

土地利用分析における空間的相関を考慮した離散選択モデルの適用

宮城卓也*・堤盛人**・山形与志樹**

*筑波大学 大学院システム情報工学研究科
**国立環境研究所 地球環境センター

空間計量経済学の本質

- 空間計量経済学は計量経済学の一分野であり、主に**空間的相関**の処理を取り扱う

特徴：空間的相関(類似性)

・・・近い点同士の観測値は似たような傾向



空間的相関を無視したモデル

推定精度、信頼性の低下

空間的相関を考慮したモデル分析の必要性

従来の土地利用分析

- 土地利用予測を目的とした分析では、離散選択モデルがよく用いられる。
- 土地利用予測に対して離散選択モデルを適用したものは、宮本他(1986)など様々あるが、これらの研究では空間的相関を考慮していない。
- Vichiensan, Miyamoto and Tokunaga (2005) では、Mixed Logit Model を用いて、立地選択行動に空間的相関考慮

他分野での適用例

- 空間計量経済学のアプローチをプロビット・モデルに適用した研究にLeSage(2000)があり、交通の分野へ適用。

➡ 土地利用の分野での適用例は皆無

目的

- 土地利用分析において、空間計量経済学の理論を組み込んだモデルの適用し、その有効性を検討する。
- 具体的には、土地利用を市街地とその他に再分類し、二項プロビットモデルにおける市街地選択の効用を表す線形式に空間的相関を考慮した「空間二項プロビットモデル」を適用し、周辺の土地利用が市街地選択に与える影響を調べる。

通常の二項プロビットモデル

$$\Pr_{1i} = \Pr(y_{1i} + \varepsilon_{1i} > y_{2i} + \varepsilon_{2i}) \\ = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{V_{1i} - V_{2i}} \phi(\eta) d\eta_{2i} d\eta_{1i}$$

$$LL = \sum_i (\delta_{1i} \log P_{1i} + \delta_{2i} \log P_{2i})$$

- NSM: non spatial model

$$y = X\beta + \varepsilon, \quad \varepsilon \sim N(0, \sigma^2 I) \quad I: \text{単位行列}$$

y : $n \times 1$ の被説明変数ベクトル

X : $n \times k$ の説明変数行列

β : $k \times 1$ のパラメータベクトル

ε : $n \times 1$ の誤差項ベクトル

空間二項プロビットモデル(効用項)

- SAR: spatial autoregressive model

$$y = \rho W y + X \beta + \varepsilon, \varepsilon \sim N(0, \sigma^2 I)$$

ρ : 空間パラメータ W : 空間重み行列

- SEM: spatial error model

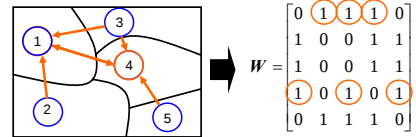
$$y = X \beta + u, u = \rho W u + \varepsilon, \varepsilon \sim N(0, \sigma^2 I)$$

W : 空間重み行列

空間重み行列

W の与え方の例

例えば、距離の近い方から3個に重み1を与える



- W に関して、行和が1 ($\sum_i w_{ij} = 1$) になるように基準化を行う。
- 本研究では、距離の近い方から k 個に重み 1 を与える

分析対象とするデータ

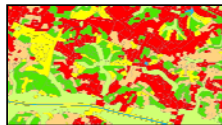
詳細土地利用

調査実施期間: 国土地理院

調査年度: 1948, 1975, 2004

データ概要: 茨城県南地域を対象とした

詳細なポリゴンデータ



詳細土地利用	本研究における土地利用分類
1: 都市集落地等	1: 市街地
2: 田	
3: 畑地・果樹園等	
4: 広葉樹林 5: 針葉樹林 6: 混交樹林 7: 竹林	2: その他
8: 河川・湖・沼・池 9: 湿地	
10: 伐採跡地 11: 公園緑地・運動競技施設	
12: 荒地 13: 露岩・崩壊地 14: その他	

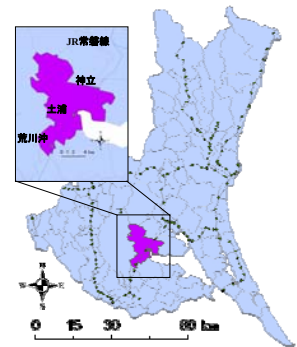
分析対象地域

- 対象地域: 茨城県土浦市

面積: 114.10km²

ポリゴン数: 13168個

- 南北に常磐線、常磐自動車道
- 土浦市内には土浦駅、神立駅、荒川沖駅の3駅が存在している



基本モデルの構築

$$y = \beta_0 + \sum_{m=1}^5 x_m \beta_m + \varepsilon$$

y : 市街地選択効用 β_0 : 切片

β_1 : 最寄駅までの距離(m) β_2 : 道路までの距離(m)

β_3 : 流域界までの距離(m) β_4 : 標高(m) β_5 : 人口密度(人/m²)

- 空間的相関の診断を行い、空間的相関が示唆された場合に空間計量経済学の理論を適用

空間的相関の診断

- Moran'I

ー 空間的相関を検出するための代表的な指標

$$I = \frac{n}{\sum_i \sum_j w_{ij}} \cdot \frac{v' W v}{v' v}$$

V : 空間的相関が生じていると考えられる変数のベクトル

ー Moran'Iより次式Zを定義できる。

Zは観測数が十分多いとき漸進的に正規分布 $N(0,1)$ に近づく。

$$Z = \frac{I - E[I]}{\sqrt{\text{Var}[I]}}$$

「空間的相関がない」という帰無仮説に対して検定が可能

空間的相関の診断

k	2	3	4	5	10	20	30
Moran'I	0.366	0.343	0.329	0.316	0.276	0.228	0.202
Z	45.96	51.94	57.08	61.01	74.3	86.5	93.67
上側確率(%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

➡ 強い空間的相関が示唆された

空間二項プロビットモデルの構築

SAR

$$y = \rho W y + X\beta + \varepsilon, \varepsilon \sim N(0, \sigma^2 I)$$

SEM

$$y = X\beta + u, u = \rho W u + \varepsilon, \varepsilon \sim N(0, \sigma^2 I)$$

空間重み行列の選定

— 距離の近い方から k 個に重み 1 を与える

W の与え方による的中率 (N=13168)

k	2	3	4	5	10	20	30
SAR	63.2	63.5	64.6	63.5	63.3	62.4	62.1
SEM	63.5	64.2	64.5	63.3	61.0	57.9	57.6

パラメータ推定法

空間二項プロビットモデル
⇒ 最尤法での推定は困難

■ ベイズ推定法

— パラメータに事前分布をおき、観測データを用いて
パラメータを更新する(事後分布)

■ STEP

1. 事前分布を選定
2. 観測データを用いて、事前分布を更新(事後分布)
3. ρ, β, σ が与えられた下での y の条件付事後分布を導出

パラメータ推定法

— 事前分布

Lesage (2000)を参考に、拡散事前分布を用いた。
拡散事前分布は事前情報が具体的でない場合に
よく用いられる。

— 周辺事後分布の例(σ)

$$p(\sigma | \rho, \beta) \propto \sigma^{-(n+1)} \exp\left\{-\frac{1}{2\sigma^2}(\varepsilon'\varepsilon)\right\}$$

— 条件付事後分布

$$L(y, W | \rho, \beta, \sigma^2) = \frac{1}{2\pi\sigma^{2(n/2)}} |I_n - \rho W| \exp\left\{-\frac{1}{2\sigma^2}(\varepsilon'\varepsilon)\right\}$$

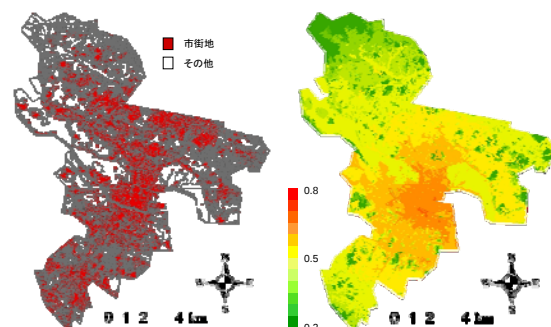
$$\left(\begin{array}{ll} \text{この時、} \varepsilon = (I_n - \rho W)y - X\beta & (\text{SARの場合}) \\ \varepsilon = (I_n - \rho W)(y - X\beta) & (\text{SEMの場合}) \end{array} \right)$$

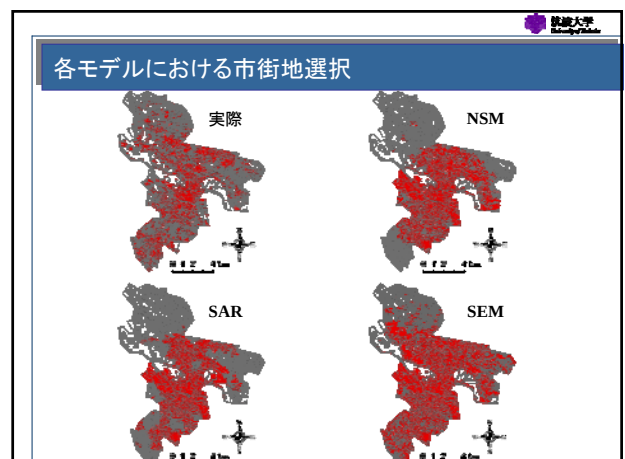
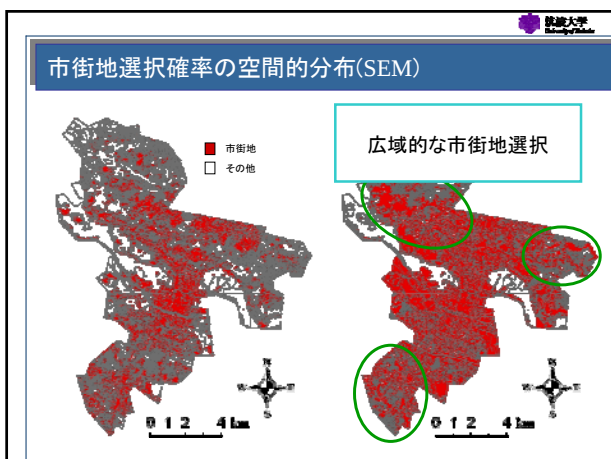
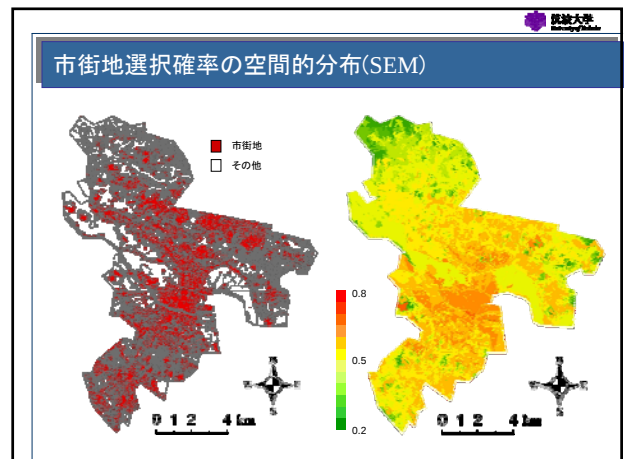
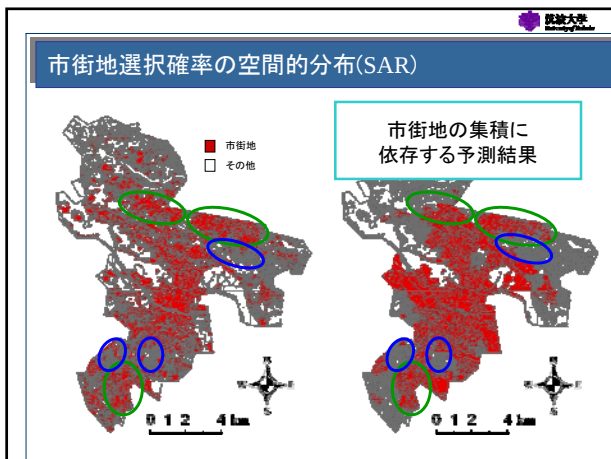
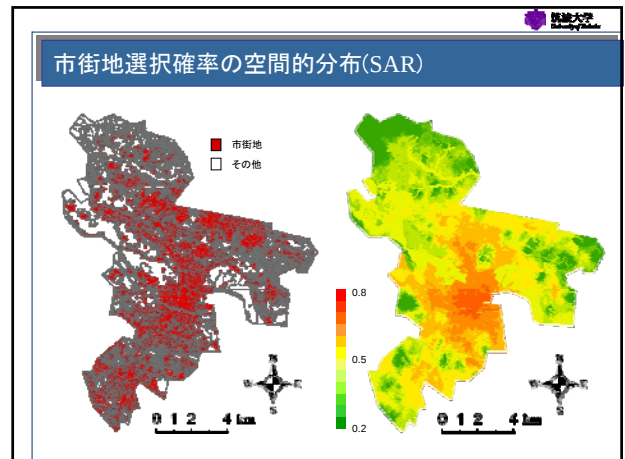
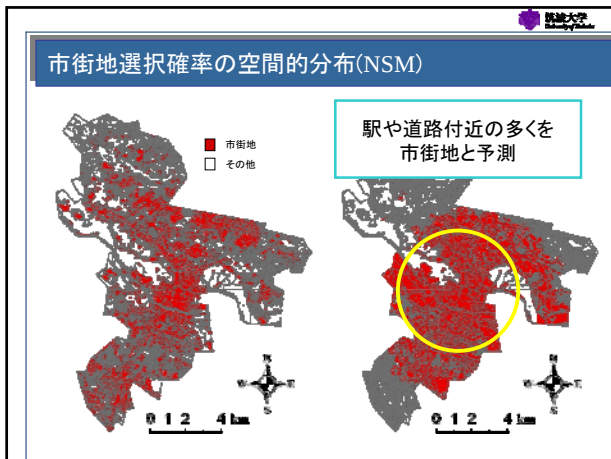
各モデルのパラメータ、的中率

k	NSM		SAR		SEM	
	推定値	t値	推定値	t値	推定値	t値
切片	0.69	12.65 **	0.42	9.49 **	0.51	10.70 **
最寄り駅までの距離	-1.11×10^{-4}	-13.12 **	-6.62×10^{-5}	-11.00 **	-8.92×10^{-5}	-11.13 **
道路までの距離	-9.45×10^{-3}	-25.05 **	-5.51×10^{-3}	-21.44 **	-6.02×10^{-3}	-19.83 **
流域界までの距離	-4.47×10^{-5}	-0.87	-2.96×10^{-5}	-0.73	-2.64×10^{-5}	-0.60
標高	4.23×10^{-5}	0.08	-3.91×10^{-5}	0.09	-6.63×10^{-5}	-0.14
人口密度	1.18×10^{-5}	2.38 **	7.06×10^{-6}	1.75	9.71×10^{-6}	2.25 *
空間的相関 ρ			0.29	28.82 **	0.26	21.20 **
的中率	61.1		64.6		64.5	

* 5%有意 ** 1%有意 (N=13168)

市街地選択確率の空間的分布(NSM)





考察

- SARを適用した結果、市街地の集積が多いところで、選択確率が高くなる傾向が見られた。
- SEMを適用した結果、市街地選択確率が広域的、かつ、疎らな分布を示した。
これは、説明変数以外の情報からの空間的相互作用があることを示唆している。

結論

- 各モデルの的中率を比べてみると、SAR、SEMともにNSMよりも高い値を示し、土地利用分析における空間的相関の考慮の有用性が示唆された。

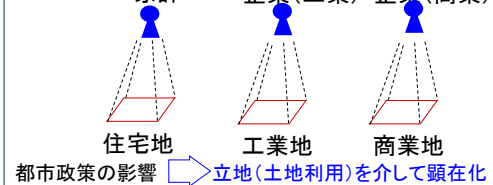
今後の課題

- 30年以上前の土地利用など、説明変数が十分に揃わない場合に、空間的相関を考慮したモデルを適用
- 3値以上の被説明変数の中から1番高い選択確率を示す土地利用を選択する多項選択モデルへの拡張
- また、多項選択モデルにおける空間重み行列の与え方の検討。その際に、近接に基づく重み行列の他に、距離に基づく重み行列も検討する。

立地 … 家計・企業（＝経済主体）が、その活動を行うために、地理的（空間的）な位置の選択を行い、活動の拠点とすること
立地量 … 人口、従業者数（企業数）、…

cf.) 土地利用 *land-use*

…主体の社会経済活動を土地に投影したもの
家計 企業（工業） 企業（商業）



家計

