

生活質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

○熊本大学 学生員 田鶴 彩
熊本大学 正会員 溝上 章志

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の評価指標としては、単位トリップあたりのエネルギー効率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する研究が多い。しかし、単にエネルギー消費量を削減するのではなく、現在の個々人の生活質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するかが重要な研究課題である。一方で、都市のコンパクト化は交通渋滞や生活環境の悪化を招くというパラドックスも主張されており、それらへの解決も同時に行う必要である。

本研究では、現在の効用水準を維持した上でエネルギー消費量などの複数のコンパクト性評価指標ベクトルを最適化するような交通施策や都市構造のあり方を明らかにする数学モデルの開発し、それを熊本都市圏へ適用した結果について述べる。

2. モデルの定式化

(1) コンパクト性評価モデル

ゾーン*i*に住む代表的市民は、予算制約 I_i 下で効用水準 u_i を最大にする自動車と公共交通機関によるトリップ x_{2Ci}, x_{2Mi} と一般財 x_{1i} の消費を行っているとは仮定する。効用水準を $u(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2)$ とする時、将来後も現在の効用水準 $u^*(\mathbf{x}_1^*, \mathbf{x}_2^*)$ を維持するという条件下で、都市エネルギー消費量や総走行時間などのコンパクト性評価指標ベクトル目的関数 E を最適化するような交通機関別トリップ数 $\mathbf{x}_2 = \{x_{2Ci}, x_{2Mi}\}$ と一般財の消費量 $\mathbf{x}_1 = \{x_{1i}\}$ を求める問題を以下のように定式化する。

$$\begin{aligned} \min_{\{x_{1i}, x_{2Ci}, x_{2Mi}\}} \quad & E = (E_1, E_2, \dots, E_n) \\ \text{s.t.} \quad & u_i(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2) = u_i^*(\mathbf{x}_1^*, \mathbf{x}_2^*) \end{aligned}$$

E はベクトル目的関数であり、ここではトレードオフ関係にある評価指標として、以下の都市エネルギー消費量 E_1 と総走行費用 E_2 を用いた。

$$E_1 = \sum_i \{e_1 x_{1i} + e_{2C} t_{2Ci} x_{2Ci} + e_{2M} t_{2Mi} x_{2Mi}\}$$

$$E_2 = \sum_i (p_{2Ci} x_{2Ci} + p_{2Mi} x_{2Mi})$$

ここで、 $\mathbf{x}_1 = \{x_{1i}\}$ 、 $\mathbf{x}_2 = \{x_{2Ci}, x_{2Mi}\}$ 、 e は各エネルギー

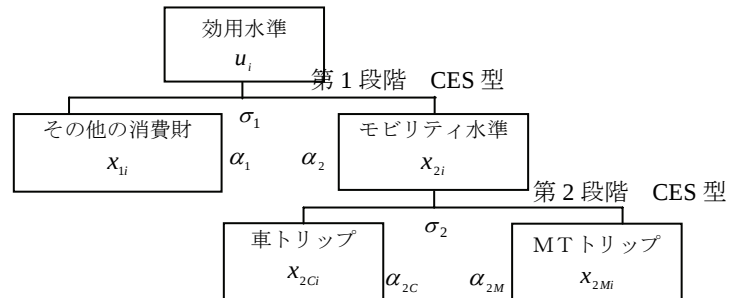


図-1 層化 CES 型効用関数による意思決定構造

一消費原単位 (kal/分)、 $t = \{t_{2Ci}, t_{2Mi}\}$ と $p = \{p_{2Ci}, p_{2Mi}\}$ はそれぞれ自動車 (C) と公共交通機関 (M) によるゾーン*i*からの平均所要時間と一般化費用であり、ともに $\mathbf{x}_2$ の関数となる。

(2) 効用水準の算出

次に、現在の効用水準を求めるモデルを定式化する。ここでは人の消費意思決定行動が図-1のようなNested構造と仮定し、各段階の効用関数を以下のようなCES型で仮定した。

$$\begin{aligned} u_i(x_{1i}, x_{2i}) &= \left\{ \alpha_1 x_{1i}^{(\sigma_1-1)/\sigma_1} + \alpha_2 x_{2i}^{(\sigma_1-1)/\sigma_1} \right\}^{\sigma_1/(\sigma_1-1)} \\ x_{2i}(x_{2Ci}, x_{2Mi}) &= \left\{ \alpha_{2C} x_{2Ci}^{(\sigma_2-1)/\sigma_2} + \alpha_{2M} x_{2Mi}^{(\sigma_2-1)/\sigma_2} \right\}^{\sigma_2/(\sigma_2-1)} \end{aligned}$$

ここで σ_1, σ_2 は代替の弾力性、 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_{2C}, \alpha_{2M}$ は配分のパラメータである。

以下に各段階における最適化行動を定式化する。

第2段階：総交通費用制約下でのモビリティ水準最大化行動は以下のように定式化される。

$$\begin{aligned} \max_{\{x_{2Ci}, x_{2Mi}\}} \quad & x_{2i} = \left\{ \alpha_{2C} x_{2Ci}^{(\sigma_2-1)/\sigma_2} + \alpha_{2M} x_{2Mi}^{(\sigma_2-1)/\sigma_2} \right\}^{\sigma_2/(\sigma_2-1)} \\ \text{s.t.} \quad & p_{2Ci} x_{2Ci} + p_{2Mi} x_{2Mi} \leq I_{2i} \end{aligned}$$

ここで I_{2i} は総交通費用である。

第1段階：第2段階で算出した交通機関別分担交通量 x_{2mi} とモビリティ水準 x_{2i} 、交通一般化費用 p_{2i} を用いて、所得制約のもとでの効用最大化問題は以下のように定式化される。

$$\begin{aligned} \max_{\{x_{1i}, x_{2i}\}} \quad & u_i = \left\{ \alpha_1 x_{1i}^{(\sigma_1-1)/\sigma_1} + \alpha_2 x_{2i}^{(\sigma_1-1)/\sigma_1} \right\}^{\sigma_1/(\sigma_1-1)} \\ \text{s.t.} \quad & p_{1i} x_{1i} + p_{2i} x_{2i} \leq I_i \end{aligned}$$

ここで、 p_{1i} は一般財価格で $p_{1i} = 1$ 、 I_i は所得である。

これらの効用最大化問題の解として、現在の効用水準 $u_i^*(x_{1i}^*, x_{2Ci}^*, x_{2Mi}^*)$ を求めることができる。

3. 熊本都市圏での実証分析

熊本都市圏 PT 調査が実施された 1984 年と 1997 年の 2 時点でのエネルギー消費量の実績値と本モデルから得られる最小エネルギー消費量にどのような変化や差異があったかについて比較を行う。

第 2 回，第 3 回の PT 調査や熊本市の所得統計，公示地価などの調査資料から得られる交通機関別の交通量や一般化費用，一般財の消費量などのデータを用いて，効用最大化モデルの未知パラメータの推定を行った．その結果を表-1 に示す．これより，1)1984 年に比べて 1997 年の方が自動車への支出比率が大きいこと ($\alpha_{2C}^{1984} < \alpha_{2C}^{1997}$)，2)交通よりも一般財への支出比率が大きいこと ($\alpha_1^{1984} < \alpha_1^{1997}$) がわかる．次に，3)モビリティ水準に対する自動車と MT との代替弾力性は 1997 年の方が小さい ($\sigma_2^{1984} > \sigma_2^{1997}$) ため，自動車と MT の相対一般化費用が変化した場合の利用需要量に与える影響は 1997 年の方が大きい．また，4)効用水準に対するモビリティ水準と一般財の代替弾力性については 1984 年の方が小さい ($\sigma_1^{1984} < \sigma_1^{1997}$) ため，これらの相対価格が変化した場合の一般財と交通の相対的な需要量に与える影響は 1984 年の方が大きかった．

コンパクト性評価指標分析は図-2 のフローに沿って行われるが，説明については省略する．

図-3 は，両年におけるエネルギー消費実態と総エネルギー消費量が最小となるときのエネルギー消費量，および各財のエネルギー消費比率である．これより，以下のことがわかる．1) DID 地区の人口密度が高い，つまりコンパクト性が高いと考えられる 1984 年の方が 1997 年よりもエネルギー消費量の実績値は小さい．2) エネルギー消費量の実績値も最小化時の値も 1997 年の方が大きい．3) 両年とも，交通に対するエネルギー消費量の削減，特に自動車から公共交通機関へのエネルギー消費の転換により，総エネルギー消費量を削減することができる．

4. おわりに

本研究では，現在の効用水準を維持した上で都市のコンパクト性評価指標を最適化するコンパクト性評価モデルを提案した．これより，自動車に用いているエネルギー消費を公共交通機関へ転換することにより，総エネルギー消費量を削減することができることがわかった．

参考文献

1)土井俊祐他：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, 2006.

2)金本良嗣他：政策評価ミクロモデル，東洋経済新報社

表-1 推定したパラメータ

	σ_1	σ_2	α_1	α_2	α_{2C}	α_{2M}
1984	0.09	1.07	0.999	1.6×10^{-30}	0.70	0.30
1997	0.24	0.88	0.999	7.1×10^{-13}	0.86	0.14

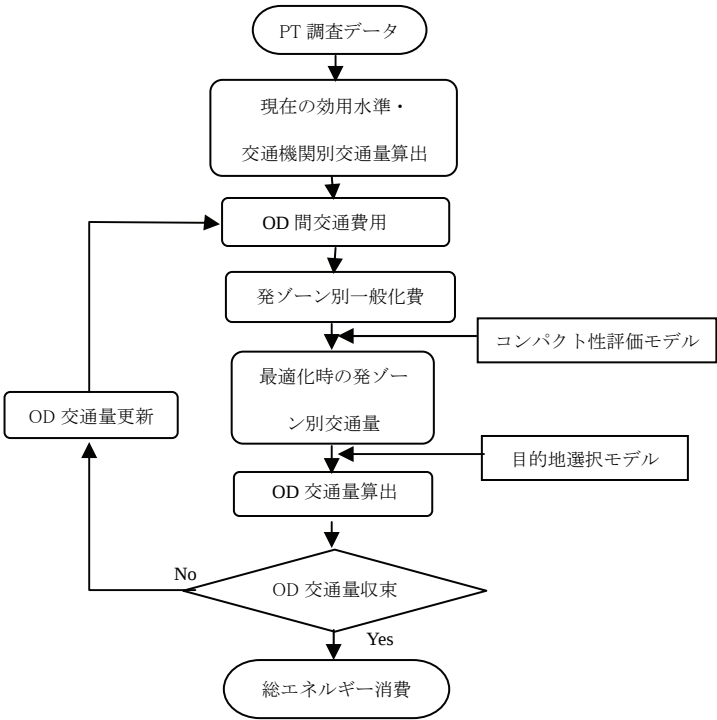


図-2 分析のフロー

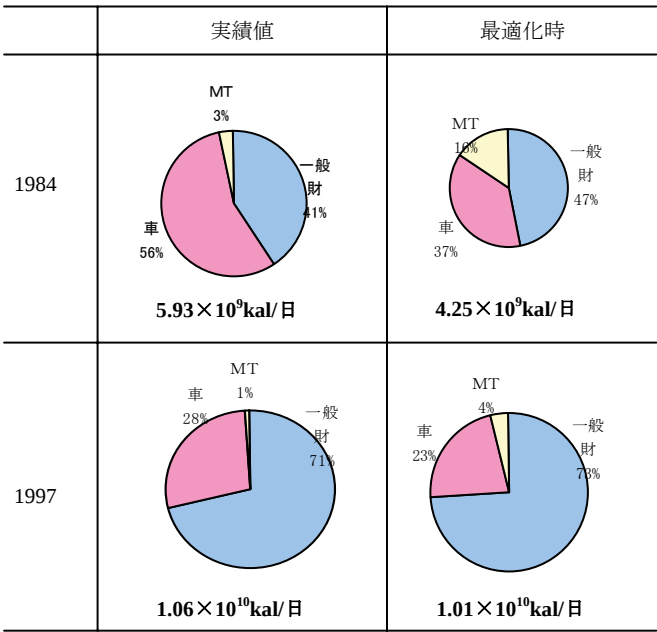


図-3 エネルギー消費量の実績値と最適化値