

利用者均衡モデルのパラメータ推定法とその検証*

Verification of Parameter Estimation Method for Network User Equilibrium models

宮下 等** 朝倉 康夫*** 柏谷 増男****

by Hitoshi Miyashita, Yasuo Asakura and Masuo Kashiwadani

1. はじめに

ネットワークの費用・便益分析に代表される計画評価のための交通量とサービス水準の推計計算において利用者均衡モデルは重要な役割を果たすことが期待される。しかし、ネットワーク上での利用者均衡モデルを実際の交通網へ適用するには、モデルに含まれる複数の関数のパラメータを推定しなければならない。パラメータは交通ネットワークフローモデルにおける観測値と推計値の間で誤差が生じる大きな要因の一つであり、対象となる道路網ごとにパラメータを推定、もしくは調整することが必要となる場合がある。本研究では簡便で扱いやすいパラメータ推定法について考察する。

2. 従来のパラメータ推定¹⁾

パラメータ推定を行う方法には、二通りのアプローチが考えられる。ひとつめの方法は、個々の関数を別々に推定することである。たとえば、リンクコスト関数のパラメータは、リンク交通量と走行時間の観測データを用いて推定すればよい。朝倉・西谷(1991)は2車線2方向道路における交通流の観測データを用いて、BPR関数および、Davidson関数のパラメータを推定している。需要関数のパラメータはサービス水準(旅行時間)を固定しておいて、集計モデルもしくは行動モデルを適用すればよい。

もうひとつの方法は、均衡モデルを計算しながら観測値とモデル推定値が整合するようにパラメータを推定することである。Suh et. al(1990)は、均衡配分を行ったとき、リンク交通量の観測値と推計値の残差が最も小さくなるBPR型リンクコスト関数のパラメータ

(α, β)の推定を行った。

しかし従来の研究では、繰り返し計算により最適なパラメータの組を求める方法を採用しているため、推定された値が本当に最適値であるという保証はできない。また、より最適値に近づけようとするほど計算コストが大きくなるという問題点がある。

一方、これまで需要固定型利用者均衡モデルでのリンクコスト関数のパラメータ推定についてはいくつかの研究がなされてきたが、需要変動型利用者均衡モデルで用いられる需要関数などのパラメータ推定については、ほとんど研究されておらず確定的なものは存在しないと言える。

本研究では、均衡モデルを計算しながら観測値とモデル推定値が整合するように、複数のパラメータを同時に推定する簡便な方法を示す。

3. パラメータ推定法

パラメータベクトルを θ とする。 θ に対して均衡モデルを解いたときのフローとコストのベクトルをそれぞれ $q(\theta), t(\theta)$ とする。また、観測されたフローとコストのベクトルを q^*, t^* と表す。観測ベクトルと推定ベクトルの残差を最小にするようなパラメータベクトルを推定する問題は、

Find θ which minimizes

$$f(\theta) = \|q(\theta) - q^*\| + \|t(\theta) - t^*\|$$

である。

一般に関数 f を陽に記述することはできない。そこで、一部のパラメータベクトルに対してフローとコストベクトルを求めておき、 θ に関する2次関数として関数 $f(\theta)$ を推定することを考える。推定された関数は必ずしも凸とは限らないが、パラメータのとり範囲を十分に大きくとっておけば凸関数となることが期待される。2次関数 $f(\theta)$ を推定することができれば、その最小値を与えるパラメータベクトルが最適なパラメータとなる。この推定方法による利点を以下に示す。

*keywords ネットワーク交通流, 配分交通, パラメータ推定

**学生員 愛媛大学大学院博士前期課程土木海洋工学専攻
(〒790-8577 松山市文京町, TEL089-927-9825, FAX089-927-9843)

***正会員, 工博, 愛媛大学工学部環境建設工学科(同上)

****フェロー, 工博, 愛媛大学工学部環境建設工学科(同上)

- (1) 推定するパラメータの組み合わせおよび、個数が自由である。
- (2) 一部のパラメータベクトルに対して配分計算を行えばよいので計算コストの低減につながる。
- (3) OD 分布と交通量配分を同時決定する分布・配分統合モデルなどの統合モデルへの適用が可能である。
- (4) 配分計算を通して観測値に推計交通量および、推計旅行コストの両方が適合するようにパラメータを推定できる。

4. 利用者均衡モデルのパラメータ²⁾

利用者均衡モデルで用いられるパラメータは、需要固定型では、BPR 型リンクコスト関数(式 4.1)の係数 α, β と、時間価値 ν の 3 つである。

$$T_a = T0_a \{1.0 + \alpha (X_a / CAP_a)^\beta\} \quad (4.1)$$

(T_a :リンクコスト, $T0_a$:自由走行時間, X_a :リンクフロー, CAP_a :リンク容量)

時間価値 ν は有料リンクの料金を時間に換算するときに用いられる。したがって、有料リンクのコストは以下の式で表される。

$$TH_a = T_a + TV_a(\nu) \quad (4.2)$$

(TH_a :有料リンクコスト, $TV(\nu)$:時間価値 ν によりコストに換算された料金, T_a :リンクコスト)

需要変動型では α, β, ν に、OD 間の需要関数(式 4.3)における旅行コストの抵抗パラメータ γ が加わる。

$$q_{rs} = A_r B_s O_r D_s \exp(-\gamma C_{rs}) \quad (4.3)$$

(q_{rs} :OD 交通量, O_r, D_s :発生および、集中交通量, A_r, B_s :発生および、集中量制約を満足するためのパラシニングファクター, C_{rs} :OD 間の旅行コスト)

5. 適用例

3. で示したパラメータ推定法を用いると、複数のパラメータを同時に推定することが可能であり、その組み合わせも自由である。また、時間価値を運行目的別に推定することも可能である。以下では実際に四国ネットワークへの適用計算を需要固定型と需要変動型で行い、パラメータ推定および、ネットワークフローの実績値と計算値を比較する。観測データは平成 6 年度道路交通センサスにより得られたものを用いる。

5. 1 前提条件

(1) ネットワーク：四国内は、平成 6 年次の四国全域ネットワーク(リンク数 1055, ノード数 697)を使用。四

国外は、大阪、神戸、岡山、広島、別府を境界ノードとし、それぞれを有料リンクでつないだ。四国ネットワークとはフェリーリンク(14 本)および、瀬戸大橋で連結されている。

(2) 観測 OD 表：平成 6 年度道路交通センサスに基づく B ゾーンで集計(258 ゾーン)。四国外は、それぞれの境界ノードに集約を行った。

(3) 観測リンク交通量：平成 6 年度道路交通センサスの交通量調査より、24 時間観測の 121 ヶ所を用いる。

(4) 観測 OD 所要時間：平成 6 年度道路交通センサスより、サンプル数 50 以上で、逆方向との誤差が 3 分以内の OD ペア(291 ペア)を使用。

5. 2 需要固定型利用者均衡モデルへの適用例

リンクコスト関数の α, β は、従来の研究⁴⁾により求められたもの($\alpha=1, \beta=3$)を用いるものとし、時間価値 ν を運行目的別に推定する。

推定に用いることができる観測データは、観測リンク交通量と観測 OD 所要時間の 2 つが考えられる。しかし、今回時間価値の推定の際に用いる観測データはリンク交通量のみとする。その理由は、サンプル数の多い OD ペアは、比較的距離の短い OD ペアであるため、その推定 OD 所要時間は時間価値の変化による影響が表れないためである。

OD 表は、平成 6 年度道路交通センサスデータより運行目的別に B ゾーンで集計を行った。運行目的は、業務系とそれ以外の 2 種類に大別した。運行目的の分類と、それぞれの総トリップ数を表-1 に示す。

表-1 運行目的の分類および、総トリップ数

業務系	それ以外
出勤	家事・買物
登校	送迎
業務	社交・娯楽
帰社	観光・行楽・レジャー
帰宅	不明
3,688,577トリップ	1,242,110トリップ

運行目的が業務系の時間価値を ν_1 、それ以外の時間価値を ν_2 とし、それぞれの最適値の推定を行った。

5. 2. 1 時間価値の推定

時間価値 ν_1, ν_2 を 3000yen/h ~ 1000yen/h の間で変動させさせ観測リンクでの観測リンク交通量と推定リンク交通量との残差自乗和を求めた。最小自乗法により推定された 2 次関数 $f(\nu_1, \nu_2)$ を以下に示す。重

相関係数は 0.86 と良好な値であった。

$$f(v_1, v_2) = 305.8v_1^2 + 106.9v_2^2 + 422.4v_1v_2 - 2090703.0v_1 - 1257604.0v_2 + 1240464000.0 \quad (5.1)$$

式(5.1)は凸関数である。時間価値のそれぞれの最適値 v_1^* 、 v_2^* を求めた結果を表-2 に示す。

表-2 目的別時間価値の推定結果

業務系 (v_1^*)	それ以外 (v_2^*)
1767yen/h	2391yen/h

ここで業務系目的の時間価値の方がそれ以外の時間価値よりも低く推定されていることがわかる。その原因としては、業務系は有料リンクを利用している長距離のトリップの割合が小さいため、業務系の時間価値の方がそれ以外の時間価値より低く推定されたと考えられる。この値は運行目的の分類の仕方によって多少変化すると言える。今回は2種類に大別して推定を行ったが、さらに細かく運行目的を分類することも可能である。

5. 2. 2 推定結果の検証

求められた目的別時間価値を用いて OD 需要固定の均衡モデル計算を行い、推定結果の検証を行った。観測リンクでの観測リンク交通量と推定リンク交通量との比較結果と、観測 OD 所要時間の推定 OD 所要時間との比較結果を表-3、相関図を図-1、図-2 に示す。

表-3 観測値と推定値の比較結果

	観測リンク全体	高速道	一般国道	地方、県道	所要時間
相関係数	0.76	0.90	0.80	0.51	0.51
平均誤差率	37.91	23.46	34.06	60.16	29.53
サンプル数	121	16	80	25	291

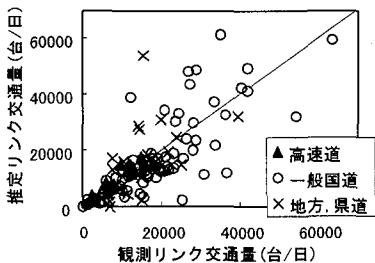


図-1 リンク交通量の相関図

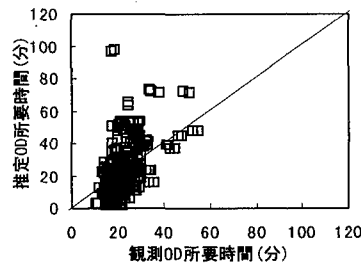


図-2 OD 所要時間の相関図

この結果から次のことが言える。観測リンクでの推定交通量を観測リンク全体と比較した場合、相関係数は比較的高い値を示しており、おおむね良好な再現性を示している。また、リンクを高速道、一般国道、地方道または県道の3種類に分けて比較した結果を見ると、高速道は、非常に良好な再現性を示している。一般国道も比較的良好な値を示していることから、主にトリップ距離の長い車が利用するようなリンクでは良好な再現性を得られたと言える。一方、地方道または県道では相関係数、平均誤差率ともに他に比べて悪い値となっている。その原因として次のことが考えられる。今回観測データが得られた地方道や県道は、市街地およびその周辺が多い。しかし今回使用した四国全域のネットワークでは、市街地の部分は省略化されている。そのためその再現性は悪くなると考えられる。

OD 所要時間の観測データはトリップ距離の短い OD ペアが多いため、推定値は観測値を必ずしも十分には再現していないものと考えられる。

5. 3 需要変動型利用者均衡モデルへの適用例

今回は、OD 間の需要関数における旅行コストの抵抗パラメータ γ を推定する。リンクコスト関数の α, β は 5.1 と同様 $\alpha=1, \beta=3$ を用いるものとする。時間価値 V は従来の研究⁹⁾より、5.2 と同様の条件で運行目的を考慮しないで需要固定型利用者均衡モデルの適用計算を行った結果求められた値 $V=2041\text{yen/h}$ を用いる。

パラメータ推定に用いる観測データは道路交通センサデータより、観測リンク交通量および、観測 OD 交通量を用いる。

5. 3. 1 抵抗パラメータの推定

旅行コストの抵抗パラメータ γ の範囲を 0.05～0.08 とし残差自乗和を求め、2 次関数 $f(\gamma)$ の推定を

行った。ここで、リンク交通量の残差自乗和と OD 交通量の残差自乗和の値の重みを均等にするために以下の方法をとった。

各パラメータに対するリンク交通量の残差自乗和と OD 交通量の残差自乗和を求める。リンク交通量と OD 交通量のそれぞれの残差自乗和の合計を求め、各パラメータに対するリンク交通量と OD 交通量の残差自乗和のそれぞれの合計に対する割合に変換する。変換されたリンク交通量と OD 交通量の残差自乗和を足し合わせた値を、そのパラメータに対する残差自乗和とした。抵抗パラメータと残差自乗和の関係と、最小自乗法により線形近似された 2 次関数 $f(\gamma)$ を図-3 に示す。重相関係数は 0.91 であった。これより旅行コストの抵抗パラメータ γ の最適値は、 $\gamma^*=0.0662$ となる。

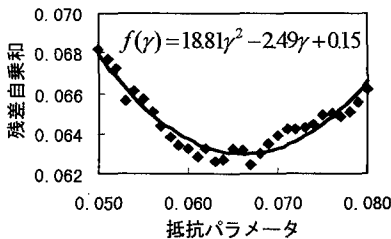


図-3 抵抗パラメータと残差自乗和の関係

5. 3. 2 推定結果の検証

推定された値による配分計算を行い、5.1.2 と同様の検証を行った。その結果を表-4、図-4、図-5、に示す。

この結果から次のことが言える。観測リンクでの観測リンク交通量と推定リンク交通量の比較では、需要固定型モデルと同様の傾向が見られた。相関係数、平均誤差率ともにやや値は悪くなっているが、ある程度の再現性は得られたと言える。観測 OD 所要時間と推定 OD 所要時間の比較結果を見ると、需要固定型モデルよりも再現性が向上している。このことから、リンクコストの推定において需要変動型モデルは、需要固定型モデルに比べてネットワークの誤差に対する対応力があると言える。

また、観測 OD 交通量と推定 OD 交通量とを比較した結果、相関係数では 0.96 (サンプル数 66306 :ゾーン内々交通量は除く) となり良好な再現性を示した。

表-4 観測値と推定値の比較結果

	観測リンク全体	高速道	一般国道	地方、県道	所要時間
相関係数	0.75	0.89	0.79	0.39	0.65
平均誤差率	38.99	27.20	42.59	65.45	32.42
サンプル数	121	16	80	25	291

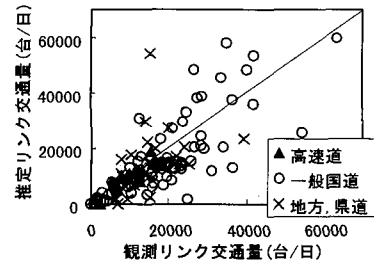


図-4 リンク交通量の相関図

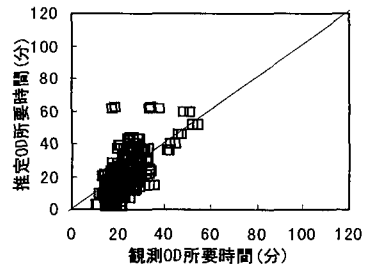


図-5 OD 所要時間の相関図

6. おわりに

本研究では利用者均衡モデルのパラメータ推定法の提案と、実際のネットワークへの適用計算を行った。その結果、推定されたパラメータの値は妥当なものであり、適用計算の結果もおおむね良好な再現性を示した。本研究で述べたパラメータ推定法の利点は、(1) 推定法が簡便であること、(2) 推定するパラメータの組み合わせおよび、個数が自由であることがあげられる。しかし、推定を行うパラメータの上限値、下限値の設定により、推定される最適値の値が多少変動するという問題点もあり今後の課題としたい。

【参考文献】

- 1) 朝倉康夫; リンクコスト関数(QV 式)の設定とアウトプットの評価. 土木学会土木計画学ワンディセミナー(第4回), pp.51-74, 1994.
- 2) 赤松隆; 各種静的均衡配分法の理論と適用可能性. 土木学会土木計画学ワンディセミナー(第4回), pp.75-99, 1994.
- 3) 宮下等, 朝倉康夫; 需要固定型の利用者均衡問題の四国ネットワークへの適用. 土木学会四国支部第4回技術研究発表会講演概要集, pp.336-337, 1998.