

粘菌アルゴリズムと窪地率による内水氾濫時に浸水箇所を迂回する避難経路検索システム

広島大学 学生会員 ○金子 哲士
 広島大学 正会員 井上 卓也

1. 背景と目的

近年の異常気象により各地で集中豪雨が多発している。集中豪雨は市街地や地下空間の浸水、道路の冠水や自動車の水没による交通混乱、土砂災害等の被害を引き起こす。これらの被害から身を守るために早急な避難が重要である。しかし、近年の集中豪雨はこれまでの予想を上回ることから、事前に避難できず、リアルタイムで浸水予測をし、浸水状況に合わせた避難経路を提供することも求められ始めている。

井上ら¹⁾はリアルタイム氾濫予測と通行が不可能になった道路を単位幅比力により除去することにより、浸水域を回避する経路検索システムを構築した。小川ら²⁾は、井上らのシステムに改良を加え、避難中のある時刻の浸水域とその一つ前のステップの浸水域の広がりや重み関数として考慮することで、浸水域に巻き込まれる危険性を回避する経路検索手法を開発した。

しかし、上記の小川らのシステムは外水氾濫を対象とし、複数の浸水地点が同時多発する内水氾濫を考慮できなかった。また、井上ら、小川らのシステムは、経路検索アルゴリズムにダイクストラ法を用いていたため、避難所や条件の数だけ解析を行う必要があった。

内水氾濫は短時間の大雨に対する排水機能の不足により、雨水を完全に処理できず、家屋が浸水する現象である。松下ら³⁾によれば、内水氾濫は宅地率と窪地率が大きい場所で複数同時に発生することが多い。そこで、本研究では、窪地率を経路検索に考慮するための新たな重み関数を提案するとともに、複数の避難所への経路を同時に検索することを目指し、経路検索アルゴリズムに粘菌アルゴリズム⁴⁾を採用する。上述の改良により、内水氾濫による水溜が発生しそうな場所を予め回避する避難経路検索システムを構築する。

2. 解析条件

解析における対象地域は北海道帯広市とし、国土地理

院の地図を用いて主要な道路データを抽出した。本研究では内水氾濫解析を iRIC の Nays2d Flood を用いて行い、計算条件は、粗度 $n=0.03$ 、メッシュ解像度は $24(m)\times 30(m)$ 、対象地域全体に帯広市の想定最大規模降雨(72 時間総雨量 279 mm)の降雨を発生させた。

内水氾濫解析に使用した $24m\times 30m$ 四方の格子データから、任意の格子点の窪地率 R_{hollow} をその上下左右に位置する格子点の標高の平均値との差と定義した。道路ごとの窪地率 R_{min} は、道路の進行方向に平行な中心を通る直線から法線方向両側に長さ 25m の距離の位置に同じ長さである平行な直線を 2 本引き、それによってできた長方形の領域内に存在する格子点の窪地率の内最小の値とする。

R_{min} がおよそ 0.4m 以下の時、窪地がほとんど存在せず、約 1.5m 以上の時窪地が明確に存在すると考え、 R_{min} が 1.5m の時の R_{road} の値が 0.4m の時に比べ、1, 2, 4, 10, 100, 10000 倍になるように関数内の定数を変化させた。

$$R_{road} = 1 + \frac{1}{1 + e^{11.5R_{min}+11}} \quad (1)$$

$$R_{road} = 1 + \frac{2}{1 + e^{13.5R_{min}+12.5}} \quad (2)$$

$$R_{road} = 1 + \frac{3}{1 + e^{13.5R_{min}+13.2}} \quad (3)$$

$$R_{road} = 1 + \frac{99}{1 + e^{13.5R_{min}+13}} \quad (4)$$

$$R_{road} = 1 + \frac{999}{1 + e^{13.5R_{min}+13.2}} \quad (5)$$

$$R_{road} = 1 + \frac{9999}{1 + e^{13.5R_{min}+13.2}} \quad (6)$$

$$L' = L \times R_{road} \quad (7)$$

ここで、 R_{road} : 窪地率による重み係数、 R_{min} : 道路の代表窪地率、 L' : 道路の仮想距離である。

キーワード 避難経路検索, 窪地率, ダイクストラ法, 粘菌アルゴリズム, 重み関数

連絡先 〒980-0801 宮城県仙台市青葉区木町通 1-6-20 イートン木町通 402 号室 TEL080-9733-7470

吉次³⁾らによれば、粘菌アルゴリズムは、1つの避難開始地点から複数の避難所に向かう複数の避難経路を同時算出が可能である。本研究で導入する粘菌アルゴリズムの基礎式は以下である。

$$Q_{ij} = \frac{D_{ij}}{L'_{ij}}(p_i - p_j) \tag{8}$$

$$f_{(|Q|)} = \frac{|Q|^{1.8}}{1 + |Q|^{1.8}} \tag{9}$$

$$\frac{dD_{ij}}{dt} = f_{(|Q_{ij}|)} - \alpha D_{ij} \tag{10}$$

$$\sum_i \frac{D_{ij}}{L'_{ij}}(p_i - p_j) = \begin{cases} -1 & (i = 1) \\ 1 & (i = 2) \\ 0 & (\text{otherwise}) \end{cases} \tag{11}$$

ここで、 D :コンダクタンス、 p :各ノードの圧力、 Q :流量、 α :収縮係数、 i, j :任意の変数である。

ノードの中から任意の数の始点と終点を選択し、そのノードの流量は常に一定とする。適当なコンダクタンスおよび道路の仮想距離を初期値として与え、(8)、(10)、(11)を繰り返し計算により解く。各計算ステップでは圧力 p 、流量 Q 、コンダクタンス D が更新され、最終的にコンダクタンス D が最も多いリンクに対応する経路が最短経路である、

関数形の評価方法として道路ネットワークデータの全ノードに避難者を1人ずつ配置し、対象地域の中心部のいくつかの終点における避難者が通る避難経路が氾濫計算によって得られた最大の内水氾濫の浸水域に接触せずに避難が成功した時の人数の大小によって関数形の評価を行う。

3. 解析の結果と考察

関数形の評価を行った結果、関数形(5)に変化させた際に一度避難成功数が減少するが、仮想距離が大きくなるほど避難に成功したノードの数は増加した。

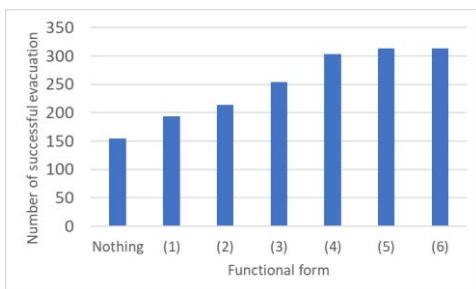


Fig. 1 Number of successful evacuation

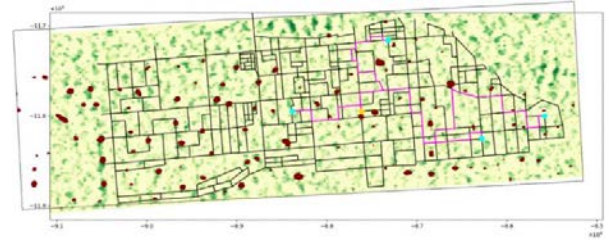


Fig. 2 Multiple route search results in function form (5)

Fig.2は関数形(5)における複数経路検索の結果である。ピンクの線は検索された避難経路、水色は避難所である。各避難所における経路は内水氾濫の浸水域を回避するような経路を選択する結果となった。

Fig.3は関数形と平均の避難時間の関係である。関数形を変化するにつれて避難距離は増加し、関数形(6)は関数形無しに比べ、約1.6倍となった。Fig.2とFig.3から関数形(3)から関数形(4)にかけて避難成功数は一定勾配で増加するが、避難距離が急激に増加している。そこで令和2年度に行われた避難所の指定・管理に関する調査研究⁴⁾による一般的な避難限界距離である2kmを閾値とし、関数形(3)を適用した際に内水氾濫の浸水域を迂回しながら安全かつ効率的であると考えた。

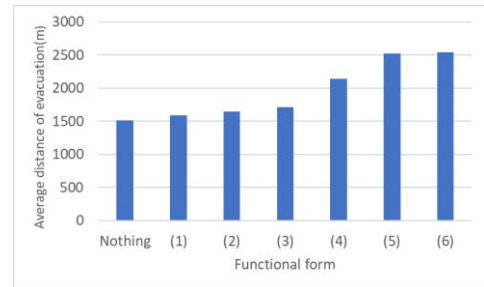


Fig. 3 Average distance of evacuation

3. 結論と今後の課題

本研究から窪地率と粘菌アルゴリズムを考慮したモデルが構築でき、解析を行ったすべてのノードにて最終的に避難成功数が増加したことから、窪地率を利用した重み関数は内水氾濫を回避する避難に効果があるといえる。一方で、迂回すると避難成功率が上がるが、その分時間がかかるため、避難経路の距離の閾値の決定やその他の重みとの併用をして適切な重みを定量的に検討することが必要となる。

参考文献

- 1) 井上 卓也, 中谷 剛, 矢部 浩規:リアルタイムの浸水予測を考慮した経路検索の試み: 土木学会論文集 B1 (水工学): 74 巻 (2018) 4 号
- 2) 小川康平,井上卓也,平松祐基:避難中に氾濫域に巻

き込まれる危険性を考慮した経路検索システムの
開発(In Press)

- 3) 吉次なぎ, 阿部真也, 山本佳世子: 粘菌アルゴリズムを用いた避難経路導出手法の提案: 情報処理学会論文誌 Vol.60 No.12 Page.2325-2329 2019年12月

- 4) 一般財団法人 日本防火・危機管理促進協会: 避難所の指定・管理に関する調査研究: 令和2年度 危機管理体制調査研究報告書:
https://boukakiki.or.jp/crisis_management/library/report/R2c_housa_houkoku.pdf