

# 津波避難交通シミュレーションによる歩車相互作用を考慮した 避難交通流への影響分析\*

東北大学災害科学国際研究所 堀合 紳弥  
東北大学災害科学国際研究所 奥村 誠

## 1. はじめに

2011年東日本大震災では、避難車両による渋滞などの課題が浮き彫りとなり、震災以前より提唱されていた原則徒歩避難が改めて推奨されてきた。その後、令和2年に千島海溝・日本海溝地震による津波浸水想定が公表<sup>1)</sup>され、やむを得ない場合の車両避難を容認<sup>2)</sup>する動きが増加している。しかし、車両避難が多数発生した場合、歩道が整備されていない細街路などの路線では、歩行者と車両の接触機会が増加し、交通流の悪化が懸念される。

本研究では、津波発生時の歩車混在避難による相互影響が、交通流へ与える影響を分析するため、追従走行モデル(以下、走行モデル)を歩行および走行速度の制御に応用し、他者との相互影響を考慮したマルチエージェントシステムによる歩車混在避難交通モデル(以下、本モデル)を構築する。また、構築した本モデルに基づいて、図-1に示す青森県八戸市中心市街地を対象とし、歩車間の影響を考慮した避難シミュレーションを行う。

## 2. 津波避難計画における避難交通問題

現行の津波避難計画では、地域の居住エリアから避難地点までの避難可能距離を算定し、避難経路や避難困難区域の設定が行われている。しかし、距離算定で用いられる計算条件は、歩行者や車両は互いに影響を受けずスムーズな移動を仮定した歩車分離避難であり、避難可能時



図-1 研究対象地域(左)と計算対象範囲(右)

\* Analysis of the Effect on Evacuation Traffic Flows Considering Pedestrian-Vehicle Interactions Using Tsunami Evacuation Traffic Simulation by Shin-ya Horiai and Makoto Okumura

間と速度から避難可能距離を算出している。この算定方法では、歩行者間および車両間の混雑や、歩車混在の状況下での相互影響による交通流の悪化は考慮されていない問題がある。

そこで、歩行者と車両が相互に与える影響を考慮し、歩車の分離避難と混在避難での交通流全体へ与える影響を把握するため、表-1 に示す5 ケースを設定する。

まず、共通条件として、車両は先行車両の追越しを認めず、接近した場合には後方で追従走行を行う。また、歩行者からは影響を受けないケース A と、様々な理由から歩行者と車両が同一の車線を使用する状況を想定し、接近時には減速のち追越しを行うケース B を設定した。

さらに、ケース B に加えて、歩行者は地域の様々な身体能力の住民が徒歩避難した場合の個体差の影響や、渋滞時などの車両との交錯による影響を受ける。そこで、ケース B を基準として、先行車両のみの追越しを認めないケース C、先行歩行者のみの追越しを認めないケース D、先行車両および歩行者両方の追越しを認めないケース E と条件を設定した。

### 3. モデル構築と計算方法

著者ら<sup>3)</sup>は避難車両の交通流を検討するため、車両走行に対して歩行者への接近による影響を考慮した、避難車両交通モデルを構築している。このモデルでは、車両が先行する歩行者を追越す際の行動を考慮し、歩車交錯の影響を求めるモデル構造となっている。車両速度のみの制御を行い、歩行速度の制御は行われていない。すなわち、歩行者間の混雑や歩行者に対する車両からの影響は考慮せず、歩行者は一定速度での行動を行うものと考えていた。

本モデルでは、上述の各ケースを分析できるように、設定した走行速度に加え歩行速度の制御にも走行モデルを応用した歩車混在避難交通モデルへと拡張する。避難者相互の接近状況や個々の速度変化による交通流全体への影響を把握するため、マルチエージェントシステム NetLogo6.4.0 を使用したマイクロシミュレーションモデルとした。

計算アルゴリズムを図-2 に、詳細な計算条件およびパラメータを表-2 に示す。歩行者および車両の各エージェントは、避難開始時間から順次道路ネットワーク<sup>4)</sup>を移動し避難目標地点へと向かう。避難開始時間は東日本大震災での避難行動に関する調査結果<sup>5)</sup>を参照し、A\*アルゴリズム法に基づく最短経路探索によって経路を探索したのち、避難を開始する。歩行者は地震発生 15 分後から、車両は同じく 25 分後から順次避難を開始する。歩行者および車両は自身の

表-1 ケース設定

ケース	相互作用の設定
ケース A	車両は歩車間と歩行者間の影響を受けない。先行車両には後方追従。
ケース B	車両は先行歩行者を減速のち追越しできる。先行車両には後方追従。
ケース C	ケース B + 歩行者は先行車両を追越しできない。
ケース D	ケース B + 歩行者は先行歩行者を追越しできない。
ケース E	ケース B + 歩行者は先行歩行者および車両を追越しできない。

周辺を通行する最直近の他エージェントを検知した場合、走行モデル<sup>6)</sup>(式(1))に基づき、相対距離および速度から加速度を計算し、加減速を行う。

歩行速度は、小坂ら<sup>7)</sup>の計算パラメータを参照し、高齢者の有無を踏まえた家族構成別に基準速度を設定したうえで、個別のエージェントごとにばらつきを与えている。

加速度の最大値として、最大歩行加速度は山田<sup>8)</sup>による室内実験結果に基づき  $0.5\text{m/s}^2$ 、最大車両加速度は市街地加速度の計算式<sup>9)</sup>に基づき、軽自動車(4輪駆動)の車両特性値を用いた  $0.9\text{m/s}^2(3.24\text{km/h/s})$ を設定して速度を制御する。

周囲のエージェントを視認する視距および視野角は、歩行者は視距=20m、視野角=90°を与えている。車両は道路ネットワークの属性情報に応じて視距を設定し、視距=50~20m、視野角=30°を与える。この視認範囲内で自らの行動に影響を受ける最近傍のエージェント

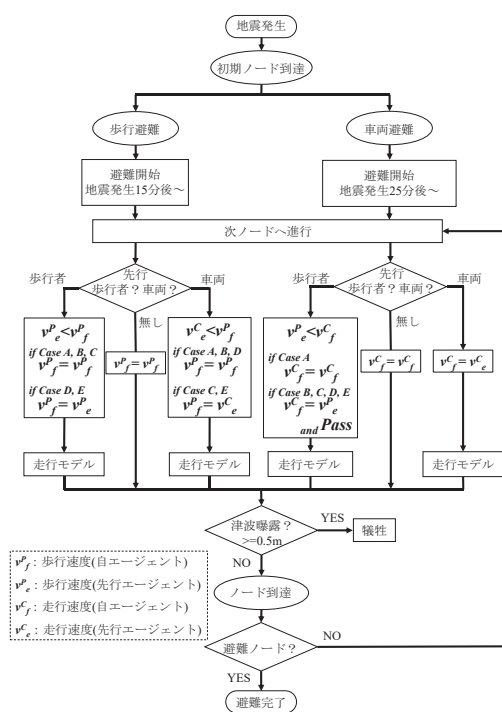


図-2 計算アルゴリズム

$$a_f^t = \alpha \left[ \frac{(v_f^t)m}{(x_e^{t-\Delta t} - x_f^{t-\Delta t})l} \right] (v_e^{t-\Delta t} - v_f^{t-\Delta t}) \quad \dots(1)$$

ここに、 $a_f^t$ : 加速度、 $v$ : 速度、 $x$ : 位置、 $\alpha, l, m$ : モデルパラメータ、  
 $t$ : 時間、 $\Delta t$ : 反応時間、 $e$ : 先行エージェント、 $f$ : 自エージェント

表-2 計算条件

計算実行環境	NetLogo6.4.0
計算ステップ	1ticks(step)=1sec
総エージェント数	648 世帯 (歩行 296 世帯 : 車 352 世帯)
歩行者 エージェント区分 : 基準歩行速度	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 高齢世帯 : 1.14m/s</li> <li>・ 非高齢世帯 : 1.3m/s</li> <li>・ 非高齢者世帯(高齢者含) : 1.25m/s</li> </ul>
基準運転最高速度	50km/h
加速度	歩行速度 : $0.5\text{m/s}^2$ , 車両 : $0.9\text{m/s}^2(3.24\text{km/h/s})$
経路探索法	A*アルゴリズム法
速度制御モデル	GM 追従走行モデル <sup>6)</sup>

を検知対象とし、走行モデルでの相対距離および速度を算出するためのパラメータを取得する。また、交通流の評価指標として、視認範囲の中で検知している最近傍のエージェントの割合である車両検知率および歩行者検知率を以下の2式でエージェントの種類ごとに定義する。この指標から、歩行者エージェントの歩行者検知率の高さは歩行者間での混雑状態、車両エージェントからの歩行者検知率の高さは歩車混在での混雑状態を表している。

$$\text{車両検知率(\%)} = \frac{\text{最近傍の検知対象が車両である種類別エージェント数}}{n\text{時点で避難中の種類別エージェント数}} * 100$$

$$\text{歩行者検知率(\%)} = \frac{\text{最近傍の検知対象が歩行者である種類別エージェント数}}{n\text{時点で避難中の種類別エージェント数}} * 100$$

#### 4. 計算結果

5 ケースの計算結果について、時点毎の平均移動速度の時間推移を図-3 に、視認範囲に基づく車両検知率および歩行者検知率を図-4、図-5 に示す。

車両が歩行者を追越す際の減速行動の影響を比較するケース A および B において、図-3 右の車両の平均移動速度の推移では、車両の避難開始直後に2倍程の速度差が生じている。追越し前後の減速と再加速が必要となることから、車両走行性が大きく低下していることが分かる。

図-3 左に示した歩行者の平均移動速度の推移では、歩行者が車両を追越せないケース C で、車両避難が開始する 1500sec 以降で速度低下が生じ、1900sec 周辺は小刻みに歩行と停止を繰り返している。この同期間の検知状況として、図-4 左の歩行者エージェントの車両検知率が検知と非検知を繰り返している一方で、図-5 右の車両エージェントによる歩行者検知率は比較的低い状態で推移している。これは、歩行者が車両を追越せず、車両の混雑下で車両が走行と停止を繰り返し、歩行者の停止をもたらした歩行速度の低下につながったと表される。

次に、図-3 左のように左歩行者相互で影響が生じるケース D、E では、歩行者間の影響がないケース A、B、C に比べて避難開始直後から歩行速度の低下が見られる。歩行者が減少する終盤までは低い状態で推移し、最後の歩行者の目標地点の到達時間は他の3ケースと比較して500sec ほどの遅延が生じている。図-5 左の歩行者エージェントの歩行者検知率は、60%近い値を持続しており、歩行者間での混雑が生じていることが分かる。これに伴い、ケース D、E では図-3 右の車両の平均移動速度も、歩行者と同様に避難開始直後から低い水準で推移しており、図-5 右の車両エージェントによる歩行者検知率も比較的高い検知状態が持続していることから、車両もスムーズに移動ができていない状態となっている。特に、ケース D の車両速度(図-3 右)では、1800sec 以降、ケース E より速度が下回っている。車両エージェントの車両検知率の推移は、この時間帯では図-4 右に示した車両エージェントの車両検知率が最も高くなっている。速度は低く、検知率は高い状態であることから、混雑により形成された車列を歩行者集団が追越すものの、車両が走行再開の際に、再度歩行者集団を追越す必要が生じるため、後続車両にも悪影響が波及した結果、歩行者が車両を追越さないケース E よりもさらに交通状態が悪化したと考えられる。

これらの結果から、歩行者間の相互影響は歩行避難者存在数や混雑箇所の増加をもたらし、車両が歩行者を追越す機会を増加させるため、車両の交通流に間接的な影響を及ぼすことが定量的に確認された。このことは、津波避難計画検討時に歩車混在影響を考慮する必要性を示している。

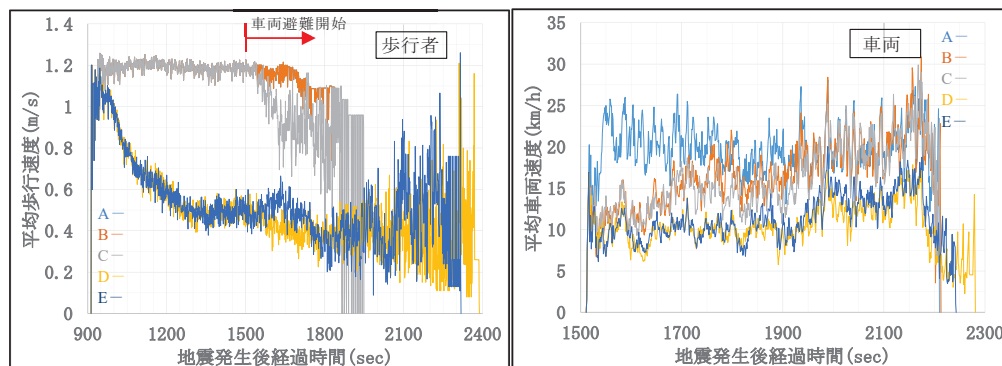


図-3 歩行者・車両の平均移動速度の推移

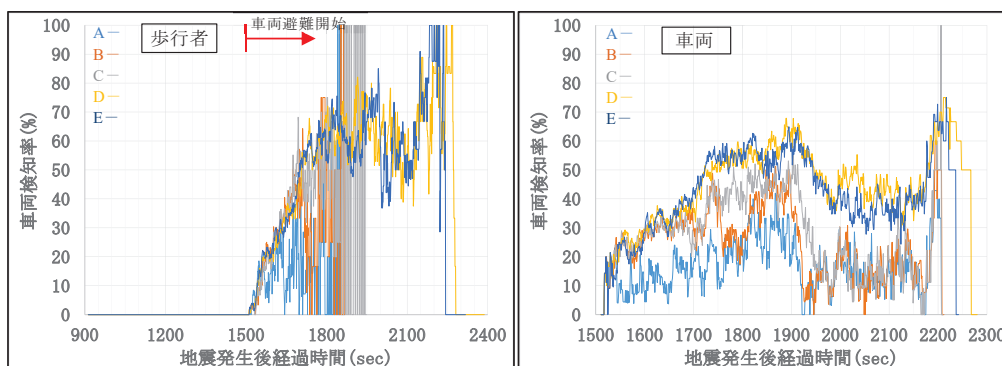


図-4 歩行者・車両の車両検知率の推移

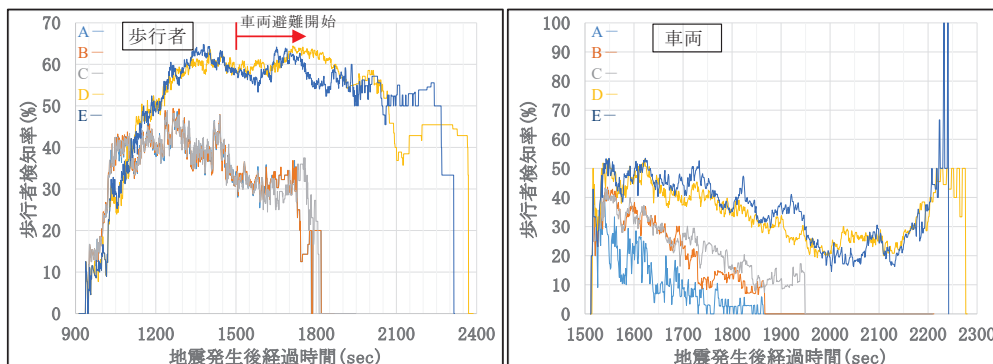


図-5 歩行者・車両の歩行者検知率の推移

## 5. おわりに

本研究では、歩行者と車両の混在による影響の重要性を把握するため、相互作用が異なるケースを想定し、走行モデルを車両および歩行者の速度制御に応用した歩車混在避難交通モデルを構築した。構築したモデルを用いて混在条件下のシミュレーションを行い、歩行者および車両の交通流への影響を分析した。

計算結果から、歩行者間の影響のみが生じる場合でも、歩行者集団の形成によって、車両が歩行者を追越す機会の増加など、車両へ波及する影響が生じることが確認された。今後の津波避難計画を検討する場合には、車両相互の影響による渋滞問題だけでなく、歩行者の車両への影響にも注意する必要がある。車両避難を容認する場合には、車両走行を妨げない歩行避難者側のルール作りや、歩行者と車両の避難経路を分離させる対策などが必要であると考えられる。

## 参考文献

- 1) 中央防災会議防災対策実行会議 日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震対策検討ワーキンググループ：日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震の対策について 報告書，2022.
- 2) 八戸市役所：八戸市津波避難計画  
[https://www.city.hachinohe.aomori.jp/soshikikarasagasu/kikikanrika/keikaku\\_plan/4435.html](https://www.city.hachinohe.aomori.jp/soshikikarasagasu/kikikanrika/keikaku_plan/4435.html). 2022.
- 3) 堀合紳弥，奥村誠：降積雪期における歩行者への追従を考慮した津波避難車両交通シミュレーション，東北地域災害科学研究，第 61 巻，2025.
- 4) OpenStreetMap:八戸市道路ネットワークデータ，  
<https://www.openstreetmap.org/export#map=15/40.51956/141.50451>.
- 5) 内閣府防災対策推進検討会議：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（主な調査結果），津波避難対策検討ワーキンググループ(東日本大震災における地震・津波時の避難に関する実態調査)，2012.
- 6) Prakash RANJITKAR, Takashi NAKATSUJI, Youichi AZUTA, Motoki ASANO and Akira KAWAMURA : A CONTEMPORARY REASSESSMENT OF GM CAR-FOLLOWING MODEL USING RTK GPS DATA, J.Infrastructure Plan. and Man., JSCE, No.793, IV-68, pp.121-132, 2005.
- 7) 小坂陽介，野村尚樹，大藤愛子，宮島昌克：マルチエージェントシステムを用いた津波避難に関する解析-輪島市臨海地域を対象とした事例研究-，土木学会論文集 A1(構造・地震工学)，Vol.73, No.4(地震工学論文集第 36 巻)，pp.I1010-I1017，2017.
- 8) 山田昇吾：歩行空間評価を目指した歩行加速度の性状把握と歩きやすさとの連関に関する基礎的研究，大林組技術研究所報，No.84，2020.
- 9) 環境省:四輪車の加速走行騒音規制について(乗用車・小型車)，PDF 資料 13-3-1，2013.