

交通シミュレーションを用いた自動車による津波避難に関する基礎的研究

Basic study on evacuation from tsunami by car by using traffic simulation

苫小牧工業高等専門学校 ○学生員 中田 諒 (Ryo Nakata)
 苫小牧工業高等専門学校 正会員 下村光弘 (Mitsuhiro Shitamura)
 苫小牧工業高等専門学校 正会員 八田茂実 (Shigemi Hatta)
 アルファ計画株式会社 非会員 飯田啓也 (Kei-ya Iida)

1. はじめに

平成23年3月11日に発生した東日本大震災を契機に、自動車による津波避難の在り方が問われている。国や自治体の防災計画では徒歩による避難が原則とされているが、震災後に避難者へ実施されたアンケート調査¹⁾では岩手県で43%、宮城県で63%、福島県に至っては84%の人々が避難手段として自動車を用いたと回答しており、実際に自動車を使って助かった者がいた事実を踏まえると今後、自動車による津波避難の有効性を検討していく必要がある。また、自動車を用いた人のうち34%の人が渋滞に巻き込まれたという事実や、岩手県と宮城県では合わせて677人が車内から遺体で発見された事実²⁾もあることから十分なリスク検討も同時に求められる。これまで自動車による津波避難を扱った研究事例は少なく³⁾、検討の前段階として事前にシミュレーションを行うことは重要である。そこで本研究では、太平洋に面する沿岸地域の市街地を対象として自動車による津波避難を想定し、交通シミュレーションを用いて避難完了時間や条件別の変化を定量的に示し、今後の防災計画の基礎資料とすることを目的とする。

2. 検討対象地域

検討対象地域は苫小牧市の東部に位置する勇払地区と沼ノ端地区とした。この地域一帯は市内でも特に標高が低く、近隣に河川があることから津波による被害を受けやすい地域と予想される。検討対象地域の概要を表-1に示す。

表-1 検討対象地域の概要

	勇払地区	沼ノ端地区
人口	2,350人	26,047人
世帯数	1,077世帯	10,883世帯
避難所標高	1.6~1.7m	4.3~5.5m
海岸からの距離	0.1~1.3km	3.5~6.6km

※平成23年7月末現在

3. 想定シナリオ

3.1 津波浸水予測

苫小牧市における津波浸水予測は平成8年度と18年度に実施されたものがある⁴⁾。ここで想定される地震津波はM8.2~8.57クラスで、勇払地区における最大遡上高は2.0~2.3m、影響開始時間は31~59分と予測されている。M9.0クラスの東北地方太平洋沖地震津波の発生を受けて北海道は新たに道内の沿岸域を有する自治体の津波浸水予測を平成24年春に公表する予定である。本研究では国土地理院が公開している基盤地図情報数値標高モデル(10mメッシュ)を基に浸水域を予測し、最大遡上高を6ないし5m(バッファとして1m)、影響開始時間は勇払地区を1時間、沼ノ端地区を1時間10分と想定した。

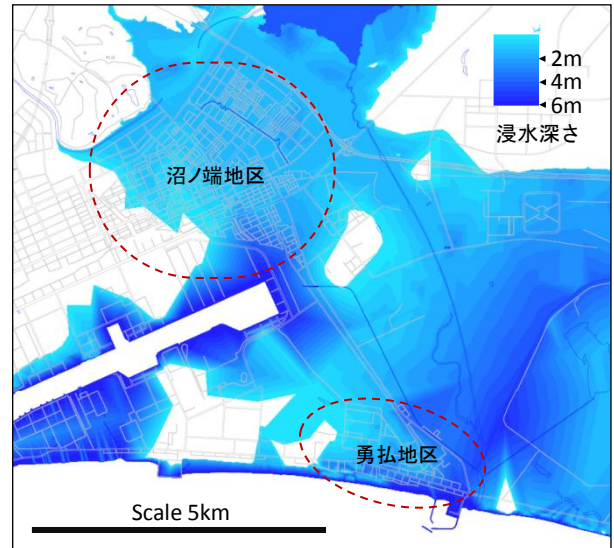


図-1 標高データを基に作成した浸水想定図

3.2 時間帯

想定する地震津波の発生時間帯は、自家用自動車が自宅に駐車している割合が最も高いと予想される夜間、21時からの数時間を対象とした。

3.3 避難車両

避難車両の発生台数は市の1世帯当たり乗用車保有台数⁵⁾を町丁単位の世帯数⁶⁾に乘じ、さらに各種アンケートデータに基づく避難率と自動車使用率を係数として乗じ算出した。

$$\text{発生台数} = N_p \times n_h \times \gamma_e \times \gamma_c \text{ (台)}$$

ここに

N_p : 1世帯当たり乗用車保有台数 = 0.84 (台/世帯)

n_h : 世帯数

γ_e : 避難率

γ_c : 自動車使用率

なお、使用するアンケートデータは、①：震災直後の避難行動について東北三県の避難者を対象に実施されたもの¹⁾(以下、東北三県)、②：震災直後の避難行動について苫小牧市の沿岸地域である汐見町周辺の住民を対象に実施されたもの(以下、汐見i)、③：今後、震災発生時にどのような避難行動をとるつもりか同汐見町周辺の住民を対象に実施されたもの(以下、汐見ii)の3ケースを用いた。調査時期は以下に示す通りである。

① 東北三県 : 平成23年7月上旬から下旬

② 汐見i : 平成23年3月下旬から4月中旬

③ 汐見ii : 平成23年11月上旬から下旬

表－2 避難率と自動車使用率 () 内はサンプル数

	避難率 γ_e	自動車使用率 γ_c
東北三県	99% (N=870)	57% (N=857)
汐見 i	60% (N=53)	70% (N=43)
汐見 ii	—	35% (N=46) *

*今後の使用意思

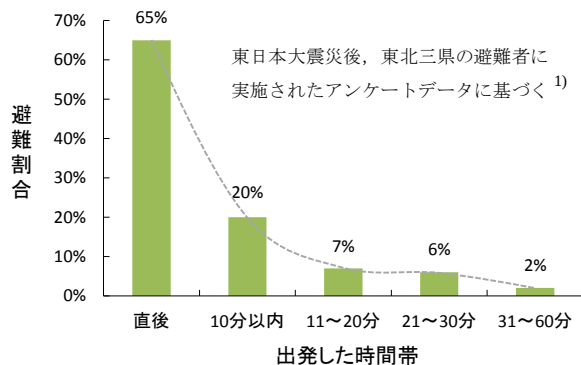
表－3 発生台数の算出結果 (台)

	勇払地区	沼ノ端地区	合計
東北三県	511	5,158	5,669
汐見 i	380	3,839	4,219
汐見 ii	190	1,920	2,110

※1 行政区分が字の地区については、基礎地図情報と航空写真より住宅数を集計して世帯数を配分し、発生台数を算出した。

※2 汐見 ii の避難率は汐見 i と同値を用いた。

また、出発のタイミングについては ASAP (入力台数が出来る限り早くリンクに流入する) モデルを採用し、これに東北三県のアンケートデータを基に作成した経過時間と避難割合の関係 (以下、出発カーブ) を適用した。



図－2 発生台数に適用する出発カーブ

3.4 避難方向

孤立せず 6m 以上の標高が得られる地点を避難先とし、各車両は出発地点から最短の避難先へ向かうこととした。なお、高規格道路は、地震発生直後は非常点検等により全面通行止めとなるため避難経路には含めないこととした。

4. シミュレーションの概要

4.1 適用するシミュレーションモデル

本研究ではシミュレーションモデルに離散型の汎用マイクロ交通シミュレータ AIMSUN を用いた。モデル化したネットワークおよび避難ノードを図－3 に示す。

4.2 経路選択モデル

経路選択モデルは多項ロジットモデルを採用し、再計算サイクルは5分とした。

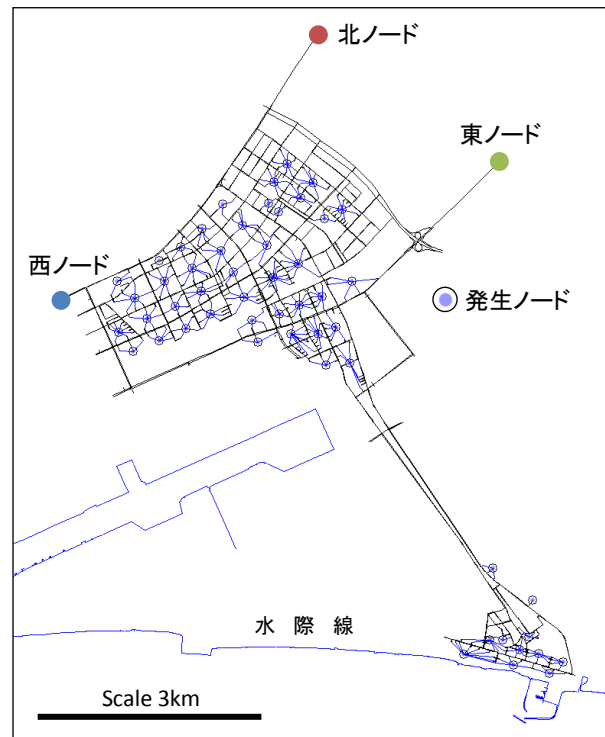
$$P_{1n} = \frac{e^{V_{1n}}}{e^{V_{1n}} + e^{V_n^*}}$$

ここに

P_{1n} : 個人 n が経路 1 を選択する確率

V_{1n} : 個人 n が経路 1 から受ける効用のうちの確定項

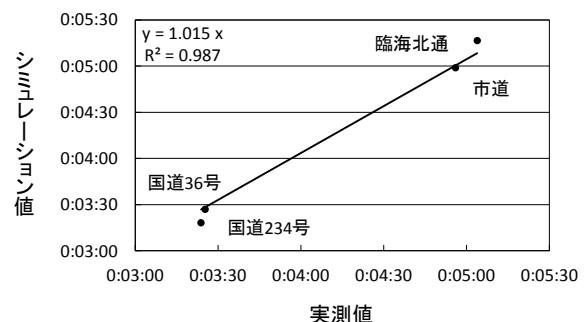
V_n^* : 個人 n が経路* から受ける効用のうちの確定項



図－3 モデル化したネットワーク

4.3 現況再現性の検証

モデル化したネットワークに主要交差点の信号現示サイクルと道路交通センサス (平成 17 年度) の交通量を入力した上でパラメータ調整を行い、実測した旅行時間を再現できているか確認した。実測値、シミュレーション値はともに計測回数 8 回の平均値を用いている。その結果、4 路線について統計的に優位とされる勾配が 1.0 ± 0.1 近傍かつ重相関係数 0.9 以上を得た。



図－4 モデルの現況再現性の検証

5. シミュレーション結果

5.1 想定シナリオ時

シミュレーションの結果、各避難ノードへの避難完了時間は表－4 に示す通りとなった。早くても避難完了に 1 時間程度要し、想定したシナリオの下では余裕がないことがわかる。

表－4 避難完了時間

	西	北	東
東北三県 (5,669 台)	1:20:00	1:10:00	1:10:00
汐見 i (4,219 台)	1:10:00	0:50:00	1:00:00
汐見 ii (2,110 台)	0:50:00	0:50:00	1:00:00

また、時間経過に伴う避難ノード到着台数の推移は図-5 から図-7 に示す通りである。出発カーブに比較して概形が大きく異なり、避難途中に混雑の影響を受けていることがわかる。台数の減少に伴って概形は近似していく。

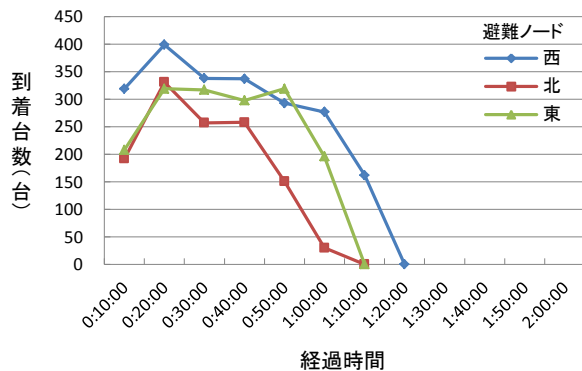


図-5 東北三県ケース (5,669 台)

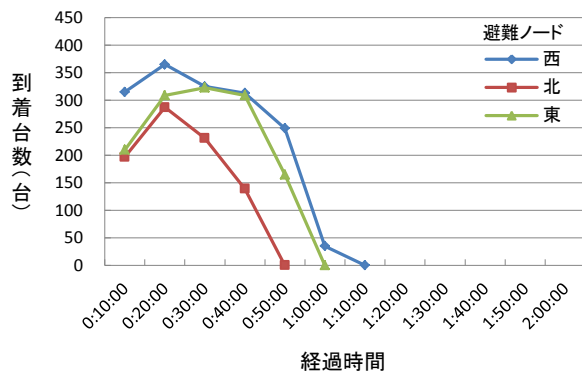


図-6 汐見 i ケース (4,219 台)

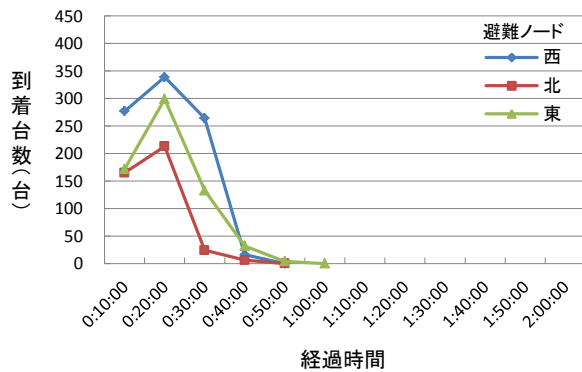


図-7 汐見 ii ケース (2,110 台)

5.2 出発カーブ非適用時

発生台数に出発カーブを適用しない場合、すなわち一斉に避難した場合のシミュレーション結果の一部を図-8 に示す。発生台数が同数である図-5 のグラフに比較して避難完了時間への収束が長引いている。1 時間 10 分経過時における西ノードの急激な台数増加はそれまでの間に混雑により低下していた西ノード近傍リンクおよびノードの捌け台数の回復によるものと考察される。ここで、一斉避難は厳密には不可能であることから、実際にはこれ以上の遅延がある事に注意したい。

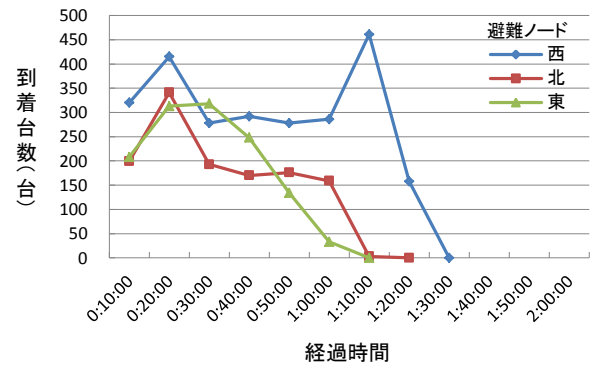


図-8 出発カーブ非適用時 (東北三県ケース)

また、アンケートデータに基づき算出した発生台数 3 ケースに加えて、任意に変化させた発生台数 6 ケースについてシミュレーションを行った。発生台数と避難完了時間の関係を示したグラフを図-9 と図-10 に示す。

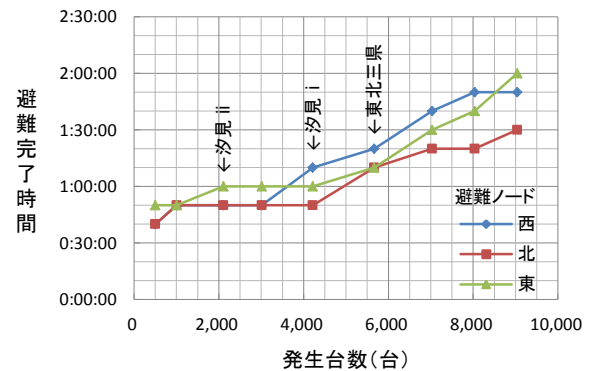


図-9 発生台数と避難完了時間 (出発カーブ適用時)

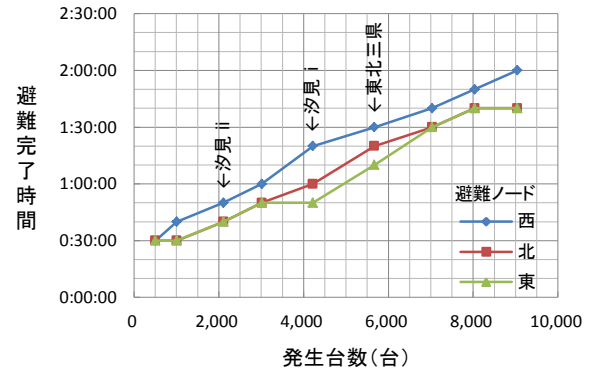


図-10 発生台数と避難完了時間 (出発カーブ非適用時)

出発カーブ適用時の避難完了時間は発生台数の減少に伴い一様に収束しており、3,000 台以下ではあまり時間短縮がみられない。3,000~4,000 台付近にみられる変曲点が出発時間のバラつきに起因するものである。一方、出発カーブ非適用時の避難完了時間は出発カーブ適用時に比較して 10~20 分遅延しているが、発生台数とおおむね比例関係にあることがわかる。

以上から、発生台数が多い場合では一斉避難すると避難完了時間が遅延するが、ある程度少ない場合であれば一斉避難の方が有効であることがうかがえる。

5.3 その他

(1) ネットワークの損傷

実際の地震発生時には、橋梁の損傷や、建物の倒壊等により道路ネットワークが損傷する場合がある。これらは円滑な自動車避難を阻害する要因のひとつとなっている。本研究では、想定シナリオ時のシミュレーションに付随して以下の損傷ケースを想定し検証を行った。なお、発生台数は東北三県ケース（出発カーブ適用時）を用いている。

- 損傷ケース 1：北および東ノードへ至る路線
 損傷ケース 2：沼ノ端地区内の路線
 損傷ケース 3：勇払地区から沼ノ端地区へ至る路線

本稿では損傷ケース 1 について記述する。北および東ノードを避難先とした場合、そこへ向かう車両は一旦標高が低く河川のある区間を通過しなくてはならず、浸水による道路ネットワークの早期の損傷が考えられる。このことから、事前に避難先とすることを禁止し、全車両が避難方向を西とした場合のシミュレーションを行った。その結果、時間経過に伴う西ノード到着台数の推移は図-11 に示すように 1 時間経過時までは混雑が続き、避難完了時間は 2 時間 10 分と損傷のない場合に比較して 50 分も増加した。

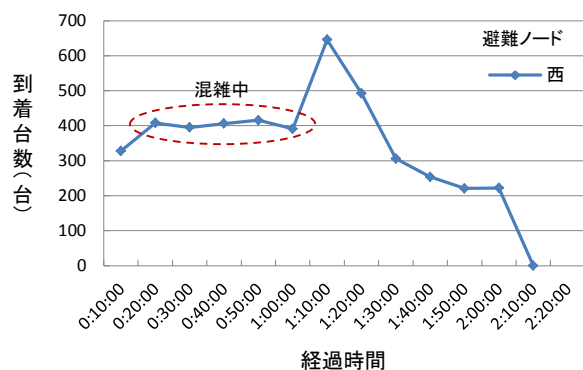


図-11 避難方向が西に限られる場合

(2) 自動車の使用制限

勇払地区のような、平野部における沿岸地域は十分な標高を有する後背地までの距離が長いことから、自動車避難の有効性が特に高いと考えられるが、避難途中に発生台数が多く混雑した区間を通過しなくてはならない。このことを考慮して、沿岸地域の勇払地区のみ自動車使用可とした場合を想定してシミュレーションを行った。なお、発生台数は東北三県ケース（出発カーブ適用時）を用いている。その結果、両地区自動車使用時に比較して避難完了時間は 10 分短縮された。ただし、現時点での勇払地区の避難先は東ノードとなっており、実際には北および西ノードを避難先として行動する車両の存在が考えられる。既に沼ノ端地区との交差点が少ない状況下でありながら時間短縮がみられたことから、効果はより大きい可能性がある。そこで、沼ノ端地区を通過しなくてはならない西ノードを避難先とした場合をシミュレーションした結果、短縮時間は 20 分に増加した。地形条件を勘案した避難計画策定の可能性がここから示唆される。

表-5 使用制限による避難完了時間の違い

	東（現況）	西
両地区とも可	1:10:00	1:30:00
勇払地区のみ可	1:00:00	1:10:00
短縮時間	0:10:00	0:20:00

6. おわりに

本研究では、交通シミュレーションを用い自動車による津波避難を行った場合の避難完了時間や条件別の変化を定量的に示した。震災時の避難行動に関するアンケートデータも交え、出発カーブの適用により同じ発生台数でも一斉避難すると混雑に巻き込まれ避難完了時間が遅延する一方、発生台数が少ない場合はかえって一斉避難が有効であることなどを明らかにし、道路ネットワークが損傷した場合のリスクや、地形条件を勘案した避難計画策定の可能性を示した。これらの知見は今後、自動車による津波避難の検討を行っていく上で有用であろう。ただし交通弱者や、車を使用することはおろか徒歩による避難も困難な要支援者の存在を考慮すれば、本研究の成果のみが「皆が助かるための防災計画」へは結びつかない。あくまでも総合的な防災計画に付加しうる可能性のひとつとして考えていくことが重要である。

本研究の展望としては以下のようなことがある。

- 時間経過に伴う犠牲台数を詳しく知るためにネットワーク上に車センサーを細かく設置し別途分析を行う
- 現地で避難しようと考えている方向、経路についてアンケート調査し再度シミュレーションを行う
- 新たに公表される津波浸水予測の結果を反映させる

参考文献

- 1) 内閣府：平成 23 年東日本大震災における避難行動等に関する面接調査（住民）単純集計結果、中央防災会議 東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会 第 7 回会合 参考資料 1, 2011.
- 2) 内閣府：岩手・宮城両県警が警察官や避難者から聞き取りした状況等、中央防災会議（会期不明）資料 1（警察庁提供資料）、2011.
- 3) 例えば、北村省悟、鈴木介、今村文彦：仙台港周辺地域における避難シミュレーション、平成 13 年度土木学会東北支部技術研究発表会講演概要集、pp.434-435, 2002.
- 4) 苫小牧市市民生活部危機管理室：苫小牧市防災情報津波の予測、苫小牧市公式ホームページ。
<http://www.city.tomakomai.hokkaido.jp/kikikanri/tunami1.htm>
- 5) 苫小牧市総合政策部政策推進課：平成 22 年版苫小牧市統計書、2010.
- 6) 苫小牧市総合政策部政策推進課：平成 23 年 7 月末現在市内町丁別人口リスト、2011.