土木学会第52回年次学術講演会（平成９年９月）

Ⅳ－22　ラムゼイ価格均衡モデルを用いた公共交通機関の料金設定

岐阜大学　正会員　宮城俊彦
岐阜大学　正会員　鈴木崇児
岐阜大学　石川治樹

１．はじめに

公共交通機関のような規模の経済が働くサービスにおいて、単一の企業が複数のサービスを提供している場合の次善価格を決定する一つの方法がラムゼイ価格基準による料金設定である。これは、サービスを提供する企業のゼロ利潤を前提に社会的厚生を最大にするように料金を決定する方法である。

公共交通機関の料金設定は、利用者の交通モード選択を介して自動車道路網の混雑と相互に関連している。宮城・鈴木は、この相互作用を考慮した公共交通機関の最適な料金設定の枠組みを、上位問題をラムゼイ価格決定問題、下位問題を機関分担・配分同時モデルとする２段階最適化モデルとして捉え、ラムゼイ価格均衡モデルとして提案している[1]。本研究では、ラムゼイ価格均衡モデルの定式化を示し、簡単なネットワークを用いて例題計算を行い、モデルの計算方法及び、最適な補助金の水準を検討することを目的とする。

２.ラムゼイ価格均衡モデル

ラムゼイ価格均衡モデルを式(1a)～(2f)に示す。

上位問題[U1]のラムゼイ価格決定問題は、企業の補助金を含む収支均衡を満たす制約条件の中で、生産者余剰と消費者余剰の和で表される社会的総余剰を最大化し、料金を決定するモデルである。下位問題[L1]の機関分担・配分同時モデルでは、自動車とマストラの利用者の分担量はロジットモデルに従うものとし、自動車及びマストラのネットワーク上では、それぞれに利用者均衡状態が成り立っているものと仮定している。また、リンク上での自動車とバスの相互作用はないものとする。各リンクのリンクパフォーマンス関数は時間と費用を結合した一般化費用で定義されており、２段階最適化モデルの均衡状態は、上位問題の最適解である料金に対応するフローと所要時間が下位問題の最適解となっている時に生じる。

[U1: ラムゼイ価格決定問題]

$$Max.\ \Pi_i(h,p)=\theta\sum_{i\in I}\overline{q}_i\ \ln\sum_{m=1,2}\exp\left[\frac{(a_i-\mu_i^m)}{\theta}\right]$$
$$+\sum_{i\in I}\sum_{k\in\Lambda_i^m}\left[p_k h_k-T_k(h(p))\right]\quad(1a)$$

$$\text{s.t.}\ \sum_{i\in I}\sum_{k\in\Lambda_i^m}\left[p_k h_k-T_k(h(p))\right]\le K\quad(1b)$$

[L1: 機関分担・配分同時モデル]

$$Min.Z=\sum_{a\in\Lambda}\int_0^{v_a^1}c_a^1(x)dx+\sum_{a\in\Lambda}\int_0^{v_a^2}c_a^2(x)dx$$
$$+\theta\sum_{i\in I}\int_0^{q_i^1}\left(\ln\frac{\overline{q}_i-y}{y}\right)dy\quad(2a)$$

$$q_i^1+q_i^2=\overline{q}_i\ ,\ i\in I\quad(2b)$$

$$\sum_{k\in\Lambda_i^m}h_k=q_i^m,\ \ \forall i\in I,m=1,2\ \ and\ \ h_k\ge 0\quad(2c)$$

$$v_a^m=\sum_{i\in I}\sum_{k\in\Lambda_i^m}\delta_{ak}h_k\ ,m=1,2\ ,a\in L\quad(2d)$$

$\overline{q}_i$：ODペアi間の総トリップ数
q_i^m：ODペアi間のモードm（1：自動車、２：マストラ）を利用するトリップ数
p_k：k番目経路の料金
h_k：k番目経路の交通量
v_a^m：モードmのリンクa上の交通量
c_a^m：リンクaのモードmに対するリンクパフォーマンス関数
T_k：マストラの結合費用関数
K：補助金
Λ_i^m：ODペアi間のモードmについてのリンク集合
Λ：リンク集合
I：ODペア集合

３．ラムゼイ価格均衡モデルの解法

本章では、ラムゼイ価格均衡モデルに対応させてナ

キーワード：ラムゼイ価格設定・２段階最適化問題
〒501-11 岐阜市柳戸1-1　FAX 058-230-1528

ッシュ均衡状態とシュタッケルベルグ均衡状態を定義し、計算手法について簡単に説明を加える。ナッシュ均衡状態は、通常、管理者と利用者がお互いに相手の目的関数に関する情報を持ってないときに生じる均衡状態であるが、ラムゼイ価格均衡モデルでは、管理者の意思決定基準の中に、利用者の利便性も含まれており、利用者についての情報を何も知らないとは考え難い。ここでは、管理者は料金設定の変化に対する利用者の行動原理は知っているが、その結果生じる道路ネットワーク上の混雑の変化については予測できないものとする。利用者については、管理者の目的関数について何も知らないとする。このような条件の下で生じる均衡状態をナッシュ均衡状態として定義する。これに対して、シュタッケルベルグ均衡状態は、管理者は利用者の目的関数や制約条件に関する全ての情報を持っているとし、料金設定に対する道路ネットワーク上の混雑の変化についても予測可能であるという条件のもとで生じる均衡状態として定義する。

ナッシュ均衡状態に対応する具体的な計算手法としては、上位と下位の２つの最適化問題を交互に反復して解く方法を用いる。上位問題では、所要時間を所与とし、ペナルティ関数法を用いてラムゼイ価格設定問題を解き料金設定を行う。下位問題では、上位問題で計算された料金を所与として FW 法を用いて機関分担配分同時モデルを解き各ＯＤ間の所要時間とフローを求める。

シュタッケルベルグ均衡状態に対応した計算方法では、ペナルティ関数法を応用した非線形感度分析を用いて、料金設定に対する下位問題での所要時間とフローの変化の情報を下に上位問題を解いて行く方法を用いている。

４．例題ネットワークへの適用

図１に示すセントロイド数３、中間ノード数１、リンク数７の簡単なネットワークを例題として計算を行う。セントロイド１・２は郊外地域を、４はＣＢＤを表すものとし、それぞれ２万人の人々が郊外部から中心部へ向かってトリップを行うものとする。また、この地域では新たな公共交通機関として新交通が計画されており、これが完成するとOD1-4 間は、新交通、バスと自動車の３モードによって結ばれることになる。新交通とバスは単一の交通企業によって経営されるものとする。また、2-4 間は２つの自動車経路で結ばれており、一方は距離は短いが容量が小さい経路ともう一方は外側をる容量の大きいバイパス道路のような経路となっている。この結果として、リンク３では1-4 間と2-4 間を走行する自動車の経路が重なるために、ＯＤ間の経路選択に相互作用が発生する。

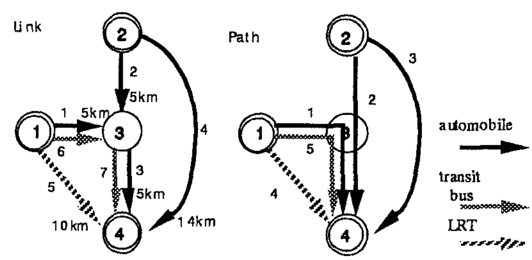

図１　例題ネットワーク

計算の結果、本例題の場合にはナッシュ均衡解とシュタッケルベルグ均衡解は一致した。また、計算手法の特徴としてはシュタッケルベルグ均衡状態に対応した非線形感度分析の方が最適解への収束が早く、計算効率が高いことが分かった。この原因は、シュタッケルベルグ均衡の場合には、ナッシュ均衡の計算と比較して料金設定に対する道路混雑を考慮した所要時間についての情報も用いて計算を行うためである。また、補助金の水準を変化させて、例題計算を行った結果、本例題では最適な補助金水準は得られなかったが、一定の補助金の増分に対する社会的総余剰の変化にピークがあることから、ケース設定によっては最適な補助金の水準が得られる場合も存在することが示唆された。また、本例題の場合には５０％以下の補助金では、交通企業に赤字が発生してしまいラムゼイルールに対応した料金設定が不能となった。このことから、交通企業の赤字を回避し、社会的に意味のある価格設定を行うためには、最低限保証すべき補助金の水準が存在することが確認できた。

参考文献

1) Miyagi,T. and Suzuki, T.:A Ramsey price equilibrium model for urban transit systems: A bilevel programming approach with transportation network equilibrium constraints. 7th WCTR Proceeding 2, 65-78.