

都市高速道路の料金形式設定に関するモデル分析

関西大学 環境都市工学部 井ノ口 弘昭
関西大学 環境都市工学部 秋山 孝正

1. はじめに

首都高速道路・阪神高速道路では、平成 24 年 1 月より、均一料金制から距離別料金制に移行した。この移行は、都市高速道路ネットワークの拡大、料金收受技術の向上などに起因する。阪神高速道路の ETC 利用率は 90.4% (平成 25 年 5 月 24 日～30 日平均) となっており、ETC 利用を前提とすることで、多様な料金設定の検討が可能である。

高速道路の料金は、償還必要額を考慮して決定される。本研究では、都市高速道路料金設定に経済学的概念を導入し、料金徴収による自律的な交通調整の可能性について検討する。ここでは、路線別の対距離料金に着目し、知的情報処理技術を用いて分析する。

2. 都市高速道路料金制度の整理

ここでは、高速道路の料金制度について整理し、高速道路料金を用いた交通調整方法の概念をまとめる。

2.1 距離別料金制度の整理

阪神高速道路は、1964 年の大阪 1 号線 2.3km 区間の開通以来、ネットワークの拡大により、現在は総延長が 259.1km となっている。したがって、利用距離がさまざまである。また、2001 年 7 月から ETC サービスを開始し、料金徴収技術が向上している。このような背景より、距離別料金制度が導入された。これにより、短距離利用が促進され、効率的な交通運用が可能になると期待されている。

現在の距離別料金は、普通車の場合 500 円～900 円の間で利用距離に応じて 5 段階設定されている。なお、この距離別料金は ETC 利用を前提としており、現金利用車は上限金額の 900 円を支払う必要がある。また、大型車は普通車の 2 倍の金額である。

2.2 高速道路料金を用いた交通調整方法の整理

都市高速道路では距離別料金制度が導入されたが、距離別料金制度においても料金水準は建設費の償還に必要な額を考慮して決定されている。一方、高速道路の料金政策として、混雑料金の導入が考えられる。混雑料金の理論は、図-1 に示すように経済学的理論を導入し、社会的に最適なリンク別の料金を算定するものである。

ドライバーのリンク所要時間から求められる私的費用と需要関数との均衡点は E 点である。しかしながら、自動車が 1 台増加することに伴う交通費用の増加は、平均交通費用より大きい。したがって、社会的な最適点は

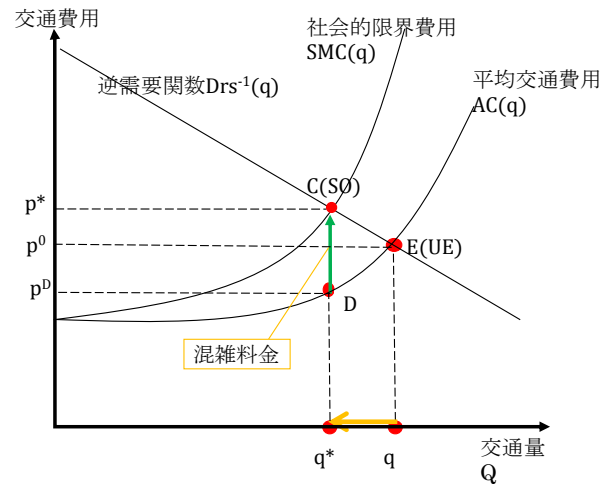


図-1 混雑料金の概念

社会的限界費用曲線との交点である C 点である。このとき、平均費用と社会的限界費用との差を混雑料金として付加することを考える。これにより、社会的に最適な交通状態が達成される。なお、この時の交通状態は Wardrop の第 2 原則に従うシステム最適配分の交通状態と一致することが知られている。

混雑料金は、一般道路・高速道路の区別はなく、全てのリンクに付加することを前提としている。しかしながら、現状で都市高速道路に対して料金を徴収しているため、これを利用することがまず考えられる。そこで、本研究では高速道路のみを対象に課金を行う次善の混雑料金について検討する。

3. 都市高速道路料金の解析モデルの構築

ここでは、都市高速道路の料金形式検討のための交通量配分モデルおよび道路ネットワーク解析モデルを構築し、基本的分析を行う。

3.1 都市高速道路料金を考慮した交通量配分モデル

ここでは、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の計算方法について検討する。均一料金制の場合は、入路あるいは出路のリンクに通行料金相当額を付加することで、交通量配分計算が可能である。また、都市間高速道路で用いられている距離比例の対距離料金の場合は、高速道路本線のリンクに距離比例料金を付加し、インターチェンジのリンクにターミナルチャージを付加することで計算が可能である。ただし、この場合、長距離割引などの考慮はできない。都市高速道路の料金

設定は100円刻みになっていること、最低・最高料金が設定されていることから、均一料金・距離比例対距離料金で用いる計算方法では、料金を適切に考慮することが出来ない。そこで、本研究では多様な形式の対距離料金に対応するため、仮想リンクを用いた計算方法を用いる³⁾。仮想リンクは、図-2に示すように高速道路の入路・出路間に設定する。図-2の実線の道路網が現実のリンク、破線の道路網が仮想リンクである。したがって、入路数×出路数の仮想リンクが生成される。

ランプ間料金は、入路・出路間の料金をそれぞれ設定する。このため、さまざまな料金形式に対応した交通量配分計算が可能である。

つぎに、需要変動を考慮した交通量配分モデルの構築について述べる。道路網の整備などに伴い、OD間所要時間が変化した場合、交通需要も変化する。高速道路の料金設定の変更は、OD間所要時間の変化と同様の影響があるため、交通需要変化を考慮する必要がある。このため、本研究では需要変動型の交通量配分モデルを用いて解析する。ここでは、需要関数として次式に示す線形関数を用いる。

$$D_{rs}(C_{rs}) = \alpha - \beta \cdot C_{rs} \quad (1)$$

ここで、 C_{rs} : ODペア r-s間の経路所要時間、

α, β : パラメータ

この需要関数および逆需要関数を交通量配分モデルに組み込み、需要変動を考慮した交通量配分モデルを構成する。

3.2 道路ネットワーク解析モデルの構築

道路ネットワーク解析に用いる道路ネットワークモデルについて述べる。本研究では、都市高速道路料金体系の有効性をモデル論的に検討することを目的としている。また、多数の検討ケースを設定することから、現実の道路網を参考として、図-3に示す道路ネットワークモデルを構築する。図-3中の黒色のリンクは一般道路、青色のリンクは都市高速道路、赤色のリンクは都市高速道路のオンランプ・オフランプを示す。また、緑色のノードはセントロイド、橙色のノードは都市高速道路のノードを示す。

道路ネットワークモデルの概要を表-1に示す。リンク数は、片方向で1本のリンクとして計上している。すなわち、両方向通行なリンクは2本として示されている。本道路ネットワークモデルでは、都市高速道路の環状線部分のみ一方通行となっている。

都市高速道路の通行料金を所要時間に変換するための時間価値として、ここでは70円/分を用いる。また、モデルの簡略化のため、単車種での検討とする。

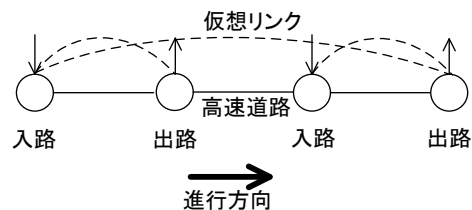


図-2 仮想リンクの設定

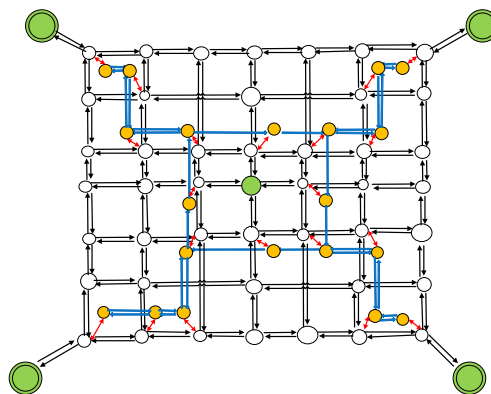


図-3 道路ネットワークモデル

表-1 道路ネットワークモデルの概要

リンク数	232
一般道路リンク	160
都市高速道路リンク	32
オンランプ	20
オフランプ	20
ノード数	73
一般道路ノード	53
都市高速道路ノード	20
セントロイド	5

3.3 基本的計算ケースの検討

はじめに、基本的計算ケースについて検討する。ここでは、①社会的最適、②無課金、③対距離料金について検討する。①社会的最適は、一般道路を含めた全てのリンクに対して混雑料金を課した計算ケースである。また、②無課金は、都市高速道路の通行料金を全て無料とした場合である。①および②で求められた指標は、各種料金政策の有効性を確認する際のベンチマークとなる。③対距離料金は、既存研究結果より、図-3に示す関数とする。

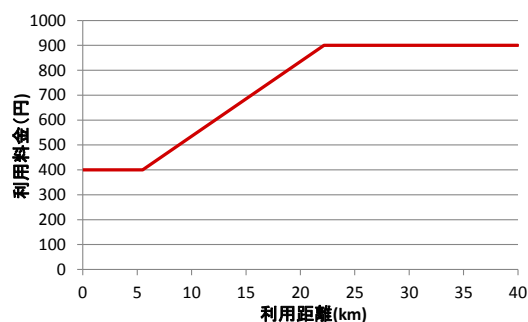


図-3 対距離料金の設定

料率を 30 円/km とし、平均利用距離 17.5km・平均支払額 760 円を通る直線を設定している。また、上限・下限料金の設定は、既存研究での検討の結果、都市道路網全体の総走行時間が小さい下限 400 円・上限 900 円としている。

各基本的計算ケースの、主要な評価指標を表-2に示す。①社会的最適と②無課金を比較すると、②無課金の都市道路網全体の総走行時間は 4.7%大きい。このことから、都市道路網の料金政策により、②無課金状態から最大で 4.7%の総走行時間の短縮が可能であることがわかる。ある料金政策を実施した場合の相対的改善度を定義する。

$$r = \frac{TT_{zero} - TT}{TT_{zero} - TT_{opt}} \quad (2)$$

ここで、 TT ：料金政策を実行した場合の都市道路網総走行時間、 TT_{zero} ：無課金での都市道路網総走行時間、 TT_{opt} ：システム最適状態での都市道路網総走行時間である。つまり、②無課金の状態を 0%、①社会的最適の状態を 100% として改善度を表す指標である。

③対距離料金の場合、①社会的最適と比べて都市高速道路の利用台数・総走行時間は少ない。一方で、一般道路の総走行時間は大きくなっている。③対距離料金の相対的改善度 r は 63% であり、次善料金として有効であるといえる。

4. 都市高速道路の路線別対距離料金制度の検討

料金徴収技術の向上で、多様な料金設定が可能となっていることから、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制度について検討する。

4.1 路線別対距離料金の設定

路線別に料金水準を設定する路線別対距離料金制度を検討する。基本的計算ケースの③対距離料金での料率は一律 30 円/km であったが、ここでは路線別に料率を設定する。すなわち、路線ごとに 22 円/km から 37 円/km の範囲で 1 円刻みで別の料金水準を検討する。なお、複数の路線を利用する場合は、これらの路線別の料金を足し合わせ、全体として上限・下限料金を設定する。上限・下限の設定は基本的計算ケースの③対距離料金と同一の下限：400 円、上限：900 円とする。

都市高速道路の路線として、図-4 に示す路線 A~E の 5 路線を設定する。路線 A~D は、都市周辺部と都市中心部を結ぶ放射状の路線である。また、路線 E は都心部の環状の路線（一方通行）である。

4.2 遺伝的アルゴリズムを用いた分析

今回の検討ケースでは、料率を 22 円/km から 37 円/km の範囲で 1 円刻みで設定しているため、各路線で 16 パターンの料金設定が存在する。したがって、全体の料金の組み合わせパターンは $16^5 = 1,048,576$ 通り出現す

表-2 基本的ケースの評価

	都市高速道路		
	利用台数 (台)	総走行時間 (台・時)	平均利用距離 (km)
①社会的最適	16,286	5,986	10.8
②無課金	16,784	6,214	11.3
③対距離料金	15,671	4,751	11.3

	一般道路	都市道路網全体
	総走行時間 (台・時)	総走行時間 (台・時)
①社会的最適	17,716	23,702
②無課金	18,613	24,827
③対距離料金	19,368	24,119

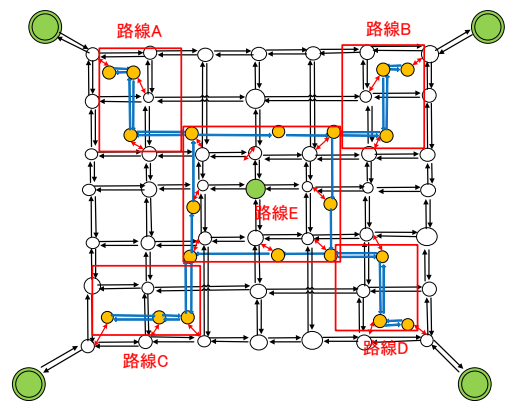


図-4 都市高速道路路線の設定

る。この全ての組み合わせについて、交通量配分計算を実施することは困難であるため、知的情報処理技術の導入を検討する。ここでは、最適解の近似解を探索する遺伝的アルゴリズム (GA) を用いる。これは、データを遺伝子で表した個体を複数用意し、交叉・突然変異を繰り返して解を探索する方法である。

本研究では、各路線の料率を 1 と 0 の組み合わせ (2 進数) で表現する。このとき、22 円/km との差で表す。例えば、路線 A:30 円/km、路線 B:31 円/km、路線 C:32 円/km、路線 D:33 円/km、路線 E:34 円/km の場合、図-5 のように 20 個の 0・1 の組み合わせで表される。

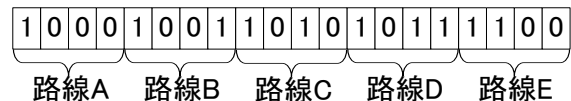


図-5 GA での路線別料金の表現

GA では、いくつかのパラメータを設定する必要がある。本研究では、個体数：30、淘汰率：0.53、突然変異率：0.1 とした。計算手順は、以下の通りである。①ランダムに 0,1 の組み合わせを生成し、30 個体を生成する。②30 個体それぞれの路線別料金設定で交通量配分計算を行う。③30 個体の総走行時間を比較し、昇順に並べる。

- ④30 個体の総走行時間が短い 16 個体を残し、残りは交叉により新たに生成する。⑤突然変異をさせる。⑥新たに生成された料金設定に対して交通量配分計算を行う。⑦設定された世代数に達するまで③～⑥を繰り返す。

GA を用いて 100 世代まで繰り返し計算を実行した。総走行時間の推移を図-6 に示す。

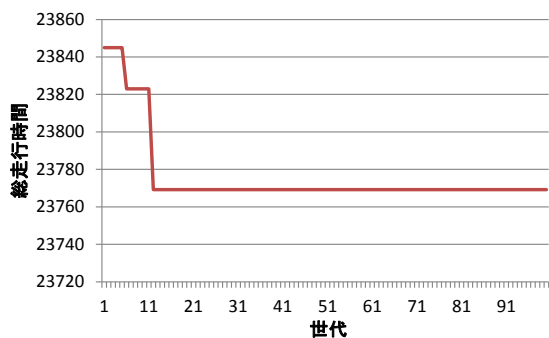


図-6 世代と総走行時間との関係

総走行時間は、各世代の 30 個体中で最小の値を表示している。本図より、11 世代で総走行時間が最小となる解が見つかったことがわかる。20 世代で計算を打ち切るとすると、交通量配分計算は 1 世代 30 回であるため、最大 600 回で済むことになる。なお、この中には同一パターンの計算ケースが多く含まれているため、計算結果を保存しておくことにより、交通量配分計算を省略することが可能である。今回の場合、新規の交通量配分の計算回数は 231 回であった。したがって、全パターンを計算する場合と比べて 1/4539 の計算回数で済むことになる。

4.3 最適な路線別対距離料金制度

GA による計算結果より、最適料金水準は路線 A : 31 円/km、路線 B : 35 円/km、路線 C : 28 円/km、路線 D : 22 円/km、路線 E : 23 円/km であった。この時の主要な評価指標を表-3 に示す。

表-3 路線別対距離料金体系の評価

	都市高速道路		
	利用台数 (台)	総走行時間 (台・時)	平均利用距離 (km)
③対距離料金	15,671	4,751	11.3
④路線別対距離	15,529	4,865	11.2
	一般道路	都市道路網全体	
	総走行時間 (台・時)	総走行時間 (台・時)	
③対距離料金	19,368	24,119	
④路線別対距離	18,904	23,769	

④路線別対距離料金は③対距離料金の場合と比較して、都市高速道路の総走行時間が長く、一般道路の総走

行時間は短い。路線別に料金水準を設定することにより、都市道路網全体の総走行時間を減らすことが可能であり、この場合の相対的改善度 r は 94% である。したがって、路線別対距離料金を用いることで、社会的最適料金に近い料金設定が実現できているといえる。

5. おわりに

本研究では、都市高速道路料金設定に混雑料金の概念を導入し、料金徴収による自律的な交通調整の可能性について検討した。本研究の成果を以下にまとめる。

- 1) 都市高速道路料金の解析モデルを構築し、基礎的分析を行った。その結果、線形対距離料金の次善料金としての有効性が示された。
- 2) 膨大な組み合わせケースを効率的に検討するために、遺伝的アルゴリズムを用いた計算方法を提案した。この結果、計算回数的大幅な削減が可能となった。
- 3) 路線別に料金水準を設定する路線別対距離料金制度について検討した。この結果、総走行時間の削減が可能であり、社会的最適料金に近い料金設定が実現できることがわかった。

本研究は、平成 24 年度独立行政法人日本学術振興会科学研究費補助金・基盤研究 (C) (課題番号 : 23560636) の研究成果の一部である。

参考文献

- 1) 全国道路利用者会議 : 道路行政 (平成21年度), pp. 105~210, 2010.
- 2) 阪神高速道路株式会社 : ドライバーズサイト <http://www.hanshin-exp.co.jp/kyoriryokin/index.html>
- 3) 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.
- 4) 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
- 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) 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.
- 7) 秋山孝正, 安田幸司, 奥嶋政嗣 : 都市高速道路乗り継ぎ制における最適設定方法についての研究, 土木学会論文集, Vol. 751, IV-62, pp. 13-25, 2004.
- 8) 山田崇, 秋山孝正, 奥嶋政嗣 : 都市高速道路における距離比例料金制度についての基礎的分析, 第25回交通工学研究発表会論文報告集, pp. 253-256, 2005
- 9) 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.
- 10) 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, Vol. 31, No.55, 2011.