

# 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。世界経済の統合化と知識・情報の国際的なネットワーク化により、都市圏の成長力はもはや都市圏経済の内部だけでは決定されえず、国土的・世界的規模で展開する資本・知識の蓄積過程の相互作用の中で決定される<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交通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。高速交通体系の整備は都市圏間での情報・知識伝搬を容易にし、結果的に都市システムの経済発展過程に影響を及ぼす。

以上の問題意識のもとに、本研究では都市圏間での自由な人口移動がなされるような都市システムの発展過程をシミュレートする多都市成長モデルを提案する。さらに、高速交通体系の整備が都市システムの発展に及ぼす影響を検討するための分析枠組みを提案する。以下、2. では本研究の基本的な分析枠組みを説明し、3. で基本モデルを定式化する。4. ではモデルの特性について考察し、5. ではシミュレーションによる思考実験の結果を示すこととする。

### 2. 本研究の位置づけ

#### (1) 既存の研究の概要

Solow 等による先駆的研究を嚆矢として完全雇用下での経済成長に関する新古典派的成長理論<sup>3)4)5)</sup>が発展し、その後外生的に与えられていた技術進歩の内生化が試みられた。Arrow による学習過程モデル<sup>6)</sup>と Romer による内生的技術革新モデル<sup>7)8)</sup>を基礎として人的資本や知識の蓄積過程を説明する内生的経済成長論が現在急速に発展している<sup>9)</sup>。経済成長モデルの中に貿易構造を内生化した多国経済成長モデルに関する研究も進展している<sup>9)-13)</sup>。

一方、新都市経済学分野では都市モデルに関する研究が蓄積された<sup>14)15)16)</sup>。近年では、伝統的な1都市モデルを越えて都市システムに関する研究が進展している<sup>17)18)19)</sup>。都市システム理論と貿易理論を融合しようとする試みもある<sup>2)</sup>。また、空間的一般均衡モデルに関する研究も精力的になされている。以上の研究は交通施設等の効果の比較静学分析を目的としており動学分析を行なった研究は多くない。先進国の経済成長においては、知識生産における外部経済効果が重要な役割を果たしている<sup>20)</sup>。知識生産は知識アクセシビリティに高度に依存する。高速交通体系の整備により、都市システムにおける少数のノードが知識集積の効果を発揮して成長する可能性がある<sup>19)</sup>。このような視点に立てば、知識の外部経済性を明示的に考慮したような都市システム成長モデルを作成することが望ましい。

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>16)</sup>が、最近になり Zhang<sup>12)13)</sup>が都市の成長モデルを提案した。ここでは、成長経路の動学分析という数理経済学上の課題に答えるためにモデルが過度に簡略化されてい

<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・京都大学教授・大学院工学研究科土木工学専攻 (〒606-01 京都市左京区吉田本町) 075-753-5071

<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

る。また、都市システムを対象としたものではない。

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、人的資源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。そこで高速交通体系の整備効果分析という土木計画的課題に答えるために、1) 都市構造、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。

## (2) 分析の枠組み

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の都市のCBDに集積している。都市内部とCBDは稠密な都市内交通システムで連結され混雑は生じないと考える。各都市では資本、労働力、知識を投入し財を生産する。1財経済を仮定し、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。以上の仮定は都市システムを極めて理想化したものであるが、本研究で着目する本質的な構造は表現できていると考える。

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。都市内均衡モデルは新古典派的都市経済モデルで記述され、家計の所得  $y_i$ 、都市人口  $N_i$  をもとに都市構造を求める。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。

本都市システムの動学過程には人口、資本の移動という相対的に変化が速いプロセスと知識の蓄積という変化の遅いプロセスが含まれる。非線形動学

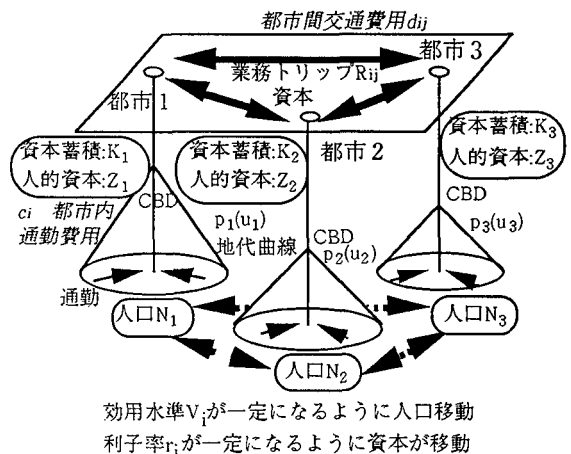


図-1 モデルの基本構造

理論<sup>21)</sup>によれば、このような複合的な動学過程の挙動は本質的には変化の遅いプロセスによって支配され、変化の早いプロセスは均衡に到達しているという数学モデルによって近似できる。そこで時間軸上の各時点で財、人口・資本は都市間で均衡状態に到達していると考え、各都市経済の成長を物的資本  $K_i$  と人的資本  $Z_i$  の成長を記述する都市成長モデルで求める。

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特徴がある。これにより知識蓄積に伴う集積の経済性をコントロールすると同時に、土地利用や都市内交通政策により集積の不経済性を変化させることにより都市規模をコントロールするといった政策の分析が可能となる。

各都市では労働力が完全利用される。労働力  $N_i$ 、物的資本  $K_i$ 、人的資本  $Z_i$  と、都市間交流の結果交換される知識を用いて生産された各都市の生産物  $Y_i$  は、最終消費、民間投資に分配される。都市システム全体での物的資本は国民の貯蓄行動を通じて、人的資本は各都市ごとに研究開発や知識交換により蓄積される。物的資本の蓄積、人的資本の蓄積が経済発展の原動力になっている<sup>22)23)</sup>。高速交通体系は地域間の情報・知識の交換を容易にし、間接的に都市システム全体での資本・蓄積過程に影響を及ぼす。

### 3. モデルの定式化

#### (1) 都市構造モデルの定式化

##### a) 家計行動

Henderson<sup>16)</sup>に従って住宅立地のモデル化に当たり以下の仮定を置く。1) 都市の土地すべてが居住地であり土地は営業的生産には用いられない。すなわち CBD は 1 点になる。2) 都市システムで生産される財は合成財消費、住宅サービスの消費の双方で利用される。3) 区画は都市域全体で一定の大きさである。4) 通勤費用はすべて個人負担である。5) 移動と余暇の選択は考慮しない。6) 都市端の地代はゼロであると仮定する。すなわち、農業は存在しない。以上の仮定は 2) を除いて Henderson が採用した仮定である。本研究では 1 財経済を考えているので仮定 2) を採用する。仮定 3) と 6) により、のちに示すように均衡効用水準を明示的に都市人口の関数として表現できる。仮定 3) 6) を除去した場合、均衡効用水準を求めるために複雑な収束計算が必要となるが、モデルの本質的な構造は変化しない。さらに、7) 各都市の土地は土地開発公社が所有し、その収益は都市住民に等しく分配される。8) 資本家が存在せず労働者が資本を保有すると仮定する。仮定 7) 8) はそれぞれ土地、資本の public ownership を仮定していることに他ならない。土地や資本の収益が特定の都市住民に帰着することがなければ、土地の私有制を仮定しても都市の発展過程を相対的に考察する上では影響はない。例えば国外の不在地主を仮定してもモデルは同一の挙動を示す。

都市  $i$  ( $i = 1, \dots, M$ ) に着目しよう。都市  $i$  の CBD から  $u_i$  の地点に居住する家計の合成財の消費量を  $x_i(u_i)$ 、住宅サービスの消費量を  $h_i(u_i)$ 、土地面積を  $l_i(u_i)$  とする。直接効用関数  $U = U(x_i(u_i), h_i(u_i), l_i(u_i))$  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れば、家計の予算制約は次のようになる。

$$p_i(u_i) + x_i(u_i) + h_i(u_i) + c_i u_i = y_i \quad (2)$$

ただし、 $c_i$  は交通費用、 $y_i$  は代表的家計の所得、 $p_i(u_i)$

は地点  $u_i$  の地代である。効用最大化問題を解くことにより合成財、住宅サービスに対する需要関数

$$x_i(u_i) = \frac{a}{a+b}(y_i - p_i(u_i) - c_i u_i) \quad (3a)$$

$$h_i(u_i) = \frac{b}{a+b}(y_i - p_i(u_i) - c_i u_i) \quad (3b)$$

を得る。間接効用関数は次式で与えられる。

$$V(u_i) = A(y_i - p_i(u_i) - c_i u_i)^{a+b} \quad (4)$$

ただし、 $A = \{a/(a+b)\}^a \{b/(a+b)\}^b$  である。均衡条件  $\partial V(u_i)/\partial u_i = 0$  より地代勾配  $\partial p_i(u_i)/\partial u_i = -c_i$  を得る。積分を実行し地代曲線を求めれば、

$$p_i(u_i) = C_0 - c_i u_i \quad (5)$$

を得る。ここに、 $C_0$  は積分定数である。仮定 6) より都市の外縁部  $u_i = L_i$  において  $p_i(L_i) = C_0 - c_i L_i = 0$  が成立する。地代曲線は次式で表わされる。

$$p_i(u_i) = c_i(L_i - u_i) \quad (6)$$

なお、 $u_i = L_i$  における家計の効用水準は

$$V_i = A(y_i - c_i L_i)^{a+b} \quad (7)$$

となる。均衡条件より、家計効用は立地地点に関わらず同一水準 (7) に一致する。

##### b) 集計的關係

人口密度は 1 人当たり土地利用面積の逆数であり、区画面積が  $l(u_i) = 1$  であることより都市規模は次式で定義される。

$$N_i = \int_0^{L_i} 2\pi u_i du_i = \pi L_i^2 \quad (8)$$

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。

$$\begin{aligned} F_i &= \int_0^{L_i} 2\pi u_i (x_i(u_i) + h_i(u_i)) du_i \\ &= N_i (y_i - c_i \pi^{-\frac{1}{2}} N_i^{\frac{1}{2}}) \end{aligned} \quad (9)$$

総地代収入は次式で定義される。

$$P_i = \int_0^{L_i} 2\pi u_i p_i(u_i) du_i = \frac{1}{3} c_i \pi^{-\frac{1}{2}} N_i^{\frac{3}{2}} \quad (10)$$

最後に、都市内総通勤費用は次のようになる。

$$T_i = \int_0^{L_i} 2\pi c_i u_i^2 du_i = \frac{2}{3} c_i \pi^{-\frac{1}{2}} N_i^{\frac{3}{2}} \quad (11)$$

すなわち、都市構造は外生変数  $y_i, N_i, c_i$  が与えれば一意的に決定される。式 (7), (8) より効用水準は都市人口  $N_i$  の関数として次のように表現できる。

$$V_i = A(y_i - c_i \pi^{-\frac{1}{2}} N_i^{\frac{1}{2}})^{a+b} \quad (12)$$

c) 企業行動

企業は、資本  $K_i$ 、労働  $N_i$  およびコミュニケーション活動によって得られる知識  $G_i$  を用いて単一財（ニューメーラール財）を生産する。都市の生産技術を生産関数により表現する。

$$Y_i = K_i^\alpha (Z_i N_i)^\beta G_i^\gamma \quad (13a)$$

$$G_i = \sum_j Z_j N_j \left( \frac{R_{ij}}{Z_j N_j} \right)^\xi \quad (13b)$$

ただし、 $Z_i$  は人的資本であり、各都市の経済活動がどの程度高度な意思決定を必要とするかを表わす都市固有の変数である。 $R_{ij}$  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。企業の利潤を次式で定義する。

$$\pi = Y_i - r_i K_i - \omega_i N_i - \sum_j d_{ij} R_{ij} \quad (14)$$

ただし、 $r_i$  : 資本レント、 $\omega_i$  : 賃金率、 $d_{ij}$  : 地域間交通費用である。従来の研究では、都市規模に依存する項を生産関数に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>16)</sup>。しかし、この方法では知識生産における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>24)</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。

企業が得る知識量は (13b) より自都市の労働力  $N_i$  に依存するが、本来対外的に得られる知識交換を増やすために自企業の労働力を操作することは考えにくく、コミュニケーション回数  $R_{ij}$  を介して操作すると考えるのが自然である。よって利潤最大化の一階の条件は以下ようになる。

$$r_i = \frac{\alpha Y_i}{K_i} \quad (15a)$$

$$\omega_i = \beta \frac{Y_i}{N_i} \quad (15b)$$

$$d_{ij} = \gamma \xi Y_i \frac{Z_j N_j d_{ij}^{-\frac{\xi}{1-\xi}}}{R_{ij} \sum_k Z_k N_k d_{ik}^{-\frac{\xi}{1-\xi}}} \quad (15c)$$

これより、地域間交通量はグラビティモデルで

$$R_{ij} = \frac{\gamma \xi Y_i Z_j N_j d_{ij}^{-\frac{\xi}{1-\xi}}}{d_{ij} \sum_k Z_k N_k d_{ik}^{-\frac{\xi}{1-\xi}}} \quad (16)$$

と表現できる。交通費用の総計は次式のようになる。

$$D_i = \sum_j d_{ij} R_{ij} = \gamma \xi Y_i \quad (17)$$

d) 要素所得の分配様式

家計行動モデルと企業行動モデルを連結するためには、資本収入、地代収入の帰属方法を規定する必要がある。仮定 7) 8) により、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。

$$p_i = \frac{P_i}{N_i}, \quad k = \frac{\sum_j r_j K_j}{N} \quad (18)$$

ただし、 $N$  は経済全体での総人口である。また、経済の貯蓄総額  $S$  は経済全体の GNP に依存して決定されると考える。すなわち、

$$S = \iota \sum_i Y_i \quad (19)$$

ここに、 $\iota$  は貯蓄性向である。従って、国民 1 人当たりの貯蓄額  $s$  は

$$s = \frac{\iota \sum_i Y_i}{N} \quad (20)$$

と表される。 $s$  は経済内のすべての家計を通じて一定値をとると仮定する。この仮定は非常に厳しいが、 $s$  を都市ごとに差別化するとモデルが極めて錯綜した内容になる。また、都市内の家計がすべて同質であると仮定すれば、人口 1 人当たりの所得は次式で表わされる。

$$y_i = \omega_i - s + k + \frac{P_i}{N_i} \quad (21)$$

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。

(2) 都市間均衡モデルの定式化

完全競争的な財、資本市場を想定する。各都市間では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。都市システム全体での総人口  $N(t)$  は外生的に与えられる。都市圏間通勤が存在しない場合、各都市圏の賃金率は各都市ごとに企業の最適化条件に基づいて決定され、賃金率  $\omega_i$  は都市圏によって差別化される。一方、国内の資本市場は完全競争的であり、利率はすべての都市圏を通じて一定に

なる。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

$$r_1 = \dots = r_M = r \quad (22a)$$

$$\sum_i^M K_i = K(t) \quad (22b)$$

により定義できる。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。

$$\sum_i N_i = N(t) \quad (23a)$$

$$V_1 = \dots = V_M = V \quad (23b)$$

ここに、 $V$  は均衡効用水準であり、都市システムモデルにおいて内生的に決定される。

### (3) 都市成長モデルの定式化

都市システムは物的資本・知識資本の蓄積により成長していく。都市システム全体で利用可能な資本ストック  $K(t)$  は国民の貯蓄行動によって蓄積され、新古典派的成長モデルに従うと考える。

$$\frac{dK}{dt} = \iota \sum_i Y_i - \delta_K K \quad (24)$$

ここに、 $\iota$  は貯蓄性向、 $\delta_K$  は物的資本の減耗率である。資本市場は完全競争的であり、都市システム全体の資本ストック  $K(t)$  は裁定条件 (22) に従って、各都市に配分されることになる。

高い能力を持つ人材が移動しても移転先にそれに見合う就業機会がなければ生産性は向上しない。各都市の就業機会の質を表わす人的資本は都市に固有の変数であり、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蓄積される。Zhang 型成長モデルを用いて蓄積過程を表現する。

$$\frac{dZ_i}{dt} = \frac{fY_i}{N_i(1+hZ_i)} + g \left\{ \sum_j Z_j N_j \left( \frac{R_{ij}}{Z_j N_j} \right)^\xi \right\}^\gamma - \delta_Z Z_i \quad (25)$$

ここで、 $f, g, \delta_Z$  はパラメータである。上式の右辺第 1 項は Zhang 型学習関数であり項  $1/(1+hZ_i)$  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通減則を表わす。第 2 項は知識交換による知識蓄積効果を、第 3 項は知識の陳腐化を表わしている。

### (4) モデルの全体構造

以上で得られたモデルを一括して表記しよう。

(都市内均衡モデル)

$$V_i = A(y_i - c_i \pi^{-\frac{1}{2}} N_i^{\frac{1}{2}})^{a+b} \quad (26a)$$

$$P_i = \frac{1}{3} c_i \pi^{\frac{1}{2}} N_i^{\frac{1}{2}} \quad (26b)$$

$$Y_i = K_i^\alpha (Z_i N_i)^\beta \left\{ \sum_j Z_j N_j \left( \frac{R_{ij}}{Z_j N_j} \right)^\xi \right\}^\gamma \quad (26c)$$

$$R_{ij} = \frac{\gamma^\xi Y_i Z_j N_j d_{ij}^{-\frac{\xi}{1-\xi}}}{d_{ij} \sum_k Z_k N_k d_{ik}^{-\frac{\xi}{1-\xi}}} \quad (26d)$$

$$\omega_i = \beta \frac{Y_i}{N_i} \quad (26e)$$

$$r_i = \frac{\alpha Y_i}{K_i} \quad (26f)$$

$$y_i = \omega_i - s + k + \frac{P_i}{N_i} \quad (26g)$$

$$s = \iota \frac{\sum_i Y_i}{N} \quad (26h)$$

(都市間均衡モデル)

$$r_1 = \dots = r_M = r \quad (26i)$$

$$\sum_i^M K_i = K \quad (26j)$$

$$V_1 = \dots = V_M = V \quad (26k)$$

$$\sum_i N_i = N \quad (26l)$$

(都市成長モデル)

$$\frac{dK}{dt} = \iota \sum_i Y_i - \delta_K K \quad (26m)$$

$$\frac{dZ_i}{dt} = \frac{fY_i}{N_i(1+hZ_i)} + g \left\{ \sum_j Z_j N_j \left( \frac{R_{ij}}{Z_j N_j} \right)^\xi \right\}^\gamma - \delta_Z Z_i \quad (26n)$$

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  $K_i, Z_i, Y_i, \omega_i, R_{ij}, y_i, V, N_i, P_i, s, r$  である。図-2 は、以上の内生変数が決定されるメカニズムを表示している。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 (26c)-(26f) より  $\omega_i, r_i, R_{ij}, Y_i$  が一意的に決定される。一方、式 (26b) より  $P_i$  が決定され、式 (26g) より  $y_i$  が求まる。最終的に、式 (26a) より各都市の効用水準  $V_i$  が

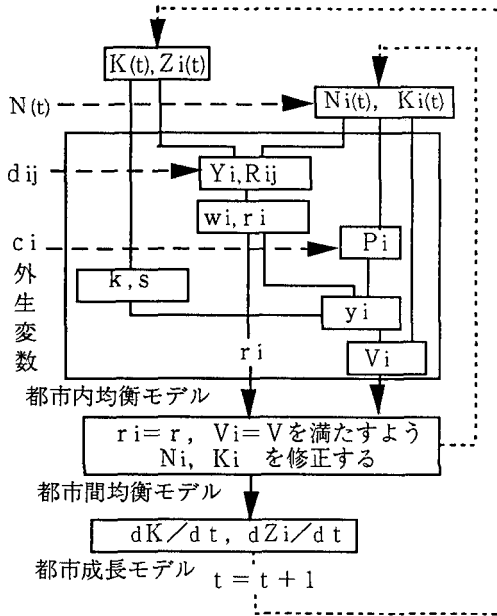


図-2 計算の手順

決定される。つまり、都市構造モデルでは、 $K_i, N_i$ に対応して  $r_i, V_i$  が決定される。しかし、都市構造モデルで決定される  $r_i, V_i$  が都市間均衡モデルの均衡条件 (26i), (26k) を満足する保証はない。都市間均衡モデルでは条件 (26i)-(26l) を満足するような  $K_i, N_i$  が決定される。以上のプロセスを繰り返せば  $K, Z_i$  に対応して、残りの内生変数の均衡値が決定される。最終的に都市システムの成長過程は微分方程式 (26m), (26n) によって記述される。

#### 4. 多都市成長モデルの特性

##### (1) 都市システムにおける生産構造の特性

各都市の総生産は資本家の利子所得と労働者の賃金所得および交通費用に配分される。財・資本市場が完全競争的であれば、限界条件 (15a)-(15c) と生産関数の1次同次性より、利子、賃金、交通費用への配分率はそれぞれ

$$\frac{rK_i}{Y_i} = \alpha, \quad \frac{\omega_i N_i}{Y_i} = \beta, \quad \frac{D_i}{Y_i} = 1 - \alpha - \beta \quad (27)$$

と一定になる。式 (15c) より、都市  $j$  とコミュニケーション費用への配分率 ( $\nu_{ij} = D_{ij}/D_i$ ) が<sup>s</sup>

$$\nu_{ij} = \frac{Z_j N_j d_{ij}^{-\frac{1-\epsilon}{\epsilon}}}{\sum_k Z_k N_k d_{ik}^{-\frac{1-\epsilon}{\epsilon}}} \quad (28)$$

と表わされることに着目しよう。 $D_{ij}$  は都市  $j$  へのコミュニケーション費用である。この時、単位生産量当たりの都市  $j$  へのコミュニケーション回数は

$$\frac{R_{ij}}{Y_i} = \gamma \xi \frac{\nu_{ij}}{d_{ij}} \quad (29)$$

と表わされる。上式と式 (26c), (26e), (15c) より、賃金率は

$$\omega_i = \Omega r^{-\frac{\alpha}{\beta}} ACC_i^{\frac{\gamma}{\beta}} Z_i$$

$$ACC_i = \left( \sum_j Z_j N_j d_{ij}^{-\frac{1-\epsilon}{\epsilon}} \right)^{1-\epsilon} \quad (30)$$

と表現される。ここに、 $\Omega = \alpha^{\frac{\alpha}{\beta}} \beta (\xi \gamma)^{\frac{\alpha \gamma}{\beta}}$ 、 $ACC_i$  は他の都市の知識の利用可能性を表しており「知識アクセシビリティ」と呼ぼう。各都市の賃金率の格差は当該都市における人的資本の蓄積量、及び知識アクセシビリティに依存して決定される。

物的資本市場の清算条件 (22) より利率は

$$r = \frac{\alpha \sum_i Y_i}{\sum_i K_i} \quad (31)$$

となり経済全体での産出係数に比例する。長期的に、経済での産出係数が低下すれば利率は低下する。式 (26c), (26f), (26i) より各都市の均衡資本量は

$$K_i = K \frac{Y_i}{\sum_j Y_j} \quad (32)$$

となる。すなわち経済の総資本を、各都市の総生産量が経済の総生産量に占める割合で配分すれば、各都市の均衡資本量が求められる。以上の結果はコブ=ダグラス型生産関数を用いたことの論理的帰結である。

##### (2) 都市システムにおける人口分布

都市システムにおける人口分布は、均衡条件式 (26k) が満足されるように決定される。式 (12) に示すように各都市の間接効用関数は所得  $y_i$  と人口規模  $N_i$  の関数である。式 (10), (18) より  $p_i = 1/3 \cdot c_i \pi^{-1/2} N_i^{1/2}$  となるから、式 (21), 式 (30) より、間接効用関数を次式のように書き換えることができる。

$$V_i = A \left[ \Omega r^{-\frac{\alpha}{\beta}} \left( \sum_j Z_j N_j d_{ij}^{-\frac{1-\epsilon}{\epsilon}} \right) Z_i \right. \\ \left. + e - \frac{2}{3} c_i \pi^{-\frac{1}{2}} N_i^{\frac{1}{2}} \right]^{a+b} \quad (33)$$

ここで、 $e = k - s$ であり各都市で共通の値をとる。上式においてパラメータを一定と考えれば、都市  $i$  の効用水準は都市規模  $N_i$  の関数として表現できる。

高速交通体系の整備は上式の都市間交通費用に影響を及ぼす。都市間交通費用が人口分布に及ぼす影響を分析するために、2つの極端なケースをとりあげる。すなわち、a) 都市間の交通費用が禁止的に高く知識交換が都市内に限られる場合  $d_{ij} = \infty$  ( $i \neq j$ ) (ケース1)、b) 都市間交通体系が高度に整備され経済全体の知識資本が安価に利用可能になった場合  $d_{ij} = d$  (ケース2) を考える。ただし  $d$  は十分に小さい定数である。

#### a) ケース1の場合

式 (33) において、 $-\xi/(1-\xi) < 0$  より  $i \neq j$  の項は無限小となるので、同式は以下のように書き換えることができる。

$$V_i = A \left[ \Omega r^{-\frac{\alpha}{\beta}} (Z_i N_i)^\phi d_{ii}^\psi Z_i + e - \frac{2}{3} c_i \pi^{-\frac{1}{2}} N_i^{\frac{1}{2}} \right]^{a+b} \quad (34)$$

ただし、 $\phi = (1-\xi)\gamma/\beta$ ,  $\psi = -\gamma\xi/\beta$  である。人口規模  $N_i$  と間接効用値  $V_i$  の関係は  $dV_i/dN_i$ ,  $d^2V_i/dN_i^2$  の符号により異なる。1)  $0 < \phi < 1/2$  の場合には、 $V_i$  は  $N_i$  に対して単峰な関数となり、その峰の位置は  $r$  および  $Z_i$  の水準により変化するが、都市システムは複数の安定均衡解を持つ可能性がある。2)  $1/2 < \phi < 1$  の場合には、 $V_i$  は  $N_i$  に対して単調な減少関数となり、都市間均衡の解の一意性が保証される。3)  $1 < \phi$  の場合には、 $V_i$  は  $N_i$  の正の領域で単一の最小値を持つ下に凸な関数となり、都市間均衡の解の一意性も安定性も保証されない。

#### b) ケース2の場合

本ケースの場合、都市の間接効用値は、

$$V_i = A \left[ \Omega r^{-\frac{\alpha}{\beta}} \left( \sum_i Z_i N_i \right)^\phi d^\psi Z_i + e - \frac{2}{3} c_i \pi^{-\frac{1}{2}} N_i^{\frac{1}{2}} \right]^{a+b} \quad (35)$$

と書き換えることができる。右辺第1項が都市システム全体で蓄積された総人的資本  $\sum_i Z_i N_i$  に依存し都市人口  $N_i$  と無関係になる。間接効用関数は  $N_i$  に対して単調な減少関数となり、解の一意性が保証される。各都市の規模は人的資本の水準  $Z_i$  と都市内の交通費用によって決定される。仮にこれらがすべての都市で同等であれば人口は各都市に均等に分布し

続けることになる。

#### c) モデルの動的挙動

実際の挙動は上記の2つのケースの中間的な状態となる。都市の数が3以上になると、解の挙動を解析的に検討することは不可能となるため、コンピュータ・シミュレーションに頼らざるを得ない。このとき、人口  $N_i$  は式 (33) に表された間接効用関数によって、資本  $K_i$  は式 (30) で定まる賃金率をもとに式 (27) によって、それぞれ各時点で短期的に調整される変数となっている。これらに対して、式 (33), 式 (30) の右辺に含まれる人的資本の水準  $Z_i$  は、長期的に変化する遅速変数である。モデルの動的挙動は遅速変数である  $Z_i$  によって決定づけられる<sup>21)</sup>。よって、以下の思考実験においては人的資本の水準  $Z_i$  の成長動向にも留意する。

## 5. シミュレーションによる思考実験

### (1) 分析の方針

高速交通体系の整備が都市システムの発展に及ぼす影響をシミュレーション実験により分析する。複数個の都市が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。経済的ハブの形成(資本・人的資本・人口の1極集中)過程を分析するためには、3都市以上を考慮に入れる必要がある。本研究では複数都市のハブ化の可能性も検討できるように5都市システムを対象とした分析結果を示す。

微分方程式系で表現されるモデルを差分化して数値計算を行った。シミュレーションに必要なパラメータ値は図-3に示すとおりである。貯蓄性向  $\mu$  に関しては実績値、 $\alpha, \gamma, \beta, \xi, \delta_K, \delta_Z$  は既存の研究成果を用いて設定した。Zhang型学習関数のパラメータ  $f, g, h$  に関しては参考になるデータが存在しないが、モデルの動的挙動に本質的な影響を及ぼさないので架空の値を想定する。

### (2) 分析結果の考察

#### a) 基本ケース

基本ケースとして、 $N_i = 40, K_i = 100, Z_i = 0.7$  と一律に設定した。なお、都市内交通コストは各都市とも一定 ( $c_i = 0.6$ ) である。この条件のもとでは

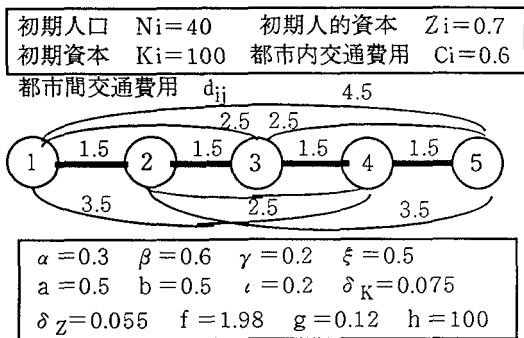


図-3 国土軸モデルのパラメータ値

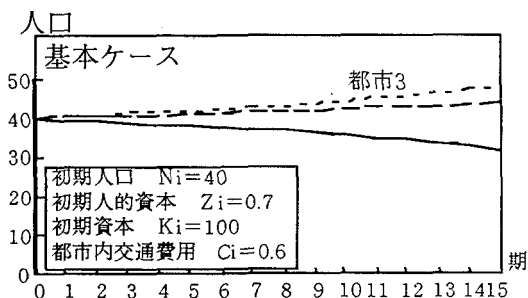


図-4 基本ケースにおける人口の推移

アクセシビリティの違いが長期的に人的資本の蓄積に差異を生じさせるために、図-4のように、中央にある都市3が大きな生産力と人口を抱え、都市2と都市4がそれに続く。

次に、初期時点の人口  $N_i$  や資本  $K_i$  を小さく (20程度) 変化させて計算を行ったが、それらは瞬時に調整され数期間の後には基本ケースと同じ状況に収束した。これらはこのモデルにおいて人口  $N_i$  や資本  $K_i$  が都市間均衡モデルの裁定条件に合うように自由に移動できるからである。

#### b) 初期人的資本の影響

初期時点の人的資本の影響力は大変大きい。例えば都市2の  $Z_2 = 1.0$  と設定した場合の人口の推移を図-5に示す。これより都市2は基本ケースの1.5倍以上の規模となり、中央に位置する都市3で若干人口の増加するが他の3つの都市の人口は減少する。

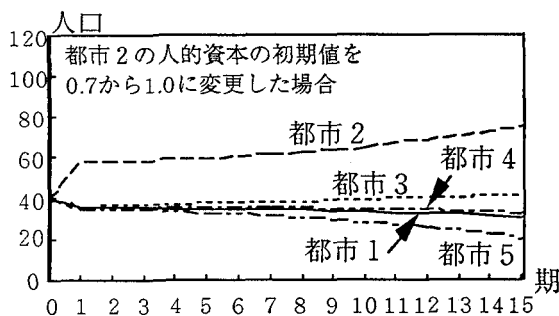


図-5 初期の人的資本が及ぼす影響

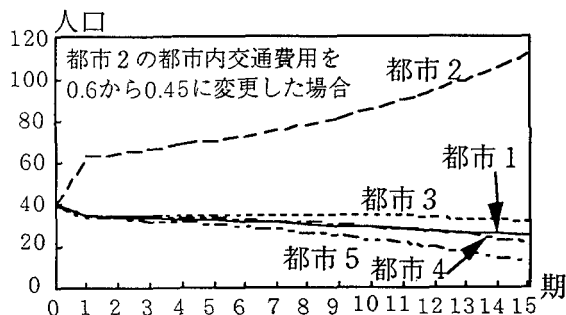


図-6 都市内交通費用の違いによる影響

#### c) 都市内交通コストの影響

特定の都市の都市内交通コストを引き下げると、その都市の成長が著しくなり、その影響は他の都市にも及ぶ。例えば、図-6には都市2の都市内交通費用を  $c_2 = 0.45$  に変化させた場合の人口の推移を示している。都市2と他の都市との格差が徐々に広がる。また都市1がより中央の都市4よりも大きな人口を持つ逆転現象が起こる。最終的な人口規模を見ると、都市2は基本ケースの2.5倍程度となり、都市1と都市5の間の差もかなり大きくなる。

#### d) 都市間交通コストの影響

高速交通機関が整備され、ある特定の都市と他の都市との間の交通コストが割安になった場合を考えよう。例として都市2と他の都市とのコストが小さい場合の人口の推移を図-7に示す(ケースd1)。これから都市2における人的資本の蓄積と人口の増加が加速されるとともに、都市2とのアクセシビリティの差が他の都市の成長速度を変化させることがわかる。



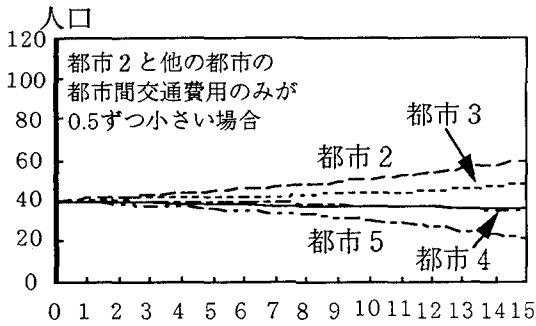


図-7 1つの都市との交通費用の減少による影響

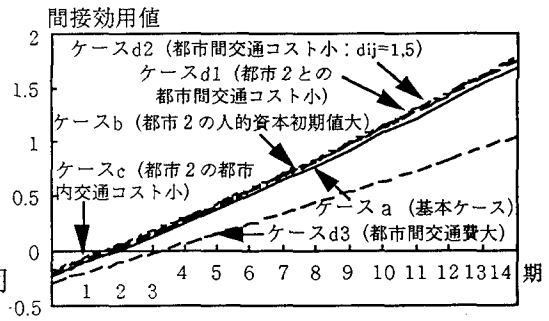


図-8 間接効用値の比較

さらに高速交通機関の整備が進み、都市圏間の移動時間が都市圏内のそれと変わらない程度にまで短縮された場合（4. のケース2、以後ケース d2とする）には、初期の人的資本と都市内の交通費用がすべての都市で同等であるため、人口は全く変化せず各都市に均等に分散し続ける。

逆に、高速交通機関の整備がなされず、どの都市間の交通コストも禁止的に大きい場合（4. のケース1、以後ケース d3とする）にも、各都市のアクセシビリティが差異を持たないため、各都市の人口は変化せず  $N_i = 40$  のままである。また人口の初期値を変化させても直ちに  $N_i = 40$  に調整される。ただしケース d3において人的資本  $Z_i$  の初期値を一律に 2.0 とおき、いくつかの都市の人口の初期値をほとんど 0 に近い小さい値に設定すると、その都市の人口が 0 に収束するという異なった動きが見られる。このことは、本システムが複数の均衡解を持ち、初期条件の違いによって別の解に収束する可能性があることを示している。

本モデルでは均衡解に対する間接効用値  $V$  を内生的に求めることができる。図-8 は、以上の計算ケースに対する間接効用値の推移を比較したものである。どのケースにおいても、人的資本と資本の蓄積によって時間とともに効用値は高まっていく。また、基本ケースに比べると初期人的資本の増加や交通条件の改善を行ったケースの効用値は高くなることがわかる。

#### e) 分析結果のまとめ

以上のことから、このモデルにおいては初期人口や資本蓄積は長期的な影響力を持たず、むしろ人的

資本、都市内交通コスト、都市間交通コストの3つが決定的な役割を果たしていることがわかった。高速交通機関の整備は効用水準の増加をもたらすが、整備が東京を中心とする範囲に限られている場合（ケース d1）には、一極集中を強める働きをする。しかし高速交通網が全国的に整備され、どの都市間に低廉に移動できるようになる（ケース d2）と都市間の格差を消滅させる効果を持つことになる。高速交通網がどの程度の広がりをもてば分散化の傾向が現れてくるかについて、今後検討を進めていきたい。

## 6. おわりに

本研究では、都市間高速交通体系の整備が都市システムの発展や都市間の経済格差、都市システムの構造の長期的変化に及ぼす影響について分析するための方法論的枠組みを提案した。国土軸形成における高速交通体系整備の重要性は多くの研究者に指摘されながら、それを1つの総合的な経済成長モデルを用いて分析した研究は筆者等の知る限り本研究がはじめてである。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。

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。例えば、1) 海外への資本移動、2) 都市システムから孤立した地域（過疎地域）の考慮、3) 多部門経済の導入等が当面の課題として挙げられよう。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。なお、数値計算における鳥取大学大学院生山室良徳君の多大なるご協力に感謝の意を表する次第である。

## 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.: *Geography and Trade*, The MIT Press, 1991.
- 3) Solow, R. M.: A contribution to the theory of economic growth, *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 70, pp. 65-94, 1956.
- 4) Swan, T.: Economic growth and capital accumulation, *Economic Record*, Vol. 32, pp. 334-361, 1956.
- 5) Uzawa, H.: Neutral inventions and the stability of growth equilibrium, *Review of Economic Studies*, Vol. 28, pp. 117-124, 1961.
- 6) Arrow, K. J.: The economic implications of learning by doing, *Review of Economic Studies*, Vol. 29, pp. 155-173, 1962.
- 7) Romer, P. M.: Increasing returns and the long-run growth, *Journal of Political Economy*, Vol. 94, pp. 1002-1037, 1986.
- 8) Romer, P. M.: Endogenous technological change, *Journal of Political Economy*, Vol. 98, pp. 71-102, 1990.
- 9) Grossman, G. M. and Helpman, E.: *Innovation and Growth in the Global Economy*, The MIT Press, 1991.
- 10) 例えば、伊藤元重、大山道広：国際貿易、岩波書店、1985.
- 11) Wang, J. Y.: Growth, technology transfer, and the long-run theory of international capital movements, *Journal of International Economics*, Vol. 29, pp. 255-271, 1990.
- 12) Zhang, W.-B.: Trade and world economic growth, Differences in knowledge utilization and creativity, *Economic Letters*, Vol. 39, pp. 199-206, 1992.
- 13) 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.
- 14) Alonso, W., Location and Land Use, Harvard Univ. Press, 1964, 折下功訳, 立地と土地利用, 朝倉書店, 昭和41年.
- 15) Muth, R., Cities and Housing, Univ. of Chicago Press, 1969, 折下功訳, 都市住宅の経済学, 鹿島研究所出版会, 昭和46年.
- 16) 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.
- 17) Fujita, M.: Monopolistic competition and urban systems, *European Economic Review*, 37: 308-315, 1993.
- 18) 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.
- 19) Krugman, P.: On the number and location of cities, *European Economic Review*, 37: 293-298, 1993.
- 20) 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.
- 21) Haken, H.: *Synergetics, An Introduction 3rd. ed.*, Springer-Verlag, 1983.
- 22) 例えば、Baumol, W. J. et al. (eds), *Convergence of Productivity*, Oxford University Press, 1994.
- 23) Dollar, D. and Wolff, E. N.: *Competitiveness, Convergence, and International Specialization*, The MIT Press, 1993.
- 24) 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.

## 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

小林潔司・奥村 誠

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、人的資源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。本研究では、都市経済学の住宅立地モデルを内生化した多地域経済成長モデルを定式化し、高速交通体系の整備が国土構造の変動や都市システムの発展に及ぼす影響を分析するシミュレーション方法を提案する。本モデルは1) 都市構造、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ており、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) 都市圏の地価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。

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

Kiyoshi KOBAYASHI and Makoto OKUMURA

The arrangement of rapid transport systems provides city systems with basic means for face-to-face communications, and accelerates economic growth. This paper present a multi-regional growth model to investigate the impact of rapid transport systems upon regional division of production function and regional disparities in regional incomes. Our focus are upon knowledge spillover among cities.