

大規模災害時の避難交通シミュレーションモデルの開発と適用

大畑 長^{*1} 花房 比佐友^{*2} 高橋 浩司^{*2} 菅野 桂子^{*1} 川崎 洋輔^{*4} 須藤 哲寛^{*3}
江藤 和昭^{*1} 堀口 良太^{*2} 桑原 雅夫^{*4} 三谷 卓摩^{*4}
(株)オリエンタルコンサルタンツ^{*1} (株)アイ・トランスポート・ラボ^{*2}
一般財団法人日本気象協会^{*3} 東北大学大学院情報科学研究科^{*4}

本研究は、大規模災害時における避難計画を支援する交通シミュレーションモデルの開発を行い、実際の災害想定地域に適用することを目的としている。本シミュレーションモデルの主な特徴として、歩行者と自動車交通が錯綜する状況をモデル化し、道路容量の低下を表現できる仕組みとしている点にある。

また、災害が発生した後は、災害直後の避難や帰宅時の問題に加えて、復旧に向けた数日から数週間という期間においても交通上の問題が生じると考えられる。そこで本稿では、災害発生後の経過時間に着目し、シミュレーションを活用して各期間の対応策について評価、分析した事例を紹介する。

Development and Application of a Traffic Simulation Model for Evacuation Planning under Natural Disaster

Takeshi Ohata ^{*1} Hisatomo Hanabusa ^{*2} Koji Takahashi ^{*2} Keiko Kanno ^{*1} Yousuke Kawasaki ^{*4}
Norihiro Sudo ^{*3} Kazuaki Etoh ^{*1} Ryota Horiguchi ^{*2} Masao Kuwahara ^{*4} Takuma Mitani ^{*4}
Oriental Consultants Co., Ltd ^{*1} i-Transport Lab. Co., Ltd ^{*2}
Japan Weather Association ^{*3} Tohoku University ^{*4}

In this study, we developed evaluation framework based on traffic simulation model for natural disaster, and apply it to the area where is assumed of the major earthquake. This simulation models the interference behaviors between a vehicle and pedestrian. And also models road closedown or drop of the traffic capacity by the road damage and the activity to pick an evacuee up. We propose evaluation of framework and report development of these simulation models and the result of the analysis with the scenario to set every elapsed time after the disaster using them in this paper.

Keyword: data fusion, evacuation simulation, interference behaviors, evaluation framework

1. はじめに

1-1 背景と目的

将来に懸念される首都圏直下型地震においては、建物倒壊や火災延焼などの被害が発生し、災害直後においては多くの帰宅困難者が発生すると想定される。インフラの被害は、災害が発生してから数週間後も継続し、復旧活動や生活交通にも多大な支障を来すと考えられる。そのような事態を避けるためには、災害の事前段階における防災計画の具体的な施

策立案や大規模地震後の実際に災害を被った状況での復旧などの対応が重要と考えられる。

本研究は、東日本大震災後に立ち上げた DOMINGO (Data Oriented Mobility Information Group) 共同研究体における避難施策評価ワーキングの活動を報告するものである。当 WG では、災害時の交通施策の検討に役立てることを目的として、首都圏直下型地震で想定される災害時特有の交通現象を再現する機能を備えた避難交通シミュレーションの

開発¹⁾を行ってきた。

本稿は、まず、これまでに構築してきた避難交通シミュレーションを用いた、避難施策の評価フレームワークを提案するとともに、当シミュレーションが備えるモデル機能を概説する。次いで、当シミュレーションの活用事例として、首都圏直下型地震を想定した避難施策の事前評価(4章)や、熊本大地震において災害発生直後の施策評価(5章)に適用した事例を紹介する。

2. 避難交通シミュレーションの評価フレーム

本章では、避難交通シミュレーションを用いた避難施策の評価フレームについて述べるとともに、その評価の目的や意義、それらの目的を達成するために必要なシミュレーションの機能について概説する。

2-1 避難交通シミュレーションの活用シーン

東日本大震災や熊本大地震を踏まえると、災害発生直後は避難に伴う交通渋滞が発生する他、災害後は数週間にわたって交通渋滞が継続し、復旧活動や経済活動に支障を来すことが懸念される。DOMINGO 共同研究体では、前述の状況に備えるための対応施策を検討するためのツールとして、図1に示す3段階に活用する避難交通シミュレーションを提案する。

2-2. 避難交通シミュレーションの目的・意義

図1に示す各段階におけるシミュレーションの活用の目的や意義について述べる。

①事前評価

今後想定される災害時の交通状況をモデルで予測

し、避難支援策をハード・ソフトの両面から、評価することを目的とする。そのためには、別途実施される被災予測シミュレーション結果や過去に経験した被害実態をもとに交通状況の再現を行う。そのシミュレーションデータを基に、災害事前段階に各種施策を評価することで実効性の高い防災・減災計画を策定することを目指すものである。

②災害直後評価

災害が発生した直後に、対策の意思決定を補助することを目的とする。具体的には、実際のインフラの被災や交通規制をシミュレーションに反映し、被災や規制の影響を評価することで、道路啓開・復旧の優先順位や規制路線の選定等の対策を検討する。

③事後評価

災害を経験した後、将来の災害の備えとしてシミュレーションで避難施策の評価を行うことを目的とする。そのために本評価では、災害時の移動体データの解析結果(避難行動)や被災状況をシミュレーションに反映し、災害時の状況を再現し、施策評価を行う。災害時の移動体データは、別途 DOMINGO で開発中のリアルタイムシステム²⁾のアーカイブデータの活用を想定している。なお、DOMINGO では、過去に東日本大震災時の石巻市を対象に移動体データと避難交通シミュレーションを用いた避難支援策の事後評価³⁾を行っている。

従来は主に災害事前・事後(①, ③)においてシミュレーションを活用してきた。このような検討に用いるシミュレーションでは、災害時の特有な避難行動や被災状況を適切にモデル化し、交通状況の再現性を向上させることが重要である。そのため、当シミュレーションは過去の知見³⁾を基に首都圏直下型



図1 避難交通シミュレーションの活用シーン

地震時特有の交通現象（歩車錯綜による交通容量低下など）のモデル化や被災想定をネットワークに取り込む機能を実装し、対応している。災害事前評価①のケーススタディは、4章で述べる。

本研究では、②の災害直後のシミュレーションの活用も重要と考える。これまでは、被災と交通状況の再現の作業コストがネックとなり、災害直後の施策評価を行う取り組みは見られていない。しかし、熊本地震時には、現地ニーズにより、災害直後の施策（高速道路無料化）の検討ツールとしてシミュレーションが活用された。このことから、災害直後の状況下において、対策の実効性を速やかに検討できるシミュレーションのニーズは高いと考えられる。なお、上記で述べた熊本地震時のシミュレーションの活用事例の詳細は5章で述べる。

2-3 避難交通シミュレーションの機能

前述の段階①～③に必要なシミュレーションの入力データ、モデルを概説する。

1) 入力データについて

当シミュレーションに必要なデータは、まず、基礎的なデータとして、デジタル道路地図から作成可能な道路ネットワークデータや、道路交通センサスOD交通量に基づく自動車OD交通量・ゾーンデータ、信号位置や青現示秒数データ、そのほかに各種交通規制データとなる。

また、被災状況を考慮する際は、動的・静的な道路被害データ（いつ、どの道路で、どの程度の被害を受けたかがわかる情報）を用意する必要がある。

避難行動や避難施策を評価するためには、避難需要（避難必要な人口や避難行動特性に関する調査文献）や地域の避難所情報などのデータが必要である。

2) 避難交通シミュレーションモデルの概要（被災と交通状況の再現・予測）

当シミュレーションは被災と交通状況の再現・予測のため、大きく以下の5つのモデル¹⁾を備える。

1. 自動車交通モデル SOUND
2. 歩行者交通モデル
3. 徒歩、自動車の錯綜モデル
4. 徒歩、自動車の避難行動モデル
5. 災害時道路閉鎖、車線閉塞モデル

これらは段階①～③に共通した機能となる。特に、三つ目の「徒歩と自動車の錯綜モデル」は、両者の

錯綜による道路交通容量への影響を考慮するモデルである。四つ目の徒歩と自動車の避難行動モデルは、平常時ベースのトリップ目的や自宅位置情報、会社位置情報などの属性情報を持つOD交通量について、その目的に応じて避難行動を確率的に選択する機能等を持つ。例えば、業務中の移動時に大規模地震が発生したような場合は、「自宅に避難する」「会社に戻る」などの意思決定を予め設定する選択肢について確率的に目的地を決定する機能である。五つ目の災害時道路閉塞、車線閉塞モデルは、被害予測の危険度、被害実態に応じて道路閉鎖や車線閉塞を表現する機能である。

3. 避難交通シミュレーションの基本機能検証

本章では、当モデル挙動の妥当性の検証結果を述べる。検証にあたっては、公益社団法人日本地震工学会から提示された「避難シミュレーション マニュアル案」を基に基本機能を確認した。本稿は、表1に示す検証項目のうち、妥当性確認の評価結果を紹介する。

表1 検証項目

検証項目	
動作検証	避難者の発生、避難者の移動速度、避難者の避難路選択、避難路の状態による移動速度の変化、避難者と周囲の干渉
妥当性確認	避難者の集団の挙動、避難者区分別避難完了時間、目的地別避難完了時間など

妥当性確認では、実地域の避難路と住民等を模擬した数値実験を行った。モデルは、宮城県石巻市の東北地方太平洋沖地震時の津波避難の事例を対象とした津波避難シミュレーションである。評価項目は、避難者区分毎の避難完了時間、目的地別避難完了時間、1分毎の避難完了者の推移の3項目となっている。図2にモデル対象地域と設定を示す。表2に避難者の行動シナリオを示す。自動車、歩行者それぞれ異なるエリアから異なる避難場所へ避難するケース設定となっている。図3に避難者区分毎の避難完了時間結果を、表3に目的地別避難完了時間の結果

表2 避難者の行動シナリオ

区分	特徴	発生パターン
シナリオ1	徒歩で避難する住民	
シナリオ2	車で避難する住民	
シナリオ3	帰宅後に車で避難する住民	地震発生20分後に発生(計算は帰宅後から)
シナリオ4	対象地域を通過する車両	地震発生20分後まで一定量ずつ発生(540台)
シナリオ5	大事業所から避難する避難者	地震発生15分後に一定量ずつ発生(1,300人)



図2 モデル対象地域と条件設定

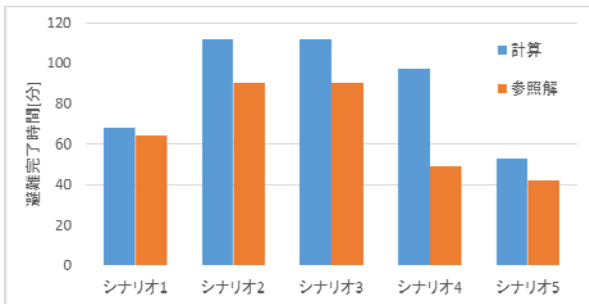


図3 避難者区分毎の避難完了時間

表3 目的地別避難完了時間

避難手段	徒歩						車両			
	高台1	高台2	高台3	高台4	高台5	高台6	起終点1	起終点2	起終点3	起終点4
避難者数(人)	295	150	375	300	330	1,300	240	800	800	300
避難完了時間(分)	61	62	60	68	64	53	32	109	112	97

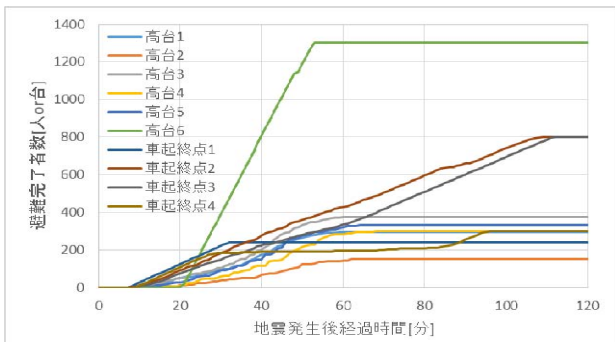


図4 目的地別避難完了者数の推移

を、図4に目的地別避難完了者の推移を示す。再現性の目標精度は参照解の2倍以内と定義されている。避難者区分毎の避難完了時間においては、シナリオ4以外は概ね良好な結果と言える。シナリオ4においては、歩車錯綜時の自動車交通への容量制約が大

きすぎて想定以上に自動車交通への影響が大きかったと考えられる。目的地別避難完了者の推移の結果からみても同様の要因で車起点2、3、4の避難に時間が増大している。今後は、動作検証・妥当性確認の結果を受け、歩車錯綜時の容量制約モデルの改良や歩行者速度のバリエーションを表現できるモデルへの改良などを行うことが課題である。

4. 災害事前段階における施策検討への活用事例

本章では、2章で述べた段階①の災害事前における、大規模地震の「発生直後」並びに「数日～数週間後」を想定した施策検討の分析事例を紹介する。

4-1 想定被災内容と検討必要な事項の整理

災害発生時には、時間経過に応じて表4に示すような状況が想定され、各時点に応じた対応が重要となる。道路は、災害発生直後、避難路等としての役割が求められ、さらに数日後から数週間後においては、緊急交通路や緊急輸送道路としての機能、ライフラインの復旧や物資の輸送に対する役割を担う必要がある。災害事前段階の将来への備えとしては、迅速な避難を実現する避難インフラの整備や、道路機能の回復を効率的に実現するための対応策を事前に想定しておくことが重要である。シミュレーションを用いて前者を検討した事例を4-2節に、後者を検討した事例を4-3節に示す。

表4 災害後の交通需要と道路状況⁴⁾

	直後	1～3日後	1週間後	1ヶ月後
交通需要	避難者、帰宅困難者が発生	帰宅困難者、救援、救助活動	救援、救助活動、生活交通	復興のための経済活動
道路状況	建物倒壊で通行困難、通行可能箇所も渋滞発生	緊急輸送道路が啓開、幹線道路でも通行規制	その他被災道路を順に啓開	一部区間で交通規制が継続

4-2 災害発生直後の交通状況把握と施策評価

災害発生直後の分析事例として、首都圏直下地震時の状況を考える。特に、東日本大震災時に著しく帰宅者が集中した新宿駅周辺の交通状況に着目し、想定される課題とその対応策を評価した。

当分析の諸条件を次頁の表5に示す。

1) 交通状況の再現と対応策

地震後、新宿駅周辺は鉄道休止や歩行者需要の増加により付近で混雑が発生し、自動車交通も新宿駅

表6 想定する諸条件

	活用シーン例
基礎条件	・対象範囲:東京23区 ・シミュレーション時間:17時～翌3時
災害条件	・東京湾北部地震 冬夕18時 風速8m/s (首都圏直下地震等による東京の被害想定) ・建物倒壊,火災延焼による道路閉塞
道路交通条件	・首都高の流入規制,鉄道の時限運休 ・信号機は稼働
避難行動条件	・避難需要:徒歩500万トリップ,自動車250万トリップ/9時間. ・避難開始時刻:東日本大震災当時を参考 ・行き先:避難所,自宅,会社 ・経路選択:ロジック型経路選択モデル
施設条件	・新宿駅内の滞留可能容量を11100人と設定 ※駅面積,テナント占有状況から概算

を起点に速度低下が生じる結果となった。本稿はこのような状況への対応策として、鉄道の代替交通手段に臨時バスの導入を考える。新宿駅に溢れる歩行者をバスに転換させ、駅前広場(リンク)を起点とする混雑の緩和を促す。臨時バスは、地震発生後の19時00分から計算終了時刻までバスタ新宿から運行させる。50人乗りの12台のバスを10分間隔に出発させる設定とした(バス乗り場12箇所1時間で72台のバスが等間隔に出発する)。

2) 施策の評価結果

対象エリア内の各時間帯の自動車リンク速度をリンク延長で加重平均した速度(km/h)と、歩行者リンク密度(人/km)の推移を図5に示す。施策ケースは自動車の走行速度が向上していることがわかる。これは、歩行者数が減少し、歩行者と自動車との錯綜機会が減少したことで、結果、自動車の走行速度が向上した。新宿駅のような大規模交通拠点では、特に徒歩と自動車の錯綜による問題が懸念され、その緩和策を事前に検討しておくことが重要と考えられる。

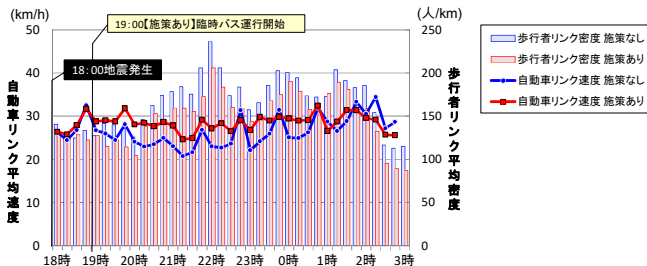


図5 自動車リンク速度と歩行者リンク密度の推移

4-3 発災から数日～数週間後の交通状況把握と施策評価

首都圏直下型地震の発生した数日後から数週間後

の交通状況を考える。当状況下は、道路インフラ被害による通行規制が継続しながらも、社会経済活動や復旧活動のための交通需要が活発化する。結果、都心部の各地で渋滞が発生すると想像される。効率的な道路ネットワーク機能の回復に向けて、クリエイティブな箇所を優先して復旧させていく必要がある。

本節では、シミュレーションを用いて道路啓開・復旧箇所の優先順位評価を試みる。

1) 道路啓開・復旧のための優先順位検討の視点

「首都直下地震道路啓開計画 改訂版(H28.6首都直下地震道路啓開計画検討協議会)」⁵⁾によると、大規模地震が発生した際に、広範囲かつ甚大な被害に対応する八方向作戦を検討する場合は、方向毎に優先啓開ルートを検討することとされている。

啓開ルートの優先度を考えるにあたって、被災直後は方向毎に被害の小さく啓開の容易な道路を優先して対処するとされている。ただ、被害の小さい箇所を優先的に啓開した後も、残存する被災箇所の復旧が必要となる。残存する被災箇所の復旧優先度を考える際は、復旧の容易性に加えて交通流の観点からも検討することが重要と考えられる。

そこで本稿では、緊急的な道路被災から数日後～数週間後に着目し、ある一つの方向を対象として、復旧活動や経済活動のための交通需要が増大するような状況化に、被災箇所の対応順序の違いが交通流にどのような影響を与えるかについて分析する。なお、分析結果はポスター発表時に示す。

2) シミュレーションの条件

本節では、文献⁵⁾にて想定される①南方向の<ケース1:高速道路を優先的に啓開>で1次啓開の後に残存する被災想定箇所(重大・軽微被災想定箇所)が通行不能という状況を考える(図6)。



出典：
首都直下地震
道路啓開計画
改訂版 H28.6

図6 対象とする被災想定箇所

また、救援物資搬送などのため都心内への流入車両が平常時と比べて増加することを想定し、平成22年度道路交通センサスの日OD交通量について、東京23区の内外・外内交通量を1割増加させた交通需要を与える。

3) 復旧順序の評価方針

復旧順序の評価は、各箇所単独の復旧有りケースにおける対象エリア内の交通流動性（総走行台キロ）を比較することで、クリティカルな復旧箇所を求めるものである。災害事前段階にシミュレーションを活用することで、複数の復旧シナリオを経験することが可能となる。このような事前の分析は、実際に災害が発生した状況下で、的を絞った復旧オペレーションの実施に役立てられるものと考えられる。

5. 災害発生後の復旧オペレーション検討への活用

本章では、熊本地震後の高速道路無料化に伴う道路交通への影響についてシミュレーションを適用した事例について紹介する。

九州全域の道路ネットワーク（5.5m以上の全ての道路）を対象にシミュレーションを行い、熊本県内の高速道路を無料とした場合の交通量の変化について、平成22年度センサスの交通量と比較して増減を評価した。車両発生集中ゾーンは同センサスBゾーン、OD交通量は同センサスBゾーン間日OD交通量を基に、首都圏エリアにおける同センサス交通量から作成する車種別（小型車、大型車）時間係数を適用して時間帯別OD交通量を作成し、道路種別に応じて自由流速度条件などを設定した。

高速道路は、熊本県内以外は25円/kmの対距離料金と、入口に150円のターミナルチャージを、福岡・北九州の都市高速の入口にそれぞれ620円・510円の料金を設定した。一方、経路選択行動モデルは、各個人の時間価値を小型車・大型車共に25円/分とし、コストが最小となる経路を選択する設定とした。また、コストは5分ごとに更新される経路コストと非渋滞時の経路コストを同じ重みとした。なお、1回あたりの右左折ペナルティと料金抵抗も加味した。

図7に九州道IC間の断面交通量比較結果（高速料金無料時の値と平成22年度センサス）を示す。熊本県外からの交通に対しても熊本県区間が無料となるため、福岡県側で10%・鹿児島県側で53%の交通量の増加が確認された。また、図8に示すように、九州道およびIC付近から熊本市内への接続道路において交通量が多くなるため、高速道路だけでなく市

内および被災地周辺へ向かう緊急車両や物資輸送車両の通行に大きな影響を及ぼす可能性があることがわかった。そのため、高速道路無料化を行う場合は、優先車両に配慮する交通施策や不要不急の自動車利用の抑制など複合的な施策が求められる。

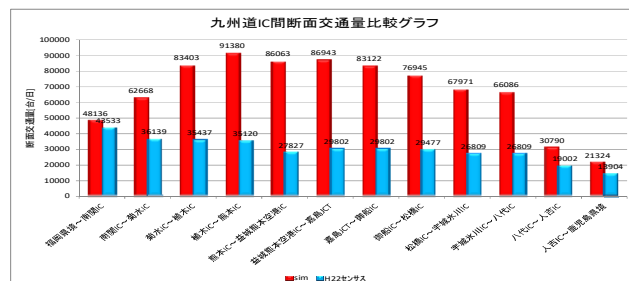


図7 断面交通量の比較結果

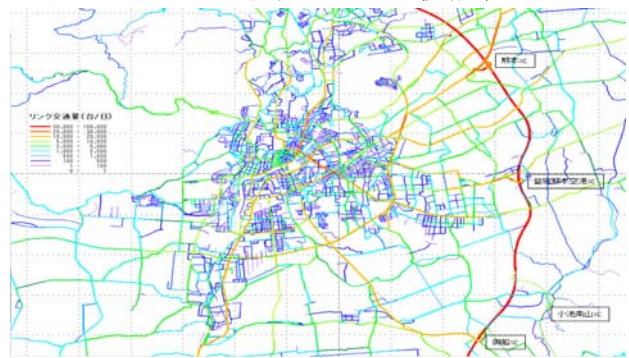


図8 リンク通過交通量の結果

6. おわりに

本稿では、避難交通シミュレーションの評価フレームを提案し、活用事例を紹介した。

また、本研究は国立研究開発法人情報通信研究機構の「ソーシャル・ビッグデータ利活用・基盤技術の研究開発」における「多様なデータ融合による災害時と平常時のモビリティ支援」プロジェクトの一環としてすすめられている。

[参考・引用文献]

- 1) 大畑長, ほか9名: 多様なデータ融合による災害時のモビリティ支援に向けた災害時施策評価ツールの開発と適用, 第13回ITSシンポジウム, 2015.
- 2) 川崎洋輔, ほか: 多様なデータ融合による災害時のモビリティ支援に向けた災害時のリアルタイムシステムの開発, 第13回ITSシンポジウム, 2015
- 3) 長尾一輝, ほか6名: 大規模地震時における自動車避難行動を考慮した避難施策の評価. 土木学会論文集D3, Vol.71, No.5, pp.153-168, 2015.
- 4) 首都直下地震の被害想定と対策について(最終報告): http://www.bousai.go.jp/jishin/syuto/taisaku_wg/
- 5) 首都直下地震道路啓開計画(改訂版), 平成28年6月, 首都圏直下型地震道路啓開計画検討協議会