

津波被害減災のための電動アシスト自転車活用可能性の研究
一日南市油津地区におけるMASモデル分析を中心に—
Research on possibility of using electric assisted bicycle to reduce damage caused by tsunami
- Focusing on MAS model analysis in Nichinan Aburatsu district -

37-166978 疋田 智

This research explored the possibility of utilizing electric assisted bicycle for evacuation from the tsunami caused by the Nankai Trough massive earthquake, which is an urgent issue in our country. As a verification method, Multi Agent Simulation "artisoc" was used. As the model city, the Aburatsu area of Nichinan City, Miyazaki prefecture (about 8,000 people in the daytime) was selected. As a result of the simulation, evacuation with a motor-assisted bicycle not only raises the possibility of evacuees themselves being saved, but also reduces the share of evacuation by cars, so it reduces the probability of traffic congestion and the severity of congestion. We also obtained the result that the evacuation completion rate of evacuees by cars is also increased. Also evacuation in ordinary bicycles ("MamaChari" etc.), which is not an electrically assisted bicycle, also has a high rate of evacuation completion. Therefore, this study strongly suggests that evacuation by bicycles should be incorporated not only on foot and on the car in the future tsunami evacuation plan by the national and local governments tsunami evacuation plan.

1. 序論 (研究の背景と先行研究など)

1.1 東日本大震災における避難の実情 (研究の背景)

文部科学省研究開発局地震・防災研究課によると、南海トラフ巨大地震が日本列島を襲う確率は、2018年時点において、以後30年間に70%~80%あるという¹。地震の直接的な被害もさることながら、我々日本列島の住民にとって、最も備えなくてはならないのは津波である。

2011年の東日本大震災の際、クルマ²での避難、徒歩の避難の率が、それぞれ52.5%、43.2%を占めていた³。このとき避難手段の過半数を占めるクルマが一所に集中し、渋滞を起こすという局面が多々あった。その結果、津波と同年の集計でクルマの車内から見つかった遺体が、宮城県で575体、岩手県で102体である⁴。

国および自治体は津波避難に際して、クルマを使わず、徒歩で(走って)逃げることを原則を堅持している⁵。しかし、いわゆる「クルマ社会」が極度に進んだ日本の地方においてはクルマ避難を選択する人が多いと見込まれ、現に東日本大震災からわずか5年しか経っていない2016年11月22日早朝に起きた地震⁶でも、津波警報が出された後、多くの住民は避難にクルマを使ったのである。

1.2 研究の目的と自転車活用推進法

こうした事実を踏まえ、本研究では津波避難に際しての自転車活用可能性を考えることを目的とする。我が国では、2017年の5月に「自転車活用推進法」が施行された。同法は、国家として自転車の活用のあり方を定めた画期的なものだといえるが、冒頭に次のように記されている。

(目的) 第一条 この法律は、極めて身近な交通手段である自転車の活用による環境への負荷の低減、災害時における交通の機能の維持、国民の健康の増進等を図ることが重要な課題であることに鑑み、自転車の活用の推進に関し、基本理念を定め、国の責務等を明らかにし、及び自転車の活用の推進に関する施策の基本となる事項を定めるとともに、

自転車活用推進本部を設置することにより、自転車の活用を総合的かつ計画的に推進することを目的とする。(下線は筆者による)

1.3 津波避難の選択肢

現在、国および自治体が想定している津波避難のための交通手段は、徒歩とクルマであり、前者にポジティブ、後者にネガティブである。ただし、このふたつの手段(徒歩とクルマ)には、ふたつとも渋滞の有無、体力による速度の多寡、同乗者の有無、瓦礫への対応など、いずれもプラス面とマイナス面が共存している。

しかし公共交通機関は非常時には使えない。徒歩、クルマ以外の選択肢として、普及率、スピードの潜在力ほかを鑑み、最初に指を屈するべきはむしろ自転車であろう。そして自転車という選択肢が、徒歩、クルマと併存することにより、それぞれのデメリットが薄まり、より多くの人命が救えるのではないかというのが、本研究の考え方である。

1.4 研究の仮説

本研究の仮説は「津波避難に自転車、中でも電動アシスト自転車は有効なのではないか」というものである。

これを分析的に検証する一方、より効率的な自転車避難の手法を探るべく、次の2点について考察した。

①電アシ自転車普及率が低い地方でもシェアサイクルの活用により多くの市民の避難が可能になるのではないかと。

②電アシ自転車は、レギュレーションを欧米並みにすることで、より一層、減災に効くものになるのではないかと。

1.5 仮説の検証方法

仮説の検証方法として、先行研究、現地調査などから自転車避難の可能性を探ると同時に、マルチエージェントシミュレーション(MAS)ソフト"artisoc"を用いてシミュレーションを実行し、その結果を分析する。

1.6 先行研究の概要

クルマと徒歩以外の津波避難の選択肢として自転車の可能性を模索した先行研究は少ないが、村上ら2016による愛知県田原市の訓練事例をとりあげた研究⁷は、避難にかかる平均所要時間が自転車の方が大幅に短く、徒歩避難に比べて自転車避難の方が個人偏差も小さくなることを示した。

またMASを用いて津波避難をシミュレートした先行研究としては、畑山ら2014による高知県黒潮町の万行地区を対象とした避難評価システムがある⁸。ただし避難手段は徒歩とクルマに限定されており第三の手段に自転車を位置づけようとする本研究とは目的が異なっている。

2. 津波避難に自転車を用いる前提となる「実例」の調査

2.1 日本型電動アシスト自転車の特徴

日本型電動アシスト自転車には次のような特徴がある。

アシスト力と人力の比率が10km/hまでは2対1、10km/h以上24km/h未満までアシスト率を漸減させていき、24km/hでアシスト率が0対1になるように規制されている。このレギュレーションは、諸外国と比較すると「非常に厳しい」という点で際立っている。

2.2 電動アシスト自転車の中央と地方の疎密

電動アシスト自転車は、地方によって普及率にかなりの差がある。なかでも南海トラフ巨大地震および津波で、1万人以上の人的被害が出ることが予想されている県では、それぞれ静岡4.4%、愛知6.9%、三重5.4%、和歌山8.8%、徳島5.9%、愛媛5.4%、高知4.5%、大分4.0%、宮崎2.9%と、総じて低く、9県の平均は5.36%と全国平均の7.4%をも大きく下回っている。

2.3 調査「津波避難に自転車は使われたか？」（東日本大震災およびその他の実例）

津波避難の際の交通手段に自転車が使われた率は、各種の調査を見るに非常に低かったと言わざるを得ない。国土交通省の調査による東日本大震災の例をとると、避難手段は(1)徒歩2374トリップ(2)自転車52トリップ(3)クルマ3018トリップ(平地部・リアス部の平均)となり、自転車避難は全体のわずか0.9%に過ぎない⁹。これをリアス部と平野部に分けると、坂の勾配がより強いリアス部において、自転車避難の率はさらに低下し、0.5%になる。

3. MASにおける宮崎県日南市油津地区の設定

3.1 MASモデルとして日南市油津地区を選定した理由

本研究では、津波避難のMASモデルを、宮崎県日南市(人口約5万3000人)の油津(あぶらつ)地区とする。

油津地区を選定した理由は、直接的な津波の危険性、避難すべき高台の存在などがあげられるが、特に注目される理由は、中心市街地活性化法に基づく「中心街エリア(73.3ha)」である¹⁰。このエリアは「月給90万円」で「ま

ちおこし請負人」を公募し、マスメディアに大きく取り上げられたことから全国的に有名になった。その中心街エリアが図1の破線で囲まれた地域であり、そのほぼすべてが水没エリアに含まれている。油津地区は、近年の地方の疲弊に抗して中心市街地を活性化させようとする努力と、将来の巨大天災がぶつかるという、日本の現状を象徴するかのような場所であるといえる。

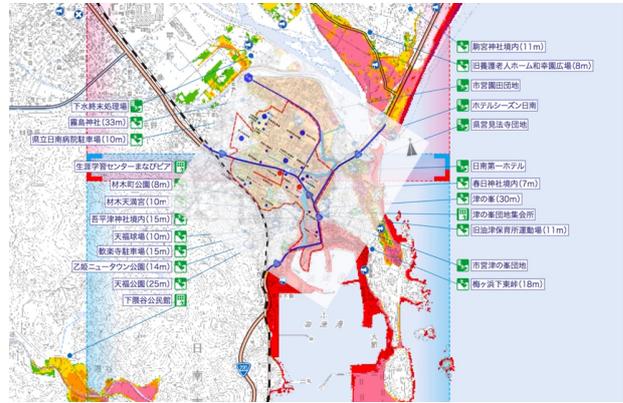


図1 油津中心街エリアと津波ハザードマップ *図の重ね合わせは筆者による

3.2 油津地区の特色と基盤となるデータ

油津地区は、天然の良港として古くから栄え、宮崎県南部の商業の中心地であったが、現在は人口減少の中にある。

同地区のベースマップとしては、日南市の「津波ハザードマップ地域別」の27と29を用いた。また住民基本台帳上の小地域(町丁・字等別)ごとの人口密度に合わせてエージェントを生成させるものとした。

3.3 油津地区の被災想定

3.3.1 津波が襲来するまでの時間

宮崎県が発表した「宮崎県震災開始時間予測図」によると、地震が発生してから油津中心街とその周辺に津波が到達するまでの時間的猶予は概ね25分。これは東日本大震災の際の時間的猶予に較べると短い¹¹。

3.3.2 油津地区に想定される津波高

図1の日南市津波ハザードマップを参照すると、中心市街地をほぼ覆うように津波高1m~2mの地域、その外縁部に0.3m~1.0mの地域が広がっているのが見てとれる。人々が避難する必要があるのは、油津地区のほぼ全域である。

3.4 油津地区の昼間人口について

油津地区は日南市の中心市街地であり、昼夜間人口に差があることが推測される。そこで統計局の経済センサスおよび国勢調査から次の計算式¹²で昼間人口を求めた。

5330人(油津地区の総人口) + {3499人(油津地区の従業者数) - 621人(油津地区の就業者数)} = 8208人

昼間人口は8208人。夜間人口(5330人)に比較して、2878人の増加(54%増)が認められる。

3.5 油津地区の津波避難ビルと避難所について



図2 11の緊急避難ビルと場所 *Google マップ航空写真を元に筆者が作成

日南市が指定する津波緊急避難ビルは5棟、緊急避難場所は13箇所存在する。合計18箇所の中、MASのゴールとしては、図2にあげる合計11の箇所を緊急避難ビルおよび避難場所を想定した。最大津波高を考えると、海拔14m以下は不相当と判断したためである。

3.6 病院・診療所についての扱い

日本医師会によると日南市の油津地区には、入院施設を持つ病院および診療所が5つ存在する。このうち鉄筋コンクリート7階建の「県立日南病院」をはじめ3棟(合計414床)は比較的新しく4階建て以上であり、院内での垂直移動による避難の方が、安全かつ妥当である。

しかし残る2棟については、最大高の津波襲来の際には大きな危険が生じ、合計最大37人の要介助人員が存在することになる。ただし本研究ではトータルで8,200人超のコンピュータ上のMASであることに鑑み、大勢に影響がないものと考え、分析対象とはしていない。もちろん現実の避難計画立案の際には考慮すべきである。

4. MASの設計

4.1 MAS “artisoc” 上の経路と手段を設定する

4.1.1 水没地点と非水没地点

日南市油津地区内それぞれの小地域の人口密度を元に、避難するエージェントを生成させる。エージェントが避難する街路については、油津地区のオープンストリートマップからシェイプファイルを作成し、GISシェイプコンバーターで読み込んだものを用いた。そこにハザードマップを重ね、エージェントシミュレータとの親和性を考え、街路上に交差点、曲がり具合などを損ねない形で、ドットを打ち、街路を「ドットを結びつけた線」として認識させた。

4.1.2 5つの避難手段と「てんでんこボタン」

想定される避難手段は(1)徒歩(2)クルマ(3)自転車(4)電動アシスト自転車(5)欧州仕様(EU仕様)電動

アシスト自転車の5種である。このうち(5)の、欧州仕様(EU仕様)電動アシスト自転車については説明を加える必要がある。想定している自転車は「日本型より相対的にハイパワー型」の電動アシスト自転車である。ここには筆者の構想「てんでんこボタン」が関連してくる。

「てんでんこボタン」とは津波などの緊急時に限り使用できるリミッター解除スイッチであり、オンにすると図3のようにスピードが上がってもアシスト率の漸減がなくなる。

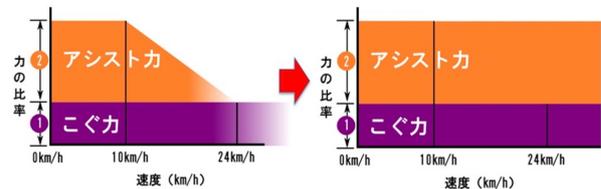


図3 左が普通の電動アシスト自転車、右が「てんでんこボタン」オンの状態

しかし、法律をクリアし、実用化するにあたっては、次の項目を示さねばならないとの回答を、警察庁から得た。

- i) 「てんでんこボタン」で、本当にスピーディに避難できるのか。そのエビデンスを示せ。
 - ii) 「てんでんこボタン」は、本当に安全なのか。10km/h以上アシスト率2でも安全であるというエビデンスを示せ。
 - iii) 平時と非常時の区別をユーザーに任せては、軽車両(自転車)と、免許が必要な車両(原付)の区別が曖昧になり、免許というものの意味が失われる。ユーザーが恣意的に平時非常時の判断ができないようにする物理的な方策を示せ。
- そこで、まず i) の項目について、少なくともMAS上での有効性を示したいというのが、この選択肢なのである。

4.2 時間と速度についての考え方

4.2.1 それぞれの速度をどう設定するか?

国土省2013の東日本大震災後の調査、田原市での避難訓練(村上ら2016)、山崎ら2009¹³の自転車登坂データ、ヤマハ発動機の非公式なデータなど、既往研究各種から、5種の避難手段について、次のような速度を設定した。

- 徒歩 4km/h
- クルマ 30km/h
- 自転車 10km/h
- 電動アシスト自転車 12km/h
- 欧州仕様(EU仕様)電動アシスト自転車 18km/h

4.2.2 避難行動を開始してから避難行動を完了するまで

浦田ら2013¹⁴など既往研究を参考とし、本研究では、地震後5分後に最初のエージェントが避難行動を開始し、15分後にすべてのエージェントが避難行動に入るものとした。この設定は、現実の東日本大震災での実績より、かなり早い。これは南海トラフ地震の発生から津波到達までの時間が、東日本大震災実績より短いことが予測されるためである。「助かるためには(油津地区の場合)地震発生から何分後に避難しなくてはならないか」を提示することも考え「避難するのが不可能ではない中で最速」であるところの、避難行動開始時刻、開始完了時刻を設定した。

また避難の際には、一般に避難行動の開始から、避難行動開始の完了までに、極めて個人的なばらつきが生じるため、正規分布より現実に近いと考えられる一様分布での避難開始を仮定した。

4.3 エージェントが行動する「場（ユニバース）」の設定

4.3.1 上り坂の設定

本研究の舞台である油津地区は、平地と坂道の差が比較的はっきりした地形であるといえる。そこで標高線が密であるところ、および、それより高い部分をすべて「坂道エリア」として、それぞれに次のような減速レシオを与えることにした。

- クルマ 30km/h → 30km/h 0%減速
- 徒歩 4km/h → 2km/h 減速 50%
- 普通自転車 10km/h → 5km/h 50%減速
- 電動アシスト自転車 12km/h → 8.4km/h 30%減速
- 欧州仕様電アシ自転車 18km/h → 14.4km/h 20%減速

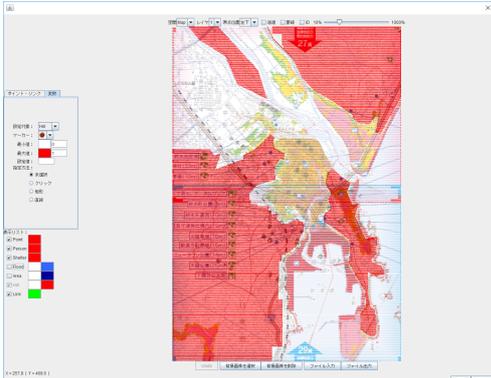


図4 坂道エリアの設定（エージェントが濃い色の部分に入ると減速する）

4.3.2 セーフティゾーン（ゴール）の設定

セーフティゾーンの設定は、①GIS上に記された被水没道路地域、②津波時緊急避難所、③津波時緊急避難ビル、の3つとした。このうち③については、いずれも街なかであり、クルマを駐める場所が不十分で混雑を招くことからクルマのゴールとしては設定しない。

4.3.3 渋滞の閾値・影響度

渋滞閾値は「当該エージェントから半径10m内に、何台のエージェントが存在するか」である。また渋滞の影響度については、それぞれの避難手段の密度が閾値を超えた時点で速度が減少する乗率とした。それぞれの閾値と影響度は4.4に記す。

なおクルマと自転車の相互干渉に関しては、地方での自転車の多くが歩道を通ること、自転車がクルマの渋滞をすり抜けていけることなどから今回のMASでは考慮していないが、歩行者との干渉も懸念され、今後、自転車避難の可能性を考えるに際して課題として残されたといえる。

4.3.4 避難エージェントにとっての海側と山側の意識差

津波から避難する際に人間の心理としては「海側に逃げる」という行動は考えにくい⁵。そこで、まず津波が襲来する方向、つまり住民が恐れるであろう「海方向」に“Flood Line”というラインを設定し、各エージェントにはステップごとの避難行動の際、Flood Lineから遠ざかる行動をとることをルールとした。

4.4 「個（エージェント）」の設計

以上のことを踏まえ、避難手段それぞれの避難速度、坂道の減速率、渋滞閾値、影響度などを次のように設定した。

表1 避難手段それぞれのエージェント設計

4.4.1 徒歩 (Human) エージェント
■避難速度 4km/h 坂での減速率 50% ■渋滞の閾値 0、渋滞の影響度 0 (影響度が 0 ゆえ、閾値は何でも可) ■経路の条件 すべての経路を使って最短のコースを選ぶ。
4.4.2 クルマ (Car) エージェント
■避難速度 30km/h 坂での減速率 0% ■渋滞の閾値 2、渋滞の影響度 0.9 ■経路の条件 より幅の広い幹線道路を指向するが、すべての経路を使って最短のコースを選ぶ。
4.4.3 自転車 (Bicycle) エージェント
■避難速度 10km/h 坂での減速率 50% ■渋滞の閾値 4、渋滞の影響度 0.3 (影響度をクルマの3分の1に設定) ■経路の条件 Car エージェントに準ずる。
4.4.4 電動アシスト自転車 (Bike “J”) エージェント
■避難速度 12km/h 坂での減速率 30% ■その他、Bicycle エージェントに準ずる。
4.4.5 欧州仕様電動アシスト自転車 (Bike “E”) エージェント
■避難速度 18km/h 坂での減速率 20% ■その他、Bicycle エージェントに準ずる。

5. MASの実行と分析

5.1.1 前提となるコンセプト「仮想の油津地区」

本研究のコンピュータシミュレーションは、日南市油津地区に材をとっている。しかしながら、このシミュレーションは、油津地区と似た「仮想の油津地区」と呼ぶべきものであって、似てはいるものの現実ではない。本研究で言えるのは、その「仮想の油津地区」の避難行動に、自転車というものが加わると、どういふ変容をするか、ということに骨子がある。その変容部分が現実にも当てはまる蓋然性が高いのではないかと、という考え方である。

5.1.2 6つの避難手段の分担率設定

- 5つの避難手段のパーセンテージを変えて、いくつかの設定を作ってみた。その代表的なものは以下の6つである。
- (1) 東日本大震災と同じ（徒歩が43%、クルマが52%、残り5%を便宜上自転車3種に割り当てる）場合
 - (2) 徒歩避難100%の場合
 - (3) クルマ避難100%の場合
 - (4) 徒歩20%、クルマ20%、普通自転車20%、電アシ自転車20%、欧州仕様電アシ自転車20%、で割り振った場合
 - (5) (4)と同じ割合で人口を10分の1にした場合

(6) 徒歩、クルマ、自転車を3分の1ずつ割り振った場合

図5のグラフのスケールは3600ステップ(60分)、縦ラインは25分時点。MASの設定上、各小地域ごとにランダムにエージェントが生成されるため最初から浸水地域外にいる人数を減じ、平均して6500人前後が避難人数となった。

5.2 それぞれの結果と、その分析

MAS実行の結果、次のような特徴が現出した。

5.2.1 クルマ避難は、渋滞のため逃げ遅れが生じやすい

たとえば前項(1)の場合、25分ラインでの逃げ遅れが1148人、その率に注目すると、徒歩が7.8%であるのに比してクルマは26.8%と、およそ3.4倍の開きが出た。またクルマ100%とした(3)の場合、25分時点で2012人(約30.3%)が逃げ遅れるという結果となった。これは避難手段5種の組み合わせの中で、最もスコアの低いものである。

5.2.2 自転車3種を混合させると

①避難手段を分散させた方が避難効率は高い傾向となる

②自転車は概ねアシスト率が高い方が避難効率高い

顕著に避難完了率が高く、逃げ遅れが少なかったのが、それぞれ20%に割り振った結果であった。

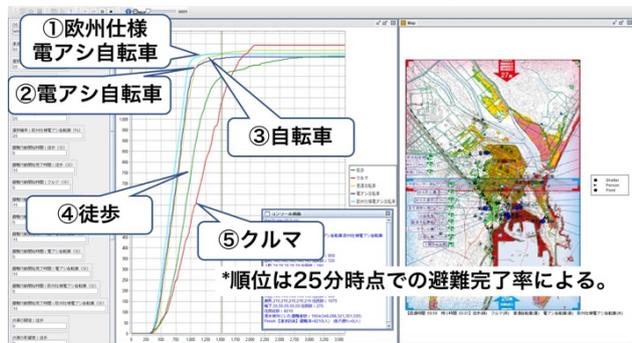


図5 徒歩20%、クルマ20%、普通自転車20%、電動アシスト自転車20%、欧州仕様電動アシスト自転車20%、で割り振った結果(○数字は順位)

25分ラインでの逃げ遅れ人数は合計415人、94%の人がこの時点で避難を完了しているという結果を得た。避難完了率の順位は図5の丸数字に示した。自転車3種については、アシスト率が高い順に避難完了率は高かった。

5.2.3 渋滞さえなければクルマは最速である

これは(5)から得た結果である。油津地域の人口を10分の1とし、すべての避難手段の密度を落とすと、渋滞が起きず、クルマは圧倒的なスコアを記録した。それぞれの避難手段で完了率100%になった時刻が、表2である。

表2 それぞれの避難手段で避難完了率100%になった時間

	徒歩	クルマ	普通自転車	電動アシスト自転車	欧州仕様電動アシスト自転車
避難完了率100%になった時間	59分30秒	16分59秒	25分3秒	23分4秒	19分23秒

5.2.4 電動アシストでなくとも自転車は有効である

(6)の場合、25分ラインでの避難完了率、自転車99%、徒歩92%、クルマ76%となり、逃げ遅れ人数は724人だった。この数値は(1)の場合と較べ、かなりの好スコアであり、普通家庭にある自転車を避難計画に組み込むだけで、避難効率が向上することを強く示唆する結果となった。

5.2.5 徒歩は存外速い、しかし個人差リスクがある

(2)の結果、徒歩避難の逃げ遅れは493人と、かなり優秀なスコアを記録した。ただし徒歩という移動手段は個人差の要素が非常に大きく、健康や年齢などで、速度が変わる。要介助者(1.8km/h・日南市の想定)でMASを実行すると、25分時点での逃げ遅れ率が37.6%となった。ここには介助者が付く可能性があり、その場合、介助者ごと低速避難になる可能性が高い。

また、そもそも徒歩避難者の中には自ら歩けない人もいるであろうし、そうした要介助者には特別な車両、少なくともクルマが必要になってくる。本来的に、そうした避難者にとってこそクルマ避難は必要なのである。

5.2.6 自転車が増えるとクルマの避難完了率が高まる

いくつかのパターンを総合して考えると、クルマの避難完了率はクルマの密度と連動していることが分かる。表3は、クルマ40%では避難完了率74%、クルマ20%では78%と、クルマの比率が下がると避難完了率は上がることを示している。これは自転車の分担率が上がったことで、クルマの密度が下がり、渋滞が少なくなるからだと考えられる。

表3 5.1.9と5.1.6の比較(クルマの分担率に注目したもの)

避難完了人数(上)と避難完了率(下) 単位は人と%	徒歩	クルマ	自転車	電動アシスト自転車	欧州仕様電動アシスト自転車
徒歩30%、クルマ40%、普通自転車15%、電動アシスト自転車5%(5.1.9)	1798 92%	1959 74%	968 99%	984 100%	N/A N/A
徒歩20%、クルマ20%、普通自転車20%、欧州仕様電動アシスト自転車20%(5.1.6)	1194 92%	1055 78%	1303 99%	1282 99%	1307 100%

5.3 渋滞ポイントについての分析

MASの結果を観察すると、クルマによる渋滞は図6のような様相となった。



図6 顕著な渋滞が起きた5つのポイント(黒い連なりが渋滞部分)

最も北の産業道路には多くのクルマが集中し激しい渋滞が起きた。ここに関しては、現地視察の際、数多くのトラック等が行き来しているのを視認している。MAS で発生する車両エージェントは、すでにある車両をカウントせず、新たに生成させるため、MAS よりも現実の方がさらに激しい渋滞になることが懸念される。

一方、白い楕円で記した海沿いの渋滞部分は、天福公園、歓楽寺駐車場、梅ヶ浜下東岬の3点にクルマが集中する形となった。MAS 上は避難完了エージェントは消失することになるが、現実のクルマは消失しない。産業道路、国道222号線よりも「動かない渋滞」になる危険性が高い。

6. 総括

6.1 【結論】MAS モデルの分析で得られた成果

MAS モデル分析の結果「津波避難のために自転車、中でも電動アシスト自転車が有効である可能性は高い」ということが分かった。また次の3つの知見が得られた。

- ①電動アシスト自転車のみならず、普通自転車の避難完了率も有意に高く、徒歩とクルマに限られた現在の避難手段の想定に、新たに自転車を組み込む意味は大きい。
- ②避難手段に自転車を組み込むと、クルマの密度が減り、渋滞が起きにくくなることからクルマ避難者の避難完了率も高くなる。結果すべての手段の避難完了率が高くなる。
- ③避難者の中にはクルマ避難しかできない人（乳幼児、高齢者、要介護者、障害者など）がいる。それ以外は徒歩か自転車を選び、避難手段を分散させることが、全体避難完了率を高めるための現実的な手法である。

6.2 【考察】「てんでんこボタン」の可能性と、電動アシストシェアバイク活用の有効性

今回のMASで、いずれの場合も避難完了率において好スコアを記録したのが、欧州仕様（EU仕様）電動アシスト自転車であった。このエージェントは「てんでんこボタン」をオンにした電動アシスト自転車を模したものであり、減災のためはかなり有効である可能性が生じてくる。もしもこれがシェアサイクルにおいて供されるということであるなら「てんでんこボタン」のオンオフをユーザーでなく、中央集中制御で管理することが可能である。つまりこれによって、警察庁からの指摘 iii) が、クリア可能になる。また一方、電動アシスト自転車の普及率が地方において伸び悩む現状を考えると、シェアサイクルによって電動アシスト自転車を供するというのは、有効な手段の1つであろう。

6.3 まとめ、および今後の課題

今後に向けた課題は多い。まずMASの設計において、坂の勾配、道の幅員、空き地や公園の扱いなどの条件を取り込み、今以上に精緻にすることが求められる。また渋滞の設定も本研究の設定では、閾値を超えたときのみ作動する形になっており、これもシームレスかつ精緻にエージェン

ト設計するべきである。さらに津波発生時すでに道路上に存在する地域外のクルマについて、新たにユニバース設計する必要がある。こうした課題の上で、今回の油津地区のみならず、別地域にこの結果があてはまるかどうかの検証なども必要になるだろう。

クルマ避難のあり方についても、家族同乗、乗り合いなどの可能性が既往研究で示されている一方、5.1.3にあるとおりクルマ避難が必須の避難者もいる。こうしたクルマ避難のあり方をMASに取り込むことも次への課題である。

謝辞

本研究にあたり直接のご指導をいただいた、東京大学大学院工学系研究科 都市交通研究室の原田昇教授、高見淳史准教授、Giancarlo Troncoso Parady 助教の各先生方には、大変お世話になりました。心より感謝します。

本研究は、MAS のエキスパートである株式会社構造計画研究所の玉田正樹氏の協力なしには成り立ち得ませんでした。ここに深く感謝する次第です。また、玉田氏を筆者に紹介してくれたと同時に貴重なアドバイスを再三いただいた東大都市交通研究室の藤垣洋平博士にも、深謝します。

油津地区を管轄する地方自治体・日南市については、同市の嶋田恭平市長をはじめとして、さまざまな方に貴重な示唆をいただきました。深く感謝の意を表します。

脚注および引用文献

- 1 「長期評価による地震発生確率値の更新について」内閣府地震調査委（2018）
- 2 本論では、自動車のことをクルマと表記する。これは「自動車」では本論のテーマである自転車と文字が似ていてまぎらわしいのと「車」の一字では、車輪を持つ移動体全般を指すことになるからである。
- 3 「東日本大震災時の地震・津波避難に関する住民アンケート調査」（内閣府2012）
- 4 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「資料1車内から発見された遺体収容数」（警察庁提供資料2011年）
- 5 東日本大震災以後「クルマ避難禁止」が「やむを得ない場合を除き避難のためにクルマを使用しない」となった。国土省「地震・津波発生時の避難の考え方」
- 6 地震は午前5時59分起きた。震源地は福島県沖（いわき市の東北東60km付近）、最大震度5弱、仙台港では最大1.4mの津波が到達した。
- 7 「津波避難における移動手段と自転車活用に関する研究 - 南海トラフ地震に備える愛知県田原市の訓練事例」村上ひとみ、脇浜貴志、小山真紀、奥村与志弘（地域安全学会論文集 2016年1月）
- 8 「地域ごとの津波避難計画策定を支援する津波避難評価システムの開発」畑山満則、中井楓子、矢守克也（情報処理学会論文誌 Vol. 55 No. 5 2014年）
- 9 「津波防災まちづくりの計画策定に係る指針（第一版）」国土交通省都市局都市安全課・街路交通施設課（2013年）による。
- 10 「日南市中心市街地活性化基本計画の概要」日南市まちづくり課2013年
- 11 「タイムスタンプデータによる津波到達直前の陸前高田市内の状況の推定」（牛山ら2012年）では最も早い地点で37分後、遅い地点で45分後と推定している。
- 12 法政大学・日本統計研究所の「経済センサスと国勢調査の統合データから見た地域の労働供給力と労働需要力について（5～7ページ）」による。
- 13 「自転車の快適さマップに係る評価手法の検討」山崎晴彦、児玉滋彦、花村嗣信、落合成泰、谷村信一（第39回土木計画学研究発表会・講演集2009年）
- 14 「津波避難時の避難開始時刻に与える事前行動の影響分析」浦田淳司、羽藤英二（日本都市計画学会都市計画論文集Vol. 48 No. 3 2013年）
- 15 「津波避難ビル等の要件及び留意点について」津波避難ビル等に係るガイドライン検討会 内閣府政策統括官（防災担当）2005年6月