

乗り継ぎ交通を考慮した都市高速道路の料金設定についての研究*

The Installation of Fare System on Urban Expressway Considering Diversion Traffic *

岩武宏一**・井ノ口弘昭***・奥嶋政嗣****・秋山孝正*****

By Koichi IWATAKE**・Hiroaki INOKUCHI***・Masashi OKUSHIMA****・Takamasa AKIYAMA*****

1. はじめに

従来の交通制御と情報提供を中心とする都市高速道路の交通運用に対して、ETC利用を前提とする対距離料金制度の弾力的運用による交通調整は、統合的な交通運用方策として重要な側面である。すなわち、料金政策変化は交通運用を検討する都市内の基本的交通流動を決定することによる。そこで本研究では、対距離料金制の設定が都市内交通流動に与える影響を社会的便益として評価する。このとき具体的交通流動変化の算定においては、利用者の交通経路選択変化を配慮した検討が必要である。

ここで乗り継ぎ交通の配慮は、対距離料金制度の導入後発生する交通流動変化への関与が大きく、料金政策の社会的便益の算定面では重要な視点である。このため本研究では、①料金制度の社会的便益の計測面における乗り継ぎ交通量の重要性について整理するとともに、②社会的便益を最大化するための有効な対距離料金設定方法について実証的に比較検討を行なう。

2. 都市高速道路の料金設定

(1) 都市高速道路の料金制度

本研究では対距離料金制度についての検討のため、阪神高速道路を対象として交通現象分析を行う。ここで、阪神高速道路の道路網と現行の均一料金圏を図-1に示す。現在の阪神高速道路では均一料金制度が採用されており、4料金圏(阪神西線、阪神東線、阪神南線、京阪線)で運営されている。特定区間割引がなされている区間を除き、阪神西線、南線では均一料金普通車 500 円、阪神東線では 700 円である。また近年ではETC利用車両に対する割引料金、時間帯別料金などの社会実験が実施されている。またETCによる料金自動徴収に基づいた対距離料金制度が検討されている^{1),2)}。

また、阪神高速道路では、全長 242.0km(H.17)、157 入

*キーワード：乗り継ぎ交通、対距離料金、ETC、交通量配分、走行時間短縮便益

**学生員，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丁目3番35号，TEL06-6368-1121)

***正会員，博士(工)，関西大学環境都市工学部都市システム工学科

****正会員，博士(工)，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

*****正会員，工博，関西大学環境都市工学部都市システム工学科



図-1 都市高速道路の現行均一料金圏

路、155 出路(H.15)が供用されている。本研究では阪神西線、阪神東線、阪神南線を分析対象地域とする。平成 11 年 OD 調査では利用台数 88.8 万台/日、平均利用距離 17.5km となっている。

(2) 都市道路網についての設定条件

本研究では、平成22年を対象年次として対距離料金制の導入に関して基本的な検討を行なう。具体的には、平成22年に関するOD交通量、道路ネットワークなどのデータに基づいた交通均衡分析を行うとともに、特に社会的便益の側面から走行時間短縮便益に基づいた有効性の検討を行なう。ここで、京阪神都市圏の都市高速道路と一般道路網を都市道路網として検討する。したがって、交通量配分に用いる対象リンク数は7,826、ノード数は5,264、ゾーン数は786である。ここでは、車種区分は行わず、大型車は普通車換算する。したがって、普通車換算交通量で推定を行なう。また、都市高速道路・一般道路とともに、各リンク特性を表す走行時間関数(パフォーマンス関数)は、BPR関数で定義する。具体的なパラメータ値として $\alpha = 0.48, \beta = 2.82$ とする³⁾。なお、大型車の普通車換算(換算係数2.0)であり、大型車の通行料金についても普通車の2.0倍と設定する。さらに、大型車の時間価値は、普通車の2.0倍と設定する。

3. 都市高速道路の交通流解析法

(1) 対距離料金設定時の計算方法

都市道路網は、一般道路網と都市高速道路網で構成される。このとき都市高速道路の対距離料金制を考慮するためには、通常のアプローチに加えて、技術論的な修正が必要である。具体的には、対距離料金制に対応して、

都市高速道路の利用交通について、入路～出路間の利用距離に応じた通行料金（ランプ間料金）が賦課可能な計算方法を考える。この最短経路探索方法の手順を図-2に示す²⁾。すなわち、起終点間の経路上に都市高速道路が含まれる（高速道路利用経路）場合には、①起点～入路（一般道路網）、②入路～出路（都市高速道路網）、③出路～終点（一般道路網）の3区間について、それぞれの最適経路を個別に決定する。その後、「高速道路利用経路」と「一般道路利用経路」の経路比較によりOD間の利用経路を算定して、交通均衡状態を算定する。経路比較の際に、高速道路利用経路に対しては通行料金を時間換算して付加する。この方法は、①高速道路料金は、入路・出路ペアに対して設定可能であり任意の設定値に対応できる、②高速道路の利用経路は入路～出路ペアから規定され、乗り継ぎ現象は考慮されないの特徴をもつ。

(2) 乗り継ぎ交通を考慮した計算方法

ここでは対距離料金制の場合に多数発生すると考えられる複数回利用（乗り継ぎ）を考慮した場合の最短経路探索法について述べる。図-3は乗り継ぎ利用を考慮した場合の最短経路探索法を示し、以下にその4段階のプロセス（非加法性料金モデル）を述べる^{1), 2), 3)}。

[1] 各ランプペア (i, j) について、都市高速道路網を対象として、都市高速道路本線上における最短経路 δ_{ij} （所要時間 t_{ij} ）を探索する。

[2] 上記[1]で算定されたランプ間の経路を代替的に表現するため、各ランプ間を結ぶ仮想リンク k を設定する。当該仮想リンクに対して、ランプ間所要時間 t_{ij} を与え所要時間 t_k を更新する。すなわち、都市高速道路上の現実リンクの連鎖で示される経路を仮想リンクで表現する。

[3] 都市高速道路上の仮想リンクを含む都市道路網を対象として、OD間 $(r-s)$ の最短経路リンク列 δ_{rs} を抽出する。（一般道路の通常リンクと高速道路の仮想リンクで構成されるネットワーク上での最短経路探索）

[4] 最短経路リンク列 δ_{rs} に仮想リンク k が含まれる場合、ランプ間経路 δ_{ij} に置換する。仮想リンクは都市高速道路上の経路に対応するため、仮想リンクの本数が都市高速道路の利用回数に対応する。

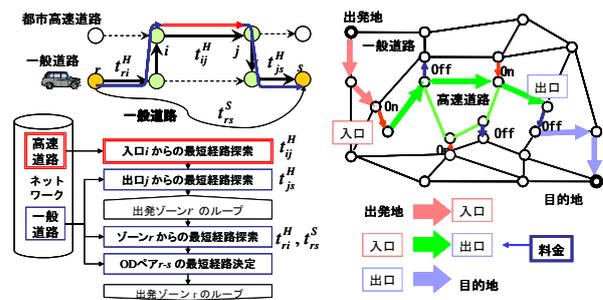


図-2 乗り継ぎを考慮しない場合の最短経路探索方法

このアルゴリズムは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「複数回利用交通を考慮した交通均衡分析」が実行可能となる。

4. 対距離料金導入に関する交通流動推計

(1) 都市高速道路の対距離料金設定

ここでは、既存研究の成果を参考として^{1), 2)}、代表的な対距離料金方法を検討する。すなわち、短距離利用・長距離利用の設定を考慮した線形関数を用いた「上限・下限付き対距離料金」を基本形式とする。具体的な設定方法として、均一料金制度の場合の平均利用距離17.5km、平均支払額760円を通る線形関数を規定し、通行料金の上限1300円、下限400円に設定する。この料金設定は方法では料金額が最低単位（1円）となるため、ETCを前提とした料金徴収技術の面では問題は少ないが、現実的な料金表示の面で検討を要する。そこで、本研究では単位料金額を設定して、距離帯別料金の形式で対距離料金を検討する。すなわち、「距離帯別料金①」では、下限値400円から、1.6kmあたり50円を加算し

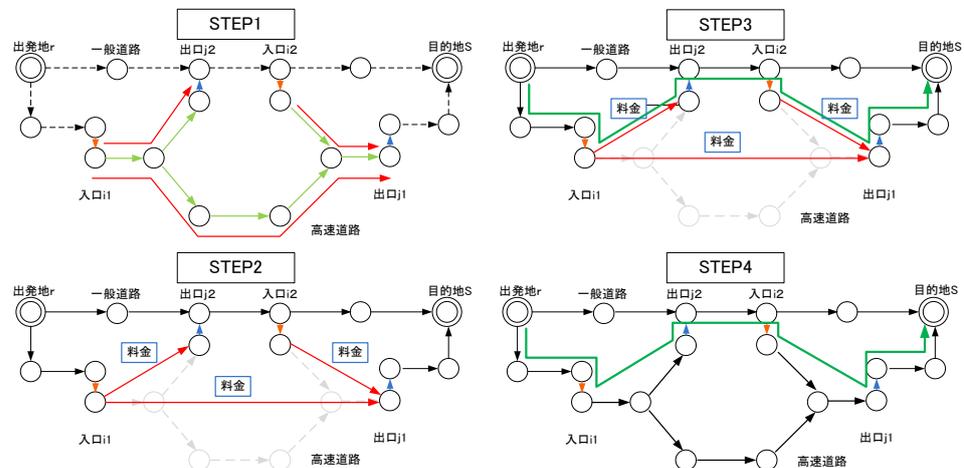


図-3 乗り継ぎを考慮した最短経路探索法

て、上限値 1300 円にいたる階段型関数を設定した。また、「距離帯別料金②」として、同様に下限値・上限値の間について、3.4km あたり 100 円を加算する関数を設定した。これらの、各料金設定ケースを図-4 に示す。

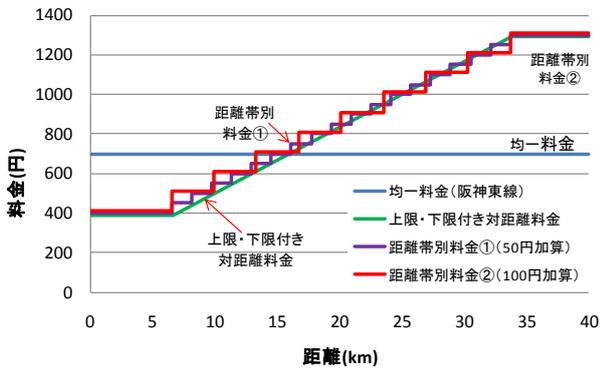


図-4 本研究の対距離料金の設定

(2) 対距離料金に関する交通均衡分析

上記の対距離料金設定に関して、具体的な交通均衡分析を行う。このとき前章で紹介した2種類の算定方法を適用する。すなわち、①対距離料金設定に関する基本的分析（乗り継ぎ交通なし）、②乗り継ぎ交通を考慮した交通均衡分析である。このとき、対距離料金の有効性の検討のため、均一料金設定時の都市道路網の交通状態に対する走行時間短縮便益を基本的な指標とする。このとき、通常交通解析方法（解析法①）において、対距離料金設定に係る基本的な交通現象が分析可能である。そのため、通常解析（乗り継ぎ交通なし）を用いた算定結果を表-1 に整理する。

基本設定（上限・下限付き対距離料金）に対して、単位料金を設定した対距離料金（50円・100円単位）を比較する。均一料金設定に対して、いずれも高速道路利用台数は増加する。また単位料金に応じて、料金収入は増大する一方で利用台数は減少している。

また平均利用距離が増大しており、上限・下限の形式の特徴である、短距離利用の抑制、長距離利用が促進されている。しかしながら、これらの傾向は全般的に課金額が過大である点に起因するものと思われる。

この結果、いずれのケースにおいても均一料金制に比して、走行時間短縮便益の減少が算定されている。また、単位料金の増加にともない走行時間短縮便益は減少する傾向にあり、今回の設定においては、距離帯別料金①（単位料金50円）が推奨される。

(3) 乗り継ぎを考慮した交通均衡分析

前章で検討したように、対距離料金設定の下では、都市高速道路の複数回利用交通の発生が想定される。そこで、本研究では同様の対距離料金設定に対して、乗り継ぎを考慮した交通解析（解析法②）を適用した。

表-1 対距離料金設定に関する推計結果

ケース	都市高速道路				都市道路網全体	
	料金収入 (万円)	利用台数 (台)	平均利用距離 (km)	高速道路 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 均一料金	74,043	1,027,912	16.9	417,348	13,783,367	-
1 上限下限付き	75,170	1,094,550	15.9	413,452	13,820,438	-15,570
2 距離帯別料金①	75,787	1,088,532	15.9	412,143	13,832,061	-20,452
3 距離帯別料金②	75,953	1,082,596	16.0	412,260	13,857,383	-31,087

この場合の都市道路網交通状況に基本的な推計結果を表-2に整理する。この場合、全般的に複数回利用交通が算定されるため、高速道路利用台数は前項の結果に比して、大きく算定される。また乗り継ぎ交通の発生は、短距離利用の増加を与えることから、平均利用距離は前項の結果に比して、小さい値が算定されている。

このとき、料金設定ケース間の比較では、乗り継ぎ交通を含めて、前項と同様の傾向を観測することができる。すなわち、①単位料金の増加に伴い、利用台数は減少し、料金収入は増大する。②一方で、走行時間短縮便益は、単位料金設定額の増加に伴い減少する。

いずれの解析法においても、今回の設定ケース間の走行時間短縮便益による評価では、距離帯別料金①（ケース2）の優位性が高いことがわかる。すなわち、単位料金の設定値は50円程度以下が望ましい。さらに、解析法②では、混雑区間の自発的な迂回現象となる乗り継ぎ交通を含んで算定されることから、走行時間短縮便益の多少が明確に表現されることがわかる。

表-2 乗り継ぎを考慮した対距離料金についての推計結果

ケース	都市高速道路				都市道路網全体		
	料金収入 (万円)	複数回利用台数 (台)	利用台数 (台)	平均利用距離 (km)	高速道路 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 均一料金	82,554	29,473	1,201,781	16.1	455,399	13,558,820	-
1 上限下限付き	85,711	37,397	1,291,648	14.5	430,360	13,557,250	659
2 距離帯別料金①	86,489	36,658	1,282,379	14.6	429,938	13,557,870	399
3 距離帯別料金②	86,653	36,043	1,278,132	14.6	429,839	13,574,140	-6,434

(4) 実用的な対距離料金設定に関する検討

前節までに得られた結果を踏まえて、単位料金の設定として距離帯別料金①（50円単位）を取り上げる。ここでは、2種類の単位料金と階段型の形状を利用して実用的な対距離料金設定を検討する。すなわち、ケース4として、距離帯別料金①に対して、下限値設定後、2kmで50円の増加、その10段階後1km 50円増加の階段関数を設定した。また、ケース5では、1kmで50円の増加、その後2kmで50円の増加の階段関数を設定した。これらの具体的形状を図-5に示す。これらは距離帯別の課金範囲を用いた対距離料金の形状変化を示している。

具体的には乗り継ぎを考慮した解析法②を用いて、交通均衡分析を行う。それぞれの対距離料金設定に対応した都市道路網の交通状況の算定結果を表-3に整理する。ここで、平均利用距離は、各ケース間でほぼ同様であ

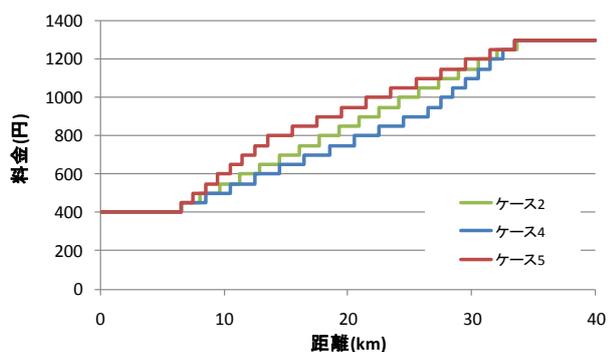


図-5 実用的な対距離料金設定

る。しかしながら、利用台数は相対的にケース4では増加、ケース5では減少する（料金収入は相反する傾向である）。これは、距離帯別料金の設定形状を反映した結果と考えられる。このとき、走行時間短縮便益を各ケース間で比較すると、ケース4（2km→1km：50円）が最大である。すなわち、本例からは距離帯設定においては、利用距離25km程度までは50円/2km、その後50円/1kmという設定の妥当性が示される。また表-3より走行時間短縮便益は、ケース4・ケース5いずれの場合もケース3（距離帯別料金①）に比して増加が観測できる。すなわち、対距離料金制では直線的（線形の）料金変化に比べて非線形変化を想定することが有効であるといえる。この点は、既存の研究成果に合致する結果である⁴⁾。

ここでは、走行時間短縮便益の視点から、実用的な対距離料金の形状として、ケース4（距離帯別料金③）を取り上げた。この場合の都市高速道路の交通状況を均一料金設定時との相違として図-6に示す。

一般的には均一料金制に対して、料金値上げとなる16.1km以上のトリップ割合の増加に伴い、区間交通量が減少する。また一方で、阪神間・大阪府南部地域で区間交通量の増加が観測される。これらは、均一料金制における複数料金圏間の通行料金が、対距離料金設定により緩和されることに起因すると考えられる。

5. おわりに

本研究では、将来的な都市高速道路の対距離料金制度に着目して、現実的課題を明確化するため交通均衡分析を実行した。具体的には乗り継ぎを考慮した都市高速道路の対距離料金制度の交通均衡分析法を考え、①具体的な対距離料金制による交通現象変化、②既存の均一料金制で料金と対応した対距離料金制への移行方法、③対距離料金制に基づく距離帯別料金設定に関しての実証的な検証を行った。これらの研究成果は都市交通政策的な意味から、以下のように整理できる。

- (1) 乗り継ぎ交通は対距離料金の導入に関連して多数発生する可能性がある。この意味で、社会的便益の算定上乗り継ぎ交通考慮の必要性が高いものと思われる。
- (2) 対距離料金設定時の料金単位の増大は、走行時間短縮

表-3 実用的な対距離料金設定における推計結果

ケース	都市高速道路				都市道路網全体			
	料金収入 (万円)	複数回 利用台数 (台)	利用台数 (台)	平均 利用距離 (km)	高速道路 総走行時間 (台・時)	総走行時間 (台・時)	走行時間 短縮便益 (万円)	
2	距離帯別 料金①	86,489	36,658	1,282,379	14.6	429,938	13,557,870	399
4	距離帯別 料金③	82,594	38,022	1,288,993	14.6	436,798	13,517,750	17,249
5	距離帯別 料金④	91,852	35,344	1,269,686	14.5	420,701	13,549,840	3,772

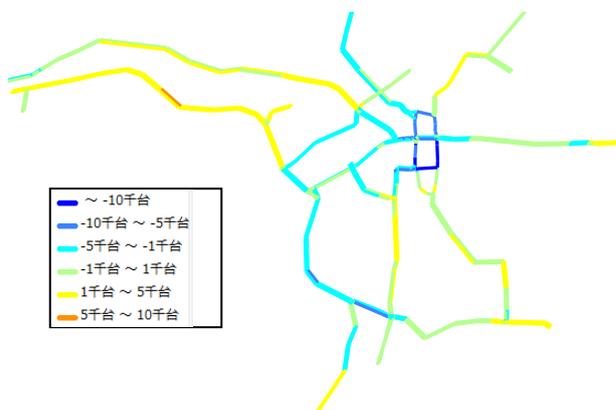


図-6 距離帯別料金③における都市高速道路交通状況

便益を減少させる。今回の計算例では、実用的な設定料金単位として50円程度の妥当性が高い。

(3) 実用的な距離帯別料金の形状を検討した結果、短中距離帯で50円/2km、中長距離帯で50円/1km単位（中距離帯以降で増加する形式）の有効性が示された。

今後の課題として、①対距離料金の形状は多数想定でき、既存研究の成果等も参考として、詳細に検討する必要がある、②多数の設定ケースから妥当な料金設定を検討するためには、組み合わせ最適化が必要となり、GA等の技術を利用する必要がある、③走行時間短縮便益以外の評価要因も検討する必要があることが挙げられる^{5) 6)}。

最後に本研究を遂行するにあたり、資料収集・研究議論の多方面において阪神高速道路株式会社のご協力を得た。ここに記し感謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) 山田崇, 奥嶋政嗣, 秋山孝正: 経路選択行動を考慮した都市高速道路の距離比例料金に関する交通現象分析, 土木計画学研究・講演集, Vol. 32, No.199, 2005.
- 2) 都市高速道路の対距離料金に基づく都市交通政策についての実証的分析, 日交研シリーズ, A-433, 都市圏交通政策, 2008.
- 3) 土木学会土木計画学研究委員会編: 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, (社)土木学会, 2006.
- 4) 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.
- 5) 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, Vol.51, No.12, pp.5-8, 2008.
- 6) 秋山孝正: 都市高速道路の対距離料金制の運用に関する考察, 自動車交通研究・環境と政策, pp.18-19, 2008.