

22. 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

An Evaluation Approach of Compact City from viewpoints of Quality of Life and Energy Consumption

溝上 章志*
Shoshi MIZOKAMI*

We will show a micro-economic based quantitative analysis scheme to evaluate the degree of compactness of cities that takes into accounts 1) the utility theory based on transportation and composite goods consumption behavior, and 2) a consistency between the level of utility and energy consumption. Such scheme is sometimes used in microeconomic modeling for policy analysis. However, we evaluate such the spatial structure of urban form as a transportation network configuration and land use condition that can reduce the energy consumption and get cities much compact.

Keywords: sustainable urban transportation, compact city, energy consumption, micro-economic policy analysis
EST, コンパクトシティ, エネルギー消費量, ミクロ政策評価

1. はじめに

持続可能性の概念は今後の都市開発における重要なパラダイムであり、それを達成する一つの方策はコンパクトシティと考えられている。都市のコンパクト性を交通の面から定量的に評価する指標としては、単位トリップあたりのエネルギー消費量や環境負荷量といったマクロ指標が用いられ、これらの都市間比較や都市構造との関係性を分析した研究は、著名な文献¹⁾をはじめ、その数は多い^{2) 3)}。しかし、交通網や土地利用といった詳細な都市構造とマクロ指標との関係を明示的に示している訳ではないので、都市のコンパクト化を実現するためにどのような具体的都市政策が有効かを検討するには十分とは言えない。これに対して、土地利用-交通モデルを構築し、典型的な都市構造シナリオに基づいて政策シミュレーションを行う研究^{4) 5) 6) 7)}は、その結果から環境負荷低減に寄与する効果的な施策を見いだすことが可能である点で有用である。しかし、シミュレーション結果は構築された土地利用-交通モデルの推定精度に大きく依存するという課題も残している。

都市の諸活動はエネルギーの消費を伴う活発な交通サービスや財の消費によって支えられてきたことも事実である。したがって、単にエネルギー消費量を削減するのではなく、現在の個々人の効用水準を低下させずに、いかに都市全体のエネルギー消費量や環境負荷量を削減させるかが重要な研究課題である。このような中で、現在のモビリティ水準を維持しながらエネルギー消費量を最小化させる交通パターンを求める規範的なミクロ経済モデルを提案し、それを達成するための都市構造や交通政策を検討している青山・中川らの一連の研究^{8) 9)}は興味深い。

本研究では彼らの研究を一般化する。つまり、モビリティ水準を規定する交通サービスだけではなく、一般財の消費も含めた個人の効用関数を定義し、その個人の現在の効

用水準を維持するという条件下でエネルギー消費量を最小化した場合、その解を時点間や地域間で実績値と比較する。これによって、どのような都市構造や交通施策が、個人の効用水準を低下させることなく、都市全体のコンパクト化に貢献するかを考察する。つまり、生活の質を低下させることなくエネルギー消費量を削減でき、かつそれによって生じる外部不経済を生じさせないような都市活動を可能にする実行可能な都市構造を見出そうとするものである。

一方で、都市のコンパクト化は、逆に交通渋滞や市街地密集による生活環境の悪化を招くという反論も主張されている。コンパクトシティという施策を実行可能なものにするには、エネルギー消費量の削減と相反する目的、たとえば総交通費用の削減を同時に解決する必要がある。そのために、コンパクト性評価指標として、エネルギー消費量とトレードオフの関係にあると思われる総交通費用なども導入し、コンパクト性指標ベクトルを目的関数とした多目的最適化問題に拡張した。

本論は、2. でコンパクト性評価モデルを定式化し、3. では、効用関数をはじめとした各種サブモデルの定式化とその特定化を行う。4. では、開発したモデルをK都市圏の2時点に適用し、コンパクト性評価指標値などを異時点間やゾーン間で比較するなどの分析を行っている。最後に5. で得られた結果の考察と今後の課題について述べる。

2. コンパクト性評価モデルの定式化

(1) コンパクト性評価モデルの概要

コンパクト性評価モデルの定式化を行うに当たって、以下のような仮定を導入する。

1) ゾーン*i*に居住する代表的個人の消費は、交通サービス(以後、モビリティと記す)とそれ以外の財(一般財と記

*正会員・熊本大学大学院自然科学研究科 (Kumamoto University)

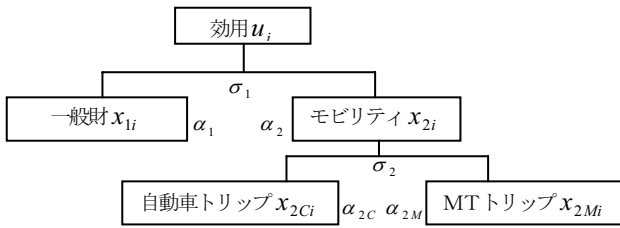


図-1 層化 CES 型効用関数の構造

す)であり、その需要量は x_{2i} 、 x_{1i} である。
2) モビリティの消費は自動車(C)と公共交通機関(M)によるトリップ数 x_{2Ci} 、 x_{2Mi} で表現される。
3) 現在、個人は各自の効用 $u_i(x_{1i}, x_{2Ci}, x_{2Mi})$ が最大となるような一般財の消費、および自動車と公共交通機関によるトリップを行っている。

このとき、現在の効用水準 $u_i^*(x_{1i}^*, x_{2Ci}^*, x_{2Mi}^*)$ を維持しながら、コンパクト性の評価指標ベクトル \mathbf{E}_i を最適化する各財の需要量を求めるコンパクト性評価モデルは下記のように定式化される。

$$\min_{x_{1i}, x_{2Ci}, x_{2Mi}} : \mathbf{E}_i(x_{1i}, x_{2Ci}, x_{2Mi}) = \{E_{1i}, E_{2i}, \dots, E_{Ni}\} \quad (1)$$

$$s.t. \quad u_i(x_{1i}, x_{2Ci}, x_{2Mi}) = u_i^*(x_{1i}^*, x_{2Ci}^*, x_{2Mi}^*) \quad (2)$$

ここで、 E_{mi} はエネルギー消費量や総交通時間などのコンパクト性評価指標であり、 x_{1i}, x_{2Ci}, x_{2Mi} の関数である。

(2) 効用関数の定義

式(2)の現在の効用水準 $u_i^*(x_{1i}^*, x_{2Ci}^*, x_{2Mi}^*)$ を求めるために、効用関数を定義する。ゾーン*i*に住む代表的な個人の効用は、図-1のような2層のNested構造で表され、段階ごとに2財間の代替弾力性を別個に設定できるという柔軟性を持つ層化CES型の効用関数¹⁰⁾を導入する。この上位段階と下位段階の関係はそれぞれ次式のようになる。

$$u_i(x_{1i}, x_{2i}) = \left\{ \alpha_1 x_{1i}^{(\sigma_1-1)/\sigma_1} + \alpha_2 x_{2i}^{(\sigma_1-1)/\sigma_1} \right\}^{\sigma_1/(\sigma_1-1)} \quad (3)$$

$$x_{2i}(x_{2Ci}, x_{2Mi}) = \left\{ \alpha_{2C} x_{2Ci}^{(\sigma_2-1)/\sigma_2} + \alpha_{2M} x_{2Mi}^{(\sigma_2-1)/\sigma_2} \right\}^{\sigma_2/(\sigma_2-1)} \quad (4)$$

σ_1, σ_2 は、それぞれ上位段階と下位段階の代替の弾力性であり、各段階における2財間の代替性の程度を表す。また、 α_1 と α_2 、および α_{2C} と α_{2M} は、一般財とモビリティ、および自動車によるトリップ数と公共交通機関によるトリップ数の分配パラメータであり、それぞれの段階での総支出額に対する各財への配分支出比率を表す。式(3)と(4)で定義された効用関数を所得制約

$$p_{1i}x_{1i} + p_{2Ci}x_{2Ci} + p_{2Mi}x_{2Mi} \leq I_i \quad (5)$$

の下で最大化する解 $x_{1i}^*, x_{2Ci}^*, x_{2Mi}^*$ を求めることによって、現在の効用水準 $u_i^*(x_{1i}^*, x_{2Ci}^*, x_{2Mi}^*)$ を算出することができる。ここで、 p_{1i} は一般消費財1単位あたりの価格、 p_{2Ci}, p_{2Mi} は自動車と公共交通機関によるゾーン*i*からの

トリップの平均一般化費用(円/トリップ・日)、 I_i はゾーン*i*に居住する1人1日あたりの所得(円/人・日)である。

(3) 現在の効用水準

上記の効用関数を用いて現在の効用水準を算出するには、以下のような段階的な解法を用いる。まず、個人は交通に支出可能な予算制約条件下でモビリティ水準の最大化行動を行っているから、下位段階の行動は以下のように定式化される。

$$\max_{x_{2Ci}, x_{2Mi}} : x_{2i} = \left\{ \alpha_{2C} x_{2Ci}^{(\sigma_2-1)/\sigma_2} + \alpha_{2M} x_{2Mi}^{(\sigma_2-1)/\sigma_2} \right\}^{\sigma_2/(\sigma_2-1)} \quad (6)$$

$$s.t. \quad p_{2Ci}x_{2Ci} + p_{2Mi}x_{2Mi} \leq I_{2i}$$

ここで、 I_{2i} は1人1日あたりの総交通費用(円/人・日)である。この効用最大化問題の解である自動車と公共交通機関によるトリップ数とモビリティ水準の最適値 x_{2Ci}^*, x_{2Mi}^* は解析的に以下のように導かれる。

$$x_{2Mi}^* = \left(\frac{\alpha_{2M}}{p_{2Mi}} \right)^{\sigma_2} \frac{I_{2i}}{\alpha_{2C}^{\sigma_2} p_{2Ci}^{1-\sigma_2} + \alpha_{2M}^{\sigma_2} p_{2Mi}^{1-\sigma_2}} \quad (7)$$

$$x_{2Ci}^* = (\alpha_{2C}^{\sigma_2} p_{2Ci}^{1-\sigma_2} + \alpha_{2M}^{\sigma_2} p_{2Mi}^{1-\sigma_2})^{1/(\sigma_2-1)} \cdot I_{2i} \quad (8)$$

一方、上位段階では、個人は所得制約下での効用最大化を行っているから、その行動は以下のように定式化される。

$$\max_{x_{1i}, x_{2i}} : u_i = \left\{ \alpha_1 x_{1i}^{(\sigma_1-1)/\sigma_1} + \alpha_2 x_{2i}^{(\sigma_1-1)/\sigma_1} \right\}^{\sigma_1/(\sigma_1-1)} \quad (9)$$

$$s.t. \quad p_{1i}x_{1i} + p_{2i}x_{2i} \leq I_i$$

一般消費財とモビリティの需要関数は、この最適化問題の解として、次式のように解析的に表される。

$$x_{ki}^* = \left(\frac{\alpha_k}{p_{ki}} \right)^{\sigma_1} \frac{I_i}{\alpha_1^{\sigma_1} p_{1i}^{1-\sigma_1} + \alpha_2^{\sigma_1} p_{2i}^{1-\sigma_1}} \quad (10)$$

式(7)、(8)、(10)より、ゾーン*i*発の交通機関*m*による最適なトリップ数は以下となる。

$$x_{2mi}^* = \left(\frac{\alpha_{2m}}{p_{2mi}} \right)^{\sigma_2} \alpha_2^{\sigma_1} (\alpha_{2C}^{\sigma_2} p_{2Ci}^{1-\sigma_2} + \alpha_{2M}^{\sigma_2} p_{2Mi}^{1-\sigma_2})^{\frac{\sigma_2-\sigma_1}{1-\sigma_2}} \cdot \left\{ \alpha_1^{\sigma_1} p_{1i}^{1-\sigma_1} + \alpha_2^{\sigma_1} (\alpha_{2C}^{\sigma_2} p_{2Ci}^{1-\sigma_2} + \alpha_{2M}^{\sigma_2} p_{2Mi}^{1-\sigma_2})^{\frac{1-\sigma_1}{1-\sigma_2}} \right\}^{-1} \cdot I_i \quad (11)$$

これらを式(3)と式(4)に代入することによって、現在の効用水準 $u_i^*(x_{1i}^*, x_{2Ci}^*, x_{2Mi}^*)$ が得られる。ただし、 p_{1i} はニユメルールとして $p_{1i} = 1$ とする。

(4) コンパクト性の評価指標

ここでは、一般財の消費、および自動車と公共交通機関によるトリップによって消費されるエネルギー消費量 E_{1i} 、およびそれとトレードオフ関係にあると考えられる総交通時間 E_{2i} をコンパクト性の評価指標とする。これらは下記で定式化される

表-1 エネルギー消費原単位

	1984	1997
e_1 一般財消費 (kcal/人・日)	2.97	2.46
e_{2C} 自動車トリップ (kcal/人・分)	137.38	142.74
e_{2M} MTトリップ (kcal/人・分)	17.55	17.68

$$E_{1i} = e_1 x_{1i} + e_2 t_{2Ci} x_{2Ci} + e_3 t_{2Mi} x_{2Mi} \quad (12)$$

$$E_{2i} = p_{2Ci} x_{2Ci} + p_{2Mi} x_{2Mi} \quad (13)$$

ここで、 e_1, e_2, e_3 はそれぞれ一般財、自動車と公共交通機関のエネルギー消費原単位 (kcal/人・日, kcal/人・分) であり、表-1にその値を示す¹⁾。また、 t_{2Ci}, t_{2Mi} は自動車と公共交通機関によるゾーン i から目的地ゾーンまでの平均所要時間である。

消費者の効用最大化行動の結果である現在の効用水準を維持するという条件下で、これらの目的関数ベクトルを最適化したときのエネルギー消費量や総交通時間とこれらの実績値とを比較することによって、ゾーン別のコンパクト性の評価が可能となる。また、時点間の解の比較を行うことによって、コンパクト性の経時変化を分析することができる。さらに、いくつかの都市圏に本モデルを適用することによって、コンパクト性の水準と都市構造や交通サービス水準などとの関係を分析することも可能である。

3. 未知パラメータの推定

(1) データの収集、および作成方法

本モデルを適用する K 都市圏は、母都市である K 市の人口が 67 万人、都市圏人口が 100 万人である。図-2に示すように、K 都市圏の DID 地区の面積は年々、拡大しているのに対して、人口密度は低下しており、スプロール化が進行している。そこで、交通関連の基礎データとなるパーソントリップ調査が実施された 1984 年と 1997 年の 2 時点において、上記で提案したモデルを適用し、

- 1) 両時点での総エネルギー消費量や総交通費用の実績値と最適値との比較、および
- 2) 両時点間でのこれらの経時変化について検討を行う。

まず、効用関数の推定のために使用したデータの収集、作成方法を以下に解説する。

- 1) 1 人 1 日あたりの自動車と公共交通機関によるトリップ数 x_{2Ci} 、 x_{2Mi} (トリップ/人・日) は、パーソントリップ調査の 1 日あたりの利用交通機関別のトリップをゾーン別に集計し、居住人口で除したものである。交通目的は業務、通勤・通学、買い物とそれぞれからの帰宅を合わせたものを使用した。なお、居住ゾーンをベースとした分析を行うために、帰宅トリップは着ゾーン別に集計している。
- 2) 自動車と公共交通機関によるゾーン i からの平均所要時間 t_{2Ci}, t_{2Mi} は、それぞれ利用者均等配分、確率配分を用いて算出した OD 間所要時間を交通機関別の OD 交通量で

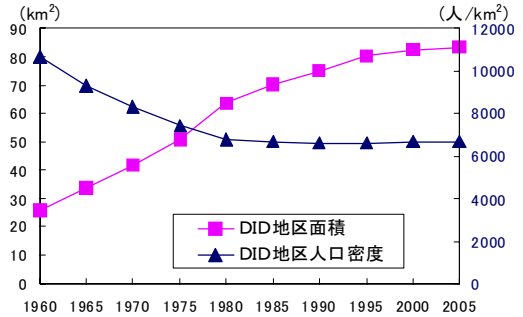


図-2 K都市圏のDIDの面積と人口密度の推移

加重平均をとることにより求めた。

- 3) 自動車と公共交通機関の 1 トリップあたりの発ゾーン別一般化費用 p_{2Ci}, p_{2Mi} は、2) で求めた OD 間所要時間に、走行速度に対する走行費用原単位を考慮した自動車の時間価値 $\omega_C^{1984} = 23.7$ 、 $\omega_C^{1997} = 38.1$ を、公共交通機関は $\omega_M^{1984} = 24.7$ 、 $\omega_M^{1997} = 40.0$ (単位は全て円/人・分) をかけて求めた¹²⁾。
- 4) ゾーン i に居住する 1 人 1 日あたりの所得 I_i (円/人・日) は、K 市の可処分所得の市内合計を地価公示から得られる住宅用途の土地の公示地価に比例して配分した。
- 5) 一般財の消費量 x_{1i} は、 I_i からゾーン i に居住する 1 人 1 日あたりの交通費用を引いて求める。

(2) 効用関数のパラメータの推定

まず、代替の弾力性 σ_1, σ_2 を推定する。式(10)より、一般化費用を価格とする自動車、公共交通機関のトリップ数の自己価格弾力性は、それぞれ

$$\varepsilon_{2mi} = -\sigma_1 + (\sigma_2 - \sigma_1) \frac{p_{2mi} x_{2mi}}{I_{2i}} + (1 - \sigma_1) \frac{p_{2mi} x_{2mi}}{I_{2i}} \frac{p_{2i} x_{2i}}{I_i}$$

となるから、 $\varepsilon_{2Ci}, \varepsilon_{2Mi}$ が得られさえすれば、上記の連立方程式から σ_1, σ_2 を推定することができる。ここでは、

$$W_{2Ci} = \exp(\xi + \gamma p_{2Ci}) / \{ \exp(\xi + \gamma p_{2Ci}) + \exp(\gamma p_{2Mi}) \}$$

なる集計ロジット型交通機関分担率モデルを特定化し、

$$\varepsilon_{2mi} = \frac{\partial W_{2mi} / W_{2mi}}{\partial p_{2mi} / p_{2mi}} = \gamma \cdot p_{2mi} \cdot (1 - W_{2mi})$$

によって推定した。本来なら ε_{2mi} はゾーン i ごとに求められるが、ここではそのゾーン平均値をとって一組の $\varepsilon_{2C}, \varepsilon_{2M}$ を求め、それに対応する σ_1, σ_2 を推定した。集計ロジット型交通機関分担率モデルの推定結果を表-2に示す。説明変数はその符号条件はすべて論理的であり、 t 値も高く、統計的有意性も高い。

表-2 交通機関分担モデルの推定結果

		推定値	t 値
1984	ξ	0.634	5.15
	γ	-4.4×10^4	-5.88
1997	ξ	0.970	8.26
	γ	-2.8×10^4	-6.07

表-3 効用関数のパラメータの推定値

年	ϵ_{2C}	ϵ_{2M}	σ_1	σ_2	α_1	α_2	α_{2C}	α_{2M}
1984	-0.110	-0.613	1.387	0.612	0.321	0.679	0.893	0.107
1997	-0.052	-0.765	1.213	0.437	0.478	0.521	0.981	0.019

配分パラメータ $\alpha_{2mi}, \alpha_{ki}$ は、その定義より、各段階における総支出額に対する各財への支出額の配分比率であり、本来はゾーンごとに

$$\alpha_{2mi} = \frac{p_{2mi} x_{2mi}^{1/\sigma_2}}{p_{2Ci} x_{2Ci}^{1/\sigma_2} + p_{2Mi} x_{2Mi}^{1/\sigma_2}} \quad (m = C \text{ or } M)$$

$$\alpha_{ki} = \frac{p_{ki} x_{ki}^{1/\sigma_1}}{p_{1i} x_{1i}^{1/\sigma_1} + p_{2i} x_{2i}^{1/\sigma_1}} \quad (K = 1, 2)$$

となる。しかし、これらについてもゾーン平均値をとって一組の α_1 と α_2 、 α_{2C} と α_{2M} を求めている。

以上によって推定された各パラメータを表-3に示す。これより、以下が分かる。

- 1) $\alpha_{2M} < \alpha_{2C}$ より、両年とも、交通関連支出に占める自動車への支出比率の方が公共交通機関へのそれより大きい。
- 2) $\alpha_{2C}^{1984} < \alpha_{2C}^{1997}$ より、1984年に比べて1997年の方がその傾向が大きくなっている。
- 3) $\alpha_2^{1997} < \alpha_2^{1984}$ より、1984年に比してモビリティへの支出比率は1997年には小さくなった。
- 4) $\sigma_2^{1984} > \sigma_2^{1997}$ より、モビリティ水準に対する自動車と公共交通機関の代替の弾力性は1984年の方が大きく、両者の相対的価格が変化した場合の相対的需要の変化は1984年の方がより大きい。
- 5) $\sigma_1^{1984} > \sigma_1^{1997}$ より、効用水準に対するモビリティと一般財消費の代替の弾力性についても1984年の方が大きくなっている。これより、両者の相対価格が変化した場合、一般財とモビリティの需要量に与える相対的な影響は1984年の方がより大きかった。

以上より、1984年の方が1997年よりもモビリティに対する支出比率は大きく、その中で自動車への支出比率が公共交通機関への支出比率よりも大きかったこと、また、1984年の方が、一般財とモビリティの価格比、自動車と公共交通機関の価格比が変化した場合にそれぞれの相対的需要に与える影響が1997年に比べてより大きかったことが分かる。

4. K都市圏における実証分析

(1) 実証分析のフロー

コンパクト性評価指標の分析は図-3のフローに従って行う。以下、各ステップを概説する。

Step-1: 式(10), (11)よりゾーン別の交通機関別トリップ数、および式(3), (4)より現在の効用水準を算出する。

Step-2: 式(1)と(2)によるコンパクト性評価モデルを用いて、最適時の発ゾーン別交通機関別トリップ数 x_{2Ci} 、 x_{2Mi} と一

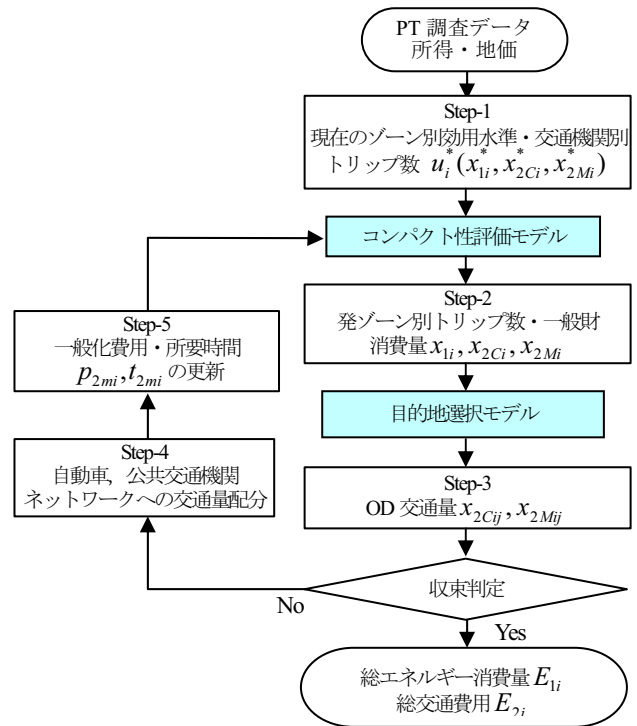


図-3 コンパクト性評価の分析フロー

表-4 目的地選択モデルの推定結果

	自動車		公共交通機関		
	推定値	t 値	推定値	t 値	
1984	都心ダミー	0.0383	1.31	-0.755	17.5
	居住人口	6.39×10^6	1.51	1.59×10^5	2.57
	一般化費用	-0.00272	43.9	-3.29×10^4	8.78
1997	都心ダミー	0.0966	3.67	-0.598	10.9
	居住人口	5.56×10^5	18.9	9.89×10^6	1.63
	一般化費用	-0.00182	60.7	-7.69×10^5	2.64

般財の需要 x_{1i} を算出する。

Step-3: 後述する目的地選択モデルによって、目的地選択確率を算出し、交通機関別 OD 交通量を求める。

Step-4: 交通機関別 OD 交通量を、自動車は利用者均衡配分法、公共交通機関は確率的配分法で、それぞれ道路、および公共交通機関ネットワークへ配分する。

Step-5: 配分結果から、一般化費用 p_{2Ci}, p_{2Mi} と所要時間 t_{2Ci}, t_{2Mi} を更新し、再度、コンパクト性評価モデルを解く。これらのステップを x_{1i} 、および x_{2Ci} 、 x_{2Mi} が収束するまで繰り返す。

コンパクト性評価モデルの解として得られる発ゾーン別交通機関別トリップ数から交通機関別 OD 交通量を予測するための目的地選択モデルを推定した。ここでは、ゾーン i の魅力度変数として居住人口を、ゾーン間抵抗変数として一般化費用 p_{2Ci}, p_{2Mi} を説明変数とした集計型ロジットモデルを用いた。推定結果を表-4に示す。両年とも、説明変数の符号条件は論理的で、統計的有意性は高い。

	実績	最適時	
		$\beta_1 : \beta_2 = 1 : 0$	$\beta_1 : \beta_2 = 0.85 : 0.15$
1984			
総エネルギー消費量	7.13×10^9	6.77×10^9 (0.949)	6.96×10^9 (0.976)
総交通費用	3.84×10^8	4.97×10^8 (1.29)	3.85×10^8 (1.00)
1997			
総エネルギー消費量	1.08×10^{10}	1.06×10^{10} (0.981)	1.07×10^{10} (0.991)
総交通費用	8.40×10^8	1.10×10^9 (1.31)	9.01×10^8 (1.07)

注1) 総エネルギー消費量、総交通費用の単位は、それぞれkcal/日、円であり、()内は実績に対する比率を示す。
注2) 円グラフの大きさは総エネルギー消費量を、それぞれの内訳は一般財、および自動車と公共交通機関のトリップによるエネルギーの消費比率を表す。

図-4 コンパクト性評価指標の実績値と最適値

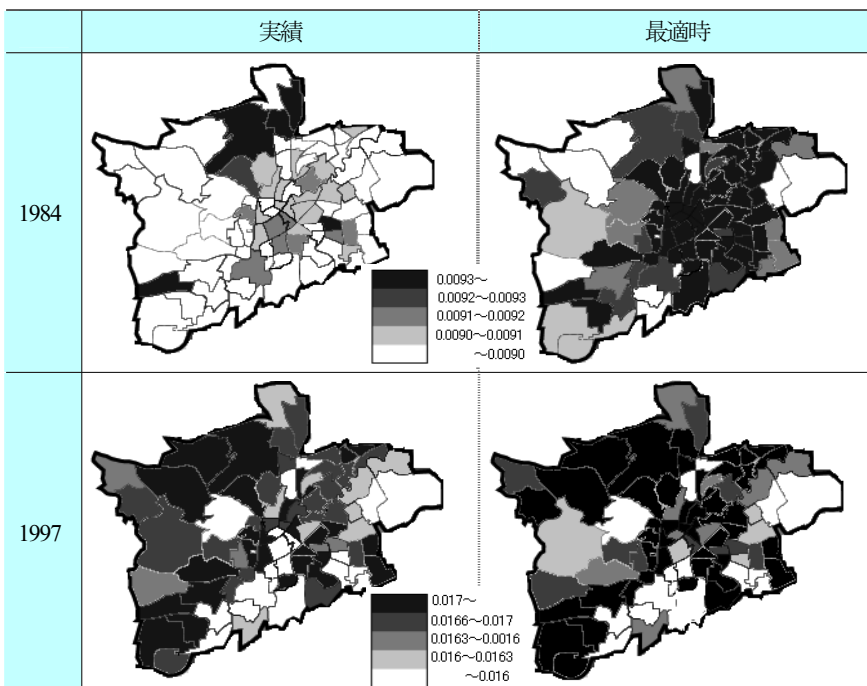


図-5 ゾーン別エネルギー効率性指標の空間分布

(2) コンパクト性評価の結果

多目的最適化問題で定式化されているコンパクト性評価モデルを解くためには、目的関数ベクトルを何らかの方法でスカラー化最適化問題に変換する必要がある。ここでは、目的関数式(12)と(13)に、それぞれ重み $\beta_1, \beta_2 = 1 - \beta_1$ を付けて加重和する線形加重最適化を用いた。

2回のパーソントリップ調査時において、効用水準を制約条件としてコンパクト性評価ベクトル目的関数を最適化

したときの総エネルギー消費量と総交通費用、およびそのときの実績値を図-4に示す。円グラフでは、その大きさでK都市圏の母都市であるK市全人口で集計化した総エネルギー消費量を表している。また、それぞれの内訳は一般財、および自動車と公共交通機関のトリップによるエネルギーの消費比率を表す。さらに、多目的関数ベクトルをスカラー化する重み付けパラメータ β_1, β_2 を1.0:0.0から0.85:0.15に変化させた結果も併せて示した。

まず、目的関数ベクトルが総エネルギー消費量だけの場合について、箇条書きで考察を概説する。

- 1) 1997年の総エネルギー消費量と総交通費用の実績値は、1984年の1.51倍、2.19倍にもなっている。
 - 2) 現在の効用水準を維持したままで総エネルギー消費量を実績から削減することが可能である一方、総交通費用は増加する。
 - 3) 自動車トリップによるエネルギー消費比率を減らす代わりに、1984年には公共交通機関トリップの消費比率を、1997年には一般財と公共交通機関トリップの消費比率を増加させることによって、総エネルギー消費量を削減することが可能である。
 - 4) 最適化による総エネルギー消費量の削減効果は、1997年は1.9%であり、1984年の5.1%に比較して小さい。一方、総交通時間の増加率は、1997年は31.0%であり、1984年の29.4%に比較して大きい。
- 次に、目的関数ベクトルに総エネルギー消費量に加えて総交通費用を導入した場合の結果について考察する。

- 5) $\beta_1 : \beta_2 = 0.85 : 0.15$ として総交通費用を目的関数に導入した場合、総エネルギー消費量の実績値からの削減率は、 $\beta_1 : \beta_2 = 1.0 : 0.0$ のときの削減率よりも小さいものの、1984年が2.4%、1997年は0.9%となる。一方、総交通費用の増加率はそれぞれ、0.3%、7.3%である。
- 6) このように、総エネルギー消費量と同時に総交通費用を目的関数ベクトルに導入して多目的最適化を行った場合、実績値よりも総エネルギー消費量を削減させ、かつ総エネ

ルギー消費量だけを目的関数とした場合よりも総交通費用が小さく、実績からあまり増加させないような解を得ることができる。

7) その効果は1997年よりも1984年の方が大きかった。

(3) エネルギー効率性指標

ゾーンごとの単位エネルギー消費量あたりの効用水準であるエネルギー効率性指標を次式で定義する。エネルギー効率性指標は、現在の効用水準を維持するために必要なエネルギーの消費量を示し、その値が大きいほどエネルギー消費効率性が高いゾーンといえる。

$$EU_i = U_i / E_i$$

図-5にゾーン別に算出された年次ごとの実績、および最適時のエネルギー効率性値を示す。これより、下記のことが分かる。

1) 1984年、1997年いずれの時点でも、実績のエネルギー効率性が高いのは、鉄道・幹線道路網と都心ゾーンを示した図-6との対比でも分かるように、都心部や鉄道沿線のゾーンである。

2) 元々はエネルギー効率性が小さいゾーンでも、総エネルギー消費量を最小化するような施策によってエネルギー効率性を向上させることができる。その効果が大きいのは都心周辺部、および鉄道や幹線道路沿線部である。

5. おわりに

本研究では、交通サービスだけでなく一般財の消費も考慮した効用関数を定義し、現在の効用水準を維持した上で、コンパクト性評価指標ベクトル目的関数を最適化するような一般財の消費量や交通パターンを求めるマイクロ経済モデルを提案した。このモデルをK都市圏パーソントリップ調査が実施された1984年と1997年の2時点に適用し、総エネルギー消費量や総交通時間の最適解を時点間や地域間で実績値と比較することによって、都市のコンパクト化の可能性について検討した。その成果と今後の課題をまとめる。

1) 交通サービスの消費の代替として、たとえば、通信サービスの活用などの一般財の消費を増加させたり、自動車トリップを公共交通機関トリップに転換させたりするような施策によって、現在よりも総エネルギー消費量が少ない都市のコンパクト化が可能である。

2) その際、総交通時間を実績値からあまり増加させずに総エネルギー消費量を削減させることも可能で、コンパクト化による交通混雑増大への反論にも応えることができる。

3) DID面積が小さく人口密度が大きい1984年の方が1997年に比べてコンパクト性が高く、総エネルギー消費量の削減可能性は低いと想定していたが、総エネルギー消費量の削減可能性、エネルギー効率性指標の改善可能性とも、1997年よりも1984年の方が大きいという結論が導かれた。

4) これは、効用関数が1997年と1984年でそれぞれ別個に推



図-6 鉄道・幹線道路網、および都心ゾーン

定されており、両者でコンパクト性評価モデルの解に違いが出たことが原因と思われる。解の絶対値を時点間で比較することは妥当でない。

5) コンパクトな都市形成を目指すための

具体的施策を見出すためには、エネルギー効率性指標と具体的な土地利用特性や交通サービス水準との関連性を分析する必要がある。

6) さらに、どのような都市構造や交通サービス形態がコンパクトな都市を形成できるかを明らかにするためには、本モデルをそれらが異なる他の都市圏にも適用し、都市間比較を行うことが求められる。

【参考文献】

- 1) Newman, P. & Kenworthy, J. (1999), *Sustainability and Cities: Overcoming Automobile Dependence*; Island Press, Washington DC.
- 2) 谷口 守・村上威臣・森田哲夫 (1999), 個人行動データを用いた都市特性と自動車利用者の関連分析, 日本都市計画学会学術研究論文集, No.34, pp.967-972.
- 3) 森本章倫・小池弘隆 (2000), 公共交通のエネルギー消費の効率性と都市特性に関する研究, 日本都市計画学会学術研究論文集, No.35, pp.511-516.
- 4) 堀裕人・細見 昭・黒川 洸 (1999), 自動車エネルギー消費量から見たコンパクトシティに関する研究—宇都宮都市圏の2時点におけるPTデータを用いて—, 日本都市計画学会学術研究論文集, No.34, pp.241-246.
- 5) 小島 浩・吉田 朗・森田哲夫 (2003), 交通・環境負荷を小さくする都市構造と交通施策に関する研究, 日本都市計画学会都市計画論文集, No.38-3, pp.553-558.
- 6) Vichiansan, V., Miyamaoto, K., Roychansyah, M., Tokunaga, Y. (2005), Evaluation System of Policy Measure Alternatives for a Metropolis based on TRANUS from the View Point of Sustainability, *Journal of the Eastern Asia for Transportation Studies*, Vol.6, pp.3803-3818.
- 7) 中井秀信・森本章倫 (2008), コンパクトシティ政策が民生・交通部門のエネルギー消費量に与える影響に関する研究, 土木学会論文集D, Vol.64, No.1, pp.1-10.
- 8) 近成 純・青山吉隆・中川 大・松中亮治 (2003), 京阪神都市圏におけるモビリティ水準と交通エネルギー消費の変化に関する研究, 日本都市計画学会都市計画論文集, No.38-3, pp.547-552.
- 9) 土井俊祐, 青山吉隆, 中川 大, 柄谷友香, 近成 純 (2006), モビリティを考慮した都市交通エネルギー施策に関する研究, 土木計画学研究論文集, No.23, pp.887-894.
- 10) 金本良嗣・蓮池勝人・藤原徹 (2006), 政策評価マイクロモデル, 東洋経済新報社.
- 11) (財)省エネルギーセンター (2004), EDMC/エネルギー・経済統計要覧2004年度版, pp.80-81, pp.116-117.
- 12) 国土交通省道路局 (2003) 時間価値原単位および運行経費減単位 (平成15年価格) の算出方法.