

低炭素社会の効率的実現のための都市構造の検討

山梨大学 正会員 武藤 慎一
山梨大学 学生会員 ○市川 英樹

1. はじめに

地方都市では郊外化が進んでいる。郊外化は自動車利用の増加を招き、郊外部はトリップ長が長いいため必然的にガソリン消費も増大し地球温暖化問題を深刻化させる。しかし、郊外化は一方で中心部の地代の低下や中心部の混雑緩和という効果をもたらす。したがって、低炭素社会を効率的に実現するためには二酸化炭素の削減だけではなく、それがもたらす様々な誘因も考慮に入れた分析が必要と考えられる。そこで、本研究では簡便な都市経済モデルを用いて低炭素社会を実現するための都市構造が都市経済活動に及ぼす誘因も踏まえた検討を行うことを目的とする。

2. 甲府市における郊外化の現状分析

(1) 甲府市の現状

甲府市は、スプロール化や自動車利用の増加などにより、郊外化の進行が顕著な地方都市である。

(2) 甲府市の人口

甲府市の人口は昭和 50 年から平成 17 年まで減少している。図-1 は甲府都市圏の昭和 50 年から平成 17 年にかけての人口変化率を表したものである。地域ごとにみると南部、北部地域は人口が増加しているのに対し、中央部、西部、東部地域は人口が減少している。すなわち、甲府都市圏は郊外化が進行している。

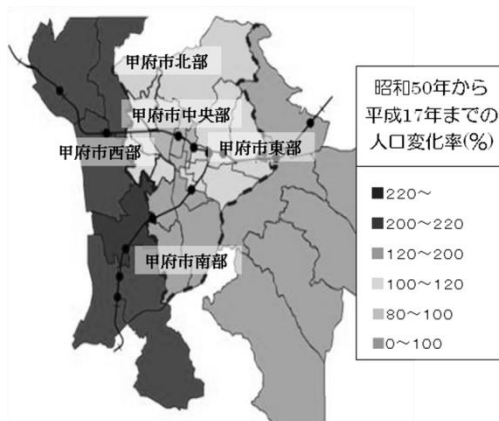


図-1 昭和 50 年から平成 17 年までの人口変化率

(出典：甲府市住民基本台帳，1975、80、85、90、95、2000、2005)

3. 都市経済モデルの構築

1) モデルの概要

本節では都市経済モデルの全体構成を記述する。本モデルは中心部と郊外部の 2 都市からなる簡便なモデルを想定する。全て中心部 (CBD) に通勤する。郊外からのみ通勤費用が発生する。本研究では家計のみを考えている。

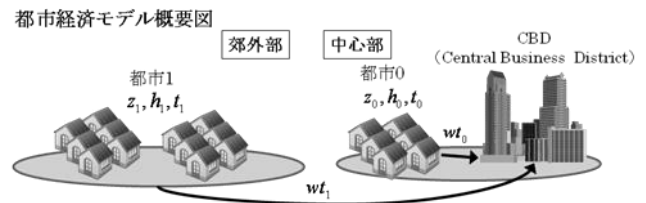


図-2 都市経済モデルの概要図

2) 家計行動モデルの記述

各都市 i の家計の効用最大化モデルを

$$\max U(z_i, h_i) = \alpha_z \ln z_i + \alpha_h \ln h_i \quad (1)$$

$$s.t. \quad I_i = z_i + R_i h_i \quad (I_i = Y - w t_i) \quad (2)$$

として表す。ただし、 z_i ：財の消費（合成財）， h_i ：住宅面積， I_i ：純所得， R_i ：地代， w ：賃金率， t_i ：通勤時間， Y ：所得を表す。(1) (2)を解けば、需要関数が導出される。

$$\text{合成財需要関数：} z_i = I_i \alpha_z \quad (3)$$

$$\text{土地需要関数：} h_i = \frac{\alpha_h I_i}{R_i} \quad (4)$$

(3), (4)を(1)式へ代入すると

$$V_i = \alpha_z \ln(\alpha_z I_i) + \alpha_h \ln\left(\frac{\alpha_h I_i}{R_i}\right) \quad (5)$$

家計の効用水準が求められる。

キーワード 都市構造，二酸化炭素，社会厚生最大化

連絡先 〒400-8511 山梨県甲府市武田 4-3-11 山梨大学工学部土木環境工学科，TEL：055-220-8599，

E-mail：smutoh@yamanashi.ac.jp

3) 土地市場均衡

都市 i の土地市場均衡条件は以下のとおりである。

$$N_i \times h_i = \overline{H_i} \quad (6)$$

(6) 式に (4) 式を代入すれば、

$$R_i = N_i \frac{\alpha_h I_i}{\overline{H_i}} \quad (7)$$

と均衡地代が求められる。さらに (7) 式を (5) 式に代入すると効用水準が以下のようになる。

$$V_i = \alpha_z \ln(\alpha_z I_i) + \alpha_H \ln\left(\frac{\overline{H_i}}{N_i}\right) \quad (8)$$

4) 立地配分のメカニズム

各都市 i の家計は効用水準を基準に立地選択すると仮定する。ここで、家計の立地選択が均衡する等効用条件 ($V_0=V_1$) を考える。ただし全人口は N^T で一定とする。このとき (8) 式より以下の人口分布が求められる。

$$N_0 = \frac{\frac{\alpha_z}{I_0^{\alpha_h} \overline{H_0}}}{\sum_i \frac{\alpha_z}{I_i^{\alpha_h} \overline{H_i}}} N^T \quad N_1 = \frac{\frac{\alpha_z}{I_1^{\alpha_h} \overline{H_1}}}{\sum_i \frac{\alpha_z}{I_i^{\alpha_h} \overline{H_i}}} N^T \quad (9)$$

5) 社会厚生最大化問題

(9) 式を誘導する最適化問題を考える。

$$\max \sum_i N_i V_i$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_i N_i = N^T$$

これを解くと

$$N_0 = \frac{\frac{\alpha_z}{I_0^{\alpha_h} \overline{H_0}}}{\sum_i \frac{\alpha_z}{I_i^{\alpha_h} \overline{H_i}}} N^T \quad N_1 = \frac{\frac{\alpha_z}{I_1^{\alpha_h} \overline{H_1}}}{\sum_i \frac{\alpha_z}{I_i^{\alpha_h} \overline{H_i}}} N^T$$

と (9) 式と人口分布が同じになることが分かる。これは、あくまで式 (1) のように効用関数を特定化すればという条件下ではあるが、等効用条件を導出する最適化問題が期待効用最大化問題となっていることが示されたわけである。

4. 土地開発と交通整備評価

数値計算にあたり一部仮想データである。以下の数値設定のもとでモデルのパラメータを推定した。

$N^T=193,414$ (人) $Y=5,000,000$ (円) $t_0=0$ $t_1=50$ (分)
 $H_0=3,681$ $H_1=4,106$ (km²) $\alpha_z=0.7$ $\alpha_h=0.3$
 発生トリップ数=0.7 年間通勤日数=200 (年)

1) 土地開発と交通整備の導入

次に前節で構築した都市経済モデルを用いて、まずはこれまでに行われた土地開発や交通整備が都市住民の効用をどれだけ高めたかを数値計算により確認する。

交通整備はモデルにおいては (2) 式の t を削減することで設定した。土地開発は土地供給面積を増加させることでこれらを、所要時間 t_1 を 55% 減、郊外部の土地開発面積 H_1 を 55% 増に設定して数値計算を実行した。それによって、土地開発や交通整備が郊外化にどれだけ影響を与えたか、それが都市構造に影響を与え、家計の効用を向上させたかを明らかにする。

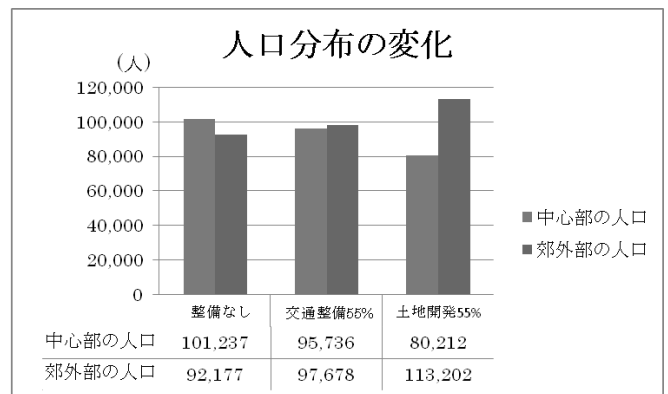


図-3 整備による人口分布の最適解

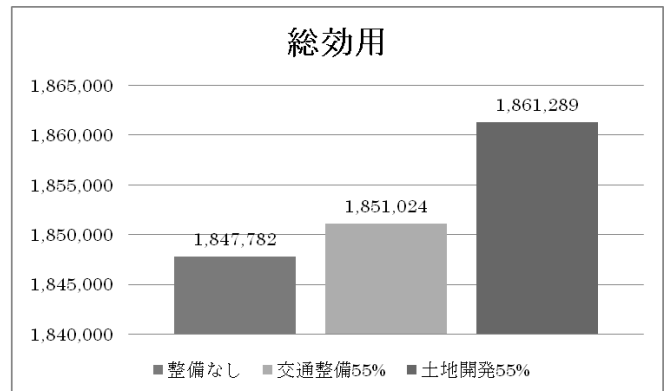


図-4 整備による総効用の変化

図-3 には整備による郊外化を示した。これより、郊外の土地開発がなされ、交通整備もなされたことで、中心部人口が減少し郊外部人口が増加している。またこれらの整備、開発は時間という資源、土地という資源の量を増加させる事に貢献しており、その結果、図-4 のように家計の総効用は上昇していることが分かった。そして図-4 からは厳密ではないが土

地開発のほうが交通整備よりも、より効用を上昇させているように思われる。

2) 二酸化炭素排出量の算出

前節で整備による社会厚生の上昇が明らかになった。しかし、そのため、整備による二酸化炭素排出量の変化を考える必要がある。

二酸化炭素排出量を以下のように定義する。

$$\varepsilon \cdot l_1 \cdot N_1 \quad (12)$$

ただし、 ε ：二酸化炭素原単位、 l_1 ：通勤移動距離
これより、二酸化炭素排出量を算出すると以下のようになる。

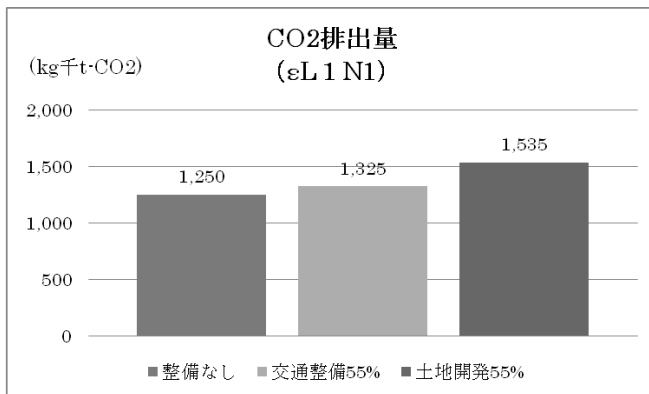


図-5 二酸化炭素排出量の変化

その結果、交通整備、土地開発は社会厚生を上昇させる一方でCO₂排出を増大させることがわかる。二酸化炭素削減が必要なとき、郊外化が深刻な問題意識として大きく取り上げられる。

これは、整備と開発による郊外化が総通勤移動距離を増加させるため二酸化炭素が増加したものと考えられる。

5. 地球温暖化被害を考慮したモデルの定式化・数値化

1) 地球温暖化被害関数の導入

地球温暖化被害関数を導入することで二酸化炭素の効率的な削減を検討する。まずは被害関数の導入によって社会厚生最大化問題の解と等効用条件の解とが一致するかを確認する。

地球温暖化被害関数を(13)式のように定義する。

$$C_{(N_1)} = c \times [1 + \alpha(\varepsilon \cdot l_1 \cdot N_1)^\beta] \quad (13)$$

ただし、 $C_{(N_1)}$ ：地球温暖化被害関数、 c ：地球温暖化被害額、 α 、 β ：パラメータ

この地球温暖化被害関数を(2)式の所得から差し

引く形で考慮する。これより効用水準は以下となる。

$$V_i = \alpha_Z \log[(I_i - C_{(N_1)})\alpha_Z] + \alpha_H \ln\left(\frac{H_i}{N_i}\right) \quad (14)$$

(14)式で得られた間接効用関数を用いて効用の最大化問題を以下の制約条件式の下で解く。

$$\max(N_0 V_0 + N_1 V_1)$$

$$\text{s.t. } \sum_i N_i = N^T$$

これは数値計算により解くことにする。

2) 数値計算

(13)式のパラメータ推定にあたりCO₂の排出係数は仮想的ではあるが以下のように仮定した

$$\begin{aligned} \varepsilon &= 3.87474 \times 10^{-6} \text{ (千t-CO}_2\text{/km)} & l_0 &= 0 & l_1 &= 3,500 \text{ (km/年)} \\ c &= 200,000 \text{ (円)} & \alpha &= 0.00000007 & \beta &= 2 \end{aligned}$$

地球温暖化被害関数を考慮する場合の各都市の人口と総効用を数値計算で算出する。

表-1 地球温暖化被害を考慮した数値計算結果

	人口数(Ni)		総効用 (maxNiVi)	CO2排出量 (εLiNi)	効用水準の 差
	中心部	郊外部			
ダメージなし(最適解=等効用)	101,237	92,177	1,847,782	1,250	0.000000
ダメージあり(最適解)	102,024	91,390	1,844,617	1,239	0.003452
ダメージあり(等効用)	101,470	91,944	1,844,613	1,247	0.000000

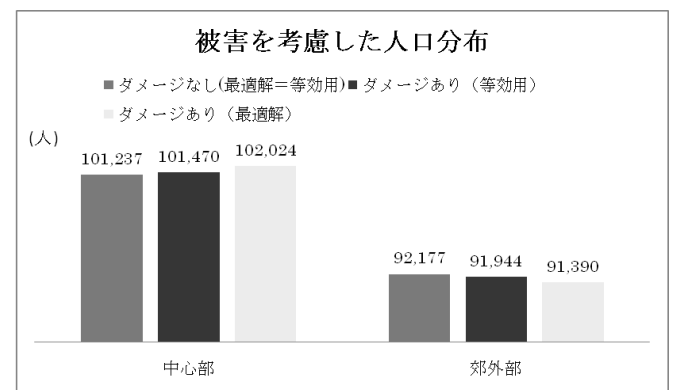


図-6 地球温暖化被害を考慮した人口分布

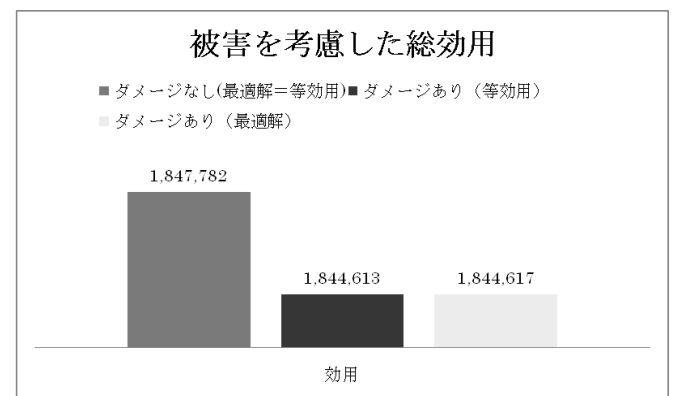


図-7 地球温暖化被害を考慮した総効用の変化

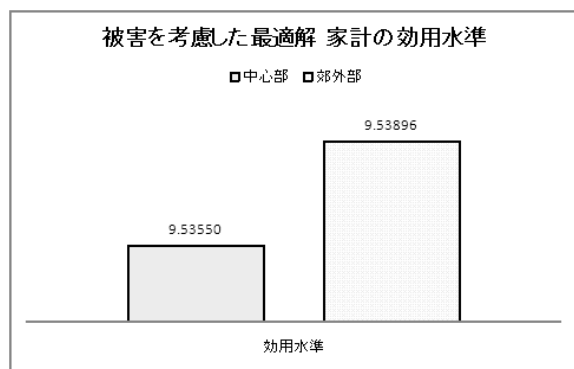
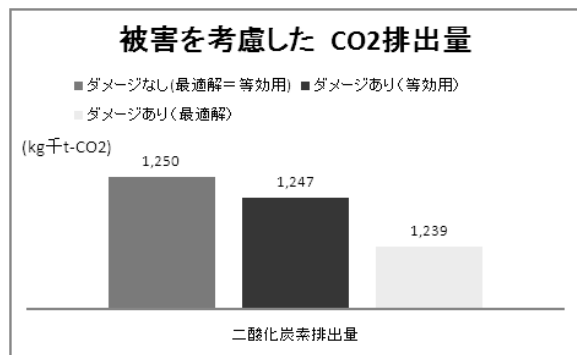


図-8 中心部、郊外部の家計の効用水準

図-9 地球温暖化被害を考慮した CO₂ 排出量

単純に被害を考えると中心部へ立地変更が生じ、さらに社会厚生最大化問題を解くと500人程度ではあるが、さらに中心部への立地変更が必要となることが示された。次に社会的最適な状態における各都市の効用水準を比べると、中心部住民の効用が郊外部より下がることがわかる。これは最適状態では中心部の人口が多くなっており、それによって中心部の地代が高くなった。

5. 将来の甲府市

将来の日本の人口は減少傾向にある。ここで人口が減少することが住民の効用にどれだけの変化を与えるか数値計算により確認する。次にそれによって二酸化炭素がどれだけ変化するかを確認する。人口減少は全人口 N^T を-8%削減することで設定した。

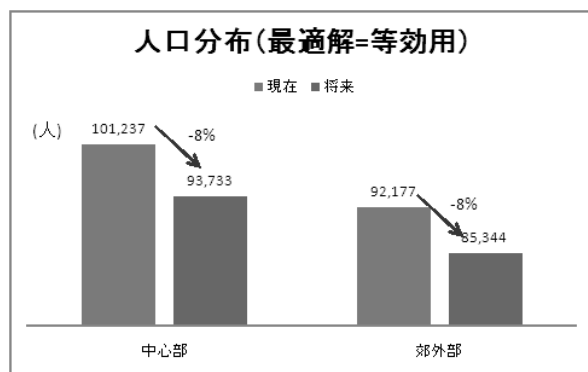
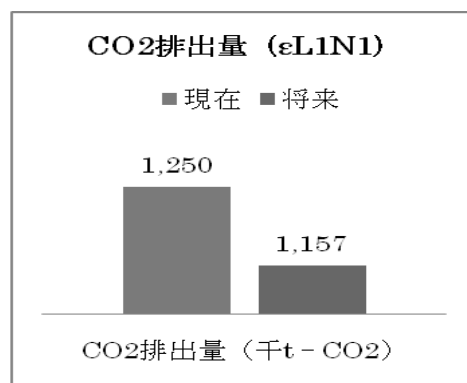


図-10 将来の人口分布の変化

図-11 将来の CO₂ 排出量の変化

将来の人口が減少しているので二酸化炭素も減少しているかと、相対的に郊外部の人口も減少しているために二酸化炭素排出量もより減少しているものと考えられる。

6. まとめ

本研究では、簡便な都市経済モデルを構築し等効用による立地分析だけでなく、最適化問題としての立地分析も示した。

当モデルを用いてこれまで行われた整備が甲府市に大きな貢献をしたことを明らかにし、しかし、それが郊外化を引き起こし、さらに二酸化炭素排出量を増加させたことを明らかとした。

また、その上で地球温暖化被害を考慮した上での社会的最適化問題を解き、地球温暖化被害も含めた最適な都市構造を明らかとした。

今後は、以上の最適な都市構造を達成するための具体的な都市政策について明らかとする必要がある。また、今回は2都市経済モデルという単純な枠組みであったが、地域数を増やし現実的都市の枠組みへの拡張も課題である。

参考文献

- 1) 内藤 徹, 「規制と環境の都市経済理論」, 九州大学出版会
- 2) 金本 良嗣, 「都市経済学」, 東洋経済新報社
- 3) 溝上 章志, 効用水準とエネルギー消費の視点から見た都市のコンパクト性評価法, 日本都市計画学会, 都市計画論文集, No. 43-3 127-132, 2008