

はじめに

既往研究

外部性を考慮した
動的居住地選択モ
デル

実証分析

おわりに

大規模災害後の動的人口移動予測に基づく 復興補助政策の決定とその修正

長瀬 永遠

富山県立大学 情報基盤工学講座

July 7, 2023

背景

大規模災害や紛争の発生後には故郷が破壊され、多くの住民が居住地選択を迫られる。その際には、長期にわたる復興や住民のライフプランといった将来を見据えた動的意思決定が行われ、それに沿った政策決定を行う必要がある。被災者が居住地選択を行う上で重要な指標の一つに外部性というものがある。しかし、復興過程における外部性の理論的な分析が十分に行われているとは言い難い。

目的

復興過程における外部性をモデル化し、実際の居住地選択においては正負どちらの外部性が卓越していたかを実証的に示す。

正の外部性

より多くの人が都市 A を選択するほどに都市 A の居住効用が上がる
(例)

- ・被災による一時的な疎開を契機にした人口流出
被災世帯が高い地域において、仮設住宅の容量が大幅に足りず一時的に他の都市へ人口が流出した場合、復興時にもそれらの人口が戻らないことがある

負の外部性

より多くの人が都市 A を選択するほどに都市 A の居住効用が下がる
(例)

- ・震災前の賃貸住宅容量に対する被災後の住宅需要量
既存の民間賃貸住宅の多い仙台市やその周辺と比較して、小規模な沿岸の町は被災時に大都市へ移住する人が多い

はじめに

既往研究

外部性を考慮した
動的居住地選択モ
デル

実証分析

おわりに

本モデルでは、被災者の居住地選択履歴を発災後から 10 年間の時間軸と広域都市圏域を表す空間軸による時空間ネットワーク上で表現する。

$y = (S, A)$: 時空間ネットワーク

S : 時点 t における居住地を表す状態ノード

A : 居住地の時空間遷移行動を表すリンク集合

$s_t = (t, l), (t \in T, l \in L)$: S の要素で時点 t 毎に異なる居住地ノード

T : 復興年限

L : 居住地選択上での選択肢となる都市の集合

はじめに

既往研究

外部性を考慮した
動的居住地選択モ
デル

実証分析

おわりに

発災から T 期までの被災者の居住地選択履歴は、時点 t 毎に居住地 s を選択した一連の経路として、以下のように表す。

$$\sigma = [s_1, \dots, s_T] (s_T = d = (T, l))$$

ある時点 τ に居住状態 s_τ にある被災者は、次時点を取りうる居住状態の集合 $J(s_\tau)$ の中から、次時点の居住状態 $s_{(\tau+1)}$ を選択する。このとき、被災者 n は $s_{(\tau+1)}$ で得られる即時効用 $u(s_{(\tau+1)}|\tau)$ と、 $s_{(\tau+1)}$ から最終時点 T における居住状態 $s_T = d = (T, l)$ までの期待最大効用 $V^d(s_{\tau+1})$ との和を最大化するように選択する。

$$V^d(s_\tau) = \mathbb{E} \left[\max_{s_{\tau+1} \in J(s_\tau)} \{v(s_{\tau+1}|s_\tau) + \beta V^d(s_{\tau+1}) + \mu \epsilon(s_{\tau+1})\} \right] \quad (1)$$

$v(s_{\tau+1}|s_\tau)$: 即時効用の確定項

$\beta : 0 \leq \beta \leq 1$ を満たす時間割引率

はじめに

既往研究

外部性を考慮した
動的居住地選択モ
デル

実証分析

おわりに

居住状態 s_τ から居住状態 $s_{\tau+1}$ に遷移する確率は以下の式 (2) で表される.

$$P^d(s_{\tau+1}|s_\tau) = \frac{e^{\frac{1}{\mu}\{v(s_{\tau+1}|s_\tau) + \beta V^d(s_{\tau+1})\}}}{\sum_{s'_{\tau+1} \in T(s_\tau)} e^{\frac{1}{\mu}\{v(s'_{\tau+1}|s_\tau) + \beta V^d(s'_{\tau+1})\}}} \quad (2)$$

また, 動的な居住選択経路 σ の選択確率は, 各時点 τ における居住選択率である式 (2) の積として以下のように表される.

$$P_n(\sigma_n) = \prod_{\tau=1}^{T-1} P^d(s_{\tau+1}|s_\tau) \quad (3)$$

外部性項の導入 1

他の被災者との相互作用（外部性）を考慮するために外部性項を導入し，モデルを拡張する．

$$\begin{aligned}
 EP(s_{\tau+1}; \theta) &= \sum_n P_n(s_{\tau+1}; \theta) \\
 &= \sum_n \sum_{s_{\tau+1} \in g(s_{\tau})} P_n(s_{\tau+1} | s_{\tau}; \theta) P_n(s_{\tau}; \theta)
 \end{aligned} \tag{4}$$

$EP(s_{\tau+1}; \theta)$ ：次時点 $\tau + 1$ に都市 i を選ぶ被災世帯の期待人数
 = 居住状態ノード $s_{\tau+1}$ を選択する期待人数

外部性項の導入2

式 (4) を説明変数として式 (5) のような形で式 (1) に導入する.

$$v(s_{\tau+1}|s_{\tau};\theta) = \theta \mathbf{x}_{\mathbf{s}_{\tau+1}|\mathbf{s}_{\tau}} + \theta_{EP} EP(s_{\tau+1};\theta) \quad (5)$$

$\mathbf{x}_{\mathbf{s}_{\tau+1}|\mathbf{s}_{\tau}}$: 居住ノードの組 $(s_{\tau}, s_{\tau+1})$ に関する属性変数ベクトル

構造推定

初期値 θ_0, \mathbf{EP}_0 を与え以下の2段階でのパラメータ更新を繰り返す.

- k 回目の出力 θ_k, \mathbf{EP}_k に対して, 疑似対数尤度関数 $\ln LL(\theta; \mathbf{EP}_k)$ を最大化するように θ_{k+1} を求める.

$$\theta_{k+1} = \arg \max_{\theta} \ln LL(\theta; \mathbf{EP}_k) \quad (6)$$

- 推定パラメータ θ_{k+1} と \mathbf{EP}_k より, 外部性項を更新する.

$$\mathbf{EP}_{k+1} = \sum_n P_n(s_{\tau+1}; \theta_{k+1}, \mathbf{EP}_k) \quad (7)$$

ある閾値 δ に対して収束条件 $\|\theta_{k+1} - \theta_k\| + \|\mathbf{EP}_{k+1} - \mathbf{EP}_k\| < \delta$ が満たされるまで Step1-2 を繰り返し, 収束した時の値を推定値とする.

モデルの設定

東日本大震災被災者の 10 年間の居住履歴をもとに分析を行う。

- 対象期間：2011 年から 2020 年（10 年間）
- 時空間ネットワーク：
発災時点を $t = 1$ とし， $T = 14$ （2011 年のみ 4step/year，2012 年以降は 1step/year）
- 居住先候補地：
被災者が対象期間中に居住した都市をもとに MCMC 法を用いてサンプリング
- 転出先候補：
被災県（岩手，宮城，福島）は市町村単位，その他の県への移動は都道府県単位

効用関数

(説明変数)

- 1 可住地人口密度 (人/ha) (各年変動)
- 2 平均家賃/平均所得
- 3 震災時点居住地ダミー (外部性項 EP /被災時点人口)
- 4 都市間移動時間 ($10^{-4}s$)

(3) のパラメータが正であれば、故郷に残る人が多いほど自分も故郷に残りたいという傾向を示すことになる。

データ

- サンプル数：4 パターン※かっこの中はサンプル数全体 (283)，岩手県 (65)，宮城県 (108)，福島県 (110)
- スケールパラメータ： $\mu = 1$
- 割引率： $\beta = 0.6$

推定結果

Table 1: 外部性項を導入した動的居住地選択モデルの推定結果

	All		Iwate		Miyagi		Fukushima	
	parameter	t-value	parameter	t-value	parameter	t-value	parameter	t-value
(1) 可住地人口密度 (人/ha)	0.015	17.70	0.032	11.44	0.026	15.13	0.012	8.71
(2) 平均家賃/平均所得	-0.043	-2.81	-0.101	-2.66	-0.033	-1.50	-0.047	-1.55
(3) 震災時点居住地ダミー* (EP /被災時点人口)*	1.174	20.07	1.238	7.61	1.572	15.19	0.828	8.59
(4) 移動時間 (10^{-4} s) 注)*外部性項	-3.752	-30.43	-4.087	-12.40	-4.220	-15.51	-3.853	-23.13
時間割引率		0.60		0.60		0.60		0.60
サンプル数 (人数*time step)		283*14		65*14		108*14		110*14
初期尤度		-5100.18		-1171.42		-1946.36		-1982.40
調整済み最終尤度		-1672.75		-271.65		-578.52		-722.38
尤度比		0.67		0.76		0.70		0.63

はじめに

既往研究

外部性を考慮した
動的居住地選択モ
デル

実証分析

おわりに

まとめ

災害や紛争後の長期避難を一連の経路とみなし、外部性を考慮した動的居住モデルを構築した。また、東日本大震災の実データによるパラメータ推定により、復興期の居住地選択には正の外部性が働いていることを示した。

今後の展望

- 外部性項に関する自治体間の異質性の把握
被災地の外部性を同一のパラメータとして推定したが、各自治体の特徴を踏まえた復興政策の立案には、自治体固有のパラメータとして推定する必要がある。
- 将来の不確実性を表す時間割引率の異質性の考慮
居住地選択における将来効用の考慮の程度は復興段階や世帯クラスごとに異なると考えられるため、時間割引率の時間ごとの変動、世帯クラスごとの異質性を考慮する必要がある。