

津波避難における電動アシスト自転車の有効性 -宮崎県日南市における MAS モデル分析から-

疋田 智¹・玉田 正樹²

¹正会員 NPO 法人自転車活用推進研究会 理事 (〒141-0021 東京都品川区上大崎 3-3-1 自転車総合ビル 4 階)
hikita@ss. iij4u. or. jp

²非会員 株式会社 構造計画研究所 次世代事業開発部 MAS 社会デザイン室 (〒164-0011 東京都中野区中央 4-5-3)
tamada@kke. co. jp

本研究の目的は、我が国喫緊の課題である南海トラフ巨大地震とそれに伴う津波からの避難に自転車、中でも電動アシスト自転車の有効性を検討することである。検証方法としてマルチエージェントシミュレーション (MAS) を用い、その対象都市として宮崎県日南市の油津地区 (昼間人口約 8,000 人) を選定した。MAS の結果、自転車による避難は電動アシストの有無によらず避難者自身が助かる可能性を高めること、そして電動アシストのアシスト率が高いほど避難完了時間を短くすることが分かった。また自転車避難者の割合を高く設定すると必然的にクルマの割合が下がるため渋滞が軽減され、クルマ避難者の避難完了率も向上する可能性があるという結果が得られた。電動アシスト自転車のみならず、通常の自転車による避難も避難完了率が高いという結果は、国や地方自治体の津波避難計画において、徒歩とクルマだけではなく自転車を想定することが有効であることを示唆している。

Key Words : 津波避難 電動アシスト自転車 南海トラフ地震 東日本大震災 渋滞

1. はじめに

内閣府地震調査委員会によると、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。地震の直接的な被害も大きいと予想されるが、地震後に沿岸部を襲う津波の被害はさらに甚大になることが予想される。

2011 年の東日本大震災の際、クルマでの避難、徒歩の避難の率が、それぞれ 52.5%、43.2%を占めた¹⁾。このとき避難手段の過半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り、その結果、多くの人命が損なわれた。

しかし、いわゆる「クルマ社会」が進んだ日本の地方においては、こうした事実にもかかわらず、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 5 年しか経っていない 2016 年 11 月 22 日早朝に起きたいわき沖の地震でも、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。

現在、国および自治体が想定している津波時の避難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 2 つの手段は、体力による速度の多寡、疲労による速度低下、渋滞の有無など、それぞれにマイナス面を内包している。他方、公共交通機関は非常時にはストップする。

では、徒歩、クルマ以外の避難手段はないのだろうか。その選択肢を考えるに、普及率、スピードの潜在

力等を鑑みると、最初に指を屈すべきは自転車であろう。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、それぞれのマイナス面が薄まり、より多くの人命が救えるのではないかと、というのが本研究の考え方である。

2. 本研究の仮説と手法

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」「自転車自体が速いというだけでなく、自転車避難が増えることでクルマの避難比率が相対的に減り、渋滞が減少し、全体として避難完了率が高まるのではないか」というものである。

ただし仮説の検証方法として、現地で実地の実験をすることは、安全の観点、住民及び警察の協力の有無、規模の問題等を鑑み、困難であることが想像できる。

そこで自転車避難の可能性を探る手法として (株) 構造計画研究所による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、その結果を分析することとした。artisoc はコンピュータ上の仮想空間に仮想ヒューマノイドであるエージェントを配し、エージェント同士の相互作用を再現することで、社会現象など人間の意思決定に基づいた行動様式を分析する MAS プラットフォームである²⁾。

本研究では、津波避難の MAS モデルとして、宮崎県

日南市（人口約 5 万 3000 人）の中心商業地区である油津地区（昼間人口約 8000 人）を設定した。油津地区選定の理由は、直接的な津波の危険性が高く、避難すべき高台が存在することなど以外に、中心市街地活性化法に基づく「中心市街地エリア（73.3 ha）」の存在にもある。2013 年、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。その中心市街地エリアが図-1 の左上部、黒枠内の赤破線で囲まれた地域である。同図のハザードマップ³⁾と対照すると分かる通り、そのほぼすべてが津波時の水没エリアに含まれている。油津地区においては、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、将来の巨大災害が、同一エリアとして重なっているといえる。

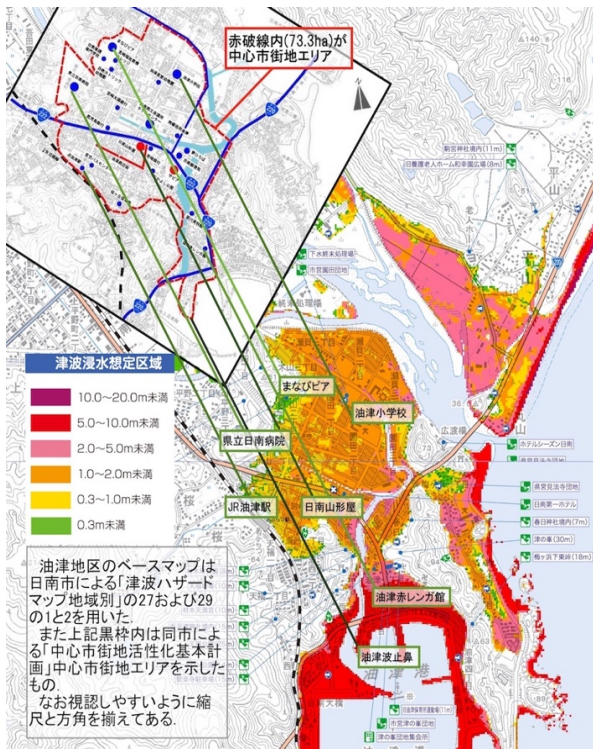


図-1 油津地区のハザードマップと中心街エリア

3. MAS の設定

MAS “artiso” の構図を場（ユニバース）と個（エージェント）に分け、既往研究を参考にして、次のような設定をした。

(1) ユニバースの設定

油津地区の昼間人口は 8208 人。ゴールは非水没地域（図-2A）か緊急避難場所およびビル合計 18 箇所（図-2B）。上り坂を「坂道エリア」として指定した。また海から離れようという人間心理⁴⁾を再現するために、エージェントが忌避する Flood Line（図-3）を設定し、各エージェントはステップ（artiso 内の時間単位≒秒）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。また油津地区の路上にはすでに 100 台のクルマが存在するものとした。さらに宮崎県によると油津地区に津波の第 1 波が到達するのが地震発生から 25 分後とみられており、この時刻を避難の制限時刻とした。

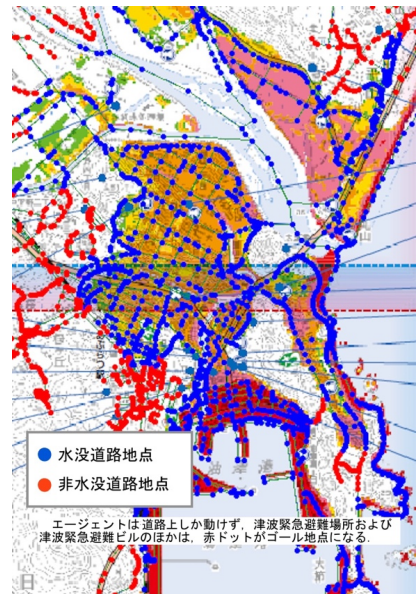


図-2A 油津地区の水没道路地点と非水没道路地点

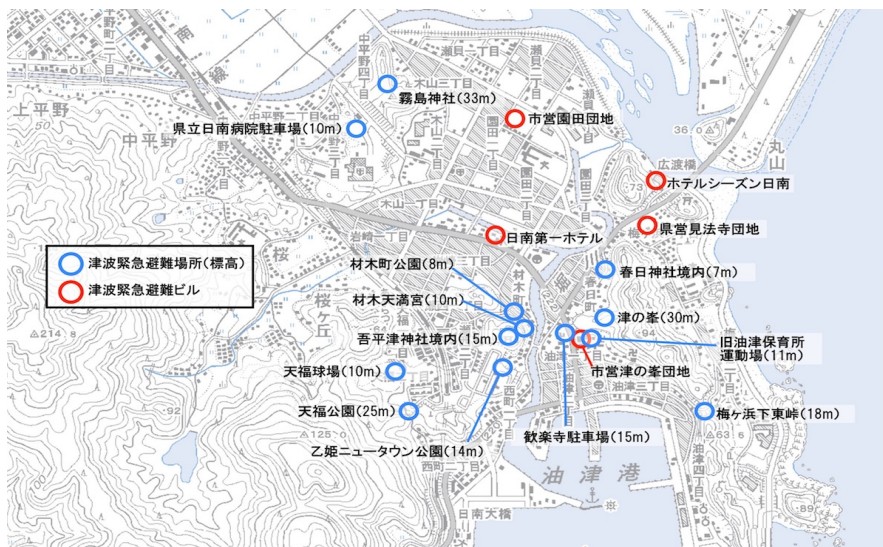


図-2B 日南市指定の津波緊急避難場所と津波緊急避難ビルの位置

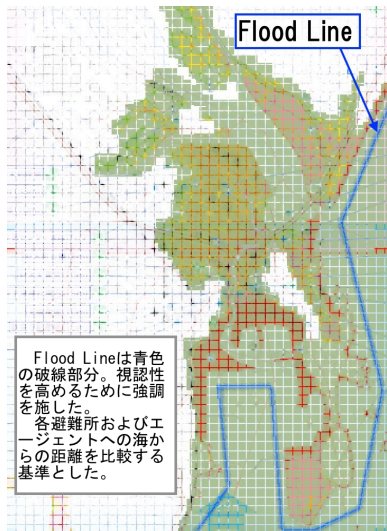


図-3 Flood Line

(2) エージェントの設定

避難手段は、徒歩、クルマ、自転車、電動アシスト自転車、欧州仕様ハイパワー電動アシスト自転車の 5 種とした。東日本大震災の事例から、避難者の避難開始時刻の分布を正規分布と仮定し、平均値を 14 分、標準偏差を $(25-14) \div 2.5 = 4.4$ 分とした。各エージェントのそれぞれの速度と、坂道での減速率、渋滞影響度などは、表-1 の通りである。

表-1 避難手段それぞれのエージェント設定

1 徒歩 (Human) エージェント
避難速度 3.6 km/h 坂での減速率約 28% 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。
2 クルマ (Car) エージェント
避難速度 30 km/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。またクルマ避難に関しては同乗避難の可能性があることから、横山ら (2016) 竹居ら (2018) をもとに 1 台のクルマに平均 2 人が乗っているものとした。
3 自転車 (Bicycle) エージェント
避難速度 10 km/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 Car エージェントの 3 分の 1 に設定) 経路の条件: Car エージェントに準ずる。
4 電動アシスト自転車 (EB "J") エージェント
避難速度 12 km/h 坂での減速率 30% その他、Bicycle エージェントに準ずる。
5 欧州仕様電動アシスト自転車 (EB "E") エージェント
避難速度 18 km/h 坂での減速率 20% その他、Bicycle エージェントに準ずる。

4. MAS 実行の結果

MAS 実行の結果得られたのが、図-4 以下のグラフとなる。それぞれ縦軸を避難完了人数、横軸を時間経過とした。それぞれ同じ分担率で 10 回 MAS を実行し、その平均値をとった。

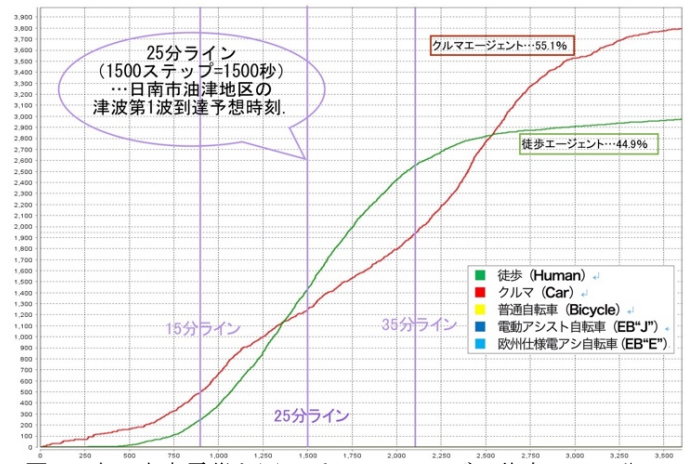


図-4 東日本大震災と同じパーセンテージの徒歩クルマ分 担率による時間経過と避難完了者数

図-4 は東日本大震災と同じパーセンテージでの徒歩とクルマの避難完了率を示したものである。現実の避難行動の大部分が徒歩とクルマで占められた実態から、シミュレーション設定を、徒歩とクルマのみの 100%と仮定し、同じ割合で数値を調整し、徒歩約 44.9%、クルマ約 55.1% (合計 100%) で MAS を実行した。

赤い折れ線 (クルマ) が概ね 1100 秒から 2300 秒にかけて、凹んでいるような形になり、スピードが落ちていることが分かる。これが渋滞部分であると比定でき、この間に徒歩の避難完了人数がクルマの避難完了人数を上回っている。25 分ラインでの避難完了者数は約 2700 人、避難完了率は 38.6% となった。

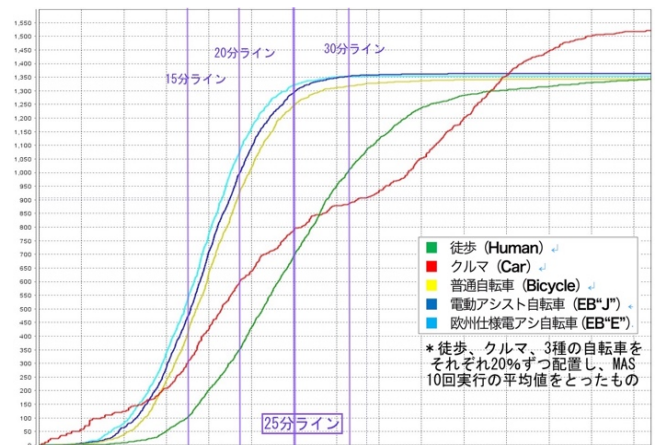


図-5 5 種の避難手段の分担率を 20% ずつにした場合の時間経過と避難完了者数

図-5 は避難手段に 3 種の自転車を組み込み、それぞれ 20% ずつ分担したと仮定した場合のシミュレーション結果である。25 分ラインでの避難完了者数は合計約 5300 人、75.7% 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。図-4 に較べるとトータルの避難完了率が約 2 倍弱となった。また図-4 と比較すると、クルマの渋滞発生がグラフ右にずれ込み、徒歩よりも避難完了人数が多くなっているのが特徴的である。これはクルマの比率が相対的に下がることにより渋滞が起きにくくなり、この時間におけるクルマの避難完了率が上がったことを意味している可能性がある。

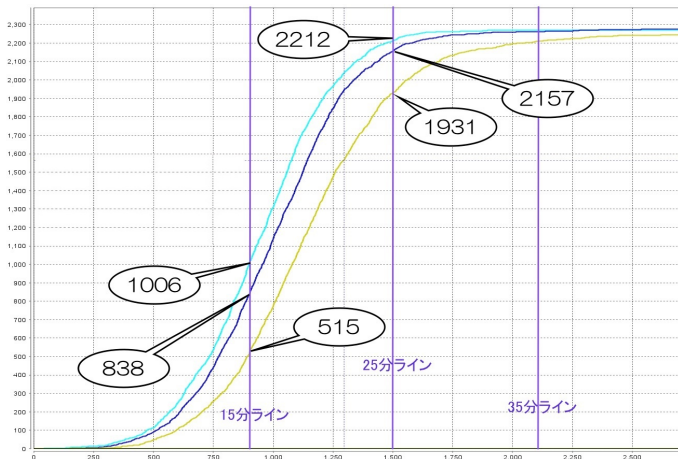


図-6 3種の自転車分担率を3分の1ずつにした場合（左から、淡青・欧州仕様（EU仕様）電動アシスト自転車、濃青・電動アシスト自転車、黄色・ノンアシスト自転車）

一方、図-6は、3種の自転車のみで避難した場合の比較である。ここで注目すべきは15分ラインで、欧州仕様のハイパワー電動アシスト自転車は、ノンアシスト自転車の約2倍の避難完了数を示している。25分ラインでは自転車3種の差はほぼなかったが、それは自転車3種がこのシミュレーション設定においては、すでにほぼ全台避難完了していたからである。

15分ラインでの結果は、震源がより近い、たとえば浜松市や静岡市など一刻を争う場合、アシスト力の強い電動アシスト自転車が有利であることを示しているといえる。

5. 本研究の結論

以上のMASの結果、次のような結論が得られた。

自転車による避難は電動アシストの有無によらず避難者自身が助かる可能性を高めること、そして電動アシストのアシスト率が高いほど避難完了時間を短くすることが分かった。

また自転車避難者の割合を高く設定すると必然的に

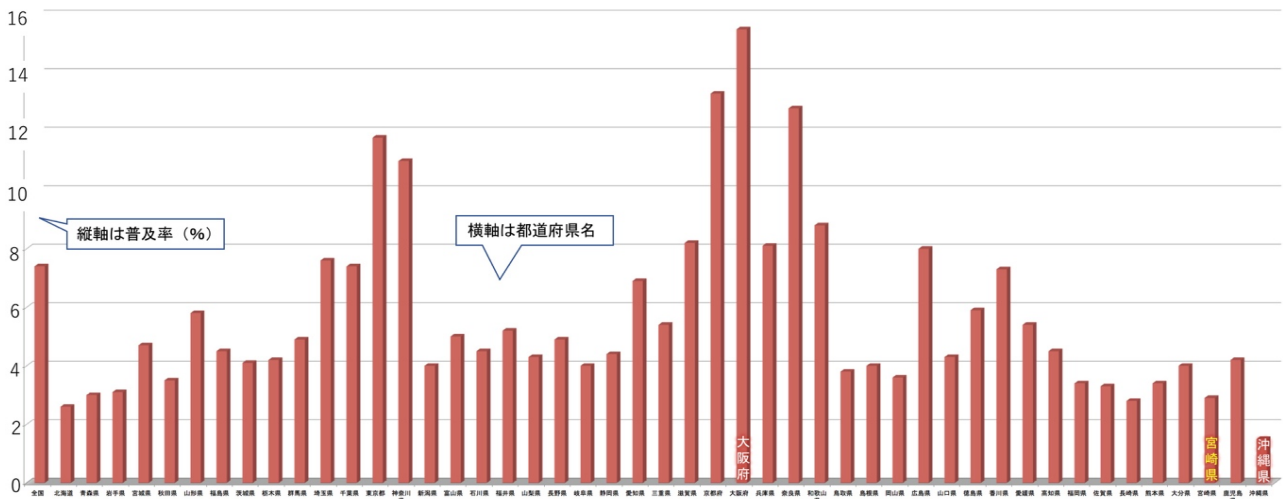


図-7 電動アシスト自転車都道府県別普及率（2014年・全国消費実態調査から グラフは筆者作成）

クルマの割合が下がるため渋滞が軽減され、クルマ避難者の避難完了率も向上する可能性があるという結果が得られた。

電動アシスト自転車のみならず、通常の自転車による避難も避難完了率が高いという結果は、自治体等の津波避難計画において、徒歩とクルマだけではなく自転車を想定することが有効である可能性を示唆している。

6. 今後の研究課題

本研究では、津波避難における自転車の有効性を示した。しかし、その数値を示しただけでは、現実の大地震の際、人々が避難のため自転車を使うかどうかは非常に心もとないといえる。現に筆者は日南市でのフィールドワークで、日南市役所の職員をはじめ、多くの人から「しかし現実として、自分はやはりクルマを使うだろう」というヒアリング結果を得ている。

その理由としては、自転車は上り坂が辛いと思われがちなこと、普段から自転車にあまり馴染んでいないこと、自転車は中高生のものであるというイメージが強いことなどがあげられた。さらに地方部における電動アシスト自転車の普及率の低さにも理由があると考えられる。経済産業省の統計を見ると、電動アシスト自転車が普及しているのは主に近畿圏と首都圏の都市部であり（図-7）、地方部、特に南海トラフ地震とそれに伴う津波の危険性が大きいと思われる地域では総じて低い。ここをどう克服していくかが今後の課題といえよう。

筆者は、東京で8000台を数える「電動アシストシェアサイクル」にヒントがあると考えた。たとえば（株）ドコモバイクシェアが運営するシステムは、GPSで管理され、非常時には全台いっせいに鍵を外すことができるため、いざというとき誰でも乗れるフリーバイクとすることが可能であるという。このような電動アシストシェアサイクルのシステムを「平時は観光に、非常時は避難に」として運用すれば、その台数分の生命が救われるのではないかと筆者は考えるのである。

謝辞：本研究において油津地区を管轄する地方自治体・日南市については，同市の崎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。また執筆にあたり直接のご指導をいただいた，東京大学大学院と東京都市大学大学院の諸先生方に深謝いたします。

参考文献

- 1) 内閣府：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，2012.
- 2) 堀宗朗, 末松孝司, 荒木秀朗, 奥村与志弘, 土肥裕史：避難シミュレーションにおける品質保証の現実と今後の展望，日本地震工学論文集，15 巻 5 号 p. 5144-5157, 2015.
- 3) 日南市津波ハザードマップ
<https://www.city.nichinan.lg.jp/main/disaster/page001014.html>.
- 4) 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：津波避難ビル等の要件及び留意点について - 位置的要件について，2005.
- 5) 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，第 53 回土木計画学研究発表会講演集，2016.
- 6) 竹居広樹，奥村誠：津波避難における自動車利用率設定のための基礎的分析手法，土木学会論文集 D3（土木計画学）Vol.74，2018.

RESEARCH ON EFFECTIVENESS OF USING ELECTRIC ASSISTED BICYCLE TO REDUCE DAMAGE CAUSED BY TSUNAMI

Focusing on MAS model analysis in Nichinan Aburatsu district -
Satoshi HIKITA and Masaki TAMADA