

都市高速道路の車種別時間帯別料金決定モデルに関する研究

A model of deciding an optimal multi-class toll of urban expressway considering a time of day

羅罕勋*

Hanxun, Luo

*交通マネジメント工学講座 交通情報工学分野

1. はじめに

近年，都市高速道路では朝・夕のピーク時間帯に交通需要の集中により慢性的な渋滞が発生している状況も散見されている．その渋滞を緩和させるためのソフト的施策の一つとして，時間帯別に適切な通行料金を設定し，交通需要の時間的分散を図る施策の適用が考えられる．実際，走行距離に関わらず同一の料金を徴収することによる短距離利用者と中・長距離利用者間の不公平感の解消を図るため，平成 24 年 1 月 1 日から首都高速道路と阪神高速道路は対距離制料金制度が導入された．さらに，首都高速道路および阪神高速道路で実施された対距離料金制度では，大型車の料金は小型車の 2 倍と固定されているが，車種別に料金を変更して環境負荷の低減を図るため大型車を高速道路に誘導することも考えられるであろう．本研究では，都市高速道路における車種別時間帯別料金決定モデルを構築する．そして，総走行時間と総料金収入といった二つ目的関数が最優となる適正料金と配分状況を分析する．

2. モデルの概要

本モデル総走行時間最小化あるいは総収入最大化を実現する車種別，時間帯別の料金を決定するモデルであり，車種別，時間帯別利用者均衡問題を下位問題とする二段階最適化問題として定式化する．

目的関数の 1 つである総走行時間は，(1)式のように定式化する．なお， T_t は総走行時間， t_a^n は時間帯 n におけるリンク a の旅行所要時間， $x_a^{n,b}$ は時間帯 n におけるリンク a の車種 b のリンク交通量である．

$$Tt = \sum_{n \in N} \sum_{b \in B} \sum_{a \in A} t_a^n \times x_a^{n,b} \quad (1)$$

もう 1 つの目的関数である総料金収入は，(2)式のように定式化する．なお， $F^{n,b}$ は時間帯 n における車種 b の初乗り料金， l_a はリンク a の距離， $x_a^{n,b}$ は時間帯 n ，車種 b のリンク a におけるリンク交通量， $P^{n,b}$ は時間帯 n における車種 b の単位距離当たりの料金である．

$$Income = \sum_{n \in N} \sum_{b \in B} \sum_{a \in A} F^{n,b} \times x_a^{n,b} + \sum_{n \in N} \sum_{b \in B} \sum_{a \in A} P^{n,b} \times l_a \times x_a^{n,b} \quad (2)$$

下位問題である車種別の時間帯・経路選択を表現するネットワーク均衡配分問題は(3)式のように定式化できる．なお， $P(V_n^b)$ は時間帯 n における車種 b の料金パターン， ε^b は車種 b の時間価値換算分， $q_{rs}^{n,b}$ は時間帯 n における OD ペア rs における車種 b の OD 交通量， $C_{rs}^{n,b}$ は時間帯 n における OD ペア rs の車種 b の固有費用， θ_1, θ_2 はそれぞれ経路，時間帯転換におけるコストの感度パラメータである．(3)式における第 1 項は経路への所要時間関数，第 2 項は通行料金の時間換算分，第 3 項と第 4 項はそれぞれ経路及び車種別時間帯 OD に関するエントロピー項，第 5 項は車種別時間帯別に関する線形項．また，(4)式はそれぞれ経路交通量，車種別時間帯別交通量における保存則を，(5)式は車種別に経路交通量とリンク交通量の計算式を表す制約条件である．

$$\begin{aligned} \min Z(x(f), q, P(V_a^b)) = & \sum_{n \in N} \sum_{b \in B} \sum_{a \in A} \int_0^{x_a} t_a(w) + \\ & \sum_{a \in A} \sum_{b \in B} \frac{P(V_a^b)}{\xi^b} \times x_a^b + \frac{1}{\theta_1} \sum_{n \in N} \sum_{b \in B} \sum_{rs \in \Omega} \sum_{k \in K_{rs}} f_{rs,k}^{n,b} \ln \frac{f_{rs,k}^{n,b}}{q_{rs}^{n,b}} \quad (3) \\ & + \frac{1}{\theta_2} \sum_{n \in N} \sum_{b \in B} \sum_{rs \in \Omega} q_{rs}^{n,b} \ln \frac{q_{rs}^{n,b}}{\bar{q}_{rs}^{n,b}} + \sum_{n \in N} \sum_{b \in B} \sum_{rs \in \Omega} q_{rs}^{n,b} C_{rs}^{n,b} \end{aligned}$$

制約条件：

$$\sum_{k \in K_{rs}} f_{rs,k}^{n,b} = q_{rs}^{n,b}, \quad \sum_{n \in N} q_{rs}^{n,b} = \bar{q}_{rs}^{n,b} \quad (4)$$

$$x_a^{n,b} = \sum_{b \in B} \sum_{k \in K_{rs}} \sum_{rs \in \Omega} \delta_{rs,k}^{a,b} f_{rs,k}^{n,b} \quad (5)$$

紙面の都合上証明は省略するが，下位問題における目的関数と制約条件はいずれも凸関数である．本研究では，料金パターンを外生的に与え，下位問題を繰り返し計算することにより，上位問題の目的関数を最小化する料金パターンを求め，3 では仮想ネットワークに適用計算を行い，本モデルの適用性を検証する．

3. 仮想ネットワークにおける適用計算

本章では、以下に示す条件で、仮想ネットワークにおける適用計算を行う。

- 放射・環状高速と一般道を含む5×5の格子状のネットワークにおいて3時間帯で分析する。
- 各ODペアの全時間帯総需要は1600とする。
- 各時間帯の需要は、時間帯1,3,2の順に大きくなるとする。
- 大型車の混入率は0.3とする。
- 大型車の料金は小型車の料金の2倍とする。

以上の設定のもと、55料金パターンを外生的に与え、総走行時間最小になる料金パターンを求め、表1に、総走行時間が最小となる料金パターン (MinTT) と、比較のため現状の都市高速道路の料金パターンに近い「基準」料金パターンを示す。また、表2に各料金パターンにおける目的関数の比較を行う。

表1 各料金パターンの時間帯別料金の内訳

料金	小型車(円)			大型車(円)		
	1	2	3	1	2	3
MinTT	0	300	300	0	600	600
基準	700	700	700	1,400	1,400	1,400

表2 各料金パターンの目的関数の比較

料金	総走行時間(万分・台)	総料金収入(百万円)
MinTT	268.22	19.57
基準	288.15	41.35

表1を見ると、総旅行時間が最小となる料金パターン (MinTT) においては、需要が一番少ない時間帯1の料金を0とすることにより需要の時間分散を図っており、さらに基準料金と比べると時間帯2,3の料金も下げていることから、全体的に基準料金パターンと比べて高速道路の利用を促していることが読み取れる。その結果、表2に示すように総旅行時間が最小となる料金パターンでは総旅行時間が基準パターンのおよそ7%減少となるが総料金収入は半分以下となっている。

次に、図1に各料金パターンにおける時間帯別リンク混雑度を表す。基準料金パターンは各時間帯の料金は同じであるため、需要の多い時間帯2で特に環状高速道路において激しい混雑が生じているが、需要の少ない時間帯1,3では高速道路、一般道路とも激しい混雑は生じていない。総走行時間を最小にする料金パターン (MinTT) においては、基準料金パターンと比べて料金が安いいため、需要が多い時間帯2において高速道路に混雑が生じているものの、一般道路の料金は緩和されている。また、料金が0の時間帯1では、一部の一般道路のリンク交通量が0となっている。

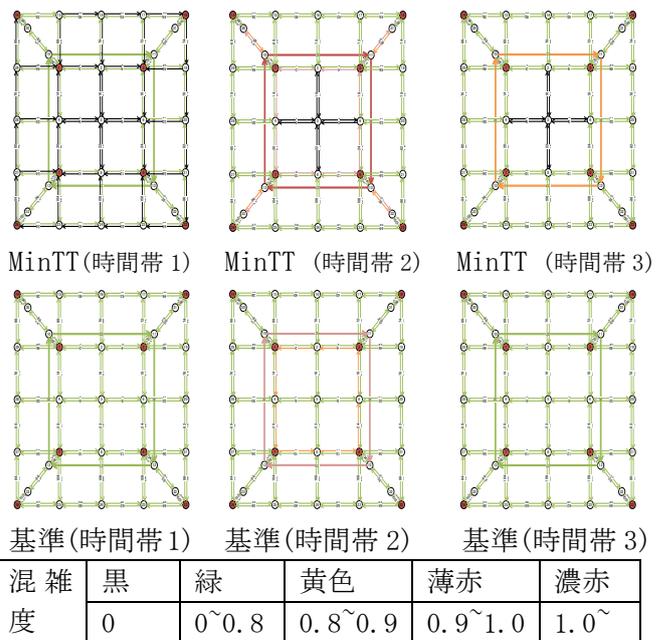


図1 各料金における時間帯別リンク混雑度

以上より、時間帯別料金の適用により、総走行時間が減少することが確認され、また高速道路料金を安く設定することで、高速道路の利用が増加し、一般道路の利用が減少するも確認できた。

4. おわりに

本研究では、時間帯の需要変動を考慮した時間帯別利用者均衡問題を下位問題とした、都市高速道路における車種別時間帯別料金決定モデルを構築した。構築したモデルを仮想ネットワークに適用し、総走行時間最小になる料金パターンと基準料金パターンにおける各時間帯のリンク混雑度の変動を比較し、本モデルの妥当性を検証した。

本研究の今後の課題は以下のようなものになる

- 実測交通量やアンケート調査結果によりパラメータ θ_1, θ_2 を推定し、実ネットワークでの適用を行う
- 解析的に最適料金を決定するアルゴリズムの検討

参考文献

- (1) 伊庭洋一: 交通需要の時間的分散を目指した都市高速道路の料金決定問題, 京都大学大学院修士論文, pp13-17, 2009
- (2) 円山琢也, 原田昇. 活動選択を内生化した時間帯別・統合均衡モデルの構築. 土木計画学研究・講演集, V0124, No2, pp581-pp584, 2007
修士論文指導教員
宇野伸宏准教授, 嶋本寛講師, 中村俊之助教, 山崎浩気助教