

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

○(株)パシフィックコンサルタント 正会員 田鶴 彩
熊本大学 正会員 溝上 章志

1. はじめに

本研究では、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・中川の一連の研究¹⁾を一般化する。まず、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家計の効用関数を定義し、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するモデルに改良した。さらに、コンパクト化評価指標として、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。この時の最適解と実績値とを、時点間や地域間で現状と比較する。

2. コンパクト性評価モデルの定式化

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（モビリティ）とそれ以外の財（一般財）であり、その需要量を x_{2i} と x_{1i} とする。
- 2) モビリティは自動車（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) 家計は、現在、効用 $u_i(x_{1i}, x_{2Ci}, x_{2Mi})$ が最大となるように一般財と自動車、および公共交通機関によるトリップの消費行動を行っている。

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 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。

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

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

ここで、 E_{mi} はエネルギー消費量や総走行時間などのコンパクト性評価関数である。

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、ゾーン i に住む代表的な個人の効用が、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フレキシビリティを持つ層化CES型の効用関数を導入する。この1段階と2段階

階の関係はそれぞれ次式になる。

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

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

σ_1, σ_2 は、それぞれ1段階と2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、一般財と交通サービス、および自動車によるトリップ数とMT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比率を表す。

上記の効用関数を用いて、現在の効用水準を算出する。家計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、 I_{2i} を1人1日あたりの総交通費用（円/人・日）、 $\mathbf{p} = \{p_{2Ci}, p_{2Mi}\}$ を自動車と公共交通機関によるゾーン i からの平均一般化費用とすると、 C と M によるトリップ数 x_{2mi}^* は以下のように導かれる。

$$x_{2mi}^* = \left(\frac{\alpha_{2m}}{p_{2mi}} \right) \frac{I_{2i}}{\alpha_{2C}^{\sigma_2} p_{2Ci}^{1-\sigma_2} + \alpha_{2M}^{\sigma_2} p_{2Mi}^{1-\sigma_2}} \quad m = C, M \quad (5)$$

一方、第1段階では、世帯は所得制約下での効用最大化を行っている。ここで、 p_{1i} が一般消費財の1単位あたりのニューメレール価格、 I_{1i} がゾーン i に居住する1人1日あたりの所得（円/人・日）のとき、一般消費財と交通サービス水準の需要関数は次式のように表される。

$$x_{ki}^* = \left(\frac{\alpha_k}{p_{ki}} \right) \frac{I_{2i}}{\alpha_1^{\sigma_1} p_{1i}^{1-\sigma_1} + \alpha_2^{\sigma_1} p_{2i}^{1-\sigma_1}} \quad (6)$$

式(8)より、式(6)のゾーン 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。

$$x_{2mi}^* = \left(\frac{\alpha_{2m}}{p_{2mi}} \right)^{\sigma} \alpha_2^{\sigma_1} (\alpha_{2C}^{\sigma_2} p_{2Ci}^{1-\sigma_2} + \alpha_{2M}^{\sigma_2} p_{2Mi}^{1-\sigma_2})^{\frac{\sigma_2-\sigma_1}{1-\sigma_2}} \cdot \left\{ \alpha_1^{\sigma_1} p_{1i}^{1-\sigma_1} + \alpha_2^{\sigma_1} (\alpha_{2C}^{\sigma_2} p_{2Ci}^{1-\sigma_2} + \alpha_{2M}^{\sigma_2} p_{2Mi}^{1-\sigma_2})^{\frac{1-\sigma_1}{1-\sigma_2}} \right\}^{-1} I_{1i} \quad (7)$$

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。

3. 熊本都市圏における実証分析

コンパクト性評価指標の分析は図-1のフローに従って

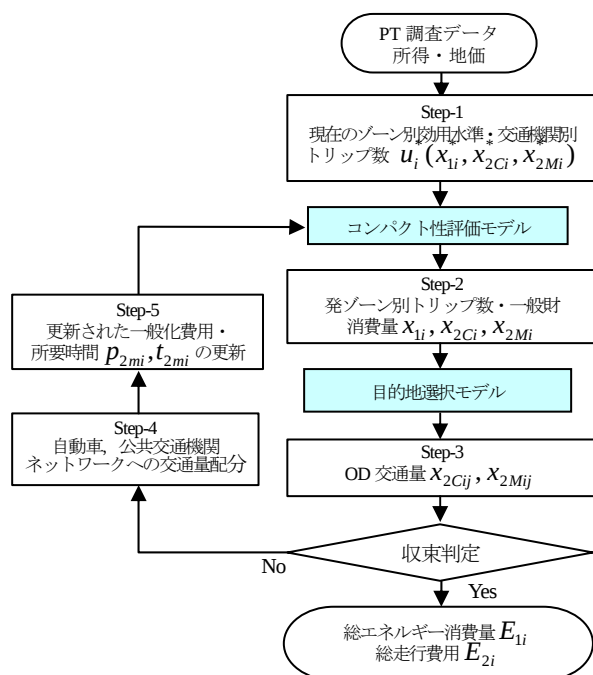


図-1 コンパクト性評価の分析フロー

行う。以下、各ステップを概説する。

Step-1: 式(6), (7)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} と一般財の需要 x_{1i} を算出する。

Step-3: ゾーン i の居住人口, ゾーン間一般化費用 p_{2Ci}, p_{2Mi} を説明変数とした集計化型ロジットモデルモデルによって, 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。

ここでは, 一般財と交通サービスの消費によって発生する以下のエネルギー消費量 E_{1i} と総走行費用 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

$$E_{1i} = e_1 x_{1i} + e_2 t_{2Ci} x_{2Ci} + e_3 t_{2Mi} x_{2Mi} \quad (10)$$

$$E_{2i} = p_{2Ci} x_{2Ci} + p_{2Mi} x_{2Mi} \quad (11)$$

e_1, e_2, e_3 は一般財, 自動車と公共交通機関のエネルギー消費原単位 (kcal/人・分, kcal/人・分) であり, t_{2Ci}, t_{2Mi} は両交通手段によるゾーン i からの平均所要時間である。この多目的最適化問題であるコンパクト性評価モデルを解く際, スカラー化の方法として線形加重和解法を用いた。

図-2 に 1984, 1997 年の PT 調査時の実績と最適時のコンパクト性評価指標値を示し, その結果を考察する。

- 1) 1997 年の総エネルギー消費量と総走行費用の実績値は, 1984 年の 1.51 倍, 2.11 倍になっている。
- 2) 両時点とも, 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一般財消費か公共交通機関トリップ, あるいは両者の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。
- 3) 両時点とも, 最適時には実績よりも総エネルギー消費量は減少するが, 総走行費用は増加する。
- 4) 1984 年に比較して 1997 年の方が最適化による総エネルギー消費量の削減効果は小さく, 総走行時間の増加効果は大きい。
- 5) $\beta_1 : \beta_2 = 0.85 : 0.15$ として総走行費用を目的関数に取り込んだ場合, 総エネルギー消費量だけを目的関数としたときの最適な総走行費用を削減させ, かつ実績の総エネルギー消費量をも削減する解を得ることができる。

4. おわりに

自動車トリップによるエネルギー消費比率を減少させることによって都市の総エネルギー消費量を削減可能であり, 相反す総走行費用の増加も抑えることが可能である。

参考文献

- 1) 土井俊祐・青山吉隆・中川大・柄谷友香・近成純: 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

	1997		1984	
	実績	最適時	実績	最適時
$\beta_1 : \beta_2 = 1 : 0$				
総エネルギー消費量	1.08×10^{10}	1.06×10^{10}	7.13×10^9	6.77×10^9
総走行費用	108,735	144,977	51,478	65,424
$\beta_1 : \beta_2 = 0.85 : 0.15$				
総エネルギー消費量		1.07×10^{10}		6.96×10^9
総走行費用		116,602		59,337

注) 総エネルギー消費量, 総走行費用の単位は, それぞれ kcal/日, 万円

図-2 コンパクト性評価指標の比較