

ロードプライシング評価のための統合型 Multi-class 利用者均衡モデルの構築*

*Development of Combined Modal Split and Assignment Multi-class User Equilibrium Model for Evaluating Road Pricing**

金子 雄一郎 ***, 福田 敦 ***, 小田 崇徳 ****
 By Yuichiro KANEKO **, Atsushi FUKUDA ***, Takanori ODA ****

1. はじめに

都心部の混雑エリアへ流入する自動車へ課金を行なうロードプライシング (Road Pricing: 以下RP) は、既にシンガポールを始めとした複数の都市で導入されており、近年では、交通問題が深刻化している東南アジアの都市においても導入が検討されている。例えば、最も交通混雑が激しいと言われていたバンコクでは、タイ政府や世界銀行などによって、過去に何度か導入が提案されている¹⁾。

このような途上国の大都市の場合、所得格差が大きいので、RPによる交通混雑の改善効果を計測するにあたっては、自動車利用者の所得水準と価格弾力性との関係などの利用者属性を考慮する必要があると考えられる。

本稿では、このような利用者属性を考慮してRPを評価するための計量的手法を構築することを目的とする。より具体的には、所得階層毎の利用者の選択行動を記述した、分担・配分統合型 Multi-class 利用者均衡モデルを構築する。

2. 統合型 Multi-class 利用者均衡モデル

均衡理論の枠組みで、利用者属性を考慮したモデル (Multi-class 利用者均衡モデルと呼ばれている²⁾) については、Dafermos (1972)³⁾の研究以来、多数提案されている。このうち、LeBlanc and Abdulaal (1982)⁴⁾は、乗用車と公共交通が混在するネットワーク上に、複数の利用者グループが存在することを前提とした分担・配分統合型均衡モデルを提案している。このモデルでは、乗用車と公共交通のリンクコスト関数が対称である場合に限り、最適

化問題として定式化できることが示されている。また、文 (1993)⁵⁾は、利用者の異質性を考慮した利用者均衡モデルを用いて、混雑料金と交通量配分に関する分析を行なっている。その結果からは、利用者の属性の違いは、交通量配分結果に影響を及ぼすことが示されている。

本研究では、以上の既存研究を参考に、乗用車と公共交通の2モードネットワークにおける分担・配分統合型 Multi-class 利用者均衡モデルを構築する。なお、以下の定式化において、 j は利用者グループ ($j = 1, 2$)を表すものとする。

まず、交通量に関するリンク変数と経路変数との関係は以下の通りである。

$$x_{a,j} = \sum_{r \in R} \sum_{s \in S} \sum_{k \in K_{rs}} f_{k,j}^{rs} \delta_{a,k,j}^{rs} \quad \forall a \in A, j \in J_{rs} \quad (1)$$

ここに、 $x_{a,j}$: リンク a の乗用車の交通量、 $f_{k,j}^{rs}$: ODペア rs 間の経路 k の乗用車の交通量、 $\delta_{a,k,j}^{rs}$: リンク a が経路 k 上にないとき:0, あるとき:1, R : 起点集合, S : 終点集合, K_{rs} : 経路集合, A : リンク集合, J_{rs} : 利用者集合。

経路交通量とOD交通量の関係 (交通量保存則) は以下の通りである。

$$\sum_{k \in K_{rs}} f_{k,j}^{rs} = q_{rs,j} \quad \forall r \in R, s \in S, j \in J_{rs} \quad (2)$$

ここに、 $q_{rs,j}$: ODペア rs 間の乗用車の交通量。

利用者の経路選択行動がWardropの第1原則に従うとすると、以下の均衡条件式が成立する。なお、本研究では料金を含む問題を扱うことから、交通手段、経路選択指標として一般化費用を用いる。

$$f_{k,j}^{rs} (u_{k,j}^{rs} - u_{rs,j}) = 0 \quad \forall r \in R, s \in S, k \in K_{rs}, j \in J_{rs} \quad (3a)$$

$$u_{k,j}^{rs} - u_{n,j} > 0 \quad \forall r \in R, s \in S, k \in K_{rs}, j \in J_{rs} \quad (3b)$$

$$f_{k,j}^{rs} > 0 \quad \forall r \in R, s \in S, k \in K_{rs}, j \in J_{rs} \quad (3c)$$

ここに、 $u_{k,j}^{rs}$: ODペア rs 間の経路 k の一般化費

* キーワーズ: ネットワーク交通流, ロードプライシング, 利用者属性

** 学生員 修(工) 日本大学大学院理工学研究科交通土木工学専攻 (〒274-8501 船橋市習志野台7-24-1 Phone&Fax: 047-469-5355)

*** 正員 工博 日本大学理工学部交通土木工学科

**** 学生員 日本大学理工学部交通土木工学科

用, $u_{rs,j}$: ODペア rs 間の最小一般化費用.

一方, 公共交通については, その所要時間は乗用車の影響を受けないと仮定する. その結果, 経路が1本となることから, 常に最小費用経路が選択されることとなる.

乗用車およびバスの一般化費用は, 以下のように表現される.

$$u_{k,j}^{rs} = \sum_{a \in A} u_a^j \delta_{a,k,j}^{rs} \quad \forall r \in R, s \in S, k \in K_{rs}, j \in J_{rs} \quad (4a)$$

$$u_a^j = p_a^j + V_j t_a^j(x_a^j) \quad \forall a \in A, j \in J_{rs} \quad (4b)$$

$$u_{rs,j}^{mt} = p_{rs,j}^{mt} + V_j c_{rs,j}^{mt} \quad \forall r \in R, s \in S, j \in J_{rs} \quad (4c)$$

ここに, u_a^j : リンク a の乗用車の一般化費用, p_a^j : リンク a の乗用車の走行費用 (RPを導入した場合には, その料金も含む), V_j : 時間価値, t_a^j : リンク a の乗用車の走行時間, $u_{rs,j}^{mt}$: ODペア rs 間の公共交通の一般化費用, $p_{rs,j}^{mt}$: ODペア rs 間の公共交通の費用 (料金), $c_{rs,j}^{mt}$: ODペア rs 間の公共交通の走行時間.

乗用車と公共交通の分担関係は, 以下のロジットモデルで表現されるとする.

$$q_{rs,j} = q_{rs,j}^{total} \frac{1}{1 + \exp(\theta_i (u_{rs,j}^{mt} - u_{rs,j}^{mt}))} \quad (5a)$$

$$q_{rs,j}^{mt} = q_{rs,j}^{total} - q_{rs,j} \quad (5b)$$

ここに, $q_{rs,j}^{total}$: ODペア rs 間の総交通量, $q_{rs,j}^{mt}$: ODペア rs 間の公共交通の交通量, θ_i : 未知パラメータ.

乗用車の利用者グループ毎のリンクコスト関数は, 以下のようなBPR関数を用いる.

$$t_a^1 = t_{a0}^1 \left\{ 1 + \alpha^1 ((x_a^1 + x_a^2)/c_a)^{\beta_1} \right\} \quad (6a)$$

$$t_a^2 = t_{a0}^2 \left\{ 1 + \alpha^2 ((x_a^1 + x_a^2)/c_a)^{\beta_2} \right\} \quad (6b)$$

ここに, t_{a0}^j : リンク a の自由走行時間, c_a : リンク a の交通容量, α^j, β^j : パラメータ.

ここで, 自動車の走行性能は, 利用者に関わらず同一と考えられることから, $t_{a0}^1 = t_{a0}^2, \alpha^1 = \alpha^2, \beta^1 = \beta^2$ となり, 両者の走行時間は等しくなる. また, 乗用車1台の流入による交通流への影響についても, 利用者グループに関わらず同一と考えられることから, 両者のリンクコスト関数は対称系とな

る. したがって, 上記の均衡条件式は, 以下のような非線形最適化問題として定式化される.

$$\begin{aligned} \min & \frac{1}{2} \sum_{a \in A} \left(\int_0^{x_a^1} u_a^1(\omega, x_a^2) d\omega + \int_0^{x_a^2} u_a^1(\omega, 0) d\omega \right) \\ & + \frac{1}{2} \sum_{a \in A} \left(\int_0^{x_a^2} u_a^2(x_a^1, \omega) d\omega + \int_0^{x_a^1} u_a^2(0, \omega) d\omega \right) \\ & + \sum_{r \in R} \sum_{s \in S} u_{rs,1}^{mt} q_{rs,1}^{mt} + \frac{1}{\theta_1} \sum_{r \in R} \sum_{s \in S} (q_{rs,1}^1 \ln q_{rs,1}^1 + q_{rs,1}^{mt} \ln q_{rs,1}^{mt}) \\ & + \sum_{r \in R} \sum_{s \in S} u_{rs,2}^{mt} q_{rs,2}^{mt} + \frac{1}{\theta_2} \sum_{r \in R} \sum_{s \in S} (q_{rs,2}^2 \ln q_{rs,2}^2 + q_{rs,2}^{mt} \ln q_{rs,2}^{mt}) \end{aligned} \quad (7a)$$

subject to

$$q_{rs,1}^{mt} = q_{rs,1}^{total} - q_{rs,1} \quad \forall r \in R, s \in S \quad (7b)$$

$$q_{rs,2}^{mt} = q_{rs,2}^{total} - q_{rs,2} \quad \forall r \in R, s \in S \quad (7c)$$

$$q_{rs,1}^{mt} > 0, q_{rs,1} > 0, q_{rs,2}^{mt} > 0, q_{rs,2} > 0 \quad (7d)$$

以上のモデルはリンク間 (ここでは利用者間) に相互干渉のある均衡問題となる. その解法については, 比較的適用事例の多い緩和法⁶⁾を用いる.

3. おわりに

本稿では, RP評価のための利用者の属性を考慮できる統合型 Multi-class 利用者均衡モデルを構築した. 実際の途上国の大都市を対象に, RP導入による交通混雑の改善効果を計測した結果については, 講演時に報告する予定である.

参考文献

- 1) 例えば, 「The Nation」誌, 1994年8月25号.
- 2) 朝倉康夫; 利用者の属性に応じたサービスと需要予測, 高速道路と自動車, 第43巻, 第6号, pp.11-13, 2000.
- 3) Dafermos, S.C.; The Traffic Assignment Problem for Multiclass-User Transportation Networks, Transportation Science Vol.6, pp.73-87, 1972.
- 4) LeBlanc, L.J. and Abdulaal, M.; Combined Mode Split-Assignment and Distribution-Model Split-Assignment Models with Multiple Groups of Travelers, Transportation Science Vol.16, No.4, pp.430-442, 1982.
- 5) 文世一; 混雑料金と交通量配分, 土木計画学研究・論文集 No.11, pp.113-120, 1993.
- 6) Sheffi, Y.; Urban Transportation Networks: Equilibrium Analysis with Mathematical Programming Methods, Prentice Hall, pp.203-230, 1985.