

地方部における洪水時の自動車利用を前提とした避難に関する研究

Study on evacuation by the vehicle during floods in rural areas

○外館貴雅¹, 田中岳²
Takamasa TODATE¹ and Gaku TANAKA²

¹北海道大学大学院工学院環境フィールド工学専攻

Department of Environment Field Engineering, Hokkaido University Graduate School of Engineering

²北海道大学工学院工学研究院

Hokkaido University Engineering Research Institute

In principle evacuation behaviors may inevitably have to evacuate in cars in practice even though they are on foot. Although this situation is remarkable in rural areas, it is currently not enough to examine evacuation places and evacuation routes assuming vehicle evacuation. In this study, we conducted a numerical experiment of traffic flow by cell base model on the premise of car selection at evacuation, targeting areas where congestion occurred during actual flooding. Based on the results, I verified the problem of car evacuation in the target area, and attempted to examine the effectiveness of the evacuation plan that allocated the number of cars and the number of passengers of the originating cells arranged in plural, and the problem of rearrangement of the evacuation site (goal cell).

Keywords : Disaster prevention, Traffic flow, Optimization, Cell base model, Evacuation policy,

1. はじめに

災害発生時の避難は徒歩が原則だが、2011年の東日本大震災では多くの住民が自動車による避難を行った。自動車による避難は複数人数の長距離移動を短時間で可能にするという利点があるため、2012年の中央防災会議¹⁾において防災計画が見直され、やむを得ない場合の自動車による避難が認められるようになり、いくつかの自治体は避難計画に自動車の利用を組み込むようになってきた。岩手県宮古市²⁾の救護施設では津波災害を想定した大型バスを用いた避難計画を策定し、避難訓練において避難完了時間を半分に短縮した。また、福島県いわき市³⁾では津波発生時に半径500m以内に高台や避難場所がない場合は自動車の利用を認める避難計画を策定している。その一方、2016年に九州自動車道の通行止めによる渋滞発生のため被災地域を中心とした避難行動が大きく制限されたという事例も報告されている。

本研究の目的は実際に水害からの避難を行った地域での自動車避難を前提とした避難計画の策定への寄与である。そのために対象地域からネットワークを作成し数値計算を行い、自動車避難の評価を行う。その結果から対象地域での自動車避難の問題点を検証するとともに、地区単位で設定した複数の出発地点での乗車人数の再配分と避難所の再配置を行い、全体の避難完了時間の短縮を試みる。

2. 既存研究とモデルの選択

これまでに考案されてきた多くの避難モデルは主にマルチエージェントモデル(MASモデル)とセルベースモデルの2種類に大別される。MASモデルは避難車両をエージェントと呼ばれる独立性を持った行動体に個々のルールを与え、そのルールに従って行動させるモデルである。このモデルはエージェントごとに移動速度などの個体差を与えることができ、個々のエージェントに注目することで経路上の障害物に対する回避行動を観察することができる。一方、セルベースモデルは道路ネットワ

ークのリンクをセルという単位で分割し、各セル内に存在する車両状況を観察することによって全体の交通状況を把握できるモデルである。セルベースモデルの中でも特にCell Transmission Model(CTM)⁴⁾が多く利用されている。CTMはCarlos F. Daganzo(1994)が提唱した流体近似モデルであり、現実の交通量、交通密度をセル間の移動台数、セル内の収容台数にそれぞれ反映させることができる。各セル内に存在する車両は現実の交通状況によってもたらされる制約を満たしながら目的地を目指す。その後、徳田(2014)⁵⁾は車両が複数の目的地を目指すCTMモデルを完成させた。

ここで本研究が目的としている避難計画の策定に適したモデルを考える。避難計画の策定において必要な情報は避難住民の個人の情報(年齢、性別)ではなく、地区の住民の人数と避難所との位置関係である。このことから、経路ごとに人数を観察でき渋滞の発生個所を特定できるセルベースモデルを採用した。

3. モデルの定式化

本研究ではあらかじめ分岐率を設定しないモデルを用いて避難完了時間を求めたい。そこでCTMを最適化問題へ適用させたCell-Based Merchant-Nemhauserモデル(CBMNモデル)⁶⁾を使用した。本モデルはYu(Marco) Nie(2011)が提案したモデルであり、ネットワークは複数のセルとそれを接続する複数のノードによって表される。CBMNモデルは以下の式(1)~(8)で表される線形計画問題である。

$$\min_{\{v,p,u\}} \sum_{t=1}^T \sum_{a \in A} (p_t^a + v_t^a) \quad (1)$$

$$p_t^a + u_t^a = p_{t+1}^a + v_{t+1}^a \quad (2)$$

$$t = 0, \dots, T-1, \quad \forall a \in A \quad (3)$$

$$\sum_{a \in O(i)} u_t^a = \sum_{a \in I(i)} v_t^a$$

$$t = 0, \dots, T-1, \quad \forall a \in A, \quad \forall i \in N$$

$$p_t^a + v_t^a + u_t^a \leq H^a \quad (4)$$

$$t = 0, \dots, T-1, \forall a \in A$$

$$v_0^a + p_0^a = D^a \geq 0 \text{ (given)} \quad (5)$$

$$\forall a \in A$$

$$0 \leq v_t^a \leq C^a \quad (6)$$

$$t = 0, \dots, T, \forall a \in A$$

$$0 \leq u_t^a \leq C^a \quad (7)$$

$$t = 0, \dots, T-1, \forall a \in A$$

$$0 \leq p_t^a \quad (8)$$

$$t = 0, \dots, T, \forall a \in A$$

p_t^a は時刻 t から $t+1$ までセル a に留まる車両数, v_t^a , u_t^a は時刻 t から $t+1$ までにセル a から流出する車両数, セル a に流入する車両数であり, 各セルにおけるこれら 3 つの変数が本モデルの内生変数となる. A は全セルの集合, T は全時刻の集合である.

目的関数となる式(1)は対象エリア内の全時刻, 終点セルを除く全セルにおける台数の総数である. $(p_t^a + v_t^a)$ は時刻 t にセル a に存在する車両数である. 式(2)はセル a における時刻 t と時刻 $t+1$ の間の交通量保存則, 式(3)はノード i に接続された上流側のセルと下流側のセルにおける交通量保存則である. ここで N はノードの集合, $I(i)$, $O(i)$ はそれぞれノードの上流側, 下流側に接続されているセルの集合である. 式(4)は p_t^a , v_t^a , u_t^a の合計台数の制限であり, H^a はセル a に収容可能な最大台数を表す. 式(5)は初期条件を示している. 式(6), (7)における C^a は単位時間あたりのセル間の最大移動台数であり, これが流入台数 u_t^a ・ 流出台数 v_t^a の上限となる. 式(8)は p_t^a の非負制約を示す.

渋滞はセル内の車両数の増加によって表現される. 渋滞が発生したセルの p_t^a が増加するとセル内の収容可能台数が減少し, 上流側のセルからの流入台数が減少する. その結果上流側のセルの p_t^a が増加するため, 渋滞が上流に伝搬していく.

4. 数値実験

本研究では渋滞が発生した地域を対象としネットワークを作成した(図1). このネットワークは起点セル 4 個, 終点セル 1 個を含む 24 個のセルと各セルを接続する 14 個のノードによって構成されている. セルごとに進行方向は固定されているが東日本大震災における自動車利用者の平均避難時間は 15 分¹⁾, 平均避難距離は 2,209m¹⁾ である. この値から, 各時刻ごとの車両の位置を細かく観察するために時間間隔を 1 分とした. 避難経路は対象地域の道路の中でも主なものを選択し, 最大 500m のセルに分割し, エリア内の避難対象となる行政区域ごとに起点セルを配置した. 避難住民は避難の対象となる行政区域の世帯数のデータを用いて各行政区域の起点セルへ配分した. 最大収容容量 H^a (台/m) はセルの長さを平均車頭間隔 (5m) で割り小数点を切り捨てた値とした. 避難所セルの最大収容台数は無限とした.

モデルの特性を調べるために 4 つの起点セルに 20 台ずつ車両を配置し, 単位時間当たりの最大移動台数 C^a (台/分) を変化させ, 数ケースの数値実験を行った. C^a の値は Yu (Marco) Nie⁶⁾ の研究で用いられた値を参考に 16~36 で変化させ, すべてのセルにおいて同一の値を用いた. $C^a=26$, 36 のケースではどちらも 8 分後に避難が完了したが, $C^a=16$ のケースでは 10 分後に避難が完了した. これは $C^a=16$ のケースでは C^a が各セルの初期台数である 20 台より小さいため, 最初の 1 分間で全

ての車両が起点セルから出られなかったためである. このことから, 起点セルの初期台数と単位時間当たりの最大移動台数の大小関係によって避難完了時間は変化すると考えられる.

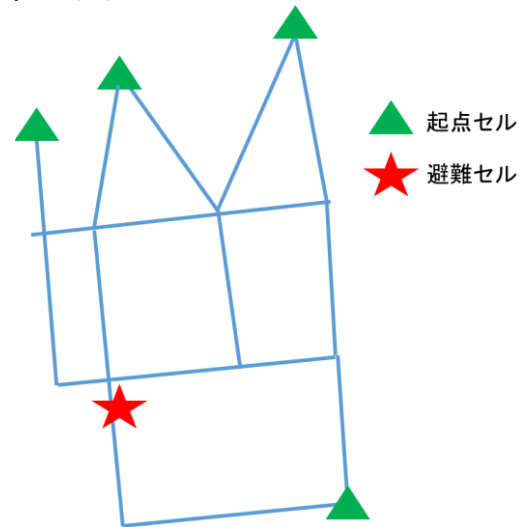


図1 避難ネットワーク(概念図)

5. 今後の予定

今後は各起点セルに実際の避難住民の人数を配置し, 数値計算を行う. その結果から対象地域において渋滞が発生している場所を特定し, 以下の二つの解決策による渋滞緩和を試みる. 一つ目は自動車台数と乗車人数の配分である. 自動車を使う住民が多すぎると渋滞が発生し, かえって避難完了時間が長くなるため, 乗車人数を適切に設定する必要がある. 前述の実験から, 特に単位時間当たりの最大移動台数が, 乗車人数を決定するための指標になると予想される. 二つ目の対応策は避難場所の再配置である. 渋滞の多くは避難場所の周辺で発生したという報告が多い. そのため避難所の位置の変更によって渋滞が緩和できると考えた. 以上の二つの対応策を数値計算上に反映し, その有効性を評価する. 数値計算の結果はポスター発表にて示す.

参考文献

- 1) 中央防災会議防災対策推進会議津波対策検討ワーキンググループ, 防衛相 HP, 2017.6
- 2) 毎日新聞 2017年8月29日 地方版, 毎日新聞 HP, 2017.6
- 3) 福島県いわき市: 津波災害時における自動車による避難ガイドライン (平成29年8月), いわき市 HP, 2017.6
- 4) Carlos F. Daganzo: A variational formulation of kinematic waves: basic theory and complex boundary conditions, Transportation Research Part B 39 (2005) 187-196
- 5) 徳田渉: Modified Stochastic Cell Transmission Model を用いた交通シミュレーションの実装, 情報処理学会研究報告, Vol. 2014-ICS-175 No. 16 2014/3/14
- 6) Nie, Yu Marco. : A cell-based Merchant-Nemhauser model for the system optimum dynamic traffic assignment problem, Transportation Research Part B: Methodological 45.2 (2011): 329-342.