

オープンデータを用いた避難行動モデルのパラメータ推定: 浸水災害における事例

Parameter Estimation for Evacuation Behavior Model Using Open Data: A Case Study in Flooding Disaster

木津谷 諒†
Makoto Kitsuya

佐々木 淳†
Jun Sasaki

1. はじめに

近年, 国内では自然災害が多発している. 発災後, 気象庁による気象警報・注意報の発令や, 地方自治体による避難関連情報の発表などの, 住民に安全な行動を促すための情報共有が行われる. しかし, 発災後の情報共有では, 変化する災害状況への対応の遅れが懸念される. その事例として, 避難所の定員超過が挙げられる. 2019 年台風 19 号では福島県いわき市の 13 箇所, 2020 年九州を襲った台風 10 号では COVID-19 の影響もあり全国 383 箇所の避難所で定員超過が発生した[1].

このような事態に対応するには, 避難所の混雑状況を事前に予測することが有効である. 混雑状況の予測においては, 避難行動モデルが重要な役割を果たす. これまでは, アンケートやパーソントリップ(PT)データなどを用いた避難行動モデルがあったが, データの入手性が低いという問題があった.

そこで本研究では入手しやすいオープンデータを用いて, 避難行動モデルのパラメータ推定を試みる. 本稿では, 事例として, 2019 年台風 19 号の岩手県久慈市での避難行動モデルのパラメータ推定を行い, 各パラメータの係数を求めた. また, モデルの改善のために現地調査を行った. 本稿では, 設定した避難行動モデルの実験結果を示し, 現地調査結果と合わせてモデルの改善点について考察する.

2. 関連研究

避難行動モデルに関する研究は多く存在する. 山田らは, 津波避難ビルの選択に関するモデルの構築を行った[2]. 西野らは, 地震火災時の避難先の選択に関する意思決定モデルの推定を行った[3].

これらの研究では, 災害を想定したアンケートのデータや PT データに基づいて行動モデルのパラメータ推定を行っている. しかし, アンケートでは実際の災害の特徴を含まず, PT データは GPS ロガーを被験者が持ち歩く必要がある. データの入手性が低い問題がある. また, これらの研究では一時点における避難先の決定のみを対象としていた. しかし, 実際には災害の状況の変化に伴って, 複数回の意思決定が行われていると考えられる.

本研究では, 上記の問題を解決するため, 入手性に優れたオープンデータを用いて, 避難行動モデルのパラメータ推定を行う. また, Fu らの提案した繰り返し二項ロジットモデル[4]による避難行動モデルを採用し, 複数回の意思決定に対応できるようにする.

3. モデルの概要

本研究では, 汎用的・実用的な避難行動モデルの構築を目的に, オープンデータを用いた避難行動モデルのパラメータ推定手法を提案する. 本研究におけるモデルでは, 避難所毎の避難人数についての時系列データを用いるため, 住民は客観的な指標に基づいて避難を行うと仮定し, 250m メッシュ毎に単位時間あたりの避難人数を求める. おおまかには, 避難可否の決定, 避難先の選択確率の算出, 単位時間あたりの避難人数の算出, の 3 つの過程から構成される.

3.1 避難可否の決定

避難可否の決定は, 避難時の複数時点における意思決定を表現するため, 繰り返し二項ロジットモデルを用いて行う. 図 1 に繰り返し二項ロジットモデルの状態遷移図を示す. 未避難状態から開始し, 時点 t_j において確率 $\Pr(t_j)$ で避難状態に遷移し, $1 - \Pr(t_j)$ で未避難状態に遷移する. 避難状態に遷移した場合にはそこで終了し, 未避難状態に遷移した場合は確率 $\Pr(t_{j+1})$ で遷移先を決定する.

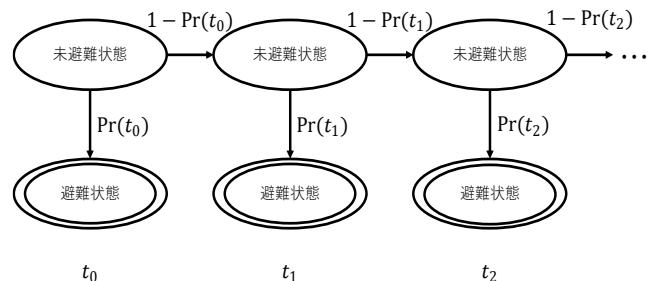


図 1 繰り返し二項ロジットモデルの状態遷移図

3.2 避難先の選択確率の算出

住民の避難先の選択確率の算出には, 複数の避難所候補かへの効用を求めるため多項ロジットモデルを使用する. まず, 時点 t において主体 n が選択肢 i を選択する確率 $\Pr(t, i, n)$ を次に示す. $V_{t,i,n}$ は時点 t における主体 n の選択肢 i に対する効用関数を, C は選択候補の総数を示している.

$$\Pr(t, i, n) = \frac{\exp(V_{t,i,n})}{\sum_{i=0}^C \exp(V_{t,i,n})} \quad (1)$$

説明変数を $x_{k,t,i,n}$, 係数を β_k としたときの効用関数 $V_{t,i,n}$ を次に示す. なお, D は説明変数の総数を示す.

$$V_{t,i,n} = \sum_{k=1}^D x_{k,t,i,n} \beta_k \quad (2)$$

† 岩手県立大学ソフトウェア情報学部研究科
Graduate School of Software and Information Science, Iwate
Prefectural University

3.3 単位時間あたりの避難人数の算出

先に求めた避難先の選択確率に、250m メッシュの滞在人数を乗算することで、単位時間あたりの避難人数を求める。ここで、滞在人数は t_0 時点ではメッシュ人口と等しく、以降は時点毎に未避難状態の人数に更新される。

4. 実験

4.1 実験の概要

オープンデータを用いて、前述した避難行動モデルのパラメータ推定を行う。単位時間を 10 分としてモデルから避難人数を算出し、算出値と実際の避難人数の誤差を二乗平均平方根誤差(RMSE)で求め、誤差を最小化するように係数の最適化を行う。

4.2 実験対象

対象として、地区は岩手県久慈市、災害は 2019 年台風 19 号のデータを選んだ。久慈市においては、住宅地を流れる小屋畑川が氾濫し、流域の床上浸水 455 棟、床下浸水 561 棟の被害が発生した[5]。本実験では、久慈市において避難勧告が発令された 10 月 12 日 15 時 40 分から、避難指示に格上げされ避難者の変動を確認できなくなった 23 時 40 分までを対象期間とする。図 2 に久慈市の 250m メッシュとその人口を示す。250m メッシュは市内に 1255 個存在している。久慈市の人口は海岸（港）地域から河川沿線上に集中して分布している。

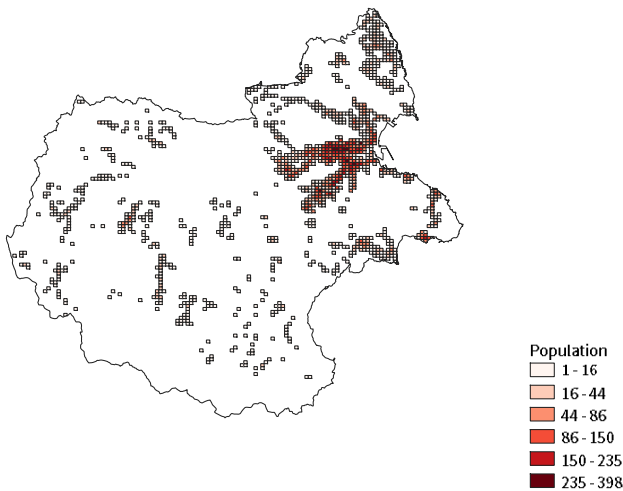


図 3 久慈市の 250m メッシュの人口

図 3 に台風 19 号で開設された久慈市の避難所 22 箇所の位置を示す。概ね図 2 の人口分布に対応できる形で避難所が設置されていることがわかる。ただし、これらの地図だけでは土地の起伏（地形）や道路状況がわからないため、実際の災害時におけるアクセス性については不明である。



図 2 台風 19 号で開設された久慈市内の避難所

4.3 使用データ

実験で使用したデータを表 1 に示す。いずれもインターネット上で取得できるオープンデータである。

表 1 使用データ一覧

名称	説明
岩手防災情報ポータル(避難所情報)[6]	発災時の避難所毎の避難人数に関する時系列データ
指定緊急避難場所データ [7]	避難所の緯度経度情報
2015 年国勢調査・5 次メッシュ(250m メッシュ) [8]	250m メッシュ毎の人口
2015 年国勢調査・小地域 [8]	250m メッシュの Shapefile によるポリゴンデータ
GPV 降水エコー強度[9]	10 分ごとの降水強度データ
河川データ[10]	河川の級, 位置情報

4.4 説明変数

効用関数 $V_{t,i,n}$ で使用する説明変数を表 2 に示す。避難する場合としない場合で異なる説明変数を使用する。表 2 中のグリッドとは、避難対象とする住民の集合である。

表 2 説明変数一覧 (○: 使用する項目)

項目名称	避難する場合	避難しない場合
経過時間	○	○
時刻	○	○
グリッドと河川の距離	○	○
避難所と河川の距離	○	○
降水エコー強度	○	○
避難所までの距離	○	○
避難しない場合ダミー		○

4.5 実験シナリオ

実験のシナリオとして、説明変数の組み合わせを表 3 に示す 3 通りを用意した。シナリオ a では最も単純な組み合わせを使用する。シナリオ b では降水エコー強度以外を使用する。シナリオ c では全ての説明変数を使用する。

表 3 シナリオと説明変数の対応

項目名称	a	b	c
経過時間	○	○	○
時刻	○	○	○
グリッドと河川の距離		○	○
避難所と河川の距離		○	○
降水エコー強度			○
避難所までの距離		○	○
避難しない場合ダミー	○	○	○

4.6 実装

データの前処理に関しては R、モデルによる避難のシミュレーションには C++を用いた。係数の最適化には Population が 50、Iteration が 2000 の実数値遺伝的アルゴリズムを使用する。

4.7 実験結果

各シナリオの平均 RMSE を表 4 に、シナリオごとの避難所における RMSE を図 4 から図 6 に示す。図には開設された 22 避難所の滞在人数の推移を、赤の実人数と青の推定人数で示している。数字は個々の避難所の RMSE を表しており、背景色の黄色の濃さが RMSE の大きさと対応している。

避難所番号 (No.) は最上段の左から右に向かって No.1 ~5、上から 2 段目の左から右に向かって No.6~7 と続き、最下段は左から No.21, 22 となっている。なお、この番号は図 3 の避難所番号と一致している。

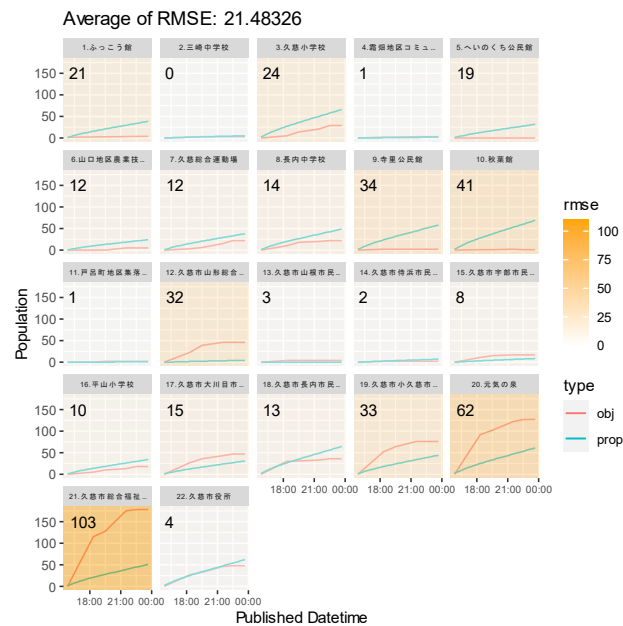


図 4 シナリオ a の各避難所における RMSE

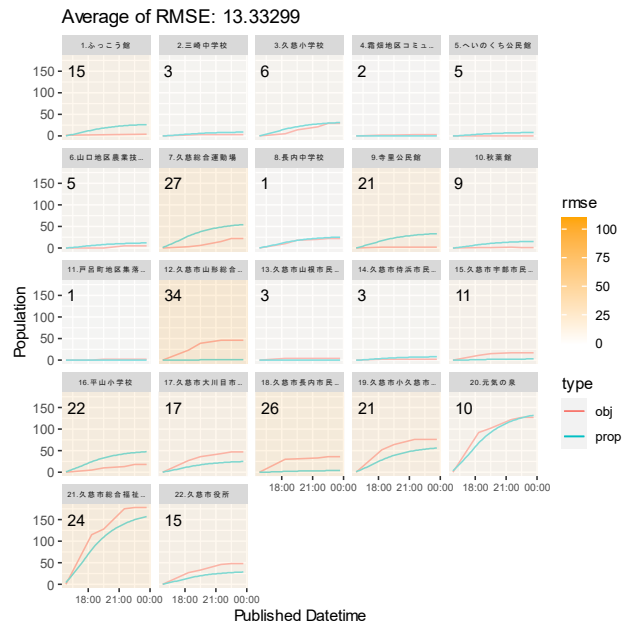


図 5 シナリオ b の各避難所における RMSE

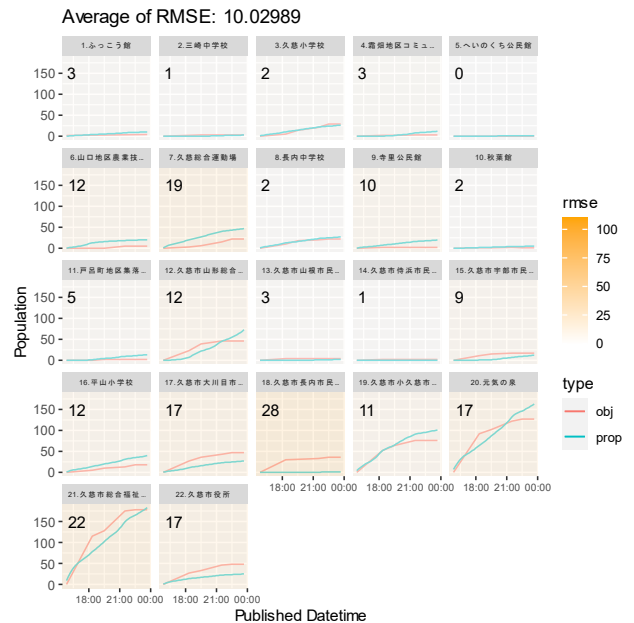


図 6 シナリオ c の各避難所における RMSE

表 4 各シナリオの平均 RMSE 比較

シナリオ	平均 RMSE
a	21.48326
b	13.33299
c	10.02989

シナリオ a は最も誤差が大きい結果となった。特に避難人数の多い避難所番号 20 や 21 で誤差が大きい。また、避難人数の少ない避難所番号 9 や 10 でも、実際の避難人数より上振れした推定結果となった。シナリオ b はシナリオ a

と比べて全体的に RMSE が改善したが、避難所番号 7 では上振れした避難人数を示している。シナリオ c は実験シナリオで最も小さい RMSE を示した。特に実人数が少ない場合に精度が高い。反面、実人数が多い場合には避難所番号 18 のように大きい RMSE を示す場合もあった。

この結果から、全体的なモデルの精度を向上させる方向を見出すことはできたが、個々の避難所において RMSE が変化する原因がわからないため、現地調査を行うこととした。

4.8 現地調査

実験結果を踏まえ、モデルの改善を目的として、2021年5月26日に岩手県久慈市で現地調査を行った。実験では22避難所を対象としていたが、本調査では市街地に位置する14避難所を訪問、周囲環境を調査した。市街地に限定したのは、郊外に位置する避難所は近くに他の避難所が立地せず、住民に選択の余地がないためである。調査した避難所の一部の写真を図7に示す。

2019年の台風19号の災害において、No.5、No.10の避難所については避難者はほとんどいなかった。その理由として、No.5の場合、周辺に住民が少なく、徒歩で避難するにはアクセスが悪いこと、No.10の場合、市街地にあり、アクセスの問題はないが、建物が小さく、周囲には市役所や合同庁舎など大きな避難所があったためであると推測された。



No. 5 へいのくち公民館



No. 10 秋葉館



No. 17 大川目市民センター



No. 19 小久慈市民センター



No. 21 久慈市総合福祉センター



No. 22 久慈市役所

図7 調査した避難所の例

No.17 と No.19 については、職員の聞き取り調査を行うことができた。どちらも、自主防災組織が住民の避難を促している点で共通していた。内部には和室もあり、設備も

整い、常駐の職員もいて安心して避難できる場所である。自主避難する人もいるが、高齢者の場合、自主防災組織の支援者によって連れてこられたケースも多いことがわかった。これがモデルの実験値よりも実際の避難者が多い理由になると考えられる。

No.21 と No.22 は公的機関であり、多くの避難者を受け入れた。特に No.21 は高台にあるが駐車場が広く、設備だけでなく多くの職員や医療スタッフも整っている。その安心感が多くの避難者を集めたと考えられる。

総じて、避難者の少ない避難所は路地や入り組んだ場所に位置している、駐車場が狭いなどアクセスに不便な点が共通していた。また、比較的面積が狭い、人気がなく普段使われていない様子がないという点も挙げられる。反面、避難者の多い避難所はアクセス面で優れており、利用者がいることを確認できた。今回の調査の結果判明した、避難所のアクセス面や利用頻度の考慮、自主防災組織の有無をモデルに組み込む予定である。

5. まとめ

本研究では汎用的・実用的な避難行動モデルの構築を目的に、オープンデータを用いた避難行動モデルのパラメータ推定手法の提案を行った。実験により、適切なパラメータを増やすことで精度が向上することを確認した。また、現地調査を行い、本モデルに不足していた要因を整理した。今後は、実験や現地調査の結果をふまえ、モデルの改善を進めていく予定である。

謝辞

本研究は、公益財団法人電気通信普及財団の2021年度研究助成によって行いました。ここに感謝申し上げます。

参考文献

- [1] <台風10号>383避難所で定員超過 コロナ影響, 佐賀新聞 Live, <https://www.saga-s.co.jp/articles/-/578443>
- [2] 山田 崇史, 岸本 達也, 沿岸地域における津波避難ビルの選択行動モデル化, 日本建築学会計画系論文集, 2015, 80 巻, 707 号, pp. 125-133
- [3] 西野 智研, 樋本 圭佑, 田中 孝義, 地震火災時における住民の避難先選択のモデル化, 日本建築学会環境系論文集, 2011, 76 巻, 663 号, pp. 469-477
- [4] Fu, H., Wilmot, C. G., Zhang, H., & Baker, E. J. (2007). Modeling the hurricane evacuation response curve. *Transportation Research Record*, 2022(1), pp. 94-102
- [5] 福留 邦洋, 2019年台風19号における岩手県久慈市の避難者の傾向, 日本地理学会発表要旨集, 2020, 2020s 巻, 2020年度日本地理学会春季学術大会, p. 35
- [6] いわて防災情報ポータル, <https://iwate.secure.force.com/>
- [7] 県内市町村避難場所, 岩手県, <https://www.pref.iwate.jp/kurashikankyou/anzenshin/bosai/kokoroe/1004197.html>
- [8] その1 人口等基本集計に関する事項 M6041, 2015年国勢調査結果, 総務省統計局, <https://www.e-stat.go.jp/gis/statmap-search/data?statsId=T000876&code=6041&downloadType=2>
- [9] 全国合成レーダーGPV, 京都大学生存圏研究所, <http://database.rish.kyoto-u.ac.jp/>
- [10] 国土数値情報 河川データ 岩手県, 国土交通省, <https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-W05.html>