

津波避難における自動車分担率が 津波遭遇リスクに与える影響

竹居 広樹¹・奥村 誠²

¹学生会員 東北大学大学院 工学研究科 (〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-04)
E-mail:hiroki.takei.p4@dc.tohoku.ac.jp

²正会員 東北大学教授 災害科学国際研究所 (〒980-0845 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉468-1)
E-mail:mokmr@m.tohoku.ac.jp

東日本大震災以降、徒歩避難が困難な地域や人に対して、やむを得ない場合の自動車避難が容認された。しかし、過剰な自動車避難は渋滞の発生や歩行者との錯綜などにより、他の自動車と歩行者の津波遭遇リスクを増大させる可能性があるため、避難時の自動車の利用の限度を明らかにしておく必要がある。本研究では、著者らのセルベース津波遭遇リスク最小化モデルに、歩車混合を明示的に組み込んだ最適化モデルを提案する。これを実際の市町村のネットワークに適用して、自動車分担率が津波遭遇リスクに与える影響を分析する。その結果、対象とした地域では、避難場所に近い内陸側の地区の過剰な自動車利用が津波遭遇リスクを増大させることを示し、徒歩避難の原則を守る必要があることを確認した。

Key Words : *tsunami evacuation, pedestrian-vehicle mixture, vehicle evacuation rate, tsunami encounter risk, optimization*

1. はじめに

東日本大震災において、これまでの想定を上回る範囲が津波に襲われ、徒歩による避難が時間的に間に合わない地域が存在することが明らかになった。これを踏まえ、津波避難においてやむを得ない場合の自動車の利用が容認されることとなった¹⁾。自動車での避難は速やかに危険なエリアから脱出させて被災リスクを下げるという効果が期待できる一方、自動車の過剰な利用が混雑や歩行者との錯綜による悪影響をもたらし、期待通りの効果が得られない可能性がある。これまでに、既存の道路網や避難施設などのインフラの下での徒歩と自動車の避難に関する研究は、シミュレーション分析によるものを中心に多く蓄積されてきたが、どの程度までなら自動車の利用が効率的であるのか、さらに自動車の利用を認める場合、どのような道路に誘導すれば効果的なのかといったことは明らかにされていない。

本研究では、著者らが先行研究で開発したセルベース津波遭遇リスク最小化モデル²⁾に歩車混合の影響を明示的に組み込んだ最適化モデルを提案する。さらに実際の市町村のネットワークに適用して、自動車分担率が最適な津波遭遇リスクに与える影響を分析し、各モードにどのようにネットワークを利用させるべきかを論じる。

2. 既往研究と本研究の特徴

東日本大震災の経験を踏まえ、歩行者と自動車の2つのモードを対象とした津波避難シミュレーションの研究がなされてきた^{3,4)}。

シミュレーションモデルは避難者の行動を所与とし、実際の避難行動を再現することで避難政策の効果を検証することを目的としており、避難主体がどのように行動すればリスクを小さくできるかは明示できない。そこで本研究では、最適化の手法を用いることにより、避難主体である住民に対して避難行動の規範を示すことを目的とする。

避難行動を最適化のアプローチでモデル化した研究のうち、歩車の2モードを扱ったものもわずかに存在する。中川ら(2013)は、自動車、徒歩の2つのモードを対象に、総避難時間の最小化を目的として自動車利用率を算出する数理計画モデルを構築した⁵⁾。このモデルでは、歩行者の徒歩速度は自動車は利用者均衡配分の考え方をを用いてリンク所要時間を算出するが、歩行者の混在による所要時間の増加は考慮されていないため、歩車混合状態では実現不可能な速度で流れている可能性がある。一方で、伊藤ら(2015)は、道路幅員に対して車道が占める割合を政策変数として、目標時刻までの避難完了者数を最

大化する問題を検討した⁹。横山ら(2016)は、時空間ネットワークモデルにおいて、歩車の移動を異なる傾きを持つ時空間拡張リンクで表現し、同一の空間リンクにおける歩車の交通容量に制限を置いて最適避難パターンを計算する方法を示している⁷。これらの研究ではいずれも、歩車それぞれの移動速度は常に一定値をとり、互いの流量を制限することで速度の低下が起こらないようにしている。つまり、歩車混合の悪影響が顕在化しない範囲で交通流をコントロールしており、実際に発生する混合の悪影響を把握できないアプローチとなっている。

これに対して本研究は、同一の道路区間に自動車と歩行者が同時に存在することにより、互いの移動速度に悪影響を与える可能性を取り入れている。本モデルは、地域における平均自動車分担率を与え最適化を行うことにより、出発地ごとの望ましい自動車分担率を算出できる。また、地域ごとに与える平均自動車分担率を変化させることで、自動車分担率の違いが津波遭遇リスクに与える影響を評価できる。さらに、自動車利用を認める場合、各モードにどのようにネットワークを利用されるのが効果的かを分析することができる。

3. 最適避難モデルの構築

(1) 変数・集合の定義

本研究では、自動車と歩行者という2つのモードを取り扱うため、両者の移動速度の違いを表現する必要があった。そこで、道路区間における滞留とその延伸を明示的に表現できるセルベースモデルを採用し、自動車と歩行者に異なるセル通過時間の値を与えることで両者の速度の違いを表現した。本モデルは片岡ら²の津波遭遇リスク最小化モデルを2つのモードに拡張したものである。道路リンクをセルに区切り、期 t のセル a の流入、流出、滞留する自動車台数を u_t^a , v_t^a , p_t^a とする。同様に、期 t のセル a の流入、流出、滞留する歩行者数を \tilde{u}_t^a , \tilde{v}_t^a , \tilde{p}_t^a と表す。

また、モデルの構成要素として以下の記号を用いる。 T は期、 N はノード、 A はセルの集合である。セルの集合は起点セル A_0 、道路上セル A_R 、避難場所セル A_D から構成される。

(2) モデルの定式化

本研究では、地域住民が最も安全に避難できる方法を検討する。したがって、目的関数は地域全体の津波遭遇総リスクの最小化とする。

$$\min \frac{1}{T} \sum_{t=0}^T \sum_{a \in A} R_t^a \{ \eta(p_t^a + v_t^a) + (\tilde{p}_t^a + \tilde{v}_t^a) \} \quad (1)$$

R_t^a は津波遭遇リスクであり、時刻、セル毎に0~1の値を外生的に与える。 η は自動車の平均乗車人数、 $(p_t^a + v_t^a)$, $(\tilde{p}_t^a + \tilde{v}_t^a)$ はそれぞれ期 t にセル a に存在する車両台数と歩行者人数で、 $\{\cdot\}$ はセル内の合計人数を表す。

$$p_t^a + u_t^a = p_{t+1}^a + v_{t+1}^a \quad \forall t \in \{0, \dots, T-1\}, \forall a \in A \quad (2)$$

$$\tilde{p}_t^a + \tilde{u}_t^a = \tilde{p}_{t+1}^a + \tilde{v}_{t+1}^a \quad \forall t \in \{0, \dots, T-1\}, \forall a \in A \quad (3)$$

式(2), (3)はセルにおける交通量保存則である。

$$\sum_{a \in O(i)} u_t^a = \sum_{b \in I(i)} v_t^b \quad \forall t \in \{1, \dots, T-1\}, \forall i \in N \quad (4)$$

$$\sum_{a \in O(i)} \tilde{u}_t^a = \sum_{b \in I(i)} \tilde{v}_t^b \quad \forall t \in \{1, \dots, T-1\}, \forall i \in N \quad (5)$$

式(4), (5)はノードにおける交通量保存則である。 $O(i)$, $I(i)$ はそれぞれノードの下流側、上流側で繋がるセルの集合である。

$$u_t^a \leq C^a \quad \forall t \in \{1, \dots, T\}, \forall a \in \{A_R \cup A_D\} \quad (6)$$

$$\tilde{u}_t^a \leq \tilde{C}^a \quad \forall t \in \{1, \dots, T\}, \forall a \in \{A_R \cup A_D\} \quad (7)$$

式(6), (7)はセルへの流入制約である。 C^a , \tilde{C}^a は自動車および歩行者のフロー容量である。

$$u_t^a + e_1 \tilde{u}_t^a \leq \delta^a \{ H^a - (p_t^a + v_t^a) - e_1(\tilde{p}_t^a + \tilde{v}_t^a) \} \quad \forall t \in \{1, \dots, T\}, \forall a \in \{A_R \cup A_D\} \quad (8)$$

式(8)はセルの収容能力の制約である。セルの収容容量 H^a のうちの空きに比例して流入できることを意味する。 e_1 は歩行者と自動車の占有する空間の比を表し、 δ^a は渋滞流と自由流の密度波速度の比である。一方のモードの交通量が増えることにより、他方のセルへの流入が制限されるという形で歩車混合の影響を取り入れている。

$$v_t^a + e_2(\tilde{p}_t^a + \tilde{v}_t^a) \leq C^a \quad \forall t \in \{1, \dots, T\}, \forall a \in A_R \quad (9)$$

式(9)はセルからの流出制約で、歩行者人数の増加により e_2 の割合で自動車の流出量が減少することを表している。同時に歩行者の流出に対して $(C^a - v_t^a)/e_2$ という上限値を与えており、歩車の混合が双方のモードの流出量に与える悪影響を表現している。

$$\sum_{t=s^a+1}^t \tilde{v}_t^a \leq \begin{cases} 0 & \forall t \in \{0, \dots, s^a-1\}, \forall a \in A_R \\ \tilde{p}_{t-s^a}^a + \tilde{u}_{t-s^a}^a & \forall t \in \{s^a, \dots, T\}, \forall a \in A_R \end{cases} \quad (10)$$

式(10)は歩行者のセル通過時間の制約である。 s^a は歩行者の最小セル通過時間で、セルの物理的な長さに応じ

て外生的に整数値を与える。期 t までにセルから流出できる歩行者人数の上限は、 s^a 期前にセルに流入、あるいは滞留していた人数であることを意味する。

$$\eta \cdot p_0^a + \bar{p}_0^a = D^a \geq 0(\text{given}) \quad \forall a \in A_0 \quad (11)$$

式(11)は初期条件で、 D^a は起点セルの避難者人数である。

$$u_t^a, \bar{u}_t^a, v_t^a, \bar{v}_t^a, p_t^a, \bar{p}_t^a \geq 0 \quad \forall t \in \{0, \dots, T\}, \forall a \in A \quad (12)$$

式(12)は操作変数の非負制約である。

以上の式(1)~(12)はすべて操作変数の線形関数であるため、本モデルは線形計画問題となっており、既存の数値計画法のパッケージで容易に計算することが可能である。本研究ではGurobi Optimizer 7.1のパッケージを利用してWindows 10 PC上で計算を行った。

4. 実ネットワークにおける計算条件の設定

(1) ネットワークの設定

本研究では、太平洋に面した平地をもつ宮城県亶理郡亶理町を対象として計算を行った。亶理町は東日本大震災において内陸およそ4kmまで津波が到達し、町面積の48%が浸水した⁸⁾。これを踏まえ同町では、自動車と徒歩の両モードによる避難を考慮した津波避難計画を策定している⁹⁾が、そこでは単純に避難場所までの距離によって地域を二分し、遠方にのみ自動車利用を認めており、渋滞や歩車の共存による問題は考えられていない。

亶理町内の2車線道路を避難可能道路とし、図-1のようなネットワークを設定した。道路リンクを最大1kmのセルに区切り、単位時間を3分、自動車と歩行者の自由流速度をそれぞれ20km/h、4km/hとする。67個の起点セル、4個の避難場所セルを含むセルの総数は303個であり、ノードの総数は91個である。起点セルに対しては、同町の67の行政区ごとに夜間人口に応じて表-1のように避難者人数 D^a を与える。避難人数の総和は34,010人である。同町の人口は内陸部を縦貫する国道に沿った地域に集中している。

道路上セルについては、自動車のフロー容量 C^a は一般的なシミュレーションで用いられている道路種別毎の値を参考に、国道で100、県道で90、その他道路で62.5(台/3分)とし、歩行者のフロー容量 \bar{C}^a は一律に600(人/3分)とした。収容容量 H^a (台/セル)はセルの長さを最小車頭間隔(7.5mと設定)で割った値とした。各種パラメータの値は $e_1 = 1/15$ 、 $e_2 = 1/6$ とし、収容能力制約の比例定数 δ^a は一律に0.9とした。起点セルについてはフロー容量・収容容量はともに無限大とおく。避

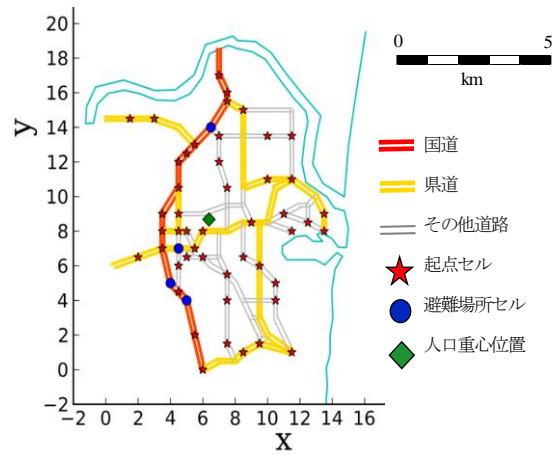


図-1 対象とするネットワーク

表-1 起点セルの位置と避難人口

行政区名	人口	x	y	行政区名	人口	x	y
館南上	327	4.5	4.5	南長瀬	190	4.5	4.5
館南下	547	4.5	4.5	北長瀬	663	4.5	4.5
南町南	518	4.5	4.5	一本松	285	7.5	4.0
南町北	608	4.5	6.0	新丁	274	7.5	5.5
上町南	149	4.5	6.0	開墾場	265	10.5	4.0
上町北	403	4.5	6.0	長瀬浜	459	9.5	6.0
南城東	921	6.0	6.5	大畑浜	132	10.5	5.0
北城東	716	6.0	8.0	野地	363	11.5	1.0
中町	465	5.0	6.5	浜吉田東	287	9.5	1.5
五日町	170	5.5	7.0	浜吉田西	961	8.5	1.0
新井町	443	4.5	8.0	浜吉田北	782	7.5	1.5
新町中	108	5.0	8.0	本郷	425	11.5	13.5
新町南	336	5.0	8.0	あぶくま東	232	13.5	9.0
新町北	184	5.0	8.0	あぶくま西	232	11.5	11.0
駅前西	330	5.0	8.0	箱根田西	301	11.0	9.0
駅前東	398	5.0	8.0	箱根田東	386	12.5	8.5
下茨田	2256	6.0	8.0	港町	299	13.5	8.0
桜小路東	455	4.5	8.0	鳥屋崎	229	11.5	8.0
桜小路中	63	4.5	8.0	上郡	998	4.5	12.0
桜小路西	483	3.5	8.0	下郡	1757	5.0	12.5
祝田東	198	5.5	7.0	小山	144	1.5	14.5
祝田西	247	2.0	6.5	田沢	199	3.0	14.5
祝田南	384	3.5	7.0	早川	1345	5.5	13.0
新町	274	5.0	8.0	森房	1144	7.5	15.5
鹿島	1895	4.5	9.0	上の町	198	7.5	15.5
神宮寺	789	4.5	10.5	中泉	1132	7.5	16.0
高屋	993	9.0	8.5	今泉	1105	7.0	17.0
柴町	224	8.5	6.5	牛袋	804	8.5	15.0
倉庭	438	3.5	9.0	十文字町	154	10.0	13.5
吉田	109	6.0	0.0	十文字村	538	7.0	13.5
中原	198	5.5	2.0	榎袋	163	7.0	12.0
旭台	895	5.5	2.0	鷺屋	89	7.5	10.5
上大畑	151	5.5	2.0	蕨	177	10.0	11.0
下大畑	623	5.5	2.0	合計(重心)	34010	6.38	8.68

難場所セルではフロー容量は $C^a = 90$ 、 $\bar{C}^a = 600$ とし、収容容量は各避難場所の校庭面積から算出した表-2の駐車容量を与える。4カ所の駐車容量の合計は2,251台である。なお式(8)において避難場所セルでは $e_1 = 0$ と設定し、歩行者は避難場所に自由に流入できると仮定した。歩行者の最小セル通過時間 s^a は、セルの長さ(km)を歩行者の速度(0.2km/3分)で割り、端数を切り上げた整数値とした。

表-2 避難場所セルの駐車容量

避難場所	駐車容量
逢隈小学校	280
巨理小学校	320
巨理中学校	1351
吉田小学校	300
合計	2251

(2) 津波遭遇リスク

津波遭遇リスクは、時間が経過するほど津波が迫ることを表現する時間リスクと、海に近いほど潜在的なリスクが大きいことを表現する距離リスクの積として与える。具体的には津波避難計画⁹⁾を参考にして式(13)のようなロジスティック曲線により与えた。なお、避難場所セルについては距離リスクをゼロとおき、時刻にかかわらずリスクフリーであると仮定した。

$$R_t^a = \text{時間リスク}(t) \times \text{距離リスク}(x) \tag{13}$$

$$= \frac{1}{1 + e^{-0.2(t-15)}} \times \frac{1}{1 + e^{(x-7)}}$$

以下の計算では、1台当たりの平均乗車人数 η は2.0人として計算するため、自動車分担率が0.132を超えると避難場所の駐車容量の不足により、最後まで避難場所に入ることができない車両が存在することになる。なお、計算上の避難時間の最大値は $T = 70$ とした。

5. 自動車分担率の影響分析

(1) 全域の平均自動車分担率による影響分析

自動車の利用が与える影響を確認するため、対象地域全体での平均自動車分担率 ϵ^{ave} を所与とし、その条件を満たす中で最も目的関数である津波遭遇総リスクを小さくするように起点セルごとの自動車分担率を最適化する。すなわち、以下の条件を加えて最適化を行う。

$$\sum_{a \in A_0} \eta \cdot p_0^a = \epsilon^{ave} \sum_{a \in A_0} D^a \tag{14}$$

式(14)の左辺は全域における自動車を利用する避難者人数であり、右辺はそれが全域の避難人口の ϵ^{ave} 倍であることを示している。

平均自動車分担率 ϵ^{ave} を変化させながら津波遭遇総リスクの最小値を求めた結果を図-2に示す。まず、全員が徒歩で避難した場合 ($\epsilon^{ave} = 0$)、海に近く避難場所までの距離が長い地区の住民が、津波に巻き込まれる可能性が高いため、津波遭遇総リスクは大きくなる。ここから平均自動車分担率を上げると、避難距離が長い地区で

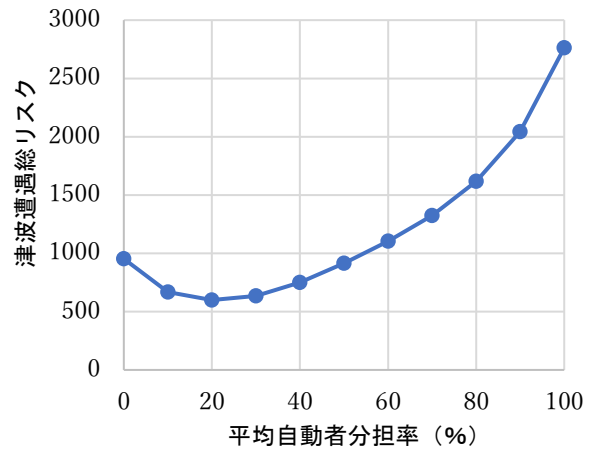


図-2 平均自動車分担率とリスク値の関係

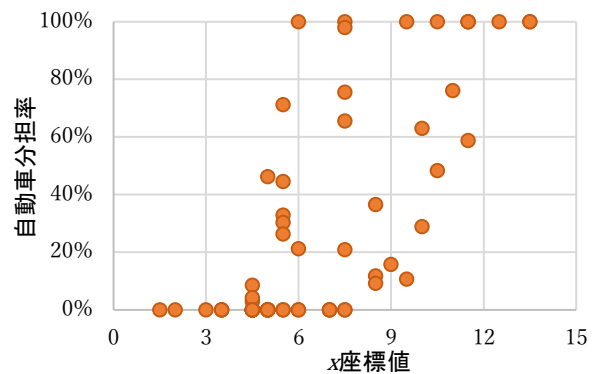


図-3 最適状態での起点セル別自動車分担率

の自動車利用が可能となり、津波遭遇総リスクは減少する。

平均自動車分担率が0.2を超えると、混雑の発生や、避難場所の駐車容量を超過して全ての車両が避難場所に収容できないために津波遭遇総リスクは増加に転じる。全員が自動車で避難した場合 ($\epsilon^{ave} = 1$)、総リスク値は全員徒歩の場合に比べて約2.9倍になる。

$\epsilon^{ave} = 0.5$ 以降は、本研究での津波遭遇リスクの与え方によると、 $\epsilon^{ave} = 0$ というケースに比べてより大きな値をとるため、危険性がより大きくなる。すなわちこの地域では自動車の利用を認める場合でも、地域人口の5割以下とするべきであり、「徒歩での避難を基本とする」という原則を守る必要があることがわかる。

(2) 起点セル別の自動車分担率

図-3は、津波遭遇総リスクが最小となる解 ($\epsilon^{ave} = 0.2008$) における、起点セルごとの自動車分担率を示したものである。自動車分担率は、 x 座標値の小さい内陸側の地区で小さく、沿岸側の地区で大きい傾向にあることがわかる。沿岸側の地区は避難場所までの距離が長く、徒歩避難では時間的に間に合わない可能性が高いため、自動車分担率は高くなる。内陸側の地区は、沿岸部

からの自動車避難者に対して道路容量や避難場所の駐車容量を空けておくために、自動車分担率を小さくする必要があります。

(3) 地域別の自動車分担率の影響

次に、自動車分担率が津波遭遇総リスクに及ぼす影響を分析する。まず、67の起点セルを人口重心位置より西側にあるか東側にあるかで二分し、それぞれを内陸側地域、沿岸側地域と定義する。その上で各地域に対して次の制約条件を付加して最適化計算を行う。

$$\sum_{a \in A_{O_j}} \eta \cdot p_0^a = \varepsilon^j \sum_{a \in A_{O_j}} D^a \quad \forall j \in \{1,2\} \quad (15)$$

ここで、 $j \in \{1,2\}$ はそれぞれの地域を意味し、 ε^j はその地域の平均自動車分担率である。

各地域の平均自動車分担率の組み合わせに対する津波遭遇総リスクの変化を図-4に示す。総リスクが比較的小さくなるのは、沿岸側の自動車分担率が0.2~0.6程度、内陸側が0~0.2程度の場合であることがわかる。

この状態から内陸側のみ自動車分担率を上げて1に近づけると、沿岸側のみ上げる場合より急に総リスクが上昇する。つまり、避難場所に近い内陸側の住民の自動車分担率が上がると、沿岸側の住民は自動車で避難場所に流入できなくなるため、津波が到達する危険性の高い場所に留まり続けるか、長い距離を徒歩で移動せざるを得なくなり総リスクは大きく上昇する。これに対し、沿岸側の住民は元々自動車で避難した方が総リスクが小さくできるため、自動車分担率が上がっても総リスクの上昇は比較的緩やかである。以上のことから、徒歩避難原則は特に内陸部の地域で遵守することが重要であるといえる。

(4) モード毎のネットワークの利用形態

図-5に、津波遭遇総リスクが最小となるケースでのセルごとの歩行者、自動車の流出量の期間合計値を示す。この図より自動車と歩行者の利用形態を比較すると、歩行者は出発セルから避難場所に向かう最短経路に沿い、東西方向の道路と内陸部を縦断する国道に集中している。海に近い東側では自動車が利用されるため、歩行者の交通量はほとんどない。一方、自動車は混雑を避けるために地域全体の道路が使用されており、歩行者ではあまり見られなかった南北方向の交通も存在する。地域中央の東西方向の3本の道路のうち、歩行者の少ない北側の1本の交通量が比較的多い。これは、歩車が同じセルを同時に使用すると互いの流量が制限されるため、最短経路を歩行者に優先的に使用させた結果だと考えられる。

これから、沿岸部の地域では自動車の利用を認める場

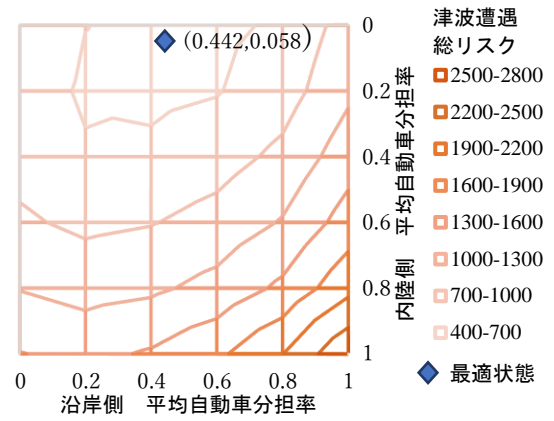


図-4 各地域の自動車分担率とリスク値の関係

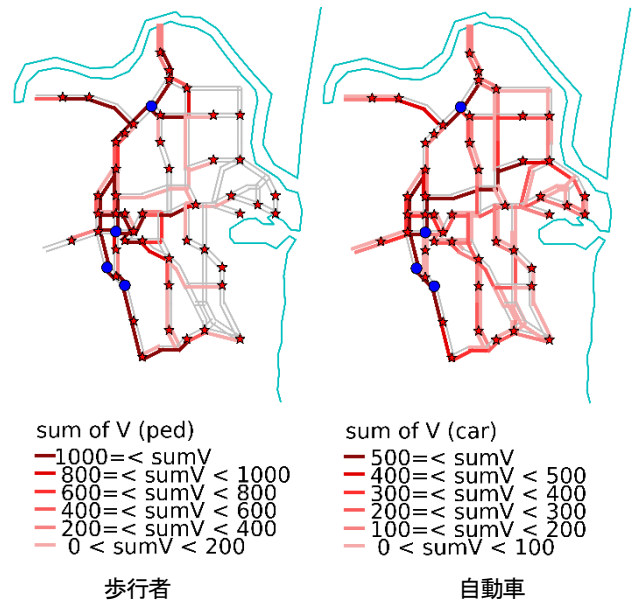


図-5 最適状態におけるネットワークの利用形態

合でも、自由に最短経路を使うことは許されず、歩行者の避難に影響を与えない経路を用いさせることが必要であることがわかった。

4. おわりに

本研究では、自動車と歩行者の2つのモードが存在する状況で、それらの混合による悪影響を考慮した避難モデルを示した。モデルを実際の地域に適用することで、自動車の過剰な利用が避難者の津波遭遇リスクを増大させることを示し、適切な自動車分担率の範囲を明らかにした。沿岸部と内陸部で自動車分担率を変化させながら計算することで、避難場所に近い内陸の地域では特に徒歩避難の原則を守る必要があることを確認した。また、自動車は歩行者の使わない経路を用いるように誘導する必要があることがわかった。

本モデルを実際の地域の避難計画に適用するためには、高齢者などの歩行困難な住民も存在することを考慮に入れる必要がある。また、地形や標高などを反映した津波遭遇リスク値の設定が課題となる。今後ともこれらの改良を進めていく必要がある。

参考文献

- 1) 警察庁：交通の方法に関する教則（平成 26 年 9 月 1 日），
<http://www.npa.go.jp/koutsuu/kikaku/kyousoku/index.htm>
（参照 2017-7-30）
- 2) 片岡侑美子，奥村誠，金進英：自動車避難計画のための津波遭遇リスク最小化モデル，土木計画学研究・講演集，vol.53，CD-ROM，2016.
- 3) 牧野嶋文泰，今村文彦，安倍祥：歩車混在を考慮した津波避難シミュレーションの開発-2011 年東日本大震災での気仙沼市での検証-，土木学会論文集 B2(海岸工学)，vol.71，No.2，I_1645-I_1650，2015.
- 4) 花房比佐友，小宮粹史，堀口良太，桑原雅夫：災害時避難対策評価のための歩車錯綜シミュレーションフレームワークの構築，土木計画学研究・講演集，第 52 回土木計画学研究発表会，2015.
- 5) 中川貴文，中村俊之，嶋本寛，宇野伸宏：自動車利用を考慮した津波避難計画モデルの構築，土木計画学研究・講演集，vol.47，CD-ROM，2013.
- 6) 伊藤慈彦，加藤直樹，滝澤重志：歩車混合型の最速避難計画に関する研究，日本建築学会学術講演梗概集 2015(都市計画)，217-218，2015.
- 7) 横山宗一郎，安藤宏恵，倉内文孝，杉浦聡志：徒歩と自動車の混合モードにおける津波最適避難計画モデル，土木計画学研究・講演集，vol.53，CD-ROM，2016.
- 8) 宮城県亶理郡亶理町：亶理町地域防災計画，津波対策編，第 1 章・総則（平成 26 年 2 月），
<http://www.town.watari.miyagi.jp/index.cfm/24,27476,c,html/27476/20140619-224730.pdf>
（参照 2017-07-27）
- 9) 宮城県亶理郡亶理町：亶理町津波避難計画（平成 26 年 2 月），
<http://www.town.watari.miyagi.jp/index.cfm/24,27476,c,html/27476/20140619-222512.pdf>
（参照 2017-07-27）

(2017.7.31 受付)

EFFECT OF VEHICLE EVACUATION RATE ON THE MINIMUM TSUNAMI ENCOUNTER RISK

Hiroki TAKEI and Makoto OKUMURA

After the Great East Japan Earthquake, vehicle evacuation was allowed in case of no other means. However, vehicle evacuation may increase the disaster risk by causing congestion or conflict with pedestrians. Therefore, vehicle evacuation must be permitted within a proper extent. In this study, we propose the cell-based model minimizing tsunami encounter risk which adopts the pedestrian-vehicle mixture. In addition, applying the model to real municipality, we analyze the effect of vehicle evacuation rate on the tsunami encounter risk. Consequently, we indicate that excessive vehicle use especially in inland areas results in large tsunami encounter risk, and make sure that they need to obey walking evacuation principle.