

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	国民経済計算の推計と利用を支援する手法に関する研究
Title(English)	
著者(和文)	大貫裕二
Author(English)	Yuji Onuki
出典(和文)	学位:博士(学術), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第9218号, 授与年月日:2013年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:出口 弘
Citation(English)	Degree:Doctor (Academic), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第9218号, Conferred date:2013/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:
学位種別(和文)	博士論文
Type(English)	Doctoral Thesis

国民経済計算の推計と利用を
支援する手法に関する研究

大貫裕二

東京工業大学

大学院総合理工学研究科

知能システム科学専攻

博士 (学術) 学位請求論文

目次

第 1 章	研究の背景	1
1.1	はじめに	1
1.2	研究の目的	2
1.3	論文の構成	2
第 2 章	国民経済計算を巡る研究の位置づけと先行研究の状況	4
2.1	政策形成と多元主義	4
2.2	証拠に基づく政策形成	5
2.3	国民経済計算と基礎統計、政策シミュレーション	6
2.4	統計データの利用とエージェント・ベース・モデルを巡る研究の状況	8
2.5	統計調査における測定誤差と思いだし記入の記憶誤りに関する研究の状況	11
2.6	RAS 法に関する研究の状況	13
2.7	事業所をエージェントとした産業連関分析の位置づけと研究の状況	17
2.8	領域専門家によるエンド・ユーザ・コンピューティングに関する研究の状況	19
第 3 章	思いだし記入の導入による精度向上と記憶誤りによる精度低下のトレード・オフのシミュレーション	26
3.1	思いだし記入の導入による精度向上	26
3.2	記憶誤りによる結果への影響	29
3.3	本章の結論	34
第 4 章	RAS 法を拡張する手法の提案とエージェント・ベース・シミュレーションによる検証	35
4.1	Inconsistency of Marginals の条件下における拡張アルゴリズムの提案	35
4.2	提案手法の有効性の確認	36
4.3	本章の結論	45

第 5 章	事業所をエージェントとした産業連関分析の基礎的検討	47
5.1	繰り返し演算と屑・副産物処理を含めた経済波及効果分析の提案	47
5.2	列方向の産業をコスト構成の異なる主体ごとに分割して取り扱う手法の提案-事業用電力の事例-	49
5.3	列方向の産業を個別のエージェントとして産業連関分析に取り入れる手法の提案-水稲耕作農家の事例-	53
5.4	本章の結論	54
第 6 章	国民経済計算の推計を支援する情報システムのアーキテクチャ・デザイン	56
6.1	国民経済計算推計システムとエンド・ユーザ・コンピューティング	56
6.2	モジュールとスクリプトによるアーキテクチャ・デザイン	60
6.3	モジュールの階層性	62
6.4	データ形式の標準化によるモジュールの汎用化	64
6.5	社会会計の処理のための交換代数	66
6.6	モジュール作成への DSL(Domain Specific Language) の応用	67
6.7	データ中心の開発環境の整備	69
6.8	AADL による国民経済計算推計の演算処理	69
6.9	マイクロモジュールによるシステム構成	70
6.10	開発・プログラム能力と領域専門知識の切り分け	71
6.11	提案手法による複雑性低減効果—単価指数推計システムによる検証	72
6.12	本章の結論	73
第 7 章	結論及び今後の展望	75
7.1	研究成果	75
7.2	今後の課題	76
	謝辞	80
	参考文献	82
付録 A	家計調査自動車購入台数推計の ABM によるシミュレーション方法	95
付録 B	RAS 法とその SOARS への実装,Inconsistency of Marginals の条件下における拡張アルゴリズムの提案及び多次元への拡張	100

付録 C	繰り返し演算による産業連関分析の方法	120
付録 D	水稻農家の耕作規模が経済に与える影響の将来推計の方法	126
付録 E	SNA(Sysetem of National Accounts) の推計処理の階層構造	136
付録 F	国民経済計算推計システムの開発経緯	142
付録 G	国民経済計算推計システムにおける FORTRAN の EQUIVALENCE 文の使用 例	146
付録 H	付加価値推計のモジュールの一部を記述したスクリプトを視覚的に表現した 事例	148
付録 I	スクリプトの開発環境	150
付録 J	交換代数	155
付録 K	AADL(Algebraic Accounting Description/Design Language)	159
付録 L	ADDL(Algebraic Data Description Language)	172
付録 M	AADL による国民経済計算の処理事例	178
付録 N	単価指数推計システムへの提案手法適用による効果	183

目 次

4.1	数値例における 4 万標本の初期状態の分布	39
4.2	シミュレーション中の測定の対象量	39
5.1	屑・副産物の調整処理の有無により国内生産額に 1% 以上の影響のある商品	48
5.2	国内生産額の減少額が大きい上位 14 商品	50
5.3	国内生産額の増加額が大きい上位 23 商品	51
5.4	普通輸入額の増加額が 10 億円以上の商品	52
5.5	普通輸入額の減少額が 10 億円以上の商品	52
6.1	AADL 形式データによる、家計調査データの事例 (一部)	68
6.2	ADDL 形式データによる、政府機関格付けデータの事例 (一部)	69
D.1	都道府県別 0.3ha 未満及び 15ha 以上の平均作付面積	130
D.1	都道府県別 0.3ha 未満及び 15ha 以上の平均作付面積	131
D.2	農業サービス（獣医を除く）の国内生産額	135
J.1	交換代数による簿記の記述例	158
M.1	AADL 形式データによる、家計調査データの事例 (一部)	179
M.2	AADL 形式データによる、消費者物価指数データ (一部)	181
M.3	AADL 形式データによる、消費者物価指数ウェイトデータの事例 (一部) . .	182
N.1	単価指数推計システムの現状	184
N.2	提案手法により試作した単価指数推計システム（スクリプト・モジュール）	184
N.3	提案手法により試作した単価指数推計システム（モジュール利用回数） . .	185

目 次

1.1	論文の構成	3
2.1	統計データとエージェント・ベース・モデルを利用した研究における本研究 の位置づけ	9
2.2	統計調査における思いだし記入の記憶誤りによる誤回答に関する分析の位 置づけ	11
2.3	RAS 法の位置づけ	14
2.4	RAS 法及び IPFP における本研究の位置づけ	15
2.5	産業連関分析における本研究の位置づけ	17
2.6	エンド・ユーザのシステムへの関与に関する研究	20
3.1	調査月のみの購入数量だけを記入させた場合（左）と調査時点から 12 か月 遡った時点までの購入履歴を初回調査時に思いだし記入させた場合（右）の 比較	28
3.2	初回調査時に遡って思いだし記入する過去の購入履歴の月数による推定購入 台数の分布の標準偏差の変化	29
3.3	記憶誤りの存在する場合の思いだし記入なし（左）と 12 カ月思いだし（右） の比較	30
3.4	記憶誤りの存在する場合の思いだし記入する過去の購入データ月数による 平均の変化	31
3.5	記憶誤りの存在しない場合の思いだし記入する過去の購入データ月数によ る平均の変化	32
3.6	思いだし記入する過去の購入データ月数が 24 の場合の推計台数の平均の 0 の場合からの乖離率と各月の購入台数の年平均に対する比率の関係	32
3.7	記憶誤りの進行度の違いによる平均値の変化比較： $p_0 = 10\%, i = 1\%$ と $p_0 = 10\%, i = 9\%$	33
4.1	カテゴリー (1,1,1) の標本数： $m_{1,1,1}$	41

4.2	カテゴリー (1,2,1) の標本数 : $m_{1,2,1}$	41
4.3	カテゴリー (1,1,2) の標本数 : $m_{1,1,2}$	41
4.4	カテゴリー (1,2,2) の標本数 : $m_{1,2,2}$	41
4.5	カテゴリー (2,1,1) の標本数 : $m_{2,1,1}$	41
4.6	カテゴリー (2,2,1) の標本数 : $m_{2,2,1}$	41
4.7	カテゴリー (2,1,2) の標本数 : $m_{2,1,2}$	41
4.8	カテゴリー (2,2,2) の標本数 : $m_{2,2,2}$	41
4.9	カテゴリー (1,1,1) の「比率」の分布	43
4.10	カテゴリー (1,2,1) の「比率」の分布	43
4.11	カテゴリー (1,1,2) の「比率」の分布	43
4.12	カテゴリー (1,2,2) の「比率」の分布	43
4.13	カテゴリー (2,1,1) の「比率」の分布	43
4.14	カテゴリー (2,2,1) の「比率」の分布	43
4.15	カテゴリー (2,1,2) の「比率」の分布	43
4.16	カテゴリー (2,2,2) の「比率」の分布	43
4.17	カテゴリー (1,1,1) の「比率」の標準偏差	44
4.18	カテゴリー (1,2,1) の「比率」の標準偏差	44
4.19	カテゴリー (1,1,2) の「比率」の標準偏差	44
4.20	カテゴリー (1,2,2) の「比率」の標準偏差	44
4.21	カテゴリー (2,1,1) の「比率」の標準偏差	44
4.22	カテゴリー (2,2,1) の「比率」の標準偏差	44
4.23	カテゴリー (2,1,2) の「比率」の標準偏差	44
4.24	カテゴリー (2,2,2) の「比率」の標準偏差	44
4.25	「IPFP による推定値」の総標本数に占める比率と「3samples による推定値」 の「IPFP による推定値」に対する倍率の最大値と最小値の関係	45
5.1	原子力と火力の比率を 0.1% ポイントづつ変化させた場合の事業用電力国内 生産額と天然ガス、石油、原油の普通輸入額の増減	53
6.1	FORTTRAN の基幹プログラムがメンテナンス困難になる理由	58
6.2	モジュールとスクリプトによるアーキテクチャ・デザイン	61
6.3	スクリプト・モジュールの概念図	64
6.4	データ形式の限定により期待される効果	65

B.1	行和の和と列和の和の指数 (1)	106
B.2	行和の和と列和の和の指数 (2)	107
B.3	行和の和と列和の和の指数 (3)	108
B.4	行和の和と列和の和の指数 (4)	110
B.5	各次元和の指数 (3 次)	114
D.1	水稲農家の将来推計の手順	127
D.2	北海道の水稲農家の耕作規模推移	128
D.3	北海道の販売目的の水稲の作付 (栽培) 農家数と作付 (栽培) 面積	129
D.4	2005 年から 2030 年の作付 (栽培) 面積別水稲耕作面積推定値	132
D.5	2005 年から 2030 年の作付 (栽培) 面積別水稲耕作面積推定比率	132
D.6	2010 年の水田作付延べ面積規模別稲作部門粗収益と経営費	133
D.7	2010 年の水田作付延べ面積規模別経営費の割合	133
D.8	2010 年の水田作付延べ面積規模別費用構成	134
E.1	国民経済計算の推計処理 (上位階層)	137
E.2	国民経済計算・コモディティ・フロー法による生産額及び支出額推計の推計 処理 (中位階層)	139
E.3	国民経済計算・コモディティ・フロー法推計システムの推計処理 (下位階層)	141
F.1	国民経済計算推計システムの開発経緯	143
G.1	国民経済計算推計システムにおける FORTRAN の EQUIVALENCE 文の使用 の事例	147
H.1	付加価値法による生産側 GDP 推計のモジュールの一部を記述したスクリプ トを視覚的に表現した事例	149
I.1	スクリプトの編集イメージ	151
I.2	データ参照画面	152
I.3	スクリプト編集画面 (ドラッグ・アンド・ドロップ操作の説明を付加した。)	153
I.4	モジュール選択画面	154
K.1	AADL コンパイラの構成概念図	160
L.1	AADL コンパイラの ADDL 言語処理に関する構成概念図	173
N.1	提案手法により再構成した単価指数推計システムを構成するモジュールの規模	187
N.2	モジュールの規模の現状と提案手法による場合の比較	188

第1章 研究の背景

1.1 はじめに

複式簿記に関してはじめて発表された文献は、Pacioli(1494)である ([1])。複式簿記の起源は、さらに古代ローマまで遡るとする説と中世イタリアを起源とする説がある ([2])。複式簿記は企業の経済活動を記録・管理する重要な技術である。

一企業ではなく、国の経済を複式簿記の仕組みで記述しようとするのが国民経済計算である。

国民経済計算は、国民所得勘定、産業連関表、資金循環表、国民貸借対照表、国際収支表の5つの勘定を体系的、整合的に統合したものである ([3])。経済活動を所得のフローと、資産（ストック）の両面から、また実物と金融取引の両面から、多角的、総合的に分析、把握することを可能にしている。

経済政策の立案のためには、国民経済計算に基づく政策シミュレーションが重要である。計量経済モデルによる経済分析は、経済計画の定量的な基礎とされてきた ([4])。

21世紀を迎え、証拠に基づく政策形成の重要性が強調される。統計委員会は、国民経済計算の整備に関して、生産・支出・所得の三面アプローチによるGDPの精度検証、推計方法の抜本的な見直しを行うことを答申した ([5])。

このように、経済・社会の変化に対応して、国民経済計算の推計を抜本的に見直す必要がある。推計の見直しを迅速に行うためには、それを支える情報システムを見直すことが必要不可欠である。

IT戦略本部は政府の情報システムについて、業務・システムの最適化を行うこととした ([6])。内閣府の国民経済計算推計システムも旧式（レガシー）システムとして、最適化の対象とされている。

本論文は、こうした状況下で、国民経済計算の推計と利用の手法に関して、新たな提案を行うとともに、国民経済計算の推計を支援する情報システムのアーキテクチャ・デザインの設計を示す。これらを通じて証拠に基づく政策形成の実現に寄与することをめざす。

1.2 研究の目的

本論文の目的は二つある。

第一は国民経済計算の推計のための基礎統計の作成や、国民経済計算の推計手法の開発、および国民経済計算を利用したシミュレーションにおいてエージェント・ベース・モデルを応用した手法を示すことである。

第二は、国民経済計算の推計を支援する情報システムのアーキテクチャ・デザインを行うことである。

これらを通じて、国民経済計算の推計と利用を支援する手法を提案する。

1.3 論文の構成

図1. 1に論文の構成を示す。

第1章では研究の目的・方法・構成について示す。

第2章では、研究の必要性について先行研究に基づいて明らかにする。

第3章から第5章では、第一の研究目的、国民経済計算の推計のための基礎統計の作成や、国民経済計算の推計手法の開発、および国民経済計算を利用したシミュレーションにおいてエージェント・ベース・モデルを応用した事例を示す。

第3章では、国民経済計算の推計に用いられる基礎統計の改善のためにエージェント・ベース・モデルを応用した手法の事例として、家計調査の自動車購入台数の推計に思いだし記入を導入する場合の精度向上と記憶ミスによる精度低下のトレード・オフについて論じる。

第4章では、国民経済計算の推計手法の開発にエージェント・ベース・モデルを応用した手法の事例として、RAS法を拡張する手法を開発し有効性を評価する事例について論じる。

第5章では、国民経済計算を利用した分析にエージェント・ベース・モデルを応用した手法の事例として、産業連関分析で事業所をエージェントとしたエージェント・ベースの産業連関分析について論じる。

第6章では、第二の研究目的である、国民経済計算の推計を支援する情報システムのアーキテクチャ・デザインについて論じる。

第7章は全体の結論と今後の展望を示す。

国民経済計算の推計と利用を支援する手法に関する研究

2つの柱

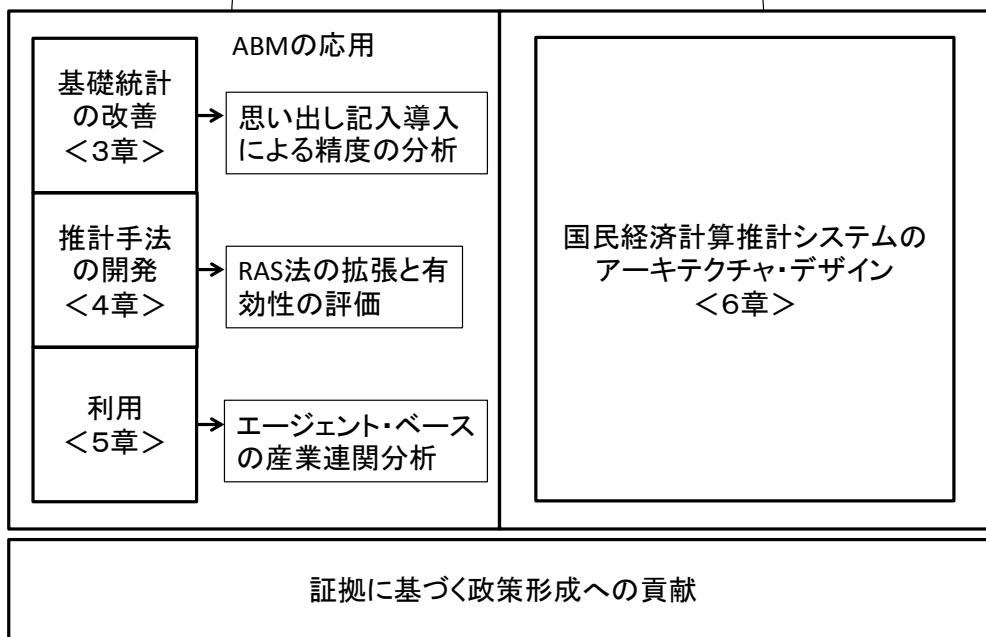


図 1.1: 論文の構成

第2章 国民経済計算を巡る研究の位置づけと 先行研究の状況

本章では、国民経済計算の推計と利用を支援する手法について研究する動機について先行研究に基づき説明する。

本研究は、国民経済計算の推計を支援する手法と、国民経済計算の推計を支援するシステムのアーキテクチャ・デザイン及び、国民経済計算の利用に関する手法を提案し、証拠に基づく政策形成の実現に寄与することをめざす。

2.1 政策形成と多元主義

最初に政策形成について説明する。

政策は、社会の問題への処方箋である。目指すべき社会についての価値観が存在し、それを実現するために政策は行われる。政策の形成過程を論じる政治過程論における政策形成の三つのイメージについて藤井(2009) ([7]) に基づいて整理する。

第一のイメージは、社会全体で支持すべき価値観についての広範な合意がある場合である。この場合には、理想的な統治者による支配が望ましい。プラトンの「哲人政治」 ([8]) やルソーの「一般意志」 ([9]) がこれにあたる。しかし、現実には社会全体で支持すべき価値観自体について、様々な対立がある。したがって、理想的な統治者による支配はうまく機能しない。

政治に関する第二のイメージは、社会は支配するものとされるものに二極化され、権力の行使はもっぱら支配するものが担うという考え方である。代表的な議論に Mills(1956) の「エリート理論」がある ([10])。エリートが社会を支配するものであり、残る国民は支配される側である。このイメージも民主的な政治形態とは言えない。

これに対して、第三の見方が、多元的な諸勢力による対立・競合とその結果としての政治的決定という考え方、「多元主義 (pluralism)」であり、現代の民主主義ではこの考え方が一般的である ([11])。

こうした多元主義のもとにおける政策形成を考えるための重要な概念に、近代社会の成

果志向的な目的合理的行為に対して、対話を行い諒解が形成されることに合理性を見出した Habermas(1981) ([12]) の提示する「対話的合理性 (communicative rationality)」の概念がある。

Habermas の対話的合理性の概念に基づいて、小泉 (2002) は都市計画の立場から政策形成の基盤となる「公共性」について次のように整理している。

「公共性は、個々の多様な発意の連携と集合によって形成されるもの」であり、「その連携の様態は、社会的状況の変化にともない、更に対象とする領域・課題の変化に伴い、また各種の発意自体に影響を受け、動的に変化する。」「従って、公共性は画一的・絶対的ではあり得ない。ある集合体・連携体にとっての公共性と、他の集合体（主体）にとっての公共性は、異なる可能性がある」 ([13])。

このように、多元主義のもとで、対話に基づいて政策形成が行われていくことが現代の民主主義の基本概念となっている。

2.2 証拠に基づく政策形成

1999 年、労働党政権下の英国政府は、「証拠に基づく政策形成 (Evidence Based Policy Making)」を掲げた。これまでの政策形成が証拠に基づいてなされていたかを問い直し、21 世紀の政策形成のあり方として、証拠に基づいて政策形成を行うこと、政策の効果を吟味し、その評価に基づいて改善を行っていくことを主張している ([14])。

「証拠に基づく政策形成」の概念は、行政改革の運動として国際機関や他国にも広く取り入れられている。

この「証拠に基づく政策形成」の運動に対して、批判的な議論として、「証拠」のあり方に疑問を呈する議論がある。

Montuschi(2009) は、どのような事実を「証拠」と考えることができるのか、その事実がどの程度「証拠」と言えるのか、「証拠」を組み合わせることができるのか、という 3 つの論点を提示している ([15])。

こうした考え方も、多元主義的な考え方である。「証拠」は唯一のものであるわけではなく、何が「証拠」と言えるのか、どの程度「証拠」と言えるのか、「証拠」を複数組み合わせた論理構成ができるのかについて、相互に対話をし、合意を形成していかなければ、「証拠に基づく政策形成」もうまくいかないことを指摘した議論である。

Davies(2004) は「証拠に基づく政策形成」の「証拠」という用語を、多くの政府はアカデミックな意味よりも広義の意味づけで使用しており、政府のための証拠の収集と評価は、ア

カデミックな意味の「証拠」よりも広範囲で行わなければならないと指摘している ([16])。

Cabinet Office(2000) は、「証拠に基づく政策形成」における「証拠」には、過去の政策の評価や、統計調査の結果、社会科学の解明した事実などが含まれるとする。統計や行政データは「証拠に基づく政策形成」の重要な情報源である ([17])。

政府統計の作成者も、証拠に基づく政策形成のための統計の役割を重視している ([18])。

統計調査は、だれを調査の対象とするかなど、調査の設計や、質問をどのようにするかなど、調査票の設計により、得られる結果が異なる。統計調査の結果に関して合意を得るためには、統計調査の方法についての合意が必要である。日本で平成 19 年に成立した新統計法は「社会の情報基盤としての統計」というコンセプトを打ち出し、政府の統計関係者と幅広い統計ユーザーとの密接な連携を求めている ([19])。

情報技術の進歩により、統計調査の結果を、より詳細に利用者に提供することが可能になっている。統計調査の質に関するデータとして、調査の方法など、メタ・データ情報を提供することが重要である ([20])。メタ・データ情報を適切に提供することで、調査結果の誤った利用を防止することができる ([21])。統計作成者と利用者の間でなされるべき対話の重要な要素である。

政策形成は、未来の目的を実現するためのものであることから、「事実に基づく政策形成」における「事実」は、様々な予測の結果を含む。

経済モデルや政策シミュレーションは、過去の統計結果に基づき、社会・経済システムをモデル化し、政策の効果を予測する。未来の予測に、唯一の真実が存在するわけではない。経済モデルなど各種モデルを利用した政策シミュレーションについては、どのような要素を重視してモデル化を行うか、どのようなデータを用いて推計するか、また、どのようなパラメーターで推計をするかによって、異なる結果が得られる。こうした多様な要素についての、対話による合意形成を通じて、はじめて客観的な共通認識を得ることができる ([22])。

2.3 国民経済計算と基礎統計、政策シミュレーション

統計の分類の仕方には、いくつかの考え方がある ([23])。ここでは、基礎統計と加工統計という分類を取り上げる。国立国会図書館 (2012) は、基礎統計を「統計調査の結果から直接得られる統計」、加工統計を「基礎統計を組み合わせで加工・演算して作成された統計」と定義している ([24])。

統計調査は、対象のすべてあるいは抽出された標本を対象に行われ、得られた回答から

全体の姿を推計する。こうして得られた直接的な結果が基礎統計である。基礎統計により推計された結果の例として、人口や失業率、産業別の売上高などがある。基礎統計からは多様で大量の情報を得ることができるが、異なる時点に、異なる目的で行われる基礎統計の結果は必ずしも整合的であるとは限らない。調査の方法や、調査の対象の違いによって、必ずしも整合性のとれない結果が得られることがある。

基礎統計を体系的に整理し、政策の立案・実施に利用しやすい形に加工したものが加工統計である。国の経済状況を体系的に整理した国民経済計算は典型的な加工統計である。国民経済計算は、社会会計の手法により一国の経済の状況を示す統計である。

仮に、政府、家計、企業、対家計民間非営利団体のすべての経済活動が、簿記によって記録されており、それらを統合して集計することが可能な小さな国があるとしてみよう。その場合には、個々の経済主体の会計記録を統合して集計することにより、国民経済計算を編纂することが可能である。この場合には、国民経済計算は「加工統計」としての性格を持たないことになる。

しかし、一般には、国内の経済主体のうち、こうした会計記録が国民経済計算のために利用可能であるのは、政府部門及び会計記録が公開された上場企業に限られ、非上場企業については、会計記録があっても利用することができず、家計や小企業については、簿記による会計記録が経済主体によって十分に行われていないケースも多い。

このため、国民経済計算では、「推計・編纂」(compilation) というプロセスが必要になる。基礎統計により調査された内容を加工、推計し、経済的な関係に基づいて体系的な全体像を推計・編纂する。

国民経済計算は、多くの基礎統計を用いて推計・編纂される。基礎統計の精度を向上することは、国民経済計算の精度の向上に寄与する。

また、異なる目的で調査された複数の基礎統計を統合し、整合的な全体の姿を推計する、加工統計の推計手法を改善することもまた、国民経済計算の精度の向上に寄与する。

国民経済計算は National Accounts の訳語として、高橋(1950)で使用された ([25])。System of National Accounts (SNA) の邦訳は「国民経済計算の体系」とされている。SNA は、国民所得統計及び周辺の勘定についての標準的な概念の定義と、標準的な推計の手法を示したものである。SNA は、例えば国連分担金の算定などに利用されるため、国際的な統一の標準を定め、各国の統計が同じ基準で国際比較できることが重要である。

日本では「国民所得理論」「国民所得統計」という名称が広く使われてきた ([26])。国民所得は National Income の訳語であり、国民経済計算の主要統計量の一つである。

国連が国民経済計算の最初の国際基準 A System of National Accounts and Supporting Tables([27])

を 1952 年に発表するに先立って、国際連盟によって組織された専門家グループが 1947 年に Measurement of National Income and the Construction of Social Accounts([28]) を発表している ([29])。

その後、国連統計委員会による改訂が重ねられ、1968 年の 68SNA、1993 年の 93SNA が策定された。現時点で最も新しい基準は、2008 年に採択された 2008SNA である。現在、System of National Accounts は、国連、OECD、IMF、世界銀行、EU が共同して基準の策定に携わっており、最終的に国連統計委員会で採択される。国民経済計算の理論や推計の手法については、OECD や国連などの国際機関で議論が継続されており、多くの研究がなされている。

経済・社会の状況に応じて、国民経済計算の基準や概念は、見直しが行われる。

例えば、68SNA から 93SNA また 2008SNA にかけて大きな概念変更が行われたものに、FISIM(Financial Intermediation Service Indirectly Measured) がある。これは、金融仲介サービスを付加価値としてとらえる概念である。68SNA では「帰属利子」として、付加価値とは考えられていなかった。93SNA で付加価値としてとらえる概念が登場し、2008SNA ではさらに概念や推計の方法が具体的に示されることになった。この基準の変更に対応して、各国は推計の方法を切り替えることになる。

国民経済計算をマクロの視点から政策シミュレーションに利用する計量経済学の分野がある。

計量経済モデル ([30]) を用いた政策シミュレーションは広く行われており、経済計画の基礎資料などとして利用されてきた。

2.4 統計データの利用とエージェント・ベース・モデルを巡る研究の状況

統計データをエージェント・ベース・モデルの初期値あるいは、境界条件として利用することは、社会の現象を再現するためにしばしば行われる。例えば、市川 (2009) は平成 17 年国勢調査の結果を用いて、東京都大島町を例に仮想都市を構築し、感染症の拡大に関する社会現象のシミュレーションを行っている ([31])。

統計データ、特に国民経済計算データの利用とエージェント・ベース・モデルを巡る研究における本研究の位置づけを図 2.1 に示す。

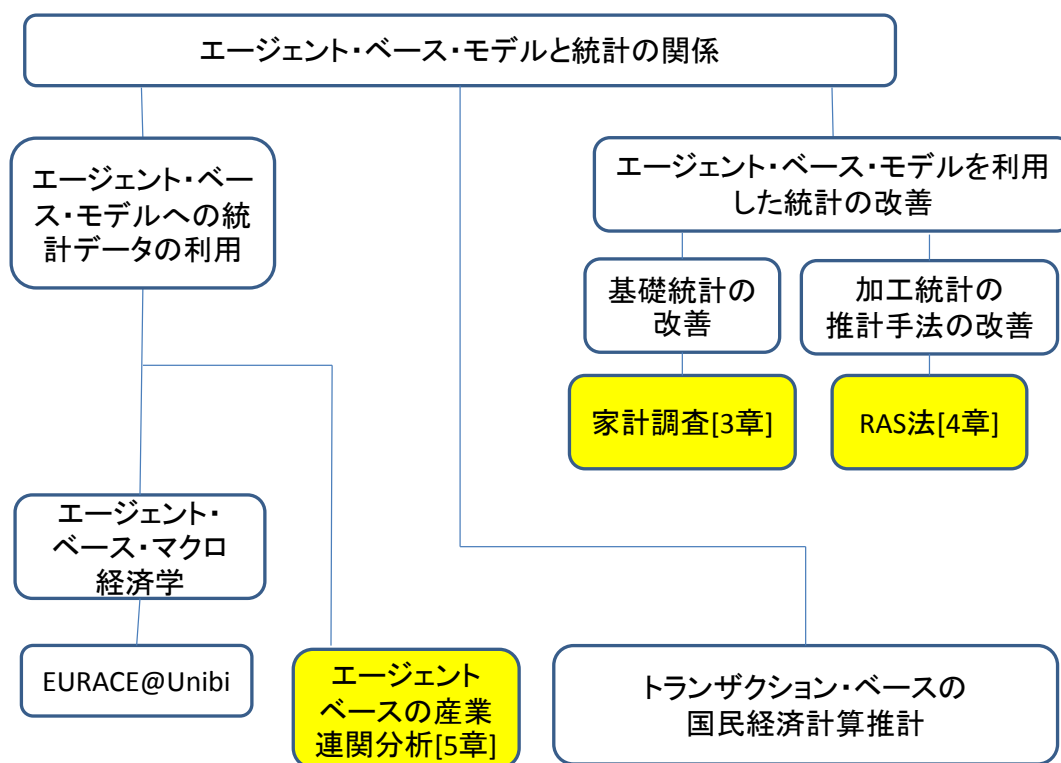


図 2.1: 統計データとエージェント・ベース・モデルを利用した研究における本研究の位置づけ

ミクロ経済学の視点からエージェント・ベースの経済モデルを構築する研究がある ([32])。例えば、EURACE@Unibi は、エージェント・ベースの、EU を対象とした大規模経済モデルにより、政策分析を目指している ([33])。

国民経済計算を経済主体間の取引のトランザクション・データから構成しようとする研究として以下がある。

出口他 (2007) は、自治体会計の会計認識が決算と国民経済計算では異なる基準となっている点を指摘し、自治体会計情報システムにおいて、伝票レベルからの集計において、それぞれに応じた振替処理を行うことで効率的に両者に必要な情報を取得する方法を提案している ([34])。

出口他 (2010) は、電子レセプト・データや電子マネーなど、トランザクション・データとして先導的に利用可能な電子データを洗い出し、これらのデータが国の統計データを置き換える可能性を論じている ([35])。

榊 (2010a) は、品目単位、発生単位の取引データを、国民経済計算の体系に集計するた

めの会計的な可能性と条件について検討している ([36])。

榊 (2010b) は、民間の企業活動をトランザクションとしてそのまま把握し、国民経済計算をそこから作成する実行プログラムのモデルを提示している ([37])。

榊他 (2011) は、既存の国民経済計算、産業連関表と地域間産業連関表から、限界生産性、産業技術回転率、地域間需要依存度など、技術・地域取引構造を指標化して、現在の統計の問題点を明らかにしている ([38])。

Sakaki(2011) は、電子私書箱構想と AADL(付録.K 参照) を結び付けて、トランザクション・ベースの国民経済計算を推計することを提言している ([39])。

一方、国民経済計算に関して、エージェント・ベース・モデルを用いて推計精度の向上や、推計手法の評価を行う研究はなされていない。また、産業連関分析をエージェント・ベースで行う研究も行われていない。

そこで、本論文の第 3～5 章では、これらのテーマを取り扱う。以下、各領域におけるエージェント・ベース・モデル以外の関連研究の状況を示す。

2.5 統計調査における測定誤差と思いだし記入の記憶誤りに関する研究の状況

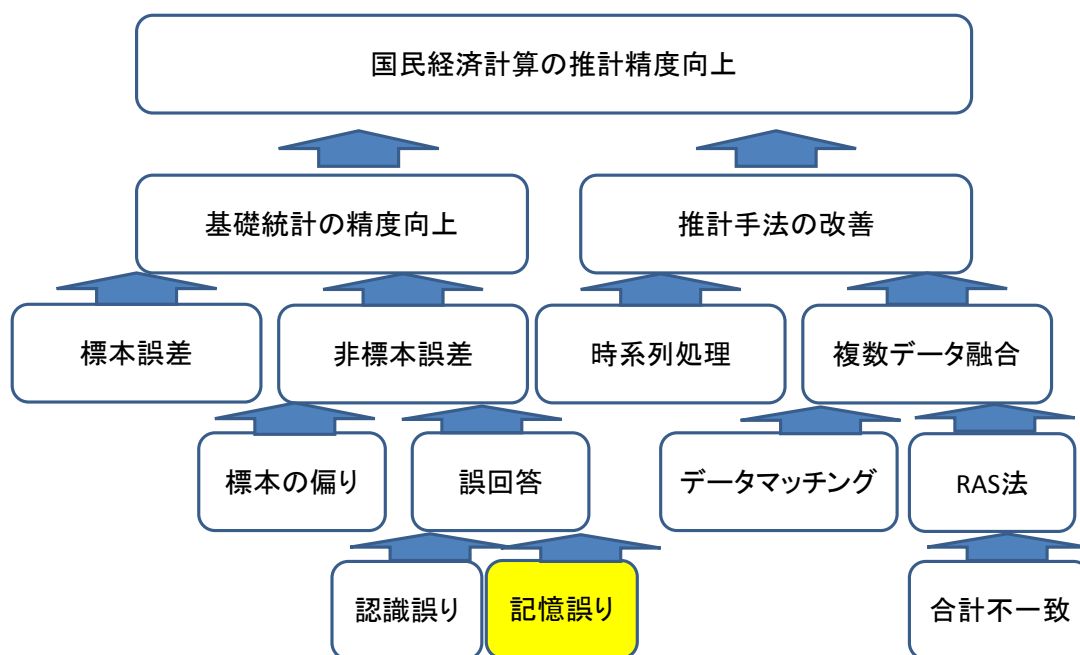


図 2.2: 統計調査における思いだし記入の記憶誤りによる誤回答に関する分析の位置づけ

図 2.2 に、統計調査における思いだし記入の記憶誤りによる誤回答に関する分析が国民経済計算の推計精度向上のために果たす役割の位置づけを示す。

国民経済計算の推計精度の向上には、基礎統計の精度向上と、推計手法の改善の両者が寄与する。本節では基礎統計の精度向上に関連した先行研究の状況について説明する。

基礎統計の精度向上のためには、統計調査における測定誤差について検討する必要がある。

統計調査における測定誤差については、Bound *et al*(2001) のレビューがある ([40])。

統計調査における誤差については、Brown(1967) が標本誤差、無回答による誤差、測定誤差について総合的な分析の必要を指摘している ([41])。

標本誤差は、標本の数や母集団の分布によって誤差の程度が推計可能である。

非標本誤差による測定誤差については次のような研究分野がある。

一つは、追加調査を用いて、数学モデルで統計測定の結果を補正する方法である。

Freedman *et al*(1986) は 1980 年のセンサス（国勢調査）の結果について、ニューヨーク州

のデータのダブル・カウントや調査漏れに関して、調査実施後のフォローアップ調査 (Post Enumeration Program) の結果から推定する回帰式を提案している ([42])。

もう一つは、これまで行われた調査の経験に基づいて二つの一致すべき結果の差異について報告するものである。

ロンジチュージナル・データの測定誤差については、Bound *et al*(1991) が、個人の所得についてサーベイ調査の結果と社会保険料の行政記録を比較している。サーベイ調査における収入の増加の 75% は実際の収入の増加を反映していることと、サーベイ調査の測定誤差がホワイト・ノイズではないことを明らかにした ([43])。

Bowers *et al*(1984) は、サーベイ調査によるロンジチュージナル・データと行政記録の失業期間を比較して、統計調査が少なくとも 2 週間長めに評価されていると報告している ([44])。

非標本誤差は、調査標本の偏りや、意図的な無回答など様々な要因があるが、記憶誤りも重要な原因の一つである。

Sudman *et al*(1973) は、記憶への時間の与える影響について、忘却と、調査により近い時期への記憶違いとが起りやすいことを報告している ([45])。

調査時点から過去の記憶をたどって調査票への記入を求める思いだし記入による記憶誤りについては、以下の報告がある。

家計収支計について Neter *et al*(1964) が報告している ([46])。思いだし期間を 1 カ月から 3 か月に伸ばすと、収入について小さな仕事は有意に少なく報告されたが、大きな仕事はほぼ同じであった。また、思いだし報告では、支出が行われたのは実際の支出時期よりも遅い時期であったと報告されることが多いことが結果として得られた

失業については、Mathiowetz *et al*(1988) が報告している。調査時点の 1 年前のデータは比較的信頼できるが、それ以前はかなり精度が落ちるとしている ([47])。

Smith *et al*(2003) はマレーシアにおける 12 年離れた 2 回の家庭生活調査から過去の記憶の正確さについて報告した。結婚や子供の誕生などの他のライフ・イベントと結びついた引越は、より正確に記憶されているとしている ([48])。

ロンジチュージナル・データによる思いだし記入の比較については、Powers *et al*(1978) が報告している。家計の人数について 1964 年時点の情報を 10 年後の 1974 年に思いだし回答した場合、4 人に一人が整合性の取れない回答をしている ([49])。

長期の思いだし記憶による非古典的な測定エラーについては、Gibson *et al*(2010) が論じている。長期の思いだし調査は報告漏れが多く、ロンジチュージナル・データとしては貧弱としている。このエラーは非古典的なものであり、伝統的な補正手法では適正に取り扱

えないとしている ([50])。

このように、サーベイ調査における思いだし調査と実際の乖離については、分野ごとに様々な測定結果が報告されている一方、シミュレーションを用いて誤差の程度を推計する研究に関する報告はされていない。そこで第3章では、家計調査の自動車購入台数を対象として、エージェント・ベース・モデルのシミュレーションにより誤差の程度を推計する手法を示す。

2.6 RAS 法に関する研究の状況

第4章では、RAS 法を拡張する手法の開発について論じる。

図 2.3 に国民経済計算の精度改善における RAS 法の位置づけについて示す。

RAS 法の改善は、推計手法の改善を通じて国民経済計算の推計精度を向上することに寄与する。

推計手法は主に時系列処理に関するものと複数データの融合に関するものに分類できるが、RAS 法は複数データの融合に関するものである。

複数のサンプルから得られたデータを単一のサンプルから得られたデータに統合するための方法論はデータ融合と呼ばれる ([51])。

異なる統計調査間のマイクロ・データを照合して、統合したデータとして利用する手法は、データ・マッチング、またはデータ・リンケージと呼ばれる ([52])。

だが、これらの手法は、基礎統計に関して同じサンプルに対する複数の調査の内容を融合するマイクロ・データを対象としたものである。

基礎統計による調査は、例えば、企業を対象とした調査、製造業の事業所を対象とした調査、家計を対象とした調査、農家を対象とした調査、対家計民間非営利団体を対象とした調査、地方自治体を対象とした調査などが、個別にそれぞれの目的をもって行われ、国民経済計算の推計・編纂は、これらの多様な統計の結果を全体としての整合性がとれる形でまとめ上げる形で行われる。

個々の基礎統計の結果は推計誤差を含んでいる。こうした情報から、経済体系の知識を利用して、マクロの経済変数間の関係に基づく推計を行い、全体としての整合性がとれた経済の姿を推計する作業が、加工統計としての国民経済計算の特徴である。

RAS 法は、多次元の行列の集計情報から行列の要素を推計する手法である。

例えば国民経済計算の重要な要素の一つである産業連関表は行列の形式で表現され、行方向は商品、列方向は産業を表す。商品ごとの集計結果と、産業ごとの集計結果だけが統

計調査により得られる場合、それらの結果から産業連関表の行列の要素を推計する際に、RAS 法を利用することができる。

統計調査において、複数の属性を組み合わせたクロスセクションの集計結果において、標本数が3未満となる場合、個票情報の保護のために統計値が秘匿される。同様に、様々な属性の高次のクロスセクション・データは秘匿セルが多くなるため公表されない。

加工統計の作成において、こうした公表されない、あるいは秘匿されたクロスセクションの値を推計する必要がある場合がある。例えば、3次元の属性を有する情報に対して、2次元の3種類のクロスセクションの集計値のみが公表され、本来集計可能な3次元のクロスセクションのデータが秘匿される場合である。これらの場合にRAS法を利用して、公表された2次元の情報から3次元の情報を推定することができる。ただし、一般には一意の解は得られない。

さらに、こうした情報が複数の統計調査に分けて行われる場合には、標本の総数が調査によって異なる場合がある。

第4章では、RAS法の拡張として、Inconsistency of Marginalsの条件下における解法をテーマに取り上げる。標本の総数が調査によって異なる場合は、Inconsistency of Marginalsの条件が成立している典型的なケースの一つである。

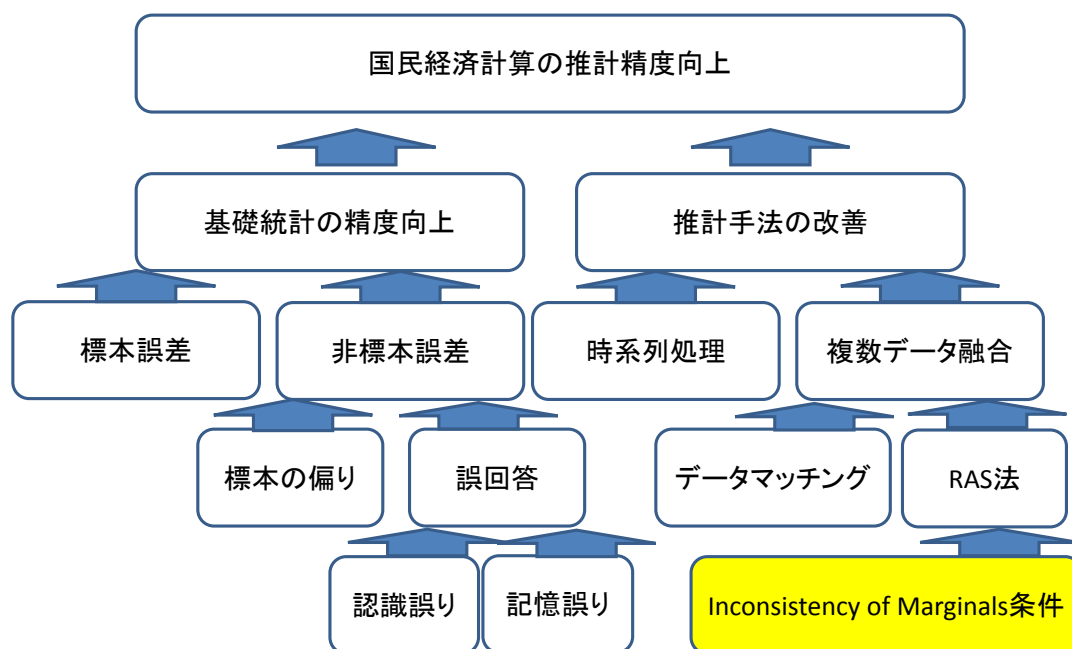


図 2.3: RAS 法の位置づけ

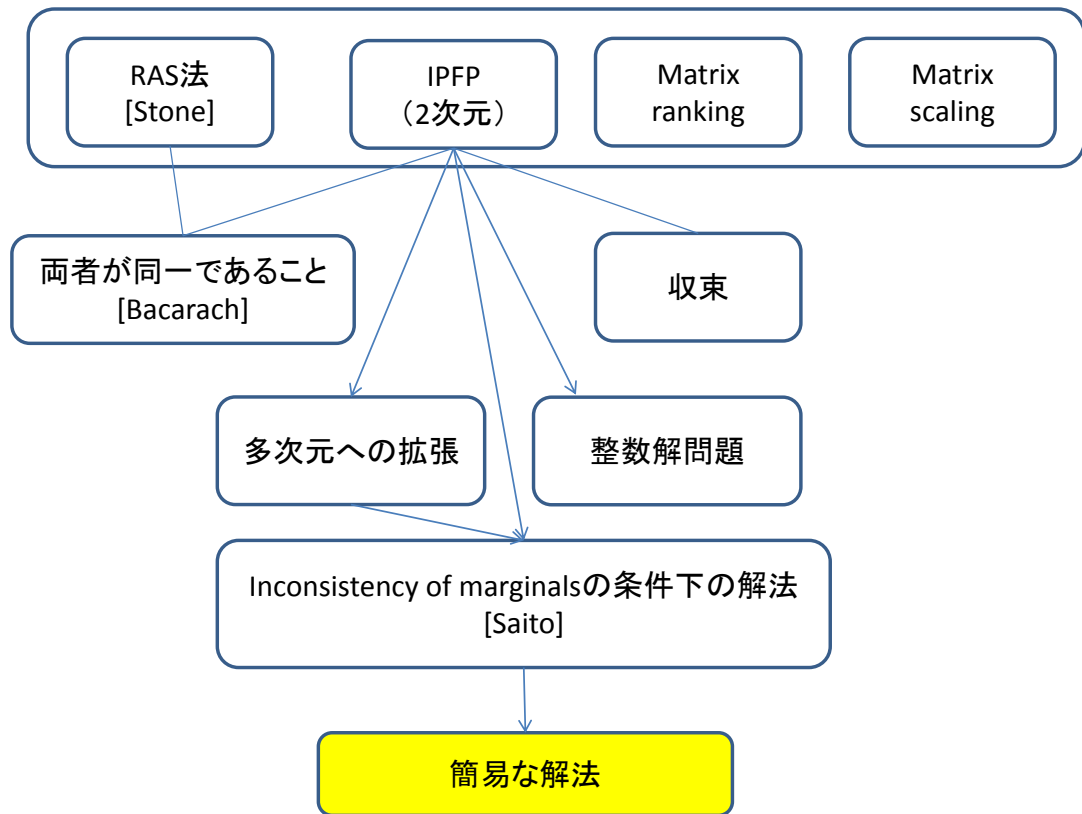


図 2.4: RAS 法及び IPFP における本研究の位置づけ

Stone *et al*(1942) は、国民経済計算において行列の行計と列計から行列要素を推計する手法として、RAS 法を開発した ([53])。RAS 法では、ある時点における行列要素が判明している条件下で、時間経過とともに行列要素の内容が変化し、行計と列計の情報のみが得られる場合に、それらの条件を満たす行列要素を推計する（詳細は付録 B.1 を参照されたい。）。RAS 法が解をもつためには、行和の和と列和の和が一致していることが必要である。

図 2.4 に RAS 法及び IPFP における本研究の位置づけを図示する。

RAS 法は数理科学では Iterative Proportional Fitting Procedure(IPFP) として知られている。RAS 法と IPFP が同一であることは Bacharach(1965,1970) が論じている ([54],[55])。IPFP は Matrix Ranking として論じられることもある ([56])。コンピュータ科学では Matrix Scaling として論じられる ([57])。

Norman(1999) は IPFP のアルゴリズムに関して人口データ推計への利用の観点から文献のレビューをまとめている ([58])。24 論文が挙げられている。

IPFP のアルゴリズムを提唱した Deming *et al*(1940) の論文は広く知られている ([59])。

だが、Fienberg *et al*(2006) は、それ以前にも同様のアルゴリズムを利用した文献があることを指摘している ([60])。

IPFP の収束については Brown(1959), Ireland *et al*(1968), Csiszár(1975) が論じている ([61], [62], [63])。

Balinski *et al*(1989) は、議席配分の公平性に IPFP のアルゴリズムを利用する必要性から、行列要素が整数値であり、行和、列和の比率が要素の総合計の比率に対してある範囲内の数値となる行列を求める問題に拡張し、その解法を提案している ([64])。

Kalantari *et al*(2008) は、Balinski *et al*(1989) の議論を不等式条件下におけるエントロピー最小化問題として一般化してその複雑性について議論している ([65])。

IPFP の 3 次元以上の拡張については Deming(1943), Darroch(1962), Caussinus(1965), Bishop(1969), Mosteller(1968) が論じている ([66], [67], [68], [69], [70])。

Saito(1998) は Inconsistency of Marginals の概念を定式化し、この拡張された条件下における IPFP の拡張アルゴリズムとして、Multistep IPFP を提案した ([71])。情報の欠落により従来の RAS 法 (IPFP) では解が求められない。Multistep IPFP には、Sequential Multistep IPFP と Weighted Multistep IPFP があり、前者は処理の順序により異なる結果が得られる。後者は各次元に与える優先度の重みづけにより前者の欠点を修正した手法である。

第 4 章では、Inconsistency of Marginals の条件下において解を求める RAS 法を拡張した手法について論じる。Saito(1998) の提案より簡素な手法を提案し、実用的な収束解が得られることを示す。

提案手法の有効性の評価に関しては、以下の関連研究がある。

Wong(1992) は地理データについて IPFP の精度の評価について報告している ([72])。

Saito(1998) は Multistep IPFP の評価を簡素な数値例と数理的な手法により行っている ([71])。

時系列的な数値例をシミュレーションにより発生して、Inconsistency of Marginals の条件下において拡張された RAS 法の評価を行った研究は報告されていない。

第 4 章では、提案手法の精度を、時系列的な数値例をシミュレーションにより発生して評価する。数値例の発生にエージェント・ベース・モデルを応用した手法を利用する。

2.7 事業所をエージェントとした産業連関分析の位置づけと研究の状況

第5章では、事業所をエージェントとしたエージェント・ベースの産業連関分析について論じる。

図 2.5 に産業連関分析における本研究の位置づけを示す。

本研究では、産業連関分析の中でも非正方行列で表現される産業連関表を用いた分析を、繰り返し演算法により、屑・副産物処理アルゴリズムを含めて行うことにより、エージェント・ベースの産業連関分析を行う点に特徴がある。エージェント・ベースの産業連関分析は、正方行列による産業連関分析の規模別産業連関表とも関連がある。黄色で示した部分が本研究の対象部分である。

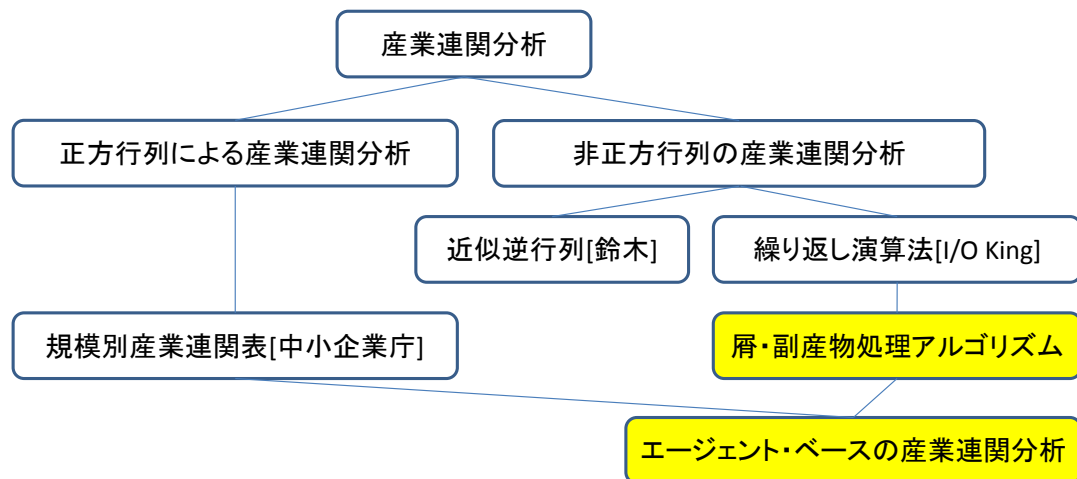


図 2.5: 産業連関分析における本研究の位置づけ

Leontief はアメリカの産業連関表の原型を示した (1936,[73]) のに続き、実態経済の解明を志向し (1941,[74])、産業連関分析の方法を示した (1951,[75])。主要論文は (1966,[76]) を参照されたい。

第5章ではLeontief のオープン数量モデル ([77],pp.18-21) を取り上げる。投入係数行列 A と国内生産額ベクトル x 、最終需要ベクトル f に関して、 $Ax + f = x$ 、すなわち $x = (I - A)^{-1}f$ が成立する。ここで、 $(I - A)^{-1}$ はレオンチェフ逆行列と呼ばれる。

産業連関分析では、行部門と列部門が同じ概念かつ同じ大きさで構成される産業連関表である、「対称産業連関表」を用いる ([77],p.99)。

一般には、一つの産業で複数の商品が生産されるため、統計調査によって把握できる計数だけでは、対称産業連関表を得ることはできない。日本の産業連関表では、Konijn *et al*(1995)のアクティビティ概念 ([78]) 及び BEA(Bureau of Economic Analysis) の再定義法を取り入れ、産業を同質的分析単位に分割したアクティビティ・ベースの産業連関表が編纂されている ([77],pp.99-106)。

対称産業連関表の作成にあたって課題になるものに、副産物がある。黒田 (2010) にしたがって表記すると、主生産物とは、「主生産活動によって生産される生産物」である。副産物とは、主生産活動によって生産される「主生産物に付随的に発生し、生産量も主生産物に比例的で、追加的な投入物もないような生産物」であり、日本の産業連関表では「副産物のうち、それを主たる生産物として生産する活動がないものを屑 (scrap) として区別」している。副産物や屑は、その生産を目的とした産業が存在しないため、商品のみが存在することになり、対称産業連関表を作成する支障となる。日本の産業連関表では副産物および屑には原則としてストーン方式（副次的生産物をそれを生産した部門のマイナス投入として計上する方法。）を採用している ([77],p100)。

産業連関分析において、「対称産業連関表」や、副産物・屑の取り扱いにストーン方式を適用するのは、行列計算においてレオンチェフ逆行列をはじめとする逆行列を利用しているためである。逆行列が存在するためには対称な正方行列でなければならないし、副産物・屑を、主生産物と統合して処理する必要がある。

第5章では、レオンチェフ逆行列を利用せずに産業連関分析を行う手法を提案する。レオンチェフ逆行列を利用せずに産業連関分析を行った研究には以下がある。

Ichihashi *et al*(1995)、市橋 (1995a,1995b)、市橋他 (1997) は、レオンチェフ逆行列では明示できない産業部門間の波及過程を「プロセスグラフ」によって図解追跡した ([79],[80],[81],[82])。

鈴木 (2000) は、正方行列ではない産業連関表を対象に、近似的に逆行列を計測する手法を考察した ([83])。レオンチェフ逆行列を、波及過程を表す行列乗数 $(I-A)^{-1} = (I+A+A^2+A^3+\dots)$ に分解して、4次近似で十分な精度が得られるとしている。

この波及過程を表す行列乗数については、産業連関分析において1次波及効果 Af や、2次波及効果 A^2f を表示することで波及の主な効果のみを示す場合がある ([84])。

レオンチェフ逆行列を、波及過程を表す行列乗数に分解して、近似計算する手法は「反復計算法」とされ、産業連関分析用ソフトウェア「産業連関王 I・O King」で採用されている ([85])。

「反復計算法」は産業連関分析を実現するプリミティブな手法である。非正方の産業連関表や、副産物と屑の処理を主生産物とは独立して処理する手法はこれまで提案されてい

ない。そこで第5章ではこれらを対象とした産業連関分析の手法を提案する。

産業連関分析においては、産業部門を分割することによって、コスト構造の異なる部門の統合による影響や、企業規模によるコスト構造の違いに関する研究が行われている。

中西 (1992,1993) は、産業部門の統合の程度によって異なる波及効果量の差を「部門統合誤差」とし、誤差を抑制するための部門分割の基準と方法を示している ([86],[87])。

「規模別産業連関表」に関するレビューを横橋 (2010) が取りまとめている ([88])。中小企業総合研究機構 (2008) ([89]) は規模別産業連関表を用いた研究として、中小企業庁 (2007) ([90])、井田 (2000) ([91])、下田他 (2005) ([92])、居城 (2007) ([93]) を挙げている。これらの「規模別産業連関表」は、逆行列が存在するように正方行列化するため、商品も大企業製品と中小企業製品に分割している。この場合、同種の商品であっても、生産したのが大企業であるか、中小企業であるかによって、異なる分類に分けられることになる。

非正方行列の産業連関表を反復計算法によって分析する手法を提案したことで、産業を事業所単位に細かく分割する一方、商品は分割せずに取り扱うことが可能になる。この手法に関する研究は報告されていない。そこで、第5章では、事業所をエージェントとするエージェント・ベースの産業連関分析を行う手法を提案する。

生産手段によってコスト構成が異なる事例として事業用電力を取り上げる。

電力に関連した産業連関分析については東日本大震災の影響について、石倉他 (2011) が分析している ([94])。

第5章では、原子力発電の事業所の生産を火力発電で代替した場合の国内生産額と輸入額を推計する。

次に、生産手段が同じだが、規模によってコスト構成が異なる事例として、水稻耕作農家についてエージェント・ベースの産業連関分析を行う。

2.8 領域専門家によるエンド・ユーザ・コンピューティングに関する研究の状況

以上、国民経済計算の推計と利用にエージェント・ベース・モデルを応用した手法を示すことに関する先行研究をレビューした。これらの手法を取り入れ、また、社会や経済の変化の状況に応じた国民経済計算を作成するためには、国民経済計算の推計を支援する情報システムが必要不可欠である。以下、第二の研究目的である、国民経済計算の推計を支援する情報システムのアーキテクチャ・デザインについて論じる。

第6章で検討の対象とする国民経済計算推計システムは内閣府経済社会総合研究所国民

経済計算部（以下、国民経済計算部）で運用されている。このシステムの特徴は国民経済計算の領域専門家によるエンド・ユーザによるプログラム開発に依存してきた点にある。そこで、以下、エンド・ユーザのシステムへの関与に関する研究状況を説明する。図 2.6 にエンド・ユーザのシステムへの関与についての研究分野について示す。

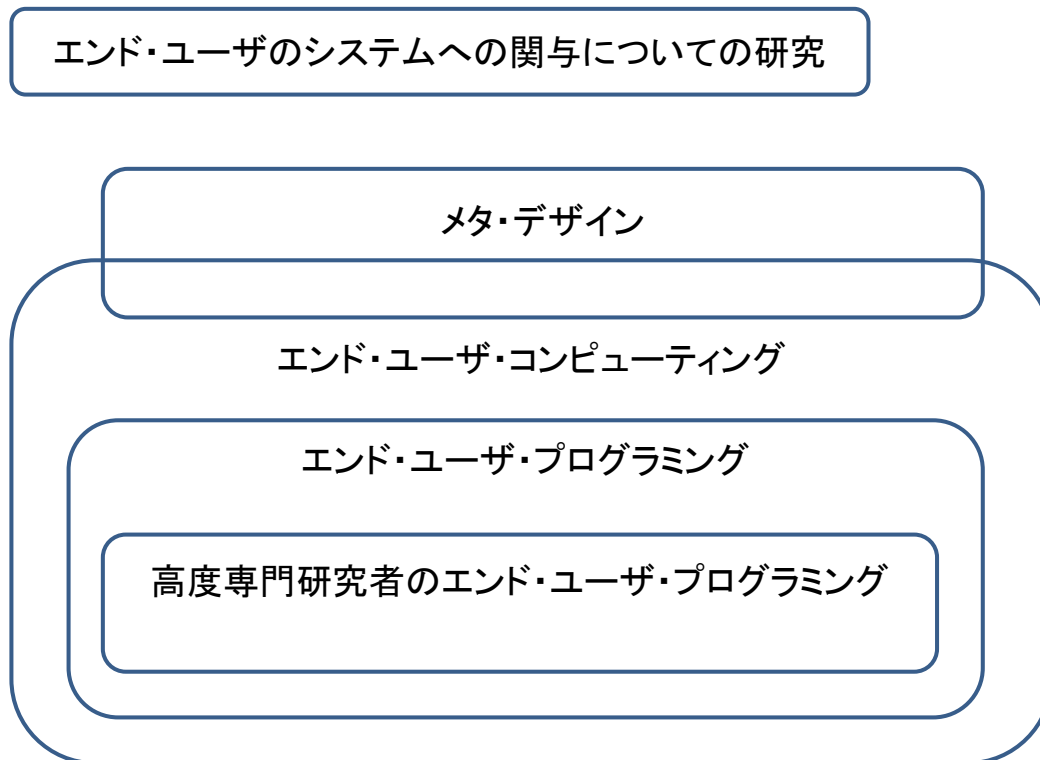


図 2.6: エンド・ユーザのシステムへの関与に関する研究

Nardi(1993) は、エンド・ユーザ・プログラミングを、専門プログラマ以外の者が完全に動作するコンピュータ・アプリケーションを作成すること、と定義している ([95])。

エンド・ユーザ・コンピューティング (EUC:End user computing) は、エンド・ユーザ・プログラミングに、表計算ソフトの利用など、アプリケーションの作成以外の利用を含めた概念である ([95])。また、エンド・ユーザ開発の概念は、エンド・ユーザ・プログラミングに設計やテストなど総合的な開発のプロセスを含めた概念である。

エンド・ユーザ・コンピューティングの組織運営面からの問題については、Amoroso(1988) が体系的なレビューを行っている ([96])。46 論文を次の 14 のカテゴリーに分類している。

1. エンド・ユーザ・コンピューティングに関する背景文献、研究の枠組みと情報システ

ムの実装

2. 情報技術のトレンド
3. 情報システムの発展とエンド・ユーザ・コンピューティングに関するステージ理論研究
4. パーソナル・コンピューティングと分散情報システム、パーソナル・コンピュータ
5. エンド・ユーザ・コンピューティングとユーザ開発アプリケーションの利点とリスク
6. エンド・ユーザ・コンピューティングの管理に関する問題と枠組み
7. エンド・ユーザ・ポリシーと管理
8. エンド・ユーザ環境の支援、資源配置、トップ・マネジメントの支援、教育訓練
9. 情報センターの性質
10. ユーザ環境、ユーザの特徴、ユーザの属性、コンピュータに関するユーザの経験
11. ハードウェアとソフトウェア、エンド・ユーザのワークステーションの構成
12. データ問題、データへのアクセス、データの管理者、データ管理、データ・セキュリティ
13. アプリケーション開発手法、プロセス、プロトタイプ作成、開発ライフサイクル
14. エンド・ユーザ・コンピューティングのアプリケーションの効率性、利用、ユーザ情報満足度、アプリケーションの質

本研究との関連が深いのは、5.「エンド・ユーザ・コンピューティングとユーザ開発アプリケーションの利点とリスク」、6.「エンド・ユーザ・コンピューティングの管理に関する問題と枠組み」、7.「エンド・ユーザ・ポリシーと管理」の3つの観点である。

実際にエンド・ユーザ・プログラミングがどのように行われているのかについて企業や団体を対象にインタビュー調査による研究が行われている。

Benson(1983)は、セントルイスの30以上の事業所を対象として、エンド・ユーザ・コンピューティングに関してインタビューし、セキュリティや統合性、データベースへのアクセスなどの問題をとりまとめた ([97])。

Taylor *et al*(1998)は、1994-1996年にかけての34の英国の組織でのケース・スタディからエンド・ユーザ開発のメリットとデメリットを抽出した ([98])。エンド・ユーザによる

開発を適切に管理しないと組織的なデータ管理が停滞する可能性がある。エンド・ユーザ開発によるアプリケーションが組織活動の中核をサポートするために利用されていることについて、懸念を示している。

本研究の対象は、エンド・ユーザ・コンピューティングの中でも、高度な専門研究者がエンド・ユーザである場合である。高度な専門研究者は「領域専門家」と表現される。

Segal(2007) は、金融工学、惑星科学、宇宙工学、生物学などの高度な専門研究者のエンド・ユーザ・プログラミングについて調査している ([99])。高度な専門研究者には、研究領域に関する高度な知識が必要であり、ソフトウェア開発は研究のためのツールに過ぎない。調査結果では、開発知識の共有がされにくい問題、ソフトウェア開発がその後のキャリアの役に立たない問題、テストの軽視の問題などを指摘している。この研究の対象者には、領域専門家に博士号取得者が多く、ソフトウェア言語の教育を受けたことがある者も多い点が、国民経済計算部の状況と大きく異なる。一方、領域に関する専門知識が必要なこと、ソフトウェア開発はツールに過ぎず、本来の目的が異なる点にあることについては共通である。

Costabile *et al*(2003) は領域専門家によるユーザ開発の概念を提唱している。その活動は、パラメータ設定のように、アプリケーション側が準備している Class 1 と、どのようなプログラミング・パラダイムであれ、何らかのプログラミングを含む Class 2 とに分類される ([100])。Class 2 のプログラミング・パラダイムとして以下を挙げている。

1. デモンストレーションによるプログラミング
2. ヴィジュアル・プログラミング
3. マクロ生成

1.「デモンストレーションによるプログラミング」は、ユーザがコンピュータに「どのようにやるのか見ていなさい」と教示し、コンピュータがユーザの動きに合わせてプログラムを作るべきであるというプログラミング・コンセプトである ([101])。1975年に Pygmalion が開発された ([102]) のが端緒である。

2.「ヴィジュアル・プログラミング」はテキストの代わりにグラフィックスを利用してプログラミングするコンセプトである ([103])。

3.「マクロ生成」はプログラム言語を自動生成する「マクロ言語」を利用するプログラミング・コンセプトで、Freeman(1966) がメインフレーム・コンピュータでアセンブラ言語の生成のために開発したことに始まる ([104])。簡易な記述言語からより複雑なプログラム言語を生成するコンセプトである。

マクロ言語に限らず、プログラム言語を自動生成するソフトウェア開発については、Czarnecki(2005) がレビューしている ([105])。

Domain-specific language (DSL) Domain-specific language (DSL) は、特定の問題領域に特化した言語であり、言語の応用範囲を絞り込むことで問題解決能力がより高くなる ([105])。DSL の邦訳には「問題領域向け言語」 ([106])、「ドメイン特化言語」 ([107])、「ドメイン依存言語」 ([108])、「ドメイン固有言語」 ([109]) などがある。

DSL について、van Deursen *et al*(2000) は用語、メリットとデメリット、事例、デザイン・メソッド、実装について 78 論文を対象とした体系的なレビューを行っている ([110])。メリットについて次の通り記述している。

1. DSL によって、問題領域での抽象レベルと表現により、問題解決を表現できる。従って、領域専門家自身が DSL プログラムを理解し、正当性を確認し、変更し、さらに多くの場合開発することができる。
2. DSL プログラムは簡潔で、かなりの程度プログラム自体が解説となっており、異なる目的のために再利用できる。
3. DSL は生産性、信頼性、メンテナンス性を向上し、ポータビリティも向上する。
4. DSL は領域知識を具体化し、知識の保全と再利用を可能にする。
5. DSL は領域レベルの検証と最適化を可能にする。
6. DSL によりテスト性を改善する手法が存在する。

一方、以下のデメリットを挙げている。

1. DSL を開発、実装、メンテナンスするコスト
2. DSL の利用者を教育するコスト
3. DSL の利用可能な範囲の限界
4. DSL に適切な範囲を見出すことの困難さ
5. 領域限定と汎用プログラム言語とのバランスの難しさ
6. ソフトウェアを手作業によりコーディングした場合に比べて効率性が落ちる可能性があること

DSL は、領域専門家のプログラミングの負担を軽減するための有力な手法である。

領域専門家による効率的なシステム開発については、多くの研究がある。その一例を次に挙げる。

瀬田他 (1997) は、エンド・ユーザ・プログラミング環境として、「エンドユーザが頭の中に持つ知識を容易にかつ円滑に計算機上に表現するための枠組みを備えること」と「エンドユーザが記述したモデルから、エンドユーザの頭の中にある問題解決の思考過程を表現するモデル（概念レベル実行モデル）を捉え、そのモデルに忠実に問題解決を実行すると共に、記述された問題解決知識の修正を支援するための枠組みを備えること」が重要であるとし、「エンドユーザが認識する対象領域の概念の構造を体系的に定義した」タスク・オントロジーを基盤にした概念レベルプログラミング環境を提案している ([111])。

この事例のように、多くの研究は、領域専門家が自らシステム開発を行うことを想定している。

領域専門家とシステム開発専門家の協力によるシステム開発 一方、領域専門家とシステム開発専門家が協力し、役割分担しながらシステム開発を行う研究がある。

Lepouras *et al* (2007) は SmartGov において、IT 専門家と領域専門家が役割分担しつつシステム開発を行うスキームを描いている ([112])。SmartGov における新規 e-service の提供において、利用するデータの定義やユーザの入力のルール、バック・エンドの計算処理や様々な出力結果の可能性などでいずれも領域専門家が中心的な役割を担っている。

メタ・デザイン エンド・ユーザ・コンピューティングの概念を拡張し、ユーザがシステム開発への要望を提出することを通じて、システム・デザインに関わっていると論ずる研究がある。

Fischer *et al* (2006) は、エンド・ユーザ・コンピューティングの将来像の概念として、メタ・デザインを提唱している ([113])。メタ・デザインはユーザが共同開発者としてデザインに携わる概念フレームワークである。

Ye *et al* (2007) は、オープン・ソース・ソフトウェアにおけるユーザの設計への関与をメタ・デザインとして提唱した ([114])。ソフトウェア利用者は、ソフトウェア開発への意見や要望を提示することを通じて、既存のソフトウェアの利用に限らず、継続的なシステムの開発に関わることが促されるとしている。

メタ・デザインの概念は、エンド・ユーザとしての領域専門家の意向がスムーズにシステム開発にフィードバックされる環境がある理想的な状況を想定していると考えられる。現実には、領域専門家とシステム開発者の間の意思疎通を十分に行うことができないケース

が発生している。国民経済計算推計システムについては、領域専門家はプログラムを読む能力が無いことから、システムがブラックボックス化しており、一方、システム開発者は領域に関する知識が不十分なために、プログラムの実現したいセマンティックな意図を理解できないために、プログラムの意図を読み取ることが困難な状況が生じている。

対象領域を統計とした研究 次に対象領域を統計とした研究について概観する。

統計を対象としたシステム設計については、統計システムの管理に関する国際会議 **Meeting on the Management of Statistical Information Systems** が 2008 年より、UNECE, EUROSTAT, OECD の共催で毎年開催されており、各国の統計機関から統計システムについての研究が発表されている ([115], [116], [117], [118], [119])。

ソフトウェアの共同利用や、マイクロデータの管理に関するアーキテクチャ・デザインについては多くの発表が行われているが、国民経済計算の推計システムに関する報告は、Shigeno *et al*(2012) の 1 件のみである ([120])。日本の国民経済計算推計システムについて、FORTRAN によるメインフレームのシステムを Excel の VBA で書き換えることにより、従来 2 時間かかったプログラムの実行が 1-2 分で終了すると報告している。

だが、この報告では、レガシー・システムのプログラミング言語の書き換えを行っただけで、エンド・ユーザが推計システムを変更することに対応できるシステムの設計は行っていない。

第 6 章では、これを可能とするためのシステムのアーキテクチャ・デザインの設計を示す。

第3章 思いだし記入の導入による精度向上と 記憶誤りによる精度低下のトレード・ オフのシミュレーション

第3章では、家計調査の自動車購入台数について思いだし記入を導入した場合に、全国の自動車購入台数の推計値の正確性にどのような影響を与えるかを、シミュレーションによって示す。

第3章の目的は二つある。一つは、記憶誤りが無い仮定のもとで、現状の調査月の自動車購入の情報のみを回答した場合と、調査月以前の思いだしによる自動車購入の情報を加えて回答した場合とで、自動車購入の推定数量がどのように変化するかを観察することである。二つ目は、記憶誤りが購入時点から増加していく場合に、調査月以前の思いだしによる自動車購入の回答により、自動車購入の推定数量がどのように変化するかを観察することである。

3.1 思いだし記入の導入による精度向上

家計調査の「自動車」など単価が大きく購入頻度の低い消費項目の消費額は結果が安定しないことが知られている（[121],pp.9-10）。調査世帯数は、月次公表される二人以上の世帯では全国で8076世帯であり、3461万世帯のわずか0.02%に過ぎない。四半期ごとに公表される単身世帯では、寮・寄宿舎を除く一般世帯は全国で673世帯であり、母集団約1303万世帯のわずか0.005%のサンプル数である。サンプル数の増加は経費（地方公共団体委託費で約10億円（[123],p.366））の面から困難である。調査サンプル数は現状のまま、調査時点以前の購入実績の思いだし記入を追加することで精度を高めることが考えられる。

第3章では自動車購入数量を対象として、その効果をエージェント・ベース・シミュレーションで評価する。

第2章で示したように、統計調査において、調査時点より過去に遡った思いだし記入の報告を求めると、記憶の漏れや記憶誤りにより、誤った報告が行われることが先行研究により明らかになっている。

本節では、このような記憶の漏れや記憶誤りが無い状態において、つまり、購入に関する正確な記憶が報告時点で維持されている場合の、精度について取り扱う。

統計理論により、標本数の増加により、推計精度が向上すること自体は自明である。

中心極限定理により X が平均 μ 、標準偏差 σ のある分布に従うならば、大きさ n の無作為標本に基づく標本平均は、 n が無限に大きくなるとき、平均 μ 、標準偏差 $\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ の正規分布に近づく。

ある時点 t_0 の自動車購入数量の推定において、調査時点 t_1 における標本数 $n_1 \geq 1$ に加えて、調査時点 t_2 における標本数 $n_2 \geq 1$ が得られれば、 $n_1 + n_2 > n_1 \geq 1$ および $\sigma > 0$ より

$$\frac{\sigma}{\sqrt{n_1 + n_2}} < \frac{\sigma}{\sqrt{n_1}} \quad (3.1)$$

が成り立ち、標準偏差が縮小、すなわち精度が向上する。

仮に、調査時点 t_1 及び調査時点 t_2 の間で、世帯数に変更がなく、全国を単位とする調査地区に対して、標本をランダムにサンプリングする場合であれば、各調査時点における重複しない標本数 n_1 及び n_2 の情報から、調査精度は式 (3.1) に示した標準偏差により推定できる。

実際の家計調査では、調査コストの問題から、層化3段抽出により、東京特別区及び全国167の市町村（以下、「市町村」と表記）から調査世帯を選定し、2人以上の世帯については、1世帯について6か月連続して調査を行っている（[122]）。調査世帯は毎月6分の1ずつ入れ替わる。調査地区内の世帯総数は、調査時点 t_1 と t_2 の間で同一ではなく、世帯の消滅や新たな世帯の発生が生じている。このサンプル選定の複雑性のもとで調査精度を論じるには、数学モデルによるよりも、実際の統計調査の手法をモデル化したシミュレーションを利用することが容易である。

本章では、全国の2人以上世帯のみを対象として自動車購入台数の推計に関するシミュレーションを行う。（以下、「全国の自動車購入台数」は、全国の2人以上世帯の家計による自動車購入のみを指す。）

まず、全国の2人以上世帯のモデルを設定し、全国の自動車購入の総数を決定した上で、購入世帯をランダムに決定する。次に、全国の2人以上世帯の中から、家計調査の調査世帯の選定方法に基づき、調査世帯を選定し、すべての調査世帯から正確な回答が得られるものとしてシミュレーションを実施した。

実施したシミュレーションの詳細を、付録Aに示す。

調査時点から12か月遡った時点までの購入履歴を初回調査時に思いだし記入させた場合と、調査月のみの購入数量だけを記入させた場合の、調査結果から推計される全国の自動

車購入台数の比較を図 3.1 に示す。横軸は 1995 年の 1 月から 12 月を表す。縦軸は 100 通りの調査世帯選定ごとの全国の自動車購入台数の推計結果を箱ひげ図で表示する。ひげの上端が最大値、下端が最小値、箱の上端が第一四分位値、下端が第三四分位値、中央が中央値である。設定した真の自動車購入台数を折れ線グラフで示す。各月の左側の箱ひげ図は調査月のみの購入数量だけを記入させた場合の推定結果、右側の箱ひげ図は調査時点から 12 か月遡った時点までの購入履歴を初回調査時に追加して思いだし記入させた場合の推定結果である。右側の箱ひげは、分布の範囲が左側の箱ひげに比べてどの月についても縮小しており、推定の正確性が増していることが示されている。

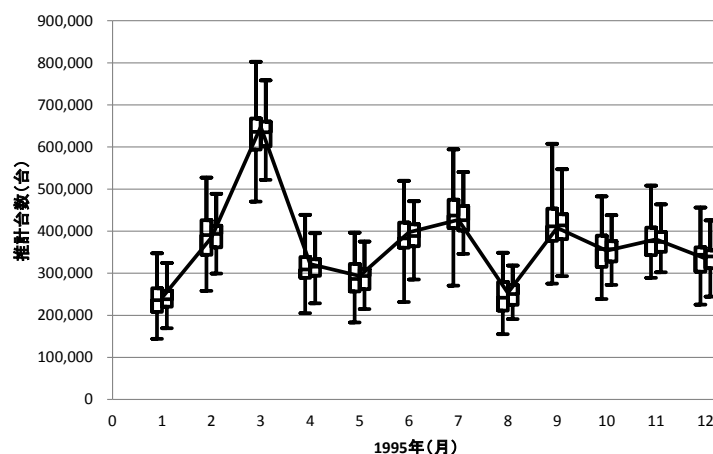


図 3.1: 調査月のみの購入数量だけを記入させた場合（左）と調査時点から 12 か月遡った時点までの購入履歴を初回調査時に追加して思いだし記入させた場合（右）の比較

次に、思いだし記入の範囲を変化させた場合の分布範囲の変化を各月の推定結果の分布の標準偏差により評価する。図 3.2 に調査月のみの購入数量だけを記入させた場合から調査時点から 24 か月遡った時点までの購入履歴を初回調査時に思いだし記入させた場合までの 1995 年 1～12 月の各月の推定購入台数推計値の標準偏差の変化を示す。横軸は、遡る購入履歴の月数である。

初回調査時に遡って追加して思いだし記入する過去の購入履歴の月数が増加するにしたがって、推定購入台数の分布の標準偏差が小さくなり、推定の正確性が増していることが示されている。推定のための情報量が増加することによって正確性が増す効果である。

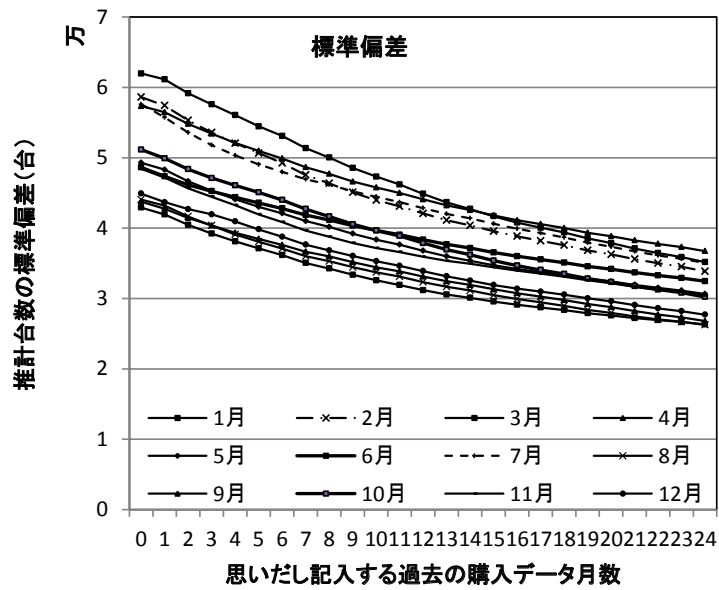


図 3.2: 調査月のみの購入数量だけを記入させた場合（左）と調査時点から 12 か月遡った時点までの購入履歴を初回調査時に追加して思いだし記入させた場合（右）の比較

3.2 記憶誤りによる結果への影響

次に、本章の第二の研究目的、記憶誤りが生じる場合の思いだし記入に基づく自動車購入台数推定値の動向についてのシミュレーション結果を示す。 p_0 及び i の定義は付録 A.3.2 を参照されたい。

記憶誤りが無い場合と同じ 1995 年 1～12 月の推定値について、 $p_0 = 10\%$, $i = 1\%$ の記憶誤り（初期記憶誤りが最大のエージェントで 10% であり、各エージェントの記憶誤りが 1 ヶ月経過するごとに 1% ずつ増加する）を設定したケースを図 3.3 に示す。

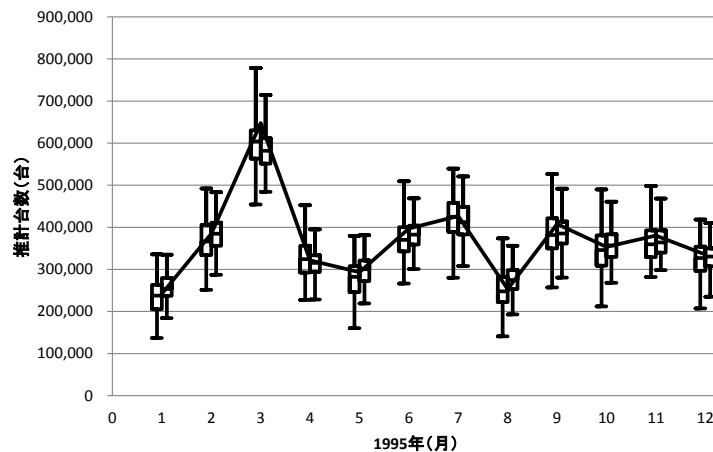


図 3.3: 記憶誤りの存在する場合の思いだし記入なし（左）と 12 カ月思いだし（右）の比較 ($p_0 = 10\%, i = 1\%$)

横軸は 1995 年の 1 月から 12 月を表す。縦軸は 100 通りの調査世帯選定ごとの全国の自動車購入数の推計結果を箱ひげ図で表示する。ひげの上端が最大値、下端が最小値、箱の上端が第一四分位値、下端が第三四分位値、中央が中央値である。設定した真の自動車購入台数を折れ線グラフで示す。各月の左側の箱ひげ図は調査月のみの購入数量だけを記入させた場合による推定結果、右側の箱ひげ図は、調査時点から 12 か月遡った時点までの購入履歴を初回調査時に思いだし記入させた場合の推定結果である。

ひげの長さが左側より右側で短い点は、記憶誤りが無い場合と共通である。

前節の記憶誤りが無い場合との違いは、右側の箱ひげ図で、購入台数の季節変動パターンの平準化が生じていることである。すなわち、購入台数が各月の平均購入台数よりも 15% 以上多い月、すなわち 3 月、7 月では右側の箱ひげ図の推定結果の中央値が、左側の箱ひげ図の推定結果の中央値より小さく、購入台数が各月の平均購入台数よりも 15% 以上少ない月、すなわち 1 月、8 月、5 月では右側の箱ひげ図の推定結果の中央値が、左側の箱ひげ図の推定結果の中央値より大きくなっている。これは、記憶誤りがある場合には、購入月の記憶のずれにより購入台数の季節変動パターンの変動化が引き起こされることを意味する。

このことをより明確に示すために、図 3.4 に、 $p_0 = 10\%, i = 1\%$ （初期記憶誤りが最大のエージェントで 10% であり、各エージェントの記憶誤りが 1 ヶ月経過するごとに 1% ずつ増加する）の記憶誤りを設定したケースについて、初回調査時に調査時点から遡って思いだし記入する購入履歴の月数の変化による 1995 年 1~12 月の各月の推定購入台数の平均値の変化を示す。横軸が、初回調査時に調査時点から遡って思いだし記入する購入履歴の月

数であり、縦軸が推定購入台数の平均値を示す。

比較のために、図 3.5 に、記憶誤りが無い場合の思いだし記入する過去の購入データ月数による 1995 年 1～12 月の各月の推定購入台数の平均の変化を示す。横軸は、思いだし記入する過去の購入データ月数を示す。

図 3.6 に、図 3.4 と図 3.5 の、思いだし記入する過去の購入データ月数が 24 の場合の推計台数の平均の、0 の場合からの乖離率を縦軸に、各月の購入台数の年平均に対する比率を横軸に、記憶誤りがある場合 ($p_0 = 10\%, i = 1\%$) と無い場合を比較して示す。

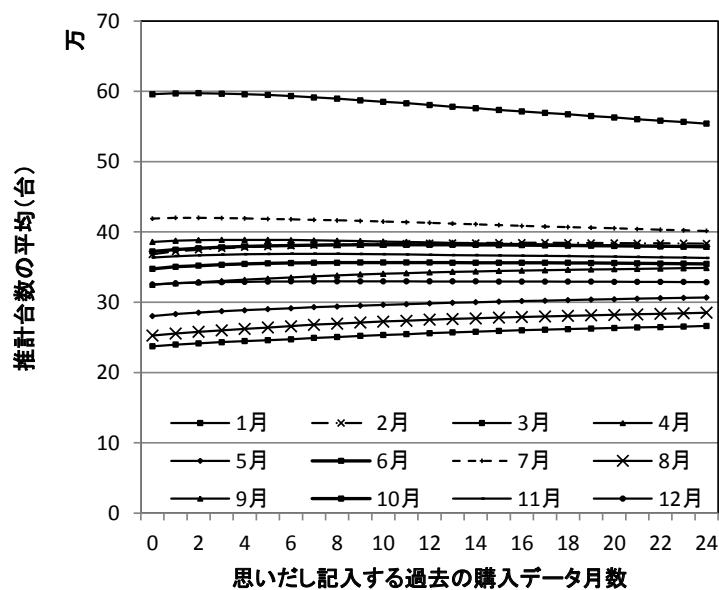


図 3.4: 記憶誤りの存在する場合の思いだし記入する過去の購入データ月数による平均の変化

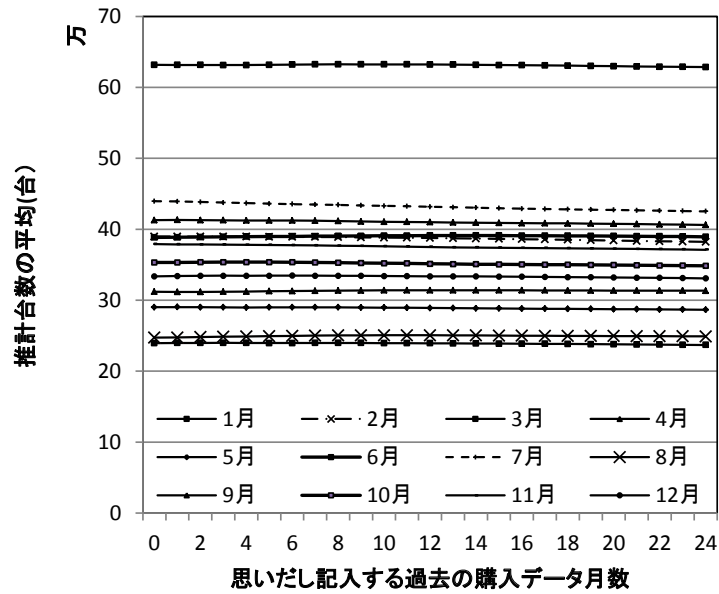


図 3.5: 記憶誤りの存在しない場合の思いだし記入する過去の購入データ月数による平均の変化

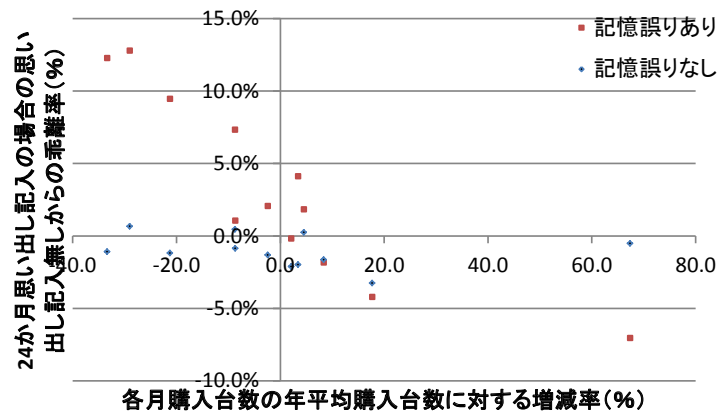


図 3.6: 思いだし記入する過去の購入データ月数が 24 の場合の推計台数の平均の 0 の場合からの乖離率と各月の購入台数の年平均に対する比率の関係

図 3.4 では、初回調査時に調査時点から遡って思いだし記入する購入履歴の月数が増加するにしたがって、推定購入台数の平均値が購入台数が各月の平均購入台数よりも少ない月では大きくなり、購入台数が各月の平均購入台数よりも多い月では小さくなる傾向がみられ、季節パターンの平準化が進んでいることが示されている。

一方、図 3.5 では、そうした傾向はみられない。

図 3.6 では、「記憶誤りあり」の場合に、各月の購入台数の年平均に対する比率のマイナス幅が大きいほど乖離率のプラス幅が大きく、年平均に対する比率のプラスが大きいほど乖離率のマイナス幅が大きい傾向があることが観察できる。記憶誤りなしの場合には、統一的な傾向はみられない。

これは、3 月など、購入台数が各月の平均購入台数よりも多い月からは、記憶誤りにより他の月へのより多くの移動が生じる一方、8 月など、購入台数が各月の平均購入台数よりも少ない月からは、記憶誤りにより他の月へのより少ない移動が生じる結果、購入台数が各月の平均購入台数よりも多い月については、記憶誤りによる報告の流出量が、他の月からの報告の流入量を上回り、一方、購入台数が各月の平均購入台数よりも少ない月については、逆に、記憶誤りによる報告の流出量が、他の月からの報告の流入量を下回る結果、実際よりも多くの購入があると報告されるためである。

なお、このシミュレーションでは購入の記憶が失われるケースは考慮していない。

次に、記憶誤りの進行度の速さの違いが、推定される購入数量の季節パターンの平準化の程度にどの程度影響するかを見る。図 3.7 は、1995 年 8 月の自動車購入数量推定値を、 $p_0 = 10\%, i = 1\%$ と $p_0 = 10\%, i = 9\%$ の条件で比較したものである。

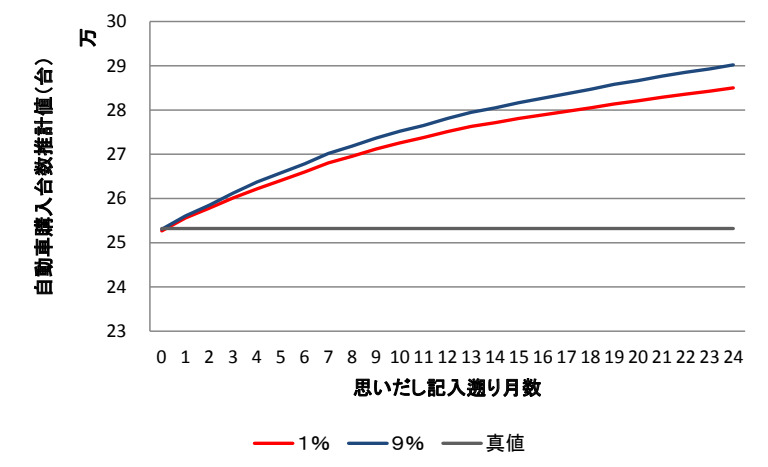


図 3.7: 記憶誤りの進行度の違いによる平均値の変化比較 : $p_0 = 10\%, i = 1\%$ と

$p_0 = 10\%, i = 9\%$

記憶誤りの進行度が早い $i = 9\%$ の方が、真値とのかい離幅が大きく、季節パターンの平準化の程度が大きいことが示されている。

このように、エージェント・ベース・モデルを応用して、調査対象者の記憶誤りをシミュ

レーションすることによって、実際の調査を行うことなく、調査結果にもたらす影響を検討することができる。

以上、本章では基礎統計の調査方法を変更した際に、調査対象及び調査員をエージェントとするエージェント・ベース・モデルによりシミュレーションを行い、得られる統計の精度や、変更による結果を推計する手法を開発し、その有効性を示した。

3.3 本章の結論

家計調査に思いだし記入を導入した場合の自動車購入数量の推計への影響について、シミュレーションにより検討した。

記憶誤りが無い場合には、思いだし記入の期間が長いほど精度が向上することが確認された。

一方、記憶誤りにより購入時期を誤って報告する場合には、思いだし記入の期間が長いほど、推定の平均値に季節パターンを平準化させるバイアスが生じることが明らかになった。

基礎統計の調査方法を変更した際に、調査対象及び調査員をエージェントとするエージェント・ベース・モデルによりシミュレーションを行い、得られる統計の精度や、変更による結果を推計する手法を示した。

第4章 RAS法を拡張する手法の提案とエージェント・ベース・シミュレーションによる検証

第4章では、国民経済計算の推計において利用される多次元のRAS法について、Saito(1998)が定式化した Inconsistency of Marginals の条件下における拡張アルゴリズムについて論じる。第2章で示したように、RAS法はIPFPと同一である([54]及び[55])ので、以降、IPFPと表記している場合もRAS法と同義であることに注意されたい。

この条件下においてSaito(1998)が提案したMultistep IPFPと比較して、より単純な補正係数を採用した手法により、実用上十分な収束解を求める手法を提案し、提案手法が有効であることをエージェント・ベース・シミュレーションによって示す。

4.1 Inconsistency of Marginals の条件下における拡張アルゴリズムの提案

RAS法とそのSOARSへの実装について、付録B.1及びB.2に示す。

2次元のRAS法でのSaito(1998)が定式化した Inconsistency of Marginals の条件下における拡張アルゴリズムの提案について、付録B.3に示す。その多次元への拡張時のアルゴリズムの変更点を、付録B.4に示す。

付録Bで詳細について述べた提案手法について簡易に説明すると、次の通りである。

多次元IPFPにおいて、Saito(1998)が定式化した Inconsistency of Marginals の条件下で古典的IPFPアルゴリズムを実行すると、振動して収束しない。

そこで、ステップ $(t+1)$ における、各次元の古典的IPFPの調整係数 $r^{(t+1)}$ の代わりに、 $r^{(t+1)}$ と1の $2^n - 1 (n = 0, 1, 2, 3, \dots)$ をウェイトとする加重幾何平均、すなわち

$$\tilde{r}^{(t+1),n} = \sqrt[n]{r^{(t+1)} \times 1^{2^n-1}} = \sqrt[n]{r^{(t+1)}}$$

を調整係数とする。この場合も、 n が同一の値の場合は、振動して収束しない。そこで、パラメータ n について、 $n = 0$ から開始し、行列要素 $m_{ij,\dots}^{(2t)}$ が振動したところで n に順次1を

加算していくことによって、行列要素 $m_{ij...}^{(2t)}$ の振動幅を次第に縮小していき、実用上十分小さな振動幅になったところで繰り返し演算を停止する。

提案手法により得られた、実用上十分小さな振動幅の範囲内の行列要素を、Inconsistency of Marginals の条件下での近似解と考えることができる。

収束解が存在する条件 付録 B における証明から、通常 RAS 法の対象となる範囲の多次元の行列、すなわち、行列のすべての要素が負でない実数であり、行列のどの次元の行・列をとっても、和がゼロではない場合に、収束解が存在する。

4.2 提案手法の有効性の確認

本節では、3次元の統計データの数値例を用いて提案手法の精度を評価する。数値例の発生にエージェント・ベース・シミュレーションの手法を応用する。

第2章で述べたように、RAS 法は、行列の初期状態が既知の状態で、時間の経過とともに行列要素が変化し、行和と列和だけが既知の条件下で、初期状態の行列要素から変化した行列要素の内容を推計することが課題である。国民経済計算などの加工統計の推計に RAS 法を利用する場合は、行列要素が急激に変化することは想定しておらず、連続的に徐々に変化していくケースが想定されている。そこで、提案手法の精度の評価にあたっては、同様な数値例を設定する。

3次元の統計データとは、調査項目に、「年収別」「産業別」「1カ月の消費金額階級別」などの3つの属性が存在することを意味する。ここでは、それぞれの属性が、2種類の値をもつとしよう。「年収別」は「年500万円未満」と「年500万円以上」、「産業別」は「製造業」と「非製造業」、「1カ月の消費金額階級別」は「20万円未満」と「20万円以上」などである。統計調査における標本を、これらの属性を組み合わせたクロスセクションのカテゴリ別に分類することを考えると、 $2^3 = 8$ の属性の組み合わせ、すなわちカテゴリに分類できる。母集団の標本数を4万とする。すべての標本は、例えば「年収500万円未満、製造業、1カ月の消費金額が20万円未満」「年収500万円以上、非製造業、1カ月の消費金額が20万円以上」など8つのカテゴリのいずれかに、分類することができる。

各標本をエージェントとし、各エージェントは独立に各属性の値を変えることができるとする。例えば年収については、「年500万円以上」から「年500万円未満」に移動すること、逆に「年500万円未満」から「年500万円以上」に移動することもできる。この移動を時間経過とともに、1ステップごとに、それぞれの属性ごとに独立に0.1%の確率で

異なる値に変わるものとする。

この設定により、8つのカテゴリーに属する標本数は、初期状態から、1ステップの時間経過ごとに変化していく。ここでは、これらの標本数の変化を、初期状態から200ステップ後まで1ステップごとに観察する。

次に、これらの標本の状態を統計量として測定するモデルを考える。

第一に、シミュレーションの結果、4万標本が8つのカテゴリー分類のいずれに位置しているかは実験者には既知であるので、これら8つのカテゴリーに属する標本数を「真値」と定義する。

第二に、「IPFPによる推定値」を、以下により定義する。

RAS法(IPFP)の目的は、4万標本の3つの属性をすべて推定すること、すなわち、すべてのステップにおいて、8つのカテゴリーに属する標本数を推定することである。

RAS法の問題設定に合わせて、初期状態における4万標本の3つの属性は既知であるとする。すなわち、8つのカテゴリーに属する標本数は初期状態では既知である。

2次元のRAS法(IPFP)においては、行和と列和が情報として与えられた場合の、すべての行列要素を推定する。

3次元のRAS法(IPFP)においては、2次元の行和と列和に相当する情報は、3次元の属性のうち、2次元の属性を組み合わせた情報である。先の例でいえば、「1カ月の消費金額階級別」の和の標本数は、「年収別×産業別」の4つのカテゴリーに属する標本数であり、「産業別」の和の標本数は、「年収別×1カ月の消費金額階級別」の4つのカテゴリーに属する標本数であり、「年収別」の和の標本数は、「産業別×1カ月の消費金額階級別」の各4つのカテゴリーに属する標本数の情報である。

これらの情報から、「年収別×産業別×1カ月の消費金額階級別」の8つのカテゴリーに属する標本数を推定し、その結果を「IPFPによる推定値」とする。

「年収別×産業別」「年収別×1カ月の消費金額階級別」「産業別×1カ月の消費金額階級別」は、いずれも標本数の合計が4万で一致する。

第三に、Saito(1998)が定式化した Inconsistency of Marginals の条件において、提案手法による解を求める課題について考える。

これまでの問題設定では、標本数の合計が常に4万であることから、Inconsistency of Marginals の条件は成立していない。Inconsistency of Marginals の条件は「年収別×産業別」「年収別×1カ月の消費金額階級別」「産業別×1カ月の消費金額階級別」の各4つのカテゴリーに属する標本数の合計がそれぞれ一致しない場合に成立する。

統計の計測上は、測定に誤差があり、推定される総標本数が測定ごとに異なる状態であ

ることを意味する。

「年収別×産業別」「年収別×1カ月の消費金額階級別」「産業別×1カ月の消費金額階級別」の各統計量が全数調査ではなく、標本調査によって測定されている場合には、推定される標本数の合計は、測定ごとに異なる結果となり、Inconsistency of Marginals の条件が成立する。

そこで、4万標本をランダムに10の測定スポットに移動させる。このうち、「年収別×産業別」「年収別×1カ月の消費金額階級別」「産業別×1カ月の消費金額階級別」を調査するためのスポットとして10の測定スポットからランダムに各1スポットを選択し、その測定スポットの標本を抽出標本として、全体の母集団の8つのカテゴリーごとの標本数を推定する。

この場合、選択された測定スポットに移動する標本数はランダムに決まるため、推定される3つの母集団標本数は一般には異なる。ここで、「一般には」としているのは、3つの調査のためのスポットが一致した場合や、異なるスポットが選択されても、標本数が一致している場合があるためである。

この場合には、「年収別×産業別」「年収別×1カ月の消費金額階級別」「産業別×1カ月の消費金額階級別」の各測定における標本数の合計は一般には一致せず、このため一般には Inconsistency of marginals の条件が成立する。

こうして得られたデータからは通常の IPFP による収束解は一般には得られない。そこで、提案手法を用いて推定したデータを「3samples による推定値」と命名する。。

以下、「年収別」「産業別」「1カ月の消費金額階級別」の3つの属性を組み合わせたカテゴリーを (i, j, k) と表記する。それぞれの属性がもつ、2種類の値、すなわち「年収別」は「年500万円未満」と「年500万円以上」、「産業別」は「製造業」と「非製造業」、「1カ月の消費金額階級別」は「20万円未満」と「20万円以上」を、それぞれ $(1, 2)$ で表記するものとする。

3つの属性の組み合わせからなるカテゴリーに属する標本数を、カテゴリーの (i, j, k) を添え字として、 $m_{i,j,k}$ として表記する。

評価のために使用した数値例における4万標本の初期状態における4万標本の分布は表4.1の通りである。

表 4.1: 数値例における 4 万標本の初期状態の分布

カテゴリー種別	標本数
$m_{1,1,1}$	6261
$m_{1,1,2}$	6320
$m_{2,1,1}$	7025
$m_{2,1,2}$	11048
$m_{1,2,1}$	1898
$m_{1,2,2}$	3989
$m_{2,2,1}$	297
$m_{2,2,2}$	3162

シミュレーション中に測定する標本数は、「年収別×産業別」「年収別×1カ月の消費金額階級別」「産業別×1カ月の消費金額階級別」の各4カテゴリーに属する標本数であるから、表 4.2 によって定義される。「年収別×産業別」では、「1カ月の消費金額階級別」の属性別の標本数を合算したものであり、「年収別×1カ月の消費金額階級別」では、「産業別」の属性別の標本数を合算したものであり、「産業別×1カ月の消費金額階級別」では、「年収別」の属性別の標本数を合算したものである。

表 4.2: シミュレーション中の測定の対象量

$m_{1,1,1} + m_{1,1,2}$	$m_{1,2,1} + m_{1,2,2}$	$m_{2,1,1} + m_{2,1,2}$	$m_{2,2,1} + m_{2,2,2}$
$m_{1,1,1} + m_{1,2,1}$	$m_{1,1,2} + m_{1,2,2}$	$m_{2,1,1} + m_{2,2,1}$	$m_{2,1,2} + m_{2,2,2}$
$m_{1,1,1} + m_{2,1,1}$	$m_{1,1,2} + m_{2,1,2}$	$m_{1,2,1} + m_{2,1,1}$	$m_{1,2,2} + m_{2,2,2}$

このようにして、4 万標本が時系列的に 200 ステップに渡って 8 つのカテゴリーを移動する際の、各カテゴリーに属する標本数の

1. 「真値」
2. 「IPFP による推定値」
3. 「3samples による推定値」

を比較する。1 回のシミュレーション実施時の結果を図 4.1～図 4.8 に示す。1. 「真値」（図では「real」と表示）と 2. 「IPFP による推定値」（図では「IPFP」と表示）はそれぞれ折れ

線グラフで示し、3.「3samples による推定値」（図では「3samples」と表示）はステップごとの値をプロットしている。横軸は初期値から 200 ステップ後までの時間経過を表す。

ここで、1.「真値」の変化について述べると、各カテゴリーに属する標本数には大きな差がある状態を初期値とし、同じ確率で属性が変化するため、多くの標本が属するカテゴリーでは次第に標本数が減少し、少ない標本が属するカテゴリーでは次第に標本数が増加し、カテゴリー間の標本数の差が小さくなる傾向がみられる。この条件下における、「IPFP による推定値」と「3samples による推定値」の動向を観察する。

各カテゴリーに属する標本数とも、「IPFP による推定値」は、時間経過、すなわち、「真値」が「初期値」からの乖離幅が大きくなるとともに、「真値」からの乖離幅が増加する傾向がみられる。これは、IPFP の計算において「初期値」を利用していることによる。条件を満たす多数の解の中で、「初期値」に近い解が選択されることは自然な結果である。

提案手法による推定結果である「3samples による推定値」は、「IPFP による推定値」を中心として分布している。このことは、Inconsistency of Marginals の条件が成立して、古典的な IPFP が収束解をもたない場合に、提案手法によって、古典的な IPFP が適用可能な場合の解の近似値を求めることができることを示唆している。

そこで、このシミュレーションを 100 回繰り返して行い、「3samples による推定値」の「IPFP による推定値」に対する比率（以下、「比率」と表記。）の分布を測定した。図 4.9-図 4.16 に 200 ステップの平均値、最大値、最小値を示す。図 4.17-図 4.24 に各ステップごとの「比率」の標準偏差を示す。

100 回の平均値をみると、「3samples による推定値」が「IPFP による推定値」とほぼ一致することが、8つのカテゴリーに属する標本数のすべてで確認できる。以下、「3samples による推定値」の「IPFP による推定値」からの乖離を「誤差」と表記する。（「真値」との乖離ではないことに注意されたい。）

図 4.9-図 4.16 の最大値と最小値を観察すると、カテゴリーによって「誤差」の大きさに違いがみられ、また、カテゴリーによって時間経過とともに「誤差」の大きさが変化する傾向が観察できる。

カテゴリーによる「誤差」の大きさの違いと、時間経過による「誤差」の大きさの変化は、いずれも推計時点におけるカテゴリーに属する標本数の大きさの違いによって生じていることが観察できる。すなわち、標本数の「IPFP による推定値」が小さいほど「誤差」の大きさが大きく、標準偏差が大きい。例えば、標本数の「IPFP による推定値」の初期値の小さいカテゴリー (2,2,1) で当初「誤差率」が大きく、時間経過とともに標本数の「IPFP による推定値」が大きくなるとともに「誤差」は減少している。逆に、標本数の「IPFP に

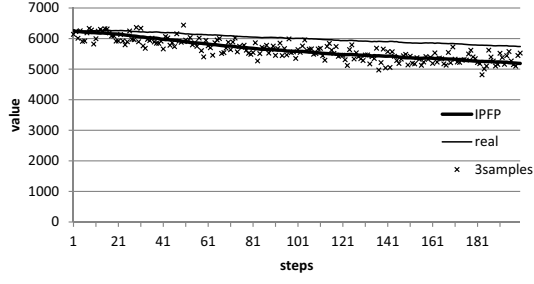


図 4.1: カテゴリー (1,1,1) の標本数 : $m_{1,1,1}$

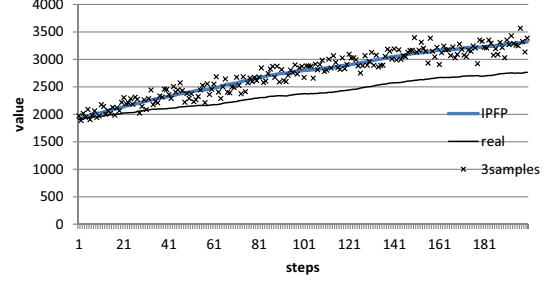


図 4.2: カテゴリー (1,2,1) の標本数 : $m_{1,2,1}$

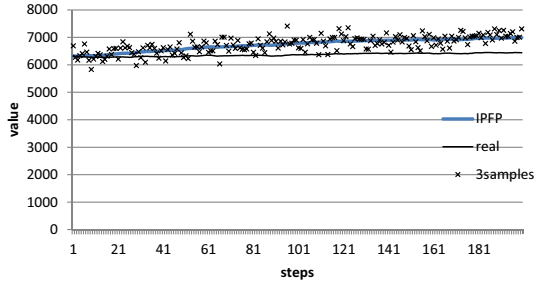


図 4.3: カテゴリー (1,1,2) の標本数 : $m_{1,1,2}$

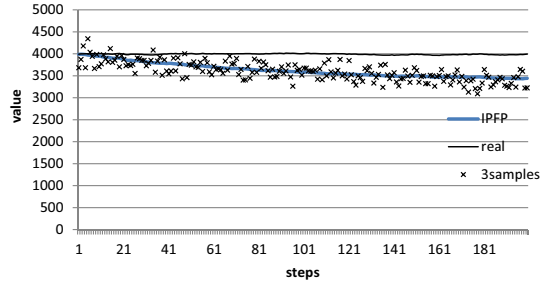


図 4.4: カテゴリー (1,2,2) の標本数 : $m_{1,2,2}$

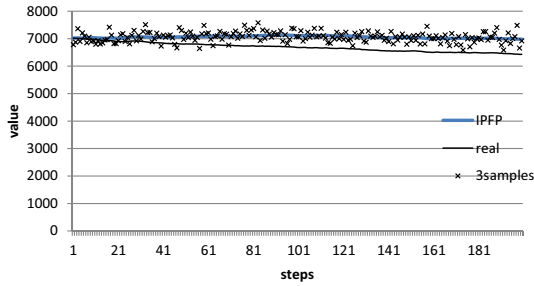


図 4.5: カテゴリー (2,1,1) の標本数 : $m_{2,1,1}$

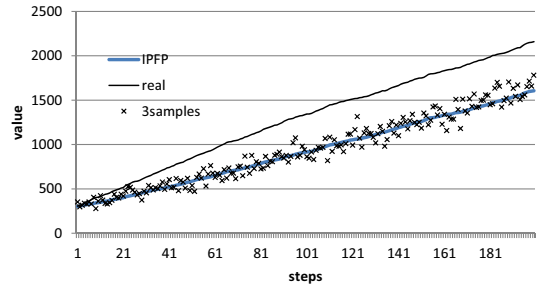


図 4.6: カテゴリー (2,2,1) の標本数 : $m_{2,2,1}$

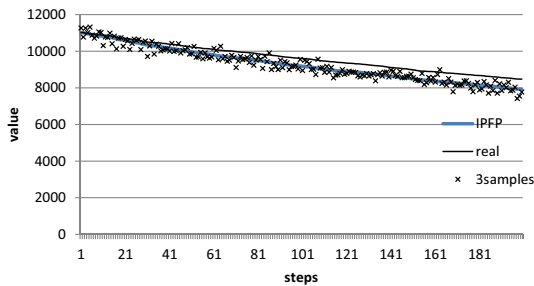


図 4.7: カテゴリー (2,1,2) の標本数 : $m_{2,1,2}$

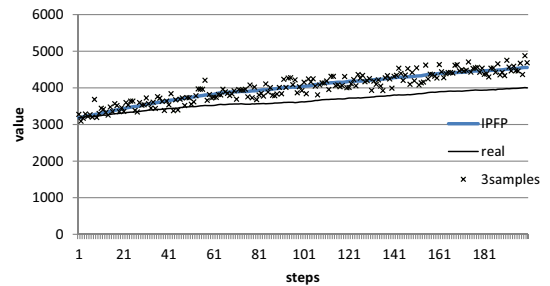


図 4.8: カテゴリー (2,2,2) の標本数 : $m_{2,2,2}$

よる推定値」の初期値の大きいカテゴリー (2,1,2) では当初「誤差率」が小さく、時間経過とともに標本数の「IPFP による推定値」が減少するとともに「誤差」は増加している。図 4.17-図 4.24 の標準偏差からも同様の傾向がみられる。

このことを明示するために、図 4.25 に、各カテゴリーに属する標本数の「IPFP による推定値」の総標本数に占める比率（横軸）と、「3samples による推定値」の「IPFP による推定値」に対する倍率の最大値と最小値（縦軸）の関係を示す。異なる色や記号で示したのは、カテゴリー及び最大・最小の別を示すためである。「IPFP による推定値」が総標本数に占める比率が小さいほど、「3samples による推定値」の「IPFP による推定値」とのかい離が大きいことが示されている。これは、提案手法の精度がこのような条件下で低下することを意味する。

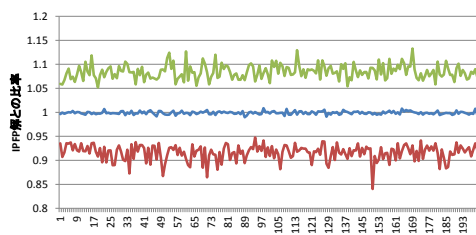


図 4.9: カテゴリー (1,1,1) の「比率」の分布

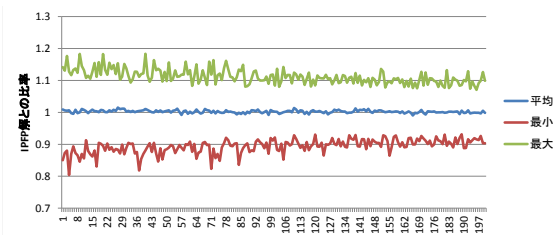


図 4.10: カテゴリー (1,2,1) の「比率」の分布

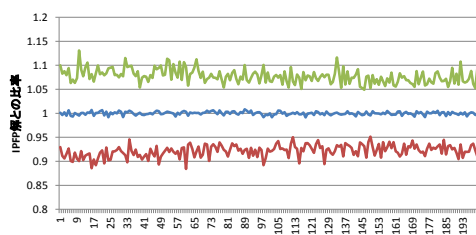


図 4.11: カテゴリー (1,1,2) の「比率」の分布

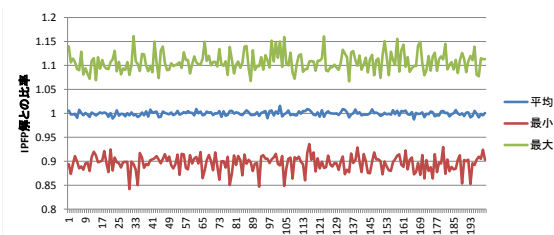


図 4.12: カテゴリー (1,2,2) の「比率」の分布

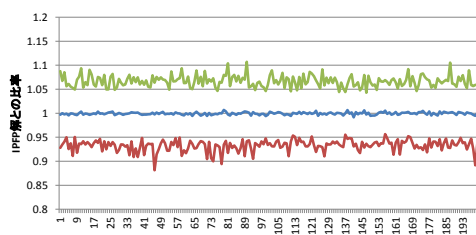


図 4.13: カテゴリー (2,1,1) の「比率」の分布

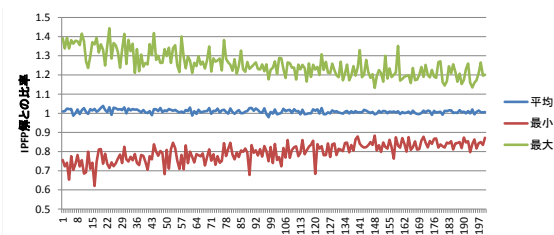


図 4.14: カテゴリー (2,2,1) の「比率」の分布

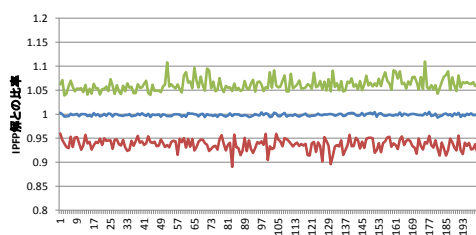


図 4.15: カテゴリー (2,1,2) の「比率」の分布

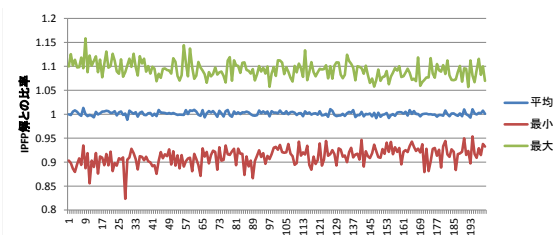


図 4.16: カテゴリー (2,2,2) の「比率」の分布

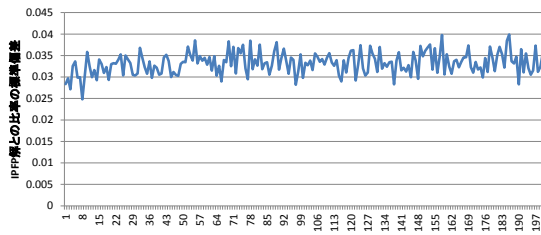


図 4.17: カテゴリー (1,1,1) の「比率」の標準
偏差

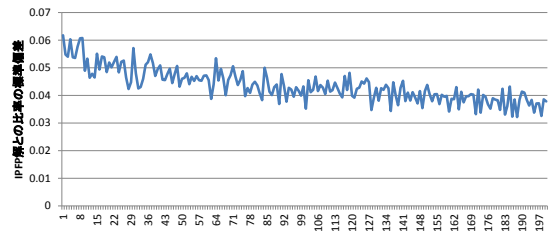


図 4.18: カテゴリー (1,2,1) の「比率」の標準
偏差

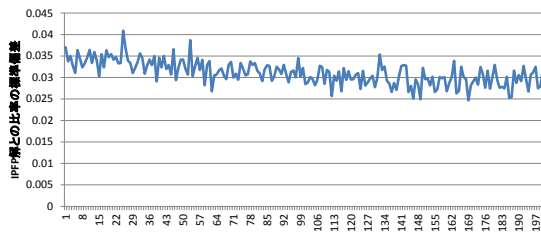


図 4.19: カテゴリー (1,1,2) の「比率」の標準
偏差

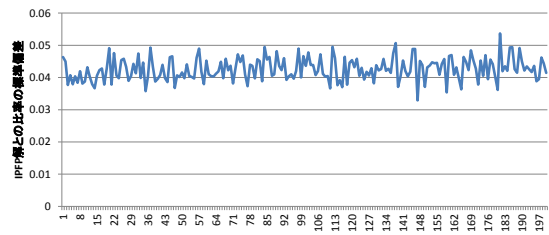


図 4.20: カテゴリー (1,2,2) の「比率」の標準
偏差

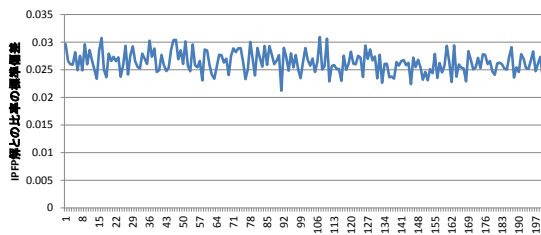


図 4.21: カテゴリー (2,1,1) の「比率」の標準
偏差

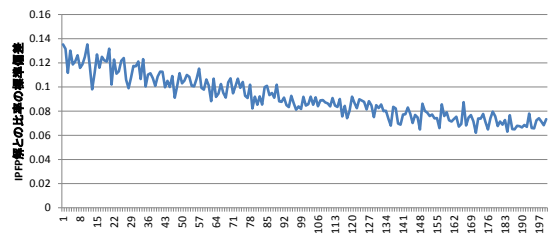


図 4.22: カテゴリー (2,2,1) の「比率」の標準
偏差

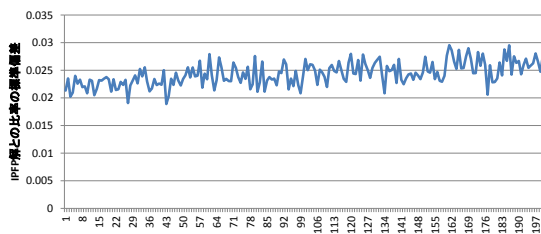


図 4.23: カテゴリー (2,1,2) の「比率」の標準
偏差

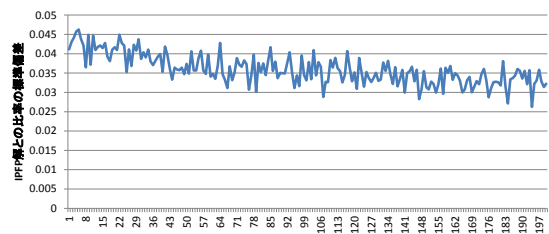


図 4.24: カテゴリー (2,2,2) の「比率」の標準
偏差

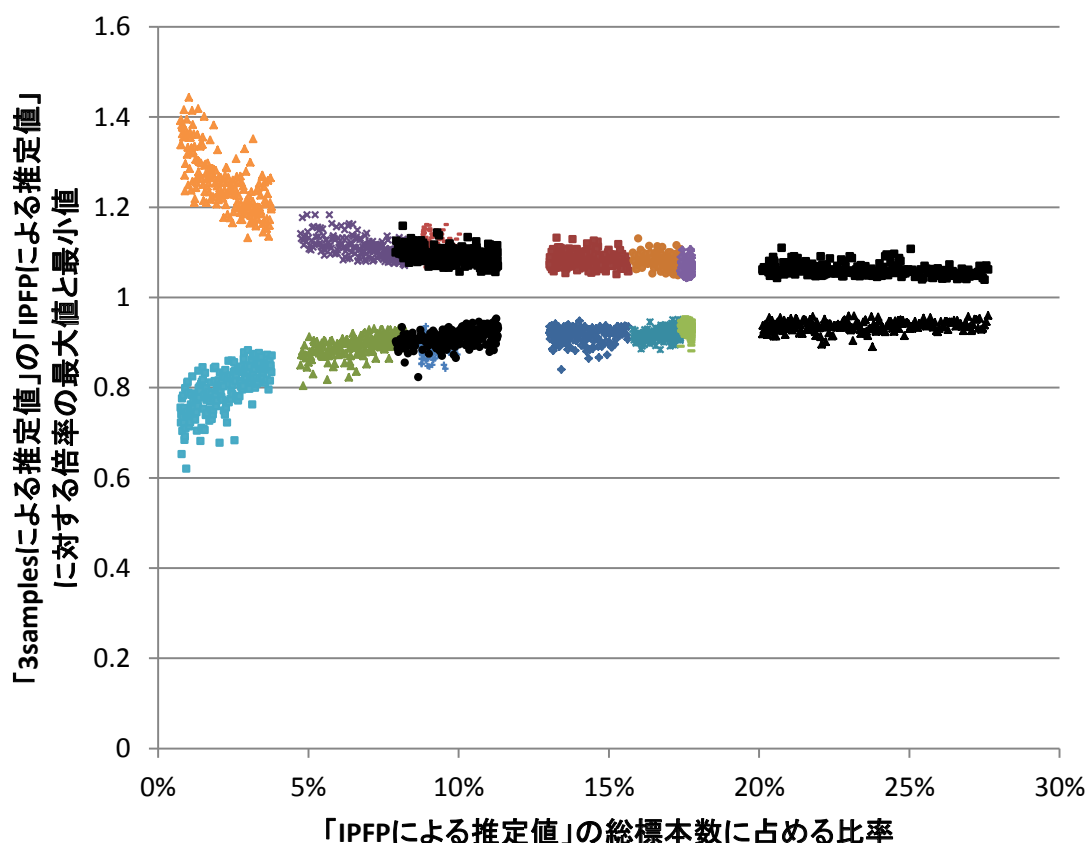


図 4.25: 「IPFP による推定値」の総標本数に占める比率と「3samples による推定値」の「IPFP による推定値」に対する倍率の最大値と最小値の関係

以上の結果は、エージェント・ベース・モデルを応用したシミュレーションによって、RAS 法を拡張する手法による推計の精度について評価を行うことができることを示している。

4.3 本章の結論

多次元の RAS 法において、Saito(1998) が定式化した Inconsistency of Marginals の条件下で、古典的 IPFP では収束解が得られない場合に、調整係数を各次元の古典的 IPFP の調整係数 $r^{(t+1)}$ と 1 との $2^n (n = 0, 1, 2, 3, \dots)$ をウェイトとする加重幾何平均に変更し、振動の縮小状況に応じてパラメータ n を次第に増加する手法を提案した。

提案手法により、古典的 IPFP では収束解が得られない Inconsistency of Marginals の条件下で、古典的 IPFP による解を推定できることをエージェント・ベース・モデルを応用した数値例で示した。

提案手法による古典的 IPFP による解の推定値の誤差は、古典的 IPFP による解の推定値が全標本数に占める割合が低い場合に大きくなることが、数値例によって明らかになった。

以上を通じて、エージェント・ベース・モデルを応用したシミュレーションによって、RAS 法を拡張する手法による推計の精度の評価を行うことができることを示した。

第5章 事業所をエージェントとした産業連関 分析の基礎的検討

5.1 繰り返し演算と屑・副産物処理を含めた経済波及効果分析の提案

第5章では、産業連関分析を行列モデルではなく、反復計算法で行い、屑・副産物の処理アルゴリズムを導入する手法について論じる。

レオンチェフのオープン数量モデル ([77], pp.18-21) では、投入係数行列 A と国内生産額ベクトル x 、最終需要ベクトル f を利用した行列概念により分析が進められる。

第2章でみたように、 $Ax + f = x$ 、すなわち $x = (I - A)^{-1}f$ の関係を利用して、レオンチェフ逆行列 $(I - A)^{-1}$ から、入力 f に対する出力 x を経済波及効果として分析することが基本である。 f に含まれる輸入の取り扱いや輸入品の取り扱いの方法によって式の表現にバリエーションが見られる。

この行列を用いた定式化のために、逆行列が存在することが必要になる。このため、行部門と列部門が同じ概念かつ同じ大きさで構成される「対称産業連関表」を用いることが必要になり、副産物・屑の取り扱いも行列として処理する必要から、ストーン方式などの手法を採用する必要があった。

産業連関分析を、数理的な行列表現とは切り離して取り扱うことにより、行列計算では取り扱いが困難な点を容易に克服できる。

繰り返し演算による産業連関分析の方法については、付録Cを参照されたい。

付録Cで示した繰り返し演算による産業連関分析により、平成20年延長産業連関表 ([124]) の投入係数を利用して、平成21年延長産業連関表 ([125]) の輸入額を除く最終需要額を与えた時、均衡状態における各商品の国内生産額を求めた。

この際、屑・副産物について、次の二通りの処理を行い、両者の処理方法の違いによる結果の差異を観察した。

1. 屑・副産物の調整処理を行わない
2. 屑・副産物の発生額と投入額が一致するよう、屑・副産物及び競合する主生産物の投入額の調整処理を行う。

両者では、主生産物及びそれと競合する屑・副産物の国内生産額ともに変化するため、評価の際には両者を合算した国内生産額を比較した。国内生産額に 1% 以上の影響がある商品を表 5.1 に示す。(a) 欄は、2. 屑・副産物及びそれと競合する主生産物の投入額の調整処理を行った場合の結果、(b) 欄は、1. 屑・副産物の調整処理を行わない場合の結果である。

表 5.1: 屑・副産物の調整処理の有無により国内生産額に 1% 以上の影響のある商品

商品	(a) (100 万円)	(b)(100 万円)	(b-a)(100 万円)	誤差率 (%)
その他のプラスチック製品	1182805	1140247	-42559	-3.6%
化学肥料	266513	257563	-8950	-3.4%
天然ガス	155016	153507	-1509	-1.0%
石炭	14619	14780	161	1.1%
碎石	289675	296505	6830	2.4%
その他の石炭製品	296813	310594	13781	4.6%
植物原油かす	86708	96361	9653	11.1%
その他の窯業原料鉱物	38538	45608	7070	18.3%
液化石油ガス	127856	211547	83691	65.5%

屑・副産物に関係しない商品（屑・副産物でもなく、屑・副産物と競合する主生産物でもない商品）についてはほとんど影響は見られないが、屑・副産物と競合する主生産物では国内生産額の推計値に大きな影響がある商品が存在する。例えば「液化石油ガス」は、屑・副産物の発生額と投入額が一致するよう、屑・副産物及びそれと競合する主生産物の投入額の調整処理を行った場合、行わない場合に比べて 65.5% 国内生産額が減少している。

経済産業省の延長産業連関表では、屑・副産物を主生産物と合算して表章している。上記のシミュレーション結果の、1. 屑・副産物の調整処理を行わない場合の結果、に相当する。

分析の対象が、屑・副産物に関係する場合、すなわち屑・副産物であるか、それと競合する主生産物である場合には、提案手法を用いて、屑・副産物を分離して、産出額と投入額が一致するよう調整処理を行うことで、より正確な結果を得ることができ、処理を行わなかった場合とは大きく結果が異なる可能性がある。

5.2 列方向の産業をコスト構成の異なる主体ごとに分割して取り扱う手法の提案-事業用電力の事例-

平成 17 年産業連関表 ([126]) では、基本分類が内生部門 520 行、407 列であり非正方行列となっている。これは、非競争輸入型の一部品目で国産品と輸入品が行方向で分離されたり、対応する産業のない屑品目が設定されているほか、例えば、行方向の「事業用電力」の品目が、コスト構成の大きく異なる、「事業用原子力発電」「事業用火力発電」「水力・その他の事業用発電」の 3 産業に分離されているためである。

このように、コスト構成の異なる主体は列方向に異なる産業として表章されているが、逆行列を用いた産業連関分析のためには、品目数と産業数が一致するようにこれらの産業を統合する必要があった。

しかし、提案手法により、正方行列では無い産業連関表を対象として、産業連関分析を行うことが可能になった。

これまで、コスト構成の異なる主体ごとに産業を分割することは、「規模別産業連関表」で行われてきた ([88])。これらの「規模別産業連関表」では、正方行列化するために、商品も規模別に分割して推計している。

本節では、「事業用原子力発電」「事業用火力発電」「水力・その他の事業用発電」の 3 産業に分離されている基本分類を利用して、提案手法により産業連関分析を行った結果を示す。

データは、平成 20 年の経済産業省延長産業連関表を平成 17 年基準のデフレーターでデフレートし、屑・副産物を分離推計した。

平成 17 年産業連関表の事業用電力の原子力：火力：水力の国内生産額比率は 27:65:8 である。表 5.2、表 5.3 の (a) 欄は、この比率を適用した場合の均衡国内生産額である。

仮に原子力発電をゼロとし、火力ですべて代替すると、国内生産額比率は 0:92:8 となる。表 5.2、表 5.3 の (b) 欄は、この比率を適用した場合の均衡国内生産額である。

「事業用電力」で 1622 億円、「建設補修」で 1151 億円の国内生産額が減少している。比率では、「自然科学研究機関（産業）」の 1.46% 減少、「建設補修」の 1.34% 減少、「事業用電力」の 1.05% 減少が大きい。

「事業用電力」が減少するのは、原子力発電のための電力の中間投入額が大きいため、原子力を火力に代替することで、電力自体の国内生産額が少なくなるためである。

「建設補修」や「機械修理」は設備の補修として中間投入される額が、「自然科学研究機関（産業）」や「企業内研究開発」は原子力関係の研究開発に中間投入される額が、それぞ

れ原子力では火力を上回ることによって減少する。

表 5.2: 国内生産額の減少額が大きい上位 14 商品

商品	(a)(億円)	(b)(億円)	(b-a)(億円)	(b-a)/a(%)
事業用電力	164057	162328	-1622	-1.05
建設補修	90031	88803	-1151	-1.34
企業内研究開発	129292	128606	-643	-0.61
その他の対事業所サービス	168151	167866	-267	-0.17
テレビ・ラジオ広告	23370	23162	-195	-0.90
廃棄物処理（産業）	25593	25414	-167	-0.67
電子計算機・同関連機器賃貸業	30596	30457	-130	-0.45
民間金融（帰属利子）	156799	156674	-117	-0.08
分類不明	42000	41877	-115	-0.30
情報処理・提供サービス	83493	83378	-108	-0.14
機械修理	63367	63255	-106	-0.19
産業用機械器具（除建設機械器具）賃貸業	43919	43818	-95	-0.24
民間金融（手数料）	78205	78107	-91	-0.12
自然科学研究機関（産業）	6397	6307	-85	-1.46

一方、国内生産額の増加が大きいのは、「B 重油・C 重油」であり、1795 億円と 1000 億円を超えている。一方、増加額の第 2 位「卸売」は 444 億円であり、1000 億円を下回っている。燃料関係のほか、「道路貨物輸送（除自家輸送）」「倉庫」「港湾運送」「沿海・内水面貨物輸送」など運送関係の項目が多い。増加率では、「石炭」が 20.92% と最大であるが、国内生産額が 173 億円と少ないためであり、「B 重油・C 重油」の 15.61% の影響が大きい。

表 5.3: 国内生産額の増加額が大きい上位 23 商品

所品	(a) (億円)	(b)(億円)	(b-a)(億円)	(b-a)/a(%)
B 重油・C 重油	11493	13287	1795	15.61
卸売	617565	618009	444	0.07
その他の石炭製品・副産物	3466	3775	308	8.89
道路貨物輸送（除自家輸送）	140752	140986	234	0.17
その他の石油製品	11791	12003	212	1.80
倉庫	20187	20388	202	1.00
その他の石炭製品	3641	3840	198	5.45
港湾運送	24309	24490	182	0.75
沿海・内水面貨物輸送	7291	7395	105	1.44
再生資源回収・加工処理	7141	7221	80	1.12
公的金融（手数料）	1736	1815	79	4.56
木材チップ	647	707	60	9.22
A 重油	8707	8757	50	0.58
軽油	36920	36966	46	0.13
法務・財務・会計サービス	24893	24936	43	0.17
石炭	173	210	36	20.92
天然ガス	2065	2090	26	1.24
触媒	3211	3234	23	0.71
ナフサ	7989	8012	23	0.28
素材（国産）	2298	2320	22	0.96
貨物利用運送	5432	5453	21	0.39
道路輸送施設提供	38868	38885	17	0.04
液化石油ガス	2922	2936	14	0.49

次に輸入額への影響を示す。表 5.4、表 5.5 の (a) 欄は、原子力：火力：水力の国内生産額比率が 27:65:8 の場合の普通輸入額である。

(b) 欄は、原子力：火力：水力の国内生産額比率が 0:92:8 の場合の普通輸入額である。

表 5.4: 普通輸入額の増加額が 10 億円以上の商品

商品	(a) (億円)	(b)(億円)	(b-a)(億円)	(b-a)/a(%)
天然ガス	44057	53042	8985	20.39
石炭	26022	31504	5481	21.06
原油	86203	88802	2598	3.01
B 重油・C 重油	3467	3740	274	7.90
液化石油ガス	8656	8714	58	0.67
その他の石油製品	977	996	19	1.96

普通輸入額については、「天然ガス」が 8985 億円、20.39%、「石炭」が 5481 億円、21.06%、「原油」が 2598 億円、3.01% と、火力発電の燃料関連商品が、いずれも大幅に増加している。

「液化石油ガス」や「その他の石油製品」は、火力発電の燃料として利用される商品ではないが、輸入額の増加がみられる。

表 5.5: 普通輸入額の減少額が 10 億円以上の商品

商品	(a) (億円)	(b)(億円)	(b-a)(億円)	(b-a)/a(%)
その他の非鉄金属製品	2308	2217	-91	-3.95
分類不明	7753	7729	-24	-0.30

表 5.5 に普通輸入額の減少額が 10 億円以上の商品を示す。

普通輸入額の減少額が 10 億円以上の品目は、「その他の非鉄金属製品」の 91 億円、3.95% 減少と、「分類不明」の 24 億円、0.30% 減少である。

以上をまとめると、事業用原子力をすべて火力で代替した場合には、「事業用電力」「建設補修」の国内生産額が減少する一方、「B 重油・C 重油」の国内生産額が増加する。これらはいずれも 1 千億円を超える規模である。普通輸入額については、「天然ガス」「石炭」「原油」の火力発電の燃料関連商品が大幅に増加し、中でも「天然ガス」と「石炭」の増加量は 20% 程度である。一方、普通輸入額が大幅に減少する商品は存在しない。

以上は、原子力発電をすべて火力発電で代替した場合の試算であるが、一部を代替した場合に、どのような変化が見られるかについて試算した。

図 5.1 に原子力：火力の比率を 0.1% ポイントずつ変化させた場合の、事業用電力の国内

生産額と、天然ガス、石炭、原油の普通輸入額の増減の関係を散布図として示す。

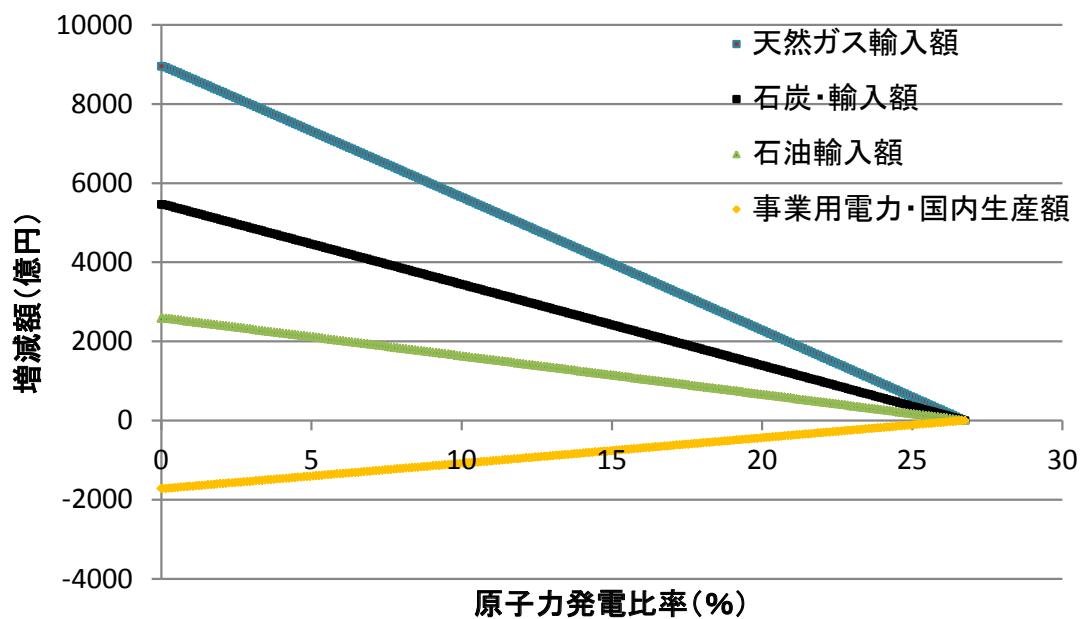


図 5.1: 原子力と火力の比率を 0.1% ポイントずつ変化させた場合の事業用電力国内生産額と天然ガス、石油、原油の普通輸入額の増減

原子力の比率が 0% に近づくほど事業用電力の国内生産額は減少する一方、天然ガス、石炭、原油の普通輸入額は増加し、いずれも線形の関係にあることがわかる。

以上、本節では、提案手法により、列方向の産業をコスト構成の異なる主体ごとに分割して取り扱うことが可能になることを、事業用電力の例を用いて示した。

5.3 列方向の産業を個別のエージェントとして産業連関分析に取り入れる手法の提案-水稻耕作農家の事例-

前節では、事業用電力の原子力、火力、水力という生産手段によるコスト構成の差異をテーマとした。他方、生産手段が同じでも、生産規模によってコスト構成に差がみられる場合が多い。

「規模別産業連関表」は、中小企業と大企業のコスト構成の差異に注目して、産業及び品目を 2 分割している ([88])。仮に、「規模別産業連関表」で、列方向の産業の分割を事業所の単位で行ったとすると、商品を事業所数分に分割し、各事業所の出荷した商品がそ

れぞれどの産業に投入されたかを推計しなければならなくなる。これは、事実上不可能である。

「規模別産業連関表」とは異なり、提案手法を用いる場合には、品目の分割が必要ない。このため、列方向の産業の分割を事業所の単位で行うことが可能になる。こうして、個々の事業所をエージェントとして、エージェント・ベースで生産活動の判断を行い、その判断に応じた中間投入額の変化に応じて、産業連関分析を行うことができる。これは、エージェント・ベース・モデルと産業連関分析を接合した分析である。ここでは、これをエージェント・ベースの産業連関分析と呼ぶ。

水稻耕作農家を事例として、提案手法を用いてエージェント・ベースの産業連関分析が可能であることを示す。詳細は付録 D を参照されたい。

付録 D で詳細に示した内容を簡易に説明する。

水稻耕作農家の耕作規模が経済に与える影響の将来推計を行った。個々の水稻農家をエージェントとして、各エージェントが規模別に 2010 年から 2030 年まで 5 年ごとに耕作規模を変化させた場合の、規模別のコスト構造の違いによる経済への波及の影響を推計した。個々のエージェントの耕作規模の変化は、2005 年から 2010 年の耕作規模の変化の確率にしたがうものとした。

この結果、水稻農家の規模別シェアの変化は、最大の影響がある「農業サービス（獣医を除く）」でも 2030 年に最大 0.066% の国内生産額の変化をもたらすことが明らかになった。米の国内生産額規模が日本経済における総生産額に占める割合が 0.2% に過ぎないことから影響の程度は限られるが、エージェント・ベース・モデルにおいて個々の事業所がエージェントとして生産活動の判断を行い、その結果を産業連関分析することにより国内経済にもたらす影響を推計することが可能であることを示すものである。

5.4 本章の結論

産業連関分析による経済波及効果の分析を、屑・副産物の処理を含めた繰り返し演算により行う手法を提案した。これにより、非正方行列の産業連関表を利用した産業連関分析が可能になった。

屑・副産物を分離して推計することにより、屑・副産物を主産物と合算して推計する正方行列による産業連関分析では、屑・副産物に関連する商品の推計に誤差が生じていることを示した。

提案手法により、産業連関分析の列方向の産業を個々のエージェントとすることが可能

となった。事業用電力及び水稲耕作の事例で、エージェント・ベースの産業連関分析が可能であることを示した。

第6章 国民経済計算の推計を支援する情報システムのアーキテクチャ・デザイン

本章では、国民経済計算の推計を支援する情報システム（以下、「国民経済計算推計システム」とする。）のアーキテクチャ・デザインについて論ずる。

6.1 国民経済計算推計システムとエンド・ユーザ・コンピューティング

国民経済計算推計システムの開発経緯については、付録Fを参照されたい。

国民経済計算推計システムの開発経緯における特徴は、コンピュータ導入当初より、エンド・ユーザ・プログラミングが行われてきたことである。

基幹となるシステム開発は1980年頃にFORTRAN77規格導入前のFORTRANにより、職業プログラマではない職員の手により行われ、現在に至るまで利用が続けられている。

現在でも運用が続けられているFORTRANの基幹プログラムはメンテナンスが困難となりシステム運用上の問題を引き起こしている。図6.1にFORTRANの基幹プログラムがメンテナンス困難になる理由を示す。

一つは、古い言語仕様の引き起こす問題である。

メインフレーム・コンピュータのメモリー容量が少量だった時代には、使用メモリー量を節約するよう工夫しながら必要な機能を実現することが重要な課題であった。このために、理解しやすい明示化されたプログラミングよりも、メモリー容量を節約することに重点を置いたプログラミングが行われた。FORTRAN言語にはEQUIVALENCE文がある。これは、定義した変数を別の変数として再利用するものである。EQUIVALENCE文を利用して、確保したメモリー領域に、異なる種類の変数を割り当てるプログラミング手法は、重大でみづかりにくいバグにつながるものが指摘されており、現在のプログラムでは利用しないことが強く推奨されている([127])。国民経済計算推計システムではこの手法が多用されている。システムのメンテナンス上、大きな問題である。また、より新しい言語へのシステムの移植を行う際には、変数構造の再設計が必要となるため、単純な文法の書き換え

によるコンバージョンは困難である。

付録 G に国民経済計算推計システムの FORTRAN における EQUIVALENCE 文の利用例を示す。

二つ目は、エンド・ユーザ開発によるドキュメント整備の不十分さの問題である。国民経済計算推計システムでは、プログラムによって実現したい意図についてのプログラム内のコメントがほとんど無い他、開発仕様などのドキュメントの整備も不十分であるために、プログラムのコード記述の内容から、実現したい機能の内容を逆に推定するリバース・エンジニアリングの作業が必要となる。

このため、国民経済計算の推計に関する知識を持たない通常の職業プログラマには、プログラムを読み解くことが困難な状況になっている。国民経済計算の知識があり、かつ FORTRAN 言語を理解する職員が読んでも、意図のわからないプログラム記述が多数存在する。

また、様々なパラメータ入力が準備されている一方、記述されたロジックが意味を持たないようにパラメータ値が設定されており、運用されているシステムでは事実上記述されたロジックが利用されていない箇所も多数存在する。パラメータの設定方法に関するドキュメントが存在せず、1980 年頃の開発から 30 年以上を経て、プログラム開発者の意図を確認する手段もなくなっており、記述されたロジックを活かすようなパラメータの設定方法がわからなくなった結果、記述されたロジックを使わないパラメータが設定されていると推定される。なお、プログラム開発者を特定する情報も、大半のプログラムには存在しない。

意図のわからないプログラム記述がある場合、実現しようとした機能がプログラム上の誤りによって実現できていないのか、パラメータの設定によっては意味を持つ必要な機能であるのについても判別が困難な箇所が多数存在する。

三つ目は、エンド・ユーザ開発によるシステムの信頼性への懸念である。

現在は、FORTRAN 言語を理解できる職員がほとんどいないため、組織外部のプログラム開発者に委託して、プログラムの内容を解読しつつ改修する作業が行われている。

この改修作業で、単精度実数変数の誤用により、必要な精度が得られていない箇所が見出されたケースがある。

また、開発当初の想定期間を超えて長期に渡って利用され続けた結果、開発当初の仕様を超える時系列データを取り扱う必要がでてきたケースがある。システム運用者が、ドキュメントなどで明確な規定がないために、明示的な仕様の記述が無いまま、入力する時系列データの時点数を増やす作業をした結果、プログラム内部の配列変数の時点数が不足し、システムが異常動作をする結果となった。当該時系列データに割り当てられたメモリ領域

を超えて、別のメモリ領域へのデータ上書き処理が行われた。この結果、プログラムの出力結果が異常値を示し、運用者が異常を認識した。組織外部のプログラム開発者によるプログラム解読作業の結果、仕様を超えたデータ数が原因であることが初めて明らかになった。なお、入力する時系列データの時点数を増やす作業は、システム運用上、日常的に実施されている作業である。最大の問題は、運用者に仕様を明示していない点にある。

このケースでは、本来エラー・メッセージ等により異常が判明することが必要である。プログラムの実行時にはエラー・メッセージの出力もなく、みかけ上正常終了している。データ入力の異常に関して必要なチェックのロジックが存在しなかった上、上述の古い言語仕様により、異常を引き起こしてもシステムがエラーを検出しにくいプログラム記述が行われていたことも重要な問題である。出力結果のチェックによって異常を認識できたことは偶然の結果にすぎない。異常として認識できないまま、異常が潜在的に発生している可能性がある。これは、システムの信頼性を大きく揺るがせる事態である。

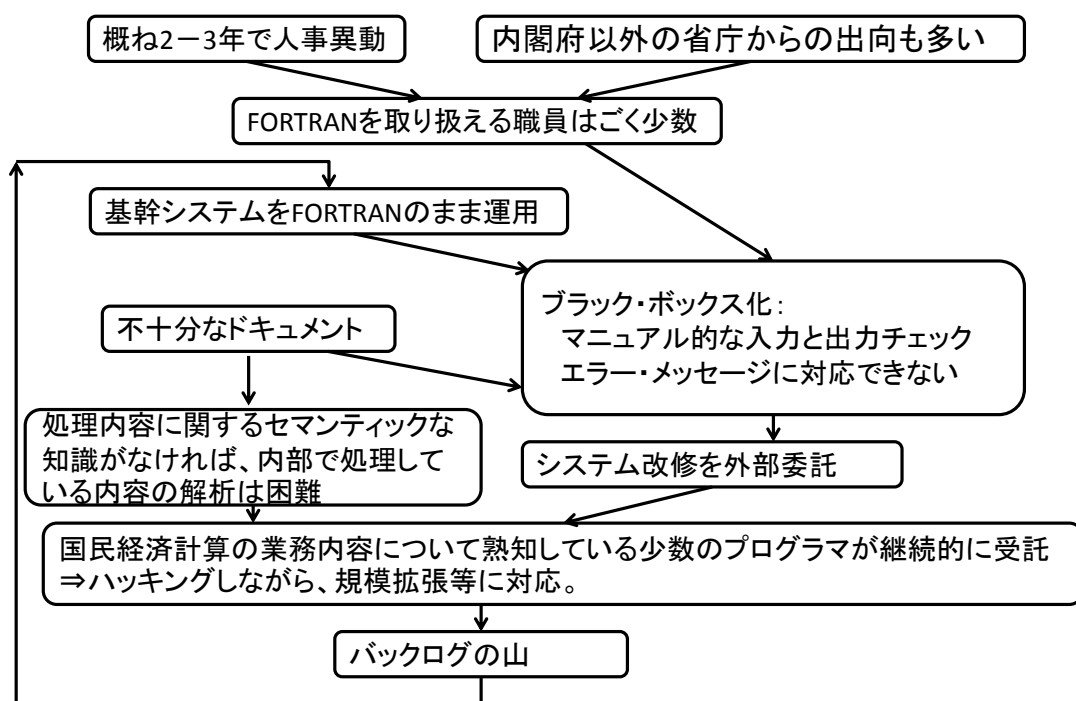


図 6.1: FORTRAN の基幹プログラムがメンテナンス困難になる理由

図 6.1 に沿って説明する。

システムの運用を行う国民経済計算部の職員は、概ね 2-3 年の人事異動で国民経済計算とは関係の無い部署に移動する。また、内閣府以外の省庁からの、計算業務や統計業務を

行ったことの無い出向者も多い。また、以前は行われていた FORTRAN 言語に関する研修も行われることが無くなってから 20 年以上経過している。このため、FORTRAN 言語を理解することができる職員はごく少数である。このため、大半の職員は、基幹システムの内部の仕組みが理解できない。前任の担当者から、入力データを入手し、入力する方法、システムの実行を行うオペレーションの方法、出力結果をチェックする方法だけを引き継ぐ。情報システムはブラック・ボックスとして問い扱われている。

このため、統計調査の変更などにより、入手したデータ・フォーマットの変更が生じると、プログラムの改修による対応ができない。エラー・メッセージが表示されると、前任者に問い合わせたり、周囲の職員に相談し、エラー・メッセージがでないようにする対応に追われることになる。しばしば起こることは、入手したデータ・フォーマットを、過去のデータ・フォーマットに変換する処理を前処理として追加することである。このため、基幹プログラムの中には、本質的な意味のない多段階のプロセスを経て、データ形式の変換だけが何段階も行われる場合がある。

本格的なシステム改修は FORTRAN 言語を理解できる組織外部の技術者に委託せざるを得ない。

一方、ドキュメントの不足から、国民経済計算の処理内容について熟知している技術者のみが改修作業を受託できる。このため、入札を行っても、応札者はごくわずかに限られ、事実上、わずかな数の受託者が継続的に作業を受託し、プログラム内部をハッキングしながら機能拡張等のプログラム改修作業に対応している。なお、現在の受託者は従業員規模数名程度の零細な事業者である。

この結果、システムの改修に対応可能な人材は慢性的に不足し、時代の変化に応じて改修が必要な作業が多数残されている一方で、改修作業が滞り、バック・ログが山積している。

このために、基幹システムの大半が改修できないまま FORTRAN 言語のまま運用が続けられ、時間の経過とともにさらに改修が必要な項目が増加し、状況は悪化している。

Sigeno *et al* (2012) は、この状況を改善するために、組織外部のプログラマによる改修によって FORTRAN で記述されたプログラムを Excel の Visual Basic for Applications (VBA) のプログラムに置き換えることを試みたプロジェクトの状況について報告している ([120])。メインフレーム・コンピュータ上の FORTRAN 言語から、PC (パーソナル・コンピュータ) 上の Excel の VBA への移植によって、職員はメインフレーム・コンピュータのオペレーションが不要になる。また、第一の課題である、古い言語仕様の問題は解決する。つまり、FORTRAN 言語が理解できなくても、Excel の VBA が理解できれば組織外部の技術者がシステム改修を受託できる可能性がでてくる。FORTRAN 言語のシステム開発における利用

は、現在では大量の数値計算などの一部の用途に限定されるようになっているため、Excel の VBA の方が、外部の技術者数ははるかに多い点では、状況は改善される。一方、Excel の VBA は、ISO 規格等に基づくオープンな規格ではなく、今後、ソフトウェア提供者の方針によってメンテナンスに問題が生じる可能性が危惧される。

また、このプロジェクトでは、FORTRAN 言語のプログラムの内容をセマンティックに解明し、明確なドキュメントとする作業を行っていない。FORTRAN 言語でコーディングされたロジックをそのまま VBA で記述しなおしている。このため、ブラック・ボックスの問題は解決せず、ドキュメントの不足に関する状況は解決されない。したがって、このプロジェクトでは、経済・社会の状況変化に対応して推計システムを改修することはできない。

6.2 モジュールとスクリプトによるアーキテクチャ・デザイン

国民経済計算の推計は階層的な構造を持っている（付録 E 参照）。

これらの階層的な構造に応じて推計を担当する組織が編成され、担当組織の中でも個別の推計を担当する担当者が独立的に作業を進めている。各担当者は、担当する作業の結果データを、次の担当者に引き渡す。このデータ引き渡しを「データ手交」と呼んでいる。国民経済計算の推計作業は、「データ手交」のデータの流れによって結合された、独立的なモジュールごとの推計作業の連鎖として構成されている。この階層的な構造に対応した形で推計システムのアーキテクチャ・デザインを構成することが必要である。

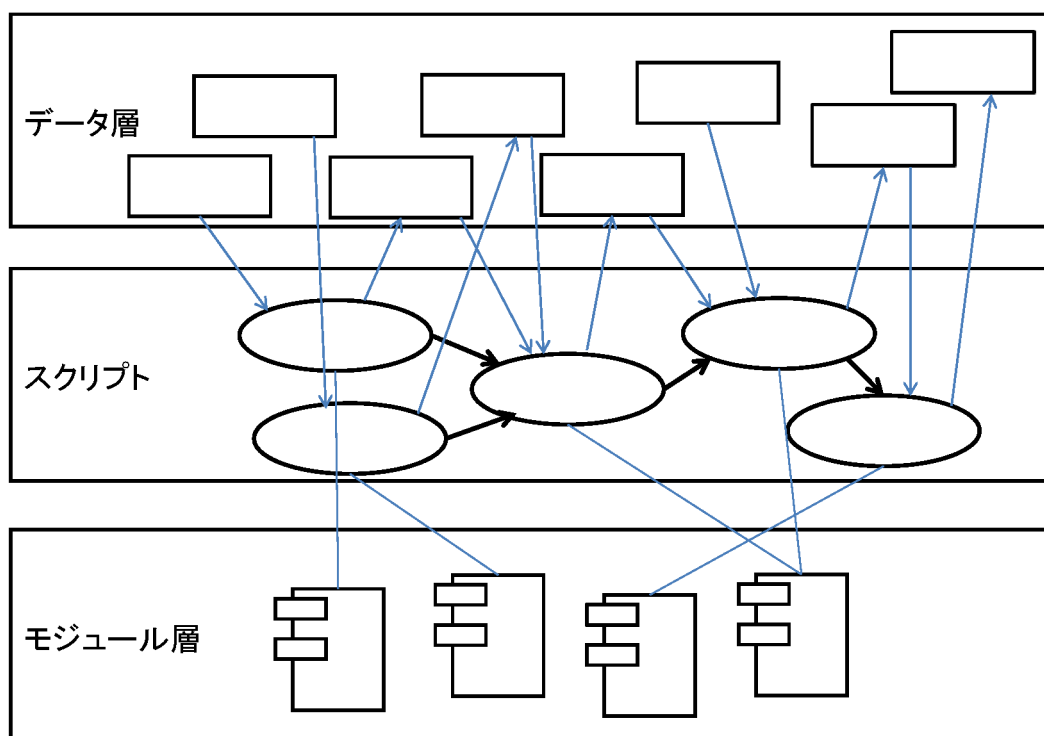
これに対応したアーキテクチャ・デザインは、独立性の高いモジュールを各担当者に対応して配置し、モジュール間のデータの流れと処理手順をスクリプトにより記述するものである。図 6.2 にアーキテクチャ・デザインの概念図を示す。

図 6.2 では、システムがデータ層、スクリプト、モジュール層の 3 層により構成されていることが示されている。

スクリプトが、処理の手順を示している。スクリプトの楕円はスクリプトの 1 行の記述を表す。1 つの楕円は、モジュール層の 1 つのモジュールと、データ層のデータ（長方形）と結び付けられている。

スクリプトの 1 つの楕円とモジュール層の 1 つのモジュールの結びつきは、1 行のスクリプトでは、1 つのモジュールを利用していることを示す。複数の楕円から同一のモジュールを利用しているのは、モジュールが再利用されていることを示す。

スクリプトの楕円間の矢印は処理の実行順序を意味し、楕円に入力されているすべての楕円、すなわちスクリプトの行の実行が終了した時に、その楕円、すなわちスクリプトの



スクリプトは、入出力データと処理を行うモジュールを指定。実行順を制御。

図 6.2: モジュールとスクリプトによるアーキテクチャ・デザイン

行が実行可能になる。スクリプトの実行順は単方向であり、ループなどにより実行不可能な行が生じることはない。スクリプトの行の実行時にエラーが発生した場合には、戻り値によってスクリプトの実行を制御することができる。もっとも単純な場合は、エラー発生行で処理を中止する。

データからスクリプトの楕円方向の矢印は、そのデータがモジュールに対する入力データであることを示す。スクリプトの楕円からデータ方向の矢印は、そのデータがモジュールからの出力データであることを示す。スクリプトのある行で出力されたデータは、スクリプトの別の行の入力データとなり、あるいは最終出力データとなる。1行のスクリプトは、複数の入力データと複数の出力データを処理することができる。なお、図 6.2 では示されていないが、スクリプトにはモジュールのパラメータを複数記述することができる。パラメータによってモジュールの機能を制御する。

システム実行時には、モジュールが複数の入力データとパラメータから複数の出力データを生成し、その実行制御をスクリプトによって指定している。

実際の付加価値推計のモジュールの一部を記述したスクリプトを視覚的に表現した事例を付録 H に示す。

このアーキテクチャはデータ・フロー・モデルとして広く知られている。データ・フロー・モデルは、ヴィジュアル・プログラミングやパラレル・コンピューティングとして研究が進められている。本研究における利用は、ヴィジュアル・プログラミングと関連する。ヴィジュアル・プログラミングの観点からデータ・フロー・モデルについてレビューした報告に Hils(1992) がある ([128])。

このアーキテクチャ・デザインにおけるスクリプトの記述を支援する開発環境については、付録 I を参照されたい。

付録 I の編集イメージは、行列形式で表現されているが、データ・フローを視覚化すればヴィジュアル・プログラミングによる編集イメージと同様に表示することができる。利用者による直観的なプログラミングのためには、ヴィジュアル・プログラミングの方が視覚的に理解しやすいメリットがある。付録 I の編集イメージはユーザ・インターフェースの開発コストが低廉であるために採用した。付録 I に示すように、スクリプト記述を視覚化することは現状でも可能である。

6.3 モジュールの階層性

国民経済計算推計は、上位・中位・下位の階層性を有する（付録 E 参照）。これに対応して、モジュールは階層的に構成できなければならない。このため、モジュールは次の 3 つの選択肢から選択することができる。

1. スクリプトとモジュールによって構成されたスクリプト・モジュール
2. Java モジュール
3. OS の提供する機能モジュール

スクリプト・モジュールは、モジュールの内部をさらに階層的に記述するものである。Java モジュールや OS の提供する機能モジュールを組み合わせ、上位の複雑な機能を提供する。

Java モジュールは、Java システムでコンパイルされた Jar ファイルである。このアーキテクチャ・デザインにおいては、システムの基幹的な機能は、この Java モジュールが提供する。java 言語を用いて作成可能なため、柔軟な機能を提供することができる。このモジュール

ルを開発するために設計された Domain Specific Language(DSL) については、第 6 節で説明する。

OS の提供する機能モジュールは、ファイル管理や外部プログラムである。外部プログラムとしては、例えば、米国センサス局の季節調整プログラム X-13-ARIMA-SEATS ([129]) やオープン・ソースの統計解析システム R ([130]) が利用できる。ファイルによる入出力が可能であれば、外部プログラムとして利用可能な資源をそのまま活用できる。

図 6.3 にスクリプト・モジュールの概念図を示す。スクリプト・モジュールは下部のスクリプトとモジュールによって構成されている。データ層を上位と下位の 2 箇所に重複して図説しているが、両者は同じものである。データ層に表示しているデータを表す四角は、上位・下位の層において見えるデータを示している。同色のデータは同一データであることを示す。上位のデータ層のデータから下位のデータ層のデータへの矢印は、上位のスクリプト・モジュールへの入力、そのまま下位のデータ層の入力データとして内部で取り扱われていることを示す。逆に、下位のデータ層のデータから上位のデータ層のデータへの矢印は、下位のデータ層の出力データが、そのまま上位のデータ層の出力データとして内部で取り扱われていることを示す。

スクリプト・モジュールは、複数のモジュールによって処理する内容を一つのモジュールにとりまとめたものであり、最初の入力と最後の出力データだけが外部から見え、中間処理データは外部から見えない。同様に、内部で利用されているモジュールは外部から見えず、外部には、スクリプト・モジュールの機能がまとまった一つの単位であるように見える。このことは、国民経済計算の推計概念の階層性と同じである。

国民経済計算の推計概念に対応した階層構造ごとにスクリプト・モジュールを構成することにより、国民経済計算の推計概念に対応した階層構造に合わせてシステムを構成することができる。

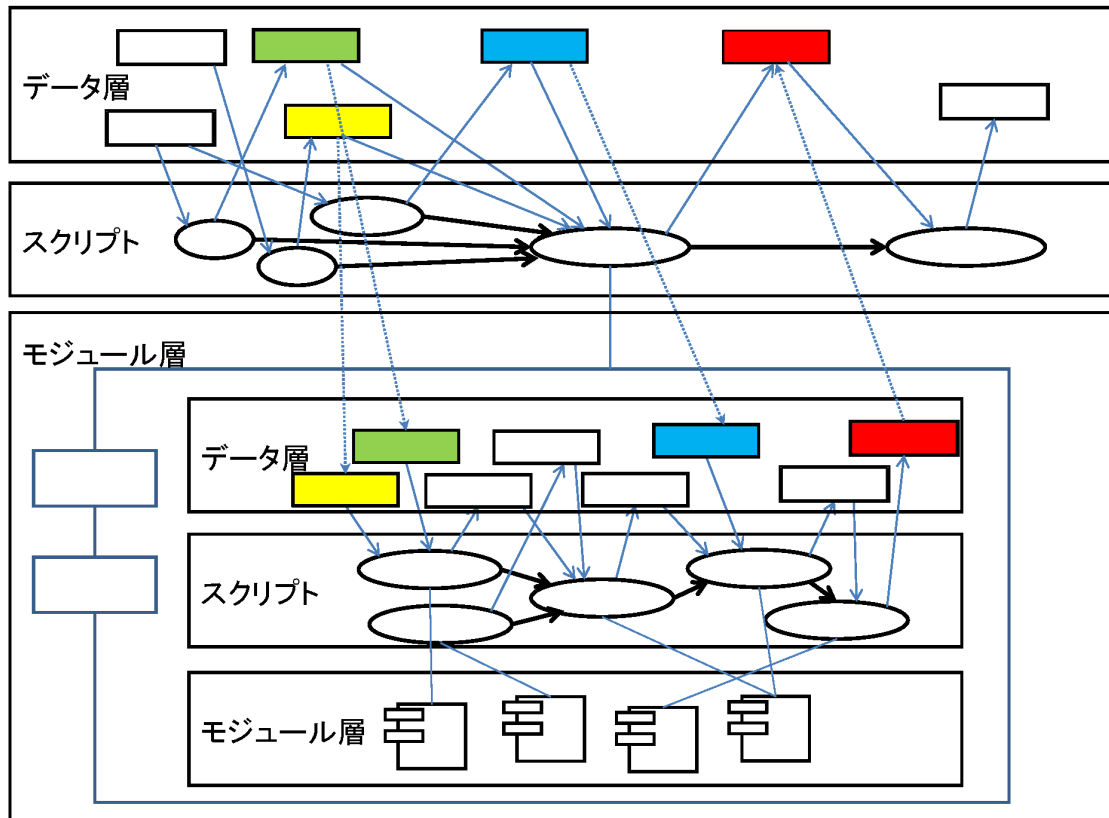


図 6.3: スクリプト・モジュールの概念図

6.4 データ形式の標準化によるモジュールの汎用化

データ形式が多様であることは、システムの複雑性を高めることになる。そこで、本システム・アーキテクチャでは、データ形式をできる限り標準化することとした。

データ形式の限定により期待される効果を図 6.4 に示す。

現状のプログラムでは多種多様なデータ構造が併用されており、データ構造ごとに類似の機能を持ったモジュールが多数存在する。

データ形式を一種類に限定すれば、同一機能は一モジュールによって実現することができるようになる。

モジュールの種類が少なくなるとともに、従来のモジュールを統一されたデータ形式のモジュールに置き換える作業の中で、従来のモジュールの機能の分析を進めることができる。

統一されたデータ形式のモジュールは、できる限り小規模で汎用的なものとするすることで、従来のモジュールをそれらの新モジュールの組合せにより置き換えることとする。

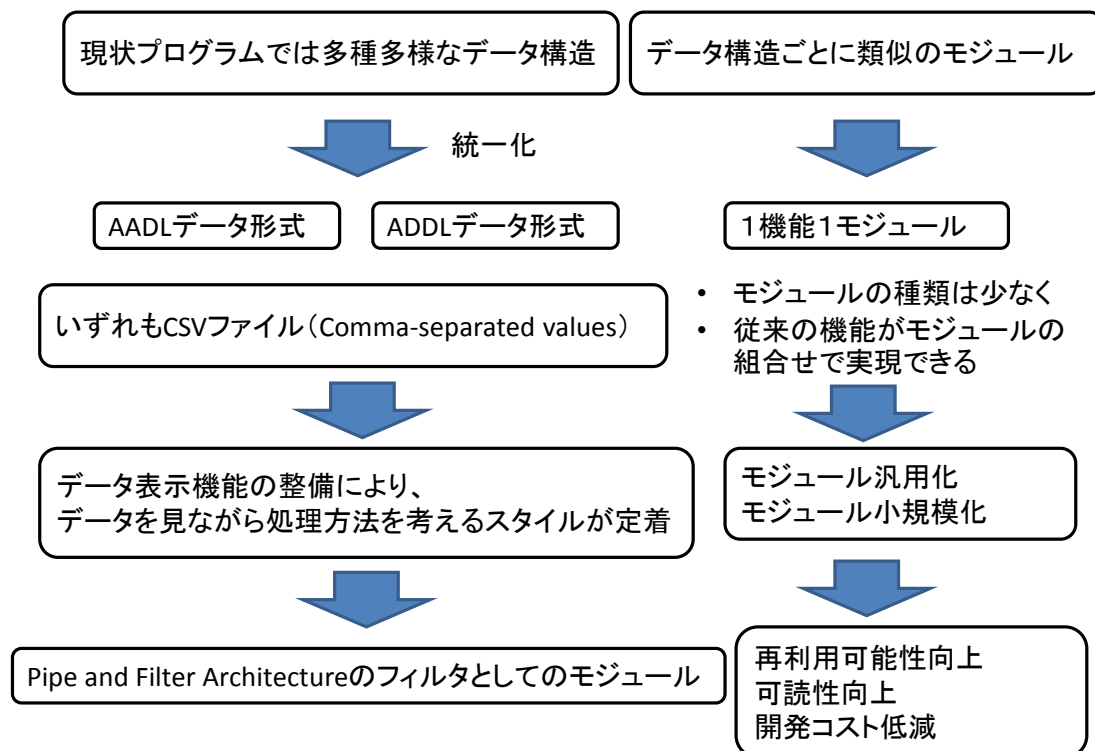


図 6.4: データ形式の限定により期待される効果

従来のモジュールの機能を実現する上で、既存の新モジュールの組合せだけでは実現できない機能を、新たな新モジュールとして開発する。

この作業により、小規模な汎用モジュールの組合せにより、従来のモジュールの機能が実現できるようになる。

これにより、

1. モジュールの再利用性向上
2. モジュールの可読性向上
3. 開発コスト低減

の3つの効果が実現した。

1. モジュールの再利用性向上は、汎用的なモジュールであるために、利用頻度が高いことである。
2. モジュールの可読性向上は、モジュールが小規模化したことと、モジュールの持つ機能が分割されたことにより、各モジュールの持つ機能が明確であり、モジュールを記述するプログラム内容が読みやすくなったことである。
3. 開発コスト低減は、モジュールの再利用性向上により、既存モジュールの組合せにより多くの処理が実現できるため、従来に比べて新たに記述しなければならないプログラム量が減少した結果もたらされる効果である。

利用したデータ形式は、AADL 形式、ADDL 形式の2種類である。これらについては、第6節で説明する。

小規模な汎用モジュールは、モジュールの持つ機能を直観的に理解しやすい。これをデータ処理のための「フィルタ」とみなすことができる。「フィルタ」概念は、**pipe and filter** として、標準的なデザイン・パターンの一つとされている。システム全体の信頼性を高めることが、個々の **filter** の信頼性を高めることで、実現できる。すなわち、小規模なモジュールのテストを十分に行い、信頼性を高めることで、システム全体の信頼性を高めることが可能になる。

6.5 社会会計の処理のための交換代数

国民経済計算は、社会会計 (social accounting) の一分野である。一国の経済状況を、損益計算書と貸借対照表の形で表示することに相当する。そのため、国民経済計算は、会計学、特に、簿記の考え方を基盤としている。

出口 (1988) は、簿記のシステムが交換代数として数理的に定式化できることを明らかにした ([131])。

交換代数については付録 J を参照されたい。

企業会計においては、簿記システムでの二重記帳を振替処理することにより決算処理が行われる。このため、貸方と借方の合計値は常に一致する。

一方、国民経済計算においては、すべての取引を簿記システムで記帳したものを集計するというプロセスを経ていないため、利用可能な情報を組み合わせて、会計概念に当てはめる処理が必要になる。このことから、企業会計には無い「統計上の不突合」の概念を用いる必要がある。「統計上の不突合」は、簿記原理上は完全に一致すべき異なる側面から測定した計数が、簿記原理に反して一致しない場合に、その差額を表す概念である。必ずしも結果が整合的ではない基礎統計から編纂された推計された結果の、測定上の誤差を表示する理論上の概念である。

なお、国民経済計算の推計においては、会計計算の概念の他に、時系列処理などの統計的な処理が必要である。これは、会計上の概念にあてはめる計数を基礎統計から推計する過程で必要である。

6.6 モジュール作成への DSL(Domain Specific Language) の応用

本アーキテクチャ・デザインにおいて、システムの基幹となる java モジュールを作成するための Domain Specific Language(以下、DSL と記述する。)として AADL コンパイラを設計・開発した ([132])。

AADL コンパイラを利用することにより、国民経済計算の操作について集合論的な仕様記述によるコーディングが可能になった ([133])。

AADL コンパイラについては付録 K を参照されたい。

AADL 形式データ AADL 形式データは、AADL による処理を行うデータ形式である。

AADL 形式データによる、家計調査データの事例を表 6.1 に示す。二人以上世帯の平均購入額を品目別に月次で示している。

基底については、付録 K.3 を参照されたい。ファイル・フォーマットについては、付録 K.8「交換代数集合の標準形ファイル・フォーマット」を参照されたい。

年月について'Y' 西暦四桁'M' 月二桁とフォーマットを定めて記述している。他の時系列の期種については、四半期は'Y' 西暦四桁'Q' 四半期一桁、暦年 (Calendar year) は'Y' 暦年四桁、会計年度 (Fiscal Year) は'FY' 年度四桁などのフォーマットを用意している。

表 6.1: AADL 形式データによる、家計調査データの事例 (一部)

値	ハットキー	名前キー	単位キー	時間キー	主体キー
2539	NO_HAT	テレビ	円	Y2009M11	#
0	NO_HAT	ステレオセット	円	Y2009M11	#
49	NO_HAT	携帯型音楽・映像用機器	円	Y2009M11	#
350	NO_HAT	ビデオデッキ	円	Y2009M11	#
1158	NO_HAT	パーソナルコンピュータ	円	Y2009M11	#
210	NO_HAT	カメラ	円	Y2009M11	#
1268	NO_HAT	テレビ	円	Y2009M10	#
12	NO_HAT	ステレオセット	円	Y2009M10	#
37	NO_HAT	携帯型音楽・映像用機器	円	Y2009M10	#
197	NO_HAT	ビデオデッキ	円	Y2009M10	#
522	NO_HAT	パーソナルコンピュータ	円	Y2009M10	#
155	NO_HAT	カメラ	円	Y2009M10	#

ADDL 形式データ AADL 形式データは、簿記形式の数値データを取り扱うことを主目的にしており、値が文字列属性であるデータの取り扱いには適していない。

値が文字列属性のデータを含めたデータの取り扱いを行う DSL として、ADDL(Argebraic Data Description Language) を設計・開発し、AADL コンパイラに実装した。

ADDL 言語仕様については、付録 L を参照されたい。

ADDL 形式データは、リレーショナル・データベースの表形式データと類似した取り扱いができる。

ADDL 形式データによる、政府機関格付けデータの事例を表 6.2 に示す。ファイル形式については付録 L.4 を参照されたい。ファイル 1 行目のキーワード `# DtalgebraTable` は省略した。

政府基幹の格付けとは、法律上の政府基幹をその果たす機能によって、国民経済計算上のどのような経済主体として取り扱うかについての分類を示したものである。例えば、表 6.2 の 9 行目は、地方政府の地方公営企業である工業用水道事業が、国民経済計算上は、「産業」として取扱い、「公的企業非金融」部門として取り扱うことを示している。

表 6.2: ADDL 形式データによる、政府機関格付けデータの事例 (一部)

組織 1	組織 2	組織 3	格付け 1	格付け 2
string	string	string	string	string
#	#	#	#	#
#	#	#	#	#
特殊法人	特殊会社	日本たばこ産業株式会社	産業	公的企業非金融
特殊法人	特殊会社	株式会社ゆうちょ銀行	産業	公的企業金融
特殊法人	特殊会社	日本アルコール産業株式会社	産業	民間産業
特殊法人	公庫	株式会社日本政策金融公庫	産業	公的企業金融
地方政府	地方公営企業	工業用水道事業	産業	公的企業非金融
地方政府	地方公営企業	下水道事業	一般政府	地方政府
地方政府	その他	住宅供給公社	産業	公的企業非金融
中央政府	特別会計	年金特別会計基礎年金勘定	一般政府	社会保障基金
中央政府	特別会計	森林保険特別会計	産業	公的企業金融

6.7 データ中心の開発環境の整備

データ形式を AADL データ及び ADDL データに限定し、いずれも CSV 形式で取り扱うこととしたことから、プログラム開発を、常にデータを参照しながら行うことが望ましい。そのため、AADL コンパイラに、CSV 形式のファイルをカラムごとに整形表示するウィンドウを追加し、上下、左右にスクロールして、大規模データを容易に参照できる環境を整備した ([134])。付録 I の図 I.2 にデータ参照画面の例を示す。

6.8 AADL による国民経済計算推計の演算処理

AADL を利用することで、国民経済計算推計の演算処理が理解しやすい形で記述できることについて、付録 M でプログラム例を挙げながら説明している。

内包記法により、時系列、産業別、品目別などの繰り返し計算を理解しやすい形で記述できる。(内包記法については、付録 K.9 を参照されたい。)

国民経済計算では、多くの異なる目的で収集された情報を組み合わせて加工するため、データによって品目分類や産業分類などの定義範囲が異なる。それらを統一した概念に合わせるためには、いくつかの分類項目を統合したり、大きな分類項目を一定の比率で按分

したりする処理が頻繁に発生する。その統合、按分処理のために、振替変換、按分変換等の処理が有効である。（「振替変換」「按分変換」については付録 K.7 を、詳細については、付録 M を参照されたい。）

なお、AADL は代数的記述をそのままプログラム言語として記述できる。このため、AADL のプログラム記述にコメントを加えることで、そのままプログラム仕様記述のドキュメントとして活用することができる。

6.9 マイクロモジュールによるシステム構成

モジュールとスクリプトを組み合わせたシステム構成をとることで、プログラムの機能を実現する際に、java モジュールを AADL 言語で作成する規模の大きさはユーザが選択できる。すなわち、AADL 言語で記述する java モジュールの規模を大きくすれば、一つの java モジュールで大規模なモジュールとすることもできるし、一方、AADL 言語で記述する規模は最小限にとどめ、スクリプト・モジュールを多階層に構成してシステムを作成することも可能である。

この選択に関しては、試行錯誤の結果、できる限り AADL 言語で記述する java モジュールの規模を最小限にとどめ、スクリプト・モジュールを多階層に構成してシステムを作成することが、エンド・ユーザ・プログラミングの点から有利であるとの結論に至った。この理由について説明する。

第一は、システム構成におけるデータの重要性である。

AADL 言語でプログラムを記述することによって、java 言語に翻訳したコーディングは定型化され、プログラムの論理的な誤りによるバグの発生は少なくなった。

付録 I.2 に示したデータの参照機能により、データ内容を容易に参照できることから、データ内容をチェックしながらプログラムのテストを行うことができる。

プログラムのエラーの多くは、入力データが想定していた内容と異なることによって発生する。

例えば、Excel から読み込んだ CSV データでは、データ内にセル内改行が含まれているケースなどがある。

また、データ値が、ユーザが想定している範囲外であるケースも存在する。例えば、統計データの欠損により値が存在しない場合や、想定外のマイナス値である。

データを参照しながらプログラム開発を行うことによって、プログラムのエラーの原因を調査することが容易となった。

モジュールの出力ごとにチェック可能なデータが得られることから、**java** モジュールのプログラム内にデータ・チェック用の出力機能を挿入するよりも、**java** モジュール自体をできるだけ小規模なものとするのが有利となる。

第二は、AADL 言語に比べてスクリプト言語の記述が容易である点である。

AADL 言語は、**java** 言語に比べて簡易ではあるものの、変数や関数などプログラミングに関する概念を一通り知らないとプログラミングは困難である。

一方、付録 I.3 に示すとおり、スクリプトの記述は、大半の操作はドラッグ・アンド・ドロップで行うことができる。**java** モジュール選択時には、**java** モジュール開発者が入力した、その **java** モジュールに関する解説や入出力ファイルに関する説明が表示される。また、モジュール名は日本語ファイル名も利用できる。このため、エンド・ユーザにとってスクリプトを記述することは AADL 言語でプログラムを記述することに比べてはるかに容易である。

これらの理由から、AADL 言語で記述する **java** モジュールはできるだけ小規模なものとし、スクリプトで階層的にシステムを構成することとする。小規模なモジュールを「マイクロ・モジュール」と命名する。スクリプトで階層的にシステムを構成するとは、AADL 言語で記述するモジュールとスクリプトで記述したスクリプト・モジュールを、さらにスクリプトにより組み合わせて上位の機能を実現することである。

6.10 開発・プログラム能力と領域専門知識の切り分け

マイクロ・モジュールを利用したモジュールとスクリプトによってシステムを構成することで、システム・エンジニアと領域専門家の開発・プログラム能力の違いによる役割の分担が可能になる。

最も高い開発・プログラム能力のあるシステム・エンジニアを必要とするのは、DSL 及び開発環境の設計・開発である。DSL の言語仕様の設計には、簿記及び会計システムに関する高度の領域知識が必要とされたが、言語仕様を確定した後の開発には、領域知識は不要であった。したがって、開発・プログラム能力の高いシステム・エンジニアは、領域知識を学ぶ必要が無い。

AADL 言語によるモジュール開発は、プログラミングに関するある程度の知識を必要とするとともに、国民経済計算の領域に関する知識が必要である。一方、マイクロ・モジュールの採用によって、高度な開発・プログラムの専門能力は必要ない。したがって、領域専門家の中で、ある程度のプログラミングに関する知識を持つ者が担当するのに適している。

ある程度規模が大きいモジュールの開発が必要な場合には、システム・エンジニアやプログラマが、国民経済計算の領域専門家と意見交換しながら、開発を担当することも考えられる。

スクリプト言語を利用したシステム開発は、プログラミングに関する知識は不要である一方、国民経済計算の領域に関する知識が必要である。したがって、普段国民経済計算推計業務を行っている領域専門家が、プログラミング言語に関する研修を受けなくても担当することが可能である。スクリプトのドラッグ・アンド・ドロップによる記述の方法について簡単な説明を受けることで足りる。モジュールの構成を国民経済計算の概念にあわせることで、主としてデータの流れを追いながら処理を設計・記述することが可能である。

このように、開発・プログラム能力と、領域に関する専門知識が必要な業務を切り分けることによって、従来システム・エンジニアが領域に関する専門知識を十分学習してはじめてプログラム開発にとりかかることができる状況が解消された。

システム・エンジニアは領域に関する専門知識が無くても、DSL 及び開発環境の設計・開発をスムーズに行うことができる。

領域専門家も、一部の者がある程度のプログラミングに関する知識を必要とするにとどまり、モジュール開発は領域専門家の一部が担当することで足りる。

多くの領域専門家は、プログラミングに関する知識を持たないまま、国民経済計算の領域に関する知識のみで、社会の必要に応じたシステムの組み換えを行うことができる。

この点が、提案するアーキテクチャ・デザインのもたらす最大の利点である。

6.11 提案手法による複雑性低減効果—単価指数推計システムによる検証

国民経済計算推計支援システムのシステム・アーキテクチャに関する提案と開発環境の整備状況をまとめると次の通りである。

1. モジュールとスクリプトによりシステムを構成する
2. スクリプト・モジュールを利用できることにより、システムを階層化する
3. java モジュールの開発に、DSL である AADL と ADDL を利用する
4. データ形式を AADL 形式と ADDL 形式に限定することでモジュールの汎用化を図る
5. データ中心の開発を行うため、開発環境に CSV データ参照機能を付加した

6. AADL モジュールの規模をできるだけ小規模なマイクロ・モジュールにし、スクリプトを中心として開発する
7. スクリプトの記述が領域専門家によって容易にできるように、開発環境にファイル選択とドラッグ・アンド・ドロップ機能を付加し、モジュールの解説がヘルプ画面として表示されるようにした。

提案手法による、システム開発の第二の効果として、システムの複雑性の低減について述べる。

エンド・ユーザ・コンピューティングにより社会の必要に応じたシステムの組み換えを行うことができる体制を整備することが、提案したアーキテクチャ・デザインのもたらす、最大の利点であるが、同時に、このアーキテクチャ・デザインは、システムの複雑性の低減に寄与している。

国民経済計算推計支援システムのうち、デフレーター推計システムに含まれる単価指数推計システムについて、現状と提案手法を適用した場合のプログラムとモジュールの規模について調査した結果明らかになった複雑性の低減について付録 N に報告する。

提案手法の採用により、繰り返し現れる処理がマイクロ・モジュールとして再利用される効果により、プログラムの総行数は概ね 50% 削減された。

Java モジュールのプログラム規模は、FORTRAN モジュールの最大 6,643 ステップから概ね 10 分の 1 となった。

このように、システムの複雑性は大きく低減され、プログラムの内容の理解は容易になった。なお、6.8 で述べたとおり、AADL のプログラム記述にコメントを加えることで、そのままプログラム仕様記述のドキュメントとして活用することができる。

6.12 本章の結論

国民経済計算推計システムの推計を支援する情報システムのアーキテクチャ・デザインを提案した。

ポイントは次の通りである。

1. モジュールとスクリプトによりシステムを構成
2. システムを国民経済計算の概念に合わせて階層化

3. java モジュールの開発に、DSL を利用
4. 複式簿記の原理を数理化した交換代数を活用
5. AADL による集合記法を中心としたプログラミング
6. データ形式の限定によるモジュールの汎用化
7. モジュールの規模をできるだけ小規模なマイクロ・モジュールとし、データ・フローを記述するスクリプトを中心とした開発

これにより、システム・エンジニアと領域専門家の開発・プログラム能力の違いによる役割の分担が可能となり、国民経済計算の領域専門家が、社会の変化に応じて推計システムの改変を自ら行うことが可能になった。

また、提案手法の採用により、システムの複雑性が低減されることを、単価指数推計のサブ・システムを対象として検証した。

第7章 結論及び今後の展望

7.1 研究成果

本研究の成果は、大きく二つに分けられる。

第一は国民経済計算の作成および利用にエージェント・ベース・モデルを応用する手法を提案することである。

第二に、国民経済計算の推計を支援する情報システムのアーキテクチャ・デザインを行うことである。

これらを通じて、国民経済計算の推計と利用を支援する手法を提案した。

第一の統計の作成および利用にエージェント・ベース・モデルを応用する手法を提案することについては、

1. サurvey統計に新たな調査方法を取り入れた場合に、エージェント・ベース・モデルにより、調査対象と調査主体の行動をモデル化し、精度の変化や統計に表れる影響をシミュレーション分析する手法を示した。
2. 多次元のRAS法の拡張として、Inconsistency of Marginalsの条件下における拡張アルゴリズムを提案するとともに、エージェント・ベース・モデルを利用してその有効性を評価する手法を示した。
3. 産業連関表を用いて、繰り返し演算と屑・副産物処理を含めた経済波及効果分析の手法を提案し、提案手法によって、エージェント・ベースのモデルを用いた産業連関分析が可能であることを示した。

第二の、国民経済計算推計システムのアーキテクチャ・デザインとして、

1. モジュールとスクリプトによりシステムを構成
2. システムを国民経済計算の概念に合わせて階層化
3. javaモジュールの開発に、Domain Specific Languageを利用
4. 複式簿記の原理を数理化した交換代数を活用

5. AADL による集合記法を中心としたプログラミング

6. データ形式の限定によるモジュールの汎用化

7. モジュールの規模をできるだけ小規模なマイクロ・モジュールとし、データフローを記述するスクリプトを中心とした開発

をポイントとするデザインを示した。これにより、システム・エンジニアと領域専門家の開発・プログラム能力の違いによる役割の分担が可能となり、国民経済計算の領域専門家が、社会の変化に応じて推計システムの改変を自ら行うことが可能になった。

また、提案手法の採用により、システムの複雑性が低減されることを、単価指数推計のサブ・システムを対象として検証した。

これらを通じて、国民経済計算の推計と利用を支援する手法を提案した。

7.2 今後の課題

本研究では、国民経済計算の推計と利用を支援する手法に関して、鳥瞰的な立場から広く事例を取り上げた。個々の事例についての今後の課題は以下の通り。

統計の作成および利用にエージェント・ベース・モデルを応用する手法について 本研究では、国民経済計算を対象としてエージェント・ベース・モデルの適用を検討した。国民経済計算は、典型的なマクロ経済に関する統計である。一方、マクロの観点から観察された経済全体の姿は、多数の経済主体の活動により構成された結果である。本研究でとりあげたいずれの手法も、個々の経済主体をエージェントとしてとらえ、エージェントのミクロな活動がマクロ経済に影響を与えるという観点から考察を進めている。

一方で、本研究で仮定した、個々のエージェントのミクロな活動は、いずれもランダム・ウォーク・モデルであり、個別のエージェントは環境条件下での意思決定を行っていない。マクロの環境において、個別のそれぞれ異なる個性を有するエージェントが個別の判断を行い、その判断の結果がマクロの変数にどのような影響をもたらすかを観察するモデルを適用することは、今後の重要な課題である。

思いだし記入導入時の影響について 本研究では、思いだし記入導入時の影響について、自動車購入月に関する記憶が、現実で購入した月から乖離していくモデルについて考察した。実際の記憶誤りの発生については、実証的な調査に基づいてモデルのパラメータについて検証することが必要である。

また、自動車の場合は、定期的な車検が存在することから、購入月に関する誤りよりも、購入年に関する誤りの方が発生しやすいと考えられる。こうした、記憶誤りの発生モデルについても、人々の記憶に関する実証研究に基づいて修正する必要がある。

自動車のような高額な財については、購入の記憶自体が失われる可能性は高くはないと考えられるが、思い出し記入については、購入記憶の喪失も、記憶誤りのもう一つの重要な要因である。購入記憶の喪失に関するモデルの導入も、今後の課題である。

家計調査について 本研究では、二人以上世帯のモデルと、家計調査の調査世帯の選定について、年ごとの世帯数により調整し、連番の前半の世帯が存続するモデルを採用した。家計の移転や変遷に関するエージェント・ベース・モデルにより、二人以上世帯を対象とした統計調査について考察することも、今後の重要な課題である。

また、家計調査では、調査を依頼すべき世帯が訪問時の不在や調査の拒否などの理由で、代替世帯を選定することによるバイアスの発生が懸念されている。本研究では思いだし記入を検討対象としたが、こうした調査上の理由による非系統誤差に関する研究は、エージェント・ベース・モデルを応用した手法が有効な分野と考えられ、今後の研究課題として興味深い。

RAS 法を拡張する手法について 本研究では、3次元、2値のモデルを利用して、エージェント・ベース・モデルによる、提案手法の有効性を示した。より複雑なケースに関して、一般的に提案手法が有効であることを検証することは、今後の課題である。

なお、提案手法では、 2^n 根を調整係数として利用したが、収束の証明の過程から、 k^n 根 ($k = 2, 3, \dots$) でも同じ結果が得られることがわかる。より一般には、古典的 IPFP の調整係数から、徐々に 0 に近づく数列を調整係数とすることが考えられるが、最適なアルゴリズムを確定することは、今後の課題である。

エージェント・ベースの産業連関分析について 本研究では、非正方行列を対象として、繰り返し演算法により産業連関分析を実施する手法をエージェント・ベースのシミュレーターで実装し、屑・副産物の処理のアルゴリズムを、繰り返し演算の中に織り込むことにより、非正方産業連関表に関する産業連関分析の手法を提案した。非正方行列の行数と列数の相違については、対応する商品を一定の計数で按分することによる処理を提案し、そ

これは、投入係数表及び最終需要額の行を比例按分した正方行列による処理と同値であることを示した。これは、対象となる品目の投入先産業の中間需要及び家計や設備投資などの最終需要が、国内生産額に比例していることを仮定していることに相当する。この条件を満たさない一般的なケースの処理は、今後の課題である。

本研究では、エージェント・ベースの産業連関分析が可能であることを示すにとどまった。個々のエージェントが個別の判断を行うエージェント・ベース・シミュレーションにより、エージェント・ベースの産業連関分析を行うことは、今後の課題である。

国民経済計算推計システムのアーキテクチャ・デザインについて 本研究では、国民経済計算推計システムのアーキテクチャ・デザインを示し、推計を支援するシステムの開発を行った。モジュールとスクリプトを利用したシステム設計により、システム専門家と国民経済計算専門家の役割分担が可能になったことを示し、モジュール規模の低減や再利用性の向上については一部のサブ・システムによる実証結果を示した。一方、システムに関する知識の無い国民経済計算専門家によるシステム開発の実証は、今後の課題である。スクリプトや支援ツールの利用のための教育に要する時間と、利用者がシステムを作成するために要した時間について検討する必要がある。

また、国民経済計算推計システムの全部がこのアーキテクチャ・デザインによって実現できるかについても、実証が必要である。必要となるモジュールの洗い出しや、開発におけるドキュメント整備の効率、運用上のミスが起こりにくい管理の方法についても、実証的に研究・開発する必要がある。

事実に基づく政策形成について 事実に基づく政策形成に関する、今後の研究課題は、以下の通りである。

統計の作成や政策シミュレーションを通じて、多面的な価値観の下で事実に基づく議論を通じた合意形成を支援する手法を開発していく必要がある。

具体的には、政策の策定が社会にもたらす影響について複数のシナリオを事前に想定することで合意形成を支援する必要がある。そのために統計の企画・作成から政策シミュレーションの実施、合意形成まで一貫して設計・企画・実施する手法を開発することが今後の課題である。

中でも、災害や有事の発生時には、平時とは異なる社会環境が発生し、その境界条件の下での合意形成が必要となる。事態の発生を事前に想定し、リスク対応策を策定するツールとして、社会シミュレーションは人間の知識を拡大する。インクリメンタルな政策の改

善では対処しえない、こうした条件下での政策形成への社会シミュレーションの活用は今後の課題である。

謝辞

指導教員の東京工業大学出口弘教授には、平成 17 年に内閣府の国民経済計算推計システムのリノベーション作業への指導をお願いしたことを契機として、多くの研究者をご紹介いただき、リノベーション作業の先頭にたつてご指導いただきました。平成 22 年からは研究室に社会人ドクターとして参加させていただき、システム論、社会学、科学哲学をはじめ、広範な知識と、深い観察力に基づく新たな学問分野の開拓の道をご指導いただきました。

東京工科大学榊俊吾教授には、内閣府の国民経済計算推計システムのリノベーション作業のアドバイザー・グループとして、一貫して共同研究に参加いただき、経済学に関するご指導をいただきました。

東京工業大学の寺野隆雄教授、新田克己教授、小野功准教授、吉川厚連携教授、高安美佐子准教授には、博士論文審査及び中間審査の過程において大変有益なご助言をいただきました。

内閣府国民経済計算部のメンバーでは、長谷川秀司さん、三輪篤生さんをはじめ、多くの方々に研究会に参加いただきました。

三菱総合研究所の八木秀明さんは、業務を超えてボランタリーに研究会に参加いただきました。

株式会社パイケーキの石塚康成さん、倉田正さんには、AADL システム及び SOARS システムの開発にご尽力いただき、たくさんの要望や質問にいつも迅速に対応いただきました。

その他、経済研究所では歴代の所長、次長、政策統括官、国民経済計算部長、国民経済計算部歴代在籍者の皆さん、国民経済計算調査会議や統計委員会に参加いただいた多くの先生方にお世話になりました。総務省では消費経済課長在籍当時に多くの皆様のお世話になりました。

東京工業大学出口研究室では、市川学助教をはじめ、林原さん、学生及び OB の皆様にお世話になりました。

システム・ファミリーでは、VALDES の木嶋教授、猪原教授はじめ、多くの先生方にご指導いただきました。

ABSSS の、特任講師の皆様や、野村総合研究所の皆様にも、多くの刺激を受けました。
この場を借りて、これまでお世話になってきました皆様に御礼申し上げる次第です。

参考文献

- [1] 守永誠治 (1993) 「大航海時代から大公開時代へ」『三田商学研究』 vol. 35, no. 6, pp.1-11.
- [2] 片岡泰彦 (2000) 「複式簿記成立上の前提要素と起源論についての考察」『Research papers』 vol. 32, pp.1-25, 大東文化大学.
- [3] 経済企画庁 (1978) 「新国民経済計算（昭和 40～51 年度）について」『新国民経済計算の見方・使い方—新 SNA の特徴—』経済企画庁経済研究所国民所得部編, 大蔵省印刷局.
- [4] 永島清 (1960) 「国際経済と経済計画：現行計画と問題点 (一)」『大阪府立大学経済研究』 vol. 17, pp.124-139.
- [5] 統計委員会 (2008) 「公的統計の整備に関する基本的な計画」.
<http://www5.cao.go.jp/statistics/report/report.html#3> (参照 2012-11-15)
- [6] 各府省情報化統括責任者 (CIO) 連絡会議 (2004) 「電子政府構築計画」.
<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/cio/dai9/9siryou2.pdf> (参照 2012-11-15)
- [7] 藤井禎介 (2009) 「政治過程論」『政策科学の基礎とアプローチ第 2 版』見上崇洋, 佐藤満編著, ミネルヴァ書房, p.85.
- [8] プラトン (藤澤令夫訳)(1979)『国家』(上)(下), 岩波書店.
- [9] ルソー, J. J.(作田啓一訳)(2010)『社会契約論』, 白水社.
- [10] Mills, C. W. (1956) The Power Elite. Oxford University Press.
- [11] Truman, D. B.(1951) The governmental Process: political interests and public opinion. Alfred A. Knopf.
- [12] Habermas, J.(1981)Theorie des kommunikativen Handelns.. Vol. 1: Handlungsrationalität und gesellschaftliche Rationalisierung. Vol. 2: Zur Kritik der funktionalistischen Vernunft.

Frankfurt am Main: Suhrkamp.

(ユルゲン・ハーバーマス (1985) 『コミュニケーション的行為の理論 (上)』 河上倫逸, M. フーブリヒト, 平井俊彦訳, 未来社.)

[13] 小泉秀樹 (2002) 「都市計画の構造転換 - 地域社会からの発意と都市計画の公共性」『新都市』 vol. 56, no. 1, 都市計画協会.

[14] Cabinet Office(1999) Modernizing Government. The Stationary Office.

[15] Montuschi, E. (2009) Questions of Evidence in Evidence-Based-Policy. *Axiomathes*. vol. 19, pp.425-439.

[16] Davies, P. (2004) Is Evidence-Based Government Possible? Jerry Lee Lecture 2004 at the 4th Annual Campbell Collaboration Colloquium. Washington D.C.

[17] Cabinet Office(2000) Adding it up, Improving Analysis & Modelling in Central Government. A Performance and Innovation unit report. London.

[18] Segone, M.; Porn, N. (2008) The Role of Statistics in Evidence-Based Policy Making. UNECE Work Session on Statistical Dissemination and Communication. United Nations Statistical Commission and Economic Commission for Europe, Geneva.

[19] 井上達夫 (2008) 「60年ぶりの統計制度改革-新統計法と2つのキーワード-」『日本統計学会誌』 vol. 37, no. 2, pp.301-312.

[20] Ho, F.W.H. (2004) Survey as a Source of Statistics and Factors Affecting the Quality of Survey Statistics. *International Statistical Review* vol. 73, no. 2, pp.245-254.

[21] Sundgren, B.(1996) Making Statistical Data More Available. *International Statistical Review*. vol. 64, no. 1, pp.23-38.

[22] 新井潔 (2004) 「ゲーミングシミュレーション」『オペレーションズリサーチ: 経営の科学』 vol. 49, no. 3, pp.143-147.

[23] 村上篤太郎, 河野江津子 (1999) 「統計の読み方: 総論」『情報の科学と技術』 vol. 49, no.6, pp.309-313.

[24] 国立国会図書館. (2012) 「統計の基礎知識」
http://rnavi.ndl.go.jp/research_guide/entry/theme-honbun-102849.php(参照 2012-10-18)

- [25] 高橋長太郎 (1950)「イギリスにおける国民経済計算」『経済研究』 vol. 1, no. 3 ,pp.187-198, 岩波書店.
- [26] 宮沢健一 (1967)『経済学全集 9 国民所得理論』, 筑摩書房.
- [27] United Nations(1952)A System of National Accounts and Suporting Tables. Series F, No. 2, New York.
- [28] Stone, R., League of Nations. Committee of Statistical Experts(1947)Measurement of national income and the construction of social accounts. Report of the Sub-committee on National Income Statistics of the League of Nations Committee of Statistical Experts. United Nations, Geneva.
- [29] 倉林義正 (1967)「最近の国民経済計算の動向」『経済学全集 9 国民所得理論 別冊』, 筑摩書房.
- [30] 鶴岡詳晃, 小島祥一, 西田卓馬, 平野正宣, 広瀬晴子, 広瀬哲樹, 佐々木隆博, 川崎研一, 増淵勝彦, 石尾勝, 植田哲史, 松田正弘, 三和元純, 矢萩恵一. (1985)「世界経済モデルによる政策シミュレーションの研究;分析 1 政策シミュレーションにおける世界経済及び各国経済の展望: 1985 - 86」『経済分析』 no. 98, pp.13-85.
- [31] 市川学 (2009)『エージェント・ベース・モデルを用いた階層型都市シミュレーション環境に関する研究』東京工業大学, 博士論文.
- [32] Cristelli, M; Pietronero, L; Zaccaria A.(2011)Critical Overview of Agent-Based Models for Economics.
<http://arxiv.org/pdf/1101.1847v1.pdf> (参照 2012-11-15)
- [33] Dawid, H.; Gemkow, S.; Harting, P.; van der Hoog, S.; Neugart M.(2011)The Eurace@Unibi Model: An Agent-Based Macroeconomic Model for Economic Policy Analysis.
<http://www2.econ.iastate.edu/tesfatsi/eurace-unibi-model-2011-v1.pdf> (参照 2012-11-15)
- [34] 出口弘, 榊俊吾, 松井啓之, 高島史郎 (2007)「公的サービス領域での情報システム開発の問題: 社会的アーキテクチャデザインのためのシステム方法論」『国際プロジェクト・プログラムマネジメント学会誌』 vol. 2, no. 1, pp.1-8, 一般社団法人国際 P2M 学会.

- [35] 出口弘, 榊俊吾, 大貫裕二 (2010) 「電子スキャンニング統計の構想とそのアーキテクチャデザイン」『社会・経済システム』 vol. 31, pp.115-120, 社会・経済システム学会.
- [36] 榊俊吾 (2010a) 「電子政府時代のトランザクションベース国民経済活動の計測構想について」『研究発表大会予稿集 2010(春季)』, pp.65-74, 一般社団法人国際 P2M 学会.
- [37] 榊俊吾 (2010b) 「トランザクションベースエコノミクス構想: 企業トランザクションベースの SNA 推計について」『社会・経済システム』 vol.31, pp.131-151, 社会・経済システム学会.
- [38] 榊俊吾, 大貫裕二, 出口弘 (2011) 「マクロ統計による産業構造の捕捉可能性とトランザクションベースエコノミクスへの展開」『社会・経済システム』 vol. 32, pp.185-198, 社会・経済システム学会.
- [39] Sakaki(2011)A Concept of Transaction-Based Economics: A System of National Accounts Based on Corporate Transactions. *Evolutionary and Institutional Economics Review*. vol. 8, no. 1, pp.123-157.
- [40] Bound, J.; Brown, C.; Mathiowetz, N. (2001), Measurement Error in Survey Data. *Handbook of Econometrics* vol. 5, Heckman J.; Leamer, E. eds., Elsevier.
- [41] Brown, R. V.(1967) Evaluation of Total Survey Error. *Journal of the Royal Statistical Society. Series D The Statistician*, vol.17, no.4, pp.335-356.
- [42] Freedman, D.A.; Navidi, W.C.(1986)Regression Models for Adjusting the 1980 Census. *Statistical Science* vol. 1, no. 1, pp.3-11.
- [43] Bound, J.; Krueger, A. (1991), The Extent of Measurement Error in Longitudinal Earnings Data: Do Two Wrongs Make a Right? *Journal of Labor Economics*, no. 9, pp.1-24.
- [44] Bowers, N.; Horvath, F. W. (1984), Keeping Time: An Analysis of Errors in the Measurement of Unemployment Duration. *Journal of Business & Economic Statistics*, vol. 2, pp.140-149.
- [45] Sudman, S.; Bradburn, N. (1973) Effects of Time and Memory Factors on Response in Surveys. *Journal of the American Statistical Association* vol. 68, pp.805-815.

- [46] Neter, J.; Waksberg, J. (1964) A Study of Response Errors in Expenditure Data from Household Interviews. *Journal of the American Statistical Association* vol. 59, no. 305, pp.18-55.
- [47] Mathiowetz N. A.; Ouncan, G. J.(1988) Out of Work, Out of Mind: Response Errors in Retrospective Reports of Unemployment. *Journal of Business & Economic Statistics*, vol. 6, no. 2, pp.221-229.
- [48] Smith, T. P.; Thomas, D. (2003) Remembrances of things past: test-retest reliability of retrospective migration histories. *Journal of the Royal Statistical Society, Series A* vol. 166, no. 1, pp.23-49.
- [49] Powers, E.A.; Goudy, J.; KeithWillis, P. M. (1978) Congruence between panel and recall data in longitudinal research. *Public Opinion Quarterly* vol. 42, no. 3, pp.380-389.
- [50] Gibson, J.; Kim, B. (2010) Non-Classical Measurement Error in Long-Term Retrospective Recall Surveys. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, vol. 72, no. 5, pp.687-695.
- [51] 星野崇宏 (2009) 『調査観察データの統計科学—因果推論・選択バイアス・データ融合』 岩波書店.
- [52] 山口幸三 (2011) 『現代日本の世帯構造と就業形態の変動解析 公的統計のミクロ統計活用序説』 財団法人日本統計協会.
- [53] Stone, R.; Champernowne, D. G.; Meade, J. E.. (1942). The Precision of National Income Estimates. *The Review of Economic Studies*, vol. 9, no. 2, pp.111-125.
- [54] Bacharach, M. (1965) Estimating nonnegative matrices from marginal data. *International Economic Review* vol. 6, no. 3, pp.294-310.
- [55] Bacharach, M. (1970) *Biproportional Matrices & Input-Output Change*. Cambridge University Press, Cambridge UK.
- [56] Fagan, J.T; Greenberg, B. (1987) Making tables additive in the presence of zeros. *American Journal of Mathematical and Management Sciences* vol. 7, no. 3-4, pp. 359-383.
- [57] Rote, G.;Zachariassen, M. (2007) Matrix scaling by network flow. *Proceedings of the Eighteenth Annual ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms. Proceedings in Applied Mathematics* vol. 125, pp.848-854.

- [58] Norman, P.(1999)Putting Iterative Proportional Fitting Procedure on the Resarcher's Desk. working paper 99/3. School of Geography , University of Leeds.
<http://eprints.whiterose.ac.uk/5029/1/99-3.pdf> (参照 2012-11-16)
- [59] Deming, W.E.;Stephan, F.F. (1940) On a least squares adjustment of a sampled frequency table when the expected marginal totals are known. *Annals of Mathematical Statistics* vol. 11, pp.427-444.
- [60] Fienberg, S.E; Meyer, M.M. (2006) Iterative proportional fitting. *Encyclopedia of Statistical Sciences* vol. 6, pp.3723-3726.
- [61] Brown, D.T. (1959). A note on approximations to discrete probability distributions. *Information and Control*, vol. 2, no. 4, pp.386-392.
- [62] Ireland, C. T.; Kullback, S. (1968) Contingency tables with given marginals. *Biometrika*, vol. 55, no. 1, pp.179-188.
- [63] Csiszár, I. (1975) I-Divergence geometry of probability distributions and minimization problems. *Annals of Probability* vol. 3, no. 1, pp.146-158.
- [64] Balinski, M. L.; Demange, G. (1989) Algorithms for proportional matrices in reals and integers. *Mathematical Programming* vol. 45, pp.193-210.
- [65] Kalantari, B.; Lari, I.; Ricca, F.; Simeone, B. (2008) On the complexity of general matrix scaling and entropy minimization via the RAS algorithm. *Mathematical Programming, Series A*. vol. 112, pp.371-401.
- [66] Deming, W. E. (1943) *Statistical Adjustment of Data*. Wiley, New York.
- [67] Darroch, J. N. (1962) Interaction in multi-factor contingency tables. *Journal of the Royal Statistical Society, Series BMethodological*, vol. 24, no. 1, pp.251-263.
- [68] Caussinus, H. (1965) Contribution a l'analyse statistique des tableaux de corrélation. *Annales de la faculté des sciences de Toulouse Sér. 4*, no. 29, pp.77 -182.
- [69] Bishop, Y. M. M. (1969) Full contingency tables, logits, and split contingency tables. *Biometrics* vol. 25, no. 2, pp.383-400.
- [70] Mosteller, F. (1968) Association and estimation in contingency tables. *Journal of the American Statistical Association*, vol.63, no.321, pp.1-28.

- [71] Saito, S. (1998) Extensions of Iterative Proportional Fitting Procedure and I-projection Modeling. Kyushu University Press.
- [72] Wong, D. W. S. (1992) The Reliability of Using the Iterative Proportional Fitting Procedure. The Professional Geographer, vol.44, no.3, pp.340-348.
- [73] Leontief, W. (1936) Quantitative Input and Output Relations in the Econonlic Systems of the United States. The Review of Economic and Statistics, vol. 18, no. 3, pp.105-125.
- [74] Leontief, W. (1941) The Structure of American Economy 1919-39: An Empirical Appri-cation of Equilibrium Analysis. Oxford University Press.
- [75] Leontief, W.(1951) The Structure of American Economy 1919-39. Second Edition. En-larged. New York, Oxford University Press.
- [76] Leontief, W.(1966) Input-Output Economics. Oxford University Press.
- [77] 黒田昌裕 (2010) 「産業連関表の基本構造と産業連関分析」『産業連関ハンドブック』環太平洋産業連関分析学会編著, 東洋経済新報社.
- [78] Konijn. P. J. A.; Steenge, A. E. (1995). Compilation of Input-Output Data from the Na-tional Accounts. Economic Systems Research vol. 7. no. 1, pp.31-45.
- [79] Ichihashi, M.; Ikeda, H.; Iiguni, Y.(1995) A Means of Graphical Analysis for Input-Output Table. Kochi University Review of Social Science no. 54, pp.193-226.
- [80] 市橋勝 (1995a) 『プロセスグラフとグラフ理論』, 泉他編著, pp.109-126.
- [81] 市橋勝 (1995b) 「波及経路行列による産業構造分析」『広島大学総合科学部紀要 II :社
会文化研究』 vol. 21, pp.47-66.
- [82] 市橋勝, 領国芳明, 池田啓英 (1997) 「波及過程分析と逆行列への収束割合」『広島大学
総合科学部紀要 II :社会文化研究』 vol. 23, pp.1-26.
- [83] 鈴木利治 (2000) 「産業連関表の部門統合と近似逆行列の定義」『経済論集』 vol. 25,
no. 2, pp. 57-78, 東洋大学経済研究会.
- [84] 大分県 (2010) 「経済波及効果分析ツールの紹介」大分県. [http://www.pref.oita.
jp/site/toukei/tool.html](http://www.pref.oita.jp/site/toukei/tool.html) (参照 2012-12-17)

- [85] 新井益洋 (2010)「産業連関分析のためのソフトウェア」『産業連関ハンドブック』環太平洋産業連関分析学会編著, 東洋経済新報社, pp.349-353.
- [86] 中西貢 (1992)「均衡価格モデルにおける部門統合誤差」『統計学』no. 63, pp.17-27.
- [87] 中西貢 (1993)「産業連関表のブロック化と部門統合誤差」『社会科学論集』埼玉大学経済学会, no. 80, pp.31-44.
- [88] 横橋正利 (2010)「中小企業分析のツールとしての規模別産業連関表」『産業連関ハンドブック』環太平洋産業連関分析学会編著, 東洋経済新報社, pp.243-252.
- [89] 中小企業総合研究機構 (2008)「規模別産業連関表を用いた多部門経済分析に関する調査研究」.
<http://www.jsbri.or.jp/new-hp/work/research/h19-6.html> (参照 2012-10-23)
- [90] 中小企業庁 (2007)『中小企業白書平成 18 年版』, ぎょうせい.
- [91] 井田憲計 (2000)「規模別産業連関表からみた大企業・中小企業部門の構造変化 - 全国・他県と比較した大阪の中小企業部門の特徴」『産開研論集』vol. 12, pp. 1 - 11.
- [92] 下田充, 藤川清史, 渡邊隆俊 (2005)「規模別産業連関表から見た日本の産業構造」『産業連関』vol. 13, no. 3, pp.52 - 65.
- [93] 居城琢 (2007)「神奈川における産業ネットワーク構造 - 1985 - 2000 年神奈川県規模別産業連関表の作成を通じて」『産業連関』vol. 15, no. 2, pp.57 - 70.
- [94] 石倉智樹, 石川良文 (2011)「東日本大震災に伴う発電所被災がもたらす電力危機と波及的被害」『産業連関イノベーション& I-O テクニク』vol. 19, no. 3, pp.51-59.
- [95] Nardi, B. A.(1993) A Small Matter of Programming: Perspectives on End User Computing, MIT Press.
- [96] Amoroso, D. L.(1988) Organizational Issues on End-user Computing, Association for Computing Machinery(ACM) Special Interest Group for Management of Information Systems(SIGMIS) Database, vol.19, no.3-4, pp.49-58.
- [97] Benson, D. H.(1983)A Field Study of End User Computing: Findings and Issues, Management Information Systems(MIS) Quarterly, vol.7, no.4, pp.35-45.

- [98] Taylor, M. J.; Moynihan, E. P.; Wood-Harper, A. T.(1998) End-user computing and information systems methodologies, *Information Systems Journal*, vol.8, no.1, pp.85-96.
- [99] Segal, J.(2007)Some problems of professional end user developers. *IEEE Symposium on Visual Languages and Human-Centric Computing*, pp.23-27.
- [100] Costabile M.; Fogli D.; Letondal C.; Mussio P.; Piccinno A.(2003) Domain-Expert Users and their Needs of Software Development. Special Session on End User Development. International Conference on Universal Access in Human-Computer Interaction(UAHCI) Conference. Crete, Greece, pp.532-536.
- [101] Cypher, A.(1993) Introduction of "Watch what I do: Programming by demonstration". The MIT Press
<http://acypher.com/wwid/FrontMatter/index.html#Introduction>(参照 2012-10-31).
- [102] Smith,D. C.(1975)PYGMALION: A Creative Programming Environment. Report no.stan-cs-75-499. Stanford University.
- [103] Myers, B. A.(1986) Visual Programming, Programming by example, and Program Visualization: A Taxonomy. *Proceeding CHI '86 Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. pp.59-66, Association for Computing Machinery.
- [104] Freeman, D. N.(1966) Macro language design for SYSTEM./360. *IBM Systems Journal*. vol. 5, no. 2, pp.62-77.
- [105] Czarnecki, K.(2005) Overview of Generative Software Development, Unconventional Programming Paradigms. *Lecture Notes in Computer Science* vol. 3566, pp.326-341, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- [106] 登内敏夫, 中島震 (2002) 「問題領域向けトランスレータ構築支援ツールキット」『情報処理学会論文誌』 vol. 43, no. 1, pp.146-155.
- [107] 北郷達郎 (2006) 「ソフト自動生成最前線-DSL で再び関心集まる」『日経コンピュータ』 vol. 648, pp.64-69.
- [108] 別府祥之, 登内敏夫, 中島震 (1998) 「デザインパターンに基づくドメイン依存言語向けツールキット」『情報処理学会研究報告. ソフトウェア工学研究会報告』 vol. 98, pp.163-170.

- [109] 大森洋一 (2009)「分散ストレージの安全性検証」『情報処理学会研究報告. EMB, 組み込みシステム 2009-EMB』 vol. 14, no. 3, pp.1-8.
- [110] van Deursen, A.; Klint, P.; Visser. J. (2000) Domain-specific languages, Technical Report SENR0032, Centrum voor Wiskunde en Informatica.
- [111] 瀬田和久, 池田満, 角所収, 溝口理一郎 (1997)「タスクオントロジーに基づくエンドユーザプログラミング支援機能—問題解決過程における因果関係の明示化—」『情報処理学会全国大会講演論文集 第 55 回平成 9 年後期 (1)』, pp.383-384.
- [112] Lepouras, G.; Vassilakis, C.; Halatsis, C.; Georgiadis, P.(2007)Domain Expert User Development: The SmartGov Approach. Communications of the ACM, vol. 50, no. 9, pp.79-83.
- [113] Fischer, G.; Giaccardi, E.(2006) Meta-design: A Framework for the Future of End-User Development. Lieberman, H.; Paternó, F.; Wulf, V. Eds., End User Development. Human-Computer Interaction Series vol. 9, pp.427-457, Springer.
- [114] Ye, Y.; Fischer, G.(2007) Designing for Participation in Socio-technical Software Systems, Springer.
- [115] UNECE; EUROSTAT; OECD(2008)Meeting on the Management of Statistical Information Systems (MSIS 2008)Provisional Agenda and Timetable.
<http://www.unece.org/fileadmin/DAM/stats/documents/ece/ces/ge.50/2008/wp.1.e.pdf>(参照 2012-11-6)
- [116] UNECE; EUROSTAT; OECD(2009)Meeting on the Management of Statistical Information Systems (MSIS 2009)Provisional Agenda and Timetable.
<http://www.unece.org/fileadmin/DAM/stats/documents/ece/ces/ge.50/2009/wp.1.e.pdf>(参照 2012-11-6)
- [117] UNECE; EUROSTAT; OECD(2010)Meeting on the Management of Statistical Information Systems (MSIS 2010)Provisional Agenda and Timetable.
<http://www.unece.org/fileadmin/DAM/stats/documents/ece/ces/ge.50/2010/wp.1.e.pdf>(参照 2012-11-6)
- [118] UNECE; EUROSTAT; OECD(2011)Meeting on the Management of Statistical Information Systems (MSIS2011)Provisional Agenda and Timetable.

- <http://www.unece.org/fileadmin/DAM/stats/documents/ece/ces/ge.50/2011/wp.1.e.pdf>(参照 2012-11-6)
- [119] UNECE; EUROSTAT; OECD(2012)Meeting on the Management of Statistical Information Systems (MSIS2012)Provisional Agenda and Timetable.
http://www.unece.org/fileadmin/DAM/stats/documents/ece/ces/ge.50/2012/01_Agenda.pdf(参照 2012-11-6)
- [120] Shigeno, M.; Hayashi, S.(2012) Optimizing Business Processes and Systems of National Accounts in Japan. Meeting on the Management of Statistical Information Systems(MSIS 2012),UNECE/ EUROSTAT/ OECD.
http://www.unece.org/fileadmin/DAM/stats/documents/ece/ces/ge.50/2012/14_Japan.pdf (参照 2012-11-6)
- [121] 宇南山卓 (2011)「家計調査の課題と改善に向けて」『統計と日本経済』 vol. 1, no. 1, pp.3-28.
<http://www.cirje.e.u-tokyo.ac.jp/journal/20110102.pdf> (参照 2011-9-6)
- [122] 総務省 (2007a)「家計調査の標本設計の概要」, 総務省
<http://www.stat.go.jp/data/kakei/hyohon08.htm> (参照 2012-12-16)
- [123] 総務省 (2010)『平成 23 年度予算概算要求書』, 総務省
http://www.soumu.go.jp/main_content/000087501.pdf (参照 2011-9-6)
- [124] 経済産業省 (2011)『平成 20 年産業連関表 (延長表)』, 経済産業省
http://www.meti.go.jp/statistics/tyo/entyoio/result/result_12.html
(参照 2012-12-15)
- [125] 経済産業省 (2012)『平成 21 年産業連関表 (延長表)』, 経済産業省
http://www.meti.go.jp/statistics/tyo/entyoio/result/result_13.html
(参照 2012-12-15)
- [126] 総務省 (2010)『平成 17 年産業連関表—総合解説編—』, 総務省
<http://www.stat.go.jp/data/io/005index.htm> (参照 2012-12-15)
- [127] Beebe, N. H. F.(1992)A Summary of Fortran.
<http://www.math.utah.edu/~beebe/software/fortran-documentation/ftnsum.pdf> (参照 2012-10-10)

- [128] Hils, D.D.(1992) Visual Languages and Computing Survey: Data Flow Visual Programming Languages. Journal of Visual Languages and Computing. vol. 3, pp.69-101.
- [129] Census Bureau(2012)The X-13ARIMA-SEATS Seasonal Adjustment Program.
<http://www.census.gov/srd/www/x13as/> (参照 2012-11-7)
- [130] Hornik (2012)The R FAQ. ISBN 3-900051-08-9.
<http://CRAN.R-project.org/doc/FAQ/R-FAQ.html> (参照 2012-11-7)
- [131] 出口弘 (1988)「経済交換の数理システム論：交換代数の公理的定式化とその多元，多主性，多次元記述への拡張」『商學論集』 vol. 56, no. 3, pp.124-152, 福島大学経済学会.
<http://hdl.handle.net/10270/1072>(参照 2012-11-6)
- [132] 出口弘, 大貫裕二, 榊 俊吾 (2008)「情報爆発時代の国民経済計算のアーキテクチャデザイン」『情報処理学会全国大会講演論文集 第 70 回平成 20 年』 vol. 5, pp.79-80.
- [133] 榊 俊吾, 大貫裕二, 出口弘 (2008)「国民経済計算 (SNA) 推計システムの社会情報アーキテクチャデザイン」『社会・経済システム』 vol. 29, pp.101-110.
- [134] 株式会社パイケーキ (2010c)『ADDL 開発環境 Version 1.16～操作説明書～』, 株式会社パイケーキ
- [135] 総務省 (2007b)『家計調査の概要』, 総務省.
<http://www.stat.go.jp/data/kakei/1.htm> (参照 2011-9-6)
- [136] SOARS Project(2012)『SOARS Project』, SOARS Project.
<http://www.soars.jp/ja> (参照 2012-12-16)
- [137] 宮沢健一編 (2002)『産業連関分析入門＜新版＞』, 日本経済新聞社.
- [138] SAS(nd)Base SAS Software. SAS.
<http://www.sas.com/technologies/bi/appdev/base/> (参照 2012-11-6)
- [139] 経済企画庁長官官房情報システム課 (nd)『業務用ファイル利用の手引き』, 経済企画庁.
- [140] 株式会社パイケーキ (2009)『AADL マクロ Ver.1.10～機能説明書～』, 株式会社パイケーキ.

- [141] Deguchi, H.(2004) Economics as an agent-based complex system. Springer-Verlag. pp.67-93.
- [142] 株式会社パイケーキ (2010a) 『AADL (Algebraic Accounting Description Language) Version 1.50～ Language specification ～』, 株式会社パイケーキ.
- [143] ANTLR(nd)ANTLR.
<http://www.antlr.org/> (参照 2012-11-6)
- [144] 株式会社パイケーキ (2010b) 『ADDL (Algebraic Data Description Language) Version 1.50～ Language specification ～』, 株式会社パイケーキ.
- [145] 内閣府経済社会総合研究所国民経済計算部 (2007) 「SNA推計手法解説書 (平成 19 年改訂版)」.
<http://www.esri.cao.go.jp/jp/sna/071011/suikai.html> (参照 2010-10-9)

付録A 家計調査自動車購入台数推計のABM によるシミュレーション方法

A.1 全国の世帯及び乗用車購入に関するシミュレーションの設定

A.1.1 推計の対象世帯と対象期間

二人以上世帯のみを対象として推計する。

対象期間は1993年1月～2007年10月とした。

24か月間の記憶の遡りが評価できる1995年1月～12月を対象に結果の評価を行った。

A.1.2 全国の対象世帯数の推計

全国の単身世帯を含めた総世帯数は、総務省統計局「住民基本台帳人口移動報告」の年次データを利用した。総世帯数から二人以上世帯数を計算するために、国勢調査の結果から、全国の総世帯に占める二人以上世帯の比率を求めた。国勢調査が無い年の比率は、線形補間により推計した。世帯数は各年10月1日から翌年9月30日まで変化しないものとした。

A.1.3 市町村別の二人以上世帯の世帯数

各市町村の二人以上世帯数が全国の二人以上世帯数に占める比率は平成17年国勢調査時点の比率で一定であるとした。

A.1.4 世帯番号の設定

各年10月1日に存在する二人以上世帯に世帯番号を与え、一年間同じ番号で識別する。平成17年国勢調査における全国市区町村の表章順（北海道の札幌市から始まり沖縄県の与那国村で終わる）にすべての世帯を並べ通番を付した。市区町村が期間中に合併した場合は、合併前市区町村の世帯は平成17年10月1日現在の市区町村に属するものとした。こ

これは、後述する家計調査の調査市町村を平成 17 年国勢調査の区分により設定したことに対応する。

各年 10 月 1 日時点で全国の二人以上世帯数が増減するため、世帯番号が変更になる。世帯数が増加した市町村は、増加した新規世帯を世帯番号の大きい側に追加することとした。世帯数が減少した市町村は、世帯番号の大きい側から順に世帯が無くなることとした。存続した世帯は、世帯番号が変化しても年ごとの世帯番号対応表により、同じ世帯を判別することができる。

A.1.5 乗用車購入世帯数

月次の国内の二人以上世帯による乗用車購入世帯数は、普通乗用車、小型乗用車、軽乗用車ごとに一般社団法人日本自動車販売協会連合会の国内新車販売登録台数とした。

A.1.6 乗用車購入世帯の選定

普通乗用車、小型乗用車、軽乗用車の車種別に、全国から無作為に台数分の乱数を発生し、それらの世帯番号の世帯が購入するものとした。

A.2 家計調査で行われているサンプル選定のモデル化

A.2.1 調査対象市町村の選定

各月の家計調査の調査対象世帯の選定は、実際の調査における調査世帯の選定方法に準じて行った。家計調査における調査世帯の選定は、層化三段抽出により行われる。第一層は調査市町村の選定であり、47 都道府県の都道府県庁所在都市及び政令指定都市はそれぞれ 1 層とし、それ以外の市町村は規模別に、大都市・中都市・小都市 A・小都市 B 及び町村に分類され、地方ブロックごとに属性ごとに層化された団体の中から抽出される ([135])。

家計調査の平成 20 年度標本設計における抽出市町村を対象期間において一貫して対象であるとした。

A.2.2 調査市町村の標本数

平成 20 年度標本設計では、平成 17 年国勢調査結果を平成 20 年 (2003 年) に補正したデータに基づき、調査市町村ごとの二人以上世帯数の標本数の設定が行われた。1 人の調査員

が2つの調査地区を受け持ち、それぞれの調査地区で1か月あたり6世帯ずつの二人以上世帯に家計簿の記入を依頼するため、一つの調査市町村の調査世帯数は12の倍数として設定される。

調査市町村ごとの標本数は平成20年度標本設計における標本数で固定であるとした。

A.2.3 調査市町村内の調査地区の選定

第二層は調査市町村内からの調査地区の選定である。家計調査の調査地区は、国勢調査の調査地区を2つ組み合わせて構成されており、二人以上世帯が概ね50世帯程度になるよう市町村によって設定されている。1つの調査地区は12ヶ月間連続して調査対象とし、その後別の調査地区に移動する。多くの場合隣接する調査地区が選定される。

調査地区は次の手順で設定した。調査市町村の標本数を6で除した数を四捨五入し、調査市町村の調査ブロック数とする。調査ブロック数は調査市町村で同時に調査が実施されている調査地区の数に相当する。調査市町村の二人以上世帯数をブロック数で除し四捨五入することで、ブロックあたりの二人以上世帯数が求められる。モデルとして1調査地区60世帯として、このブロックあたり世帯数を60で除して四捨五入するとブロックごとの調査地区数が求められる。これにブロックごとに連番を付す。各ブロックから1つずつの調査地区をランダムに選定し、最初の調査地区とする。

調査地区は12カ月ごとに選定替えし、かつその選定替えの地区数が月によってできるだけばらつきのないように設定する必要がある。このため、全国の最初の調査地区について順次、調査開始から1カ月目から12か月目に相当する月の調査を実施しているものとする。12か月目を終えた調査地区については、連番の次の調査地区に選定替えする。連番の最後尾の場合は最初の番号の調査地区を次の調査地区とする。

A.2.4 調査地区内の調査世帯の選定

第三層は、調査地区からの調査世帯の選定である。家計調査では、調査地区内の世帯名簿を作成し、二人以上世帯に連番を振って、一つの調査地区から6世帯を選定する。一つ目の世帯のみ乱数（起番号）により決定し、残る5世帯は、連番の総数を6で除した数を順次加算し、四捨五入することにより地域的な偏り無く選定している。同一の世帯を6ヶ月間継続調査した後で、同じ世帯名簿から異なる世帯を抽出してさらに6世帯を選定する。

モデルでは、調査地区内の世帯数を60程度としているため、調査地区選定ごとに起番号を乱数で選定し、それに10,20,30,40,50をそれぞれ加え調査地区内の世帯数で除した余り

の連番を持つ世帯を第一回目の調査世帯とした。第一回目の調査世帯は、A.2.3 で設定した何か月目の調査かによって異なる、調査月数経過後、次の世帯への選定替えをする。調査地区が選定替えになる 7 か月目から 12 か月目の場合は、次の調査地区で第一回目の調査世帯を選定する。調査地区が選定替えにならない場合は、第二回目の調査世帯の選定は、起番号を第一回目の起番号に 1 を加えた番号とし、同様の手順により選定する。第二回目の調査世帯の調査が終了すると調査地区は選定替えになる。

A.3 調査に回答する世帯の記憶誤りモデルの導入

A.3.1 思いだし記入における記憶誤り

家計調査では、調査対象月の家計簿を毎日記録させることにより、購入月や購入金額に誤りが発生しないよう措置している。食料品の購入のような日々の出費については、数日前の購入であっても過去の購入履歴を正確に思い出すことは困難なためである。一方、自動車購入は数年に一度程度の頻度でしか発生しない、購入金額の高い支出であるため、数か月ないしは数年後であっても正確な購入時期と購入額を思いだして記入することは困難ではない。

A.3.2 記憶誤りの発生モデル

このシミュレーションでは購入からの時間経過にしたがって、ランダム・ウォークにより 1 カ月単位で購入時期の記憶がずれていくモデルを採用した。調査対象世帯は、実際の自動車購入年月の他に、自らの記憶による自動車購入年月を保有する。記憶による自動車購入月は、自動車購入時点では実際の自動車購入月と合致しており、1 カ月経過するごとに確率 $p(t)$ で 1 か月前に、同じく確率 $p(t)$ で 1 か月後に移動し、確率 $1 - 2p(t)$ で移動しないものとする。家計調査の調査対象月が購入月である場合には、最初の 1 カ月経過時点である月末に回答がされるものとし、前後 1 カ月の記憶違いが生じうるとした。

確率 $p(t)$ は自動車購入月からの経過月数 t の関数であり、初期値 $p(0)$ で開始し、1 か月ごとに $i\%$ ずつ上昇する。ただし $2p(t) \leq 100\%$ の条件から、 $p(t)$ が 50% に達した時点で $p(t) = 50\%$ の定数とする。すなわち

$$p(t) = \min(0.5, p(0)(1 + i/100)^t)$$

である。

記憶誤りの程度は世帯ごとに異なるとし、世帯ごとに $p(0)$ は、0 からパラメーター p_0 までのランダムな数値を取るものとする。

このモデルにより各エージェントの記憶する自動車購入年月は実際の自動車購入年月からランダム・ウォークにより乖離していく。購入からの時間経過とともに記憶する自動車購入年月と実際の自動車購入年月との間の乖離は進みやすくなる。

A.4 サンプル調査結果からの全国の自動車購入台数の推計方法

全国の自動車購入台数の推計は家計調査と同様の方法による。

ある対象年月について、調査世帯は普通乗用車、小型乗用車、軽乗用車を何台購入したかを回答する。

これらの回答から、調査対象地区の対象世帯の平均自動車購入台数を求める。この平均台数を調整係数により加重平均し、全国の世帯数を乗ずることで、全国の普通乗用車、小型乗用車、軽乗用車の購入台数を推計する。これらの車種の購入台数を合算して評価した。

A.5 試行回数及び評価の方法

自動車購入世帯の選定は1回のみ行う。この生成データについて、A.2.3 及び A.2.4 に示した調査世帯の選定を 100 通り繰り返し、調査結果から得られる推定乗用車購入数の分布を、真の購入数と比較する。

A.6 シミュレーション対象世帯の限定

家計調査対象以外の世帯が、家計調査による推計に影響を与えることは無いことから、対象期間中に家計調査の調査世帯として選定され、かつ自動車購入履歴のある世帯のみを対象としてシミュレーションを行った。これらの世帯について、対象期間中の自動車購入年月と、家計調査の調査世帯として回答する期間に関するデータをシミュレーションに利用した。すなわち、この期間が n か月である場合には、 n か月間のランダム・ウォーク・モデルによる自動車購入年月からの記憶のずれを SOARS 4.1.0([136]) でシミュレートし、実際の自動車購入年月からずらした記憶上の自動車購入年月を回答したものとして AADL 言語(付録 K 参照)で集計し、各年月における自動車購入推計台数を計算した。シミュレーション対象のエージェント数は、各回とも概ね 1 万強である。

付録B RAS法とそのSOARSへの実装, Inconsistency of Marginalsの条件下における拡張アルゴリズムの提案及び多次元への拡張

B.1 RAS法

$M := (m_{ij}^{(0)}) \in R^{I \times J}$ を要素が非負の初期行列とする。

$u \in R^I$ を行和ベクトルとし、

$v \in R^J$ を列和ベクトルとする。

行和ベクトル及び列和ベクトルに関する次の条件のもとで、

$$\sum_j \hat{a}_{ij} = u_i, \sum_i \hat{a}_{ij} = v_j$$

次の行列 $\hat{M}$ を求めることがRAS法の目的である。

$$\hat{M} = (\hat{m}_{ij})$$

定義から $\sum_i u_i = \sum_j v_j$ が、解が存在するための条件である。

対角行列化演算子 $diag$ を: $R^I \rightarrow R^{I \times I}$ ベクトル要素を対角要素とし、他の行列要素を0とする行列を生成する演算子として定義する。

$t \geq 0$, に対して、 s と t を

$$\begin{aligned} M^{(2t+1)} &= diag(r^{(t+1)})M^{(2t)} \\ M^{(2t+2)} &= M^{(2t+1)}diag(s^{(t+1)}) \end{aligned}$$

とする。ただし

$$r_i^{(t+1)} = \frac{u_i}{\sum_j m_{ij}^{(2t)}}$$

及び

$$s_j^{(t+1)} = \frac{v_j}{\sum_i m_{ij}^{(2t+1)}}$$

とする。最終的に

$$\lim_{t \rightarrow \infty} M^{(t)}$$

が得られる。

このアルゴリズムは、古典的 IPFP と呼ばれる。ここでは、

$$\exists i, j, m_{ij}^{(0)} = 0, u_i = 0, v_j = 0$$

及び

$$\sum_i u_i \neq \sum_j v_j$$

の条件への拡張を論じる。

B.2 古典的 IPFP の SOARS への実装

SOARS 4.1.0 ([136]) をエージェント・ベース・モデルのシミュレータとして利用する。

エージェント $m_{ij}^{(2t)}$ を保持する行列要素をエージェントとする。

スポット u_i を保持する行ベクトルを行スポットとする。行スポットの数は行数と同じである。 v_j を保持する列ベクトルを列スポットとする。列スポットの数は列数と同じである。

アルゴリズム

繰り返し演算の開始前

Step1. ファイルからのデータ読み込み 行列要素エージェントに初期値と属性をセットする。

各行列要素エージェントは初期値 $m_{ij}^{(0)}$ を持つ。 i (行) と j (列) はキーワードとして保持する。

各行和スポットは行和 u_i 及び行名 i を変数として持つ。

各列和スポットは列和 v_j 及び列名 j を変数として持つ。

Step2. 合計のための所属行スポットの決定

Step2-1. 所属行スポットの決定 各行列要素エージェントは、所属行スポットを探索する。すべての行列要素エージェントは、最初は未決定スポットに位置する。行和スポットが制御スポットのリスト変数に登録されている。行和スポットは一つずつ選択され、未決定スポットに位置するすべての行列要素エージェントは、選択された行和スポットに移動し、行名 (i) をスポットと比較する。キーワードが一致した場合は、行列要素エージェントは、行和スポットを、スポット変数「所属行」に登録し決定済スポットに移動する。各行和スポットはそれぞれ異なる行名を保持しているため、各行列要素エージェントの所属行は一意に決定される。

Step2-2. 合計のための所属列スポットの決定 各行列要素エージェントは、所属列スポットを探索する。すべての行列要素エージェントは、最初は未決定スポットに位置する。列和スポットが制御スポットのリスト変数に登録されている。列和スポットは一つずつ選択され、未決定スポットに位置するすべての行列要素エージェントは、選択された列和スポットに移動し、列名 (j) をスポットと比較する。キーワードが一致した場合は、行列要素エージェントは、列和スポットを、スポット変数「所属列」に登録し決定済スポットに移動する。各行和スポットはそれぞれ異なる列名を保持しているため、各行列要素エージェントの所属列は一意に決定される。

繰り返し演算のアルゴリズム

Step3. 行和の調整

Step3-1. 各行の和を求める 各行列要素エージェントはスポット変数「所属行」のスポットに移動し、要素値 $m_{ij}^{(2t)}$ を行和スポットに伝達する。行和スポットは合計 $\sum_j m_{ij}^{(2t)}$ を計算する。

Step3-2. 行調整係数の決定 各行和スポットは行調整係数

$$r_i^{(t+1)} = \frac{u_i}{\sum_j m_{ij}^{(2t)}}$$

を計算する。

Step3-3. 行列要素の調整 各行列要素エージェントは、所属する行和スポットから行調整係数を受け取り、次のステップのための推計値

$$m_{ij}^{(2t+1)} = m_{ij}^{(2t)} \times r_i^{(t+1)}$$

を演算し、変数に保持する。

Step4. 列和の調整

Step4-1. 各列の和を求める 各行列要素エージェントはスポット変数「所属列」のスポットに移動し、要素値 $m_{ij}^{(2t+1)}$ を列和スポットに伝達する。列和スポットは合計 $\sum_i m_{ij}^{(2t+1)}$ を計算する。

Step4-2. 列調整係数の決定 各列和スポットは列調整係数

$$s_j^{(t+1)} = \frac{v_j}{\sum_i m_{ij}^{(2t+1)}}$$

を計算する。

Step4-3. 行列要素の調整 各行列要素エージェントは、所属する列和スポットから列調整係数を受け取り、次のステップのための推計値

$$m_{ij}^{(2t+2)} = m_{ij}^{(2t+1)} \times s_j^{(t+1)}$$

を演算し、変数に保持する。

繰り返し演算の終了 すべての行列要素が収束した時点で繰り返し演算を終了する。すなわち

$$\exists t, \forall i, j \ m_{ij}^{(2t+1)} - m_{ij}^{(2t)} < \delta$$

なお、 δ は事前に決定した微小値である。

B.3 行和と列和が異なる場合への拡張

行和の和と列和の和が一致しない、すなわち

$$\sum u_i \neq \sum v_j$$

である場合、上述の IPFP は解を持たない。これが Inconsistency of Marginals の条件が成立している状況である。代わって、行和同士の比率に関する条件

$$\frac{\sum_j m_{ij}}{\sum_j \sum_i m_{ij}} = \frac{u_i}{\sum_i u_i}$$

及び列和同士の比率に関する条件

$$\frac{\sum_j m_{ij}}{\sum_i \sum_j m_{ij}} = \frac{v_j}{\sum_j v_j}$$

を満たす行列要素を求めることとする。

この条件下で IPFP アルゴリズムを適用しようとする $m_{ij}^{(2t+1)}$ 及び $m_{ij}^{(2t+2)}$ は振動する。
すなわち

$$m_{ij}^{(2t+2)} = m_{ij}^{(2t)}, m_{ij}^{(2t+3)} = m_{ij}^{(2t+1)}, m_{ij}^{(2t)} \neq m_{ij}^{(2t+1)} \text{ がある } \exists i, j, t > \exists t_0$$

について成立する。

以下、初期行列がすべて要素 1 すなわち

$$m_{ij}^{(0)} = 1, \forall i, j.$$

の場合について考える。

step 4 (列和の調整) の段階で、行列要素は

$$m_{ij}^{(2)} = \frac{u_i v_j}{\sum_i u_i}, \forall i, j$$

となり、繰り返しの step 2 及び 3 (行和の調整) の段階で、行列要素は

$$m_{ij}^{(3)} = \frac{u_i v_j}{\sum_j v_j}, \forall i, j$$

となる。ここで、調整係数は

$$s_j^{(t)} = \frac{\sum_i u_i}{\sum_j v_j}, \forall j, t \geq 2$$

及び

$$r_i^{(t)} = \frac{\sum_j v_j}{\sum_i u_i}, \forall i, t \geq 2$$

である。そのため、

$$m_{ij}^{(2t)} = \frac{u_i v_j}{\sum_i u_i}, \forall i, j, \forall t(t \geq 1)$$

と

$$m_{ij}^{(2t+1)} = \frac{u_i v_j}{\sum_j v_j}, \forall i, j, \forall t(t \geq 1)$$

の両値が交互に現れる振動となり、収束しない。

拡張アルゴリズムの準備 ここで、IPFP の調整係数を従来の調整係数と 1 との幾何平均、すなわち

$$\tilde{r}_i^{(t+1)} = \sqrt{r_i^{(t+1)}}, \tilde{s}_j^{(t+1)} = \sqrt{s_j^{(t+1)}}$$

とする。

$$m_{ij}^{(2t)} = \frac{u_i v_j}{\sum_i u_i}, \forall i, j, \forall t(t \geq 1)$$

を初期値としてこの新たな調整係数を適用すると

$$m_{ij}^{(2t+1)} = \frac{u_i v_j}{(\sum_i u_i)^{\frac{1}{2}} \times (\sum_j v_j)^{\frac{1}{2}}}, \forall i, j$$

$$m_{ij}^{(2t+2)} = \frac{u_i v_j}{(\sum_i u_i)^{\frac{3}{4}} \times (\sum_j v_j)^{\frac{1}{4}}}, \forall i, j$$

$$m_{ij}^{(2t+3)} = \frac{u_i v_j}{(\sum_i u_i)^{\frac{5}{8}} \times (\sum_j v_j)^{\frac{3}{8}}}, \forall i, j$$

$$m_{ij}^{(2t+4)} = \frac{u_i v_j}{(\sum_i u_i)^{\frac{11}{16}} \times (\sum_j v_j)^{\frac{5}{16}}}, \forall i, j$$

...

$$k \text{ が奇数の時 } m_{ij}^{(2t+k)} = \frac{u_i v_j}{(\sum_i u_i)^{\frac{2 \times 4^{\frac{k-1}{2}} + 1}{6 \times 4^{\frac{k-1}{2}}}} \times (\sum_j v_j)^{\frac{4^{\frac{k+1}{2}} - 1}{6 \times 4^{\frac{k-1}{2}}}}}, \forall i, j$$

$$k \text{ が偶数の時 } m_{ij}^{(2t+k)} = \frac{u_i v_j}{(\sum_i u_i)^{\frac{2 \times 4^{\frac{k}{2}} + 1}{3 \times 4^{\frac{k}{2}}}} \times (\sum_j v_j)^{\frac{4^{\frac{k}{2}} - 1}{3 \times 4^{\frac{k}{2}}}}}, \forall i, j$$

図 B.1 に $k = 1, 2, \dots, 33$ の場合の $\sum_i u_i$ 及び $\sum_j v_j$ の指数の変化を示す。指数は、上述の場合と異なり、同一の値をとるわけではないが、振動していることが観察される。 k が奇数の場合と偶数の場合で 2 つの指数は入れ替わるが、 k が ∞ に近づくとき、 $\frac{1}{3}$ と $\frac{2}{3}$ が極限值である。すなわち

k が奇数の時

$\sum_i u_i$ の指数は

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \frac{2 \times 4^{\frac{k-1}{2}} + 1}{6 \times 4^{\frac{k-1}{2}}} = \frac{1}{3}$$

$\sum_j v_j$ の指数は

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \frac{4^{\frac{k+1}{2}} - 1}{6 \times 4^{\frac{k-1}{2}}} = \frac{2}{3}$$

k が偶数の時

$\sum_i u_i$ の指数は

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \frac{2 \times 4^{\frac{k}{2}} + 1}{3 \times 4^{\frac{k}{2}}} = \frac{2}{3}$$

$\sum_j v_j$ の指数は

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \frac{4^{\frac{k}{2}} - 1}{3 \times 4^{\frac{k}{2}}} = \frac{1}{3}$$

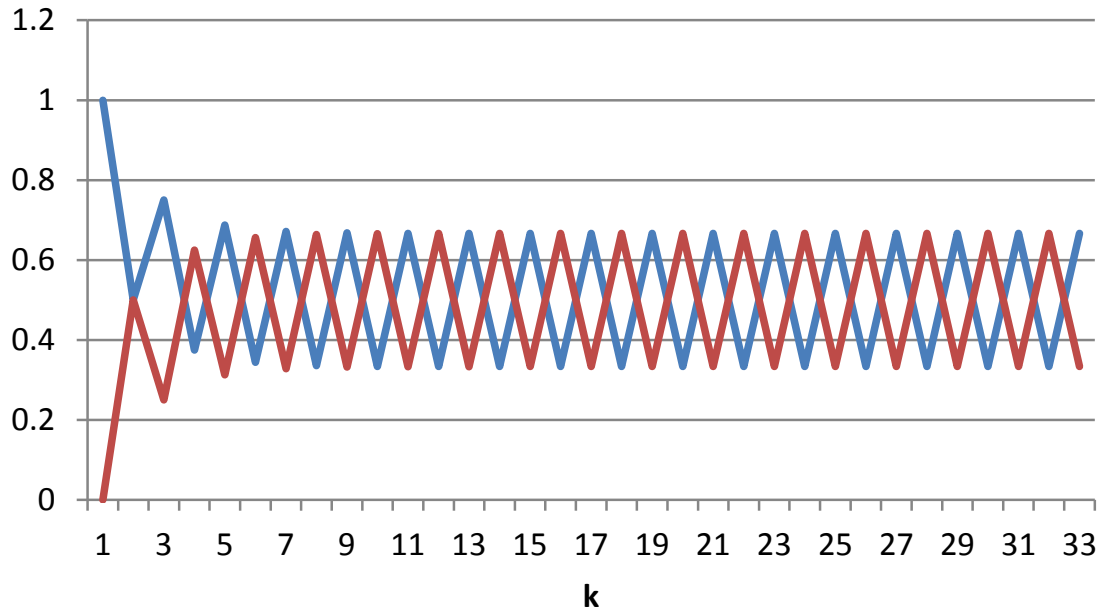


図 B.1: 行和の和と列和の和の指数 (1)

振動は避けられないが、振動する両値の幅（振動幅と表記する）は、当初の調整係数による場合よりも縮小している。すなわち

$$\exists \theta, \forall t \geq t_\theta, \tilde{m}_{ij}^{(2t+2)} - \tilde{m}_{ij}^{(2t+1)} < m_{ij}^{(2t+2)} - m_{ij}^{(2t+1)}$$

である。

事前に決定した微少値 δ_1 に対して、

$$\frac{2 \times 4^{\frac{k+2}{2}} + 1}{3 \times 4^{\frac{k+2}{2}}} - \frac{2 \times 4^{\frac{k}{2}} + 1}{3 \times 4^{\frac{k}{2}}} < \delta_1$$

となる k を初期値として、当初の調整係数 $r^{(t+1)}$ 及び $s^{(t+1)}$ の代わりに $r^{(t+1)}$ 及び $s^{(t+1)}$ と 1 の $2^2 - 1$ をウェイトとする加重幾何平均、すなわち

$$\begin{aligned}\tilde{r}^{(t+1),2} &= \sqrt[2^2]{r^{(t+1)} \times 1^{2^2-1}} = \sqrt[2^2]{r^{(t+1)}} \\ \tilde{s}^{(t+1),2} &= \sqrt[2^2]{s^{(t+1)} \times 1^{2^2-1}} = \sqrt[2^2]{s^{(t+1)}}\end{aligned}$$

を新たな調整係数とするとさらに振動幅を縮小することができる。

$\sum_i u_i$ 及び $\sum_j v_j$ の指数が、計算上 $\frac{1}{3}$ と $\frac{2}{3}$ の近似値となっている場合に、上記の調整係数を適用した場合の、 $\sum_i u_i$ 及び $\sum_j v_j$ の指数を図 B.2 に示す。

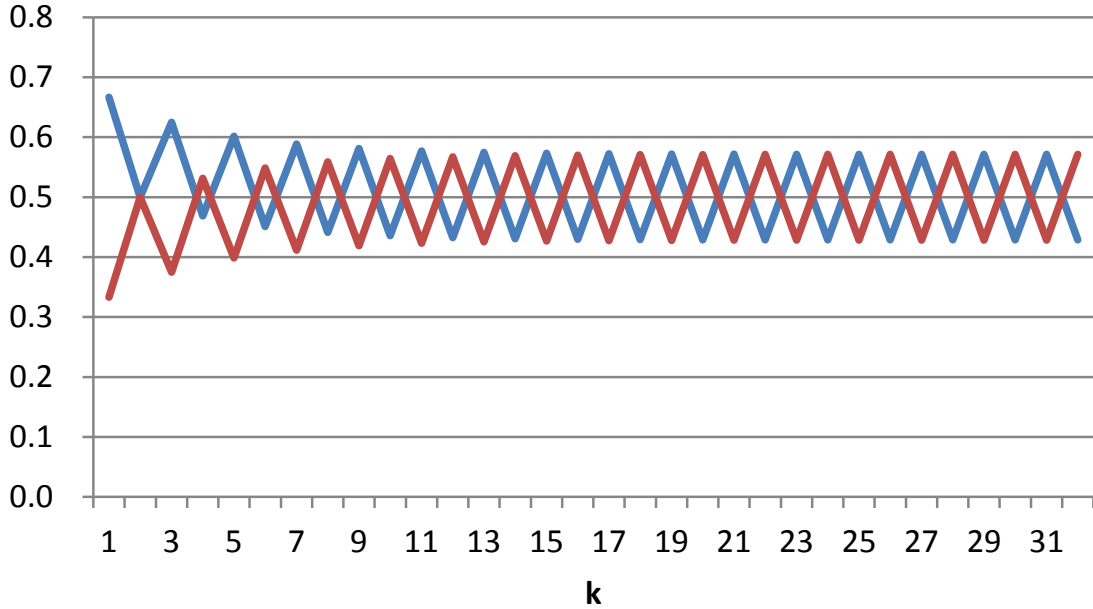


図 B.2: 行和の和と列和の和の指数 (2)

k が ∞ に近づくとき、 $\sum_i u_i$ 及び $\sum_j v_j$ の指数の極限值は $\frac{3}{7}$ と $\frac{4}{7}$ である。

$\sum_i u_i$ の指数を I_k とするとき、事前に決定した微少値 δ_2 に対して

$$I_{k+2} - I_k < \delta_2$$

となる k を初期値として、当初の調整係数 $r^{(t+1)}$ 及び $s^{(t+1)}$ の代わりに $r^{(t+1)}$ 及び $s^{(t+1)}$

と 1 の $2^3 - 1$ をウェイトとする加重幾何平均、すなわち

$$\tilde{r}^{(t+1),3} = \sqrt[2^3]{r^{(t+1)} \times 1^{2^3-1}} = \sqrt[2^3]{r^{(t+1)}}$$

$$\tilde{s}^{(t+1),3} = \sqrt[2^3]{s^{(t+1)} \times 1^{2^3-1}} = \sqrt[2^3]{s^{(t+1)}}$$

を新たな調整係数とするとさらに振動幅を縮小することができる。

$\sum_i u_i$ 及び $\sum_j v_j$ の指数が、計算上 $\frac{3}{7}$ と $\frac{4}{7}$ の近似値となっている場合に、上記の調整係数を適用した場合の、 $\sum_i u_i$ 及び $\sum_j v_j$ の指数を図 B.3 に示す。

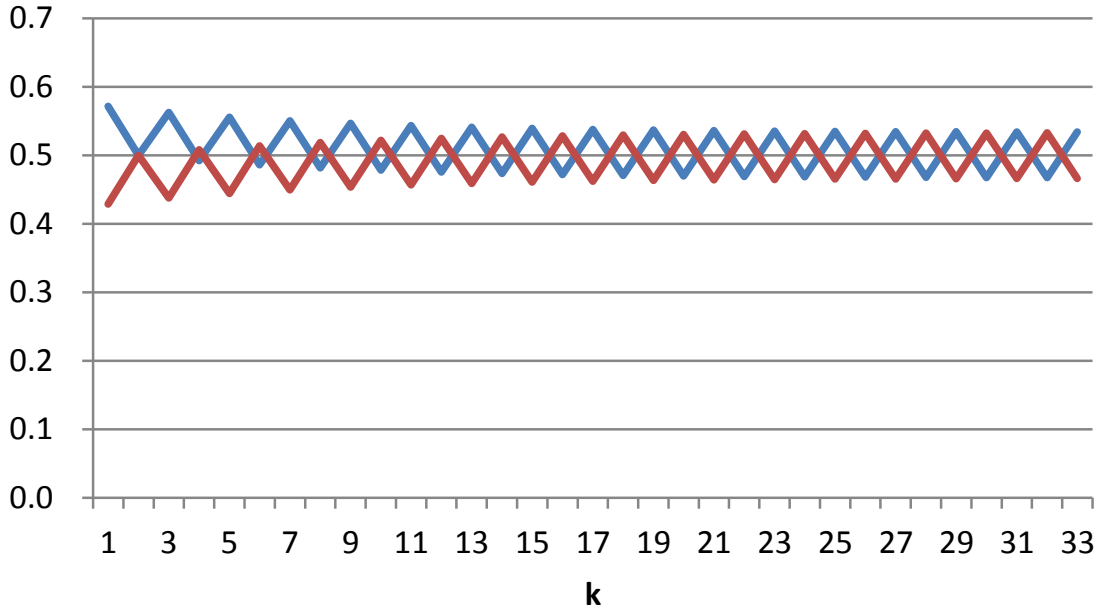


図 B.3: 行和の和と列和の和の指数 (3)

k が ∞ に近づくとき、 $\sum_i u_i$ 及び $\sum_j v_j$ の指数の極限值は $\frac{7}{15}$ と $\frac{8}{15}$ である。

このようにして、一般には、当初の調整係数 $r^{(t+1)}$ 及び $s^{(t+1)}$ の代わりに $\tilde{r}^{(t+1)}$ 及び $\tilde{s}^{(t+1)}$ と 1 の $2^n - 1 (n = 0, 1, 2, 3, \dots)$ をウェイトとする加重幾何平均、すなわち

$$\tilde{r}^{(t+1),n} = \sqrt[2^n]{r^{(t+1)} \times 1^{2^n-1}} = \sqrt[2^n]{r^{(t+1)}}$$

$$\tilde{s}^{(t+1),n} = \sqrt[2^n]{s^{(t+1)} \times 1^{2^n-1}} = \sqrt[2^n]{s^{(t+1)}}$$

を新たな調整係数とすると、 n が大きくなるほど、振動幅は縮小していく。

k が ∞ に近づくとき、 $\sum_i u_i$ 及び $\sum_j v_j$ の指数の極限值は $n = 2, 3, 4, 5$ の時、それぞれ $\frac{2}{3}$ と $\frac{1}{3}, \frac{4}{7}$ と $\frac{3}{7}, \frac{8}{15}$ と $\frac{7}{15}, \frac{16}{31}$ と $\frac{15}{31}$ であり、任意の n に対して $\frac{2^{n-1}-1}{2^n-1}$ と $\frac{2^{n-1}}{2^n-1}$ であることが予測される。

拡張アルゴリズムの提案 この調整係数により前述の手順を記述する。最初は $n = 0$ として、振動が開始するまで調整を続ける。

$$m_{ij}^{(2t+3)} = m_{ij}^{(2t+2)} \times \tilde{r}_i^{(t+2),0}, m_{ij}^{(2t+4)} = m_{ij}^{(2t+3)} \times \tilde{s}_j^{(t+2),0}, \forall t \leq t_0$$

ここで t_0 は、

$$\exists i, j, m_{ij}^{(2t_0+4)} - m_{ij}^{(2t_0+2)} < \delta_0$$

を満たす。ただし δ_0 は事前に決定した微小値とする。

ここで、調整計数の n を 1 加算する。すなわち

$$m_{ij}^{(2t+3)} = m_{ij}^{(2t+2)} \times \tilde{r}_i^{(t+2),1}, m_{ij}^{(2t+4)} = m_{ij}^{(2t+3)} \times \tilde{s}_j^{(t+2),1}, \forall t, t_0 < t \leq t_1$$

ここで t_1 は、

$$\exists i, j, m_{ij}^{(2t_1+4)} - m_{ij}^{(2t_1+2)} < \delta_1$$

を満たす。ただし $\delta_1 (< \delta_0)$ は事前に決定した微小値とする。

再び、調整計数の n を 1 加算する。すなわち

$$m_{ij}^{(2t+3)} = m_{ij}^{(2t+2)} \times \tilde{r}_i^{(t+2),2}, m_{ij}^{(2t+4)} = m_{ij}^{(2t+3)} \times \tilde{s}_j^{(t+2),2}, \forall t, t_1 < t \leq t_2$$

ここで t_2 は、

$$\exists i, j, m_{ij}^{(2t_2+4)} - m_{ij}^{(2t_2+2)} < \delta_2$$

を満たす。ただし $\delta_2 (< \delta_1)$ は事前に決定した微小値とする。

再び、調整計数の n を 1 加算する。

...

$$m_{ij}^{(2t+3)} = m_{ij}^{(2t+2)} \times \tilde{r}_i^{(t+2),k}, m_{ij}^{(2t+4)} = m_{ij}^{(2t+3)} \times \tilde{s}_j^{(t+2),k}, \forall t, t_{(k-1)} < t \leq t_k$$

ここで t_k は、

$$\exists i, j, m_{ij}^{(2t_k+4)} - m_{ij}^{(2t_k+2)} < \delta_k$$

を満たす。ただし $\delta_k (< \delta_{k-1})$ は事前に決定した微小値とする。

繰り返し演算の終了 すべての要素の振動幅が十分縮小したところで、繰り返し演算を終了する。すなわち

$$\exists t, \forall i, j, m_{ij}^{(2t+4)} - m_{ij}^{(2t+3)} < \delta$$

ここで δ は事前に決定した微小値である。

図 B.4 に $n=1,2,3,4,5$ まで上述の手続きを繰り返した場合の指数値を示す。

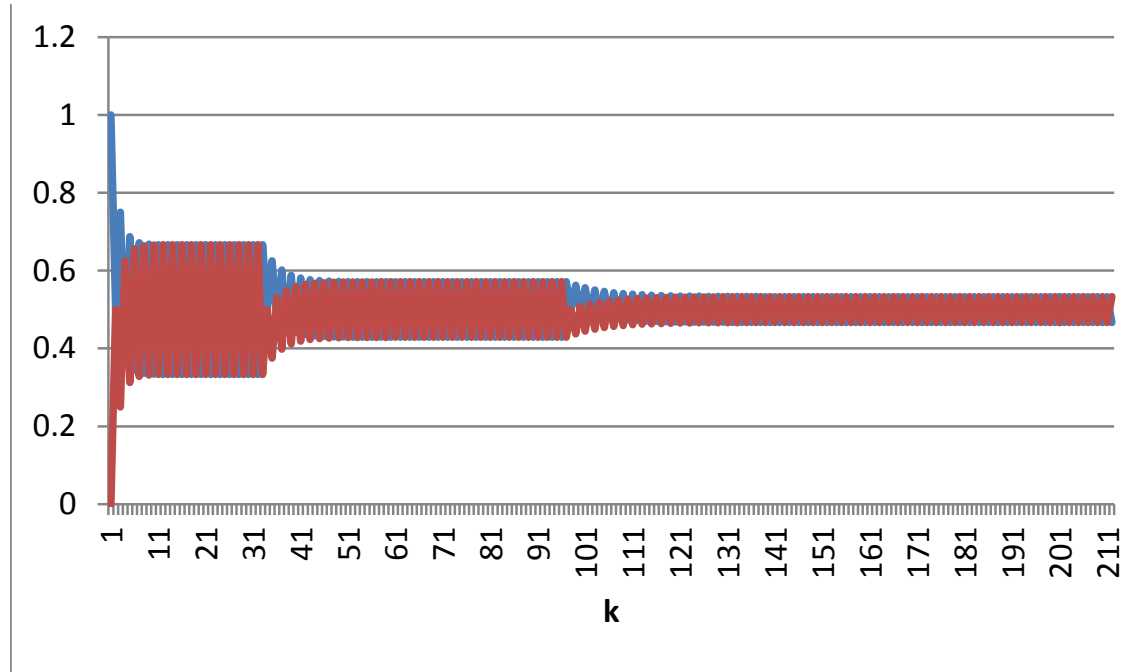


図 B.4: 行和の和と列和の和の指数 (4)

n が ∞ に近づくとき、 $\sum_i u_i$ 及び $\sum_j v_j$ の指数の極限值は

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \frac{2^{n-1} - 1}{2^n - 1} = \frac{1}{2}$$

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \frac{2^{n-1}}{2^n - 1} = \frac{1}{2}$$

で一致する。

$$\delta_n = \frac{2^{n-1}}{2^n - 1} - \frac{2^{n-1} - 1}{2^n - 1} = \frac{1}{2^n - 1}$$

を利用して

$$\delta = \max_{i,j} (u_i v_j) \times \text{abs} \left(\frac{1}{(\sum_i u_i)^{\frac{1}{2} + \delta_n} (\sum_j v_j)^{\frac{1}{2} - \delta_n}} - \frac{1}{(\sum_i u_i)^{\frac{1}{2} - \delta_n} (\sum_j v_j)^{\frac{1}{2} + \delta_n}} \right)$$

とすれば、 $n+1$ の時、有限回数の繰り返しにより繰り返し演算を終了することができる。

B.4 ρ -次元への拡張

ρ 次元に拡張するためには、アルゴリズムを次のように変更する。 ρ 次元に 1 次元加えるためには、step2- $(\rho+1)$ を step2- ρ の後に加え、step $(\rho+2)$ を step $(\rho+1)$ の後に加える。

Step 2- ρ は以下のように変更する。

Step2- ρ . ρ 次元の所属スポットを探索する 各行列要素エージェントは、 ρ 次元の所属スポットを探索する。すべての行列要素エージェントは、最初は未決定スポットに位置する。 ρ 次元和スポットが制御スポットのリスト変数に登録されている。 ρ 次元和スポットは一つづつ選択され、未決定スポットに位置するすべての行列要素エージェントは、選択された ρ 次元和スポットに移動し、 ρ 次元キーワード名をスポットと比較する。キーワードが一致した場合は、行列要素エージェントは、 ρ 次元和スポットを、スポット変数「所属 ρ 次元」に登録し決定済スポットに移動する。各行和スポットはそれぞれ異なる ρ 次元キーワード名を保持しているため、各行列要素エージェントの所属行は一意に決定される。

Step $\rho+1$ ($\rho \geq 2$) は以下のように変更する

Step $\rho+1$. ρ 次元和の調整

Step $(\rho+1)$ -1. ρ 次元和を求める 各行列要素エージェントはスポット変数「所属 ρ 次元」のスポットに移動し、要素値 $m_{i_1 i_2 \dots i_\rho}^{(2t+1)}$ を ρ 次元和スポットに伝達する。 ρ 次元和スポットは合計 $\sum_{i_1 i_2 \dots i_{\rho-1}} m_{i_1 i_2 \dots i_\rho}^{(2t+1)}$ を計算する。

Step $(\rho+1)$ -2. ρ 次元調整係数の決定 各 ρ 次元和スポットは ρ 次元調整係数

$$\tilde{\tau}_{i_\rho}^{(\rho, t+1, n)} = \sqrt[n]{\tilde{\tau}_{i_\rho}^{(\rho, t+1)}}$$

を計算する。

Step $(\rho+1)$ -3. 行列要素の調整 各行列要素エージェントは、所属する ρ 次元和スポットから ρ 調整係数を受け取り、次のステップのための推計値 $m_{ij}^{(2t+2)} = m_{i_1 i_2 \dots i_\rho}^{(2t+1)} \times \tilde{\tau}_{i_\rho}^{(\rho, t+1, n)}$ を演算し、変数に保持する。

次元拡張時による変化 B.3 節で検討した結果が、次元拡張によりどのように変化するかを考察する。

次元 k の i_k 番目の要素和を x_{k,i_k} と表記する。2 次元の表記との対応は

$$u_i = x_{1,i_1}, i_1 = i$$

$$v_j = x_{2,i_2}, i_2 = j$$

である。

次元 k の要素和の総和を $S_k = \sum_{i_k} x_{k,i_k}$ と表記する。2 次元の表記との対応は

$$\sum_i u_i = S_1$$

$$\sum_j v_j = S_2$$

である。

初期行列がすべて要素 1 の場合、古典的 IPFP による振動は、

$$m_{i_1 i_2 \dots i_\rho}^{(\rho t)} = \frac{x_{1,i_1} x_{2,i_2} \dots x_{\rho,i_\rho}}{S_2 S_3 \dots S_\rho}, \forall i_1, i_2, \dots, i_\rho \forall t(t \geq 1)$$

$$m_{i_1 i_2 \dots i_\rho}^{(\rho t+1)} = \frac{x_{1,i_1} x_{2,i_2} \dots x_{\rho,i_\rho}}{S_1 S_3 \dots S_\rho}, \forall i_1, i_2, \dots, i_\rho \forall t(t \geq 1)$$

...

$$m_{i_1 i_2 \dots i_\rho}^{(\rho t+\rho-1)} = \frac{x_{1,i_1} x_{2,i_2} \dots x_{\rho,i_\rho}}{S_1 S_2 \dots S_{\rho-1}}, \forall i_1, i_2, \dots, i_\rho \forall t(t \geq 1)$$

の間で発生する。

調整係数は、それぞれ

$$\frac{S_2}{S_1}$$

$$\frac{S_3}{S_2}$$

...

$$\frac{S_1}{S_\rho}$$

である。

提案手法により $n=1$ を適用した調整係数による推移は

$$m_{i_1 i_2 \dots i_\rho}^{(\rho t+1)} = \frac{x_{1,i_1} x_{2,i_2} \dots x_{\rho,i_\rho}}{(S_1 S_2)^{\frac{1}{2}} S_3 \dots S_\rho}, \forall i_1, i_2, \dots, i_\rho$$

$$m_{i_1 i_2 \dots i_\rho}^{(\rho t+2)} = \frac{x_{1,i_1} x_{2,i_2} \dots x_{\rho,i_\rho}}{(S_1 S_2)^{\frac{3}{4}} S_3^{\frac{1}{2}} \dots S_\rho}, \forall i_1, i_2, \dots, i_\rho$$

$$m_{i_1 i_2 \dots i_\rho}^{(\rho t+3)} = \frac{x_{1,i_1} x_{2,i_2} \dots x_{\rho,i_\rho}}{(S_1 S_2)^{\frac{7}{8}} S_3^{\frac{3}{4}} S_4^{\frac{1}{2}} \dots S_\rho}, \forall i_1, i_2, \dots, i_\rho$$

...

$$m_{i_1 i_2 \dots i_\rho}^{(\rho t+\rho-1)} = \frac{x_{1,i_1} x_{2,i_2} \dots x_{\rho,i_\rho}}{(S_1 S_2)^{\frac{2^\rho-1}{2^\rho}} S_3^{\frac{2^{\rho-1}-1}{2^{\rho-1}}} \dots S_\rho^{\frac{1}{2}}}, \forall i_1, i_2, \dots, i_\rho$$

$\rho = 2$ の時、

S_1, S_2 の指数の極限值は $\frac{2^{n-1}}{2^n-1}, \frac{2^{n-1}-1}{2^n-1}$ である。

n が ∞ に近づくとき、 S_1, S_2 の指数の極限值はいずれも $\frac{1}{2}$ である。

$\rho = 3$ の時、

$n = 1$ の S_1, S_2, S_3 の指数の極限值は $\frac{3}{7}, \frac{5}{7}, \frac{6}{7}$ である。

$n = 2$ の S_1, S_2, S_3 の指数の極限值は $\frac{21}{37}, \frac{25}{37}, \frac{28}{37}$ である。

$n = 3$ の S_1, S_2, S_3 の指数の極限值は $\frac{105}{169}, \frac{113}{169}, \frac{120}{169}$ である。

$n = 4$ の S_1, S_2, S_3 の指数の極限值は $\frac{930}{1442}, \frac{962}{1442}, \frac{992}{1442}$ である。

n が ∞ に近づくとき、 S_1, S_2, S_3 の指数の極限值はいずれも $\frac{2}{3}$ である。

$\rho = 3$ の時の提案手法による各次元和の指数の推移を図 B.5 に示す。

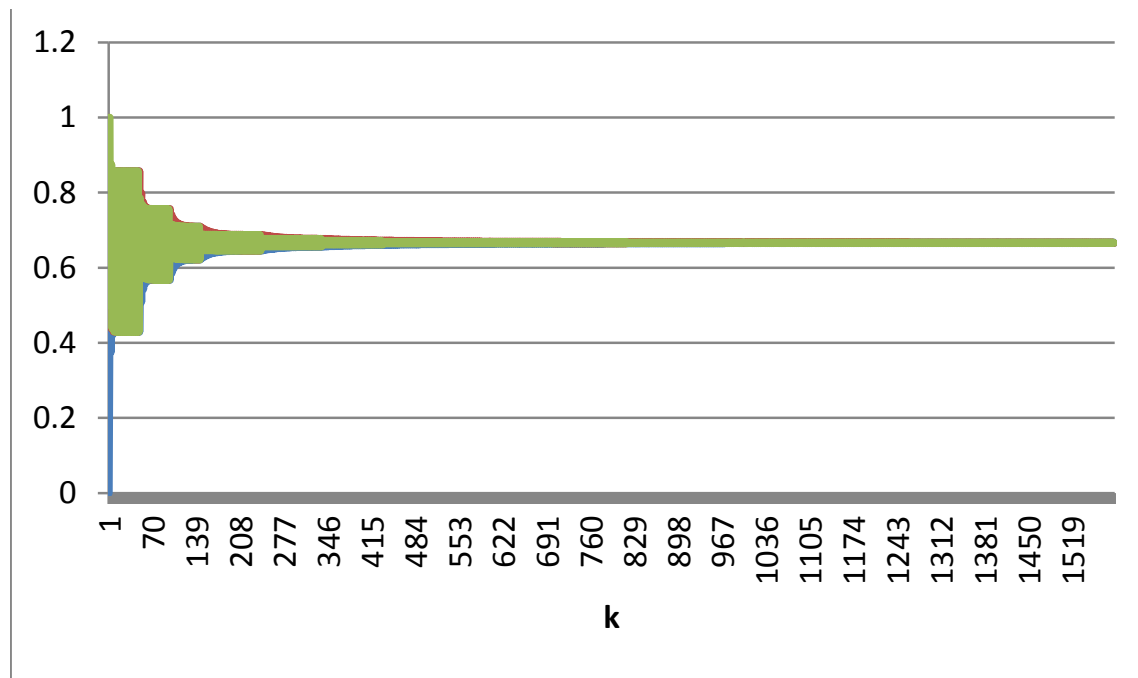


図 B.5: 各次元和の指数 (3 次)

$\rho = 4$ の時、

n が ∞ に近づくとき、 S_1, S_2, S_3, S_4 の指数の極限值はいずれも $\frac{3}{4}$ である。

$\rho = 5$ の時、

n が ∞ に近づくとき、 S_1, S_2, S_3, S_4, S_5 の指数の極限值はいずれも $\frac{4}{5}$ である。

...

$\rho = k$ の時、

n が ∞ に近づくとき、 $S_1, S_2, S_3, \dots, S_k$ の指数の極限值はいずれも $\frac{k-1}{k}$ である。

したがって、 ρ 次元でも提案手法により収束解が得られる。

証明 以下、指数 r_k を初期値 $r_{k,0}$ として漸化式で示す。

ρ 次元の S_1 の指数 r_1 の漸化式は、 $t = 0, 1, \dots$ に対して

$$r_{1,0} = 0$$

$$r_{1,\rho t+1} = r_{1,\rho t} + \frac{1}{2^n}(1 - r_{1,\rho t})$$

$$r_{1,\rho t+2} = r_{1,\rho t+1} + \frac{1}{2^n}(1 - r_{1,\rho t+1})$$

...

$$r_{1,\rho(t+1)-1} = r_{1,\rho(t+1)-2} + \frac{1}{2^n}(1 - r_{1,\rho(t+1)-2})$$

$$r_{1,\rho(t+1)} = r_{1,\rho(t+1)-1} + \frac{1}{2^n}(0 - r_{1,\rho(t+1)-1})$$

S_2 の指数 r_2 の漸化式は、 $t = 0, 1, \dots$ に対して

$$r_{2,0} = 1$$

$$r_{2,\rho t+1} = r_{2,\rho t} + \frac{1}{2^n}(0 - r_{2,\rho t})$$

$$r_{2,\rho t+2} = r_{2,\rho t+1} + \frac{1}{2^n}(1 - r_{2,\rho t+1})$$

...

$$r_{2,\rho(t+1)-1} = r_{2,\rho(t+1)-2} + \frac{1}{2^n}(1 - r_{2,\rho(t+1)-2})$$

$$r_{2,\rho(t+1)} = r_{2,\rho(t+1)-1} + \frac{1}{2^n}(1 - r_{2,\rho(t+1)-1})$$

S_3 の指数 r_3 の漸化式は、 $t = 0, 1, \dots$ に対して

$$r_{3,0} = 1$$

$$r_{3,\rho t+1} = r_{3,\rho t} + \frac{1}{2^n}(1 - r_{3,\rho t})$$

$$r_{3,\rho t+2} = r_{3,\rho t+1} + \frac{1}{2^n}(0 - r_{3,\rho t+1})$$

...

$$r_{3,\rho(t+1)-1} = r_{3,\rho(t+1)-2} + \frac{1}{2^n}(1 - r_{3,\rho(t+1)-2})$$

$$r_{3,\rho(t+1)} = r_{3,\rho(t+1)-1} + \frac{1}{2^n}(1 - r_{3,\rho(t+1)-1})$$

...

S_k の指数 r_k の漸化式は、 $t = 0, 1, \dots$ に対して

$$r_{k,0} = 1$$

$$r_{k,\rho t+1} = r_{k,\rho t} + \frac{1}{2^n}(1 - r_{k,\rho t})$$

$$r_{k,\rho t+2} = r_{k,\rho t+1} + \frac{1}{2^n}(1 - r_{k,\rho t+1})$$

...

$$r_{k,\rho t+k-2} = r_{k,\rho t+k-3} + \frac{1}{2^n}(1 - r_{k,\rho t+k-3})$$

$$r_{k,\rho t+k-1} = r_{k,\rho t+k-2} + \frac{1}{2^n}(0 - r_{k,\rho t+k-2})$$

$$r_{k,\rho t+k} = r_{k,\rho t+k-1} + \frac{1}{2^n}(1 - r_{k,\rho t+k-1})$$

...

$$r_{k,\rho(t+1)-1} = r_{k,\rho(t+1)-2} + \frac{1}{2^n}(1 - r_{k,\rho(t+1)-2})$$

$$r_{k,\rho(t+1)} = r_{k,\rho(t+1)-1} + \frac{1}{2^n}(1 - r_{k,\rho(t+1)-1})$$

S_ρ の指数 r_ρ の漸化式は、 $t = 0, 1, \dots$ に対して

$$r_{\rho,0} = 1$$

$$r_{\rho,\rho t+1} = r_{\rho,\rho t} + \frac{1}{2^n}(1 - r_{\rho,\rho t})$$

$$r_{\rho,\rho t+2} = r_{\rho,\rho t+1} + \frac{1}{2^n}(1 - r_{\rho,\rho t+1})$$

...

$$r_{\rho,\rho(t+1)-1} = r_{\rho,\rho(t+1)-2} + \frac{1}{2^n}(0 - r_{\rho,\rho(t+1)-2})$$

$$r_{\rho,\rho(t+1)} = r_{\rho,\rho(t+1)-1} + \frac{1}{2^n}(1 - r_{\rho,\rho(t+1)-1})$$

S_1 の指数 $r_{1,\rho t}$ は、 $t = 1, 2, \dots$ に対して

$$r_{1,\rho t} = -\frac{1 - \frac{1}{2^n} - (1 - \frac{1}{2^n})^\rho}{1 - (1 - \frac{1}{2^n})^\rho} (1 - \frac{1}{2^n})^{\rho(t-1)} + \frac{1 - \frac{1}{2^n} - (1 - \frac{1}{2^n})^\rho}{1 - (1 - \frac{1}{2^n})^\rho}$$

$r_{i,j,\infty} = \lim_{t \rightarrow \infty} r_{i,\rho t+j}$ とすると

$$0 < 1 - \frac{1}{2^n} < 1$$

より、第1項は0になるので、

$$r_{1,0,\infty} = \lim_{t \rightarrow \infty} r_{1,\rho t} = \frac{1 - \frac{1}{2^n} - (1 - \frac{1}{2^n})^\rho}{1 - (1 - \frac{1}{2^n})^\rho}$$

$$r_{1,1,\infty} = \lim_{t \rightarrow \infty} r_{1,\rho t+1} = (1 - \frac{1}{2^n}) \left(\frac{1 - \frac{1}{2^n} - (1 - \frac{1}{2^n})^\rho}{1 - (1 - \frac{1}{2^n})^\rho} \right) + \frac{1}{2^n}$$

$$r_{1,2,\infty} = \lim_{t \rightarrow \infty} r_{1,\rho t+2} = (1 - \frac{1}{2^n})^2 \left(\frac{1 - \frac{1}{2^n} - (1 - \frac{1}{2^n})^\rho}{1 - (1 - \frac{1}{2^n})^\rho} \right) + \frac{1}{2^n} (1 - \frac{1}{2^n}) + \frac{1}{2^n}$$

...

$$r_{1,\rho,\infty} = \lim_{t \rightarrow \infty} r_{1,\rho(t+1)-1} = (1 - \frac{1}{2^n})^{(\rho-1)} \left(\frac{1 - \frac{1}{2^n} - (1 - \frac{1}{2^n})^\rho}{1 - (1 - \frac{1}{2^n})^\rho} \right) + \frac{1}{2^n} (1 - \frac{1}{2^n})^{(\rho-2)} + \dots + \frac{1}{2^n} (1 - \frac{1}{2^n}) + \frac{1}{2^n}$$

S_2 の指数 r_2 は、

$$r_{2,1} = 1 - \frac{1}{2^n}$$

$t = 1, 2, \dots$ に対して

$$r_{2,\rho t+1} = \left(1 - \frac{1}{2^n} - \frac{1 - \frac{1}{2^n} - (1 - \frac{1}{2^n})^\rho}{1 - (1 - \frac{1}{2^n})^\rho} \left(1 - \frac{1}{2^n}\right)^{\rho(t-1)}\right) + \frac{1 - \frac{1}{2^n} - (1 - \frac{1}{2^n})^\rho}{1 - (1 - \frac{1}{2^n})^\rho}$$

従って

$$0 < 1 - \frac{1}{2^n} < 1$$

より

$$\lim_{t \rightarrow \infty} r_{2,\rho t+1} = \frac{1 - \frac{1}{2^n} - (1 - \frac{1}{2^n})^\rho}{1 - (1 - \frac{1}{2^n})^\rho} = \lim_{t \rightarrow \infty} r_{1,\rho t}$$

S_k の指数 r_k は、

$$r_{k,k-1} = 1 - \frac{1}{2^n}$$

$t = 1, 2, \dots$ に対して

$$r_{k,\rho t+(k-1)} = \left(r_{k,k-1} - \frac{1 - \frac{1}{2^n} - (1 - \frac{1}{2^n})^\rho}{1 - (1 - \frac{1}{2^n})^\rho} \left(1 - \frac{1}{2^n}\right)^{\rho(t-1)}\right) + \frac{1 - \frac{1}{2^n} - (1 - \frac{1}{2^n})^\rho}{1 - (1 - \frac{1}{2^n})^\rho}$$

従って

$$0 < 1 - \frac{1}{2^n} < 1$$

より

$$\lim_{t \rightarrow \infty} r_{k,\rho t+(k-1)} = \frac{1 - \frac{1}{2^n} - (1 - \frac{1}{2^n})^\rho}{1 - (1 - \frac{1}{2^n})^\rho} = \lim_{t \rightarrow \infty} r_{1,\rho t}$$

...

S_ρ の指数 r_ρ は、

$$r_{\rho,\rho-1} = 1 - \frac{1}{2^n}$$

$t = 1, 2, \dots$ に対して

$$r_{k,\rho(t+1)-1} = \left(r_{k,k-1} - \frac{1 - \frac{1}{2^n} - (1 - \frac{1}{2^n})^\rho}{1 - (1 - \frac{1}{2^n})^\rho} \left(1 - \frac{1}{2^n}\right)^{\rho(t-1)}\right) + \frac{1 - \frac{1}{2^n} - (1 - \frac{1}{2^n})^\rho}{1 - (1 - \frac{1}{2^n})^\rho}$$

従って

$$0 < 1 - \frac{1}{2^n} < 1$$

より

$$\lim_{t \rightarrow \infty} r_{k, \rho t + (k-1)} = \frac{1 - \frac{1}{2^n} - (1 - \frac{1}{2^n})^\rho}{1 - (1 - \frac{1}{2^n})^\rho} = \lim_{t \rightarrow \infty} r_{1, \rho t}$$

以上より、 $S_1, S_2, \dots, S_\rho$ の指数は、いずれも $\lim_{t \rightarrow \infty} r_{1, \rho t}, \lim_{t \rightarrow \infty} r_{1, \rho t + 1}, \dots, \lim_{t \rightarrow \infty} r_{1, \rho(t+1)-1}$ の ρ 個の値の間で振動する。

ここで、

$$\lim_{n \rightarrow \infty} r_{1,0,\infty} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1 - \frac{1}{2^n} - (1 - \frac{1}{2^n})^\rho}{1 - (1 - \frac{1}{2^n})^\rho} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1 - \frac{1}{2^n} - \sum_{k=0}^{\rho} C_k 1^{\rho-k} (-\frac{1}{2^n})^\rho}{1 - \sum_{k=0}^{\rho} C_k 1^{\rho-k} (-\frac{1}{2^n})^\rho} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\rho - 1 - \frac{\rho^2}{2^n} + \dots}{\rho - \frac{\rho^2}{2^n} + \dots} = \frac{\rho - 1}{\rho}$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} r_{1,1,\infty} = \lim_{n \rightarrow \infty} \left((1 - \frac{1}{2^n}) \left(\frac{1 - \frac{1}{2^n} - (1 - \frac{1}{2^n})^\rho}{1 - (1 - \frac{1}{2^n})^\rho} \right) + \frac{1}{2^n} \right)$$

$$= \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{1 - \frac{1}{2^n} - (1 - \frac{1}{2^n})^\rho}{1 - (1 - \frac{1}{2^n})^\rho} \right) - \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{2^n} \left(\frac{1 - \frac{1}{2^n} - (1 - \frac{1}{2^n})^\rho}{1 - (1 - \frac{1}{2^n})^\rho} \right) + \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{2^n}$$

$$= \frac{\rho - 1}{\rho} = \lim_{n \rightarrow \infty} r_{1,0,\infty}$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} r_{1,2,\infty} = \lim_{n \rightarrow \infty} \left((1 - \frac{1}{2^n})^2 \left(\frac{1 - \frac{1}{2^n} - (1 - \frac{1}{2^n})^\rho}{1 - (1 - \frac{1}{2^n})^\rho} \right) + \frac{1}{2^n} (1 - \frac{1}{2^n}) + \frac{1}{2^n} \right)$$

$$= \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1 - \frac{1}{2^n} - (1 - \frac{1}{2^n})^\rho}{1 - (1 - \frac{1}{2^n})^\rho} + \lim_{n \rightarrow \infty} \left(-\frac{2}{2^n} + \frac{1}{2^{2n}} \right) \left(\frac{1 - \frac{1}{2^n} - (1 - \frac{1}{2^n})^\rho}{1 - (1 - \frac{1}{2^n})^\rho} \right) + \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{2^n} (1 - \frac{1}{2^n}) + \frac{1}{2^n} \right)$$

$$= \frac{\rho - 1}{\rho} = \lim_{n \rightarrow \infty} r_{1,0,\infty}$$

...

$$\begin{aligned} \lim_{n \rightarrow \infty} r_{1,\rho,\infty} &= \lim_{n \rightarrow \infty} \left((1 - \frac{1}{2^n})^{(\rho-1)} \left(\frac{1 - \frac{1}{2^n} - (1 - \frac{1}{2^n})^\rho}{1 - (1 - \frac{1}{2^n})^\rho} \right) + \frac{1}{2^n} (1 - \frac{1}{2^n})^{(\rho-2)} + \dots + \frac{1}{2^n} (1 - \frac{1}{2^n}) + \frac{1}{2^n} \right) \\ &= \frac{\rho - 1}{\rho} = \lim_{n \rightarrow \infty} r_{1,0,\infty} \end{aligned}$$

以上 n が ∞ に近づくとき、 $S_1, S_2, S_3, \dots, S_k$ の指数の極限值はいずれも $\frac{\rho-1}{\rho}$ であることを示した。

付録C 繰り返し演算による産業連関分析の方法

C.1 産業連関分析の基本的な考え方

産業連関分析では、列方向の合計である国内生産額 x_j の生産のための中間投入額 x_{ij} の比率 $a_{ij} = x_{ij}/x_j$ を投入係数行列 A として、投入された最終需要 f を外生の入力とし、 $Ax + f = x$ を満たす解 x を求める。

エージェント・ベース・モデルのシミュレーターとして、SOARS 4.1.0([136]) を利用した。

内生部門、付加価値部門、最終需要部門の行列要素をエージェントとし、行計と列計の国内生産額を保持する各セルをスポットとする。

初期状態において、各列に所属する各セルのエージェントは、列計を保持するスポットに移動し、自らの保持する値と、列計の国内生産額の比率、すなわち投入係数または付加価値係数を演算し、保持する。

行計を求める際には、行に所属する各セルのエージェントが、行計を保持するスポットに移動し、自らの保持する値を合計値に加算する。

行計のスポットの情報を、対応する列計のスポットに伝達するエージェントを設定する。

1. 行と列が 1 対 1 に対応するケースでは、行計を対応する列計に伝達する。
 2. 行と列が多対 1 に対応するケースでは、行計を対応する列計に伝達し、列計は複数の行計を合算処理する。
 3. 行と列が 1 対多に対応するケースでは、初期状態における列計の比率に応じて、行計を分割し、列に伝達する。この場合は、1 つの行計スポットに対して、複数の伝達エージェントが対応し、それぞれが担当する列計の比率を保持し、行計にその比率を乗ずることで対応する列計に分割額を伝達する。以上の仕様に対応するために、1 つの行計スポットに対して、複数の伝達エージェントが対応できるようにし、それぞれが分割比率を変数として持つ。
1. 及び 2. では分割比率が 1 になる。これで行と列の対応関係に関わらず共通の仕組みで

操作することができる。

列計が決定したら、各列に所属する各セルのエージェントは、列計を保持するスポットに移動し、列計の国内生産額を受け取り、自らの保持する投入係数または付加価値係数を乗じて、投入額または付加価値額を演算する。

以上は、最終需要の変化による国内生産額の変化とそれに応じた投入額への波及に対応している。従って、以上の計算を繰り返して行うことで最終的な波及額に達して均衡する。実用上は変化する内生部門の各セルのエージェントが保持する値を前回の値と比較し、全セルの中で最大の差分が設定値以下となったところで演算を終えることで十分である。経済産業省の延長産業連関表では、提供されるデータ値が100万円単位であるので、その100分の1、1万円以下の差分となるまで繰り返せば十分である。

C.2 繰り返し演算による非正方行列の取り扱いと正方行列の関係

前節の繰り返し演算による非正方行列の処理は、統合される行の各要素を分割比率で配分した正方行列を仮定したのと同様であることを示す。

4産業4商品の正方行列で示される産業連関表による産業連関分析は次の通り。

$$\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \\ f_4 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \tilde{x}_1 \\ \tilde{x}_2 \\ \tilde{x}_3 \\ \tilde{x}_4 \end{vmatrix}$$

このとき

$$\tilde{x}_3 = a_{31} * x_1 + a_{32} * x_2 + a_{33} * x_3 + a_{34} * x_4 + f_3$$

$$\tilde{x}_4 = a_{41} * x_1 + a_{42} * x_2 + a_{43} * x_3 + a_{44} * x_4 + f_4$$

だから

$$\tilde{x}_3 + \tilde{x}_4 = (a_{31} + a_{41}) * x_1 + (a_{32} + a_{42}) * x_2 + (a_{33} + a_{43}) * x_3 + (a_{34} + a_{44}) * x_4 + f_3 + f_4$$

ここで、商品3と商品4を統合した非正方行列を考えると、次の通り。

$$\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} + a_{41} & a_{32} + a_{42} & a_{33} + a_{43} & a_{34} + a_{44} \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 + f_4 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \tilde{x}_1 \\ \tilde{x}_2 \\ \tilde{x}_3 + \tilde{x}_4 \end{vmatrix}$$

このとき

$$\tilde{x}_3 + \tilde{x}_4 = (a_{31} + a_{41}) * x_1 + (a_{32} + a_{42}) * x_2 + (a_{33} + a_{43}) * x_3 + (a_{34} + a_{44}) * x_4 + f_3 + f_4$$

である。

前節の方法では、 $\tilde{x}_3 + \tilde{x}_4$ を特定の比率 $\alpha : \beta$ で分割して、新たな x_3, x_4 とする。

この比率について

$$\alpha : \beta = \tilde{x}_3 : \tilde{x}_4$$

であれば、正方行列を用いた場合と一致することになる。

そこで、 $a_{31} + a_{41}, a_{32} + a_{42}, a_{33} + a_{43}, a_{34} + a_{44}, f_3 + f_4$ が既知の時、

$$\beta = 1 - \alpha, 0 < \alpha < 1$$

とし、比率 α, β により

$$a_{31} = \alpha * (a_{31} + a_{41})$$

$$a_{32} = \alpha * (a_{32} + a_{42})$$

$$a_{33} = \alpha * (a_{33} + a_{43})$$

$$a_{34} = \alpha * (a_{34} + a_{44})$$

$$f_3 = \alpha * (f_3 + f_4)$$

$$a_{41} = \beta * (a_{31} + a_{41})$$

$$a_{42} = \beta * (a_{32} + a_{42})$$

$$a_{43} = \beta * (a_{33} + a_{43})$$

$$a_{44} = \beta * (a_{34} + a_{44})$$

$$f_4 = \beta * (f_3 + f_4)$$

となるよう定めれば、

$$\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ \alpha * (a_{31} + a_{41}) & \alpha * (a_{32} + a_{42}) & \alpha * (a_{33} + a_{43}) & \alpha * (a_{34} + a_{44}) \\ \beta * (a_{31} + a_{41}) & \beta * (a_{32} + a_{42}) & \beta * (a_{33} + a_{43}) & \beta * (a_{34} + a_{44}) \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} f_1 \\ f_2 \\ \alpha * (f_3 + f_4) \\ \beta * (f_3 + f_4) \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \tilde{x}_1 \\ \tilde{x}_2 \\ \tilde{x}_3 \\ \tilde{x}_4 \end{vmatrix}$$

において、

$$\tilde{x}_3 = \alpha * ((a_{31} + a_{41}) * x_1 + (a_{32} + a_{42}) * x_2 + (a_{33} + a_{43}) * x_3 + (a_{34} + a_{44}) * x_4 + (f_3 + f_4))$$

$$\tilde{x}_4 = \beta * ((a_{31} + a_{41}) * x_1 + (a_{32} + a_{42}) * x_2 + (a_{33} + a_{43}) * x_3 + (a_{34} + a_{44}) * x_4 + (f_3 + f_4))$$

となり、 $\tilde{x}_3 + \tilde{x}_4$ を $\alpha : \beta$ の比率で分割したのと同じである。

以上は、4 産業 4 商品について、1 商品を 2 分割した場合の事例である。

一般化のためには、 $m \times n$ 行列で任意の行 k を k_1 と k_2 に分割するケースを考えれば良い。

任意の品目数への分割は、 k を k_1 と k_2 に分割することを繰り返すことで足りる。

前述の例で 3 行を比率 $\alpha : \beta$ で分割した操作を、 k 行に対して行うことができる。

したがって、前節において、非正方行列を用いた産業連関分析で、配分比率により繰り返し演算法を用いる手法については、計数行列と最終需要ベクトルを配分比率により分割して、正方行列として処理することで、同様の処理が可能である。

C.3 輸入額の取り扱い

輸入額は列計の国内生産額には波及しない。 輸入額の取り扱いについては、産業連関分析でもいくつかの考え方に分かれる。

宮沢 (2002)([137]) は、競争輸入型モデルの 3 ケース

1. 国内最終需要額 F と輸入額 M が既知の場合
2. F が既知で M が国内生産 X に比例する場合

3. Fが既知でMが国内総需要に比例している場合

と、非競争輸入型モデルの4つのケースに分類して説明している。

FとMを既知とした場合、問題が生じたのが原油など国内生産額がごくわずかながら存在するが大半が輸入のケースである。Mは既知で固定されているため、供給不足分の生産が国内生産に求められることになり、現実には生産されている額に比べてはるかに大きな額が推計される結果となった。2.「Fが既知でMが国内生産Xに比例する場合」、3.「Fが既知でMが国内総需要に比例している場合」及び非競争輸入型モデルではこの問題は回避できる。

ここでは、平成17年産業連関表において提供されている、産業別中間投入品目別及び最終需要項目別品目別の輸入額比率を用いて、商品別産業別のセルごとの輸入額を合算して輸入額を計算することとした。これは非競争輸入型モデルに相当する。

C.4 屑・副産物の取り扱い

屑・副産物の発生額は、目的とする主産物の生産に付随して生産されるため、屑・副産物を発生する産業の国内生産額に比例するものとする。一方、屑・副産物の投入額は、在庫品増減や輸出入の額と合算したとき、屑・副産物の発生額と一致しなければならない。このように調整することで、屑・副産物は国内生産額がゼロとなる。

「古紙」「鉄屑」「非鉄金属屑」は、基本分類では単独の品目として独立した行に割り当てられているが、「その他のガラス製品」や「その他のプラスチック製品」など、主生産物と統合して表示されている屑・副産物が存在する。平成17年産業連関表([126])では、屑・副産物の投入・発生が分離して表示されているが、経済産業省延長産業連関表([124]、以下「延長産業連関表」と表記する。)では、屑・副産物の投入・発生と主生産物は統合して表示されている。そこで、延長産業連関表から、屑・副産物の投入・発生と主生産物を分離するための推計を行う。平成17年産業連関表で、屑・副産物の投入または発生のためのセルについては、延長産業連関表においても屑・副産物の投入または発生のみであるとみなして、そのまま屑・副産物の投入または発生と推定する。それ以外のセルについては、屑・副産物の発生については、産業別の国内生産額に比例し、係数は変動しないものとして発生額を推計する。屑・副産物の投入については、産業別投入額の総投入額に対する比率が変化しないものとして投入額を推計する。屑・副産物の発生及び投入額を以上により仮置きし、表示額から控除することで主生産物の投入額を推計する。ここで、主生産物の投入額は負には成りえないので、控除した結果が負の場合には、屑・副産物の投入額を再調整

する必要がある。他の産業の屑・副産物投入額を増加することで調整可能な場合は、産業ごとに当初の投入額に比例する額を追加配分することで調整する。いずれの産業も主生産物の投入の負値が避けられない場合には、屑・副産物の発生額の推計値が多すぎたと判断される。この場合には、屑・副産物の投入が全産業でゼロになることは不自然であるので、投入額の国内生産額に対する比率が基準年と同一であると仮定して、投入額を先に確定し、投入額と発生額が一致するように、発生額を仮置きした発生額に比例する割合で配分する。

モデル上は、主生産物とは独立した屑と副産物の発生と投入の行を設ける。いずれも主生産物と同様に、列の産業別国内生産額に比例して、屑・副産物の発生・投入額の仮置き額が計算される。屑・副産物の発生額の行計（負値）を、対応する屑・副産物の投入額の行計（正值）に合算し、投入側で調整すべき額を算出する。屑・副産物の投入額の仮置き額の比率でこの調整すべき額を比例配分し、産業ごとの屑・副産物投入額を計算し、調整する。この時、投入額は負値であってはならないので、計算結果が負になる場合はゼロに修正する。次に、産業ごとの屑・副産物投入の調整額を対応する主生産物の投入額に適用する。すなわち、屑・副産物の投入を減らした場合には、主生産物の投入で補い、増やした場合には、主生産物の投入を控除することで、屑・副産物と主生産物の投入合計額が当初の仮置きと一致するように調整する。

C.5 対象データ

経済産業省延長産業連関表の基本分類データとデフレーターを平成 20 年及び 21 年について平成 17 年基準価格で実質化する。平成 17 年産業連関表基本表の屑・副産物と主生産物の比率を利用する。平成 21 年の輸入額を除く最終需要額を与えた時、均衡状態における各行の国内生産額を求める。

付録D 水稲農家の耕作規模が経済に与える影響の将来推計の方法

D.1 推計方法

水稲農家の耕作規模が経済に与える影響の将来推計の方法について説明する。

世界農林業センサスは5年ごとに行われている。ここでは、2005年と2010年の結果を利用して、2015年～2030年までの5年ごとの耕作規模別事業者数を推計し、その生産額の比率を平成20年の延長産業連関表を平成17年価格にデフレートし、屑・副産物を分離推計した産業連関表に適用した場合の、産業連関分析を行う。

2010年世界農林業センサスから、2010年における水稲農家の耕作規模別事業者数が得られる。これをエージェント数とする。

2010年の世界農林業センサスにより、都道府県別に2005年における水稲農家の耕作規模別の、2010年における耕作規模別事業者数が得られる。この中には、2005年に生産していたが、2010年には生産していない事業者数も含まれる。

このマトリックスを5年間の耕作規模の変化率マトリックスとする。各水稲農家は、2010年から5年ごとに、この変化率マトリックスの確率に従って耕作規模を変化させるものとする。こうして、2015年、2020年、2025年、2030年における耕作規模別のエージェント数を得る。

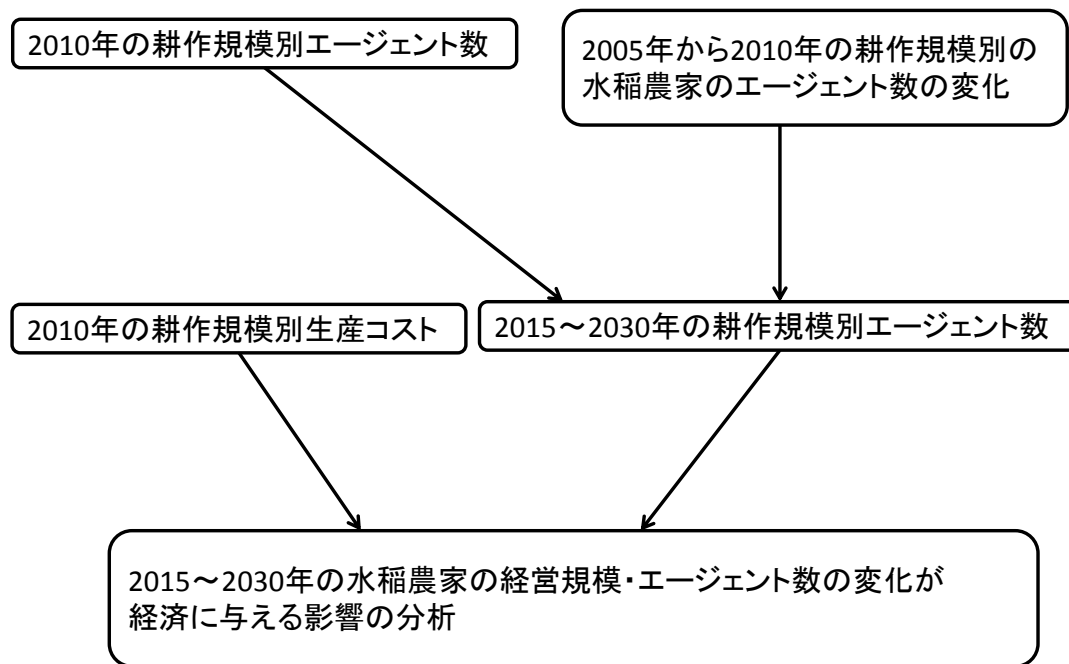


図 D.1: 水稲農家の将来推計の手順

D.2 データ及び推計結果

データ及び推計方法の詳細について、北海道の例で説明する。

2010年世界農林業センサス・確報・第6巻 農業構造動態統計報告書・都道府県別統計・北海道・「8 稲を作った田の面積規模別経営体数の相関表」を図 D.2 に示す。このデータは、経営体数を単位としている。

このデータから作付面積別の割合を求めるためには、各作付面積階級別の代表値を設定する必要がある。0.3ha 以上 15ha 未満の階級については、階級の上限と下限の平均値を代表値とする。

0.3ha 未満及び 15ha 以上の階級については、都道府県別に次のデータから計算する。

区 分		総経営農業者数（平成22年）														計	総経営農業者数以外
		稲を作った田の面積規模別経営体数															
		稲を作った田なし	0.3ha未満	0.3～0.5	0.5～1.0	1.0～1.5	1.5～2.0	2.0～3.0	3.0～4.0	4.0～5.0	5.0～7.5	7.5～10.0	10.0～15.0	15.0ha以上			
総経営農業者数 （平成17年）	稲を作った田の面積規模別経営体数	稲を作った田なし	21,825	12	22	19	18	17	25	19	12	24	23	17	12	22,175	12,253
		0.3 ha 未満	75	67	10	3	1	1	1		1					160	165
		0.3 ～ 0.5	89	10	165	15	3	3	5	1	2					302	292
		0.5 ～ 1.0	145	10	23	322	24	4	4	2	1	2	1		1	541	562
		1.0 ～ 1.5	120	5	12	49	308	28	21	7	4	5	1	3		563	406
		1.5 ～ 2.0	101	3	9	25	65	232	66	10	5	4	3	3		526	382
		2.0 ～ 3.0	206	2	10	28	44	94	627	123	42	21	8	8	2	1,213	802
		3.0 ～ 4.0	151	3	9	21	16	26	154	575	141	80	25	8	4	1,222	777
		4.0 ～ 5.0	130	2	3	12	10	30	56	191	515	390	31	21	5	1,194	731
		5.0 ～ 7.5	100	3	4	10	10	16	56	93	221	1,513	409	144	24	2,700	1,386
		7.5 ～ 10.0	75		1	4	1	4	15	22	32	288	880	405	60	1,785	806
		10.0 ～ 15.0	44			2	2	4	6	5	14	58	231	1,244	416	2,020	624
		15.0 ha 以上	14	1		2		1	2		1	6	15	92	720	850	241
		平成17年が農業経営体以外		23,312	120	268	513	502	460	1,040	1,018	990	2,223	1,624	1,945	1,548	35,269
推 定		6,713	80	154	273	207	172	328	320	348	746	553	552	316	10,774		
22 年 農 業 経 営 体 数		30,454	212	424	787	714	633	1,373	1,348	1,340	2,983	2,183	2,504	1,591	46,549		

図 D.2: 北海道の水稲農家の耕作規模推移

2010 年世界農林業センサス・確報・第 4 巻 農業経営体調査報告書 - 農業経営部門別編
 第 1 集 -・販売農家・水稲部門 - 販売目的で作付けた水稲作付面積規模別統計・「1 販売目的の作物の類別作付（栽培）農家数と作付（栽培）面積」を図 D.3 に示す。この中で、水稲の作付面積及び作付農家数から、0.3ha 未満の平均作付面積及び 15ha 以上の平均作付面積を求める。

農業経営体 I 水稲部門

1 販売目的の作物の類別作付（栽培）経営体数と作付（栽培）面積

単位 { 経営体数：経営体
面積：ha

販売目的の 水稲作付 面積規模別	水 稲	
	作 付 経営体数	作 付 面 積
北 海 道 1	15,910	113,098
0.1 ha 未 満 2	15	1
0.1 ～ 0.3 3	178	38
0.3 ～ 0.5 4	371	144
0.5 ～ 1.0 5	841	622
1.0 ～ 2.0 6	1,380	2,086
2.0 ～ 3.0 7	1,421	3,554
3.0 ～ 5.0 8	2,749	11,020
5.0 ～ 10.0 9	5,236	38,076
10.0 ～ 15.0 10	2,345	28,462
15.0 ha 以 上 11	1,374	29,094
うち、稲作販売収入8割以上 12	6,967	56,191
0.1 ha 未 満 13	3	0
0.1 ～ 0.3 14	26	6
0.3 ～ 0.5 15	90	36
0.5 ～ 1.0 16	277	208
1.0 ～ 2.0 17	519	791
2.0 ～ 3.0 18	592	1,490
3.0 ～ 5.0 19	1,125	4,549
5.0 ～ 10.0 20	2,277	16,674
10.0 ～ 15.0 21	1,210	14,780
15.0 ha 以 上 22	848	17,657
うち、稲作販売収入8～6割 23	3,473	31,120
0.1 ha 未 満 24	-	-
0.1 ～ 0.3 25	3	1
0.3 ～ 0.5 26	18	7
0.5 ～ 1.0 27	62	47
1.0 ～ 2.0 28	139	214
2.0 ～ 3.0 29	146	367
3.0 ～ 5.0 30	438	1,763
5.0 ～ 10.0 31	1,471	10,919
10.0 ～ 15.0 32	817	9,906
15.0 ha 以 上 33	379	7,895

図 D.3: 北海道の販売目的の水稲の作付（栽培）農家数と作付（栽培）面積

表 D.1: 都道府県別 0.3ha 未満及び 15ha 以上の平均作付面積

都道府県名	0.3ha 未満 (ha)	15ha 以上 (ha)
北海道	0.20	21.17
青森県	0.21	31.14
岩手県	0.21	33.41
宮城県	0.22	36.08
秋田県	0.23	24.02
山形県	0.19	49.94
福島県	0.20	22.24
新潟県	0.21	27.94
富山県	0.23	27.09
石川県	0.21	24.81
福井県	0.21	26.24
茨城県	0.20	25.29
栃木県	0.21	25.20
群馬県	0.19	24.74
埼玉県	0.19	25.93
千葉県	0.21	24.59
東京都	0.16	-
神奈川県	0.17	-
山梨県	0.18	22.00
長野県	0.19	36.70
岐阜県	0.19	30.90
静岡県	0.18	27.00
愛知県	0.19	31.43
三重県	0.20	26.12
滋賀県	0.20	26.70
京都府	0.16	20.62
大阪府	0.19	25.67
兵庫県	0.20	22.21

-は、経営体数 0

表 D.1: 都道府県別 0.3ha 未満及び 15ha 以上の平均作付面積

都道府県名	0.3ha 未満 (ha)	15ha 以上 (ha)
奈良県	0.20	29.67
和歌山県	0.18	-
鳥取県	0.20	26.07
島根県	0.20	23.35
岡山県	0.21	23.06
広島県	0.20	22.65
山口県	0.20	27.45
徳島県	0.19	28.83
香川県	0.21	28.87
愛媛県	0.19	21.40
高知県	0.18	23.38
福岡県	0.19	32.11
佐賀県	0.20	35.20
長崎県	0.19	19.14
熊本県	0.20	32.39
大分県	0.20	22.08
宮崎県	0.19	20.56
鹿児島県	0.18	21.67
沖縄県	0.18	18.00

-は、経営体数 0

エージェント数の推計値にこれらの都道府県別規模別平均作付面積を乗じて、全国計を集計することで、全国の作付面積別水稲耕作面積の推定値が図 D.4 として得られる。

単位:ha

	2005	2010	2015	2020	2025	2030
稲 を 作 っ た 田 な し	0	0	0	0	0	0
0.3 ha 未 満	247014	40949	28501	20805	11946	9251
0.3 ～ 0.5	734373	112897	86898	66389	39328	30630
0.5 ～ 1.0	1570797	266174	202892	156651	95768	75652
1.0 ～ 1.5	1012780	162093	129965	103922	66870	53918
1.5 ～ 2.0	683837	108638	88318	72216	48682	40098
2.0 ～ 3.0	839095	138558	115327	96835	68732	57942
3.0 ～ 4.0	446072	87313	77945	68644	52206	45226
4.0 ～ 5.0	271647	61058	57525	53053	43311	38577
5.0 ～ 7.5	387525	103419	99593	95494	84314	77724
7.5 ～ 10.0	180688	62842	61444	60587	57203	54436
10.0 ～ 15.0	196288	82525	86088	88654	90968	90252
15.0 ha 以 上	300113	183687	201863	224630	269346	287518

図 D.4: 2005 年から 2030 年の作付（栽培）面積別水稻耕作面積推定値

これらの水稻耕作面積を全耕作面積に対する比率で表示すると図 D.5 の通りである。

	2005	2010	2015	2020	2025	2030
稲 を 作 っ た 田 な し						
0.3 ha 未 満	3.6%	2.9%	2.3%	1.9%	1.3%	1.1%
0.3 ～ 0.5	10.7%	8.0%	7.0%	6.0%	4.2%	3.6%
0.5 ～ 1.0	22.9%	18.9%	16.4%	14.1%	10.3%	8.8%
1.0 ～ 1.5	14.7%	11.5%	10.5%	9.4%	7.2%	6.3%
1.5 ～ 2.0	10.0%	7.7%	7.1%	6.5%	5.2%	4.7%
2.0 ～ 3.0	12.2%	9.8%	9.3%	8.7%	7.4%	6.7%
3.0 ～ 4.0	6.5%	6.2%	6.3%	6.2%	5.6%	5.3%
4.0 ～ 5.0	4.0%	4.3%	4.7%	4.8%	4.7%	4.5%
5.0 ～ 7.5	5.6%	7.3%	8.1%	8.6%	9.1%	9.0%
7.5 ～ 10.0	2.6%	4.5%	5.0%	5.5%	6.2%	6.3%
10.0 ～ 15.0	2.9%	5.9%	7.0%	8.0%	9.8%	10.5%
15.0 ha 以 上	4.4%	13.0%	16.3%	20.3%	29.0%	33.4%

図 D.5: 2005 年から 2030 年の作付（栽培）面積別水稻耕作面積推定比率

次に、稲作の耕作面積別の費用構成のデータを確認する。

農林水産省「農業経営統計調査・営農類型別経営統計（個別経営）・確報・平成 22 年営農類型別経営統計（個別経営、第 1 分冊、水田作・畑作経営編）・水田作経営（経営全体）・全国（水田作作付延べ面積規模別）・農業粗収益、農業経営費」より、2010 年の水田作作付延べ面積規模別の稲作部門粗収益と経営費を抜粋すると図 D.6 の通りである。経営費のう

ち、中間投入以外の費目は網掛け表示した。

		0.5ha未満	0.5～1.0	1.0～2.0	2.0～3.0	3.0～5.0	5.0～7.0	7.0～10.0	10.0～15.0	15.0～20.0	20.0ha以上
稲作部門粗収益	部門粗収益	409	837	1665	2761	4195	5682	7297	11945	14909	20167
	稲作収入	354	697	1294	2135	3195	4286	5447	8813	11102	14601
	農業雑収入	55	140	371	626	1000	1396	1850	3032	3807	5566
	部門現金収入	314	661	1225	2066	3163	4252	5408	8792	11104	14529
	(勘定別内訳)										
稲作部門経営費	部門経営費	527	885	1364	2090	2988	3873	4836	7639	9333	13125
	稲作収入	354	697	1294	2135	3195	4286	5447	8813	11102	14601
	農業雑収入	55	140	371	626	1000	1396	1850	3032	3807	5566
	部門現金収入	314	661	1225	2066	3163	4252	5408	8792	11104	14529
	農業生産関連事業消費	-	0	-	-	0	3	-	1	11	3
	生産現物家計消費	52	57	75	71	75	68	82	87	91	108
	農業雇用労賃	5	11	8	22	31	68	62	181	179	643
	種苗・苗木	26	28	46	68	95	108	113	172	206	317
	肥料	40	73	127	203	300	427	530	748	1019	1398
	農業薬剤	32	55	102	165	241	347	415	635	780	1093
	諸材料	7	17	30	47	74	87	131	210	258	324
	光熱動力	18	39	66	141	165	212	245	421	513	689
	農用自動車	35	56	59	106	106	109	141	274	299	358
	農機具	149	288	399	593	845	1038	1197	1828	2274	3057
	農用建物	77	85	112	139	170	191	228	403	419	631
	賃借料	21	50	88	141	233	274	364	620	816	1263
	作業委託料	64	70	100	57	25	64	75	72	26	57
	土地改良・水利費	12	39	73	113	172	199	273	430	501	570
	支払小作料	2	8	28	76	218	373	513	681	894	1278
	物件税及び公課諸負担	25	42	63	90	119	131	159	326	398	491
	負債利子	1	2	2	7	20	25	46	143	153	185
	企画管理費	4	5	8	18	21	28	41	77	111	118
	包装荷造・運搬等	4	8	18	42	46	63	95	112	123	131
	農業雑支出	5	9	35	62	107	131	208	306	364	522
	(勘定別内訳)										
	部門現金支出	320	559	929	1462	2173	2859	3736	5980	7292	10365
	減価償却費	207	328	438	626	815	1007	1104	1659	2022	2709

図 D.6: 2010 年の水田作付延べ面積規模別稲作部門粗収益と経営費

これを中間投入及び付加価値の比率として表示すると、図 D.7 の通りである。

	0.5ha未満	0.5～1.0	1.0～2.0	2.0～3.0	3.0～5.0	5.0～7.0	7.0～10.0	10.0～15.0	15.0～20.0	20.0ha以上
種苗・苗木	7.30%	4.00%	3.60%	3.20%	3.00%	2.50%	2.10%	2.00%	1.90%	2.20%
肥料	11.30%	10.50%	9.80%	9.50%	9.40%	10.00%	9.70%	8.50%	9.20%	9.60%
農業薬剤	9.00%	7.90%	7.90%	7.70%	7.50%	8.10%	7.60%	7.20%	7.00%	7.50%
諸材料	2.00%	2.40%	2.30%	2.20%	2.30%	2.00%	2.40%	2.40%	2.30%	2.20%
光熱動力	5.10%	5.60%	5.10%	6.60%	5.20%	4.90%	4.50%	4.80%	4.60%	4.70%
賃借料	5.90%	7.20%	6.80%	6.60%	7.30%	6.40%	6.70%	7.00%	7.40%	8.70%
作業委託料	18.10%	10.00%	7.70%	2.70%	0.80%	1.50%	1.40%	0.80%	0.20%	0.40%
企画管理費	1.10%	0.70%	0.60%	0.80%	0.70%	0.70%	0.80%	0.90%	1.00%	0.80%
包装荷造・運搬等	1.10%	1.10%	1.40%	2.00%	1.40%	1.50%	1.70%	1.30%	1.10%	0.90%
農業雑支出	1.40%	1.30%	2.70%	2.90%	3.30%	3.10%	3.80%	3.50%	3.30%	3.60%
中間投入計	62.40%	50.80%	47.90%	44.20%	40.90%	40.60%	40.70%	38.30%	38.00%	40.50%
付加価値部門	37.60%	49.20%	52.10%	55.80%	59.10%	59.40%	59.30%	61.70%	62.00%	59.50%
収入	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

図 D.7: 2010 年の水田作付延べ面積規模別経営費の割合

一方、平成 20 年延長産業連関表の「米」産業の費用構成は「農業サービス（獣医を除く）」が 14.96% を占めているが、図 D.7 の項目との対応関係は明らかではない。規模別の加重平均では、概ね、「賃貸料」と「委託作業料」の合算額が同程度である。そこで、図 D.7 の「賃貸料」と「委託作業料」が「農業サービス（獣医を除く）」に対応するものとし、他の中間投入品目は合算して、平成 20 年延長産業連関表の比率で配賦することにより、水田作付延べ面積規模別の投入額を作成した。付加価値項目についても、合算して、平成 20 年産業連関表の比率で配賦した。結果を図 D.8 に示す。

米_成品	2697	4149	4197	2248	2262	1572	953	1166	2637
稲わら_成品	271	417	422	226	227	158	96	117	265
その他の酪農生産物_成品	1431	2201	2226	1193	1200	834	505	618	1399
鶏卵_成品	403	620	627	336	338	235	142	174	394
肉鶏_成品	210	323	326	175	176	122	74	91	205
豚_成品	30	47	47	25	25	18	11	13	30
肉用牛_成品	1103	1697	1716	919	925	643	389	477	1078
その他の畜産_成品	2	3	3	2	2	1	1	1	2
農業サービス(除獣医薬)_成品	48404	61112	52453	17136	15977	10876	6754	8641	20362
有機質肥料(除別掲)_成品	6195	9533	9642	5165	5197	3611	2188	2678	6059
綱・網_成品	3	5	5	3	3	2	1	1	3
その他の繊維工業製品_成品	51	78	79	42	43	30	18	22	50
織物製衣服_成品	220	339	343	184	185	128	78	95	215
ニット製衣服_成品	46	71	72	39	39	27	16	20	45
その他の衣服・身の回り品_成品	244	375	379	203	204	142	86	105	238
その他の繊維既製品_成品	262	402	407	218	219	152	92	113	256
その他の紙製容器_成品	252	387	392	210	211	147	89	109	246
化学肥料_成品	10353	15930	16112	8631	8684	6035	3657	4475	10125
その他の無機化学工業製品_成品	53	81	82	44	44	31	19	23	52
石けん・合成洗剤_成品	16	25	26	14	14	10	6	7	16
農業_成品	12453	19162	19381	10381	10446	7259	4399	5383	12179
その他の化学最終製品(除別掲)_成品	1	2	2	1	1	1	0	0	1
ガソリン_成品	1720	2646	2676	1433	1442	1002	607	743	1682
灯油_成品	620	955	966	517	520	362	219	268	607
軽油_成品	2180	3354	3392	1817	1828	1271	770	942	2132
液化石油ガス_成品	2	3	3	2	2	1	1	1	2
その他の石油製品_成品	208	319	323	173	174	121	73	90	203
プラスチックフィルム・シート_成品	267	411	416	223	224	156	94	116	261
プラスチック板・管・棒_成品	7	11	11	6	6	4	2	3	7
タイヤ・チューブ_成品	79	122	123	66	66	46	28	34	77
ゴム製履物_成品	42	65	66	35	35	25	15	18	41
プラスチック製履物_成品	30	46	47	25	25	18	11	13	29
その他のゴム製品_成品	1	2	2	1	1	1	1	1	1
かばん・袋物・その他の革製品_成品	5	7	7	4	4	3	2	2	5
研磨材_成品	11	16	17	9	9	6	4	5	10
その他の窯業・土石製品_成品	900	1385	1400	750	755	525	318	389	880
刃物及び道具類_成品	534	822	832	445	448	312	189	231	523
内燃機関電装品_成品	0	0	0	0	0	0	0	0	0
電球類_成品	1	1	1	1	1	0	0	0	1
電池_成品	1	1	1	0	0	0	0	0	1
自動車用内燃機関・同部分品_成品	0	1	1	0	0	0	0	0	0
自動車部品_成品	2	3	3	2	2	1	1	1	2
分析器・試験機・計量器・測定器_成品	1	2	2	1	1	1	0	1	1
畳・わら加工品_成品	9	14	14	7	7	5	3	4	9
その他の製造工業製品_成品	2	4	4	2	2	1	1	1	2
再生資源回収・加工処理_成品	36	56	56	30	30	21	13	16	35
建設補修_成品	2042	3142	3178	1703	1713	1190	721	883	1997
事業用電力_成品	1929	2968	3002	1608	1618	1124	681	834	1887
都市ガス_成品	1	2	2	1	1	1	0	0	1
上水道・簡易水道_成品	5	8	8	4	4	3	2	2	5
下水道★★_成品	1	2	2	1	1	1	0	0	1
卸売_成品	6407	9859	9971	5341	5374	3735	2263	2770	6266
小売_成品	4206	6472	6546	3506	3528	2452	1486	1818	4113
公的金融(帰属利子)_成品	35	55	55	30	30	21	13	15	35
民間金融(帰属利子)_成品	945	1454	1470	787	792	551	334	408	924
公的金融(手数料)_成品	9	14	14	7	7	5	3	4	9
民間金融(手数料)_成品	406	624	632	338	340	237	143	175	397
損害保険_成品	2943	4528	4580	2453	2469	1716	1040	1272	2878
不動産賃貸業_成品	10	15	15	8	8	6	3	4	9
鉄道貨物輸送_成品	60	93	94	50	50	35	21	26	59
道路貨物輸送(除自家輸送)_成品	2615	4024	4070	2180	2194	1524	924	1131	2558
沿海・内水面貨物輸送_成品	197	302	306	164	165	115	69	85	192
港湾運送_成品	609	938	948	508	511	355	215	263	596
国内航空貨物輸送_成品	0	0	0	0	0	0	0	0	0
貨物利用運送_成品	127	195	198	106	107	74	45	55	124
倉庫_成品	291	448	453	243	244	170	103	126	285
道路輸送施設提供_成品	408	628	636	340	343	238	144	177	399
郵便・信書便_成品	51	78	79	42	42	30	18	22	50
固定電気通信_成品	14	21	21	11	12	8	5	6	13
移動電気通信_成品	7	11	11	6	6	4	2	3	7
その他の電気通信_成品	8	12	12	7	7	5	3	3	8
公共放送_成品	9	14	14	8	8	5	3	4	9
ソフトウェア業_成品	73	113	114	61	62	43	26	32	72
情報処理・提供サービス_成品	139	215	217	116	117	81	49	60	136
インターネット附随サービス_成品	6	10	10	5	5	4	2	3	6
その他の教育訓練機関(産業)_成品	1	2	2	1	1	1	0	0	1
産業用機械器具(除建設機械器具)賃貸業_成品	1078	1659	1678	899	905	629	381	466	1055
貸自動車業_成品	669	1029	1041	557	561	390	236	289	654
自動車修理_成品	3999	6153	6223	3333	3354	2331	1412	1729	3911
機械修理_成品	4746	7303	7386	3956	3981	2767	1676	2052	4641
建物サービス_成品	4	5	6	3	3	2	1	2	3
法務・財務・会計サービス_成品	26	40	41	22	22	15	9	11	26
事務用品_成品	4	6	6	3	3	2	1	2	4
分類不明_成品	34	52	52	28	28	20	12	15	33
雇用者所得_成品	5265	12142	13071	7165	8127	5692	3454	4722	10347
営業余剰_成品	35296	81404	87635	48035	54488	38164	23159	31658	69369
資本減耗引当_成品	27880	64300	69222	37943	43039	30145	18293	25006	54794
間接税(除間接税・輸入品商品税)_成品	7300	16835	18124	9934	11269	7893	4789	6547	14346
(控除)経常補助金_成品	-1	-3	-3	-2	-2	-1	-1	-1	-2
その他のプラスチック製品_屑発生	-4	-6	-6	-3	-3	-2	-1	-2	-4
化学肥料_副産物投入	383	589	596	319	321	223	135	165	374

図 D.8: 2010 年の水田作付延べ面積規模別費用構成

耕作規模によって生産性が変わらないと仮定すると、図 D.5 に示した耕作規模別耕作面積の比率は、耕作規模別の国内生産額の比率と一致する。

2008 年の最終需要が 2030 年まで維持され、耕作面積の総量の減少に関わらず必要な国内生産額を賄うと仮定して、産業連関分析を行った。

国内生産額の変化が最も大きい品目「農業サービス（獣医を除く）」の結果を表 D.2 に示す。2030 年でも、362 百万円、0.066% の増加にとどまった。結果として、米生産の耕作規模の変化が経済全体に及ぼす影響はごくわずかであることが明らかとなった。

表 D.2: 農業サービス（獣医を除く）の国内生産額

年	国内生産額(百万円)	2005 年からの増加額(百万円)	2005 年からの増加率(%)
2005	545812	0	-
2010	545885	73	0.013%
2015	545931	120	0.022%
2020	545986	174	0.032%
2025	546109	297	0.054%
2030	546174	362	0.066%

付録E SNA(Sysetem of National Accounts)の 推計処理の階層構造

E.1 SNA の概要と日本の SNA

SNA は一国の経済活動をマクロ的視点から会計概念により表示する、階層構造の体系である。生産・支出・所得の三面から記述したフロー勘定と、富の蓄積について記述したストック勘定によって構成される。

日本では、政府部門については財政統計により詳細な内容が把握できる一方、民間部門についてはサンプル調査の結果に基づく推計が中心となる。

金融については資金循環表が、国際収支については国際収支統計が、概念上の調整を経て体系に組み込まれる。

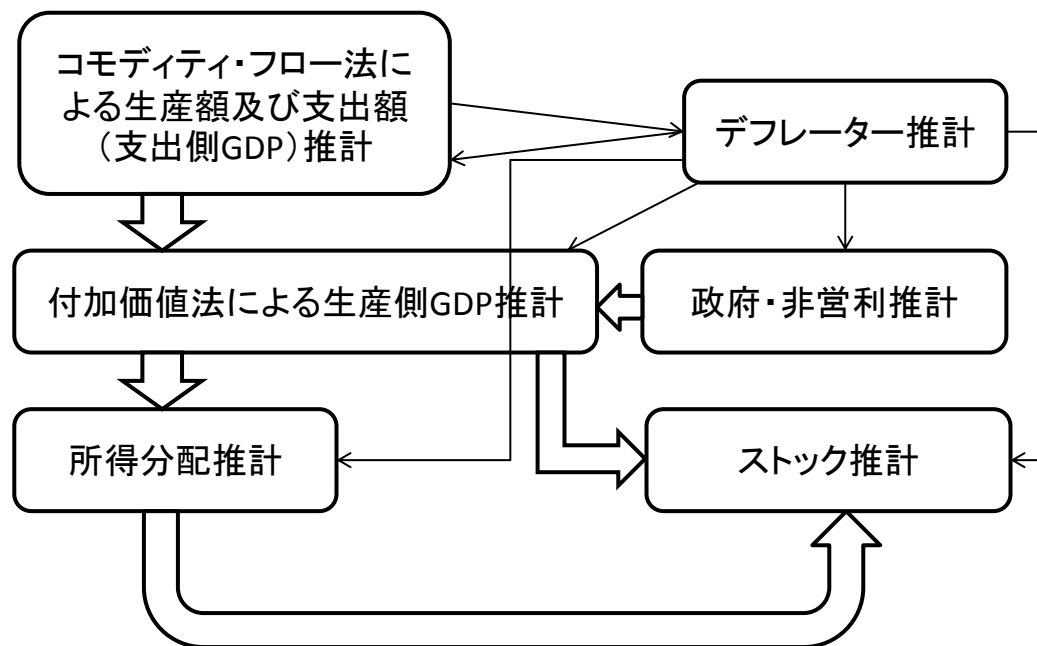
一時点における記述として対象年の価額による名目額を公表しているほか、時系列的な比較のために、物価変動の影響を取り除いた基準年の価額に換算した実質額も公表している ([145])。

E.2 推計処理（上位階層）

日本の SNA の推計処理は主に以下の 6 つのサブ・システムに分割される。これらを推計処理（上位階層）としよう。処理の出力は別の処理の入力となるが、入出力関係を整理すると推計処理（上位階層）は相互に独立とみなせる。推計処理（上位階層）間の関係を図 E.1 に示す。

1. コモディティ・フロー法による生産額及び支出額（支出側 GDP）推計
2. 付加価値法による生産側 GDP 推計
3. 所得分配推計
4. 政府・非営利推計
5. ストック推計

6. デフレーター推計



注) 矢印は推計結果のデータの流れを示す。

図 E.1: 国民経済計算の推計処理 (上位階層)

1. コモディティ・フロー法による生産額及び支出額 (支出側 GDP) 推計は、商品・サービスの生産及び流通の経路のモデルに基づいて推計を行う。対象は民間企業の生産する財貨・サービスである。出荷額と在庫変動額から生産額を推計する。出荷額に輸入額を加え、輸出額を控除することで国内総供給額を推計する。生産者販売・卸売販売・小売販売の流通段階ごとの運賃・マージンを加算することで、消費及び投資などの需要項目別に金額を推計する。

2. 付加価値法による生産側 GDP 推計は、コモディティ・フロー法から出力される生産額を主な入力とする。基準年における産業連関表に基づき、中間投入比率を推計し、中間消費額を推計する。生産額から中間消費額を控除することにより産業別の生産側 GDP を推計する。

3. 所得分配推計は、労働統計による産業別一人当たり平均賃金や雇用主の負担する社会保険料などから、雇用者報酬を推計する。地代・金利・保険料などの統計から、生産側 GDP の分配後の所得の移転を推計する。

4. 政府・非営利推計は、政府部門を中央政府・地方政府・社会保障基金に分類し、決算統計を SNA 概念に組み替えて推計する。非営利部門についてはサンプル調査の結果から推定する。

5. スtock推計は、国富調査結果及び、設備投資額、減価償却率等の情報から、実物ストックを有形資産、ソフトウェア等の無形固定資産の別に推計する。地価等の情報から土地資産額を推計する。金融資産については、日本銀行の資金循環統計を利用する。

6. デフレーター推計は、消費者物価指数、企業物価指数、企業サービス価格指数、農業物価指数、賃金統計等の結果を利用して、商品・サービス別に、生産・輸出・輸入・設備投資・中間消費・最終消費の各段階における物価指数を推計する。

E.3 推計処理（中位階層）

推計処理（上位階層）のそれぞれは、相互に独立性の高いサブ・システムに分割される。それらのサブ・システムを推計処理（中位階層）とする。1. コモディティ・フロー法を構成する推計処理（中位階層）を例としよう。これらの推計処理（中位階層）間の関係を図 E.2 に示す。

1. 工業統計表の集計による製造業品目推計システム

2. 貿易統計による輸出入額推計システム

3. コモディティ・フロー法推計システム

4. 建設コモディティ・フロー法による建設生産額推計

5. 屑・副産物推計システム

1. 工業統計表の集計による製造業品目推計システムは、工業統計表の個票データから、産業別・品目別出荷額等を集計する。

2. 貿易統計による輸出入額推計システムは、貿易統計から、コモディティ・フロー法の品目分類による品目別輸出入額を集計する。

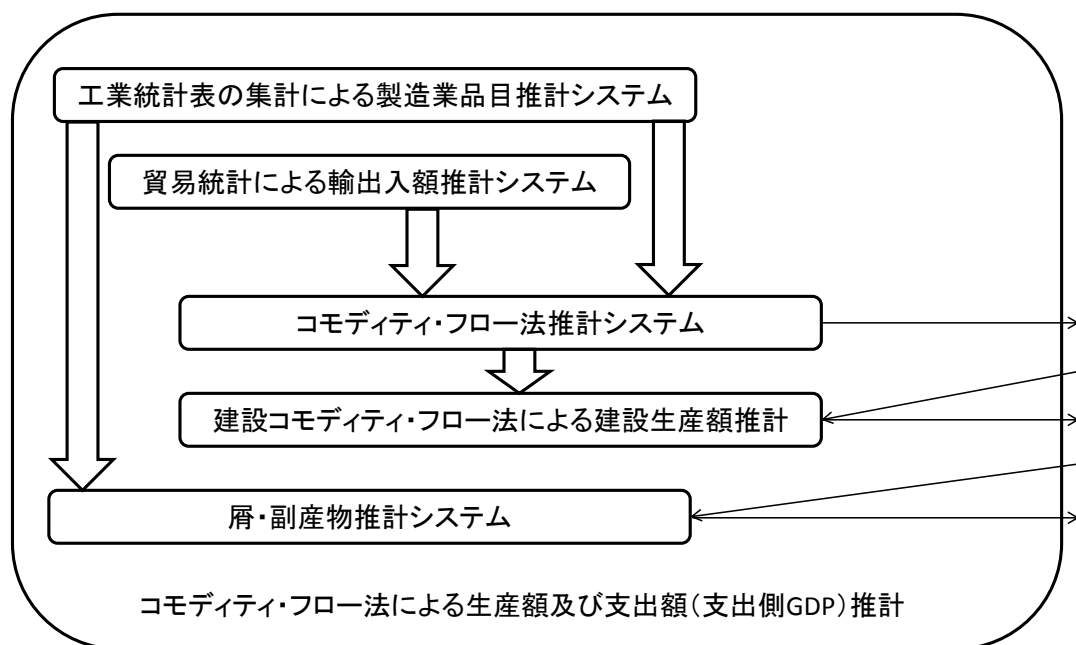


図 E.2: 国民経済計算・コモディティ・フロー法による生産額及び支出額推計の推計処理（中位階層）

3. コモディティ・フロー法推計システムは、出荷額、輸出入額、在庫額等の各種統計データからコモディティ・フローのモデルにより生産額や「建設」以外の需要項目別支出額、建設業品目別中間投入推計額を推計する。

4. 建設コモディティ・フロー法による建設生産額推計は、建設業品目別中間投入推計額と、建設業の賃金、営業余剰等の統計データから、建設生産額を推計する。

5. 屑・副産物推計システムは、財貨の生産に伴って発生する屑・副産物の生産額を推計する。

E.4 推計処理（下位階層）

多くの推計処理（中位階層）はそれぞれ、さらに下位のサブ・システムに分割することができる。分割された下位のサブ・システムはさらに下位のサブ・システムに分割できる場合がある。

推計処理（中位階層）を構成するサブ・システム群を、階層の深さを問わず一括して推計処理（下位階層）とする。

一つの推計処理（中位階層）を構成する推計処理（下位階層）の階層数は、推計処理（中位階層）の複雑さの程度によって異なる。

前節の2 貿易統計による輸出入額推計システムは、貿易統計の品目分類をコモディティ・フロー法の品目分類に組み替える単純な処理を行うため、推計処理（下位階層）を持たない。

一方、3. コモディティ・フロー法推計システムは、

1. 出荷額から産出額の推計
2. 輸入額と輸入関税額などから輸入品の国内流通額の推計
3. 輸出額と商社マージン率などから輸出品の出荷原価の推計
4. 出荷額、輸入品の国内流通額、輸出品の出荷原価額から国内出荷額の推計
5. 生産者直売、卸売経由、小売経由の販売のマージン率、運賃率等から各経路による支出額の推計
6. 経路別の家計最終消費支出額、設備投資額、建設業中間投入額などを合算した総額の推計等の推計処理

に分割される。これらの推計処理（中位階層）間の関係を図 E.3 に示す。

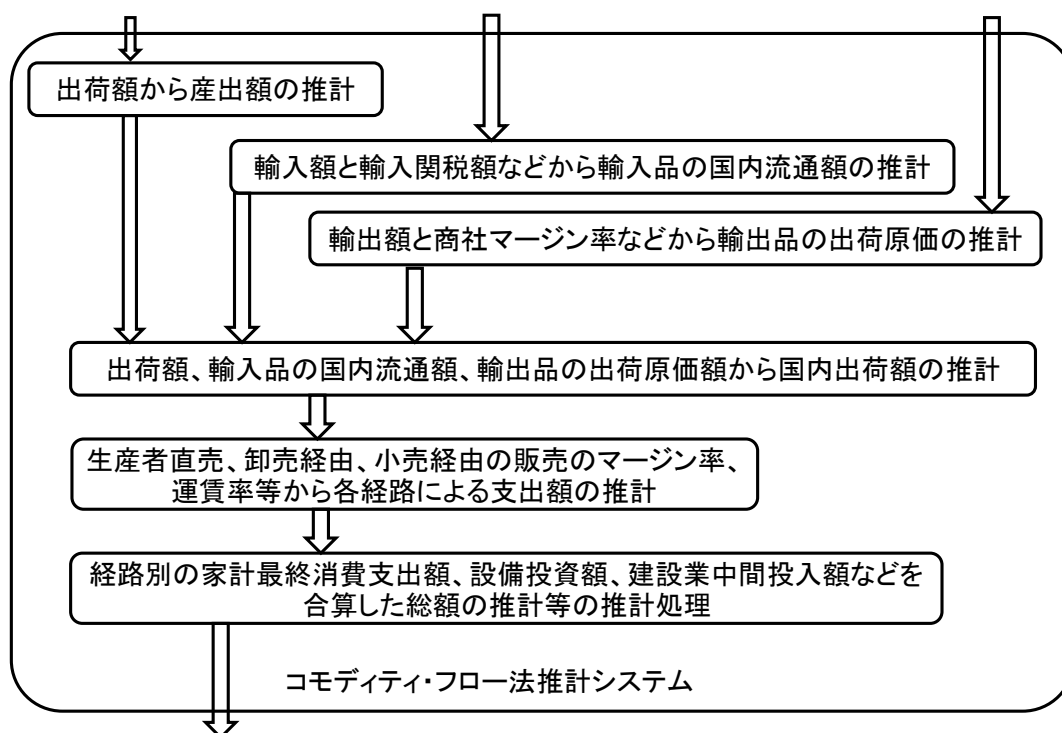


図 E.3: 国民経済計算・コモディティ・フロー法推計システムの推計処理（下位階層）

このように、推計処理（中位階層）の複雑さは多様であり、それを構成する推計処理（下位階層）の階層数も多様である。

上位、中位、下位の階層構造ともサブ・システムへの分割の基準は、各サブ・システムが均等な程度のデータ処理量を分担することではない。言い換えると処理の複雑さの程度は分割の基準ではない。推計処理のサブ・システムへの分割は SNA の階層構造を基準としている。

付録F 国民経済計算推計システムの開発経緯と現状

F.1 国民経済計算推計システムの開発経緯

国民経済計算推計システムの開発経緯を図 F.1 に示す。

日本の国民経済計算は 1951 年 8 月に昭和 24 年度推計結果が公表されて以来、毎年継続して推計されている。開始当初は、紙のワークシート上で計算処理を行っていた。

1960 年、経済企画庁経済研究所に、メインフレーム・コンピュータが導入され、コンピュータ処理による推計が開始された。

国民経済計算推計システムの特徴は、メインフレーム・コンピュータの導入当初から現在にいたるまで、エンド・ユーザ・コンピューティングが重要な役割を果たしていることである。

メインフレーム・コンピュータの導入当初は、専門プログラマではない職員による、計算ライブラリの開発が行われた。経済企画庁の職員は、概ね 2-3 年ごとに所属部署が変わる。そのため、パンチャーとして専門職員が雇用された職員以外は、メインフレーム・コンピュータの管理部署に長く在籍する職員は稀であり、組織内には職業的プログラマは形成されなかった。メインフレーム・コンピュータの運用管理には、1990 年頃まで、メーカーから派遣された CE（カスタマ・エンジニア）と SE（システム・エンジニア）が携わっていたが、主に基盤的システムの運用管理が担当であり、国民経済計算推計システムのようなアプリケーション開発には関与していない。

プログラムの開発環境は、アセンブラ言語から始まったが、1966 年に米国で FORTRAN 規格が整備され、日本でも 1967 年に JIS 規格となったことを受け、経済企画庁では主に FORTRAN 言語による開発が行われた。庁内で、一般職員向けに FORTRAN 講習会が開催され、アプリケーション開発はエンド・ユーザにより行われた。

この開発環境の経緯を受け、国民経済計算推計システムは 1980 年頃に基幹システムの開発がエンド・ユーザにより行われている。1977 年には、FORTRAN77 が規格化されているものの、システムの大半は FORTRAN77 以前のメーカー仕様を含む FORTRAN で記述されて

いる。

国民経済計算推計システムはこの 1980 年頃に開発されたエンド・ユーザによるアプリケーションが基幹プログラムとして、現在に至るまで運用が続けられている。

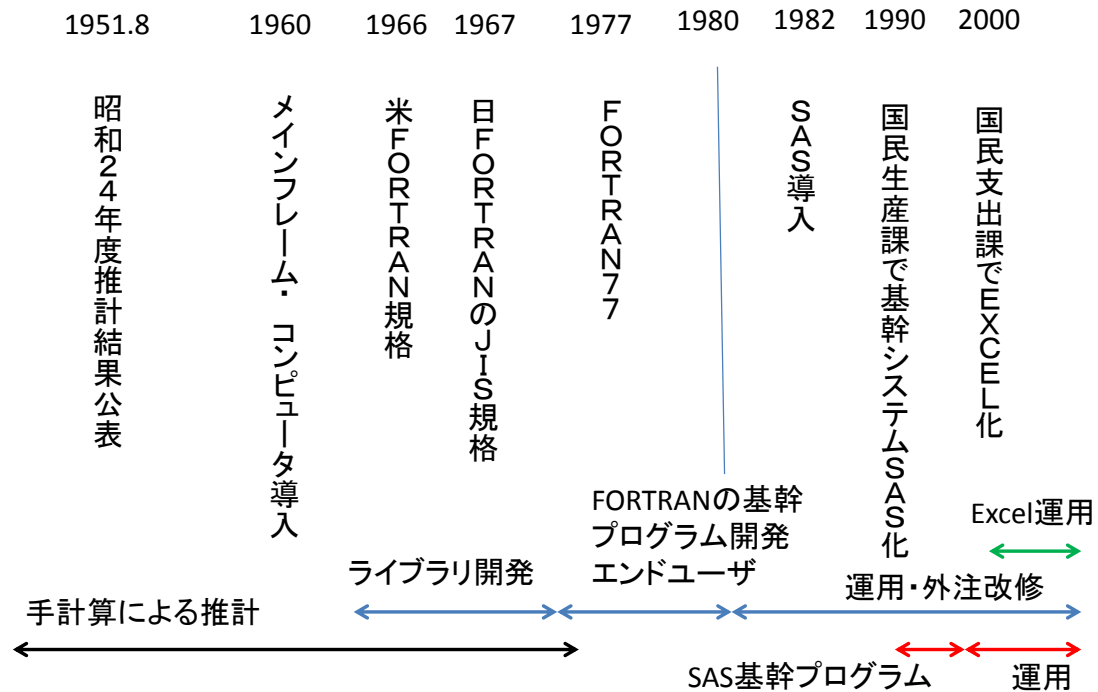


図 F.1: 国民経済計算推計システムの開発経緯

F.2 SAS の導入と国民生産課での基幹システムへの利用

一方、1982 年にメインフレーム・コンピュータ上で動作するアプリケーション・システムとして SAS(Statistical Application System:当時) が導入された。SAS は、SAS 社の開発した統計処理用アプリケーション・システムであり、データをオブザベーションとして取り扱う Data Step と、統計処理を行う Procedure Step の組合せで高度な処理を行う特徴がある。

国民経済計算では、主として時系列データや行列データを取り扱うため、オブザベーションに時点を表現する列を加えたり、行列演算のためのパッケージ SAS/IML と組み合わせて利用された。

SAS 社は Base SAS の特徴として「4GL(4th Generation Language:第 4 世代言語)」を挙げている ([138])。ところが、SAS の特徴である、統計処理パッケージの機能はほとんど利用せず、Base SAS のプログラミング機能が中心として利用された。

SAS アプリケーションは、その後のパーソナル・コンピュータ（PC）の普及に応じて、PC 上のアプリケーションとして発展しているが、国民経済計算部では、メインフレーム・コンピュータ上の SAS システムを利用し続けている。

現在は、職員の中でも SAS 言語を理解できる者は少数となっている。

F.3 PC 上の Excel の導入と国民支出課での利用

国民経済計算部における PC の導入は、1990 年頃から徐々に進められ、当初はメインフレーム・コンピュータの端末として利用されたが、2000 年頃には、職員一人一台の PC が整備され、Excel 等の表計算ソフトが日常的に利用されるようになった。

国民経済計算の業務における、Excel の利用は、メインフレーム・コンピュータの基幹システムを利用している課では、プログラムに投入するデータの事前の加工等の手段にとどまっている。

2000 年頃に、国民支出課は、国民経済計算の推計業務に Excel の表計算機能を組織的に利用しはじめた。国民支出課には、メインフレーム・コンピュータ上の FORTRAN プログラムによる基幹システムがあまり存在せず、多様なデータに比較的単純な処理を施す作業が多いことから、Excel の利用を進めやすかったためである。

また、他府省からの出向者も多く、メインフレーム・コンピュータの利用方法の習得に時間をかけるよりも、他府省でも一般的に使われている Excel を利用することが効率的であることも一因である。

国民支出課における Excel の利用方法は、入手した統計データを時系列的に Excel のシートに入力し、簡単な処理をシート上の計算式で行う。計算は原則として、一つのファイル内で完結している。別のファイルへのデータ転記は、セルへのデータ貼り付けによって手作業で行っている。

2-3 年で人事異動により担当者が交代することから、シート上にデータの入手先の説明や、処理手順についての解説が記述されており、その手順に従って作業することで必要な推計処理が行えるようになっている。

国民支出課での Excel 利用においては VBA(Visual Basic for Applications) やマクロは利用していない。

国民支出課でも、法人企業統計調査などの大量のデータを取り扱う担当者は、メインフレーム・コンピュータの FORTRAN で記述された基幹システムを利用している。

なお、季節調整などの処理についても、メインフレーム・コンピュータ上に X-12-ARIMA

を移植したプログラムを用いて行っている。

F.4 企画調査課での Excel の VBA 利用

国民経済計算では、四半期ごとに 2 回ずつ行う、四半期推計と、年に 1 度行う、年次推計が存在する。

年次推計では、各課で推計したデータをメインフレーム・コンピュータ上に再入力し、国民経済計算部全体としての処理を企画調査課が行う。この処理は、2005 年までメインフレーム・コンピュータのシステムにより行われていたが、同年、メインフレーム・コンピュータから PC にデータ転送した上で、PC 上の Excel の VBA で処理を行うシステムを作成し、以降、PC 上の Excel での作成が行われている。

最終的な結果は、Excel のワークシートとして公表される。

なお、Sigeno *et al* (2012) は、FORTRAN で記述されたプログラムを EXCEL の VBA のプログラムに置き換えることを試みたプロジェクトの状況について報告している ([120])。

付録 G 国民経済計算推計システムにおける FORTRAN の EQUIVALENCE 文使用の事例

図 G.1 に経済企画庁 [nd] に記載された、プログラム解説を抜粋して示す ([139])。これは、ITTL という名称の整数型配列変数の 35 要素の配列を別の名称の文字型変数等に EQUIVALENCE 文を利用して再割り当てしていることを解説した文書である。

CHAR は文字型変数、INT は整数型変数を示し「*」の次の整数値が配列の要素数を示す。

ITTL (1) は、「ブロック名」を表す 4 文字の文字列変数、

ITTL (2) は、「変数名」を表す 4 文字の文字列変数、

ITTL (3) ～ITTL (15) の 13 個の配列を「タイトル」を表す 52 文字の文字列変数として利用し、

ITTL (16) 及び ITTL (17) のメモリ領域の半分を利用して、「単位」を表す 6 文字の文字列変数に割り当ててることを説明している。

このように、変数のバイト数を意識したプログラミングは、重大でみづかりにくいバグにつながる事が指摘されており、現在のプログラムでは利用しないことが強く推奨されている ([127])。

ITTL(35)

1	: ブロック名	CHAR * 4
2	: 変数名	CHAR * 4
3-15	: タイトル	CHAR * 52
16-17	: 単位	CHAR * 6
18-20	: ダミー	
21	: 第一期開始月	INT
22	: 期種変更コントロール	INT
23	: フォーマットコントロール	INT
24	: 季調インディケーター	INT

図 G.1: 国民経済計算推計システムにおける FORTRAN の EQUIVALENCE 文の
用の事例

付録H 付加価値推計のモジュールの一部を記述したスクリプトを視覚的に表現した事例

図H. 1に付加価値法による生産側 GDP 推計モジュールの一部を記述したスクリプトを視覚的に表現した事例を示す。

モジュールを楕円で、データを四角で囲み、パラメータを囲みなしの文字で表現したものである。データがモジュールによって変換されていく様子が示されている。

この図は、スクリプトの内容を GraphViz により視覚化して表現したものである。

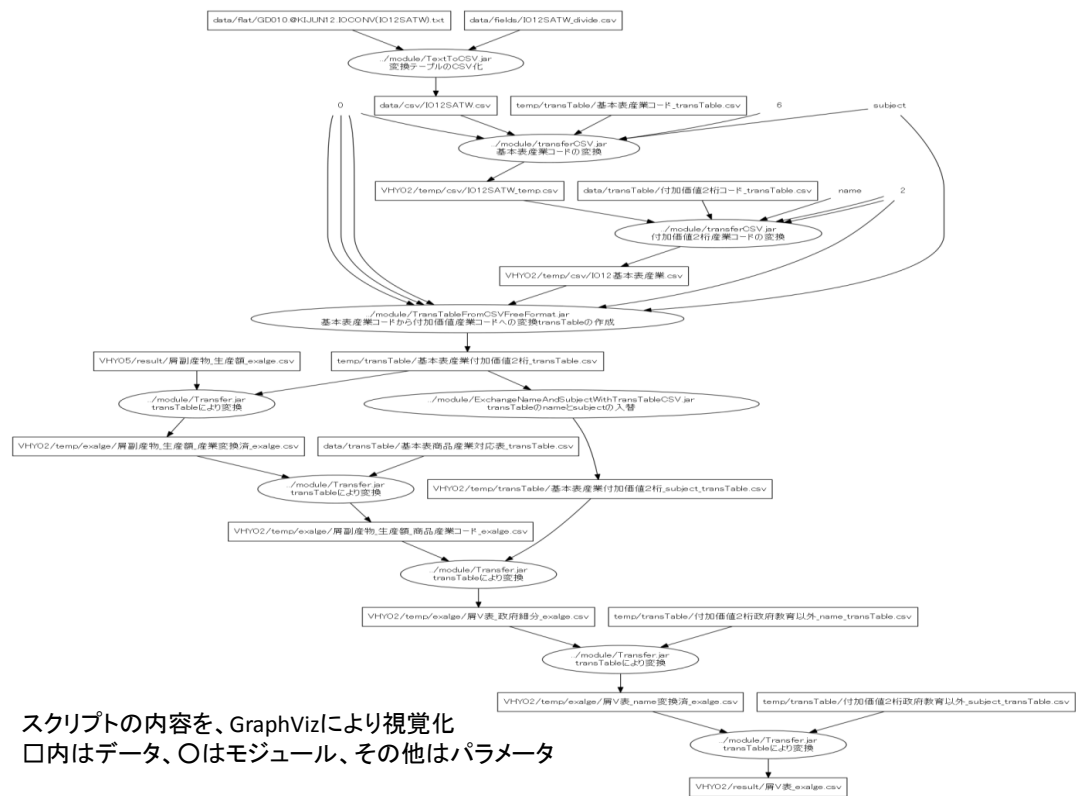


図 H.1: 付加価値法による生産側 GDP 推計のモジュールの一部を記述したスクリプトを視覚的に表現した事例

付録 I スクリプトの開発環境

I.1 スクリプトの編集イメージ

スクリプトの編集イメージを図 I.1 に示す。

このスクリプト及び編集・実行環境は、(株) パイケーキに委託して開発した ([140])。

図 I.1 では、4 つのウィンドーに分かれていることが示されている。

右上がスクリプトの編集画面、左上がディレクトリとファイルの表示画面、右下がスクリプトの実行結果表示画面、左下がモジュールの解説画面である。

右上のスクリプトの編集画面と、左上のディレクトリとファイルの表示画面を使って、スクリプトを記述する。

スクリプト編集画面は、行列のセルに分割されている。スクリプトは、上部から下部に 1 行ずつ実行されていく。

列方向は、位置ごとに記述すべき内容が指定されている。

第 1 列は、コマンド列である。コマンド列は、その行の示す内容と、モジュールの種類を示す。

`echo` コマンドは、その行の右側の列の内容をそのままメッセージとして表示する。

`java` コマンドは、その行のモジュールが `java` モジュールであることを示し、右の列で指定された入出力ファイルおよびパラメータにしたがって、`java` モジュールを実行する。

`macro` コマンドは、その行のモジュールがスクリプト・モジュールであることを示し、右の列で指定された入出力ファイルおよびパラメータにしたがって、スクリプト・モジュールを実行する。

2 列目はプロセス名を記述する。プロセス名は、モジュールの実行結果によって処理を分岐する場合に利用する。

3 列目はコメント列であり、処理の実行には影響しない。

4 列目がモジュール名であり、`java` モジュール、スクリプト・モジュール、OS コマンドなどを記述する。`java` モジュールとスクリプト・モジュールについては、左上の表示ファイルをドラッグ・アンド・ドロップにより指定することができる。

5 列目は、`java` モジュールのクラスパスを指定する。



図 I .1: スクリプトの編集イメージ(説明用コメントを付加した。)

6 列目は、java モジュールのメインクラスを指定する。

7 列目は、java モジュールへのパラメータ指定に利用する。

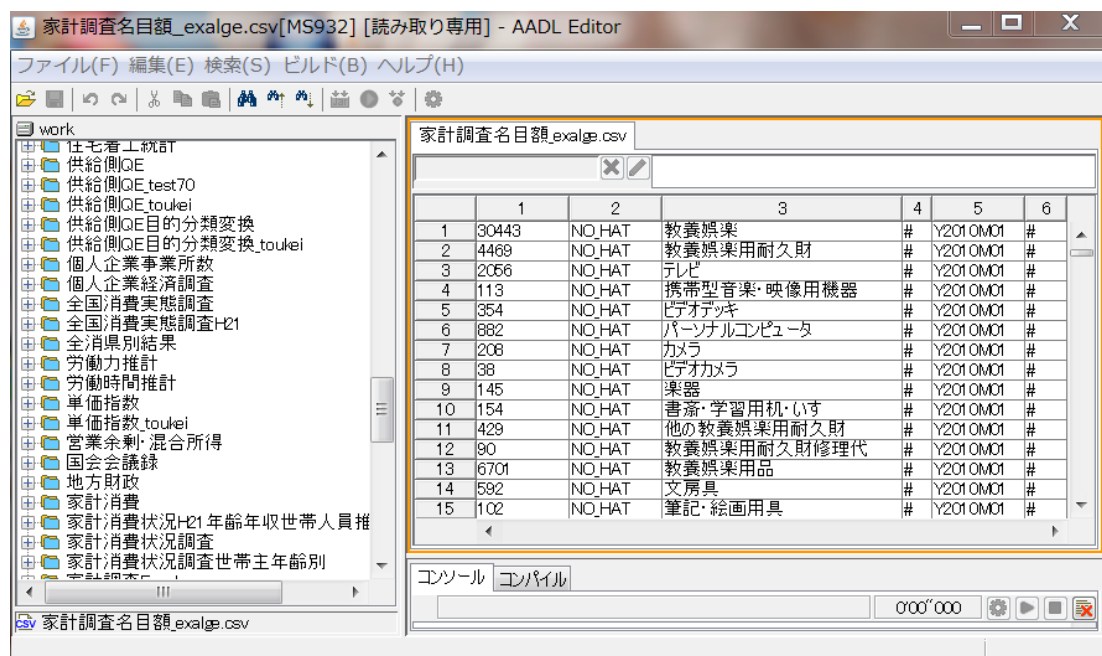
8 列目以降が、「属性」と「入出力ファイル」または「パラメータ」のペアでの記述を繰り返す。「属性」は、入力ファイルを表す IN、出力ファイルを表す OUT、パラメータ入力を表す STR の 3 種類である。「入出力ファイル」または「パラメータ」は、モジュールの文字列変数に受け渡される。スクリプト・モジュールに受け渡された文字列は、当該スクリプトの「入出力ファイル」または「パラメータ」の入力として利用される。

左下のモジュールの解説画面は、左上のファイルで選択されたモジュールに設定された解説が表示される。解説はモジュール全体の解説と、入出力ファイルおよびパラメータに関する解説を設定できる。この解説は、モジュール作成者が入力する。

右上の編集ウィンドウの上部の緑の実行ボタンを押すと、スクリプトが実行される。実行結果は右下のスクリプトの結果表示画面に表示される。表示内容は、echo コマンドによるメッセージ表示および、各モジュールの標準出力への出力内容である。

I.2 データ参照画面

AADL コンパイラに、CSV 形式のファイルをカラムごとに整形表示するウィンドウを追加し、上下、左右にスクロールして、大規模データを容易に参照できる環境を整備した([134])。図 I.2 にデータ参照画面の例を示す。



	1	2	3	4	5	6
1	30443	NO.HAT	教養娯楽	#	Y2010M01	#
2	4469	NO.HAT	教養娯楽用耐久財	#	Y2010M01	#
3	2066	NO.HAT	テレビ	#	Y2010M01	#
4	113	NO.HAT	携帯型音楽・映像用機器	#	Y2010M01	#
5	354	NO.HAT	ビデオデッキ	#	Y2010M01	#
6	882	NO.HAT	パーソナルコンピュータ	#	Y2010M01	#
7	208	NO.HAT	カメラ	#	Y2010M01	#
8	38	NO.HAT	ビデオカメラ	#	Y2010M01	#
9	145	NO.HAT	楽器	#	Y2010M01	#
10	154	NO.HAT	書斎・学習用机・いす	#	Y2010M01	#
11	429	NO.HAT	他の教養娯楽用耐久財	#	Y2010M01	#
12	90	NO.HAT	教養娯楽用耐久財修理代	#	Y2010M01	#
13	6701	NO.HAT	教養娯楽用品	#	Y2010M01	#
14	582	NO.HAT	文房具	#	Y2010M01	#
15	102	NO.HAT	筆記・絵画用具	#	Y2010M01	#

図 I.2: データ参照画面

左画面でプロジェクトやフォルダ、ファイルを選択し、ダブルクリックすることで、右画面に CSV データが表示される。上下・左右のスクロールにより高速に表示される。なお、本画面は参照専用で、データの更新はできない設計としている。

I.3 ドラッグ・アンド・ドロップによるスクリプトの記述

図 I.3 に編集画面を示す。スクリプトの記述は、大半の操作はドラッグ・アンド・ドロップで行うことができる。

例えば、スクリプト・モジュールの編集は、図の左側のファイルを右側のウィンドにドロップすることで開始することができる。

図 I.3 の右側の画面では、モジュール及び入出力ファイルをセルに記述していくが、その選択も、図 6.7 の左側のファイルをつリーから選択し、セル内にドロップすることで行

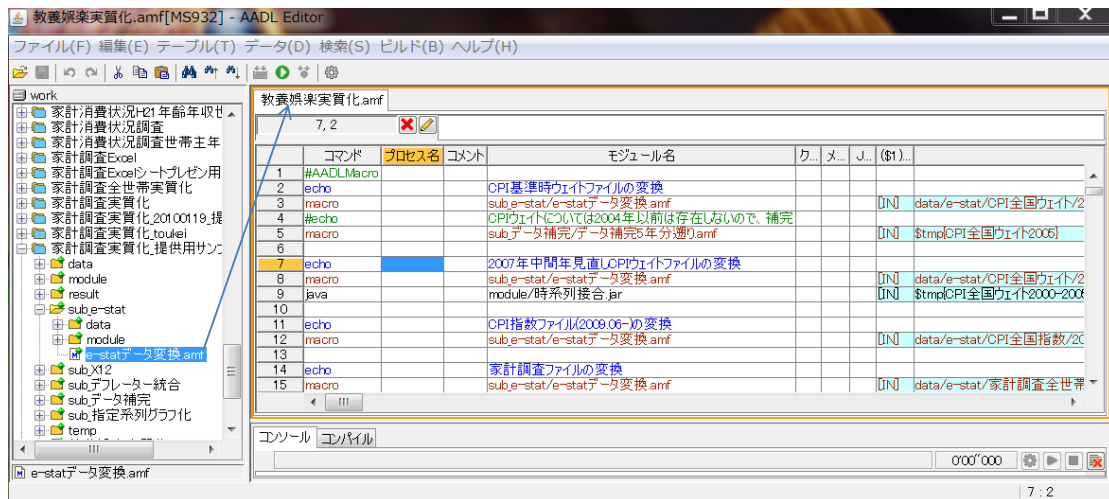


図 I.3: スクリプト編集画面（ドラッグ・アンド・ドロップ操作の説明を付加した。）

える。

図 I.3 に示すように、モジュール名は日本語ファイル名も利用できる。

図 I.4 に、モジュール選択画面を示す。左上画面のツリーからモジュールを選択すると、モジュール開発者が入力した、そのモジュールに関する解説や入出力ファイルに関する説明が左下画面に表示されるよう設計している。

このため、エンド・ユーザにとってスクリプトを記述することは AADL 言語でプログラムを記述することに比べてはるかに容易である。

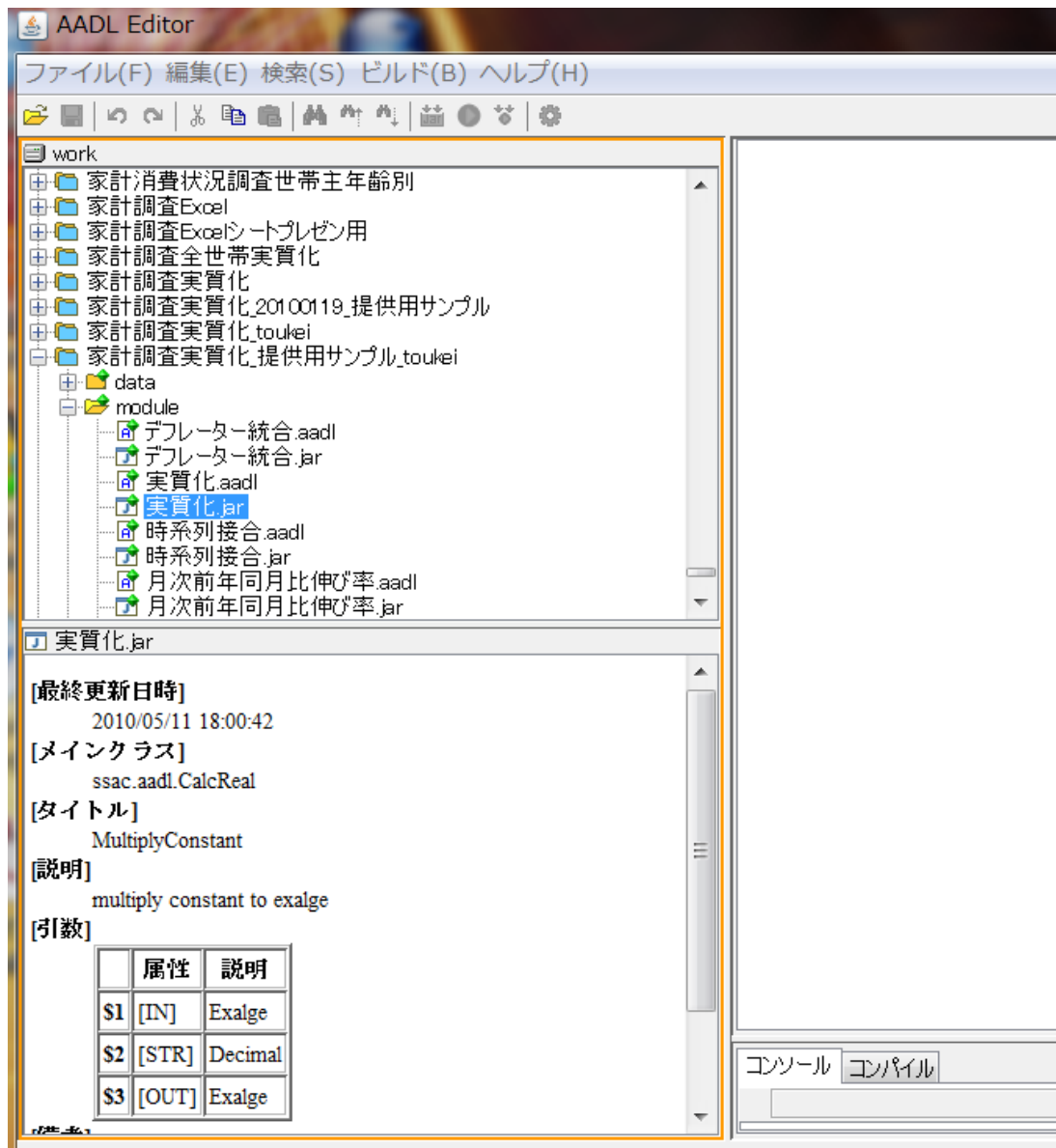


図 I .4: モジュール選択画面

付録 J 交換代数

J.1 冗長代数

交換代数は、Deguchi(2004)([141]) が、簿記の代数構造を公理化した。以下 Deguchi(2004) に従って記述する。

まず、冗長代数を定義する。

Ω を空でない集合とし、 T を非負実数の集合とする。 Ω 上に二項演算 $+$ と単項演算 $\wedge, \sim$ を、またスカラー積 $ax \in \Omega$ を $a \in T$ 及び $x \in \Omega$ に次の公理を満たすように定義する。この時 Ω を冗長代数あるいは、冗長空間と呼ぶ。

$$1. \forall x, y \in \Omega, x + y = y + x \in \Omega$$

$$2. \forall x, y, z \in \Omega, (x + y) + z = x + (y + z)$$

$$3. \forall x \in \Omega, x + 0 = x$$

$$4. \forall a, b \in T, \forall x \in \Omega, a(bx) = (ab)x$$

$$5. \forall x \in \Omega, 1x = x, 0x = 0$$

$$6. \forall a, b \in T, \forall x \in \Omega ax + bx = (a + b)x$$

$$7. \forall a \in T, \forall x, y \in \Omega, a(x + y) = ax + ay$$

$$8. \forall x \in \Omega, \sim(\sim x) = x$$

$$9. \forall x \in \Omega, \wedge(\wedge x) = x$$

$$10. \forall x, y \in \Omega, \sim(x + y) = \sim(\sim x + \sim y)$$

$$11. \forall x, y \in \Omega, \wedge(x + y) = \wedge x + \wedge y$$

$$12. \forall x, y \in \Omega, \sim(\wedge x + y) = 0 \equiv \sim x = \sim y$$

$$13. \forall x \in \Omega, \sim(\wedge x) = \wedge(\sim x)$$

$$14. \forall a \in T, \forall x \in \Omega, \sim(ax) = a(\sim x), \wedge(ax) = a(\wedge x)$$

$$15. \forall x, y \in \Omega, x + y = 0 \rightarrow x = 0 \wedge y = 0$$

$$16. \forall z, x \in \Omega, x + z = x \rightarrow z = 0$$

$$17. \forall a \in T, \forall x \in \Omega, ax = 0 \rightarrow a = 0 \vee x = 0$$

冗長代数の例 $R_T = \{(x_1, x_2) \mid x_1, x_2 \in R^+\}$

$$(x_1, x_2) + (y_1, y_2) = (x_1 + y_1, x_2 + y_2)$$

$$a(x_1, x_2) = (ax_1, ax_2), a \in R^+$$

$$\wedge(x_1, x_2) = (x_2, x_1)$$

$$\sim(x_1, x_2) = (x_1 - x_2, 0) \text{ if } x_1 - x_2 \geq 0$$

$$\sim(x_1, x_2) = (x_2 - x_1, 0) \text{ if } x_1 - x_2 < 0$$

この場合 R_T は公理を満たし、冗長代数である。

冗長ノルムの定義 冗長空間 Ω の要素 x に対して実数 $|x|$ を対応させる関数ノルムを次のように定義する。

$$1. |x| \geq 0 \text{ and } |x| \geq 0 \equiv x = 0$$

$$2. |ax| = a|x|$$

$$3. |x + y| \leq |x| + |y|$$

$$4. |\wedge x| = |x|$$

$$5. |\sim x| \leq |x| \text{ and } |x| = |\sim x| \equiv \sim x = x$$

基本基底、双対基底、拡張基底 Λ を Ω の基底であるとする。 $\forall x \in \Lambda$ に対して $|x| = 1$ である時、 Λ を Ω の基本基底と呼び、 $\wedge\Lambda = \{e \mid e \in \Lambda\}$ は Ω の双対基底とし、 $\Gamma = \Lambda \cup \wedge\Lambda$ を Ω の拡張基底と呼ぶ。

J.2 交換代数

引き続き交換代数について、Deguchi(2004)に従って記述する。

Λ を冗長空間 Ω の基本基底とし、 $\Gamma = \Lambda \cup \wedge\Lambda$ を Ω の拡張基底とする時、以下の6つの公理を満たすとき、 Ω を交換代数と呼ぶ。

1. $\forall a, ba \Leftrightarrow b \equiv \wedge a \Leftrightarrow \wedge b$
2. $\forall a, b, ca \Leftrightarrow b \text{ and } b \Leftrightarrow c \rightarrow \neg(a \Leftrightarrow c)$
3. $\forall a, ba \Leftrightarrow b \equiv b \Leftrightarrow a$
4. $\forall a, ba \Leftrightarrow b \rightarrow \neg(a \Leftrightarrow \wedge b)$
5. $\forall a, b, c \neg(a \Leftrightarrow b) \text{ and } \neg(b \Leftrightarrow c) \rightarrow \neg(a \Leftrightarrow c)$
6. $\forall a, \exists ba \Leftrightarrow b$

関係 $\Leftrightarrow$ を交換関係と呼ぶ。関係 $\Leftrightarrow$ が定義された基本基底 Λ を交換代数の交換基底と呼ぶ。 Γ を拡張交換基底と呼ぶ。

J.3 交換代数による簿記の記述例

表 J.1 の簿記を交換代数によって記述すると、以下の通りである。

$$\begin{aligned}
 x_1 &= 200 < \text{現金, 円} > + 100 < \text{りんご, 円} > + 100 < \text{利益, 円} > \\
 x_2 &= 50 < \text{費用, 円} > + 50 \wedge < \text{現金, 円} > \\
 x_3 &= 100 \wedge < \text{利益, 円} > + 100 < \text{損益, 円} > : \text{振替データ} \\
 x_4 &= 50 \wedge < \text{損益, 円} > + 50 \wedge < \text{費用, 円} > : \text{振替データ}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 y &= x_1 + x_2 + x_3 + x_4 \\
 &= 200 < \text{現金, 円} > + 100 < \text{りんご, 円} > + 100 < \text{利益, 円} > \\
 &\quad + 50 < \text{費用, 円} > + 50 \wedge < \text{現金, 円} > \\
 &\quad + 100 \wedge < \text{利益, 円} > + 100 < \text{損益, 円} > \\
 &\quad + 50 \wedge < \text{損益, 円} > + 50 \wedge < \text{費用, 円} > \\
 \sim y &= 150 < \text{現金, 円} > + 100 < \text{りんご, 円} > + 50 < \text{損益, 円} > : \text{損益収支} \\
 \sim &\text{は、冗長代数のバー演算子である。}
 \end{aligned}$$

J.4 振替演算

簿記における振替演算の概念を流用して、交換代数でも振替演算を行う ([141])。

$\sim$ (元データ + 振替データ) の形で規定される。

1. 集計

表 J.1: 交換代数による簿記の記述例

借方		貸方	
現金	200	りんご	100
		利益	100
費用	50	現金	50
振替データ			
利益	100	損益	100
損益	50	費用	50
損益収支			
現金	150	りんご	100
		利益	100

2. 配賦

3. 単位の変換

の操作に用いる。

付録K AADL(Algebraic Accounting Description/Design Language)

K.1 AADL の概要

AADL(Algebraic Accounting Description/Design Language) は、交換代数を用いた代数的仕様記述を直接コンパイルできる高次言語である。

AADL の概要についてパイケーク (2010a)([142]) に基づき記述する。

AADL(Algebraic Accounting Description/Design Language) は、交換代数による代数的仕様記述のために開発された言語である。専用のコンパイラ (AADL コンパイラ) によって、コンパイルされ、AADL 実行モジュールが生成される。

AADL コンパイラは、AADL プログラムコードを Java プログラムとして実行可能なモジュールにコンパイルする。したがって、AADL 実行モジュールは Java プログラムとして Java 実行環境の下で、動作する。

現在、AADL コンパイラは Java により実装されている。

図K.1 に AADL コンパイラの構成概念図を示す。

AADL コンパイラの実装には、パーサ・ジェネレータ ANTLR v3 を利用している ([143])。

AADL プログラムコードは、パーサにより解析された結果から、Java プログラム・コードを生成する。交換代数に関する記述は交換代数パッケージのクラス・メソッド呼び出しに変換される。

生成された Java プログラム・コードは、Oracle 社の提供する Java コンパイラによってバイトコードにコンパイルされ、Java 実行モジュール (Jar ファイル) として出力される。

交換代数パッケージ (Exalge2.jar) は、出口、パイケークによって開発された。

K.2 AADL のデータ型

AADL で利用できるデータ型のうち、領域特有のものは次の通りであり、交換代数パッケージに実装されている。

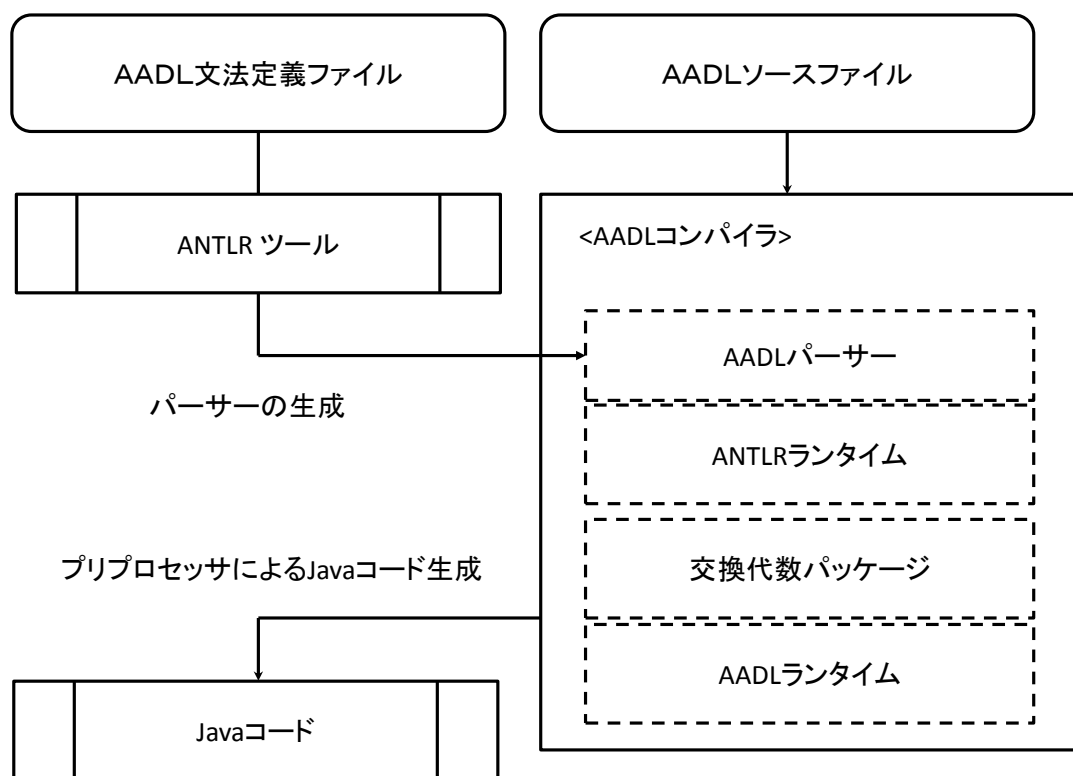


図 K.1: AADL コンパイラの構成概念図

ExBase 交換代数の基底

ExBaseSet 交換代数基底 (ExBase) の集合

ExBasePattern 基底パターン。アスタリスクを任意の文字列にマッチするワイルドカード
とみなし、基底とのマッチングを行うデータ型

ExBasePatternSet 基底パターン (ExBasePattern) の集合

Exalge 交換代数の元

ExaAlgeSet 交換代数元の集合

TransTable 交換代数の振替変換テーブル

TransMatrix 交換代数の按分変換テーブル

ExTransfer 交換代数の変換テーブル

AADL で利用できるリテラルのうち、領域特有のものは次の通りである。

ExBase 交換代数基底リテラル `' < "apple", "yen", "Y1960", "subject" > '` など。

Exalge 交換代数元リテラル `'3.01@ExBase 変数'` など、`'@'` 演算子により、値となるオブジェクト及び ExBase オブジェクトから生成される。

なお、次のオブジェクトはファイルからの読み込みにより生成される。

TransTable 交換代数の振替変換テーブル

TransMatrix 交換代数の按分変換テーブル

ExTransfer 交換代数の変換テーブル

K.3 交換代数の基底

交換代数基底は、ハットキー、名前キー、単位キー、時間キー、主体キーを保持する。

ハットキーは HAT または NO_HAT の値を持つ。

名前キー、単位キー、時間キー、主体キーは String 型の値を持ち、値が無い場合は#を持つ。

交換代数基底は、`< 名前キー, 単位キー, 時間キー, 主体キー >` で NO_HAT のリテラルが生成される。

HAT のリテラルは、`^ < 名前キー, 単位キー, 時間キー, 主体キー >` により生成される。

K.4 特殊な変数

特殊な変数として、次の3つがある。

プログラム引数 AADL 実行モジュール実行時のプログラム引数を取得するための定数で、'\$1' ~ '\$99' までのキーワードで、任意の番号の定数を利用できる。AADL 実行モジュール実行時のコマンドライン引数に与えられた1番目から99番目の文字列が'\$1' ~ '\$99' の定数に格納される。この定数はStringオブジェクトである。

イテレータ要素変数 AADL の内包記述において、内包記述ブロックのイテレータ式の中で記述する。イテレータ式の中で要素となる値を格納する変数がイテレータ要素変数となる。

エイリアス変数 AADL の内包記述において、エイリアスの中で記述する。変数の代入と同様の書式をとり、代入先の変数がエイリアス変数になる。エイリアスの記述によって宣言され、内包記述ブロック内に限定されたスコープを持つ。

K.5 交換代数の演算

交換代数基底に対するハット演算 交換代数基底には、ハットなし基底とハット付き基底がある。

交換代数基底に対するハット演算は次のように定義される。

$$x = \langle e_1 \rangle, y = \wedge \langle e_2 \rangle$$

$$\wedge x = \wedge \langle e_1 \rangle, \wedge y = \langle e_2 \rangle$$

交換代数元に対するハット演算 交換代数元に対するハット演算は、交換代数元に含まれるすべての基底に対してハット演算を行った結果となる。

$$x = 10 \langle e_1 \rangle + 20 \langle e_2 \rangle + 30 \wedge \langle e_3 \rangle, y = 1 \wedge \langle e_1 \rangle + 2 \wedge \langle e_2 \rangle + 3 \langle e_3 \rangle$$

$$\wedge x = \wedge 10 \langle e_1 \rangle + \wedge 20 \langle e_2 \rangle + 30 \langle e_3 \rangle, \wedge y = 1 \langle e_1 \rangle + 2 \langle e_2 \rangle + 3 \wedge \langle e_3 \rangle$$

交換代数元の加算 交換代数元の加算は、同じ基底の値が加算された結果となる。

$$x = 10 \langle e_1 \rangle + 20 \langle e_2 \rangle + 30 \wedge \langle e_3 \rangle, y = 30 \langle e_1 \rangle + 20 \wedge \langle e_2 \rangle + 10 \langle e_3 \rangle$$

$$x + y = 10 \langle e_1 \rangle + 20 \langle e_2 \rangle + 30 \wedge \langle e_3 \rangle + 30 \langle e_1 \rangle + 20 \wedge \langle e_2 \rangle + 10 \langle e_3 \rangle$$

$$= 40 \langle e_1 \rangle + 20 \langle e_2 \rangle + 30 \wedge \langle e_3 \rangle + 20 \wedge \langle e_2 \rangle + 10 \langle e_3 \rangle$$

交換代数元に対するバー演算 交換代数元に対するバー演算は、次のように定義される。

$$x = a \langle e \rangle + b \wedge \langle e \rangle$$

$$a > b \text{ の時、 } \sim x = (a - b) \langle e \rangle$$

$$a < b \text{ の時、 } \sim x = (a - b) \wedge \langle e \rangle$$

$a = b$ の時、交換代数基底 $\langle e \rangle$ を持つ元が取り除かれる。

交換代数元と実数値の積 交換代数元と実数値の積は、交換代数元の全ての要素の値に実数値を乗じた結果となる。

$$x = a \langle e \rangle + b \wedge \langle e \rangle, c = \text{実数値、ただし } c \geq 0$$

$$x \times c = c \times x = (ac) \langle e \rangle + (bc) \wedge \langle e \rangle$$

交換代数元と実数値の商 交換代数元と実数値の商は、交換代数元の全ての要素の値を実数値で除した結果となる。

$$x = a \langle e \rangle + b \wedge \langle e \rangle, c = \text{実数値、ただし } c > 0$$

$$x/c = (a/c) \langle e \rangle + (b/c) \wedge \langle e \rangle$$

交換代数元の逆数 交換代数元の逆数は、交換代数元の全ての要素の値の逆数を持つものとなる。

$$x = a \langle e \rangle + b \wedge \langle e \rangle, \text{ただし } a \neq b \neq 0$$

交換代数元の逆元 交換代数元の逆元は、次のように定義される。

$$x = a \langle e \rangle + b \wedge \langle e \rangle$$

$$\text{invElement}(x) = c \langle e \rangle + d \wedge \langle e \rangle$$

$$a > b \text{ の時、 } c = 1/(a - b), d = 0$$

$$a < b \text{ の時、 } c = 0, d = 1/(b - a)$$

$a = b$ の時、 $c = 0, d = 0$ 、ただし、演算結果から値が 0 の要素は取り除かれる。

交換代数元の積（要素積） 交換代数元の積（要素積）は、次のように定義される。

$$v = a \langle e \rangle + b \wedge \langle e \rangle, w = c \langle e \rangle + d \wedge \langle e \rangle$$

$$v \times w = w \times v = (ac + bd) \langle e \rangle + (ad + bc) \wedge \langle e \rangle$$

積の定義において、対となる基底が存在しない場合は、値が 0 である要素を持つとみなして計算し、演算結果から値が 0 である要素を取り除いた結果となる。

交換代数元の商（要素商） 交換代数元の商（要素商）は、次のように定義される。

$$v/w = v \times \text{invElement}(w)$$

積の定義において、対となる基底が存在しない場合は、値が 0 である要素を持つとみなして計算し、演算結果から値が 0 である要素を取り除いた結果となる。

K.6 交換代数の変換

交換代数の変換とは、基底パターンによって定義された変換定義に従って、交換代数元の要素を変換する機能である。

基底パターン 基底パターンは、交換代数基底と同様に、ハットキー、名前キー、単位キー、時間キー、主体キーを保持する。

基底パターンの文字列表現は、

名前キー'-' ハットキー'-' 単位キー'-' 時間キー'-' 主体キー

である。

変換定義では、変換対象の基底を特定するための変換元基底パターンと、変換対象基底の変換結果を指定する変換先基底パターンを指定する。交換代数の変換では、変換元基底パターンによって基底のパターンマッチングを行い、変換先基底パターンに基底を変換する。

K.7 交換代数元の変換

交換代数元の変換は、変換定義に従い、指定された交換代数元の要素を変換する機能である。

振替変換 振替変換は、交換代数元の要素の基底を別の基底に振り替える。

$$x = 6\wedge \langle e_1 \rangle + 2 \langle e_2 \rangle + 2 \langle e_3 \rangle + 4 \langle e_4 \rangle + 5\wedge \langle e_5 \rangle$$

に対して、変換定義 t が次の場合

$$(\text{from}) \langle e_1 \rangle \rightarrow (\text{to}) \langle e_A \rangle$$

$$(\text{from}) \langle e_2 \rangle \rightarrow (\text{to}) \langle e_A \rangle$$

$$(\text{from}) \langle e_3 \rangle \rightarrow (\text{to}) \langle e_A \rangle$$

変換結果 r は次のようになる。

$$\begin{aligned} r &= 6\wedge \langle e_1 \rangle + 2\langle e_2 \rangle + 2\langle e_3 \rangle + 4\langle e_4 \rangle + 5\wedge \langle e_5 \rangle \\ &+ 6\langle e_1 \rangle + 6\wedge \langle e_A \rangle \\ &+ 2\wedge \langle e_2 \rangle + 2\langle e_A \rangle \\ &+ 2\wedge \langle e_3 \rangle + 2\langle e_A \rangle \\ &= 6\wedge \langle e_1 \rangle + 2\langle e_2 \rangle + 2\langle e_3 \rangle + 4\langle e_4 \rangle + 5 \\ &+ 6\langle e_1 \rangle + 6\wedge \langle e_A \rangle + 2\wedge \langle e_2 \rangle + 4\langle e_A \rangle + 2\wedge \langle e_3 \rangle \end{aligned}$$

按分変換 按分変換は、交換代数元の要素の基底と値を、変換定義の比率によって、複数の基底と値に按分する。

$$x = 90\wedge \langle e_1 \rangle + 4\langle e_2 \rangle + 5\wedge \langle e_3 \rangle$$

に対して、按分変換テーブル (TransMatrix) の変換定義 t が次の場合

$$(from) \langle e_1 \rangle \rightarrow (to) \langle e_A \rangle, (value) 0.1$$

$$(from) \langle e_1 \rangle \rightarrow (to) \langle e_B \rangle, (value) 0.4$$

$$(from) \langle e_1 \rangle \rightarrow (to) \langle e_C \rangle, (value) 0.5$$

変換結果 r は次のようになる。

$$\begin{aligned} r &= 90\wedge \langle e_1 \rangle + 4\langle e_2 \rangle + 5\wedge \langle e_5 \rangle \\ &+ 90\langle e_1 \rangle + (90 \times 0.1)\wedge \langle e_A \rangle \\ &+ (90 \times 0.4)\wedge \langle e_B \rangle \\ &+ (90 \times 0.5)\wedge \langle e_C \rangle \\ &= 90\wedge \langle e_1 \rangle + 4\langle e_2 \rangle + 5\wedge \langle e_5 \rangle \\ &+ 90\langle e_1 \rangle + 9\langle e_A \rangle + 36\wedge \langle e_B \rangle + 45\wedge \langle e_C \rangle \end{aligned}$$

その他の変換 変換テーブル (ExTransfer) では、振替変換と按分変換のほか、'hat' 属性による変換と 'multiply' 属性による変換定義ができる。

'hat' 属性による変換定義は、振替変換と同じ変換を行い、変換結果にハット演算を行った結果となる。

'multiply' 属性による変換定義は、変換定義に指定された値を変換対象の値に乗ずる。

$$x = 90\wedge \langle e_8 \rangle + 4\langle e_4 \rangle + 5\wedge \langle e_5 \rangle$$

に対して、変換定義 t が次の場合

$$(from) \langle e_5 \rangle \rightarrow (to) \langle e_B \rangle, (attr) \text{hat}$$

$$(from) \langle e_8 \rangle \rightarrow (to) \langle e_F \rangle, (attr) \text{multiply}, (value) 2$$

$(from) \langle e_8 \rangle \rightarrow (to) \langle e_G \rangle, (attr) multiply, (value) 4$

変換結果 r は次のようになる。

$$\begin{aligned} r &= 90 \wedge \langle e_8 \rangle + 4 \langle e_4 \rangle + 5 \wedge \langle e_5 \rangle \\ &+ 90 \langle e_8 \rangle + (90 \times 2) \wedge \langle e_F \rangle \\ &+ (90 \times 4) \wedge \langle e_G \rangle \\ &+ 5 \langle e_5 \rangle + \wedge (5 \wedge \langle e_B \rangle) \\ &= 90 \wedge \langle e_8 \rangle + 4 \langle e_4 \rangle + 5 \wedge \langle e_5 \rangle \\ &+ 90 \langle e_8 \rangle + 180 \wedge \langle e_F \rangle \\ &+ 360 \wedge \langle e_G \rangle \\ &+ 5 \langle e_5 \rangle + 5 \langle e_B \rangle \end{aligned}$$

K.8 ファイル入出力

AADL では、テキスト形式のほか、交換代数標準形の CSV 形式などによるファイル入出力がサポートされている。

`Exalge`, `ExalgeSet`, `ExBaseSet`, `ExBasePatternSet`, `TransTable`, `TransMatrix`, `ExTransfer` 型変数の値は、交換代数標準形として定義されている CSV ファイル・フォーマット等によるファイル入出力が可能である。

テキスト・ファイル形式によるファイル入出力の対象は、`String`, `StringList` 型変数である。

ファイル入力の記述 `vars : String, a : Exalge, t : TransTable;`

//ファイル入力

```
s << - txtFile($1); //$1 に指定されたファイルをテキスト・ファイルとして読み込む
a << - csvFile($2); //$2 に指定されたファイルを CSV 形式のファイルとして読み込む
t << - csvFile($3); //$3 に指定されたファイルを CSV 形式のファイルとして読み込む
```

ファイル出力の記述 `vars : String, a : Exalge, t : TransTable;`

//ファイル出力

```
s ->> txtFile($1); //$1 に指定されたファイルをテキスト・ファイルとして出力
a ->> csvFile($2); //$2 に指定されたファイルを CSV 形式のファイルとして出力
t ->> csvFile($3); //$3 に指定されたファイルを CSV 形式のファイルとして出力
```

本論文では、交換代数集合の CSV 標準形式を AADL 形式とする。

交換代数集合の標準形ファイル・フォーマット CSV 形式の場合、カンマ区切りのテキスト・ファイルで次のようなフォーマットとなる。

1. 行の先頭（最初のカラム）から、次のような順序でカラムを認識する。値、ハットキー、名前キー、単位キー、時間キー、主体キー
2. 空白行は交換代数の元の区切りとなる（ExAlgeSet データ型のみ）
3. 連続した空白行は、1 行分の空白とみなす。
4. 各カラムにおける前後空白は、無視される。
5. '#' で始まる行は、コメント行とみなす。
6. 先頭カラムが"null"の場合は、null 値とみなす。
7. ハットキーが省略された場合、ハット無し基底とみなす。
8. 単位キー以降のカラムが省略された場合、省略記号('#') が代入される。

交換代数基底集合の標準形ファイル・フォーマット CSV 形式の場合、カンマ区切りのテキスト・ファイルで次のようなフォーマットとなる。

1. 行の先頭（最初のカラム）から、次のような順序でカラムを認識する。ハットキー、名前キー、単位キー、時間キー、主体キー
2. 空白行は無視される
3. 各カラムにおける前後空白は、無視される。
4. '#' で始まる行は、コメント行とみなす。
5. ハットキーが省略された場合、ハット無し基底とみなす。
6. 単位キー以降のカラムが省略された場合、省略記号('#') が代入される。

基底パターン集合の標準形ファイル・フォーマット CSV 形式の場合、カンマ区切りのテキスト・ファイルで次のようなフォーマットとなる。

1. 行の先頭（最初のカラム）から、次のような順序でカラムを認識する。ハットキー、名前キー、単位キー、時間キー、主体キー
2. CSV ファイルの先頭（第 1 行目）は識別子となり、必ず次の文字列でなければならない。`#ExBasePatternSet`
3. CSV ファイルの第 2 行目はヘッダー行となり、必ず次の文字列でなければならない。`hat,name,unit,time,subject`
4. 空白行は無視される
5. 各カラムにおける前後空白は、無視される。
6. `'#'` で始まる行は、コメント行とみなす。
7. ハットキーが省略された場合、ワイルドカード記号 `('*)` が代入される。
8. 名前キー以降のカラムが省略された場合、ワイルドカード記号 `('*)` が代入される。

振替変換テーブルの標準形ファイル・フォーマット CSV 形式の場合、カンマ区切りのテキスト・ファイルで次のようなフォーマットとなる。

1. 行の先頭（最初のカラム）から、次のような順序でカラムを認識する。属性、名前キー、単位キー、時間キー、主体キー
2. 空白行は無視される
3. 各カラムにおける前後空白は、無視される。
4. `'#'` で始まる行は、コメント行とみなす。
5. 属性に指定可能な文字列は、振替元を示す `from`（空白）または、振替先を示す `to` のいずれか。
6. 属性が省略された場合、`from` とみなす。
7. 基底キーのカラムが省略された場合、ワイルドカード記号 `('*)` が代入される。
8. 連続した `"from"` 属性の基底が、次の `"to"` 属性の基底に関連づけられる。

按分変換テーブルの標準形ファイル・フォーマット CSV 形式の場合、カンマ区切りのテキスト・ファイルで次のようなフォーマットとなる。

1. 行の先頭（最初のカラム）から、次のような順序でカラムを認識する。属性、按分比率、名前キー、単位キー、時間キー、主体キー
2. 空白行は無視される
3. 各カラムにおける前後空白は、無視される。
4. '#' で始まる行は、コメント行とみなす。
5. 属性に指定可能な文字列は、按分元を示す **from** または、按分先を示す **to**（空白）のいずれか。
6. 属性は、**from** が按分元基底、**to** が按分先基底を示す。
7. 属性が省略された場合、**to** とみなす。
8. 属性が **from** の按分比率は無視される。
9. 按分比率は 0 より大きい数値でなければならない。
10. 基底キーのカラムが省略された場合、ワイルドカード記号（'*'）が代入される。
11. 連続した"to"属性の基底が、次の"from"属性の基底に関連づけられる。

変換テーブルの標準形ファイル・フォーマット CSV 形式の場合、カンマ区切りのテキスト・ファイルで次のようなフォーマットとなる。

1. 行の先頭（最初のカラム）から、次のような順序でカラムを認識する。変換元基底パターン名前キー、変換元基底パターン単位キー、変換元基底パターン時間キー、変換元基底パターン主体キー、変換先基底パターン名前キー、変換先基底パターン単位キー、変換先基底パターン時間キー、変換先基底パターン主体キー、変換属性名、返還属性値
2. CSV ファイルの第行目はヘッダー行となり、必ず次の文字列でなければならない。
from_name,from_unit,from_time,from_subject,to_name,to_unit,to_time,to_subject,attribute,value
3. 空白行は無視される

4. 各カラムにおける前後空白は、無視される。
5. '#' で始まる行は、コメント行とみなす。
6. 属性名に指定可能な文字列は、ratio,multiply, aggre, hat のいずれか。
7. 属性名が省略された場合は、aggre 属性となる。この場合、属性値も省略できる。
8. 属性名が hat の場合、属性値は省略できる。
9. 属性名が aggre もしくは hat の場合、属性値にどのような値を指定しても、常に 1 となる。
10. 基底キーのカラムが省略された場合、ワイルドカード記号('*') が代入される。

K.9 内包記述ブロック

AADL では、繰り返し処理を記述する文法は定義されていない。繰り返しの制御構造に近い動作を実現するための文法として「内包記法」が利用可能である。

内包記法ブロックは次のように定義される。

'{内包式 'I'(イテレータ式|評価式|エイリアス|ブロック)['I'(イテレータ式|評価式|エイリアス|ブロック)]...'}

内包記法は、イテレータ式に記述された内容で繰り返し処理を行い、内包式を実行する記法である。内包記法ブロックは内包式が返す値のリストを生成する。内包式が返す値は、その値を複数格納できるコレクション型の要素でなければならない。内包記述ブロックが返すリストを変数に代入する場合は、内包式が返す値を複数格納できるコレクション型変数でなければならない。

内包記法では、'I'の後にカンマ区切りで記述された順序で、イテレータ式、評価式、エイリアスブロックが実行され、最後に内包式が実行される。

内包記述ブロック内のブロックには通常の文を記述することができる。また、内包記述ブロックのみで有効な'break' 分を含めることができる。'break' 文に処理が到達したとき、この内包記述ブロックの外に制御を移すことができる。

イテレータ式 イテレータ式の書式は次のように定義される。

識別子' ←'(識別子|リストリテラル|ファイル記述子)

最初の識別子は、リストの要素を格納する変数（イテレータ要素変数）の変数名である。イテレート記号 ' $\leftarrow$ ' の後には、コレクション型の値を、リストリテラルもしくは変数名で記述する。このコレクション型の要素が任意の順序で取り出され、イテレータ要素変数に格納される。イテレータ式を複数記述した場合、二重、三重の繰り返し処理が実行される。

ファイル記述子を指定した場合は、そのファイルの順次読み込みを行うイテレートとなる。このファイル記述子に '`txtFile`' を指定した場合は `TextFileReader` オブジェクトとしてイテレートする。'`csvFile`' を指定した場合は `CsvFileReader` オブジェクトとしてイテレートする。

エイリアス エイリアスは内包記述ブロック内で、式の結果を格納する一時変数を定義する記述となる。

識別子 '`=`' 式

式には任意の式を記述できる。

評価式 評価式には真偽値 (`Boolean`) を返す式を記述する。内包記述ブロックの実行において、この評価式の結果が偽 (`false`) となる場合、以降のイテレータ式、評価式、エイリアス、ブロックは評価されず、偽 (`false`) を返した評価式の直前にあるイテレータ式で記述された繰り返し処理が継続される。

内包式 内包式には、内包記述ブロックの結果を代入するコレクション型変数の要素と同じデータ型の値を返す式を記述する。

内包式では、同一内包記述ブロック内のイテレータ要素変数、エイリアス変数を参照することができる。

K.10 関数

AADL では、'`function`' キーワードにより任意の関数を定義することができる。

K.11 Java アクション・ブロック

'`{`' から '`}`' までの記述は、Java プログラムコードとなる。Java アクション・ブロックは、式として AADL プログラム中に埋め込むことができる。また、プログラム・ブロック、関数定義ブロックの外にも記述できる。

付録 L ADDL(Algebraic Data Description Language)

L.1 ADDL の概要

ADDL(Algebraic Data Description Language) は、データ代数を用いた代数的仕様記述を直接コンパイルできる高次言語である。

ADDL の概要についてパイケー (2010b)([144]) に基づき記述する。

ADDL(Algebraic Data Description Language) は、データ代数による代数的仕様記述のために開発された言語である。交換代数を取り扱う AADL 言語を処理する AADL コンパイラに処理機能が追加されており、AADL コンパイラでコンパイルされ、AADL 実行モジュールが生成される。(ADDL 言語のコンパイル結果も AADL 実行モジュールに含まれている。)

AADL コンパイラは、ADDL プログラムコードを Java プログラムとして実行可能なモジュールにコンパイルする。したがって、AADL 実行モジュールは Java プログラムとして Java 実行環境の下で、動作する。

図 L.1 に AADL コンパイラの ADDL 言語処理に関する構成概念図を示す。

データ代数に関する記述はデータ代数パッケージのクラス・メソッド呼び出しに変換される。

生成された Java プログラム・コードは、Oracle 社の提供する Java コンパイラによってバイトコードにコンパイルされ、Java 実行モジュール (Jar ファイル) として出力される。

データ代数パッケージ (Dtalge2.jar) は、出口、パイケーによって開発された。

L.2 ADDL のデータ型

ADDL で利用できるデータ型のうち、領域特定のものは次の通りであり、データ代数パッケージに実装されている。

DtBase データ代数の基底

DtBaseSet データ代数基底 (DtBase) の集合

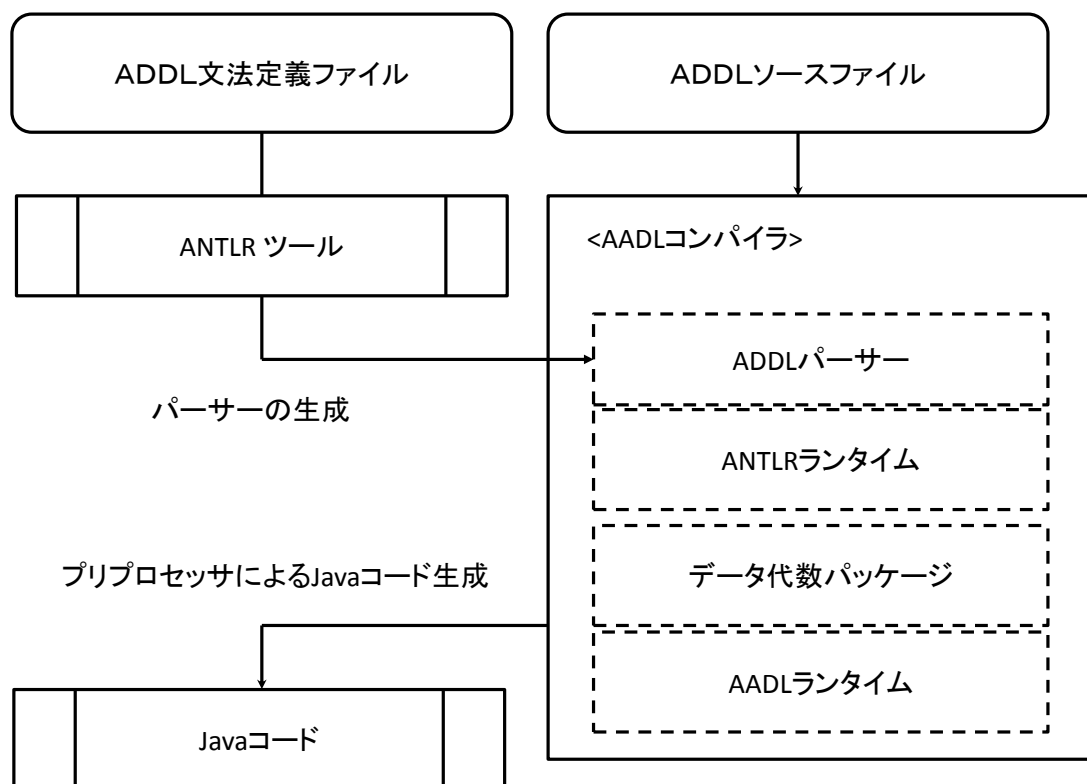


図 L.1: AADL コンパイラの ADDL 言語処理に関する構成概念図

DtBasePattern データ代数の基底パターン。アスタリスクを任意の文字列にマッチするワイルドカードとみなし、基底とのマッチングを行うデータ型

DtBasePatternSet データ代数の基底パターン (**DtBasePattern**) の集合

DtAlge データ代数の元。このデータ型は、一組の「データ代数基底と値のペア」を 1 要素とする、複数の要素で構成される。

DtStringThesaurus 語句のシソーラス定義

DtAlgeSet データ代数元の集合

ADDL で利用できるリテラルのうち、領域特有のものは次の通りである。

DtBase データ代数基底リテラル ' << "name","string" >>' など。名前キー、データ型キー、属性キー、主体キーの順に指定。データ型キーは、"boolean","decimal","string" のみが指定でき、それぞれ、Boolean 型、Decimal 型、String 型を示す。

DtAlge データ代数元リテラル '3.01@ << "value","decimal" >>' や 'sna@ << "name","string" >>' など、'@' 演算子により、値となるオブジェクト及び **DtBase** オブジェクトから生成される。値となるオブジェクトは **DtBase** 変数のデータ型キーに応じて、Boolean 型、Decimal 型、String 型もしくは null 値リテラルとなる。

なお、次のオブジェクトはファイルからの読み込みにより生成される。

DtStringThesaurus 語句のシソーラス定義

L.3 データ代数の演算

データ代数元の結合 データ代数元の結合は、2 つのデータ代数元に同じ基底の要素が存在する場合、右側の要素の値となる。

$x = \text{鈴木} \ll \text{名前}, \text{string} \gg + 25 \ll \text{年齢}, \text{decimal} \gg + \text{男性} \ll \text{性別}, \text{string} \gg$

$y = \text{田中} \ll \text{名前}, \text{string} \gg + 35 \ll \text{年齢}, \text{decimal} \gg + \text{true} \ll \text{フラグ}, \text{boolean} \gg$

$x + y = \text{田中} \ll \text{名前}, \text{string} \gg + 35 \ll \text{年齢}, \text{decimal} \gg + \text{男性} \ll \text{性別}, \text{string} \gg + \text{true} \ll \text{フラグ}, \text{boolean} \gg$

比較演算子 比較演算子'==' は2つのデータ代数元が等しい場合に **true**、等しくない場合に **false** となる。

比較演算子'!=' は2つのデータ代数元が等しい場合に **false**、等しくない場合に **true** となる。

2つのデータ代数元が等しいとは、すべての要素の基底と値が等しい場合である。

L.4 ファイル入出力

ADDL では、データ代数標準形の CSV 形式などによるファイル入出力がサポートされている。

ファイル入力の記述 `vara : Dtalge, t : DtStringThesaurus;`

//ファイル入力

`a << - csvFile($1);` // \$1 に指定されたファイルを CSV 形式のファイルとして読み込む

`t << - csvFile($2);` // \$2 に指定されたファイルを CSV 形式のファイルとして読み込む

ファイル出力の記述 `vara : Dtalge, t : DtStringThesaurus;`

//ファイル出力

`a ->> csvFile($1);` // \$1 に指定されたファイルを CSV 形式のファイルとして出力

`t ->> csvFile($2);` // \$2 に指定されたファイルを CSV 形式のファイルとして出力

本論文では、データ代数集合のテーブル形式 CSV 形式を ADDL 形式とする。

データ代数集合のテーブル形式ファイル・フォーマット CSV 形式（テーブル形式）の場合、カンマ区切りのテキスト・ファイルで次のようなフォーマットとなる。

1. CSV ファイルの第1行目は次のキーワード。 `#DtalgebraTable`
2. 空白文字も有効な文字と認識する
3. 1列に1つの基底と、その基底に対応する値を記述する。
4. 第2行目～第5行目は、データ代数集合に含まれるすべてのデータ代数基底 (`DtBase`) の内容を記述する。
5. 第2行目には、基底の名前キーを記述する。
6. 第3行目には、基底のデータ型キーを記述する。

7. 第4行目には、基底の属性キーを記述する。省略された場合、省略記号('＃')が代入される。
8. 第5行目には、基底の主体キーを記述する。省略された場合、省略記号('＃')が代入される。
9. 第6行目以降には、1行が1つのデータ代数元となり、データ代数元の値を、基底に対応する列に記述する。

シソーラス定義の標準形ファイル・フォーマット CSV形式の場合、カンマ区切りのテキスト・ファイルで次のようなフォーマットとなる。

1. 第1行目は、次のキーワード#Thesaurus
2. 空白文字も有効な文字と認識する。
3. 1行を1関係とし、行の先頭から次のような順序でカラムを認識する。親データ値、子データ値
4. 空白行は無視される

L.5 シソーラス変換の組み込み関数

シソーラス変換の組み込み関数の書式は次の通り。

`thesconv(a:Dtalge, b:DtBase, t:DtStringThesaurus, l:StringList):Dtalge`

この組み込み関数により、データ代数元 (a) に含まれる要素のうち、基底 (b) に対応する要素の値を、シソーラス定義 (t) に従って分類集合 (l) の値に振り替えたデータ代数元を生成する。

a:

$d_1 = \text{さんま} \langle\langle \text{食材, string} \rangle\rangle + \text{田中} \langle\langle \text{名前, string} \rangle\rangle + 25 \langle\langle \text{年齢, decimal} \rangle\rangle$

$d_2 = \text{りんご} \langle\langle \text{食材, string} \rangle\rangle + \text{佐々木} \langle\langle \text{名前, string} \rangle\rangle + 12 \langle\langle \text{年齢, decimal} \rangle\rangle$

$d_3 = \text{たい} \langle\langle \text{食材, string} \rangle\rangle + \text{田辺} \langle\langle \text{名前, string} \rangle\rangle + 55 \langle\langle \text{年齢, decimal} \rangle\rangle$

$d_4 = \text{みかん} \langle\langle \text{食材, string} \rangle\rangle + \text{石川} \langle\langle \text{名前, string} \rangle\rangle + 30 \langle\langle \text{年齢, decimal} \rangle\rangle$

$d_5 = \text{牛肉} \langle\langle \text{食材, string} \rangle\rangle + \text{佐藤} \langle\langle \text{名前, string} \rangle\rangle + 44 \langle\langle \text{年齢, decimal} \rangle\rangle$

b : $\langle\langle \text{食材, string} \rangle\rangle$

t:

魚 ← あじ

魚 ← さんま

魚 ← さば

魚 ← たい

果物 ← みかん

果物 ← バナナ

果物 ← りんご

豚肉 ← 肉

牛肉 ← 肉

鶏肉 ← 肉

1 :

{ 魚、果物、野菜、肉 }

の時、変換結果

$d_1 = \text{魚} \langle\langle \text{食材}, string \rangle\rangle + \text{田中} \langle\langle \text{名前}, string \rangle\rangle + 25 \langle\langle \text{年齢}, decimal \rangle\rangle$

$d_2 = \text{果物} \langle\langle \text{食材}, string \rangle\rangle + \text{佐々木} \langle\langle \text{名前}, string \rangle\rangle + 12 \langle\langle \text{年齢}, decimal \rangle\rangle$

$d_3 = \text{魚} \langle\langle \text{食材}, string \rangle\rangle + \text{田辺} \langle\langle \text{名前}, string \rangle\rangle + 55 \langle\langle \text{年齢}, decimal \rangle\rangle$

$d_4 = \text{果物} \langle\langle \text{食材}, string \rangle\rangle + \text{石川} \langle\langle \text{名前}, string \rangle\rangle + 30 \langle\langle \text{年齢}, decimal \rangle\rangle$

$d_5 = \text{肉} \langle\langle \text{食材}, string \rangle\rangle + \text{佐藤} \langle\langle \text{名前}, string \rangle\rangle + 44 \langle\langle \text{年齢}, decimal \rangle\rangle$

付録M AADLによる国民経済計算の処理事例

M.1 集合論的な記述

AADL を用いた集合論的なプログラム例を示す。

```
var exbaseSet : ExBaseSet = getBases( exalge );
```

```
var timeKeyList : DecimalList
```

```
= {time | exbase <- exbaseSet, time = getYear(getTimeKey(exbase))};
```

交換代数元 *exalge* から、交換代数基底集合を取り出す組み込み関数 *getBases* により、*exbaseSet* に交換代数基底集合を生成している。次に、内包記法により、この交換代数基底集合から要素を一つずつ交換代数基底 *exbase* に取り出し、*time* 基底を取り出す組み込み関数 *getTimeKey* と、基底文字列から年の実数値を取り出すユーザ関数 *getYear* により、年をエイリアス変数 *time* に代入し、*time* の集合を *DecimalList* として、リスト変数 *timeKeyList* に格納している。

このプログラム例からわかるように、*java* の *for* ループなどのイタレーション処理は表面には表れず、AADL コンパイラによるコンパイル処理により生成される。このため、プログラマはイタレーションのために用いる変数を意識する必要が無い。

国民経済計算における計算処理は、時系列や産業別、品目別などに繰り返し処理を行うことが多いため、集合論的な記述により処理内容を理解しやすい形で記述することができる。

M.2 月次データの年次集計処理

表M.1 の家計調査データは月次データである。表 L.1 には、10 月と 11 月のデータのみが示されているが、1 月から 12 月までのデータがあり、1 年間のデータを集計処理する作業を考えよう。

この場合は、振替変換を使って、*time* 基底を次のように振り替えれば良い。

Y2009M01 → Y2009

Y2009M02 → Y2009

Y2009M03 → Y2009

表 M.1: AADL 形式データによる、家計調査データの事例 (一部)

値	ハットキー	名前キー	単位キー	時間キー	主体キー
2539	NO_HAT	テレビ	円	Y2009M11	#
0	NO_HAT	ステレオセット	円	Y2009M11	#
49	NO_HAT	携帯型音楽・映像用機器	円	Y2009M11	#
350	NO_HAT	ビデオデッキ	円	Y2009M11	#
1158	NO_HAT	パーソナルコンピュータ	円	Y2009M11	#
210	NO_HAT	カメラ	円	Y2009M11	#
1268	NO_HAT	テレビ	円	Y2009M10	#
12	NO_HAT	ステレオセット	円	Y2009M10	#
37	NO_HAT	携帯型音楽・映像用機器	円	Y2009M10	#
197	NO_HAT	ビデオデッキ	円	Y2009M10	#
522	NO_HAT	パーソナルコンピュータ	円	Y2009M10	#
155	NO_HAT	カメラ	円	Y2009M10	#

Y2009M04 → Y2009

Y2009M05 → Y2009

Y2009M06 → Y2009

Y2009M07 → Y2009

Y2009M08 → Y2009

Y2009M09 → Y2009

Y2009M10 → Y2009

Y2009M11 → Y2009

Y2009M12 → Y2009

名前、単位、主体の各基底については、すべて対象とする、'#' を指定する。

AADL によるプログラムは次のようになる。

```
var yearlyData : Exalge = ~ aggreTransfer(monthlyData, transTable) :
```

ここで、monthlyData は月次データ、transTable は上述の振替変換テーブルであり、csv ファイルから読み込んだものとする。

バー演算 (~) により、振替伝票と monthlyData が相殺処理され、time 基底が共通となることで、品目別の集計値を求めることができる。

M.3 分類の集計処理

表M.1の家計調査データは教養娯楽用耐久財の品目別データである。これらを上位分類に集計処理する作業を考えよう。

この場合は、振替変換を使って、name 基底を次のように振り替えれば良い。

テレビ → 教養娯楽用耐久財

ステレオセット → 教養娯楽用耐久財

携帯型音楽・映像用機器 → 教養娯楽用耐久財

ビデオデッキ → 教養娯楽用耐久財

パーソナルコンピュータ → 教養娯楽用耐久財

カメラ → 教養娯楽用耐久財

単位、時間、主体の各基底については、すべて対象とする、'#'を指定する。

AADLによるプログラムは月次データの年次集計処理と全く同じである。同一のモジュールを振替変換のデータを入れ替えて使用すれば良い。

各品目別のデータが共通の名前基底'教養娯楽用耐久財'となり、上位分類での集計値を求めることができる。

M.4 実質化処理

表M.1の家計調査データを、消費者物価指数をデフレータとして基準時点における実質値を求める実質化処理を考える。これらの品目に相当する消費者物価指数の品目は表L.2の通りである。このように、家計調査と消費者物価指数では品目名が異なっている。また、パソコンなどでは、家計調査では1品目だが、消費者物価指数では3品目に分割されている。

国民経済計算の推計では、このように異なる統計を総合する必要があるため、統計によって異なる分類基準を統一することが重要な作業である。

消費者物価指数を家計調査の品目分類に統一するには、両者の統計としての性格を正しく理解しておく必要がある。消費者物価指数は、家計調査の品目分類のうち、代表的な品目について価格を調査している。家計調査の品目分類は、家計で購入されるすべての品目をカバーしている。こうした、分類の差異を調整する情報として、消費者物価指数には、品目ごとのウェイトの情報がある。表L.3に対応するウェイトを示す。このウェイトによる加重平均の指数をデフレータとして作成すればよい。

表 M.2: AADL 形式データによる、消費者物価指数データ (一部)

値	ハットキー	名前キー	単位キー	時間キー	主体キー
27.7	NO.HAT	9013 テレビ (薄型)	# Y2009M11	#	
52.8	NO.HAT	9021 ステレオセット	# Y2009M11	#	
55.7	NO.HAT	9033 携帯オーディオ機器	# Y2009M11	#	
42.4	NO.HAT	9034DVD レコーダー	# Y2009M11	#	
28.3	NO.HAT	9078 パソコン (デスクトップ型)	# Y2009M11	#	
14.4	NO.HAT	9079 パソコン (ノート型)	# Y2009M11	#	
48.1	NO.HAT	9081 パソコン用プリンタ	# Y2009M11	#	
23	NO.HAT	9043 カメラ	# Y2009M11	#	
41	NO.HAT	9042 ビデオカメラ	# Y2009M11	#	
29.2	NO.HAT	9013 テレビ (薄型)	# Y2009M10	#	
52.5	NO.HAT	9021 ステレオセット	# Y2009M10	#	
55.8	NO.HAT	9033 携帯オーディオ機器	# Y2009M10	#	
41.7	NO.HAT	9034DVD レコーダー	# Y2009M10	#	
30.9	NO.HAT	9078 パソコン (デスクトップ型)	# Y2009M10	#	
14.6	NO.HAT	9079 パソコン (ノート型)	# Y2009M10	#	
49.5	NO.HAT	9081 パソコン用プリンタ	# Y2009M10	#	
24.1	NO.HAT	9043 カメラ	# Y2009M10	#	

加重平均を得る AADL プログラミングは次のようにすればよい。

1. 表 M.3 に示した交換代数元の time 基底を "Y2009M11" に振替変換し、交換代数元 m_{11} とする。
2. 表 M.3 に示した交換代数元の time 基底を "Y2009M10" に振替変換し、交換代数元 m_{10} とする。
3. $m = m_{10} + m_{11}$ により交換代数元 m を生成する。
4. 表 M.2 に示した、交換代数元と交換代数元 m の要素積を求め、交換代数元 a とする。
5. 交換代数元 a に対して品目を家計調査品目に振替変換し、交換代数元 b とする。

表 M.3: AADL 形式データによる、消費者物価指数ウェイトデータの事例 (一部)

値	ハットキー	名前キー	単位キー	時間キー	主体キー
100165	NO_HAT	9013 テレビ (薄型)	#	Y2007M12	#
8041	NO_HAT	9021 ステレオセット	#	Y2007M12	#
6328	NO_HAT	9033 携帯オーディオ機器	#	Y2007M12	#
32559	NO_HAT	9034DVD レコーダー	#	Y2007M12	#
42366	NO_HAT	9078 パソコン (デスクトップ型)	#	Y2007M12	#
66571	NO_HAT	9079 パソコン (ノート型)	#	Y2007M12	#
12109	NO_HAT	9081 パソコン用プリンタ	#	Y2007M12	#
26509	NO_HAT	9043 カメラ	#	Y2007M12	#
12664	NO_HAT	9042 ビデオカメラ	#	Y2007M12	#

6. 表 M.3 に示した、交換代数元に対して、品目を家計調査品目に振替変換し、家計調査品目によるウェイトを、交換代数元 c とする。

7. 交換代数元 b と交換代数元 c の要素商を求める。

より多くの時点のデータを対象とする場合は、1. から 3. の手順を一括して他の時点についても行っておき、連続した時系列としてのウェイトのデータをファイルに準備しておけばよい。

付録N 単価指数推計システムへの提案手法適用による効果

N.1 単価指数推計システムの概要

日本の国民経済計算においては、総務省統計局消費者物価指数 (CPI)、日本銀行企業物価指数 (CGPI) などの物価統計に基づき「原則としてコモ法 6 桁品目」分類で「基本単位デフレーター」を作成している ([145])。単価指数とは、既存の物価統計で計測されていない品目の価格指数を、取引金額や取引数量に関する統計から平均単価を算出することにより国民経済計算部が独自に計算するものである。

例えば肉用牛の輸入物価は財務省貿易統計の牛の輸入額と輸入数量から単価指数の一部として計算される。

単価指数では、消費者物価指数や企業物価指数と異なり、調査品目の品質に関する管理がなされていないため、平均単価はこれらの指数に比べて大幅に上下する。単価の高い季節と安い季節があるなど、季節変動の影響も受けやすい。これらの影響を除去するため、12ヶ月後方移動平均をとる、平均からのはずれ値が大きなデータは平均から標準偏差の定数倍の値で置き換えるなどの処理を行っている。

N.2 単価指数推計システムの現在

現在の単価指数推計システムは 11 のプログラムによって構成されている。現状のプログラムの構成及び規模を表 N.1 に示す。

最初のプログラムは COBOL により貿易統計の磁気テープを処理するもので、323 ステップより成る。

次に PL/I による 30 ステップのプログラムにより、COBOL 形式データの FORTRAN 形式への変換が行われている。

さらに SAS による 11 ステップのプログラムで、再度データ・フォーマットの変換を行っている。これは、データ提供フォーマットの変更に対して、従来から利用してきた FORTRAN のプログラムの入力形式に変換処理するためである。

表 N.1: 単価指数推計システムの現状

No.	モジュール名	プログラム言語	ステップ数
1	TRDPRM01	COBOL	323
2	TRD02	PL/I	30
3	TUKANA	SAS	11
4	STEPB2	FORTRAN	988
5	PRGC1	FORTRAN	6643
6	PRGD2	FORTRAN	717
7	PRGD3	FORTRAN	317
8	PRGD4	FORTRAN	1435
9	PRRGD5	FORTRAN	229
10	CHOSEI	FORTRAN	52
11	STEPE	SAS	34

現在は財務省からの貿易統計の入手は、磁気テープからオンラインによるデータ入手に切り替わっており、以上3つのプログラムは利用されていない。

続いて、FORTRANで記述された7つのプログラムが存在する。合計10381ステップである。このFORTRANプログラム群が、単価指数作成の中心となる処理を構成している。

最後に、データを他システムに渡す形式に変換するために、SASによる34ステップのプログラムによる処理が行われる。

N.3 提案手法により再構成した単価指数推計システムの構成

これに対して、同等の機能を提供するために試作したシステムは、2つのスクリプト・モジュールから構成される。表 N.2 に規模を示す。

表 N.2: 提案手法により試作した単価指数推計システム（スクリプト・モジュール）

No.	モジュール名	プログラム言語	行数
1	単価指数	スクリプト言語	233
2	単価指数2	スクリプト言語	151

表 N.3 に、スクリプトにおけるモジュールの利用回数を示す。スクリプトを見やすくす

るためのコメントの出力及び空行がそれぞれ 41 行、45 行を占める。

マクロで利用しているモジュールの総数は 30 種類であり、「単価指数」の特殊モジュールはこのうち 4 種類である。最も使用頻度の高いモジュールは、交換代数の和で 57 行、次に基底の値による抽出が 36 行を占める。

モジュールの記述は、最小 13 行、最大 644 行、平均 168 行、総行数は 5027 行である。

図 N.1 に、モジュールの規模の分布を示す。

16 モジュールが 100 行未満である。特殊モジュールは、280 行,377 行,388 行,584 行,644 行と比較的記述行数が多い。これは、汎用モジュールの組み合わせで処理できないものを一つの機能としてまとめて実現しているためである。

汎用モジュールで比較的行数が多いものは、汎用化のためにパラメーター処理を付加したものであり、エンド・ユーザーは詳細な内容を理解する必要は無い。

現システムの中核部分である FORTRAN プログラムと比べて新システムでは、行数を概ね 50% 削減できたことになる。これは、繰り返し現れる処理をモジュールとした効果が大い。また、プログラム規模は FORTRAN の最大 6643 ステップから概ね 10 分の 1 となっており、システムの内容を理解するための複雑さは大きく低減している。

図 N.2 に、FORTRAN のプログラム規模の分布と提案手法による AADL のプログラム規模の分布を示す。縦軸は、モジュール個数に対する比率、横軸はプログラム行数を示す。

表 N.3: 提案手法により試作した単価指数推計システム（モジュール利用回数）

No.	回数	モジュール名	機能概要
1	57	Add	和
2	6	CalcBackwardMovingAverage	後方移動平均
3	2	CalcConsumerTaxMarkupRatio	消費税率
4	2	CalcYearAverage	年次平均
5	10	ChainedFisherFromPQReferenceYear	連鎖フィッシャー指数
6	2	CheckKey	基底チェック
7	3	CreateOneItemFile	1 つの文字列よりなるファイル作成
8	22	difference	差分
9	2	DivideByExalgeNorm	絶対値による商
10	34	DivideWithNameTimeSubject	name,time,subject 基底が同じ要素の商
11	2	ExtendedOperation	汎用演算

continued from previous page

No.	回数	モジュール名	機能概要
12	7	ExtendRatio	割合
13	8	ExtractByCharacters	指定文字列による抽出
14	36	ExtractByKey	指定した基底の指定した文字列集合の要素の抽出
15	2	ExtractByKeyString	指定した基底の指定した文字列の要素の抽出
16	1	Inverse	逆数
17	2	KeepAndGetMonthlyWithTimeKeyList	欠損値を time 基底の集合に基づき月次で補間
18	2	MultiplyConstant	定数を乗じる
19	7	MultiplyWithNameTimeSubject	name,time,subject 基底が同じ要素の積
20	6	OverwriteRefactored	上書き
21	1	ReadCSV	CSV ファイルの汎用読み込み
22	4	ReplaceIrregularValue	はずれ値の置き換え（特殊モジュール）
23	4	SetBases	基底内容の入れ替え
24	8	TextToCSV	テキストファイルにカンマを挿入
25	25	ToCSVFile	CSV ファイルへの書き出し
26	5	unionOfStringList	文字列集合の和集合
27	2	YearMonthSeries	年月の時系列を生成
28	21	ProcessPriceIndexForUPI	単価指数のための物価指数加工 (特殊モジュール)
29	5	readA1	A1 ファイルの読み込み (特殊モジュール)
30	7	readUPIC5	C5 ファイルの読み込み (特殊モジュール)
小計			295
モジュール利用以外の記述			
	82	echo	コメント文字列出力
	2	#AADLMacro	マクロ開始行（マジックワード）

continued from previous page

No.	回数	モジュール名	機能概要
	5	空行	
総計	384		

モジュール規模(行数)

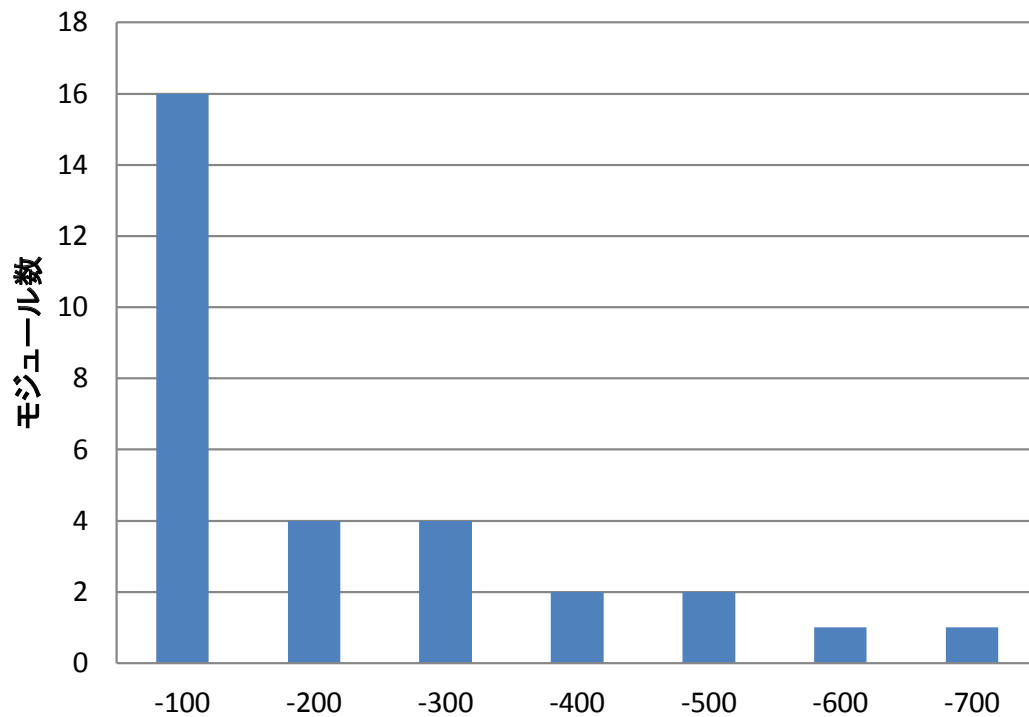


図 N.1: 提案手法により再構成した単価指数推計システムを構成するモジュールの規模

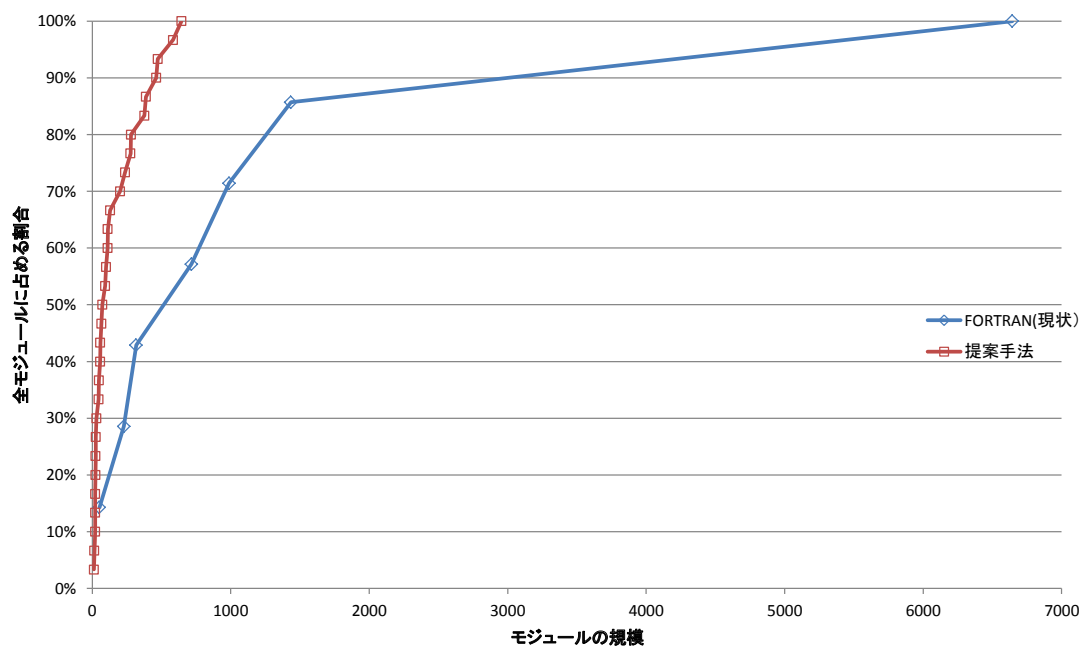


図 N.2: モジュールの規模の現状と提案手法による場合の比較