

愛媛大学大学院 学生員 ○木下隆介
愛媛大学工学部 正会員 羽藤英二

1. はじめに

近年、交通混雑の緩和を図る、交通施設・交通ネットワークを効率的に利用するための方策の一つに、ロンドンや香港においては既に導入され大きな効果をあげている混雑料金の導入が考えられている。交通工学における均衡理論を用いて混雑料金を求める場合、料金は経路条件により変化すると考えられる。

本研究では、経路条件による料金変動の特性を理解する。その後、松山都市圏のネットワークを用いて、指定した経路に一律な料金を課金し、その効果や交通量変動を検証する。

2. 混雑料金の式の定式化

本研究では、ドライバーの選択行動における様々な要因による不確定性を考慮した、確率的利用者均衡配分下での最適混雑料金を取り上げる。ここで示す「最適」の基準は、従来の交通ネットワーク配分においてシステム最適配分としてよく知られる、総旅行時間最小化とする。

まず、リンク a の一般化費用 $c_a(x_a)$ をリンク所要時間 $t_a(x_a)$ とリンクごとに課す料金 d_a との和とし、以下のように示す。

$$c = t + d \quad (1)$$

最適混雑料金パターン d は、以下の二段階最適化問題 (BP: Bilevel Programming) を解くことにより得られる。

$$\min_d Z_p = \sum_a x_a t_a(x_a) \quad (2)$$

subject to

$$\begin{aligned} \max_x Z_s = & \sum_{rs} q_{rs} S_{rs}(c) - \sum_a x_a c_a(x_a) \\ & + \sum_a \int_0^{x_a} c_a(w) dw \end{aligned} \quad (3)$$

ここで、

x_a : リンク a の交通量

q_{rs} : OD ペア rs 間の交通量

S_{rs} : OD ペアごとの期待最小 (一般化) 費用関数

$$\begin{aligned} S_{rs} &= S_{rs}(c_{rs}) = E[\min\{C_k^{rs}\}] \\ &= -\frac{1}{\theta} \ln \sum_k \exp(-\theta c_k^{rs}) \quad \forall r, s \end{aligned} \quad (4)$$

ここで求まる最適混雑料金をリンクに設定することで、利用者の自由な経路選択行動の結果がシステム全体の最適化状態と一致する。

3. 仮想ネットワークを用いた計算例

図 1 のような 1OD3 経路の仮想ネットワークを用いて最適混雑料金の計算を行う。リンク 1 と 5 がそれぞれ経路 1, 3 間 2, 3 間における重複リンクとなり、リンクコストは以下の BPR 関数を用いる。

$$t_a(x_a) = t_{a0} \left\{ 1 + \alpha (x_a / Cap_a)^\beta \right\}$$

ここで、

$t_a(x_a)$: リンクコスト

t_{a0} : リンク自由走行コスト

x_a : リンク交通量

Cap_a : リンク容量

α, β : パラメータ ($\alpha = 1.0, \beta = 3.0$)

OD 交通量、容量、ネットワークの重複率の変化に対して料金がどのように変動するのか、基本的な特性を検証する。

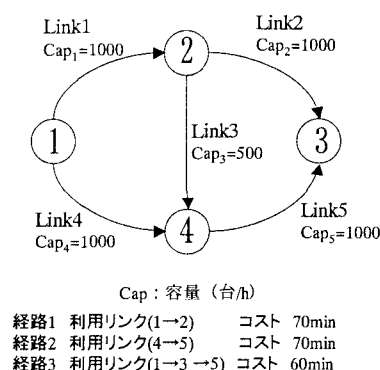


図 1 仮想ネットワーク

(1) OD 交通量の変化

経路 3 の重複率 0.5, リンク 3 の容量を 500 (台/h) に固定し, OD 交通量を 500→1000→3000 (台/hr) と変化させる. 各リンクとも OD 交通量が多くなるにつれ混雑料金が高くなり, 経路 3 は各 OD 交通量に対して常に一番高くなる. また, また最も料金の高いリンクは OD 交通量によって異なる.

(2) 容量の変化

OD 交通量を 1000 (台/h), 経路 3 の重複率 0.5 に固定し, リンク 3 の容量を 500→1000→3000 (台/h) と変化させる. 容量が大きくなるにつれリンク 3 の料金は低くなり, 重複リンク (1, 5) の料金は高くなる. またリンク 3 の容量増加により経路 1, 2 の料金は増加するが, 経路 3 の料金は減少する.

(3) 重複率の変化

OD 交通量を 1000 (台/h), リンク 3 の容量を 500 (台/h) に固定し, 経路 3 の重複率を 0.1→0.5→0.9 と変化させる. 重複率が高くなるにつれ, 重複リンク (1, 5) の料金が高くなり, 重複していないリンク (2, 3, 4) は料金が低くなる.

表 1 重複率の変化に対する混雑料金

重複率	リンク番号	UE に対する 最適料金 $x(dI/dx)$	確率的 付加項 $(I/\theta)\alpha$	SUE に対する 最適料金 d
0.1	1	2.12	7.62	9.74
	2	11.20	2.00	13.20
	3	17.03	5.82	22.85
	4	11.20	8.62	19.82
	5	2.12	1.00	3.12
0.5	1	10.06	7.34	17.40
	2	10.02	2.00	12.02
	3	7.06	7.08	14.14
	4	10.02	8.34	18.36
	5	10.06	1.00	11.06
0.9	1	16.22	6.79	23.01
	2	9.22	2.00	11.22
	3	0.71	9.92	10.63
	4	9.22	7.79	17.01
	5	16.22	1.00	17.22

単位 min

以上のようにネットワーク条件を変更させた場合, 混雑料金の特性を以下に示す.

- ・ 交通量により最適混雑料金変動するため, 時間帯や日別で料金を変更する必要がある.
- ・ ネットワークの形状や道路容量の検討を行った上で最適な料金を設定する必要がある.

4. 松山市道路ネットワークを用いた分析

図 2 の松山都市圏の道路ネットワークを用いて混

雑料金を適用する. 6時から10時の間で, 1時間単位の準動的 SUE 配分を行う. その後, 一律な混雑料金を設定した場合の交通量配分を行い, 両者を比較・検証する.

課金を行うリンクは, 主要道路である容量の大きい国道 11 号線, 33 号線, 56 号線の一部, 環状線と, 容量の小さい旧国道 11 号線付近に設定した. 以下に結果をまとめる.

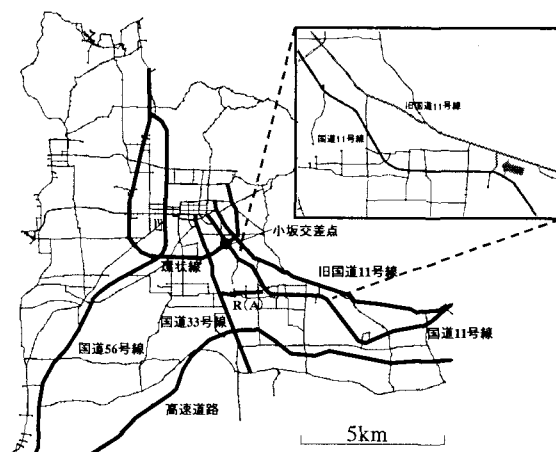


図 2 松山都市圏の道路ネットワーク

(1) 主要道路における課金

交通量の多い7時台の国道 11 号線に課金を行った場合を除き, その他のケースで課金を行うと, 総旅行時間は増加, もしくは変化しない結果となった. また交通量の変動においても大きな変化がみられない.

(2) 旧国道 11 号線付近における課金

課金することにより, その経路の交通量が減少し総旅行時間も減少した. また, 図 2 の矢印で示したリンクは, 建設されることにより総旅行時間が増加するという, パラドックスが生じるリンクである. そのようなリンクに課金を行うと総旅行時間, 交通量は減少する.

5. まとめ

主要道路に課金を行った場合のように, 交通量が道路容量に対して余裕のあるリンクに課金を行っても成果は現れにくいと考えられる. 代替経路が存在し, 交通量が容量と同等かそれ以上流れている経路や, パラドックスを生じさせるリンクに課金を行うと, その経路の交通量, 総旅行時間も減少し混雑料金適用の優位性がある.