IV－47

交通改善に伴う人口分布の変化とその安定性に関する一考察

東京大学大学院　学生員　○松葉保孝
岐阜大学工学部　正　員　　上田孝行

1．はじめに

空間的経済システムの構造を人口分布として捉えた場合、集中型、分散型など様々なパターンがある。このような分布は、自然・地理的条件や政治制度的背景など様々な要因に依存するが、特に交通ネットワークの整備、即ち交通改善が1つの大きな要因であることは明らかである。

そこで本研究では、形成される人口分布の安定性について検討しながら、交通改善の影響を分析する。

2．研究に用いたモデルの概要

本研究では、複数の都市の人口分布を分析するA system of cities modelの1つである上田(1993)を改良して、特に都市間交通網の改善に焦点を当てて分析する。具体的には、効用関数と人口配分を以下の形で与え、両者を同時に満たす状態を均衡状態として、その人口分布を求める。

［効用関数］

$$V_i=\left\{\sum_{j=1}^{I}N_j\exp(-\gamma\tau_{ij})\right\}^{\alpha_i}-\left(\frac{1}{L_i}\right)N_i^{\beta_i}+A_i \qquad (1)$$

但し、

V_i：都市 i の効用水準　$(i,j=1,\cdots,I)$

N_j：都市 j の人口規模

τ_{ij}：都市 i から都市 j への物理的距離

γ：物理的距離一単位に要する一般化交通費用

L_i：都市 i の空間キャパシティ

A_i：都市 i の外生的固有属性

α_i：都市 i におけるアクセシビリティの魅力度・集積の経済を規定するパラメータ

β_i：都市 i における集積の不経済を規定するパラメータ

［人口配分］（立地選択）

$$N_i=N_T\cdot P_i=\frac{N_T\exp(\theta V_i)}{\sum_{j=1}^{I}\exp(\theta V_j)} \qquad (2)$$

但し、

N_T：総人口

θ：ロジットパラメータ

P_i：選択確率

(1)と(2)を連立方程式と見なして解析的に解くことは困難なため、数値シミュレーションによって設定されたパラメータの各組のもとで均衡条件式を数値的に解き、人口分布パターンと交通改善の関係を考察する。

3．人口分布の安定性に関する分析

本研究では、ワルラス型一般均衡モデルにおける価格の安定性に関する議論を援用し、各都市の人口規模の時間変化を下記の連立微分方程式体系によって表現する。

$$\begin{cases}\dfrac{dN_1}{dt}=\dot{N}_1=k_1E_1(N_1N_2\cdots N_I)=k_1E_1(\mathrm{N})\\ \dfrac{dN_2}{dt}=\dot{N}_2=k_2E_2(N_1N_2\cdots N_I)=k_2E_2(\mathrm{N})\\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\\ \dfrac{dN_I}{dt}=\dot{N}_I=k_IE_I(N_1N_2\cdots N_I)=k_IE_I(\mathrm{N})\end{cases} \qquad (3)$$

但し、

k_i：調整速度

E_i：超過人口関数

ここで、E_i の偏微係数 E_{ij} を要素とするヤコビ行列Eを、均衡解まわりで以下のように線形近似する。

$$\mathrm{E}=\left\{(\boldsymbol{D}_N\boldsymbol{V})-(\boldsymbol{D}_V\boldsymbol{F})^{-1}\right\} \qquad (4)$$

但し、

$\boldsymbol{V}$：各都市の効用関数を要素とするベクトル

$\boldsymbol{F}$：各都市の人口を要素とするベクトル

ここで、$\boldsymbol{D}$ はその添字による偏微分係数を要素とするヤコビ行列である。そして、Eの固有値の実部が全て負であるならば、達成された人口分布は“Samuelsonの意味”で安定となる。しかし、本モデルでは、調整速度 $k_i=k$（for all i）とした上で、以下のヒックスの安定条件を用いて判定を行う。

［ヒックス条件］

$$E_{11}<0,\begin{vmatrix}E_{11} & E_{12}\\ E_{21} & E_{22}\end{vmatrix}>0,\ \cdots\cdots,\ (-1)^{I-1}|E|>0 \qquad (5)$$

但し、$|E|$:主座行列式

4．シミュレーションとその結果

(1)条件設定

数値シミュレーションは、次のように外生変数とパラメータを設定して行った。なお、交通改善は、γ:単位交通費用を低下させることで表される。

I（都市数）$=9$	$N_T=1.0\times10^7$
$\gamma=1.0\times10^{-4}\to1.0$	$\alpha_i=\alpha=0.1\to1.2$
$\beta_i=\beta=0.1\to1.0$	$\tau_{ij}=\lvert i-j\rvert\times10+1$
$A_i=A=0.0$	$L_i=L=1.0$
$\theta=0.0001$	

また、初期値として以下の人口分布を与える。

$N_i=1.16\times10^6\quad(i=1,\cdots,5)$

$N_i=1.05\times10^6\quad(i=6,\cdots,9)$

(b)交通ネットワークの構造

また、交通ネットワークの構造は、線形一軸、菱形三角網、環状の３つの構造を想定したが、本稿では特に、線形一軸（図-1）の場合を紹介する。

(c)シミュレーション結果

以上のような外生変数とパラメータの数値設定のもとで行ったシミュレーションは、きわめて多数のケースにわたり、それらを全て紹介することはできない。そこで本稿では、特に α、β、γ の３つのパラメータの組み合わせを変えて行ったものを示す。その結果から、ある特定のパラメータの組み合わせのもとでは、均衡解が不安定になる領域が存在することが確かめられ（図-2）、また、安定な解が得られる領域ではパラメータの組み合わせに応じて５つの均衡パターンが存在することがわかった。

次に、このシミュレーション結果の中から、交通改善という要因に注目して特に興味深いと思われるものを紹介する（図-3）。この図から、交通費用の低下に伴い、分散→集中→分散といった変化が起きていることが分かるが、これは以下のように説明される。交通費用が極端に高い場合には、どの都市においても交通に関して不便であるため、集積のメリットがなく、デメリットを避けるために人口は分散される。交通費用が中位の場合には、交通利便性が都市によって大きく異なり、特に中心の都市が便利になる傾向があるため中心の都市に人口が集中する。交通費用が極端に低い場合には、どの都市においても同じように便利になり、都市間格差がなくなるため、再び人口はデメリットを避けて分散する。このような人口分布の変化は、交通未発達の社会から、ハイモビリティ社会への移行に伴う歴史的な流れを示しているものと思われる。

5．おわりに

本稿では、簡略化された効用関数を用い、また、ネットワークも極めて簡単なものを想定しているので、総合的な考察を行うには限界がある。しかしその中で、交通費用の低下に伴い、人口分布は分散→集中→分散と変化することが分かった。また、本稿で示したシステムにおいては、パラメータの組み合わせによっては不安定な解が出現することも確かめられた。

【参考文献】

1) 上田 (1993)：A system of cities with interregional transport network, Paper presented at the International Seminar on "Transportation Planning and Policy in a Network and Price Equilibrium Framework", CSIRO, 1993.

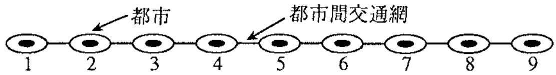

図-1　線形一軸交通網

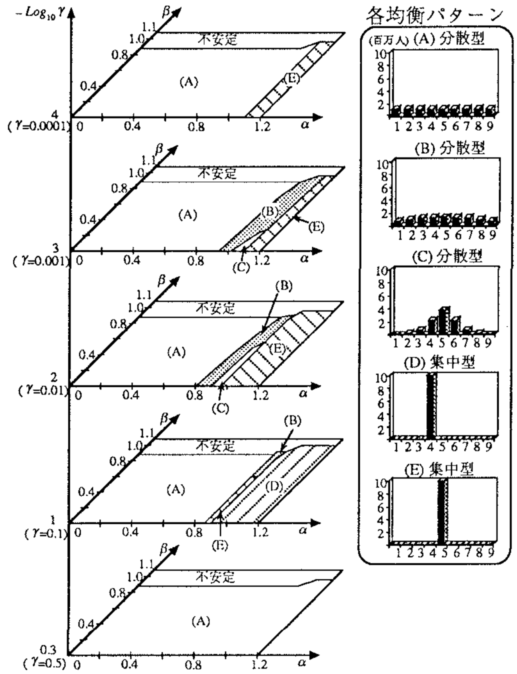

図-2　解の安定・不安定領域と均衡パターン

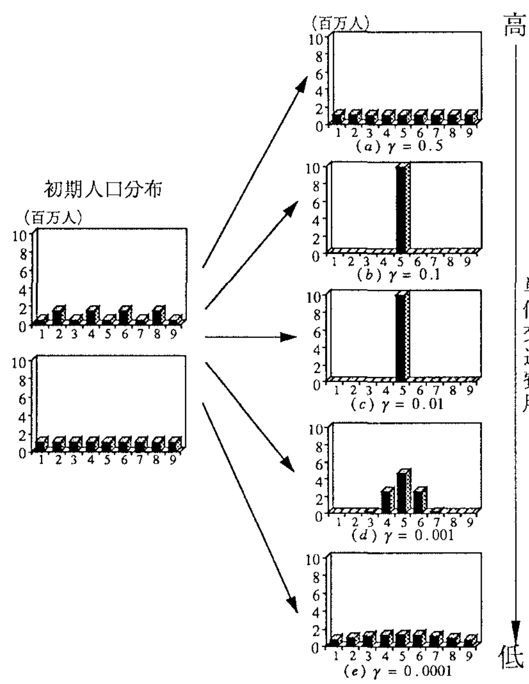

図-3　交通改善に伴う人口分布の変化