普通乗用車などとの衝突に対してオッズ比の上昇は確認できていたが，SUV との衝突に対しては顕著なオッズ比の上昇は確認されていなかった．これらの衝突形態には，まだ，傷害リスクを上昇させる要因が潜んでいる可能性があると考える．また，車高の高い SUV による側面衝突は，米国では注目されており，既に一部の情報公開試験に SUV による側面衝突を模擬した試験形態が行われている（図 1-11 参照）．日本における SUV として分類されるの車両の大きさは，一般的に米国より小さい傾向がある．今後，さらに詳細に事故状況について分析する必要がある．図 6-20 に，これら予測外れの Nearside 側突事故について車両変形状況の写真を示す．

予測が過小評価となる事故は，この他に，シートベルト非着用時に車両側面後部（車両水平面のラップゾーン B）に衝突され，衝突後の車両回転が大きいと推測される事故や，シートベルト着用時に腹部傷害受けた事故が各 1 例ずつ見られた．抽出された事故件数が少ないため断定はできないが，これらの状況に関しても何らかの傷害リスク要因が潜んでいる可能性があると考える．

一方，予測が過大評価となる事故には，車両損壊程度は大破に分類されたが，ドアや B ピラー部の変形があまり大きくないミニバンの事故が 1 例見られた．詳細な車両変形状況と傷害部位，傷害リスクとの関係については，今回の分析ではまだ不十分であり，今後，検討していく必要があると考える．

また，これらの予測外れの事故には，車両単独の工作物衝突は見られなかった．側面衝突となる工作物衝突は，車両が回転して電柱や壁などへ車両側方から衝突する形態である．予測外れ事故事例となっていないため，本乗員傷害予測式で同様に評価できていると考えられる．ただし，分析対象として ITARDA ミクロデータから抽出された事故事例数は 3 例しかなかったため，今後の n 増し確認は必要と考える．

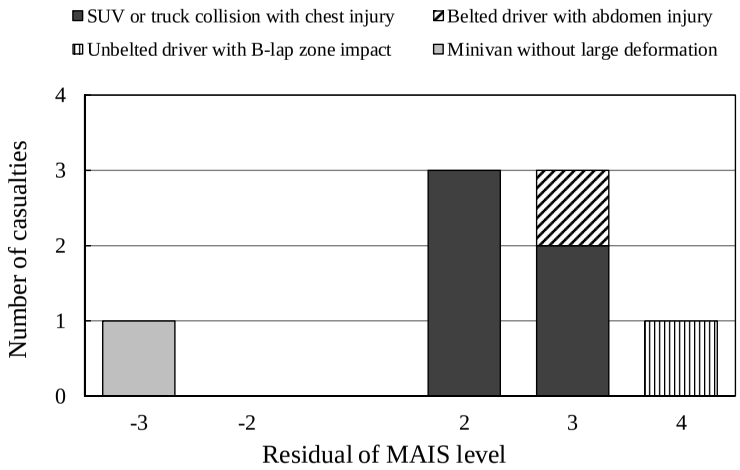


Fig. 6-19: Residual of predicted MAIS for injury prediction model in Nearside

Table. 6-11: Outlier accident cases in Nearside

No.	Residual		Delta-V ,km/h	Damage grade	Seat belt use	Air bag deployment	Collision object	Multiple impact	Rollover	Lap zone-horizontal	Lap zone-vertical	Vehicle type	Resistration year	V. curb weight ,kg	SV[a)] curb weight ,kg	SV[a)] impact speed ,km/h	Occupant				MAIS	Injury part[b)]
																	Gender	Age ,yrs	Height ,cm	Weight ,kg		
6N-(1)	Underestimated	4	14	Large	Unbelted	Undeploy	Regular V.	Yes	No	B	E	Regular	2000	1,130	1,690	55	Male	36	170	62	5	HE
6N-(2)		3	31	Large	Belted	Yes	SUV	Yes	No	Z	A	Kei-car	2003	820	2,040	55	Male	64	162	67	4	CH
6N-(3)			35	Large	Belted	No	Regular V.	Yes	No	P	A	Regular	1992	1,360	1,990	65	Male	26	N.D.	N.D.	4	AB
6N-(4)			45	Medium	Belted	Yes	SUV	No	No	Y	A	Kei-car	2004	840	1,710	35	Female	23	151	56	4	CH
6N-(5)		2	30	Large	Belted	No	Heavy V.	No	No	Y	A	Regular	1993	1,060	5,370	30	Male	79	N.D.	N.D.	4	CH
6N-(6)			10	Medium	Unbelted	No	SUV	No	No	P	A	Regular	1998	980	2,120	40	Male	34	173	80	3	CH
6N-(7)			25	Large	Belted	Undeploy	Heavy V.	No	No	Z	A	Kei-truck	2008	820	3,710	30	Female	42	163	45	3	CH
6N-(8)	Overestimated	-4	45	Large	Belted	Undeploy	Heavy V.	Yes	No	Y	A	Regular	2000	1,650	9,880	55	Male	31	170	55	1	CH

a) Striking vehicle

b) HE:Head, FA:Face, NE:Neck, CH:Chest, AB:Abdomen, UE:Upper extremity, LE:Lower extremity



Case6N-(1) Struck vehicle



Striking vehicle



Case6N-(2) Struck vehicle



Striking vehicle (SUV)



Case6N-(3) Struck vehicle



Striking vehicle



Case6N-(4) Struck vehicle



Striking vehicle (1BOX)

Fig. 6-20: Photos of outlier accident cases in Nearside



Case6N-(5) Struck vehicle



Striking vehicle (Heavy vehicle)



Case6N-(6) Struck vehicle



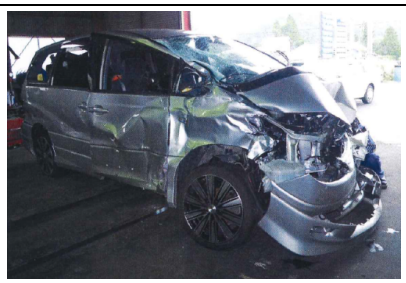
Striking vehicle (SUV)



Case6N-(7) Struck vehicle



Striking vehicle (Heavy vehicle)



Case6N-(8) Struck vehicle



Striking vehicle (Heavy vehicle)

Fig. 6-20: Photos of outlier accident cases in Nearside

(2) Farside 側突

同様に，表 6-10 における予測結果の中から，MAIS の予測値と観測値の差（予測残差）が 2 以上ある 12 事故事例を調査した．図 6-21 に予測外れの大きい事故の特徴と予測残差のレベルの分布を示す．また，表 6-12 に抽出された事故事例の一覧を示す．

予測残差が 2 以上の 12 事故事例のうち，予測が過小評価事例は 11 例，過大評価は 1 例あった．過小評価事例は，シートベルト非着用時の運転者で頭部，頚部または胸部に主な傷害を負った事例が 4 例と多く見られた．シートベルト着用に関しては，影響因子に考慮してあるが，まだ影響を十分評価できていない課題と考える．また，その他の過小評価事例として，多重衝突有りが 2 例，シートベルト着用時に腹部傷害となった女性運転者が 2 例などが見られた．多重衝突に関しても，考慮していたが有意な因子として選定されなかった因子である．Digges ら [82] の URGENCY アルゴリズムには，多重衝突の因子は考慮されており，何らかの影響はあると考えられるが，今後，調査が必要な因子である．シートベルト着用時の腹部傷害に関しては，前面衝突時にも懸案されている現象であり [98]，さらなる調査が必要と考える．図 6-22 に，これら予測外れの Farside 側突事故に関して，一部の車両変形状況の写真を示す．

一方，予測が過大評価となる事故には，シートベルトを着用した 20 代の若い運転手が 1 例見られた．前面衝突時の予測が過大評価となる事故においても，シートベルトを非着用ではあるが，20 代の若い運転者の事例が 4 例見られており，個人の耐性ばらつきやシートベルト着用有無との関係が懸案される事例となっていた．

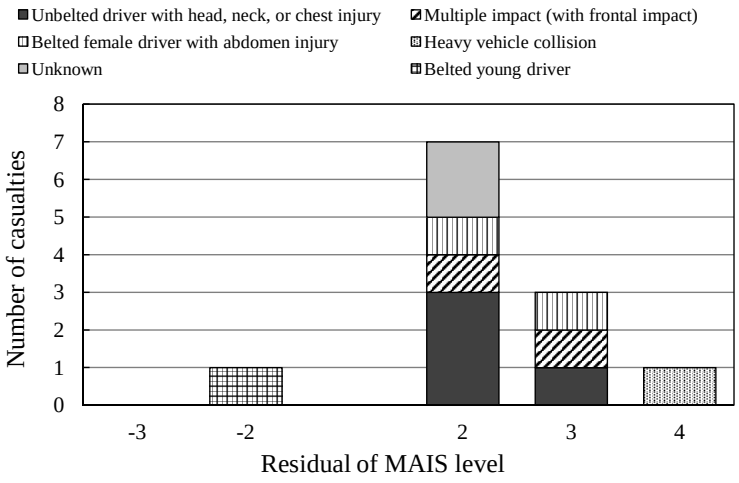


Fig. 6-21: Residual of predicted MAIS for injury prediction model in Farside

Table. 6-12: Outlier accident cases in Farside

No.	Residual		Delta-V ,km/h	Damage grade	Seat belt use	Air bag deployment	Collision object	Multiple impact	Rollover	Lap zone-horizontal	Lap zone-vertical	Vehicle type	Resistra-tion year	V. curb weight ,kg	SV[a] curb weight ,kg	SV[a] impact speed ,km/h	Occupant Gender	Occupant Age ,yrs	Occupant Height ,cm	Occupant Weight ,kg	MAIS	Injury part[b]
6F-(1)	Underestimated	4	51	Medium	Belted	Yes	Heavy V.	No	No	Y	E	Regular	1996	1,150	12,490	45	Male	25	170	60	5	HE
6F-(2)		3	37	Large	Unbelted	No	Regular V.	No	Yes	Y	A	Kei-truck	1994	710	1,100	55	Male	35	174	80	6	NE
6F-(3)			45	Large	Belted	No	SUV	Yes	No	Y	E	Kei-truck	1995	820	1,230	70	Female	73	140	40	4	AB
6F-(4)			50	Large	Belted	No	Regular V.	Yes	No	Y	E	Kei-truck	1997	830	790	65	Male	80	165	80	4	HE
6F-(5)		2	52	Medium	Unbelted	No	Regular V.	No	No	Z	A	Kei-car	1990	680	1,690	65	Male	48	N.D.	N.D.	3	AB
6F-(6)			45	Large	Belted	Yes	SUV	Yes	No	F	E	Regular	1996	880	1,800	40	Female	38	N.D.	N.D.	3	AB
6F-(7)			50	Medium	Unbelted	Undeploy	SUV	Yes	No	F	E	Regular	2002	990	1,530	55	Female	23	154	46	3	NE
6F-(8)			45	Large	Unbelted	Yes	Heavy V.	No	No	P	A	Regular	2002	1,420	3,060	70	Male	58	169	84	3	CH
6F-(9)			45	Medium	Unbelted	Yes	Regular V.	Yes	No	F	E	Kei-car	2004	770	1,500	60	Female	58	155	63	3	NE
6F-(10)			50	Large	Belted	Yes	Regular V.	Yes	No	F	E	Regular	2008	990	1,450	80	Female	23	158	48	3	AB
6F-(11)			45	Large	Belted	Undeploy	Regular V.	Yes	No	F	E	Kei-truck	2007	910	1,060	50	Female	62	158	55	3	NE
6F-(12)	Overestimated	-2	50	Large	Belted	No	SUV	Yes	No	F	A	Kei-truck	1987	750	1,850	40	Male	26	165	63	1	HE

a) Striking vehicle

b) HE:Head, FA:Face, NE:Neck, CH:Chest, AB:Abdomen, UE:Upper extremity, LE:Lower extremity



Case6F-(2) Struck vehicle



Striking vehicle



Case6F-(4) Struck vehicle (Multiple)



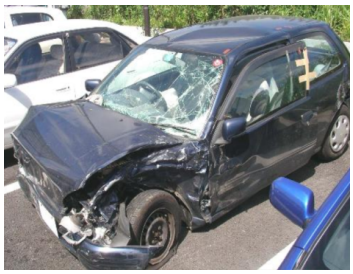
Striking vehicle



Case6F-(5) Struck vehicle



Striking vehicle



Case6F-(6) Struck vehicle (Multiple)



Striking vehicle (SUV)

Fig. 6-22: Photos of outlier accident cases in Farside



Case6F-(7) Struck vehicle



Striking vehicle (Mini van)



Case6F-(8) Struck vehicle



Striking vehicle (Heavy vehicle)



Case6F-(9) Struck vehicle



Striking vehicle



Case6F-(12) Struck vehicle



Striking vehicle (SUV)

Fig. 6-22: Photos of outlier accident cases in Farside

6.6.2 予測外れの大きい事故の特徴

Nearside 側突にて予測外れの大きい事故として抽出された SUV による Nearside 側突事故に関して，実事故での状況を把握するために，ITARDA マクロデータを用いて死傷者数の分析を行った．図 6-23 に普通乗用車 (軽，小型車含む) との Nearside 側突と比較した死亡重傷率の結果を示す．比較分析した条件は，胸部または腹部を主傷害部位とする車両損壊程度が大破の事故に対して行った．なお，SUV のカテゴリーには，1BOX 車を含めて分析した．この結果から，SUV による Nearside 側突による傷害リスクは，擬似 ΔV が 35～45km/h 付近にて普通車との Nearside 側突に比べて傷害リスクが高い傾向にあることが分かる．前面ポール衝突時の分析でも見られたように，ΔV の値によって傷害への影響度が異なる傾向が見られる．このような因子同士の交互作用などについては，詳細に分析し，影響を明確にする必要がある．

また，Farside 側突にて予測外れの大きい事例として抽出されたシートベルト非着用時の頭部傷害，胸部傷害について調査した．ITARDA マクロデータを用いて，主傷害部位別，シートベルト着用有無別に死傷者数の分析を行った．図 6-24 にその結果を示す．比較分析した条件は，普通乗用車の車両損壊程度が大破の事故に対して行った．ITARDA マクロデータの事故数が少ないため，十分な信頼区間のある差として断定できないが，この結果から，頭部を主傷害とする場合の死亡重傷率はシートベルト着用の効果は ΔV の全域に対して均一に見られるが，胸部が主傷害となる場合の死亡重傷率は，低い ΔV 域ではシートベルトの効果は少ないが，高い ΔV 域ではシートベルトの効果が大きい傾向が見られる．傷害部位の違いに対して，シートベルトの効果の特性が異なり，ΔV に対しても交互作用が存在する可能性が高い．予測精度向上に向けて，傷害部位を区別しながら評価することも，今後検討していく必要があると考える．

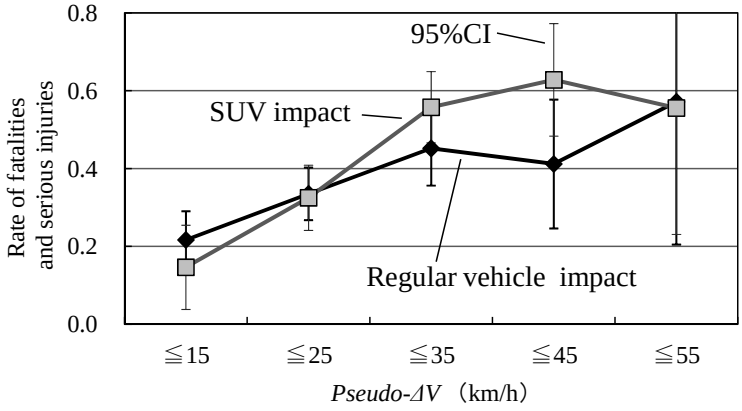
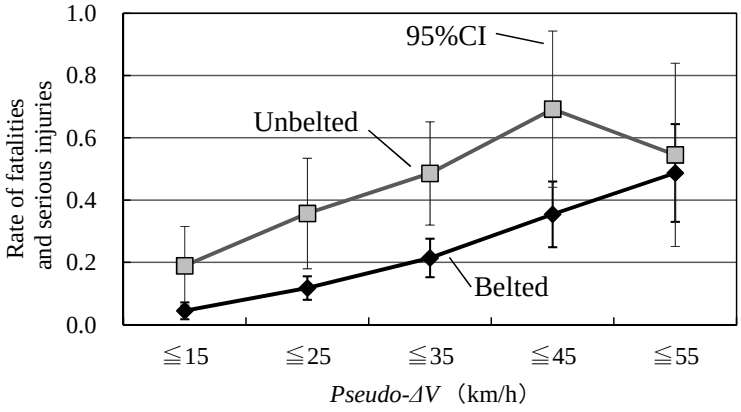


Fig. 6-23: SUV nearside collisions versus regular vehicle nearside collisions with chest or abdomen injuries in large damaged crashes in 2000-2010

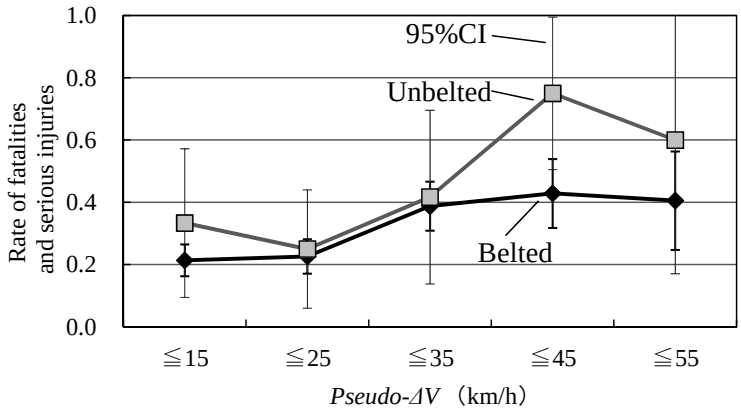
6.7 考察

6.7.1 先行研究との乗員傷害予測式の比較

前面衝突時と同様に，本研究によって得られた乗員傷害予測結果と米国の先行研究である Diggesら [82] による URGENCY アルゴリズムを比較する．URGENCY アルゴリズムは，Nearside 側突と



(a) In case of head injury



(b) In case of chest injury

Fig. 6-24: Effect of seat belt use for injury parts in regular vehicle farside collisions in large damage crashes in 2000-2010

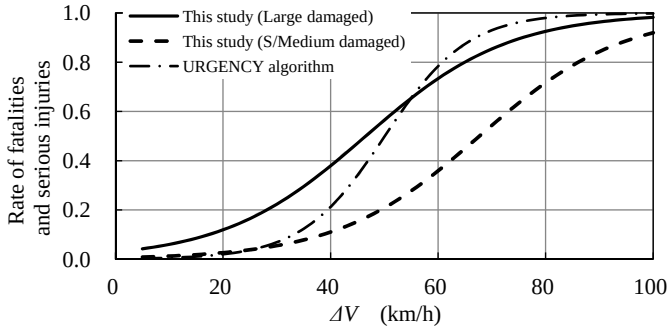
Farside 側突を区別して評価されている．ただし，評価因子は前面衝突を含めて共通となっており，4 つの説明変数である Δ*V*，多重衝突有無，ロールオーバー有無，シートベルト着用有無である．各説明変数に対する回帰係数は，表 3-8 に併せて示してある．

(1) Nearside 側突

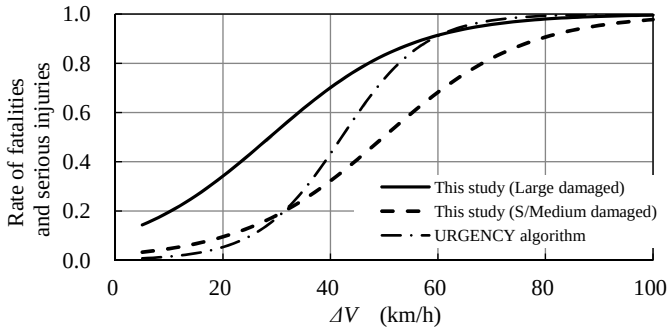
Nearside 側突においては，本研究では Δ*V* のみが共通因子であり，その他の多重衝突有無，ロールオーバー有無，シートベルト着用有無は有意な因子として選定されなかった．図 6-25 に条件を設定して比較した結果を示す．図 6-25(a) は，シートベルトを着用し，多重衝突，ロールオーバーを供なわない，相手車両の空車質量が 3,500kg 未満の場合の比較結果である．MAIS3 以上の重症確率を Δ*V* を横軸に取り比較した．本研究による重症確率は，影響のある因子として選定した車両の損壊程度別に示した．この条件は，日本における Nearside 側突にて最も多く発生している条件の一つと考えられる．

URGENCY アルゴリズムによる重症確率は，車両の損壊情報を含んでいないため第 3 章の前面衝突時の分析比較と同様に，低 Δ*V* 域では，小破・中破側，高 Δ*V* 域では，大破側に近い結果となっていることが分かる．さらに，Δ*V* が 60km/h 以上では，本研究による大破の予測結果より傷害リスク

を高く評価している傾向が見られる．そこで，図 6-25(b) に，多重衝突を伴い，相手車両の空車質量が 3,500kg 以上の場合を比較した．この条件は重症確率が大きくなり，より厳しい衝突形態の条件であることが推測される．また，ΔV が 60km/h 以上においては，本研究による大破の予測結果に近い傷害リスク結果を評価していることが分かる．これらの比較結果より，URGENCY アルゴリズムは，多重衝突を伴なったり，大型車との Nearside 衝突など，日本の一般的な事故形態よりも傷害リスクの大きい事故が，より多く含まれて評価されている乗員傷害予測式となっていると推測される．この結果から推定すると，URGENCY アルゴリズムを日本の事故に適用した場合，傷害リスクの大きい高 ΔV 域の乗員傷害予測精度はやや過大評価傾向となり，傷害リスクの小さい低 ΔV 域の精度は，傷害リスクの過小評価となりやすいことが考えられる．現状ではまだ実用化に対応できていないが，相手車両の情報や自車の損壊状況を傷害予測式に組み込むことは，乗員傷害予測精度の向上に重要であると考える．



(a) For belted drivers without multiple impact by striking vehicle curb weight <3,500kg



(b) For belted drivers with multiple impact by striking vehicle curb weight ≥3,500kg

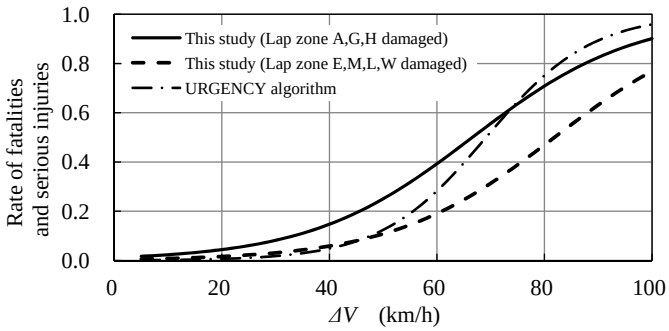
Fig. 6-25: Comparison of injury prediction between this study and URGENCY in Nearside

(2) Farside 側突

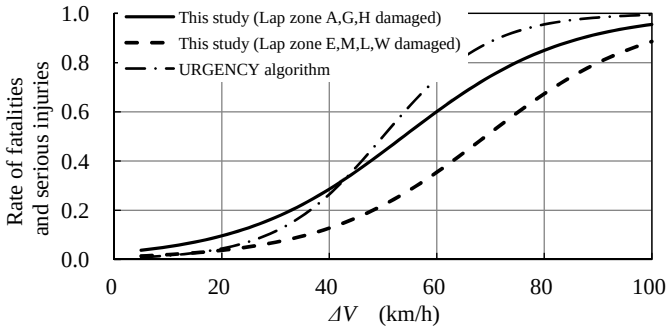
Farside 側突においては，本研究では ΔV，シートベルト着用有無が共通因子であり，その他の多重衝突有無，ロールオーバー有無は有意な因子として選定されなかった．図 6-26 に条件を設定して比較した結果を示す．図 6-26(a) は，普通乗用車において，シートベルトを着用し，多重衝突，ロールオーバーを供なわない場合の比較である．本研究による重症確率は，影響のある因子として選定した車両垂直面のラップゾーン別に比較した．この条件は，日本における Farside 側突にて最も多く発生している条件と考えられる．

Nearside 側突時と同様に，URGENCY アルゴリズムによる重症確率は，車両の損壊情報を含んでいないため，低 Δ*V* 域では，車両垂直面のラップゾーンが低め側（E, M, L, W），高 Δ*V* 域では，高め側（A, G, H）に近い結果となっていることが分かる．さらに，Δ*V* が 70km/h 以上では，本研究による車両垂直面のラップゾーンが高め側の予測結果より傷害リスクを高く評価している傾向が見られる．Farside 側突に関しても，Nearside 側突と同様に，URGENCY アルゴリズムは，日本の一般的な事故形態よりも傷害リスクの大きい事故が，より多く含まれて評価されている乗員傷害予測式となっていると推測される．

また，シートベルト非着用の場合の比較結果を図 6-26(b) に示す．URGENCY アルゴリズムによるシートベルト非着用の重症確率の増加は，本研究の乗員傷害予測式より大きく評価されている．Δ*V* が 50km/h 以上から，本研究による車両垂直面のラップゾーンが高め側の予測結果より傷害リスクを高く評価する傾向が見られる．このことからも，URGENCY アルゴリズムは，日本の一般的な事故形態よりも傷害リスクの大きい事故が，より多く含まれて評価されている乗員傷害予測式となっていると推測される．ただし，本研究の Farside 側突におけるシートベルト着用有無に関しては，6.5.2 項で述べたように予測精度上の課題がある．得られた乗員傷害予測式は，特に，シートベルト非着用時では重症確率を ITARDA マクロデータの結果より低めに推定していることも URGENCY アルゴリズムとの差異要因の一つであると考える．



(a) For belted drivers in regular vehicles without multiple impact and rollover



(b) For unbelted drivers in regular vehicles without multiple impact and rollover

Fig. 6-26: Comparison of injury prediction between this study and URGENCY algorithm in Farside

6.7.2 乗員傷害予測精度の課題

前面衝突時と同様に，各側突形態に関して，本研究による乗員傷害予測式の精度上の課題について考察を加える．

(1) Nearside 側突

図 6-27 に予測残差の分布を示す．この図からは，予測残差 0 を中心に分布していることは確認できるが，予測残差がややプラス側，すなわち予測が実際より過小評価となってしまう傾向が見られる．また，図 6-28 に，実際の MAIS 別，予測因子別の予測残差の分布を示す．この図にて，円の面積は事故数（添字で表示）を示している．この図から，車両の損壊程度，相手車両の空車質量に関しては，予測残差分布の大きな差異はないが全体的にプラス側に分布している．また，MAIS に関しては，前面衝突時の予測式と同様に，重症，死亡となる高い MAIS ほど予測残差がプラス側となり，予測が実際より過小評価となってしまう傾向が見られる．前面衝突時と同様に，ITARDA ミクロデータでは，MAIS の高い事故例が少ないことの影響もあると考えられ，特に，MAIS が 4 以上の場合に対しての傷害予測に関しては，精度上の課題があると考える．さらに，量的変数として扱った ΔV に関して予測残差との関係を図 6-29 に示す．ΔV に関しては，低い ΔV に対しての予測残差がプラス側に分布している傾向が見られる．

本研究にて求められた Nearside 側突に対する乗員傷害予測式は，全体的に予測精度が過小評価側になっていると考える．6.6 節の予測が外れる事故の特徴で見られた SUV との側突などもその原因の一つとなっており，その傷害メカニズムを解明し予測精度を向上することが必要である．また，前面衝突より側面衝突の方が，衝突位置の範囲が大きく，相手車両との関係も複雑であると考えられが，衝突後の車両回転や変形部位の差などによる乗員傷害への影響がまだ考慮できていない．今後，精度向上に向けてさらに条件を細分化して，検討していく必要があると考える．

また，図 6-30 に MAIS 別の ΔV に対する分布状況を箱ひげ図にて表示する．ここで，箱ひげ図中の上下のひげは，最大値，最小値を示す．図 6-30 を確認すると，ΔV の増加に伴い，MAIS が順序付けられていることが分かる．このことから，前面衝突時と同様に，順序ロジスティック回帰分析における平行性の仮定は成立していると考える．ただし，重症以上の事故事例は十分とはいえないので，事故データの蓄積による n 増し分析は継続して必要であると考える．

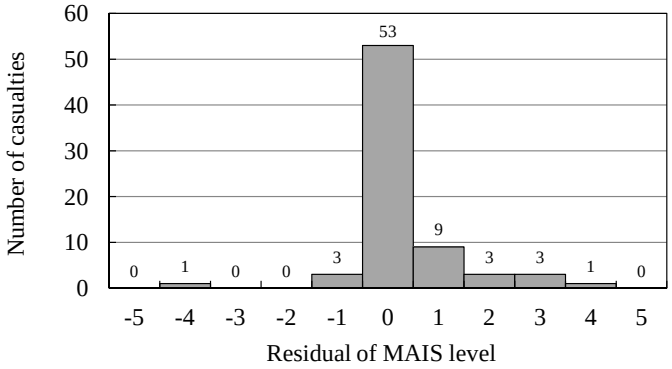
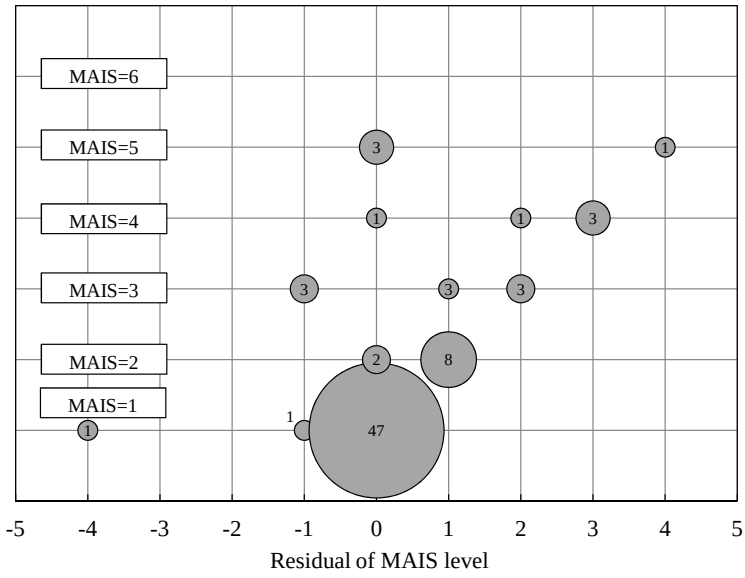
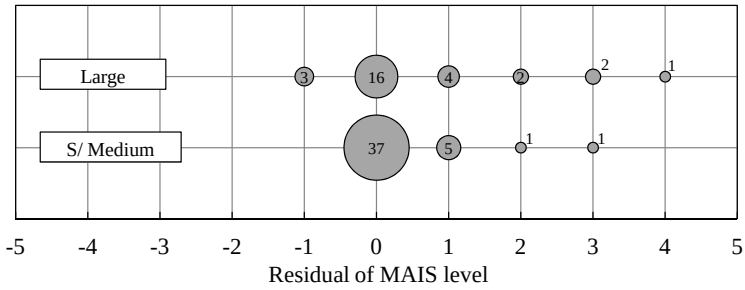


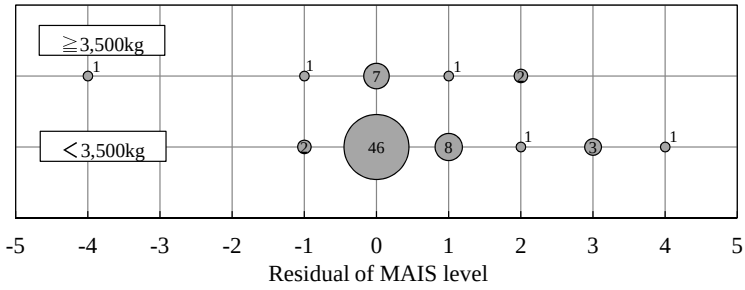
Fig. 6-27: Distribution of residual of injury prediction in Nearside



(a) For MAIS



(b) For damage grade



(c) For striking vehicle curb weight

Fig. 6-28: Residual for injury prediction factors in Nearside

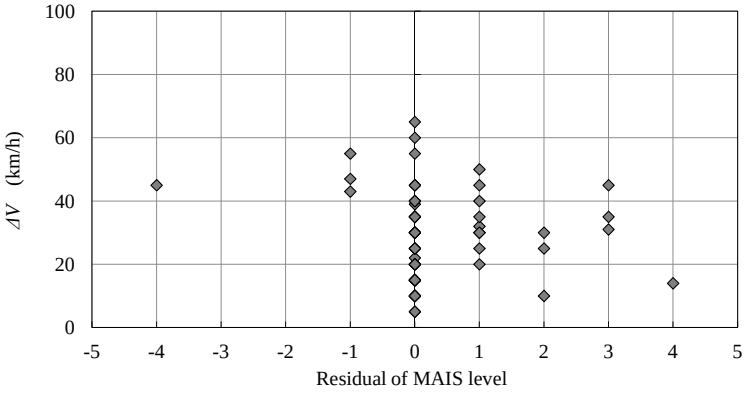


Fig. 6-29: Residual for injury prediction factors : ΔV in Nearside

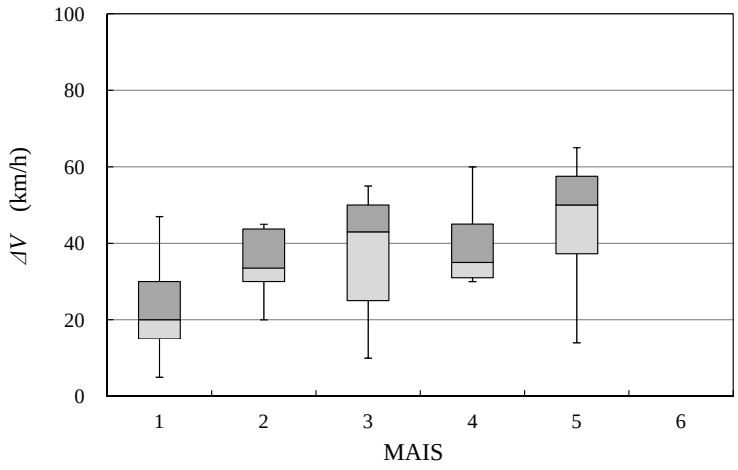


Fig. 6-30: Box plot of MAIS versus ΔV in Nearside

(2) Farside 側突

図 6-31 に予測残差の分布を示す．この図からは，予測残差 0 を中心に分布はしていることは確認できるが，Nearside 側突と同様に，予測残差がややプラス側，すなわち予測が実際より過小評価となってしまう傾向がやや見られる．また，図 6-32 に，実際の MAIS 別，予測因子別の予測残差の分布を示す．この図から，車両種別，車両垂直面のラップゾーン，シートベルト着用有無に関しては，予測残差分布の大きな差異はないが全体的にプラス側に分布している．また，MAIS に関しては，Nearside 側突時の予測式と同様に，重症，死亡となる高い MAIS ほど予測残差がプラス側となり，予測が実際より過小評価となってしまう傾向が見られる．特に，MAIS が 4 以上の場合に対しての傷害予測誤差に関しては，精度上の課題があると考える．さらに，量的変数として扱った ΔV に関して予測残差との関係を図 6-33 に示す．ΔV に関しては，ΔV = 40～50km/h 付近の事故に対して，予測残差が大きめでプラス側に分布している傾向が見られる．

全体的に，本研究にて求められた Farside 側突に対する乗員傷害予測式も，Nearside 側突と同様に，予測精度が過小評価側になっていると考える．6.6 節の予測が過小評価となる事故の特徴で見られたシートベルト非着用時の傷害や多重衝突を伴った場合などがその原因の一つとなっており，それらのメカニズムを解明し，予測精度向上をすることが必要である．また，Nearside 側突と同様に，衝突後の車両回転や変形部位の差などによる乗員傷害への影響についても，今後の精度向上に向けてさらに条件を細分化して，検討していく必要があると考える．

また，図 6-34 に MAIS 別の ΔV に対する分布状況を箱ひげ図にて表示する．図 6-34 を確認すると，ΔV の増加に伴い MAIS≤3 までは MAIS が順序付けられているが，MAIS≥4 では事故データも少なく順序がやや乱れている．平行性の仮定は懸案されるが，MAIS≥3 以上の傷害判定は妥当にできていると考える．Farside 側突に関しても，事故データの蓄積による n 増し分析は継続して必要であると考える．

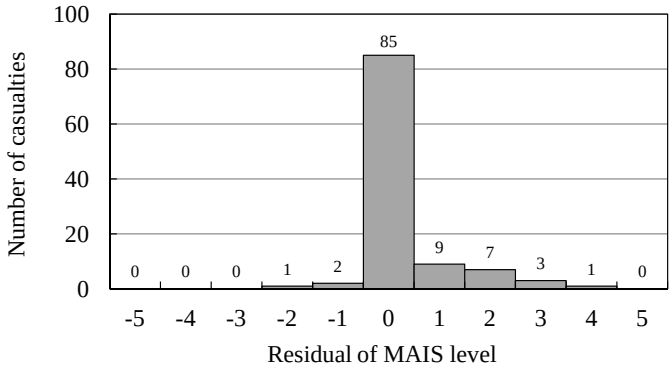
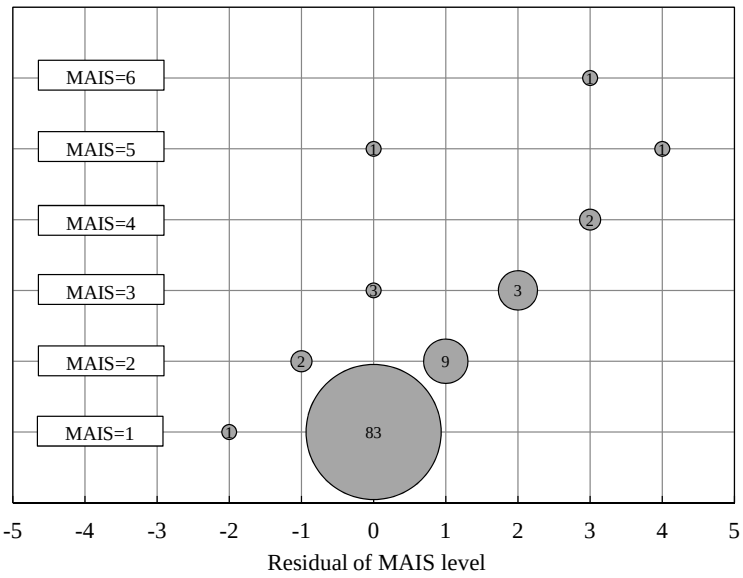
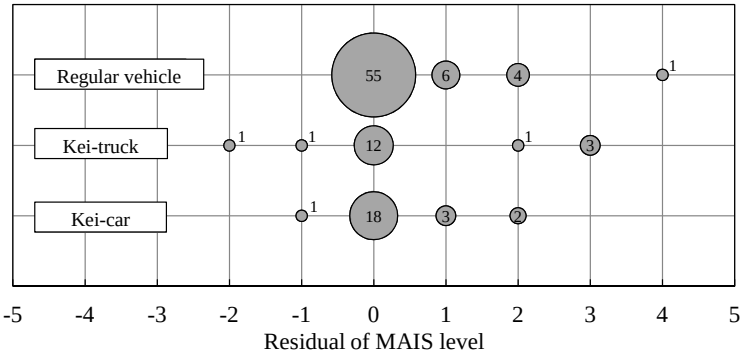


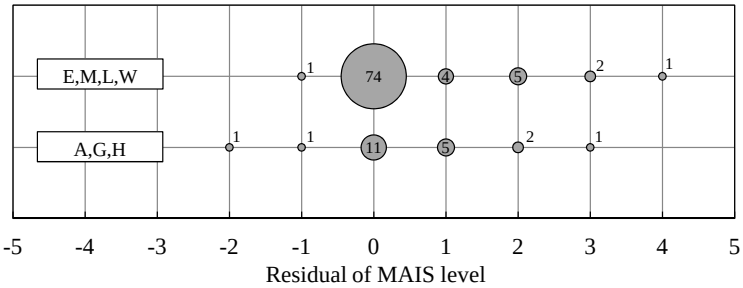
Fig. 6-31: Distribution of residual of injury prediction in Farside



(a) For MAIS

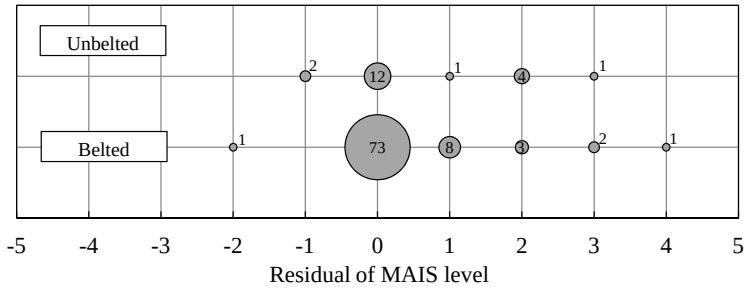


(b) For vehicle category



(c) For lap zone-vertical

Fig. 6-32: Residual for injury prediction factors in Farside



(d) For seat belt use

Fig. 6-32: Residual for injury prediction factors in Farside

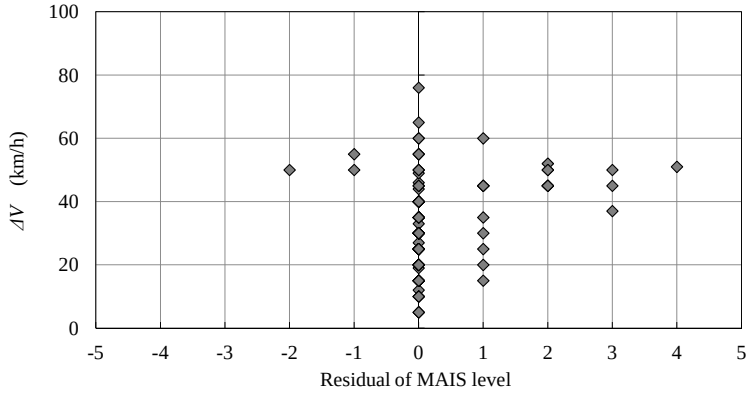


Fig. 6-33: Residual for injury prediction factors : Δ*V* in Farside

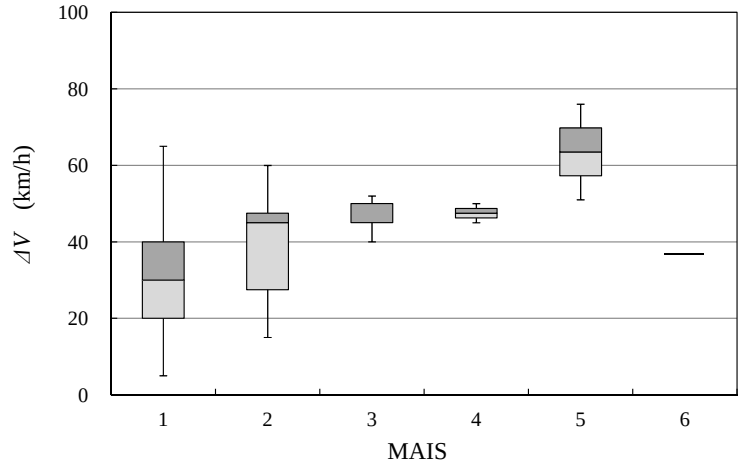


Fig. 6-34: Box plot of MAIS versus Δ*V* in Farside

6.8 結言

本章では，側面衝突時の乗員傷害に影響を及ぼす因子を明確にするために，ITARDA ミクロデータから乗員傷害に対して順序ロジスティック回帰分析を適用し，有意に影響のある因子および乗員傷害予測式を求めた．側面衝突は，運転席乗員に近い側からの衝突となる Nearside 側突，運転席乗員から遠い側からの衝突となる Farside 側突に分けて解析した．そして，ITARDA マクロデータを用いてその検証を行った．さらに，予測から外れる事故の分析を行うことにより，本予測式では評価できていない特徴的で影響の大きい事故の抽出を行った．得られた結論は以下である．

(1) Nearside 側突時の乗員傷害に有意に影響のある因子は，ΔV，車両損壊程度，および相手車両の空車質量である．

(2) Farside 側突時の乗員傷害に有意に影響のある因子は，ΔV，車両種別，車両垂直面のラップゾーン，およびシートベルト着用有無である．

(3) 上記因子を用いて求めた乗員傷害予測式は，実際の事故の傷害リスクと概ね良い一致が得られ，Nearside 側突では，的中精度 72.6 %，Farside 側突では，78.7 %であった．さらに各衝突形態とも予測した傷害確率は実事故の同一条件での致死率，重傷率および死亡重傷率 と相関が高く，予測式は実事故における乗員傷害を妥当に評価できた．ただし，予測精度上の課題はまだあり，事故データの n 増しを含めて今後検討していく必要がある．

(4) 本乗員傷害予測式から，車両変形が大きい Nearside 側突の車両損壊程度が大破の場合や，Farside 側突の車両垂直面のラップゾーンが高め側（A, G ,H）の場合は，それぞれ小破･中破，低め側（E, M, L, W）の場合に対して，致死確率，重症確率は約 2 倍高まることが分かった．また，Nearside 側突における致死確率，重症確率は，同じ ΔV の Farside 側突より約 2 倍高まることが分かった．

(5) 予測から外れる事故分析から，Nearside 側突に対しては，SUV や大型車との衝突，Farside 側突に対しては，シートベルト非着用時の頭部傷害，胸部傷害など特徴的な事故形態が抽出できた．本章の検討では有意な因子としては得られなかったが，乗員の傷害に対する影響因子として可能性が高いと考えられ，今後詳細分析が必要である．

第7章　後面衝突時の乗員傷害予測式とその影響因子

7.1　緒言

1.1 節にて，日本の追突事故における死者数は全体の約 3 %と多くはないが，負傷者が非常に多く，負傷者数の約 35 %を占めていることが挙げられた．特に，追突される側である被追突車両の乗員の負傷者が多く，図 7-1 に示すように，追突事故の重傷者の約 70 %，軽傷者の約 90 %以上を占めている．追突事故はさらなる交通事故死傷者の低減に向けて，一層の施策が求められる事故形態の一つである．

被追突車両の乗員傷害は，死亡・重傷となる事故より軽傷となる事故が非常に多い．この衝突形態は，停止中の車両または停止しようとした車両が，後続の車両から後面を衝突され，車両の後方から前方への衝撃入力を受ける．この形態を以下では後面衝突と呼ぶ．この後面衝突では，比較的低い ΔV から軽度の頚部鞭ち打ち症状が多く発生しており，軽傷の事故割合が多い状況となっている [99, 100].

前面衝突などの死亡重傷事故事例がある程度確認できる場合は，前章まで分析してきたようにITARDA ミクロデータからの情報で，乗員傷害予測式の構築とその影響因子の評価が可能であった．しかし，後面衝突は，死亡重傷者の割合が少なく軽傷者が多いため，調査数が限られている ITARDA ミクロデータでは死亡･重傷となる事故事例が少なく，要因解析をするための回帰分析が困難である．

そこでこの章では，情報は限られるが ITARDA マクロデータを用いたカテゴリーごとの集計結果をもとに，第 2 章で述べた分析手法と類似した順序ロジスティック回帰分析を行い，後面衝突の乗員傷害に対する影響因子の明確化と，将来の日本版 AACN に向けての乗員傷害予測式の確立を行った [101].

7.2　分析の流れ

図 7-2 を用いて本章における分析の流れについて説明する．まず，対象とする事故形態に対して，2.4 節にて検討した 1 次元衝突モデルをもとに，ITARDA マクロデータから得られる影響因子の候補を選定し，集計に適切なカテゴリー化を行う．これら各因子のカテゴリー別に細分化した条件それぞれにおける死者数，重傷者数，軽傷者数をクロス集計する．次に，この死傷者数を各条件の重み付けとして，死亡，重傷，軽傷を順序尺度の目的変数とした順序ロジスティック回帰分析を行う．得られた回帰分析結果が妥当であるかを検証するために，有意となった因子別の予測結果が ITARDA マクロデータと大きな乖離が無いことを確認し，さらに，事例は限られるが ITARDA ミクロデータを用いて本乗員傷害予測式の妥当性を検証する．最後に，本乗員傷害予測式の感度やオーバートリアージ，予測精度についての考察を行い，後面衝突時の乗員傷害に影響する因子の特定と乗員傷害予測式の確立，およびその課題を明確にした．

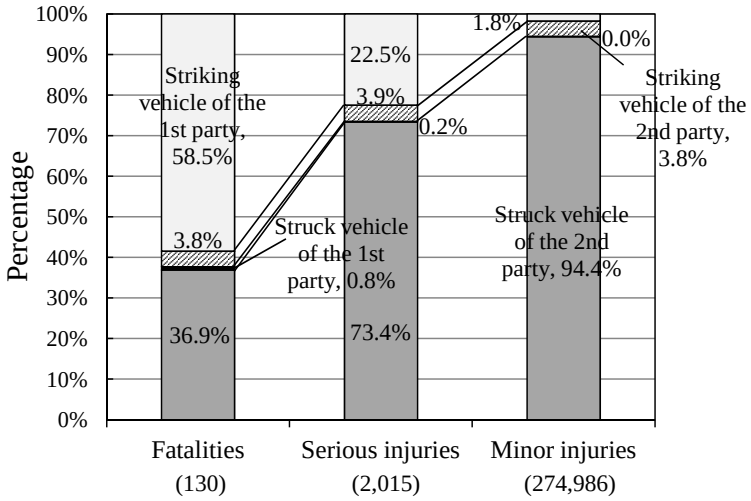


Fig. 7-1: Percentage of casualties in struck vehicles and striking vehicles of rear-end collisions in 2011

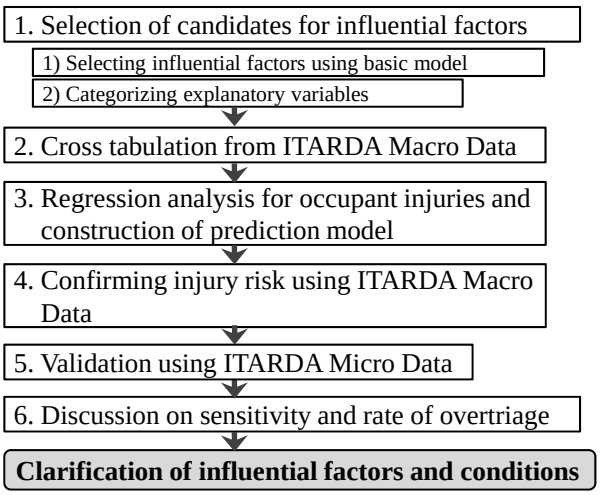


Fig. 7-2: Flow of study method on influential factors for rear-end collisions

7.3 後面衝突事故の分析の対象

乗員傷害予測式を求めるためにクロス集計する ITARDA マクロデータの分析対象を表 7-1 に示す．分析対象の事故形態は，2000 年～2010 年に発生した四輪車相互の追突事故から，車両の衝突部位が ITARDA マクロデータ上の定義により後方の後面衝突となる被追突車両の運転席乗員とした．さらに，車両の種別を普通・軽乗用車および軽貨物車に限定し，多重衝突事故で見られる第 3 当事車両の運転席乗員は除いた．また，図 7-1 に示したように，追突事故における被追突車両は被害側の車両となる場合がほとんどであり，特殊な状況を除くため，対象は第 2 当事車両のみとした．

Table. 7-1: Sampling data for rear-end collisions

Accident type	Year of occurence	Impact position [a)]	Vehicle type	Party
Rear-end [b)]	2000–2010	⑥, ③, ⑦	Kei-car [c)], Small or regular vehicle, Kei-truck [c)]	2nd
Total sampling				2,166,595

[a)] Defined in table 2-10 for ITARDA Macro Data
[b)] Rear-end collision
[c)] Light vehicle or truck with an engine displacement of 660ml or less

7.4　説明変数の初期選定とカテゴリー別マクロデータの集計

2.7.4 項で述べたように，ITARDA マクロデータにおける人身損傷程度は，死亡（24 時間以内），重傷 (30 日以上の治療を要する傷害)，軽傷 (30 日未満の治療を要する傷害) で分類されているため，傷害予測の目的変数はこの項目を 3 段階の順序尺度変数として扱い，順序ロジスティック回帰分析を適用することにした．医学的には重症度として判定されるべきであるが，事故統計上用いられている評価は，上記，死亡・重傷・軽傷であり，死亡・重傷を重症以上の傷害として扱い，重症確率は死亡・重傷の確率で評価する．

また，乗員の傷害予測式を構成する説明変数の初期選定は、第 2 章で検討した車両と乗員の 1 次元衝突モデルから推定された乗員傷害の影響因子（表 2-4）をもとに行う．ただし，ITARDA マクロデータでは，収集できる情報が限定されているため，可能な項目を選定する．その結果，今回考慮した説明変数は，表 7-2 に示す 8 つの因子について検討した．

後面衝突時の乗員傷害に最も基本となる影響因子は，前面衝突時の乗員傷害予測で分析された項目と同様に，ΔV，車両損壊程度，シートベルトの着用有無および乗員の年齢と考える．この因子で分析された乗員傷害予測式を以下，後突標準傷害予測式とする．ここで，ΔV については，ITARDA マクロデータでは，追突車両の質量と危険認知速度を考慮して 2.7.1 項の表 2-6 で定義される擬似 ΔV が 5km/h ごとの区分で簡易的に登録されているのでそれを用いた．乗員の属性に関連する因子は，年齢以外には性別で集計できるため因子に加えた．さらに，追突車両と被追突車両の質量関係をある程度考慮できるように，自車の車両種別（軽乗用車，軽貨物車，普通乗用車）と大型車による追突有無を因子に加えた．また，後面衝突後に前方の車両に前突する場合が考えられるので，多重衝突有無も因子に考慮した．ヘッドレストのクリアランスは，後面衝突の第 1 因子として挙げられていたが，ITARDA マクロデータでは情報が得られないため考慮できなかった．

これらの変数に対して表 7-2 に示すカテゴリーを設定し，各カテゴリーの組合せごとの被追突車両における死者数，重傷者数，軽傷者数を ITARDA マクロデータからクロス集計する．しかし，全カテゴリーの組合せをそのまま場合分けすると，死者，重傷者の数が少なく，または 0 となってしまう条件が多数発生してしまい，分析には不適となる．そこで，後面標準傷害予測式の因子群に対して，それ以外の因子を一つずつ個別に追加する形で条件別の集計を行い，それを各データセットとして，その影響を判断していくことにした．表 7-2 に各カテゴリー区分の該当者数を併せて示す．

Table. 7-2: Data sources for each category

Classification		Factors [a]	Categories	Fatalities	Serious injuries	Minor injuries
ΔV	●	ΔV, km/h	≤15	23	9,100	1,386,160
			≤30	44	5,626	663,912
			≤45	46	1,394	83,871
			≤60	63	457	13,639
			≤75	72	171	2,017
ω_T		Vehicle category	Kei-car	72	3,757	526,410
			Kei-truck	78	2,090	197,095
			Regular vehicle [b]	98	10,901	1,426,094
		Damage grade	Small or Medium	30	15,395	2,127,063
			Large	218	1,353	22,536
ω_p		Occupant's gender	Male	207	10,293	1,261,158
			Female	41	6,455	888,441
		Occupant's age, yrs old	≤29	42	3,284	527,115
			30–54	97	8,786	1,168,186
			≥55	109	4,678	454,298
		Seat belt use	Unbelted	77	560	27,027
			Belted	171	16,188	2,122,572
Others		Struck by large truck	No	124	15,604	2,081,378
			Yes	124	1,144	68,221
		Multiple impact	No	98	14,000	1,876,246
			Yes	150	2,748	273,353
Total				248	16,748	2,149,599

[a] ●: 1st factors, ◎: 2nd factors
[b] including small vehicle

7.5 順序ロジスティック回帰分析

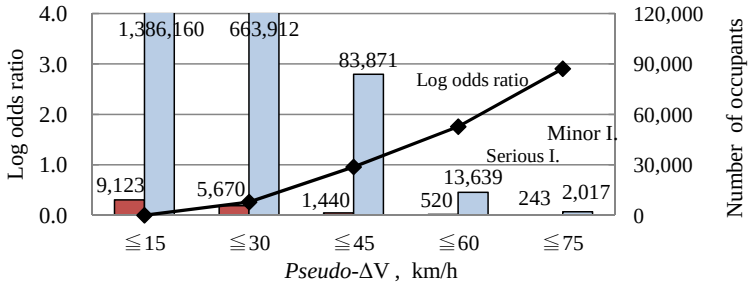
7.5.1 オッズ比の確認

前面衝突時の分析と同様に，選定した各変数に対して，クロス集計した結果から対数オッズ比の確認を行った．ここで，対数オッズ比は，死亡・重傷と軽傷を区分として確認した．図 7-3 に各説明変数の対数オッズ比および死亡・重傷者数と軽傷者数の関係を示す．

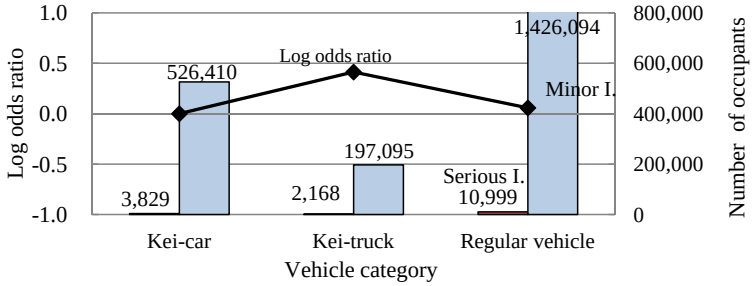
これらの図より，疑似 ΔV に関しては，前面衝突，側面衝突と同様に，擬似 ΔV に対して比較的線形に対数オッズ比の上昇が認められる．本章の分析では，疑似 ΔV はカテゴリーごとの集計となっているので，順序尺度変数として扱う．乗員の年齢に関しては，緩やかではあるが年齢層の上昇とともに対数オッズ比の上昇が確認できる．乗員の年齢の因子に関しても順序尺度変数として扱う．その他の変数に関しては，名義尺度変数として扱う．どの項目に関しても，死亡・重傷者は軽傷者に対して非常に少ない特徴をもつ事故形態であることが分かる．

同様に，基準に対して ±1 の範囲を超える顕著なオッズ比の上昇，下降が確認できる因子は以下が挙げられた．これらの因子に関しては，因子選定の際に留意して分析を進める．

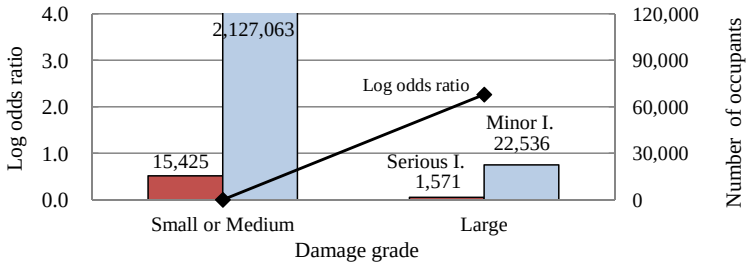
- 擬似 ΔV
- 車両損壊程度
- シートベルト着用有無



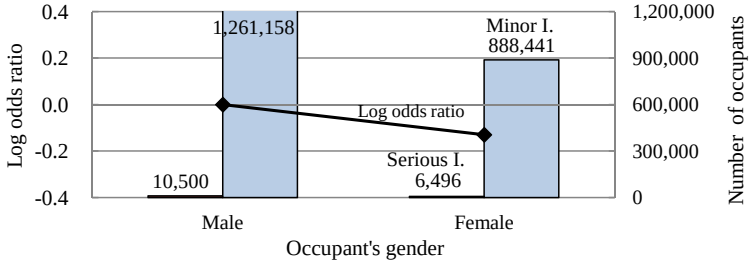
(a) *Pseudo* - Δ*V*



(b) Vehicle category

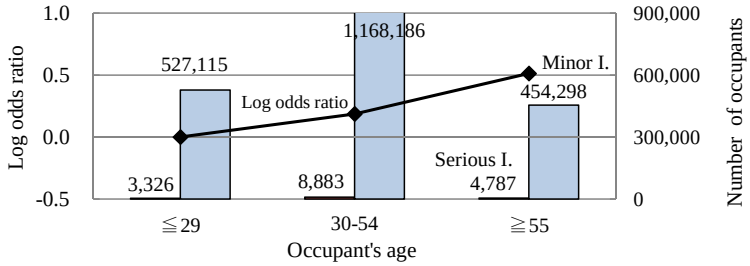


(c) Damage grade

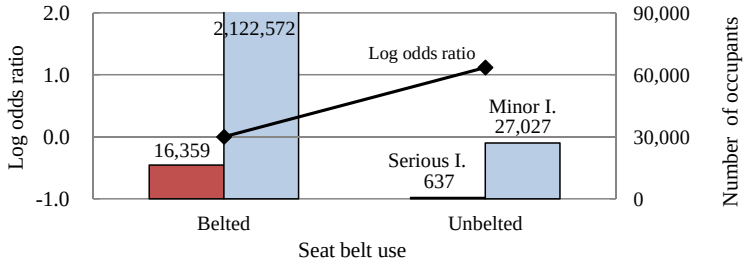


(d) Occupant’s gender

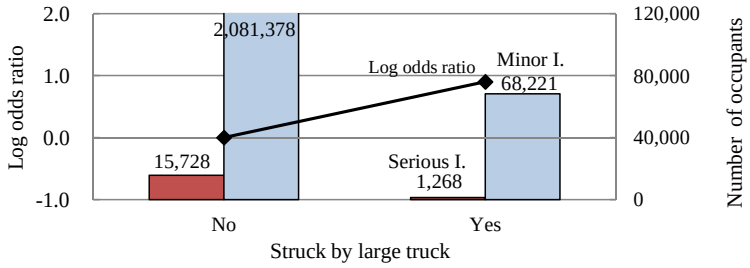
Fig. 7-3: Log odds ratio of variables and number of occupants in Rear-end



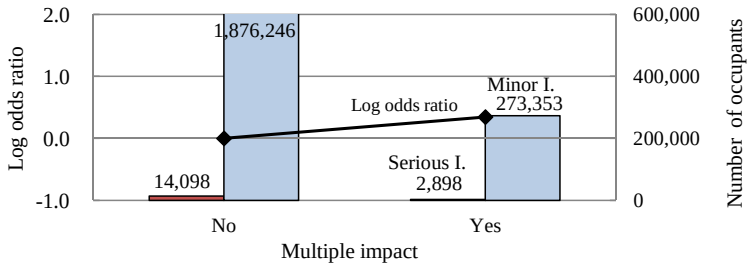
(e) Occupant's age



(f) Seat belt use



(g) Struck by large truck



(h) Multiple impact

Fig. 7-3: Log odds ratio of variables and number of occupants in Rear-end

7.5.2　後突標準傷害予測式による順序ロジスティック回帰分析

はじめに，7.4 節で述べた後突標準傷害予測式の因子を用いて，順序ロジスティック回帰分析を行った．その結果を表 7-3 に示す．今回考慮した 4 つの説明変数は Wald 検定にて全て有意 ($p < 0.001$) な結果が得られ，本予測式は有意であると考える．ここで，シートベルト着用有無の因子も比較的大きい回帰係数で有意となっている．

一般的に，被追突車両の乗員傷害は頚部の損傷が大きく 87 %を占めていると報告されている [100]. この頚部の損傷は鞭打ちが主であり，自動車のヘッドレストを適正位置に設定することが効果的である [100]．シートベルト装着は直接的には被追突車両の乗員の鞭打ちに効果があるとは考えにくいが，乗員のシートへの着座姿勢を適正に保つことや追突後の 2 次衝突などで車内の部品との干渉を緩和する働きがあると考えられる．これらの効果によってシートベルト着用が影響していると考える．図 7-3 のオッズ比の事前確認にても，シートベルト非着用のシートベルト着用に対するオッズ比の上昇が確認されていた．

Table. 7-3: Result of ordinal logistic regression by standard prediction model for Rear-end

Factors	Category	Coefficients	S.E.	p-value
Intercept	Minor injuries	0.826	0.072	< 0.001
	Serious injuries	5.074	0.095	< 0.001
	Fatalities	–	–	–
$Pseudo-\Delta V$	≤15	–2.111	0.073	< 0.001
	≤30	–1.917	0.073	< 0.001
	≤45	–1.441	0.075	< 0.001
	≤60	–0.904	0.083	< 0.001
	≤75	–	–	–
Damage grade	Small or Medium	–1.833	0.030	< 0.001
	Large	–	–	–
Seat belt use	Unbelted	0.992	0.042	< 0.001
	Belted	–	–	–
Occupant’s age	≤29	–0.551	0.023	< 0.001
	30 – 54	–0.315	0.018	< 0.001
	≥55	–	–	–

AIC= 1799.1, χ^2 =6374.6, Nagelkerke R^2 =0.033

7.5.3　追加因子による順序ロジスティック回帰分析

後突標準傷害予測式の有意性が確認できたので，さらに追加因子を考慮して集計した ITARDA マクロデータを用いて，それぞれ順序ロジスティック回帰分析を行った．その結果，全ての追加因子は Wald 検定にて全て有意（p<0.01）な結果が得られた．ただし，各因子は影響感度を示す回帰係数が，後突標準傷害予測式の因子に比べて小さく，影響度としては小さいと考えられた．そこで最終的に追加すべき因子の選別を行った．図 7-4 に追加した因子別に ITARDA マクロデータ上の死亡重

傷率 (死亡重傷者数を死傷者数で除したもの) の上昇率とその因子の回帰係数 の状況を比較した結果を示す．この回帰係数 は乗員傷害予測による影響感度を表している．この結果から，自車の車両種別が軽貨物車の場合，比較的影響の高い傾向が見られた．そこで，後突標準傷害予測式に自車の車両種別を加えたモデルを最終的な乗員傷害予測式とした．その回帰係数を表 7-4 に示す．なお，自車の車両種別を加えたモデルにて，*AIC*（Akaike's Information Criterion）のさらなる減少は確認できなかったが，自車が軽貨物車の場合，ITARDA マクロデータでの死亡重傷率の上昇が確認できているので，このモデルを最適なものと判断した．

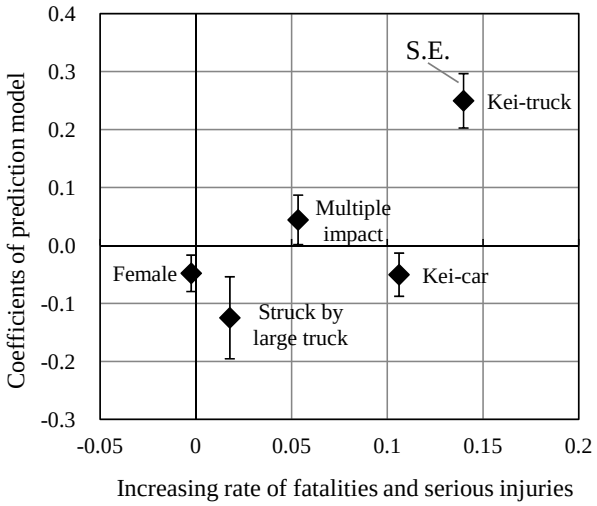


Fig. 7-4: Influence of additional factors for rear-end collisions

7.5.4 各影響因子による傷害状況比較

前節で求めた乗員傷害予測式を用いて擬似 ΔV に対する有意な変数として挙げられた因子の条件別に致死確率，重傷確率および死亡重傷確率の状況を図 7-5～図 7-8 に示す．併せて回帰分析に用いた ITARDA マクロデータによる致死率，重傷率および死亡重傷率と比較した．ここで，擬似 ΔV に関しては，5 つの階層別の予測であるため階段状の予測となっているが，比較上，各階層の中央値をとってスムージング処理をして比較した．

死亡重傷率および重傷率に関しては，両者は概ね一致しており，乗員傷害予測に用いた回帰式から大きく乖離する条件は見られず，本予測式は妥当であると考える．ただし，致死率に関しては，後面衝突時の乗員傷害の特徴で挙げたように，重傷率に対して小さい値となっているため，致死確率と ITARDA マクロデータによる致死率にはやや差が見られる．今回求めた乗員傷害予測式にて致死確率を求める場合は，やや誤差が大きくなっていることが推測される．予測精度については考察にて詳述する．

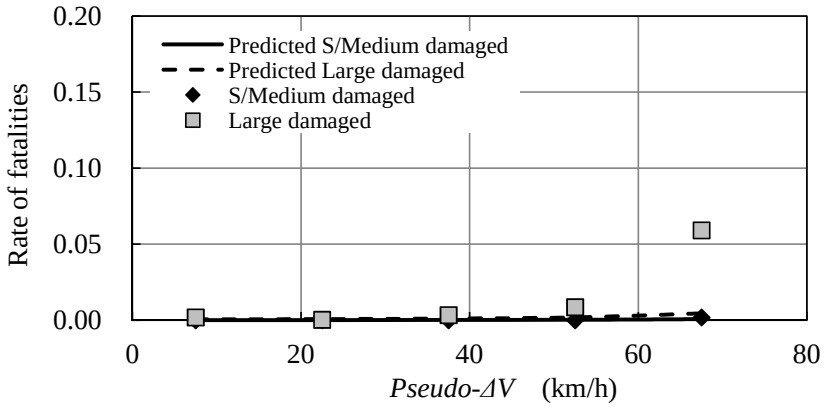
この影響因子別の結果から，後面衝突時の乗員傷害リスクは，擬似 ΔV の上昇に伴い増加し，擬似 ΔV が 60km/h を超えると死亡重傷確率が 20 %を超える条件が見られるようになる．50 %を超えるような場合は，さらにシートベルト非着用時であり，死亡重傷確率が高い条件は限定されていることが伺える．

Table. 7-4: Result of ordinal logistic regression by additional influential factor for Rear-end

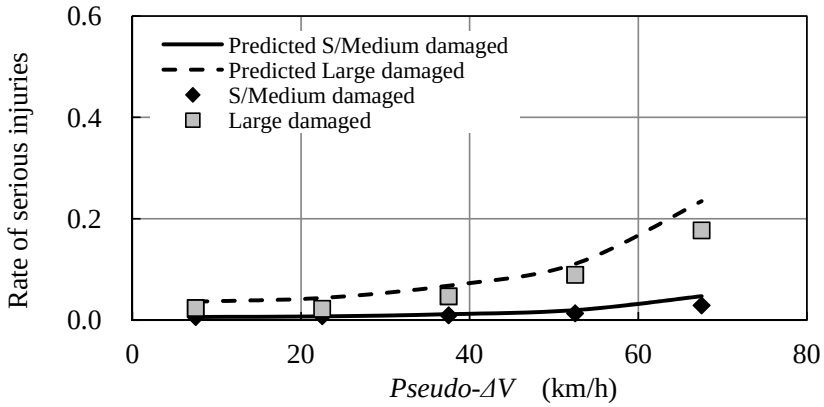
Factors	Category	Coefficients	S.E.	p-value
Intercept	Minor injuries	0.861	0.072	< 0.001
	Serious injuries	5.109	0.095	< 0.001
	Fatalities	–	–	–
$Pseudo-\Delta V$	≤15	–2.102	0.073	< 0.001
	≤30	–1.913	0.073	< 0.001
	≤45	–1.446	0.075	< 0.001
	≤60	–0.906	0.083	< 0.001
	≤75	–	–	–
Damage grade	Small or Medium	–1.837	0.030	< 0.001
	Large	–	–	–
Seat belt use	Unbelted	0.978	0.042	< 0.001
	Belted	–	–	–
Occupant's age	≤29	–0.518	0.023	< 0.001
	30 – 54	–0.296	0.018	< 0.001
	≥55	–	–	–
Vehicle category	Kei-car	–0.050	0.019	0.008
	Kei-truck	0.250	0.024	< 0.001
	Reguler vehicle [a)]	–	–	–

AIC= 1799.1, χ^2 =6374.6, Nagelkerke R^2 =0.033
[a)] including small vehicle

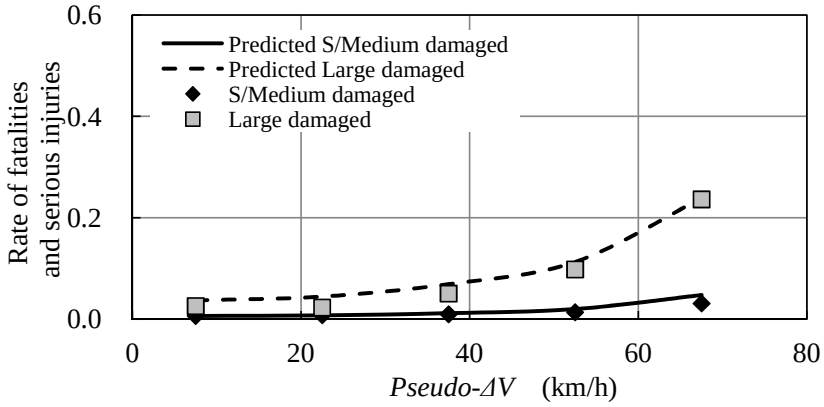
個々の因子の影響を確認すると，車両損壊程度の影響は，擬似 ΔV の高い領域ほど顕著に見られ，擬似 ΔV=60km/h 付近では車両損壊程度が大破の方が小破・中破より死亡重傷確率が約 5 倍高くなる．また，シートベルト着用は，追突に対しても傷害リスクを下げる効果が見られ，シートベルトを着用することで非着用時より死亡重傷確率が半減する．このシートベルト非着用の予測は，後突標準傷害予測式では ITARDA マクロデータでの死亡重傷率に比べてやや低めに回帰される傾向が見られたが，自車の車両種別を追加することにより改善した．さらに，乗員の年齢差の影響については，差異は顕著ではないが乗員の年齢層が高いほど，傷害リスクが高くなる傾向が見られる．また，追加した自車の車両種別の因子に関しては，軽貨物車の傷害リスクが普通乗用車の傷害リスクより 5〜10 %程度高いことが確認できた．



(a) Rate of fatalities

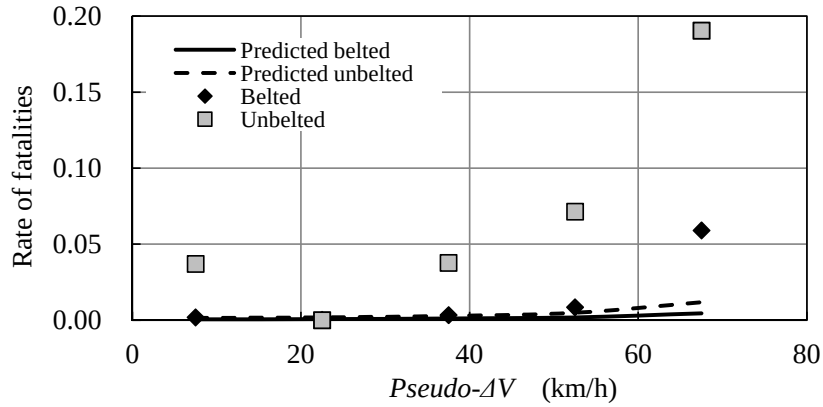


(b) Rate of serious injuries

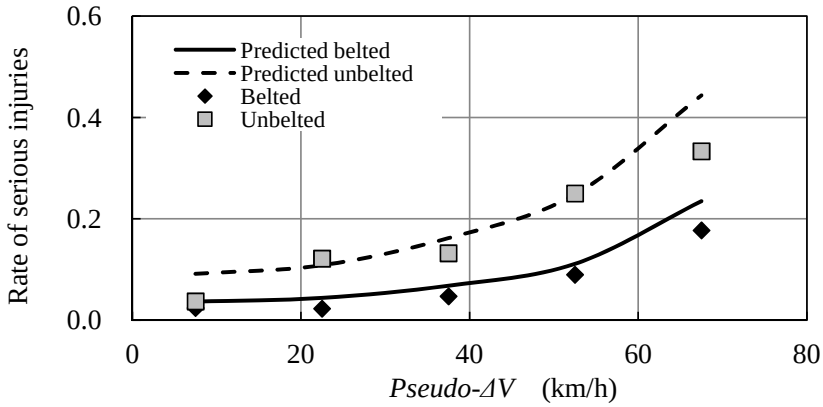


(c) Rate of fatalities and serious injuries

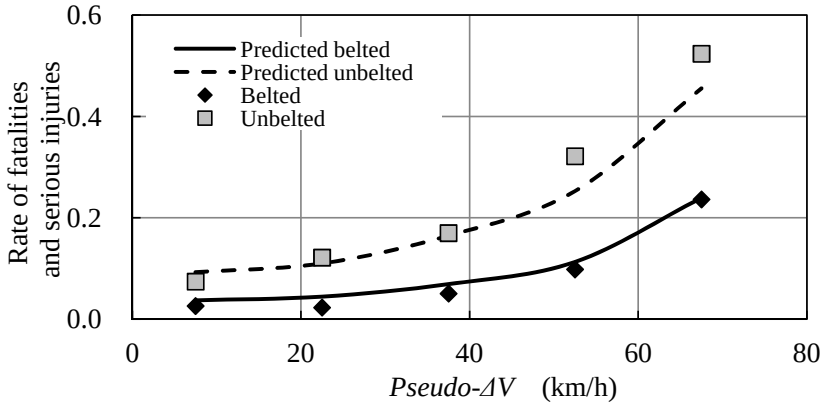
Fig. 7-5: Injury prediction for damage grade of belted 30 – 54 yrs old drivers in regular vehicles



(a) Rate of fatalities

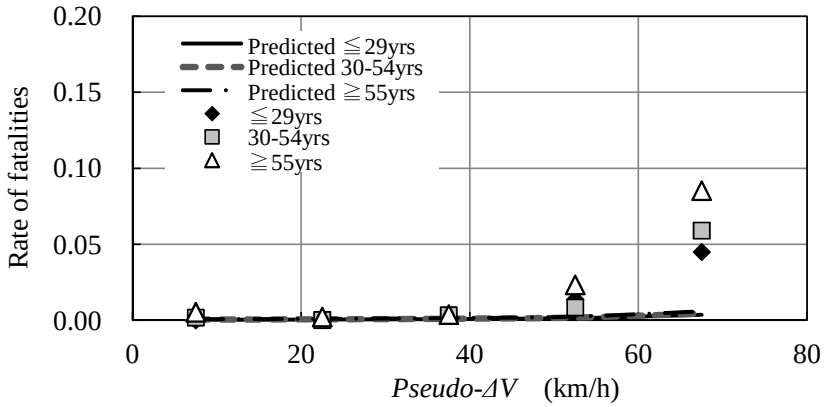


(b) Rate of serious injuries

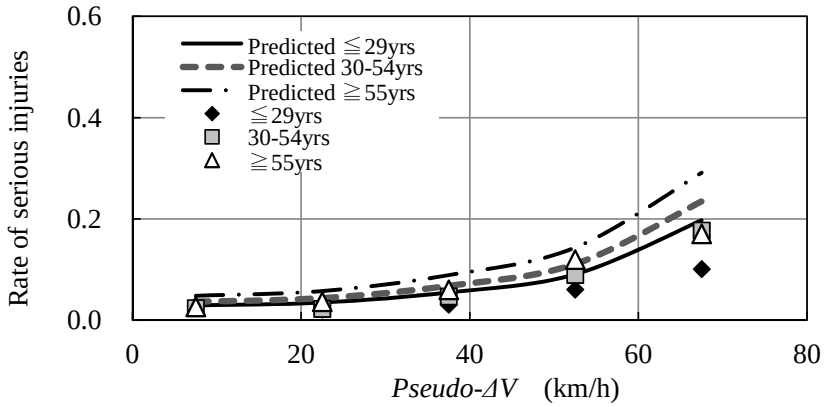


(c) Rate of fatalities and serious injuries

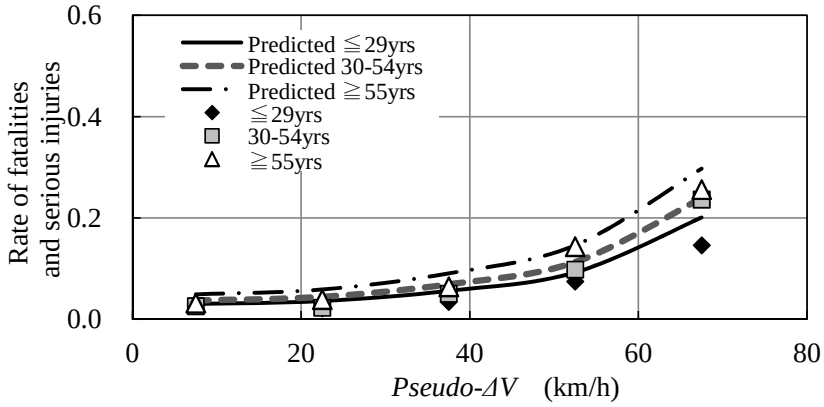
Fig. 7-6: Injury prediction for seat belt use of 30 – 54 yrs old drivers in regular vehicles with large damaged



(a) Rate of fatalities

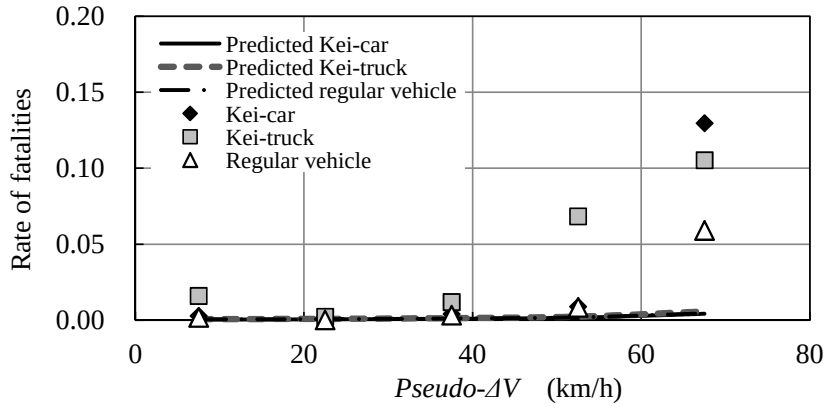


(b) Rate of serious injuries

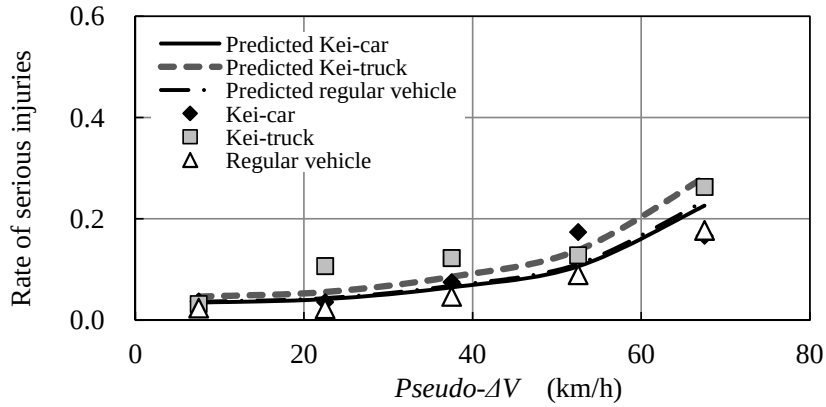


(c) Rate of fatalities and serious injuries

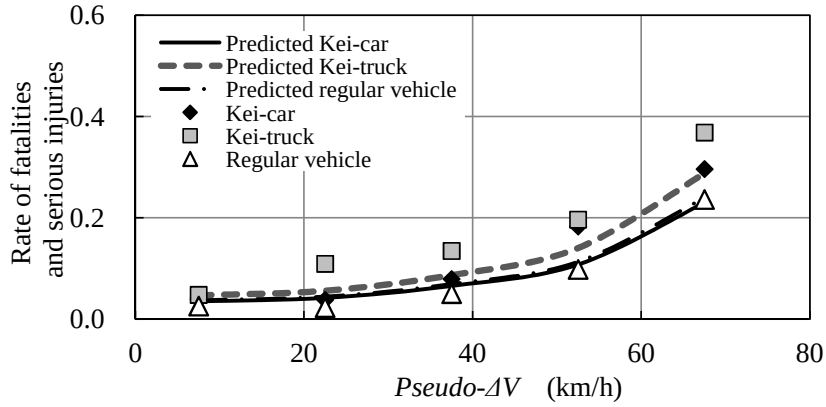
Fig. 7-7: Injury prediction for occupant's age of belted drivers in regular vehicles with large damaged



(a) Rate of fatalities



(b) Rate of serious injuries



(c) Rate of fatalities and serious injuries

Fig. 7-8: Injury prediction for vehicle category for belted 30 – 54 yrs old drivers in large damaged

7.6 ITARDA ミクロデータを用いた乗員傷害予測式の検証

求めた後面衝突時の乗員傷害予測式が妥当であること検証するために，重症事例は少ないが ITARDA ミクロデータを用いて予測結果と実際の受傷結果を比較した．2000 年～2010 年の発生した四輪車相互の追突事故は 162 例抽出できたが，被追突車両にて運転席乗員の解剖学的重症度スケール AIS(Abbreviated Injury Scale) の最大値である MAIS=4 の事故が 2 例，MAIS=2 の事故が 4 例，残り 156 例は MAIS=1 の事故であった．そこで，比較する事故の対象として，MAIS≥2 の事故 6 例と MAIS=1 の中からより重症例を選別するために外傷重症度スコア ISS (Injury Severity Score) が 3 以上となる事故 14 例を加えた 20 例を選び，比較することにした．なお，ITARDA ミクロデータから収集した分析対象事故の一覧を付録 D に示しておく．

その比較結果を図 7-9 に示す．MAIS=4 の 2 事例のうち，軽貨物車が多重衝突を伴い追突された事例は擬似 ΔV=60km/h と高く，死亡重傷確率が 28.8 %となり，米国 Centers for Disease Control and Prevention(CDC-US) が推奨しているトリアージ基準 20 %以上 [50] を用いて判定した場合，正しく判定される結果となっていた．もう 1 例は普通車同士の追突事故で，衝突速度 25km/h，擬似 ΔV も約 5km/h と高くないため死亡重傷確率は 0.8 %となり正しく判定できなかった．この事故の乗員は，頚髄損傷の傷害を受けていたが車両損壊も少なく受傷機序は不明であった．その他，MAIS≤2 の 18 例は全て死亡重傷確率が 10 %以下となっており，正しく判定できた．

検証に用いた事故事例は重症事例が非常に少なく，正当率を十分議論できるレベルではないが，大きな相違も見られないため，本乗員傷害予測式は妥当な結果を示すことができていると考える．さらなる n 増し確認は今後継続していく必要があるが，ITARDA ミクロデータの事例が限られていることも重要な課題として残っている．また，ITARDA マクロデータで用いられている人身損傷程度は，治療を要する日数で重症度を区別しており，必ずしも医学的観点で評価した AIS 等と一致できていないことも誤差要因として懸案される．前述した日本外傷データバンクの活用も医学工学の連携に有効と考える．

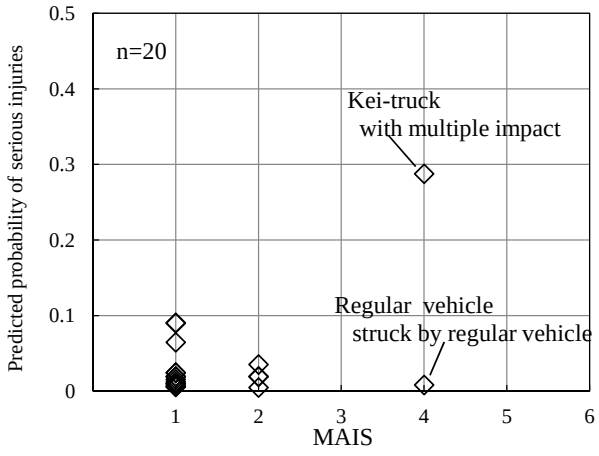


Fig. 7-9: Validation of injury prediction method using ITARDA Micro Data

7.7　考察

7.7.1　先行研究との乗員傷害予測感度比較

本章にて求めた後面衝突時の乗員傷害予測式の各影響因子に対する影響感度を先行研究で報告されている影響感度と比較した．比較した研究は，前面衝突，側面衝突にて用いた米国の事故データベース NASS-CDS を用いて解析した Digges ら [82] の研究と，ITARDA マクロデータを用いて解析した吉田ら [53] の研究を用いた．両研究とも 2.6.1 項に示す傷害確率 Ps をロジスティック回帰分析にて解析している．そこで，それぞれの因子に対して基準としたカテゴリーの係数に対する変化を Δz として求めて比較した．本研究のモデルも同様であり，2.6.2 項の式を用いて比較する．比較した因子の基準は，ΔV =30km/h，シートベルト着用，乗員の年齢 30-54 歳とした．なお，乗員の年齢に関しては，Digges らの研究では因子に含まれていないため比較していない．

その結果を図 7-10 に示す．本研究と同じく ITARDA マクロデータを用いた吉田らの研究に対しては，シートベルト，乗員の年齢の影響は近い結果となっているが，ΔV に対する影響が大きく異なっている．これは吉田らの研究では衝突方向を全て含めた係数となっているため，影響感度の高い前面衝突や側面衝突の影響を受け影響が高く出ていることが要因と考えられる．したがって，本研究のように被追突車両の ΔV の影響感度は分離して評価する必要があると考える．一方， Digges らの研究は被追突車両を対象にした分析ではあるが，シートベルト，ΔV とも影響感度が高く，特に ΔV=65km/h の差が大きい．差異の要因は， Digges らのモデルは ΔV を量的変数で扱っていること，米国と日本との追突速度の分布差または ITARDA マクロデータで扱っている擬似 ΔV の精度などが考えられるが，今後さらなる調査が必要であると考える．

また，前面衝突時と同様に，本章の研究によって得られた乗員傷害予測結果と Digges らによる URGENCY アルゴリズムを直接比較する．URGENCY アルゴリズムの各説明変数に対する回帰係数は，表 3-8 に併せて示してある．URGENCY アルゴリズムの重症度判断は，MAIS3+をもとに行われているので，ITARDA マクロデータの死亡・重傷定義と異なることも差異として含まれているのを前提とする．

本章では，ΔV はカテゴリー化した疑似 ΔV を用いているので，ΔV を横軸に取った乗員傷害予測結果は，階段状に表示した．共通で評価されている因子としてシートベルト着用有無があり，その違い別で比較を行った．その結果を図 7-11 に示す．車両損壊程度の因子が考慮されているので，その違いによる乗員傷害予測結果も示した．前面衝突時と同様に，低 ΔV 域では，小破・中破側，高 ΔV 域では，大破側に近い結果となっていることが分かる．車両の損壊状況を傷害予測式に組み込むことは，予測精度の向上に有効であると考える．

また，シートベルト非着用時の URGENCY アルゴリズムの評価は，ΔV が 50km/h 以上では，本章による大破の予測結果より傷害リスクを高く評価している傾向が見られる．シートベルトの効果は，後面衝突では少ないと考えられるが，追突された後に前面を衝突するなどの多重衝突や，大型車から追突される場合などでは，後面からだけの入力ではなくなくなるため，シートベルトの効果が大きく現れると考える．米国の事故データをもとに構築された URGENCY アルゴリズムは，これらの高 ΔV 域で死亡重傷確率が高い事故形態が多く含まれている乗員傷害予測式であることが推測される．

この結果から推定すると，URGENCY アルゴリズムを日本の事故に適用した場合，後面衝突時の傷害に対しても，傷害リスクの大きい高 ΔV 域の傷害予測はやや過大評価傾向となり，傷害リスクの小さい低 ΔV 域は，傷害リスクの過小評価となりやすいことが考えられる．

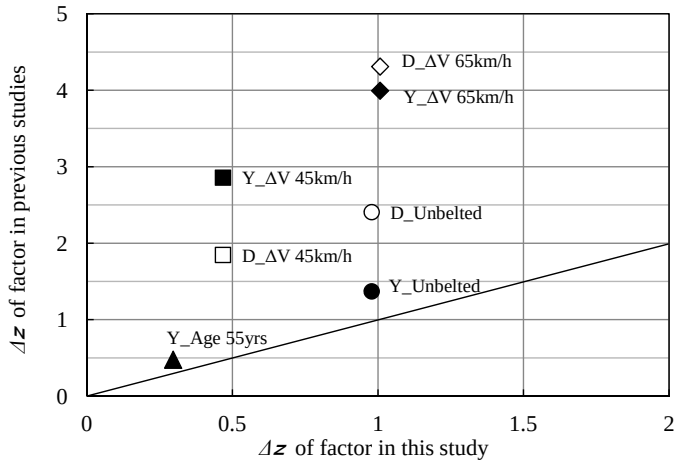
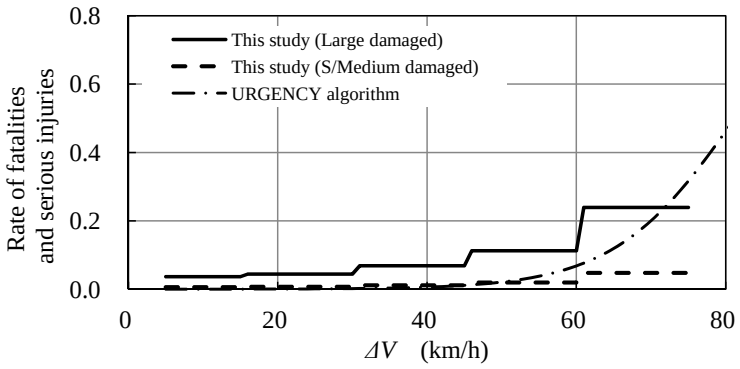
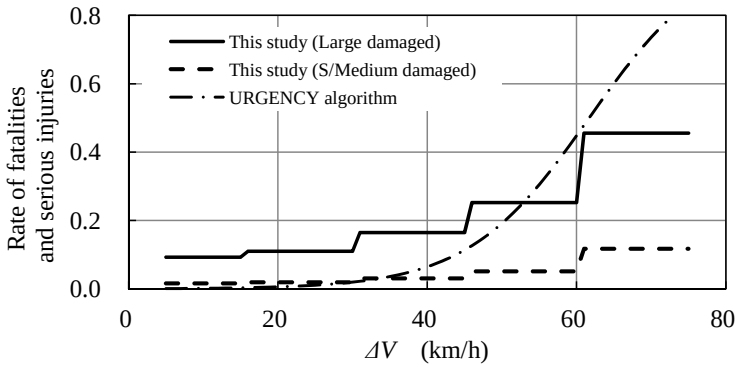


Fig. 7-10: Comparison of each coefficient, Y: Yoshida's study [53], D:Digges' study [82]



(a) For belted 30 – 54 yrs old drivers in regular vehicles



(b) For unbelted 30 – 54 yrs old drivers in regular vehicles

Fig. 7-11: Comparison of injury prediction between this study and URGENCY in Rear-end

7.7.2　乗員傷害予測感度に関する課題

本乗員傷害予測式を用いた場合の予測感度について考察を行った．図 7-12 に死亡重傷確率の高い順に事故条件 (各カテゴリーの組合せ：180 通り) を並べた場合の各条件の死亡重傷確率とその条件より高い確率を重症と判定した場合の予測感度及びオーバートリアージ率の関係を示す．予測感度及びオーバートリアージ率の定義は，米国 CDC-US のガイドラインにも定義されている [102]，表 2-5 を用いた．図 7-12 から，重症の判定を死亡重傷確率 0.1 とした場合，感度は 0.037 となる．つまり死亡重傷者の 3.7 %しか検出できないことになる．被追突車両の乗員は，発生数は多いがほとんどが軽傷者であり，予測上の傷害リスクが小さい条件で重傷者を積算すると多数見られる．したがって，予測感度を上げるためには，重症を判定する死亡重傷確率の閾値を下げる必要がある．仮に 50 %の検出感度を確保するには，判定確率を 0.0073 以上にする必要となり，追突されたほとんどの車両の事故に対して重症と判定することになってしまう．しかしこの場合，軽傷者を重症と判定してしまうオーバートリアージ率は約 40 %となり，多くのオーバートリアージを容認する必要があると推測される．以上のように，傷害リスクの低い条件にて重症者が多く発生している事故形態に対する乗員傷害予測による重症度の判定は，予測感度とオーバートリアージ率とのバランスが大きな課題になると考える．

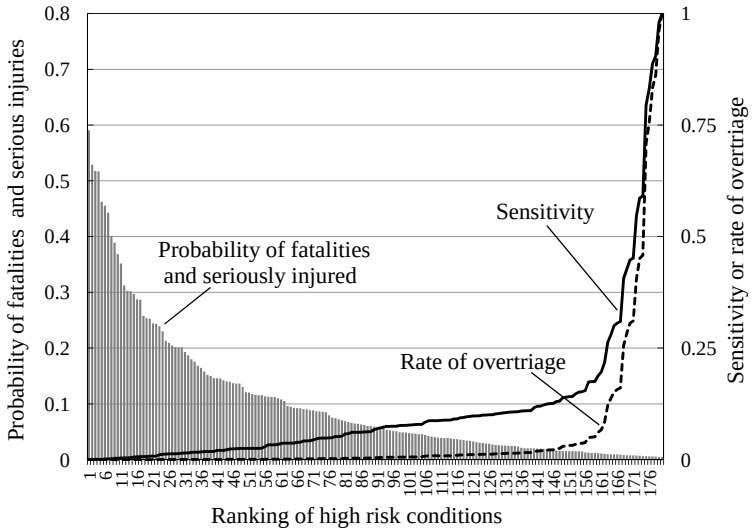


Fig. 7-12: Sensitivity and rate of overtriage

7.7.3　乗員傷害予測精度向上の課題

前面衝突などと同様に，後面衝突に関して，本研究による乗員傷害予測式の精度上の課題について考察を加える．

本章の解析では，標準傷害予測式に追加因子を加えて検討を行ったが，ITARDA ミクロデータ事例の検証では予測外れの事例が見られた．また，同じ予測条件の中でも死亡・重傷に至る事故の場合とそうでない場合とが存在している．これらの事故事例について細別しながら詳細検討し，乗員傷害予測精度をさらに向上していくことは今後の課題である．検討できていない後面衝突車両乗員

の傷害に影響を及ぼす可能性のある因子として，事故形態，車両仕様，乗員の属性に分類して以下の因子が挙げられる．

事故形態としては,「車両の横転」,「乗員の車外放出」,「車両火災」が考慮できていない因子である．これらは，ΔV や車両損壊程度では十分評価できないリスク要因である．車両種別との関係もあると考えられるので，今回評価に加えた車両種別のリスク要因（特に軽貨物車のリスク）としてある程度加味されていると考える．例えば，低い ΔV の追突においても，これらの因子が加わると傷害リスクが非常に高まる可能性があり，今後詳細調査が必要な項目であると考える．

車両仕様としては「車体形状（後部）」,「ヘッドレスト仕様」,「シート強度」が影響因子として考えられる．特に，ヘッドレストは鞭打ち傷害に大きく影響を及ぼしているため重要な因子であるが [100]，ITARDA マクロデータでは直接分析できない因子の一つである．シート強度に関しても被追突車両の状況からシート変形が著しい車両も見られ注目する因子であるが，ITARDA マクロデータでは分析できない．これらの因子に関しては，情報公開試験にて鞭打ち傷害に対する車名別の性能が評価され始めているので，その性能を加味した傷害リスク評価も有効であると考える．

また，乗員の属性では体型情報が考慮できていない．これらは乗員の「身長」,「体重」,「BMI（Body Mass Index）」が挙げられる．男女差の因子は，今回の解析では有意な因子として取り上げられなかったが，小柄な女性などの影響は第 3 章の前面衝突においては懸案されており，体型にかかわる因子の影響が懸念される．

さらに，今回は被追突車両の運転席乗員に対して解析した研究であるが，車両後部に追突される車両にとっては後部の車体変形により後席乗員の方が傷害リスクの高くなることも考えられる．変形が大きくなると推定される大型車からの追突に対して，本章の研究では考慮したがその影響は大きく現れていなかった．しかし，後席評価の場合はより顕著となる可能性がある．運転席以外の乗員についても事故データは限定されるが，今後さらなる分析が必要な対象であると考える．

7.8 結言

本章では，後面衝突時の乗員傷害に影響を及ぼす因子を明確にするために，被追突車両の運転席乗員傷害に対して，ITARDA マクロデータを用いて順序ロジスティック回帰分析を適用し，有意に影響のある因子および乗員傷害予測式を求めた．そして，その予測式を用いた場合の各影響因子に対する傷害状況と重症度判定に対する課題を考察した．得られた結論は以下である．

(1) 被追突車両の運転席乗員傷害に対して，擬似 ΔV，シートベルトの着用有無，車両損壊程度，乗員の年齢および自車の車両種別を用いた乗員傷害予測式が求められた．

(2) 本予測式は，ITARDA マクロデータによる死亡重傷率と大きな乖離はなく，また ITARDA ミクロデータによる事例を概ね予測できており，妥当であると考える．ただし，車両横転や乗員体型などまだ評価できていない因子も多くあり，精度に関しては課題があると考える．

(3) 本乗員傷害予測式を用いると，各影響因子に対する傷害リスクへの影響が確認でき，被追突車両乗員の死亡重傷確率が 20 %以上となる条件は，$\Delta V \geq$60km/h の時など限定される．

(4) 重症者の 50 %以上を捕捉するためには，本乗員傷害予測による死亡重傷確率の重症度判定閾値を 0.0073 以下にする必要があり，約 40 %のオーバートリアージを容認する判定が必要である．

(5) 被追突車両の乗員のように，事故数は多いが軽傷者が多く，予測上の傷害リスクの小さい条件で重症者を積算すると多数見られる事故形態に対して，乗員傷害予測による重症度を判定する場合，予測感度とオーバートリアージ率とのバランスが大きな課題になる．

第8章　日本と米国における自動車事故の類似性と相違性

8.1　緒言

これまでの章の分析にて，ITARDA ミクロデータを用いて日本における各衝突事故に対する乗員傷害予測式および影響因子の分析を行ってきた．この ITARDA ミクロデータは，1.1.2 項で述べたように，地域が限定された交通事故調査に基づいている．調査事故事例数が少ないことやバイアスの懸念がされているが，日本全国の死傷交通事故を登録している ITARDA マクロデータとの検証を踏まえながらその妥当性を確め，分析を進めてきた．しかし，事故サンプル数の規模を考えると，米国の NASS-CDS や CIREN などの事故事例数に対して見劣りしているといわざるを得ない．米国の乗員傷害予測モデルである URGENCY アルゴリズムも，米国の NASS-CDS をもとに構築されたものである．事故事例数が多いことは，統計解析上も有利に進められ，米国の NASS-CDS は分析上魅力的なデータベースとして存在している．

このような状況から，自国の事故データでは難しい分析を米国の事故データを用いて行うことや [87, 98]，不足している情報を，米国の事故データを活用して分析を進めている [55]．これらの分析は，自国内の事故が米国の事故と類似していることを前提に解析を行っていることになるが，これまで両国の事故データを比較した分析はほとんど見られない．

そこで本章では，日本と米国の交通事故データベースから，両国の自動車乗員に関わる交通事故状況の類似性と相違性についての分析を行い，事故事例数の多い米国データと比較することにより，これまで得られた日本の事故データによる分析結果の妥当性や日本特有の課題を明確にする．また，日本の事故分析として米国の事故を有効に活用する場合の留意点について整理する．これらの結果から，これまでの日本の事故解析の結果をさらに充実なものとする．さらに，これらの結果をもとに，日本版 AACN として現実的に対応可能となる日本版乗員傷害予測アルゴリズムについて検討した [103, 104].

8.2　分析手法

8.2.1　分析の流れ

本章の目的は，乗員傷害に影響を及ぼす因子に関して，日本と米国の交通事故データの比較によりその差異を明確にすることである．本章における分析の流れを説明する．まず，対象とする日本，米国事故データを収集する．それらに対して，前章までの分析にて乗員傷害に影響を及ぼしていた代表的な因子に関して，事故データの分布，重症発生に対するオッズ比の比較を行う．また，事故データ分布としての類似性を総合的に確認するために，確率的な距離を示すマハラノビス距離を用いて，多次元的な観点で米国と日本の事故データ分布の類似性を分析する．さらに，具体的な比較として，URGENCY アルゴリズムを用いた両国の事故データにおける適合性比較を行い，予測感度

差や予測外れ事故の違いを分析する．以上の分析から，日本と米国の自動車事故状況の類似性と相違性を明確にして，両国間の乗員傷害予測式の有効性や影響因子に関する留意点について提示する．最後に，日本版 AACN として現実的に対応可能となる日本版乗員傷害予測アルゴリズムについて検討を加えた．

8.2.2　分析の対象

比較に用いた日本，米国の事故データの分析対象を表 8-1 に示す．分析対象の事故形態は，2000～2009 年に発生した正面衝突（H-on）および車両単独の前面衝突（f-SVC) とし，CDC コードにおける車両への入力方向が 11F，12F，01F の衝突形態を有し，調査結果の欠損の無い事故事例を用いた．対象車両は，小型乗用車，普通乗用車および米国で多く見られる van，SUV，pickup truck とし，日本の事故データにはさらに日本で固有規格となる軽乗用車，軽貨物車を含めた．なお，それぞれの事故データから収集した各因子に対する詳細一覧を付録 E に示す．

日本の代表とする事故データは，ITARDA ミクロデータとした．調査地区が限定されているためバイアスの懸案もあるが，前章までの ITARDA マクロデータを用いた分析にて相関が検証されているため，これを用いることにした．一方，米国の代表としては，NASS-CDS を用いる．NASS-CDS も全米事故の一部をサンプル調査されたものではあるが，ratio inflation factor として，事故数を全米相当に換算するための重み値が設定されている．この重み付けされた事故数を米国の事故の代表として分析することにした．なお，ITARDA ミクロデータには，NASS-CDS のように全日本相当に換算できる重み値の設定はされていない．この点に関しては，今後の ITARDA ミクロデータの整備課題と考える．

Table. 8-1: Data sources of Japan and the U.S.

Accident type	ITARDA Micro Data 2000 – 2009		NASS-CDS 2000 – 2009		
	CDC code	unweighted	CDC code	unweighted	weighted
H–on [a)]	11F – 01F	108	11F – 01F	585	79,410
f–SVC [b)]	11F – 01F	108	11F – 01F	1,519	407,270
Total		216		2,104	486,680

[a)] Head-on collision
[b)] Frontal single-vehicle collision

8.2.3　各因子に対する分布，オッズ比の比較

収集した事故データに関して，各因子別の分布状況をヒストグラムで比較する．比較には重症以上の区別として MAIS が 3 以上と 3 未満に分けて表示する．また，各因子のカテゴリー別に MAIS が 3 以上に対するオッズ比の比較も行う．オッズ比の基準は，オッズが求められる最小値のカテゴリーとした（付録 E に＊として表示した）．

8.2.4　マハラノビス距離による多次元分布比較

日本と米国の総合的な事故データ分布を論じるために，確率的な距離を示すマハラノビス距離を用いて，多次元的な観点で比較する．マハラノビス距離は，判別分析などに用いられており [105]，多次元的な分布を確率的な距離で表わすことにより，その近さで類似性を判定する．マハラノビス距離 D は，各変数の平均に対する変数と傾きの相関に基づいており，以下の式で表わされる．

$$D^2 = (\boldsymbol{x} - \boldsymbol{\mu})^T \boldsymbol{S}^{-1} (\boldsymbol{x} - \boldsymbol{\mu}) \tag{8.1}$$

ここで，$\boldsymbol{x}$ は変数ベクトル，$\boldsymbol{\mu}$ はその平均ベクトル，$\boldsymbol{S}$は分散共分散行列を表す．

例えば，日本の事故データ群のマハラノビス距離を D_j，米国の事故データ群のマハラノビス距離を D_u とした場合，x_1 および x_2 の 2 次元変数に対してのマハラノビス距離の等しい曲線は，図 8-1 に示すような楕円を示す．ある事故データの属性がわかった場合，各国の分布中心からのマハラノビス距離が近い方の事故データ群に属する確率が高いと示される．これらの変数が k 次元正規分布を示している場合，D^2 の分布は自由度 k の χ^2 分布に従う [106]．なお，各変数に関してそれぞれ単位が異なるので，各変数の平均と標準偏差で正規化して分析する．

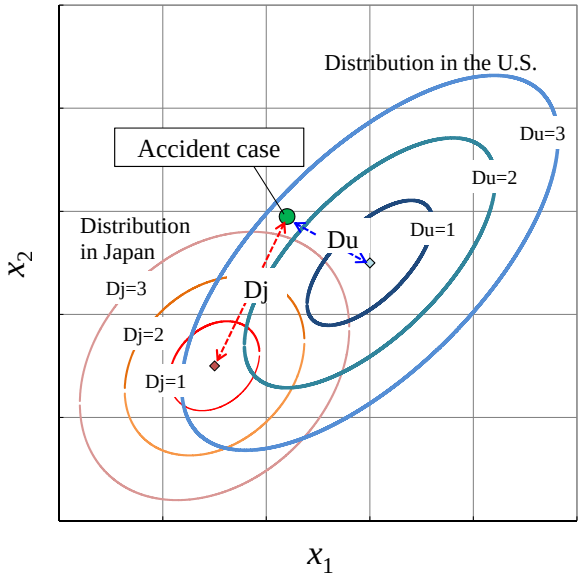


Fig. 8-1: Image of distribution of Mahalanobis Distance for two databases

8.2.5　説明変数とグループ化

事故データの分布を評価する上で，前章までの分析結果も踏まえ，表 8-2 に示す 15 変数を選定し，4 つのグループ化を行った．グループ A は，URGENCY アルゴリズムなどにも用いられている乗員傷害予測に主に採用されている 6 因子である．ここで，車両損壊程度の評価は NASS-CDS には無いため，代わりに車体損傷コードを採用した．グループ B は，車両の属性に関係する 3 因子で，バリア換算速度（EBS）は車体の変形特性に影響しているためこのグループに加えた．グループ C は，年齢以外の乗員の属性に関係する 4 因子で，年齢は乗員傷害予測式に考慮されているためこのグループからは除いた．グループ D は，傷害程度を表す変数で，MAIS と ISS を考慮した．各変数にて名義尺度変数の場合は，0/1 型のダミー変数に変換して扱う．また，車体変形コード，MAIS および ISS に関しては順序尺度変数ではあるが，多段階の評価となっているため，量的変数として扱った．

マハラノビス距離の分析にあたり，事前に変数間の多重共線性の確認を Pearson の相関行列表を用いて確認した．ITARDA ミクロデータに対する結果を表 8-3，表 8-4 に，NASS-CDS データに対する結果を表 8-5，表 8-6 示す．その結果，バリア換算速度，乗員の性別，乗員の体重，および ISS は，他の変数との多重共線性の相関が 0.5 より大きかったため評価から除外した．したがって，残った 11 変数について，各グループの組み合わせでマハラノビス距離の解析を行う．

Table. 8-2: Explanatory variables and grouping

Group		Factors	Categories
A	Injury prediction factor	ΔV, km/h	
		Seat belt use	Belted / Unbelted
		Multiple impact	Yes / No
		Rollover	Yes / No
		Extent of damage code	1 – 9
		Occupant’s age, yrs old	
B	Vehicle factor	Vehicle curb weight, kg	
		Vehicle registration year	
		EBS[a)] , km/h	
C	Occupant factor	Occupant’s gender	Male / Female
		Occupant’s height, cm	
		Occupant’s weight, kg	
		Occupant’s BMI	
D	Injury outcome	MAIS	1 – 6
		ISS[b)]	1 – 75

[a)] EBS: Equivalent Barrier Collision Speed
[b)] ISS: Injury Severity Score

Table. 8-3: Pearson’s product-moment correlation for ITARDA Micro Data H-on

Upper: Pearson's product-moment correlation
Lower: p-value
** p < 0.01, * p < 0.05

	⊿V	Seat belt use	Multiple impact	Rollover	Extent of damage	Occupant's age	Vehicle curb weight	Vehicle registration year	EBS	Occupant's gender	Occupant's height	Occupant's weight	Occupant's BMI	MAIS	ISS
⊿V	1.000	-0.117 0.228	0.039 0.688	-0.013 0.893	.308** 0.001	-0.175 0.070	-0.080 0.413	-0.006 0.954	.742** 0.000	0.035 0.719	0.116 0.231	0.031 0.753	-0.044 0.649	.587** 0.000	.593** 0.000
Seat belt use		1.000	0.095 0.330	0.049 0.615	-0.097 0.317	0.125 0.199	-.194* 0.044	0.184 0.056	0.018 0.852	-0.138 0.155	-.195* 0.043	-0.155 0.108	-0.047 0.631	-.228* 0.017	-.254** 0.008
Multiple impact			1.000	-0.050 0.605	.239* 0.013	-0.114 0.241	0.071 0.463	0.168 0.081	0.089 0.359	0.020 0.839	0.135 0.164	0.150 0.121	0.087 0.369	-0.003 0.974	0.025 0.794
Rollover				1.000	-0.032 0.743	-0.093 0.339	-0.091 0.349	0.164 0.089	0.052 0.594	-0.106 0.275	-0.142 0.143	-0.142 0.142	-0.098 0.314	-0.069 0.481	-0.037 0.701
Extent of damage					1.000	-.210* 0.029	.274** 0.004	-.212* 0.028	.288** 0.003	0.155 0.109	.211* 0.029	0.186 0.054	0.088 0.363	.371** 0.000	.287** 0.003
Occupant's age						1.000	-0.078 0.423	-0.033 0.735	-.195* 0.043	0.116 0.232	-.356** 0.000	-0.009 0.925	.260** 0.007	0.032 0.739	0.111 0.253
Vehicle curb weight							1.000	-0.128 0.188	-0.091 0.351	0.173 0.073	.265** 0.006	0.067 0.488	-0.099 0.307	-0.061 0.527	-0.059 0.541
Vehicle registration year								1.000	-0.115 0.234	-.192* 0.046	-0.111 0.254	-0.110 0.256	-0.060 0.536	-0.159 0.100	-0.143 0.140
EBS									1.000	0.073 0.451	0.113 0.244	-0.042 0.666	-0.135 0.163	.496** 0.000	.488** 0.000
Occupant's gender										1.000	.630** 0.000	.547** 0.000	.258** 0.007	0.077 0.431	0.055 0.575
Occupant's height											1.000	.612** 0.000	0.059 0.542	-0.009 0.926	-0.023 0.812
Occupant's weight												1.000	.821** 0.000	-0.012 0.905	-0.036 0.713
Occupant's BMI													1.000	-0.003 0.974	-0.023 0.812
MAIS														1.000	.897** 0.000
ISS															1.000

Table. 8-4: Pearson’s product-moment correlation for ITARDA Micro Data f-SVC

Upper: Pearson's product-moment correlation
Lower: p-value
** p < 0.01, * p < 0.05

	Δ V	Seat belt use	Multiple impact	Rollover	Extent of damage	Occupant's age	Vehicle curb weight	Vehicle registration year	EBS	Occupant's gender	Occupant's height	Occupant's weight	Occupant's BMI	MAIS	ISS
Δ V	1.000	-0.160 0.098	0.040 0.683	-0.054 0.582	.269** 0.005	-.194* 0.045	0.131 0.178	-0.096 0.323	.809** 0.000	0.104 0.285	.251** 0.009	0.105 0.280	-0.038 0.696	.334** 0.000	.306** 0.001
Seat belt use		1.000	.195* 0.043	0.049 0.617	-0.087 0.373	.221* 0.022	-0.137 0.156	.360** 0.000	-0.174 0.072	-.201* 0.037	-.254** 0.008	-0.137 0.158	-0.024 0.807	-.360** 0.000	-.324** 0.001
Multiple impact			1.000	0.141 0.145	0.015 0.879	-0.011 0.907	0.163 0.092	0.124 0.201	0.093 0.339	-0.135 0.164	0.017 0.862	0.000 1.000	-0.022 0.818	-0.153 0.113	-0.176 0.069
Rollover				1.000	0.053 0.583	-0.126 0.194	0.019 0.844	0.053 0.587	-0.059 0.544	-0.144 0.137	-0.128 0.187	-0.148 0.128	-0.107 0.268	-0.128 0.187	-0.134 0.168
Extent of damage					1.000	-0.051 0.599	-0.112 0.249	-0.080 0.411	.440** 0.000	0.124 0.201	0.161 0.095	0.123 0.206	0.047 0.628	0.168 0.082	0.133 0.170
Occupant's age						1.000	-.215* 0.025	0.064 0.510	-.206* 0.032	0.014 0.885	-.315** 0.001	0.044 0.650	.293** 0.002	0.016 0.871	0.021 0.829
Vehicle curb weight							1.000	-0.045 0.644	0.156 0.106	0.129 0.184	.277** 0.004	0.024 0.808	-0.156 0.107	0.001 0.995	-0.039 0.688
Vehicle registration year								1.000	-0.122 0.208	-.237* 0.014	-.243* 0.011	-0.121 0.213	-0.010 0.915	-0.141 0.146	-0.122 0.209
EBS									1.000	0.185 0.055	.331** 0.000	0.141 0.147	-0.040 0.679	.323** 0.001	.310** 0.001
Occupant's gender										1.000	.698** 0.000	.515** 0.000	.202* 0.036	0.047 0.626	0.004 0.965
Occupant's height											1.000	.647** 0.000	0.156 0.107	0.116 0.233	0.072 0.458
Occupant's weight												1.000	.849** 0.000	-0.002 0.980	-0.048 0.620
Occupant's BMI													1.000	-0.071 0.466	-0.105 0.281
MAIS														1.000	.923** 0.000
ISS															1.000

Table. 8-5: Pearson’s product-moment correlation for NASS-CDS H-on

Upper: Pearson's product-moment correlation
Lower: p-value
** p < 0.01, * p < 0.05

	ΔV	Seat belt use	Multiple impact	Rollover	Extent of damage	Occupant's age	Vehicle curb weight	Vehicle registration year	EBS	Occupant's gender	Occupant's height	Occupant's weight	Occupant's BMI	MAIS	ISS
ΔV	1.000	-.333**	.122**	.303**	.308**	-.075**	-.136**	-.084**	.912**	.146**	-.008*	-.145**	-.157**	.511**	.490**
		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.020	0.000	0.000	0.000	0.000
Seat belt use		1.000	-0.003	-.127**	-.218**	.085**	.115**	.077**	-.338**	-0.006	.068**	.109**	.093**	-.481**	-.443**
			0.467	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.071	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Multiple impact			1.000	.176**	.237**	-.056**	.056**	-.089**	.086**	-.043**	-.045**	-.182**	-.166**	.033**	0.006
				0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.104
Rollover				1.000	.093**	-.045**	.018**	-.028**	.274**	.031**	-.052**	-.065**	-.050**	.072**	.089**
					0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Extent of damage					1.000	.074**	.012**	-.100**	.311**	.064**	.090**	-0.006	-.031**	.363**	.273**
						0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.105	0.000	0.000	0.000
Occupant's age						1.000	.258**	.150**	-.053**	-.139**	-.123**	.211**	.288**	.206**	.203**
							0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Vehicle curb weight							1.000	.235**	-.011**	.116**	.103**	.049**	0.002	-.074**	-.101**
								0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.616	0.000	0.000
Vehicle registration year								1.000	-.092**	-.076**	-.168**	-.020**	.042**	0.005	.016**
									0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.158	0.000
EBS									1.000	.165**	-0.003	-.107**	-.111**	.514**	.455**
										0.000	0.464	0.000	0.000	0.000	0.000
Occupant's gender										1.000	.706**	.319**	.021**	-.105**	-.078**
											0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Occupant's height											1.000	.389**	-.037**	-.160**	-.190**
												0.000	0.000	0.000	0.000
Occupant's weight												1.000	.898**	-.056**	-.079**
													0.000	0.000	0.000
Occupant's BMI													1.000	.016**	-0.007
														0.000	0.051
MAIS														1.000	.912**
															0.000
ISS															1.000

Table. 8-6: Pearson’s product-moment correlation for NASS-CDS f-SVC

Upper: Pearson's product-moment correlation
Lower: p-value
** p < 0.01, * p < 0.05

	Δ V	Seat belt use	Multiple impact	Rollover	Extent of damage	Occupant's age	Vehicle curb weight	Vehicle registration year	EBS	Occupant's gender	Occupant's height	Occupant's weight	Occupant's BMI	MAIS	ISS
Δ V	1.000	-.099**	-.034**	-.155**	.382**	-.019**	.021**	-.074**	.982**	.125**	.127**	.064**	.009**	.378**	.326**
		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Seat belt use		1.000	0.002	-.107**	-.072**	-.008**	-.008**	.125**	-.106**	-.143**	-.099**	-.066**	-.024**	-.321**	-.337**
			0.170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Multiple impact			1.000	.396**	-.020**	-.075**	-.083**	.175**	-.025**	-.067**	-.090**	-.220**	-.210**	.022**	-.008**
				0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Rollover				1.000	-.048**	-.082**	.004**	.058**	-.150**	-.036**	-.060**	-.088**	-.071**	.033**	.015**
					0.000	0.000	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Extent of damage					1.000	.088**	.094**	.069**	.357**	.068**	.078**	.047**	.007**	.261**	.209**
						0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Occupant's age						1.000	.111**	.070**	-.033**	-.125**	-.138**	0.003	.083**	.195**	.159**
							0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.094	0.000	0.000	0.000
Vehicle curb weight							1.000	.044**	.018**	.055**	.052**	.171**	.182**	-.058**	-.031**
								0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Vehicle registration year								1.000	-.077**	-.227**	-.067**	-.128**	-.127**	-.031**	-.073**
									0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
EBS									1.000	.146**	.132**	.064**	.006**	.369**	.326**
										0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Occupant's gender										1.000	.670**	.470**	.201**	.070**	.092**
											0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Occupant's height											1.000	.534**	.091**	.066**	.055**
												0.000	0.000	0.000	0.000
Occupant's weight												1.000	.885**	.103**	.122**
													0.000	0.000	0.000
Occupant's BMI													1.000	.082**	.111**
														0.000	0.000
MAIS														1.000	.912**
															0.000
ISS															1.000

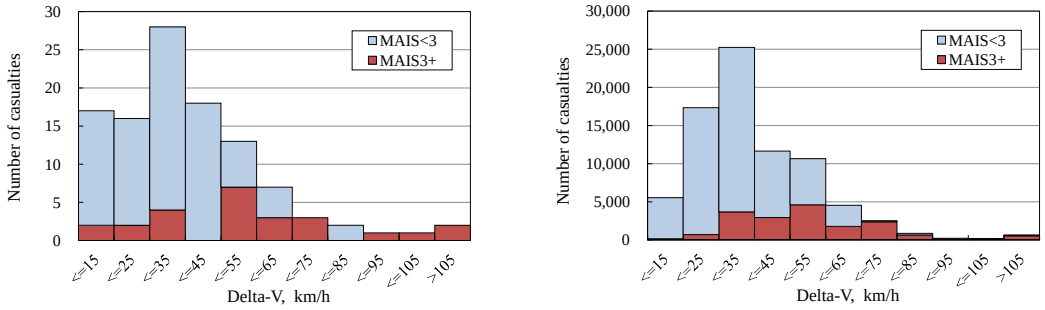
8.3　比較分析結果

8.3.1　ヒストグラムによる因子別分布比較

分析対象とした因子に関して，ヒストグラムによる日本と米国の分布差の比較を行った．代表的な因子について以下に示す．その他の因子を含めた各因子の分類および平均値と標準偏差については，付録 E に数値を示す．

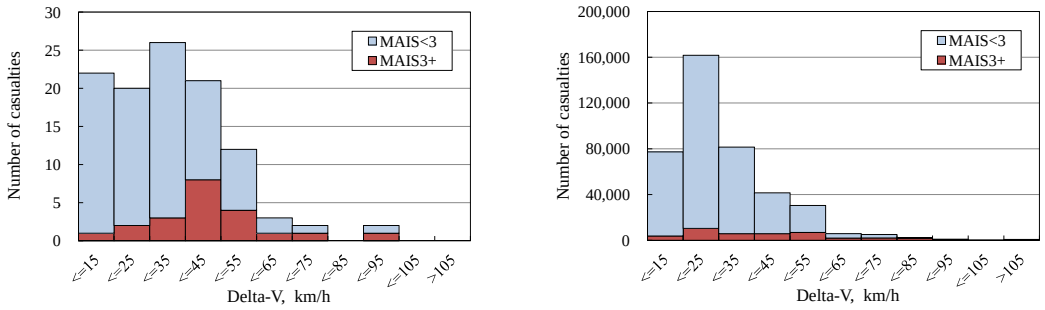
(1) ΔV

図 8-2，図 8-3 に日米の各事故データベースから抽出された正面衝突，車両単独の前面衝突に関して，ΔV のヒストグラムを示す．日本の ΔV の分布は，米国の分布と概ね類似しているが，ΔV が 15km/h 以下の条件では，日本の方が分布が多くなっている傾向が見られる．この要因として，各データベースに対するサンプル条件が考えられる．ITARDA ミクロデータでは，調査エリアが限定され調査数が限定されているため，ΔV の高い事故は，多く抽出されにくいと考えられる．一方，米国の NASS-CDS データは，より重篤な傷害の事故に重きをおいたサンプリング調査となっているため，ΔV が低い軽微な事故は，調査対象から外されやすいことが推測される．



(a) ITARDA Micro Data　　(b) NASS-CDS weighted

Fig. 8-2: Histogram of ΔV for H-on

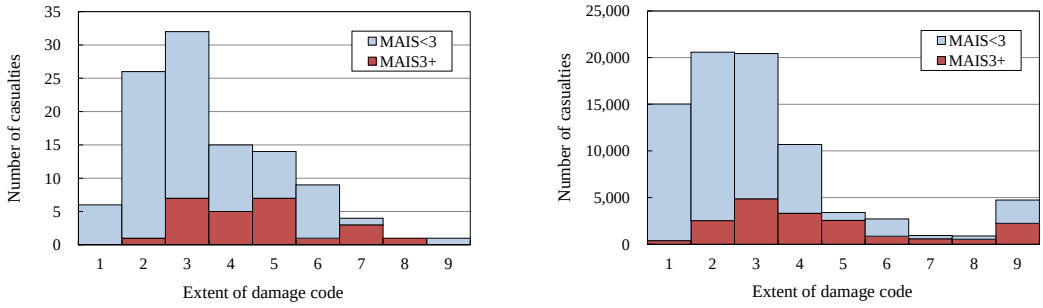


(a) ITARDA Micro Data　　(b) NASS-CDS weighted

Fig. 8-3: Histogram of ΔV for f-SVC

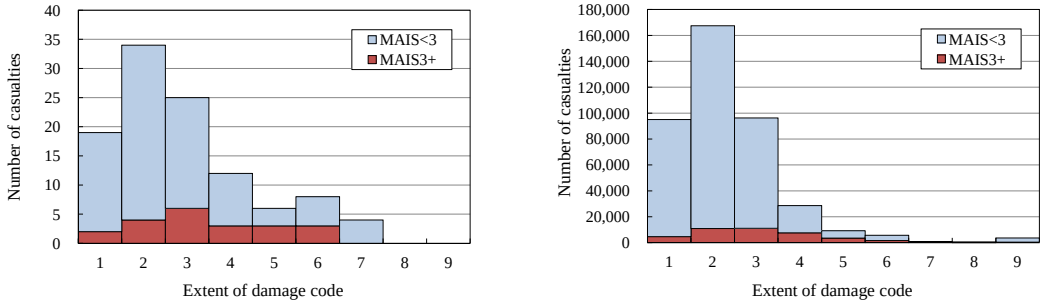
(2) 車体破損コード（Extent of damage code）

同様に，図 8-4，図 8-5 に日米の各事故データベースから抽出された CDC で定義されている車体破損コードのヒストグラムを示す．車体破損コードは，CDC により定義されており，車体変形量を方向別に 9 段階で定義されている．日本の分布も米国の分布も，車体破損コードは概ね 2～3 付近にピークがあり，全体分布形状としては一致している．ただし，日本の正面衝突にて，最も破損が少ない 1 レベルの事故が少ない傾向にある．これは ITARDA ミクロデータのサンプル数の少ないことによるばらつきと考える．一方，米国では最も破損が大きい 9 レベルの事故が 7～8 レベルよりも多く見られる．これもサンプリングの影響で，米国では重篤となる事故を優先して抽出している影響が現れていると考える．車体破損が大きくなるほど，乗員傷害が MAIS3+となる事故の割合が大きくなる傾向があり，傷害評価には日本も米国も車体の変形を考慮する必要性が高いことが伺われる．



(a) ITARDA Micro Data　　(b) NASS-CDS weighted

Fig. 8-4: Histogram of extent of damage code for H-on

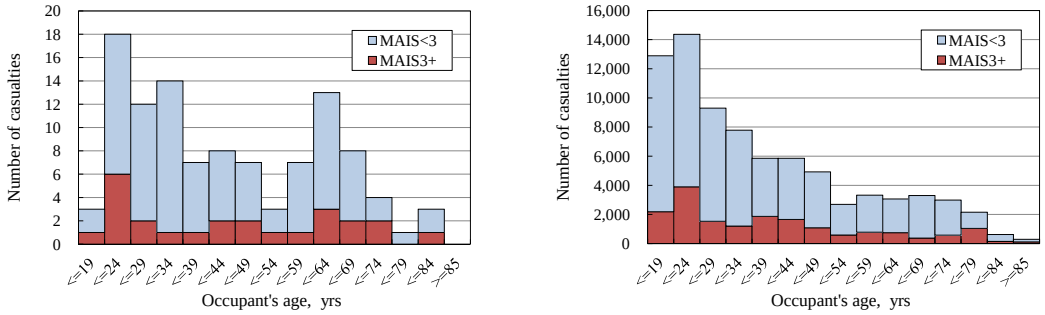


(a) ITARDA Micro Data　　(b) NASS-CDS weighted

Fig. 8-5: Histogram of extent of damage code for f-SVC

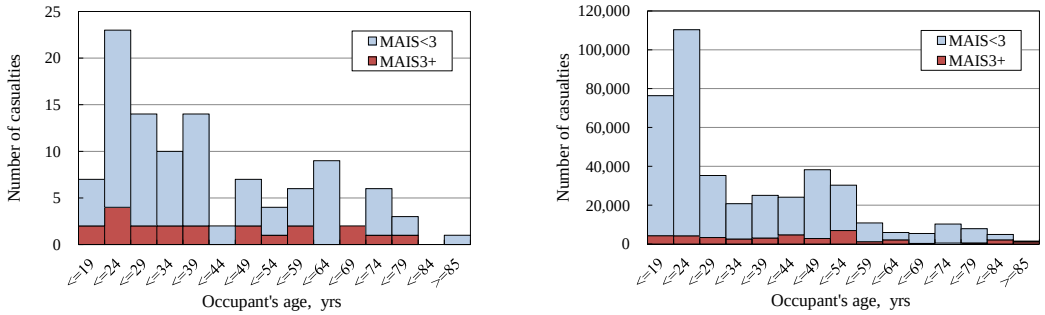
(3) 乗員の年齢

同様に，図 8-6，図 8-7 に日米の各事故データベースから抽出された乗員の年齢のヒストグラムを示す．日本の乗員の年齢の分布は，若者層の 20 歳代と高齢層の 60 歳代にて二峰性のある特徴が見られる．これは，経験のまだ浅い若者ドライバー層の事故件数増加と，少子高齢化に伴い傷害を負うリスクの高い高齢層の死傷事故増加が影響として考えられる [107, 108, 109]．一方，米国の NASS-CDS の分布は，10 代の死傷者の割合が高く，高齢者のピークは顕著に見られない．したがって，米国の事故データを日本の事故として活用する場合は，高齢乗員の影響が小さくなっていることに留意しておく必要がある．



(a) ITARDA Micro Data　　(b) NASS-CDS weighted

Fig. 8-6: Histogram of occupant’s age for H-on

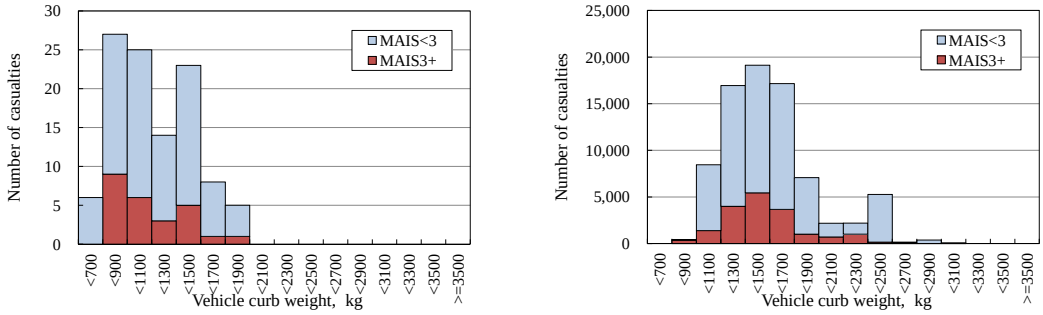


(a) ITARDA Micro Data　　(b) NASS-CDS weighted

Fig. 8-7: Histogram of occupant’s age for f-SVC

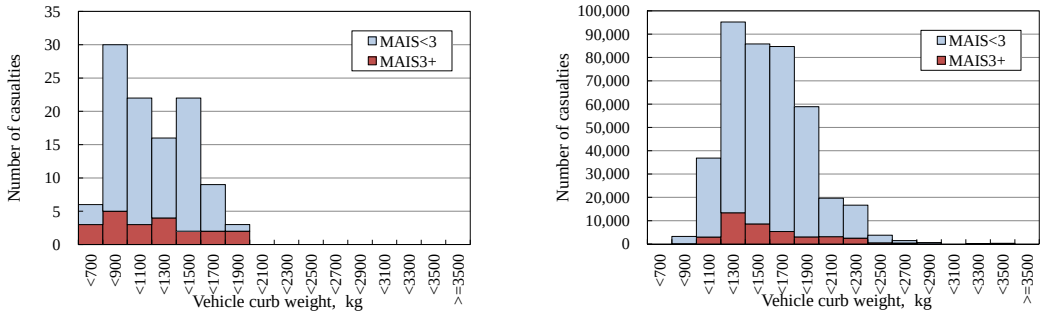
(4) 車両空車質量

図 8-8，図 8-9 に日米の各事故データベースから抽出された車両空車質量のヒストグラムを示す．日本の車両空車質量の分布は，米国の分布と類似していない．米国の車両空車質量の方が，日本の車両空車質量より大きい．日本の車両空車質量の平均は，1,121.5kg（正面衝突データ）に対し，米国の平均は，1,504.9kg（正面衝突データ）である．日本では，軽自動車などの小型な乗用車が多く使用されており，米国の自動車保有状況と大きく異なる．したがって，米国の事故データを日本の事故として活用する場合は，車両空車質量の小さい車両の影響が少なくなっていることに留意しておく必要がある．



(a) ITARDA Micro Data　　(b) NASS-CDS weighted

Fig. 8-8: Histogram of vehicle curb weight for H-on

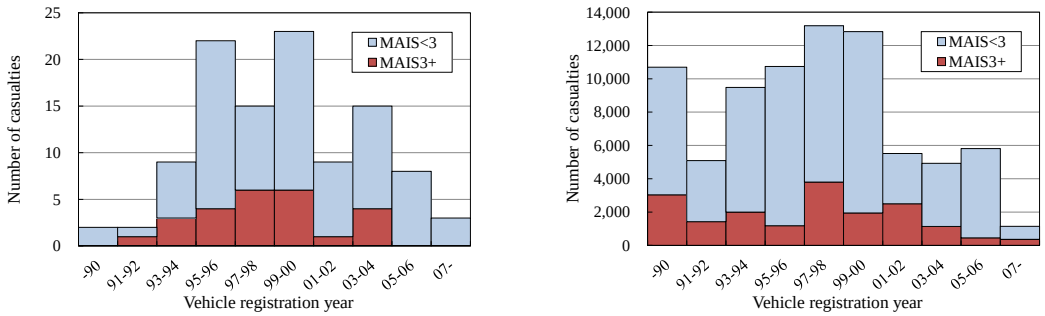


(a) ITARDA Micro Data　　(b) NASS-CDS weighted

Fig. 8-9: Histogram of vehicle curb weight for f-SVC

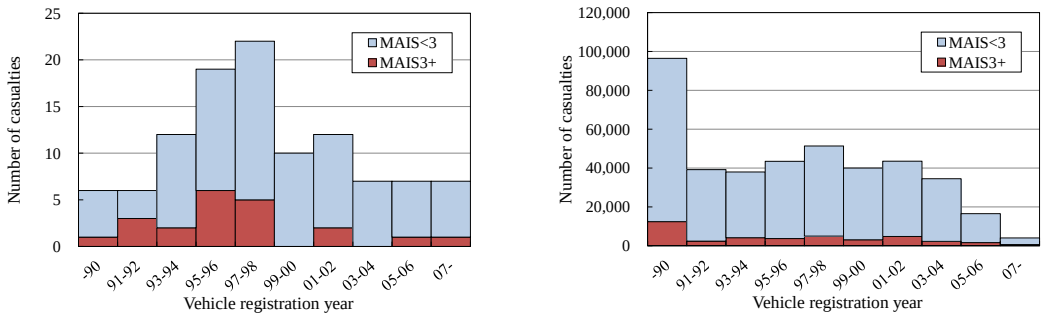
(5) 車両登録年

図 8-10，図 8-11 に日米の各事故データベースから抽出された車両登録年のヒストグラムを示す．サンプリングした事故は，2000 年～2009 年の事故であるため，日本も米国も 1995 年～2000 年の登録年の車両が多くみられる．ただし，米国では 1990 年以前の車両がかなり多く見られ，使用年数が 10 年以上の車両による事故がかなり多い傾向がある．平均車両登録年で見ると日本の平均車両登録年は 1999.0 年（正面衝突データ）、米国は 1996.5 年（正面衝突データ）となっており、米国の車両の方が車両登録年が 3 年程度古い分布となっている。また，後述のオッズ比の解析で分析するが，日本では車両登録年の浅い車両の方が乗員傷害が MAIS3+となる事故の割合がやや少なくなる傾向が見られる．米国では，車両登録年の差はあまり顕著ではない．



(a) ITARDA Micro Data　　(b) NASS-CDS weighted

Fig. 8-10: Histogram of vehicle registration year for H-on

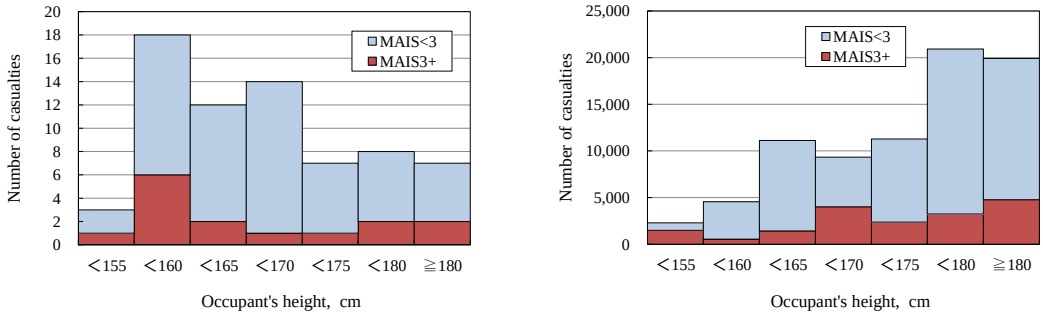


(a) ITARDA Micro Data　　(b) NASS-CDS weighted

Fig. 8-11: Histogram of vehicle registration year for f-SVC

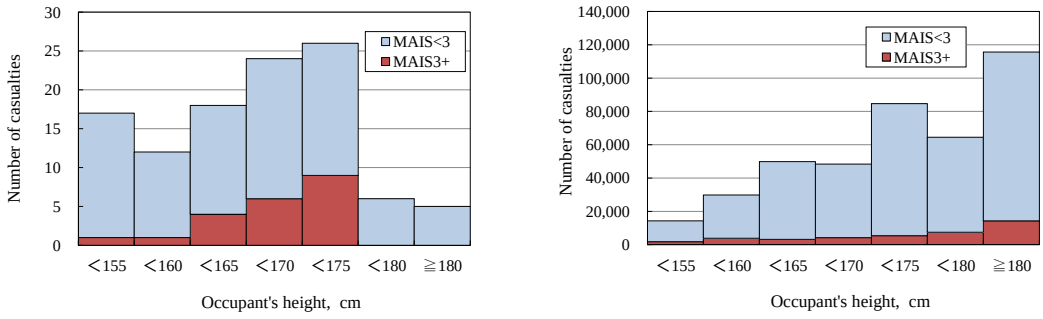
(6) 乗員の身長

図 8-12，図 8-13 に日米の各事故データベースから抽出された乗員の身長のヒストグラムを示す．乗員の身長は，日本と米国で大きく異なる．米国の分布の方が身長が高く，175cm 以上の乗員が半数近くを占めている．各事故データベースによる日本の平均身長は 162.6cm（正面衝突データ）に対し，米国の平均身長は 173.0cm（正面衝突データ）となっている．一方，日本の分布は，170cm 付近と 160cm 以下が多く，男性と女性の 2 つのピークが見られる特徴を持つ．男性と女性のピークは，米国の男女全体の分布の中では顕著となっていない．したがって，例えば身長 155cm 未満となるような小柄な女性の事故を分析する場合，米国の事故データーでは全体の中では占める割合が非常に少なく，分析に不適切となる可能性が高いといえる．身長の影響に注視する場合は留意しておく必要がある．



(a) ITARDA Micro Data　　(b) NASS-CDS weighted

Fig. 8-12: Histogram of occupant’s height for H-on

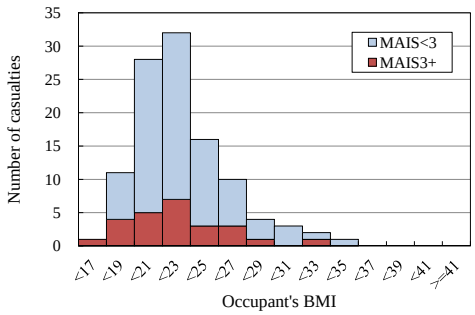


(a) ITARDA Micro Data　　(b) NASS-CDS weighted

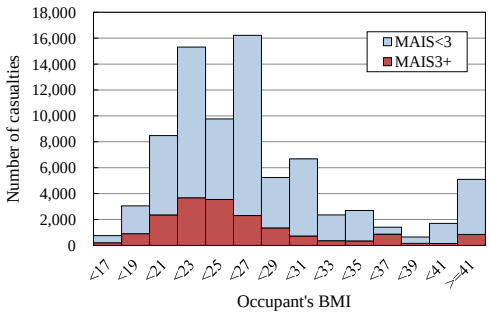
Fig. 8-13: Histogram of occupant’s height for f-SVC

(7) 乗員の BMI

図 8-14，図 8-15 に日米の各事故データベースから抽出された乗員の BMI のヒストグラムを示す．日本の乗員の BMI の分布は，米国の分布と類似していない．米国の乗員の BMI の方が，日本の乗員の BMI より大きい．各事故データによる日本の乗員の BMI の平均は 22.4（正面衝突データ）に対し，米国の平均は 26.7（正面衝突データ）である．Augenstein ら [80] は，NASS-CDS データを用いて，乗員の BMI の影響について研究し，BMI の高い乗員は傷害リスクが高い傾向にあることを報告している．しかしながら，ITARDA ミクロデータの分析による BMI の影響は確認できなかった．日本の BMI の分布範囲は，米国に比べて小さい値に狭く限定されていることが影響していると考えられる．この体型差についても，日本と米国の事故データの差異として留意しておく必要がある．

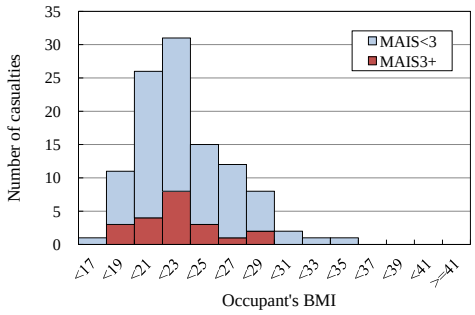


(a) ITARDA Micro Data

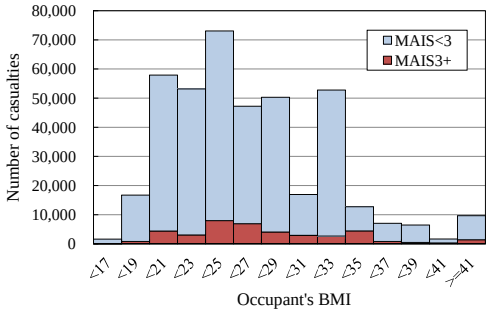


(b) NASS-CDS weighted

Fig. 8-14: Histogram of occupant’s BMI for H-on



(a) ITARDA Micro Data

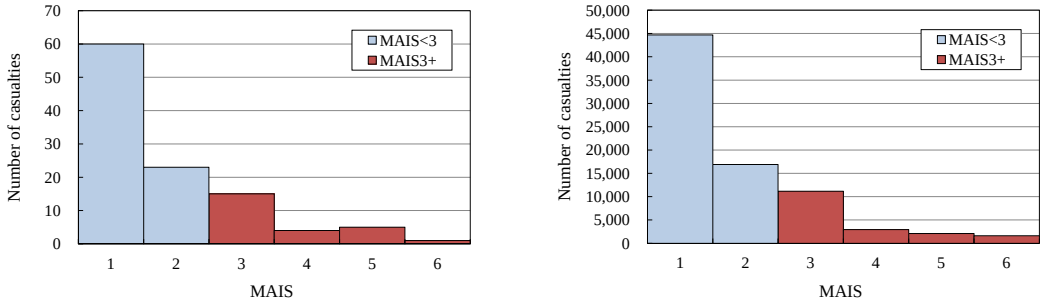


(b) NASS-CDS weighted

Fig. 8-15: Histogram of occupant’s BMI for f-SVC

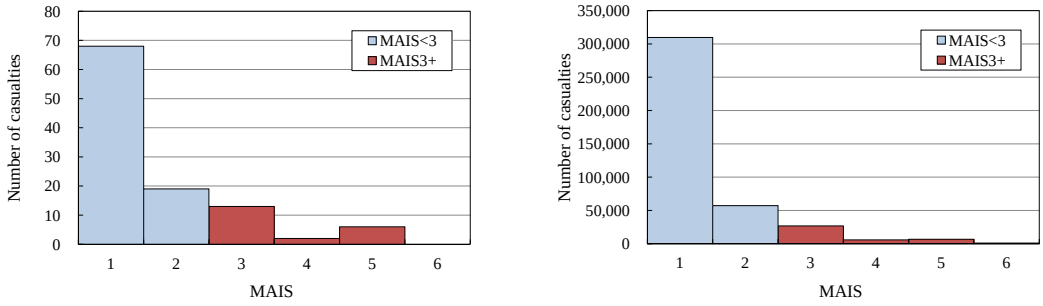
(8) MAIS

図 8-16，図 8-17 に日米の各事故データベースから抽出された乗員の MAIS のヒストグラムを示す．MAIS の平均値は，正面衝突データでは，日本は 1.8，米国は 1.8 であり，車両単独前面衝突データでは，日本は 1.7，米国は 1.4 である．日本と米国の事故分布は類似していると考える．ITARDA ミクロデータは，サンプル数自体が少ないため MAIS の高い事故数が非常に少ない状況となっている．重症以上である MAIS≥3 の判定分析には問題はないと考えるが，MAIS≥5 となるより重篤な傷害判定などには，サンプル数が少ないことによる誤差が見込まれる．



(a) ITARDA Micro Data　　(b) NASS-CDS weighted

Fig. 8-16: Histogram of occupant’s MAIS for H-on



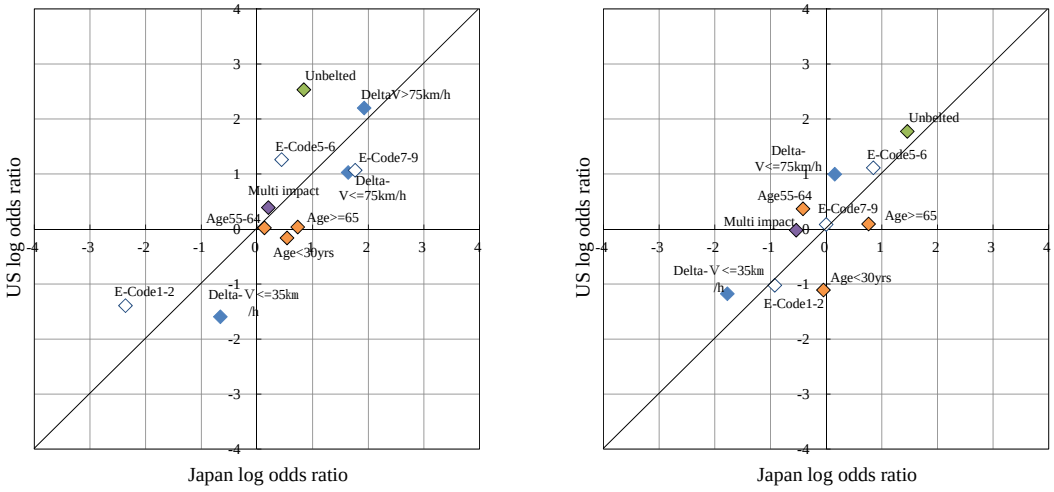
(a) ITARDA Micro Data　　(b) NASS-CDS weighted

Fig. 8-17: Histogram of occupant’s MAIS for f-SVC

8.3.2　各因子に対するオッズ比の比較

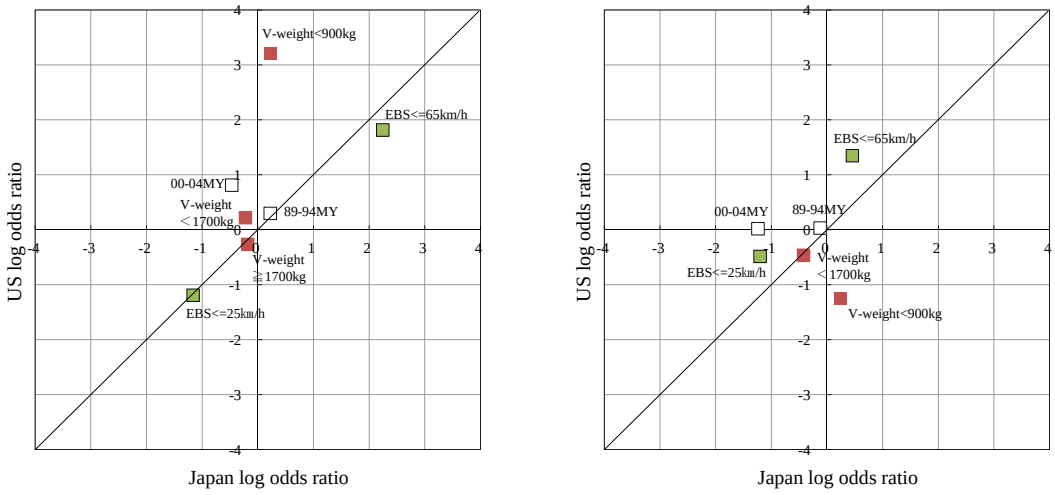
各因子に対して，グループ別に MAIS3+に対するオッズ比の日本と米国の比較結果を図 8-18 ～図 8-20 に示す．傷害予測因子であるグループ A に関しては，図 8-18 に示すように，日本と米国の MAIS≥3 に対するオッズ比は類似していると考える．Δ*V* やシートベルト非着用のオッズ比は高い傾向にある．

車両の因子であるグループ B に関しては，図 8-19 に示すように，オッズ比が日本と米国で異なる因子が見られる．正面衝突の車両空車質量に対して，900kg 未満のカテゴリーのオッズ比は，日本に対しては大きくないが，米国では大きくなっている．これは，8.3.1 項の車両空車質量の分布比較で見られたように，米国の車両空車質量が日本より大きいため，米国では質量の小さい車両の傷害リスクが日本より高くなっていることが考えられる．乗員の因子であるグループ C に関しては，図 8-20 に示すように，乗員の身長，特に低い身長（155cm 未満のカテゴリー）にて，日本と米国のオッズ比が大きく異なる傾向が見られる．正面衝突と車両単独事故でオッズ比の傾向に差は見られるが，感度が大きい因子となっている．差異の要因については今後の課題ではあるが，乗員の身長は傷害との関係において留意しておく必要がある．



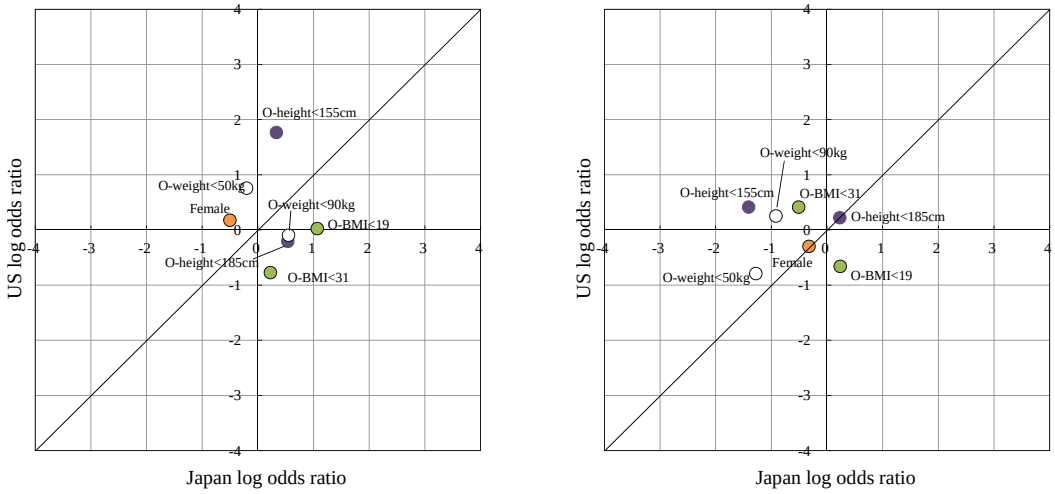
(a) H-on　　(b) f-SVC

Fig. 8-18: Comparison of log odd ratio on group A factors, E-code: Extent of damage code



(a) H-on　　(b) f-SVC

Fig. 8-19: Comparison of log odd ratio on group B factors, V-weight: Vehicle curb weight, MY: Vehicle registration year



(a) H-on　　(b) f-SVC

Fig. 8-20: Comparison of log odd ratio on group C factors, O-height: Occupant's height, O-BMI: Occupant's BMI

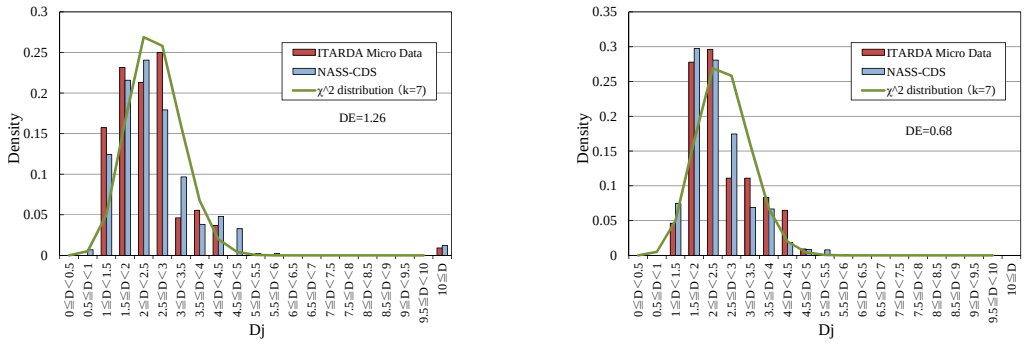
8.3.3　マハラノビス距離による多次元分布比較

各グループの組み合わせ別に，ITARDA ミクロデータと NASS-CDS データに関してマハラノビス距離を用いて多次元的分布を比較した．その結果を図 8-21～図 8-23 に示す．

乗員傷害予測の因子と傷害結果の因子であるグループ A と D の因子を組み合わせた場合（7 因子），ITARDA ミクロデータから見たマハラノビス距離の分布の比較結果を図 8-21 に示す．正面衝突，車両単独事故共に日本と米国のマハラノビス距離の分布は類似し，自由度 7 の χ^2 分布にもほぼ一致している．マハラノビス距離の分布の平均値の差を表す判別効率（Discriminant Efficiency：DE）を分析すると，正面衝突では 1.26，車両単独事故では 0.68 と小さな値であり，両者の分布はほぼ等しいと判断される．したがって，これらの因子を用いる乗員傷害予測などの分析を行う場合，NASS-CDS データは日本の事故として分析しても，有益な結果が得られると考える．

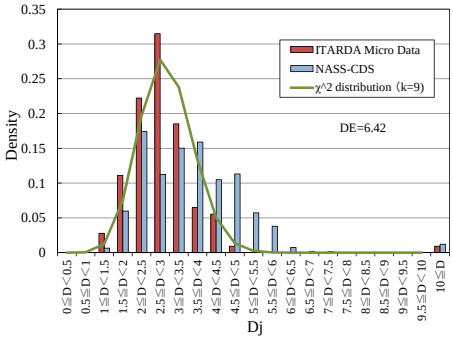
次に，車両の因子であるグループ B を加えたグループ A，B および D の因子の組み合わせた場合（9 因子）のマハラノビス距離の分布の比較結果を図 8-22 に示す．日本と米国のマハラノビス距離の分布は，異なる傾向が強くなる．判別効率を分析すると，正面衝突では 6.42，車両単独事故では 3.33 となり，グループ A と D に比べて分布の差が大きくなっている．さらに，乗員の因子であるグループ C を加えた全ての因子を考慮した場合（11 因子）の比較結果を図 8-23 に示す．判別効率は，前面衝突で 15.78，車両単独事故で 9.85 とさらに差が大きくなり，両者の分布の差は大きくなり，NASS-CDS データは χ^2 分布からも大きく外れてくる．したがって，車両の質量や乗員の身長などの影響を考慮して分析する場合は，NASS-CDS データを日本の事故として扱う分析はできないと考えられる．乗員傷害予測に関しても，日本特有のこれらの影響については NASS-CDS データによる解析では精度が良くないことが懸案される．

また，全ての因子を考慮した場合の各事故サンプルデータに対して，ITARDA ミクロデータからのマハラノビス距離（D_j），NASS-CDS データからのマハラノビス距離（D_u）の関係を図 8-24 に示した．ここで，NASS-CDS データに関しては各事故サンプルに対して重み値があるためその大きさを円の面積で表示してある．この図から，日本の事故は，米国の事故分布に含まれているが，米国の分布の中心にはないことが分かる．したがって，NASS-CDS データを日本の事故として活用する場合，より適切な結果を得るためには日本の分布から離れた事故を除外して分析することが必要であると考えられる．

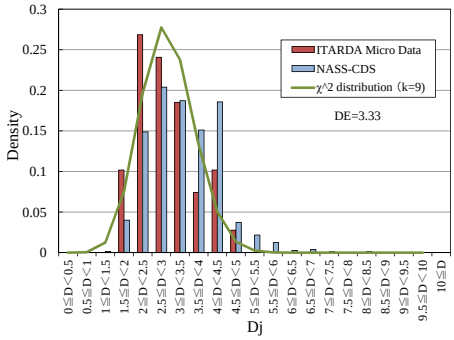


(a) H-on　　(b) f-SVC

Fig. 8-21: Distributions of MD from the ITARDA Micro Data, A+D factors (k=7)

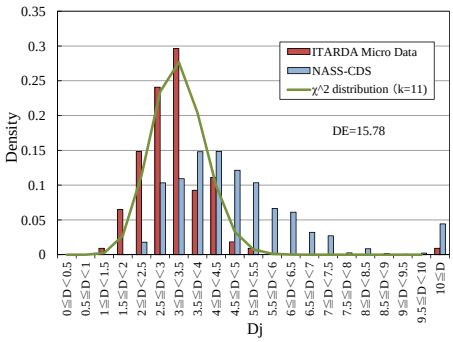


(a) H-on

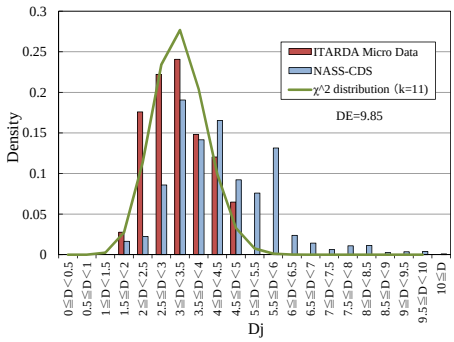


(b) f-SVC

Fig. 8-22: Distributions of MD from the ITARDA Micro Data, A+B+D factors (k=9)

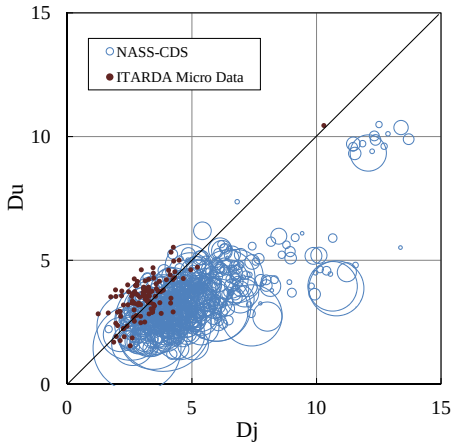


(a) H-on

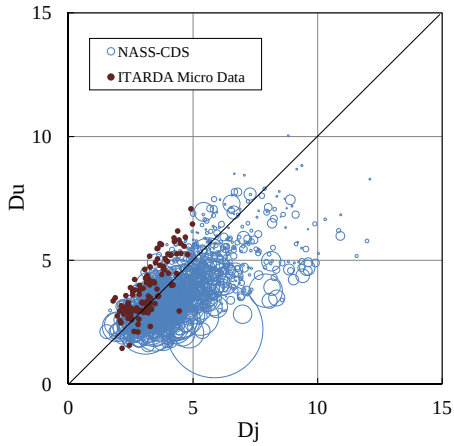


(b) f-SVC

Fig. 8-23: Distributions of MD from the ITARDA Micro Data, A+B+C+D factors (k=11)



(a) H-on



(b) f-SVC

Fig. 8-24: Distributions of MD from the ITARDA Micro Data (Dj) and the NASS-CDS (Du), A+B+C+D factors (k=11)

8.4 乗員傷害予測結果の日米比較

8.4.1 比較手法と比較対象

前節にて ITARDA ミクロデータと NASS-CDS データの分布の差異について論じてきた．ここで，実際の乗員傷害予測式を適用した場合の具体的な差異について比較分析を行った．比較に用いる乗員傷害予測式は，3.7.1 項で引用した米国事故データから求められた URGENCY アルゴリズムとする．比較に用いる事故データは，前章までの対象に対して傷害予測因子の情報の欠損がないものを加えた表 8-7 に示す 4 つの事故形態とし，ITARDA ミクロデータと重み付き NASS-CDS データの予測結果を比較する．URGENCY アルゴリズムは，NASS-CDS を用いて構築されているため，NASS-CDS データへの適用結果は，リファレンス値として扱う．また，重症度判定は，CDC-US にて推奨されているカットオフ値 0.2 を用いた [102]．なお，それぞれの事故データから収集した各因子に対する詳細一覧を付録 F に示す．

Table. 8-7: Data sources of Japan and the U.S. for comparison using URGENCY algorithm

	ITARDA Micro Data 2000 – 2009		NASS-CDS 2000 – 2009		
Accident type	CDC code	unweighted	CDC code	unweighted	weighted
H–on [a)]	11F – 01F	133	11F – 01F	678	89,126
f–SVC [b)]	11F – 01F	116	11F – 01F	1,697	431,045
Nearside [c)]	02R – 04R	93	08L – 10L	406	99,743
Farside [d)]	08L – 10L	136	02R – 04R	342	75,373
Total		478		3,123	695,287

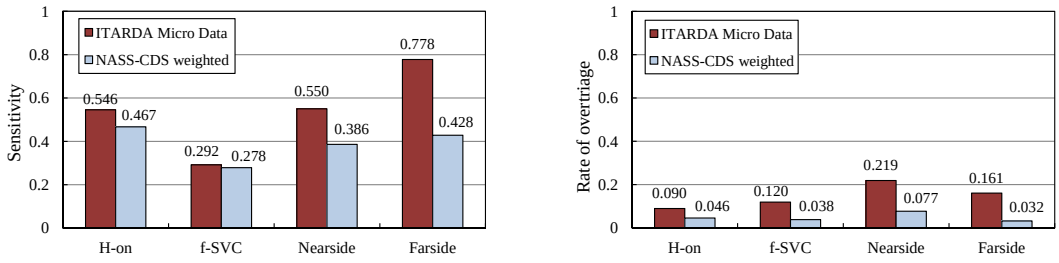
[a)] Head-on collision
[b)] Frontal single-vehicle collision
[c)] Nearside crash
[d)] Farside crash

8.4.2 感度とオーバートリアージ率の比較

図 8-25 に重症度判定のカットオフ値を 0.2 とした場合の URGENCY アルゴリズムを用いた乗員傷害予測に対する予測感度とオーバートリアージ率を示す．正面衝突および車両単独前面衝突に対しては，ITARDA ミクロデータに対する感度と NASS-CDS に対する感度はほぼ等しい結果となった。また，オーバートリアージ率は，ITARDA ミクロデータ，NASS-CDS 共に非常に低いが，ITARDA ミクロデータに対しての方が，NASS-CDS に対してより 2〜3 倍高い結果となった．

一方，Nearside 側突，Farside 側突に対しては，ITARDA ミクロデータに対する感度は，NASS-CDS に対する感度より約 1.5 倍高く，オーバートリアージに関しては，ITARDA ミクロデータは，NASS-CDS より 3〜5 倍高い結果となった．

これらの結果から，URGENCY アルゴリズムの予測結果は，前面衝突に対しては，日本と米国はほぼ同等に予測されると考えられるが，側面衝突に対してはやや異なり，日本は米国より感度もオーバートリアージ率も悪化する結果であった．この側面衝突に対する差異の要因として，日米の車両質量の分布差や乗員の年齢差などが考えられる．



(a) Sensitivity　　(b) Rate of overtriage

Fig. 8-25: Comparison of ITARDA Micro Data and NASS-CDS weighted for each crash type

8.4.3　アンダートリアージとなる事故

乗員傷害予測結果がアンダートリアージとなる事故は，傷害予測上は重症ではないと判定したが，実際には重症の傷害を負ってしまっている事故である．乗員傷害予測精度向上により発生するアンダートリアージ事故を減らしていくことは，防ぎ得た事故死の削減につながる重要なことである．各衝突形態に対して，傷害予測結果がアンダートリアージとなる事故を抽出し，その特徴を整理した．

（1）正面衝突

表 8-8 に各事故データベースに対する正面衝突のアンダートリアージ事故の主な特徴と該当する事故数を示す．ここで，それぞれの事故ケースは，複数の特徴に該当する場合や，どれにも該当しない場合もあり，該当数の和および比率の和は，必ずしも全体とは一致してしない分類となっている．正面衝突に対するアンダートリアージ事故は，エアバック非展開（エアバック仕様無しを含む）の事故，大型車との衝突事故が多い．分析対象とした全事故ケースにおけるエアバック非展開または仕様無しの比率は，ITARDA ミクロデータでは約 41 %，NASS-CDS では約 25 %であり，アンダートリアージ事故として抽出された事故における比率の方が共に高い結果となっている．エアバックは基本的にはほとんど全車に仕様が設定されてきているため，将来的にはこのような事故も減少すると推測されるが，現時点ではまだ注目される特徴であるといえる．

また，軽乗用車または空車質量が 900kg 未満の車両の事故や，小柄な（身長 155cm 未満）女性の事故が ITARDA ミクロデータ事故からアンダートリアージ事故として抽出されている．これらの事故特徴に対する乗員傷害予測精度の向上は，日本に対する予測精度課題の一つと考える．

Table. 8-8: Undertriage cases in H-on

	ITARDA Micro Data		NASS-CDS weighted	
Characteristics	Number	%	Number	%
Without airbag deployment (including no airbag)	7	46.7 %	3,810	34.7 %
Heavy truck impacts	3	20.0 %	3,276	29.9 %
Kei-cars (or light vehicles < 900kg)	8	53.3 %	115	1.0 %
Short-statured female drivers (<155cm)	4	26.7 %	594	5.4 %
Total	15		10,966	

(2) 車両単独前面衝突

同様に，表 8-9 に各事故データベースに対する車両単独前面衝突のアンダートリアージ事故の主な特徴と該当する事故数を示す．車両単独前面衝突に対するアンダートリアージ事故は，正面衝突と同様の特徴を持つ事故が見られ，エアバック非展開（エアバック仕様無しを含む）の事故が多い．電柱や街路樹との前面ポール衝突事故は，日本と米国の両者で見られるが，特に米国で多く見られる．これは比較対象とした事故サンプル数の影響が考えられる．車両単独前面衝突事故のうち，前面ポール衝突事故が占める割合は，ITARDA ミクロデータでは約 35 %，NASS-CDS では 48 %となっており，米国の方が前面ポール衝突事故の割合が多いことがいえる．この影響から，アンダートリアージ事故に占める前面ポール事故の割合が米国の方が多くなっていると考えられる．また，前面ポール衝突事故に対する乗員傷害予測には予測精度上の課題があった．第 4 章で分析した結果から，電柱と車両前部の衝突位置と電柱の折損状況が傷害リスクへ影響を及ぼしており，これらの考慮が必要であった．さらに，Augenstein ら [41] も NASS-CDS を用いた分析から，予測精度が良くない事故事例として前面ポール衝突事故を挙げていた．電柱と車両前部の衝突位置や電柱の折損状況を衝突中または衝突直後に自動的に把握することは，現時点での乗員傷害予測手法では困難であり，精度向上に向けて検討すべき課題の一つと考える．

また，軽乗用車または空車質量が 900kg 未満の車両の事故についても，正面衝突と同様に，ITARDA ミクロデータ事故からアンダートリアージ事故として抽出されている事故であり．これらの事故特徴に対する乗員傷害予測精度の向上は，前面衝突共通として日本に対する予測精度課題の一つと考える．

Table. 8-9: Undertriage cases in f-SVC

	ITARDA Micro Data		NASS-CDS weighted	
Characteristics	Number	%	Number	%
Without airbag deployment (including no airbag)	9	52.9 %	15,501	46.5 %
Frontal pole impacts (pole, tree)	3	17.6 %	20,040	60.2 %
Kei-cars (or light vehicles < 900kg)	7	41.2 %	186	0.6 %
Short-statured female drivers (<155cm)	1	5.9 %	1,254	3.8 %
Total	17		33,300	

（3）Nearside 側突

同様に，表 8-10 に各事故データベースに対する Nearside 側突のアンダートリアージ事故の主な特徴と該当する事故数を示す．Nearside 衝突に対するアンダートリアージ事故は，大型車との衝突，SUV による側突や高齢の運転者（55 歳以上）が見られる．大型の車両により側突された場合，ドアやピラーの車体変形が大きくなり，衝突側のドアに近い乗員は，ドアなどの干渉により傷害リスクがより高くなる．傷害予測因子の ΔV は，車体変形とも関係しているため，それによる傷害リスクも評価してはいるが，URGENCY アルゴリズムには，直接，車室内侵入を評価する因子は含まれていない．乗員傷害予測精度向上にはドアの侵入量などの情報を考慮する必要があると考える．高齢者に対する傷害リスクの要因は，若者に比べて骨耐性が低下していることが考えられ，特に胸部の耐性低下がいわれている [21]．Nearside 側突では，ドアなどの侵入が乗員の胸部などに直接干渉して発生する傷害が多いため，加齢による傷害リスクの影響が大きく現れやすいことが推測される．このように，乗員傷害予測精度向上には，年齢の因子を考慮することが重要と考える．

また，ITARDA ミクロデータには高齢の小柄な女性の項目も前面衝突と同様に見られるが，抽出された事故事例が非常に少ないため，特徴として断定はできない．

Table. 8-10: Undertriage cases in Nearside

	ITARDA Micro Data		NASS-CDS weighted	
Characteristics	Number	%	Number	%
Heavy truck impacts	5	55.6 %	1,552	24.6 %
SUV impacts	2	22.2 %	1,559	24.6 %
Elderly drivers (55+ yrs old)	5	55.6 %	4,601	74.2 %
Short-statured female drivers (<155cm)	1	11.1 %	109	1.8 %
Total	9		6,198	

（4）Farside 側突

表 8-11 に各事故データベースに対する Farside 側突のアンダートリアージ事故の主な特徴と該当する事故数を示す．Farside 衝突に対するアンダートリアージ事故も，Nearside 側突と同様に，大型車との衝突，SUV による側突や高齢の運転者（55 歳以上）が見られる．高齢者に対する割合は，Nearside 側突より少ない傾向が見られる．これは，Farside 側突の場合は，乗員と反対側から衝突される形となるため，Nearside 側突のようにドアなどが直接胸部と干渉することが少なくなる影響が考えられる．

また，ITARDA ミクロデータには高齢の小柄な女性の項目も同様に見られるが，Farside 側突に関しても，抽出された事故事例が非常に少ないため，特徴として断定はできない．

Table. 8-11: Undertriage cases in Farside

	ITARDA Micro Data		NASS-CDS weighted	
Characteristics	Number	%	Number	%
Heavy truck impacts	2	50.0 %	304	17.9 %
SUV impacts	2	50.0 %	558	34.6 %
Elderly drivers (55+ yrs old)	2	50.0 %	748	44.0 %
Short-statured female drivers (<155cm)	1	25.0 %	13	0.8 %
Total	4		1,701	

8.4.4 オーバートリアージとなる事故

乗員傷害予測結果がオーバートリアージとなる事故は，傷害予測上は重症と判定したが，実際には重症の傷害を負っていない事故である．これらのケースは，救急医療体制のキャパシティに影響を与える．実際の事故に対しては，ある程度のオーバートリアージは容認する必要があるが，高いオーバートリアージ率は救急医療体制に大きな負荷を与えることになる．したがって，AACN にとって感度とオーバートリアージ率のバランスを図ることは大切である．各衝突形態に対して，傷害予測結果がオーバートリアージとなる事故を抽出し，その特徴を整理した．アンダートリアージの分析と同様に，それぞれの事故ケースは，複数の特徴に該当する場合や，どれにも該当しない場合もあり，該当数の和および比率の和は，必ずしも全体とは一致してしない分類となっている．

（1）正面衝突

表 8-12 に各事故データベースに対する正面衝突のオーバートリアージ事故の主な特徴と該当する事故数を示す．正面衝突に対するオーバートリアージ事故は，30 歳未満の若者運転者の事例が多い．URGENCY アルゴリズムは，若者の乗員に対しての傷害リスクを高めに評価していると考えられ，乗員傷害予測精度向上に対する年齢の考慮は必要である．Augenstein ら [42] は，年齢を考慮した乗員傷害予測式の研究を行っているが，実際の AACN には自動的に年齢を判断する機能を持つことができなかったため，実用化された URGENCY アルゴリズムには，年齢は考慮されていない．

また，身長 185cm 以上かつ体重が 90kg 以上の大柄な人が，NASS-CDS データに多く見られた．ITARDA ミクロデータによる分析では，体重は重い人の方が傷害リスクの低く，身長の高い人は傷害リスクが高い傾向が見られており，米国特有の大柄な乗員の傷害メカニズム解明に関しても，今後の課題と考える．さらに，シートベルトを着用，エアバックが展開した ΔV が 75km/h 以上のオーバートリアージ事故は ITARDA ミクロデータに見られた．このような事故は米国に比べて，日本では稀な事故状況と考えられ，n 増し確認が必要である．

Table. 8-12: Overtriage cases in H-on

	ITARDA Micro Data		NASS-CDS weighted	
Characteristics	Number	%	Number	%
Young drivers (<30 yrs old)	7	77.8 %	1,066	33.8 %
Belted with airbag and delta-V 75km/h+	2	22.2 %	128	4.1 %
Large drivers (185cm+ and 90kg+)	0	0 %	1,228	38.9 %
Total	9		3,157	

（2）車両単独前面衝突

同様に，表 8-13 に各事故データベースに対する車両単独前面衝突のオーバートリアージ事故の主な特徴と該当する事故数を示す．車両単独前面衝突に対するオーバートリアージ事故は，正面衝突と同様に 30 歳未満の若者運転者の事例が多い．また，NASS-CDS データでは大柄な人が多く，ITARDA ミクロデータでは防護柵（ガードレールを含む）への衝突が多く見られた．防護柵は，走行車線からの逸脱を防止するように設計されている．その他の工作物に比べて，傷害リスクを低減する効果があることが推測される．さらに，シートベルトを着用，エアバックが展開した ΔV ≥75km/h 以上のオーバートリアージ事故は，正面衝突より多い割合では見られなかった．

（3）Nearside 側突

表 8-14 に各事故データベースに対する Nearside 側突のオーバートリアージ事故の主な特徴と該

Table. 8-13: Overtriage cases in f-SVC

	ITARDA Micro Data		NASS-CDS weighted	
Characteristics	Number	%	Number	%
Young drivers (<30 yrs old)	5	45.5 %	10,868	73.6 %
Belted with airbag and delta-V 75km/h+	1	9.1 %	315	2.1 %
Large drivers (185cm+ and 90kg+)	0	0 %	2,437	16.5 %
Traffic barrier impacts (including guardrail)	3	27.3 %	326	2.2 %
Total	11		14,764	

当する事故数を示す．Nearside 側突に対するオーバートリアージ事故は，多重衝突を伴った事故が多い．多重衝突有無は，URGENCY アルゴリズムに考慮されているが，Nearside 側突に対して傷害リスクを過大に評価する傾向があることが伺われる．さらに，30 歳未満の若者運転者の事例も前面衝突と同様に多く見られ，Nearside 側突に対しても年齢の考慮は乗員傷害予測精度向上に必要な項目である．

また，高齢の小柄な女性運転者や車両空車質量が 1300kg 以上のオーバートリアージの事故事例も ITARDA ミクロデータ，NASS-CDS データ共に見られる．高齢の小柄な女性運転者は，ITARDA ミクロデータではアンダートリアージ事故，オーバートリアージ事故の両者に見られた．ITARDA ミクロデータの抽出数が少ないため，誤差が大きくなっていることが考えられる．ただし，NASS-CDS データのオーバートリアージ事故は，大きな比率となっており，米国における高齢の小柄な女性に対するオーバートリアージ要因があると推測される．第 3 章の前面衝突事故では，高齢の小柄な女性乗員に対しては，過小評価すなわちアンダートリアージとなる事故事例として挙げられており，今後詳細調査が必要である事故特徴の一つであると考える．

Table. 8-14: Overtriage cases in Nearside

	ITARDA Micro Data		NASS-CDS weighted	
Characteristics	Number	%	Number	%
Multiple impacts	12	75.0 %	3,050	44.1 %
Young drivers (<30 yrs old)	6	37.5 %	4,487	64.9 %
Short-statured female drivers (<155cm)	4	25.0 %	1,536	22.2 %
Vehicle curb weight 1,300kg+	4	25.0 %	4,117	59.6 %
Total	16		6,910	

（4）Farside 側突

表 8-15 に各事故データベースに対する Farside 側突のオーバートリアージ事故の主な特徴と該当する事故数を示す．Farside 側突に対するオーバートリアージ事故も，多重衝突を伴った事故が多い．URGENCY アルゴリズムは，両側突に対して多重衝突を伴う場合の傷害リスクを過大に評価する傾向があることが伺われる．

また，シートベルトを着用していない事例が，ITARDA ミクロデータ，NASS-CDS データの両方に多く見られる．Farside 側突時の運転者は，衝突中に車両中心の方に移動しようとする動きとなるため，シートベルトの着用がその移動防止に繋がり，シートベルトの効果が Nearside 側突より大きくなることが考えられる．URGENCY アルゴリズムにおいて，シートベルトの効果は，Farside 側

突の方が Nearside 側突より大きく見積もられている（表 3-8）．しかし，実際の Farside 側突では，シートベルトの影響は大きくなっていないことが推測される．

Table. 8-15: Overtriage cases in Farside

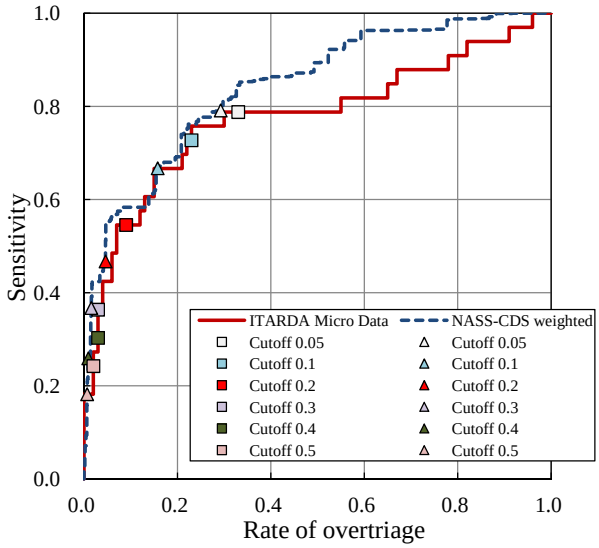
	ITARDA Micro Data		NASS-CDS weighted	
Characteristics	Number	%	Number	%
Multiple impacts	14	73.7 %	2,200	94.2 %
Unbelted	10	52.6 %	1,676	71.8 %
Young drivers (<30 yrs old)	3	15.8 %	747	32.0 %
Short-statured female drivers (<155cm)	3	15.8 %	27	1.2 %
Total	19		2,335	

8.4.5 最適なカットオフ値に対する考察

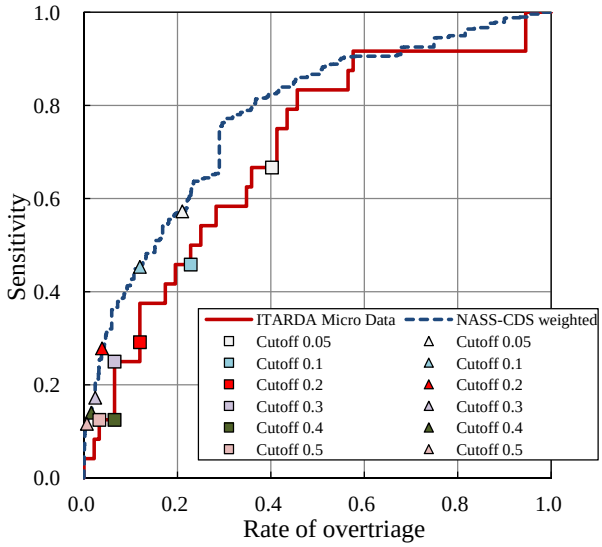
AACN の実用に向けて，乗員傷害予測に対する感度とオーバートリアージ率のバランスをとることは重要である．予測感度を上げることは，多くの防ぎ得た事故死を削減することに繋がる．一方，オーバートリアージ率を下げていくことは，必要とする人に適切な救急救命医療を優先的に適用できることに繋がる．このバランスは，ROC 曲線（Receiver operating characteristic curve）で示すことができる．ROC 曲線は，予測式による感度と 1 – 特異度（オーバートリアージ率）の関係を表示したグラフであり，カットオフ値の検討に用いられる．感度が 1，1 – 特異度が 0 となるポイントが，理想的な傷害予測ができるポイントとなり，ROC 曲線がこのポイントから最も近い点が最適なカットオフ値を示す目安となっている．

URGENCY アルゴリズムを乗員傷害予測として適用した場合の ITARDA ミクロデータと NASS-CDS に対する ROC 曲線の比較結果を図 8-26 に示す．また，これらの ROC 曲線には，それぞれのカットオフ値を明示した．図 8-26 (a) の正面衝突に対しては，ITARDA ミクロデータに対する ROC 曲線と NASS-CDS に対する ROC 曲線は，類似しており，最適なカットオフ値も両データベースに対して 0.1 付近であることが分かる．図 8-26 (b) の車両単独前面衝突に対しては，最適なカットオフ値は両データベースに対して 0.1 付近ではあるが，NASS-CDS の方が良い ROC 曲線となっている．日本のアンダートリアージ事故には，米国に対して軽自動車などの軽量な車両の事故が多く見られており，この形態の事故の影響がこのような特性差の要因となっていると考えられる．

また，図 8-26(c) に Nearside 側突に対する ROC 曲線の比較結果を示す．ROC 曲線は両データベースに対してほぼ近い結果となっているが，カットオフ値が異なっている．最適なカットオフ値は，ITARDA ミクロデータに対しては 0.2 付近，NASS-CDS に対しては 0.1 付近となっている．大型車との衝突や SUV との衝突が Nearside 側突のアンダートリアージ事故に見られていたが，日本と米国の車種分布の違いがこのような特性差の要因となっていることが考えられる．図 8-26 (d) の Farside 側突に対しては，ROC 曲線は両データベースに対してほぼ近い結果となっているが，カットオフ値の 0.2 以下では，ITARDA ミクロデータの事故サンプリングの関係で感度が 1 となってしまっているため差が見られる．最適なカットオフ値は，ITARDA ミクロデータに対しては 0.2 付近，NASS-CDS に対しては 0.05 付近となっており，差が見られる．アンダートリアージの事故からは，両データベースに差がある特徴的な事故は見つけられなかったが，ITARDA ミクロデータのアンダートリアージ事故数が非常に少ないことも誤差要因として考えられる．

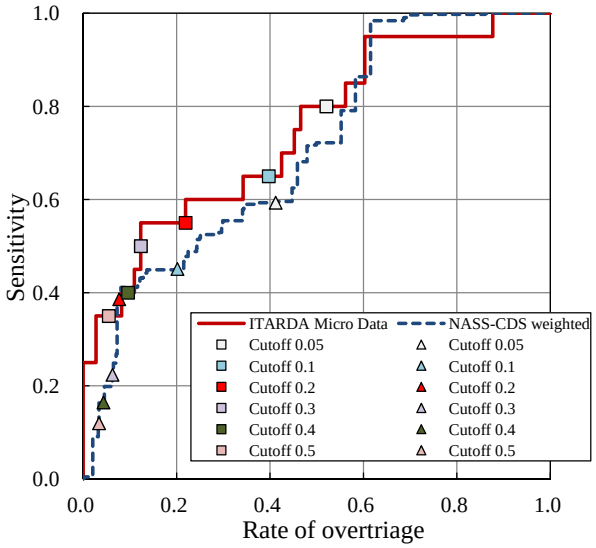


(a) H-on

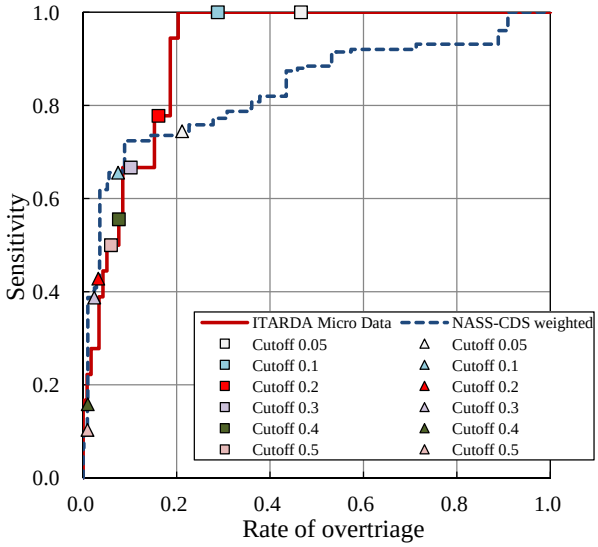


(b) f-SVC

Fig. 8-26: Comparison of ROC curve of ITARDA Micro Data and NASS-CDS



(c) Nearside



(d) Farside

Fig. 8-26: Comparison of ROC curve of ITARDA Micro Data and NASS-CDS

さらに，最適なカットオフ値について考察を加える．CDC-US は，カットオフ値として 0.2 を推奨している [102]．本章の比較分析から，日本と米国は事故分布が異なる点があるため，最適なカットオフ値はそれぞれの国で異なることを示した．したがって，各国の異なる事故状況を考慮して，異なるカットオフ値を用いる考え方がある．

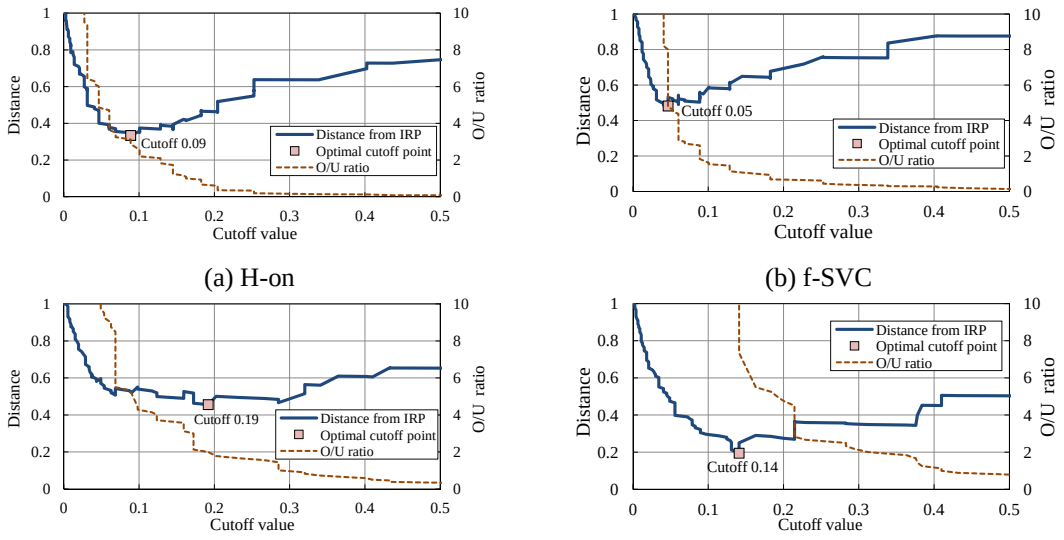
図 8-27，図 8-28 に ITARDA ミクロデータと NASS-CDS データに対する URGENCY アルゴリズムを適用した場合の ROC 曲線上の理想的な予測ポイント（0，1）からの距離を示す．この最小値が最適なカットオフ値を示すことになる．さらに，オーバートリアージ事故数とアンダートリアージ事故数の比を O/U 比と以下のように定義し，これらの図に示した．

$$O/U\ ratio = b(:number\ of\ overtriage) / c(:number\ of\ undertriage) \tag{8.2}$$

ここで，b，c は，表 2-5 にて定義されたオーバートリアージ数，アンダートリアージ数を示す．

O/U 比が高いということは，オーバートリアージ事故がアンダートリアージ事故より多いことを示し，この比は社会的なコストに関係する値となっていると考える．すなわち，O/U 比が高い場合，救急救命活動費用が多く発生し，逆に O/U 比が低ければ，死傷者を救命できず，多くの尊い命を失うことを意味する．最適なカットオフ値では，この O/U 比は，4 付近を示しており，アンダートリアージ事故の 4 倍のオーバートリアージ事故が発生することを意味している．前面衝突に対しては特性は類似している．一方，側面衝突に関しては，ITARDA ミクロデータの Farside 側突はアンダートリアージ事故数が少ないことがあり，特性が他の事故形態および NASS-CDS データと少し異なってしまっている．また，ITARDA ミクロデータにおけるカットオフ値の最適な位置が NASS-CDS データに対してずれている傾向が見られる．

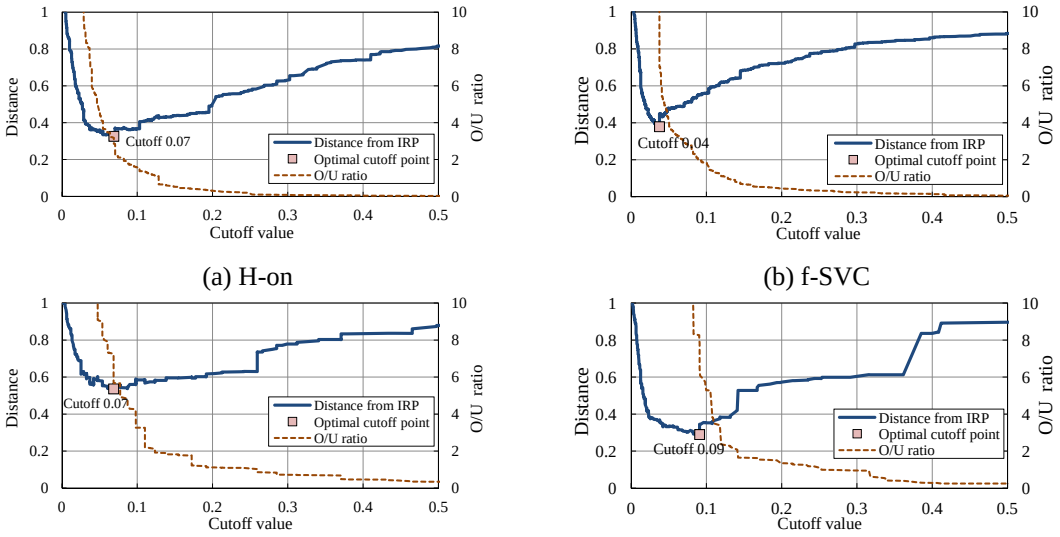
AACN はオーバートリアージとアンダートリアージのこのようなバランスを考慮して適用されるべきであると考える．全ての乗員一人ひとり，かつ全ての救急救命センターにとって最適な解となるようなカットオフ値を設定することは困難である．しかし，全体としての最適化を考慮した対応は考えるべきであり，乗員傷害予測式の精度向上だけではなく，交通社会全体としての最適なバランスを考えていくことも，より安全な交通社会構築へ繋げていくことができると考える．



(a) H-on　(b) f-SVC

(c) Nearside　(d) Farside

Fig. 8-27: Optimal cutoff value and O/U ratio in ITARDA Micro Data



(a) H-on

(b) f-SVC

(c) Nearside

(d) Farside

Fig. 8-28: Optimal cutoff value and O/U ratio in NASS-CDS

8.5　本研究の乗員傷害予測式と URGENCY アルゴリズムとの相違

8.4 節の比較に用いた米国の事故データによる乗員傷害予測式である URGENCY アルゴリズムは，自動車の衝突時の情報を自動的に計測し重症度の判断を行うことを主眼に作成されているため，用いられる情報は計測可能な ΔV やシートベルトの着用有無などの限られた項目で構成されている（表 3-8 参照）．一方，本研究で求めてきた乗員傷害予測式は，事故データベースの情報に限定はされるが，有意に影響する因子は計測可能性は問わず可能な限り乗員傷害予測式に組み込む考えで進めてきた．影響する因子の特定を優先したため，計測の実現性については次なる課題と考えた．

各章で日本の事故データを用いて構築した衝突形態別の乗員傷害予測式と URGENCY アルゴリズムとの予測結果の比較は，各章の考察にて述べてきた．URGENCY アルゴリズムに対して追加となる予測因子に関しては，その影響は URGENCY アルゴリズムでは評価できない．特に差異が大きく見られた予測因子は，車両の損壊程度を代表とする車体変形の因子であった．本研究で得られた乗員傷害予測式では，Farside 側突を除いて車両損壊程度の因子が有意に採用された．この関係から，URGENCY アルゴリズムは低 ΔV 域では本研究の予測式において車両損壊程度が小破・中破時の重症確率に近く算出され，高 ΔV 域では車両損壊程度が大破の重症確率に近く算出される傾向にあった（図 3-14 など参照）．

前節までの検討により，米国の事故データと日本の事故データは，主要な乗員予測因子に関しては多次元分布的に類似しているといえ，ある程度の精度では米国の事故データで作成した乗員傷害予測式を活用できると考える．また，URGENCY アルゴリズム適用の前提として適切なカットオフ値の設定があり，この値によって誤判定から生じるアンダートリアージやオーバートリアージのバランスを最適にすることで現実的な対応としている．このような対応は，現時点で実現可能なシステムの構築には重要である．さらに，前述したように事故状況を考慮して最適なカットオフ値を変更することも有効であると考える．

しかし，事故分布や実際の URGENCY アルゴリズムを適用した比較結果から，日本としては軽自動車や小柄な高齢女性の事故など特徴的な事故形態が日米の差異として抽出されている．乗員傷害予測の精度向上には，これら特徴的な事故形態にも対応できるようにする必要がある．また，本研究で得られた車両損壊程度やポールとの衝突位置など本質的な影響因子に対しては，車体側への多点センサー配置など計測課題としてとらえ，予測精度向上として対応できるようにすることは有益である．例えば，図 3-14 からは車両損壊程度差によって 20 %以上の重症確率の差が見られており，さらなる事故死傷者低減に向けて，継続して取組む必要があると考える．

8.6　現実的に対応可能となる日本版乗員傷害予測アルゴリズムの提言

本研究では，各衝突形態別に乗員傷害予測式を構築したが，前節で述べたように現時点で対応可能な計測項目だけで構成されていない．これらの項目については計測可能とする取組みが必要であるが，日本版 AACN の早期実現に向けて，現時点で対応可能となる日本版乗員傷害予測アルゴリズムを構築することも求められる．そこで本節では，以上までの比較分析結果を受けて，現実的に対応可能となる日本版乗員傷害予測アルゴリズム（J-IPM) を検討する．日本と米国の事故状況から，乗員の傷害予測を行うに当たり，日本の事故として留意する点を整理すると，以下の項目が挙げられる．

- 軽自動車などの軽量な車両の存在が多い．
- 傷害を負う高齢者の乗員が多い．
- 多重衝突は事故が少なく，側面衝突事故では予測外れとなりやすい．
- ロールオーバー事故は非常に少なく，影響を統計的に評価できない．

以上の結果を鑑みると，日本版乗員傷害予測アルゴリズムを構築するには，日本の事故データ，すなわち ITARDA ミクロデータを用いて，衝突方向別に乗員傷害予測式を求めて設定することが有効と考える．さらに評価因子は，影響度の大きい ΔV，シートベルト着用の有無，および高齢乗員（年齢 55 歳以上）を考慮し，軽量な車両が多い交通環境を考慮して，自車の車両種別を軽自動車と普通車（小型車含む）で区別することが，簡易的で有効な日本版乗員傷害予測式が求められると考える．ここで，乗員の年齢に関しては，運転時に車両側に情報を入力することで対応は可能であると考え，考慮することにした．車両変形に対する因子の考慮は，予測精度上考慮することが良いと考えられるが，現時点では自動計測し判断する装備の実用化の目途が立っていないため，検討対象から除外した．

これらの因子を用いて，これまで分析に用いた ITARDA ミクロデータをもとに，URGENCY アルゴリズムと同様に MAIS3+の結果に対するロジスティック回帰分析を用いて，前面衝突，Nearside 側突および Farside 側突に対する乗員傷害予測式を求めた．後突に関しては，ITARDA ミクロデータでは算出できないため今回の検討からは除外した．なお，ロジスティック回帰分析は SPSS ver.19 を用い，変数選定は基本的には行わず，強制投入法を用いた．

(1) 前面衝突時の乗員傷害予測式

前面衝突時におけるロジスティック回帰分析による各因子に対する回帰係数を表 8-16 に示す．各因子に対する傷害リスクの評価は，これまでの結果に対して妥当な係数になっていると考えるが，車両種別の有意水準は良くない結果となった．第 3 章の検討でも車両種別は有意な因子として選定されなかった結果と同じであるが，定性的な傾向は妥当と判断して，本モデルを選定した．

Table. 8-16: Result of logistic regression for J-IPM in Frontal

Factors		Coefficients	S.E.	p-value
Intercept		-5.731	1.001	< 0.001
ΔV		0.082	0.017	0.013
Seat belt use	Unbelted	1.316	0.531	< 0.001
	Belted	–	–	–
Occupant's age	≥ 55	1.484	0.655	0.023
	≤ 54	–	–	–
Vehicle category	Kei-car	0.573	0.633	0.365
	Regular vehicle	–	–	–

AIC= 107.3, χ^2 =50.19, Nagelkerke R^2 =0.463

この乗員傷害予測モデルによる ROC 曲線を図 8-29 に示す．図 8-26 の URGENCY アルゴリズムを用いた特性よりも予測特性が改善している．重症度判定時のカットオフ値は 0.2 付近が最適と考えられ，CDC-US が推奨している値に近い予測特性となった．このカットオフ値 0.2 を用いた場合の，本予測式の感度，オーバートリアージ率の結果を表 8-17 に示す．また，本乗員傷害予測式を用いた条件別の重症確率の状況を図 8-30，図 8-31 に示す．ここで，比較として多重衝突無し，かつロールオーバー無しの場合の URGENCY アルゴリズムによる結果も示した．図 8-30 の高年齢の考慮により，高齢による傷害リスクの上昇が評価できるようになり，URGENCY アルゴリズムに対しても ΔV が 60km/h 以下の領域で傷害リスクを高く予測することができた．

図 8-31 の軽自動車の考慮では，普通車に対して 10 %程度の重症確率の上昇が予測されるモデルとなっている．こちらの比較では，ΔV が 40km/h 以下では，URGENCY アルゴリズムより軽自動車の重症確率は高く予測されるモデルとなったが，ΔV が 40km/h 以上の領域では，軽自動車，普通自動車共に URGENCY アルゴリズムより重症確率が低く見積もられるモデルとなっている．これは，3.7.1 項でも述べたように，車両損壊程度の考慮がない影響と考えられる．日本の事故では，事故件数上は車両損壊程度が小破・中破となる事故が大破となる事故より多いため，車両損壊程度を考慮しない予測モデルでは，傷害リスクの小さい小破・中破側の傷害リスクに近い結果となっていると考える．オーバートリアージを容認するならば，大破側の傷害リスクのみを用いて代用することも考えられるが，車両の変形の考慮は，今後の乗員傷害予測モデルの精度向上に重要な項目と考える．

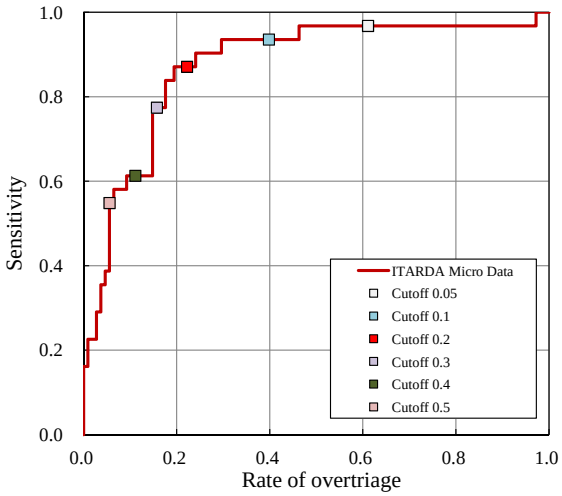
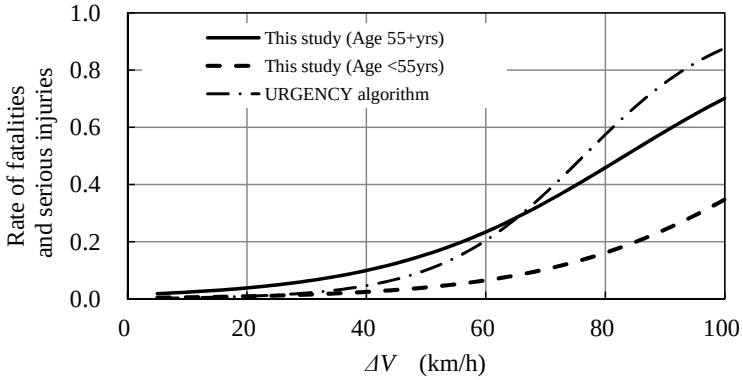


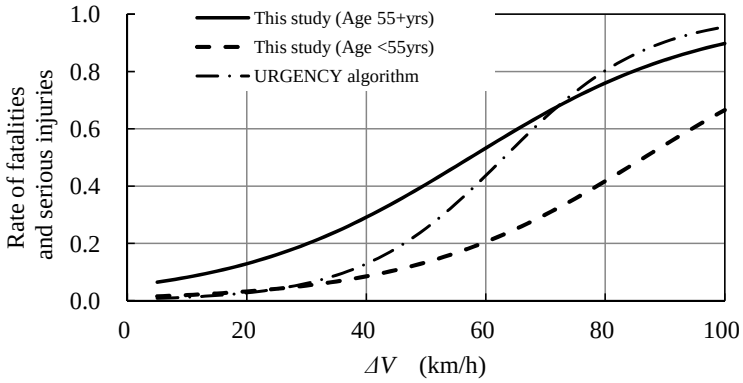
Fig. 8-29: ROC curve for J-IPM in Frontal

Table. 8-17: Result of sensitivity and rate of over-triage for J-IPM in Frontal

Crash type	Performance (cutoff value)	
Frontal	Sensitivity (0.2)	0.871
	Specificity (0.2)	0.778
	Rate of undertriage (0.2)	0.129
	Rate of overtriage (0.2)	0.222

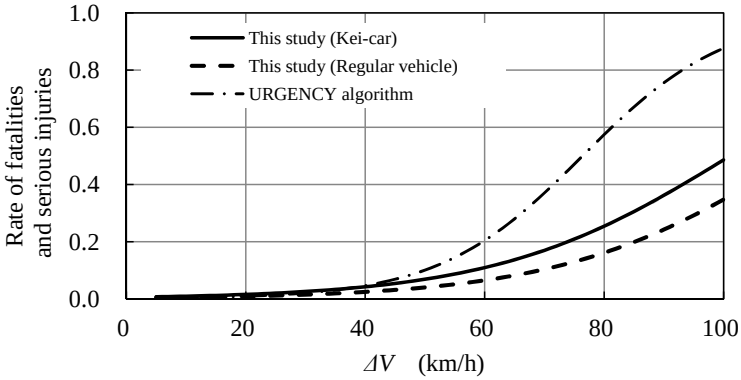


(a) For belted drivers in regular vehicles

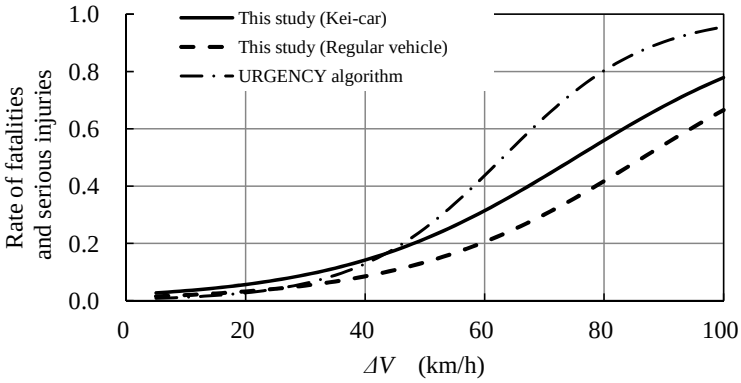


(b) For unbelted in regular vehicles

Fig. 8-30: J-IPM for occupant's age factor in Frontal



(a) For belted under 55 yrs old drivers



(b) For unbelted under 55 yrs old drivers

Fig. 8-31: J-IPM for vehicle category factor in Frontal

(2)Nearside 側突時の乗員傷害予測式

Nearside 側突時のロジスティック回帰分析による各因子に対する回帰係数を表 8-18 に示す．ここで，乗員の年齢および車両種別をモデルに考慮したが，得られた回帰係数は，定性的に逆の結果となってしまったため，変数から除外することにした．その結果，Nearside 側突に対する乗員傷害予測モデルは，ΔV とシートベルト着用有無のみで構成されている．シートベルト着用有無は，第 6 章では有意な因子として選定されなかった．本予測モデルでも有意な因子とならなかった．回帰係数も前面衝突時に比べて小さい値となった．事前の MAIS3+に対するオッズ比の確認では，シートベルト着用による効果が見られていること，および URGENCY アルゴリズムでもシートベルト着用の因子が採用されていることを考慮して，本モデルを選定することにした．

Table. 8-18: Result of logistic regression for J-IPM in Nearside

Factors		Coefficients	S.E.	p-value
Intercept		-4.299	1.017	< 0.001
ΔV		0.085	0.028	0.002
Seat belt use	Unbelted	0.357	0.722	0.621
	Belted	–	–	–

AIC= 63.1, χ^2 =14.25, Nagelkerke R^2 =0.284

この乗員傷害予測モデルによる ROC 曲線を図 8-32 に示す．前面衝突と同様に，図 8-26 の URGENCY アルゴリズムを用いた特性よりも予測特性が改善している．Nearside 側突に対しても重症度判定時のカットオフ値は 0.2 付近が最適と考えられ，CDC-US が推奨している値に近い予測特性となった．このカットオフ値 0.2 を用いた場合の，本予測式の感度，オーバートリアージ率の結果を表 8-19 に示す．また，本乗員傷害予測式を用いたシートベルト着用別の重症確率の状況を図 8-33 に示す．同様に比較として，多重衝突無し，かつロールオーバー無しの場合の URGENCY アルゴリズムによる結果も示した．

図 8-33 より，シートベルト着用無しによる傷害リスクの上昇は，重症確率が 10 %程度あるモデルとなっている．URGENCY アルゴリズムによるシートベルト着用有無の傷害リスクの差もほぼ同等であることが分かる．しかし，ΔV が 30km/h 以上の領域では，URGENCY アルゴリズムの方が全体的に重症確率が高い傾向にある．この要因も，前面衝突時と同様に車両損壊程度などの車両変形の未考慮によるものと推測され，車両変形の日米分布差で差異が大きくなっていることが考えられる．Nearside 側突に対しても車両の変形の考慮は，今後の乗員傷害予測モデルの精度向上に重要な項目と考える．

(3)Farside 側突時の乗員傷害予測式

Farside 側突時のロジスティック回帰分析による各因子に対する回帰係数を表 8-20 に示す．各因子に対する傷害リスクの評価は，これまでの結果に対して妥当な係数になっていると考える．しかし，乗員の年齢および車両種別の有意水準は良くない結果となった．第 6 章の検討でも乗員の年齢は有意な因子として選定されなかった結果と同じである．また，車両種別は軽貨物車が有意な因子として選定されていたが，本予測式では軽自動車として軽乗用車と軽貨物車を合わせてカテゴリー化したことによって有意性が低下した影響と考えられる．両者とも定性的な傾向は妥当と判断して，本モデルを選定した．また，シートベルトの着用有無に関しては，第 6 章の検討ではやや劣る有意水準であったが，良好な結果となっている．

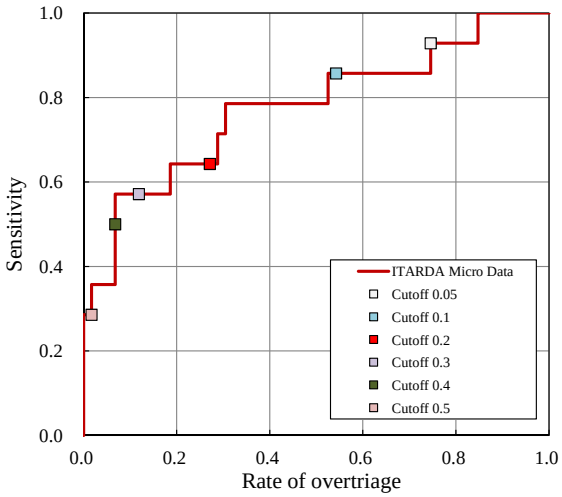


Fig. 8-32: ROC curve for J-IPM in Nearside

Table. 8-19: Result of sensitivity and rate of over-triage for J-IPM in Nearside

Crash type	Performance (cutoff value)	
Nearside	Sensitivity (0.2)	0.643
	Specificity (0.2)	0.729
	Rate of undertriage (0.2)	0.533
	Rate of overtriage (0.2)	0.357

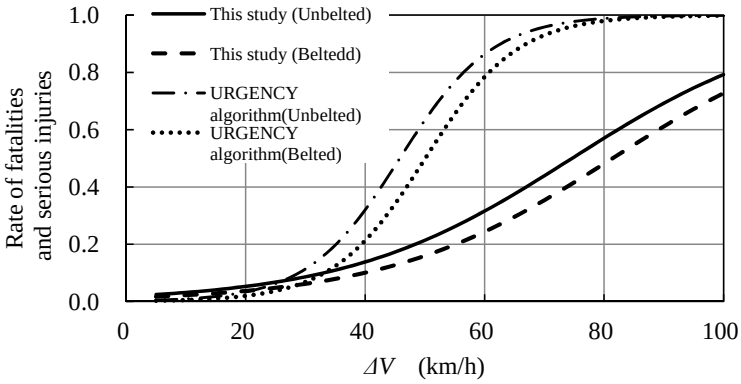


Fig. 8-33: J-IPM for seat belt use factor in Nearside

この乗員傷害予測モデルによる ROC 曲線を図 8-34 に示す．前面衝突，Nearside 側突と同様に，図 8-26 の URGENCY アルゴリズムを用いた特性よりも予測特性が改善している．また，Farside 側突

Table. 8-20: Result of logistic regression for J-IPM in Farside

Factors		Coefficients	S.E.	p-value
Intercept		-7.521	1.749	< 0.001
ΔV		0.108	0.033	0.001
Seat belt use	Unbelted	1.738	0.755	0.021
	Belted	–	–	–
Occupant's age	≥ 55	0.887	0.712	0.214
	≤ 54	–	–	–
Vehicle category	Kei-car	0.519	0.708	0.464
	Regular vehicle	–	–	–

AIC= 63.8, χ^2 =25.63, Nagelkerke R^2 =0.406

に対しても重症度判定時のカットオフ値は 0.2 付近が最適と考えられ，CDC-US が推奨している値に近い予測特性となっていた．このカットオフ値 0.2 を用いた場合の，本予測式の感度，オーバートリアージ率の結果を表 8-21 に示す．また，本乗員傷害予測式を用いたシートベルト着用別の重症確率の状況を図 8-35，図 8-36 に示す．同様に比較として，多重衝突無し，かつロールオーバー無しの場合の URGENCY アルゴリズムによる結果も示した．

図 8-35 の高年齢の考慮により，高齢者の傷害リスクが 10～20 %程度高くなることが評価できるモデルとなった．また，図 8-36 の軽自動車の考慮では，普通車に対して 10 %程度の重症確率の上昇が予測されるモデルとなった．しかし，両条件とも URGENCY アルゴリズムに対しては，Nearside 側突と同様に重症確率が小さく予測されるモデルとなっている．この要因も前面衝突時，Nearside 側突時と同様に，車両損壊程度などの車両変形の未考慮によるものと推測され，車両変形の日米分布差で差異が大きくなっていることが考えられる．Farside 側突に対しても車両の変形の考慮は，今後の乗員傷害予測モデルの精度向上に重要な項目と考える．

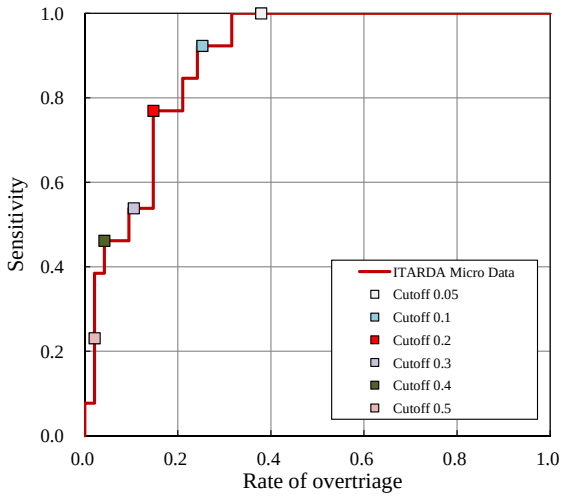
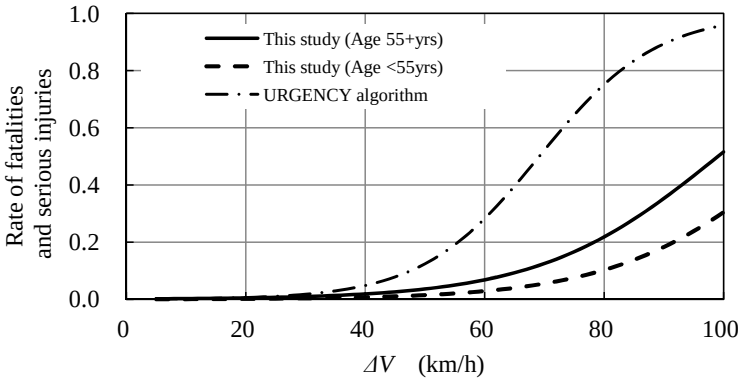


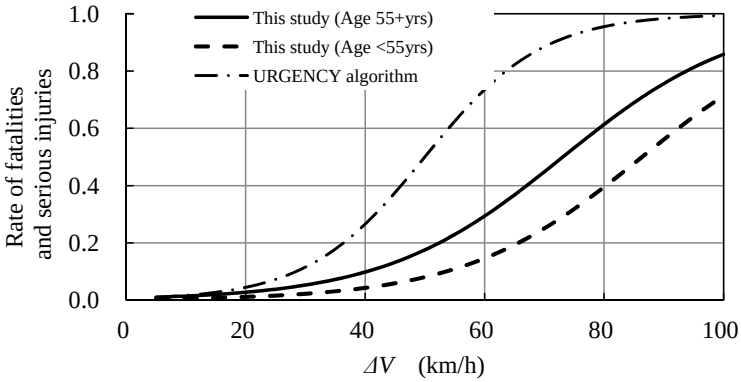
Fig. 8-34: ROC curve for J-IPM in Farside

Table. 8-21: Result of sensitivity and rate of over-triage for J-IPM in Farside

Crash type	Performance (cutoff value)	
Farside	Sensitivity (0.2)	0.769
	Specificity (0.2)	0.853
	Rate of undertriage (0.2)	0.231
	Rate of overtriage (0.2)	0.147

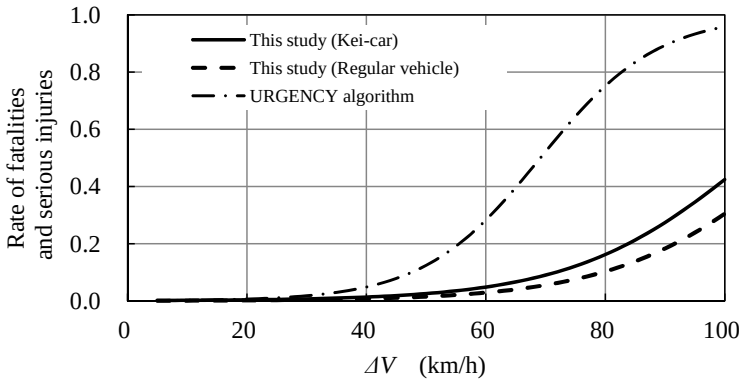


(a) For belted drivers in regular vehicles

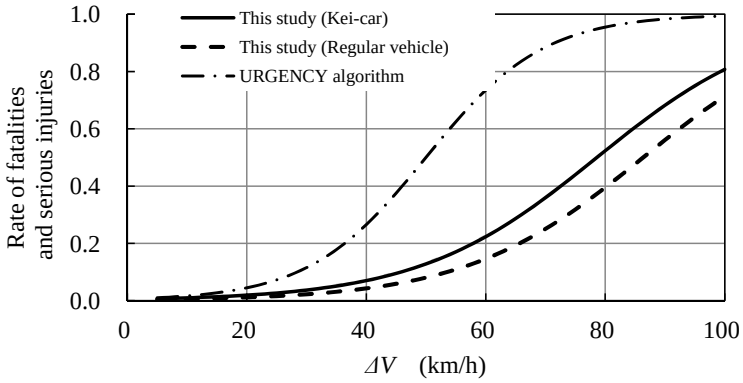


(b) For unbelted in regular vehicles

Fig. 8-35: J-IPM for occupant's age factor in Farside



(a) For belted under 55 yrs old drivers



(b) For unbelted under 55 yrs old drivers

Fig. 8-36: J-IPM for vehicle category factor in Farside

8.7　結言

本章では，日本と米国を代表する交通事故データベース ITARDA ミクロデータと NASS-CDS を用いて，両国の自動車事故状況の類似性と相違性についての分析を行い，事故事例数の多い米国データと比較することにより，これまで得られた日本の事故データによる分析結果の妥当性や日本特有の課題を明確にした．また，日本の事故解析として米国の事故を有効に活用する場合の留意点について整理を行った．さらに，それらの結果をもとに日本版 AACN として現実的に対応可能となる日本版乗員傷害予測アルゴリズムについて検討した．得られた結論は以下である．

(1) マハラノビス距離を用いた多次元分布比較により，主要な乗員傷害予測因子に関しては，NASS-CDS は ITARDA ミクロデータの分布と類似していると判断でき，NASS-CDS を用いた求めた乗員傷害予測式は，概ね日本の事故として適用できる．

(2) ただし，車両の空車質量などの車両情報や乗員の身長などの乗員の情報については，日本と米国の分布がやや異なり，NASS-CDS データはそのまま日本の事故として活用できない．

(3) 分布が異なる因子としては，車両の空車質量，乗員の身長が挙げられる．特に，日本の軽乗用車の事故や高齢小柄な女性の傷害などに関しては，NASS-CDS データの活用は難しく，乗員予測精度が懸案され日本としての事故調査データが必要となる．

(4) 米国の NASS-CDS データの分析で構築された URGENCY アルゴリズムを用いて、日本と米国の乗員傷害予測状況を比較した結果，前面衝突に対する感度はほぼ等しかったが，側面衝突に対しては，日本のデータの感度とオーバートリアージ率は米国のデータより高く，異なる傾向が見られた．側面衝突の差異要因としては，車両質量の分布差，乗員の年齢差などの影響が考えられる．

(5) 上記アルゴリズムを用いて分析した日本と米国にて共通に見られるアンダートリアージ事故は，前面ポール衝突事故，55 歳以上の高齢運転者の側面衝突事故であった．また，日本の事故のみでは，軽乗用車の事故や高齢の小柄女性の傷害が挙げられた．これらの事故に対しては，米国の事故で求められた乗員傷害予測式では予測から外れやすいと考える．

(6) 日本と米国にて共通に見られるオーバートリアージ事故は，30 歳以下の若者運転者や側面衝突時の多重衝突有りの事故であった．また，日本の事故のみでは，防護柵への衝突が挙げられ，米国の事故のみでは，大柄な乗員の事故が挙げられた．

(7) 重症度判定に用いるカットオフ値は，感度とオーバートリアージ率のバランスを考える上で重要であり，それぞれの国における事故状況を考慮して最適なカットオフ値を設定することも最適化方策の一つであると考える．

(8) 現実的に対応可能となる日本版乗員傷害予測アルゴリズムを検討した結果，ΔV，シートベルトの着用有無，乗員の年齢 55 歳以上および車両種別（軽自動車）を考慮する乗員傷害予測式が求められた．妥当な傷害予測が可能のモデルと考えるが，車体の変形の影響による傷害リスク評価を考慮していないため，その影響による予測誤差が大きく見込まれる結果となった．乗員の傷害予測の精度向上には，車体の変形状況の考慮が重要であると考える．

第9章　結論

9.1　研究のまとめ

本研究は,「交通事故データを用いた乗員傷害予測式の構築と予測外れ事故の分析に関する研究」と題して，さらなる自動車乗員の衝突事故被害軽減を目指し，日本の交通事故データを用いて乗員傷害予測式の構築を行い，予測外れ事故に着目した分析から特徴的な影響の大きい事故形態の抽出とその傷害メカニズムの解明を行った．

これまでの産官学の様々な取組みにより，自動車の安全性能は大幅に向上した．しかし，依然多くの方が衝突事故により死傷している状況にあるといえる．交通事故による乗員の傷害は，多様な要因から発生している．車体の衝突エネルギー吸収性能向上や乗員の拘束性能向上など主たる要因に対しては，これまでの取組みで改善されてきた．しかし，さらなる自動車乗員の死傷者低減のためには，これまで以上に多角的な視点での取組みが必要である．これらの多様な要因を切り分けながら真の要因を見極め，的確な施策を講じることが求められる．また，衝突後安全として，乗員傷害予測を用いた AACN による救命救急活動の向上など新しい取組みも期待されている．それらの実現のためには，実際の交通事故に立ち返った事故解析が必須である．これまでのような一つ二つの因子による要因解析や乗員傷害予測式構築に着目した分析だけでは真の要因を見落とし，今後の対策に向けての的確な対応に繋がらない．

日本において，事故一例一例を詳細に分析できる事故例データとして ITARDA ミクロデータがある．分析できる事故件数やバイアスの懸案はあるが，日本の事故全数を統計的に把握できる ITARDA マクロデータとの有機的な活用により補完し，ITARDA ミクロデータから有益な情報を得ることは可能と考える．日本の事故解析には，これらの事故データベースの活用は欠くことができない．

そこで本研究では，事故データを用いて乗員傷害予測式の構築を図った．その上で，特に予測外れ事故に着眼した．この予測外れ事故の中に，潜在的な傷害要因や被害軽減施策に繋がる情報があると考えた．この予測外れの事故の分析によって，これまで明確にできていない特徴的で影響の大きい事故形態を抽出でき，その傷害発生メカニズムの解明を図ることができる．さらに，これらの結果から乗員傷害予測式の精度向上に繋げることができ，将来の日本版 AACN に適用する乗員傷害予測式の構築が可能であると考えた．本研究ではこの新たな着眼点をもとに，日本の交通事故における自動車乗員の傷害メカニズムと被害軽減に向けた施策および課題について論じた．また，分析の一環として情報の充実している米国の事故データとの比較も行い，その類似性や相違性から日本の事故の特徴とそれらを活用する場合の留意点について論じた．

以下に，本研究で得られた結論を総括する．

第 2 章「分析手法」では，本研究で行った日本の事故データを用いた自動車乗員における傷害予測手法の分析の流れとその手法について述べた．さらに，その乗員傷害予測手法の検証手法，予測から外れる事故の解析手法を示し，乗員傷害予測精度の改善および今後の衝突被害軽減に向けた重要課題を抽出する分析手法について論じた．

影響する因子の選定は，車両と乗員に関する 1 次元衝突モデルによる検討を加え，各衝突形態別に行った．乗員傷害予測手法は，予測外れの事故を分析することに着目して選定した．また，分析の対象とする日本の交通事故例である ITARDA ミクロデータは，サンプル数やバイアスの懸念があるため，日本の死傷事故全件が登録されている ITARDA マクロデータを有効に活用し，比較検証を行う手法とした．

本章の結論を以下に述べる．

(1) 車両と乗員に関する 1 次元衝突モデルによる検討により，各衝突形態別に乗員傷害に影響する因子の抽出し，候補となる事故データ項目を選定した．

(2) その結果，前面衝突時の乗員傷害に影響する因子として，ΔV，衝突速度，乗員の質量，シートベルト着用有無およびシートベルトスラックが推定された．

(3) 側面衝突時の乗員傷害に影響する因子として，ΔV，車両の質量，相手車両の質量および乗員の質量が推定された．

(4) 後面衝突時の乗員傷害に影響する因子として，ΔV，衝突速度，乗員の質量およびヘッドレストと頭部の初期クリアランスが推定された．

(5) ITARDA ミクロデータを用いた予測外れの事故分析を行う上で，順序ロジスティック回帰分析が適切と判断し，6 段階の順序尺度変数である MAIS を乗員傷害指標とした定式化および分析手法を提示した．また，MAIS の予測残差に着目した予測から外れる事故の分析手法を提示した．

(6) ITARDA ミクロデータを用いて分析した乗員傷害予測手法が妥当であることを検証するため，ITARDA マクロデータと比較する手法を提示した．また，各因子条件別に求められる致死率，死亡重傷率などを比較することにより，得られた結果の妥当性を検証する手法を提示した．

第 3 章「前面衝突時の乗員傷害予測式とその影響因子」では，前面衝突時の乗員傷害に影響を及ぼす因子を明確にするために，第 2 章の分析手法を適用した結果について論じた．ITARDA ミクロデータを用いて，前面衝突時の運転席乗員傷害に対して順序ロジスティック回帰分析を適用し，有意に影響のある因子および乗員傷害予測式を求めた．そして，ITARDA マクロデータを用いてその検証を行った．さらに，予測外れの事故の分析を行うことにより，本章で検討した乗員傷害予測式ではまだ評価できていない，特徴的で影響の大きい事故の抽出結果について論じた．

本章の結論を以下に述べる．

(7) 前面衝突時の乗員傷害に有意に影響のある因子は，ΔV，シートベルト着用有無，車両損壊程度および乗員の年齢である．

(8) 上記因子を用いて求めた乗員傷害予測式は，実際の傷害程度と概ね良い一致が得られ，的中精度は 65.5 %であった．さらに予測した致死確率，重症確率は実事故の同一条件での致死率，重傷率と相関が高く，本乗員傷害予測式は実事故における乗員傷害を妥当に評価できた．

(9) 本乗員傷害予測式を用いて，前面衝突時の車両損壊程度が大破の場合，小破・中破に比べて運転席乗員の死亡重症確率が約 2 倍高まることが分かった．また，シートベルトを着用していない場合は，着用している場合に比べて死亡重症確率が約 1.5 倍高まることが分かった．

(10) 予測から大きく外れる事故事例から，電柱衝突など局所的な車両変形が著しい前面ポール衝突事故，大型車との衝突事故，高齢の小柄女性運転者の事故など，特徴的な事故が抽出できた．本章の検討では有意な因子としては得られなかったが，乗員の傷害に対する影響因子としての可能性が高いことが分かった．

第 4 章「予測外れの大きい事故の分析（1）前面ポール衝突事故」では，第 3 章で検討した乗員傷害予測式において，予測外れの大きい事故として抽出された電柱等との前面ポール衝突時の乗員傷害に関して，詳細にその要因と乗員傷害予測手法の改善手法について論じた．

影響を及ぼす因子を明確にするために，ITARDA ミクロデータを用いた主成分分析を適用し，相互に関係のある影響因子の抽出を行った．その結果から，前面ポール衝突特有の傷害発生メカニズムを明確にした．さらにその因子を用いて，前面衝突時の乗員傷害に対して順序ロジスティック回帰分析を適用し，乗員傷害予測精度の改善を試み，ITARDA マクロデータを用いてその有効性を論じた．また，これらの結果を受けて，乗員の被害を軽減する施策について示した．

本章の結論を以下に述べる．

(11) 電柱等との前面ポール衝突事故に対して乗員傷害に影響のある因子は，車両前部の変形エリアとポール折損有無であり，これらは相互関係していることが分かった．

(12) ITARDA ミクロデータ分析から前面ポール衝突事故の特有な傷害発生メカニズムは以下であることが分かった．
(a) 右外位置の低ラップ率衝突において A ピラー変形が大きくなり頭部を干渉し受傷．
(b) 中央位置の衝突にて胸腹部を受傷．特にベルト非着用の場合は顕著となる．

(13) 上記影響因子である変形エリアと，ポール折損有無の関係を示すポール条件因子を用いて求めた乗員傷害予測式は，予測精度が改善し，予測感度が向上することができた．

(14) 車両前部の変形エリアが右外位置または中央位置でポールが折損しない場合，ポールが折損する場合に比べて死亡重症確率は ΔV=40～60km/h 付近で 1.5～3 倍高くなることが分かった．

(15) ΔV を用いて置換えた乗員傷害予測結果は，前面ポール衝突事故が ΔV =45km/h 以下で正面衝突事故に比べて傷害リスクが約 2 倍高いなど ITARDA マクロデータと概ね良い一致が得られ，その有効性を確認できた．ただし，シートベルト非着用時の前面ポール衝突の乗員傷害予測に関しては，まだ精度上の課題があると考える．

(16) 前面ポール衝突事故の傷害リスクを低減するには，車両側の対策として，電柱などとの狭隘構造物と衝突した場合でも局所変形を防止し，サイドメンバーでのエネルギー吸収を確保できる車体構造が必要と考える

(17) また，傷害リスクを低減するには車両側の対策だけでなく，車両が路面逸脱した時に電柱等との衝突防止に有効な防護柵の設置など総合的な施策が必要であり，ITARDA マクロデータを用いた分析から，その有効性を確認できた．

第 5 章「予測外れの大きい事故の分析（2）大型車との前面衝突事故」 では，前面衝突事故に対して，もう一つの予測外れの大きい事故形態であった普通乗用車と大型車との正面衝突事故に関して，詳細にその要因と乗員傷害予測手法の改善手法について論じた．

大型車との衝突時の乗員傷害に影響を及ぼす因子を明確にするために，予測残差に着目して普通車との衝突時の事故と対比しながら分析を行った．予測が大きく外れていた事故事例に対して，衝

突前後の車両挙動などの事故解析を行い，大型車との衝突に関わる要因を究明した．さらに，得られた結果を検証するために ITARDA マクロデータを用いて分析を行い，妥当性について論じた．また，大型車との衝突に対しては，事故解析の誤差が懸案されたため，衝突シミュレーションを用いた解析を行い，事故分析の精度に関する課題について論じた．

本章の結論を以下に述べる．

(18) 大型車との衝突事故の乗員傷害に大きく影響を及ぼしている因子は，ΔV である．この ΔV にて，普通車との衝突事故と同様に傷害リスクが評価できることが分かった．大型車との衝突事故は相手車両との質量比増により ΔV が高くなり，その分傷害リスクは高くなることが分かった．

(19) 前面衝突に対して，同じ ΔV ならば相手の車両種別 (大型車/普通車)，相手車両との質量比による傷害リスクの影響は大きく見られないことが分かった．ただし，擬似 ΔV が 75km/h 超かつ質量比が 4.5 以上にて死亡重傷率の高い群が見られ，ΔV が高い領域にて質量比の影響が見られる．この領域は，車体の極度な変形を生じていることが考えられ，今後調査すべき課題があると考える．

(20) ITARDA マクロデータの分析から，乗員傷害予測に用いる因子に対する傷害リスクへの影響度（オッズ比）は，大型車との衝突事故，普通車との衝突事故にてほぼ等しい結果が得られ，上記結果を裏付けられた．したがって，両衝突形態は同一の乗員傷害予測式（標準傷害予測式）にて評価が可能と考える．

(21) 予測残差の大きかった大型車との衝突事故 2 例を分析した結果，残差の原因は，ΔV の算出精度が問題であったと考えられた．ΔV の解析見直しにより，この残差は改善できた．

(22) 大型車との衝突事故などにおいて車両挙動や ΔV を解析する場合，不確定な要素が多いため解析には精度上の課題があり，車両挙動を検証できるシミュレーション等を活用し精度を確保する必要があると考える．

第 6 章「側面衝突時の乗員傷害予測式とその影響因子」では，側面衝突時の乗員傷害に影響を及ぼす因子を明確にするために，第 2 章の分析手法を適用した結果について論じた．

前面衝突時の解析と同様に，ITARDA ミクロデータを用いて，側面衝突時の乗員傷害に対して順序ロジスティック回帰分析を適用し，有意に影響のある因子および乗員傷害予測式を求めた．側面衝突に関しては，乗員に近い側からの衝突となる Nearside 側突と遠い側からの衝突となる Farside 側突の 2 形態があるため，それらを区別して分析を行った．ITARDA マクロデータを用いてその検証を行い，さらに，予測外れの事故の分析を行うことにより，本章で得られた乗員傷害予測式ではまだ評価できていない，特徴的で影響の大きい事故の抽出結果について論じた．

本章の結論を以下に述べる．

(23) Nearside 側突時の乗員傷害に有意に影響のある因子は，ΔV，車両損壊程度，および相手車両の空車質量であることが分かった．

(24) Farside 側突時の運転席乗員傷害に有意に影響のある因子は，ΔV，車両種別，車両垂直面のラップゾーン，およびシートベルト着用有無であることが分かった．

(25) 上記因子を用いて求めた乗員傷害予測式は，実際の事故の傷害リスクと概ね良い一致が得られ，Nearside 側突では，的中精度 72.6 %，Farside 側突では，78.7 %であった．さらに，各衝

突形態とも予測した致死確率，重症確率は実事故の同一条件での致死率，重傷率と相関が高く，予測式は実事故における乗員傷害を妥当に評価できた．ただし，予測精度上の課題はまだあり，事故データの n 増しを含めて今後検討していく必要があると考える．

(26) 本乗員傷害予測式を用いると，車両変形が大きい Nearside 側突の車両損壊程度が大破の場合や，Farside 側突の垂直面のラップゾーンが高め側（A, G, H）の場合は，それぞれ小破・中破，低め側（E, M, L, W）の場合に対して，致死確率，重症確率は約 2 倍高まることが分かった．また，Nearside 側突における致死確率，重症確率は，同じ ΔV の Farside 側突より約 2 倍高まることが分かった．

(27) 予測から大きく外れる事故解析から，Nearside 側突に対しては，SUV や大型車との衝突，Farside 側突に対しては，シートベルト非着用時の頭部傷害，胸部傷害などが抽出できた．本章の検討では有意な因子としては得られなかったが，乗員の傷害に対する影響因子としての可能性が高いと考えられ，詳細分析が必要であると考える．

第 7 章「後面衝突時の乗員傷害予測式とその影響因子」では，後面衝突時の乗員傷害に影響を及ぼす因子を明確にし，乗員傷害予測式を求める手法と結果について論じた．

後面衝突となる被追突車両の乗員は，死亡，重傷となる事例が少なく，軽傷となる事例が非常に多いため，前面衝突や側面衝突で分析したような第 2 章の分析手法をそのまま適用することができない．そこで，情報は限定されてしまうが ITARDA マクロデータを用いて，後面衝突時の乗員に対する順序ロジスティック回帰分析を適用し，有意に影響のある因子および乗員傷害予測式を求めた．そして，その予測式を用いた場合の各影響因子に対する傷害状況と重症度判定に対する課題について論じた．

本章の結論を以下に述べる．

(28) 被追突車両の乗員傷害に対して，擬似Δ V，シートベルトの着用有無，車両損壊程度，乗員の年齢および自車の車両種別を用いた乗員傷害予測式を求めることができた．

(29) 本乗員傷害予測式は，ITARDA マクロデータによる死亡重傷率と大きな乖離はなく，また ITARDA ミクロデータによる事例を概ね予測できており，妥当であると考られた．ただし，車両横転や乗員体型などまだ評価できていない因子も多くあり，精度に関しては課題があると考える．

(30) 本乗員傷害予測式を用いると，各影響因子に対する傷害リスクへの影響が確認でき，被追突車両乗員の死亡重傷確率が 20 %以上となる条件は,，ΔV ≥60km/h の時など限定されることが分かった．

(31) 重症者の 50 %以上を捕捉するためには，本乗員傷害予測による死亡重傷確率の重症度判定閾値を 0.0073 以下にする必要があり，約 40 %のオーバートリアージを容認する判定が必要であることが分かった．

(32) 被追突車両の乗員のように，事故数は多いが軽傷者が多く，予測上の傷害リスクの小さい条件で重症者を積算すると多数見られる事故形態に対して，乗員傷害予測による重症度を判定する場合，予測感度とオーバートリアージ率とのバランスが大きな課題になると考える．

第 8 章「日本と米国における自動車事故の類似性と相違性」では，日本と米国を代表する交通事故データベース ITARDA ミクロデータと NASS-CDS を用いて，両国の自動車事故状況の類似性と

相違性について論じた．事故事例数の多い米国データと比較することにより，これまで得られた日本の事故データによる分析結果の妥当性や日本特有の課題を明確にした．事故特性の分布比較においては，確率的な距離を示すマハラノビス距離を用いて，多次元的な観点で比較した．さらに，日本の事故解析として米国の事故を有効に活用する場合の留意点について整理を行った．実際の差異を具体化するために，米国の事故データベースから求められた URGENCY アルゴリズムを用いて，日本および米国の事故に適用した結果および予測外れ事故について述べた．また，それらの結果をもとに日本版 AACN として現実的に対応可能となる乗員傷害予測アルゴリズムに関して検討した結果について論じた．

本章の結論を以下に述べる．

(33) マハラノビス距離を用いた多次元分布比較により，乗員傷害予測因子に関しては，NASS-CDS は ITARDA ミクロデータの分布と類似していると判断でき，NASS-CDS を用いた求めた乗員傷害予測式は，概ね日本の事故として適用できると考える．

(34) ただし，車両の空車質量などの車両情報や乗員の身長などの乗員の情報については，日本と米国の分布がやや異なり，NASS-CDS データはそのまま日本の事故として活用できないと考える．

(35) 分布が異なる因子としては，車両の空車質量，乗員の身長が挙げられる．特に，日本の軽乗用車の事故や高齢小柄な女性の傷害などに関しては，NASS-CDS データの活用は難しく，乗員予測精度が懸案され日本としての事故調査データが必要であると考える．

(36) 米国の NASS-CDS データの分析から構築された URGENCY アルゴリズムを用いて、日本と米国の乗員傷害予測状況を比較した結果，前面衝突に対する感度はほぼ等しかったが，側面衝突に対しては，日本のデータの感度とオーバートリアージ率は米国のデータより高く，異なる傾向が見られた．この側面衝突に対する差異の要因として，日本と米国の車両質量の分布差，乗員の年齢差などの影響が考えられる．

(37) 上記アルゴリズムを用いて分析した日本と米国にて共通に見られるアンダートリアージ事故は，前面ポール衝突事故，55 歳以上の高齢運転者の側面衝突事故であることが分かった．また，日本の事故のみでは，軽乗用車の事故や高齢の小柄女性の傷害が挙げられた．これらの事故に対しては，米国の事故で求められた乗員傷害予測式では予測から外れやすいと考える．

(38) 日本と米国にて共通に見られるオーバートリアージ事故は，30 歳以下の若者運転者や側面衝突時の多重衝突有りの事故であることが分かった．また，日本の事故のみでは，防護柵への衝突が挙げられ，米国の事故のみでは，大柄な乗員の事故が挙げられた．

(39) 重症度判定に用いるカットオフ値は，感度とオーバートリアージ率のバランスを考える上で重要であり，それぞれの国における事故状況を考慮して最適なカットオフ値を設定することも最適化方策の一つであると考える．

(40) 現実的に対応可能となる日本版乗員傷害予測アルゴリズムを検討した結果，ΔV，シートベルトの着用有無，乗員の年齢 55 歳以上および車両種別（軽自動車）を考慮する乗員傷害予測式が求められた．妥当な傷害予測が可能のモデルと考えるが，車体の変形の影響による傷害リスク評価を考慮していないため，その影響による予測誤差が大きく見込まれる結果となった．乗員の傷害予測の精度向上には，車体の変形状況の考慮が重要であると考える．

以上，本研究では，交通事故データを用いた分析から乗員傷害予測式を求め，その予測式から外れる事故の分析に着目することで，これまで明確になっていなかった特徴的な影響の大きい事故を抽出し，その潜在的な影響因子や傷害メカニズムを解明した．これらの潜在的要因分析による結果は，事故時のさらなる被害軽減の施策に繋げることが可能である．さらに，各衝突形態別に影響する因子を解明した結果をもとに，乗員傷害予測式の精度を改善でき，将来の日本版 AACN に適用する乗員傷害予測式として活用できると考える．

9.2 今後の展望と課題

第 9 次安全基本計画の目標である世界一安全な道路交通環境の実現に向け，様々な取組みが必要である．この高い目標を達成するためには，短期間で大きな効果が期待されている．しかし，これまで既に様々な取組みを実施してきた中で，さらなる交通事故防止や被害軽減施策の取組みには課題も多く，方策の立案にも困難が窮される．現実を見据えると，地道であるが一つ一つを積み重ねて対応していくことが重要であると考える．本研究で得られた成果もそれらの積み重ねの一つとして考える．乗員傷害予測式を用いた AACN の適用による救命救急活動の向上や，電柱等の前面衝突事故，大型車との前面衝突事故への対応などは，今後の衝突事故時の被害軽減施策に有効に繋がると考える．

なお，今後の研究課題としては以下のことが考えられる．

(1) 被害軽減すべき事故の要因解明

本研究では，構築した乗員傷害予測から外れる特徴的な事故の抽出を図ってきた．前面衝突で挙げられた前面ポール衝突事故や大型車との衝突事故については，本研究にて傷害メカニズムの分析を実施した．しかし，まだ，要因が明確となっていない特徴的な事故が挙げられていた．これらの事故についても，継続して詳細要因を解明し，乗員への被害軽減を図る必要があると考えれる．本研究で抽出された今後詳細調査が必要となる事故としては，小柄な高齢女性乗員の傷害 [110]，SUV・貨物車との Nearside 側突 [111]，シートベルト非着用時の Farside 側突，軽貨物車の Farside 側突が挙げられる．ただし，これらの抽出された予測外れ事故は，全体のサンプル数が少ないためさらに対象事故件数が少なくなる懸案がある．今後サンプル数を増やして分析していくことも継続課題である．また，サンプル数が少ないことから，収集データの精度や信頼性の影響も受けやすいことが懸案される．今後これらの事にも留意して解析を進めていく必要がある．

(2) 乗員傷害予測の精度向上

事故要因を解析する乗員傷害予測式のさらなる精度向上も重要である．この乗員傷害予測式は，AACN の核となるアルゴリズムでもあり，適切な重症度判定が要求される．本研究により，車両損壊程度など車体変形の考慮，乗員の年齢や耐性の考慮，および ΔV の解析精度などが乗員傷害予測精度向上に必要であることが分かった．これらの因子を AACN の実用化も含めて，どのように計測，評価するかを解明し，乗員傷害予測式に組み込む必要がある．影響因子として解明されていない項目もまだ存在していることが考えられ，継続して調査していく必要がある．また，本研究では，運転席乗員に対して解析を実施してきたが，助手席乗員や後席乗員に対しても今後解析が必要である [112].

(3) AACN の実用化と普及促進

AACN は欧米では既に一部で実用化が始まっているが，日本における AACN の実用化と普及

を促進する必要がある．本研究でも言及したが，日本版傷害アルゴリズムの開発や車両への組み込みを進める必要がある．さらに，日本での AACN 普及への障壁として，通信基地局の整備やドクターヘリなどの自動要請手段など各省庁にまたがる法整備などが挙げられ，産官学が連携した取組みが求められる．また，AACN のアルゴリズムは確率的な重症度判定から構成されているので，実際の運用に向けて，アンダートリアージやオーバートリアージの社会的受容も必要となる．

(4) 日本の交通事故データの充実（質・量の向上）
本研究では，ITARDA ミクロデータと ITARDA マクロデータを補完しながら，日本の事故の解析を行ってきた．両事故データベースは，日本の交通事故の解明に欠くことのできない情報であるが，量的な面，質的な面でデータを継続して充実していくことが求められる．ITARDA ミクロデータに対しては，詳細の事故原因を解明するには，まだ事故事例が不足する場合が多い．継続して事故事例を蓄積していく必要がある．また，調査地区が限定されているので調査エリアの拡大，特に大都市固有の事故や高速道路上の事故などが不足していると考える．質的な面として，乗員傷害の医学的見地からの情報の充実や，ΔV や車両挙動，車両変形情報などの精度向上が求められる．さらに，乗員の傷害メカニズムを解明する上で，乗員のシートへの着座状況やシートベルトの掛け方などの情報も有益であり，情報を充実させる必要がある．

一方，ITARDA マクロデータに関しては，日本における人身事故の総数が集計されている貴重なデータベースではあるが，一件ごとの事故データーでは分析できないため，その活用法が制限されている短所がある．今後，運用法の見直しを関係省庁に求めていくべきである．また，AIS など医学的見地での傷害情報，乗員の属性（身長，体重，BMI など），および ΔV の解析結果などが充実されると乗員傷害に対してさらに有益な交通事故データベースになると考える．これらの改善に対しても，今後取組んでいく必要があると考える．

日本の交通事故データは，米国に対して規模や内容の脆弱さが指摘されている．しかし，事故データが示唆しているのは，日本における事故の真実であり，これらは今後の事故被害軽減に向けた貴重な情報である．それらを丁寧に分析し，関連する情報を有機的に評価することで，その弱点を補完し，有益となる情報を得る本研究の取組みは，非常に有用な手法である考える．また，本研究で取組んだ潜在的要因分析のアプローチは，諸外国における交通事故の解析，被害軽減活動にも活用でき，グローバルな交通事故による死傷者低減に繋げることが可能であると考える．本研究による成果が，将来の日本版 AACN へ適用する乗員傷害予測式の確立と，さらなる被害軽減に向けた施策の立案に貢献できることを切に願う．

謝辞

本研究の遂行ならびに本論文の作成にあたり，終始懇切なるご助言とご指導を賜りました東京工業大学教授天谷賢治先生に深く感謝致します．同大学教授岸本喜久雄先生には学位取得に向け，長きにわたりご相談に乗っていただき，様々なご助言ならびにご指導を賜りましたことを深く感謝致します．また，本論文をまとめるにあたって，同大学教授木村康治先生，高原弘樹先生，宮崎祐介先生には貴重な時間を割いていただき，論文審査に向け有益なご助言やご指導を賜りましたことを深く感謝致します．

本研究は，日産自動車（株）から出向として勤務いたしました公益財団法人交通事故総合分析センターにおいて遂行しました．理事長小田村初男様，専務理事茂田忠良様，常務理事山田晴利様ならびに常務理事森崎一彦様には，本研究業務を遂行するにあたり，多大なご助言とご援助を賜りましたことを深く感謝致します．また，同センターの職員ならびに主任研究員の皆様には，様々なご支援をいただきましたことを感謝致します．前つくば事務所所長代理大橋秀幸様には，本研究の分析にご協力をいただき，事故分析に関する貴重なご助言をいただきましたことを心から感謝致します．

出向中様々なご助言や温かいご支援を賜りました日産自動車（株）車両性能開発部部長高橋信彦様，車両実験部部長田村優様，主管松尾浩昭様に深く感謝致します．大変貴重な経験にすることができました．また，同社車両性能開発部エキスパートリーダー岡部友三郎様，主担山口明様，宇野仁様には，本研究に関しての有益なご助言や事故分析の支援をいただきましたことを心から感謝致します．日産を訪問時には，安全性能実験グループの前主担（現東風日産科長）波多野啓二様，主担息才秀壽様ならびに実験部，グループの皆様，安全業界の皆様ならびに元センター出向者の皆様には色々なご助言やお声掛けをいただきました．皆様のご支援を受けて心強く研究に取組むことができ，感謝致します．

また，George Washington 大学の Kennerly Digges 教授には，快く米国 URGENCY アルゴリズムをご提供をしていただき，日本の事故データと米国の事故データとの比較を行うことができました．心から感謝致します．

最後に，本研究を取組むにあたり様々なご協力とご支援を賜りました皆様に，改めて心から感謝の意を表します．そして，これまで応援してくれた紀子さん，亜紀さん，茉莉さんへ，心からありがとう．

平成 26 年 1 月
國行　浩史

参考文献

[1] 内閣府編, 交通安全白書. 平成 24 年度版, 2012, pp.5–22.

[2] 国土交通省編, 第 9 次交通安全基本計画, 2011, pp.5–15.

[3] 立石一正, 小野古志郎, 岩田三枝子, 渡辺博之, 平川清彦, 交通事故統合データと後遺障害および外傷診療データを連携させた傷害分析, 自動車技術会論文集, 2011,Vol.42, No.2, pp.631–637.

[4] 阪本雄一郎, 益子邦洋, 西本哲也, 医工連携による交通事故調査システムの立ち上げと将来展望, GIA フォーラム：交通事故傷害予測の有効性とその実現に向けて, 2010, 10FORUM-9, pp.9–13.

[5] 自動車技術会インパクトバイオメカニクス部門委員会編, 工学技術者と医療従事者のためのインパクトバイオメカニクス, 2006, pp.7–37.

[6] National Highway Traffic Safety Administration, Fatality Analysis Reporting System(FARS) Analytical Users Manual 1975 - 2011, 2012, DOT HS 811 693.

[7] National Highway Traffic Safety Administration, National Automotive Sampling System - Crashworthiness Data System 2011 Analytical User’s Manual, 2012, DOT HS 811 675.

[8] National Highway Traffic Safety Administration, National Automotive Sampling System (NASS) General Estimates System (GES) Analytical Users Manual 1988 - 2011, 2012, DOT HS 811 704.

[9] 木内透, 海外の事故データベースについて, ITARDA 講演会資料, 2012.

[10] 永井正夫, 車両の安全技術の最新事情と将来展望, 自動車技術, 2009, Vol.63, No.12, pp.4–10.

[11] 小林雅明, 宇野仁, 車両の安全開発について, 自動車技術, 2009, Vol.63, No.12, pp.17–22.

[12] 日産自動車, 安全に対する取り組み, 2006.

[13] carhs, SAFETY COMPANION 2013, 2013.

[14] 増田光利, 衝突実験における傷害値とその測定方法, 自動車技術, 2012, Vol.66, No.7, pp.24–31.

[15] 宇治橋貞幸, 自動車アセスメントの成果と今後の展望, 自動車技術, 2012, Vol.66, No.7, pp.12–17.

[16] 自動車技術会編, 自動車技術ハンドブック. 2 環境・安全編, 2005.

[17] 益子邦洋, 依然として高い防ぎ得た外傷死亡率, アスカ 21, 2004, 49.

[18] 交通政策審議会編, 交通事故のない社会を目指した今後の車両安全対策のあり方について, 交通政策審議会自動車交通部会報告書, 2011, pp.13–34.

[19] 交通事故総合分析センター, 自動車の安全性向上, イタルダ・インフォメーション, 2006, No.63.

[20] 国土交通省編, 第 9 次交通安全基本計画, 2011, pp.16–73.

[21] Zhou Q., Rouhana S., and Melvin J., Age Effects on Thoracic Injury Tolerance, *SAE Technical Paper*, 1996, No.962421.

[22] 交通事故総合分析センター, 高齢運転者の傷害状況（前面で衝突した自動車運転者の場合）, イタルダ・インフォメーション, 2003, No.41.

[23] 吉田伸一, 操作の誤りによる交通事故の発生状況と発生要因の分析, イタルダ自主研究, 2010, H22-03.

[24] 三井達郎, 人的要因からみた長寿ドライバーの交通事故の特徴, 第 12 回交通事故調査・分析研究発表会論文集, 2010, pp.43–56.

[25] 警察庁/日本自動車連盟, チャイルドシート使用状況全国調査. 2012, 2012.

[26] 星明彦, 超小型モビリティによるスマートライフの提案, 自動車技術, 2013, Vol.67, No.3, pp.18–23.

[27] 平瀬博人, 高齢者にやさしい自動車の実用化に向けて, 自動車技術, 2013, Vol.67, No.3, pp.44–48.

[28] Sukegawa, Y. et al., Japan’s Approach for Car to Truck Compatibility in Head-on Collisions, *Proceedings of the 20th ESV Conference*, 2007, Paper No.989.

[29] 救急ヘリ病院ネットワーク（HEM-Net）, http://www.hemnet.

[30] 救急ヘリ病院ネットワーク（HEM-Net）, HEM-Net グラフ, 2012, 24.

[31] 田中好巳, 世界の主要な交通事故調査, 第 6 回イタルダ交通事故調査・分析研究発表会, 2003.

[32] 高橋善弥太, 医者のためのロジスチック・Cox 回帰入門, 日本医学館, 1995, pp.37–49.

[33] Berry, M. J. A., Linoff, G., マスタリング・データマイニング < 理論編 >. 江原淳 他 訳, 海文堂出版, 2002, pp.5–88.

[34] 石川博, 新美礼彦, 白石陽, 横山昌平, データマイニングと集合知–基礎から Web, ソーシャルまで–, 共立出版, 2012, pp.42–72.

[35] 大澤幸生, チャンス発見の情報技術–ポストデータマイニング時代の意思決定支援–, 東京電機大学出版局, 2003.

[36] 新納浩幸, 佐々木稔, 外れ値検出手法を利用した新語義の検出, 言語処理学会第 18 回年次大会発表論文集, 2012, Paper No.D5-5, pp.1304–1307.

[37] Reward 2010 - BMW Assist Advanced eCall, http://www.euroncap.com/rewards/bmw_assist_advanced_ecall.aspx.

[38] Jones, I. S., Champion, H. R., Trauma Triage: Vehicle Damage as an Estimate of Injury Severity, *Journal of Trauma*, 1989, Vol.29, No.5, pp.646–53.

[39] Lombardo, L., Ryan, S., Detection of Internal Injuries in Drivers Protected by Air Bags, *NHTSA Research Note*, 1993.

[40] Malliaris, A. C., Digges, K. H., and DeBlois, J. H., Relationships Between Crash Casualties and Crash Attributes, *SAE Technical Paper*, 1993, No. 970393.

[41] Augenstein, J., Digges, K., Ogata, S., Perdeck, E., and Stratton, J., Development and Validation of the URGENCY Algorithm to Predict Compelling Injuries, *Proceedings of the 17th ESV Conference*, 2001, Paper No. 352.

[42] Augenstein, J., Perdeck, E., Stratton, J., Digges, K., Bahouth, G., Borchers, N., and Baur, P., Methodology for the Development and Validation of Injury Predicting Algorithms, *Proceedings of the 18th ESV Conference*, 2003, Paper No. 467.

[43] Augenstein, J., Perdeck, E., Stratton, J., Digges, K., and Bahouth, G., Crashes That Increase the Risk of Serious Injuries, *47th Annual Proceedings of Association for the Advancement of Automotive Medicine*, 2003, pp.561–576.

[44] Augenstein, J., Perdeck, E., Digges, K., Bahouth, G., Baur, P., and Borchers, N., A More Effective Post-Crash Safety Feature to Improve the Medical Outcome of Injured, *SAE Technical Paper*, 2006, Paper No. 2006-01-0675.

[45] Rauscher, S., Messner, G., Baur, P., Augenstein, J., Digges, K., Perdeck, E., Bahouth, G., and Pieske, O., Enhanced Automatic Collision Notification System - Improved Rescue Care Due to Injury Prediction - First Field Experience, *Proceedings of the 21st ESV Conference*, 2009, Paper No. 09-0049.

[46] Craig, M., J, Scarbolo, M., and Riddella, S A., Predicting Occupant Outcomes with EDR Data, *Proceedings of the 22nd ESV Conference*, 2011, Paper No. 11-0326.

[47] 交通事故分析センター, 国土交通省自動車交通局, EDR データを活用した交通事故例調査報告書, 2008.

[48] On Star, http://www.bmwblog.com/docs/OnStarInjPrediction5-20-2009.pdf, 2009.

[49] Konnonen, D. W., Flannagan, C. A., and Wang, S. C., Identification and validation of a logistic regression model for predicting serious injuries associated with motor vehicle crashes, *Accident Analysis and Prevention*, 2011, Vol.43, No.1, pp.112–122.

[50] Gerberding, J. L., Falk, H., Arias, I., and Hunt, R. C., Recommendations from the Expert Panel: Advanced Automatic Collision Notification and Triage of the Injured Patient Centers for Disease Control and Prevention, 2008.

[51] 宮崎祐介, Jonas Aditya Pramudia, 片桐麻衣佳, 片方健太, 宇治橋貞幸, マルチボディモデルを用いた前面衝突事故シミュレーションによる乗員傷害予測の構築, 自動車技術会論文集, 2011, Vol.42, No.1, pp.73–78.

[52] 三上耕司, Antona Jacobo, 江島晋, 傷害リスク予測シミュレーションに関する一考察, 自動車技術会論文集, 2011, Vol.42, No.3, pp.783–788.

[53] 吉田傑, 西本哲也, 富永茂, 長谷川卓, 事故データによる傷害予測の研究（第 2 報）, 自動車技術会学術講演会前刷集, 2011, No.78-11, pp.5–8.

[54] 富永茂, 西本哲也, 岡野道治, 松井靖浩, 米澤英樹, 日本の交通事故データによる自動車乗員の死亡重傷リスク予測モデルの検討, 自動車技術会学術講演会前刷集, 2009, No.29-09, pp.1–4.

[55] 片桐麻衣佳, 薄衣佑太郎, Jonas Aditya Pramudia, 宮崎祐介, 宇治橋貞幸, 人体モデルを用いた前面衝突事故シミュレーションによる乗員の傷害予測, 自動車技術会学術講演会前刷集, 2011, No.78-11, pp.15–18.

[56] 西本哲也, 富永茂, J-ACN 実現のための ITS 救急救命システム, 自動車技術, 2009, Vol.63, No.2, pp.58–64.

[57] 救急ヘリ病院ネットワーク（HEM-Net）, HEM-Net グラフ, 2013, 27.

[58] HELPNET 会社案内, 2012.

[59] 益子邦洋, 攻めの医療–15 分ルールをめざして, ヘルス出版, 2010.

[60] 交通事故総合分析センター, 交通事故例調査・分析報告書. 平成 15 年度報告, 2004, pp.444–450.

[61] 益子邦夫ほか, 事故自動通報システム（ACN）が起動するドクターヘリシステムによる交通事故死亡削減効果の研究, タカタ財団助成研究論文. 平成 23 年度（本報告）, 2012.

[62] 水野幸治, 自動車の衝突安全, 名古屋大学出版会, 2012.

[63] 日本外傷学会, 日本自動車研究所 監訳, AIS90 Update98. 日本語対訳版, へるす出版, 2003.

[64] 嶋村宗正, 自動車乗員保護装置による傷害低減率の統計的推定に関する研究, 名古屋大学大学院博士論文, 2005.

[65] 佐藤武, 自動車交通事故とその調査, 技術書院, 1987, pp.95–99.

[66] Samaha, R. R., Elliott, D. S., NHTSA Side Impact Research: Motivation for Upgrades test procedures, *Proceedings of the 18th ESV Conference*, 2003, Paper No. 03-0492.

[67] Scarboro, M., Rudd, R., Nearside Occupants in Low Delta-V Side Impact Crashes: Analysis of Injury and Vehicle Damage Patterns, *Proceedings of the 20th ESV Conference*, 2007, Paper No. 07-0225.

[68] Yonezawa, H., Hosokawa, N., Matui, Y., Korenori, T., Hirakawa, K., and Mizuno, K., Update on Investigation of New Side Impact Test Procedures in Japan, *Proceedings of the 22nd ESV Conference*, 2011, Paper No. 11-0200.

[69] 自動車技術会インパクトバイオメカニクス部門委員会編, 工学技術者と医療従事者のためのインパクトバイオメカニクス, 2006, pp.59–80.

[70] 対馬栄輝, SPSS で学ぶ医療系多変量データ解析, 東京図書, 2008.

[71] 日本自動車工業会, 交通事故総合分析センター, 貨物車と乗用車の正面衝突事故調査研究. －平成 13 年度－, 2003, pp.52–55.

[72] Dr. Steffan Datentechnik, PC-CRASH ユーザーマニュアル, 2010.

[73] Ishikawa H., et al, Collision Analysis and Reconstruction System (CARS), *9th International Pacific Conference on Automotive Engineering* , 1997, Paper No.971366.

[74] Sharma, D., Stern, S., Brophy, J., and Choi, E., An Overview of NHTSA's Crash Reconstruction Software WinSMASH, *Proceedings of the 20th ESV Conference*, 2007, Paper No. 07-0211.

[75] 日本自動車工業会, 交通事故総合分析センター, 側面衝突事故の衝突速度，ΔV の推定精度向上に関する研究, 2011.

[76] 日本自動車工業会, 交通事故総合分析センター, 前面及び後面衝突事故の衝突速度，ΔV の推定精度向上に関する研究, 2012.

[77] 警察庁交通局, 交通事故統計原票作成の手引き. 平成 19 年改正, 2007, pp.70-71.

[78] Petrie, A., Sabin. C., 一目でわかる医学統計学. 第 2 版. 吉田勝美 監訳, メディカル・サイエンス・インターナショナル, 2006, pp.51-53.

[79] 國行浩史, 交通事故データを用いた前面衝突時の乗員傷害予測とその影響因子に関する研究, 自動車技術会論文集, 2012, Vol.43, No.2, pp.261–267.

[80] Augenstein, J., Digges, K., Bahouth, G., Cui, X., Higuchi, K., Hiromasa, T., and Lawrence, S., Occupant Injuries in Frontal Crashes by Age, Weight and BMI, *Proceedings of the 22nd ESV Conference*, 2011, Paper No. 390.

[81] 吉田傑, 西本哲也, 小山勉, 長谷川卓, 鈴木健之, 富永茂, 車載データによる重症度推定, 自動車技術会学術講演会前刷集, 2009, No.29-09, pp.19–24.

[82] Bahouth, G., Digges, K., Influence of Injury Risk Thresholds on the Performance of an Algorithm to Predict Crashes with Serious Injury, *56th AAAM Annual Conference Annals of Advances in Automotive Medicine*, 2012, Vol.56, pp.223-230.

[83] 安川武彦, 平行性の仮定と格付けデータ：順序ロジットモデルと逐次ロジットモデルによる分析, 統計数理, 2002, Vol.50, No.2, pp.201-216.

[84] Lund, A. K., Frontal New Car Assessment Program (NCAP) Request for Comments, 2004, Docket No. NHTSA-2004-18765.

[85] Arbelaez, R. A., Aylor, D., Nolan, J. M., Braitman, K. A., and Baker, B. C., Crash Modes and Injury Patterns in Real World Narrow Object Frontal Crashes, *Proceedings of International Research Council on Biomechanics of Injury Conference -Madrid(Spain)-*, 2006, pp.333-336.

[86] Sherwood, C. P., Nolan, J. M., and Zuby, D. S., Characteristics of Small Overlap Crashes, *Proceedings of the 21st ESV Conference*, 2009, Paper No. 423.

[87] 菊地貴弘, 中尾兼行, 渡辺泰介, 佐伯秀司, 岡部友三朗, 小ラップ前面衝突時の運転者の受傷要因に関する考察, 自動車技術会学術講演会前刷集, 2011, No.134-11, pp.5–8.

[88] 鈴木陽介, 四輪車の電柱への衝突事故の分析, 第 12 回交通事故調査・分析研究発表会論文集, 2009, pp.33–41.

[89] 國行浩史, 交通事故データを用いた前面衝突時の乗員傷害予測とその影響因子に関する研究（第2報）－前面ポール衝突事故の分析－, 自動車技術会論文集, 2012, Vol.43, No.6, pp.1359–1364.

[90] 塩田誠, 木内透, 神野義久, 葛巻清吾, 単独事故の自動車乗員の被害軽減に関する分析, 自動車技術会学術講演会前刷集, 2011, No.91-11, pp.1–4.

[91] 交通事故総合分析センター, 交通事故例調査・分析報告書. 平成16年度報告, 2005, pp.452–460.

[92] 國行浩史, 大橋秀幸, 交通事故データを用いた前面衝突時の乗員傷害予測とその影響因子に関する研究（第3報）－大型車との衝突事故－, 自動車技術会論文集, 2013, Vol.44, No.3, pp.883–888.

[93] 自動車事故対策機構, クルマの安全性能ガイドBOOK詳細版, 2013.

[94] Park, B. T., Collins, L. A., Rockwell, T. E., and Smith, C. S., The Newly Enhanced U.S. NCAP: A First at Model Year 2011 Ratings, *Proceedings of the 22nd ESV Conference*, 2011, Paper No. 11-440.

[95] EuroNCAP, http://www.euroncap.com/results.

[96] Digges, K., Echemendia, C., Fildes, B., and Pintar, F., A Safety Rating for Far-side Crashes, *Proceedings of the 21st ESV Conference*, 2009, Paper No. 09-217.

[97] Kuniyuki, H., A Study on Injury Prediction Method and Influential Factors in Side Impact Crashes Using Accident Data, *Proceedings of the FISITA 2012 World Automotive Congress*, 2012, Paper No. F2012-F05-003, pp.391–405.

[98] 井田等, 一杉正仁, 志賀一三, 鈴木滋幸, 坂本正也, 助手席乗員の前突時腹部傷害についての検討, 自動車技術会学術講演会前刷集, 2008, No.41-08, pp.13–16.

[99] 小野古志郎, 頚部傷害メカニズムと対策に関する研究動向, 自動車技術, 2006, Vol.60, No.12, pp.65–70.

[100] 交通事故総合分析センター, ヘッドレストは正しい位置に！, イタルダ・インフォメーション, 2007, No.66.

[101] 國行浩史, 交通事故データを用いた被追突車両の乗員傷害予測とその影響因子に関する研究, 日本交通科学協議会誌, 2012, Vol.12, No.1, pp.29–38.

[102] Scott, M. S. et al., Guidelines for Field Triage of Injured Patients Recommendations of the National Expert Panel on Field Triage, Centers for Disease Control and Prevention, MMWR, *Recommendations and Reports*, 2009, 58(RR01).

[103] Kuniyuki, H., Similarities and Differences between Japan and the U.S. Distribution of Factors Influencing Injuries in Frontal Collisions Using Field Accident Data, *Proceedings of the 23rd ESV Conference*, 2013, Paper No. 13-94.

[104] Kuniyuki, H., Comparison of an Injury Prediction Algorithm for Japan and the U.S. Using Field Accident Data, *Proceedings of International Research Council on Biomechanics of Injury Conference -Gothenburg(Sweden)-*, 2013, Paper No.13-12, pp.24-35.

[105] 涌井良幸, 涌井貞美, 多変量解析がわかる, 技術評論社, 2011, pp.163–199.

[106] Flury, B., Riedwgl, H., 多変量解析とその応用. 田畑吉雄訳, 現代数学社, 1990, pp.192–248.

[107] 交通事故総合分析センター, 若者事故, イタルダ・インフォメーション, 1996, No.8.

[108] 交通事故総合分析センター, 高齢者の四輪運転中の事故による傷害, イタルダ・インフォメーション, 2007, No.71.

[109] 警察庁交通局, 平成 23 年中の交通事故の発生状況, 2011, pp.21–22.

[110] 國行浩史, 前面衝突時における高齢の小柄な女性乗員の傷害, 第 49 回日本交通科学学会総会・学術講演会 交通科学研究資料 第 54 集, 2013, pp.78–80.

[111] 國行浩史, 交通事故データを用いた SUV・貨物車との側面衝突時における乗員傷害予測に関する研究, 自動車技術会学術講演会前刷集, 2013, No.151-13, pp.19–24.

[112] 國行浩史, 交通事故データを用いた前面衝突時の乗員傷害予測とその影響因子に関する研究（第 4 報）－助手席・後席乗員の傷害状況－, 自動車技術会論文集, 2013, Vol.44, No.6, pp.1445–1450.

付録 A

Table. A-1: Sampling data for frontal collisions (1/2)

No.	車両種別	車両登録年	車両質量kg	衝突対象	相手車両質量kg	ポール衝突	多重衝突	ロールオーバー	乗員放出	閉じ込め	車両損壊程度	CDCコード	衝突位置(第4章で定義)	危険認知速度km/h	衝突速度km/h	ΔV km/h	EBS km/h	相手車両危険認知速度km/h	相手車両衝突速度km/h	擬似ΔV(計算)km/h	シートベルト着用	エアバッグ展開	性別	年齢	身長cm	体重kg	BMI	傷害部位	傷害内容	加害部位	MAIS	ISS	標準予測式MAIS	残差分析Case No.	備考
F- 1	普通車	1995	1330	普通車	1960	無	無	無	無	無	中破	12FREN4	右外	10	5	20	20	30	25	23.8	非着用	無	男	47	175	70	22.9	頭部	打撲傷	前面衝突ｶｰﾃﾝ(右)	1	1	1		
F- 2	普通車	1999	1360	普通車	1390	無	無	無	無	無	中破	01FZEW2	右前	60	45	24	30	30	35	45.5	着用	展開	男	34	167	58	20.8	下肢	挫滅傷	ｽﾃｱﾘﾝｸﾞｺﾗﾑ,ｶﾊﾞｰ	1	1	1		
F- 3	普通車	1995	1390	普通車	1360	無	無	無	無	無	中破	11FZEW2	右前	30	35	29	25	60	45	44.5	着用	展開	女	41	166	58	21.0	頸部	頚椎捻挫	受傷	1	2	1		
F- 4	普通車	1999	1190	普通車	2300	無	無	無	無	無	中破	12FREW6	右外	40	10	35	35	50	50	59.3	着用	展開	女	23	159	43	17.0	下肢	膝関節損傷	ｲﾝｽﾄﾙﾒﾝﾄﾊﾟﾈﾙ(下)	2	6	1		
F- 5	軽自動車	1999	720	普通車	1540	無	無	無	無	有	大破	01FZEW4	右前	35	10	55	45	85	85	81.8	着用	展開	女	41	151	50	21.9	下肢	大腿骨骨折	ｲﾝｽﾄﾙﾒﾝﾄﾊﾟﾈﾙ(下)	3	10	2		
F- 6	普通車	1995	1050	普通車	1440	無	無	無	無	不明	中破	12FYEW2	左前	50	30	35	35	35	25	49.2	着用	無	男	32	170	61	21.1	上肢	鎖骨骨折	ｼｰﾄﾍﾞﾙﾄ	2	4	1		
F- 7	普通車	1996	1470	普通車	1410	無	無	無	無	無	中破	12FREW3	右外	75	40	13	30	30	25	51.4	着用	展開	男	30	175	70	22.9	下肢	膝関節損傷	ｲﾝｽﾄﾙﾒﾝﾄﾊﾟﾈﾙ(下)	1	2	1		
F- 8	普通車	1997	1410	普通車	1470	無	無	無	無	無	中破	12FREW2	右外	30	25	43	25	75	40	53.6	非着用	無	男	24	173	75	25.1	下肢	膝蓋骨折	ｲﾝｽﾄﾙﾒﾝﾄﾊﾟﾈﾙ(下)	2	4	1		
F- 9	軽自動車	1995	670	普通車	770	無	無	無	無	無	小破	12FREW2	右外	5	5	5	10	35	25	21.4	着用	無	女	55	150	51	22.7	頸部	頚椎捻挫	受傷	1	1	1		
F- 10	普通車	1996	1000	普通車	900	無	無	無	無	無	大破	12FZEW4	右前	40	40	11	25	50	50	42.6	着用	不展開	男	50	158	56	22.4	頭部	大脳損傷	間脳障害	3	11	1	3-(4)	
F- 11	普通車	2000	1390	大型車	10030	無	無	無	無	有	大破	11FDAW7	左前	55	50	109	55	70	65	109.8	非着用	展開	女	34	165	70	25.7	腹部	子宮損傷	ｽﾃｱﾘﾝｸﾞｴｱﾊﾞｯｸﾞ	5	38	5	5-(6)	
F- 12	普通車	1992	910	大型車	10220	無	無	無	無	無	大破	12FRAW5	右外	65	65	93	50	40	40	96.4	非着用	無	男	71	160	55	21.5	腹部	肝臓損傷	ｲﾝｽﾄﾙﾒﾝﾄﾊﾟﾈﾙ(上)	6	75	5	5-(3)	
F- 13	普通車	1997	1410	大型車	11030	無	無	無	無	有	大破	12FYAW5	右前	60	60	110	45	50	55	97.5	着用	展開	男	22	170	60	20.8	頭部	脳幹損傷	ﾄﾗﾝｽﾐｯｼｮﾝ(前右)	5	29	5	5-(4)	
F- 14	普通車	1999	1500	大型車	12090	無	無	無	無	不明	中破	12FREN5	右外	40	40	20	35	45	不明	75.6	着用	展開	男	64	163	73	27.5	下肢	大腿骨骨折	ｲﾝｽﾄﾙﾒﾝﾄﾊﾟﾈﾙ(下)	3	9	1	3-(5),5-(2)	ΔV=27に見直し
F- 15	普通車	1998	950	大型車	10150	無	無	無	無	無	大破	12FDAW6	フルラップ	45	45	5	50	50	50	86.9	着用	展開	男	20	165	60	22.0	下肢	大腿骨骨折	ｲﾝｽﾄﾙﾒﾝﾄﾊﾟﾈﾙ(下)	3	9	1	3-(6),5-(1)	ΔV=80に見直し
F- 16	普通車	2000	1050	貨物車	3120	無	無	無	無	無	大破	12FREN6	右外	45	45	80	30	40	40	63.6	着用	展開	男	19	160	65	25.4	胸部	胸骨骨折	ｼｰﾄﾍﾞﾙﾄ	2	6	3	5-(9)	
F- 17	普通車	2000	870	普通車	1210	無	無	無	無	不明	中破	12FDEW2	フルラップ	50	45	35	25	30	0	46.5	着用	展開	女	27	164	58	21.6	下肢	脛骨骨折	ﾍﾟﾀﾙ	2	5	1		
F- 18	軽自動車	2004	850	普通車	1710	無	無	無	無	無	大破	12FDEW4	フルラップ	55	55	35	60	40	50	45	70.1	着用	展開	女	18	163	47	17.7	下肢	大腿骨骨折	ｲﾝｽﾄﾙﾒﾝﾄﾊﾟﾈﾙ(下)	3	9	2		
F- 19	普通車	1994	1710	普通車	850	無	無	無	無	無	中破	12FDEW4	フルラップ	50	45	30	35	55	35	34.9	着用	無	女	62	142	45	22.3	頸部	頚椎捻挫	受傷	1	2	1		
F- 20	普通車	1998	1090	普通車	690	無	無	無	無	無	中破	12FZEW2	右前	55	45	5	25	45	45	38.8	着用	展開	女	60	153	55	23.5	頸部	頚椎捻挫	運転席ｴｱﾊﾞｯｸﾞ	1	2	1		
F- 21	普通車	1993	780	普通車	870	無	無	無	無	無	大破	12FZEW3	右前	65	40	50	40	45	45	58.0	非着用	無	男	20	165	49	18.0	顔面	上顎骨骨折	ｽﾃｱﾘﾝｸﾞｺﾗﾑ,ﾎﾞｽ	2	6	3		
F- 22	普通車	2004	1260	大型車	10300	無	有	無	無	無	大破	11FZEW4	右前	35	35	55	40	50	25	75.7	着用	展開	女	56	150	43	19.1	腹部	腎臓損傷	ｼｰﾄﾍﾞﾙﾄ	2	9	3	5-(8)	
F- 23	普通車	2001	1310	普通車	不明	無	有	無	無	不明	中破	12FLEW3	左前	45	55	40	30	65	不明	不明	着用	展開	男	32	169	63	22.1	頸部	頚椎捻挫	受傷	1	2	1		
F- 24	普通車	1998	970	大型車	10130	無	有	無	無	不明	大破	12FZAW7	右前	55	55	75	60	50	45	95.8	着用	展開	女	20	172	65	22.0	頭部	大脳損傷	ﾙｰﾌ	3	18	3	5-(5)	
F- 25	軽自動車	2004	850	普通車	850	無	無	無	無	無	中破	12FDEW2	フルラップ	40	50	30	25	40	35	40.0	着用	展開	女	58	147	45	20.8	胸部	肺損傷	ｼｰﾄﾍﾞﾙﾄ	3	10	1	3-(7)	
F- 26	普通車	1998	850	普通車	850	無	無	無	無	無	大破	12FDEW3	フルラップ	40	35	60	40	40	50	40.0	非着用	展開	男	66	170	70	24.2	胸部	肺損傷	ｽﾃｱﾘﾝｸﾞﾊﾟﾈﾙ	3	13	5	3-(12)	
F- 27	普通車	1999	1350	普通車	1620	無	有	無	無	不明	中破	12FREW6	右外	50	40	15	20	45	45	51.8	着用	展開	男	27	180	98	30.2	腰部	腰椎骨折	本人の慢性力	2	5	1		
F- 28	普通車	2004	1620	普通車	1350	無	有	無	無	不明	中破	12FREW9	右外	45	45	5	25	50	40	43.2	着用	展開	男	33	175	58	18.9	頸部	頚椎捻挫	受傷	1	1	1		
F- 29	軽自動車	2004	850	普通車	830	無	有	無	無	不明	大破	12FZEW5	右前	65	65	55	40	65	50	64.2	着用	展開	女	23	165	45	16.5	胸部	肺損傷	ｼｰﾄﾍﾞﾙﾄ	3	14	2		
F- 30	普通車	1998	1590	普通車	1600	無	有	無	無	不明	大破	12FDEW3	フルラップ	60	70	55	45	80	30	70.2	非着用	展開	男	24	175	70	22.9	頭部	脳挫	不明	1	1	3	3-(13)	
F- 31	普通車	2006	1030	普通車	1060	無	無	無	無	不明	中破	12FDEW2	フルラップ	50	45	35	30	40	20	45.6	着用	展開	女	22	157	55	22.3	頸部	頚椎捻挫	受傷	1	3	1		
F- 32	普通車	2003	1060	普通車	1030	無	無	無	無	不明	中破	12FDEW2	フルラップ	40	20	35	30	50	45	44.4	着用	展開	男	46	163	48	18.1	胸部	肋骨骨折	ｼｰﾄﾍﾞﾙﾄ	1	3	1		
F- 33	普通車	1996	870	普通車	1260	無	無	無	無	不明	大破	12FDEW3	フルラップ	60	40	70	65	70	70	76.9	着用	展開	男	49	170	58	20.1	胸部	血管損傷	ｽﾃｱﾘﾝｸﾞｱｯｾﾝﾌﾞﾘ(破裂部)	4	34	3		
F- 34	普通車	1997	1330	普通車	1280	無	無	無	無	不明	大破	12FDEW4	フルラップ	40	60	50	45	45	40	41.7	非着用	展開	男	20	172	54	18.3	下肢	大腿骨骨折	ｽﾃｱﾘﾝｸﾞﾊﾟﾈﾙ	3	10	3		
F- 35	普通車	1994	1790	貨物車	3510	無	無	無	無	有	大破	12FZAW7	右前	40	40	55	30	45	35	56.3	非着用	無	男	25	180	80	24.7	下肢	大腿骨骨折	ｽﾃｱﾘﾝｸﾞﾊﾟﾈﾙ	3	10	3	5-(7)	
F- 36	普通車	2000	1050	普通車	1200	無	無	無	無	不明	中破	12FREW3	右外	30	30	20	25	15	15	24.0	着用	不展開	女	24	156	47	19.3	頸部	頚椎捻挫	受傷	1	2	1		
F- 37	普通車	2003	1620	普通車	1340	無	無	無	無	不明	大破	12FDEW3	フルラップ	50	50	60	45	60	60	49.8	着用	展開	男	35	172	61	20.6	上肢	鎖骨骨折	ｼｰﾄﾍﾞﾙﾄ	2	5	2		
F- 38	軽自動車	2006	830	普通車	1060	無	無	無	無	有	大破	12FZEW3	右前	60	65	35	40	45	40	58.9	着用	展開	女	26	150	43	19.1	腰部	腰椎捻挫	本人の慢性力	1	3	1		
F- 39	普通車	2003	1060	普通車	830	無	無	無	無	不明	大破	11FZEW3	右前	45	40	80	40	60	65	46.1	着用	展開	女	28	162	50	19.1	胸部	胸骨骨折	ｽﾃｱﾘﾝｸﾞｴｱﾊﾞｯｸﾞ	2	6	3		
F- 40	軽自動車	2000	780	普通車	1030	無	無	無	無	不明	小破	01FREW1	右外	0	0	20	15	35	40	19.9	着用	不展開	男	40	166	61	22.1	頸部	頚椎捻挫	受傷	1	1	1		
F- 41	普通車	2006	1440	普通車	1520	無	無	無	無	不明	中破	12FZEW2	右前	0	0	15	25	不明	40	不明	着用	展開	女	37	156	55	22.6	胸部	打撲傷	ｼｰﾄﾍﾞﾙﾄ	1	1	1		
F- 42	軽自動車	2005	860	普通車	1190	無	有	無	無	不明	大破	12FREW5	右外	50	50	60	40	40	40	52.2	着用	展開	女	25	157	49	19.9	腹部	肝臓損傷	間脳障害	2	6	2		
F- 43	普通車	1993	990	普通車	1240	無	無	無	無	不明	大破	12FYEW3	左前	50	55	55	60	50	50	55.6	着用	無	男	66	167	50	17.9	頭部	大脳損傷	ｽﾃｱﾘﾝｸﾞｱｯｾﾝﾌﾞﾘ(破裂部)	3	17	3		
F- 44	軽自動車	1999	990	普通車	1170	無	無	無	無	不明	中破	12FREW3	右外	40	25	35	35	35	40	40.6	非着用	展開	女	64	150	42	18.7	胸部	心臓損傷	ｽﾃｱﾘﾝｸﾞｴｱﾊﾞｯｸﾞ	5	38	2	3-(2)	
F- 45	普通車	2002	1170	普通車	990	無	無	無	無	不明	中破	12FREW3	右外	35	40	30	30	40	25	34.4	着用	展開	女	22	173	57	19.0	胸部	打撲傷	ｼｰﾄﾍﾞﾙﾄ	1	1	1		
F- 46	軽自動車	2003	800	普通車	610	無	無	無	無	不明	中破	12FDEW1	フルラップ	25	15	25	25	30	45	23.8	非着用	展開	女	22	157	57	23.1	下肢	挫創	ｲﾝｽﾄﾙﾒﾝﾄﾊﾟﾈﾙ(下)	1	1	1		
F- 47	普通車	2008	930	普通車	880	無	無	無	無	不明	中破	12FDEW1	フルラップ	0	0	10	20	30	25	14.6	着用	不展開	女	60	160	65	25.4	頸部	頚椎捻挫	受傷	1	3	1		
F- 48	普通車	2006	1400	普通車	1300	無	有	無	無	不明	大破	12FREN5	右外	55	40	15	25	35	40	43.3	非着用	展開	男	29	172	58	19.6	下肢	挫創	ｲﾝｽﾄﾙﾒﾝﾄﾊﾟﾈﾙ(下)	1	1	1		
F- 49	普通車	2004	1300	普通車	1400	無	有	無	無	不明	大破	12FREN5	右外	35	40	15	20	55	40	46.7	着用	展開	女	42	153	55	23.5	頸部	頚椎捻挫	受傷	1	2	1		
F- 50	普通車	1999	890	電柱衝突	—	有	無	無	無	不明	大破	12FCEN3	右前	不明	30	30	25	—	—	不明	非着用	展開	男	25	176	70	22.6	下肢	膝蓋骨折	ｲﾝｽﾄﾙﾒﾝﾄﾊﾟﾈﾙ(下)	2	5	2		
F- 51	普通車	1993	820	その他	—	有	無	無	無	無	大破	12FCEW3	中央内側	40	40	45	40	—	—	40	非着用	無	男	59	170	62	21.5	胸部	血管損傷	ｽﾃｱﾘﾝｸﾞﾎﾞｰｸ	5	50	3	3-(8)	
F- 52	普通車	1997	800	電柱衝突	—	有	無	無	無	不明	大破	12FYEN2	中央内側	40	40	40	30	—	—	40	非着用	展開	女	23	160	55	21.5	腹部	肝臓損傷	ｽﾃｱﾘﾝｸﾞｴｱﾊﾞｯｸﾞ	5	26	2	3-(3)	
F- 53	軽自動車	1997	770	家屋構脚	—	無	無	無	無	無	中破	12FDLW2	フルラップ	30	30	30	25	—	—	30	着用	展開	男	28	166	52	18.9	頸部	頚椎捻挫	間脳障害	1	2	1		
F- 54	普通車	1993	790	その他	—	有	無	無	無	無	中破	12FCEN2	中央内側	40	25	10	20	—	—	40	着用	無	女	62	150	49	21.8	顔面	打撲傷	ｽﾃｱﾘﾝｸﾞｺﾗﾑ,ﾎﾞｽ	1	1	1		
F- 55	普通車	1997	1230	家屋構脚	—	無	無	無	無	無	中破	11FLEN3	左外	80	45	18	25	—	—	80	非着用	無	男	29	173	60	20.0	頸部	頚椎捻挫	間脳障害	1	2	1		
F- 56	普通車	1998	1360	家屋構脚	—	無	無	無	無	不明	中破	12FZEW2	右前	80	30	10	20	—	—	80	非着用	展開	男	32	173	60	20.0	下肢	挫創	ｲﾝｽﾄﾙﾒﾝﾄﾊﾟﾈﾙ(下)	1	1	1		
F- 57	軽自動車	1995	720	家屋構脚	—	無	無	有	無	不明	大破	01FZEW4	右前	70	65	68	35	—	—	70	着用	無	女	21	152	45	19.5	顔面	歯牙損傷	ﾍﾟｱｰ(左)	1	2	3	3-(14)	
F- 58	普通車	2000	1440	その他	—	無	無	無	無	無	大破	12FCEN3	右前	50	40	40	40	—	—	50	着用	展開	男	61	161	57	22.0	上肢	手指骨損傷	不明	1	3	2		
F- 59	普通車	1996	1030	電柱衝突	—	有	無	無	無	無	大破	12FREN5	右外	50	55	49	55	—	—	50	着用	展開	男	18	168	55	19.5	頭部	大脳損傷	ﾍﾟｱｰ(右)	5	38	1	3-(1)	
F- 60	軽自動車	1998	780	家屋構脚	—	無	無	無	無	無	大破	12FREW4	右前	35	35	28	30	—	—	35	着用	展開	男	60	161	59	22.8	上肢	鎖骨骨折	ｼｰﾄﾍﾞﾙﾄ	2	5	1		
F- 61	軽自動車	1993	650	電柱衝突	—	有	無	無	無	不明	大破	12FCEN1	中央内側	15	15	15	15	—	—	15	着用	無	男	24	163	50	18.8	頭部	打撲傷	ﾙｰﾌ	1	1	1		
F- 62	普通車	1993	1380	その他	—	無	無	無	無	不明	大破	12FDEW5	フルラップ	70	70	70	70	—	—	70	非着用	無	男	53	165	65	23.9	頭部	大脳損傷	間脳障害	3	19	3		
F- 63	普通車	1990	1590	その他	—	有	無	無	無	不明	中破	12FCEN1	右前	60	45	25	20	—	—	60	非着用	無	男	20	180	60	18.5	頭部	裂創	ｻﾝﾊﾞｲｻﾞｰ(取付け部)	1	1	1		
F- 64	普通車	2001	1050	防護柵	—	無	無	有	無	不明	大破	01FREN3	右前	70	45	40	20	—	—	70	非着用	不展開	女	31	151	45	19.7	頸部	頚椎捻挫	不明	1	3	2		
F- 65	普通車	1996	1440	家屋構脚	—	無	無	無	無	不明	中破	12FYEW2	フルラップ	55	30	30	30	—	—	55	着用	展開	男	49	172	75	25.4	胸部	打撲傷	ｼｰﾄﾍﾞﾙﾄ	1	1	1		
F- 66	普通車	1990	1370	電柱衝突	—	有	無	無	無	無	大破	12FREN2	右前	60	35	35	25	—	—	60	非着用	無	男	18	170	56	19.4	顔面	上顎骨骨折	ｽﾃｱﾘﾝｸﾞﾊﾟﾈﾙ	2	5	2		
F- 67	普通車	2000	1100	電柱衝突	—	有	無	無	無	不明	大破	12FLEN3	左前	60	55	50	45	—	—	60	着用	展開	男	51	180	84	25.9	胸部	肋骨骨折	ｼｰﾄﾍﾞﾙﾄ	2	5	1		
F- 68	普通車	1994	1200	その他	—	有	無	有	有	不明	大破	12FZAW5	右外	60	40	10	25	—	—	60	非着用	無	男	30	167	63	22.6	下肢	足部骨折	ﾍﾟﾀﾙ	2	4	1		
F- 69	普通車	1990	1250	電柱衝突	—	有	無	無	無	不明	中破	12FZEW2	右前	55	40	30	40	—	—	55	着用	無	男	22	170	55	19.0	頭部	頚椎捻挫	前面衝突ｶｰﾃﾝ(右)	1	2	1		
F- 70	軽自動車	1999	770	電柱衝突	—	有	無	有	無	不明	大破	12FDLW1	その他	55	55	5	15	—	—	55	着用	無	女	23	158	53	21.2	上肢	挫滅傷	不明	1	1	1		

Table. A-2: Sampling data for frontal collisions (2/2)

No.	車両種別	車両登録年	車両質量kg	衝突対象	相手車両質量kg	ポール衝突	多重衝突	ロールオーバー	乗員放出	閉じ込め	車両損壊程度	CDCコード	衝突位置(第4章で定義)	危険認知速度km/h	衝突速度km/h	ΔV km/h	EBS km/h	相手車両危険認知速度km/h	相手車両衝突速度km/h	擬似ΔV(計算km/h	シートベルト着用	エアバッグ展開	性別	年齢	身長cm	体重kg	BMI	傷害部位	傷害内容	加害部位	MAIS	ISS	標準予測式MAIS	残差分析Case No.	備考
F- 71	軽自動車	1996	750	家屋/棚/塀	—	無	無	無	無	不明	小破	12FDEW1	フルラップ	70	15	10	10	—	—	70	非着用	無	男	21	165	85	31.2	顔面	打撲傷	ステアリングホイール	1	1	1		
F- 72	普通車	1994	990	電柱/標識	—	有	無	無	無	不明	大破	12FZEN4	右前	70	55	55	45	—	—	70	着用	無	男	38	170	80	27.7	上肢	鎖骨骨折	シートベルト	2	4	2		
F- 73	普通車	1995	1200	家屋/棚/塀	—	有	無	有	無	無	中破	12FZEW2	右前	65	65	63	25	—	—	65	着用	無	男	22	168	52	18.4	頭部	打撲傷	前面窓ガラス(中)	1	1	1		
F- 74	普通車	2001	1410	電柱/標識	—	有	無	無	無	不明	中破	12FREN2	右前	60	45	45	35	—	—	60	着用	無	男	59	164	68	25.3	胸部	肋骨骨折	ステアリングコラムボス	1	2	1		
F- 75	普通車	1996	1400	電柱/標識	—	有	無	無	無	不明	中破	12FREN2	右前	80	35	35	30	—	—	80	非着用	展開	男	22	177	73	23.3	下肢	腓骨骨折	ガラス	2	5	1		
F- 76	軽自動車	2001	810	電柱/標識	—	有	無	無	無	不明	中破	12FCEN3	中央内側	50	40	40	35	—	—	50	非着用	展開	男	18	169	58	20.3	下肢	足関節骨折	ペダード	1	2	1		
F- 77	普通車	1994	1420	家屋/棚/塀	—	有	無	無	無	無	中破	12FLEN3	左前	50	50	50	50	—	—	50	非着用	無	男	38	170	70	24.2	頭部	裂傷	前面窓ガラス(右)	2	4	2		
F- 78	普通車	1996	1150	家屋/棚/塀	—	無	無	無	無	不明	中破	12FYEW2	左前	30	30	30	30	—	—	30	着用	展開	女	63	156	60	24.7	腹部	挫創	シートベルト	1	1	1		
F- 79	普通車	2002	1210	家屋/棚/塀	—	無	無	無	無	無	大破	12FDEW3	フルラップ	不明	45	55	45	—	—	不明	非着用	展開	女	39	165	60	22.0	胸部	肺挫傷	ステアリングアッセンブリ(脱落不明)	4	29	3		
F- 80	普通車	1997	1490	家屋/棚/塀	—	無	無	無	無	不明	大破	12FREN4	右外	50	50	50	40	—	—	50	非着用	展開	男	23	171	59	20.2	顔面	裂傷	ルーフ(右)	2	8	3		
F- 81	普通車	1994	1090	その他	—	有	無	無	無	無	大破	12FREN3	右前	55	45	50	40	—	—	55	着用	無	男	20	168	65	23.0	顔面	裂傷	ステアリングホイール	2	4	1		
F- 82	普通車	1997	1350	家屋/棚/塀	—	有	無	無	無	不明	大破	12FZEN3	中央内側	45	45	45	40	—	—	45	非着用	展開	男	47	173	66	22.1	胸部	心臓挫傷	CRS本体	5	26	3	3-(9)	
F- 83	普通車	1990	1360	その他	—	有	無	無	無	不明	中破	12FLEN2	左前	40	35	30	35	—	—	40	非着用	無	男	38	170	70	24.2	頭部	打撲傷	前面窓ガラス(右)	1	1	1		
F- 84	普通車	1997	1540	その他	—	無	無	有	無	無	大破	12FCEW2	左前	70	40	15	30	—	—	70	着用	不展開	男	35	170	70	24.2	顔面	判読困	前面窓ガラス(助手席)	1	1	1		
F- 85	軽自動車	2003	710	電柱/標識	—	有	無	無	無	不明	大破	12FREN2	右前	40	35	25	35	—	—	40	非着用	展開	男	73	160	70	27.3	頭部	裂傷	前面窓ガラス(右)	1	1	3	3-(15)	
F- 86	普通車	1989	1150	その他	—	有	無	無	無	無	大破	12FZEW4	右前	55	55	55	55	—	—	55	非着用	無	男	27	173	70	23.4	胸部	心臓挫傷	ステアリングアッセンブリ(脱落不明)	3	14	3		
F- 87	普通車	2002	1490	家屋/棚/塀	—	無	無	無	無	不明	中破	12FREW3	右外	50	30	20	20	—	—	50	非着用	展開	男	36	163	60	22.6	胸部	肋骨骨折	運転席エアバッグ	2	5	1		
F- 88	軽自動車	1991	640	その他	—	有	無	無	無	不明	中破	12FLEN4	左外	40	30	20	25	—	—	40	非着用	無	男	55	172	79	26.7	胸部	肺挫傷	ステアリングホイール	3	14	1	3-(10)	
F- 89	普通車	1993	1020	電柱/標識	—	有	無	無	無	無	大破	12FZEN3	右前	60	60	60	50	—	—	60	着用	無	女	50	153	53	22.6	腹部	膵尾部損傷	ステアリングホイール	2	12	3		
F- 90	普通車	2003	1500	その他	—	有	有	無	無	不明	中破	12FDWN1	中央内側	80	30	30	25	—	—	80	着用	展開	男	49	170	60	20.8	胸部	打撲傷	シートベルト	1	1	1		
F- 91	普通車	1991	1420	防護柵	—	有	有	無	無	不明	中破	12FLWN1	左前	45	30	15	20	—	—	45	非着用	無	女	35	157	50	20.3	頸部	頚椎捻挫	空振	1	2	1		
F- 92	普通車	1999	1710	家屋/棚/塀	—	無	有	有	無	不明	大破	12FREW4	右外	50	50	30	35	—	—	50	非着用	展開	男	20	175	65	21.2	腹部	膵尾部損傷	ステアリングホイール	2	5	2		
F- 93	普通車	1991	1670	電柱/標識	—	有	有	無	無	不明	大破	12FCEN3	中央内側	60	45	45	40	—	—	60	非着用	無	男	19	171	59	20.2	下肢	大腿骨骨折	ステアリングコラムカバー	3	10	3		
F- 94	軽自動車	2002	980	家屋/棚/塀	—	無	無	無	無	不明	小破	12FREW1	右外	40	15	5	10	—	—	40	着用	展開	女	49	148	46	21.0	顔面	打撲傷	ルーフ・フロア(右)	1	1	1		
F- 95	普通車	2000	1270	その他	—	有	無	無	無	不明	中破	12FYEN2	左前	不明	40	40	35	—	—	不明	非着用	展開	女	24	158	48	19.2	腹部	肝臓損傷	ステアリングホイール	2	6	1		
F- 96	普通車	1996	1190	防護柵	—	無	無	無	無	無	中破	12FLEN4	左外	55	55	55	45	—	—	55	非着用	展開	男	27	170	65	22.5	腹部	膵臓損傷	運転席エアバッグ	3	10	2		
F- 97	普通車	1998	1380	電柱/標識	—	有	無	無	無	不明	中破	12FYEN2	左前	40	30	30	25	—	—	40	着用	展開	男	28	171	70	23.9	頸部	頚椎捻挫	空振	1	2	1		
F- 98	普通車	1996	1090	電柱/標識	—	有	無	無	無	不明	中破	12FYEN2	左前	40	30	30	25	—	—	40	非着用	不展開	男	62	152	51	22.1	顔面	歯槽骨々折	ステアリングホイール	2	5	2		
F- 99	軽自動車	2003	850	電柱/標識	—	有	有	無	無	不明	中破	12FZEW3	右前	50	20	20	20	—	—	50	着用	不展開	男	30	170	75	26.0	頸部	頚椎捻挫	空振	1	1	1		
F- 100	普通車	1991	1040	その他	—	有	有	有	無	不明	大破	12FREW3	右外	50	40	5	15	—	—	50	着用	無	女	54	158	50	20.0	頭部	裂傷	ルーフ	1	1	1		
F- 101	普通車	1995	960	家屋/棚/塀	—	有	有	無	無	不明	中破	12FYEW3	左前	40	40	40	40	—	—	40	着用	無	女	36	162	45	17.1	顔面	裂傷	ステアリングコラムボス	1	1	1		
F- 102	普通車	1998	1460	家屋/棚/塀	—	無	有	無	無	不明	小破	12FLEW1	左外	30	15	15	15	—	—	30	非着用	不展開	男	57	168	70	24.8	顔面	歯牙損傷	ステアリングホイール	1	2	1		
F- 103	普通車	1997	920	防護柵	—	無	無	無	無	不明	中破	12FREW4	右外	50	45	35	30	—	—	50	着用	展開	女	21	162	55	21.0	胸部	打撲傷	シートベルト	1	1	1		
F- 104	普通車	1997	870	電柱/標識	—	有	有	無	無	不明	中破	12FYEN3	左前	40	45	45	40	—	—	40	着用	展開	女	22	169	60	21.0	頸部	頚椎捻挫	空振	1	2	1		
F- 105	軽自動車	2007	840	電柱/標識	—	有	無	無	無	不明	中破	12FLEN3	左外	不明	25	25	20	—	—	不明	着用	展開	女	18	150	45	20.0	頸部	頚椎捻挫	空振	1	1	1		
F- 106	普通車	1998	1400	電柱/標識	—	有	有	無	無	不明	中破	12FCEW3	右前	40	40	40	30	—	—	40	着用	展開	男	40	182	110	33.2	胸部	打撲傷	アームレスト	1	1	1		
F- 107	普通車	1993	1220	防護柵	—	無	有	無	無	不明	大破	11FLMW1	フルラップ	80	45	45	45	—	—	80	着用	無	男	21	167	50	17.9	上肢	挫創	ステアリングホイール	1	1	1		
F- 108	普通車	1996	1530	電柱/標識	—	有	有	無	無	不明	大破	12FLAW7	左外	45	45	20	35	—	—	45	非着用	展開	男	31	180	70	21.6	胸部	打撲傷	ステアリング+エアバッグ	1	1	1		
F- 109	普通車	2006	1460	電柱/標識	—	有	無	無	無	不明	大破	12FCEN2	中央内側	40	40	25	25	—	—	40	着用	展開	女	49	160	55	21.5	胸部	打撲傷	シートベルト	1	1	1		
F- 110	普通車	2006	1830	家屋/棚/塀	—	無	有	無	無	不明	大破	01FDEW1	フルラップ	70	60	60	20	—	—	70	非着用	展開	女	30	160	55	21.5	頭部	大脳挫傷	開放損害	4	17	3		
F- 111	普通車	2002	1650	電柱/標識	—	有	無	無	無	不明	大破	12FZEW2	中央内側	50	50	20	30	—	—	50	着用	展開	男	24	166	61	22.1	頭部	挫創	ステアリング+エアバッグ	1	1	1		
F- 112	普通車	1995	1690	防護柵	—	有	無	無	無	不明	中破	12FLEN1	左外	30	30	5	10	—	—	30	着用	展開	男	39	166	63	22.9	上肢	挫創	インストルメントパネル(脱落不明)	1	1	1		
F- 113	普通車	1995	1170	電柱/標識	—	有	無	無	無	無	小破	12FREN6	右外	40	40	5	10	—	—	40	非着用	不展開	男	26	170	80	27.7	顔面	打撲傷	その他	1	1	1		
F- 114	軽自動車	2007	830	電柱/標識	—	有	有	有	無	不明	中破	12FRAN6	右外	40	50	10	30	—	—	40	着用	展開	女	19	153	45	19.2	頭部	裂傷	側面窓ガラス(前左)	1	1	1		
F- 115	普通車	1995	1680	家屋/棚/塀	—	無	無	無	無	不明	大破	12FYEW3	左前	45	35	35	35	—	—	45	非着用	展開	男	32	168	65	23.0	腹部	肝臓損傷	ステアリング+エアバッグ	3	11	2		
F- 116	軽自動車	2007	770	防護柵	—	無	有	無	無	無	中破	12FLEW2	左前	50	50	15	30	—	—	50	着用	不展開	男	72	163	72	27.1	胸部	打撲傷	シートベルト	1	1	1		
F- 117	普通車	2002	1040	防護柵	—	有	有	有	無	無	大破	12FLWW1	左前	50	50	35	35	—	—	50	着用	展開	女	73	151	64	28.1	胸部	胸骨骨折	シートベルト	2	4	2		
F- 118	普通車	2004	1180	電柱/標識	—	有	無	無	無	無	中破	12FLEW4	左外	30	25	15	15	—	—	30	着用	展開	女	39	158	52	20.8	顔面	打撲傷	運転席エアバッグ	1	1	1		
F- 119	普通車	2003	1070	その他	—	有	有	無	無	無	中破	12FZEN2	右前	不明	40	15	20	—	—	不明	着用	不展開	女	28	146	36	16.9	頭部	打撲傷	ステアリングホイール	1	1	1		
F- 120	軽自動車	2007	830	電柱/標識	—	有	有	無	無	無	中破	12FYEW3	左前	40	35	25	25	—	—	40	着用	展開	女	27	159	57	22.5	下肢	挫創	インストルメントパネル(下)	1	1	1		
F- 121	普通車	1996	930	その他	—	有	有	無	無	無	中破	12FLEN4	左外	不明	30	20	20	—	—	不明	着用	展開	女	48	148	55	25.1	顔面	打撲傷	運転席エアバッグ	1	1	1		
F- 122	軽自動車	2005	840	その他	—	有	無	無	無	無	大破	12FZEW3	右前	60	50	15	25	—	—	60	着用	展開	男	18	168	75	26.6	顔面	挫創	ステアリング+エアバッグ	1	1	1		
F- 123	軽自動車	1998	650	電柱/標識	—	有	無	無	無	無	小破	12FLEN1	左外	20	10	10	5	—	—	20	着用	無	男	85	160	50	19.5	頸部	頚椎捻挫	空振	1	1	1		
F- 124	軽自動車	2006	830	家屋/棚/塀	—	無	無	無	無	無	大破	12FDEW2	フルラップ	60	65	45	45	—	—	60	非着用	展開	男	28	175	80	26.1	胸部	打撲傷	運転席エアバッグ	1	1	3	3-(16)	
F- 125	普通車	2008	1480	電柱/標識	—	有	無	無	無	不明	大破	12FRW3	右外	60	35	35	25	—	—	60	着用	展開	女	40	165	47	17.3	頭部	打撲傷	ステアリング+エアバッグ	1	1	1		
F- 126	軽自動車	2006	820	電柱/標識	—	有	無	無	無	不明	中破	12FZEN2	右前	30	35	35	30	—	—	30	着用	展開	女	36	175	80	26.1	頸部	頚椎捻挫	空振	1	3	1		
F- 127	普通車	1996	1470	家屋/棚/塀	—	有	無	無	無	無	中破	12FRLW2	右前	55	55	20	25	—	—	55	着用	展開	女	64	154	55	23.2	顔面	眼挫傷	ステアリング+エアバッグ	1	3	1		
F- 128	普通車	2002	920	防護柵	—	無	有	無	無	不明	大破	12FDEW3	フルラップ	70	45	50	45	—	—	70	着用	展開	女	20	169	55	19.3	胸部	打撲傷	運転席エアバッグ	1	1	1		
F- 129	普通車	1998	1380	防護柵	—	無	無	無	無	不明	中破	11FLEW2	左外	65	40	25	25	—	—	65	着用	不展開	男	21	167	51	18.3	下肢	挫創	不明	1	1	1		
F- 130	普通車	1997	1400	家屋/棚/塀	—	無	無	無	無	不明	大破	12FLEW5	左外	50	40	35	35	—	—	50	着用	展開	女	32	155	50	20.8	顔面	打撲傷	運転席エアバッグ	1	3	1		
F- 131	普通車	2000	1620	その他	—	有	無	無	無	不明	中破	12FCEW2	中央内側	40	25	25	15	—	—	40	着用	展開	女	60	159	59	23.3	胸部	打撲傷	ステアリング+エアバッグ	1	1	1		
F- 132	普通車	2008	1300	家屋/棚/塀	—	無	有	有	無	無	大破	12FLEW6	左外	60	60	50	50	—	—	60	着用	展開	男	31	173	65	21.7	上肢	裂傷	側面窓ガラス(前右)	1	1	1		
F- 133	普通車	1999	1120	防護柵	—	有	有	無	無	不明	大破	12FRW5	右外	50	45	35	40	—	—	50	着用	展開	男	29	180	73	22.5	下肢	腓骨骨折	ガラス	2	5	1		
F- 134	普通車	2004	1080	電柱/標識	—	有	有	無	無	不明	中破	11FLEW4	左外	40	40	15	25	—	—	40	着用	展開	女	56	153	51	21.8	頸部	頚椎捻挫	空振	1	3	1		
F- 135	軽自動車	2005	930	電柱/標識	—	有	無	無	無	不明	中破	12FREW1	右外	10	20	20	20	—	—	10	着用	展開	男	72	160	62	24.2	顔面	打撲傷	運転席エアバッグ	1	1	1		
F- 136	普通車	2006	1090	家屋/棚/塀	—	無	無	無	無	無	中破	12FZEW2	右前	40	35	35	35	—	—	40	非着用	展開	女	29	153	60	25.6	腹部	肝臓損傷	ステアリングホイール	2	5	1		
F- 137	普通車	1996	1730	その他	—	有	有	無	無	不明	大破	01FYEW6	左前	100	100	95	95	—	—	100	非着用	展開	男	23	171	55	18.8	腹部	直腸損傷	ステアリングホイール	3	10	5	3-(17)	
F- 138	普通車	2000	1100	家屋/棚/塀	—	無	無	無	無	不明	中破	12FDEW1	フルラップ	35	30	25	25	—	—	35	着用	展開	男	36	166	53	19.2	頸部	挫創	不明	1	1	1		
F- 139	普通車	2008	950	その他	—	有	無	無	無	不明	大破	12FREW2	右外	不明	55	40	40	—	—	不明	着用	展開	女	21	150	40	17.8	頭部	大脳挫傷	開放損害	3	18	1	3-(11)	

付録 B

Table. B-1: Sampling data for Nearside

No.	車両種別	車両登録年	車両質量kg	衝突対象	相手車両質量kg	ホール衝突(2,2次)	多重衝突	ロールオーバー	乗員放出	閉じ込め	車両損壊程度	CDCコード	危険認知速度km/h	衝突速度km/h	ΔV km/h	EBS km/h	相手車両危険認知速度km/h	相手車両衝突速度km/h	擬似ΔV(計算)km/h	シートベルト着用	エアバック展開	側突エアバック展開	性別	年齢	身長cm	体重kg	BMI	傷害部位	傷害内容	加害部位	MAIS	ISS	NS予測式MAIS	残差分析Case No.	備考
NS- 1	普通車	1993	1260	普通車	1170	無	無	無	無	不明	大破	03RPEW2	10	5	20	25	60	50	28.9	非着用	無	無	女	32	161	65	25.1	頭部	打撲傷	側面部ガラス(前席)	1	1	1		
NS- 2	普通車	1994	990	IBOX	1450	無	無	無	無	不明	中破	03RYEW1	10	30	32	25	50	60	29.7	着用	無	無	女	50	160	48	18.8	頭部	脳挫傷	フロントガラス(左)	2	4	1		
NS- 3	普通車	1990	1690	普通車	1130	有2	無	無	無	不明	大破	03RZES1	40	60	47	5	10	10	4.0	非着用	無	無	男	19	166	60	21.8	頭部	頚椎損傷	頚椎(前面)	1	2	2		
NS- 4	普通車	1997	1420	大型車	11910	有2	有	無	無	不明	大破	03RYAW4	不明	20	55	40	50	65	44.7	着用	展開	無	男	37	180	70	21.6	胸部	肋骨骨折	ドアガラス(前席)	5	50	5		
NS- 5	軽自動車	2000	830	普通車	1360	無	無	無	無	不明	中破	02RYEW2	20	20	15	35	50	45	31.1	非着用	展開	無	女	21	150	41	18.2	頭部	脳挫	窓枠	1	1	1		
NS- 6	普通車	2000	1130	普通車	1690	無	有	無	無	不明	大破	02RBEW1	40	40	14	25	55	55	33.0	非着用	不展開	無	男	36	170	62	21.5	頭部	大脳挫裂	後ウー(左)	5	26	1	6N-(1)	
NS- 7	普通車	1992	1100	普通車	1690	無	無	無	無	不明	大破	02RPEW2	30	45	22	20	40	40	24.2	非着用	不展開	無	女	31	166	56	20.3	頭部	打撲傷	インストルメントﾊﾟﾈﾙ(上)	1	2	1		
NS- 8	軽自動車	1999	720	普通車	1690	無	有	無	無	不明	大破	03RYEW3	10	10	45	35	40	60	28.0	非着用	不展開	無	女	57	153	60	25.6	腰部	骨盤骨折	ドアガラス(前席)	2	4	2		
NS- 9	普通車	1994	1200	普通車	1250	有2	有	無	無	不明	大破	02RFEW3	20	35	39	20	40	50	20.4	着用	不展開	無	女	44	165	60	22.0	頚部	頚椎捻挫	窓枠	1	2	1		
NS- 10	軽自動車	2001	700	普通車	700	無	無	無	無	不明	中破	03RFEW2	25	25	25	15	30	55	14.1	着用	不展開	無	女	34	163	56	21.1	頚部	頚椎捻挫	窓枠	1	1	1		
NS- 11	軽自動車	1993	690	IBOX	1640	無	無	無	無	不明	小破	02RFEW2	15	15	10	15	60	15	42.2	着用	無	無	男	66	167	70	25.1	頚部	頚椎捻挫	窓枠	1	1	1		
NS- 12	軽自動車	1992	650	貨物車	2800	無	無	無	無	不明	中破	03RYAW2	10	10	35	25	35	30	28.4	着用	無	無	女	63	155	60	25.0	顔面	裂創	側面部ガラス(前席)	1	1	1		
NS- 13	軽自動車	2003	820	SUV	2040	無	有	無	無	不明	大破	03RZAW4	45	45	31	40	45	55	32.1	着用	展開	無	男	64	162	67	25.5	胸部	肋骨骨折	ドアガラス(前席)	4	33	1	6N-(2)	
NS- 14	普通車	2000	1040	ミニバン	1520	無	無	無	無	不明	中破	02RYEW2	不明	35	30	25	40	45	23.8	着用	不展開	無	女	22	165	不明	不明	顔面	打撲傷	側面部ガラス(前席)	1	1	1		
NS- 15	普通車	1992	1360	普通車	1990	有2	有	無	無	不明	大破	02RPAW3	60	55	35	40	80	65	47.5	着用	無	無	男	26	不明	不明	不明	腹部	臓器損傷	ドアガラス(前席)	4	41	1	6N-(3)	
NS- 16	軽自動車	2000	830	普通車	1090	無	無	無	無	不明	中破	03RBEN2	15	15	25	15	60	50	34.1	着用	不展開	無	男	22	175	65	21.2	頚部	頚椎捻挫	窓枠	1	2	1		
NS- 17	軽自動車	1995	760	ミニバン	1300	無	無	有	無	無	大破	03RZAW3	5	15	40	45	50	70	31.6	非着用	無	無	男	19	170	70	24.2	頚部	頚椎捻挫	窓枠	1	2	1		
NS- 18	普通車	1993	530	貨物車	1870	無	無	無	無	不明	大破	02RYAW2	不明	20	30	30	55	30	45.9	着用	無	無	男	79	不明	不明	不明	胸部	肋骨骨折	ドアガラス(前席)	4	29	2	6N-(5)	
NS- 19	普通車	1996	1140	IBOX	1810	無	無	無	無	不明	中破	02RFEN2	30	35	30	25	40	50	24.5	着用	展開	無	女	57	151	55	24.1	上肢	関節脱臼骨折	ドアガラス(前席)	1	2	1		
NS- 20	普通車	1995	1010	普通車	1220	有2	有	無	無	不明	中破	02RFEW1	50	55	45	25	70	50	38.3	非着用	不展開	無	男	27	不明	不明	不明	胸部	肋骨骨折	ステアリング	2	6	1		
NS- 21	普通車	1998	980	SUV	2120	無	無	無	無	不明	中破	04RPAW3	20	25	10	25	50	40	34.2	非着用	無	無	男	34	173	80	26.7	胸部	肋骨骨折	後ウー(右)	3	10	1	6N-(6)	
NS- 22	軽貨物車	2002	640	普通車	1110	無	有	無	無	無	中破	04RYEW3	10	20	35	25	45	55	28.5	着用	無	無	女	22	152	48	20.8	頚部	頚椎捻挫	窓枠	1	2	1		
NS- 23	普通車	1996	1050	貨物車	4830	無	無	無	無	無	中破	02RPAW3	20	20	20	30	20	24.6	非着用	不展開	無	無	女	58	158	45	18.0	顔面	裂創	側面部ガラス(前席)	1	1	1		
NS- 24	軽自動車	1993	710	SUV	1210	無	無	無	無	不明	大破	02RZEW3	10	10	35	30	40	50	25.2	着用	無	無	女	27	150	43	19.1	腰部	骨盤骨折	ドアガラス(前席)	2	5	1		
NS- 25	軽自動車	1998	690	普通車	980	無	有	無	無	不明	大破	03RYAW3	60	60	15	25	50	55	41.3	着用	無	無	女	42	168	78	27.6	上肢	挫創	ドアガラス(前席)	1	1	1		
NS- 26	軽自動車	2005	770	普通車	1820	無	有	有	無	不明	中破	02RPAW2	10	15	35	30	65	65	45.7	着用	不展開	無	女	51	157	58	23.5	下肢	挫創	シートバック	1	1	1		
NS- 27	普通車	1993	1040	普通車	890	無	有	無	無	不明	小破	02RZEW1	20	30	10	10	45	35	20.8	着用	無	無	女	53	148	55	25.1	頚部	頚椎捻挫	窓枠	1	3	1		
NS- 28	軽自動車	1997	670	IBOX	1470	無	有	無	無	不明	大破	03RYAW4	35	40	45	50	80	80	55.0	非着用	無	無	男	33	180	105	32.4	上肢	開放骨折	後ウー(左)	2	5	2		
NS- 29	軽自動車	2001	820	ミニバン	1400	無	有	無	無	不明	中破	02RFEW2	40	45	30	25	40	40	25.2	着用	展開	無	女	57	159	56	22.2	胸部	打撲傷	シートベルト	1	2	1		
NS- 30	軽貨物車	2000	970	大型車	10680	無	有	無	無	不明	中破	03RDAW1	15	15	35	25	60	40	55.0	着用	不展開	無	男	74	150	53	23.6	頚部	打撲傷	側面部ガラス(前席)	1	1	1		
NS- 31	普通車	2000	1000	ミニバン	860	無	有	無	無	不明	中破	02RYEW1	35	25	5	15	30	30	13.9	着用	不展開	無	女	60	150	57	25.3	頚部	頚椎	不明	1	1	1		
NS- 32	軽自動車	2004	770	普通車	1900	無	有	無	無	無	中破	02RYEW3	25	25	30	30	50	50	35.6	着用	展開	無	女	40	162	52	19.8	腰部	骨盤骨折	ドアガラス(前席)	2	5	1		
NS- 33	普通車	1991	1090	普通車	1460	無	有	無	無	不明	中破	02RYEW2	20	20	35	20	60	40	34.4	着用	無	無	男	35	180	72	22.2	胸部	肋骨骨折	ドアガラス(前席)	1	1	1		
NS- 34	普通車	1995	1510	大型車	6210	無	有	無	無	不明	大破	03RZAW4	不明	30	45	45	70	70	56.3	非着用	展開	無	男	21	171	58	19.8	胸部	脾臓内臓損	後ウー(右)	5	26	5		
NS- 35	普通車	1999	1360	IBOX	1460	無	有	無	無	無	小破	02RDEW1	30	30	15	10	35	30	18.1	非着用	不展開	無	女	27	162	54	20.6	頚部	打撲傷	ヘラサイバース(前席)	1	1	1		
NS- 36	軽自動車	1997	670	IBOX	1950	無	有	無	無	無	大破	02RYAW3	35	45	25	45	40	40	29.8	非着用	不展開	無	男	58	172	76	25.7	胸部	肋骨骨折	ドアガラス(前席)	1	1	1		
NS- 37	軽自動車	2004	840	IBOX	1710	無	無	無	無	不明	中破	02RYAW2	75	75	45	25	35	35	23.5	着用	展開	無	女	23	151	56	24.6	胸部	ガス塞栓閉鎖	ドアガラス(助手席側)	4	21	1	6N-(4)	
NS- 38	普通車	1995	1400	普通車	1640	無	無	無	無	不明	小破	02RPEW2	40	40	15	15	60	45	32.4	着用	不展開	無	女	19	180	64	19.8	下肢	挫創	不明	1	1	1		
NS- 39	普通車	2006	1070	普通車	820	無	有	無	無	不明	小破	02RYEW3	40	35	40	20	35	50	15.2	着用	展開	無	女	22	149	45	20.3	頚部	打撲傷	不明	1	1	1		
NS- 40	普通車	2004	900	ミニバン	1480	無	有	無	無	不明	中破	02RPEW1	45	45	15	15	35	35	21.8	着用	不展開	無	女	38	162	68	25.9	頚部	頚椎捻挫	窓枠	1	1	1		
NS- 41	普通車	1997	930	普通車	1310	無	有	無	無	不明	中破	02RPEW3	15	20	20	30	50	45	29.2	着用	展開	無	女	55	155	50	20.8	上肢	挫創	ドアガラス(前席)	1	1	1		
NS- 42	普通車	2004	1210	普通車	1380	無	有	無	無	不明	小破	03RFEW3	10	10	30	15	60	55	32.0	着用	不展開	無	女	57	157	58	23.5	頚部	頚椎捻挫	窓枠	1	1	1		
NS- 43	普通車	1998	1320	大型車	11860	無	有	無	無	不明	中破	03RFEW3	15	15	40	25	55	55	49.5	着用	不展開	無	女	60	148	53	24.2	頚部	打撲傷	不明	1	1	1		
NS- 44	軽自動車	2003	790	貨物車	6120	無	無	無	無	不明	中破	02RYEW3	5	5	25	15	45	25	39.9	着用	不展開	無	男	55	168	66	23.4	上肢	挫傷骨折	不明	2	4	1		
NS- 45	軽自動車	2004	840	普通車	670	無	有	無	無	不明	中破	02RFEW3	25	25	30	15	60	40	26.6	着用	不展開	無	男	53	165	65	23.9	頚部	頚椎捻挫	窓枠	1	2	1		
NS- 46	普通車	2000	1040	IBOX	1230	有2	有	無	無	無	大破	03RFEW1	73	60	5	30	20	20	10.8	着用	展開	無	女	50	161	55	21.2	胸部	打撲傷	シートベルト	1	1	1		
NS- 47	軽自動車	1996	690	ミニバン	1710	無	有	無	無	不明	中破	03RPEW2	5	35	30	20	35	55	24.2	着用	無	無	男	50	168	57	20.2	頚部	頚椎捻挫	窓枠	1	2	1		
NS- 48	普通車	1999	1130	普通車	1360	無	無	無	無	不明	中破	02RBEW1	40	60	10	10	35	45	19.1	着用	不展開	無	女	26	152	51	22.1	頚部	頚椎捻挫	窓枠	1	2	1		
NS- 49	普通車	1999	1340	貨物車	3120	有2	有	無	無	不明	大破	02RDAW4	不明	60	50	30	75	75	52.5	着用	展開	無	男	57	160	不明	不明	胸部	肋骨骨折	シートベルト	3	19	2		
NS- 50	普通車	1999	1320	SUV	1360	無	無	無	無	不明	中破	02RFEW2	55	65	20	15	15	40	7.6	着用	展開	無	女	32	159	48	19.0	顔面	挫創	運転席エアバッグ	1	1	1		
NS- 51	普通車	2008	900	普通車	1080	無	有	無	無	不明	中破	02RFEW2	40	40	15	15	40	40	21.8	非着用	展開	無	女	24	156	56	23.0	頚部	頚椎捻挫	ステアリング+エアバッグ	1	2	1		
NS- 52	軽自動車	2005	990	普通車	2060	無	有	有	有	不明	大破	03RYEW3	不明	30	60	25	不明	80	不明	非着用	展開	無	男	38	168	80	28.3	胸部	肋骨骨折	ドアガラス(前席)	4	21	4		
NS- 53	普通車	1994	1640	普通車	790	無	有	無	無	無	大破	03RFEW1	20	35	10	15	60	60	19.5	着用	無	無	男	76	160	59	23.0	頚部	挫傷	不明	1	1	1		
NS- 54	軽自動車	2006	840	普通車	800	有2	有	無	無	不明	中破	02RPEW1	40	40	10	10	30	30	4.9	非着用	展開	無	女	29	166	49	23.0	頚部	頚椎捻挫	運転席エアバッグ	1	1	1		
NS- 55	普通車	2000	1580	SUV	1870	無	無	無	無	不明	大破	02RDEW1	40	40	20	25	50	50	13.6	非着用	不展開	無	男	49	175	81	26.4	頚部	肋骨骨折	ドアガラス(前席)	2	5	1		
NS- 56	軽自動車	2003	850	普通車	1260	有2	有	無	無	不明	小破	02RYEW2	40	40	15	15	20	30	11.9	着用	不展開	無	男	43	162	63	24.0	胸部	打撲傷	シートベルト	1	1	1		
NS- 57	普通車	1999	1150	普通車	1060	有2	有	有	無	無	中破	03RYEW2	15	15	30	25	50	60	24.0	着用	不展開	無	女	59	157	51	20.7	胸部	打撲傷	シートベルト	1	1	1		
NS- 58	軽貨物車	2001	930	普通車	1440	有2	有	無	無	不明	中破	02RYEW2	不明	20	15	15	不明	30	不明	着用	不展開	無	男	29	180	90	27.8	頚部	頚椎捻挫	頚椎(前面)	1	2	1		
NS- 59	軽貨物車	2008	820	貨物車	3710	無	無	無	無	不明	大破	03RZAW2	不明	20	25	5	50	30	40.9	着用	不展開	無	女	42	163	45	16.9	胸部	肋骨骨折	ドアガラス(助手席側)	3	10	1	6N-(7)	
NS- 60	普通車	2005	1000	SUV	1360	無	無	無	無	不明	大破	02RYEW2	10	20	20	20	60	65	34.6	着用	不展開	無	女	67	148	60	27.4	胸部	肋骨骨折	ドアガラス(前席)	2	4	1		
NS- 61	普通車	2007	1330	普通車	1100	無	有	無	無	無	大破	02RDEW3	10	25	15	35	60	60	27.2	非着用	展開	無	男	27	169	55	19.3	下肢	脱臼骨折	後ウー(左)	1	2	1		
NS- 62	軽自動車	2006	790	ミニバン	1510	無	有	無	無	無	中破	02RDEW1	40	40	20	15	35	25	23.0	着用	不展開	無	女	48	158	60	24.0	頚部	頚椎捻挫	窓枠	1	2	1		
NS- 63	普通車	2005	1620	普通車	690	無	無	無	無	不明	中破	03RFEW2	0	5	20	15	50	50	14.9	着用	不展開	無	女	32	162	52	19.8	上肢	挫創	ドアガラス(前席)	1	1	1		
NS- 64	普通車	2002	990	ミニバン	1500	無	無	無	無	不明	中破	03RYEW1	40	45	10	20	10	30	6.0	着用	不展開	無	女	46	165	54	19.8	頚部	頚椎捻挫	窓枠	1	1	1		
NS- 65	普通車	2001	1560	普通車	1340	無	有	無	無	不明	小破	02RFEW1	45	30	10	10	5	25	2.3	着用	不展開	無	男	37	175	67	21.9	胸部	打撲傷	シートベルト	1	2	1		
NS- 66	普通車	2002	1190	普通車	1480	有2	有	無	無	不明	大破	02RYEW2	60	60	55	45	60	60	33.3	着用	展開	展開	男	28	178	65	20.5	頚部	大脳挫裂	ルーフ接触有	3	22	4		
NS- 67	普通車	2000	1650	大型車	9880	無	有	無	無	不明	大破	03RYAW3	30	20	45	25	40	55	34.3	着用	不展開	無	男	31	170	55	19.0	胸部	打撲傷	シートベルト	1	1	5	6N-(8)	
NS- 68	軽自動車	2006	820	IBOX	2040	無	有	無	無	不明	中破	03RFEW3	5	5	30	25	20	45	14.3	着用	展開	無	男	39	165	70	25.7	上肢	開放骨折脱臼	後ウー(右)	2	4	1		
NS- 69	普通車	2006	970	普通車	990	無	有	有	無	無	中破	02RZEW1	60	55	15	20	40	35	20.2	着用	不展開	無	女	54	150	54	24.0	頚部	頚椎捻挫	窓枠	1	2	1		
NS- 70	軽貨物車	2003	690	普通車	820	無	無	無	無	無	中破	02RFEW2	20	20	20	15	不明	30	不明	着用	無	無	男	75	156	51	21.0	胸部	打撲傷	シートベルト	1	1	1		
NS- 71	普通車	1997	690	車両単独	—	有	無	無	有	無	大破	02RPAN5	65	65	43	55	—	—	65	非着用	無	無	男	25	168	63	22.3	腹部	肝臓損傷	ドアガラス(前席)	3	22	4		
NS- 72	普通車	1999	1440	車両単独	—	有	有	無	無	不明	大破	02RFWS1	90	65	65	55	—	—	90	非着用	不展開	無	男	28	167	57	20.4	胸部	心臓損傷	ドアガラス(前席)	5	38	5		
NS- 73	普通車	2000	1200	車両単独	—	有	有	無	無	無	中破	03RFWS1	不明	25	25	20	—	—	不明	着用	不展開	無	男	23	172	68	23.0	頚部	打撲傷	ヘラサイバース(前席)	1	1	1		

付録 C

Table. C-1: Sampling data for Farside (1/2)

No.	車両種別	車両登録年	車両質量kg	衝突対象	相手車両質量kg	ポール衝突(2,2次)	多重衝突	ロールオーバー	乗員放出	閉じ込め	車両損壊程度	CDCコード	危険認知速度km/h	衝突速度km/h	ΔV km/h	EBS km/h	相手車両危険認知速度km/h	相手車両衝突速度km/h	擬似ΔV(計算)km/h	シートベルト着用	エアバッグ展開	側突エアバッグ展開	性別	年齢	身長cm	体重kg	BMI	傷害部位	傷害内容	加害部位	MAIS	ISS	FS予測式MAIS	残差分析Case No.	備考
FS- 1	普通車	1993	1310	普通車	1130	無	有	無	無	不明	大破	09LYEW1	5	35	12	15	70	30	32.4	着用	無	無	女	31	155	40	16.6	上肢	関節部 損傷	不明	1	2	1		
FS- 2	軽自動車	1996	750	普通車	1100	無	無	有	無	不明	中破	10LZEW1	55	50	20	20	30	30	17.8	着用	無	無	女	25	156	56	23.0	頭部	裂創	舗装	1	1	1		
FS- 3	普通車	1990	1900	普通車	1290	無	無	有	無	不明	大破	08LYEW2	20	30	19	25	90	50	36.4	着用	無	無	男	48	165	85	31.2	下肢	挫創	ﾄﾗｸﾀﾙ(前右)	1	1	1		
FS- 4	軽貨物車	1996	810	大型車	9430	無	有	無	無	不明	大破	10LYAW4	50	50	76	45	60	75	55.3	着用	無	無	男	25	165	68	25.0	頭部	大脳挫傷	壁面	5	57	5		
FS- 5	軽自動車	1997	700	IBOX	1430	無	有	有	無	不明	中破	10LZEW2	40	40	30	25	60	75	40.3	非着用	無	無	女	51	153	46	19.7	頭部	打撲傷	インストルメントﾊﾟﾈﾙ(中)	1	1	1		
FS- 6	普通車	1996	880	普通車	1210	無	有	無	無	不明	大破	10LZEW3	15	15	44	40	70	50	40.5	着用	不展開	無	女	51	163	64	24.1	胸部	打撲傷	ステアリング	1	1	1		
FS- 7	普通車	1999	1430	普通車	920	無	有	無	無	不明	中破	10LFEW2	10	10	25	15	60	65	23.5	着用	不展開	無	男	34	165	53	19.5	頸部	頚椎挫傷	壁面	1	2	1		
FS- 8	普通車	1997	1060	普通車	1060	無	有	無	無	不明	中破	09LFEW2	10	10	30	20	40	60	20.0	着用	展開	無	女	20	不明	不明	不明	頭部	裂創	ﾌﾛﾝﾄｶﾞﾗｽ(前左)	1	1	1		
FS- 9	普通車	1992	1290	ミニバン	1310	無	有	無	無	不明	大破	10LFEW2	15	15	40	20	50	55	25.2	非着用	無	無	男	63	165	52	19.1	頭部	裂創	ｽﾘｯﾌﾟ(左)	1	1	1		
FS- 10	普通車	2002	1100	ミニバン	1500	無	有	無	無	不明	中破	09LFEW3	35	30	25	15	60	50	34.6	着用	展開	無	男	61	165	65	23.9	胸部	打撲傷	ｼｰﾄﾍﾞﾙﾄ	1	1	1		
FS- 11	普通車	1994	850	普通車	1210	無	無	無	無	不明	中破	09LFEW3	15	15	45	20	45	55	26.4	着用	無	無	女	22	151	40	17.5	胸部	打撲傷	ｼｰﾄﾍﾞﾙﾄ	1	1	1		
FS- 12	軽貨物車	1997	720	普通車	1220	無	無	無	無	不明	小破	10LFEW2	50	30	15	10	30	20	18.9	着用	無	無	男	52	不明	不明	不明	頸部	頚椎挫傷	壁面	1	3	1		
FS- 13	軽貨物車	2001	690	普通車	1250	無	有	無	無	不明	中破	10LBEW2	20	15	25	20	60	55	38.7	非着用	無	無	男	42	172	67	22.6	顔面	挫滅創	前面ﾌﾛﾝﾄｶﾞﾗｽ(中)	1	2	1		
FS- 14	普通車	1996	1150	大型車	12490	無	無	無	無	不明	中破	09LYEW2	20	20	51	35	55	45	50.4	着用	展開	無	男	25	170	60	20.8	頭部	大脳挫傷	ｶｳﾝﾀｰﾊﾟﾝﾁ(右)	5	26	1	6F-(1)	
FS- 15	普通車	1998	930	普通車	820	無	有	無	無	不明	大破	10LYEW3	25	25	27	35	60	60	28.1	着用	展開	無	女	24	158	62	24.8	顔面	打撲傷	ステアリング	1	1	1		
FS- 16	軽貨物車	2001	760	普通車	1150	無	無	有	無	不明	大破	10LFEW5	40	40	46	30	40	50	24.1	非着用	無	無	男	46	165	71	26.1	下肢	挫創	足 混ｺﾝﾊﾟｰﾄﾒﾝﾄ(切)	1	1	1		
FS- 17	普通車	1998	820	ミニバン	1640	無	有	無	無	不明	大破	10LYAW3	20	20	50	35	65	65	43.3	着用	展開	無	女	57	156	55	22.6	下肢	挫創	インストルメントﾊﾟﾈﾙ(下)	1	1	1		
FS- 18	普通車	2000	1130	普通車	1520	無	無	無	無	不明	中破	10LFEW3	10	10	25	20	60	55	34.4	着用	不展開	無	男	42	181	70	21.4	上肢	挫創	前腕	1	1	1		
FS- 19	普通車	1992	1060	普通車	830	無	無	無	無	不明	中破	10LFEW1	25	25	25	15	50	55	22.0	非着用	無	無	女	61	160	55	21.5	頭部	打撲傷	ﾙｰﾌﾄｰﾌﾟ(脱落式)	1	2	1		
FS- 20	普通車	1997	880	普通車	1470	無	有	無	無	不明	中破	09LPEW2	20	20	20	25	50	35	31.3	着用	不展開	無	男	27	170	62	21.5	頸部	頚椎挫傷	壁面	1	2	1		
FS- 21	軽貨物車	1999	930	普通車	1140	無	無	有	無	不明	中破	10LPEW1	15	20	15	15	50	50	27.5	着用	不展開	無	男	32	165	70	25.7	上肢	挫創	ﾄﾗｸﾀﾙ(前右)	1	1	1		
FS- 22	普通車	2003	1080	普通車	700	無	無	無	無	不明	大破	10LPEW1	不明	30	20	15	不明	55	不明	着用	不展開	無	男	25	171	60	20.5	胸部	打撲傷	骨折	1	1	1		
FS- 23	軽自動車	1993	650	普通車	1140	無	無	無	無	不明	中破	09LFEW4	25	15	49	15	60	55	38.2	着用	無	無	女	55	159	60	23.7	下肢	挫創	インストルメントﾊﾟﾈﾙ(下)	1	1	1		
FS- 24	軽貨物車	1987	750	SUV	1850	無	有	無	無	不明	大破	10LFAW3	50	50	50	25	40	40	28.5	着用	無	無	男	26	165	63	23.1	頭部	挫滅創	前面ﾌﾛﾝﾄｶﾞﾗｽ(中)	1	1	3	6F-(12)	
FS- 25	軽自動車	1990	680	普通車	1690	無	無	無	無	不明	中破	10LZAW3	20	20	52	35	60	65	42.8	非着用	無	無	男	48	不明	不明	不明	腹部	腎臓挫傷	不明	3	22	1	6F-(5)	
FS- 26	普通車	1989	1360	普通車	1070	無	有	無	無	不明	中破	10LFEW3	25	25	65	25	60	85	26.4	着用	無	無	女	47	150	55	24.4	胸部	打撲傷	ｼｰﾄﾍﾞﾙﾄ	1	2	1		
FS- 27	軽貨物車	1994	710	普通車	1100	無	有	無	無	不明	大破	10LYAW4	25	25	37	40	45	55	27.3	非着用	無	無	男	35	174	80	26.4	頸部	頚椎挫傷	足 幹	6	75	3	6F-(2)	
FS- 28	普通車	2002	920	普通車	1620	無	無	無	無	不明	中破	10LPEW2	20	15	25	20	40	35	25.5	着用	不展開	無	男	21	不明	不明	不明	腹部	挫創	ｼｰﾄﾍﾞﾙﾄ	1	1	1		
FS- 29	軽貨物車	1995	920	普通車	910	無	有	無	有	不明	中破	10LYEW2	20	20	50	20	65	55	32.3	非着用	無	無	女	59	不明	不明	不明	腰部	骨 開放 折	舗装	2	9	3		
FS- 30	普通車	1997	1570	普通車	1590	無	有	有	無	不明	中破	10LPEW2	20	20	40	25	65	65	32.7	着用	不展開	無	女	29	153	40	17.1	上肢	挫創	ﾄﾗｸﾀﾙ(前右)	1	3	1		
FS- 31	普通車	1995	870	普通車	1550	無	有	無	無	有	中破	10LFEN2	20	15	25	20	50	45	32.0	非着用	無	無	男	23	180	65	20.1	頭部	打撲傷	ﾙｰﾌﾄｰﾌﾟ(固定式)	1	2	1		
FS- 32	軽自動車	2000	780	大型車	12480	無	無	有	無	不明	大破	09LYAW3	20	20	45	35	不明	40	不明	着用	無	無	女	46	154	不明	不明	腰部	骨 開放 折	不明	2	5	1		
FS- 33	軽自動車	2002	950	IBOX	1580	無	無	無	無	無	中破	09LFEW4	50	15	30	25	55	40	34.3	着用	不展開	無	女	30	不明	不明	不明	下肢	挫創	インストルメントﾊﾟﾈﾙ(下)	1	1	1		
FS- 34	普通車	2001	1170	普通車	1360	無	有	無	無	不明	中破	10LFEW3	20	20	30	20	50	40	26.9	着用	不展開	無	男	34	172	77	26.0	頸部	頚椎挫傷	壁面	1	2	1		
FS- 35	普通車	2003	1460	普通車	1090	無	有	無	無	無	中破	10LPEW2	25	25	35	25	70	60	29.9	着用	不展開	無	男	57	不明	不明	不明	頸部	頚椎挫傷	壁面	1	2	1		
FS- 36	普通車	1995	980	普通車	1260	無	無	無	無	不明	小破	10LFEW2	30	30	10	15	40	35	22.5	着用	無	無	男	30	163	60	22.6	上肢	関節部 損傷	ｼｰﾄﾍﾞﾙﾄ	1	2	1		
FS- 37	普通車	1996	1850	大型車	14480	無	無	無	無	不明	大破	10LFEW3	15	10	45	35	45	45	39.9	着用	展開	無	男	22	不明	不明	不明	胸部	打撲傷	ｼｰﾄﾍﾞﾙﾄ	1	1	1		
FS- 38	軽自動車	2000	800	貨物車	4740	無	有	無	無	不明	大破	10LFEW4	55	60	60	不明	70	70	59.9	着用	展開	無	女	34	不明	不明	不明	下肢	挫創	足 混ｺﾝﾊﾟｰﾄﾒﾝﾄ	1	1	1		
FS- 39	軽貨物車	2003	870	普通車	870	無	有	無	無	不明	小破	10LZEW1	40	30	15	15	60	50	30.0	着用	不展開	無	女	52	不明	不明	不明	上肢	裂創	前面ﾌﾛﾝﾄｶﾞﾗｽ(前右)	1	1	1		
FS- 40	軽貨物車	1995	820	IBOX	1230	無	有	無	無	不明	大破	09LYEW4	30	30	45	25	60	70	36.0	着用	無	無	女	73	140	40	20.4	腹部	☆挫滅傷	ｼｰﾄﾍﾞﾙﾄ	4	16	1	6F-(3)	
FS- 41	普通車	1996	880	SUV	1800	無	有	無	無	不明	大破	10LFEW3	25	55	45	45	20	40	13.4	着用	展開	無	女	38	不明	不明	不明	腹部	臓器 損傷	ステアリング	3	14	1	6F-(6)	
FS- 42	普通車	1996	990	普通車	1100	無	無	無	無	不明	中破	10LYEW3	5	15	15	35	60	65	31.6	着用	展開	無	男	46	163	76	28.6	上肢	手骨骨 折	不明	2	4	1		
FS- 43	軽自動車	1999	770	貨物車	1830	無	無	無	無	不明	中破	10LFEW3	15	15	40	25	50	55	35.2	着用	無	無	女	39	163	56	21.1	頸部	頚椎挫傷	壁面	1	1	1		
FS- 44	普通車	1995	1120	普通車	1480	無	有	無	無	無	中破	10LYEW2	15	15	35	30	60	55	34.2	着用	無	無	女	26	153	45	19.2	頸部	頚椎挫傷	壁面	1	2	1		
FS- 45	普通車	1989	1310	普通車	1180	無	無	無	無	不明	中破	10LFEW6	25	25	45	25	70	70	33.2	着用	無	無	男	35	170	56	19.4	下肢	脛腓骨 折	ﾌﾞﾗﾑ	2	4	1		
FS- 46	普通車	1996	1730	IBOX	1680	無	無	無	無	不明	中破	10LFEW2	10	20	25	10	40	35	19.7	着用	不展開	不展開	男	45	不明	不明	不明	腰部	腰椎骨 折	本人の 慣 性力	2	6	1		
FS- 47	普通車	1997	740	普通車	1450	無	無	無	無	不明	大破	09LZAW2	20	15	30	30	60	60	39.7	着用	無	無	女	50	157	69	28.0	胸部	肋骨骨 折	足 混ｺﾝﾊﾟｰﾄﾒﾝﾄ	2	5	1		
FS- 48	普通車	1997	1290	貨物車	2250	無	有	無	無	不明	大破	10LZAW3	15	25	20	30	60	50	38.1	着用	無	無	男	45	177	80	25.5	頸部	頚椎挫傷	壁面	1	2	1		
FS- 49	普通車	1994	1180	大型車	11160	無	有	無	無	不明	大破	09LZAW3	不明	15	30	35	55	45	49.7	着用	無	無	女	53	148	55	25.1	胸部	打撲傷	ｼｰﾄﾍﾞﾙﾄ	1	1	1		
FS- 50	軽自動車	1999	750	普通車	1250	無	無	有	無	不明	大破	10LYEW2	15	15	30	25	70	50	43.8	着用	不展開	無	女	35	152	55	23.8	上肢	挫創	ﾄﾗｸﾀﾙ(前右)	1	1	1		
FS- 51	普通車	2001	1410	貨物車	4880	無	有	無	無	不明	大破	10LYAW3	25	25	40	30	55	40	42.7	着用	展開	無	男	52	168	75	26.6	頭部	裂創	ﾊｰﾌｻｲﾄﾞﾚｰﾙ(前右)	1	1	1		
FS- 52	軽自動車	1995	640	普通車	1230	無	有	無	無	不明	中破	10LZAW2	15	20	25	20	60	55	39.5	着用	無	無	男	37	153	70	29.9	頸部	頚椎挫傷	壁面	1	2	1		
FS- 53	普通車	1996	1580	SUV	1450	無	有	無	無	不明	大破	10LYEW4	40	40	25	45	40	60	19.1	非着用	展開	無	男	19	160	58	22.7	顔面	挫滅傷	ｶﾞﾗｽ片	1	1	1		
FS- 54	普通車	1996	1020	普通車	1300	無	有	無	無	不明	中破	10LYEW2	30	30	35	30	55	50	30.8	着用	不展開	無	男	54	172	60	20.3	下肢	挫創	本人の 慣 性力	1	1	1		
FS- 55	軽自動車	2002	830	普通車	1380	無	有	有	無	不明	中破	09LYAW2	15	10	55	30	90	60	56.2	着用	不展開	無	女	58	153	44	18.8	下肢	関節部 損傷	ｰﾄﾞｯｸ	1	1	1		
FS- 56	普通車	2001	890	普通車	1400	無	有	無	無	無	大破	10LPEW3	15	20	35	40	70	80	42.8	非着用	展開	無	男	25	168	64	22.7	頸部	頚椎挫傷	髄損傷疑	1	2	1		
FS- 57	軽自動車	1999	790	大型車	10800	無	有	無	無	不明	大破	09LDAW3	20	20	35	40	50	40	46.6	着用	不展開	無	女	35	159	55	21.8	上肢	開放骨 折	足 混ｺﾝﾊﾟｰﾄﾒﾝﾄ	2	9	1		
FS- 58	普通車	1996	1450	大型車	10270	無	無	無	無	無	大破	10LYAW3	20	20	60	35	55	55	48.2	着用	展開	無	女	39	165	55	20.2	頸部	頚椎挫傷	壁面	1	2	1		
FS- 59	普通車	2005	1060	普通車	1370	無	有	無	無	不明	中破	10LYEW2	20	20	35	20	60	50	33.8	着用	不展開	無	男	25	178	80	25.2	下肢	挫創	インストルメントﾊﾟﾈﾙ(下)	1	1	1		
FS- 60	普通車	2001	1220	普通車	1170	無	有	無	無	不明	大破	10LFEW4	10	10	33	25	70	75	34.3	着用	展開	無	男	33	168	62	22.0	胸部	打撲傷	ｼｰﾄﾍﾞﾙﾄ	1	1	1		
FS- 61	普通車	1999	1410	ミニバン	1880	無	無	無	無	不明	中破	10LPEW2	20	20	15	25	60	35	34.3	着用	不展開	無	女	51	157	67	27.2	下肢	挫創	ｼｰﾄﾍﾞﾙﾄ	1	1	1		
FS- 62	普通車	2002	990	IBOX	1530	無	有	無	無	不明	中破	10LFEW3	20	20	50	15	65	55	39.5	非着用	不展開	無	女	23	154	46	19.4	頸部	頚椎挫傷	髄損傷疑	3	10	1	6F-(7)	
FS- 63	軽自動車	2005	870	普通車	690	無	有	無	無	不明	中破	10LZEW1	40	35	15	15	35	45	15.5	着用	不展開	無	男	53	148	58	26.5	下肢	挫創	ﾄﾗｸﾀﾙ(前右)	1	1	1		
FS- 64	軽貨物車	1994	870	SUV	2020	無	有	無	無	不明	中破	10LZEW3	20	20	35	20	55	55	38.4	着用	無	無	男	59	165	68	25.0	頸部	頚椎挫傷	壁面	1	2	1		
FS- 65	軽貨物車	1999	620	普通車	1000	無	無	有	無	不明	中破	10LFEW3	30	30	30	35	20	40	12.3	着用	無	無	女	55	153	55	23.5	頸部	頚椎挫傷	髄損傷疑	1	2	1		
FS- 66	軽自動車	2005	740	SUV	1360	無	有	有	無	不明	中破	10LYEW2	40	40	30	25	40	35	25.9	着用	不展開	無	女	19	172	56	18.9	頸部	頚椎挫傷	壁面	1	2	1		
FS- 67	軽自動車	2003	750	普通車	860	無	有	無	無	不明	中破	10LYEW3	不明	5	40	25	70	60	37.4	着用	不展開	無	女	71	165	55	20.2	下肢	挫創	不明	1	1	1		
FS- 68	普通車	2002	1480	ミニバン	1840	無	無	無	無	無	小破	10LYEW1	不明	25	15	10	40	20	22.2	着用	不展開	無	女	31	160	不明	不明	下肢	挫創	ﾄﾗｸﾀﾙ(前右)	1	1	1		
FS- 69	普通車	2003	1050	普通車	990	無	有	無	無	不明	中破	10LPEW2	15	15	15	20	45	25	21.8	着用	不展開	無	女	73	151	54	23.7	頸部	頚椎挫傷	壁面	1	2	1		
FS- 70	普通車	1995	2130	貨物車	5410	有2	有	無	無	不明	大破	10LDAW3	25	25	45	45	70	50	50.2	非着用	不展開	無	女	44	153	55	23.5	上肢	鎖骨骨 折	ステアリング	2	5	1		

Table. C-2: Sampling data for Farside (2/2)

No.	車両種別	車両登録年	車両質量kg	衝突対象	相手車両質量kg	ポール衝突(2.2次)	多重衝突	ロールオーバー	乗員放出	閉じ込め	車両損壊程度	CDCコード	危険認知速度km/h	衝突速度km/h	ΔV km/h	EBS km/h	相手車両危険認知速度km/h	相手車両衝突速度km/h	擬似ΔV計算km/h	シートベルト着用	エアバッグ展開	側突エアバッグ展開	性別	年齢	身長cm	体重kg	BMI	傷害部位	傷害内容	加害部位	MAIS	ISS	FS予測式MAIS	残差分析Case No.	備考
FS-71	普通車	2006	1530	SUV	1600	無	有	有	無	不明	小破	10LZEW2	30	30	10	15	30	30	15.3	着用	不展開	無	男	37	178	90	28.4	頚部	頚椎捻挫	空振	1	1	1		
FS-72	普通車	2006	1760	ミニバン	1410	無	有	無	無	無	中破	10LYEW2	35	35	35	25	55	55	24.5	着用	不展開	無	男	36	160	70	27.3	頚部	頚椎捻挫	空振	1	2	1		
FS-73	軽貨物車	1993	710	IBOX	1340	無	有	無	無	無	大破	09LYAW3	不明	10	40	25	40	55	26.1	非着用	無	無	男	70	165	55	20.2	胸部	胸骨骨折	ダッシュパネル(前左)	3	13	3		
FS-74	普通車	2004	1670	普通車	1100	無	無	無	無	無	小破	09LPEW1	0	0	5	5	5	5	2.0	着用	不展開	無	女	34	156	49	20.1	腰部	腰椎捻挫	不明	1	1	1		
FS-75	普通車	1997	1440	普通車	880	無	無	無	無	不明	中破	09LFEW8	30	25	20	不明	55	65	20.9	着用	不展開	無	男	42	176	90	29.1	下肢	脛骨	右ドア他	1	1	1		
FS-76	普通車	1995	980	貨物車	1640	有2	有	無	無	無	大破	08LPEW1	60	70	30	45	5	15	3.1	着用	展開	無	女	53	151	43	18.9	胸部	肺挫傷	ハードベリ	1	2	1		
FS-77	普通車	2002	1420	貨物車	3060	無	無	無	無	不明	大破	09LPAW7	50	50	45	35	50	70	34.2	非着用	展開	無	男	58	169	84	29.4	胸部	肋骨骨折	インストルメントパネル(助位 不明)	3	19	1	6F-(8)	
FS-78	軽自動車	2008	840	普通車	1070	無	無	無	無	無	中破	10LFEW2	10	5	25	15	50	45	28.0	着用	展開	無	男	76	163	57	21.5	胸部	打撲傷	ハードベリ	1	1	1		
FS-79	普通車	2007	1250	普通車	1010	無	無	無	無	無	中破	10LFEW3	40	40	30	20	50	45	22.3	着用	不展開	無	女	39	153	42	17.9	上肢	挫創	ハードベリ	1	1	1		
FS-80	普通車	2004	1000	普通車	1030	有2	有	無	無	不明	中破	10LFEW3	30	30	5	20	45	55	22.8	着用	不展開	無	男	41	182	69	20.8	頚部	頚椎捻挫	空振	1	2	1		
FS-81	軽自動車	1996	750	普通車	1280	無	無	有	無	無	大破	10LPEW3	20	35	30	35	40	35	25.2	非着用	無	無	男	30	165	65	23.9	下肢	挫創	ダブリル(前右)	1	1	1		
FS-82	軽自動車	2004	770	普通車	1500	無	有	無	無	不明	中破	09LFEW3	不明	10	45	30	60	60	39.6	非着用	展開	無	女	58	155	63	26.2	頚部	頚髄損傷	頸髄損傷	3	19	1	6F-(9)	
FS-83	普通車	2005	1790	貨物車	2630	無	無	無	無	無	中破	10LFEW3	15	20	10	10	40	45	23.8	着用	不展開	無	女	50	152	65	28.1	頭部	打撲傷	ヘルメット	1	1	1		
FS-84	軽自動車	2000	970	普通車	950	有2	有	無	無	不明	中破	08LPLW8	40	40	20	20	40	40	19.8	着用	不展開	無	女	60	156	65	26.7	頚部	頚椎 骨折	空振	2	4	1		
FS-85	普通車	1997	1170	SUV	1970	無	有	有	無	不明	大破	10LZEW2	不明	60	30	30	不明	65	不明	着用	展開	無	男	57	170	67	23.2	上肢	手指骨損傷	不明	1	3	1		
FS-86	普通車	2008	990	普通車	1450	無	有	無	無	不明	大破	10LFEW7	25	25	50	25	75	80	44.6	着用	展開	無	女	23	158	48	19.2	腹部	小腸損傷	ハードベリ	3	13	1	6F-(10)	
FS-87	普通車	2001	1420	ミニバン	2020	無	有	無	無	不明	大破	10LYEW4	20	30	55	50	60	75	35.2	着用	不展開	無	男	70	167	75	26.9	胸部	打撲傷	ハードベリ	1	1	1		
FS-88	普通車	2002	1000	普通車	1330	無	無	無	無	不明	大破	10LYEW2	15	40	45	15	80	75	45.7	着用	不展開	無	女	83	148	40	18.3	胸部	打撲傷	エアバッグアセンブリ(助位 不明)	1	1	1		
FS-89	軽貨物車	2001	690	普通車	1000	無	無	無	無	不明	小破	10LFEW9	5	10	25	不明	50	40	29.6	着用	無	無	男	78	152	60	26.0	頚部	頚椎捻挫	空振	1	1	1		
FS-90	軽自動車	1997	750	IBOX	2090	無	無	無	無	不明	大破	10LYEW8	25	35	50	30	45	55	33.1	着用	無	無	男	45	182	100	30.2	胸部	打撲傷	ハードベリ	1	1	1		
FS-91	軽自動車	2005	820	普通車	1260	無	無	有	無	有	中破	10LPEW2	45	50	20	15	35	30	21.2	着用	不展開	無	女	38	153	44	18.8	頚部	頚椎捻挫	空振	1	2	1		
FS-92	普通車	1996	1440	普通車	1150	無	有	無	無	無	大破	10LZEW3	20	35	10	20	70	70	31.1	着用	不展開	無	男	44	178	115	36.3	頚部	頚椎捻挫	空振	1	2	1		
FS-93	普通車	2007	900	普通車	1380	無	有	有	無	不明	中破	10LPEW1	10	20	20	25	55	45	33.3	着用	不展開	展開	女	65	148	44	20.1	上肢	挫創	ハードベリ	1	1	1		
FS-94	軽貨物車	2007	910	普通車	1060	無	有	無	無	不明	大破	10LFEW3	45	45	45	25	60	50	32.3	着用	不展開	無	女	62	158	55	22.0	頚部	頚椎 骨折	不明	3	9	1	6F-(11)	
FS-95	軽貨物車	1997	830	普通車	790	無	有	無	有	不明	大破	10LYEW8	50	50	50	35	50	65	24.4	着用	無	無	男	80	165	80	29.4	頭部	大脳損傷	頸髄損傷	4	29	1	6F-(4)	
FS-96	普通車	2008	1120	普通車	880	無	有	無	無	不明	中破	10LFEW3	不明	20	25	25	45	50	19.8	着用	不展開	無	男	61	168	66	23.4	胸部	打撲傷	ハードベリ	1	1	1		
FS-97	普通車	2008	2050	貨物車	1390	無	有	無	無	不明	中破	10LFAW2	40	40	40	20	45	55	18.2	着用	不展開	展開	男	36	165	65	23.9	頚部	頚椎捻挫	空振	1	1	1		
FS-98	普通車	1998	930	ミニバン	1550	無	無	無	無	不明	中破	10LFEW2	20	20	15	20	不明	40	不明	着用	不展開	無	男	39	171	64	21.9	頚部	頚椎捻挫	空振	1	3	1		
FS-99	軽自動車	1994	690	ミニバン	1830	無	有	有	無	不明	大破	10LPEW3	不明	50	50	45	60	55	43.6	着用	無	無	女	24	160	50	19.5	頚部	頚椎捻挫	空振	1	2	1		
FS-100	軽貨物車	2005	870	普通車	1530	無	有	無	無	不明	中破	09LPEW2	不明	20	30	25	60	65	38.3	非着用	展開	無	男	49	168	95	33.7	頭部	打撲傷	光ラーグリップ(左)	1	1	1		
FS-101	普通車	2004	1010	大型車	9280	無	無	無	無	不明	中破	09LYMW3	45	45	55	25	40	30	36.1	着用	不展開	無	女	57	158	55	22.0	胸部	打撲傷	ハードベリ	1	1	1		
FS-102	軽貨物車	2003	850	SUV	1340	有2	有	無	無	不明	大破	10LBEW2	45	45	20	20	60	50	36.7	着用	無	無	女	63	152	50	21.6	頚部	頚椎捻挫	空振	1	2	1		
FS-103	軽自動車	2006	690	普通車	1040	無	有	有	無	無	大破	10LZEW1	30	25	5	15	50	50	30.1	着用	不展開	無	女	58	150	53	23.6	胸部	肺挫傷	ハードベリ	1	1	1		
FS-104	普通車	2003	1000	普通車	1160	無	有	無	無	無	中破	10LFEW2	不明	35	40	20	60	45	32.2	着用	不展開	無	女	70	158	56	22.4	胸部	打撲傷	ハードベリ	1	1	1		
FS-105	普通車	2006	1210	普通車	1040	無	有	無	無	不明	大破	10LFEW8	40	45	35	30	70	65	32.4	着用	展開	無	男	66	166	64	23.2	胸部	打撲傷	ハードベリ	1	1	1		
FS-106	普通車	1996	1290	車両単独	—	有	無	無	無	有	大破	08LPAN4	80	25	20	25	—	—	80.0	非着用	不展開	無	女	18	170	58	20.1	頚部	頚椎捻挫	空振	1	2	1		
FS-107	普通車	1991	1060	車両単独	—	有	無	無	無	無	大破	08LPAN6	90	60	60	50	—	—	90.0	着用	無	無	男	25	164	62	23.1	頭部	頭蓋骨骨折	車体外部(D 対物(電柱等)	2	5	1		
FS-108	軽自動車	1993	690	車両単独	—	有	無	無	有	無	大破	08LYAW7	70	55	55	55	—	—	70.0	非着用	無	無	男	30	172	56	18.9	下肢	足部 骨折	不明	2	4	3		

付録 D

Table. D-1: Sampling data for Rear-end

No.	車両種別	車両登録年	車両質量kg	衝突対象	相手車両質量kg	ﾎﾞｰﾙ衝突(2.2次)	相手車の潜り込み	多重衝突	ロールオーバー	乗員放出	閉じ込め	車両損壊程度	CDCｺｰﾄﾞ	危険認知速度km/h	衝突速度km/h	ΔV km/h	EBS km/h	相手車両危険認知速度km/h	相手車両衝突速度km/h	擬似ΔV(計算)km/h	ｼｰﾄﾍﾞﾙﾄ着用	ｴｱﾊﾞｯｸﾞ展開	性別	年齢	身長cm	体重kg	BMI	傷害部位	傷害内容	加害部位	MAIS	ISS	死亡重傷確率	備考
R- 1	普通車	1992	1560	普通車	1580	無	無	無	無	無	無	無	06BYLA1	0	0	不明	5	15	15	7.5	着用	不展開	男	41	170	70	24.2	頚部	頚椎捻挫	空振	1	3	0.0061	
R- 2	軽貨物車	1985	560	普通貨物	5640	有2	無	有	無	無	無	小破	06BDEW3	0	0	不明	35	60	50	54.6	非着用	無	男	30	163	59	22.2	頭部	打撲傷	前面窓ガラス(右)	1	3	0.0646	
R- 3	普通車	1997	1020	普通車	1180	無	無	有	無	無	無	小破	06BZLA1	0	0	10	5	30	25	16.1	不明	不展開	男	34	174	67	22.1	腰部	腰椎間板損傷	本人の慣性力	2	5	0.0193	
R- 4	普通車	1990	760	普通車	1360	無	無	有	無	無	無	大破	06BZAW5	10	35	15	30	40	55	19.2	非着用	無	女	25	160	55	21.5	頚部	頚椎捻挫	空振	1	3	0.0900	
R- 5	普通車	1993	1130	普通車	760	無	無	有	無	無	無	小破	06BYLW1	10	20	10	15	50	45	16.1	着用	無	男	66	163	55	20.7	頚部	頚椎捻挫	空振	1	3	0.0098	
R- 6	軽乗用車	1998	760	普通車	1510	無	無	有	有	無	無	大破	06BDAW6	80	80	不明	40	100	105	13.3	着用	無	女	46	149	50	22.5	胸部	肋骨骨折	ｼｰﾄﾍﾞﾙﾄ	2	8	0.0353	
R- 7	普通車	2002	1530	普通車	850	無	無	無	無	無	無	軽微	06BDLW1	0	0	不明	5	10	25	3.6	着用	不展開	男	59	162	63	24.0	頚部	頚髄損傷	ﾍｯﾄﾚｽﾄ	4	16	0.0082	考察事故事例
R- 8	普通車	1999	1370	普通車	880	無	無	有	無	無	無	小破	06BDEW2	0	30	不明	15	50	45	19.6	着用	不展開	男	59	175	68	22.2	頚部	頚椎捻挫	ﾍｯﾄﾚｽﾄ	1	3	0.0098	
R- 9	普通車	1993	1850	普通貨物	2640	無	無	無	無	無	無	中破	06BDAW2	0	0	不明	不明	60	不明	35.3	不明	無	男	18	169	70	24.5	頚部	頚椎捻挫	空振	1	3	0.0245	
R- 10	普通車	2000	1110	普通車	860	無	無	無	無	無	無	軽微	06BDLW1	0	0	不明	10	35	25	15.3	着用	不展開	女	52	158	65	26.0	頚部	頚椎捻挫	ﾍｯﾄﾚｽﾄ	1	3	0.0073	
R- 11	軽乗用車	2002	810	普通車	840	無	無	有	無	無	無	中破	06BDEW2	4	35	不明	25	60	65	28.5	着用	展開	女	20	160	52	20.3	頚部	頚椎捻挫	空振	1	3	0.0056	
R- 12	普通車	1990	1620	大型車	11380	無	無	有	無	無	無	大破	06BDEW4	15	45	不明	25	60	65	39.4	着用	不展開	男	72	168	64	22.7	頚部	頚椎捻挫	空振	1	3	0.0906	
R- 13	普通車	1998	850	普通車	1330	無	無	無	無	無	無	中破	06BDEW2	0	0	10	10	25	20	15.3	不明	不展開	女	22	158	45	18.0	頚部	頚椎捻挫	空振	1	3	0.0155	
R- 14	軽乗用車	2002	820	普通車	1410	無	無	無	無	無	無	軽微	07BREW1	5	5	15	5	40	25	22.1	不明	不展開	女	59	156	56	23.0	腰部	腰椎捻挫	空振	1	3	0.0245	
R- 15	軽乗用車	1998	860	普通車	750	無	無	無	無	無	無	軽微	06BDEW1	0	0	10	5	20	15	9.3	不明	不展開	男	29	175	75	24.5	頚部	頚椎捻挫	空振	1	3	0.0122	
R- 16	普通車	2005	1640	普通車	1700	無	無	無	無	無	無	中破	06BYAW2	0	0	35	25	55	60	28.0	不明	不展開	男	42	170	65	22.5	頚部	頚椎捻挫	空振	1	3	0.0193	
R- 17	普通車	2007	1360	普通車	1390	無	無	無	無	無	無	軽微	06BDEW1	0	0	5	5	30	5	15.2	不明	不展開	男	42	175	75	24.5	頚部	脳神経損傷	空振	2	4	0.0193	
R- 18	普通車	2001	1020	普通車	750	無	無	無	無	無	無	小破	06BDEW1	0	0	5	5	15	15	6.4	着用	不展開	女	25	156	42	17.3	頭部	脳震盪	不明	2	5	0.0049	
R- 19	普通車	2002	1780	普通車	980	無	無	無	無	無	無	小破	06BDEW1	0	0	20	10	50	45	17.8	不明	不展開	男	30	170	54	18.7	頚部	頚椎捻挫	本人の慣性力	1	3	0.0193	
R- 20	軽貨物車	1998	610	中型車	2730	無	無	有	無	無	有	大破	06BDAW6	10	10	55	65	85	85	61.3	着用	無	男	35	165	75	27.5	頭部	大脳損傷	インストルメントパネル(上)	4	32	0.2876	考察事故事例

付録 E

Table. E-1: Sampling data for H-on regarding group A variables

		ITARDA Micro Data 2000-2009 H-on unweighted			NASS-CDS 2000-2009 H-on unweighted			weighted[b]		
Factors	Categories[a]	MAIS 3+	MAIS <3	Total	MAIS 3+	MAIS <3	Total	MAIS 3+	MAIS <3	Total
⊿ V, km/h	<=35	8	53	61	47	211	258	4,536	43,596	48,132
	<=55 *	7	24	31	92	125	217	7,553	14,742	22,295
	<=75	6	4	10	59	27	86	4,161	2,904	7,065
	>75	4	2	6	19	5	24	1,577	341	1,918
	Ave.			37.9			41.0			35.9
	S.D.			21.8			17.7			16.9
Seat belt use	belted * (=1)	17	69	86	119	303	422	8,063	56,181	64,244
	unbelted (=0)	8	14	22	98	65	163	9,704	5,403	15,167
	Ave.			0.80			0.72			0.81
	S.D.			0.40			0.45			0.39
Multiple impact	yes (=1)	6	17	23	74	112	186	6,217	16,385	22,602
	no * (=0)	19	66	85	143	256	399	11,610	45,199	56,809
	Ave.			0.21			0.32			0.28
	S.D.			0.41			0.47			0.45
Rollover	yes (=1)	0	1	1	6	7	13	747	223	970
	no * (=0)	25	82	107	211	361	572	17,080	61,361	78,441
	Ave.			0.01			0.02			0.01
	S.D.			0.10			0.15			0.11
Extent of damage code	1-2	1	31	32	41	171	212	2,901	32,717	35,618
	3-4 *	12	35	47	106	155	261	8,183	22,949	31,132
	5-6	8	15	23	49	27	76	3,402	2,700	6,102
	7-9	4	2	6	21	15	36	3,341	3,217	6,558
	Ave.			3.55			3.31			3.15
	S.D.			1.66			1.81			2.05
Occupant's age, yrs old	16-29	9	24	33	84	159	243	7,615	28,941	36,556
	30-54 *	7	32	39	80	148	228	6,407	20,717	27,124
	55-64	4	16	20	22	28	50	1,533	4,850	6,383
	65+	5	11	16	31	33	64	2,271	7,076	9,347
	Ave.			43.1			38.4			36.9
	S.D.			17.8			17.9			17.9
	Total	25	83	108	217	368	585	17,827	61,583	79,410

a) *: refferences for log odds ratio

b) counting fractions over 1/2 as one and disregarding the rest

Table. E-2: Sampling data for H-on regarding group B variables

		ITARDA Micro Data 2000-2009 unweighted H-on			NASS-CDS 2000-2009 unweighted H-on			weighted[b]		
Factors	Categories[a]	MAIS 3+	MAIS <3	Total	MAIS 3+	MAIS <3	Total	MAIS 3+	MAIS <3	Total
Vehicle curb weight, kg	<900	9	24	33	6	1	7	362	54	416
	<1300 *	9	30	39	68	104	172	5,387	20,006	25,393
	<1700	6	25	31	99	161	260	9,113	27,163	36,276
	1700+	1	4	5	44	102	146	2,964	14,361	17,325
	unknown	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ave.			1121.5			1506.8			1504.9
	S.D.			310.9			376.1			375.4
Vehicle registration year 1995-1999 *	-1992	1	3	4	55	99	154	4,457	11,332	15,788
	1993-1994	3	6	9	25	33	58	2,000	7,482	9,483
	1995-1996	4	18	22	26	44	70	1,181	9,557	10,737
	1997-1998	6	9	15	29	54	83	3,800	9,387	13,186
	1999-2000	6	17	23	26	50	76	1,945	10,884	12,829
	2001-2002	1	8	9	27	32	59	2,496	3,018	5,513
	2003-2004	4	11	15	15	24	39	1,134	3,792	4,926
	2005-2006	0	8	8	9	22	31	451	5,357	5,808
	2007-	0	3	3	5	10	15	364	776	1,140
	Ave.			1999.0			1996.1			1996.5
	S.D.			4.2			6.3			5.8
EBS, km/h	<=25	3	34	37	20	108	128	1,651	28,574	30,225
	<=45 *	13	46	59	69	185	254	4,776	25,144	29,920
	<=65	8	3	11	85	58	143	8,030	6,876	14,906
	>65	1	0	1	43	17	60	3,370	990	4,359
	Ave.			33.6			40.9			34.9
	S.D.			12.0			18.9			18.2
	Total	25	83	108	217	368	585	17,826	61,584	79,410

a) *: refferences for log odds ratio
b) counting fractions over 1/2 as one and disregarding the rest

Table. E-3: Sampling data for H-on regarding group C variables

		ITARDA Micro Data 2000-2009 unweighted H-on			NASS-CDS 2000-2009 unweighted H-on			weighted[b]		
Factors	Categories[a]	MAIS 3+	MAIS <3	Total	MAIS 3+	MAIS <3	Total	MAIS 3+	MAIS <3	Total
Occupant's gender	Male * (=1)	16	43	59	134	228	362	10,615	39,250	49,865
	Female(=0)	9	40	49	83	140	223	7,211	22,334	29,545
	Ave.			0.55			0.62			0.63
	S.D.			0.50			0.49			0.48
Occupant's height, cm	<155	5	15	20	8	9	17	1,484	808	2,292
	<170 *	11	46	57	79	127	206	5,972	19,044	25,016
	<185	9	22	31	102	185	287	8,558	33,511	42,068
	185+	0	0	0	28	47	75	1,813	8,221	10,034
	unknown	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ave.			162.6			172.5			173.0
	S.D.			8.6			10.5			10.5
Occupant's weight, kg	<50	4	17	21	3	7	10	1,034	1,520	2,554
	<70 *	15	52	67	59	127	186	6,608	20,738	27,346
	<90	6	12	18	90	143	233	7,100	24,494	31,594
	90+	0	2	2	65	91	156	3,085	14,831	17,916
	unknown	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ave.			59.5			80.4			80.1
	S.D.			11.2			21.4			23.0
Occupant's BMI	<19	5	7	12	11	20	31	1,109	2,704	3,813
	<25 *	15	61	76	85	149	234	9,588	23,969	33,557
	<31	4	13	17	66	139	205	4,391	23,752	28,143
	31+	1	2	3	55	60	115	2,738	11,159	13,897
	unknown	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ave.			22.4			27.0			26.7
	S.D.			3.3			6.7			7.2
	Total	25	83	108 0	217	368	585 0	17,826	61,584	79,410

a) *: refferences for log odds ratio
b) counting fractions over 1/2 as one and disregarding the rest

Table. E-4: Sampling data for H-on regarding group D variables

Factors	Categories[a)]	ITARDA Micro Data 2000-2009 unweighted H-on MAIS 3+	MAIS <3	Total	NASS-CDS 2000-2009 unweighted H-on MAIS 3+	MAIS <3	Total	weighted[b)] MAIS 3+	MAIS <3	Total
MAIS	1	-	60	60	-	243	243	-	44,685	44,685
	2	-	23	23	-	125	125	-	16,899	16,899
	3	15	-	15	131	-	131	11,175	-	11,175
	4	4	-	4	36	-	36	2,923	-	2,923
	5	5	-	5	31	-	31	2,099	-	2,099
	6	1	-	1	19	-	19	1,629	-	1,629
	Ave.			1.83			2.22			1.81
	S.D.			1.18			1.36			1.18
ISS	1	0	26	26	0	166	166	0	35,326	35,326
	2-3	0	32	32	0	77	77	0	9,360	9,360
	4-8	0	22	22	0	100	100	0	12,350	12,350
	9-14	13	3	16	91	25	116	7,880	4,548	12,429
	15-24	3	0	3	42	0	42	3,093	0	3,093
	25-35	6	0	6	35	0	35	3,092	0	3,092
	36+	3	0	3	49	0	49	3,761	0	3,761
	Ave.			7.13			11.59			7.66
	S.D.			10.73			16.33			13.24
	Total	25	83	108	217	368	585	17,826	61,584	79,410

a) *: refferences for log odds ratio
b) counting fractions over 1/2 as one and disregarding the rest

Table. E-5: Sampling data for f-SVC regarding group A variables

Factors	Categories[a)]	ITARDA Micro Data 2000-2009 unweighted f-SVC MAIS 3+	MAIS <3	Total	NASS-CDS 2000-2009 unweighted f-SVC MAIS 3+	MAIS <3	Total	weighted[b)] MAIS 3+	MAIS <3	Total
⊿V, km/h	<=35	6	62	68	208	725	933	20,010	300,452	320,461
	<=55 *	12	21	33	174	224	398	12,775	59,168	71,944
	<=75	2	3	5	72	56	128	4,021	6,871	10,891
	>75	1	1	2	52	8	60	3,467	507	3,974
	Ave.			32.8			34.4			27.2
	S.D.			17.3			18.8			14.0
Seat belt use	belted * (=1)	6	55	61	250	713	963	18,191	304,383	322,574
	unbelted (=0)	15	32	47	256	300	556	22,082	62,614	84,696
	Ave.			0.56			0.63			0.79
	S.D.			0.50			0.48			0.41
Multiple impact	yes (=1)	4	25	29	254	492	746	15,775	145,561	161,336
	no * (=0)	17	62	79	252	521	773	24,498	221,437	245,935
	Ave.			0.27			0.49			0.40
	S.D.			0.45			0.50			0.49
Rollover	yes (=1)	0	11	11	58	117	175	4,569	33,418	37,988
	no * (=0)	21	76	97	448	896	1,344	35,703	333,579	369,283
	Ave.			0.10			0.12			0.09
	S.D.			0.30			0.32			0.29
Extent of damage code	1-2	6	47	53	125	569	694	15,612	246,867	262,479
	3-4 *	9	28	37	266	365	631	18,671	106,262	124,933
	5-6	6	8	14	89	57	146	5,195	9,707	14,902
	7-9	0	4	4	26	22	48	795	4,162	4,957
	Ave.			2.93			2.91			2.35
	S.D.			1.62			1.56			1.26
Occupant's age, yrs old	16-29	8	36	44	184	503	687	11,897	210,024	221,920
	30-54 *	7	30	37	221	371	592	20,273	118,184	138,457
	55-64	2	13	15	50	52	102	3,344	13,485	16,829
	65+	4	8	12	51	87	138	4,759	25,305	30,064
	Ave.			39.4			36.5			34.3
	S.D.			18.2			17.6			17.2
	Total	21	87	108	506	1,013	1,519	40,273	366,998	407,270

a) *: refferences for log odds ratio
b) counting fractions over 1/2 as one and disregarding the rest

Table. E-6: Sampling data for f-SVC regarding group B variables

		ITARDA Micro Data 2000-2009 unweighted f-SVC			NASS-CDS 2000-2009 unweighted f-SVC			weighted[b]		
Factors	Categories[a]	MAIS 3+	MAIS <3	Total	MAIS 3+	MAIS <3	Total	MAIS 3+	MAIS <3	Total
Vehicle curb weight, kg	<900	8	28	36	5	4	9	127	3,126	3,254
	<1300 *	7	31	38	172	333	505	16,409	115,666	132,075
	<1700	4	27	31	179	429	608	13,960	156,529	170,490
	1700+	2	1	3	150	247	397	9,777	91,676	101,452
	unknown	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ave.			1109.7			1498.2			1484.9
	S.D.			309.0			363.0			328.4
Vehicle registration year	-1992	4	8	12	151	277	428	14,830	120,870	135,699
	1993-1994	2	10	12	51	80	131	4,180	33,841	38,021
	1995-1996	6	13	19	56	90	146	3,727	39,737	43,464
1995-1999 *	1997-1998	5	17	22	64	90	154	5,019	46,371	51,389
	1999-2000	0	10	10	51	122	173	3,096	36,894	39,991
	2001-2002	2	10	12	47	149	196	4,821	38,743	43,564
	2003-2004	0	7	7	37	107	144	2,277	32,249	34,526
	2005-2006	1	6	7	35	67	102	1,662	14,907	16,569
	2007-	1	6	7	14	31	45	661	3,387	4,047
	Ave.			1998.2			1996.4			1995.1
	S.D.			4.8			6.6			6.7
EBS, km/h	<=25	4	42	46	119	461	580	14,142	225,664	239,807
	<=45 *	13	41	54	176	418	594	11,680	114,878	126,558
	<=65	2	4	6	129	111	240	8,934	22,824	31,758
	>65	2	0	2	82	23	105	5,516	3,631	9,147
	Ave.			30.9			34.3			26.9
	S.D.			13.1			18.8			13.8
	Total	21	87	108	506	1,013	1,519	40,273	366,998	407,270

a) *: refferences for log odds ratio

b) counting fractions over 1/2 as one and disregarding the rest

Table. E-7: Sampling data for f-SVC regarding group C variables

		ITARDA Micro Data 2000-2009 unweighted f-SVC			NASS-CDS 2000-2009 unweighted f-SVC			weighted[b]		
Factors	Categories[a]	MAIS 3+	MAIS <3	Total	MAIS 3+	MAIS <3	Total	MAIS 3+	MAIS <3	Total
Occupant's gender	Male * (=1)	15	56	71	343	571	914	26,718	218,106	244,824
	Female(=0)	6	31	37	163	442	605	13,555	148,892	162,447
	Ave.			0.66			0.60			0.60
	S.D.			0.48			0.49			0.49
Occupant's height, cm	<155	1	16	17	12	36	48	1,823	12,502	14,325
	<170 *	11	43	54	164	375	539	11,245	116,845	128,090
	<185	9	28	37	258	489	747	22,926	190,638	213,564
	185+	0	0	0	72	113	185	4,279	47,013	51,292
	unknown	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ave.			164.6			172.2			172.4
	S.D.			8.2			10.2			10.0
Occupant's weight, kg	<50	1	11	12	6	23	29	524	12,302	12,826
	<70 *	17	52	69	146	394	540	12,774	136,230	149,003
	<90	3	23	26	206	361	567	13,713	113,448	127,161
	90+	0	1	1	148	235	383	13,262	105,018	118,280
	unknown	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ave.			61.1			78.6			78.3
	S.D.			11.6			19.5			19.6
Occupant's BMI	<19	5	7	12	11	20	31	1,109	2,704	3,813
	<25 *	15	61	76	85	149	234	9,588	23,969	33,557
	<31	4	13	17	66	139	205	4,391	23,752	28,143
	31+	1	2	3	55	60	115	2,738	11,159	13,897
	unknown	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ave.			22.5			26.4			26.2
	S.D.			3.2			5.8			5.6
	Total	21	87	108 0	506	1,013	1,519 0	40,273	366,998	407,270

a) *: refferences for log odds ratio

b) counting fractions over 1/2 as one and disregarding the rest

Table. E-8: Sampling data for f-SVC regarding group D variables

		ITARDA Micro Data 2000-2009 unweighted f-SVC			NASS-CDS 2000-2009 unweighted f-SVC			weighted[b)]		
Factors	Categories[a)]	MAIS 3+	MAIS <3	Total	MAIS 3+	MAIS <3	Total	MAIS 3+	MAIS <3	Total
MAIS	1	-	68	68	-	693	693	-	309,749	309,749
	2	-	19	19	-	320	320	-	57,249	57,249
	3	13	-	13	300	-	300	26,783	-	26,783
	4	2	-	2	116	-	116	5,749	-	5,749
	5	6	-	6	72	-	72	6,666	-	6,666
	6	0	-	0	18	-	18	1,075	-	1,075
	Ave.			1.69			2.08			1.39
	S.D.			1.11			1.25			0.84
ISS	1	0	48	48	0	483	483	0	211,397	211,397
	2-3	0	20	20	0	210	210	0	98,351	98,351
	4-8	0	18	18	0	250	250	0	51,073	51,073
	9-14	11	1	12	209	70	279	19,220	6,176	25,396
	15-24	3	0	3	129	0	129	9,755	0	9,755
	25-35	5	0	5	87	0	87	4,083	0	4,083
	36+	2	0	2	81	0	81	7,215	0	7,215
	Ave.			5.48			9.53			3.99
	S.D.			8.36			13.04			7.78
	Total	21	87	108	506	1,013	1,519	40,273	366,998	407,270

a) *: refferences for log odds ratio

b) counting fractions over 1/2 as one and disregarding the rest

付録 F

Table. F-1: Sampling data for H-on

		ITARDA Micro Data 2000-2009 unweighted H-on			NASS-CDS 2000-2009 unweighted H-on			weighted[a)]		
Factors	Categories	MAIS 3+	MAIS <3	Total	MAIS 3+	MAIS <3	Total	MAIS 3+	MAIS <3	Total
MAIS	1	-	75	75	-	271	271	-	49,549	49,549
	2	-	25	25	-	142	142	-	18,997	18,997
	3	17	-	17	159	-	159	12,929	-	12,929
	4	6	-	6	50	-	50	3,566	-	3,566
	5	8	-	8	37	-	37	2,456	-	2,456
	6	2	-	2	19	-	19	1,629	-	1,629
⊿ V, km/h	<=25	4	36	40	14	116	130	894	25,096	25,990
	<=35	5	27	32	39	121	160	4,052	22,604	26,656
	<=55	10	31	41	111	143	254	9,015	17,413	26,428
	<=75	8	4	12	73	28	101	4,619	3,093	7,711
	>75	6	2	8	28	5	33	1,999	341	2,340
Multiple impact	yes	8	18	26	88	133	221	6,670	18,418	25,088
	no	25	82	107	177	280	457	13,909	50,128	64,037
Rollover	yes	0	1	1	12	19	31	1,057	1,366	2,422
	no	33	99	132	253	394	647	19,523	67,180	86,703
Seat belt use	belted	21	80	101	148	340	488	9,400	61,927	71,328
	unbelted	12	20	32	117	73	190	11,179	6,619	17,798
Air bag deployment (steering)	yes	20	59	79	157	241	398	12,725	37,831	50,556
	no (including no airbag)	13	41	54	73	101	174	6,141	16,324	22,465
	unknown	0	0	0	35	71	106	1,713	14,391	16,105
Occupant's age, yrs old	16-29	12	31	43	97	180	277	8,258	32,649	40,907
	30-54	8	39	47	106	168	274	7,954	23,278	31,233
	55+	13	30	43	62	65	127	4,367	12,619	16,986
	unknown	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Total	33	100	133	265	413	678	20,579	68,546	89,126

a) counting fractions over 1/2 as one and disregarding the rest

Table. F-2: Sampling data for f-SVC

		ITARDA Micro Data 2000-2009 unweighted f-SVC			NASS-CDS 2000-2009 unweighted f-SVC			weighted[a)]		
Factors	Categories	MAIS 3+	MAIS <3	Total	MAIS 3+	MAIS <3	Total	MAIS 3+	MAIS <3	Total
MAIS	1	-	70	70	-	757	757	-	323,921	323,921
	2	-	22	22	-	364	364	-	60,970	60,970
	3	13	-	13	348	-	348	31,681	-	31,681
	4	2	-	2	128	-	128	6,146	-	6,146
	5	9	-	9	79	-	79	7,224	-	7,224
	6	0	-	0	21	-	21	1,104	-	1,104
⊿ V, km/h	<=25	5	40	45	130	509	639	16,244	235,275	251,519
	<=35	3	24	27	109	294	403	6,977	79,398	86,376
	<=55	13	24	37	196	248	444	14,409	62,323	76,732
	<=75	2	3	5	83	62	145	4,923	7,388	12,310
	>75	1	1	2	58	8	66	3,601	507	4,108
Multiple impact	yes	4	26	30	290	545	835	18,284	153,205	171,489
	no	20	66	86	286	576	862	27,870	231,687	259,556
Rollover	yes	0	11	11	64	129	193	4,961	34,505	39,466
	no	24	81	105	512	992	1,504	41,193	350,386	391,579
Seat belt use	belted	7	59	66	286	782	1,068	21,543	316,005	337,549
	unbelted	17	33	50	290	339	629	24,611	68,886	93,497
Air bag deployment (steering)	yes	12	51	63	308	568	876	22,513	153,300	175,813
	no (including no airbag)	12	41	53	161	342	503	12,155	142,166	154,321
	unknown	0	0	0	107	211	318	11,486	89,425	100,911
Occupant's age, yrs old	16-29	8	37	45	212	554	766	13,472	218,355	231,827
	30-54	7	32	39	247	416	663	22,278	126,390	148,667
	55+	9	23	32	116	151	267	10,399	40,146	50,545
	unknown	0	0	0	1	0	1	5	0	5
	Total	24	92	116	576	1,121	1,697	46,154	384,891	431,045

a) counting fractions over 1/2 as one and disregarding the rest

Table. F-3: Sampling data for Nearside

Factors	Categories	ITARDA Micro Data 2000-2009 unweighted Nearside MAIS 3+	MAIS <3	Total	NASS-CDS 2000-2009 unweighted Nearside MAIS 3+	MAIS <3	Total	weighted[a)] MAIS 3+	MAIS <3	Total
MAIS	1	-	61	61	-	222	222	-	76,951	76,951
	2	-	12	12	-	78	78	-	12,694	12,694
	3	6	-	6	57	-	57	6,920	-	6,920
	4	9	-	9	26	-	26	2,277	-	2,277
	5	5	-	5	21	-	21	867	-	867
	6	0	-	0	2	-	2	34	-	34
⊿V, km/h	<=25	6	42	48	36	224	260	5,092	67,191	72,282
	<=35	4	21	25	35	58	93	2,612	16,875	19,487
	<=45	5	9	14	18	12	30	751	1,249	2,000
	<=55	3	1	4	16	2	18	1,625	2,476	4,100
	>55	2	0	2	1	4	5	19	1,854	1,873
Multiple impact	yes	12	40	52	79	225	304	7,887	61,967	69,854
	no	8	33	41	27	75	102	2,211	27,679	29,889
Rollover	yes	1	9	10	8	20	28	251	3,306	3,557
	no	19	64	83	98	280	378	9,846	86,340	96,186
Seat belt use	belted	10	54	64	92	274	366	9,008	83,359	92,367
	unbelted	10	19	29	14	26	40	1,089	6,286	7,376
Air bag deployment (steering)	yes	7	16	23	35	96	131	3,119	23,780	26,896
	no (including no airbag)	13	57	70	53	162	215	5,218	54,343	59,561
	unknown	0	0	0	18	42	60	1,761	11,522	13,283
Occupant's age, yrs old	16-29	8	22	30	24	110	134	2,218	32,075	34,293
	30-54	6	29	35	39	112	151	1,938	33,623	35,561
	55+	6	22	28	43	78	121	5,941	23,947	29,888
	unknown	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Total	20	73	93	106	300	406	10,098	89,645	99,743

a) counting fractions over 1/2 as one and disregarding the rest

Table. F-4: Sampling data for Farside

Factors	Categories	ITARDA Micro Data 2000-2009 unweighted Farside MAIS 3+	MAIS <3	Total	NASS-CDS 2000-2009 unweighted Farside MAIS 3+	MAIS <3	Total	weighted[a)] MAIS 3+	MAIS <3	Total
MAIS	1	-	106	106	-	246	246	-	64,948	64,948
	2	-	12	12	-	47	47	-	7,451	7,451
	3	11	-	11	26	-	26	1,245	-	1,245
	4	2	-	2	13	-	13	897	-	897
	5	4	-	4	8	-	8	795	-	795
	6	1	-	1	2	-	2	38	-	38
⊿V, km/h	<=25	0	50	78	16	197	213	995	49,744	50,740
	<=35	0	34	27	14	60	74	312	11,594	11,906
	<=45	8	18	15	7	28	35	1,253	10,365	11,618
	<=55	7	12	11	11	6	17	402	518	920
	>55	3	4	5	1	2	3	13	177	189
Multiple impact	yes	12	62	74	43	226	269	2,724	53,710	56,435
	no	6	56	62	6	67	73	250	18,688	18,938
Rollover	yes	1	21	22	8	38	46	431	8,360	8,791
	no	17	97	114	41	255	296	2,543	64,039	66,582
Seat belt use	belted	8	95	103	27	264	291	1,454	66,621	68,075
	unbelted	10	23	33	22	29	51	1,521	5,778	7,298
Air bag deployment (steering)	yes	7	22	29	16	90	106	588	18,464	19,052
	no (including no airbag)	11	96	107	24	151	175	1,344	44,418	45,761
	unknown	0	0	0	9	52	61	1,043	9,517	10,560
Occupant's age, yrs old	16-29	5	26	31	8	116	124	683	32,059	32,742
	30-54	4	62	66	18	100	118	668	24,510	25,178
	55+	9	30	39	23	77	100	1,623	15,830	17,453
	unknown	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Total	18	118	136	49	293	342	2,975	72,398	75,373

a) counting fractions over 1/2 as one and disregarding the rest

付録 G

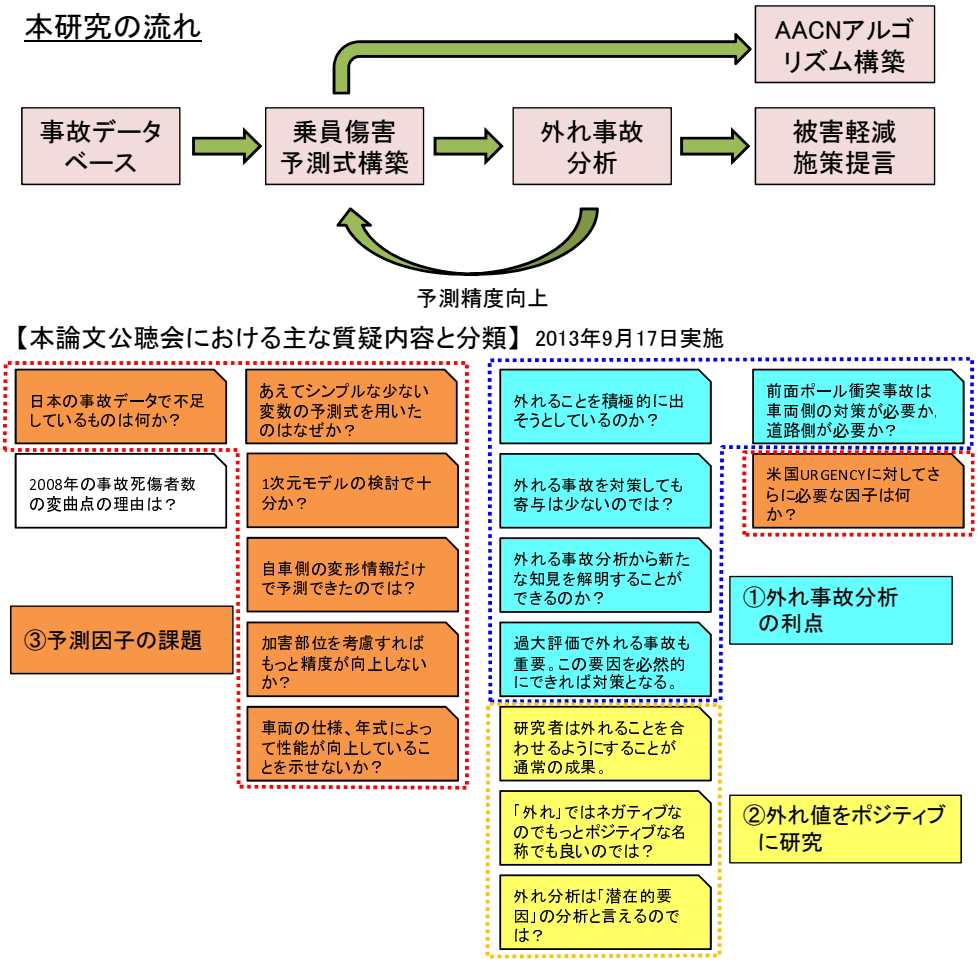


Fig. G-1: Questions in open hearing on this study (on 17th September 2013)