

# 高速道路料金政策の地方都市圏への影響分析のための統合型交通均衡配分モデルの構築

堀広毅<sup>1</sup>・奥嶋政嗣<sup>2</sup>

<sup>1</sup>学生員 徳島大学大学院 先端技術科学教育部 エコシステム工学コース 博士前期課程

<sup>2</sup>正会員 徳島大学大学院 ソシオテクノサイエンス研究部 エコシステムデザイン部門 准教授  
(〒770-8506 徳島市南常三島町 2-1)

E-mail: [okushima@eco.tokushima-u.ac.jp](mailto:okushima@eco.tokushima-u.ac.jp)

近年高速道路料金制度の見直しにより、交通渋滞の増加などの影響が起こっており、このような影響を定量的に把握し、高速道路料金設定の適正な評価が必要であると考えられる。本研究では、高速道路料金設定に対応した統合型交通均衡配分モデルを構築し、高速道路料金政策が地方都市圏の交通流動に与える影響を分析する。ここで徳島広域都市圏を対象として、圏域外から流出入に関する自動車交通需要関数のパラメータ推定を行うとともに、圏域内々での交通機関分担モデルを構築した。これらの圏域外流出入交通の需要関数および圏域内々交通機関分担モデルを既存の需要変動型均衡配分モデルに組み込み統合した。この統合型交通均衡配分モデルを用いて高速道路料金施策案実施時における交通需要を推計し、交通流動変化の影響を分析した。

**Key Words** : *expressway toll, user equilibrium assignment, travel demand function, mode choice*

## 1. はじめに

近年、休日特別割引や無料制度および上限料金制度が検討されるなど経済的効果に着目した高速道路料金制度の見直しが議論になっている。一方で、高速道路路線が供用されている地方都市の交通流動に与える影響は多大であることが明白である。したがって、高速道路料金設定の検討にあたっては、このような影響を定量的に把握し、高速道路料金設定の適正な評価が必要である。

本研究では高速道路料金設定に対応した交通需要推計を可能とする。具体的には、地方都市圏内における自動車交通需要および公共交通需要とともに、圏域外からの流出入自動車交通需要を推計する。このため、圏域内交通機関分担を含む統合型交通均衡配分モデルを構築する。これより、高速道路料金政策による地方都市圏の交通流動に与える影響が分析可能となる。

## 2. 統合型交通均衡配分モデルの構築

高速道路料金政策が地方都市圏の交通流動へ与える影

響を分析するために、既存の需要変動型利用者均衡配分モデルを拡張した統合型交通均衡配分モデルを構築する。

### (1) 統合型交通均衡配分モデルの基本構造

ここでは、高速道路料金政策の影響分析のための統合型交通均衡配分モデルの基本構造について整理する。

地方都市圏内における自動車交通需要および公共交通需要に関しては、パーソントリップ調査データにより把握可能である。また、圏域外からの流出入に関しては、自動車 OD 交通量は道路交通センサス調査により交通流動が把握できる。一方、公共交通利用トリップについては、圏域外からの流出入に関する抽出率の高い調査データが存在しない。このため、本研究で提案する統合型交通均衡配分モデルでは、圏域内ゾーンペアでの自動車 OD 交通量を交通機関分担モデルにより記述し、圏域外からの流出入ゾーンペアでの自動車 OD 交通量を交通需要関数型モデルで表現することとする。

提案モデルにおける計算アルゴリズムの概要を図 1 に示す。基本的な計算過程は既存の需要変動型利用者均衡配分モデルと同様に Frank-Wolfe 法<sup>1)</sup>に基づいている。既

存モデルと提案モデルの相違点は、交通需要関数（およびその逆関数）がゾーンペアにより異なることである。このため、均衡解の算定過程においては、[1]自動車 OD 交通量の算出および[2]等価な数理計画問題の目的関数値の算出が相違することになる。

「自動車 OD 交通量の算出」は「圏域内々ゾーンペア」と「圏域外からの流入ゾーンペア」の 2 種類に区別される。「圏域内々ゾーンペア」では、トリップ目的別に二項ロジット型交通機関分担モデルにより OD 間自動車交通量を算出する。一方、「圏域外からの流入ゾーンペア」では、流出ゾーンペアおよび流入ゾーンペア別の重力モデル型の交通需要関数により OD 間自動車交通量を算出することとする。

一方、提案する統合型交通均衡配分モデルにおける等価な数理計画問題の目的関数は式(1)のように表せる。

$$\begin{aligned} \min Z = & \sum_{a \in A} \int_0^{x_a} t_a(w) dw + \frac{1}{\xi} \sum_{a \in A} x_a \cdot \pi_a - \frac{1}{\xi} \sum_{rs \in \Omega_{out}} \int_0^{q_{rs,out}} D_{rs,out}^{-1}(w) dw \\ & - \frac{1}{\xi} \sum_{rs \in \Omega_{in}} \int_0^{q_{rs,in}} D_{rs,in}^{-1}(w) dw + \frac{1}{\xi} \sum_{rs \in \Omega_{area}} \sum_m \int_0^{\hat{q}_{rs,m}} \left( \frac{1}{\theta} \ln \frac{w}{\bar{q}_{rs,m} - w} \right) dw \\ & - \frac{1}{\xi} \sum_{rs \in \Omega_{area}} \sum_m \hat{q}_{rs,m} \frac{V_{rs,m}^{Pub}}{\theta_c} \end{aligned} \quad (1)$$

$t_a(x)$  : リンク  $a$  の走行時間関数,  $x_a$  : リンク  $a$  の交通量,  
 $\pi_a$  : リンク  $a$  の課金額,  $\xi$  : 時間価値,  $q_{rs,out}$  : 圏域外への流出 OD ペア  $rs$  間の分布交通量,  $q_{rs,in}$  : 圏域外からの流入 OD ペア  $rs$  間の分布交通量,  $\bar{q}_{rs,m}$  : 圏域内 OD ペア  $rs$  間のトリップ目的  $m$  における分布交通量,  $\hat{q}_{rs,m}$  : 圏域内 OD ペア  $rs$  間の公共交通利用交通量,  $V_{rs,m}^{Pub}$  : 圏域内 OD ペア  $rs$  間の公共交通利用の確定効用,  
 $\Omega_{out}$  : 圏域外への流出 OD ペアの集合,  $\Omega_{in}$  : 圏域外からの流入 OD ペアの集合,  $\Omega_{Area}$  : 圏域内の起点-終点ペアの集合,  $D_{rs,out}^{-1}(w)$  : 圏域外への流出 OD ペア  $rs$  間の交通需要関数の逆関数,  $D_{rs,in}^{-1}(w)$  : 圏域外からの流入 OD ペア  $rs$  間の交通需要関数の逆関数

ここで第 1 項および第 2 項は需要固定型利用者均衡配分モデルの目的関数と同一である。一方、第 3 項は圏域外への流出に関する経路交通費用の時間換算の積分値、第 4 項は圏域外からの流入に関する経路交通費用の時間換算の積分値、第 5 項は圏域外への流出に関する経路交通費用の時間換算の積分値、第 6 項は圏域内々の公共交通費用合計の時間換算値であり、既存の需要変動型利用者均衡配分モデルおよび機関分担 - 配分統合モデルより容易に導出できる。

以上のようにモデル構造を規定することで、圏域内だけでなく、圏域外の高速度道路の料金設定にも対応した交通需要推計が可能となる。

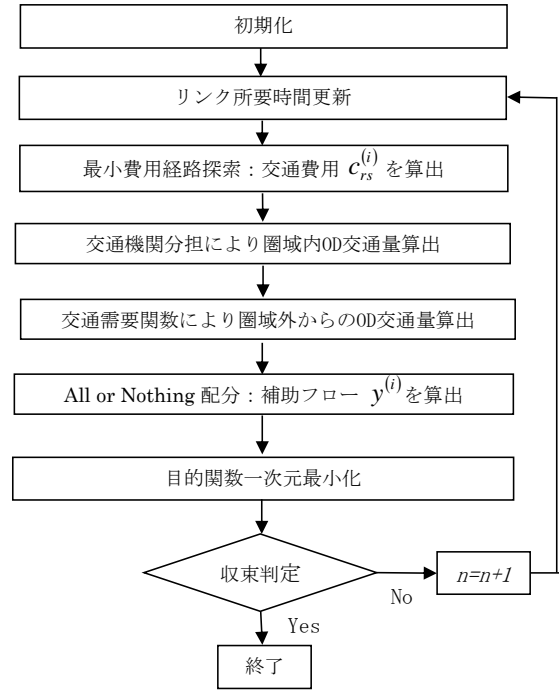


図1 交通需要推計計算フロー

## (2) 圏域外流出入交通の需要関数

ここでは、圏域外からの流入ゾーンペアにおける交通需要関数の設定について検討する。

本研究では、神戸淡路鳴門自動車道の料金設定の変動により交通流動に顕著な影響がみられる徳島広域都市圏を対象とする。ここで、徳島広域都市圏 PT 調査の対象圏域を圏域内とし、それ以外を圏域外とする。またゾーン区分に関して、圏域内は 36 ゾーンを設定し、圏域外については徳島県内 4 ゾーンおよび県外は都道府県単位の 45 ゾーンとし、合計 85 ゾーンを設定した。以上のようなゾーン区分に基づいて、具体的なモデル構成を検討する。

ここで圏域外からの流入ゾーンペアにおける交通需要関数については、流出交通および流入交通を区分して交通需要関数を設定する。これは、流出交通、流入交通ではそれぞれ交通需要の構造が相違すると考えられるためである。また県内のゾーンと県外ゾーンではゾーン規模が大きく異なるので流出入を同様に扱うのは適切でないことが理由としてあげられる。具体的には以下の手順で流出入別交通需要関数を構築した。

[1] 圏域外ゾーンからの発生交通量および集中交通量について整理した結果、徳島県内の圏域外ゾーン関連の交通量が、隣接する香川県を除く県外ゾーンと比較して非常に大きいことを確認した。一方、人口などのゾーン指標に関しては、徳島県内の圏域外ゾーンでは、県外ゾーンと比較して非常に小さくなる。このため、徳島県内の圏域外ゾーン関連の OD ペアに関しては、県外ゾーンと差別化する必要があることがわかった。

[2] 圏域内ゾーンからの発生交通量および集中交通量と各種ゾーン指標の関係を分析した結果として、発生交通量については人口指標との相関が、集中交通量についてはゾーン面積との相関がみられた。このため、流出交通については圏域内ゾーン人口、流入交通については圏域内ゾーン面積を、圏域外からの交通需要の要因となることがわかった。

[3] OD 交通量と OD 間指標の関係について分析した結果として、流出入ともに圏域外ゾーンの時間価値に基づいて算出した一般化費用との相関が高いことがわかった。

以上のような点を考慮して、重力モデル形式の交通需要関数を構成した。圏域外への流出交通の需要関数を式(2)に、流入交通の需要関数を式(3)に示す。

$$q_{rs,out} = D(C_{rs,out}) = d^{\delta_{out}} \cdot \frac{(P_r)^{\alpha_{out}} \cdot (P_s)^{\beta_{out}}}{(C_{sr})^{\gamma_{out}}} \quad (2)$$

$$q_{rs,in} = D(C_{rs,in}) = d^{\delta_{in}} \cdot \frac{(Y_r \cdot P_r)^{\alpha_{in}} \cdot S_s^{\beta_{in}}}{(C_{rs})^{\gamma_{in}}} \quad (3)$$

$\delta$  : 県内圏域外とのゾーン関連ダミー,

$S_s$  : 圏域内ゾーン  $s$  の面積,

$P_r$  : ゾーン  $r$  の居住人口(千人),

$C_{rs}$  : OD ペア  $rs$  間の自動車利用一般化交通費用(千円)

$d, \alpha, \beta, \gamma$  : 重力モデルパラメータ

式(2)および式(3)ともに圏域内ゾーンと徳島県内圏域外ゾーンとの OD ペアにダミー変数を設定している。これは圏域内ゾーンと徳島県内圏域外ゾーンとの OD ペアの OD 交通量が他の OD ペアの OD 交通量に比べ非常に多いことが理由である。また人口および一般化費用ともに単位を調整し推定精度の誤差の低減を図っている。

この重力モデルに関して非線形回帰分析によりパラメータ推定を行う。このとき、自動車利用交通量の実績値としては道路交通センサス調査結果(1999年)を利用する。流出に関する交通需要関数パラメータ推定結果を表1に、流入に関するパラメータ推定結果を表2に示す。

すべてのパラメータに関して統計的に有意な推定結果となった。しかしながら、流出交通の決定係数に関しては十分とはいえない。これは徳島県内圏域外ゾーンへの流出の推計誤差が原因であると考えられる。この点に関しては、今後の推計精度向上が望まれる。

### (3) 圏域内々交通機関分担モデル

ここでは、圏域内々の自動車交通需要を推計するため

表1 流出に関する交通需要関数パラメータ推定結果

重決定 R2	0.323	
変数	推定値	t値
$\alpha_{out}$	1.015	12.109
$\beta_{out}$	0.755	6.136
$\gamma_{out}$	1.979	16.238
$\delta_{out}$	17.809	14.188

表2 流入に関する交通需要関数パラメータ推定結果

重決定 R2	0.813	
変数	推定値	t値
$\alpha_{in}$	1.347	15.983
$\beta_{in}$	0.925	26.446
$\gamma_{in}$	3.780	18.867
$\delta_{in}$	53.683	6.508

表3 圏域内々交通機関分担パラメータ推定結果

トリップ目的(サンプル数)	説明変数	$\Theta$	t値	尤度比
通勤(7146)	一般化費用	-0.0002	-4.004	0.828
	移動距離	0.0466	6.561	
	目的地郊外部ダミー	2.9910	33.140	
通学(752)	一般化費用	-0.0007	-4.406	0.030
	移動距離	-0.0326	-4.800	
業務(4327)	一般化費用	-0.0002	-2.589	0.908
	移動距離	0.9433	25.356	
帰宅(13314)	一般化費用	-0.0004	-11.558	0.434
	移動距離	0.2395	54.442	
	出発地都心部	0.9331	9.784	
私用(8055)	一般化費用	-0.0015	-16.544	0.777
	移動距離	0.0419	5.119	
	出発地郊外部ダミー	2.1536	31.401	

のトリップ目的別非集計型二項ロジット交通機関分担モデルの設定について検討する。

圏域内々トリップ目的別交通機関分担モデルについては、「自動車」および「公共交通」の2交通機関を選択対象とし、非集計型二項ロジットモデルを適用する。ここでトリップ目的は徳島広域都市圏 PT 調査と同様に「通勤」「通学」「業務」「帰宅」「私用」の5目的に分類する。また交通機関の選択要因として、「一般化費用」「移動距離」「出発地の立地」「目的地の立地」を検討する。

このとき、交通機関選択実績データとして徳島広域都市圏パーソントリップ調査データ(2000年)を利用する。各トリップをトリップ目的別に分類してサンプルとし、最尤推定法によりパラメータを推定する。交通機関分担のロジットモデルパラメータ推定結果を表3に示す。

パラメータ推定結果として、すべてのトリップ目的において一般化費用が統計的に有意となった。モデル全体の適合性に関しては、通学を除く4目的に関しては尤度比が高く、精度のよいモデルとなった。一方、通学目的

に関しては推計精度が高いとはいえない。これは通学トリップの場合には、運転免許保有などの個人属性が大きく選択に影響を与えるためであると考えられる。しかしながら、これらの個人属性は利用者均衡配分との統合を前提としているため要因としてモデルに取り入れることは容易ではない。また、通学トリップにおける自動車利用は少なく、高速道路の交通需要へ与える影響は少ないと考えられるため、推定されたパラメータを用いて統合モデルを構成することとした。

### 3. 高速道路料金政策の影響分析

ここでは、構築した統合型交通均衡配分モデルを用いて、高速道路料金政策が地方都市圏の交通流動へ与える影響について分析する。

#### (1) 現況再現性の検証

構築した交通需要推計モデルの現況再現性を検証する。このため、統合型交通均衡配分モデルを用いて、現行の高速道路料金設定に対応した利用者均衡状態を推計した。圏域外に関連する自動車交通需要の推計結果を検証するために、流出入の自動車 OD 交通量の推計結果を実績値と比較して図 2 に示す。一部の OD ペアで誤差はあるが概ね推計精度は良好となった。

つぎに、区間交通量の推計精度を検証するために、実績値として道路交通センサス一般交通量調査データ(1999年)を用いる。平日調査区間の区間交通量の実績値と推計値を比較して図 3 に示す。区間交通量に関しては、全体的に過小推計となっていることがわかる。これはゾーン区分の設定の影響であると考えられる。推計精度の向上のためには道路ネットワークの詳細さに応じたゾーン区分の設定が必要である。

#### (2) 交通需要推計結果

ここでは、典型的な高速道路料金政策として、全高速道路における完全無料化と上限 2000 円化を取り上げる。現行料金設定および 2 種類の料金設定に対して、構築した統合型交通均衡配分モデルにより各 OD 間の交通量と所要時間推計をおこない表 4 に整理した。

圏域内自動車利用者数については完全無料化、上限 2000 円化ともに、ほとんど現行料金設定の場合と差がない。しかしながら、圏域外からの流入および総走行時間は増加している。したがって、圏域外流入の増加ともなっており、圏域内で交通混雑が発生し、圏域内トリップも含めた走行時間が増加するものと考えられる。

また、現行料金設定と完全無料化における区間交通量の推計値の差を、道路網に対応させて図 4 に示す。

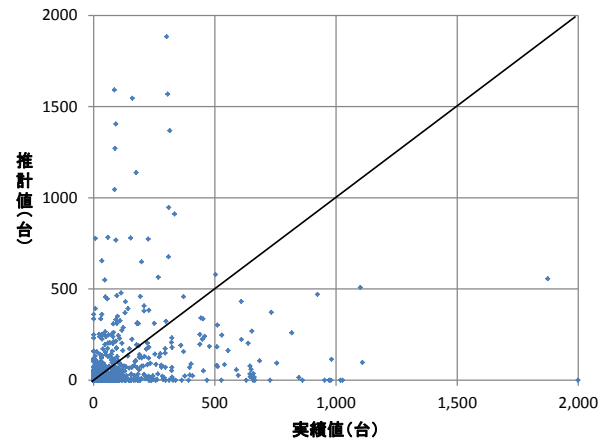


図 2 圏域外関連自動車 OD 交通量の現況再現性

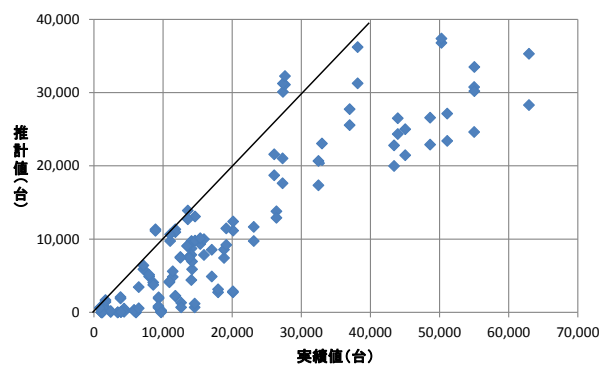


図 3 リンク交通量の現況再現性

表 4 高速道路料金政策の対象圏域への影響

料金設定	圏域内自動車利用者(トリップ)	総走行時間(万時間)	圏域外流入(台)
現行	488,946	1,943	107,706
無料	487,641	4,179	233,061
2000円	487,868	3,753	214,743

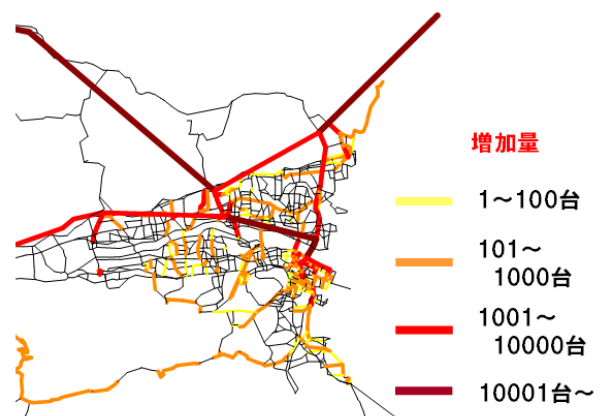


図 4 無料化により交通量が増加したリンク

神戸淡路鳴門自動車道の交通量の増加が、特に顕著であり、現行料金との料金差が大きく、圏域外からのが大幅に増加することがわかる。また徳島自動車道の交通量も大幅に増加している。これより、並行する一般国道から高速道路への転換が促進されることがわかる。

#### 4. おわりに

本研究では、高速道路料金設定に対応した圏域内交通機関分担を含む需要変動型利用者均衡配分モデルを構築し、高速道路料金政策の影響分析を行った。本研究の成果は以下のように整理できる。

- 1) 高速道路料金設定に対応した交通需要変動を的確に推計するために、圏域内での自動車需要をロジット型交通機関分担モデルにより記述し、圏域外からの流出入自動車需要は流出自動車交通需要および流入自動車交通需要を交通需要関数で表現する統合型利用者均衡配分モデルの基本構造と均衡解算定アルゴリズムを提案した。
- 2) 地方都市の交通調査データを用いて、圏域外からの流出入別の交通需要関数パラメータおよび、圏域内での非集計二項ロジット型交通機関分担モデルパラメータを推定し、提案した統合型利用者均衡配分モデルを適用可能とした。

- 3) 完全無料化および上限2000円化の2種類の高速道路料金政策について、提案した統合型利用者均衡配分モデルを適用して、現行料金設定に対する圏域内の交通流動変化への影響を分析した。

今後の課題としては(1)高速道路料金政策における圏域外での所要時間変化の影響も評価可能なモデルの構築、(2)ネットワークの詳細さに応じたゾーン区分の見直しなどが挙げられる。

#### 参考文献

- 1) 土木学会・土木計画学研究委員会・交通需要予測技術検討小委員会編：道路交通需要予測の理論と適用 第Ⅱ編利用者均衡配分モデルの展開，土木学会，pp.163-172，2006.
- 2) 土木学会・土木計画学研究委員会・「交通ネットワーク」出版小委員会編：交通ネットワークの均衡分析，土木学会，1998.
- 3) 文世一：交通混雑の理論と政策，東洋経済新報社，2005.
- 4) 山内弘隆，竹内健蔵：交通経済学，有斐閣アルマ，2002.
- 5) 奥嶋政嗣，秋山孝正：交通均衡分析を用いた都市高速道路の対距離料金制度の検討，交通学研究／2005年研究年報（通巻49号），pp.81-90，2006.

## Integrated Traffic Equilibrium Assignment Model for Impact Analysis of Expressway Toll Policy to Local City Area

Hiroki HORI and Masashi OKUSHIMA