

観光地における群集心理特性を考慮した避難経路割り当て手法の提案

An assignment method of evacuation routes for tourists based on mass psychology

ZHENG YUHUI†

北村 尊義†

泉 朋子†

仲谷 善雄†

†立命館大学情報理工学部

1 はじめに

地震は大勢の人に大きな被害をもたらす災害の一つであり、地震発生時には速やかに避難行動をとることが減災の点で重要である。ここで避難行動とは、被災者が適切な避難所へ移動することを指す。被災者がこの避難所に避難すべきかは地元住民であれば知っていると思定できるが、土地不案内な観光客はそうではない。日本には多数の観光客が訪問しており、観光地で大規模災害が発生すると、土地勘のない観光客が情報不足による危機感から主要駅など殺到し二次災害が発生する恐れがある。そのため、発災時には観光客に適切な避難経路を提示する必要がある。

そこで本研究では、観光地を対象に、観光客の位置に応じて適切な避難経路を提示するシステムを提案する。既存研究において、この問題を最大フロー問題に定式化し避難時間最短、および各時刻の避難完了者数を最大化する避難経路を得る手法が提案されている [1]。しかしここでは、ベースとなる各経路の移動にかかる時間などの経路情報には着目していない。本システムでは、災害発生時の観光客の群集心理特性や地域特性を考慮し、避難時に起こりうる経路状況を推定し経路情報を求める。求めた経路情報に基づいてフローアルゴリズムを実行し、最適な避難経路を提示する。

2 関連研究

各地域にいる避難者を避難所に割り当てを行うアルゴリズムとして、滝澤らが提案した逆探索と ZDD を用いた解の列挙アルゴリズム [2] があるが、これは避難経路を提示するものではない。避難経路を提示する手法として、神山らの手法がある [1]。これは、経路の時間的な変遷を動的ネットワークでモデル化し、そこで最大フロー問題を解くことで避難経路を求めるものである。しかしここでは、経路情報として用いる情報に、対象地域や観光客の避難行動の特性を考慮していない。

群衆の行動モデルに関する研究は、群衆の物理的側面と心理的側面に着目したものに分類できる。例えば、

物理的側面に着目したモデルとして、群衆を粒状体として考えた Reynolds らの Boid モデル [3] や、流体として考えた戸川のモデル [4] がある。避難者の心理的側面に着目したモデルとしては、Helbing らが提案した避難者の心理的特性を考慮した "Escape Panic" [5] がある。本研究ではこれらの知見を用いて観光客の行動特性を考慮した経路情報を構成する。

3 提案内容

発災時において、道路の状況が平常時と同じであるとは考え難い。特に観光客が多く訪れる地域では、観光客特有の避難行動のために平常時の道路状況とは異なる状況になる。経路情報は、交差点を点、交差点を結ぶ道を辺で表現することでグラフでモデル化できる。本研究では、災害発生時の観光客の群集心理特性や対象地域の特性を考慮し、避難時に起こりうる経路状況を推定し、フローアルゴリズムで用いるグラフを構成する。得られたグラフに基づき神山らの手法 [2] を用いて避難経路を求め、ユーザに提示する。

3.1 群集心理特性による辺情報の推定

フローアルゴリズムでは、各辺を同時に移動可能な最大人数 c (キャパシティ) と移動にかかる時間 τ を用いる。群集心理特性に基づいてこれらの値を推定する。

道の状態はその道が混雑する道か否かに依存すると考えられる。そこで、道が混雑する道であるかどうかの情報は事前に与えられるものとし、その判断に基づいて計算方式を変える。混雑する道ではない場合、避難者は比較的自由に移動できると想定できるため、以下の式でキャパシティと移動時間を求める。

$$c = w \cdot \rho_m \cdot L$$

$$\tau = \frac{L}{v_f \cdot h(k)}$$

ここで、 w は道の幅、 L は道の長さである。また、 v_f は Helbing らの避難者特性に関する研究 [5] で示されている緊張状態下の避難者の平均移動速度 1.5m/s に設定する。 ρ_m は Fruin らの研究 [6] で測定した、最も混雑している際の人の密度であり、 $4\text{人}/\text{m}^2$ である。 $h(k)$ は道の

†Yuhui ZHENG and Takayoshi Kitamura and Tomoko Izumi and Yoshio Nakatani

†College of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University

傾斜 k に対する速度の減少を表しており、以下で定義される [6].

$$h(k) = \begin{cases} 100\% & k \leq 5^\circ \\ 88.5\% & 5^\circ < k \leq 10^\circ \\ 75\% & 10^\circ < k \end{cases}$$

混雑する道である場合、以下の式でキャパシティと移動時間を求める.

$$c = w \cdot \rho_{opt} \cdot L$$

$$\tau = \frac{L}{v_{opt} \cdot h(k)}$$

ここで、 $\rho_{opt} = 2 \text{ 人}/\text{m}^2$ であり、これは GreenShield's Model[7] から求めた交通量が最大となる密度であり、この場合の移動速度は $v_{opt} = 0.75 \text{ m/s}$ である.

さらに、道が曲がっていたり、道が狭くなるか拡がるかによって混雑が変化し、許容可能な人数が変わると考えられる. そこで、交差点の形から得られる点拡大角度 ϕ に応じて、キャパシティを $f(\phi) \cdot c$ に減少させる. ここで、 $f(\phi) = p_1 \cdot \phi + p_2$ であり、 $p_1 = -0.005581$ 、 $p_2 = 0.9367$ である [5]. また、交差点の入辺の幅の和 w_{in} と出辺の幅の和 w_{out} から、その点の出辺のキャパシティを $g(w) \cdot c$ に変化させる. ここで、 $g(w) = w_{out}/w_{in}$ である [8].

3.2 地域特性に基づく点の分類

既存のフローアルゴリズムでは、すべての点や線は同様に処理され、各地域の特性は考慮されていなかった. しかし、観光客が密集する地域と駅へとつながる大通りのある地域では避難者の行動が異なると考えられる. そこで本研究では、地域を以下の3つに分類する.

1. 赤：避難中密度が高い地域
2. 青：避難中密度が低い地域
3. グレー：大通り

赤の地域は密度が高いことから、他の地域から赤の地域には人は入らないと考えられる. また、大通りに出た場合には他の地域には入らず大通りを移動し続けると考えられる. そこで、地図情報から得られる経路の有向グラフ N から、1) 赤の地域の点へ入る辺を削除し、2) グレー地域の点から青の地域の点への辺を削除して有向グラフ N' を構築する. 実際にどの地域が上記3つのうちいずれに分類されるかは、対象地域によるもので、実験者が判断するものとする.

4 評価

評価実験では、南海トラフ地震を想定し、京都市内で観光客に人気ある清水・祇園地域を対象地域とした. 交差点数は254、辺数は428である. 避難所は京都市が「帰宅困難観光客避難誘導計画」[9]で指定している観光客緊急避難広場とし、8か所である. 避難人数は約48000人と想定し、初期分布は観光客分布に基づいて設定する. 混雑している道であるか否かの判断は、実際に現地で調査した結果を利用して判断した.

結果として得られた N' に基づいてフローアルゴリズムを実行し、得られた避難経路を安全性や効率性の点で分析することで本提案を評価する.

5 まとめ

本研究は災害発生時の観光客の群集心理特性や対象地域の特性を考慮し、避難時に起こりうる経路状況を推定し経路情報を求め、フローアルゴリズムにより避難経路を提示するシステムを提案した. 評価実験では京都市を対象としたが、他の観光都市での適用と実験を目指す.

参考文献

- [1] Kamiyama, N., Takizawa, A., Katoh, N., & Kawabata, Y.: Evaluation of capacities of refuges in urban areas by using dynamic network flows, In The 8th International Symposium on Operations Research and Its Applications, pp.453460, 2009.
- [2] 瀧澤重志: 避難計画問題への離散アルゴリズムの適用, 電子情報通信学会誌, Vol.97, No.5, pp.393-398, 2014.
- [3] Reynolds, C. W.: Flocks, herds and schools: A distributed behavioral model, In ACM Siggraph Computer Graphics, Vol. 21, pp.2534, 1987.
- [4] 戸川喜久二: 避難群集流の計算について. Journal of Architecture and Building Science, Vol.69, No.809, pp.1519, 1954.
- [5] Helbing, D., Farkas, I., & Vicsek, T.: Simulating dynamical features of escape panic. Nature, Vol.407, No.6803, pp.487490, 2000.
- [6] Fruin, J. J.: Pedestrian planning and design, Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental Planners, 1971.
- [7] Greenshields, B. D., Channing, W., & Miller, H.: A study of traffic capacity. In Proc. of the 14th Annual Meeting of the Highway Research Board Held, pp.448-477, 1935.
- [8] Daamen, W., & Hoogendoorn, S.: Experimental research of pedestrian walking behavior, Journal of the Transportation Research Record, Vol.1828, pp.2030, 2003.
- [9] 京都市：帰宅困難観光客 避難誘導計画