

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

大畑 長^{*1} 飯島 護久^{*2} 花房 比佐友^{*2} 須藤 哲寛^{*3} 江藤 和昭^{*1}
柿元祐史^{*1} 桑原 雅夫^{*4} 三谷 卓摩^{*4} 川崎 洋輔^{*4} 原 祐輔^{*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、災害時における自動車交通および歩行者交通の避難誘導、交通規制等の施策評価ツールの開発、および大規模ネットワークへの適用を目的とする。本評価ツールは、自動車交通と歩行者交通の移動および錯綜をモデル化した交通シミュレーションモデル上に、災害による道路閉鎖、容量低下等の災害時道路イベントモデル、避難者の立ち寄り行動モデルを実装した仕組みとなっている。本稿では、首都圏直下型地震を想定して開発した施策評価ツールの諸機能を概説するとともに、そのうち主な機能の動作検証について紹介する。

A Study of Mobility Management by Data Fusion for Natural Disaster Conditions -Development and Application of an Evaluation Framework based on Traffic Simulation Model -

Keyword: data fusion, evacuation simulation, pedestrian

1. はじめに

1-1 背景と目的

東日本大震災では宮城県沖を震源として、日本全土にわたって大きな地震に見舞われた。太平洋沿岸部では津波が襲来し、避難のために各地で激しい交通渋滞が発生し、避難途中で津波に巻き込まれるなど多くの犠牲者を出した。また、東京 23 区を見ると、ほとんどの区で震度 4 以上が観測され、多くの帰宅困難者が発生するとともに、道路上では歩行者並びに自動車の大混雑が発生した。

こうした大規模地震時の交通渋滞は、津波避難等一次災害における避難遅れだけでなく、交通事故の誘発や緊急車両の通行障害などの様々な影響をもた

らすことから、歩行者および自動車それぞれの手段を利用する避難者の迅速かつ確実に避難できる方策の検討が急務となっている。

将来、このような大規模地震に備えては、人命を守る減災という観点において、避難インフラや交通マネジメント等を、災害の事前段階から効果的に対策を講じておくことが重要である。

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、災害事前段階からの避難施策の計画検討に役立てることを目的として、災害時の自動車交通および歩行者交通の

避難誘導，交通規制等の施策評価ツールの開発を行い，大規模ネットワークへの適用を図る。

1-2 既存研究の整理

ここでは，災害避難シミュレーションモデルの開発動向を整理し，本研究の位置づけを述べる。

災害時の避難行動をモデル化したシミュレーションモデルは多数存在する。例えば，今村ら¹⁾は奥尻島青苗地区の津波災害を対象として，個人ごとの避難行動を表現する避難シミュレーションモデルを構築している。中央防災会議「首都圏直下地震避難対策等専門調査会」²⁾は，大規模地震時に首都圏で発生すると予想される膨大な帰宅困難者の徒歩による帰宅行動に関するシミュレーションを実施している。片田ら^{3),4)}は災害情報の伝達や避難行動，災害状況を表現し，徒歩と自動車の利用を想定した災害総合シナリオシミュレーターを開発している。いずれのモデルにおいても，被災状況をネットワークに反映させていることや自動車と徒歩避難の両方をモデル化している点が共通している。しかしながら，東日本大震災時の首都圏で見られた道路上の歩行者と自動車の錯綜による道路容量低下(混雑増大)といった両者の相互影響をモデル化していない点が課題と考える。

DOMINGO では過去に，広域交通流シミュレーターSOUND⁵⁾をベースとして避難交通シミュレーションを開発⁶⁾し，東日本大震災時の宮城県石巻市でケーススタディを実施した。同シミュレーションにより，東日本大震災時の石巻市の大渋滞(グリッドロック)を再現した。そして，避難所設置(ハード策)や自動車から徒歩避難への誘導(ソフト策)といった避難支援策をシミュレーションで評価することで，石巻市の今後の避難計画に有益な知見を得ることができた。このように，避難交通シミュレーションによって交通状況を再現(予測)し，事前(次の災害発生まで)に避難支援策の評価を行うことは，減災面で重要と考える。

よって，本研究では，首都圏直下型地震時の首都圏を対象とし，事前に避難支援策を評価可能な避難交通シミュレーションの開発を目的とする。具体的には，過去に開発した避難交通シミュレーションをベースに，歩車錯綜といった首都圏での災害時特有の交通現象の再現と避難支援策の設計・評価を行うための機能開発を行った。

2. 首都圏直下型地震時に想定される避難時の課題とシミュレーションの開発方針

首都圏直下型地震に備える避難施策の検討に活用するための避難交通シミュレーションの開発に当たっては，着目する避難行動や被害状況，避難施策を表現する機能が必須となる。そこで，本章では，首都圏直下型地震において想定される諸事象を把握すべく，類似の大規模地震である東日本大震災下における避難交通状況や東京都の予測する被害想定に関する情報・文献を整理し，本研究で開発する避難交通シミュレーションの開発方針を検討した。

2-1 首都圏直下型地震時に想定される課題

首都圏直下型地震時における避難状況や被害状況について，直接的に把握することは困難なため，避難行動については，直近の大規模地震である東日本大震災(東京 23 区では震度 4 以上の揺れを観測)時の状況より類推するものとした。また，被害状況については「首都圏直下型地震等による東京の被害想定報告書(平成 24 年)」⁷⁾に基づき想定する。

1) 東日本大震災時における東京 23 区の交通状況

東日本大震災当日に東京 23 区内を走行していたプローブカーの 15 分間平均速度の時刻変化(図 1)を見ると 14 時 45 分以前は約 20km/h 程度で推移していたものが，14 時 45 分以降は約 10 km/h 未満まで低下し，著しい渋滞が長時間にわたって継続していたことがわかる。

このような速度低下の要因として，一つは自動車と歩行者との錯綜による交通容量の低下が考えられる。自動車と歩行者との錯綜は道路の交差点部及び単路部の双方において見られ(図 2)，交差点部では歩行者の横断捌け残り，単路部では歩道から溢れた歩行者の車道へのはみ出しによる交通容量の低下が自動車交通に影響したものと考えられる。

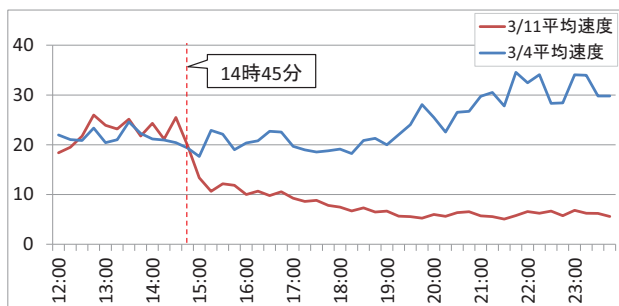


図 1 東京 23 区内の 15 分間平均速度の推移



図2 3.11 帰宅困難者の様子 (品川)
出典：「東京都帰宅困難者対策ハンドブック」

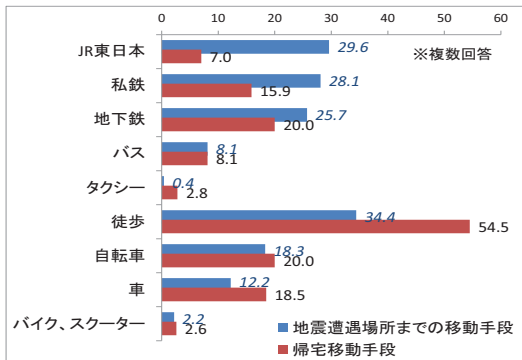


図3 東日本大震災帰宅行動アンケート調査 (帰宅移動手段)

東日本大震災当日の地震発生以降の移動手段については、当日の帰宅行動に関するアンケート調査結果⁷⁾から窺える(図3)。地震遭遇前の移動手段は徒歩や鉄道、地下鉄が多く利用されていたが、地震後は公共交通機関の停止に伴い、多くの方が徒歩で移動(帰宅)していることがわかる。さらに同アンケート調査では地震後の移動先を質問している(図4)。同質問の回答からは、多くの方が「自宅」を最終目的地としている中で、「自宅」に向かう前に「会社」「最寄りの建物内」「友人・知人・親類・家族宅」に一時避難または立ち寄っていることが窺える。

また、当日の交通インフラの状況として、首都高速道路が規制された。その結果、高速道路から一般道へ交通が流出し一般道の混雑が増大したと考えられる。

2) 首都圏直下型地震時に想定される被害

本研究では、東京都の想定する被害想定⁷⁾(表1)に基づき、火災延焼や建物倒壊、地盤崩壊による道路通行止め被害を考慮するものとした。

地震に遭った場所からどこに移動したか

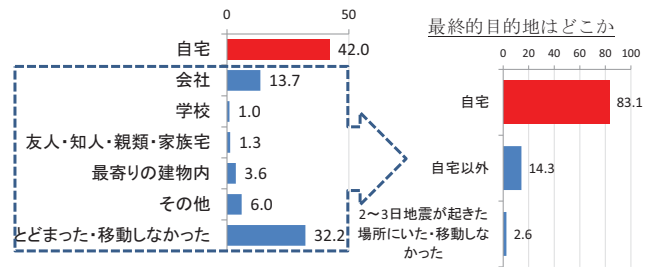


図4 東日本大震災帰宅行動アンケート調査 (地震発生時の滞在地と避難先)

表1 東京湾北部地震(M7.3)、冬、夕18時の被害想定例

想定される被害の種類	想定される被害の特徴
火災延焼	・夕方の18時台は火気器具利用が最も多いと考えられる時間帯で、これらを原因とする建物の出火数が最も多くなる
建物倒壊	・ビル倒壊や落下物等により被災する危険性が高い
地盤崩壊	・液状化、森戸崩壊、斜面崩壊など

2-2 避難交通シミュレーションの開発方針

前節に整理した東日本大震災時の東京23区の交通状況及び首都圏直下型地震時の被害想定を踏まえると、首都圏直下型地震時において、交通の観点からは以下の課題が考えられる。

- ①歩行者、自動車錯綜による道路の容量の低下
- ②公共交通のマヒによる帰宅困難者の発生
- ③帰宅前の一時避難所などへの一時避難
- ④家族・友人などの救助のためのピックアップ行動のための都心内への交通流入
- ⑤首都高速道路や緊急輸送路規制によるその他一般道路の渋滞
- ⑥火災・建物倒壊・地盤崩壊による道路閉塞

本研究では、これまでに筆者らが開発してきた避難交通シミュレーションをベース⁶⁾として、上記課題となる交通現象を表現するために表2、図5に示すモデルを開発する。

3. 避難交通シミュレーションシステムの構築

前章2-2節で記載した今回開発したモデルのうち、主要なモデルの詳細を解説する。

表2 6つの交通課題を踏まえた避難交通シミュレーションの開発方針

No.	交通課題	開発モデル	機能内容	開発状況
1	歩行者、自動車錯綜による道路の容量の低下	①単路部の自動車容量低下モデル	・歩行者道路の密度に応じた自動車道路の容量低下を表現	今回開発
		②交差点内の歩車錯綜による車両停止モデル	・交差点内の歩行者と自動車の交錯による自動車の移動停止を表現	今回開発
2	公共交通のマヒによる帰宅困難者の発生	③帰宅困難者発生モデル	・発災後に自動車、歩行者の帰宅需要を道路ネットワーク上に発生	今回開発
3	帰宅前の一時避難所などへの一時避難	④OD交通量の目的地切り替えモデル	・帰宅ODの目的地を一時避難所などの目的地に切り替え	実装済 ⁶⁾
4	家族・友人などの救助のためのピックアップ行動のための都心内への交通流入		・都心内に滞在する家族、友人などを救助するためのピックアップ行動を表現 Ex. 学校にいる子供を迎えに行き自宅に戻る行動	実装済 ⁶⁾
5	首都高速道路や緊急輸送路規制によるその他一般道路の渋滞	⑤交通規制モデル	・時間や道路リンクを指定して当該区間の通行止めを表現	今回開発
6	火災・建物倒壊・地盤崩壊による道路閉塞	⑥被災道路リンク閉塞モデル	・被災危険度に応じて確率的に道路リンクの通行止め（又は容量低下）を表現	今回開発



図5 避難交通シミュレーション全体像

3-1 歩車錯綜モデル

本研究における歩車錯綜交通シミュレーションフレームワークは、広域にわたる道路ネットワークを対象に、災害発生時における交通状況を再現し、その対策を評価できるよう以下のコンセプトで開発した。入力データとしては、一般的な交通シミュレーションに必要な道路ネットワークデータ、OD交通量と発生・集中ゾーンデータが基本となり、現況再現の検証用、あるいはパラメータ調整用として各種交通データが必要となる。自動車交通、歩行者交通ともにほぼ同様のデータ構造としており、シミュレーション上で歩車錯綜を表現する際は、各ネットワークにおける交錯点に関する情報を作成する。

本フレームワークに適用される自動車交通流モデルにおいては、広域道路網をシミュレーションできるSOUND⁹⁾を適用している。SOUNDは、主に経路選択サブモデルと車両移動サブモデルで構成され、ネットワーク上のリンクコストを一定の情報更新間隔で更新しながら各車両の経路を決定し、車両移動サブモデルによって車両が移動する。

歩行者の移動モデルにおいては、隣り合う歩行者リンク、ノード（滞留スペース）を一つの「ブロッ

ク」と見なして接続し、一定時間おき（1秒）に、それぞれのブロック間を移動する歩行者交通量をブロック密度法⁹⁾で求める方式を採用した。経路選択モデルについては、SOUNDが実装しているモデルを基本として歩行者用に構築した。

歩車錯綜挙動については、主に①交差点内の交錯による自動車の停止、②歩行者道路の密度に応じた自動車道路の容量低下を実装した。図6に歩車錯綜挙動のイメージ図を示す。

ここで、東京都内の神保町交差点モデルを作成し、歩行者流入量に対する自動車交通流の影響度について試算した。シミュレーション条件を表3に示す。

①交差点内の交錯による自動車の停止 ②歩行者道路の密度に応じた自動車道路の容量低下

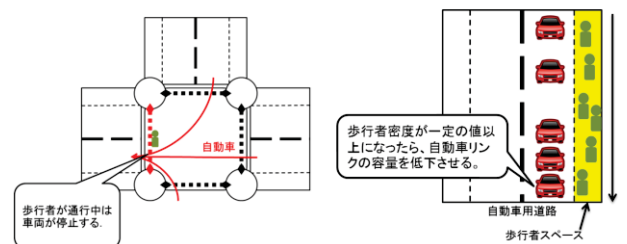
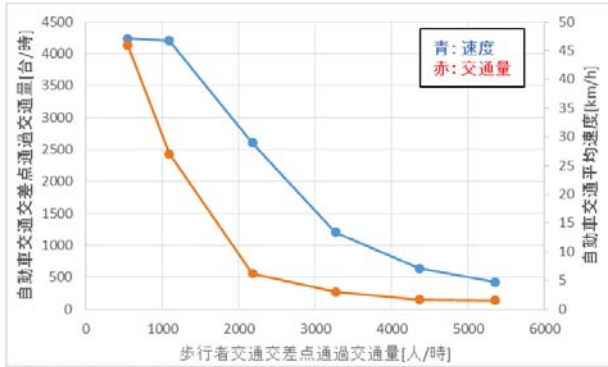


図6 歩車錯綜時の挙動（左:交差点部,右:単路部）

表3 交差点内歩車錯綜シミュレーション条件

シミュレーション時間	平日午前9時台のピーク1時間
自動車交通パラメータ	調査結果（道路構造、交通量、信号、速度）を参考に入力。
歩行者交通パラメータ	既存研究を参考に設定。
ケース設定	交差点に流入する歩行者交通量を段階的（500~5500人/時）設定。災害イベントの設定はなし。



※自動車交通、歩行者交通ともに交差点内の総通過交通量

図7 交差点内歩車錯綜モデルのシミュレーション結果

図7にシミュレーション結果を示す。歩行者が2000人/時を超えた時点で自動車交通への影響は顕著になっている（平均速度が急激に低下し、通過交通量も約8分の1に低下）。これは、歩行者交通量増大に伴って、交差点内における自動車交通と歩行者交通の錯綜機会が増大し、交差点の処理能力が著しく低下したものと考えられる。現在の交差点の錯綜モデルでは、一人でも歩行者が歩行していると車両の通行が停止してしまう。そのため、現実よりも自動車交通への影響が過大に評価されてしまう可能性がある。今後は、自動車交通の容量パラメータを低減するオプションを実装するなど、より現実に近いシミュレーションができるよう改良を行っていく必要がある。

今後は、構築した本フレームワークについて、日本地震工学会の津波シミュレーション性能検証マニュアル¹⁰⁾¹¹⁾に従い、基本的検証と妥当性確認を実施しながら、モデル改良を検討していく予定である。

3-2 OD交通量の目的地切り替えモデル

発災時の避難所への避難、およびピックアップ行動については、筆者ら⁶⁾によるOD交通量の目的地切り替え行動モデルをベースにモデルを実装している。図8に避難時の避難行動時の挙動イメージを示す。

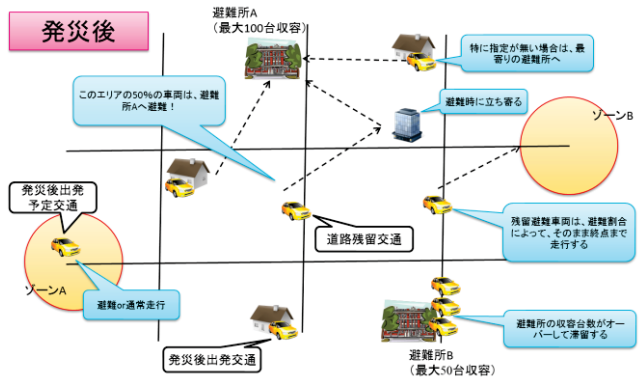


図8 避難行動時の挙動イメージ

図8の避難行動時の挙動を踏まえ、OD交通量の目的地切り替えモデルでは、主に以下の機能を実装した。

- 避難所への一時避難（確率的に避難の意思を決定してOD交通量の目的地を避難所に切り替え）
- ピックアップ行動（ODに対して、目的地に向かう前に職場、学校への立ち寄りを加える）
- 避難所の容量制約（避難できる車両の制約）

3-3 交通規制モデル

交通規制モデルについては、東日本大震災時の首都高速の通行止め状況を参考に、発災時に本線（一般道へ流出させるため）、およびONランプの入口（首都高速に流入させないため）にリンクの閉鎖イベントを設定し、発災後から首都高速道路を走行させない仕様とした。

信号については、停電による被害などが想定されていないため、通常通りの制御内容として現況再現ケースの設定をそのまま利用する。

また、発災時の交通規制においては、警視庁で公表されている第一次交通規制¹²⁾、第二次交通規制¹³⁾（大震災(震度6弱以上)が発生した場合)の規制内容を参考に車種別に通行規制することも検討していく予定である。

3-4 被災道路リンク閉塞モデル

被災道路リンク閉塞モデルにおいては、首都直下型地震を想定し、東京都防災ホームページで公表されている「首都直下地震等による東京の被害想定(平成24年4月18日公表)」⁷⁾の「首都直下地震等による東京の被害想定 報告書」うち、東京湾北部地震(M7.3)による被害想定データを参考に、以下の被害について道路リンクの閉塞を発生させることとした。

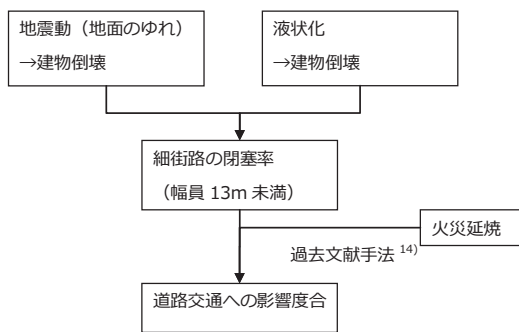


図 9 被災道路リンク閉鎖モデルについて
の考え方

- ・ 建物倒壊(倒壊棟数；ゆれ・液状化・急傾斜地崩壊・人口造成地によるもの)
- ・ 火災延焼(焼失棟数)
- ・ 細街路の閉塞(幅員 13m 未満の道路の閉塞率)

シミュレーション内においては、上記の災害に対して、道路リンクを閉鎖するイベントを発動し、車両、および歩行者の通行を妨げて避難時の交通集中、混雑を再現する。閉鎖する道路リンクの選定については、対象エリアをメッシュで区分けし、各メッシュの被害レベルに応じてリンク閉鎖を行う割合を算出し、割合に応じてランダムに選定する方法とした。図 9 に被災道路リンク閉鎖モデルについての考え方を整理した。

4. まとめと今後の課題

今後は、構築した本フレームワークの基本的検証と妥当性確認を実施した後、東日本大震災の状況を参考に、歩車錯綜モデルによる交通状況再現ケースを構築する予定である。その後、避難行動に対する各種施策を評価し、定量的な評価ツールとしての実用性などを確認していく。

謝辞：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」課題Aソーシャル・ビッグデータ利活用アプリケーションの研究開発「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」プロジェクトにおける活動の一環としてすすめられている。

[参考・引用文献]

- 1) 今村文彦, 鈴木介, 谷口将彦: 津波避難数値シミュレーション法の開発と北海道奥尻島青苗地区への適用, 自然災害科学, Vol.20, No.2, pp.183-195, 2001.
- 2) 帰宅行動シミュレーション結果について, 内閣府中央防災会議「首都直下地震避難対策等専門調査会」: http://www.bousai.go.jp/kaigirep/chuobou/senmon/s_hutohinan/
- 3) 片田敏孝, 桑沢敬行: 津波に関わる危機管理と防災教育のための津波災害総合シナリオシミュレータの開発, 土木学会論文集 D, Vol.62, No.3, pp.250-261, 2006.
- 4) 片田敏孝, 桑沢敬行, 信田智, 小島優: 大都市大規模水害を対象とした避難対策に関するシナリオ分析, 土木学会論文集 B1, Vol.69, No.1, pp.71-82, 2013.
- 5) Tohisu Yoshii, SOUND: A Traffic Simulation Model for Oversaturated Traffic Flow on Urban Expressways, WCTR, 1995
- 6) 長尾一輝, 大畑長, 柿元祐史, 花房比佐友, 二上洋介, 江藤和昭, 桑原雅夫: 大規模地震時における自動車避難行動に基づく避難施策の評価, 第 49 回土木計画学研究発表会講演概要集, CD-ROM, 2013
- 7) 首都圏直下型地震等による東京の被害想定報告書: <http://www.bousai.metro.tokyo.jp/taisaku/1000902/1000401.html>
- 8) 東日本大震災にともなう災害意識調査結果: http://www.marketingservice.co.jp/upload_report/pdf/NO001_TOTAL_Report_01.pdf
- 9) 堀口良太: 交通運用策評価のための街路網交通シミュレーションモデルの開発, 東京大学学位論文, 1996
- 10) 日本地震工学会: <http://www.jaee.gr.jp/jp>
- 11) 津波避難シミュレーションの「検証と妥当性」: <http://vri.co.jp/pdf/150209vandv.pdf>
- 12) 警視庁「第一次交通規制 (大震災が発生した場合)」: http://www.keishicho.metro.tokyo.jp/kotu/shinsai_kisei/kisei_1.htm
- 13) 警視庁「第二次交通規制 (大震災が発生した場合)」: http://www.keishicho.metro.tokyo.jp/kotu/shinsai_kisei/kisei_2.htm
- 14) 大口敬, 伊藤麻紀, 水田隆三, 堀口良太: 東京 23 区を対象とした大規模災害時交通シミュレーションと交通渋滞緩和策の評価, 第 33 回交通工学研究発表会, CD-ROM, 2013