

都市高速道路における路線別対距離料金の適用可能性の検討 Application of distance based toll for individual route in urban expressways

井ノ口 弘昭¹，奥嶋 政嗣²，秋山 孝正³

Hiroaki INOKUCHI¹，Masashi OKUSHIMA² and Takamasa AKIYAMA³

わが国の都市高速道路では、近年対距離料金制が導入され、多様な料金設定が可能となっている。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ることから、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、対距離料金の多様性と ETC の普及による料金徴収技術の進展を踏まえて、路線別対距離料金の適用性について実証的分析を行う。すなわち、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 (UE) を推計するモデルを作成する。これより、路線別に料金水準の相違する対距離料金を設定して、路線別料金の組み合わせによる妥当な料金設定方法を提案する。すなわち、一律の対距離料金に対して、限界費用価格を考慮した都市高速道路の弾力的な料金設定を定量的に提案することができる。

On the urban expressway, the toll system was changed from the uniform toll system to distance-based toll system at 2012. In the distance-based toll system, setting of a variety toll form is possible. The elastic operation depending toll setting is not assumed, because the toll rate is decided based on a repayment principle of a construction cost of the urban expressway. In the study, substantial analysis is executed about the applicability of the distance-based toll for individual route based on the progress of the toll collection technology by the spread of ETC system. The traffic assignment model based on the distance-based toll of the urban expressway for large scale road network is developed. It is suggested the proper pricing method by the combination of route-based toll by setting the distance-based toll according to the travel route. It can be suggested the elastic pricing of the urban expressway in consideration of a marginal cost.

Keywords: 都市高速道路，対距離料金，交通量配分，路線別料金，次善料金

Urban expressway, Distance-based toll, Traffic assignment, Individual route toll, Second best charging

1. はじめに

都市高速道路の対距離料金制は、道路利用距離に対応した利用料金を徴収する制度であり、都市高速道路のランプ間移動に対する多様な料金設定を前提としている。また、近年では ETC が普及し、多様な料金設定が技術的に可能となっている。このため、対距離料金制においては、償還原則に基づく公正妥当な料金設定に加えて、自律的な交通調整機能を意図した料金運用が可能である¹⁾。

そこで、本研究では都市高速道路の路線間の混雑程度を勘案した路線別対距離料金を提案する。ここでは阪神高速道路を含む京阪神都市道路網を対象として、都市高速道路料金を考慮した交通量配分モデルを構築する。都市高速道路の路線単位の対距離料金水準の設定により、一般道路を含む都市道路網の走行時間短縮便益と都市高速道路の料金収入の変化について実証的に検討する。

2. 都市高速道路の路線別対距離料金

本章では、都市高速道路の対距離料金に関して、限界費用価格形成に基づく対距離料金の概念、路線別の対距離料金の基本事項を整理する。

2.1 都市高速道路の対距離料金

阪神高速道路などの都市高速道路においては、2012 年より対距離料金制が導入された。これにより、ETC を利用して利用距離に応じたランプ間料金が設定されている。ETC 利用を前提とすることで、多様な料金設定が可能である。平成 25 年度の阪神高速道路の普通車の対距離料金を図 1 に示す²⁾。一部の端末区間および路線が独立している京都圏を除き、利用距離に応じて 500 円から 900 円の 5 段階の料金となっている。大型車は普通車の 2 倍の料金額である。なお、平成 26 年度の消費税の改定により、現行の通行料金は 510 円～930 円となっている。また、

1 正会員，博士（工学），関西大学 環境都市工学部
〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35 e-mail: hiroaki@inokuchi.jp Phone: 06-6368-0964
2 正会員，博士（工学），徳島大学大学院 ソシオテクノサイエンス研究部
3 正会員，工学博士，関西大学 環境都市工学部

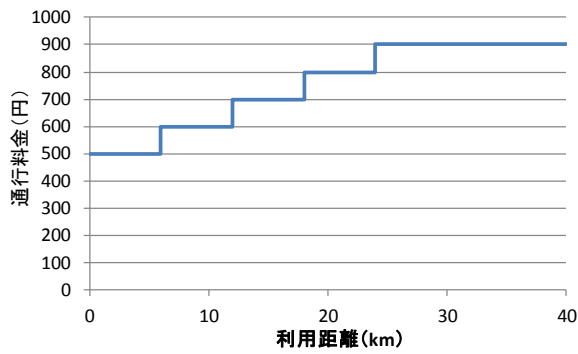


図1 都市高速道路の対距離料金 (平成 25 年度)

Figure 1 Distance-based toll of the urban expressway (in 2013)

京都圏の料金は均一の 460 円である。

ここで、現金払いの場合は、利用距離に関わらず、上限料金の 900 円となる。現在の都市高速道路の ETC 利用率は 90% であることから、本研究では ETC 利用を前提として料金設定を検討する。

2.2 都市高速道路料金設定に関する既存研究の整理

つぎに、都市高速道路の料金設定に関する既存研究を整理する。有料道路の料金項を含む都市道路網の交通需要推計方法に関する研究として、つぎに示す研究が挙げられる。①高速転換率を生生化した利用者均衡配分モデルおよび確率的利用者均衡配分モデルが開発されている^{3),4)}。また、②高速道路の通行料金を考慮した一般化所要時間をもとに高速道路の転換率を計算し、高速道路利用、一般道路利用の経路に交通量を配分する計算が行われている。さらに、③高速道路転換率内生利用者均衡配分を首都高速道路に適用し、パラメータ推計および適用性の検討が行われている⁵⁾。また、④高速道路上の交通行動変化を考慮した利用者均衡配分モデルの開発が行われている⁶⁾。さらに、⑤混雑料金政策評価のためにトリップ連鎖を考慮した統合型交通均衡配分モデルが開発されている⁷⁾。以上のように、有料道路料金項を含む交通需要推計方法について、具体的な計算手順が示されている。

つぎに、システム最適条件下での最適料金モデルとして、⑥リンク単位の料金を決定する理論的モデルが提案されている^{8),9)}。ここでは、システム最適配分とリンク単位の最適料金設定の等価性が整理されている。また、⑦有料道路のランプ間料金設定に関して、料金収入が最大となるランプ間料金の決定問題を 2 段階問題として定式化し、簡易ネットワークを用いて検討されている¹⁰⁾。これらの研究は、料金政策の理論的展開の基礎となっており、料金設定に関する計画目標を提示するものであり、極めて重要である。

近年の都市高速道路の均一料金制から対距離料金制への変更を踏まえて、料金設定に関する検討が重要な

っている。本研究では現実の有料道路の料金運用に関して、実行可能な対距離料金の拡張を考える。これは、現行対距離料金の現実的制約と拡張可能性を考えるものであり、最適化料金設定ではなく、現実的合理的な料金設定を検討するものである。これらに関する既存研究として、つぎに示す研究が挙げられる。⑧需要変動型の交通量配分モデルを用いて、地方都市の高速道路料金の検討が行われている^{11),12)}。また、⑨多様な高速道路料金の検討のための交通量配分モデルの開発が行われている¹³⁾。さらに、⑩都市高速道路の対距離料金に関する分析が行われている¹⁴⁾。ここでは、都市高速道路の乗り継ぎ現象について検討されている。また、⑪都市高速道路に対して現実的なコードン型料金として、「ゾーン」「路線」「区間」単位の料金設定の可能性が提案されている^{15),16)}。この研究では、死荷重損失の改善度を定義し、検討されている。このように、有料道路の料金設定に関する検討が行われている。

現実の都市高速道路の社会的役割を考えると、償還に必要な料金収入を確保する必要があるが、社会的効率性(一般道路を含めた走行時間短縮便益)を上げることが求められていると考えられる。このようなことを踏まえて、本研究では、実務においても適用可能な大規模な京阪神都市圏の道路ネットワークを対象として、都市高速道路の対距離料金を設定し、その効果を定量的に分析する。このとき、仮想リンクを用いたランプ間料金設定の方法を用いるとともに、混雑料金の概念をもとに検討する。次善料金を目指した現実的な対距離料金政策には、ゾーン別料金、路線別料金、区間別料金、リンク別料金などを想定できる。ここでは、現実的に運用可能な形式として、路線別料金を考えた。

2.3 限界費用価格形成に基づく対距離料金

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¹³⁾。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2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。ここで、 x_a はリンク a の交通量、 $t_a(x_a)$ はリンク a の 1 台当たりの走行費用(所要時間)を表す。

社会的限界費用は、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。

$$SMC(x_a) = \frac{dTC(x_a)}{dx} = t_a(x_a) + x_a \frac{dt_a(x_a)}{dx} \quad (1)$$

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

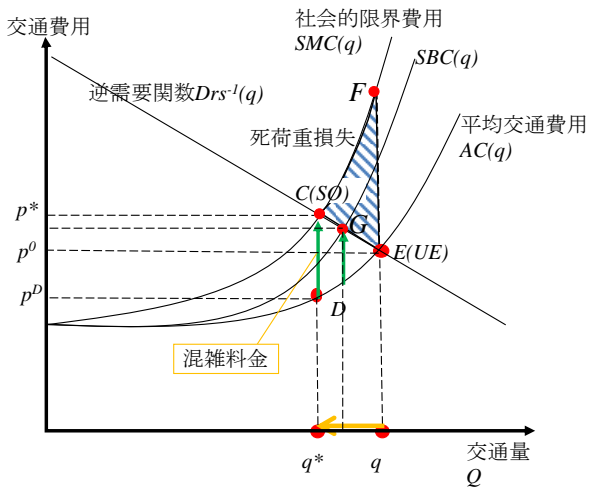


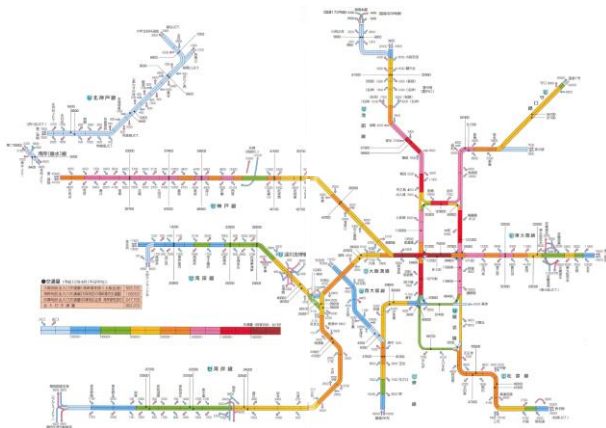
図2 混雑料金の概念

Figure 2 Concept of congestion charge

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。そこで、本研究では都市高速道路のみの課金とする現実的料金の設定方法について検討する。 $SBC(q)$ は、次善料金設定に対応する社会的限界費用を表す。この場合は、最適点Cではないが、利用者均衡点(E)に対して社会的改善が期待できる。

2.4 路線単位の混雑度に関する評価

つぎに、都市高速道路の混雑状況を路線単位に検討する。図3に各路線の断面交通量(日平均)(2000年4月)を示す¹⁷⁾。



(出典：阪神高速道路公団のしごと)

図3 都市高速道路路線別の交通状況

Figure 3 Traffic volume of urban expressway

本図より、環状線をはじめとする都心部において交通量が多いことがわかる。また、端末区間においては交通

量が少なくなっている。

つぎに、代表地点の交通量(平成22年道路交通センサス)により、3種類(10万台以上:A、8万台以上:B、8万台未満:C)に分類する。都市高速道路の路線単位の交通量およびランクを表1に示す。

表1 都市高速道路路線一覧

Table 1 Traffic volume and rank of each route

路線	名称	代表地点交通量	ランク
1	環状線	106,364	A
2	淀川左岸線	13,796	C
3	神戸線	99,954	B
4	湾岸線	83,822	B
5	湾岸線	53,979	C
7	北神戸線	32,345	C
8	京都線	17,602	C
11	池田線	86,918	B
12	守口線	83,429	B
13	東大阪線	96,065	B
14	松原線	83,523	B
15	堺線	70,763	C
16	大阪港線	74,753	C
17	西大阪線	26,954	C
31	神戸山手線	14,530	C

ランクAに分類された路線は、1号環状線の1路線である。また、ランクBに分類された路線は環状線と接続する路線を中心とした6路線である。また、ランクCに分類された路線は8路線である。

3. 都市高速道路対距離料金に関する利用者均衡分析

本章では、都市高速道路の対距離料金を考慮した交通量配分モデルを構築し、現状の対距離料金設定に関する評価を行う。

3.1 都市道路網の構成

ここでは、都市高速道路対距離料金に関する分析を行うための都市道路網設定について述べる。本研究で設定する都市道路網を図4に示す。これは、平成25年時点での道路網を基準としている。図4において、太線が都市高速道路各路線であり、細線は一般道路に対応するものである。計算に用いる対象リンク数は7,794、ノード数は5,264、ゾーン数は400である。つぎに、都市高速道路・一般道路のリンク特性を表す走行時間関数(パフォーマンス関数)を定義する^{18),19)}。本研究では、一般的に用いられている式(2)に示すBPR型関数で定義する。

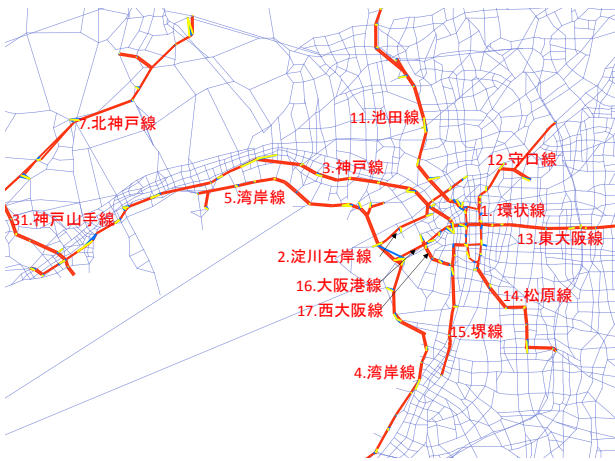


図4 都市道路網の概要

Figure 4 Road network of objective area

$$t_a(x_a) = t_{a0} \left(1 + \alpha \left(\frac{x_a}{Q_a} \right)^\beta \right) \quad (2)$$

ここで、パラメータ α 、 β は、標準的に用いられている値 ($\alpha=0.48, \beta=2.82$) で定義する。また、自由旅行時間 t_{a0} 、日交通容量 Q_a は、リンク単位で設定する。例えば、3号神戸線は、第2種第2級、車線数：4車線、設計速度60km/hの道路である。これらの情報を基に、パラメータを設定する。

また、通行料金を所要時間に換算するための時間価値として、費用便益分析マニュアルに示される乗用車類の時間価値原単位である45.78円/分を用いる¹⁷⁾。

3.2 OD 需要関数の推定

つぎに、OD 需要関数について述べる。本研究では、需要関数として次式に示す線形関数を用いる¹⁸⁾。

$$q_{rs} = D_{rs}(C_{rs}) = \alpha_{rs} - \beta_{rs} \cdot C_{rs} \quad (3)$$

ここで、 q_{rs} は OD ペア $r-s$ 間の OD 交通量、 C_{rs} は OD ペア $r-s$ 間の一般化費用 (所要時間・通行料金) を表す。また、 α_{rs}, β_{rs} はパラメータである。このとき、パラメータの設定は次の①～⑤の手順で行う。①平成17年のOD表 (平成17年道路交通センサス) を基準として用いる。②回帰モデルを用いて平成25年の生成交通量を求める¹⁸⁾。③平成17年・25年の生成交通量を用いて、均一成率法により平成25年のOD表を作成する。④固定需要での交通量配分計算を行い、OD間一般化費用を求める。⑤OD間一般化費用、OD交通量の点を基準に α_{rs}, β_{rs} を設定する。

本研究での「価格弾力性」の設定 (需要関数)

$$e = \frac{dq}{q} \bigg/ \frac{dp}{p}$$

は、都市高速道路においては、業務交通の割合が高く、弾力性は0.2として設定した¹⁶⁾。推計された β_{rs} のパラメータ範囲を図5に示す。本図より、 β_{rs} は-1~-0.1の範囲をとるODが多いことがわかる。一方、パラメータ値が-100以下であるODも存在する。

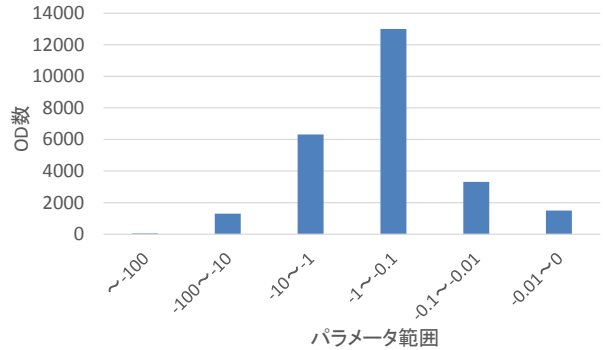


図5 OD 需要関数推計結果

Figure 5 Parameters of the OD demand function

3.3 需要変動型利用者均衡配分の概要

本研究では、既存研究で開発された需要変動型利用者均衡配分を基に検討する²²⁾。基本的な問題は次式の等価な数理計画問題で示される²³⁾。

$$\min Z = \sum_{a \in A} \int_0^{x_a} t_a(w) dw + \sum_{ij \in \Omega_h} \frac{p_{ij}}{\gamma} f_{(i,j)}^{rs} - \sum_{rs} \int_0^{q_{rs}} D^{-1}(u_{rs}) du \quad (4)$$

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、 x_a はリンク a 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) を示す。目的関数の右辺第2項で都市高速道路の料金を考慮し、第3項で需要変動を考慮している。

実際の計算アルゴリズムでは、通常の利用者均衡配分の手順に加えて、①対距離料金を設定した計算を実行するための一般化所要時間の処理 (最短経路探索)、②乗り継ぎ交通の発生をモデル化するためのネットワーク変換処理 (仮想リンク) が含まれている。このアルゴリズムの詳細については、既存研究を参照されたい^{24), 25)}。

3.4 現行料金設定に関する評価

はじめに、現況再現性について確認する。交通量配分計算では平成25年度の状況を再現しているが、ここでは平成22年の道路交通センサスの一般交通量調査データを用いて検討する。都市高速道路15か所および一般道路15か所について、道路交通センサスの観測交通量と交通量配分モデルにより推計された交通量との関係を図6に示す。

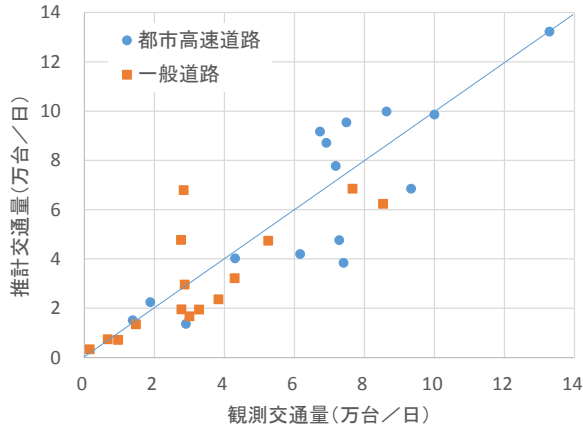


図6 現況交通量の比較

Figure 6 Comparison of traffic volume

本図より、両者の間にはややずれがみられるものの、平均二乗誤差 (RMSE) は 8983 台であり、概ね再現できていると考えられる。

ここでは、現行料金設定に対して評価する。利用者均衡配分による計算結果の指標を表2に示す。料金設定として、便益算定のための基準となる無課金設定のケースを併記している。現行の階段型料金設定では、利用台数が74万台程度であり、1台あたりの平均支払額は683円である。なお、平成25年度の阪神高速道路の1日当たり平均利用台数の実績値は、740,954台である²⁰⁾。また、1日平均料金収入は4億9852万円である。したがって、現状を概ね再現していると考えられる。

無課金と比較して、都市道路網全体の総走行時間は10.6万台・時短く、それに伴う走行時間短縮便益を算定すると、2.9億円となる。

4. 路線別対距離料金についての考察

本章では、都市高速道路の路線別対距離料金を設定し、その導入効果を都市道路網における走行時間短縮便益などにより評価する。

4.1 路線別対距離料金水準の設定

ここでは、路線別に料金水準を設定する路線別対距離料金について検討する²¹⁾²²⁾。このとき、表1に示した現行の都市高速道路の路線別交通量に応じて3種類の料金水準を設定する。交通量が多いAランクの路線に関しては、現行と比較して料金水準を高価とする。また、交通量が比較的少ないCランクの路線に関しては、料金水準を安価とする。また、交通量が中程度であるBランクの路線は、料金水準を変更しない。Aランク、Cランクに対してそれぞれ50円・100円のケースを検討する。すなわち、(Aランク,Cランク)=(+100円, Δ100円), (+100円, Δ50円), (+50円, Δ100円), (+50円, Δ50円)の4ケースを設定する。

ここで、1回の都市高速道路利用に対して、AランクおよびCランクの料金水準の適用は、それぞれ1回のみとする。例えば、5号湾岸線および16号大阪港線を通行し、西宮浜I.C.から波除I.C.間(15.7km)を利用した場合を考える。Cランクの割引額が50円の場合は、対距離料金700円に対して、Cランク路線利用に対する割引50円を1回適用し、650円とする。また、西宮浜I.C.から北浜I.C.(営業距離:21.6km)を利用した場合を考える。この場合の走行路線は、5号湾岸線、16号大阪港線、1号環状線である。営業距離21.6kmに対する対距離料金額は800円である。Aランク路線利用に対する加算額が100円、Cランク利用に対する割引額を50円とすると、このランプ間の路線別対距離料金は850円となる。

4.2 各設定ケースの比較検討

路線別料金水準設定に関する交通量配分結果を表3に示す。本表より、都市高速道路利用台数が最大のケースは(+50, Δ100)である。また、料金収入・都市道路網全体の走行時間短縮便益は、(+50, Δ50)において最大である。現行の階段型課金と比較して、走行時間短縮便益が少な

表2 利用者均衡配分による現況交通分析結果

Table 2 Traffic analysis of present situation by the traffic assignment model

料金設定	都市高速道路			一般道路	都市道路網全体	
	利用台数	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)	走行時間短縮便益 (万円)
無課金	1,342,943	0	529,329	4,765,041	5,294,370	-
階段型	741,704	50,714	383,768	4,804,237	5,188,005	29,220

表3 路線別対距離料金設定の分析結果

Table 3 Traffic analysis of route and distance-based toll

料金水準設定 (A, C ランク)	都市高速道路			一般道路	都市道路網全体	
	利用台数	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)	走行時間短縮 便益 (万円)
(0, 0)	741, 704	50, 714	383, 768	4, 804, 237	5, 188, 005	29, 220
(+100, △100)	764, 950	47, 216	365, 561	4, 821, 518	5, 187, 079	29, 471
(+100, △50)	742, 214	47, 602	369, 300	4, 832, 531	5, 201, 832	25, 418
(+50, △100)	780, 918	47, 154	370, 317	4, 859, 424	5, 229, 742	17, 752
(+50, △50)	766, 382	48, 194	369, 935	4, 792, 515	5, 182, 450	30, 742

いケースもあるが、適切な料金設定により、走行時間短縮便益が多くなることがわかる。

本計算結果より、都市高速道路の路線単位の対距離料金の妥当な設定により、都市道路網全体の自律的交通調整機能が促進されることがわかった。

5. おわりに

本研究では、現実的な都市高速道路の料金設定に関する検討として、路線別対距離料金について実証的に分析を行なった。これは、都市道路網のリンク単位の課金に対応する「限界費用価格」に対する次善料金として位置づけられる。本研究の主要な成果は以下のように整理できる。

- 1) 都市高速道路の対距離料金に対して、路線別の混雑程度に着目して、限界費用価格形成の視点から、路線を単位とする対距離料金水準の設定を検討した。具体的な路線別料金水準として3段階に分割できることがわかった。
- 2) 都市高速道路を含む都市道路網に対して対距離料金設定に基づく利用者均衡状態を推計するためのアルゴリズムを整理した。これより路線別対距離料金設定に対して、都市道路網における時間短縮便益、都市高速道路料金収入、乗り継ぎ交通量などの各種評価値が実証的に算定された。
- 3) 妥当な路線別対距離料金の設定により、都市道路網全体の走行時間短縮便益が増加することがわかる。すなわち、都市高速道路の路線単位の対距離料金の設定により都市道路網全体の自律的交通調整機能が促進されることがわかった。

最終的に妥当な対距離料金設定を検討するための今後の課題として、①路線相互の混雑レベルから多様な料金設定においては組み合わせ最適化の導入を検討すること、②都市道路網交通需要の時間的・空間的变化を考慮して、時間帯別料金・車種別料金・時間帯別料金などの併用を検討すること、③システム最適状態の交通量・

総走行時間をもとに死荷重損失を算定し、相対的改善を算定することなどが挙げられる。

謝辞

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: 料金政策を考慮した都市高速道路交通運用の高度化, 高速道路と自動車, 第51巻12号, pp. 5-8, 2008.
- 2) 阪神高速道路株式会社: 料金, ドライバーズサイト <http://www.hanshin-exp.co.jp/kyoriryokin/index.html>, 2015. (2013年1月10日)
- 3) 松井寛, 藤田素弘: 高速道路を含む都市圏道路網における利用者均衡配分モデルの実用化に関する研究, 土木学会論文集, No.653/IV-48, pp.85-94, 2000.
- 4) 雲林院康宏, 藤田素弘, 松井寛: 高速道路転換率モデルを組み込んだ確率的均衡配分の実用化, 土木情報利用技術論文集, Vol.12(0), pp.123-132, 2003.
- 5) 中村毅一郎, 森田綽之, 井上紳一, 中野敦, 遠藤弘太郎: 首都高速道路における転換率内生化利用者均衡配分モデルの適用, 土木計画学研究・講演集, Vol.29, No.107, 2004.
- 6) 井上紳一, 山口修一, 鈴木裕介, 円山琢也, 森田綽之: 高速道路上の経路選択を考慮した拡張型利用者均衡配分モデルの実証的研究, 土木学会論文集 D3, Vol.67(5), I_779-786, 2011.
- 7) Maruyama, T. and Harata, N.: Difference between area-based and cordon-based congestion pricing: Investigation by trip-chain-based network equilibrium

- model with non-additive path costs, *Transportation Research Record*, No. 1964, pp. 1-8, 2006.
- 8) H. Yang, H. Huang : Principle of marginal-cost pricing: How does it work in a general road network?, *Transportation Research Part A*, Vol.32, No.1, pp.45-54, 1998.
 - 9) 飯田恭敬, 北村隆一 他: 情報化時代の都市交通計画, コロナ社, pp.113-130, 2010.
 - 10) H. Yang, X. Zhang, Q. Meng : Modeling private highways in networks with entry-exit based toll charges, *Transportation Research Part.B*, Vol.38, pp.191-213, 2004.
 - 11) 堀広毅, 奥嶋政嗣: 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適用, *土木学会論文集 D3*, Vol.68(5), pp.I_1087-I_1094, 2012.
 - 12) 奥嶋政嗣, 堀広毅: 地方都市圏に関わる交通需要変動を考慮した高速道路料金政策の影響分析, *土木学会論文集 D3*, Vol.70(5), pp.I_549-I_557, 2014.
 - 13) 三輪富生, 山本俊行, 森川高行: 多様な高速道路料金施策の分析に向けた交通均衡配分モデルの構築, *高速道路と自動車*, Vol.57(3), pp.23-31, 2014.
 - 14) 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*, Vol.49, pp.81-90, 2005.
 - 15) Takamasa Akiyama, Se-il Mun, Masashi Okushima: Second-Best Congestion Pricing in Urban Space: Cordon Pricing and Its Alternatives, *The Review of Network Economics*, Vol. 3, Issue 4, pp 401-414, 2004.
 - 16) 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.
 - 17) 阪神高速道路公団: 阪神高速道路公団のしごと, pp.36-37, 2000.
 - 18) 土木学会計画学研究委員会: 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, 2006.
 - 19) 山本隆: 全国高速道路の交通量推計に用いる BPR 関数の推定に関する研究, *交通工学*, Vol.49(1), pp.81-90, 2014.
 - 20) 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.
 - 21) 秋山孝正, 井ノ口弘昭, 奥嶋政嗣: 長期的需要を考慮した都市高速道路料金政策に関する考察, *交通学研究*, Vol.58, pp.89-96, 2015.
 - 22) Akiyama, T., Inokuchi, H., Okushima, M. : Practical Management of Distance Based Toll System for Urban Expressway, *WCTR 2013*, 2013.
 - 23) 井ノ口弘昭, 秋山孝正: 需要変動型確率的利用者均衡配分モデルによる都市高速道路の対距離料金設定の検討, *土木学会論文集 D3*, Vol.70, No.5, 2014.
 - 24) 秋山孝正, 井ノ口弘昭, 奥嶋政嗣: 都市高速道路のゾーン別対距離料金の適用可能性に関する検討, *交通学研究 2010 年研究年報*, 2011.
 - 25) 浅原麗, 秋山孝正, 井ノ口弘昭: 都市高速道路の実証的料金設定についての方法論的研究, 第 31 回交通工学研究発表会論文集, 第 31 巻, 2011.
 - 26) 阪神高速道路: 阪神ハイウェイ -阪神高速開通 50 周年記念-, Vol.195, pp.20-21, 2014.