# ラムゼイプライシングによる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　学生員　中瀬敬介
岐阜大学　学生員　○石川治樹

## 1. はじめに

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価格を決定する方法であり、公共交通機関のような規模の経済が働くサービスの場合で、単一サービスを提供する場合には、価格＝平均費用という決定方式を導く。しかし、複数サービスの場合には、ゼロ利潤を満足する価格の組み合わせは、無数に存在する。ラムゼイ価格基準は、その中で社会的厚生関数を最大にするように価格を決定する方法として提案された。

ラムゼイ価格基準を公共交通に応用した場合、公共輸送機関の料金決定は利用者の自動車を含む交通モード選択に影響を与える。逆に、自動車ネットワーク上で自動車利用者の意思決定の結果として生み出される混雑も交通モード選択に影響する。この問題は、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考えることができる。以下このモデルをラムゼイ価格均衡モデルと呼ぶ。

本研究ではこのラムゼイ価格均衡モデルを定式化するとともに、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、利用者はロジットモデルにより自動車とマストラの交通モード選択し、自動車及びマストラの利用者間には利用者均衡状態が成り立っていると仮定している。

[U1: ラムゼイ価格決定問題]

$$\max F(p,q,\hat{q}) = \sum_{rs} CS^{rs}(p,q,\hat{q}) \tag{1a}$$

$$s.t. \sum_{rs}\sum_{i\in R_{rs}} p_i^{rs}\hat{h}_i^{rs}(p) - C(\hat{q}(p)) + K \le 0 \tag{1b}$$

$\{p_i^{rs}\}$は[L1]の最適解

[L1: 機関分担・配分同時モデル]

$$\min . f(\hat{q},\hat{h},h,x,p,) = \sum_{a\in A}\int_0^{x_a} t_a(x)dx + \sum_{a\in B}\int_0^{\hat{x}_a} \hat{t}_a(x)dx$$

$$+\frac{1}{\theta}\sum_{rs}\left\{\hat{q}^{rs}\left[In\frac{\hat{q}^{rs}}{\bar{q}^{rs}}+\psi_{rs}\right]+\left(\bar{q}^{rs}-\hat{q}^{rs}\right)In\frac{\left(\bar{q}^{rs}-\hat{q}^{rs}\right)}{\bar{q}^{rs}}\right\} \tag{2a}$$

$$s.t. \sum_{K\in R_{rs}} h_K^{rs} + \sum_{i\in R_{rs}} \hat{q}_i^{rs} = \bar{q}^{rs} \tag{2b}$$

$$\sum_{i\in R_{rs}} \hat{h}_i^{rs} = \hat{q}^{rs} \tag{2c}$$

$$x_a = \sum_K \delta_{a,K}^{rs} h_K^{rs} \tag{2d}$$

$$\hat{x}_a = \sum_i \hat{\delta}_{a,i}^{rs} \hat{h}_i^{rs} \tag{2e}$$

$$h \ge 0, \hat{h} \ge 0, \hat{q} \ge 0, x \ge 0, \hat{x} \ge 0 \tag{2f}$$

ここに、

$CS^{rs}\{u(p,q,\hat{q}),\hat{u}(p,q,\hat{q})\}$
：ODペアrs間の消費者余剰関数

$p = \{\hat{p}_i^{rs}\}$ ：ODペアrsのマストラのｉ番目路線の料金

$q = \{q^{rs}\}$ ：ODペアrsの自動車利用ODトリップ数

$\bar{q}_{rs}$ ：ODペア rs間の総トリップ数

$C(q)$ ：マストラの結合費用関数

$K$ ：補助金

$\hat{h} = \{\hat{h}_i^{rs}\}$ ：ODペアrs間のマストラのi番目路線利用者数

$h = \{h_K^{rs}\}$ ：ODペアrs間の自動車台数のうちK番目のルートを利用する台数

$x=\{x_a\}$　：自動車ネットワークのリンクaの交通量
$\hat{x}=\{\hat{x}_a\}$　：マストラネットワークのリンクaの交通量
$t_a(x_a)$　：道路のリンクパフォーマンス関数
$\hat{t}_a(\hat{x}_a)$　：マストラのリンクパフォーマンス関数
$A$　：自動車ネットのリンク集合
$B$　：マストラネットのリンク集合
$R_{rs}$　：ODペアrs間の自動車の経路集合
$\hat{R}_{rs}$　：ODペアrs間のマストラの経路集合

なお、[L1]において、自動車の平均乗車は１人／台と仮定する。また、マストラに関係する変量は「∧」で自動車モードと区別する。リンクパフォーマンス関数は、時間と費用を線形結合した一般化費用で定義されているものとする。

## 3. ラムゼイ価格均衡モデルの解法

２段階最適化モデルの均衡状態は管理者と利用者の両者の持つ情報の定義によってナッシュ均衡とシュタッケルベルグ均衡に分けられる。本研究の課題であるラムゼイ価格均衡モデルは、管理者が利用者の行動についての情報を持っていると想定されるためシュタッケルベルグ均衡に対応する。従来の研究では、２段階最適化問題の計算において、シュタッケルベルグ均衡解の近似計算としてナッシュ均衡解が求められるケースが多く見られる。本研究ではナッシュ均衡、シュタッケルベルグ均衡双方の均衡解を厳密に求めることにより両均衡解の乖離を検討する。

ナッシュ均衡は管理者と利用者が相手の目的関数に関する情報をお互いに持ってないときに生じる均衡状態であり、個々の目的関数を相互に繰り返し計算することによって均衡解が求められる。

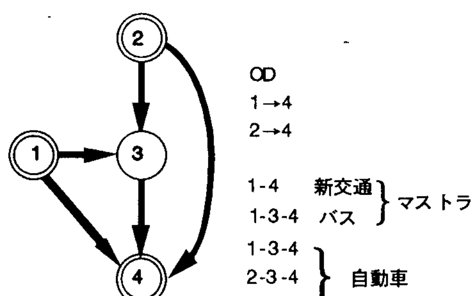
シュタッケルベルグ均衡は管理者は利用者の目的関数や制約条件に関する情報を持っているが、利用者は管理者の意思決定の結果しかわからないという状況のもとで生じる均衡状態である。

上位問題の意思決定に対する下位問題の解が、解析的な反応関数として表せる場合には、ペナルティ関数法を用いて下位の目的関数を反応関数として上位の問題に組み込み解が求められる。下位問題の解が解析的な反応関数として表せない場合は、ヒューリスティックな解法を用いる必要がある。

ヒューリスティック方法として、２段階最適化問題における非線形感度分析の方法を簡単に説明する。まず、上位問題の政策変数である公共交通機関の料金を微少に変動させることによる下位問題の解の変動を求め、下位問題の解である交通量の料金に対する勾配を求める。この勾配をもとに、上位問題において料金に対する目的関数の勾配を計算し、適当な降下方向法を用いた手法で最適解を探索するというものである。また、ラムゼイ価格均衡モデルについては、全体としての解の一意性については証明できていない。

## 5. 例題ネットワークへの適用

起点を１・２、終点を４とする自動車とバス、新交通の３つの交通機関を含む簡単なネットワークを用いて数値計算を行う。OD1-4間には、1-4を新交通、1-3-4をバスと自動車がそれぞれ走行しており、ＯＤ間のトリップ数は20000（トリップ）とする。2-4間には、２つの競合する自動車経路を設定する。具体的には、距離は短いが容量の小さい経路と外側を通るバイパス道路のような経路を設定し、トリップ数は30000（トリップ）とする。この結果として、3-4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ようになっている。なお、計算結果等は発表時に示す。




例題ネットワーク

◇参考文献
1) 宮城俊彦・鈴木崇児：ラムゼイ価格均衡モデルとその計算手法、土木計画学研究・講演集、NO.17、1995
2) 宮城俊彦・中津原勢司：ラムゼイルールを用いたガイドウェイバスの料金決定問題に関する研究、1994