

集計・観測データを用いた 交通避難シミュレーションの検証

金 進英¹・桑原 雅夫²・花房 比佐友³・今井 武⁴

¹正会員 東北大学災害科学国際研究所 (〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉6番3号09)

E-mail:kim.jinyoung@plan.civil.tohoku.ac.jp

²正会員 東北大学大学院情報科学研究科 (〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉6番3号09)

E-mail:kuwahara@plan.civil.tohoku.ac.jp

³正会員 株式会社アイ・トランスポート・ラボ (〒101-0051 東京都千代田区神田神保町1-4)

E-mail:hanabusa@i-transportlab.jp

⁴非会員 本田技研工業株式会社 グローバルテレマティクス部 (〒351-0188 埼玉県和光市本町8-1)

E-mail:takeshi_a_imai@hm.honda.co.jp

本研究では、交通避難シミュレーションを用いて東日本大震災を再現し、その結果と実際の集計・観測されたデータと比較することで、シミュレーションの再現精度およびシミュレーションのシナリオの妥当性を検証した。宮城県から公表された死者および行方不明者数と被災自動車の推計台数と、シミュレーションの結果による被災自動車の台数を比較することで、シナリオである避難人口の自動車利用率について考察を行った。また、カーナビゲーションを搭載した車両から収集されたプローブデータとシミュレーション結果から得られたリンクの平均速度を比較することで、交通避難シミュレーションにおける道路パフォーマンスの変化を確認した。これらの結果をシミュレーションにフィードバックすることで、交通避難シミュレーションの精度を高めることが期待できる。

Key Words : *traffic evacuation simulation, evacuation behavior, simulation validation*

1. はじめに

2011年3月11日の東日本大震災の状況を踏まえ、徒歩避難を原則にしていた「防災基本計画」や「交通の方法に関する教則」の一部が改正され、やむを得ない場合には自動車による避難に関しても認められることになり、防災対策にも大きな波紋が広がった。また、2012年12月7日、震度5弱の三陸沖地震による津波警報の際には、多くの地域から自動車避難による道路渋滞が多発し、避難者の車利用の願望が再確認された。このような状況を踏まえると、自動車の避難を考慮した新しい避難計画の策定を検討しなければならない。

車両による最適な避難方法の検討、避難計画を設けるためには、避難時の道路ネットワークを把握する必要がある。避難時は、地域的な特徴並びに急増する交通発生や交通集中により平常時とは異なる交通パターンがみられる。それゆえ、交通渋滞の原因や発生箇所なども相違すると考えられる。したがって、既存の交通シミュレーションでは避難という特有の行動を表現することが困難

である。金ら¹⁾は、既存の交通シミュレーションを改良して、災害発生後には目的地を避難所に替えて避難することが表現できる「避難行動モデル」と道路の被災状況がネットワークに反映できる「災害イベントモデル」を導入した交通避難シミュレーションを構築した。本研究では、その交通避難シミュレーションを用いて東日本大震災を再現し、その結果と実際の集計・観測されたデータと比較することで、シミュレーションの再現精度およびシミュレーションのシナリオの妥当性を検証する。

本研究の結果を用いると、被災時における現存する道路の容量やネットワークの構造について考察ができ、避難所配置などについて議論が可能になる。さらに、自動車による避難計画への活用も期待できる。

2. 交通避難シミュレーションについて

本節では、金ら¹⁾によって提案された交通避難シミュレーションについて説明する。交通避難シミュレーションは、車両による避難行動を再現するため、交通流シミュレーションを用いて表現される。

ュレーションを改良したものである。平常モードでは、平常時のネットワークおよびOD交通量に基づいて計算するが、災害が発生して避難モードになると、平常時とは異なる道路および交通条件を付与するシミュレーションである。

まず、車両の動きについて考える。ある時刻から災害が発生すると、平常時のOD交通量の発生は減少または中止する。また、ネットワーク上の道路に通行していた車両の一部または全車両は避難車両になり（以下、残留避難交通量と称する）、目的地を平常時の目的地から避難所または高台に変更する。さらに、通常は発生しないが、被災地において避難をするために新たに発生する交通量（以下、潜在避難交通量と称する）も考慮しなければならない。潜在避難交通量は、発災後の時間変化によってある割合で避難行動を開始（避難行動開始割合）し、被災地から発生することになる。これらの車の動きをシミュレーション内に表現するため、避難行動モデルを構築する。

また、災害によっては、道路の浸水、交通の途絶なども考えられるため、時々刻々変化する道路の閉鎖状況をシミュレーションに反映する必要がある。これを災害イベントモデルという。この災害イベントモデルでは、動的津波データを融合することで、津波による道路の浸水と、道路浸水による車両の被災を再現することができる。

以上の、避難行動モデルと災害イベントモデルを導入することで、避難の行動が表現できるシミュレーションを構築した。

3. シナリオの設定

構築された交通避難シミュレーションを実行するためには、様々な状況を設定したシナリオが必要である。本研究では、2011年東日本大震災の再現を行うことで、シミュレーションの精度およびシナリオの妥当性を検証することにした。本節では、シミュレーションのために必要なデータおよびシナリオの設定について述べる。

(1) 対象地域およびデータ

シミュレーションの対象にする地域は、図-1のように宮城県の沿岸部である。

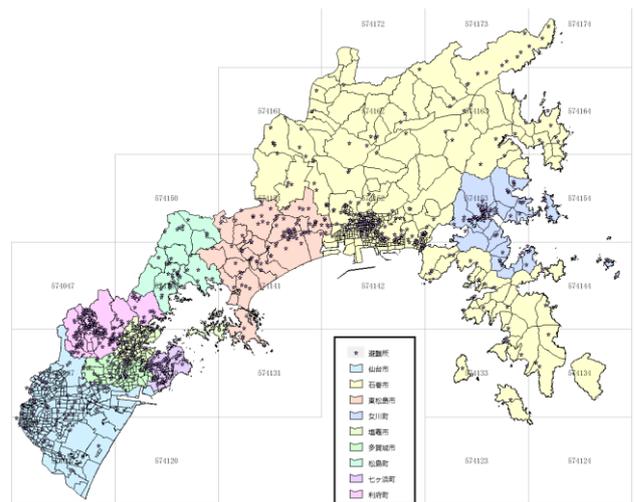


図-1 対象地域

ここで、交通避難シミュレーションのために必要なデータは以下のようである。

(a) 避難所データ：この地域内の避難所は、各市町村のホームページを参考にした、2011年3月11日以前のデータである。本研究は車両による1次避難を考慮しているため、避難可能な場所のうち、主に「避難所」や「指定避難所」として区分されているものを対象にしている。対象地域内では総860ヶ所の避難所が存在しており、図-1では星記号で示している。

(b) 津波データ：本研究で使われる津波データは、津波シミュレーション²⁾³⁾⁴⁾を用いて、対象地域における浸水状況を再現した結果である。今回の陸上域は約50mメッシュで設定をして、1分間隔の津波浸水深(m)及び流速(m/s)を算出した。ここで計算された結果に基づいて、災害イベントモデルの浸水道路データを作成する。

(c) 平常時のOD交通量データ：平成17年度調査、全国交通センサスデータを用いて、対象地域におけるOD交通量を作成した。

(2) シナリオ設定

東日本大震災を再現するため、「東日本大震災の避難被災現況調査結果（平成23年12月26日、第3次報告）」⁵⁾に基づいて、以下のようにシナリオを設定した。

(a) 発災時刻：災害発災時刻は14:46だと設定をし、この時刻から避難行動が始まることにする。

(b) 避難交通量：発災前に道路上を走行していた車両は、全車両が避難車両になる（残留避難交通量：100%）とする。また、潜在避難交通量は、対象地域の人口（発災時刻が14:46であるため、昼間人口を用いる）に基づいて算定を行う。上記の「東日本大震災の避難被災現況調査結果」⁵⁾によると、車を利用して避難した人は約50%であることが分かった。昼間人口の50%が車で避難をして、1台には平均3人が乗車すると仮定し、

潜在避難交通量を計算した。

(c) 避難所選択：図-1で表した860か所と、海拔30～50mの高台が避難所になり、避難車両は最も近いところに避難を行う。

(d) 経路選択：地震の発災前も発災後も最短経路を選択する。

(e) 避難行動開始割合：避難行動モデルにおける潜在避難交通量の避難行動開始割合も、上記の調査結果⁵⁾に基づいて設定をした(図-2)。14:46から5分おきに更新され、潜在避難交通量は5分間でランダムに発生して避難所に向かう。図によると、発生から1時間5分後(15:51)には全車両が発生することが分かる。

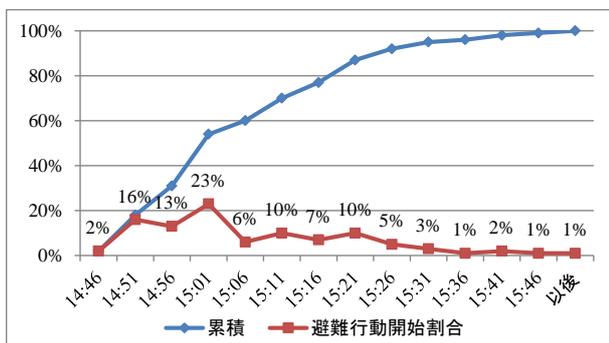


図-2 避難行動開始割合

4. シミュレーションの再現性の検証

様々なシナリオを前提として得られたシミュレーションの結果を、実際の統計および観測データと比較することで、シミュレーションの再現精度およびシナリオ設定の妥当性について検証を行う。

(1) 被災自動車の台数

ここでは、津波データとシミュレーションを融合することで、計算された被災自動車数について考える。

表-1は、宮城県から公表された、死者および行方不明者数と2007年の人口を表している。死者及び行方不明者数は、石巻市が最も多く、東松島市、仙台市、女川町の順になっている。これは、2010年の人口データと比較してみると、必ず比例しているわけではなく、地域によって津波による被害の規模が異なったことが予想できる。

表-1 死者および行方不明者数と人口
(2013年3月現在, 宮城県公表)

地名	死者+行方不明者数 ⁶⁾	割合	2010年の人口 ⁷⁾ (単位: 千人)
仙台市	934	13%	1,045
石巻市	3,946	54%	161
東松島市	1,152	16%	43

地名	被災自動車の台数	割合	潜在避難交通量
女川町	870	12%	10
塩竈市	48	1%	56
多賀城市	217	3%	63
松島町	7	0%	15
七ヶ浜町	77	1%	20
利府町	3	0%	34
合計	7,254		1,447

表-2 被災自動車台数(交通避難シミュレーションのアウトプット)と潜在避難交通量(インプット)

地名	被災自動車の台数	割合	潜在避難交通量	割合
仙台市 (宮城野区と若林区)	8,954	57%	59,848	48%
石巻市	4,001	25%	26,368	21%
東松島市	789	5%	5,705	5%
女川町	0	0%	1,735	1%
塩竈市	1	0%	8,454	7%
多賀城市	1,965	12%	12,622	10%
松島町	4	0%	2,263	2%
七ヶ浜町	14	0%	2,265	2%
利府町	0	0%	4,777	4%
合計	15,728		124,037	

一方、交通避難シミュレーションの結果による、被災自動車の台数を表したのが、表-2である。この表によると、仙台市と石巻市、多賀城市の値が大きく、約95%を占めている。これらの値を、表-1の死者および行方不明者数と比べると、大抵比例しているものの、仙台市と多賀城市は大きく上回っている。仙台市と多賀城市が上回っている理由としては、表-2で表しているように、潜在避難交通量が大きく関連していると考えられる。潜在避難交通量は前述したように昼間人口に基づいて計算されており、この地域から発生した潜在避難交通量が多かったためであると思われる。

都市によっては、自動車避難が不可避である地域と、自動車避難が不適切である地域がある。これは、海岸平野カリアス海岸かだけではなく、人口に対する車両保有台数の割合、避難道路の容量などが関係している。本研究では、一括に人口の50%が自動車で避難をすると設定をしているが、仙台市や多賀城市にも適切だったのかについて確認をする必要がある。

(2) 道路ネットワークの速度

災害避難時には平常時とは異なる交通パターンがみられる。それゆえ、交通渋滞の原因や発生箇所なども相違すると考えられる。平常時とは異なる避難時の渋滞発生メカニズムを明かすためには、交通避難シミュレーションの結果から得られた各リンクの速度の精度を検証する

必要がある。ここでは、実際観測されたプローブデータとシミュレーションの結果を比較することでシミュレーションでの道路のパフォーマンス設定（道路容量や制限速度など）について議論を行う。

本研究では、カーナビゲーションを搭載した車両から収集された車両の軌跡データ（座標と時刻）を個人情報が見れないように統計的に処理したデータを、プローブデータとして扱う。具体的には、数秒単位で収集されたデータを1分単位にまとめて、また、そのデータを対象地域の2次メッシュ単位で集計を行った。

表-3は、対象地域の一部の、プローブデータによる車両の平均速度と標準偏差と、シミュレーション結果によ

るリンクの平均速度と標準偏差を示している。時間単位は、災害発生前の13:00-14:00（1時間）、14:00-14:45（45分）と発災後の14:45-15:00（15分）、15:00-16:00（1時間）に分けた。プローブデータの平均値の横には観測された車両の台数が括弧に入っている。

表-3によると、プローブデータは標準偏差の値が非常に大きく、値は安定していないことが分かる。一方、発災前では、プローブデータの平均値とシミュレーション結果の平均値に大きな差がないものの、発災後には著しく差が生じた。特に、15:00-16:00の時間帯をみると、観測されたプローブカーは、平均10km/h以下の速度で走行していたことが分かる。

表-3 2次メッシュ単位のプローブデータとシミュレーションリンクの平均速度と標準偏差

メッシュ	データ	統計値	発生前		発災後	
			13:00-14:00	14:00-14:45	14:45-15:00	15:00-16:00
574130	Probe	平均	27.90(観測：10台)	25.32(8)	13.43(4)	6.35(5)
		標準偏差	16.52	12.98	13.35	10.18
	Sim.	平均	33.10	33.12	32.40	32.02
		標準偏差	6.34	6.34	5.94	6.98
574142	Probe	平均	31.93(3)	30.75(1)		
		標準偏差	12.08	9.82		
	Sim.	平均	33.32	33.48	31.82	27.53
		標準偏差	6.93	7.03	6.40	11.34
574152	Probe	平均	29.15(8)	23.98(8)	7.52(2)	8.79(11)
		標準偏差	19.64	16.86	10.66	11.42
	Sim.	平均	34.00	33.95	32.74	28.90
		標準偏差	8.78	8.73	8.47	11.85

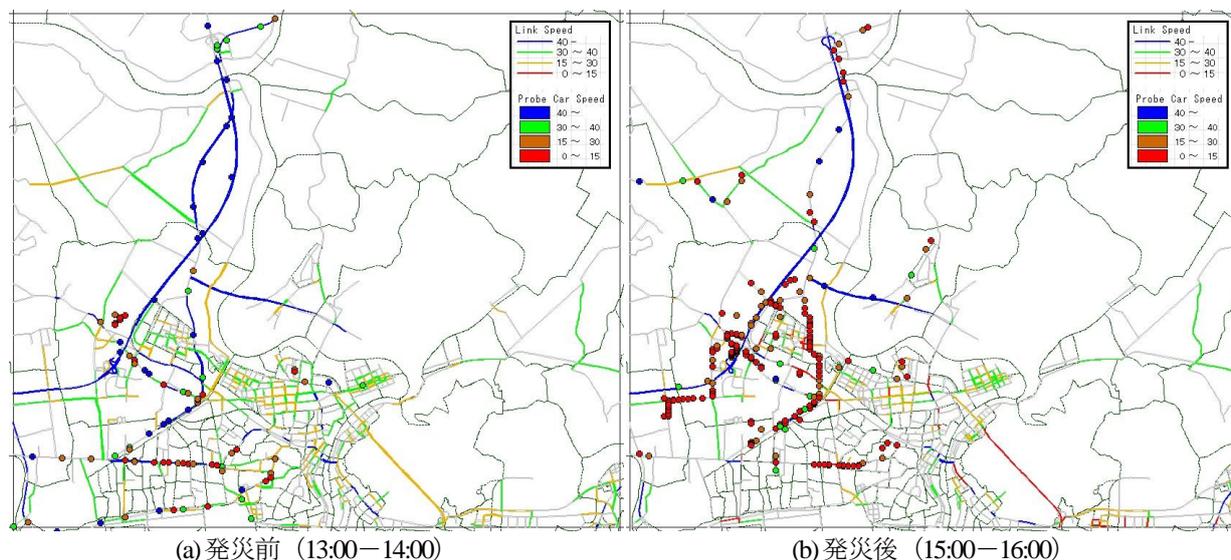


図-3 2次メッシュ番号574152の平均速度

図-3は、2次メッシュ番号574152（石巻市の一部）の、プローブデータの平均速度とシミュレーションのリンク平均速度を、丸い点とリンク上の線として地図上に表したものである。赤い色は平均速度が0km/h-15km/h、オ

レンジ色は15km/h-30km/h、緑色は30km/h-40km/h、青色は40km/h以上を意味している。図-3(a)の発災前をみると、低規格道路ではプローブデータとシミュレーションデータの平均値が異なるところもあるものの、幹線道路

のような高規格道路ではある程度一致している。しかし、図-3(b)の発災後は、高規格道路でも低規格道路でも、プローブデータの平均速度は低いことがみられる。

これらの結果から、道路のパフォーマンスは災害の発生前後に著しく異なることが分かった。これは、停電による信号機の滅灯や、急激な交通量の増加、ピックアップ行動によって避難方向とは異なるトリップの多発などが起因していると考えられる。したがって、シミュレーションを行う際には、発災前・後に道路パフォーマンスの設定を区分する必要がある、その程度を決めるためにはプローブデータが有用であると言えよう。

さらに、シナリオで設定した避難開始時刻は、生存者のアンケート調査結果である。死者および行方不明者の行動も反映するためにも、プローブデータを用いた補正が可能であると考えられる。

5. おわりに

本研究では、交通避難シミュレーションを用いて東日本大震災を再現し、そのシミュレーション結果と実際の集計・観測されたデータと比較することで、シミュレーションの再現精度およびシナリオの妥当性を検証した。

交通避難シミュレーションの結果による被災自動車の台数と、宮城県から公表された死者および行方不明者数と被災自動車の推計台数を比較することで、シナリオである避難人口の自動車利用率について考察を行った。

また、カーナビゲーションを搭載した車両から収集されたプローブデータとシミュレーション結果から得られたリンクの平均速度を比較することで、交通避難シミュレーションにおける道路パフォーマンスの変化を確認した。

これらの結果から、シミュレーションの精度を高めるためには、(a) 地域によって避難における自動車利用の割合を区別することと、(b) 災害発生の前・後によって道路パフォーマンスの設定を明確にすることが必要であることが分かった。

これを詳しく説明するためには、より小さいメッシュサイズを用いた詳細な分析が必要である。

本研究の結果を用いると、避難時における現存する道路の容量やネットワークの構造について考察ができ、避難所配置などについても議論が可能になる。さらに、自動車による避難計画への活用も期待できる。

謝辞：本研究の分析にあたり、データ融合のためのデータベースを構築して下さったアジア航測株式会社の浦山利博氏、津波データを提供して下さった一般財団法人日本気象協会の彦坂健太氏、Domingoプロジェクトのメンバーとして協力をいただいた東北大学大学院情報科学研究科の大畑長氏、住友電工システムソリューション株式会社の津田博之氏、株式会社オリエンタルコンサルタンの江藤和昭氏に、ここに感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 金進英, 花房比佐友, 桑原雅夫, 大畑長, 堀口良太, 浦山利博, 佐口治, 江藤和昭, 家森崇文, 櫻井康博, 本間基寛, 益田卓朗: 災害時と平常時の交通マネジメントのためのデータ融合と解析, 第 11 回 ITS シンポジウム, 2012.
- 2) 後藤智明, 小川由信: Leap-frog 法を用いた津波の数値計算法, 東北大学工学部土木工学科資料, 1982.
- 3) 藤井雄士郎, 佐竹健治: 2011 年 3 月 11 日東北地方太平洋沖地震の津波波源 (暫定結果, Ver. 4.2 と Ver. 4.6), 2011.
- 4) 小谷美佐子, 今村文彦: GIS を利用した津波遡上計算と被害推定法, 海岸工学論文集, 第 45 巻, 356-360, 1998.
- 5) <http://www.mlit.go.jp/common/000186474.pdf> .
- 6) <http://www.pref.miyagi.jp/uploaded/attachment/200548.pdf> (2013 年 3 月 8 日現在) .
- 7) <http://www.pref.miyagi.jp/uploaded/attachment/38804.pdf> .

(2013.5.7 受付)

VALIDATION OF TRAFFIC EVACUATION SIMULATION USING AGGREGATED AND OBSERVED DATA

Jinyoung KIM, Masao KUWAHARA, Hisamoto HANABUSA and Takeshi IMAI

In this study, the traffic situation of the Great East Japan Earthquake was simulated using traffic evacuation simulation. Moreover, we compared the results of simulation with the aggregated and the observed data to validate the simulation and the scenario. The record of deaths and missing people confirmed by Miyagi Prefecture was used to consider car availability rate for evacuating in the scenario for the simulation. Probe data observed from car navigation equipment were utilized to understand road performance changes before and after the disaster outbreak. The analysis results feedback on traffic evacuation simulation will develop the accuracy of the simulation.