

交通シミュレーションを用いた 自治体の避難計画の評価

金 進英¹・片岡 侑美子²・奥村 誠³

¹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)
E-mail: kim@irides.tohoku.ac.jp

²学生員 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)
E-mail: yumiko.kataoka@plan.civil.tohoku.ac.jp

³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)
E-mail: okumura@irides.tohoku.ac.jp

東日本大震災の経験を教訓に、各自治体では、避難時の移動手段として徒歩だけではなく車両を考慮した避難計画への見直しが必要になっている。特に、自動車避難の場合は、交通渋滞が重大な問題になるため、防災対策や社会条件などの変化による避難交通の流れを把握しなければならない。

本研究では、自治体で策定した避難計画を基に、当該地域における自動車の避難行動をシミュレーションすることで、当道路ネットワークの渋滞を分析すると共に、避難計画の評価を行うこととする。また、渋滞によるボトルネックなど道路ネットワーク上の問題点を解明することで、その地域に適切な新避難計画を提案が可能になる。

具体的には、交通シミュレーションを用いて、宮城県亶理郡亶理町で策定した「津波避難計画(案)」に基づいて自動車の津波避難行動を再現し、道路ネットワークおよび避難計画の評価を行う。

Key Words : *municipal evacuation plan, evacuation behavior, traffic simulation*

1. はじめに

東日本大震災の経験を教訓に、各自治体では、避難時の移動手段として徒歩だけではなく車両を考慮した避難計画への見直しが必要になっている。特に、自動車避難の場合は、交通渋滞が重大な問題になるため、防災対策や社会条件などの変化による避難交通の流れを把握しなければならない。

本研究では、自治体で策定した避難計画を基に、当該地域における自動車の避難行動をシミュレーションすることで、道路ネットワークの状況を分析すると共に、自治体で提案した避難計画の評価を行うことを目的とする。また、渋滞によるボトルネックなど道路ネットワーク上の問題点を解明することで、その地域に適切な新避難計画が提案できる。

宮城県亶理郡亶理町は、太平洋に面して平野部が広く沿岸線近くには高台がないため、津波警報が出た場合は自動車による避難が必要不可欠な地域である。したがって、亶理町では、自動車の避難を考慮した新たな避難計

画を策定しており、平成25年10月には「津波避難計画(案)」¹⁾が作成された。この計画では、亶理町の町民が円滑な津波避難を行うための行動要領が指示されている。具体的には、津波避難対象地域を定め、対象地域における各地区の津波避難方法(徒歩による水平避難、徒歩による垂直避難、自動車による水平避難)や避難場所などについて示している。本計画は、地域ごとに作成する「地域津波避難計画」や「事業者等が策定する避難計画」などの基本となるものであると位置づけられている。

したがって本研究では、交通シミュレーションを用いて、亶理町の「津波避難計画(案)」で策定した避難計画に基づいた自動車の津波避難行動を再現する。自動車避難時の道路状況とボトルネックを把握することで、現道路ネットワークの問題点や避難計画の改善点などについて議論することができる。それゆえ、亶理町で提案した「津波避難計画(案)」の妥当性を評価する。

2. 亘理町の津波避難計画

本章では、平成25年10月に発表された宮城県亘理郡亘理町の「津波避難計画（案）」の内容について述べる。

亘理町では、東日本大震災時の津波到達ラインより東側（海側）の地域を津波浸水想定区域とし、津波避難対象地域と定義した。「津波避難計画（案）」による津波避難対象地域は以下の図1であり、橙色で示している。

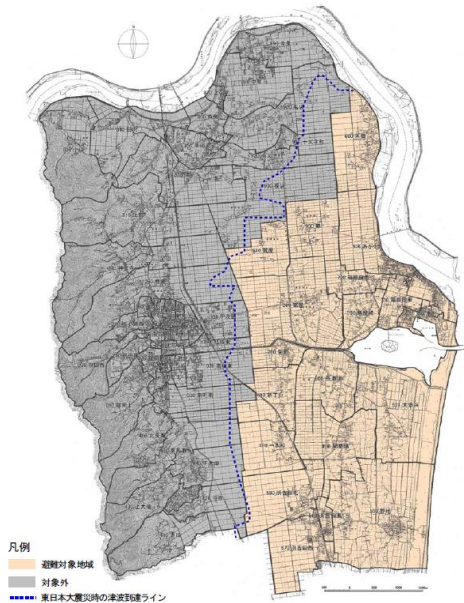


図1. 津波避難対象地域
(亘理町の「津波避難計画（案）」から)

本計画書では、図1の津波避難対象地域における避難計画を考えており、当地域の行政区ごとの避難場所や避難方法などを定めている。「津波避難計画（案）」により、人口と避難場所、避難方法を簡単にまとめたのが表1である。

表1. 各地区の人口と津波避難方法

行政区名	人口*	避難方法	避難場所
蕨	174	徒歩による水平避難	逢隈小学校
鷺屋	90	徒歩による水平避難	逢隈小学校
柴町	221	徒歩による水平避難	亘理中学校
新丁	240	徒歩による水平避難	亘理中学校
一本松	293	徒歩による水平避難	亘理中学校
浜吉田北	772	徒歩による水平避難	吉田小学校
高屋	1024	徒歩による垂直避難	亘理小学校
あぶくま東	154	徒歩による垂直避難	逢隈小学校
箱根田東	359	徒歩による垂直避難	亘理小学校
港町	313	徒歩による垂直避難	亘理小学校
開墾場	242	徒歩による垂直避難	吉田小学校
本郷	421	自動車による水平避難	逢隈小学校

あぶくま西	345	(自動車による水平避難) ^{**} 徒歩による垂直避難	逢隈小学校
箱根田西	273	自動車による水平避難 徒歩による垂直避難	逢隈小学校
鳥屋崎	232	(自動車による水平避難) 徒歩による垂直避難	亘理小学校
長瀬浜	458	自動車による水平避難 徒歩による垂直避難	亘理中学校
大畑浜	125	(自動車による水平避難) 徒歩による垂直避難	亘理中学校
浜吉田西	937	自動車による水平避難 徒歩による垂直避難	吉田小学校
野地	362	(自動車による水平避難) 徒歩による垂直避難	吉田小学校
浜吉田東	289	自動車による水平避難 徒歩による垂直避難	吉田小学校

*人口：行政区別年齢別集計表（H25.5）

**自動車による水平避難：（ ）下記の地区については、避難路の整備が線堤となります。

「津波避難計画（案）」では、避難可能時間を45分（=津波到達時間（60分）－避難開始までに要する時間（15分））と設定して、その時間まで避難が可能かどうかを判断し、その結果から(a) 徒歩による水平避難、(b) 徒歩による垂直避難、(c) 自動車による水平避難の3つ避難方法で区分した。

(a) 徒歩による水平避難：徒歩の避難速度は2km/hと設定し、避難場所まで45分以内に到達可能な地域の避難方法である。

(b) 徒歩による垂直避難：行政区内に一時避難場所があって、3つの条件（1. 津波浸水想定区域内の小中学校であること、2. 2階以上であること、3. 収容人数1000人以上の施設であること）を満たした建物がある地域の避難方法である。

(c) 自動車による水平避難：上記の徒歩による水平避難と徒歩による垂直避難が不可能な地域の避難方法である。

表1を見ると、自動車による水平避難と徒歩による垂直避難の2つの避難方法が同時に提示されている地域がある。これは、当該地域内に一時避難場所はないものの、垂直避難が可能となる施設の整備を予定している地域である。

以上の表1の行政区を町丁字でゾーニングし、各ゾーンにおける人口と避難方法及び避難場所をまとめたのが図2と3である。

図2では、徒歩による水平避難に該当するゾーンを青

色、徒歩による垂直避難のゾーンを橙色、自動車による水平避難のゾーンを赤色で表した。また、各ゾーンには人口が数値で示されている。

また、各ゾーンから指定された避難場所を表したのが図3である。津波避難対象地域から避難可能な避難場所は4つ（逢隈小学校、亶理小学校、亶理中学校、吉田小学校）あり、図内では丸で表示されている。避難場所が逢隈小学校に指定されたゾーンを橙色、亶理小学校を黄色、亶理中学校を水色、吉田小学校を緑色で示した。

すなわち、本計画書によると、一部の津波浸水想定区域では、徒歩による避難や垂直避難を提案しているが、東日本大震災を経験した住民が車を浸水地域に置いたまま徒歩で避難したり、浸水地域内の避難場所に垂直避難をしたりするかについては疑問の余地がある。

したがって本研究では、「津波避難計画（案）」で提案した避難方法を様々なケースで検証することとする。

3. 津波避難計画の検証

本節では、亶理町の「津波避難計画（案）」に基づいて、自動車避難時の所要時間や道路状況を把握することで、現道路ネットワークの問題点や改善点などについて議論をする。道路状況を把握するために、交通シミュレーション（SOUND²⁾）を用いて避難車両の流れを再現する。本研究では、「津波避難計画（案）」で示した津波避難対象地域をシミュレーションの対象地域とした。

(1) シナリオ設定

交通シミュレーションを行うためには、様々なシナリオ設定が必要になる。

避難時の発生交通量（避難車両数）については、対象地域の人口データを用いて計算する。東日本大震災の避難被災状況調査結果³⁾によると、避難所に避難した人の50%以上が車を用いて避難したことが分かった。したがって、本研究の避難車両数は各ゾーンの人口の50%であると仮定する（避難車両数=人口/2）。

平成22年3月現在の宮城県市町村別保有車両数⁴⁾によると、亶理町の自動車保有台数は25,643台で、避難時に使用すると考えられる乗用・軽自動車数は22,991台である。平成22年国勢調査⁵⁾の亶理町の総人口は34,845人で、自動車が運転可能な成人の人口は28,485人あるため、成人の自動車保有率は、80.7%（=22,991/28,485*100）になる。避難における自動車利用の観望が強い傾向があることを考慮すると、避難時の発生交通量が人口の50%になることも考えられる。しかし、1台の車における平均乗車人数は1人以上であることも考えられるため、発生交通量設定のさらなる考察については今後の課題とする。

「津波避難計画（案）」では、避難開始までに要する時間を15分、避難可能時間を45分、津波到達時間を60分と設定しているため、シミュレーションにおける全避難車両は災害発生後15分以内に（ランダムに）全部出発することとした。

全避難車両は、指定された避難場所に、最短距離経路で避難し、災害発生前に道路を走行していた車両や災害発生後に亶理町を通過する車両については考慮しないこととする。

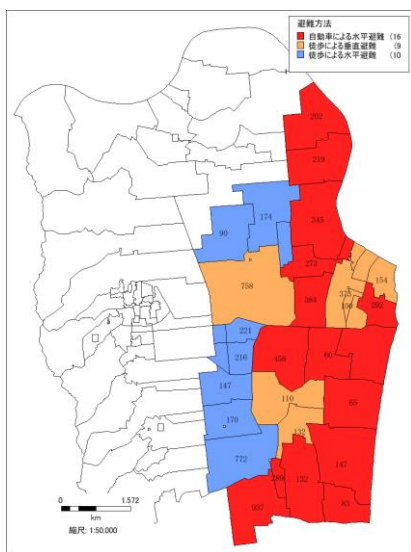


図2. 津波避難対象地域の人口と避難方法

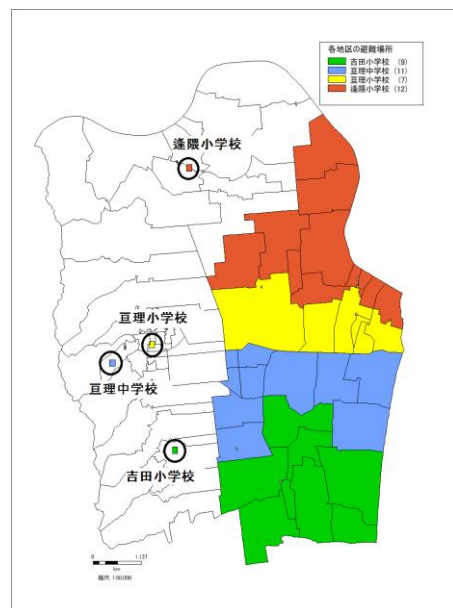


図3. 津波避難対象地域のゾーンごとの避難場所

「津波避難計画（案）」では、津波浸水想定区域（＝津波避難対象地域）でも一部においては徒歩避難を前提としているが、既存の東日本大震災や三陸沖地震時の自動車避難の実態と、避難経路や一時避難場所などが整備されるまでの時間を考慮すると、当分は自動車による避難の傾向が強いと考えられるため、以下の2つのケースでシミュレーションを実行した。

(a) ケース1：全津波避難対象地域の住民が自動車で避難をする場合（図2の青色、橙色、赤色のゾーンが対象）。総避難車両数は3,668台である。

(b) ケース2：津波避難対象地域のうち、徒歩による水平避難地域を除いた地域の住民が自動車で避難をする場合（図2の橙色、赤色のゾーンが対象）。総避難車両数は2,772台である。

(2) 避難所要時間

本節では、交通シミュレーションを行った結果を用いて、対象地域の分析を行う。

避難車両が避難場所に到着するまでに必要とされる所要時間（避難所要時間）について考察を行う。交通シミュレーションでは、あるゾーンから交通量の発生時刻を

指定しても、当ゾーンから発生できるリンクが渋滞していると、交通は発生できず出発時刻は伸びることになる（待機時間と称する）。すなわち、本研究での避難所要時間は、出発時刻（＝発生時間（避難開始するまでの時間、15分+待機時間）と走行時間の総和を意味する。

まずは、各ゾーンにおける避難場所までの平均走行時間（＝避難場所への到着時刻－出発時刻）を集計し、色で表現したのが図4と図5である。紫色が濃いほど、走行時間が長いことを示しており、ゾーン内には、当ゾーンから最後に出発した車両の出発時刻が書かれている。

ケース1の結果である図4をみると、避難場所に遠い沿岸部のゾーンのほうが走行時間が長くなっており、特に、中央部分（の6つのゾーン）での平均走行時間は40分から50分であることが分かる。この6つのゾーンの内、一番遅い出発時刻が遅い（0：24）ゾーンの避難所要時間は1時間04分から1時間14分（＝24分+40-50分）になる。一番遅い出発時刻は0：50であり、亘理町の南のゾーンである。

一方、図5のケース2の結果は、ケース1と同様な傾向がみられるものの、平均走行時間が短くなっており、最大の走行時間が30分から40分になっている。

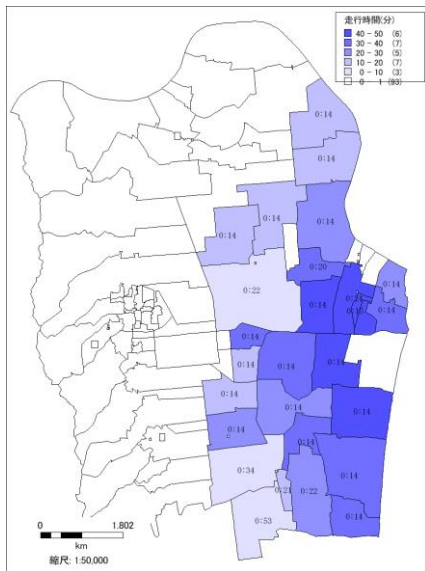


図4. 各ゾーンから避難場所までの走行時間（ケース1）

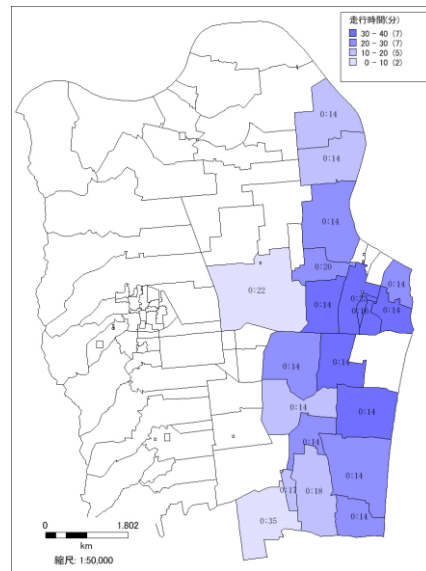


図5. 各ゾーンから避難場所までの走行時間（ケース2）

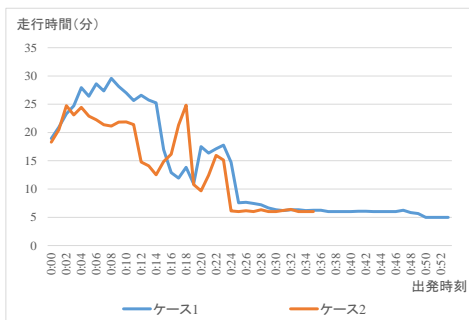


図6. 出発時刻ごとの平均走行時間

表2. 最後車両の到着時刻

	最後車両の避難場所への到着時刻
ケース1	1:11:22
ケース2	1:04:26

次に、避難車両の出発時刻ごとの平均走行時間を1分ごとに集計したのが図6である。青色の線グラフはケース1を、橙色の線グラフはケース2を表している。シミュレーション設定では全車両がシミュレーション開始から15分（0:15）以内に全部出発する。しかし、道路渋滞のため、出発できなかった車両があり、ケース1では出発時刻が0:53まで、ケース2は0:35までに伸びていることが分かる。

図6によると、ケース1の場合は、出発時刻0:15以内に走行時間約30分まで増加してから減少するものの、出発時刻0:20からもう一回増加し、約0:25から5分前後の走行時間が0:53まで続く。0:25から出発した車両は、避難場所付近の渋滞ため、車で約5分距離のゾーンから出発できなくて待機していた車両が渋滞の解消によって出発できたものであると考えられる。

一方、ケース2の場合も、ケース1と同様の傾向がみら

れるものの、待機時間が短く、0:35には全車両が出発できたことが分かる。

各ケースにおける、ネットワーク上の最後の車両が避難場所に到着時刻は表2のようであり、「津波避難計画（案）」で設定した津波到達時間の60分を超えていることが分かる。

(2) 道路ネットワークの状況

シミュレーション結果を用いて、各道路リンクの平均速度を15分毎に集計したのを、図7と図8に表す。

ケース1の結果である図7をみると、逢隈小学校へアクセスするための南北道路、亙理小学校と亙理中学へ向かいの中央部の東西道路に渋滞が著しくみられる。これは、逢隈小学校、亙理小学校と亙理中学へのアクセス道路の整備が考えられる。

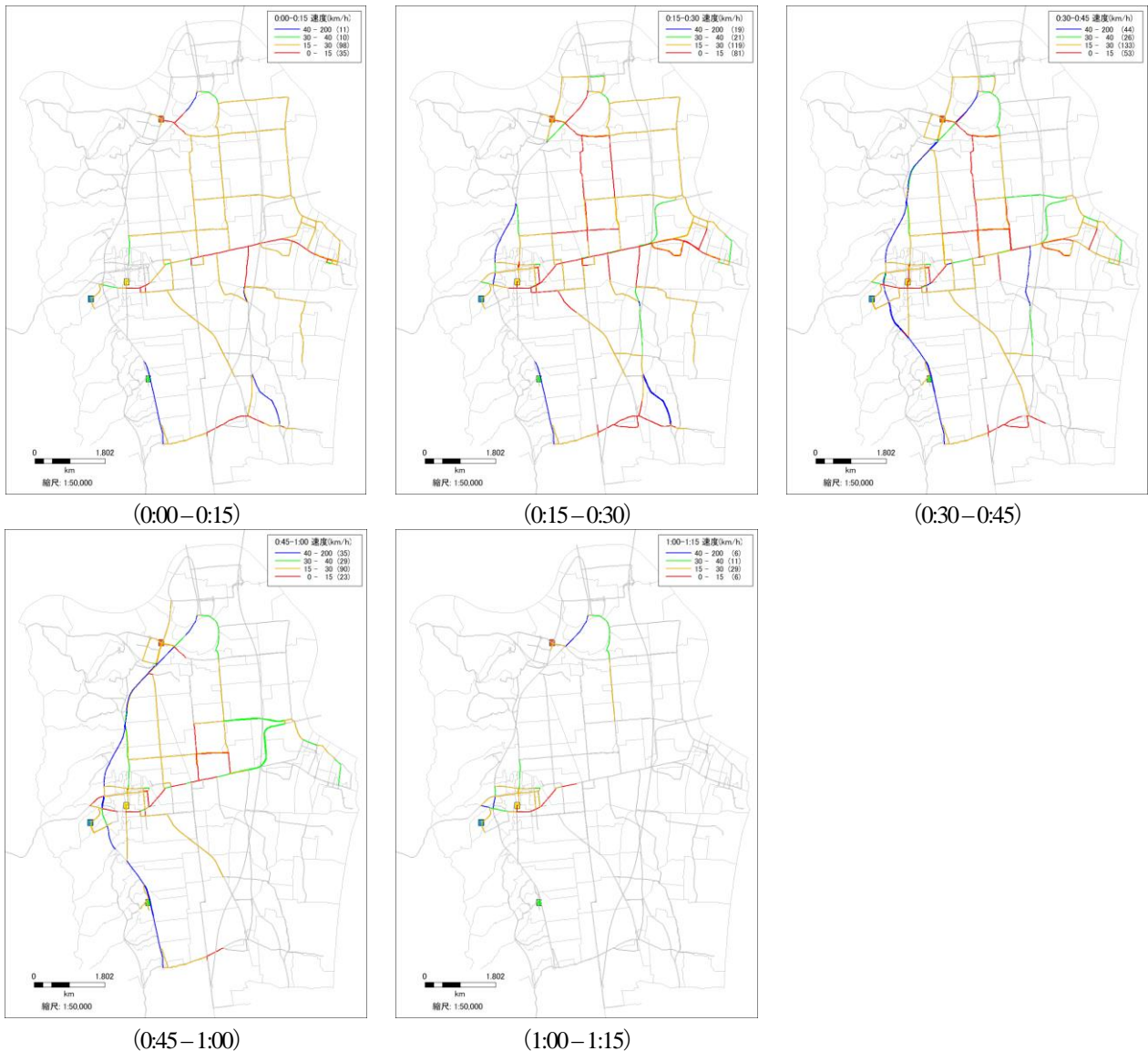


図7. ケース1のリンク平均速度

さらに、亘理町の南では、ゾーンから出るための東西道路にも渋滞がみられる。また、亘理町の中央沿岸部からの道路も渋滞している。これらの結果からは、人口密集地から避難路へ交流するための道路の整備や避難経路の誘導などの施策が必要であると言える。

図7 (0:45-1:00) をみると、避難開始1時間前にもかかわらず、津波浸水想定区域に車両が走行していることが確認できる。この件については、道路や避難ビルの整備などによる対策案を模索しなければならない。

図8のケース2の場合は、避難場所に近いゾーンを徒歩避難へ誘導することで、全体的な発生交通量の減少と避難場所付近道路の渋滞緩和を図った。その結果により、ケース1と比べて、ネットワーク全般の交通渋滞が減り、早い時間避難が完了することが確認できた。しかし、図8 (0:45-1:00) の沿岸部道路にも車両が走行しており、積極的な対策案が必要不可欠であると考えられる。

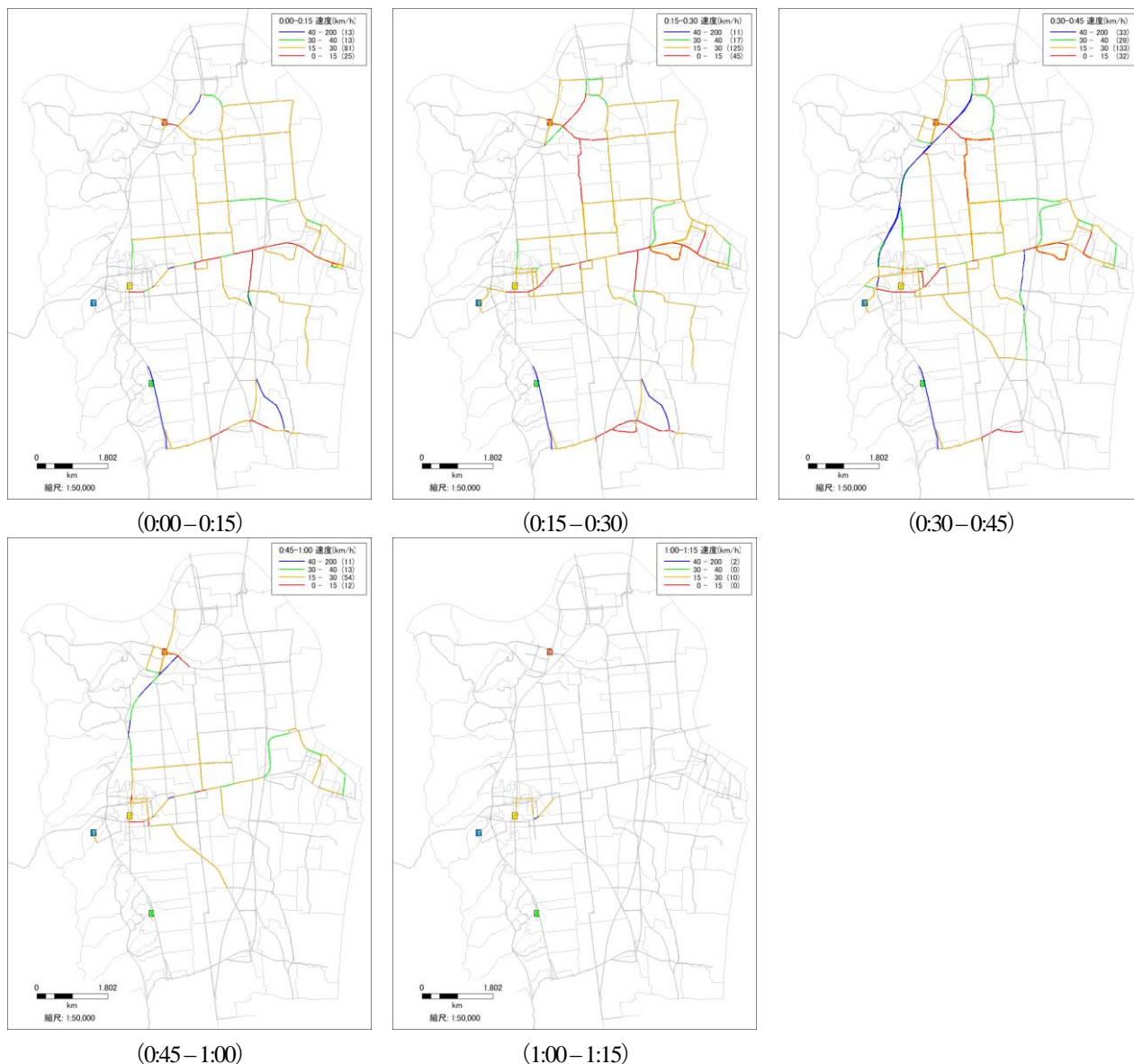


図8. ケース2のリンク平均速度

4. おわりに

本研究では、交通シミュレーションを用いて、亘理町の「津波避難計画 (案)」で策定した避難計画に基づい

た自動車の避難行動を再現し、避難に必要な所要時間や道路状況とボトルネックなどについて考察を行った。その結果から、ゾーンごとに必要とされる避難所要時間や、避難道路としての問題点などを明かすことができた。ま

た、避難計画を2つのケースで分け、各ケースにおける問題点などについても考察を行った。

今回のシミュレーションでは、亘理町を通過する車両については考慮しない。亘理町の中央部には、国土6号が南北を縦断しており、東京方面と東北を往復する通過車両、特に大型車両が多く存在している。したがって、東から西へつながっている重要避難道路と交差するところには、深刻なボトルネックが乗じると考えられる。また、JR常磐線も亘理町を南北で縦断している。それゆえ、災害によって信号機が停電した場合は、沿岸部からの車両が西へ移動できず、長い待ち行列が生じてしまう。以上の交通状況や道路ネットワークを考慮し、大型車両を含んだ通過交通量を考慮した新たなシミュレーションが

必要になり、これを今後の課題とする。

参考文献

- 1) <http://www.town.watari.miyagi.jp/index.cfm/7,25710.c.html/25710/20140116-102850.pdf> .
- 2) 小出勝亮, 白石智良, 飯島護久, 堀口良太, 田中伸治: 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, pp. 354-358, 2010.12.
- 3) <http://www.mlit.go.jp/common/000186474.pdf> .
- 4) <http://www.tb.mlit.go.jp/tohoku/jg/sityouson21/sityosonmiyagi2203.pdf> .
- 5) <http://www.pref.miyagi.jp/soshiki/toukei/22gaiyou.html> .

(2014. 4. 25 受付)

EVALUATION OF MUNICIPAL EVACUATION PLAN USING TRAFFIC SIMULATION

Jinyoung KIM, Yumiko KATAOKA and Makoto OKUMURA

This study aims for evaluating of municipal evacuation plan. If traffic flow is simulated according to the traffic evacuation plan, we can understand the problem of road network during evacuation and reform the traffic evacuation plan. Appropriate traffic evacuation plan for present road network can lead to disaster prevention and damage reduction.

In this sense, the traffic flow expressing evacuation behavior is shown on the road network using traffic simulation as the first step. A scenario of the simulation is applied to the municipal evacuation plan in Watari in Miyagi prefecture. And traffic situations including traffic congestion, bottleneck and evacuation time are analysed synthetically. As the results, the municipal evacuation system is evaluated by those traffic situations.