

避難計画問題における鎖流アルゴリズムと 時間拡大ネットワークの比較: 長岡市水道町を例に

長岡技術科学大学 *稲川拓海 INAGAWA Takumi
05000489 長岡技術科学大学 住谷 安史 SUMITANI Yasushi
01309340 東京都市大学 高橋 弘毅 TAKAHASHI Hirotaka

1. はじめに

日本では、地震や台風などの災害が頻繁に発生している。今後発生が想定されている、南海トラフ地震などの大規模な地震に対しては、事前に避難計画の立案が必要である。避難計画を考える上では、想定外の事態に対処するために、地震発生時の時間帯や気象条件、避難者の分布などの様々な条件を想定しておく必要がある。

稲川ら [1] は、加藤ら [2] が提案した鎖流アルゴリズムをベースに実装し、新潟県長岡市水道町に適用した。しかし、この避難モデルは、避難時間が現実的な値よりも大きくなってしまおうという問題点があった。そこで、鎖流アルゴリズムの改良をおこなった。

本稿では、従来から避難計画問題に利用されている時間拡大ネットワークを用いる手法 (例えば [3] など) を導入し、時間拡大ネットワーク、および、改良した鎖流アルゴリズムから得られた結果の比較を行う。

2. 避難計画問題の概要

本論文における避難計画問題とは、ネットワークモデルを用いて、ネットワークの始点から終点までフローを流し、避難完了時刻を求める問題とする。このとき、始点は避難者、終点は避難所の容量を保持する。また、各始点に避難者を流出するスーパーソース ss と、各終点から避難者が流入するスーパーシンク st という2つの特別な頂点を定義する。道路上の交差点を頂点 $v \in V$ (V : 頂点集合)、交差点間の道路を辺 $a \in A$ (A : 辺集合) とした有向グラフ $G = (V, A)$ を定義する。また、各辺 a は、単位時間あたりに通行可能な避難者数の上限 $c(a) > 0$ と移動時間 $\tau(a)$ を保持する。避難完了時刻は、避難開始時間と移動時間の総和で求める。

3. 新潟県長岡市水道町への適用

新潟県長岡市水道町の地理情報を基に、実装した時間拡大ネットワーク、および、鎖流アルゴリズムを適用する。地理情報としては、道路ネットワークのデータ [4]、避難所の位置情報 [5] を利用する。また、避難所

の容量は図 1 の右下の表に示すとおりに仮定した。さらに、各辺の移動速度は、一般の平均歩行速度とされている時速 4km を一率で採用した [6]。

4. シミュレーションの結果と今後の課題

シミュレーションの計算には、MacBook Air (CPU Intel Coire i7 1.7 GHz, メモリ 8 GB) を用いた。

鎖流アルゴリズムと時間拡大ネットワーク共に以下の条件で計算をおこなった: 避難開始地点を 1~40 箇所を設定し、48 箇所の交差点上にランダムに配置した。次に、避難者数を均等に交差点上に分配した。そして、ネットワークに避難者をフローとして流し、それぞれの避難開始地点の数に対して 100 回ずつ計算を行い、平均避難時間を計算した。

計算結果の例として、図 2, および、図 3 に、鎖流アルゴリズム、および、時間拡大ネットワークを用いて、避難開始地点を 10 箇所に設定し 100 回計算を行ったときに避難時間が最大となったケースの全避難所の容量推移をそれぞれ示す。図 2 より、鎖流アルゴリズムの動作は、鎖流を作成後、避難開始地点に待機中の避難者を順にネットワークに流すため、最初に流れ始めた避難者が避難所へ到着するまでの間、避難所の容量は減少しない。避難所に避難者が到着した時点から、避難所の容量は減少することが見て取れる。一方、図 3 より、時間拡大ネットワークにおいては、最初の避難者が避難所に到着後、鎖流と比較して、避難所に避難者が入ってこない時間があまり存在しないまま全員の避難を終了することが見て取れ、それぞれのアルゴリズムの特徴が確認できる。

また、表 1 に、避難開始地点 10 箇所のとときの、鎖流アルゴリズムと時間拡大ネットワークを用いて 100 回シミュレーションした際の平均避難時間と平均計算時間を示す。長岡市水道町は約 340,000m² の小規模な地域であり、避難時間は 1,000 秒以下と予測できる。そのため、鎖流アルゴリズムで得られる避難時間と、時間拡大ネットワークで得られる避難時間は共に、現実的

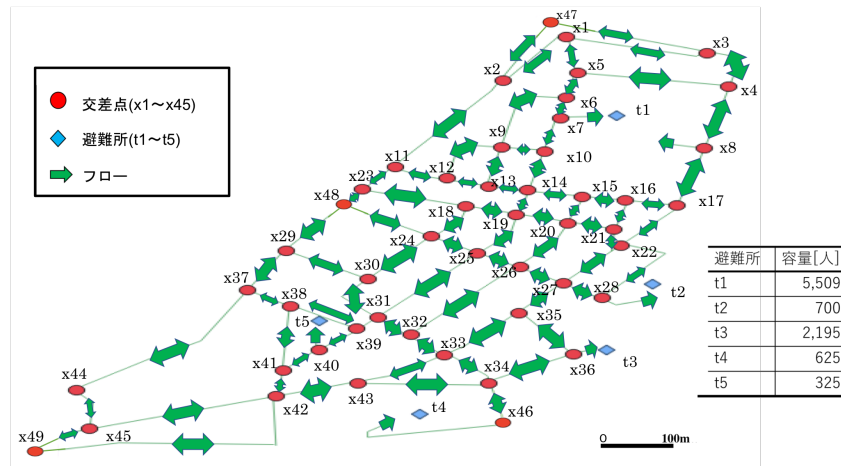


図 1: 新潟県長岡市水道町ネットワーク。

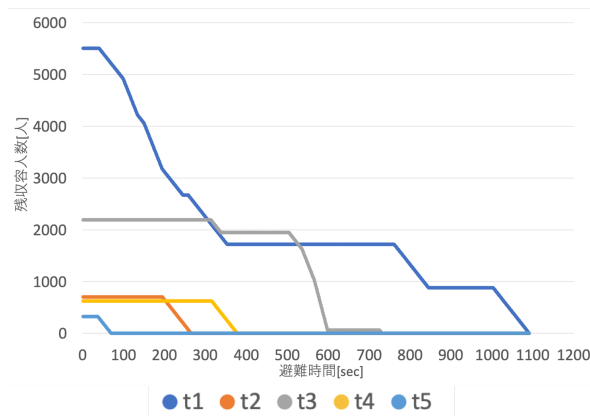


図 2: 避難開始地点が 10 個のときの避難時間最大の場合の全避難所の容量推移例 (鎖流アルゴリズム)。

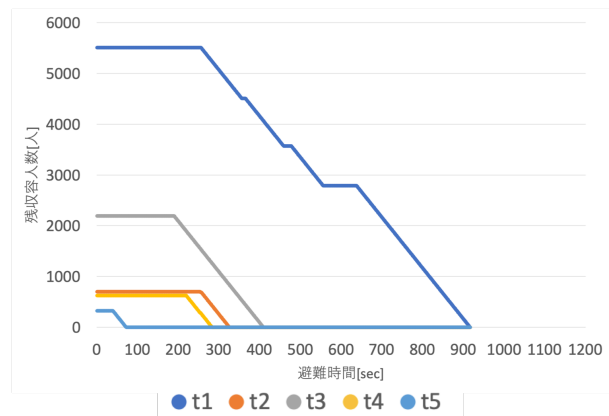


図 3: 避難開始地点が 10 個のときの避難時間最大の場合の全避難所の容量推移例 (時間拡大ネットワーク)。

表 1: 平均避難時間 [sec] と平均計算時間 [sec].

	平均避難時間	平均計算時間
鎖流アルゴリズム	880	3
時間拡大ネットワーク	731	2432

な値と判断できる。一方で、時間拡大ネットワークにおいては計算時間が大幅にかかり、広大な範囲の避難計画問題を考える場合には、汎用 PC での計算は困難となる可能性が高い。

今後の課題としては、対象地域を新潟県長岡市全域に拡大し広域のネットワークを利用して、それぞれの比較をしていく。

参考文献

- [1] 稲川拓海, 高橋弘毅, “避難計画における鎖流アルゴリズムと時間拡大ネットワーク: 長岡市水道町を例に”, 日

本知能情報ファジィ学会 ファジィシステムシンポジウム講演論文集, vol.36 pp.319-324, 2020.

- [2] 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: 経営の科学, Vol. 60 No.8, pp.437-442, 2015.
- [3] N. Kamiyama, A. Takizawa, N. Katoh, Y. Kawabata, “Evaluation of capacities of refuges in urban areas by using dynamic network flows”, The 8th International Symposium on Operations Research and Its Applications (LNOR 10), pp. 453-460, 2009.
- [4] 国土交通省 国土地理院, 基盤地図情報サイト, <https://www.gsi.go.jp/kiban/index.html> (2021年1月5日閲覧)。
- [5] 長岡市, 長岡市オープンデータ, <https://www.city.nagaoka.niigata.jp/shisei/cate10/> (2021年1月5日閲覧)。
- [6] 国土交通省, 「2. 広域防災の拠点整備に関わる調査」, http://www.mlit.go.jp/kokudokeikaku/souhatsu/h16seika/10bousai/10_sky2.pdf (2021年1月5日閲覧)。