

# 高速交通体系が都市システムの発展に及ぼす影響に関する研究<sup>1</sup>

## NATIONAL LAND-AXIS DEVELOPMENT BY PROVIDING RAPID TRANSPORTATION SYSTEMS

小林潔司<sup>2</sup>・奥村誠<sup>3</sup>

Kiyoshi KOBAYASHI and Makoto OKUMURA

### 1. はじめに

現在、高速交通体系の整備により都市圏経済のネットワーク化を進展させ、都市・地域経済の国土的統合化をさらに進展させることが期待されている。その中で地域間における所得格差の増大やハブ都市の形成といった新たな変化の傾向も現われている<sup>1)2)</sup>。

従来より、高速交通体系が国土構造に及ぼす影響に関して研究が蓄積されてきた。しかし、既存の研究は比較静的な分析枠組みの下で高速体系の影響を分析したものであり、動的な視点から都市システムの発展過程を分析した事例はほとんどない。

古くから、Henderson は新都市経済学モデルと経済成長モデルの融合を示唆している<sup>3)</sup>。また都市システムを対象としたものではないが、最近 Zhang<sup>4)5)</sup> が都市の成長経路の動学分析を行うためのモデルを提案している。

本研究ではこれらの研究を融合させ、1) 都市システム、2) 知識生産における外部経済性、3) 地域間の人的交流を明示的に考慮した都市システム成長モデルを提案する。これにより、1) 地域間の経済格差、2) 人口の大都市集中、3) 地域間交通量、4) 都市圏の地代の動向を都市システムの発展過程と結びつけて分析することが可能になる。

### 2. モデルの定式化

#### (1) 分析の枠組み

本研究では、高速交通体系の整備は知識資本形成における外部経済効果を生みだし、物的資本・人的資本の格差の増加が地域間の経済格差や国土構造

の変化をもたらすと考える。そのメカニズムを分析するために知識資本の蓄積を内生化した都市システム成長モデルを提案する。

都市圏が高速交通体系で連結されたような都市システム（国土軸）を考える。国民は国土軸上のいずれかの都市に居住し、都市間の人口移動は自由であると考える。各都市の雇用機会はそれぞれの都市の CBD に集積しており、都市内交通システムを用いて通勤する。各都市では資本、労働力、知識を投入し財を生産する。生産された財は地域間で交易され最終的に家計消費、資本蓄積に利用される。財市場や資本市場は完全競争的であるが国内で閉じており、国際貿易は考慮しない。

都市システム全体での総人口は外生的に与えられる。各都市では民間部門の投資行動によって資本が蓄積される。地域間の交流を通じて知識・情報が交換され人的資本の形で蓄積される。高速交通体系は初期時点で建設され、その後の都市システムの発展過程に影響を及ぼすと考える。

#### (2) モデルの基本構造

図-1 はモデルの基本構造を示している。モデルは基本的には1) 都市内均衡モデル、2) 都市間均衡モデル、3) 都市成長モデルで構成される。各部分モデルは従来の標準的な研究成果を踏襲したものであるが、1) 多地域一般均衡モデルの内部に都市構造を決定するメカニズムを内生化している、2) 多地域一般均衡モデルをさらに多地域経済成長モデルに内生化している点に本研究の特徴がある。

#### (3) 都市内均衡モデルの定式化

都市内均衡モデルでは新古典派的都市経済モデルにならない、家計の所得  $y_i$ 、都市人口  $N_i$  を与件として都市構造を記述する。

<sup>1</sup> Key Words: 国土計画, 人口分布, 計画情報

<sup>2</sup> 正会員・工博・鳥取大学教授・工学部社会開発システム工学科 (〒680 鳥取市湖山町南 4-101) 0857-31-5309

<sup>3</sup> 正会員・工博・広島大学助教授・工学部第4類建設系 (〒739 東広島市鏡山1丁目4番1号) 0824-24-7827

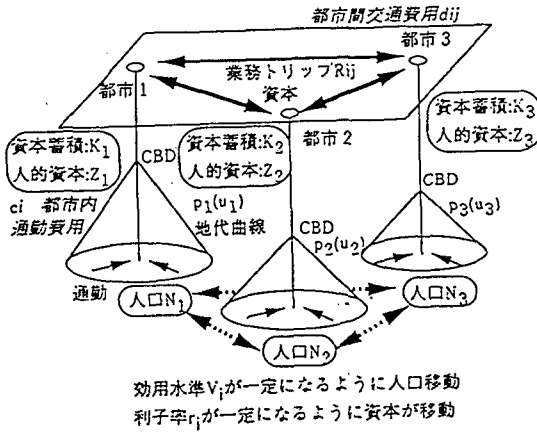


図-1 モデルの基本構造

a) 家計行動

Henderson による都市の単純化モデル<sup>3)</sup>を用いて住宅立地を記述する。Henderson に従って次の仮定をおく。1) CBD は1点になる。2) 区画は都市域全体で一定の大きさである。3) 通勤費用はすべて個人負担である。4) 移動と余暇の選択は考慮しない。5) 農業は存在せず都市端の地代はゼロである。

都市  $i$  ( $i = 1, \dots, M$ ) に着目する。都市  $i$  の CBD から  $u_i$  の地点に居住する家計の合成財消費量を  $x_i(u_i)$ 、住宅サービス消費量を  $h_i(u_i)$ 、土地面積を  $l_i(u_i)$  とする。直接効用関数を次のように特定化する。

$$U = x_i(u_i)^a h_i(u_i)^b l_i(u_i)^c \quad (1)$$

ここで、 $a, b, c$  はパラメータであり  $a + b + c < 1$  を仮定する。

区画面積が  $l(u_i) = 1$  に、ニューメレル財の価格が1に基準化されていると考え、予算制約下の効用最大化問題を解けば合成財、住宅サービスに対する需要関数が得られる。

$$x_i(u_i) = \frac{a}{a+b} (y_i - p_i(u_i) - c_i u_i) \quad (2a)$$

$$h_i(u_i) = \frac{b}{a+b} (y_i - p_i(u_i) - c_i u_i) \quad (2b)$$

これらを式 (1) に代入すれば、間接効用関数は次式で与えられる。

$$V(u_i) = A (y_i - p_i(u_i) - c_i u_i)^{a+b} \quad (3)$$

ただし、 $A = \{a/(a+b)\}^a \{b/(a+b)\}^b$ 、 $p_i(u_i)$  は地

点  $u_i$  の地代、 $c_i$  は都市内の単位通勤費用である。均衡条件  $\partial V(u_i)/\partial u_i = 0$  より得られる地代勾配  $\partial p_i(u_i)/\partial u_i = -c_i$  を積分すれば、地代曲線は次式で表わされる。

$$p_i(u_i) = c_i (L_i - u_i) \quad (4)$$

ただし、 $u_i = L_i$  は都市の外縁の位置である。

b) 集計的關係

区画面積が  $l(u_i) = 1$  であることより都市規模は都市面積に一致する。

$$N_i = \int_0^{L_i} 2\pi u_i du_i = \pi L_i^2 \quad (5)$$

上式を考慮すれば、総消費額 (合成財と住宅サービスの総消費額) は次式で与えられる。

$$F_i = \int_0^{L_i} 2\pi u_i (x_i(u_i) + h_i(u_i)) du_i = N_i (y_i - c_i \pi^{-\frac{1}{2}} N_i^{\frac{1}{2}}) \quad (6)$$

総地代収入は次式で定義される。

$$P_i = \int_0^{L_i} 2\pi u_i p_i(u_i) du_i = \frac{1}{3} c_i \pi^{-\frac{1}{2}} N_i^{\frac{3}{2}} \quad (7)$$

最後に、都市内総通勤費用は次式のようになる。

$$T_i = \int_0^{L_i} 2\pi c_i u_i^2 du_i = \frac{2}{3} c_i \pi^{-\frac{1}{2}} N_i^{\frac{3}{2}} \quad (8)$$

すなわち、都市構造は外生変数  $y_i, N_i, c_i$  が与えられれば一意的に決定される。均衡条件より、家計効用は立地地点に関わらず都市外縁部での効用値に一致する。その水準は都市人口  $N_i$  の関数として次式のように表現できる。

$$V_i = A (y_i - c_i \pi^{-\frac{1}{2}} N_i^{\frac{1}{2}})^{a+b} \quad (9)$$

c) 企業行動

企業は、資本、労働およびコミュニケーション活動によって得られる情報を用いて単一財 (ニューメレル財) を生産する。生産技術を1次同次の生産関数により表現する。

$$Y_i = K_i^\alpha (Z_i N_i)^\beta \left\{ \sum_j Z_j N_j \left( \frac{R_{ij}}{Z_j N_j} \right)^\xi \right\}^\gamma \quad (10)$$

ただし、 $Y_i$  は各都市の生産物、 $K_i$  は資本、 $Z_i$  は人的資本、 $R_{ij}$  は地域間のコミュニケーション回数、 $\alpha, \beta, \gamma (> 0), 1 > \xi > 0$  はパラメータであり  $\alpha + \beta + \gamma \xi = 1$  が成立する。

従来の研究では、都市規模に依存する項を導入することにより、都市における集積の効果を表現することが多かった<sup>3)</sup>が、この方法では外部経済性を

都市圏内部に閉じこめており、高速交通体系による地域間の知識交換の可能性を排除している。本研究では地域間交通の発生量を内生化した Mun 型生産関数<sup>6)</sup>を用いることにより、地域間の知識交換の可能性を表現する。

利潤最大化に関する一階の条件より、資本レント  $r_i$ 、賃金率  $\omega_i$ 、地域間交通費用  $d_{ij}$  はそれぞれ、

$$r_i = \frac{\alpha Y_i}{K_i} \quad (11a)$$

$$\omega_i = \beta \frac{Y_i}{N_i} \quad (11b)$$

$$d_{ij} = \gamma \xi Y_i \frac{Z_j N_j d_{ij}^{-\frac{1}{1-\xi}}}{R_{ij} \sum_k Z_k N_k d_{ik}^{-\frac{1}{1-\xi}}} \quad (11c)$$

となる。これより、地域間交通量はグラビティモデルで

$$R_{ij} = \frac{\gamma \xi Y_i Z_j N_j d_{ij}^{-\frac{1}{1-\xi}}}{d_{ij} \sum_k Z_k N_k d_{ik}^{-\frac{1}{1-\xi}}} \quad (12)$$

と表現できる。

#### d) 要素所得の分配様式

本モデルでは土地、資本の public ownership を仮定する。各都市の土地レントはその都市の居住者に平等に配分される。一方、国民はすべて等しい額の貯蓄を行ない利子所得は国民に平等に配分されると考える。都市  $i$  の代表的家計の地代収入  $p_i$ 、資本レント収入  $k$  は次式で定義される。

$$p_i = \frac{P_i}{N_i}, \quad k = \frac{\sum_j r_j K_j}{N} \quad (13)$$

ただし、 $N$  は経済全体での総人口である。また貯蓄総額が経済全体の GNP と貯蓄性向  $s$  に依存して決定されると考えれば、国民 1 人当たりの貯蓄額  $s$  は

$$s = \frac{\sum_i Y_i}{N} \quad (14)$$

と表される。都市内の家計がすべて同質であり  $s$  が一定値をとると仮定すれば、人口 1 人当たりの所得は次式で表わされる。

$$y_i = \omega_i - s + k + \frac{P_i}{N_i} \quad (15)$$

上式において、右辺は第 1 項から順に賃金所得、貯蓄額、利子所得、地代収入を表わしている。

#### (4) 都市間均衡モデルの定式化

都市間均衡モデルは都市システム内の財市場、資本市場、人口市場の均衡状態を記述する一般均衡モ

デルとなっている。都市システム内で財、資本、人口は自由に移動することができる。また、時間軸上の各時点で都市システムは均衡状態に到達していると考える。

国内で利用可能な総資本額を  $K_i$  とすれば資本市場の均衡条件は

$$r_1 = \dots = r_M = r \quad (16a)$$

$$\sum_i^M K_i = K(t) \quad (16b)$$

により定義できる。この利子率  $r$  はすべての都市圏を通じて一定になるがその水準は内生的に決定される。

一方、摩擦費用なしに自由に人口移動が生じ、各都市圏で完全雇用が達成されるとする。都市圏間通勤が存在しない場合、各都市圏の賃金率  $\omega_i$  は各都市ごとの企業の最適化条件に基づいて決定され、都市圏によって差別化される。いま、 $t$  期の都市システムの総人口  $N(t)$  が外生的に与えられたとしよう。この時、人口移動に関する均衡条件は次式で与えられる。

$$\sum_i N_i = N(t) \quad (17a)$$

$$V_1 = \dots = V_M = V \quad (17b)$$

ただし、 $V$  は均衡効用水準で内生的に決定される。

#### (5) 都市成長モデルの定式化

都市システム全体の資本ストック  $K(t)$  は新古典派的成長モデルに従って成長すると考える。

$$\frac{dK}{dt} = \iota \sum_i Y_i - \delta K \quad (18)$$

ここに、 $\iota$  は貯蓄性向、 $\delta$  は減耗率である。この  $K(t)$  は国内資本市場の裁定条件 (16) に従って、各都市圏に配分される。一方、知識資本は生産過程における研究開発やコミュニケーションを通じた知識交換を通じてそれぞれの都市圏ごとに蓄積される<sup>7)</sup>。

$$\frac{dZ_i}{dt} = \frac{f Y_i}{N_i (1 + h Z_i)} + g \left\{ \sum_j Z_j N_j \left( \frac{R_{ij}}{Z_j N_j} \right)^\xi \right\}^\gamma \quad (19)$$

ここで、 $f, g$  はパラメータである。上式の右辺第 1 項は Zhang 型学習関数<sup>4)</sup>であり項  $1/(1 + h Z_i)$  は人的資本の水準が高くなるほど学習効果が少なくなるという学習効果の収穫逨減則を、右辺第 2 項は知識交換による知識蓄積効果を表わしている。

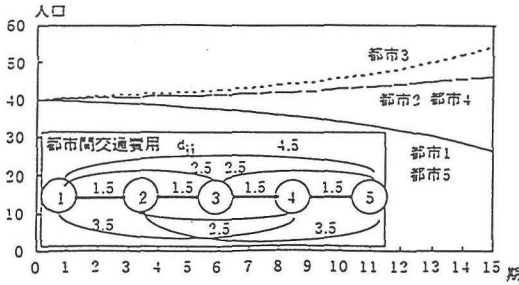


図-2 基本ケースにおける人口の推移

### (6) モデルの計算方法

以上の体系において、外生変数は  $N(t)$  と交通条件を表す政策変数の  $c_i, d_{ij}$  である。一方内生変数は  $K_i, Z_i, Y_i, \omega_i, R_{ij}, D_i, y_i, V_i, N_i, F_i, P_i, T_i, s, r$  である。いま、ある時点で都市成長モデルによって  $K, Z_i$  が、都市間均衡モデルにより  $N_i, K_i$  が決定されていると考えよう。都市内均衡モデルでは  $N_i, K_i$  を与件として残りの内生変数が決定される。まず、式(10)-(12)より  $Y_i, r_i, \omega_i, R_{ij}$  が一意的に決定される。一方、式(7)より  $P_i$  が決定され、式(15)より  $y_i$  が求まる。最終的に、式(9)より各都市の効用水準  $V_i$  が決定される。しかしここで求めた  $r_i, V_i$  が都市間均衡モデルの均衡条件を満足する保証はない。都市間均衡モデルでは条件(16)-(17)を満足するような  $K_i, N_i$  を決定する。以上の2つのモデルを交互に解き収束させることによって、ある時点での  $K, Z_i$  に対応した残りの内生変数の均衡値が決定される。

時点を越えた都市システムの成長過程は微分方程式(18),(19)によって記述されるが、差分化して数値計算を行うこととする。

### 3. シミュレーションによる思考実験

ここでは5個の都市が1本の高速交通施設で連結されて国土軸が形成されている都市システムを考える。基本ケースとして、人口、資本、人的資本の初期条件を  $N_i = 40, K_i = 100, Z_i = 0.7$  と一律に設定した。都市内交通コストも一定 ( $c_i = 0.6$ ) に設定している。この条件のもとでは都市間のアクセシビリティの差が影響力を持ち、中央に位置する都

市3が徐々に大きな生産力と人口を抱えることとなる。この場合の人口の推移を図-2に示す。

他に行った計算結果から、人口  $N_i$  や資本  $K_i$  の初期条件は長期的な影響力を持たないが、人的資本、都市内交通コスト、都市間交通コストの3つが都市の成長に決定的な役割を果たすことがわかった。これらの要因の影響力の比較や相互作用の構造を明らかにすることが今後の課題である。

### 4. おわりに

本研究では、高速交通体系の整備が都市システムの成長過程に及ぼす影響に関する理論的な分析枠組みを提案した。本研究で提案した分析枠組みは多方面の問題への拡張が可能である。また、本研究で提案したモデルは操作性にも富んでおり、実証的な政策分析も可能である。モデル構造の複雑化と実証分析の結果については別の機会に発表したい。

### 参考文献

- 1) Suarez-Villa, L. and Cuadrado Roura, J. R.: Regional economic integration and the evolution of disparities, Papers in Regional Science, Vol. 74, pp. 369-387, 1993.
- 2) Krugman, P.: The hub effect: or, threeness in interregional trade, in: Ethier, W. J. et al. (eds.), Theory, Policy and Dynamics in International Trade, Cambridge University Press, 1993.
- 3) Henderson, J. V.: Economic Theory and The Cities, Academic Press, 1985, 折下功訳, 経済理論と都市, 勁草出版センター, 1987.
- 4) Zhang, W.-B.: Trade and world economic growth, Differences in knowledge utilization and creativity, Economic Letters, Vol. 39, pp. 199-206, 1992.
- 5) Zhang, W. B.: Non-linear Dynamic Economic Structure: Infrastructure and Knowledge in a Two-Sector Growth Model, in: Johansson, B., et al. (eds.), Patterns of a Network Economy, Springer-Verlag, 1994.
- 6) Mun, S.: Impacts of developments in telecommunication systems on travel demand and the location of office firms, in Andersson, Å. E., et al. (eds.), The Cosmo-Creative Society, Springer-Verlag, 1993.
- 7) 小林潔司: 知識社会における産業立地と地域動学, 土木学会論文集, No. 449/IV-17, pp. 27-36, 1992.