

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

交通情報工学研究室 伊庭洋一

1. 目的

本研究では、時間帯の需要変動を考慮した配分を考案し、通行料金の決定モデルを構築する。

2. 研究内容

時間帯別料金実施時に時間帯・経路を同時選択する配分法を数理最適化問題として定式化する。そして、その配分を用い、目的関数を最適化する時間帯別料金を決定するモデルの構築する。目的関数としては、総走行時間最小化、料金収入最大化、消費者余剰最大化を目指す。

本モデルは、(1)~(4)式のように2レベル問題として定式化され、求める変数は時間帯別料金となる。

max(min). 目的関数	(1)
subject to (料金収入) \geq (償還に必要な金額)	(2)
(配分交通量) \leq (ネットワーク容量)	(3)
min.Z	(4)

解法は次のようになる。①料金パターンを与える。②各料金パターンにおいて(4)式の時間帯の需要変動を考慮した均衡配分を行う。③配分結果に基づいて、(2)式の償還条件、(3)式の容量条件を満たす料金パターンのみを抽出する。④各料金パターンで目的関数値を計算し、最適な順に並べる。

3. 時間帯のネットワーク配分

(4)式の時間帯のネットワーク配分が本研究の特長であるので、説明する。

3.1. 配分に際する仮定

時間帯別料金による配分の変化を表現するための仮定は次のようになる。

- 利用者は利用時間帯と経路の選択を行う。
- 全時間帯の OD 需要の和は一定である。
- 時間帯・経路間ではコスト（一般化費用）に応じて均衡が成り立つ。ここで、(経路コスト)=(交通量に応じた所要時間)+(料金)/(時間価値)
- 残留交通量は考えない。

3.2. 時間帯・経路の同時均衡配分

時間帯、経路の選択確率がそれぞれ(5),(6)式となる2段階の確率的均衡配分を考案した。

$$\Pr(n)_{rs} = \frac{\exp\{-\theta_2(C_{rs}^n + S_{rs}^n)\}}{\sum_{n \in N} \exp\{-\theta_2(C_{rs}^n + S_{rs}^n)\}} \quad (5)$$

$$\Pr(k | n)_{rs} = \frac{\exp(-\theta_1 c_k^{rs,n})}{\sum_{k \in K_{rs}^n} \exp(-\theta_1 c_k^{rs,n})} \quad (6)$$

3.3. パラメータの意味

θ_1 は経路転換に関するコストの感度パラメータで、0.1 とする。 θ_2 は時間帯転換に関するコストの感度パラメータで、0.01 とする。 C_{rs}^n は時間帯の固定費用、すなわち、所要時間・料金を除いた、その時間帯を利用する都合の良さで決まる定数の費用である。この値により、ピーク時に需要が集中するといった現象を反映できる。 S_{rs}^n は経路選択に対する期待最小費用、すなわち、経路コスト（所要時間+料金）で決定される費用であり、(7)式で表わされる。

$$S_{rs}^n = -\frac{1}{\theta_1} \ln \left\{ \sum_{k \in K_{rs}^n} \exp(-\theta_1 c_k^{rs,n}) \right\} \quad (7)$$

本配分法はパラメータ値依存であり、現況の交通量配分を記述できなくてはならない。そこで、観測 OD 交通量を用いて C_{rs}^n を最尤推定する

4. 料金変更時の分析

4.1. 設定

- 放射・環状高速と一般道を含む 5×5 の格子状の仮想ネットワークにおいて3時間帯で分析する。
- 基準料金を 700 円の均一料金とする。
- 需要は、基準料金での時間帯別の観測 OD 交通量を指し、時間帯 1,3,2 の順に大きくなるとする。なお、基準需要と、それと需要合計の等しい他需要（ピーク時大・長トリップ大）を考える。なお、需要ごとにパラメータ推定を行う。
- 料金は、初乗り料金と距離料金からなり、需要の高い時間帯ほど、双方の料金は高額にする。
- 償還条件は考慮しない。
- 目的関数は総走行時間とする。

4.2. 基準需要での分析

表 1 より、全時間帯において基準料金より安い初

乗りのみの時間帯別料金であり、長距離旅行者に好ましく、ピーク時の需要分散が目指されている。値下げにより料金収入は下がり消費者余剰は上がる。

最適料金時は、時間帯別料金であるため、一般道リンクではオフピーク時（時間帯 1,3）に大きく減少し、高速道路ではオフピーク時に大きく増加する。

表 2 より、概ね時間 2,3 で減少、時間帯 1 で増加する。走行時間の長い外外 OD において顕著である。

4.3. 他需要での分析

ピーク時大では、最適料金時に、より時間的に分散するため、総走行時間の減少率は高く、消費者余剰は増加した。料金収入の減少率は下がる

長トリップ大では、高速道路交通量が高いため、最適料金がピーク時に高い。図 1 を見ると、ピーク時料金が大きく、高速道路への転換交通量は低いため、総走行時間の減少率は低い。また、ピーク時料金が低いため、料金収入の減少率は低く、消費者余剰の増加率は低い。

4.4. 結果の整理

総走行時間の最小化には、初乗りのみの時間帯別料金が有効である。そのとき、料金収入は下がり、消費者余剰は上がる。また、リンク交通量がオフピーク時の高速道路へ転換し、OD 交通量が時間的に分散する。長トリップ大では、最適料金がピーク時に高くなる。また、ピーク時大では総走行時間の減少率が大きく、長トリップ大では低い。

5. 結論

本研究では、時間帯の需要変動を考慮した配分を考案し、通行料金の決定モデルを構築できた。そして、

目的関数の最適料金とその配分状況には特徴がある、需要によって目的関数の最適料金やその効果が異なることがわかった。

本研究の課題は次のようになる。

- 実ネットワークでの適用を行っていない。
- θ_1, θ_2 のアンケート調査等による推定が必要。

表 2 最適料金時の OD 交通量増減 (%)

O\D	1	3	7	9	14	18	22	26
1		0.7	2.3	3.1	1.6	3.5	3.2	0.8
3	2.3		3.1	0.7	0.8	1.6	3.5	3.2
7	0.7	3.1		2.3	3.5	3.2	0.8	1.6
9	3.1	2.3	0.7		3.2	0.8	1.6	3.5
14	1.3	4.4	0.5	4.2		5.0	4.4	5.2
18	0.5	1.3	4.2	4.4	5.2		5.0	4.4
22	4.2	0.5	4.4	1.3	4.4	5.2		5.0
26	4.4	4.2	1.3	0.5	5.0	4.4	5.2	

O\D	1	3	7	9	14	18	22	26
1		-1.2	-2.0	-0.5	1.5	-1.0	-0.4	3.4
3	-2.0		-0.5	-1.2	3.4	1.5	-1.0	-0.4
7	-1.2	-0.5		-2.0	-1.0	-0.4	3.4	1.5
9	-0.5	-2.0	-1.2		-0.4	3.4	1.5	-1.0
14	1.7	-2.5	3.3	-1.9		-2.7	-1.8	-1.0
18	3.3	1.7	-1.9	-2.5	-1.0		-2.7	-1.8
22	-1.9	3.3	-2.5	1.7	-1.8	-1.0		-2.7
26	-2.5	-1.9	1.7	3.4	-2.7	-1.8	-1.0	

O\D	1	3	7	9	14	18	22	26
1		0.9	0.7	-1.7	-2.9	-1.4	-1.9	-4.5
3	0.7		-1.7	0.9	-4.5	-2.9	-1.4	-1.9
7	0.9	-1.7		0.7	-1.4	-1.9	-4.5	-2.9
9	-1.7	0.7	0.9		-1.9	-4.5	-2.9	-1.4
14	-2.9	-0.3	-4.3	-0.8		-0.6	-1.1	-2.7
18	-4.3	-2.9	-0.8	-0.3	-2.7		-0.6	-1.1
22	-0.8	-4.3	-0.3	-2.9	-1.1	-2.7		-0.6
26	-0.3	-0.8	-2.9	-4.3	-0.6	-1.1	-2.7	

表 1 基準需要における総走行時間の低い順 4 位

初乗り料金 (円)			距離料金 (円 / 時間帯)			総走行時間		料金収入		消費者余剰	
時間帯1	時間帯2	時間帯3	時間帯1	時間帯2	時間帯3	順位	値(万分)	増減(値)	(万増減)	(値) (万分)	
0	400	200	0	0	0	1	227.3	-9.59	1548.5	-61.50	22.8
100	400	200	0	0	0	2	227.4	-9.54	1773.8	-55.89	18.4
200	400	200	0	0	0	3	227.4	-9.52	1976.6	-50.85	14.3
0	400	400	0	0	0	4	230.1	-8.46	1872.8	-53.43	27.6

基準料金	700	700	700	0	0	0	64	251.4	0.00	4021.6	0.00	0
------	-----	-----	-----	---	---	---	----	-------	------	--------	------	---

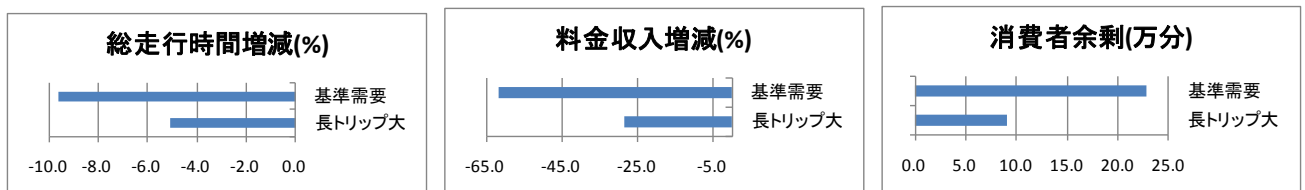


図 1 長トリップ大における最適料金時の目的関数の増減