

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*

A Study on traffic Policy focused on mobility and energy efficiency *

土井俊祐**・青山吉隆***・中川大****・柄谷友香*****・近成純*****

By Shunsuke DOI・Yoshitaka AOYAMA・Dai NAKAGAWA・Yuka KARATANI・Jun CHIKANARI

1. はじめに

近年、各所で持続可能な交通に関する議論が盛んに行われており、エネルギー消費や環境負荷を削減する方策が模索されている。しかしそうした議論の中では、人々のモビリティの維持について、必ずしも定量的に考慮されているとは言えない。

そこで、本研究においては、人の移動度合いを表す指標として、モビリティ水準を定量的に定義し、モビリティ水準を維持した上で交通エネルギー消費最小化を実現できる機関分担を明らかにする。また、これらの理論を京阪神都市圏に適用し、モビリティ水準及びモビリティ効率性指標を算定し、モビリティ効率性と都市特性との関連分析を行う。また、モーダルシフトによる、モビリティ水準の維持制約下における交通環境負荷低減の可能性を明らかにする。

なお本研究は近成ら¹⁾の研究に改良を加え発展させたものである。具体的には、より個人のモビリティに着目したものである。

2. モビリティ水準の定義

(1) モビリティの定義

アメリカのDOTが1997年にまとめた”Transportation Statistics Annual Report 1997”²⁾において、モビリティは「移動可能性 (the potential for movement)」と定義されており、さらにそれらを「純粹」なモビリティと「顕在化した」モビリティの二つに分類している。「純粹な」モビリティは人や物資の移動に関連しており、交通施設の利用しやすさや利用コストが含まれる。一方、「顕在化した」モビリティは、「高いモビ

*キーワード: モビリティ、エネルギー消費、環境負荷

**学生員、京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻

***フェロー、工博、京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻

****正会員、工博、京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻

*****正会員、工博、京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻

(〒606-8501 京都市左京区吉田本町

TEL075-753-5139 FAX075-753-5759)

*****正会員、工修、兵庫県土木整備部土木局

リティを享受する人は低いモビリティを享受する人よりも多く移動する」という考えに基づいた概念で、一定時間内に生成されたトリップの数や人・kmによって定義されるものとしている。本研究においては、この中でも「顕在化した」モビリティに着目し、生成されたトリップを用いたモビリティ水準を計測する。

(2) モビリティ水準の定義

本研究においては、モビリティ水準が交通機関や交通目的などのトリップ属性ごとのトリップで構成されると考え、式(1)のように定義する。

$$M_i = f(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im}) \quad (1)$$

ただし、 M_i : ゾーンiのモビリティ水準、 x_m : ゾーンi発のトリップ属性mを用いたトリップ数 (トリップ人・日)、 m : トリップ属性を表す添え字、である。

3. モビリティ水準の算出

本研究では、モビリティ水準算出にあたり、交通一般化費用最小問題を考える。個人は生活するのに必要なモビリティを維持しつつ交通一般化費用を最小化する行動を現実に行っているものとし、式(2)のように交通一般化費用最小問題を定式化する。

$$\min G_i = \sum_m C_{im} x_{im} \quad (2)$$

$$\text{s.t. } f(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im}) = M_{i0}$$

ただし、 G_i : ゾーンiの個人が1日に要する交通一般化費用 (円/人・日)、 GC_{im} : ゾーンi発トリップ属性mの一般化費用 (円/トリップ)、 M_{i0} : ゾーンiの個人が現在において享受しているモビリティ水準、である。

なお、この交通一般化費用最小化問題を解くために、モビリティ水準の関数形の特特定化を行う。本研究では、モビリティ水準が自動車、鉄道の機関別トリップ数からなるコブ・ダグラス型の関数で表されると考え、以下のよう定式化する。

$$M_i = x_{ic}^{\alpha_c} \cdot x_{iT}^{\alpha_T} \quad (3)$$

ただし、 α_C, α_T : 自動車、鉄道に対するパラメータ ($\alpha_C + \alpha_T = 1$ を満たす非負の実数), C, T : それぞれ自動車、鉄道であることを表す添え字, である。
 このとき、交通一般化費用最小化問題を図示すると図1のようになる。

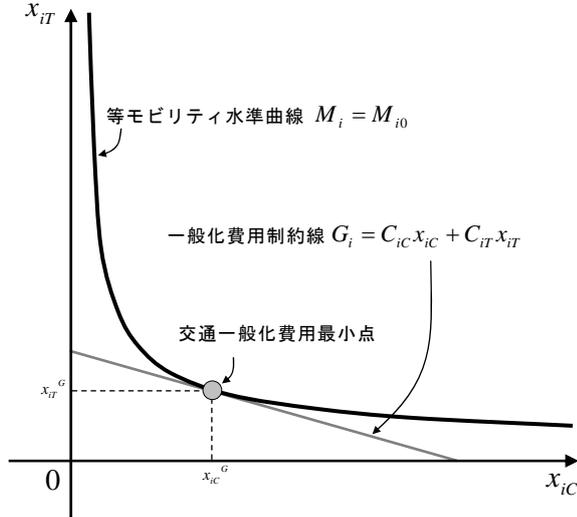


図1 交通一般化費用最小化問題

モビリティ水準が式3のような形で表されるとし、ラグランジュの緩和問題を考えると、機関別のトリップ数は式(4), (5)のように求まる。

$$x_{iC}^G = \left(\frac{\alpha_C \cdot C_{iT}}{\alpha_T \cdot C_{iC}} \right)^{\alpha_T} M_{i0} \quad (4)$$

$$x_{iT}^G = \left(\frac{\alpha_T \cdot C_{iC}}{\alpha_C \cdot C_{iT}} \right)^{\alpha_C} M_{i0} \quad (5)$$

そして、算定された自動車、鉄道の機関別交通量を用いると、モビリティ水準一定化で最小となる交通一般化費用は以下のように求められる。

$$G_i^* = C_{iC}x_{iC}^G + C_{iT}x_{iT}^G \quad (6)$$

モビリティ水準の具体的な数量化に際しては、後述する。

4. エネルギー消費を最小にする交通機関分担の算出

現行のモビリティ水準を制約条件にした交通エネルギー消費最小化問題を考える。この問題を解くことにより、モビリティ水準一定化でのエネルギー消費最小化を実現する交通機関分担を算定できる。

まず、エネルギー消費量を式(7)のようにして算出する。

$$E_i = e_C x_{iC} d_{iC} + e_T x_{iT} d_{iT} \quad (7)$$

ただし、 E_i : ゾーン*i*の交通エネルギー消費量 (kcal/人・日), e_C, e_T : 自動車及び鉄道のエネルギー消費原単位 (kcal/人・km), d_{iC}, d_{iT} : 自動車・鉄道を用いた際の平均トリップ距離 (人・km/トリップ) である。

モビリティ水準制約下の交通エネルギー消費最小化問題は以下のように定式化される。

$$\min E_i = e_C \cdot d_{iC} \cdot x_{iC} + e_T \cdot d_{iT} \cdot x_{iT} \quad (8)$$

$$s.t. \quad M_i = M_{i0}$$

このエネルギー消費最小化問題を図示したのが図2である。

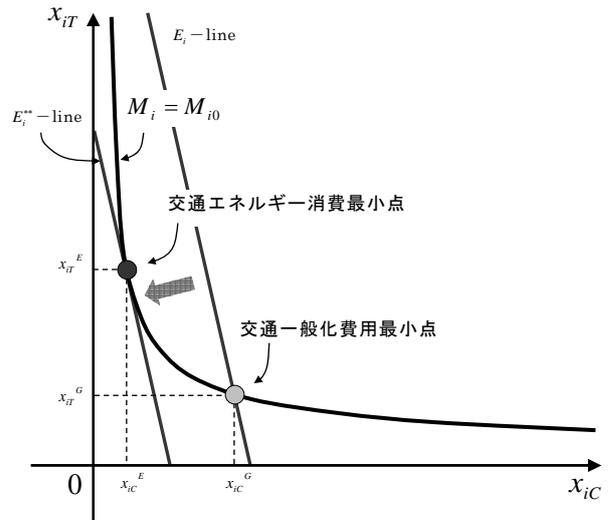


図2 エネルギー消費最小化問題

この問題も交通一般化費用最小化問題と同様にラグランジュの緩和問題を考えると、エネルギー消費最小化を実現する交通機関分担は以下のように算定できる。

$$x_{iC}^E = \left(\frac{\alpha_C \cdot e_T \cdot d_{iT}}{\alpha_T \cdot e_C \cdot d_{iC}} \right)^{\alpha_T} M_{i0} \quad (9)$$

$$x_{iT}^E = \left(\frac{\alpha_T \cdot e_C \cdot d_{iC}}{\alpha_C \cdot e_T \cdot d_{iT}} \right)^{\alpha_C} M_{i0} \quad (10)$$

そして、算定された自動車、鉄道の機関別交通量を用いると、モビリティ水準一定化で最小となるエネルギー消費量は以下のように求められる。

$$E_i^{**} = e_C \cdot d_{iC} \cdot x_{iC}^E + e_T \cdot d_{iT} \cdot x_{iT}^E \quad (11)$$

5. 京阪神都市圏における実証分析

以上の理論を京阪神都市圏において適用し、実証分析を行う。

(1) 算定に用いたデータ

機関別交通量に関しては、1990年、2000年の計2カ年の京阪神PT調査を基礎データとして用いる。また本研究で対象とする京阪神の都市は過去2回の京阪神PT調査対象都市である153市区町村とする。なお経年的な分析を行うために、行政区分は2000年度のものを全ての年度において採用する。

機関別の交通一般化費用に関しては、自動車、鉄道ともにネットワークを作成し、Dijkstra法を用いることにより、ゾーン間の最小一般化費用を算出した。そして京阪神PT調査から集計したOD間の機関別トリップ数の値を用いて加重平均することにより、ゾーン発の1トリップあたりの機関別平均一般化費用を算出する。

トリップ距離については、機関別に、最小一般化費用を実現する経路の距離をネットワークから算出し、一般化費用と同様、集計したOD間の機関別トリップ数の値を用いて加重平均することにより、ゾーン発の1トリップあたりの機関別平均トリップ距離を算出する。

エネルギー消費原単位については、1965年以降の機関別エネルギー消費原単位が算定されている、(財)日本エネルギー経済研究所 計量分析部の交通部別輸送機関別エネルギー消費原単位³⁾を用いる。

(2) モビリティ水準の数量化

人々がモビリティを維持しつつ交通一般化費用を最小にするように行動すると仮定し、その結果顕在化した機関別トリップ数が式(4)、(5)のようになっているとすると、モビリティ水準のパラメータは以下のように算出できる。

$$\alpha_{iC} = \frac{C_{iC} \cdot x_{iC}}{C_{iC} \cdot x_{iC} + C_{iT} \cdot x_{iT}} \quad (12)$$

$$\alpha_{iT} = \frac{C_{iT} \cdot x_{iT}}{C_{iC} \cdot x_{iC} + C_{iT} \cdot x_{iT}} \quad (13)$$

なお、実際にモビリティ水準を算定する際には、ゾーン間の比較を行うために、京阪神全体での共通のパラメータを推定する必要がある。推定されたパラメータを表1に示す。これらのパラメータを用いてゾーン毎にモビリティ水準の数量化を行う。

表1 推定されたパラメータ

年度	α_C	α_T
1990	0.390	0.610
2000	0.467	0.533

(3) モビリティ水準の空間分布

以上のようにして算出されたモビリティ水準の空間分布を図3に示す。

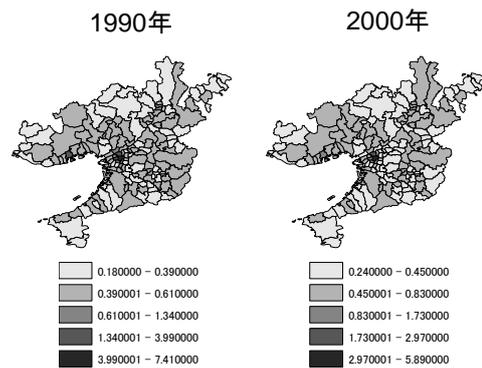


図3 モビリティ水準の空間分布

モビリティ水準の空間分布を概観すると、どちらの年度においても大阪市、神戸市、京都市などの都心部は高いモビリティ水準を有していることが分かる。その周辺部に着目すると、衛星都市部と郊外部との較差が縮まっていき、2000年においては逆転しているところもある。モータリゼーションの進展の結果、郊外部は以前より高度なモビリティを獲得するようになったと言えよう。

(4) モビリティ効率性指標の空間分布

都市のエネルギー効率を定量化するものとしてモビリティ効率性指標を定義する。モビリティ効率性指標はモビリティ水準をエネルギー消費量で除することで、式(14)のように算定する。この指標はエネルギーを単位量消費した時に得られるモビリティを表し、その値が小さいほど効率性は悪く、大きいほど効率性が良いことを示す。

$$EOM_i = \frac{M_i}{E_i} \quad (14)$$

モビリティ効率性指標もモビリティ水準と同様に市区町村毎に算出する。その結果を図4に示す。

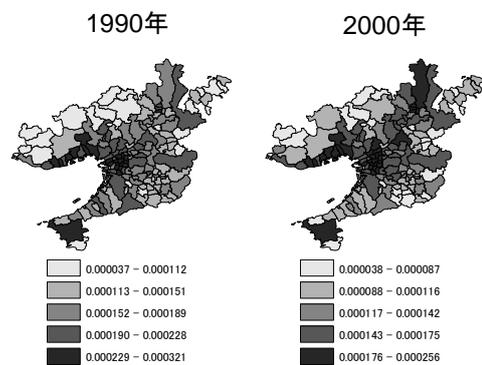


図4 モビリティ効率性指標の空間分布

モビリティ効率性指標については、どちらの年度においても大阪市のような都心部ほどその値が高く、交通エネルギー効率的に優れているが、郊外部にいくにしたがって悪化しており、その差は拡大する傾向にある。高

いモビリティ獲得の代償として、郊外部においてはより多くのエネルギーが消費されていることが分かる。

(5) モビリティ効率性指標と都市特性との関連分析

モビリティ効率性指標を用いて、都市特性との関連分析を行うことにより、どのような都市構造を有する都市が交通エネルギー効率性に優れているかを明らかにする。なお、ここでは重回帰分析を用いた。その結果を表2に示す。なお、説明変数中の鉄道の人口カバー率とは、鉄道を用いた際に一般化費用が一定金額内で到達可能なゾーンの人口を足し合わせ、京阪神の総人口で除したものをゾーン毎に算出したものである。鉄道インフラの有無とはダミー変数であり、市区町村内に駅がなく、かつ最寄り駅まで2000m以上離れている場合を1、それ以外を0としたものである。

表2 重回帰分析の結果

説明変数	1990年	
	標準偏回帰係数	t値
可住地人口密度(人/km ²)	0.408	5.613
DID人口比(%)	0.153	2.235
鉄道の人口カバー率(%)	0.298	4.186
鉄道インフラの有無	-0.168	-3.447
定数項		14.221
自由度調整済み決定係数	0.692	

説明変数	2000年	
	標準偏回帰係数	t値
可住地人口密度(人/km ²)	0.461	6.025
DID人口比(%)	0.182	2.914
鉄道の人口カバー率(%)	0.240	3.307
鉄道インフラの有無	-0.137	-2.921
定数項		12.993
自由度調整済み決定係数	0.716	

重回帰分析の結果、1990年と2000年における自由度調整済み決定係数の値はそれぞれ0.692,0.716となり、概ね良好な説明力を得ることができた。各説明変数の標準偏回帰係数に着目すると、高密度化かつ公共交通の発達している都市において、モビリティ効率性指標の値は高くなり、交通のエネルギー効率性が比較的良いことが明らかである。

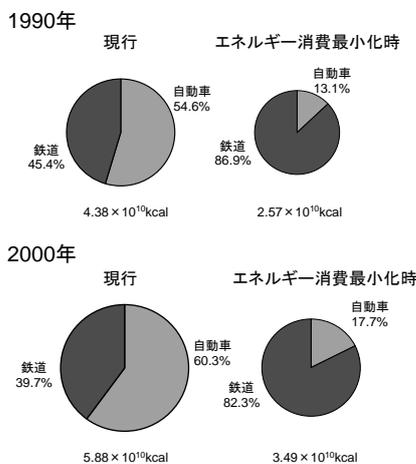


図5 現行及びエネルギー消費最小化時の機関分担率とエネルギー消費量

(6) 交通エネルギー消費最小化時の機関分担

式(2)で定義したモビリティ維持下における交通エネルギー消費最小化問題を解くことにより、交通エネルギー消費最小化時における機関分担及びそのときのエネルギー消費量を京阪神都市圏全体で算定する。その結果を図5に示す。この図から分かる通り、いずれの年度においても、多くの自動車トリップを鉄道トリップに転換させることで、モビリティ水準を維持しながら、相当量の交通エネルギー消費削減が可能であることが言える。

6. まとめ

本研究では、人の移動度合いを表すモビリティに着目し、モビリティ水準及びモビリティ効率性指標を定義することにより、都市における交通行動の水準および交通エネルギー効率を定量化した。また、モビリティ水準の維持を考慮した上で交通エネルギー消費を最小化する機関分担率の算出法を明らかにした。

これらの理論を京阪神都市圏において適用した結果、郊外部においても一定のモビリティが獲得されていることが確認されたが、交通エネルギー効率の観点から見ると、都心部と郊外部では大きな較差があることが分かった。また、交通におけるエネルギー効率に優れた都市は、高密度かつ公共交通の利便性が高い地域であることが明らかになった。さらに、現行のモビリティ水準を維持しながら交通エネルギー消費量を最小化する機関分担率を算定した結果、大幅なモーダルシフトを行うことにより、交通エネルギー消費量を大きく削減できる可能性があることが分かった。これらのことから分かる通り、エネルギー消費削減のためには自動車トリップを鉄道トリップに転換させるような施策を行う必要があるだろう。

また、本研究において、人々の交通行動水準及び交通エネルギー効率を定量化したことにより、例えば、交通シミュレーションモデルを構築して、環境省試案の環境税⁴⁾等の交通施策改善施策の効果分析を行うことなどが可能になる。

参考文献

- 1) 近成純・青山吉隆・中川大・松中亮治：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に関する研究，都市計画論文集，No.38，pp547-552，2003.
- 2) US Department of Transportation, Bureau of Transportation Statistics: Transportation Statistics Annual Report 1997:Mobility and Access, 1997.
- 3) (財)日本エネルギー経済研究所：エネルギー・経済統計要覧2002，2002.
- 4) 環境省：環境税の具体案，2004.
<http://www.env.go.jp/policy/tax/041105/all.pdf>