

複数の高速道路経路を考慮した確率的均衡配分法に関する研究*

A Stochastic Equilibrium Assignment Model Considering Multiple Routes for Network with Urban Expressway

三輪富生**, 森川高行***

By Tomio MIWA, Takayuki MORIKAWA

1. はじめに

これまで、名古屋都市高速道路における交通量配分手法には高速転換率併用容量制限付分割配分法が用いられてきた。しかしこの手法はいわゆる分割配分法を用いた均衡配分法の近似計算と位置付けられるほか、理論的な説明が困難であり首尾一貫したモデルの拡張や修正ができないといった問題点もある。また都市高速道路網の拡充に伴う複数の高速道路利用経路を再現しにくいという欠点を持つ。近年の交通量配分研究の進展により均衡配分計算は実用に用いられるレベルに達しており、筆者らはすでに複数の高速道路利用経路を考慮した確定的均衡配分法を提案している。しかしこの手法も確率的な高速転換率・ランプ選択確率モデルを用いると同時に、確定的な利用者行動原則を用いており一貫性を欠いたモデルであった。

そこで本研究では利用者が都市高速道路網において利用するオンランプとオフランプを選択し、かつ平面道路上と高速道路上における経路選択を考慮した利用者均衡モデルに対し確率的利用者均衡理論を用いて定式化し、それを名古屋都市圏ネットワークに適用することを目的とする。また本論文中においては提案するモデルを高速道路経路選択モデルと呼び、高速道路の処理方法として仮想リンクに料金分の抵抗を負荷した確率的均衡配分モデルを料金抵抗モデルとしてそれぞれの比較を行う。

2. 本研究のフレームワーク

(1) リンクパフォーマンス関数

本研究では用いるべきリンクパフォーマンス関数をあらかじめ推定した。関数型はBPR関数型とし、推定に用いたデータは入手が容易で汎用性の高い平

成9年度道路交通センサスデータを用いた。自由走行時間は都市間高速道路を100km/h、都市内高速道路は80km/h、一般道路については道路の設計速度を基準に40~60km/hの間で設定を行った。推定する関数の分類は高速道路については都市間高速道路と都市内高速道路に、一般道路については車線数が最も走行時間に影響を与えると考え5種類に分類した。また、推定の際必要となる時間交通容量は平成9年度道路交通センサスデータをもとに平成6年度道路交通センサスに記載されている算定式を用い算出した。この際、データは1リンクについて1つのデータしか得られないので対象とする地域内だけでは少ないと判断し、愛知県、岐阜県、三重県の3県のデータを用いて推定した。直接推定に用いるデータは道路交通センサスデータのうち「混雑時における区間旅行速度」と「ピーク時間交通量」であるからデータの値が混雑時に偏っていないかが危惧されるが、かなり広範囲に分布したデータ値が得られているので特に問題はないと判断した。また、推定の方法は関数の両辺の対数をとって線形変換した後、回帰分析により推定した。推定するリンクパフォーマンス関数を式(1)に、分類とパラメータの推定結果を表-1に示す。

$$t_a(q_a) = t_{a0} \left\{ 1 + \alpha \left(\frac{q_a}{c_a} \right)^\beta \right\} \quad (1)$$

表-1 リンクパフォーマンス関数のパラメータ

道路の区分	α	β	修正R ²	サンプル数
都市間高速道路	0.262	2.309	0.459	77
都市内高速道路	0.486	2.675	0.355	40
2車線道路	0.849	1.390	0.626	1400
4車線道路	1.235	1.301	0.327	444
6車線以上道路	1.604	1.507	0.237	148

本研究では朝ピークの3時間帯(7時, 8時, 9時)を対象とする。これは道路利用者は1日の間でその

* キーワード: 配分交通, 経路選択, ネットワーク交通流
 ** 正会員 工修 (株)片平エンジニアリング
 *** 正会員 Ph.D 名古屋大学大学院工学研究科地圏環境工学専攻
 (〒464-8603 名古屋市中千種区不老町, tel:052-789-3565, fax:052-789-3738)

行動目的やそれに伴う時間価値が大きく変動すると考えられるため、その変動が比較的小さくまた利用者の行動目的が明確であると考えられる時間帯を対象とするものである。

(2) モデル構造

利用者行動に伴う効用には観測不可能な誤差が存在すると考える時、全ての利用可能な経路に対する誤差は経路ごとに相関がなく誤差項の分散が全経路において独立で同一であると仮定すると、通常確率的均衡モデルとなる。一方、高速道路利用経路についてはその観測不可能な誤差に相関が存在し、また同一のランプを利用する経路についてその誤差に相関があるとき、図-1に示すように利用者行動を仮定できる。

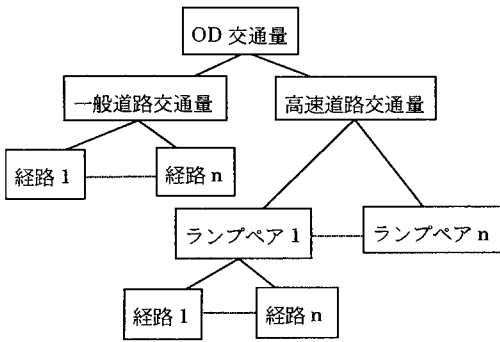


図-1 モデル構造

ここで自動車利用者はOD間で最小の認知所要費用を選択する。認知所要費用には、所要時間、高速道路利用料金、高速道路に対するその他の効用（交差点がない、道がわかりやすい）などが含まれるが、個人間の認知所要費用には同じOD間、同じ利用ランプにおいても誤差が生じ、結果的には経路を選択することになり、これを「経路選択確率」とする。またOD間の交通量の中でも高速道路を利用するかどうか、及びどのランプペアを選択するかはそれぞれ「高速転換確率」、「ランプ選択確率」により表されるものとする。ランプペアとはオンランプとオフランプの組み合わせのこととし、高速道路利用者は利用可能なランプペア集合の中から最も高い効用を与えるランプペアを選択するものとする。

ここで、一般道路のみを利用する経路のうち経路k

を選択する確率は次のように表される。

$$P^s(k) = \frac{\exp(-\mu_g t_k^{rs})}{\sum_{k \in K_g^s} \exp(-\mu_g t_k^{rs})} \quad (2)$$

ここに、 μ_g は未知パラメータ、 K_{rs}^s はODペアrs間における経路集合、 t_k^{rs} はODペアrs間における経路kの所要時間

つぎに高速道路利用経路における経路選択確率は

$$\hat{P}^{rs,lp}(l) = \frac{\exp(-\mu_e \hat{t}_l^{rs,lp})}{\sum_{l \in K_{rs,lp}} \exp(-\mu_e \hat{t}_l^{rs,lp})} \quad (3)$$

となる。ここに、 μ_e は未知パラメータ、 $K_{rs,lp}$ はODペアrs間におけるランプペアlpを利用した時の高速利用経路経路集合、 $\hat{t}_l^{rs,lp}$ はODペアrs間における高速道路利用経路lの所要時間

このとき高速道路を利用する際のランプペア選択確率は次のように表される。

$$\hat{P}^{rs}(lp) = \frac{\exp(-\beta_1 \hat{S}_{lp}^{rs(l)} - \beta_2 \hat{c}_{lp})}{\sum_{lp \in R_{rs}} \exp(-\beta_1 \hat{S}_{lp}^{rs(l)} - \beta_2 \hat{c}_{lp})} \quad (4)$$

ここに、 β_1, β_2 は未知パラメータ、 R_{rs} はODペアrs間における利用可能ランプペア集合、 $\hat{S}_{lp}^{rs(l)}$ は経路を選択することによるログサム変数で、

$$\hat{S}_{lp}^{rs(l)} = -\frac{1}{\mu_e} \ln \sum_{l \in K_{rs,lp}} \exp(-\mu_e \hat{t}_l^{rs,lp}) \quad (5)$$

最後に高速道路を利用するかどうかの高速道路転換率は次のように表される。

$$P(e) = \frac{\exp(-\theta \hat{S}^{rs(2)} - \alpha)}{\exp(-\theta S^{rs}) + \exp(-\theta \hat{S}^{rs(2)} - \alpha)} \quad (6)$$

ここに、 θ, α は未知パラメータ、 $\hat{S}^{rs(2)}$ はランプペアを選択することによるログサム変数で、

$$\hat{S}^{rs(2)} = -\frac{1}{\beta_1} \ln \sum_{lp \in R_{rs}} \exp(-\beta_1 \hat{S}_{lp}^{rs(l)} - \beta_2 \hat{c}_{lp}) \quad (7)$$

また S^{rs} は一般道路のみを利用する際に経路を選択することによるログサム変数で、

$$S^{rs} = -\frac{1}{\mu_g} \ln \sum_{k \in K_g^s} \exp(-\mu_g t_k^{rs}) \quad (8)$$

と表される。

(3) 等価数理最適化問題

前述したモデルの均衡解を求める問題は次のよう

な等価数理最適化問題に置換えることができる。

$$\begin{aligned} \min Z = & \sum_{ij \in A} \int_0^{x_{ij}^{rs}} t_{ij}(\omega) d\omega - \frac{1}{\mu_g} \sum_{rs} q_{rs} \{HL(x_{ij}^{r,s}) - HN(x_{ij}^{r,s})\} \\ & - \frac{1}{\theta} \sum_{rs} \int_0^{\hat{q}_{rs}} \left(\ln \frac{\omega}{q_{rs} - \omega} - \alpha \right) d\omega - \frac{1}{\beta_1} \sum_{rs} \hat{q}_{rs} (\ln \hat{q}_{rs} - 1) \\ & + \sum_{rs} \sum_{tp \in K_{rs}} \hat{q}_{rs, tp} \left\{ \frac{1}{\beta_1} (\ln \hat{q}_{rs, tp} - 1) + \gamma_{tp} \right\} \\ & - \frac{1}{\mu_e} \left[\sum_r \{HL(\hat{x}_{ij}^r) - HN(\hat{x}_{ij}^r)\} + \sum_{i_1} \{HL(\hat{x}_{ij}^{i_1}) - HN(\hat{x}_{ij}^{i_1})\} \right. \\ & \left. + \sum_{i_2} \{HL(\hat{x}_{ij}^{i_2}) - HN(\hat{x}_{ij}^{i_2})\} \right] \quad (9) \end{aligned}$$

Subject to

$$\bar{q}_{rs} = q_{rs} + \hat{q}_{rs}, \quad \sum_{i_1} \sum_s \hat{q}_{rs, tp} = \hat{q}_{r, i_1}, \quad \sum_r \sum_s \hat{q}_{rs, tp} = \hat{q}_{i_1, t_2}$$

$$\sum_r \sum_{i_1} \hat{q}_{rs, tp} = \hat{q}_{i_1, t_2}$$

$$\sum_i x_{ik}^{r,s} - \sum_j x_{kj}^{r,s} + \sum_s q_{rs} \delta_{rk} - q_{rs} \delta_{sk} = 0$$

$$\sum_i \hat{x}_{ik}^r - \sum_j \hat{x}_{kj}^r + \sum_s \hat{q}_{rs} \delta_{rk} - \hat{q}_{r, i_1} \delta_{i_1, k} = 0$$

$$\sum_i \hat{x}_{ik}^{i_1} - \sum_j \hat{x}_{kj}^{i_1} + \sum_s \hat{q}_{i_1, t_2} \delta_{i_1, k} - \hat{q}_{i_1, t_2} \delta_{t_2, k} = 0$$

$$\sum_i \hat{x}_{ik}^{i_2} - \sum_j \hat{x}_{kj}^{i_2} + \sum_s \hat{q}_{i_2, s} \delta_{i_2, k} - \hat{q}_{i_2, s} \delta_{s, k} = 0$$

$$x_a = \sum_r x_{ij}^r + \sum_{rs} \hat{x}_{ij}^r + \sum_{i_1} \hat{x}_{ij}^{i_1} + \sum_{i_2} \hat{x}_{ij}^{i_2}$$

$$\bar{q}_{rs} \geq 0, q_{rs} \geq 0, \hat{q}_{rs} \geq 0, \hat{q}_{r, i_1} \geq 0, \hat{q}_{i_1, t_2} \geq 0, \hat{q}_{i_2, s} \geq 0$$

$$x_{ij}^r \geq 0, \hat{x}_{ij}^r \geq 0, \hat{x}_{ij}^{i_1} \geq 0, \hat{x}_{ij}^{i_2} \geq 0, x_a \geq 0$$

ここに、

$$HN(x^r) = - \sum_j \left(\sum_i x_{ij}^r \right) \ln \left(\sum_i x_{ij}^r \right) \quad (10)$$

$$HL(x^r) = - \sum_{ij} x_{ij}^r \ln x_{ij}^r \quad (11)$$

$tp = (t_1, t_2) = (\text{ON ランプ}, \text{OFF ランプ})$, \hat{q}_{rs} : rs 間の高速道路交通量, q_{rs} : rs 間の一般道路交通量, γ_{tp} : ランプベア tp を利用した時の高速道路利用料金で $= (\beta_2 / \beta_1) \times \hat{c}_{tp}$, x_{ij} : リンク ij のリンク交通量, x_{ij}^s : リンク ij の一般道路のみを利用する経路によるリンク交通量, \hat{x}_{ij}^r : リンク ij の高速道路を利用する経路によるリンク交通量 (起点 r , 終点 i_1), ただしこの問題が唯一の解を持つためには未知パラメータが全て正であり, かつ $\frac{1'}{\theta} - \frac{1'}{\beta_1} > 0$ となることである。

これは Dial のアルゴリズムを用いることにより大規模なネットワークにも適用が可能である。

(4) 研究の流れ

本研究は図-2 に示すように進める。この図に示すように、本研究では最初の段階において仮配分を行っている。仮配分とはリンク所要時間を得るために、正確な一般道路利用 OD 交通量や高速道路利用 OD 量を確率的に配分するものである。

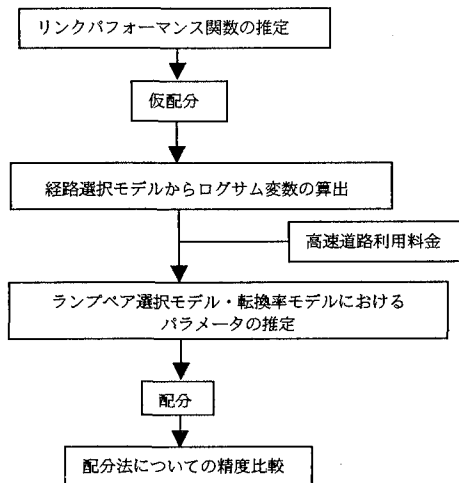


図-2 研究の流れ

3. モデルの適用

(1) データの概略

本研究において対象とする地域は、パーソントリップ調査の小ゾーンを基本とし、名古屋市を中心におよそ 30km 圏域である。ゾーン数は 279 ゾーンであり、ネットワークはリンク数 4303、ノード数 1304、ランプベア選択や高速利用選択の対象となるのは、その実績が得られている名古屋都市高速道路と東名阪自動車道路であり、ランプベア選択の対象となるランプ数はオンランプで 33、オフランプが 32 である。その他の高速道路に関してはランプベア選択の対象とはせず、すべてその利用料金を時間価値で除した値を仮想リンクに設定して配分した。

OD データは名古屋高速道路公社によって第 3 回中京都市圏パーソントリップ調査の平成 3 年度 OD 交通量を中間補完により作成された平成 8 年度 OD 交通量を基本とし、これに平成 3 年度のパーソントリップ調査の朝ピーク比率を乗じて配分 OD 交通量を算出した。

(2) 推定結果と考察

本研究において経路選択モデルのパラメータ μ 。 μ_g は1として研究をすすめた。このパラメータ値は配分されるリンク交通量に大きな影響を与えるが、桑原(1988)³⁾の研究結果からその値が0.1~1.0程度においては精度の良い推定結果が得られ、またその範囲においては推定結果に顕著な変化はみられないとしているためである。その他のパラメータの推定には集計ロジット式を用い、回帰分析により推定を行った。推定結果を表-2、表-3に示す。

表-2 ランプベア選択モデルのパラメータ推定結果

β_1 : ログサム変数	4.09×10^{-2} (6.7)
β_2 : 高速道路利用料金	5.68×10^{-4} (2.5)

表-3 高速転換率モデルのパラメータ推定結果

θ : ログサム変数	3.75×10^{-3} (20.9)
α : 定数項	1.14 (18.6)

()内はt値

推定されたすべてのパラメータにおいてその符号条件は満たされており、t値は1.96以上であり5パーセントの有意水準を満たしている。しかしランプベア選択モデル、転換率モデルともにログサム変数の値が小さいことから、用いた説明変数のみでは利用者行動を説明しきれないと言える。この推定結果から算出される時間価値は66.0円/(分・人)と比較的妥当な値である。

次に料金抵抗モデルによる配分結果を図-3に、高速道路経路選択モデルによる配分結果を図-4に示す。

図にプロットしたリンク交通量は高速道路リンク交通量である。

配分結果の相関係数は料金抵抗モデルでは一般道

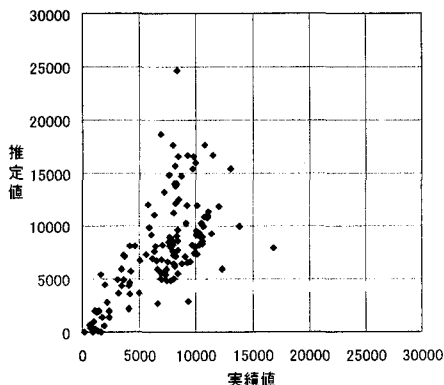


図-3 料金抵抗モデルによる配分結果

路で0.687、高速道路で0.632、高速道路経路選択モデルでは一般道路で0.708、高速道路で0.556となり、高速道路については料金抵抗モデルのほうが精度良く推定された。この結果から精度のよいパラメータを得られない時は料金抵抗モデルの方が精度の良い結果が得られることがわかる。

4. おわりに

高速道路転換率モデル、ランプベア選択モデル、経路選択モデルからなるネスティッドロジットモデルを組み込んだ確率的統合モデルの定式化を行い、名古屋都市圏ネットワークに適用した。その結果、高速道路経路選択モデルの適用にはさらに実際の利用者行動を的確に表現し、精度良くランプ利用特性を再現できる説明変数を導入することが必要であることがわかった。しかし、よりよい統合モデルを考案することは今後の課題であるが、料金抵抗モデルとの比較結果から、利用者行動をネスト構造により表現することなく、単なる料金抵抗モデルによっても良好な配分結果を得られることがわかった。

参考文献

- 1) 赤松隆・土屋雄二・川上喜博：確率的均衡配分法の効率的計算法の開発，交通工学，Vol.32，No.1，pp.51-58，1991。
- 2) 赤松隆・松本嘉司：需要変動を考慮した交通ネットワーク確率的利用者均衡モデルとその解法，土木学会論文集，No.401/IV-10，pp.109-118，1989。
- 3) 桑原雅夫：交通量配分手法の実証的研究，交通工学，Vol.32，No.2，pp.17-25，1988。
- 4) 松井寛・山田周治：道路交通センサデータに基づくBPR関数の設定，交通工学，Vol.33，No.6，pp.9-16，1998。
- 5) Fernandez, E. and Cea, J.D.; Network Equilibrium Models with Combined Models, Transportation Science, Vol.28, No.3, pp.182-192, 1995

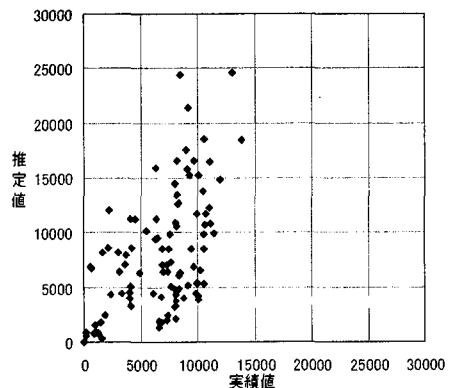


図-4 高速道路経路選択モデルによる配分結果