

自動車を用いた津波避難の円滑化施策の評価

高田 和幸¹・藤生 慎²・大原 美保³

¹正会員 東京電機大学理工学部建築・都市環境学系 (〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町石坂)

E-mail:takada@g.dendai.ac.jp

²正会員 東京大学生産技術研究所 (〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1)

E-mail:fujiiu@iis.u-tokyo.ac.jp

³正会員 東京大学大学院情報学環/生産技術研究所 (〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1)

E-mail:ohara@iis.u-tokyo.ac.jp

こ東北地方太平洋沖地震によって発生した大津波は、東北地方沿岸地域に甚大な物的・人的被害を及ぼした。内閣府、生存者の半数以上が車で避難し、その3分の1が渋滞に巻き込まれていたと発表している。このことは過度に自動車に頼った避難の危険性を示している。今後、今回と同様の非常に危険な状況が再発させないためには、自動車による避難者を減らすための取り組みと、自動車交通を円滑に流すための取り組みを検討することが必要である。そこで本研究では、津波避難時に、自動車の発生量を抑制するための施策と、発生した交通流の円滑化を図るための施策を提示し、交通流マイクロ・シミュレーションを用いて、それらの施策の評価を試みた。

Key Words: tsunami evacuation, micro simulation, Kesenuma city, traffic congestion

1. はじめに

東北地方太平洋沖地震によって発生した大津波は、東北地方沿岸地域に甚大な物的・人的被害を及ぼした。平成 25 年 5 月 10 日現在、東北 3 県の死者・行方不明者数は合わせて 21,062 人と報告されている¹⁾。人的被害の多くは、津波から避難しきれずに生じたものであり、車で移動中に犠牲になった方も多数いた。

内閣府²⁾は、生存者の半数以上が車で避難し、その 3 分の 1 は渋滞に巻き込まれたとの調査結果を発表している。一方、中央防災会議は、従来津波からの避難は「原則自動車禁止」との方針を定めていたが、実際には自動車で多くの市民が避難できていた事実を踏まえ「原則徒歩」に変更した。なお自動車避難を検討せざるを得ない場合には、自動車の発生量の抑制に関する合意形成を個々の地域で図る必要があるとしている³⁾。

例えば、仙台市⁴⁾では自動車による避難対象者を、徒歩避難が困難な方とその支援者を中心に設定し、さらに自動車の避難者の割合を 45 分以内に 100%避難が完了する 20%に設定して、避難対策を検討している。

個々の自治体には、仙台市のように、自動車避難がどの程度まで許容されるかを定量的に明らかにして自動車避難の方針を定めることが求められる。

なお自動車による津波避難に係わる施策の評価に際しては、道路の交通容量を考慮して自動車の流動状況等を検証することが可能な交通流マイクロシミュレーションを活用することが有効である。既に津波避難に係わる実務や研究で数多く用いられている。

そこで本研究では、自動車の発生量を抑制する施策と、発生した自動車の流動円滑化を図る施策を組み合わせた施策のパッケージを作成し、交通流シミュレーション Aimusun 6 を用いて、施策パッケージの有効性を評価する。

本論文の構成は以下の通りである。

第 2 章では、自動車を用いた津波避難に関する既往研究の成果を整理し、本研究の位置づけを示す。第 3 章では、自動車を用いた津波避難の安全性を高める施策を整理する。第 4 章では、本研究で分析の対象とした気仙沼市の津波避難の状況の調査・分析結果について記す。第 5 章では、本研究で作成した津波避難シミュレーションの詳細を記す。また施策パッケージのシミュレーションでの扱い方について記す。第 6 章では、施策パッケージの有効性の評価指標を説明し、さらにシミュレーションの結果を用いて有効性について比較検討する。最後に第 7 章で本研究の成果をまとめ、さらに今後の課題について言及する。

2. 津波避難に対する取り組み状況の整理

自動車による津波避難の安全性を評価した既往研究の多くは、交通流シミュレーションを用いて分析・評価を行っている。

東日本大震災以前の研究として、今村ら⁵⁾、北村ら⁶⁾、鈴木ら⁷⁾がある。

今村ら⁵⁾は、既存の避難シミュレーションの課題を整理した上で、個人単位の避難行動を表現し、また避難経路をネットワークで表現し、さらに徒歩のみならず自動車による避難も考慮できるシミュレーションシステムを開発した。北村ら⁶⁾は、仙台港周辺地域を対象にした避難シミュレーションを行い、意識調査の回答どおりに避難が行われた際に、徒歩による避難では津波の来襲までに避難が間に合わないことを示し、また鈴木ら⁷⁾は、仙台市の住宅地域を対象とする避難シミュレーションを行い、特定の道路の交通密度が大幅に増加し、交通渋滞が発生する危険性を示している。

一方、東日本大震災後には、片田ら⁸⁾、片田ら⁹⁾、本内ら¹⁰⁾の研究がある。

片田⁸⁾は、住民の避難を検討する際、自動車避難が人的被害の発生に与える影響を正しく把握した上で、自動車の適切な利用方法を検討する必要があるとの問題意識の下、津波災害時の避難状況を表現するシミュレーションモデルを構築して、自動車利用率を政策変数としたシナリオ分析を行っている。自動車の利用率を5%間隔で変化させてシミュレーションを実施した結果、交通の集中による渋滞や避難施設の駐車容量不足から避難が遅延することで津波に巻き込まれる避難者が増加することを確認している。また片田ら⁹⁾は、津波を含む水災害のハザード現象に加えて、各種警報や避難勧告といった災害情報の伝達、住民の避難行動、そして人的被害の発生といった事象を空間的・時系列的に表現可能なシミュレーションシステムを開発し、自動車を用いた津波避難の分析に適用している。本内ら¹⁰⁾は、苫小牧市の震災時の住民の避難行動の反映させた避難シミュレーションを行い、避難完了時間の変化について検討している。

自動車を用いた津波避難に関する既往研究をレビューした結果、避難時の自動車の利用率と避難完了率との関係から自動車避難のあり方を検討する事例が多い一方、ハード整備、ソフト施策の導入が、自動車避難の有効性・安全性にどのような影響を及ぼすかについては、情報の蓄積が未だ不十分であることが明らかとなった。そこで本研究では、自動車の発生量を抑制するためのハード・ソフトの各施策と、交通流の円滑化を図るハード・ソフトの各施策の有効性をシミュレーションを用いて評価することとした。

3. 津波避難方法の提案

津波による人的被害を最小限に留めるためには、住民一人ひとりの主体的な避難行動が肝要である。地震の発生や津波警報が発令された際には、一刻も早く高台に避難する必要がある。避難手段は、徒歩、自転車、車などである。津波からの避難には、迅速性が求められるが、主として避難路に用いられる道路容量が超過し渋滞を招く。そこで、津波避難時には、渋滞の原因である道路容量の超過をできるだけ最小限に留めることと、多くの被災者が迅速に避難完了できることの2つが重要である。そこで本研究では、津波避難方法について整理・提案を行った(図1)。東北地方太平洋沖地震時の避難状況を鑑みると、津波避難方法には、車による避難を削減する方策と交通渋滞を引き起こさない方策の2つが考えられる。さらに、これら2つの津波避難方法は、ハード整備とソフト整備にわけて提案することが可能である。津波避難におけるハード整備は、短期的に実施可能である一方、ソフト整備は中長期的方策である。さらに、津波避難対策は、ハード対策とソフト対策の両方をバランスよく組み合わせることにより高い効果を発現させることが可能となる。なお、本研究では、車による避難を削減する方策と交通渋滞を引き起こさない方策についてそれぞれハード対策、ソフト対策の観点から整理した。

図1に示した通り、車による避難を削減する方策におけるハード整備には、津波避難タワー・ビル・マウンドの建設が考えられる。これらは、最寄りの津波避難施設に避難することにより、車による避難者数の削減に寄与するが、新たな施設整備が必要である。一方、ソフト施策には、徒歩・自転車避難を想定した避難計画の策定、避難訓練、リスクコミュニケーション、乗合による避難の実施などが考えられる。これらは、教育、訓練、計画の策定であり、実現には多くの時間を要する。そのため、交通インフラ側を改良した対策も必要である。

発生した自動車交通を円滑化するためのハード整備には、津波避難を想定した道路ネットワークの改良、道路容量の拡大、避難車両乗り捨て場所の設置などが考えられる。特に、津波避難時に急激に増加する交通需要に対応するには、交通容量の拡大は有効と考えられる。一方、ソフト対策には、遠方避難の実施やリアルタイムでの情報提供が考えられる。これの対策は、津波避難を開始した車両は津波浸水が想定される地域から排除し、交通量が交通容量を上回らないようにしようとするものである。さらに、時々刻々と変化する津波の到達状況や道路状況を避難車に提供し、避難行動を最適なものに近づけようとするものである。

津波避難は「原則徒歩」と提言されているが、自動車避難の危険性を認識して、どの程度自動車による避難が

抑制されるかは未知数である。同じ失敗をくり返し犠牲者を増やさないためには、津波避難時に交通渋滞を発生させない方をまずは講じておく必要がある。それらに加えて適切にハード・ソフトの両面から施策を展開することが必要である。

	自動車避難の発生抑制対策	自動車避難の交通流対策
ハード (物的施策)	(事前) ・ 徒歩避難の容易化 (避難所設置, 避難路整備, 津波避難タワー, ビル, マウンド設置) ・ 自動車利用優先順位付け (自動車利用優先者の設定, 自動車の利用制限地区の設定) (事後) ・ 自動車の流入制御 (ポラード等の設置)	(事前) ・ 避難時における交通量の確保 (道路幅員の拡幅, 車両の乗り捨て場の設置) ・ 交通流の整序 (一方通行化, 避難場所指定, ラウンドアバウト導入) (事後) ・ 交通流の整序 (一方通行化, 経路指定, 避難場所誘導)
ソフト (心理的方略)	(事前) ・ 地域防災力の向上 (自助・共助・公助の精神の育成) ・ リスク・コミュニケーション (ハザードマップ, 防災訓練, 避難シミュレーション) による徒歩避難への誘導 ・ 乗合避難	(事前) ・ 自動車による避難方針の策定 ・ 避難場所の指定 ・ 遠方への誘導 ・ 乗合避難 (事後) ・ リアルタイム情報による行動変化の促進 (カーナビ, 電光掲示板等の利用)

図1 津波避難方法の整理・提案

4. 自動車による津波避難の実態分析

(1) 避難状況

先行研究¹¹⁾で明らかにした津波避難の実態を以下に記す。図2は、気仙沼市の仮設住宅の入居者を対象に実施したヒアリング調査で得られた、津波避難時の移動手段と避難状況の関係を示した図である。徒歩で避難した市民の9割近い人が「順調に避難できた」と答えている一方、自動車で避難した市民の半数以上が「円滑な避難行動を取れなかった」と答えている。このことから自動車による避難は容易でなかったと推察される。

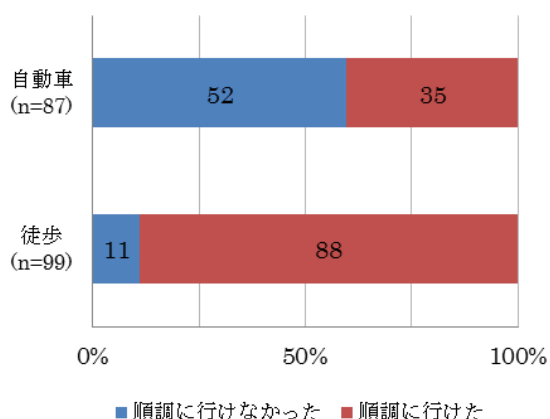


図2 気仙沼市移動手段別避難状況¹¹⁾

(2) 自動車による避難状況

筆者らが実施したヒアリング調査の被験者のうち、避難開始地点と避難終了地点が明確な185名の回答結果を

用いて、自動車による避難の状況を検証した。自動車避難者の余裕時間と避難距離の関係を図3に示す。自動車による避難の場合には、自動車の渋滞による迅速かつ円滑に避難することができなかったと考えられる。以下に、避難距離が1km未満である場合、自動車を使って最寄りの避難所に避難することができ、余裕時間を5分以上確保できていることを示す。一方、避難距離が2km以上の避難者は、余裕時間が5分以内と回答した割合が約70%であり、危ない状況にいたることがわかる。一方、2km未満の避難距離の避難者の場合には、50%以上が5分以上の余裕時間を有している。特に、避難距離が1km未満の避難者の場合には、余裕時間が5分以上の避難者が70%以上を占めていることがわかる。このことから、近くに高台の津波避難場所が存在した避難者は自動車を用いて迅速かつ円滑に避難できたことを表している。また、渋滞場所については、気仙沼市危機管理課にヒアリング調査を実施したところ、地震発生後、気仙沼市沿岸部の主要な道路では渋滞が発生しており、自動車避難の妨げになっていたことが明らかとなった(図4)。

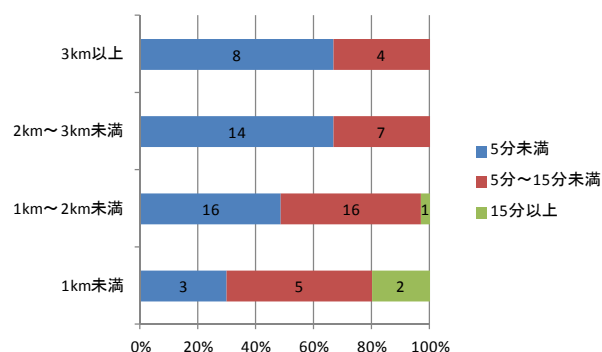


図3 避難距離と余裕時間(自動車避難)



図4 気仙沼市内の渋滞発生箇所

5. 津波避難シミュレーション

(1) シミュレーションの概要

本研究では、交通流マイクロシミュレーターAimsunを用いて自動車の津波避難の状況を再現し、自動車の津波避難円滑化方策を導入した際の変化について評価、考察を行った。シミュレーションを行う際の前提条件として、津波到達予想時間は地震発生から30分、避難開始時間は地震発生から15分と仮定した。また、地震発生と同時に信号が停止していることを想定し、信号を機能停止状態に設定しているが、交差点にはYellow Box（交差点内にいる同一方向の前の車両が設定した速度以下になると交差点に侵入しなくなる）を配置した。経路選択モデルにはC-logitモデルを採用し、再計算サイクル（避難車両が経路を再考する間隔）は5分とした。

(2) ネットワークの設定

本研究で使用したネットワークを図5に示す。本研究では、Open Street Mapから取得した情報を基に、細街路を含む道路ネットワークを作成した。発生ノードは各町丁目に1点配置し、後述の発生交通量に基づいて避難車両を発生させた。また、目的地ノードは先行研究⁹⁾のヒアリング調査により得られた、主な最終避難場所に配置した。

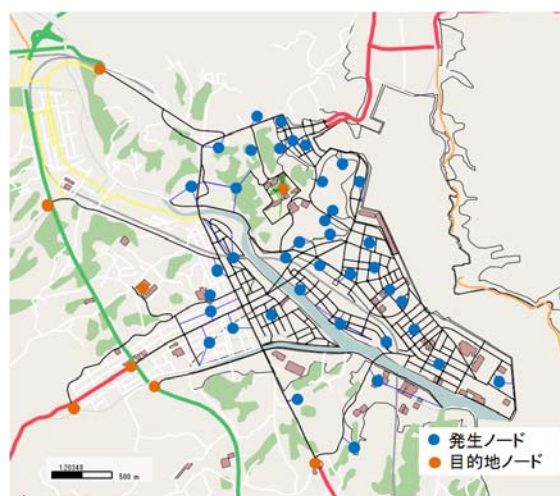


図5 シミュレーションのネットワーク

(3) 発生交通量

本研究で対象としている地域は、水産加工業が盛んな地域であり、昼間人口が夜間人口を上回る地域である。このことから、本研究では、より多くの発生交通量が見込まれる昼間の地震発生を仮定し、昼間人口を基に発生交通量を設定した。しかし、気仙沼市の地区別昼間人口のデータは存在しない。そのため、小学生未満の子供と60歳以上の年配者は自宅に、小学生、中学生、高校生は学校に、その他の15歳から60歳の住民は就業していると仮定し、地区別就業者数と地区別の0から5歳、60歳以上の夜間人口、小中高生の生徒数を足し合わせて昼

間人口を算出した。国土交通省の調べにより、東日本大震災発災当日に自動車を使用して避難した人が全体の約60%であったことから、算出した昼間人口の60%を基本の発生交通量とした。

なお、避難する目的地については、最も移動距離の短い避難場所に設定した。

6. 津波避難方法の評価

(1) 津波避難方法のシナリオ

(a) 現況再現

施策を評価し、変化を考察するにあたり、基準となる結果が必要である。上述の設定で行った結果を「現況再現」とし、本研究の基準とした。

(b) 自動車利用制限区域の設定

図6に示した対象地区内の最も海側のポイントから、一定距離以上離れた区域（1km, 2km, 3kmの3パターン）を自動車利用制限区域とし、自動車利用制限区域の発生交通量を0とした。尚、線に少しでもかかっていたら利用を制限しない区域とした。

(c) 道路拡幅施策の導入

気仙沼市の都市計画図に基づいて、道路拡幅を予定している道路を拡幅してシミュレーションを行った。道路拡幅を行った箇所を図7に示す。

(d) 乗合避難の実施

乗合避難を促し、1台に2人乗車したという仮定し、発生交通量を半分にしてシミュレーションを行った。

(e) 遠方避難の誘導

もともと主な避難場所となっていた、気仙沼市立気仙沼

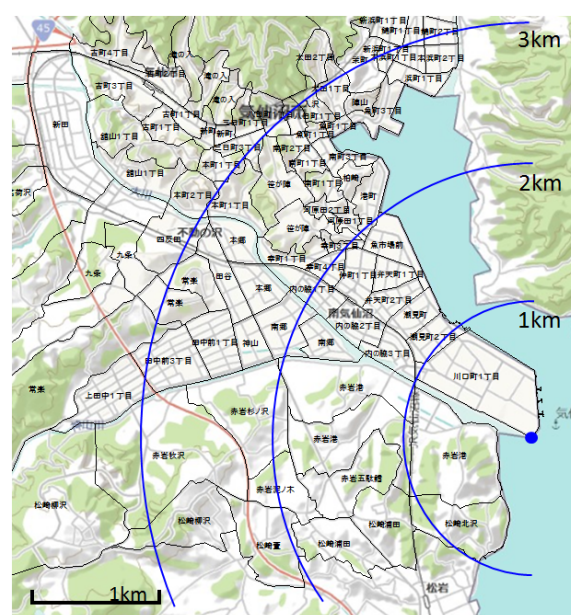


図6 避難禁止区域の設定

小学校と気仙沼市立気仙沼中学校への避難をなくし、全ての車両が、なるべく遠方に避難するように設定した。

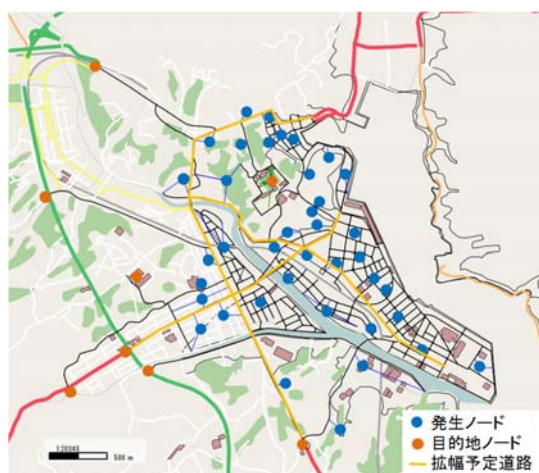


図7 道路拡幅施策導入時のネットワーク

6. 施策の評価

(1) 評価指標

本研究では、全車両の平均移動距離とネットワーク内に残った車両の台数の変化により、施策の評価を行った。全車両の平均移動距離は長ければ長いほどスムーズに道路を通行していたと考えられ、ネットワーク内に残された台数が少ないほど、多くの避難車両が安全な地域へと逃げる事ができたと考える。

(2) 評価結果

シミュレーションを行った結果を図8に示す。結果より、施策導入前と比べて最も大きな変化が見られたのは、ポイントから1km以上の区域の自動車避難を制限した施策である。また、ポイントから2km以上の区域の自動車避難を制限した施策と、乗合避難を実施した施策についても効果が現れていることがわかる。しかし、その他の施策では、大きな変化が見られなかった。このことから、避難の状況を好転させるためには大幅な避難車両の削減が必要であると考えられる。また、変化が見られなかった施策についても、他の施策と複合的に導入することで効果を発揮する可能性が考えられる。

7. まとめと今後の課題

東北地方太平洋沖地震によって発生した大津波は、東北地方沿岸地域に甚大な物的・人的被害を及ぼした。

内閣府、生存者の半数以上が車で避難し、その3分の

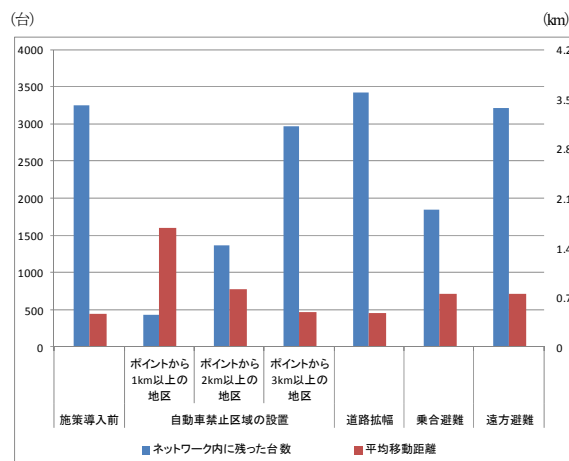


図8 施策評価結果

1が渋滞に巻き込まれていたと発表している。このことは過度に自動車に頼った避難の危険性を示している。

今後、今回と同様の非常に危険な状況が再発させないためには、自動車による避難者を減らすための取り組みと、自動車交通を円滑に流すための取り組みを検討することが必要である。

そこで本研究では、津波避難時に、自動車の発生量を抑制するための施策と、発生した交通流の円滑化を図るための施策を提示し、交通流マイクロ・シミュレーションを用いて、それらの施策の評価を試みた。

今後は、複数の施策を組み合わせた施策パッケージを作成しその評価を行う。その際、安全性を適切に評価するための指標の設定、さらに避難時に状況に応じて避難の場所が変化するという避難特性等を考慮したシミュレーションを構築し、評価の精緻化を図る。

参考文献

- 1) 総務省消防庁：消防庁被害報（第147報）
<http://www.fdma.go.jp>
- 2) 内閣府、気象庁、総務省消防庁：平成23年度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）
- 3) 中央防災会議防災対策推進検討会議：津波避難対策検討ワーキンググループ報告，平成24年7月。
- 4) 仙台市津波避難施設の整備に関する検討委員会：津波避難施設の整備に関する基本的考え方，2013年3月25日。
- 5) 今村文彦，鈴木介，谷口将彦：津波避難数値シミュレーション法の開発と北海道奥尻島青苗地区への適用，自然災害科学，20(2)，183-195，2001。
- 6) 北村省悟，鈴木介，今村文彦：仙台港周辺（複合利用域）地域における避難シミュレーション，土木学会第57回年次学術講演会，IV-302，2002。
- 7) 鈴木介，今村文彦：住民意識・行動を考慮した津波避難シミュレーションモデル，自然災害科学，

- 23(4), 521-538, 2005.
- 8) 片田敏孝, 桑沢敬行, 渡邊寛: 津波襲来時における自動車避難と人的被害の関係に関する一考察, 日本災害情報学会, 第14回学会大会予稿集, 152-155, 2012.
 - 9) 片田敏孝: 避難対策と防災教育のためのシナリオ・シミュレータの開発, 交通工学, 48-(1), 8-23, 2013.
 - 10) 本内洋平, 中田涼, 下夕村光弘, 飯田啓也: 津波災害を想定した自動車シミュレーションについて, 土木計画学研究・講演集 (CD-ROM), 45, 258, 2012.
 - 11) 高田和幸, 藤生慎, 小野村広平: 東北地方太平洋沖地震時の自動車による津波避難の状況再現手法に関する研究—宮城県気仙沼市街地を対象として—, 土木学会論文集A1 (構造・地震工学) Vol.69 (2013), No. 4, 2013.

EVALUATION OF COUNTERMEASURES FOR CAR EVACUATION AGAINST TSUNAMI USING TRAFFIC-MICRO SIMULATION

Kazuyuki TAKADA, Makoto FUJII and Miho OHARA

During the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, many residents living coastal area used car for their evacuation from mega Tsunami. Due to the rapidly increased traffic demand in road network and also trouble of traffic signals, heavy traffic congestions occurred in the road network. At first, this research investigated the condition of car evacuation in Kesennuma city. Secondly, tsunami evacuation simulation system was developed. Thirdly, several counter-measures for safer tsunami evacuation were developed and proposed. Finally, the scenario of roads widening proposed by Kesennuma city was evaluated using the simulation system. As a result, it was clarified that road widening is an effective counter-measure to modify the road traffic flow and that it could not solve the problems in car evacuation perfectly.