

コンパクトシティモデルのシミュレーション分析*

Simulation Analysis of a Compact City Model*

宮田 謙**・渋澤博幸***・張 鍵****

By Yuzuru MIYATA**・Hiroyuki SHIBUSAWA***・Jian ZHANG****

1. はじめに

現在、世界人口の約半数は都市に居住し、社会経済活動、エネルギー利用の地理的な集中が都市における大量生産、大量消費、大量廃棄型社会をもたらしてきた。省エネ・省資源を徹底した循環型社会の構築のためには、循環や環境共生を考慮した都市への変革が急務の課題となっている。

本研究の目的は、欧米で再検討がなされているコンパクトシティの概念を考慮しながら、省エネ・省資源を徹底した環境共生型都市の在り方を描き出すモデルを開発することにある。環境共生型都市を検討するために、物質循環構造、都市圏内外の財・サービスの移出入関係、環境・エネルギー制約、および都市空間の効率的利用などが分析できるモデルの開発を目指している。

本研究の基本的なアプローチは、都市経済学の流れに沿うものである。動学都市経済モデルの理論分析に関しては、都市経済の最適成長を検討した Kanemoto¹⁾、都市境界の成長分析を試みた Miyao²⁾などがある。最近では、内生的成長理論を応用し、人的資本を考慮した動学都市モデルが開発されている。動学単一都市モデルには Palivos and Wang³⁾が、動学複数都市システムモデルには Black and Henderson⁴⁾ある。実証的なシミュレーションモデルには、住宅のフィルタリングを考慮した Pines and Werczberger⁵⁾や、集積の経済効果を内生化した Higano and Kohno⁶⁾などがあり、大規模な線形計画問題として定式化されている。

本研究では、環境共生を考慮した動学都市経済モデルを構築する。最適制御による数値計算を適用し、環境共生型都市のあり方をシミュレーションにより描き出すことを試みる。環境共生を考慮した都市モデルを構築するためには、多くの環境要素を考慮する必要がある。

*キーワードズ：コンパクトシティ、シミュレーション分析

**正会員、学博、豊橋技術科学大学 人文・社会工学系

(愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1、

TEL:05-3244-6955, E-mail:miyata@hse.tut.ac.jp)

***工博、豊橋技術科学大学 人文・社会工学系

(TEL:05-3244-6963, E-mail: shibu@hse.tut.ac.jp)

****学生員、工修、豊橋技術科学大学 環境生命工学専攻
博士後期課程

(TEL:05-3244-6964, E-mail:zhang@hse.tut.ac.jp)

あるが、本稿では、動学都市モデルに、社会環境ストックと土地利用規制を考慮したモデルの開発を行う。そして都市のコンパクト性と持続可能性について検討を行うことを目的として、数値シミュレーションによって、持続可能なコンパクトシティの在り方を探る。

2. モデル

本稿の都市経済モデルは、動学社会的最適化問題として定式化される。空間は都市圏内と都市圏外に分けられ、都市圏内の空間構造を分析するため、圏内はゾーンに分割される。ゾーンの集合を Z とする。

このモデルでは財・サービス産業、都市基盤サービス産業、家計部門、政府部門の存在が想定される。財・サービス産業は、農業、工業、サービス業に分類される。各々の産業インデックスの集合を I_A, I_I, I_S とする。財・サービス産業インデックスの集合は $I \equiv \{I_A \cup I_I \cup I_S\}$ である。例えば、工業に属する部門は $i \in I_I$ と示される。

都市基盤サービス産業は、住宅サービス、輸送サービス、及び社会環境サービスに分類される。住宅サービスは Q タイプが、社会環境サービスは E タイプの種類が想定される。

この経済の本源的生産要素は、土地、労働、資本である。利用可能な土地面積はゾーン別に外生的に与えられるが、ゾーン内の土地利用形態、すなわち住宅地、工業地、農地などは内生的に決定される。また、都市形態のコンパクト性を制御するために、土地利用規制が考慮される。本研究における土地利用規制は、ゾーン別・用途別に利用可能な土地面積に上限を与える。この規制のもとでは、ゾーン内で用途別に上限を超えるような土地利用は行えないことになる¹⁾。

都市圏内の総人口は外生的に与えられるが、労働は都市圏内でゾーン間及び産業間で移動可能とする。資本は、ゾーン間及び産業間の移動は不可能で非可塑性が仮定される。資本は、産業資本、住宅資本、輸送基盤資本、社会環境資本に分類される。産業資本は、ゾーン別、産業別に区別される。輸送基盤資本は、交通ネットワークのリンク別に区別され、住宅資本は Q 種類、社会環境資本は E 種類に分割される。

本研究では、新都市形成のプロセスではなく、既存都市再構築のプロセスに念頭に置いており、そのコン

パクト性を検討する。このためには、郊外に分散化した経済活動および社会環境インフラの存在に注意を払う。分散化傾向ある状況下で、都心部への再集積プロセスにおいて、都心部と郊外の社会環境インフラの価値のトレードオフを考慮する必要がある。

財・サービスについては、都市圏内で生産された財・サービスと圏外から移入される財・サービスの質が差別化される。都市圏内では、同一産業の財・サービスは差別化されない。交通ネットワークは、ノードとリンクにより構成され、リンクの集合を ML とする。本稿では、通勤トリップは交通ネットワーク構造に依存するが、財の輸送は交通ネットワークに依存しないものと仮定する。すなわち、通勤には費用を伴うが、圏内の財輸送には費用を伴わないと仮定する⁽²⁾。図1に、モデルの構造を示す。

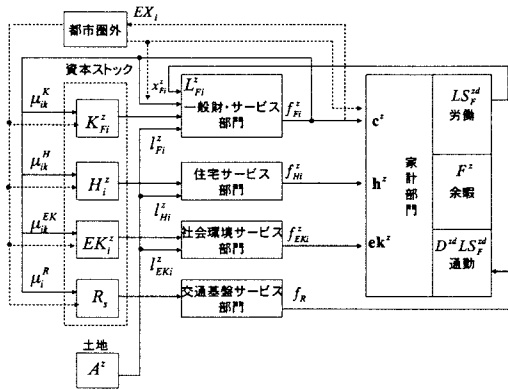


図1 モデルの構造

3. 社会的最適化問題

(1) 目的関数

目的関数は、計画期間 T における異時点間の都市圏内の家計効用の総和と期末 $T+1$ の資産評価関数から成る。計画期間は離散的として、目的関数は式(1)で表現される。

$$W = \sum_{t=1}^T \sum_{\sigma} \frac{1}{\sigma} U^E(t)^\sigma \frac{1}{(1+\rho)^t}$$

$$+\phi(K(T+1), H(T+1), R(T+1), EK(T+1)) \quad (1)$$

$U^E(t)$ は、均衡効用水準である。パラメータ ρ は社会的割引率を示し、 σ は代替性を示すパラメータである。 $\phi(\cdot)$ は期末の資本ストック（産業資本ベクトル K 、住宅資本ベクトル H 、輸送基盤資本ベクトル R 、社会環境資本ベクトル EK ）の評価関数である。

(2) 制約式

目的関数は、財・サービス市場及び都市基盤サービ

スのフロー条件、時間制約、労働需給条件及び資本蓄積式のもとで最大化される。

(a) 一般財・サービス市場のフロー条件

財・サービスのフロー条件は、都市圏内と圏外及び産業別に定義される。都市圏内における i 産業の財・サービスのフロー条件は式(2)で与えられる ($i \in I$)。

$$\begin{aligned} EF_{Fi}(t) = & \sum_{z \in Z} f_{Fi}^z(t) \left(L_{Fi}^z(t), K_{Fi}^z(t), l_{Fi}^z(t), x_{Fi}^z(t) \right) \\ & - \sum_{z \in Z} \sum_{k \in I} x_{Fki}^z(t) - \sum_{z \in Z} c_i^{Dz}(t) n^z(t) \\ & - \sum_{k \in I} \mu_{ik}^K(t) \sum_{z \in Z} c_{Ki}(t) \left(IK_k^z(t) \right) \\ & - \sum_{k \in Q} \mu_{ik}^H(t) \sum_{z \in Z} c_{Hi}(t) \left(IH_k^z(t) \right) \\ & - \sum_{k \in E} \mu_{ik}^{EK}(t) \sum_{z \in Z} c_{EKi}(t) \left(IEK_k^z(t) \right) \\ & - \mu_i^R(t) \sum_{s \in ML} c_{Ri}(t) \left(IR_s(t) \right) - EX_i(t) \geq 0 \quad (2) \end{aligned}$$

$EF_{Fi}(t)$ は超過供給量を意味し、これが非負であることを条件とする。第1項は、都市圏内で生産される財・サービスの総供給量を示す。 $f_{Fi}^z(t)$ は、 z ゾーンにおける i 産業の生産量を示し、労働 $L_{Fi}^z(t)$ 、産業資本 $K_{Fi}^z(t)$ 、土地 $l_{Fi}^z(t)$ 、及び中間投入財ベクトル $x_{Fi}^z(t)$ の関数である。この生産関数では、規模に関して収穫一定が仮定されている⁽³⁾。第2項は圏内財・サービスに対する中間需要、第3項は家計の消費である。第4から第7項は、それぞれ財・サービス産業投資、住宅投資、社会環境投資、及び輸送基盤投資のための投資財需要である。

$x_{Fki}^{Dz}(t)$ は z ゾーンにおける k 産業の圏内 i 財の中間需要、 $c_i^{Dz}(t)$ は z ゾーンにおける圏内 i 財の家計消費である。 $IK_k^z(t)$ は z ゾーンにおける k 産業の産業投資、 $IH_k^z(t)$ は z ゾーンにおけるタイプ k の住宅投資、 $IEK_k^z(t)$ は z ゾーンにおけるタイプ k の社会環境投資、 $IR_s(t)$ は輸送リンク s の輸送基盤投資である。パラメータ $\mu_{ik}^K(t)$ 、 $\mu_{ik}^H(t)$ 、 $\mu_{ik}^{EK}(t)$ 、及び $\mu_i^R(t)$ は、それぞれ産業資本、住宅資本、社会環境資本、輸送基盤資本の圏内資本係数行列である。これらの投資には調整費用を伴うものと仮定する。 $c_{Ki}(\cdot)$ 、 $c_{Hi}(\cdot)$ 、 $c_{EKi}(\cdot)$ 、 $c_{Ri}(\cdot)$ は、投資の調整費用関数である。 $EX_i(t)$ は都市圏内から圏外への所与の移出量である。

都市圏外から圏内へ移入する財・サービスのフロー条件は式(3)で与えられる ($i \in I$)。

$$EIM_i(t) = \overline{IM}_i(t) - DIM_i(t) \geq 0 \quad (3)$$

ここで、 $\overline{IM}_i(t)$ は外生的な都市圏外からの i 財・サービスの移入量である。 $DIM_i(t)$ は圏外財・サービスに対する需要量を表し、次式で与えられる。

$$\begin{aligned}
DIM_i(t) = & \sum_{z \in Z} \sum_{k \in I} x_{Fki}^z(t) + \sum_{z \in Z} c_i^z(t) n^z(t) \\
& + \sum_{k \in I} \mu_{ik}^{IK}(t) \sum_{z \in Z} c_{Ki}(IK_k^z(t)) \\
& + \sum_{k \in Q} \mu_{ik}^{IH}(t) \sum_{z \in Z} c_{Hi}(IH_k^z(t)) \\
& + \sum_{k \in E} \mu_{ik}^{IEK}(t) \sum_{z \in Z} c_{EKi}(IEK_k^z(t)) \\
& + \mu_i^{IR}(t) \sum_{s \in ML} c_{Ri}(IR_s(t)) \quad (4)
\end{aligned}$$

同様に、 $x_{Fki}^z(t)$ は圏外*i*財の中間需要、 $c_i^z(t)$ は圏外*i*財の家計消費である。パラメータ $\mu_{ik}^{IK}(t)$ 、 $\mu_{ik}^{IH}(t)$ 、 $\mu_{ik}^{IEK}(t)$ 、及び $\mu_i^{IR}(t)$ は、圏外資本係数行列である。

(b) 都市基盤サービスのフロー条件

住宅サービスのフロー条件は式(5)で表される($i \in Q, z \in Z$)。

$$EH_i^z(t) = f_{Hi}^z(H_i^z(t), I_{Hi}^z(t)) - h_i^z(t) n^z(t) \geq 0 \quad (5)$$

$f_{Hi}^z(\bullet)$ は*z*ゾーンにおけるタイプ*i*住宅サービスの供給量を示し、住宅資本ストック $H_i^z(t)$ と土地 $I_{Hi}^z(t)$ の関数である。 $h_i^z(t)$ は単位家計あたりの住宅サービス需要量である。

交通基盤サービスのフロー条件は、リンク別に式(6)で与えられる($s \in ML$)。

$$\begin{aligned}
ER_s(t) = & f_R(R_s(t)) - \sum_{z \in Z} g_H(t) \omega_s^z(t) n^z(t) \\
& - \sum_{(o,d) \in MOOD(s)} g_L(t) LS_F^{od}(t) n^o(t) \geq 0 \quad (6)
\end{aligned}$$

$f_R(\bullet)$ はリンク*s*の輸送サービスの供給量を示し、輸送基盤資本ストック $R_s(t)$ の関数である。第2項はゾーン家計数に依存する輸送サービス需要量であり、第3項は通勤トリップに依存する需要量である。パラメータ $g_H(t)$ は家計がゾーン内で派生する輸送サービス量であり、 $g_L(t)$ は通勤から派生する輸送サービス量である。パラメータ $\omega_s^z(t)$ は*z*ゾーンのリンク*s*の重みである。 $(o,d) \in MOOD(s)$ は、輸送リンク*s*を利用する通勤トリップ最短経路*OD*ペアの組み合わせの集合を意味する($o,d \in Z; s \in ML$)。

社会環境サービスのフロー条件は、タイプ別ゾーン別に式(7)で与えられる($i \in E, z \in Z$)。

$$\begin{aligned}
EEK_i^z(t) = & f_{Ei}^z(EK_i^z(t), I_{EKi}^z(t)) \\
& - ek_i^z[n^z(t)]^{\theta_i} \geq 0 \quad (7)
\end{aligned}$$

$f_{Ei}^z(\bullet)$ は*z*ゾーンにおけるタイプ*i*社会環境サービスの供給量を示し、社会環境資本ストック $EK_i^z(t)$ と

土地 $I_{EKi}^z(t)$ の関数である。 $ek_i^z(t)$ は家計の社会環境サービスの需要量を示す。通常、これらのサービスは公共財の性質を伴う。 $\theta_i(0 \leq \theta_i \leq 1)$ は、公共性の程度を表すパラメータである。たとえば、 $\theta_i = 1$ のとき、社会環境サービスの需要量は、各家計の需要量に家計数を乗じたものとなり、私的財の性質を伴う。 $\theta_i = 0$ のときは、当該ゾーン内においては、家計数に関係なく、各家計は等量の社会環境サービスを楽しむことができる。しかし、この公共性の効果はゾーン内の家計に限定されており、ゾーン間スビローバーのような影響は考慮されていない。

(c) 時間制約と労働制約

$z \in Z$ ゾーンの家計の時間制約は式(8)で与えられる。

$$\begin{aligned}
ET^z(t) = & (T_H - F^z(t)) - \sum_{d \in Z} LS_F^{zd}(t) \\
& - \sum_{d \in Z} D^{zd}(t) LS_F^{zd}(t) \Big) n^z(t) \geq 0 \quad (8)
\end{aligned}$$

パラメータ T_H は利用可能な時間である。 $F^z(t)$ は余暇時間、 $LS_F^{zd}(t)$ は*z*ゾーンの家計が*d*ゾーンの企業へ提供する労働供給である。*z*ゾーンの家計が圏内の全ゾーンへ供給する労働は、これを*d*ゾーンについて総和することで求められる。パラメータ $D^{zd}(t)$ は、単位労働時間当りの*z*ゾーンと*d*ゾーン間の最短経路の通勤時間を表す。利用可能な時間は、余暇、労働及び通勤時間の合計である。

労働需給条件は式(9)で与えられ、*OD*ゾーン別に定義される($o,d \in Z$)。

$$EL^{od}(t) = LS_F^{od}(t) n^o(t) - \sum_{i \in I} L_{Fi}^{od}(t) \geq 0 \quad (9)$$

第1項は、*o*ゾーンの $n^o(t)$ 家計が*d*ゾーンへ提供する労働供給量を意味し、第2項は、*d*ゾーンの全産業が*o*ゾーンから雇用する労働需要量を示している。

(d) 人口と立地均衡条件

都市圏内の総人口(外生値)を $N(t)$ とすると、人口制約は式(10)で与えられる。

$$EN(t) = \sum_{z \in Z} n^z(t) - N(t) = 0 \quad (10)$$

この式は、都市圏内ではゾーン間で人口移動が可能なことを意味している。

立地均衡条件は式(11)で与えられる($z \in Z$)。

$$EU(t) = U^z(c^z(t), h^z(t), F^z(t), ek^z(t)) n^z(t)$$

$$-U^E(t)n^z(t) = 0 \quad (11)$$

$U^z(\bullet)$ は z ゾーンの家計の効用関数であり、財・サービスベクトル(圏内財及び圏外財) $\mathbf{c}^z(t)$ 、住宅サービスベクトル $\mathbf{h}^z(t)$ 、余暇 $F^z(t)$ 、社会環境サービスベクトル $\mathbf{ek}^z(t)$ の関数である。 $U^E(t)$ は均衡効用水準を表す。

(e) 土地制約

$$EA^z(t) \equiv A^z(t) - \sum_{i \in Q} l_{Hi}^z(t) - \sum_{i \in I} l_{Fi}^z(t) - \sum_{i \in E} l_{EKi}^z(t) \geq 0 \quad (12)$$

第1項のパラメータ $A^z(t)$ は、 z ゾーンにおいて利用可能な土地供給量である。第2項から第4項は、それぞれ住宅サービス、一般財・サービス産業、社会環境サービスに必要な土地需要量である。

住宅地、農地、工業地、環境用地のための制約条件は式(13)から式(16)で与えられる($z \in Z$)。

$$EA_H^z(t) \equiv A_H^z(t) - \sum_{i \in Q} l_{Hi}^z(t) \geq 0 \quad (13)$$

$$EA_A^z(t) \equiv A_A^z(t) - \sum_{i \in I_A} l_{Fi}^z(t) \geq 0 \quad (14)$$

$$EA_F^z(t) \equiv A_F^z(t) - \sum_{i \in I_I \cup I_E} l_{Fi}^z(t) \geq 0 \quad (15)$$

$$EA_{EK}^z(t) \equiv A_{EK}^z(t) - \sum_{i \in E} l_{EKi}^z(t) \geq 0 \quad (16)$$

パラメータ $A_H^z(t)$ 、 $A_A^z(t)$ 、 $A_F^z(t)$ 、及び $A_{EK}^z(t)$ は住宅、農地、工業、環境の土地規制量(面積)を表す。

(f) 資本蓄積

財・サービス産業資本($i \in I$)、住宅資本($i \in Q$)、社会環境資本($i \in E$)、及び輸送基盤資本($s \in ML$)のストック変数は通常の資本蓄積式に基づいて蓄積される。

$$IK_i^z(t) + (1 - \delta_{Ki}(t))K_i^z(t) = K_i^z(t+1) \quad (17)$$

$$IH_i^z(t) + (1 - \delta_{Hi}(t))H_i^z(t) = H_i^z(t+1) \quad (18)$$

$$IEK_i^z(t) + (1 - \delta_{EKi}(t))EK_i^z(t) = EK_i^z(t+1) \quad (19)$$

$$IR_s(t) + (1 - \delta_{Rs}(t))R_s(t) = R_s(t+1) \quad (20)$$

パラメータ $\delta_{Ki}(t)$ 、 $\delta_{Hi}(t)$ 、 $\delta_{EKi}(t)$ 及び $\delta_{Rs}(t)$ は、それぞれ資本ストックの減価償却率である。 $\delta_{EKi}(t)$ は環境ストックの自然変化率の意味も含む。また期首の各資本ストックの初期値は、 $K_i^z(1) = \bar{K}_i^z$ 、 $H_i^z(1) = \bar{H}_i^z$ 、 $EK_i^z(1) = \bar{EK}_i^z$ 、 $R_s(1) = \bar{R}_s$ として与えられる。

4. 最適制御

(1) ハミルトニアン関数

社会的最適成長経路を求めるために、離散時間の現在価値ハミルトニアン関数を以下のように導入する。

$$H(t) = \frac{U^E(t)^\sigma}{\sigma(1+\rho)^t} + \sum_{z \in Z} \sum_{i \in I} q_{Ki}^z(t) [IK_i^z(t) - \delta_{Ki}(t)K_i^z(t)] + \sum_{z \in Z} \sum_{i \in Q} q_{Hi}^z(t) [IH_i^z(t) - \delta_{Hi}(t)H_i^z(t)] + \sum_{i \in E} \sum_{z \in Z} q_{EKi}^z(t) [IEK_i^z(t) - \delta_{EKi}(t)EK_i^z(t)] + \sum_{s \in ML} q_{Rs}(t) [IR_s(t) - \delta_{Rs}(t)R_s(t)] \quad (21)$$

ここで、 $q_{Ki}^z(t)$ 、 $q_{Hi}^z(t)$ 、 $q_{EKi}^z(t)$ 、 $q_{Rs}(t)$ は補助変数である。さらに各変数に対する制約条件を考慮するためラグランジュ関数を導入する。

$$L = H(t) + \sum_{i \in I} p_{Fi}(t) EF_{Fi}(t) + \sum_{i \in I} p_{Fi}^{IM}(t) EIM_i(t) + \sum_{z \in Z} \sum_{i \in Q} p_{Hi}^z(t) EH^z(t) + \sum_{z \in Z} \sum_{i \in E} p_{EKi}^z(t) EEK_i^z(t) + \sum_{s \in ML} p_{Rs}(t) ER_s(t) + \sum_{z \in Z} p_i^z(t) ET^z(t) + \sum_{o \in Z} \sum_{d \in Z} w^{od}(t) EL^{od}(t) + \sum_{z \in Z} p_{Hi}^z(t) EA_H^z(t) + \sum_{z \in Z} p_{Ai}^z(t) EA_A^z(t) + \sum_{z \in Z} p_{Fi}^z(t) EA_F^z(t) + \sum_{z \in Z} \sum_{i \in E} p_{EKi}^z(t) EA_{EK}^z(t) + \sum_{z \in Z} p_i^z(t) EA^z(t) + p_d(t) EN(t) + \sum_{z \in Z} v^z(t) EU^z(t) \quad (22)$$

ここで、変数 $p_{Fi}(t)$ 、 $p_{Fi}^{IM}(t)$ 、 $p_{Hi}^z(t)$ 、 $p_{EKi}^z(t)$ 、 $p_{Rs}(t)$ 、 $p_i^z(t)$ 、 $w^{od}(t)$ 、 $p_{Hi}^z(t)$ 、 $p_{Fi}^z(t)$ 、 $p_{EKi}^z(t)$ 、 $p_i^z(t)$ 、 $p_d(t)$ 、及び $v^z(t)$ は、ラグランジュ乗数であり、シャドウ価値として経済的意味をもつ。 $p_{Fi}(t)$ は都市圏内 i 財・サービスの価格、 $p_{Fi}^{IM}(t)$ は圏外 i 財の価格である。 $p_{Hi}^z(t)$ 、 $p_{EKi}^z(t)$ 及び $p_{Rs}(t)$ は、タイプ k 住宅サービス、タイプ i 社会環境サービス及びリンク s の輸送サービスの価格である。 $p_i^z(t)$ は z ゾーンの家計の時間価値、 $w^{od}(t)$ は o ゾーンの家計が d ゾーン企業から受け取る賃金率である。 $p_i^z(t)$ は地代であり、 $p_{Hi}^z(t)$ 、 $p_{Fi}^z(t)$ 、 $p_{EKi}^z(t)$ は、住宅、工業、環境の土地利用規制に関連する土地の価値である。 $p_d(t)$ は家計(人口)の価値であり、 $v^z(t)$ はゾーン特性に依存する価値を意味する。

(2) 最適条件

計画期間 $t = 1, 2, \dots, T$ において、最適化のための必要条件は以下の式で与えられる ($z \in Z$)。

$$K_i^z(t+1) - K_i^z(t) = \frac{\partial L}{\partial q_{Ki}^z} \quad (i \in I) \quad (23)$$

$$H_i^z(t+1) - H_i^z(t) = \frac{\partial L}{\partial q_{Hi}^z} \quad (i \in Q) \quad (24)$$

$$EK_i^z(t+1) - EK_i^z(t) = \frac{\partial L}{\partial q_{EKi}^z} \quad (i \in E) \quad (25)$$

$$R_s(t+1) - R_s(t) = \frac{\partial L}{\partial q_{Rs}} \quad (s \in ML) \quad (26)$$

式(23)から式(26)は、各ストックの資本蓄積式を表す。

$$q_{Ki}^z(t) - q_{Ki}^z(t-1) = -\frac{\partial L}{\partial K_{Fi}^z} \quad (i \in I) \quad (27)$$

$$q_{Hi}^z(t) - q_{Hi}^z(t-1) = -\frac{\partial L}{\partial H_i^z} \quad (i \in Q) \quad (28)$$

$$q_{EKi}^z(t) - q_{EKi}^z(t-1) = -\frac{\partial L}{\partial EK_i^z} \quad (i \in E) \quad (29)$$

$$q_{Rs}(t) - q_{Rs}(t-1) = -\frac{\partial L}{\partial R_s} \quad (s \in ML) \quad (30)$$

式(27)から式(30)は補助変数の動学方程式を表す。

$$\frac{\partial L}{\partial x_{Fij}^{Dz}} = 0 \quad (i, j \in I) \quad (31)$$

$$\frac{\partial L}{\partial x_{Fij}^{Iz}} = 0 \quad (i, j \in I) \quad (32)$$

$$\frac{\partial L}{\partial L_{Fi}^{od}} = 0 \quad (i \in I, o, d \in Z) \quad (33)$$

$$\frac{\partial L}{\partial l_{Fi}^z} = 0 \quad (i \in I) \quad (34)$$

$$\frac{\partial L}{\partial l_{Hi}^z} = 0 \quad (i \in Q) \quad (35)$$

$$\frac{\partial L}{\partial h_i^z} = 0 \quad (i \in Q) \quad (36)$$

$$\frac{\partial L}{\partial l_{EKi}^z} = 0 \quad (i \in E) \quad (37)$$

$$\frac{\partial L}{\partial c_i^{Dz}} = 0 \quad (i \in I) \quad (38)$$

$$\frac{\partial L}{\partial c_i^{Iz}} = 0 \quad (i \in I) \quad (39)$$

$$\frac{\partial L}{\partial F^z} = 0 \quad (40)$$

$$\frac{\partial L}{\partial ek_i^z} = 0 \quad (i \in E) \quad (41)$$

$$\frac{\partial L}{\partial LS_F^{zd}} = 0 \quad (z, d \in Z) \quad (42)$$

$$\frac{\partial L}{\partial IK_i^z} = 0 \quad (i \in I) \quad (43)$$

$$\frac{\partial L}{\partial IH_i^z} = 0 \quad (i \in Q) \quad (44)$$

$$\frac{\partial L}{\partial IEK_i^z} = 0 \quad (i \in E) \quad (45)$$

$$\frac{\partial L}{\partial IR_s} = 0 \quad (s \in ML) \quad (46)$$

$$\frac{\partial L}{\partial n^z} = 0 \quad (47)$$

$$\frac{\partial L}{\partial U^E} = 0 \quad (48)$$

以上の式(31)から式(48)は最適化の限界条件である。不等式制約から、ラグランジュ乗数 $p_{Fi}(t)$, $p_{Fi}^{IM}(t)$, $p_{Hi}^z(t)$, $p_{EKi}^z(t)$, $p_{Rs}(t)$, $p_i^z(t)$, $w^{od}(t)$, $p_{Hi}^z(t)$, $p_{Fi}^z(t)$, $p_{EKi}^z(t)$, $p_i^z(t)$, $p_d(t)$, 及び $v^z(t)$ の非負性を仮定すれば、式(49)から式(62)を得る。

$$p_{Fi}(t)EF_{Fi}(t) = 0 \quad (i \in I) \quad (49)$$

$$p_{Fi}^{IM}(t)EIM_i(t) = 0 \quad (i \in I) \quad (50)$$

$$p_{Hi}^z(t)EH_i^z(t) = 0 \quad (i \in Q) \quad (51)$$

$$p_{EKi}^z(t)EEK_i^z(t) = 0 \quad (i \in E) \quad (52)$$

$$p_{Rs}(t)ER_s(t) = 0 \quad (s \in ML) \quad (53)$$

$$p_i^z(t)ET^z(t) = 0 \quad (54)$$

$$w^{od}(t)EL^{od}(t) = 0 \quad (o, d \in Z) \quad (55)$$

$$p_{Hi}^z(t)EA_H^z(t) = 0 \quad (56)$$

$$p_{Ai}^z(t)EA_A^z(t) = 0 \quad (57)$$

$$p_{Fi}^z(t)EA_F^z(t) = 0 \quad (58)$$

$$p_{EKi}^z(t)ESA_{EK}^z(t) = 0 \quad (59)$$

$$p_i^z(t)ESA^z(t) = 0 \quad (60)$$

$$p_d(t)EN(t) = 0 \quad (61)$$

$$v^z(t)EU^z(t) = 0 \quad (62)$$

これらは、財・サービス、社会基盤サービス、労働の需給条件を意味する。需給が一致するときシャドウ価格は正の値をもち、超過供給が存在すればシャドウ価格の値はゼロとなる。

期末の横断性条件は式(63)から式(66)で与えられる。各式の左辺は、期末 $T+1$ における資本ストックの限界

価値であり、 T 期の各資産のシャドウ価格に一致する。

$$\frac{\partial \phi(T+1)}{\partial K_i^z(t)} = q_{Ki}^z(T) \quad (i \in I) \quad (63)$$

$$\frac{\partial \phi(T+1)}{\partial H_i^z(t)} = q_{Hi}^z(T) \quad (i \in Q) \quad (64)$$

$$\frac{\partial \phi(T+1)}{\partial EK_i^z(t)} = q_{EKi}^z(T) \quad (i \in E) \quad (65)$$

$$\frac{\partial \phi(T+1)}{\partial R_s(t)} = q_{Rs}(T) \quad (s \in ML) \quad (66)$$

5. 通勤費用と所得

最適化条件から以下に示すように、家計の行動に関連する式を得ることができる。

(1) 賃金と通勤費用

最適化条件の式(42)から、賃金と通勤費用の関係式を得ることができる。

$$w^{zd}(t) = p_i^z(t) + p_i^z D^{zd}(t) + \sum_{s \in M(z,d)} p_{Rs}(t) g_L(t) \quad (67)$$

o ゾーンの家計が d ゾーンの企業から得る単位労働当たり賃金は、時間価値に対応する賃金(右辺第1項)、通勤の時間費用(第2項)及び輸送基盤費用(第3項)の合計である。このモデルでは、通勤費用は企業側により支払われていることを意味する。ここで $M(z,d)$ は、 z ゾーンから d ゾーンに家計が通勤のために通過するリンクの集合を示す。

(2) 家計の所得

最適化条件の式(47)と式(48)から、家計の所得式を得ることができる。

$$\sum_{d \in Z} w^{zd}(t) L S^{zd}(t) + p_d'(t) - h e(t) = 0 \quad (68)$$

左辺の第1項は賃金収入、第2項は賃金外収入、第3項は家計支出を表す。

ここで $p_d'(t) = p_d(t) + U^E(t)^\sigma / [\sigma(1+\rho)^t]$ であり、この項は資本所得、産業、政府から家計に対するゾーンに依存しない再分配などを意味する。家計支出 $h e(t)$ は式(68)により与えられる。

$$\begin{aligned} h e(t) = & \sum_{i \in I} p_{Fi}(t) c_i^{Dz}(t) + \sum_{i \in I} p_{Fi}^{IM}(t) c_i^{Lz}(t) \\ & + \sum_{i \in I} p_{Hi}^z(t) h_i^z(t) + \sum_{s \in S} p_{Rs}(t) g_H(t) \omega_s^z(t) \\ & + \sum_{i \in E} p_{EKi}^z(t) e k_i^z(t) \theta_i n^z(t)^{\theta_i - 1} \end{aligned} \quad (69)$$

上式で右辺第1項、第2項は財・サービス(圏外、圏内)、第3項は住宅サービス、第4項はゾーン内移動の輸送サービス、第5項は社会環境サービスに対する支出を意味する。

6. 関数の特定化と数値計算方法

(1) 関数の特定化

効用関数と財・サービス生産関数、住宅サービス生産関数、及び社会環境サービス関数をコブ＝ダグラス型として特定化する。調整費用関数は投資の増加関数、資産評価関数は線形関数として定式化する。これらの関数型は Appendix に示されている。

(2) 数値計算の方法

ここでは本研究での最適制御の数値計算手法の概略を述べる。

ステップ1: パラメータ、外生変数に外生値を与える。内生変数に一時的な初期値を与える。

ステップ2: ゾーン人口 $n^z(t)$ と $p_d(t)$ に一時的な値を与える。

ステップ3: 最適化の限界条件式(31)から式(46)を満たすように、 $x_{Fij}^{Dz}(t)$, $x_{Fij}^{Lz}(t)$, $l_{Fi}^{od}(t)$, $l_{Fi}^z(t)$, $l_{Hi}^z(t)$, $l_{EKi}^z(t)$, $h_i^z(t)$, $c_i^{Dz}(t)$, $c_i^{Lz}(t)$, $F^z(t)$, $e k_i^z(t)$, 及び $LF_{Fi}^{zd}(t)$ を求める。

ステップ4: 財・サービス市場、都市基盤サービス市場、労働市場及び土地市場の需給バランス式を満たすように、シャドウ価格変数 $p_{Fi}(t)$, $p_{Fi}^{IM}(t)$, $p_{Hk}^z(t)$, $p_{EKi}^z(t)$, $p_{Rs}(t)$, $p_i^z(t)$, $w^{od}(t)$, $p_{Hi}^z(t)$, $p_{Fi}^z(t)$, $p_{EKi}^z(t)$, $p_i^z(t)$, $p_d(t)$, 及び $v^z(t)$ の値を調整する。

ステップ5: 期首の資本ストックの初期条件から、資本蓄積方程式(23)から式(26)に基づいて、各資本ストック $K_i^z(t)$, $H_i^z(t)$, $EK_i^z(t)$, 及び $R_s(t)$ を正時間に計算する。

ステップ6: 横断性条件から、補助変数の動学方程式(27)から式(30)に基づいて補助変数 $q_{Ki}^z(t)$, $q_{Hi}^z(t)$, $q_{EKi}^z(t)$, $q_{Rs}(t)$ を逆時間に計算する。

ステップ7: 式(47)、式(48)と人口制約式を満たすようにゾーン人口 $n^z(t)$ と $p_d(t)$ の値を調整する。

ステップ8: 内生変数、シャドウ価格変数及び補助変数の値が収束すれば終了する。さもなければ、これらの変数の値が収束するまで繰り返し計算を行う。

7. シミュレーション分析

(1) シミュレーションの前提条件

本研究のシミュレーションは以下のような前提条件で行うこととする。シミュレーションの計画期間は5期(25年間)を想定する。ゾーン数は10ゾーンを想定し、ゾーンの空間的配置は線形構造を仮定し、直線的に配置する。中央を都心部と想定する(図2)。

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

図2 ゾーン配置

財・サービス産業は農業、工業、サービス業の3つとする。住宅サービスは低層と高層2タイプに分けている。社会環境サービスは私的財1タイプを想定している。

(2) 都市圏の初期設定

本モデルにおいては、都市圏の形態は資本ストックの初期値に依存する。期首における資本ストックを以下のように設定した。

工業部門の資本ストックの初期値は、都心部(5,6ゾーン)及び郊外部(1,2,9,10ゾーン)に相対的に大きな値を設定した。同様に、サービス部門の資本ストックの初期値も、都心部(5,6ゾーン)及び郊外部(1,10ゾーン)に大きな値を設定した。サービス部門の郊外への配置は、最近の商業施設の郊外化を考慮したものである。農業部門の資本ストックの初期値は、郊外部(1,2,3,8,9,10ゾーン)に相対的に大きな値を設定した。

住宅資本ストックは低層と高層の2タイプに分けられるが、低層と高層のタイプの相違は、住宅サービス生産関数のパラメータにより設定される。低層住宅資本ストックの初期値は、高層住宅資本ストックの初期値より、すべてのゾーンで相対的に低い値を設定した。

低層住宅資本ストックの初期値は、都心部とその周辺(3,4,5,6,7,8ゾーン)に相対的に大きな値を設定した。これより期首の都市では、高層住宅が少なく、低層住宅が広く分布することが示される。

社会環境資本ストックの初期値は、都心部とその周辺のゾーンに相対的に大きな値を設定した。

都市圏と都市圏外の関係は、財・サービスの移出量と移入量により表される。この都市は、外部からの財やエネルギー投入により成立しているものと仮定し、初期値では移出より移入の値を大きく設定している。人口増加率はゼロと設定している⁽⁴⁾。

(3) シミュレーションケース

シミュレーションケースとしては基準ケースを含め、以下の3ケースを設定した。

(a) 基準ケース

工業部門、商業部門が都心部のみならず郊外にも立

地し、住宅地は多くは低層住宅が占め、将来においても、都市の分散化傾向が続く状況を想定する。

(b) ケース1

基準ケースの状況下において、都市の物理的形態のコンパクト化がどの程度実現可能かあるいは持続可能かについて検討する。分散化している経済活動を、都心部に集中させ、コンパクト化させたときの結果を検討する。工業部門、商業部門及び高層住宅の都心部へ集積させたときの動学解の動きを調べる。都市のコンパクト化は、期末の資産評価関数(一般産業資本ストック価値、住宅資本ストック価値と社会環境資本ストック価値)のパラメータの重みを調整することで行う。

(c) ケース2

シナリオはケース1と同様であるが、都市のコンパクト化をはかるため、土地利用規制を導入する。都心部に経済活動が集中するように土地利用規制を加える。

(4) シミュレーション結果

(a) 均衡効用水準

3つのケースの都市圏の均衡効用水準は、資本ストックの増加により上昇傾向を示している(図3)。特にケース1では経済活動の都心部への集中により、均衡効用水準が3つケースの中で一番高くなるという興味深い結果が得られている。

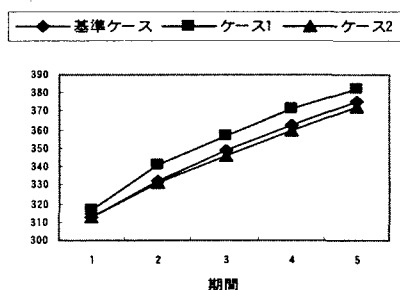


図3 均衡効用水準の推移

(b) 人口密度

人口密度は期首において都心部ほど高く設定されている。基準ケースの期末では、都心部の人口が減少し、郊外部の人口が増加するという分散化傾向が示されている(図4,5)。

ケース1では基準ケースと比較して、期末の都心部の人口が増加傾向にある。郊外部の人口は増加傾向にあるが、その増加率は基準ケースに比べ若干低く、分散化傾向が抑えられている。都心部の復活、高齢者の都心部への回帰などの現象を再現していると解釈される(図6)。

ケース2では基準ケースに比べて、都心部の人口減少率は若干低い。特にゾーン3とゾーン8では、期末

において人口が増加傾向にあり、ケース 1 ほどではないが分散化傾向が緩和されている(図 7)。

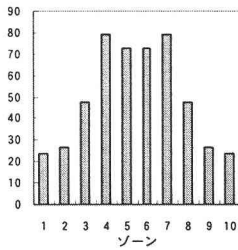


図 4 ゾーンの家計数(t=1)

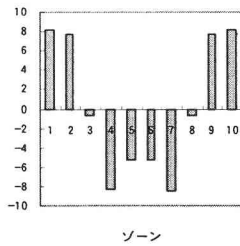


図 5 ゾーンの家計数の変化(t=5, 基準ケース)

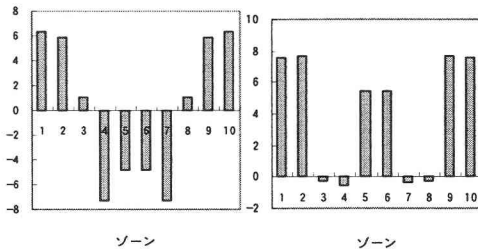


図 6 ゾーンの家計数の変化(t=5, ケース 1)

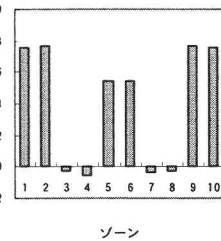


図 7 ゾーンの家計数の変化(t=5, ケース 2)

(c) 家計の住宅サービス需要量

期首では低層住宅サービス需要量が、高層住宅サービスより多く設定されている(図 8)。基準ケースの期末では、高層住宅サービス需要は増加傾向を示し、低層住宅サービス需要は低下傾向を示している(図 9)。

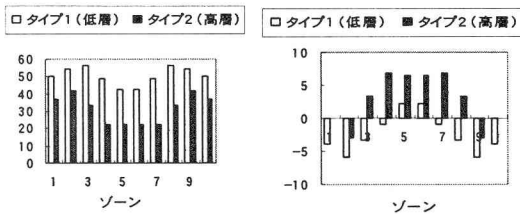


図 8 家計の住宅サービス需要量(t=1) 図 9 家計の住宅サービス需要量(t=5, 基準ケース)

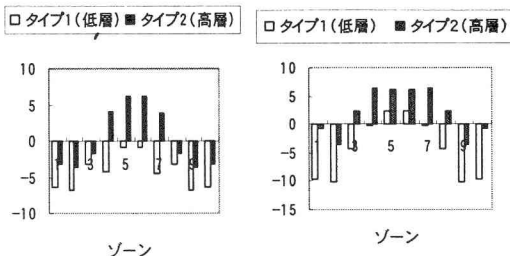


図 10 家計の住宅サービス需要量(t=5, ケース 1) 図 11 家計の住宅サービス需要量(t=5, ケース 2)

ケース 1 の期末では、基準ケースに比べて、都心周辺の高層住宅サービス需要量が増加している。低層住宅サービス需要量は全てのゾーンで減少している(図 10)。

ケース 2 の期末では、基準ケースに比べて、郊外の低層住宅サービス需要量の減少が著しく、都心部の高層住宅サービス需要量が増加している(図 11)。

(d) 産業資本ストック

産業資本ストックの初期値は初期時点の都市形態を決定する役割を持つ(図 12)。基準ケースの期末では、各ゾーン、各部門とも、産業資本ストックは増加している(図 13)。

ケース 1 では、基準ケースに比べて、工業部門、サービス部門の資本ストックの蓄積が都心周辺で著しくなっており、工業部門、サービス部門の都心部への集中が見られる(図 14)。

ケース 2 では、基準ケースに比べて、大きな差は見られない。期末の資産評価関数は同じなので、産業資本ストックの蓄積に大きな影響を及ぼしていない(図 15)。

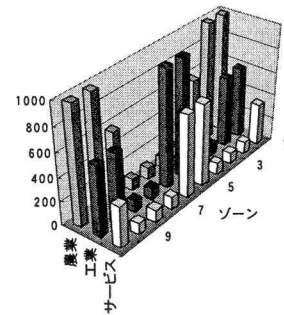


図 12 産業資本ストック (t=1)

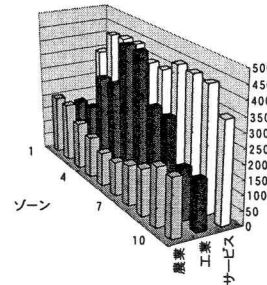


図 13 産業資本ストック変化 (t=5, 基準ケース)

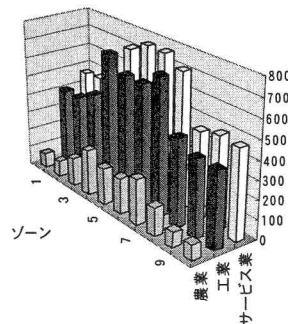


図 14 産業資本ストック変化 (t=5, ケース 1)

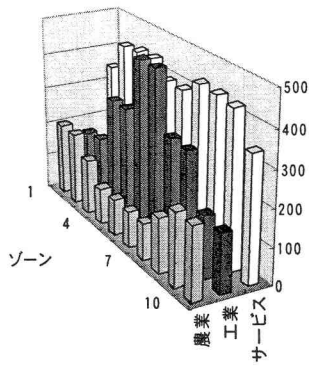


図 15 産業資本ストック変化 (T=5, ケース 2)

(e) 土地利用

期首の土地利用では、都心周辺で住宅地と工業・商業地がゾーン内の土地をほとんど占め、郊外では農地の比率が高くなっている(図 16)。

基準ケースの期末では、住宅地は郊外と都心で増加、農地は都心部で増加、工業・商業地は都心周辺で増加している(図 17)。

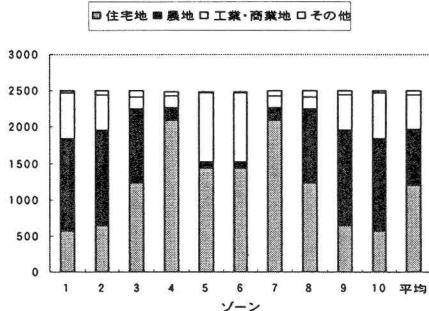


図 16 土地利用 (t=1)

ケース 1 では基準ケースに比べて、期末における都心部の住宅地の増加がおさえられている。これは、高層住宅に転換されたためである。都心部周辺では工業・商業地の増加が著しい(図 18)。

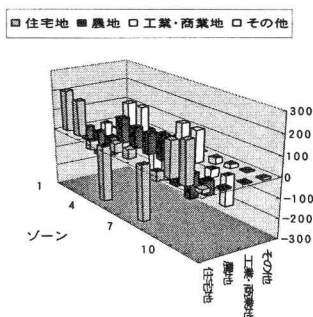


図 17 土地利用の変化 (t=5, 基準ケース)

ケース 2 では基準ケースに比べて、都心部の住宅地

と都心部周辺の工業・商業地の増加が著しい。基準ケースでは、郊外の住宅地の増加が著しかったが、ケース 2 では、郊外での住宅地の増加はみられない。都心部での農地の増加も抑えられている。それに代わって社会環境用地が増加している(図 19)。

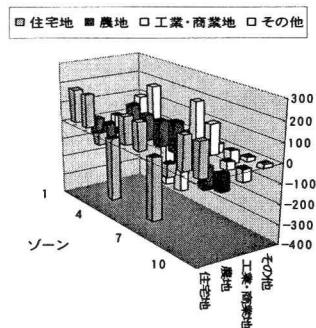


図 18 土地利用の変化 (t=5, ケース 1)

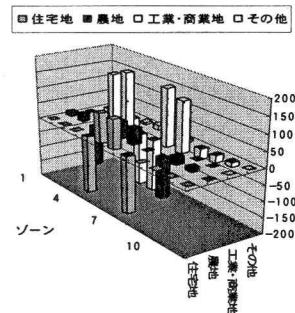


図 19 土地利用の変化 (t=5, ケース 2)

(f) 家計の時間配分

各家計の時間配分について、期首では都心周辺の家計は通勤時間と労働時間が短い(図 20)。

基準ケースの期末では、郊外の家計の労働時間が減少し、余暇時間が増加している。また都心部では余暇と労働時間の増加傾向が若干見られる(図 21)。

ケース 1 の期末では基準ケースに比べて、都心部の家計の余暇時間が増加している(図 22)。

ケース 2 では他のケースと同様に、郊外部での余暇時間の増加と、労働時間の現象が見られるが、都心部周辺では時間配分の変化は極めて小さくなっている(図 23)。

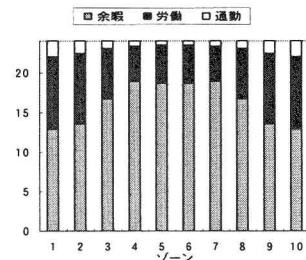


図 20 家計の時間配分 (t=1)

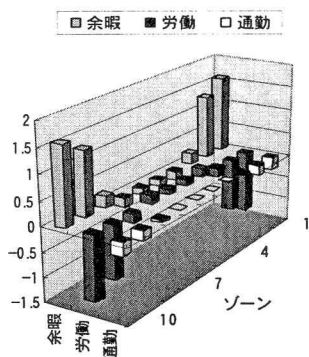


図 21 家計の時間配分の変化(t=5, 基準ケース)

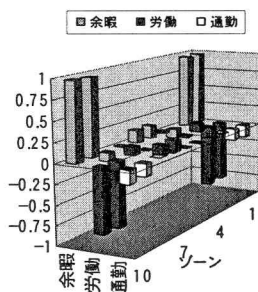


図 22 家計の時間配分の変化(t=5, ケース 1)

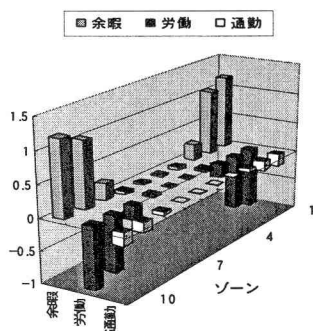


図 23 家計の時間配分の変化(t=5, ケース 2)

(g) 地代

期首の地代について、都心部の地代は高いが、都市郊外ではほぼ同水準となった(図 24)。

基準ケースの期末では、都心部の地代は若干減少するが、郊外部では増加傾向を示している(図 25)。

ケース 1 の期末では、基準ケースに比べて、都心部の地代が増加している。これは経済活動の都心部への集中によるものと解釈される(図 26)。

ケース 2 の期末では、基準ケースと比べて、都心部の地代は減少しており、郊外の地代の上昇率の低下が見られる(図 27)。

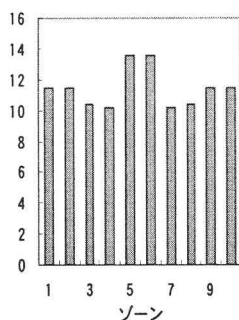


図 24 地代(t=1)

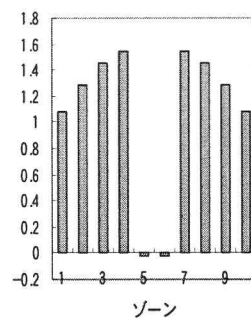


図 25 地代の変化(t=5, 基準ケース)

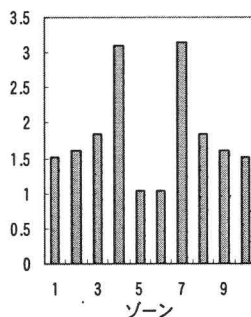


図 26 地代の変化(t=5, ケース 1)

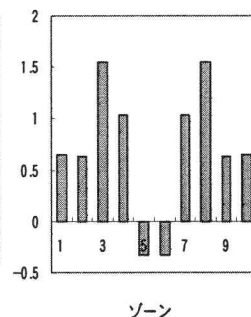


図 27 地代の変化(t=5, ケース 2)

表 1 ケース比較

	基準ケース	ケース 1	ケース 2
初期状態	初期状態では、工業、サービス部門の資本ストックが郊外にも分布し、分散化している。低層住宅が高層住宅より普及しており、フラットな都市空間である。土地利用では、都心部は主に工業、サービス、住宅が占め、郊外では農業が占めている。社会環境サービスは主に都心部に分布している。地代は、都心部と都市境界付近で高くなっている。		
人口	期間の経過により、都心部の人口は増加傾向にあるが、郊外の人口は減少傾向にある。	基準ケースに比べ、人口は都心部で増加傾向にあり、分散化が抑制されている。	ケース 1 と同様であるが、その効果は若干弱い。
経済活動	期間の経過により、経済活動は郊外部へ分散化傾向にある。	工業、サービス部門が都心部へ集中する。	基準ケースとほぼ同様である。
住宅	わずかに高層住宅が増加傾向、低層住宅が減少傾向を示す。	基準ケースに比べ、都心部の高層住宅が増加傾向、郊外の低層住宅が減少傾向	基準ケースとほぼ同様である。
土地利用	工業、サービス部門の郊外分散化により、郊外での土地利用が増加、一方で都心部における農業の土地利用が増加傾向である。	低層住宅から高層住宅への転換のため、都心部の住宅の土地利用が減少し、一方で工業、サービス部門の土地利用が増加傾向である。	都心部で、工業とサービス部門の土地利用が増加傾向である。
地代	期間の経過により、郊外部の地代が上昇する。	基準ケースに比べ、都心部の地代が上昇傾向を示す。	基準ケースに比べ、都心部で地代が低下傾向を示す。
効用	期間の経過により、効用水準は上昇傾向を示す。	基準ケースより高い効用水準となる。	基準ケースより低い効用水準となる。

基準ケースでは、分散化傾向を前提としたが、期間の経過とともに、効用水準が上昇するという状況を想定した。分散化が続けば長期的にはマイナス要因が顕著になるであろうが、ここでは先進国における現状の都市を説明する短・中期的な設定と考える（表1）。ケース1では、期末の資本ストックの価値を変化させている。この価値には、長期的な都市構造のあり方を示す社会的な価値を含む。シミュレーション分析から、分散化を抑制し、都市をコンパクト化することが望ましいという結果が得られた。一方で、土地利用規制の効果は、規制の程度にも依存するであろうが、今回のシミュレーションでは、その影響力はケース1に比べ、若干弱いようである。ケース1は、将来の都市形態のあり方を示す資産価値が重要であることを表しており、これは都市住民が将来の都市像がいかにあるべきかを十分に認識していることが重要であることを示唆している。

8. おわりに

本研究では都市のコンパクト化と持続的発展可能性を目的⁹⁾とした動学的都市モデルを構築し、いくつかの数値シミュレーションを行ったものである。その結果、ケース1に見られるように、都心部への経済集積を促進した方が家計効用が高まるといった興味深い成果が得られた。本研究のモデルはクローズドモデルであり、最適な都市規模を得ることはできないが、家計効用水準を外生的に与えることにより、人口規模を内生化し最適規模を求めることも可能である。

今後、コンパクトシティをより多面的に検討していくためには、物質循環構造、自然環境の外部性、集積の経済・不経済などの導入が必要とされよう。これらを今後の課題としたい。

補注

(1)各ゾーン別、用途別に面積の上限を設定する制約式を与える。制約式に関連したラグランジュ乗数は、当該ゾーン当該用途の地代を意味し、制約式が有効となるゾーンの用途に関連した地代が上昇する。市場解をイメージすれば、これは当該ゾーンへの土地に対する課税としてみなすことができる。

(2) 本研究では、産業集積によるプラスの効果は通勤費用の削減によりモデル化されている。しかしながら、輸送ネットワーク構造とモード別輸送サービス産業を組み込むことでより現実的な対応が可能となろう。簡便な方法としてice-berg型の輸送費用がある。

(3)この生産関数では、集積の経済や規模の経済は取り

扱っていない。外部性の効果を明示的に考慮することで、解の初期依存性の分析を含めて、より現実的に即した解析が可能となる。

(4)この前提は、多くの既存都市圏で共通の特徴を反映する最低限の条件である。都市圏のみで市場均衡条件が成立するかどうか、物質循環構造の組み込み、2次元空間の導入、工業・サービス部門の詳細な取り扱いなど、多くの課題がある。これらは抽象的な前提条件よりも、具体的な都市圏を設定し、より現実的、具体的な考察として、将来の課題としたい。

(5)持続的可能性については、多くの定義が存在する。環境経済学においては、資源の希少性を考慮して、効用水準の長期的な振る舞いから、持続的発展可能性の解釈が与えられている。単一都市圏を拡張して、複数都市圏システムの枠組の中で、持続性が検討される必要があろう。

参考文献

- 1) Kanemoto, Y.: *Theory of Urban Externalities*, Springer Verlag, 1980
- 2) Miyao, T.: *Dynamic Analysis of the Urban Economy*, Academic Press, 1981
- 3) Palivos, T. and Wang, P.: Spatial Agglomeration and Endogenous Growth, *Regional Science and Urban Economics* 26, pp.645-669, 1996
- 4) Black, D. and Henderson, V.: A Theory of Urban Growth, *Journal of Political Economy* 107, 2, pp.252-284, 1999
- 5) Pines, D. and Werczberger, E.: A Linear Programming Model of the Urban Housing and Land Markets, *Regional Science and Urban Economics* 112, pp.211-233, 1982
- 6) Higano, Y. and Kohno, H.: Optimal Reorganization of Greater Tokyo: An Industrial Complex of Agglomeration and Scale Economies 1, *Environment and Planning A* 20, 8, pp. 1103-1120, 1988

Appendix : 関数の特定化

効用関数

$$U^z(c^z(t), h^z(t), F^z(t), ek^z(t)) \\ = \prod_{i \in I} c_i^z(t)^{\alpha_{ci}(t)} \prod_{i \in Q} h_i^z(t)^{\alpha_{hi}(t)} F^z(t)^{\alpha_F(t)} \prod_{i \in E} ek_i^z(t)^{\alpha_{ei}(t)}$$

合成消費財 ($i \in I$)

$$c_i^z(t) \equiv c_i^{Dz}(t)^{\alpha_{Dz}(t)} c_i^{Iz}(t)^{\alpha_{Iz}(t)}$$

一般財・サービス生産関数 ($i \in I$)

$$f_{EK}^z(EK_i^z(t), I_{EK}^z(t)) = A_{EK}^z(t) EK_i^z(t)^{\beta_{KEK}^z(t)} I_{EK}^z(t)^{\beta_{IEK}^z(t)}$$

$$= A_i^z(t) L_{Fi}^z(t)^{\beta_{LF_i}^z(t)} K_{Fi}^z(t)^{\beta_{KF_i}^z(t)} L_{Fi}^z(t)^{\beta_{Li}^z(t)} \prod_{j \in J} x_{Fij}^z(t)^{\beta_{x_{Fij}^z(t)}^z}$$

中間投入合成財 ($i, j \in I$)

$$x_{Fij}^z(t) \equiv x_{Fij}^{Dz}(t)^{\beta_{Dz}^z(t)} x_{Fij}^{Lz}(t)^{\beta_{Li}^z(t)}$$

労働投入合成財 ($i \in I$)

$$L_{Fi}^z(t) \equiv \prod_{o \in \mathcal{O}} (L_{Fi}^{oz}(t))^{\xi_o(t)}$$

住宅サービス生産関数 ($i \in H$)

$$f_{Hi}^z(H_i^z(t), L_{Hi}^z(t)) = A_{Hi}^z(t) H_i^z(t)^{\beta_{KH_i}^z(t)} L_{Hi}^z(t)^{\beta_{LH_i}^z(t)}$$

社会環境サービス生産関数 ($i \in E$)

$$f_{EKi}^z(EK_i^z(t), L_{EKi}^z(t)) = A_{EKi}^z(t) EK_i^z(t)^{\beta_{KEKi}^z(t)} L_{EKi}^z(t)^{\beta_{LEKi}^z(t)}$$

期末資産価値関数

$$\begin{aligned} \phi(T+1) &= \sum_{z \in \mathcal{Z}} \sum_{i \in I} \eta_{Ki}^z K_i^z(T+1) + \sum_{z \in \mathcal{Z}} \sum_{i \in Q} \eta_{Qi}^z H_i^z(T+1) \\ &\quad + \sum_{z \in \mathcal{Z}} \sum_{i \in E} \eta_{EKi}^z EK_i^z(T+1) + \sum_{s \in ML} \eta_{RS} R_s(T+1) \end{aligned}$$

調整コスト関数

$$c_{Ki}(x) = c_K x^{\varepsilon_K} \quad (i \in I)$$

$$c_{Hi}(x) = c_H x^{\varepsilon_H} \quad (i \in Q)$$

$$c_{EKi}(x) = c_{EK} x^{\varepsilon_{EK}} \quad (i \in E)$$

$$c_{Rs}(x) = c_R x^{\varepsilon_R} \quad (s \in ML)$$

コンパクトシティモデルのシミュレーション分析*

宮田 譲**・渋澤博幸***・張 鍵****

現在、世界人口の約半数は都市に居住し、社会経済活動、エネルギー利用の地理的な集中が都市における大量生産、大量消費、大量廃棄型社会をもたらしてきた。省エネ・省資源を徹底した循環型社会の構築のためには、物質循環や環境共生を考慮した都市への変革が急務の課題となっている。

本研究の目的は、欧米で再検討がなされているコンパクト・シティの概念を考慮しながら、省エネ・省資源を徹底した環境共生型都市の在り方を描き出すモデルを開発することにある。

本研究では、都市のコンパクト性と持続可能性について検討を行うことを試みる。そのためプロトタイプ of シミュレーションモデルを開発し、持続可能なコンパクトシティの在り方をシナリオ分析により検討する。都市のコンパクト化政策の有効性を示すために、3 ケースのシミュレーションが実施される。その結果、都市部への集積を促進したほうが、家計効用水準がより高くなるなど、興味深い結論が得られる。

Simulation Analysis of a Compact City Model*

By Yuzuru MIYATA**, Hiroyuki SHIBUSAWA***, and Jian ZHANG****

Half the number of population in the world lives in cities at the present. Almost social and economic activities concentrate in cities. After the industrial revolution, the emergence of cities has brought about great changes in our lives. The economic system in the twenties century has been achieved by mass production, mass consumption and mass dumping of wastes. To attain a sustainable society in the near future, we are forced to realign some of our urban systems.

In this paper, we try to develop a dynamic urban economic simulation model. The model is described as a social optimum problem based on the welfare economics. Applying the numerical computation of the optimal control theory, we derive the optimal solution. We must consider various aspects to evaluate the sustainability of urban systems. In this model, we focuses on main factors, social and environmental stock and land use regulation. In this simulation, 3 cases are simulated under a scenario. We try to show the impact of the compact city policy on the urban spatial system. The numerical simulation shows that the utility level increases when the urban form is re-concentrated.