

都市高速道路の時間帯別料金政策に着目した交通シミュレーションモデル*

Traffic Simulator for Evaluation of Hourly Toll System on Urban Expressway *

奥嶋政嗣**・秋山孝正***

By Masashi OKUSHIMA**・Takamasa AKIYAMA***

1. はじめに

都市高速道路公団の民営化とETCの導入を踏まえて、都市高速道路の料金制度の検討が進んでいる。交通需要に対応した料金制度の弾力的運用は、社会的便益の向上を期待することができる。ここで、現行のETC割引にも内包される時間帯別料金政策の評価のためには、通過時刻による料金額の相違に対応した利用者の行動変化を考慮して、動的な交通状況推移を推計する必要がある。

本研究では、時間帯別料金政策評価のために、任意の時間帯別料金設定に対応した経路・出発時刻選択行動を記述した交通シミュレーションモデルを開発する。これより、利用者の行動変化を考慮して、都市高速道路における時間帯別料金政策の評価が可能となる。

2. 時間帯別料金政策の評価方法

ここでは、都市高速道路における時間帯別料金に対応する利用者行動の変化と、具体的な時間帯別料金の評価方法について検討する。

(1) 時間帯別料金政策評価方法の検討

「時間帯別料金制度」は、交通需要の時間変化に対応した料金徴収形態であり弾力的な料金徴収を前提とするものである。既存研究において交通需要の時間的変動を考慮した次善の料金政策として、都市高速道路の時間帯別料金政策が検討されている¹⁾。

ここで、固定的料金に対して、時間帯別料金が導入された際の高速道路利用者の行動変化について整理する。時間帯別の料金設定では、時間帯間で利用料金が相違する。このため、高速道路利用者は利用料金の高額な時間帯から、相対的に低額の時間帯への「①出発時刻変更」が想定される。一方、利用料金の高額な時間帯で、高速道路利用の交通費用に対して一般道路利用の交通費用が

低い場合には、高速道路利用から一般道路利用への「②経路変更」が想定される。ここでは、上記の代表的な2種類の利用者行動変化を前提として具体的な検討を行う。

単一ボトルネックの場合の、時間帯別課金有無による交通需要変化の例を図-1に示す^{2),3)}。適切な時間帯と料金額の設定により、所要時間短縮効果が期待できる。

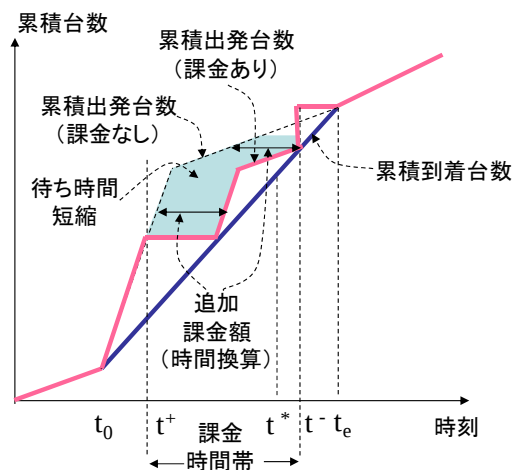


図-1 時間帯別課金時の交通需要の例

ここで、利用者は出発時刻変更によるスケジュール費用の増加を最小化する行動をとると仮定する。このとき、図-1の課金時間帯直前にみられるように、料金額が低額な時間帯の境界時刻近傍に交通需要が集中することになる。したがって、時間帯内の交通状態を均一であるとして扱うことができず、動的な交通流動解析が必要となる。

(2) 動的交通流動解析方法の検討

本研究では、時間帯別料金政策評価のために、実用的な動的交通流動解析方法として交通シミュレーションを構築する。ここでは、交通シミュレーションの具体的なモデルの基本構成の要点について整理する。

都市高速道路の時間帯別料金政策評価のためには、利用者の経路選択と出発時刻選択を考慮する必要がある。これらは相互に関連しているため、本研究では、利用者は到着予定時刻の変更によるスケジュール費用と交通費用（所要時間費用および料金額）の和に基づいて、経路と出発時刻を同時に選択するものと仮定する[仮定1]。

またスケジュール費用は到着希望時刻と到着時刻の時間差に比例すると仮定する[仮定2]。このため、①到着時刻別の最小交通費用を探索し、②スケジュール費用との和に基づいて到着時刻を求めることで、経路・到着時刻

*キーワード：都市高速道路，時間帯別料金，

経路探索，出発時刻決定，交通シミュレーション

**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

(〒770-8506 徳島市南常三島町 2-1, TEL:088-656-7340,

E-mail: okushima@eco.tokushima-u.ac.jp)

***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

(および出発時刻)が決定できる【要点1】。

ここで、到着時刻別による交通費用(所要時間費用と高速道路料金)とスケジュール費用の時間推移の設定例を図-2に示す。ここで単位スケジュール費用は、到着希望時刻を9:00として、それ以前では40[円/分]、以降では400[円/分]と、遅刻に対してのペナルティを考慮して設定している。また時間帯ごとに高速道路料金は相違するため、費用和は時間帯境界時刻で非連続に推移する。

ここで、料金設定時間帯の境界時刻が出発時刻~到着時刻間である場合、到着時刻(あるいは出発時刻)における料金額と、料金所通過時刻における料金額は、必ずしも同一ではない。このため、最小交通費用経路探索では、通行料金額に相当する交通費用を、料金所通過時刻により更新する必要がある【要点2】。

ここで、図-3に示す料金所通過時刻に対応した交通費用の例では、到着時刻9:00として同一の高速道路区間(i, j)を利用する2経路について表現している。この例では、経路1(j→s間30分)よりも、経路2(j→s間40分)の交通費用が少ない。このように、通行料金が時間帯により相違するとき、OD間の最小費用経路上のノードにおいて、当該ノードまでの最小費用経路が、OD間の最小費用経路に含まれない場合があり、最短経路木による最小費用経路の表現ができない。

本研究では、出発地からオンランプ、オンランプからオフランプ、オフランプから目的地の各経路は、最短時間経路を利用すると仮定する[仮定3]。この仮定の下では、それぞれの最短時間経路について、交通費用が最小となる組み合わせを求めることで、都市高速道路を利用する到着時刻別の最小交通費用経路の探索が可能となる【要点3】。なお到着時刻別の最小交通費用探索では、各ノードから目的地までの最小費用経路を最短経路木で表現することで計算時間を削減できる【要点4】。

以上のような3種類の仮定の下に、ここで整理した4種類のモデル構成の要点に基づいて、時間帯別料金政策評価のための交通シミュレーションを構築する。

3. 交通シミュレーションモデルの構築

ここでは、時間帯別料金政策評価のために、個別車両移動を表現したメソスコピック型交通シミュレーション(HEROINE)⁴⁾の基本アルゴリズムを利用して、経路・出発時刻選択モデルを組み込んだシステムを構成する。

(1) 交通シミュレーションのシステム構成

本研究で構築する交通シミュレーションシステムの全体構成を図-4に示す。本システムは、「①最小交通費用経路探索」、「②経路・出発時刻選択」、「③車両移動」で構成されている。

「①最小交通費用経路探索」では、時間帯別ランプ間料金と区間所要時間(5分ごと)に基づいて、高速道路

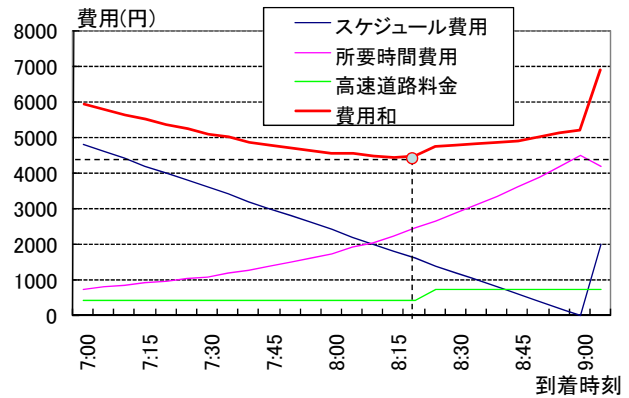


図-2 到着時刻による費用推移の設定例

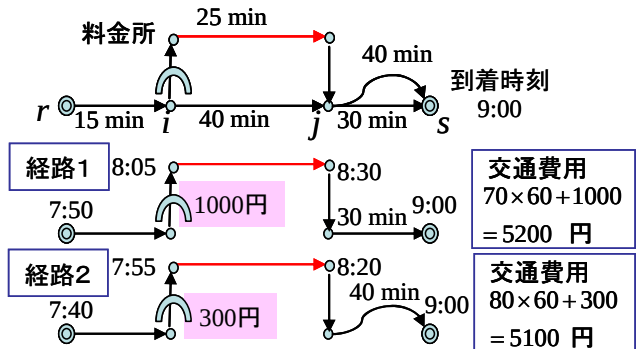


図-3 料金所通過時刻に対応した交通費用の例

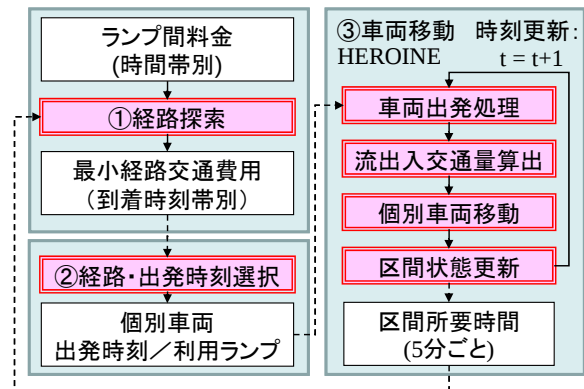


図-4 交通シミュレーションの全体構成

と一般道路を含む都市道路ネットワークを対象として、到着時刻別(5分ごと)にOD間の経路探索を行い、到着時刻別の「最小交通費用経路(利用ランプペア)」とその「最小経路交通費用」を算定する。

「②経路・出発時刻選択」では、到着時刻別の「最小経路交通費用」と、個別車両の到着希望時刻と到着時刻の時間差より求められる「スケジュール費用」の和より「到着時刻(経路・出発時刻)」を確率的に決定する。

「③車両移動」では、個別車両の経路(ランプペア)と出発時刻を所与として、個別車両位置を10秒単位で更新し、「区間所要時間」「個別車両所要時間」を算定する。このとき、一般道路を含むネットワークに対応したモデルに拡張した交通シミュレーションを適用する。

このように、①~③の計算処理を、交通状態が安定するまで繰り返すことで、経路・出発時刻選択時点の所要時間と車両移動による所要時間の整合性を図っている。

(2) 時間帯別料金を考慮した経路探索アルゴリズム

ここでは「非加法的料金」を考慮した経路探索手法⁵⁾を、通過時刻による料金額の相違を考慮して拡張する。提案する「時間帯別料金を考慮した経路探索手順」は、図-5に示す6段階のプロセスで構成される。ここで簡単に各ステップについて説明する。

[Step 1] 一般道路ネットワークを対象に、目的地 s を起点として、到着時刻 t_s における最小費用経路を逆向きに探索する (dijkstra法を基本とする方法)。この結果として、オフランプ j の通過時刻 t_j が算定される。

[Step 2] 各ランプペア (i, j) について、オフランプ到着時刻 t_j における都市高速道路本線上の最短時間経路を逆向きに探索する。この結果として、ランプペア (i, j) 間の料金所 m の通過時刻 t_m が算定される。

[Step 3] ランプペア (i, j) 間の料金所 m の通過時刻 t_m における当該ランプ間の通行料金 $c_{ij}[t_m]$ と、ランプ間所要時間より、ランプ間の「一般化交通費用」を算定する。

[Step 4] 上記の[Step 2]で算定されたランプペア (i, j) の経路を都市道路網上で表現するため、当該ランプ間を結ぶ「仮想リンク」 k を設定する。さらに、当該仮想リンクに対して、算定されたランプ間の「一般化交通費用」を与え、仮想リンクの一般化交通費用とする。

[Step 5] 仮想リンクを含む都市道路網全体を対象に、目的地 s を起点として、到着時刻 t_s における最小費用経路を逆向きに探索する。

[Step 6] 各ODペア $(r-s)$ について、上記で算定された最短経路木より、到着時刻 t_s における最小費用経路の「利用ランプペア」「所要時間」「通行料金」を抽出する。

このような点に考慮した計算アルゴリズムの改良により、任意の時間帯別料金設定に対応した到着時刻別最小交通費用経路探索が可能となった。ただし、高速道路複数回利用を含む経路に関しては厳密には適用できない。

以上のように、時間帯別料金に対応した経路・出発時刻選択モデルを組み込んだ交通シミュレーションを構築することで、時間帯別料金政策評価が可能となった。

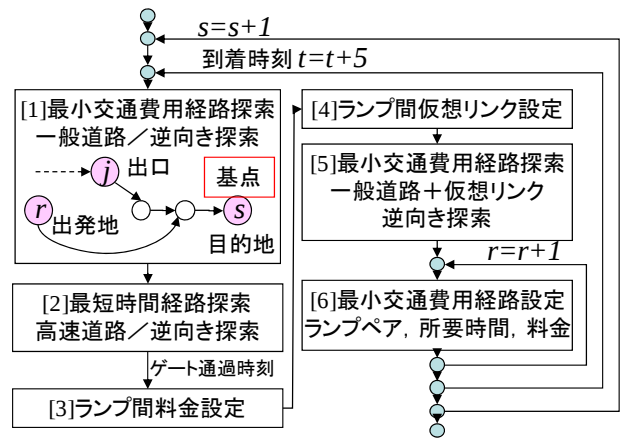
4. 時間帯別料金政策の評価

ここでは、都市高速道路および代替となる一般道路を対象とし、交通シミュレーションを実行し、時間帯別料金設定の効果を分析する。

(1) 対象道路網と時間帯別料金設定

ここでは、交通シミュレーションの対象道路ネットワークと時間帯別料金設定について整理する。

本研究の対象道路ネットワークを図-6に示す。構築した交通シミュレーションモデルの基本性能の検証のため、1起点-1終点で高速道路を1路線含む簡単なネットワークを対象とする。ODペア $(r-s)$ には、高速道路利用6経路と一般道路のみ利用2経路が存在する。



料金ケース(Case1)の到着時刻別経路別利用台数を図-7に示す。全経路でみると到着希望時刻9:00にピークがあるものの、各車両の出発時刻選択の結果として到着時刻は7:00-9:05に分布している。高速道路3区間を利用する経路(a'-b'-c'-d')では、8:15以降に到着する車両は通行料金800円となる。このため、境界時刻8:15直前に交通需要が集中している。このように、通過時刻による料金額の相違に対応した利用者行動が表現できている。

つぎに、交通均衡状態への収束状況を検証するため、割増料金ケース(Case1)の経路別費用和（スケジュール費用と経路別交通費用の和）の推移を図-8に示す。到着台数の存在する全時刻(7:00-9:05)において、いずれの経路も費用和は5200円程度となっている。このように、交通均衡状態に近似した交通状況を表現できている。

また、時間帯別料金設定による出発時刻分布への影響を検討するために、2ケースの高速道路利用有無別の出発時刻分布を図-9に示す。時間帯別料金設定により、高速道路利用車両に関して、ピーク時刻7:20-7:30の出発台数が減少し、出発時刻が前後の時間帯に分散している。このように、時間帯別料金設定の効果が表現できる。

以上のように、提案した交通シミュレーションモデルの基本性能が検証され、時間帯別料金設定の検討に適用可能であることがわかった。現実の大規模ネットワークに適用する場合には、記憶容量および計算時間ともに増大する。このため、①同一起点での経路探索を繰り返すことを考慮した経路探索法の改良、②個別車両の経路・出発時刻決定方法の改良による繰り返し回数の削減などにより記憶容量および計算時間の削減を図る必要がある。

5. おわりに

本研究では、都市高速道路の時間帯別料金政策評価のために、交通シミュレーションモデルを開発した。本研究の成果は以下のように整理できる。

- ①都市高速道路の時間帯別料金に対応する利用者行動の変化と、時間帯別料金の具体的な評価方法について検討した。これより、動的な交通流動解析の必要性が示されるとともに、交通シミュレーションモデル作成に必要な仮定とモデル構成の要点が整理できた。
- ②個別車両移動を表現した交通シミュレーションを基本とし、経路・出発時刻選択モデルを組み込んだシステムを構成した。特に、任意の時間帯別料金設定に対応した到着時刻別最小交通費用経路探索が可能とした。これより、任意の時間帯別料金設定に対応した動的な交通流動解析が可能となった。
- ③簡単な道路ネットワークを対象として、交通シミュレーションを実行し、時間帯別料金設定の効果を分析した。ピーク時間帯への割増料金により、出発時刻の分散が図られ、交通均衡状態が遷移する状況を具体的な

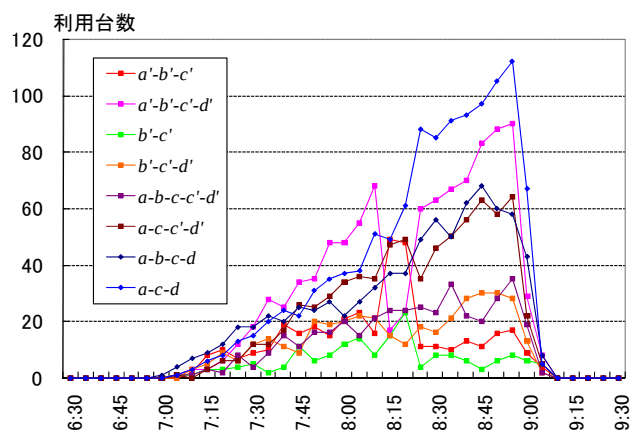


図-7 到着時刻別経路別利用台数の推移

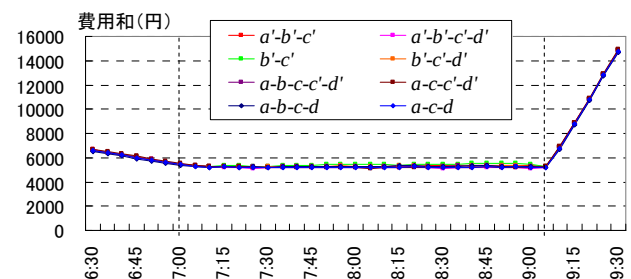


図-8 経路別費用和の推移

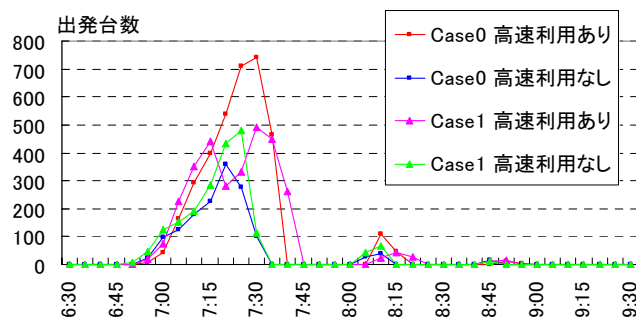


図-9 出発時刻分布の比較

数値指標で把握することができた。

また、今後の課題としては、①スケジュール費用設定の妥当性の検証、②経路・出発時刻選択モデルの実証データを用いた検証、③多起点・多終点に対応したネットワークモデルへの拡張が挙げられる。

参考文献

- 1) 奥嶋政嗣, 秋山孝正: 対距離料金制度下の時間帯別料金設定に関する基礎的分析, 第28回交通工学研究発表会論文報告集, pp. 253-256, 2008.
- 2) Arnott, R., A. de Palma and R. Lindsey: Economics of bottleneck, Journal of Urban Economics, Vol. 27, pp.111-130, 1990.
- 3) 鈴木崇児: ETC 通勤割引制度が及ぼす高速道路混雑への影響, 交通学研究, Vol.52, pp.181-190, 2009.
- 4) 奥嶋政嗣, 大窪剛文, 大藤武彦: 都市高速道路における交通管理施策評価のための交通シミュレーションシステム開発, 土木計画学研究・論文集, Vol. 20, No. 3, pp. 531-538, 2003.
- 5) 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.