

〈論文〉

## GIS を用いた NEG 分析：福島県域を事例として

猪原 龍介\*

本研究では、空間経済学（NEG）に基づく多地域モデルに地理情報システム（GIS）のメッシュデータを適用することで、人口分布に関するシミュレーション分析を行う。対象地域は福島県全域を含む北関東から南東北にかけての2次メッシュ260地域とする。実質所得格差にもとづく人口移動とそこから得られる長期均衡について分析を行った結果、輸送費（距離抵抗）の低下とともに人口分布は分散化構造から多極集中化構造、広範囲の郊外地域を伴う緩やかな一極集中構造を経て、再分散構造に推移すること、および現実の福島県域の人口分布は多極集中化構造に対応していることが示された。

JEL Classification: R12, F12

Key Words：空間経済学、地理情報システム、人口分布

### An NEG Analysis Using GIS: a Case Study in Fukushima Area

Ryusuke Ihara

#### Abstract

This paper adapts Geographic Information System to the New Economics Geography, and simulates the labor distribution in Fukushima area. We use the two-dimensional mesh data composed of 260 regions including the northern area of Kanto and the southern area of Tohoku. Using this model, we investigate the long-run equilibrium of labor distribution, resulting from the labor migration based on the interregional difference in real wage. The results of simulation show that the decrease in interregional transportation costs causes the transition of labor distribution in the following order: (i) dispersion, (ii) polycentric agglomeration, (iii) monocentric agglomeration, and (iv) re-dispersion. The real labor distribution in Fukushima area coincides with the polycentric agglomeration.

JEL Classification: R12, F12

Key words: New economic geography, Geographic Information System, Labor distribution

---

\* 亜細亜大学経済学部准教授

## 1. はじめに

近年、空間経済学（以下 NEG）の多地域モデルに関する研究が増加している。Akamatsu et al. (2017) をはじめとする一連の研究では、多地域モデルにおける空間的集積パターンについて解析的・数値的な分析が進められている。また、現実の地理空間を考慮した立地分析としては、Stelder (2005) において Krugman (1991) の2地域モデルを EU の 2600 地域に拡張することで都市集積の立地点を求めているほか、Brakman et al. (2006) でも NUTS II 地域のデータからの賃金関数の推定、シミュレーションによる地域格差の分析、産業別の分散・集積パターンの分析を行っている。日本に関しては、Ihara (2011) では日本を含むアジア 10 カ国における経済活動の分布についての分析を行っているほか、猪原・森田・中村 (2012) では日本国内の 9 地域における経済活動の分布について分析を行っている。また、こうした立地分析の応用として、猪原 (2014) は 47 都道府県モデルを用いることで、東日本大震災や近くその発生が懸念される東南海地震が地域ポテンシャルや労働分布に与える影響について分析している。

ところで、これまでの研究では地域データは都道府県や市区町村といった行政区単位のものが用いられてきたが、地理空間情報としてはより詳細な地理情報システム (GIS) のメッシュデータが存在する。そこで本研究では、GIS のデータに基づく立地分析を行う。メッシュデータを用いるひとつの利点としては、行政区単位では地域面積が不統一であり、域内距離を考慮するにしても地域面積の違いが地域ポテンシャルに与える影響を完全に排除することが難しいが、地域面積のほぼ等しいメッシュデータではそうした問題を避けることができる。本論文では、福島県を中心とする北関東から南東北にかけての地域を対象として、GIS の 2 次メッシュデータに基づく 210 地域モデルに基づく立地分析を行う。論文の構成は次の通りである。第 2 節では土地を考慮した NEG モデルを提示し、第 3 節において福島県付近の 210 地域に適用する。第 4 節において代替の弾力性や距離抵抗といったパラメータの特定化および人口分布についてのシミュレーション分析を行う。第 5 節でまとめとする。

## 2. 土地を考慮した NEG モデル

Fujita et al. (1999) に代表される一般的な空間経済学の Core-Periphery モデルに土地利用を導入することで、輸送費用の低下に伴う分散、集中化、再分散のパターンを描く。まず、消費者は差別化された消費財と住宅用地を消費するものとし、以下に示される効用関数を持つとする。

$$u = (C^M)^{1-\alpha} (C^H)^\alpha, \quad C^M = \left( \int_0^n c(i)^{(\sigma-1)/\sigma} di \right)^{\sigma/(\sigma-1)} \quad (1)$$

ここで  $C^H$  は各家計における住宅の消費量であり、 $\alpha$  はその支出シェアを表す。一方、 $C^M$  は差別化された消費財を集計したものであり、 $c(i)$  を個々の製品の消費、 $n$  を差別化された製品の数、 $\sigma$  を製品間の代替の弾力性とした CES 型の関数として表されるものとする。つぎに住宅地価格を  $R^H$  として、消費者の予算制約を

$$y = \int_0^n p(i) c(i) di + R^H C^H \quad (2)$$

とすると、効用最大化行動より各消費財と住宅用地への需要は

$$c(i) = \alpha y \frac{p(i)^{-\sigma}}{P^{1-\sigma}} \quad (3)$$

$$C^H = (1 - \alpha) y / R^H \quad (4)$$

となる。ここで  $P$  は消費財の価格指数であり、以下のように表わされる。

$$P = \left( \int_0^n p(i)^{1-\sigma} di \right)^{1/(1-\sigma)} \quad (5)$$

消費財の生産部門に関しては、Dixit-Stiglitz 型の独占的競争下にあるものとし、各企業は生産要素として労働者と土地を使用し、他社とは差別化された製品を生産する。各企業の生産関数は

$$(l^M)^{1-\beta} (k^M)^\beta = F + c^M q \quad (6)$$

によって表されるものとし、 $l^M$  と  $k^M$  は各企業が投入する労働者数と土地面積、 $\beta$  は土地への支出シェアを表す。また、 $F$  を固定投入、 $c$  を限界投入とすることで、 $q$  単位の製品が生産されることを意味する。

この経済には  $R$  個の地域が存在し、消費財の地域間輸送にはアイスバーグ型の輸送費用がかかるものとする。アイスバーグ型の輸送費用とは、発送地  $s$  から配達先の地域  $r$  に 1 単位の製品を届けるために  $T_{rs} (> 1)$  単位分の発送が必要となることを意味する。表記の便宜上、地域間の開放度を  $\phi_{rs} = T_{rs}^{1-\sigma}$  とする。

各企業への需要量を求めることで、消費財価格は次のように求められる。

$$p_r = \left[ \frac{(1-\alpha)}{q_r} \sum_{s=1}^R \frac{Y_s}{P_s^{1-\sigma}} \phi_{sr} \right]^{1/\sigma} \quad (7)$$

ここで価格指数  $P_r$  は以下の通りである。

$$P_r^{1-\sigma} = \sum_{s=1}^R n_s p_s^{1-\sigma} \phi_{sr} \quad (8)$$

企業の利潤最大化行動と自由参入を考慮することで、 $w_r$  を労働賃金、 $R^M$  を生産用地の土地収益として、各変数の値が以下のように求まる。(導出の詳細は Fujita et al. (1999) などを参照のこと)。

$$p_r = \frac{\sigma c}{\sigma - 1} \left( \frac{w_r}{1 - \beta} \right)^{1 - \beta} \left( \frac{R_r^M}{\beta} \right)^\beta \quad (9)$$

$$q_r = \frac{F(\sigma - 1)}{c} \quad (10)$$

$$n_r = \frac{L_r^{1 - \beta} K_r^\beta}{F\sigma} \quad (11)$$

生産用地と住宅用地は用途変更が可能とし、それぞれの土地収益が等しくなる、すなわち  $R_r^M = R_r^H$  となるように土地利用が決定されるものとする。結果、地域に存在する土地総量を  $S_r = H_r + K_r$  として、土地利用に占める住宅比率  $\eta_r$  と土地収益は以下のように表される。

$$\eta_r = \frac{H_r}{S_r} = \frac{(1 - \beta)\alpha Y_r}{\beta w_r L_r + (1 - \beta)\alpha Y_r} \quad (12)$$

$$R_r = \frac{\alpha Y_r}{\eta_r S_r} \quad (13)$$

つぎに、土地から得られる収益は全労働者に均等に配分されるものとし、労働者一人あたりの所得は以下のように表される。

$$y_r = w_r + \frac{1}{L} \sum_{s=1}^R (R_s^M K_s^M + R_s^H K_s^H) \quad (14)$$

右辺第1項は労働賃金であり、第2項は一人あたりの土地収益である。ここで  $L$  は総労働者数、 $R_s^M$ 、 $R_s^H$  は消費財の生産用地と住宅用地の価格であり、 $K_s^M$  と  $K_s^H$  は生産用地、住宅用地の総量である。また、 $L_r$  を地域の労働者数として地域  $r$  における地域総所得は  $Y_r = L_r y_r$  により得られる。

以上がモデルの短期的な描写であり、そこでは労働者の地域間分布を所与として、労働所得や価格、企業数などが内生的に決定されている。これを短期均衡と呼ぶ。次に、二次三次産業の労働者の地域間移動を考慮した長期均衡について描写する。二次三次産業で働く労働者は、所得を物価水準で割り引いた実質所得の高い地域へ移動するものとし、その移動ダイナミクスは以下のように表される。

$$\dot{L}_r = \kappa(\nu_r - \bar{\nu}) L_r / L \quad (15)$$

ここで  $\nu_r$  および  $\bar{\nu}$  は地域  $r$  における労働者の実質所得水準およびその全地域の平均であり、以下のように示される。

$$\bar{\nu} = \sum_{s=1}^R L_s \nu_s / L \quad (16)$$

最後に、実質所得を  $\nu_r = y_r (P_r)^{-(1-\alpha)} (R_r^H)^{-\alpha}$  として、一人あたり土地収益を1に基準化することで以下を得る。

$$v_r = \frac{w_r + 1}{P_r^{1-\alpha}} \left( \frac{(1-\beta)S_r}{\beta L_r w_r + (1-\beta)\alpha Y_r} \right)^\alpha \quad (17)$$

以上を踏まえた労働移動の結果、すべての地域で実質所得が均等化することで長期均衡における労働分布が求められる。

シミュレーション分析にあたり、パラメータの値については、住宅支出は2014年家計調査報告より消費支出に対する住居費を充てることで $\alpha=0.075827$ とする。一方、企業の土地支出は2014年国内総生産に対する固定資本減耗を充てることで $\beta=0.211793$ とする。

### 3. 2地域モデルにおける対称均衡の安定性

長期の立地均衡の特性を把握するために、2地域モデルにおける対象均衡の安定性を確認する。本節では土地の賦存量が2地域において同一であるものとする。この場合、労働者が地域間に均等分布した状態は常に均衡である。その上で、偶発的に対称均衡が崩れた場合に、そこから生じる労働移動により均衡分布に戻るのであればこの均衡は安定的といえるが、逆に累積的に労働者が一方の地域に集中し始めてしまう場合、この均衡は不安定といえる。

図1は、前節の方程式体系を全微分することで得た $dv_r/dL_r|_{L_1=L_2, S_1=S_2}$ の数値計算例を示している。パネル(i)は $\sigma=3.9$ の場合を示しており、このときは $dv_r/dL_r$ の値が負である。つまり、偶発的に労働者が一方の地域に移動したとしても、労働者数の増加した地域において実質所得は低下するた

図1 対称均衡の安定性

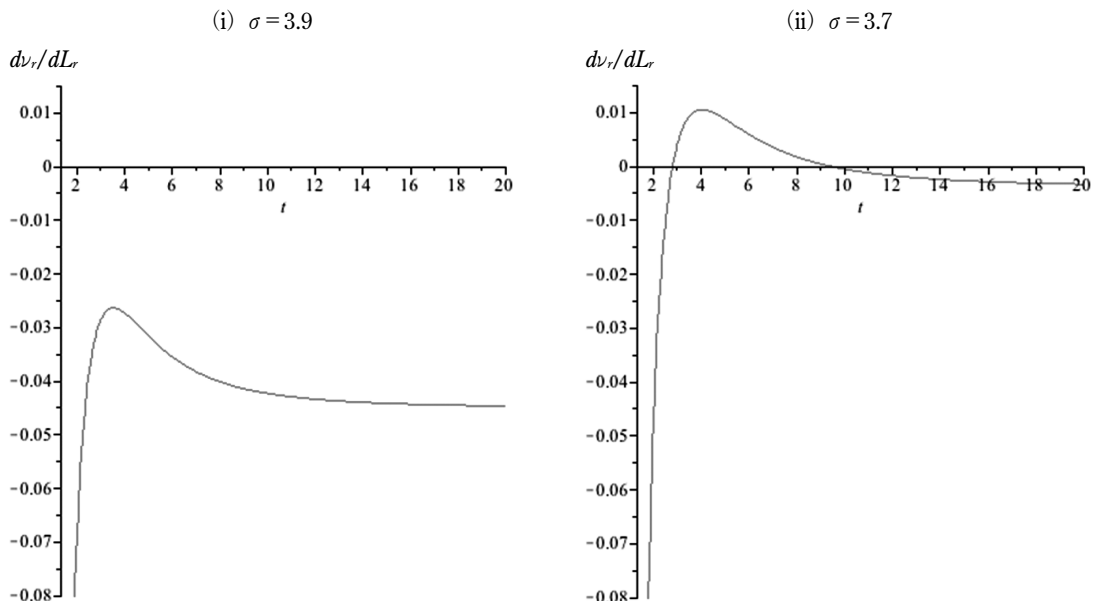
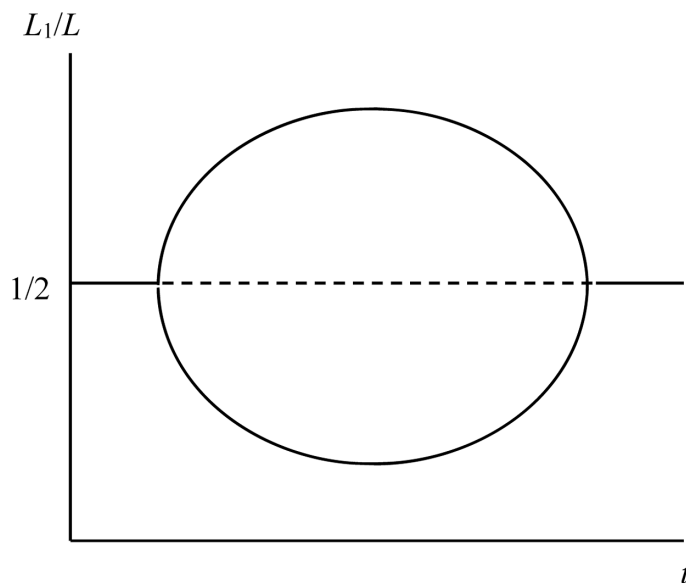


図2 人口分布の変化



め、労働者は元の地域に戻るインセンティブを持つため、労働者は再び分散化し、対称均衡が維持されることになる。この場合、対称均衡は輸送費の水準にかかわらず常に安定的といえる。一方、パネル (ii) は  $\sigma=3.7$  の場合を示しており、このときは輸送費が中間的な値で  $dv_r/dL_r$  の値が正となる。このとき、偶発的な労働者の増加はさらなる労働移動を誘発するため、対称均衡は不安定となる。

以上のことを踏まえた上で、2地域間の人口の均衡分布と輸送費の関係を整理したものが図2である。ここで実線は安定均衡、破線は不安定均衡を表す。これより、輸送費が高い場合には分散均衡が安定的であるが、輸送費が中間的な水準まで低下すると分散均衡は不安定化し、いずれか一方の地域へ集中化することがわかる。ただし、土地が分散力として働くため、すべての人口が一方の地域へ集中することはない。そして、さらに輸送費が低下すると土地の分散力が顕著となり、人口は再分散化することになる。これは、都市の郊外化に相当する変化といえる。

#### 4. 福島県 210 地域モデル

本論文では GIS の地域データを用いることで、空間経済学のモデルを現実の地理空間に適用し、人口分布についてシミュレーション分析を行うことを目的とする。そこで、対象地域として福島県を中心とした北関東から南東北にかけての地域を取り上げる。本地域内には、福島県内の福島市、郡山市、会津若松市、いわき市、新潟県内の新潟市など、比較的に規模の大きい地方都市が多数存在する。本地域は、GIS の 2 次メッシュデータを用いることで、一辺が約 10km の 260 地域から構

成される。各地域の人口は2010年国勢調査を充て、土地面積はGIS3次メッシュデータから平均標高500m以下の面積を算出して求めることにする。ただし、2次メッシュ260個の地域の中で平均標高が500m以上の3次メッシュ地域がひとつもない地域は50地域あり、これらの地域はそこに居住する人口も含めて分析対象からは外すこととする。(なお、この210地域が全260地域に占める居住人口の比率は98.9%である)。結果、最終的に本論文で扱う地域数は210となる。地域間輸送費は、各メッシュの中心座標から求めた最短距離を  $dist_{rs}$  (単位:100km) として、

$$T_{rs} = (1 + dist_{rs})^{tpc} \quad (18)$$

とする。ここで  $tpc$  は距離抵抗を表すパラメータであり、地域間距離の増加が地域間輸送費に与える影響の大きさを表す。

以上の地理空間上で、現実の人口分布と土地分布を表したのが図3である。各地域の色分けがそれぞれの地域における平均標高500m以下の領域の大きさを表しており、地域内の円が人口の大きさを表す。おもな都市としては、地域番号183を中心とする集積が福島県福島市であり、同様に148が郡山市、100が会津若松市、59がいわき市、61が白河市、132が新潟県新潟市、38が栃木県那須塩原市に相当する。

## 5. シミュレーション結果

本節では、第3節のGISデータを第2節のNEGモデルにあてはめることで、シミュレーションにより労働者の長期均衡を求める。すなわち、現実の人口分布を初期値として、与えられた人口分布の下での実質所得を算出し、実質所得の高い地域の人口が増加し、低い地域の人口が減少するものとする。この過程を繰り返すことで、人口移動が収束した長期均衡を求めることができる。収束の基準は、すべての地域の実質所得の平均所得からの乖離が0.1%未満となることとする。シミュレーションを行うにあたり、地域データに含まれていないパラメータである  $\sigma$  (代替の弾力性) と  $tpc$  (距離抵抗) の値を特定する必要があるが、これはシミュレーションにより算出した各地域人口と現実の各地域人口をそれぞれ人口順に並べ、両者の標準偏差比が1となり、また相関係数が最大となるパラメータの組み合わせを求めることで対応する。これにより、現実に近い集積の程度を再現する代替の弾力性と距離抵抗を求めることができ、 $\sigma=3.0$ 、 $tpc=17.4$  (人口分布の相関係数0.935) との結果を得た。図3は、このときの人口分布のシミュレーション結果を表している。現実分布と比較してシミュレーション結果はやや分散傾向が強く、また集積規模の相違も認められるが、集積地点としては地域番号184付近の福島市、156付近の郡山市、115付近の会津若松市、50付近のいわき市、69付近の白河市、126付近の新潟市、31付近の那須塩原市をはじめ、太平洋岸の諸都市など、おおむね現実の都市の立地点に近い分布となっていることが確認できる。なお、白河市付近や那須塩原市付近など、現実の立地との相違が大きい地域があるが、本シミュレーション

は空間経済学のモデルに基づく地域のポテンシャルを反映しており、それぞれの地域が潜在的にはシミュレーションで示された人口を抱えうると解釈することができる。または、本シミュレーションにおける土地面積が、GISから求められる標高500m以下の土地面積としていることや、地域間輸送費が地域間の最短距離から算出していることなども、現実分布からの乖離の要因として考えられる。こうした問題は今後検討すべき課題といえる。

最後に、距離抵抗の違いが人口分布にどのような影響を与えているかを確認する。下表は、代替の弾力性を $\sigma=3.0$ として固定し、距離抵抗 $tpc$ を変化させたときのシミュレーション分布と現実の分布の標準偏差比および相関係数の推移を表したものである。また図4の各パネルは、それぞれ $tpc$ が30~1のときの人口分布の推移を示している。ここから読み取れることは以下の通りである。まず距離抵抗が $tpc=30$ のときは人口の分散傾向が強く、そこから $tpc=10$ にかけて距離抵抗が低

図3 福島県周辺の現実の人口分布と土地分布

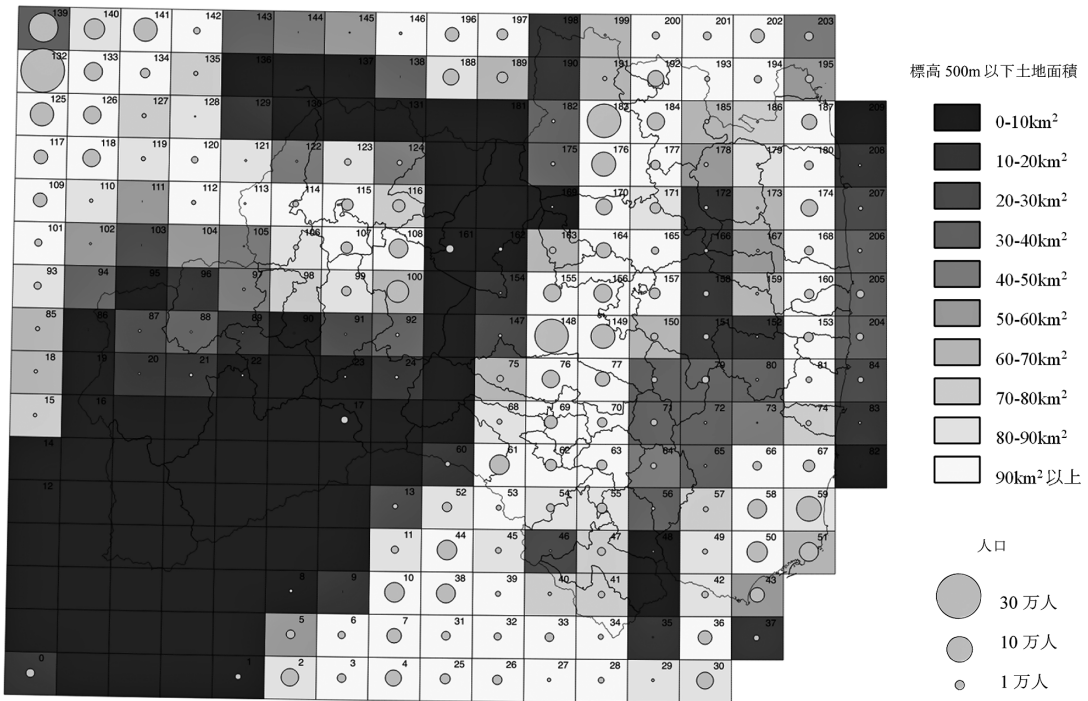


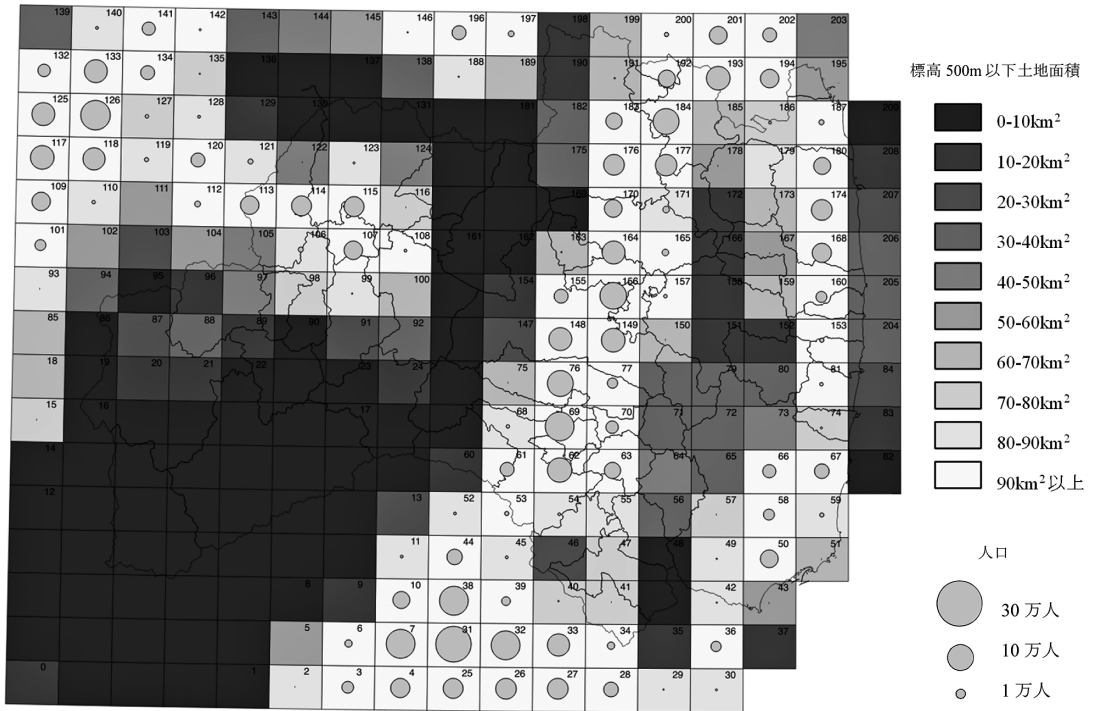
表 距離抵抗と分布の変化 ( $\sigma=3.0$ )

	現実の 分布	$tpc$							
		30	20	17.5	17.4	17.3	10	5	1
標準偏差	31.892	25.691	29.800	31.806	31.929	32.047	32.982	32.656	12.296
標準偏差比		0.806	0.934	0.997	1.001	1.005	1.034	1.024	0.386
相関係数		0.760	0.885	0.933	0.935	0.937	0.943	0.933	0.759



図4 シミュレーションから得られる人口分布

$\sigma = 3.0$ 、 $tpc = 17.4$



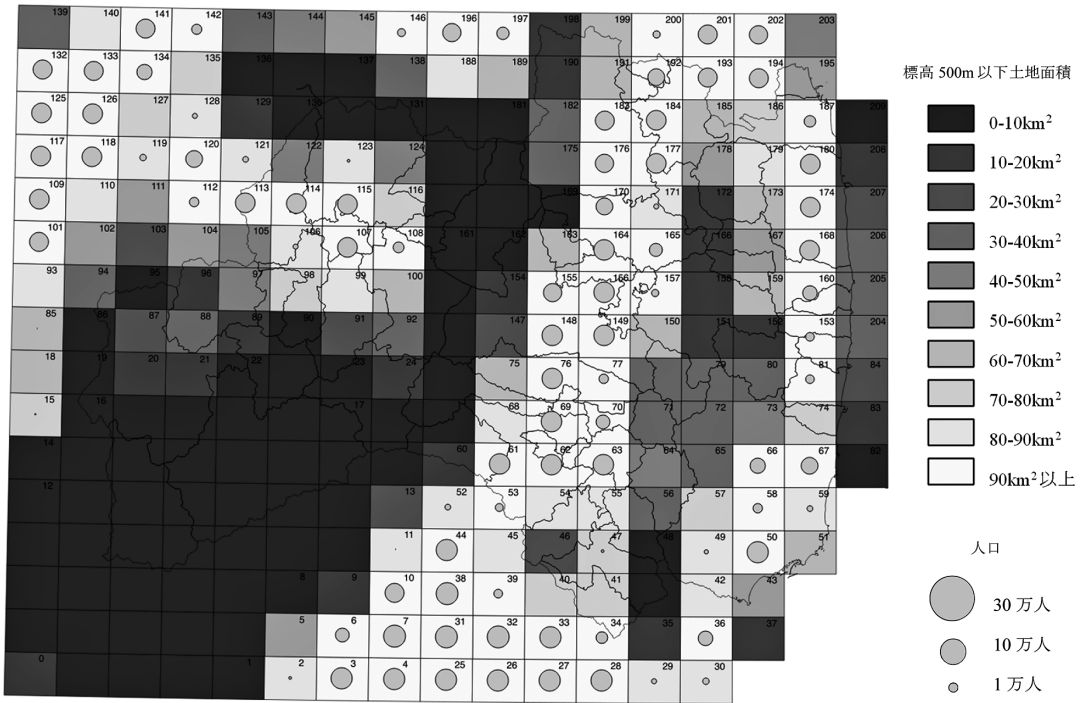
下するのに伴い、人口の集中化が進み、標準偏差が拡大する。ここに見られる輸送費の低下に伴う集中化は、標準的な空間経済学の特徴を反映したものと見える。ここで人口集中地域の立地に注意すると、 $tpc = 20$ では31地点と69地点にあった集積の中心が、 $tpc = 10$ を通して徐々に接近し、最終的に $tpc = 5$ では62地点を中心とした一極集中構造へ変化することがわかる。ただし、 $tpc = 5$ では一極集中と同時に再分散化も進むため、標準偏差は $tpc = 10$ から $tpc = 5$ にかけて微減しており、空間構造としては広範囲にわたる郊外地域をかかえた一極集中構造となることがわかる。最後に、 $tpc = 1$ まで距離抵抗が低下すると、人口分布は一極集中構造から分散構造へ変化することがわかる。なお、Akamatsu et al. (2017)では多地域モデルにおける空間的集積パターンについて解析的な分析がなされている。そこでは輸送費の低下に伴う空間構造の変化として分散から多極集中、一極集中を経て再分散へ推移することが示されているが、本研究における空間集積パターンもこれと整合的である。

## 6. おわりに

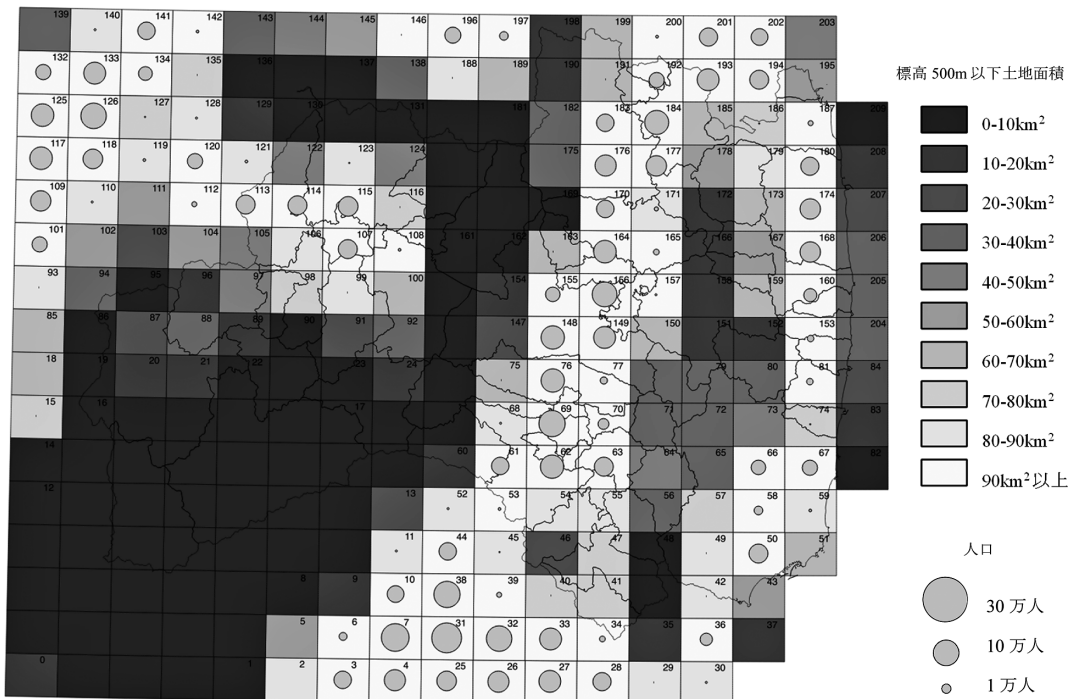
本研究では、土地利用を含む空間経済学の多地域モデルを構築し、そこに地理情報システムの

図5 人口分布の変化

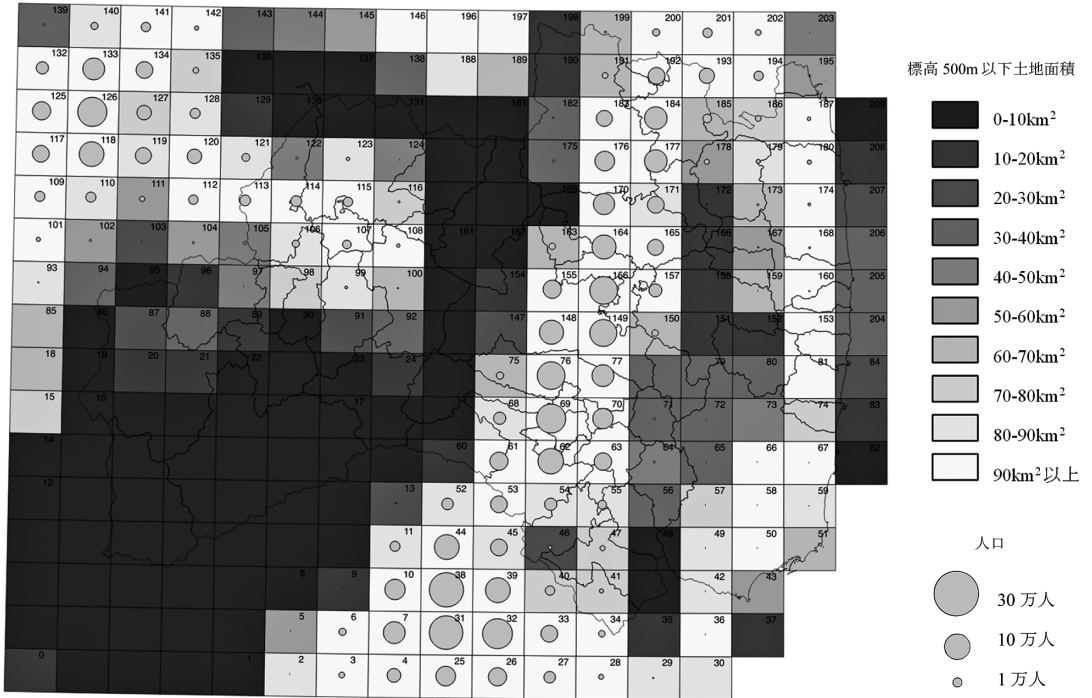
(i)  $tpc = 30$



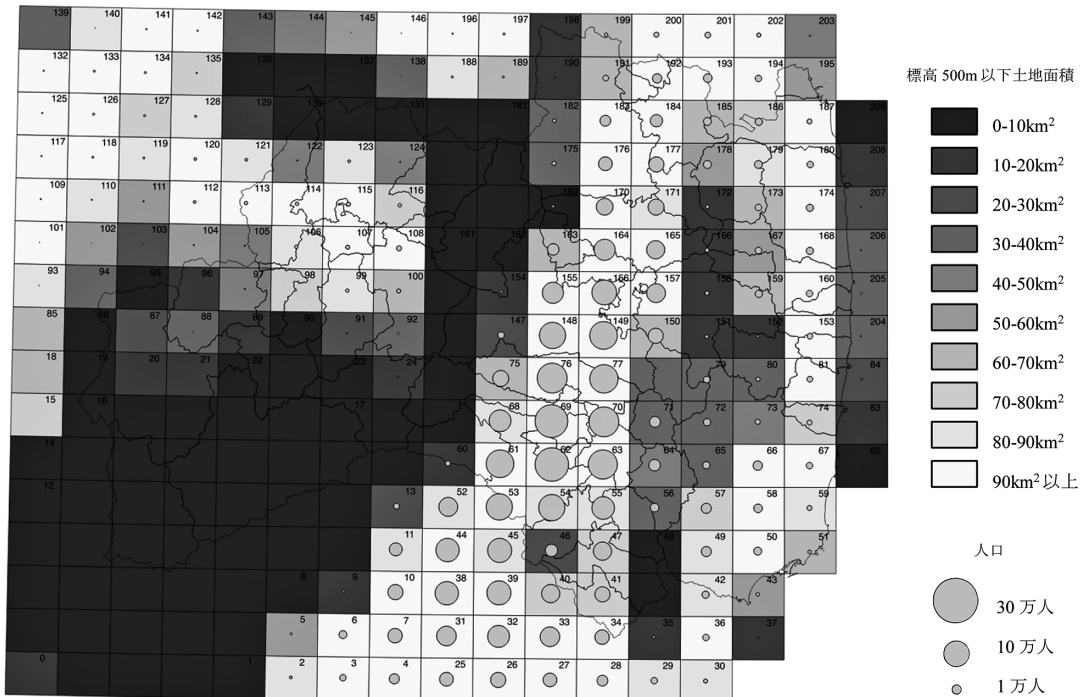
(ii)  $tpc = 20$



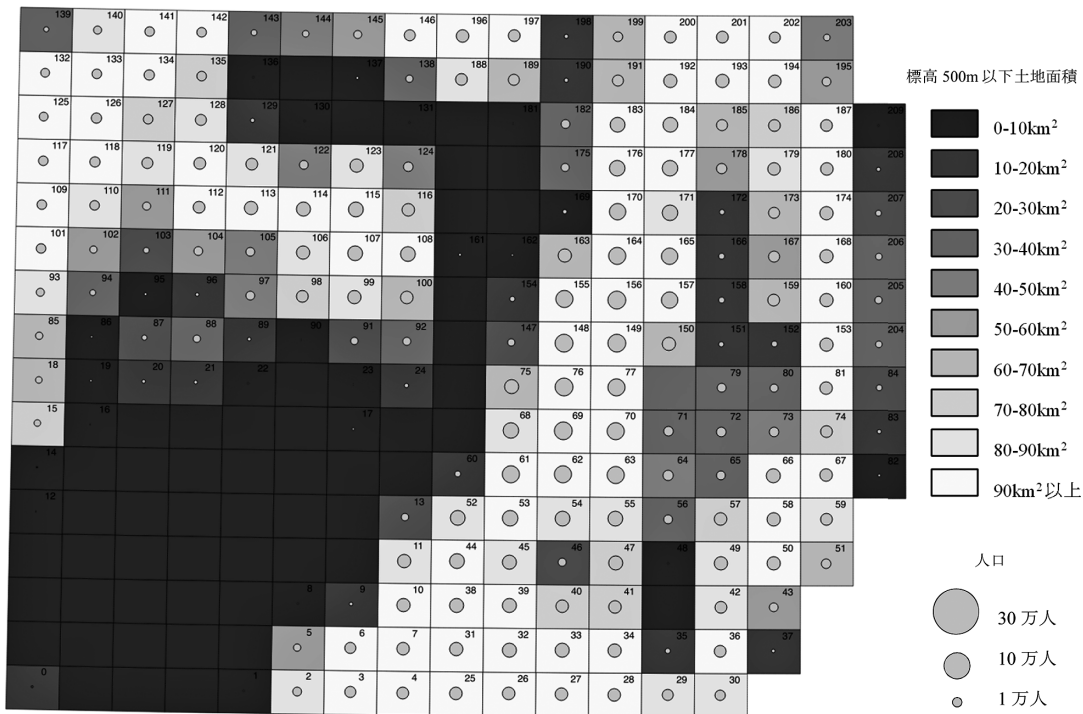
(iii)  $tpc = 10$



(iv)  $tpc = 5$



(v)  $tpc = 1$



メッシュデータを適用することで、人口移動と長期的な立地均衡についてシミュレーション分析を行った。本研究での分析対象地域は、福島県全域を含む北関東から南東北にかけての2次メッシュ260地域とした。実質所得の地域格差から生じる人口移動と長期均衡における人口分布を分析した結果、次のような結論が得られた。まず輸送費（距離抵抗）が高いときには人口分布は分散化傾向が強いが、輸送費の低下とともに多極集中化構造へ推移することが示された。さらに輸送費が低下すると人口分布は一極集中構造に推移するが、同時に土地利用に起因する分散化も顕著となることから、この一極集中構造は広範囲にわたる郊外地域を伴う緩やかなものとなる。そして輸送費が十分に低下すると、人口分布は再分散することが示された。また、現在の人口分布は多極集中化構造に対応していることが示された。

参考文献

1. Akamatsu, T., Mori, T., Osawa, M. and Takayama, Y. (2017) "Spatial Scale of Agglomeration and Dispersion: Theoretical Foundations and Empirical Implications," *KIER Discussion Paper Series* No.974.
2. Brakman, S., Garretsen, H. and Schramm, M. (2006) "Putting new economic geography to the test: Free-

- ness of trade and agglomeration in the EU regions,” *Regional Science and Urban Economics*, Vol.36, No.5, pp.613–635.
3. Fujita, M., Krugman, P. and Venables, A. J. (1999) *The Spatial Economy: Cities, Regions, and International Trade*, Cambridge, MA: The MIT Press.
  4. Ihara, R. (2011) “Weber problem in the NEG: a case study of Asia,” *Annals of Regional Science*, Vol.47, No.1, pp.37–50.
  5. Stelder, D. (2005) “Where do cities form?: a geographical agglomeration model for Europe,” *Journal of Regional Science*, Vol.45, No.4, pp.657–679.
  6. 猪原龍介 (2014) 「NEG モデルを用いた巨大地震による労働移動の経済分析」徳永澄憲・沖山充『大震災からの復興と地域再生のモデル分析』第9章
  7. 猪原龍介・森田学・中村良平 (2012) 「日本における地域ポテンシャルと雇用分布のシミュレーション分析」*地域学研究*第42巻 No.2、pp.255–270.