

# 鎖流を用いた避難計画モデル： 長岡市中心区域を例に

長岡技術科学大学/東京都市大学 \*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、毎年様々な災害が発生している。特に地震に関しては、2011年に発生した東日本大震災や、2016年に発生した熊本地震で多くの死者と行方不明者が発生した。これらの災害に対処するために、事前の避難計画を立案することが必要になる。広域を対象とした避難計画を立案する場合には、現実的なモデル化が容易なネットワークモデルが度々利用されている [1]。従来、地震を対象とした避難計画問題では時間拡大ネットワークが利用されてきた [2]。時間拡大ネットワークは、全ての経路パターンを網羅できるため最適解を求めることができる。その一方で、計算量は（地図ネットワーク）×（対象期間）分必要になってしまう。

災害発生時には、予期せぬ事態の発生が考えられる。災害発生後にリアルタイムで避難計画の再計算をおこなうことになった場合や機器等の破損、余震や火災といった二次災害などの問題が発生した場合などを考慮すると、膨大な計算量を必要とする時間拡大ネットワークでの再計算は難しい。

一方、加藤ら [3] によって、時間拡大ネットワークを用いずに最速避難の近似解を求めることのできる鎖流アルゴリズムが提案されている。稲川らの研究 [4] では、この加藤ら [3] が提案した鎖流アルゴリズムをベースに、地震に対する避難計画問題の解法としてモデル化し新潟県長岡市水道町に適用した。

本稿では、ネットワークの規模が結果に与える影響を確認するため対象地域をより広範囲である長岡市中心区域へ拡大する。また、道幅が全道路で同一であったため、実際の地理情報をもとに道路毎に異なる道幅を設定する。さらに、時間拡大ネットワークを導入し、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

本稿における避難計画問題とは、ネットワークの始点  $s$  から終点  $t$  まで避難者（フロー）を流し、避難完

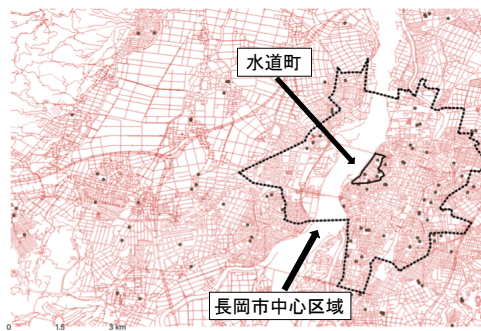


図 1: 新潟県長岡市中心区域。

了時刻を求める問題とする。このとき、始点  $s$  は避難者、終点  $t$  は避難所の容量の情報を保持する。また、各始点から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ある。

## 3. 新潟県長岡市中心区域への適用

新潟県長岡市の地理情報を基に図 1 の黒破線で囲んだ地域を、新潟県長岡市中心区域として設定した。そこに、鎖流アルゴリズム、および、時間拡大ネットワークを適用する。地理情報は、道路データ [5]、避難所の位置データ [6] を利用する。また、避難所の容量は図 2 の左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 [7] を一率で採用した。

## 4. シミュレーションの結果

シミュレーションの計算には、Linux computer (CPU Intel Xeon Gold 6234 3.30 GHz 16 cores, 192 GB memory) を用い共に下記の条件で計算をおこなった。避難

No	避難所容量[人]	No	避難所容量[人]
1	1113	26	867
2	1526	27	204
3	188	28	1858
4	653	29	1093
5	153	30	1864
6	1812	31	285
7	24	32	399
8	1136	33	1510
9	333	34	900
10	1758	35	206
11	611	36	293
12	1304	37	406
13	830	38	753
14	1344	39	1301
15	338	40	945
16	313	41	414
17	187	42	1608
18	914	43	199
19	163	44	357
20	1008	45	1300
21	1388	46	534
22	232	47	1467
23	232	48	1167
24	863	49	312
25	331	50	458
避難所容量合計 [人]		39,455	

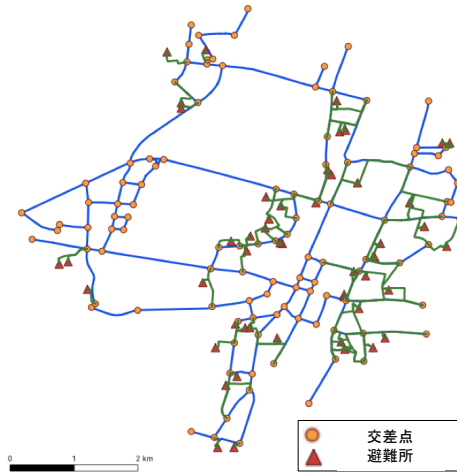


図 2: 新潟県長岡市中心区域のネットワーク。

表 1: 鎖流アルゴリズムの平均避難時間 [秒]

避難開始地点数	平均避難時間	標準偏差
10 箇所	6,769	157
50 箇所	7,357	139
100 箇所	8,261	124

表 2: 時間拡大ネットワークの平均避難時間 [秒]

避難開始地点数	平均避難時間	標準偏差
10 箇所	5,231	82
50 箇所	6,236	63
100 箇所	7,150	36

開始地点は 10 ~ 100 箇所に設定し、108 箇所の交差点上にランダムに配置した。次に、避難者数（避難所容量合計 39,455 人）を均等に交差点上に分配し、ネットワークに避難者を流した。そして、避難開始地点毎に 100 回ずつ計算し、平均避難時間を計算した。

表 1 に鎖流アルゴリズムで得られた平均避難時間の結果を、表 2 に時間拡大ネットワークで得られた平均避難時間の結果をそれぞれ示した。また、表 3 に、避難開始地点 50 箇所のときの、両アルゴリズムの平均避難時間と平均計算時間を示した。長岡市中心区域は約 49km<sup>2</sup> の地域である。対象地域内の最長距離 6km を時速 4km で移動する場合の移動時間は 5,400 秒であり、避難時間は 5,000 - 10,000 秒程度と予測される。そのため、両アルゴリズムで得られた結果は現実的であると言える。鎖流アルゴリズムは、時間拡大ネットワークよりも避難時間が増加してしまっているが、計算時間の面では、鎖流アルゴリズムの方が大幅に早い。こ

表 3: 平均避難時間 [秒] と平均計算時間 [秒]。

	平均避難時間	平均計算時間
鎖流アルゴリズム	7,357	407
時間拡大ネットワーク	6,236	3,192,581

れらより、鎖流アルゴリズムは高速に現実的な近似解を得ることができていると考えられる。

## 参考文献

- [1] 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.
- [2] L. R. Ford Jr., D. R. Fulkerson, "Constructing maximal dynamic flows from static flows", Operations Research, Vol.6 No.3, pp. 419-433, 1958.
- [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: 経営の科学, Vol. 60 No.8, pp.437-442, 2015.
- [4] 稲川拓海, 高橋弘毅, "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", 日本オペレーションズ・リサーチ学会春季研究発表会アブストラクト集, pp.80-81, 2021.
- [5] 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> (2022年1月5日閲覧)。
- [6] 長岡市, 長岡市オープンデータ, <https://www.city.nagaoka.niigata.jp/shisei/cate10/> (2022年1月5日閲覧)。
- [7] 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](http://www.mlit.go.jp/kokudokeikaku/souhatsu/h16seika/10bousai/10_sky2.pdf) (2022年1月5日閲覧)。