

CA法を用いた車両徒歩統合型広域避難シミュレータの構築 Development of car-pedestrian evacuation simulator in large urban areas with Cellular Automaton.

曾田康秀 町田岳 竹下幸美 幸弘美 渡邊明英
(株)東京建設コンサルタント
TOKEN C.E.E. Consultants Co., Ltd.
FAX: 03-5980-2604, E-mail: sota-y@tokencon.co.jp

Cellular Automaton (CA) is an effective tool to analyze the behavior of pedestrians. It can reflect not only local pedestrian-pedestrian interactions but also non-local recognition of peripheral obstacles and collective behaviors of nearby pedestrians. It can also be applied to the behavior of vehicles by dividing the road into several cells in the moving directions. In this paper we propose the CA model with car-pedestrian interaction, in which optical velocity (OV) model is combined to the CA model for vehicle motions. We apply this car-pedestrian interaction model to the evacuation in Koto delta region and investigate how pedestrian motions in narrow roads prevent vehicles from evacuating toward outside of the region.

はじめに

近年の豪雨による大規模な水害を踏まえ、都市部において、広域避難が検討されている。広域避難の手段としては第一に車両による避難が考えられるが、一度に多くの避難車両が発生すると渋滞が引き起こされ、柔軟な避難が阻害される。第二に鉄道などの公共交通機関による避難も考えられるが、駅へ向かうべく幅の狭い道路を多くの徒歩避難者が移動することでも、車両避難は阻害される。従って柔軟な避難を実現するためには、事前に適切な避難車両と徒歩避難者の割合をもとめておくことが必要であり、避難シミュレーションはそのための有効なツールになると考えられる。

数10万人から数100万人規模の避難に関しては、計算コストが低く実行時に即した避難シミュレータの構築が求められる。津波などの水害時の避難シミュレータとしては、DEMを用いたモデルが広く適用されている¹⁾²⁾³⁾。DEMモデルでは、徒歩エージェントは任意の方向を動くことができ、視界や情報伝達の機能も組み込まれている。しかしながら、エージェント同士の空間的重なりを防ぐため、時間刻みをエージェントの反応時間(約0.5秒)よりも十分小さく設定する必要がある。したがって、DEMモデルは、これまで計算負荷の少ない比較的小規模の避難シミュレーションに適用されている。一方で、セルオートマトン(CA)を用いた手法では、徒歩エージェントはセル上を移動するため、エージェント同士の重なりはなく、反応時間程度の時間刻みで数値計算を行うことが可能である。従ってCA法は大規模な避難シミュレーションに適していると言える。

車両の動きに関しては、これまで追従モデルや密度モデルなどさまざまな交通流モデル⁴⁾⁵⁾や避難行動モデル⁶⁾が提案されている。密度モデルは低コストでの数値計算を可能とするが、渋滞時の動きを正確に表現するのが困難である。一方、追従モデルは、前方車両との車間距離に対して各車両の動きが決定されるため、渋滞時の動きも表現できる。特に追従モデルの一つである最適速度モデル(OV)は、自由走行状態から渋滞状態への相転移や、衝撃波の発生などを的確に表現できることが知られている⁷⁾。OVモデルもDEMモデル同様、時間刻みを十分小さく取らなければ、エージェント同士の空間的重なりの問題が生じる。それに対し、我々は、CA法とOV法を組み合わせたOV-CA法を提案し、衝突問題の回避と計算効率の向上を示した⁸⁾。

本研究では、徒歩エージェントにCA法を、車両エージェントに対してOV-CA法を適用し、車両徒歩統合型の避難シミュレ

ーションモデルを構築する。特に、車両や徒歩エージェントの互いの位置の非局所的な認知に関しては、CA法で広く適用されている静的および動的場を導入する⁹⁾¹⁰⁾。2章では、車両および徒歩の避難エージェントの移動経路をネットワークで構築し、それぞれのネットワーク上で道路をセル分割し、各エージェントの位置情報を、道路IDと走路上のセルIDで取得し、車両と徒歩の相互作用をもとめる。

江東デルタは地盤が低く、荒川が破堤した場合には、大きな浸水被害がもたらされる可能性があり、徒歩と車両および公共交通機関を利用した広域避難計画が検討されている。3章では、本モデルを荒川下流の江東デルタに適用し、徒歩と車両の相互作用による車両エージェントの避難完了時間の遅れを考察する。

2. 道路ネットワークにおけるCA法の導入とエージェント間相互作用の記述

避難エージェントの目的地までの移動に関しては、まず交差点ノードから成る大域的な道路ネットワークを構築し、目的地からのダイクストラ距離をもとめることで、ネットワーク間の移動方向を決める。次にエージェントの位置を規定するために、各交差点ノード間の道路リンクを縦断方向に40cmのセルに分割する。車両エージェントの位置は、縦断方向のセル座標と車線番号で規定する。徒歩エージェントに関しては、横断方向も40cmのセルで分割し、40cm四方から成る2次元のセル座標でその位置を規定する。交差点ノードに到達したエージェントは、次に向かう道路リンクに対して位置座標を更新する。

2-1 車両エージェント間相互作用

車両エージェント間相互作用には、OV-CA法⁸⁾を適用する。OV法では、各道路ネットワーク上の車両エージェントの加速度は、同一リンク、同一車線上の一つ手前の車両エージェントとの車頭間距離によって決まる。OV-CA法では道路リンクの縦断方向を40cmのセルで分割し、各車両に対して、その頭位置から車体分のセルを登録する。後方車両は、前方車両に対して、その後端から数メートルまでのセル位置まで接近できるとし、車両エージェント間の重なりを避ける。

2-2 徒歩エージェント間相互作用

徒歩エージェントは、幅員が広く、歩道が車道と分離されている道路では歩道領域を進行し、横断歩道とみなされる領域のみで、横断が可能とする。したがって各道路リンク内に局所的な道路ネットワークを構築する¹⁰⁾。各エージェントは局所ネットワ

ークで決まる静的場、周辺徒歩エージェントの分布から成る動的場、および隣接するセルにおけるエージェントの有無の情報から、次に進むべきセルを決定する。

2-3 車両徒歩エージェント間相互作用

幅員が狭く、歩道と車道が分離されていない道路では、徒歩エージェントは、車両が周囲にいない場合道路に広がり、車両が接近すると道路の端によると考えられる。また車両は、周囲に徒歩エージェントがいると徐行する。これらの周囲認識は非局所的なものであり、静的および動的な場による認知手法⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾を適用する。車徒歩間相互作用では、車両エージェントの手前の車両走行部のセルにボソン場(車両ボソン場)を付与する。ただし付与する範囲は、走行車両の手前の次の交差点までとする。徒歩エージェントが車両走行部に入った場合は、ボソン場を車両のセル座標に登録する。前方に徒歩ボソン場を認識した車両エージェントは、その位置に前方車両があると仮定し、OV-CA法に従ってブレーキを掛け徐行する。

3. 江東デルタへのCA法を用いた車両徒歩統合型避難シミュレータの適用

本研究では、江東デルタ内に一様に避難世帯エージェントを設定し、徒歩避難者は最寄りの鉄道駅へ、車両避難者は墨田川の西側に避難するものとする。また車両規制で避難車両以外の背景車両はないものとし、避難車両は、墨田川を渡った時点で避難完了とする。

以下では、江東デルタ内での実際の人口分布を反映させ、約59万人(約28万世帯)のうち、半分が垂直避難を選択し、残りの約30万人(約14万世帯)が30分以内に車両または徒歩で水平避難を開始するものとする。また水平避難のうち車両避難を選択する世帯の割合を10%とし、車両避難のみを行った場合と、車両避難と徒歩避難を同時に行った場合とを比較する。ただし徒歩避難者は、幅員が13.5m以上の主要道路では、歩道領域を歩くものとし、13.5m未満の道路では道路の脇を歩行するものとした。避難車両は、後者の道路の前方移動領域内に徒歩避難者が存在するのを確認した場合は、歩行者の速度で徐行するものとした。図1は、避難完了車両数の時間推移を表している。黒の実線は、避難車両のみで計算した場合、赤の実線は避難車両と徒歩避難者を同時に解いた場合である。また、青の実線は徒歩避難数の推移で、ピーク時で約12万人が避難しており、車両避難の完了時間は1割程度の影響を受けている。

4. まとめ

本研究では、CA法を用いた徒歩と車両の広域避難モデルを構築した。CA法では、空間を自由に動けないため、実際のエージェントの動きをDEM法ほど忠実に反映させることができない。一方で、CA法では、エージェント同士が重なることがないため、避難時の渋滞状態の伝搬を低コストの計算量で実現できる。特にOV法とCA法を組み合わせたOV-CA法は、低コストでOV法の渋滞状態での特性を実現できるため、今後大規模な車両避難の計算手法として有効になると考えられる。また徒歩避難者と避難車両の間の相互作用も、ボソン場を介して低コストで実現可能である。

今回我々は、徒歩避難者の存在による徐行の影響を数十万規模の避難者に対して行い、一割程度の車両が徒歩避難者の影響を受けて、避難完了時間が遅れることを示した。今後の課題として、車両避難率や出発時間の分布を変えた計算を行い、適切な車両および徒歩避難率をもとめることが挙げられる。また計算コストは、数十万規模の徒歩と車両

の同時計算でも実時間程度であるため、今後リアルタイムでの避難行動を反映させた数値計算も可能になると期待される。

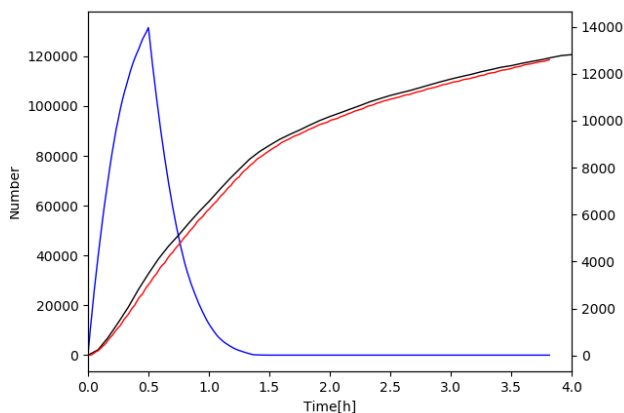


Fig.1 Comparison with the time sequence of the number of completed evacuation vehicles. Red and black line represent the case with and without particle-car interaction, respectively. Blue line represents the number of walking evacuees.

参考文献

- (1) 後藤仁志, 原田英治, 久保有希, 酒井哲郎, 個別要素法型群衆行動モデルによる津波時の避難シミュレーション, 海岸工学論文集, Vol. 51, p. 1261-1265, 2004.
- (2) 原田英治, 後藤仁志, 丸山由, OVモデルを援用したDEM型群衆避難行動モデルの提案, 水工学論文集, 第51巻, p. 553-558, 2007
- (3) L. Aguilar, L. Wijerathne, T. Ichimura, M. Hori, and S. Tanaka, Mixed mode large urban area tsunami evacuation considering car-pedestrian interactions, 土木学会論文集 A2(応用力学), Vol. 71, No. 2(応用力学論文集 Vol. 18), I_633-I_641, 2015.
- (4) 桑原雅夫, 吉井稔雄, 堀口良太, “ブロック密度法を用いた交通流の表現方法について”, 交通工学, Vol. 32, No. 4, p. 39-44, 1997.
- (5) 大口敬: 高速道路単路部渋滞発生解析-追従挙動モデルの整理と今後の展望-, 土木学会論文集, Vol. 660, pp. 39-51, 2000.
- (6) 片田敏孝, 桑沢敬行, 信田智, 小島優: 大都市大規模水害を対象とした避難対策に関するシナリオ分析, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol. 69, No. 1, pp. 71-82, 2013.
- (7) 杉山雄規: 交通流の物理(〈特集〉交通流), ながれ: 日本流体力学会誌, Vol. 22, No. 2, pp. 95-108, 2003.
- (8) 曾田康秀, 渡邊明英, 幸弘美: 反応時間依存型OV-CAモデルの提案とその検証について, 第31回計算力学講演会(CMD2018)講演論文集, 207, 2018.
- (9) C. Burstedde, K. Klauck, A. Schadschneider and J. Zittartz: Simulation of pedestrian dynamics using a two-dimensional cellular automaton, Physica A, Vol. 295, p. 507-p525, 2001.
- (10) J. Zeng, B. Leng and Z. Xiong: Pedestrian Dynamics in a Two-Dimensional Complex Scenario Using a Local View Floor Field Model, International Journal of Modern Physics C Vol. 22, 775_803, 2011.