

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	GPGPUによる雪崩流動の高速解析と人体流動連成解析の組合せによる雪崩ハザードマップの高度化
Title(English)	Improvement in snow avalanche map by the combination of runout simulations with a rapid GPGPU-based snow avalanche model and assessment of injury risk with coupled human-flow model
著者(和文)	Tsail-Chen
Author(English)	I-Chen Tsai
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12931号, 授与年月日:2024年9月20日, 学位の種別:課程博士, 審査員:中村 恭志,木内 豪,高木 泰士,中村 隆志,大風 翼,森口 周二
Citation(English)	Degree:Doctor (Academic), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12931号, Conferred date:2024/9/20, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	TSAI, I-Chen		
論文審査 審査員		氏名	職名		氏名	職名
	主査	中村 恭志	准教授	審査員	大風 翼	准教授
	審査員	木内 豪	教授		森口 周二	准教授 (東北大)
		高木 泰士	教授			
		中村 隆志	准教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は, "Improvement in snow avalanche map by the combination of runout simulations with a rapid GPGPU-based snow avalanche model and assessment of injury risk with coupled human-flow model (GPGPUによる雪崩流動の高速解析と人体流動連成解析の組合せによる雪崩ハザードマップの高度化)"と題し, 英文で執筆され, 全6章で構成されている.

第1章"Introduction"では, 発生過程などの雪崩の既往知見に加え, 被害の現状, 既往のハザードマップ作成方法, 雪崩の数値解析法のレビューを行い, 雪崩到達範囲の数値流動解析がハザードマップ作成に十分に利用されていないこと, その一因に高い計算負荷があること, さらに雪崩から人体に加わる力や被害者の傷害リスク評価が不十分であることを指摘している. その上で, General-Purpose computing on Graphics Processing Units (GPGPU)技術に基づく雪崩到達範囲の高速数値解析モデル, 並びに人体雪崩連成数値解析モデルの開発を通じ, 数値解析を活用した雪崩ハザードマップ高度化の可能性を明らかにしようという本論の新規性と目的について述べている.

第2章"High performance computation for snow avalanche model"では, GPGPUに基づく雪崩流動の高速数値解析モデル(GPGPU雪崩モデル)の開発について述べている. Vollemy-Salmモデルを導入した鉛直平均2次元浅水方程式によるモデル化とその数値解析手順, 実験と過去の雪崩事故の再現によるモデルの性能確認について述べたのち, 各計算過程の実行時間調査から, メモリアクセスとDevice-Host間データ転送が高速化の要点であること, GPGPUによる計算速度の高速化が約80倍に達することなどを指摘している.

第3章"Massive computation for snow avalanche map generation"では, 栃木県那須岳周辺の約20 km四方を取上げ, GPGPU雪崩モデルによるハザードマップ作成の効率化について述べている. 標高と土地被覆の数値地図を用いて推定された計123箇所の雪崩発生危険域について, 雪崩流動解析を実施し, 雪崩到達範囲のマップを作成した. GPGPUを用いない従来モデルでは数週間程度必要な解析時間が, GPGPU雪崩モデルでは6時間程度に短縮され, ハザードマップをより迅速に更新できるようになるとしている.

第4章"Prediction of maximum impact force on a human-shaped object"では, 人体と雪崩の連成3次元流動解析モデルの開発と, そのモデルを使用した雪崩衝突時の最大衝撃力の推算について述べている. リンクモデルと非圧縮性ビンガム流体モデルによる人体と雪崩のモデル化と検証について述べたのち, 前章の雪崩解析で得られた雪崩厚・速度・斜面角の代表的な範囲を取り上げ, 雪崩が立位人体に衝突した際の衝撃力を開発モデルで計算した結果を述べている. 人体を空間に固定して雪崩のみを解く非連成流動解析では衝撃力を過大評価することを指摘し, 衝突後の人体姿勢と運動には雪崩厚により決まる3形態があることを指摘している. さらに, 一連の計算結果から, 雪崩厚と雪崩速度の関数として雪崩の人体への衝撃力を推算する式を提案している.

第5章"Application of injury criteria for snow avalanche maps"では, 雪崩の衝撃力から人体の傷害リスク(想定される傷害種, 生存率)の評価方法, 傷害リスクを図示するハザードマップの作成について述べている. 自動車事故等で用いられるHIC, BrIC及びAcの各指標による頭部と胸部の傷害リスクの評価方法, AIS指標による生存率の評価方法について述べ, それら評価方法と前章で提案した雪崩衝撃力の推算式とを組み合わせ, 雪崩厚と雪崩速度から傷害リスクを評価する手順を提案している. 第3章の雪崩解析の結果に適用し, 雪崩流動解析に提案した評価手順を組合せることで, 傷害リスクのハザードマップを作成可能であることを示している.

第6章"Conclusions"では, この研究で得られた主な知見, 研究の限界, 今後の研究への提言を列挙している. 以上を要するに, 本論文は, GPGPU雪崩モデルと人体雪崩連成流動解析モデルの開発を通じ, 数値流動解析に基づく雪崩ハザードマップの作成を容易にするとともに, 傷害リスクを図示したハザードマップ作成への道筋を示すもので, 今後の雪崩被害の抑制に寄与しうるものと評価される. よって, 博士(学術)として価値が十分あるものと認められる.

注意: 「論文審査の要旨及び審査員」は, 東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので, 公表可能な範囲の内容

で作成してください。