

交通需要の弾力性を考慮した 都市高速道路料金に関する考察

藤井 勇樹¹・井ノ口 弘昭²・秋山 孝正³・奥嶋 政嗣⁴

¹学生会員 関西大学大学院 理工学研究科 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町3-3-35)

E-mail:k196746@kansai-u.ac.jp

²正会員 関西大学 環境都市工学部 都市システム工学科 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町3-3-35)

E-mail:akiyama@kansai-u.ac.jp

³正会員 関西大学 環境都市工学部 都市システム工学科 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町3-3-35)

E-mail:hiroaki@inokuchi.jp

⁴正会員 徳島大学大学院 ソシオテクノサイエンス研究部 (〒770-8506 徳島市南常三島町2-1)

E-mail: okushima.masashi@tokushima-u.ac.jp

わが国の都市高速道路は、平成24年1月に均一料金制から対距離料金に移行した。これまで都市高速道路料金は償還原則に基づき決定され、料金の弾力的な運用による交通運用は想定されていない。本研究では、現実規模の都市道路網を想定して、都市高速道路の対距離料金設定に基づく利用者均衡状態を推計するモデルを作成する。また、料金水準の変化による交通需要への影響を分析するため、価格弾力性の異なる需要関数を用いて、需要変動を考慮した交通量配分を行う。

Key Words : urban expressway、 traffic assignment model、 toll of urban expressway、 electric toll collection system、 demand function

1. はじめに

首都高速道路・阪神高速道路の二つの都市高速道路は、平成24年1月に均一料金制から対距離料金制へ移行した。ETC利用を前提とすることで、利用距離に応じたランプ間料金について様々な料金設定の検討が可能である。

料金の弾力的運用に基づく交通調整は、次善料金として位置づけられ、都市高速道路の交通運用方策として重要である。これまで、都市高速道路の各ランプ間の多様な料金を意図した対距離料金制について、社会的便益である利用者便益を用いて検討が行なわれている¹⁾。

本研究では、図1に示す都市高速道路を含む京阪神の道路網を対象に高速道路料金を考慮した交通量配分モデルについて検討する。また、対距離料金設定によって都市高速道路の乗りつぎ利用が増加することが考えられる。そして、料金水準の変更は交通需要に影響を与える。

このことから、乗りつぎ現象を考慮した弾力性の異なる需要変動型利用者均衡配分モデルを用いて、都市高速道路を含む都市道路網における交通需要の弾力性の分析を行う。

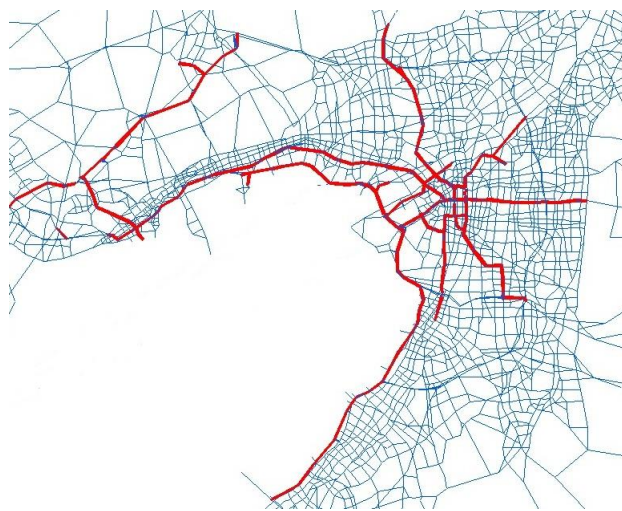


図1 京阪神都市圏の都市道路網(阪神高速道路を含む)

2. 都市高速道路の料金制度

(1) 都市高速道路の対距離料金制

わが国の高速道路は都市間高速道路と都市高速道路の2種類に大きく分けられる。都市間高速道路は、距離の離れた大都市間を結ぶ国道であり、ランプ間の距離が長

く利用距離の差が大きいため、後払いの対距離料金制度が適用されてきた。一方、都市高速道路は近隣都市間を結ぶ県・府・市道であり、ランプ間の距離が短いために利用距離の差が小さく、入り組んだ都市内に複雑に建設されている中で効率的に料金徴収を行うために、先払いの均一料金制が適用されていた。しかし、ETCシステム(Electric Toll Collection system)の普及により複雑な料金制度でも効率的に料金が徴収できるようになったことを受け、平成24年1月に均一料金から対距離料金に移行された。各料金設定を図2に示す。

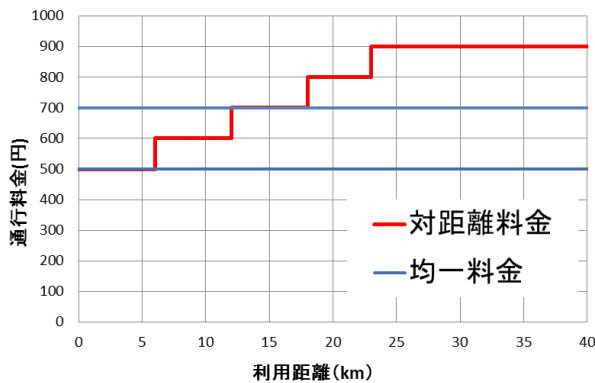


図2 均一料金と対距離料金

(2) 有料道路の料金政策

つぎに、都市高速道路の対距離料金を都市道路網全体の交通調整を意図した次善料金としての設定方法を検討する³⁾。都市道路網における社会的限界費用(SMC)と平均交通費用(AC)は図3のように表される。総交通費用は、交通量と所要時間の積で表される。すなわち、

$$TC(x_a) = x_a \cdot t_a(x_a)$$

である。また、社会的限界費用(SMC)は、単位交通量あたりの総交通費用の増加分に相当する。このため、次式で表される。

$$SMC(x_a) = \frac{dTC(x_a)}{dx} = t_a(x_a) + x_a \frac{dt_a(x_a)}{dx}$$

また、社会的最適点は社会的限界費用曲線と需要曲線の交点であるC点である。このことから、混雑料金を課さない場合の利用者均衡点(E点)の交通量は過大である。これに対して混雑料金を徴収することで、利用者均衡点はC点へ移動する。なお、社会的最適料金はリンク単位で混雑料金を徴収することに対応している。一般道路における料金徴収は、一部で検討されているものの、なお現実ではない。

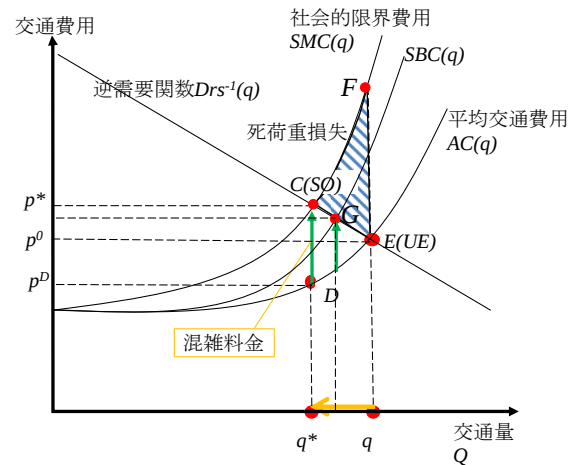


図3 混雑料金の概念

3. 都市高速道路の利用者均衡分析

(1) 料金項の設定方法

料金項を含む利用者均衡配分の式は以下のようにになっている。

$$\min Z = \sum_{a \in A} \int_0^{x_a} t_a(w) dw + \sum_{ij \in \Omega_h} \sum_{l \in K_{ij}} \frac{p_{ij}}{\gamma} f_l^{rs}$$

s.t.

$$\sum_{k \in K_{rs}} f_k^{rs} - q_{rs} = 0, \quad \forall rs \in \Omega$$

$$x_a = \sum_{k \in K_{rs}} \sum_{rs \in \Omega} \delta_{a,k}^{rs} f_k^{rs}, \quad \forall a \in A$$

$$f_k^{rs} \geq 0, \quad x_a \geq 0$$

ここで、 Ω はODペア集合、 K_{rs} はODペア $r-s$ の経路集合、 K_{ij} はランプペア ij の経路集合、 A はリンク集合、 x_a はリンク a の交通量、 q_{rs} はODペア $r-s$ の交通量、 f_k^{rs} はODペア $r-s$ ・経路 k の経路交通量、 p_{ij} は通行料金、 γ は時間価値(45.78円/分)、 $\delta_{a,k}^{rs}$ は $\delta=1$ (リンク a にODペア $r-s$ の k 番目の経路が含まれる場合) $\delta=0$ (リンク a にODペア $r-s$ の k 番目の経路が含まれない場合)を示す。

都市高速道路を経由する経路においては、ランプ間の対距離料金 p_{ij} が賦課される。この場合、OD間の最短経路に都市高速道路の「オンランプ・オフランプ」の組み合わせにより料金額が決定する。ここで、一般道路と都市高速道路を含む都市道路網の最短経路探索において、「出発地～オンランプ」(一般道路)「オンランプ～オフランプ」(都市高速道路)「オフランプ～目的地」(一般道路)の3種類の道路網に分割して計算を実行する。このとき、「オンランプ～オフランプ」(都市高速道路)の移動に料金額相当分の所要時間(一般化所要時

間) が付加した所要時間を用いる。このアルゴリズムの改良により、任意のランプ間対距離料金の設定が可能となっている。

(2) 乗りつぎ現象の算定方法

均一料金制の場合と異なり、対距離料金制においては、OD間の移動に対して、最寄りランプ間の高速道路利用が必ずしも利用者最適ではない。すなわち、OD経路上の複数区間で都市高速道路を利用する交通が発生する。この乗り継ぎ現象を考慮した最短経路探索法について述べる¹⁾。

[STEP1]

OD経路上の都市高速道路ランプペア (i, j) について、都市高速道路網における本線上の最短経路(所要時間)を探索する。この結果、都市高速道路のすべてのランプ間移動の経路を特定して、特定経路を決定する。

[STEP2]

前ステップで算定された各経路(リンク集合)を、ランプ間を直接接続する仮想リンクkを設定する。

この仮想リンクの所要時間はもとの経路所要時間に料金相当分の所要時間が付加される。すなわち、都市高速道路上の現実リンクの連鎖で表現される経路を仮想リンクとして表現する。

[STEP3]

前ステップで構成された仮想リンクを含むネットワークを用いて、最短経路探索を実行する。この例では、都市高速道路を2回利用する(乗り継ぎ)場合が、最短経路として選定されている。したがって、緑色の線で示される経路が最短経路として抽出される。

[STEP4]

仮想リンクの具体的内容をランプ間の移動と料金支払いの単位で表現する。乗り継ぎ回数と上記のランプ間の仮想リンクの設定数は同数になる。

以上のように、このアルゴリズムではOD間の経路について、仮想リンクを都市高速道路上の1回の移動に対応させ、仮想リンクの出現回数と都市高速道路の利用回数を対応づけて乗り継ぎ経路を表現するものである。

これらの最短経路探索手順により、複数回利用交通を考慮したOD間の最短経路探索が可能となる。さらに通常の交通量配分アルゴリズムに付加することで、対距離料金制度の料金設定における「乗りつぎを考慮した交通均衡分析」が実行可能となる。

(3) 需要変動型交通量配分

ここで、需要変動型の交通量配分モデルについて整理し、本研究での設定を述べる。需要変動型の利用者均衡配分の等価な数理計画問題は、次式で表現される。

$$\min Z = \sum_{a \in A} \int_0^{x_a} t_a(w) dw + \sum_{ij \in \Omega_h} \sum_{l \in K_{ij}} \frac{p_{ij}}{\gamma} f_l^{rs} - \sum_{rs} \int_0^{q_{rs}} D_{rs}^{-1}(u_{rs}) du$$

s.t.

$$\sum_{k \in K_{rs}} f_k^{rs} - q_{rs} = 0, \quad \forall rs \in \Omega$$

$$x_a = \sum_{k \in K_{rs}} \sum_{rs \in \Omega} \delta_{a,k}^{rs} f_k^{rs}, \quad \forall a \in A$$

$$f_k^{rs} \geq 0, \quad x_a \geq 0$$

都市高速道路の料金水準の変更は、交通需要に影響を与えると考えられる。例えば、都市高速道路の料金水準を下げた場合、追加的なトリップが発生することが想定される。したがって、交通量配分モデルを用いて、都市高速道路の料金の検討を行う際は、需要変動型の交通量配分モデルを利用することが適切である。そこで、ここでは需要関数を内生化した需要変動型の交通量配分モデルを検討する。

4. 都市高速道路料金設定に関する評価

(1) 現行OD交通量分布の推計

本研究では、平成25年時点の道路網を基準としており、計算に用いる対象のリンク数は7794、ノード数は5264、ゾーン数は400である。

また、リンクパフォーマンス関数は、一般的な交通量配分で用いられているBPR型の関数 ($\alpha : 0.48$ 、 $\beta : 2.82$) を用いている。

所要時間を所要費用に換算するための時間価値は、乗用車類の時間価値原単位である45.78円/分を用いる。²⁾

また、平成25年におけるOD交通量予測を図4に示す均一成長率法で行っている⁵⁾。

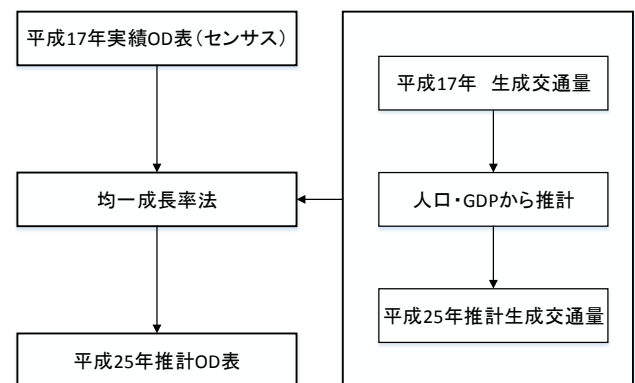


図4 平成25年OD交通量推計手順

(2) OD需要関数の設定

本研究では、対象道路網の需要変動の表現方法として、最も基本的な形式である式(3)の直線型需要関数を用い

表 1 各料金設定の分析結果

価格弾力性	料金	都市高速道路			一般道路	都市道路網全体	
		利用台数 (台)	料金収入 (万円)	総走行時間 (台・時)	総走行時間 (台・時)	総走行時間 (台・時)	総走行時間短縮便益 (万円)
固定需要	現行	760,551	52,182	551,735	11,702,524	12,254,260	
0.1	無課金	1,382,420	0	1,032,865	11,342,538	12,375,403	—
	現行						33,276
0.2	無課金	1,388,280	0	1,078,114	11,432,873	12,510,987	—
	現行						70,518

る。直線型需要関数において重要なのは弾力性の決定である。弾力性とは、交通費用の変化率に対する交通量の変化率のことである。弾力性 ε は以下のような式で表すことができる。

$$\varepsilon = -\frac{\partial q}{\partial p} \cdot \frac{p}{q}$$

ここで、 p : 所要費用、 q : 需要交通量を表す。この弾力性を定義することで需要関数の傾きを求め需要関数の推計を行う。

以下に具体的な推計手順を示す。

- ① 利用者均衡状態（現状均衡点）を仮定して、各OD交通量、OD所要時間を算定する。
- ② 各ODペアの、現状均衡点に対する価格弾力性を定義する。本研究では-0.10 と -0.20 とした。

各ODペアの、現状均衡点を通過する需要曲線（直線）を設定する。

以上の手順で推計された関数を式(1)に示す。

$$D_{rs}(C_{rs}) = \alpha - \frac{\partial q}{\partial p} \cdot C_{rs} \quad (1)$$

ここで、 α は $r-s$ 間の最大需要交通量、 C_{rs} は $r-s$ 間のOD所要時間を表す。

(3) 都市高速道路料金設定の評価

需要変動型交通量配分を用いて、都市高速道路の料金が、無課金であった場合と平成 25 年時の階段型の対距離料金であった場合の計算を行った。

計算結果を表 1 に示す。ここでは平均費用曲線による利用者均衡点として、仮想的な無課金状態を算定する。したがって、現行料金の場合の総走行時間に関して無課金状態との差が社会的便益（死荷重損失の改善分）となる。表 1 には、この方法で価格弾力性値ごとに算定した社会的便益を整理している。すなわち、現行料金設定に関する社会的純便益が算定されている。

4. おわりに

本研究では都市高速道路料金に関して、交通需要の弾力性に着目して利用者均衡分析を行った。本研究の成果は以下のように整理できる。

- ① 都市高速道路料金を検討するため、現行の対距離料金の概要を説明するとともに、限界費用価格形成に対応する有料道路料金設定について理論的な考察を行った。これより現行の対距離料金設定に関して、次善料金の概念が適用可能であることがわかった。
- ② 都市高速道路の対距離料金制を前提とした利用者均衡分析を行うため、既存研究より料金項設定・乗り継ぎ交通を考慮した交通量配分モデルを取り上げた。本研究では、この交通量配分モデルを需要変動型に拡張して、対距離料金設定の評価を可能とした。
- ③ 阪神高速道路を含む京阪神都市圏を対象として、都市高速道路の現行料金に関する実証的分析を行った。ここでは、交通需要の価格弾力性を設定し需要関数を作成した。この結果、現行の対距離料金に関して、次善料金として死荷重損失に対応する社会的便益の算定が可能となった。

最後に本研究の遂行にあたっては、実証的な検討に関して、阪神高速道路株式会社における検討が大いに参考となった。ここに記し感謝の意を表する次第である。また、本研究は、平成 27 年度文部科学省科学研究費補助金基盤研究（C）26420525 の研究成果の一部であることを付記する。

参考文献

- 1) 秋山孝正, 井ノ口弘昭, 奥嶋政嗣: 乗り継ぎ交通を考慮した都市高速道路の料金設定に関する研究, 土木学会論文集 D3, Vol.67, No.5, pp.1225-1232, 2011.
- 2) 国土交通省 道路局・都市・地域整備局: 費用便益分析マニュアル, 2008.
- 3) 文世一, 秋山孝正, 奥嶋政嗣: 道路ネットワークにおける次善の混雑料金—都市高速道路の役割に着目して—, 応用地域学研究, 第 12 号, pp.15-25, 2007.
- 4) 阪神高速道路の長期維持管理及び更新に関する技術検討委員会: 提言参考資料, 2013.
- 5) 秋山孝正, 井ノ口弘昭, 奥嶋政嗣: 長期需要を考慮した都市高速道路料金政策に関するモデル分析, 高速道路と自動車, 2015(投稿中).

(2015.?.?? 受付)