

# 広域圏を形成しにくい地域における地域施策評価モデルの提案\*

Building a Model for Predicting Regional Development in Outside Greater Sphere\*

塚田建人\*\*・佐藤俊通\*\*\*・井田直人\*\*\*\*・田村亨\*\*\*\*\*

By Tatehito TSUKADA\*\*・Toshimichi SATO\*\*\*・Naoto IDA\*\*\*\*・Tohru TAMURA\*\*\*\*\*

## 1. はじめに

わが国の国土計画は、1998年3月に策定された「21世紀の国土のグランドデザイン」で、大きな方向転換を遂げた。それは、過去4回策定された国土計画が所得格差是正を目的としていたのに対して、新たな国土計画が「地域ブロック単位で国際化を眺みながら生活質の向上を図る」とした点である。この変化は、2002年11月の国土審議会基本政策部会報告の中で「二層の広域圏」として明示された。「二層の広域圏」とは、地域ブロックと人口20~30万人程度の広域生活圏である。ここでは、広域生活圏の多様性をいかに計測し(個性を発掘) 全国一律ではない生活質の向上策を見出すか(生活圏の自立策)が課題となっている。

本研究では、広域分散型社会構造をもつ北海道の14支庁を対象に、都市施設配置とアクセス交通網整備により地域の人口動態がどのように変化するのかを把握するモデルを提案することを目的とする。本研究では、北海道のような広域分散型社会では集積の不経済は無く、「人口が少ない地域からはより多くの人流出し、逆に人口が多い地域には多くの人流入している」という事を把握した上で改良したモデルを提案する。

提案するモデルは、都市の財・サービスを1種類としているため、生活質を議論するまでには至っていないが、このモデルを用いることにより広域圏を形成しにくい地域における地域施策評価が可能と考えられる。

\*keywords: 二層の広域圏、人口予測、動学モデル

\*\* 正員、修(工)、室蘭市都市建設部都市計画課  
(北海道室蘭市幸町1番2号、TEL0143-25-2613

E-Mail: t-tsukada@city.muroran.hokkaido.jp)

\*\*\* 正員、財)国土技術研究センター

\*\*\*\* 学生員、修(工)、室蘭工業大学大学院工学研究科

博士後期課程建設工学専攻

\*\*\*\*\* 正員、工博、室蘭工業大学工学部建設システム工学科

## 2. 既存モデルのレビュー

地域間の相互作用をモデル化するこれまでの研究の課題は、多地域モデルへの拡大ならびに動学化の2点に大別される。現在この2点の問題は応用一般均衡分析として解決され、すでに実用化されている。

これとは別に、地域の成長を自己組織化プロセスとして捉えモデル化したものに、1981年にその理論形が提示されたP.Allenの自己組織化モデルがある。このモデルの最大の特徴は、多地域間の動学モデルでありながらモデル構造が簡単なことにある。都市機能と都市間距離の変化が都市の雇用量に影響を与え、これが人口の社会増減を生むという構造になっている。

P.Allenの自己組織化モデルを扱った既存研究には、1990年の山口らによるもの<sup>3)</sup>、2001年の佐々木らによるもの<sup>4)</sup>がある。山口らの分析では、モデルの実用化を試みてはいるものの、都市機能は明示的に取り込まれていない。佐々木らの研究では都市機能の発現が人口増加に対し不連続に起こることに注目し、産業別雇用者数構成比の変化から、都市機能の発現に必要な人口の閾値を設定している。また、都市の魅力を商業・医療・アクセシビリティの3点から評価したうえで、高速道路の整備による都市間時間距離の短縮が地域の人口動態に与える影響を定量化している。

## 3. P.Allenの自己組織化モデルの改良

### (1) P.Allenの自己組織化モデル

都市計画や施策を考える上で、その基礎的な資料となる人口動態を把握することは重要である。本研究では、P.Allenの自己組織化モデルを適用し、人口動態の把握を行うものとする。P.Allenの自己組織化モデルとは、n個の都市からなるモデルにおいて、

都市間の相互依存関係を明示し、自己組織化原理を組み込んだ都市人口モデルのことである。本モデルは、都市の人口分布が形成される過程を動学的に扱ったものである。モデル式は、都市の成長を「人口の自然増」と「社会移動」で説明し、以下の5式で構成される。

$$\frac{dx_i}{dt} = bx_i \left( J_i^0 + \sum_k J_i^k - x_i \right) - mx_i + \tau \left( \sum_{j \neq i} x_j^2 \exp(-\beta d_{ij}) - x_i^2 \sum_{j \neq i} \exp(-\beta d_{ij}) \right) \quad (1)$$

$$\frac{dJ_i^k}{dt} = \alpha J_i^k (M_i^k - J_i^k) \quad (2)$$

$$M_i^k = \rho^k D_i^k \quad (3)$$

$$D_i^k = \sum_j \frac{x_j \varepsilon^k}{(P_i^k + \phi^k d_{ij})} \sum_{i'} A_{i'j}^k \quad (4)$$

$$A_{ij}^k = \eta_i^k \frac{\left( \gamma - \frac{1}{(\delta + \rho^k (x_i - x_{ihk}))} \right)^I}{(P_i^k + \phi^k d_{ij})^I} \quad (5)$$

ここで、

$x_i$  : 都市  $i$  の人口、 $b$  : 出生などの人口の自然増加に関するパラメータ、 $m$  : 死亡などの人口の自然減少に関するパラメータ、 $J_i^0$  : 都市  $i$  の基礎人口限界、 $J_i^k$  : 都市  $i$  に存在する財・サービス  $k$  によって発生する都市  $i$  の雇用、 $d_{ij}$  : 都市  $i$  と都市  $j$  の間の距離、 $M_i^k$  : 都市  $i$  の財・サービス  $k$  によって生まれる雇用の限界量、 $D_i^k$  : 都市  $i$  の財・サービス  $k$  に対する需要の総和、 $P_i^k$  : 都市  $i$  で生産された財・サービス  $k$  の価値、 $\varepsilon^k$  : 財・サービス  $k$  の単位価値あたりの需要、 $A_{ij}^k$  :

都市  $i$  で生産された財・サービス  $k$  を都市  $j$  に住む人が見たときの魅力度、 $x_{ihk}$  : 財・サービス  $k$  が新たに発生するために必要な人口の閾値、 $\phi^k$  : 財・サービス  $k$  を輸送するときの単位距離あたりの輸送費、 $\rho^k$  : 財・サービス  $k$  を生産する産業の生産性を表わすパラメータ、 $\alpha$  : 雇用量の変化のダイナミズムを表わすパラメータ、 $\tau, \beta, \eta, \gamma, \delta, \varepsilon, I$  : パラメータ

である。

今、(1)式について、以下の(6)式と(7)式に分けて考える。

$$X_1 = bx_i \left( J_i^0 + \sum_k J_i^k - x_i \right) - mx_i \quad (6)$$

$$X_2 = \tau \left( \sum_{j \neq i} x_j^2 \exp(-\beta d_{ij}) - x_i^2 \sum_{j \neq i} \exp(-\beta d_{ij}) \right) \quad (7)$$

(6)式は、次のように変形できる。

$$X_1 = \frac{b}{J_i^0 + \sum_k J_i^k - \frac{m}{b}} x_i \left( 1 - \frac{x_i}{J_i^0 + \sum_k J_i^k - \frac{m}{b}} \right) = \frac{b}{L} x_i \left( 1 - \frac{x_i}{L} \right) \quad (8)$$

ここに、

$$L = J_i^0 + \sum_k J_i^k - \frac{m}{b} \quad (9)$$

である。

(8)式は、 $L$  に収束するヴェアフルストのモデルである。また、(7)式は人口で重み付けされた重力モデルであり、人口圧力による社会移動を表現している。

各々のモデル式は、(1)式が人口の変化を表わし、(6)式で求める人口の自然増減と、(7)式で求める人口の社会移動の和として記述されている。また、(2)式～(5)式は、(6)式において人口が自然増減する際の収束値を求めるものである。

## (2) P.Allen の自己組織化モデルの問題点

都市人口の自然増減について、(8)式と(9)式から考察する。(8)式では、人口の自然増減がロジスティックモデルにより表わされている。従って長期的には、都市人口  $x$  は、その初期値の大小に関わらず、人口限界  $L$  に収束する構造となっている。

次に人口の社会移動について考察する。(7)式から、人口の社会移動は重力モデルを基礎として表わされている。一般に、人口の社会移動要因として人口圧力が考えられているが、本モデルにおいては集積の不経済を採り入れている。つまり、人口が増加することにより生活質の低下が発生し、都市の魅力を低下させ、都市から転出する人が現れる。そこでモデルでは、都市の魅力により転入しようとする人と、集積の不経済により魅力が低下し、転出しようとする人の数の差を、都市間の社会移動として表わしている。

今、A、B、C の3都市からなる地域を考える。それぞれの都市人口は  $x_a$ 、 $x_b$ 、 $x_c$  ( $x_a > x_b > x_c$ ) で

あり、3都市間の距離は等しく  $d$  とする。ここで、(7)式より3都市の社会移動による人口変化を求めると、

$$X_{2A} = \frac{\tau}{e^{\beta d}} \left( (x_b^2 - x_a^2) + (x_c^2 - x_a^2) \right) \quad (10)$$

$$X_{2B} = \frac{\tau}{e^{\beta d}} \left( (x_a^2 - x_b^2) + (x_c^2 - x_b^2) \right) \quad (11)$$

$$X_{2C} = \frac{\tau}{e^{\beta d}} \left( (x_a^2 - x_c^2) + (x_b^2 - x_c^2) \right) \quad (12)$$

である。ここで  $x_a > x_b > x_c$  であるから、常に  $X_{2A} < 0$ 、 $X_{2C} > 0$  が成立している。また、 $X_{2B}$  の符号は、

$$x_c < x_b < \sqrt{\frac{x_a^2 + x_c^2}{2}} \text{ のとき } X_{2B} > 0$$

$$\sqrt{\frac{x_a^2 + x_c^2}{2}} < x_b < x_a \text{ のとき } X_{2B} < 0$$

となる。以上から、人口が多い都市からは常に人口流出が起こり、また人口が少ない都市には人口流入が起こると言える。

対象地域内の都市を人口の多い順に並べ、上位の都市を大規模都市、下位の都市を小規模都市とすると、小規模都市の人口  $x$  はその時点での人口限界  $L$  を下回っていると考えられる。よって、(8)式から  $X_1 > 0$  となり、小規模都市は人口が自然増加する状態にある。また、小規模都市の人口圧力は、他都市と比較して小さいので、(12)式から  $X_2 > 0$  となり、他都市から人口が流入してくることになる。ここから、小規模都市の人口変化は  $\frac{dx}{dt} = X_1 + X_2 > 0$  となり、常に自然増加よりも大きな成長状態にある。

一般に、都市が成長し、人口がある程度増加すると、新たな財・サービスを生産する産業が興る。つまり、財・サービス  $k$  を生産する産業が新たに興るための人口閾値  $x_{thk}$  が、その時点での都市の人口限界  $L$  を下回っていることになる。

本研究では、モデルの挙動を以下のシミュレーションにより確認する。シミュレーションは、1次元環状等距離に6都市を配置した仮想地域を対象とした。初期条件を表-1に、シミュレーション結果を図-1、図-2に示す。

当初小規模都市であったものが、他都市からの人口流入により急速に成長する。次第に人口順位が中位になると、大規模都市からの人口流入と小規模都

市への人口流出が見かけ上、釣り合い状態に達する。その後もこの都市の成長は緩やかに続くが、人口順

表-1 シミュレーションの初期条件

都市	初期人口	初期雇用量	基礎人口限界
A	60,000	100	100,000
B	11,000	200	100,000
C	12,000	300	120,000
D	30,000	150	100,000
E	20,000	600	120,000
F	15,000	125	120,000

位が上位に達した時点で、人口流出が発生する。やがて人口は、自然増加  $X_1$  と社会移動  $X_2$  ( $< 0$ : 流出) が同程度となり、人口限界へと収束する(図-1において人口が基礎人口限界以上の値で収束しているのは、雇用によって都市の人口限界が基礎人口限界以上の値をとっているためである)。

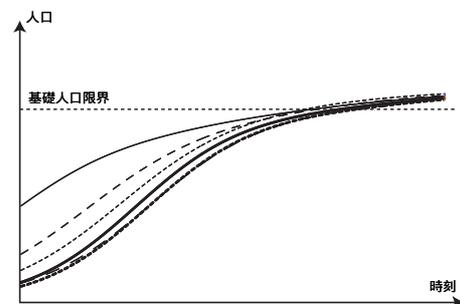


図-1 オリジナルモデルによる人口の変化

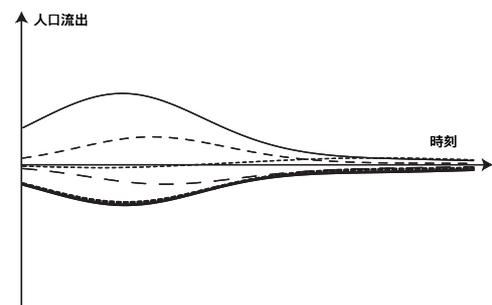


図-2 オリジナルモデルによる人口流出量

しかし現実には、このような人口変化をする都市はみられない。特に、現代のわが国において起こっている現象は、小規模都市から人口が流出し、市場規模も縮小する→市場規模の縮小が雇用の減少を招く→さらに人口が流出する・・・、という悪循環である。そして、最終的には、都市の崩壊にも至る可能性がある。この現象を P.Allen の自己組織化モデルを用いて捉えるためには、モデルを変更する必要がある。

### (3) P.Allen の自己組織化モデルの改良

地域の人口流出傾向は、地域の人口と流出した人

口の比、すなわち「人口の流出率」で評価すべきである。ここで、北海道における地域人口とその流出率の関係を見てみると、負の相関があることが分かった(表 - 2)。これは、人口が少ない地域からはより多くの人流出し、逆に人口が多い地域には多くの人流入していることを表わしている。従って、相対的に魅力の小さく人口の少ない都市から、魅力が大きく人口の多い都市へと人口の社会移動が起こると言える。ここから、(1)式を次のように改良した。

$$\frac{dx_i}{dt} = bx_i \left( J_i^0 + \sum_k J_i^k - x_i \right) - mx_i - \tau \left( \sum_{j \neq i} x_j^2 \exp(-\beta d_{ij}) - x_i^2 \sum_{j \neq i} \exp(-\beta d_{ij}) \right) \quad (13)$$

表 - 2 人口と人口流出率の相関

年次	1987	1989	1991	1993	1995	1998
相関係数	-0.804	-0.927	-0.908	-0.810	-0.679	-0.786

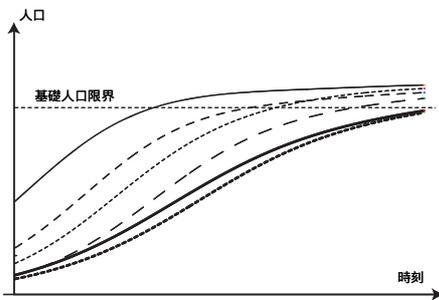


図 - 3 改良モデルによる人口の変化

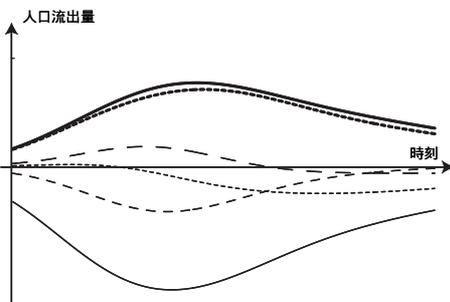


図 - 4 改良モデルによる人口流出量

今回行ったモデルの改良により、初期人口が多い都市はより強い人口増加傾向を示した(図 - 3)。また都市が成長期にあるとき、大規模都市と小規模都市との人口差が、改良前よりも大きくなっており、地域人口が大規模都市に一極集中しながら成長していることを表現している。今回のシミュレーションでは、都市の財・サービスを1種類のみとしたため、大規模都市の人口も基礎人口限界において収束した。その後、小規模都市の人口が増加し始め、全ての都市が成長過程に入っている。

しかし、大規模都市の人口が新たな財・サービスの生産を興すための人口閾値に達した時点で、この都市の人口限界が増加する。ここで、新たな財・サービスの生産が行われれば、より多くの人口を支え得る都市へと成長する。その一方で、小規模都市は、大規模都市への人口流出を抑制できず、長期的には人口が減少局面へと移行する。

#### 4. おわりに

本研究では、広域分散型の地域構造を持つ北海道の地域社会が、人口減少や少子高齢化が進展するなかで、いかに自立して維持を図るかを検討することを念頭に、その基本ツールとなるモデルの提案を行ったものである。まず、P.Allenの自己組織化モデルの適用にあたって、都市の崩壊に至るような人口減少が表現できないことを示し、またこの問題を克服するためのモデルの改良を行った。さらに、シミュレーションの結果、都市の崩壊に至る人口減少を表現することが可能であることを確認した

今後の研究課題は、1)複数の都市サービスによる都市の雇用量の変化を組み込むこと、2)少子高齢化の進展による地域の人口構造の変化が、人口流出に与える影響を明らかにした上で、そのメカニズムを組み込むこと、3)地域内の都市がそれぞれ異なる施策を採用する場合に対応可能とすること、4)改良したP.Allenの自己組織化モデルにより、都市の人口動態を把握することで、具体的な施策について評価、検討を行っていくことである。

#### 参考・引用文献

- 1) 二層の広域圏の形成に資する総合的な交通体系に関する検討委員会：「新しい国のかたち「二層の広域圏」を支える総合的な交通体系」中間報告書，2004年3月
- 2) Allen.P.M et.al.: Urban Evaluation, Self organization, and Decision-Marking, Environment and Planning A, Vol.13, pp.167-183
- 3) 山口宗吾ほか：地域人口分布の自己組織化モデルについて 北海道14支庁を事例として，土木学会北海道支部論文報告集，pp.475-480，1989
- 4) 佐々木恵一ほか：北海道横断自動車道整備がもたらす人口のストロー効果に関する研究 夕張十勝清水間の開通を対象として，土木計画学研究論文集 Vol.18 no.1，pp.155-161，2001
- 5) 北海道統計協会：「北海道市町村勢要覧」(1991-1999)