

# 実規模交通避難シミュレーションに基づく 道路渋滞の分析

片岡 侑美子<sup>1</sup>・金 進英<sup>2</sup>・奥村 誠<sup>3</sup>

<sup>1</sup>学生会員 東北大学大学院 工学研究科 (〒980-8577 仙台市青葉区片平2-1-1 通研2号館148室)

E-mail:yumiko.kataoka@plan.civil.tohoku.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 東北大学助教 災害科学国際研究所 (〒980-8577 仙台市青葉区片平2-1-1 通研2号館149室)

E-mail:kim@irides.tohoku.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 東北大学教授 災害科学国際研究所 (〒980-8577 仙台市青葉区片平2-1-1 通研2号館152室)

E-mail:mokmr@m.tohoku.ac.jp

これまで自動車を利用した津波避難は原則禁止とされていたが、東日本大震災の経験を踏まえ、やむを得ない場合での自動車避難が認可された。それゆえ、今まで徒歩原則だった避難計画の見直しが必要である。車避難を考慮した避難計画を策定する際、通常時とは異なる形での交通発生と交通流を考慮して、現状の道路ネットワークが持つ問題を把握することが不可欠である。本研究では津波災害に着目し、避難交通シミュレーションを宮城県亶理郡亶理町の実ネットワークに適用して、津波避難時における道路上の交通状況を分析した。また、避難先配分や避難車両数の条件を変えた複数のシナリオを設定し、避難完了時刻との関係を調べる。本研究の成果は、自治体の津波避難計画を策定する際、有用な情報になると期待できる。

**Key Words :** *traffic simulation, tsunami, evacuation, car, realistic size network*

## 1. はじめに

これまで、自動車を利用した津波避難は原則禁止とされていたが、東日本大震災の経験を踏まえてやむを得ない場合での自動車避難が容認された。それゆえ、徒歩原則で作成されてきた既存の避難計画の見直しが必要となっている。

「市町村における津波避難計画策定指針」<sup>1)</sup>では、津波避難計画において定めるべき必要項目として、津波浸水想定区域、避難対象地域、緊急避難場所等・避難路等、初動体制、津波情報の収集・伝達などが挙げられている。この指針では、津波避難訓練で明らかになった課題や、津波防災対策の実施や社会条件の変化に応じて、定期的かつ継続的に避難計画を見直すことが必要であると言及している。しかし、避難訓練の頻度や住民参加度を考慮すると、これらの実地訓練の結果のみで実践的な計画を立てることに限界がある。また、新たな対策や条件などの変化を実際に計画に反映する際には、それらの影響を確認しておく必要がある。さらに、避難計画においては、地域の地形・環境、津波浸水想定・津波到着時間、都市・集落の構造など地域の特性に応じて対策を推進することが重要であると述べられており、これらを考慮し

て避難場所、避難経路を設定する必要がある。したがって、様々なシナリオによって道路状況の変化が把握可能なシミュレーションを導入することで、シナリオごとの避難行動や道路渋滞の発生・解消について考察するのが有効であると思われる。

また、「津波避難対策検討ワーキンググループ報告」<sup>2)</sup>では、素早い避難は、最も有効で重要な津波対策であると指摘している。しかし、既存の津波避難時における数理計画モデルの多くが総走行避難時間(総避難人数・時間)を最小化しているものであり、総走行避難時間の最小化が一概に「素早い避難」と言えるかは疑問である。

本研究では、道路リンク上の混雑やリンク間の渋滞が表現できる交通避難シミュレーション<sup>3)</sup>を用い、津波避難時における実ネットワーク上の渋滞の発生過程を分析し、避難車両の行動や避難完了時刻、道路渋滞の発生と掃滅の個所を把握する。さらに、避難先の指定や避難車両数の条件を変えた数個のシナリオを設定し、避難完了時刻の変化や道路ネットワークの渋滞発生過程を分析する。

## 2. 交通避難シミュレーションと対象地域

### (1) 交通避難シミュレーション

本研究で使用した交通避難シミュレーションは、交通流シミュレータ SOUND<sup>3)</sup>を基本として、災害イベントモデル、避難行動モデルの機能を加え、車両による避難行動が再現できるようにしたものである。

SOUND は、街路だけではなく高速道路も含めた広域道路ネットワークを扱うと同時に、車両一台ごとに目的地や経路選択などの情報を持たせることができる、メソ交通流シミュレーションである。混雑による所要時間の増加と、渋滞による待ち時間を考慮しており、渋滞が上流に波及する現象を表現できている。

災害イベントモデルは、地震による道路閉鎖、津波による道路浸水等のシナリオを受けて、各時刻における道路閉鎖をシミュレーションへの与件として設定するものである。避難行動モデルは、発災時以降の避難行動開始割合の時間変化をシナリオとして指定し、各ゾーンで発生する避難者を付近の緊急避難所や高台などの一次避難所へ目的地を設定するものである。

### (2) 対象地域

本研究では宮城県南部に位置する宮城県亶理郡亶理町を対象地域とした。この地域は、海に面して平野部が続いており、海岸線から高台までの距離が5km以上あるのが特徴である。

東日本大震災では、震度6弱を観測し、大津波に襲われた。津波による浸水深は最大約7.3km、海岸線から約4kmまで浸水され、浸水面積は約35km<sup>2</sup>で、これは町全体の面積(約73km<sup>2</sup>)の約48%に当たる(図1参照)。平成24年時点で、亶理町公式サイト<sup>4)</sup>の津波による被害集計データによると、亶理町内で発見された遺体数は257人、亶理町民の死亡者数は306人(他市町で発見、震災関連死、死亡届のあった遺体未発見者含む)であり、当時亶理町の人口34,845人(出典：H22年国勢調査)の約1%に至る。また、被災車両数は1,745台であり、亶理町自動車保有台数25,643台(出典：宮城県市町村別保有車両数、平成22年3月)の約7%になる。

現在、亶理町は東日本大震災の経験から新たな津波避難計画を策定している。亶理町は平野部が広がっていることから、沿岸部の住民が徒歩で高台まで避難するのが困難なため、津波避難における車両の利用を望んでいる人が多い。そのため策定するにあたり、徒歩避難と共に車避難を考慮した避難計画を設ける必要がある。亶理町を対象とした津波避難時の道路ネットワークの状態については、第3章で詳しく説明する。

本研究では、平成22年国勢調査の町丁別人口を利用し、町丁字で分けた各ゾーンに対し、それぞれの人口を

与えた。道路ネットワークは、DRM(Digital Road Map)を、避難先は(株)国際航業の平成24年全国避難所施設データを使用した。

## 3. シミュレーション結果と考察

津波避難時には、通常時とは異なる交通流が発生すると予想される。例えば、本研究の対象地域である亶理町では、通常時には仙台市や福島県に通勤・通学をするために国道6号などの南北に伸びている道路が主に利用される。しかし津波避難時には海側から山側、すなわち西から東へ通じる道路が多く利用され、通常時とは異なった場所で渋滞が発生する可能性がある。そのため現状のネットワークにおいて津波避難時に新たに問題となるボトルネックをつかむことが第一の目的となる。

次に、避難先の指定や避難車両数の規制が津波避難時においてどれほど影響するのか、避難完了時刻を指標として考察する。自由に避難をする場合では避難車両は出発地から最も近い避難所に集中してしまい、特定の避難場所の周りで渋滞が起きて避難完了時刻が増加する恐れがある。そこで地区別に異なる避難先を指定して目的地を分散させ、避難車両を特定の避難場所に集中させないようにすることが、どの程度避難完了時刻を変化させるかを調べる。

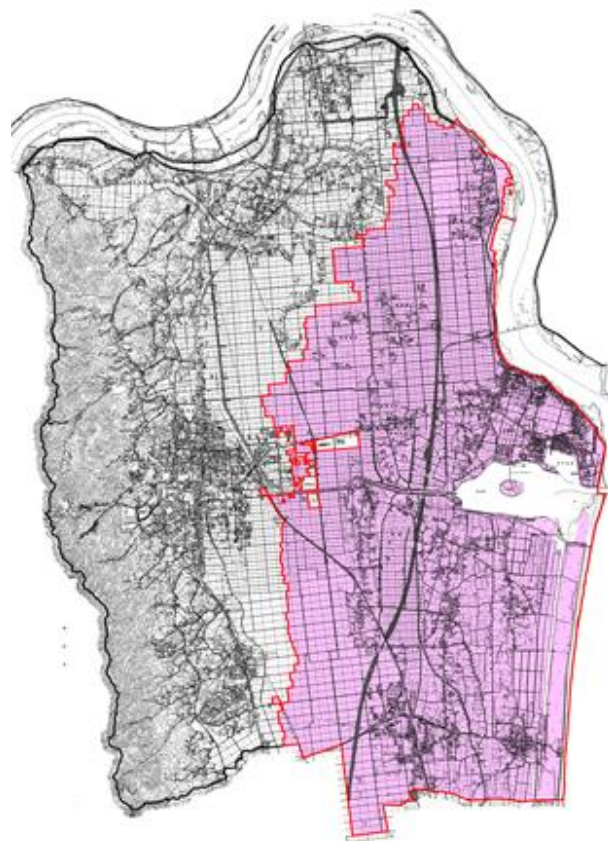


図1. 対象地域の浸水領域(亶理町公式サイトより)

本研究では避難完了時刻を、最後に避難所に到着した車両の到着時刻とし、避難完了時刻が早いほど良い避難計画と考える。そこで第3に、避難車両数が多いほど渋滞が発生しやすく、避難完了時刻は増加しやすい。そこで、避難車両数を規制することが避難完了時刻をどのくらい短縮させる効果があるのかを調べる。

### (1) 避難時における道路ネットワークの問題把握

#### a) シナリオの設定

避難対象地域は亶理町全体とし、亶理町全域の住民が避難することを前提とする。津波避難の場合は、最低限浸水被害が起きる可能性がある地区の住民が避難できれば良いが、他の地区に住む住民の避難行動が、危険な地区に住む住民の避難行動に影響を与える可能性があり、また地域の避難計画を立てる際、ある特定の人や地区の避難行動を制限することは困難であるため、亶理町全域で分析を行った。

高速道路は大きな地震が発生した場合には点検等のため入路閉鎖することが多いので、避難時に使用しないと仮定する。また本研究では、避難行動による亶理町の道路ネットワークでの渋滞発生過程を分析することが目的のため、津波による道路被害(道路閉鎖)と、発災前の平常時にネットワーク上の道路を通行していた交通量の影響は考慮しない。

避難時に発生する車両数を避難車両数と称する。亶理町の成人人口における自動車保有率は約80%であるため、亶理町全域の各ゾーンの住民の80%を一台当たりの乗車人数(以下、平均乗車人数と称する)で割って、避難車両数を算出した。平均乗車人数は2人に設定する。これは、「亶理町アンケート調査(H25.6.9防災訓練実施)集計結果」において、平均乗車人数が2人の割合が最も多かったためである。避難車両の避難開始時刻は、「東日本大震災の津波被災現況調査結果」<sup>5)</sup>の避難開始割合(図2)に基づくと仮定した。つまり、各ゾーンごとに避難車両数と避難行動割合から5分毎の避難車両数を算出し、シミュレーション内ではその車両数を5分間の間にランダムに発生させた。

避難先は、亶理町にある20か所の避難所施設のうち、東日本大震災時の浸水領域外に位置する12か所とする(表1と図3参照)。

避難経路は、出発地から目的地の避難所までの最短道路距離の経路を選択するとした。

各発生地(O)(ゾーン)と、目的地(D)(避難場所)は、一対一とする。つまり、あるゾーンで発生する避難車両は、すべてある一つの避難場所だけに向かう。本節の避難場所容量は無量大とした。これは、すべての避難車両は発生したゾーンから最も道路距離が近い避難所に向かうことを意味する。

表 1. 指定した避難場所

避難所No	避難場所名
shelter_01	働く婦人の家
shelter_02	中央公民館
shelter_03	武道館
shelter_04	佐藤記念体育館
shelter_05	亶理中学校
shelter_14	吉田小学校
shelter_15	農村創作活動センター
shelter_16	逢隈小学校
shelter_17	海洋センター体育館
shelter_18	逢隈中学校
shelter_19	亶理小学校
shelter_20	図書館・郷土資料館

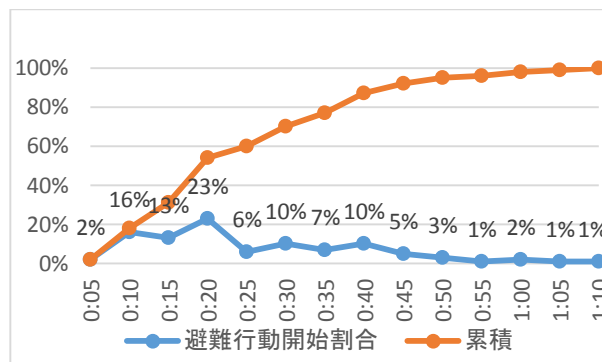


図 2. 避難開始割合

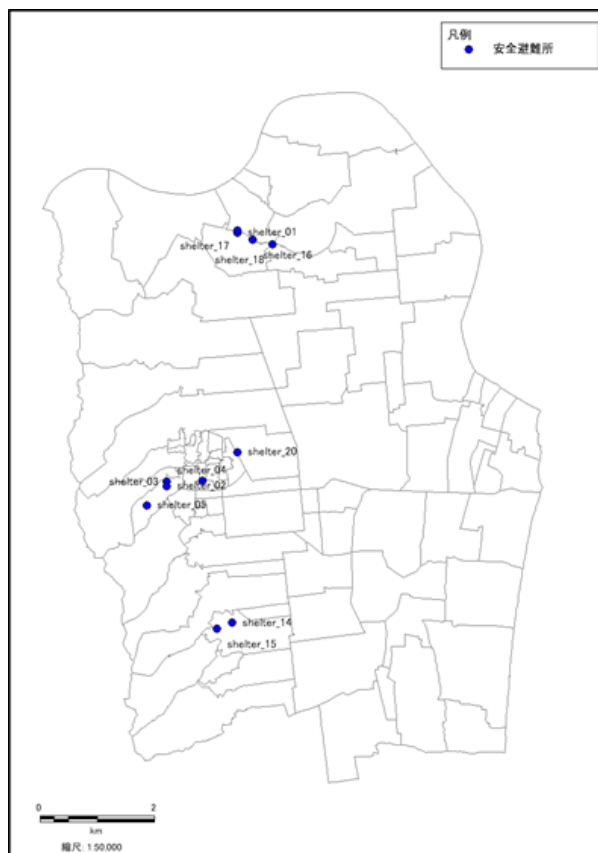


図 3. 指定した避難場所の位置

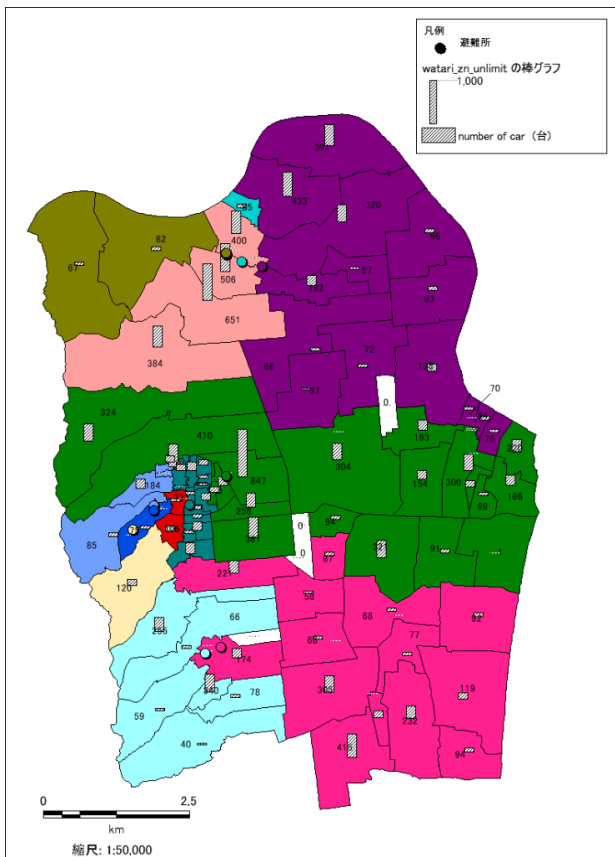


図4. 各ゾーンの目的地と避難車両数

図4は各ゾーンの目的地と避難車両数を表している。

b) 結果と考察

得られた結果は30分毎にまとめた。以下の時刻は、避難開始時刻を0:00:00として表示する。図5は0:00-0:30、図6は3:00-3:30の平均リンク速度を示す。本シナリオにおいて、最後に到着した車両の到着時刻である避難完了時刻は、4:52:27であった。

避難が始まった当初はほとんどの道路が避難に利用されている(図5参照)。しかし図6を見ると、北部では避難が終了しているが、中央部の東西に横断している道路とそこに繋がる南北に縦断している道路上には渋滞が伸びていた。特に沿岸部の車両は、浸水する危険性のあるリンク上で渋滞に巻き込まれている。

北部で避難が終了した要因としては、北部沿岸から内陸に通じる道路リンクが細かく配置されていることにより内陸に向かう避難車両を分担していたと考えられる。一方中央・南部では、内陸に通じる道路が少ない。また避難車両を分担する道路が少ないだけでなく、中央の道路における渋滞は目的地まで連続していないことから、問題点は目的地付近ではなく途中の道路にあるとも考えられる。避難車両時刻が約5時間かかった原因としては、これらの渋滞リンクに隣接しているゾーンから車両が出発できなかったと考えられる。

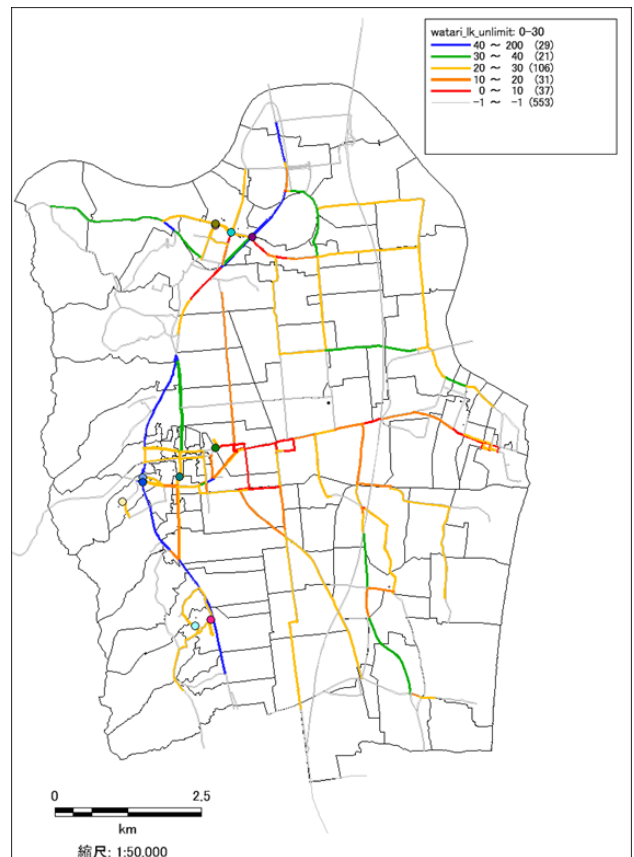


図5. 避難開始0-30の平均リンク速度(シナリオ1)

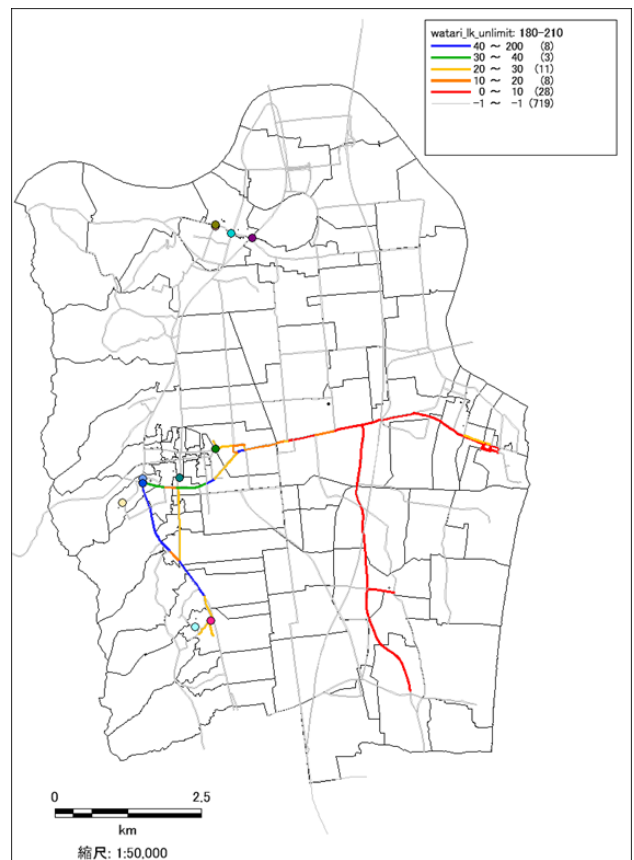


図6. 避難開始180-210分の平均リンク速度(シナリオ1)

(2) 目的地の分散による避難完了時刻の変化

a) 避難場所容量別のシナリオ設定

本章 1 節のシナリオ(シナリオ 1 と呼ぶ)をもとに、避難場所容量に制限をかけることで、各ゾーンの目的地を再配分させた。手順は以下のとおりである：

**Step 1:**ゾーン毎に、道路距離が近い順に避難場所の優先順位をつける。この時、最も近い避難所より海側にある避難場所は除外する。

**Step 2:**各ゾーンの危険度(図 7)によってゾーンの危険優先順位を作成する。また、同じ危険度のゾーンがある場合は、避難車両数が多いところを優先とする。

**Step 3:**危険優先順位が高いゾーンから順に、当該ゾーンで優先順位がより高い避難所に配分する。優先順位が最も高い避難場所の容量に収まらない場合、次に優先順位が高い避難場所に配分される。

避難場所容量の条件を変えた、4つのシナリオを表 2 に示す。

表 2. 避難場所の容量の違いによるシナリオ設定

	避難場所の容量
シナリオ1	なし
シナリオ2	1700台
シナリオ3	1500台
シナリオ4	1300台

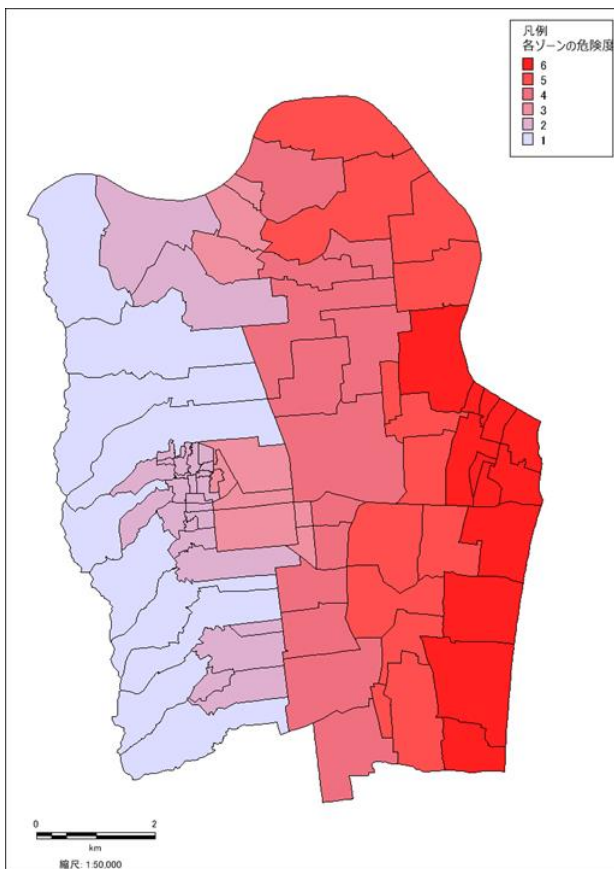


図 7. 各ゾーンの危険度

b) 結果と考察

避難場所容量と避難完了時刻の変化を図 8 に、容量 1500 台の場合における 3:00-3:30 の平均リンク速度を図 9 に示した。図 8 を見ると、容量 1500 台よりも容量 1300 台の方が避難完了時刻は早い。これは、目的地を分散させたことで渋滞が若干緩和されたと考えられる。しかし全体的に見ると、容量制限なしに比べ、容量を制限した 3 つのシナリオの方が避難完了時刻は大幅に増加している。これは、亘理町にある避難場所は空間的に固まっているため、目的地を分散させた効果が小さく、むしろ最近隣の避難場所よりも遠くに向かうことによる所要時間の増加が影響したと考えられる。図 6 と図 9 を比較すると、ほぼ同じ道路が使用されており、中央部を横断する道路は両方とのボトルネックとなり、渋滞が発生している。これは、シナリオの設定で最短道路距離経路とした

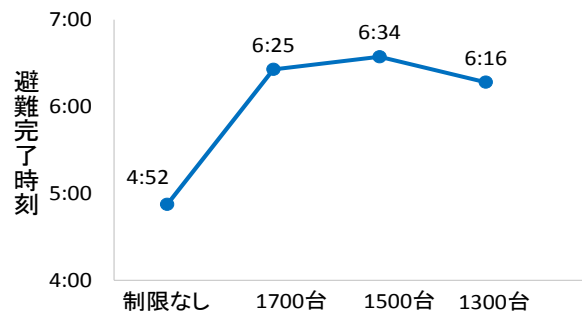


図 8. 避難所容量と避難完了時刻

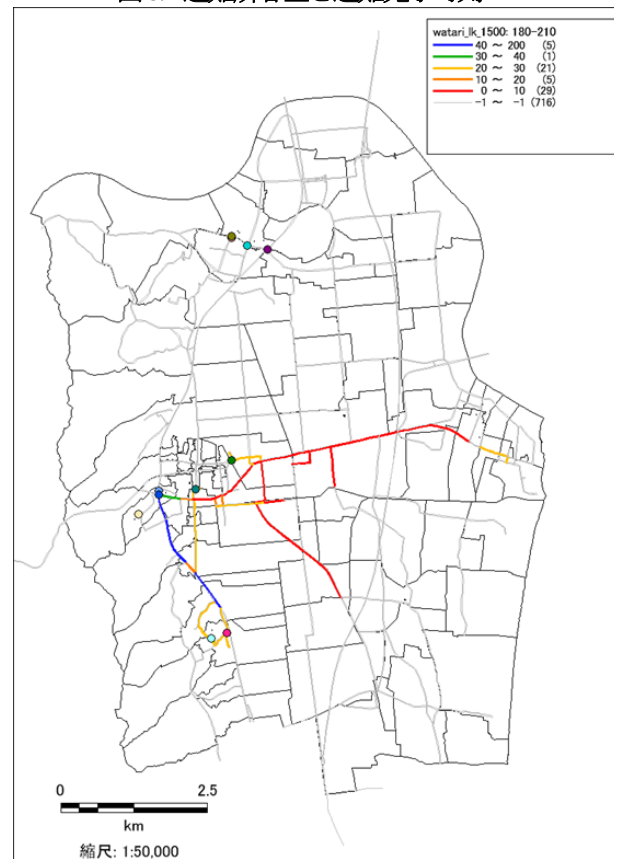


図 9. 避難開始 180-210 分の平均リンク速度(シナリオ 3)

ことが主な原因であろう。また、中央の渋滞している道路の北部には内陸に通じる道路が使用されていないまま存在していることから、道路距離は伸びるが、これらの道路を使用すれば渋滞の緩和に役立つと考えられる。このことから、目的地の分散が必ずしも避難完了時刻を減少させるとは限らなく、渋滞の緩和には経路の分散も必要なことがわかった。

### (3) 平均乗車人数変更による避難完了時刻の分析

#### a) 平均乗車人数別のシナリオ設定

本研究では、平均乗車人数を2人から一人ずつ増やすことにより、避難車両数を減少させた(表 3参照)。それ以外のシナリオ設定は、シナリオ1と同様とする。

#### b) 結果と考察

平均乗車人数と避難完了時刻の関係を図 10に示す。避難完了時刻は乗車人数が2人から1人増えるごとに、それぞれ約100分、約50分、約30分短縮されることがわかる。特に乗車人数が2人から3人に増加する場合の避難完了時刻の短縮分が大きいことから(図 10参照)、一台当たり3人以上の乗車は車両数の減少効果が大きいと言える。このように複数のシミュレーション結果を用いることで、住民に対し避難時にどれくらい同乗者をのせれば良いかといった具体的な避難政策を提示できる可能性がある。

## 5. おわりに

本研究では、道路リンク上の混雑による所要時間の低下やリンク間での渋滞が表現できる交通避難シミュレーションを用いて、実ネットワークにおける津波避難時のボトルネックの発生箇所の把握や、その渋滞による避難完了時刻への影響を示すことができた。一方、避難先や避難経路等を適切に分散させることにより道路渋滞や避難完了時刻は改善できると考えられ、ODと経路選択の最適化が必要である。また、説得力のある避難計画を提

示するためには、本研究のような結果を可視化、住民たちの理解や承認を得ることも重要であり、今後の課題にする。

表 3. 平均乗車人数の違いによるシナリオの設定

	平均乗車人数	避難車両台数
シナリオ1	2人	13,974台
シナリオ5	3人	9,334台
シナリオ6	4人	7,004台
シナリオ7	5人	5,616台

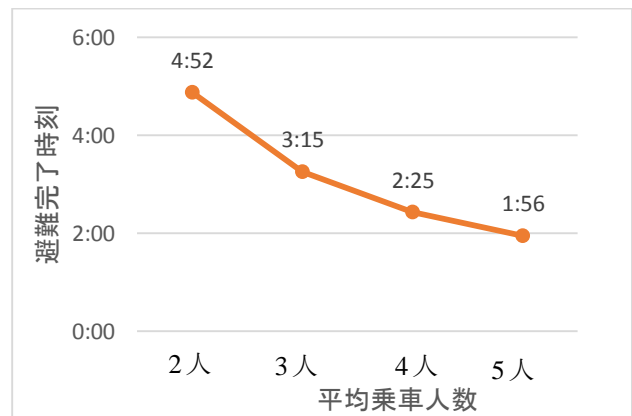


図 10. 乗車人数による避難完了時刻

### 参考文献

- 1) [http://www.fdma.go.jp/neuter/about/shingi\\_kento/h24/tsunami\\_hinan/04/shiryo\\_03.pdf](http://www.fdma.go.jp/neuter/about/shingi_kento/h24/tsunami_hinan/04/shiryo_03.pdf)
- 2) <http://www.bousai.go.jp/jishin/tsunami/hinan/pdf/report.pdf>
- 3) 金進英(他 18名): 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
- 4) 小出勝亮(他 4 人), グリッドコンピューティングによる日本全国交通シミュレーションシステムの開発, 第 9 回 ITS シンポジウム 2010 予稿集, 354-358, 2012
- 5) <http://www.mlit.go.jp/common/000186474.pdf>

(2014. 4. 25 受付)

## ANALYSIS OF ROAD TRAFFIC JAM USING THE RESULT OF TRAFFIC SIMULATION ON REALISTIC SIZE NETWORK

Yumiko KATAOKA, Jinyoung KIM and Makoto OKUMURA

After the Great East Japan Earthquake, ban of car use under disaster alert, such as tsunami was reconsidered and car evacuation can be allowed if there is no other effective way of evacuation in a region. Each municipality must renew its evacuation plan, with consideration of car evacuation. Because it is expected that traffic flow under disaster may be different from usual, it is important to identify bottle necks in the present network under disaster. This study analyzes car evacuation behavior during tsunami disaster by using traffic simulation on realistic size network of Watari town, Miyagi Prefecture. We got several results interesting for the municipal government to reconsider the evacuation plan.