

ロード・プライシングの評価に関する研究

名古屋工業大学 正 員 松井 寛
 名古屋工業大学 学生員 ○堀尾 朋宏

1. はじめに

近年、交通渋滞をはじめとする大都市問題が深刻化する一方その対策が手詰まりになってきたことに加え、地球環境問題への関心の高まりなどを背景に各国においてロード・プライシングの導入あるいはその検討が進められている。本研究ではロード・プライシングについて概説するとともに、数理計画モデルによりその最適料金および混雑緩和効果を計測する。

2. ロード・プライシングの概説

ロード・プライシングは、道路の利用に対し料金を賦課することによって自動車交通量をコントロールしようとするもので、自動車利用の抑制による混雑緩和や既存の道路網の最適利用を目差す交通制御の一手法である。地域や時間帯、規定対象を限定して自動車交通量をコントロールできるということや、実施に伴う賦課金収入が生じこれが新たな財源として使用できるという特徴があるため、その利用目的としては以下のような様々なものが考えられる。

- (1) 渋滞対策
- (2) 自動車公害対策
- (3) 道路投資・維持管理財源
- (4) エネルギー対策
- (5) 交通安全対策
- (6) その他総合交通政策、総合都市政策

実際のロード・プライシングの適用例や検討例を見ても、シンガポールのALSや香港のERPなど交通渋滞緩和を目的としたもの、道路財源の拡充を目的としたベルゲンのトール・リング、さらにストックホルムやオランダのように環境対策を考慮に入れたものなど様々な利用方法が提案されている。

3. 数理計画モデルとしての定式化

ロード・プライシングにおいては計画者は道路利用者に対し優先して最適政策を決定でき、道路利用者はその政策のもとで自己にとって最適な状態になるように行動する。このような状況は2段階の最適化の構造を持つStackelberg計画問題としての定式化が可能である。本研究では、上位最適化問題として4種類の目的関数を取上げる。利用者の行動選択にあたる下位最適化問題は、利用者均衡配分問題とする。まず定式化

にあたっての仮定を整理すると以下ようになる。

- (1) 計画者は利用者に対し各リンクごとに、任意のリンクに料金を課することができる。
- (2) ロード・プライシングによる利用者の行動選択肢は経路選択に限る。
- (3) 利用者は各自の知覚する一般化費用(所要時間+料金/時間価値で表わされる。)を最小化するように経路選択を行う。
- (4) リンク所要時間はリンク交通量に対して単調増加で凸な関数で表わされる。
- (5) 総需要は固定されている。

a. 総走行時間最小化

ロード・プライシングの政策目標のうち最も主要なものは、道路混雑の緩和および既存の道路網の最適利用である。道路網の最適利用は総走行時間が最小となった場合に達成されるので、上位最適化問題は総走行時間最小化とするのが適当である。

$$\min_p F = \sum_a V_a t_a(V_a) \quad (1)$$

$$s.t. \min_x g = \sum_a \int_0^{V_a} \{t(V) + \delta_a P_b / \omega\} dV \quad (2)$$

$$X_{ij} = \sum_k x_{ij}^k \quad (3)$$

$$x_{ij}^k \geq 0 \quad (4)$$

X_{ij} ; ODペア i, j のOD交通量

x_{ij}^k ; ODペア i, j の第 k 番目経路交通量

a ; リンク番号

b ; 料金を賦課するリンク番号

V_a ; リンク a のリンク交通量

t_a ; リンク a のリンク所要時間

δ_a ; リンク番号 $a = b$ ならば1、それ以外は0の値をとるダミー変数

P_b ; リンク b のリンク料金

ω ; 時間価値

ここで①式は上位問題、②式は下位問題であり、③式はOD保存条件、④式は交通量の非負条件である。

b. 総料金収入最大化

ロード・プライシングは実施に伴う賦課金収入が生じるため、道路投資や維持管理財源の確保も政策目標の一つとなる。この場合の上位最適化問題としては、次のような総料金収入最大化が考えられる。

$$\max_p F = \sum_b P_b V_b \quad (5)$$

c. 収益を考慮した総走行時間最小化

この上位最適化問題は道路混雑の緩和を図りながら料金収入をできるだけ大きくしたいという政策意図によるもので、aとbの中間的なモデルである。

$$\min. F = \alpha \left\{ \sum_a V_a t_a(V_a) \right\} \omega - \sum_b P_b V_b \quad \textcircled{6}$$

α ; 重み係数

d. 任意のリンク交通量を制限する

この上位最適化問題は、任意のリンク（例えばバスの運行経路などで常に一定のサービス水準を保ちたいリンクなど）の交通量をある水準にまで減らそうとするものである。交通量の基準は設計交通容量を用いた。

$$\min. F = V_d - C_d \quad \textcircled{7}$$

$$\text{s.t. } V_d - C_d \geq 0 \quad \textcircled{8}$$

d ; 計画者が定めた任意のリンク番号

C_d ; リンクdの設計交通容量

4. 計算例

以上の定式化に基づき、計算例を実行した。

解法としては、上位問題の目的関数値を計算する際に下位問題を解き、反復計算によって上位問題を最適化させる方法を行った。上位問題の最適化には直接探索法(Rosenbrock法)を、下位問題の最適化にはF-W法を用いた。この計算方法によると、上位問題の目的関数に料金 P_b が含まれない場合や、任意のリンクにのみ料金を賦課する場合にも容易に対応できる。

計算例の道路網を図-1に、各リンクの条件を表-1に示す。計算に際し時間価値 ω は25(円/分)とし、すべての場合で混雑している方の経路(経路1)にのみ料金を賦課した。需要交通量が800(台/時)の時の4モデルの計算結果と、比較のためにロード・プライシングを行わなかった場合の結果をまとめて表-2に示す。

モデルaの結果は、総走行時間が最小化され、ロード・プライシングを行わなかった場合に比べて経路1の混雑が緩和されている。モデルbについては、経路1の混雑が緩和され、かつ料金収入が最大化されているが、料金や経路間の交通量の差がやや非現実的な数字となっており、総走行時間もかなり大きくなっている。モデルcでは、 $\alpha=1$ で計算を行った。モデルbに比べて総料金収入は少なくなっているが、料金は低く抑えられており現実的な値であると言える。モデルdにおいては、設計交通量を450(台/時)として計算を行った。経路1の交通量が設計交通量以下に抑えられており、所定のサービス水準が確保されている。

5. 結論

本研究の考察により次のような結論が得られた。

- (1) ロード・プライシングにおける状況は、計画者側の最適化問題および道路利用者側の最適化問題の2段階からなる最適化問題として定式化できる。
- (2) 計算の過程で上位問題と下位問題を適切に組み合わせることで反復計算を行うことにより、リンクを限定して料金を賦課した場合の計算が可能となる。
- (3) ロード・プライシングには様々な政策目標があり、それに対応したいいくつかのモデルが考えられる。そして、それぞれの政策目標にそって異なった最適料金が得られる。

今後の課題としては、車種別に最適料金を計測できるようなモデルの開発が考えられる。

ロード・プライシングについては、今後各国における適用例は増えるものと思われる。計画にあたってはどのような政策目標を中心に置くかをはっきりさせ、その政策目標に適したシステムや料金の金額、料金賦課の方法、時間帯、地域等を決定することが望ましい。

【参考文献】

松井 寛, 山下 益宏: 多種モード混合の最適ネットワークに関する研究, 交通工学, 1978

太田 勝敏: ロード・プライシングの意義とその適用性, 国際交通安全学会誌, 1989

経路1

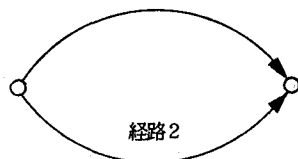


図-1 計算例 道路網

表-1 計算例 リンク条件

経路番号	距離(km)	平均速度(km/時)	容量(台/時/車線)	車線数
1	5	30	500	2
2	10			

表-2 各モデルの計算結果

モデル	経路番号	交通量(台/時)	所要時間(分)	料金(円)	総走行時間(分)	総料金収入(円)
a	1	433	22.8	211	21 286.1	91 363
	2	367	31.1	0		
b	1	154	10.0	4964	136 166.4	764 456
	2	646	208.4	0		
c	1	386	17.2	584	23 364.8	225 424
	2	414	40.4	0		
d	1	450	25.5	80	21 555.0	36 000
	2	350	28.8	0		
R.P. なし	1	461	27.5	0	22 000.0	0
	2	339	27.5	0		