

学位論文要旨 (Summary of the Doctoral Dissertation)	
学位論文題目 (Dissertation Title)	Development of a Mutual Assistance Evacuation Model Considering the Diversity of Residents' Behavior and Vehicle Ownership: A Case Study in Mount Merapi, Indonesia (住民行動の多様性と車両保有状況を考慮した共助型避難モデルの開発: インドネシア・メラピ山におけるケーススタディ)
氏名(Name)	Faizul Chasanah
<p>インドネシアは、アジア大陸、オーストラリア大陸、インド洋、太平洋の4つのプレートの合流点に位置しており、自然災害のリスクが非常に高い。火山噴火は、この国で頻繁に発生する災害の1つである。メラピ山はインドネシアで最も活動的な火山として世界的に著名である。直近では2010年の大噴火における避難危機により、人間と家畜に多くの犠牲をもたらした。現在、現地の自治体は減災のために「姉妹村」戦略を開発している。これは、避難所、ロジスティクス、その他の災害関連サービスを提供するために、地域コミュニティ内または地域コミュニティ間に協力関係を構築することを意味する。このシナリオでは、避難のための集合場所と避難所が整備されている。しかし、人々の行動は、脆弱性評価と政府の緊急時対応計画において十分に考慮されていない。一方で、よりよい減災のためには、避難期間の予測の困難性、人口の高齢化、コミュニケーションとリスク認識の欠如、対象地域において私有交通手段が限られること、政府による避難輸送と支援の限界等の課題に取り組む必要がある。この状況下で、住民は集合場所まで徒歩移動の必要があり、脆弱な人々の歩行速度が遅い場合、緊急時のリスクと遅延が増加する可能性がある。</p> <p>本研究は、特にメラピ山地域の脆弱なコミュニティに対して、避難プロセスの有効性を見出すことを目的としている。特に本研究では、人々の行動と車両の所有権を視野に、影響を受ける地域の脆弱な人々のための「共助」モデルを開発することを目的としている。最初の目標は、歩行者避難の共助戦略と社会的脆弱性指数(SoVI)の評価である。調査を実施した後、多基準法を使用してデータを分析し、地域コミュニティのSoVI値を得た。2番目の目標は、脆弱な人々のより安全で迅速な避難をサポートするためのアセンブリモデルの開発である。現地調査で得られた入力パラメータを使用し、AnyLogicソフトウェアによりモデルシミュレーションを実施した。</p> <p>調査を実施するにあたり、火山の影響を受ける4つの県で避難訓練の歩行速度を直接測定した。また、利害関係者へのインタビューや、地域コミュニティとのグループディスカッションに基づいて、人々の行動や火山災害の特徴を調査した。その後、社会的・年齢構成とリスク認識(工作中、雨天時、夜間、警報発令時、避難路)の2つの要素に注目して多基準評価を適用した。この指数は、実際の歩行速度の分布、共助、および自治体の計画を反映している。調査の結果、共助グループは災害弱者よりも歩行速度が速いが、若年層よりは遅いことが示された。災害弱者をより短時間で避難できるよう支援するには、相互支援の調整が不可欠である。社会的脆弱性指数において、社会的・年齢構成は、リスク認識よりも強い影響を及ぼすことが示された。</p>	

緊急時に災害弱者の避難を成功させることは重要な課題である。本研究では、脆弱な人々を若者と一緒に避難させることによって支援する、共助戦略を提案する。エージェントベースのモデルコンセプトを備えた AnyLogic ソフトウェアを使用して、この共助戦略のシミュレーションを実行した。この実験では、歩行者と車両が主要なエージェントの役割を果たす。避難出発率、実際の歩行速度、グループのサイズ、ルート、および調整をパラメータとした。住民の態度、各エージェントの分布、および実際の歩行速度は、調査から得られた。そのうえで、避難プロセスのための3つのシナリオと3つのモデルを開発した。シナリオは避難路の交通状況を考慮し、モデルは共助行動の形態を反映している。その結果、共助モデルは、災害弱者の避難率の向上をもたらし、脆弱なコミュニティにおける迅速な避難とリスク軽減に効果的であることが明らかとなった。共助行動に関しては、若者を災害弱者と事前にマッチングするモデル3の結果はモデル2よりも最も高い集合場所への到着率を達成した。それに加えて、モデル3において、歩行者と車両の走行空間を分離するシナリオCはシナリオBより集合場所に到達する災害弱者の数が多い結果となった。以上より、シナリオCとモデル3の組み合わせで最良の結果を得ることができた。以上の研究結果は、高齢者、障害者、子供、妊娠中の母親が関与する脆弱な行動のすべてのカテゴリを反映しており、火山の文脈では新規性を有する。このモデルは、持続可能な避難計画と高齢化社会における減災に関する防災研究と行政当局の対策に有益であると考えられる。

<h2>学 位 論 文 要 旨</h2> <p>(Summary of the Doctoral Dissertation)</p>	
学位論文題目 (Dissertation Title)	Development of a Mutual Assistance Evacuation Model Considering the Diversity of Residents' Behavior and Vehicle Ownership: A Case Study in Mount Merapi, Indonesia (住民行動の多様性と車両保有状況を考慮した共助型避難モデルの開発: インドネシア・メラピ山におけるケーススタディ)
氏 名 (Name)	Faizul Chasanah
<p>Indonesia has extreme risk of natural disasters because of its position at the confluence of four tectonic plates: the Asian Continent, the Australian Continent, the Indian Ocean, and the Pacific Ocean. The volcano eruption is one of the geological disasters that frequently occur in this country. Mount Merapi is Indonesia's most active volcano and is famous worldwide. The evacuation crisis in 2010, the last major eruption, led to many fatalities for humans and cattle. Nowadays, the local government developed the "sister village" strategy for mitigation. That means cooperation within or between the local community has been constructed to provide shelter, logistics, and other disaster-related services. In this scenario, the meeting area and shelter have been coordinated. However, people's behavior has not been fully considered yet in the vulnerability assessment and government's contingency plan. On the other hand, evacuation issues in a volcanic disaster such as difficulty in expecting evacuation period, aging population, missed communication and risk perception, limited private vehicles in the community, and limited evacuation transport and supporters by the government need to be addressed for better mitigation. This situation led some people to walk to the meeting area, and low walking speeds by vulnerable persons may increase the risk and delay during an emergency.</p> <p>The objective of this study is to find the effectiveness of the evacuation process, especially for the vulnerable community in the Mount Merapi area. Especially, this study purposes to develop a "mutual assistance" model for vulnerable people in the affected regencies with the people's behavior and vehicle ownership as a viewpoint. The first goal is an assessment of the mutual assistance strategy and social vulnerability index (SoVI) of pedestrian evacuation. I conducted the surveys and then analyzed the data using a multicriteria method to obtain the SoVI values for communities. The second goal is the development of the assembly model to support safer and faster evacuation for vulnerable people. The AnyLogic software was selected for model simulation using input parameters from field surveys.</p> <p>In conducting a survey, I measured the walking speed directly of the evacuation drills in four affected regencies. I also investigated the people's behavior and eruption characteristics using an interview process with stakeholders and group discussions with local communities. After that, I used the multicriteria method and focused on two factors, social and age</p>	

structure (young, vulnerable, and mutual assistance between them), and risk perception (work, rain, night, alert, and evacuation map). The index reflects the distribution of actual walking speed, mutual assistance, and the government's plan. The result showed that mutual assistance groups have a higher walking speed than vulnerable people but lower than young people. Mutual assistance coordination is crucial to support the vulnerable in shorter evacuation times. The social and age structure of the social vulnerability index has a stronger risk influence than the perception factor in the evacuation process.

The successful evacuation of vulnerable people during emergencies is a significant challenge. In this study, a mutual assistance strategy is proposed to support vulnerable people by evacuating them with young people. This strategy was simulated using AnyLogic software with the agent-based model concept. Pedestrians and vehicles played the roles of significant agents in this experiment. Evacuation departure rate, actual walking speed, group size, route, and coordination were crucial agent parameters. Residents' attitudes, distribution of each agent, and actual walking speed were obtained from surveys. Then, I developed three scenarios and three models for the evacuation process. Scenarios considered traffic conditions of evacuation routes and models represented behavior approach. The results revealed that this mutual assistance model is effective for the rapid evacuation and risk reduction of vulnerable communities where successful evacuation rates have improved. As for mutual assistance behavior, Model 3, where young people are matched with vulnerable people in advance, has shown better results than Model 2. Additionally, Scenario C, where pedestrians have separate lanes from vehicles during the evacuation process, has resulted in more number of vulnerable people reaching the shelter than Scenario B in Model 3. The highest arrival rate was obtained by the combination of scenario C and Model 3. These findings are a novelty in the volcano context and reflect all categories of vulnerable behavior involving the elderly, disabled, children, and pregnant mothers. The model will benefit disaster management studies and authorities' policies for sustainable evacuation planning and aging population mitigation.



(様式 9 号)

## 学位論文審査の結果及び最終試験の結果報告書

山口大学大学院創成科学研究科

氏 名	Faizul Chasanah
審 査 委 員	主 査： 榊原 弘之
	副 査： 鈴木 素之
	副 査： 山本 浩一
	副 査： 森 啓年
	副 査： 鈴木 春菜
論 文 題 目	Development of a Mutual Assistance Evacuation Model Considering the Diversity of Residents' Behavior and Vehicle Ownership: A Case Study in Mount Merapi, Indonesia. (住民行動の多様性と車両保有状況を考慮した共助型避難モデルの開発: インドネシア・メラピ山におけるケーススタディ)
【論文審査の結果及び最終試験の結果】	
<p>火山噴火は、インドネシアで頻繁に発生する自然災害の 1 つである。メラピ山はインドネシアで最も活動的な火山として世界的に著名である。直近では 2010 年の大噴火における避難危機により、人間と家畜に多くの犠牲をもたらした。本研究は、特にメラピ山地域の脆弱なコミュニティに対して、避難プロセスの有効性を見出すことを目的としている。特に、インドネシアにおける人々の行動特性の多様性とバイク等の車両の普及状況を考慮しつつ、社会的弱者のための「共助」モデルを開発することを目的としている。</p> <p>第 1 章では、研究背景、研究目的、論文の構成について説明している。</p> <p>第 2 章では、火山災害の一般的傾向やメラピ山の特徴、社会的弱者の災害時避難の課題、災害時の共助、脆弱性評価の手法、エージェントシミュレーション等に関する文献レビューを示している。</p> <p>第 3 章では、メラピ山 10km 圏の 59 の村におけるフィールド調査を実施し、住民のリスク認知に関する情報を収集している。その上で住民の避難時の歩行速度を計測し、高齢者等の社会的弱者が単独で歩行避難した場合及び他の住民と共に避難した場合の歩行速度に有意な差があることを確認している。さらにこれらのデータを用いて各地域の社会的脆弱性指数を算出している。</p> <p>第 4 章では、フィールド調査で得られたデータをパラメータとして、メラピ山 5km 圏の 6 つの村を対象として避難シミュレーションを実行している。避難時の車両の利用状況に関する 3 種のシナリオ、共助のあり方についての 3 種のモデルを用意した。その結果、車両の使用が若年層における避難率の向上をもたらす半面、社会的弱者の避難率改善には効果がないこと、避難シナリオに共助モデルを導入することにより社会的弱者の避難率が改善するものの、60 歳未満の住民の避難率をやや低下させる可能性があること、共助モデルのうちでは、ランダムに共助のペアを生成するよりも社会的弱者と 60 歳未満住民をあらかじめマッチングすることが最も効果的である</p>	



(様式 9 号)

ことを明らかにしている。最後に、メラピ山周辺における共助型避難モデル構築を通じた減災のあり方のあるべき枠組みについて論じている。

第 5 章では、総括と今後の課題をまとめている。

公聴会における主な質問内容は、(1) 各村における社会的弱者の比率と共助の効果の関係、(2) 共助避難の際の行動に関する仮定、(3) 本研究の成果を地域コミュニティにフィードバックするための具体策、(4) 共助の枠組みを実現するために必要な事項、(5) 本研究の成果の他国への適用可能性、に関する意見や質問であった。いずれの質問についても発表者から適切な回答がなされた。

以上より、本研究で得られた知見は、メラピ山周辺の地域コミュニティにおいて共助を前提とした防災計画の実現に向けて有益な示唆を与えるものであり、防災減災上の意義が認められる。またインドネシア国内の他の火山周辺地域を含め、事前避難の際の共助のあり方の参考ともなることが期待される。以上より本研究は独創性、信頼性、有効性、実用性ともに優れ、博士（工学）の論文に十分値するものと判断した。

論文内容及び審査会、公聴会での質問に対する応答などから、最終試験は合格とした。

なお、関連論文の発表状況は下記の通りである。（関連論文 計 2 編）

#### 関連論文

##### (a)査読のある雑誌等（2 編）

- 1) Faizul Chasanah and Hiroyuki Sakakibara: Assessment of Social Vulnerability in the Evacuation Process from Mount Merapi: Focusing on People's Behavior and Mutual Assistance, IDRiM Journal, Vol.10, No.2, pp.15-34, 2021.
- 2) Faizul Chasanah and Hiroyuki Sakakibara: Implication of Mutual Assistance Evacuation Model to Reduce the Volcanic Risk for Vulnerable Society: Insight from Mount Merapi, Indonesia, Sustainability, Vol.14, No.13, pp.1-23, 2022.