

# ネットワークフローを用いた実時間避難シミュレーション

Real-time evacuation simulation with network flow

姫野湧太<sup>1</sup>  
Yuta Himeno

徳永潤平<sup>2</sup>  
Junpei Tokunaga

榎原博之<sup>1</sup>  
Hiroyuki Ebara

関西大学システム理工学部電気電子情報工学科<sup>1</sup>  
Faculty of Engineering Science, Kansai University

関西大学大学院理工学研究科システム理工学専攻<sup>2</sup>  
Graduate School of Science and Engineering, Kansai University

## 1 はじめに

近年、避難シミュレーションに関する研究が様々な分野において注目されている。シミュレーション結果は、災害発生時に要避難者が迅速に安全な地域に移動するために用いられる。地震などの規模の大きい災害は建物の崩壊や道路の陥落など避難経路に影響を及ぼすおそれがある。そのような場合、変化した状況を適用させた地図データに基づいて再度避難シミュレーションを行い、より効果的な避難計画を提供することが非常に重要である。つまり、災害発生後に避難シミュレーションを実行し、迅速に効果的な避難計画を要避難者に提供しなければならない。

そこで、本研究では高速な避難シミュレーションの手法を提案し、実際の地理情報を用いて先行手法と比較を行い、避難完了時間及び計算時間の観点から評価する。

## 2 フローを用いた避難シミュレーション

避難シミュレーションの手法には様々なものがある。代表的なものとして、各エージェントを避難者と見立てそれぞれに行動モデルを設定するマルチエージェントを用いた手法、避難者を地理情報を適用させたネットワークを流れるフローとして評価する手法の2つが挙げられる。

本研究では高速に避難計画の導出することを目的としているため、比較的処理の負荷が少ない後者のネットワークフローを用いた手法を扱う。

### 2.1 動的ネットワーク

交差点や避難場所を表す頂点集合と道路を表す辺集合からなる有向グラフで、各辺に容量及び移動時間のパラメータを持つ。なお、避難元をソース  $s_i$ 、避難場所をシンク  $t_i$  と呼ぶ。このネットワークにおいて、避難者全員がいずれかの避難場所に到達する時刻を最小にするようなフローが最速の避難方法である。

### 2.2 時間拡大ネットワーク

Ford ら [1] によって提案された、動的ネットワークの各辺の各時刻の状況を移動時間の要素を持たない静的ネットワークに変換する手法である。元の動的ネットワークの各ノードを複製し、各ノードから隣接ノードへ移動時間を考慮した辺を追加することにより構築する。期間  $T$  を 6、単位時間を 1 としたときの動的ネットワークと対応する時間拡大ネットワークの例を図 1 に示す。

### 2.3 最大フロー

容量制約を満たしたフローの中で、ソースからシンクまでの流量が最大となるものを最大フローとよぶ。前項

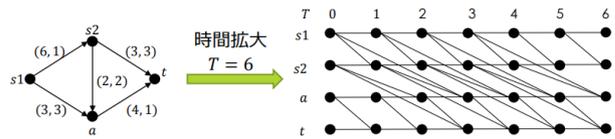


図 1 動的ネットワークと対応する時間拡大ネットワーク

の時間拡大を用いることにより静的ネットワークに対する最大フロー問題の解法をそのまま流用可能となる。最大フロー問題は、エドモンド・カープのアルゴリズム [2] で多項式時間で解くことができる。

### 2.4 時間拡大を用いる手法

前述した時間拡大ネットワークに避難者数や避難所の容量を考慮するためいくつかの頂点と辺を追加する。そのネットワークに対し最大フローが総避難者を上回るまで時間拡大及び最大フローの導出を繰り返すことにより最速避難時間を求める。各ステップごとに時間拡大ネットワークにおける期間  $T$  を単位時間分増加させる。

単位時間の点で厳密な避難経路を導出可能だが、対象のネットワークが非常に大きくなってしまい計算コストが大きくなってしまう問題点がある。

### 2.5 時間拡大を用いない手法

時間拡大ネットワークはネットワークサイズが非常に大きくなり、計算コストが増大する。このことから加藤らが時間拡大ネットワークを用いないヒューリスティクス [3] を提案した。この手法は計算時間は前項のものと比較して大幅に短縮されるが、ネットワークによっては避難完了時間が非常に大きくなってしまう問題点がある。

## 3 提案手法

以下の2つの方針で2.4で述べた時間拡大を用いる手法(以下、従来手法)を改良し、高速かつ効率の良い避難計画を導出可能な手法を提案する。

- 近似解法を用い最大フローに近いものを高速に導出
- 時間拡大の単位時間を避難の進捗により動的に調整

### 3.1 最大フローの近似化

本手法では解が得られるまで繰り返し最大フロー問題を解くため、避難シミュレーション全体の計算コストに大きく影響する。そこで、逆流を無視した近似解法を用いることにより解の精度はやや落ちるが、シミュレーションの実行時間の短縮を図る。

### 3.2 単位時間の調整

単位時間は時間拡大後のネットワークサイズに直接関与する。1秒毎に時間拡大を行った場合は1秒以内の厳密解を導出できるが、避難に用いられない冗長な頂点や辺が多く存在してしまう。逆に、単位時間を大きく設定してしまうと時間拡大後のネットワークサイズが小さくなり、計算時間は短縮される(図2)が、避難完了時間は増大する。

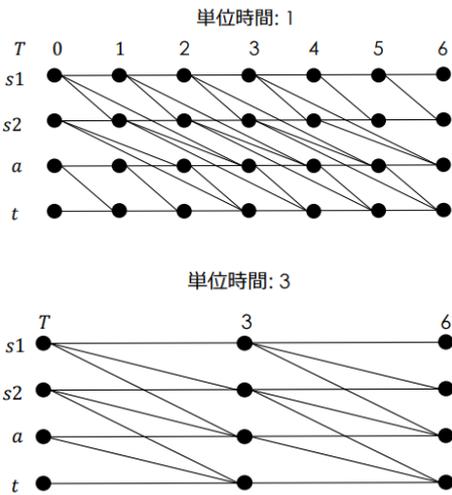


図2 単位時間を変化させたときの例

そこで、避難の進捗状況に応じて単位時間を動的に変化させ、冗長な辺の発生を抑えることにより効率の良い解を高速に導出する。

### 4 シミュレーション実験

2.4で説明した従来手法、2.5で述べた加藤らの手法、前項の提案手法を実際の地域に適用させ、避難完了時間及び計算時間の比較を行う。シミュレーションパラメータを表1に示し、対象の地域は関西大学千里山キャンパス(図3)とする。

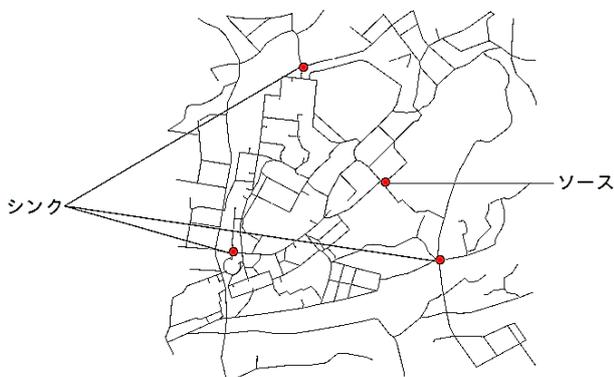


図3 関西大学千里山キャンパス及びその周辺地域

辺、つまり道幅の容量は道幅を考慮して表中のいずれかで適切に設定する。

表1 シミュレーションパラメータ

項目	設定値
避難者数	20[人]
移動速度	1.25[m/s]
容量	1, 2, 5, 10[m]
単位時間 (従来手法)	1[秒]
単位時間の初期値 (提案手法)	1, 5, 10[秒]

### 5 シミュレーション結果

従来手法、加藤らの手法、提案手法を適用したときの避難完了時間、計算時間をまとめたものを表2に示す。なお、括弧内の数値は提案手法の単位時間の初期値を表している。

表2 シミュレーション結果

手法	避難完了時間 [秒]	計算時間 [秒]
従来手法	347.0	632.8
加藤らの手法	1215	5.145
提案手法 (1)	360.0	523.0
提案手法 (5)	430.0	20.07
提案手法 (10)	850.0	5.237

### 6 まとめ

本研究では実際の地域について従来手法、加藤らの手法、提案手法を適用し比較を行った。提案手法は他の手法と比較して避難完了時間と計算時間のバランスの取れた結果が得られた。対象の地域や単位時間の初期値によっては加藤らの手法と同等の計算時間で、大幅に短縮された避難完了時間を導出することが可能であった。

### 謝辞

本研究を進めるにあたり、有益な助言をいただいたNTTコミュニケーション科学基礎研究所の上田修功氏に深く感謝の意を表す。また、本研究の一部は、JSPS 科研費 18K11484 と、JSPS 科研費 17K01309、関西大学大学院理工学研究科高度化推進研究費、関西大学先端科学技術推進機構「緊急救命避難支援のための情報通信技術に関する研究開発」研究グループの助成を受けている。

### 参考文献

- [1] Ford, L. R., and Delbert R. Fulkerson. "Flows in networks. 1962." Princeton U. Press, Princeton, NJ (1962).
- [2] Edmonds, Jack, and Richard M. Karp. "Theoretical improvements in algorithmic efficiency for network flow problems." Journal of the ACM (JACM) 19.2 (1972): 248-264.
- [3] 加藤直樹; 瀧澤重志. 最速避難計画のモデリングと解法. オペレーションズ・リサーチ, 2015, 437-442.