

# 確率的利用者均衡配分モデルにおける分散パラメータに関する研究\*

## A Study of Scale-parameter of the Stochastic User Equilibrium Traffic Assignment\*

岡田良之\*\*・三輪富生\*\*\*・森川高行\*\*\*\*

By Yoshiyuki OKADA\*\*・Tomio MIWA \*\*\*・Takayuki MORIKAWA \*\*\*\*

### 1. はじめに

近年、道路交通計画の実務現場における将来交通量予測手法として、従来の分割配分モデルから利用者均衡配分モデルへの移行が検討されている。確率的利用者均衡配分モデルは、ドライバーが経路選択を行う際に認知している旅行時間の不確実性を考慮したパラメータをモデル内に組み込むことで、より現実に近いドライバーの経路選択行動を表現した配分モデルである。このパラメータは分散パラメータと呼ばれ、配分計算の際にあらかじめ外生的に設定しておく必要があるが、実際の道路ネットワークへの適用に際しては合理的な設定方法が課題とされている<sup>1)</sup>。設定方法としては、分散パラメータを変化させて配分計算を行った推計交通量と、路側で実際に観測された断面交通量との比較を行い、再現性が最も高いものを採用する方法や、溝上ら<sup>2)</sup>のように現実の経路選択行動結果に最も適合するようにリンク交通量の観測値を用いてパラメータを逆推定する方法が考えられる。

本研究では、OD 間旅行時間の異なるドライバーの旅行時間に関する認知誤差の違いを表現したマルチクラス確率的利用者均衡配分モデルを実際の道路ネットワークに適用した推計結果から分散パラメータの設定方法について考察する。具体的には、ネットワーク上における観測交通量に対する再現精度を比較した場合と、自動車起終点調査から集計した実際の OD 内訳（OD 間旅行時間によるクラス別の交通量）に対する再現精度を比較した場合の 2 つの方法を用いて適切な分散パラメータについて分析する。

\*キーワード：配分交通，確率的利用者均衡配分  
\*\*正員，工修，株式会社 長 大  
(名古屋市中村区名駅南 1 丁目 18-24, TEL:052-586-0700, E-mail:okada-yo@chodai.co.jp)  
\*\*\*学生員，工修，名古屋大学大学院環境学研究科  
(E-mail:miwa@trans.civil.nagoya-u.ac.jp)  
\*\*\*\*正員，Ph.D，名古屋大学大学院環境学研究科  
(E-mail:morikawa@civil.nagoya-u.ac.jp)

### 2. マルチクラス確率的利用者均衡配分モデル

確率的利用者配分モデルは、OD ペア  $rs$  間の経路  $k$  の効用関数の確定項  $V_k^{rs}$  を、経路旅行時間  $c_k^{rs}$  の関数である  $V_k^{rs} = -c_k^{rs}$  とおいたとき、効用関数の誤差項  $\varepsilon_k^{rs}$  に分散パラメータ  $\theta$  のガンベル分布を仮定すれば、経路  $k$  の選択確率  $P_k^{rs}$  はロジットモデルである次式で表される。

$$P_k^{rs} = \exp(-\theta \cdot c_k^{rs}) / \sum_{k' \in K_{rs}} \exp(-\theta \cdot c_{k'}^{rs}) \quad (2-1)$$

したがって、経路交通量  $f_k^{rs}$  は、 $rs$  間の OD 交通量  $q_{rs}$  を用いて、 $f_k^{rs} = q_{rs} \cdot P_k^{rs}$  として表される。

式(2-1)における分散パラメータ  $\theta$  は、値が大きくなれば、ドライバーが認知している経路旅行時間の誤差は小さくなり、逆に小さくなれば誤差が大きくなることを意味している。

ところで、ドライバーが認知する経路旅行時間の誤差項を独立で同一のガンベル分布に従うと仮定して導出するロジットモデルは、Dial のアルゴリズムにより配分計算を非常に簡易に行えるという利点を有する一方で、 $\theta$  をすべてのトリップ属性について同じにしてしまうと、非現実的な経路選択行動を表現してしまうといった欠点も有している。ここで、図 2-1 に示したような 1OD ペア 2 経路の非常に簡単なネットワークの 2 つケースについて考えてみることにする。

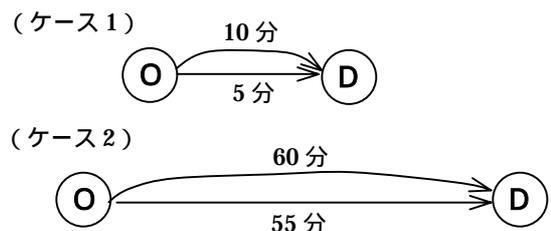


図 2-1 1OD ペア 2 経路のネットワーク

ケース 1 の各経路の旅行時間は 5 分と 10 分であり、ケース 2 では 55 分と 60 分である。通常のロジ

ットモデルでは、どちらのケースでも2つの経路はまったく同じ選択確率 ( $\theta = 1$  のとき, .993 : .007) となる。しかし、ケース1においては、多くの利用者が5分の経路利用することに問題はないと考えられるが、ケース2においては55分の経路がケース1と同じ選択確率で選択されると考えることは非現実的であると言えよう。これは、ロジットモデルでは選択確率が効用差で決定され、 $\theta$  をすべてのトリップ属性について均一としたために生じる現象である。実際の経路選択行動を考慮した場合、OD間の旅行時間が長くなればなるほど、認知する旅行時間のばらつき(分散)が大きくなると考える方が自然である。

経路選択に伴う認知誤差がOD間の平均旅行時間に比例していると考えられるとき、ペア  $rs$  間の経路  $k$  の効用関数における誤差項  $\varepsilon_k^{rs}$  の分散  $Var[\varepsilon_k^{rs}]$  を、観測される経路旅行時間の期待値  $E[c_k^{rs}]$  の関数として式(2-2)のように定義する。

$$Var[\varepsilon_k^{rs}] = \lambda \cdot E[c_k^{rs}] = \lambda \cdot \bar{c}_k^{rs} \quad (2-2)$$

一方、ガンベル分布の特性より、誤差項  $\varepsilon_k^{rs}$  の分散  $Var[\varepsilon_k^{rs}]$  は分散パラメータ  $\theta_{rs}$  を用いて式(2-3)のように表現できる。

$$Var[\varepsilon_k^{rs}] = \pi^2 / 6\theta_{rs}^2 \quad (2-3)$$

したがって、ペア  $rs$  間の分散パラメータ  $\theta_{rs}$  は式(2-2)、(2-3)から、次式として得られる。

$$\theta_{rs} = \pi / \sqrt{6\lambda \cdot \bar{c}_k^{rs}} \quad (2-4)$$

式(2-4)によって得られた  $\theta_{rs}$  を先程の簡単な2つのネットワークに適用してみると(計算の便宜上  $\lambda = 1$  とする)、ケース1:( $\theta_{rs} = .574, .946 : .054$ ) に対してケース2:( $\theta_{rs} = .173, .704 : .296$ ) となり、非現実的な経路選択現象がかなり緩和されていることがわかる。この考え方は Glielbe ら<sup>3)</sup>により、経路選択行動を対象として非集計モデルに適用されている。

このようなトリップ属性(クラス)の一つであるOD間の旅行時間の違いを、ネットワーク配分問題において明示的に区別して取り扱ったマルチクラス確率的利用者均衡配分モデルは以下のように定式化される(H.Yang<sup>4)</sup>参照)。

$$\min . Z = \sum_{a \in A} \int_0^{x_a} t_a(\omega) d\omega - \sum_{g \in G} \left[ \frac{1}{\theta_g} \sum_{r \in R} \sum_{s \in S} q_{g,rs} H_{g,rs}(\mathbf{f}^{g,rs}) \right] \quad (2-5)$$

subject to

$$x_a = \sum_{r \in R} \sum_{s \in S} \sum_{k \in K_{rs}} f_k^{rs} \delta_{a,k}^{rs} \quad \forall r \in R, s \in S \quad (2-6)$$

$$q_{g,rs} = \sum_{k \in K_{rs}} f_k^{g,rs} \quad \forall g \in G, r \in R, s \in S \quad (2-7)$$

$$f_k^{g,rs} \geq 0 \quad \forall k \in K_{rs}, \forall g \in G, r \in R, s \in S \quad (2-8)$$

ここで、

$$\begin{aligned} H_{g,rs}(\mathbf{f}^{g,rs}) &\equiv - \sum_{k \in K_{rs}} P_k^{g,rs} \ln P_k^{g,rs} \\ &= - \sum_{g \in G} \sum_{r \in R} \sum_{s \in S} \frac{f_k^{g,rs}}{q_{g,rs}} \ln \frac{f_k^{g,rs}}{q_{g,rs}} \end{aligned} \quad (2-9)$$

$x_a$  : リンク  $a$  の交通量

$t_a(x_a)$  : リンク  $a$  の旅行時間

$\delta_{a,k}^{rs} = \begin{cases} 1 : \text{OD ペア } rs \text{ 間経路 } k \text{ がリンク } a \text{ を含む} \\ 0 : \text{含まない} \end{cases}$

$q_{g,rs}$  : クラス  $g$  に属する OD ペア  $rs$  間分布交通量

$P_k^{g,rs}$  : クラス  $g$  に属する OD ペア  $rs$  間の  $k$  番目経路の選択確率

なお本来は、実際のネットワークに適用する際には、ODペアの数だけクラスが存在することとなるが、本研究では計算機容量の制限により、OD間平均旅行時間のランクによってクラス化 ( $g = 1, 2, \dots, G$ ) して定式化を行っている。

### 3. 実ネットワークへの適用

#### (1) 配分データの概要

配分の対象とする地域は、名古屋市を中心とした半径30km程度のエリアを対象としており、ゾーン数は280ゾーン、リンク数は2,339、ノード数は1,304のネットワーク規模である。ODデータ(12時間OD表)は、第3回中京都市圏パーソントリップ調査(以下、PT)の現況OD表と将来OD表の中間補完によって作成した平成11年OD表を適用した。なお、車種別の扱いについては、大型車を乗用車換算係数 (= 2.0) を用いて乗用車換算し、1車種

のOD交通量 (pcu/12h) としている。

また、ネットワークを構成する各リンクのリンクコスト関数には、以下のBPR関数を採用した。

$$t_a(x_a) = t_{a0} \left[ 1 + \alpha \left( x_a / \gamma_a c_a \right)^\beta \right] \quad (3-1)$$

ここで、 $t_{a0}$  は自由旅行時間でリンク a の指定最高速度 (km/h) の逆数、 $c_a$  は可能交通容量 (pcu/h)、 $\gamma_a$  は 12 時間交通容量とするための換算係数を溝上<sup>5)</sup>の方法を用いて平成 11 年度道路交通センサス(以下、H11 センサス)より設定し、パラメータ  $\alpha$ 、 $\beta$  は土木学会<sup>2)</sup>よりそれぞれ 0.48、2.82 を全リンクについて共通に設定した。なお、有料道路の料金は時間価値 (= 72.45 円/分<sup>6)</sup>) を用いて時間換算している。

### (2) $\theta_g$ の設定方法

$\theta_g$  は配分計算に用いる OD 表が PT データにより作成されていることから、各 OD 間の平均旅行時間を PT 調査によるゾーン間の観測旅行時間より集計し、 : 0~10 分、 : 10~20 分、 $\dots$ 、 : 50~60 分、 : 60 分以上の 7 クラスとして設定する。各クラスの  $\theta_g$  の値は式 (2-4) に含まれる  $\lambda$  の値によって図 3-1 のように変化する。

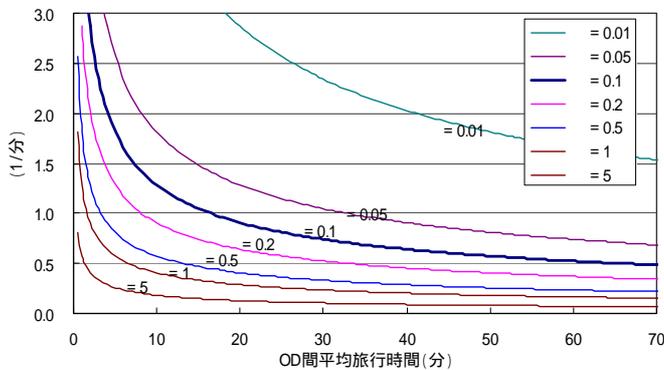


図 3-1  $\lambda$  の違いによる  $\theta_g$  の変化

$\lambda$  は経路選択に伴う旅行時間の認知誤差の大きさを決定しているパラメータであり、 $\lambda = 5$  のように大きな値を設定してしまうと、OD 間旅行時間に係わらず  $\theta_g$  の値は非常に小さくなってしまふ。Gliebe らは、便宜上  $\lambda = 1$  と仮定しているが、本研究では  $\lambda$  を 0.01~2.0 までの範囲で変化させた場合の配分計算を実施する。なお、 $\theta_g$  の値は式 (3-2) で算出され、 $\lambda = 0.1$  として設定した場合の  $\theta_g$  は表 3-1 のようになる。

$$\theta_g = \sum_{rs \in g} \left( q_{rs} \pi / \sqrt{6\lambda \cdot \bar{c}_k^{rs}} \right) / \sum_{rs \in g} q_{rs} \quad (3-2)$$

表 3-1  $\lambda = 0.1$  の場合におけるクラス別の  $\theta_g$

クラス	OD 間旅行時間 (分)	$\theta_g$
1	~ 10	1.355
2	10 ~ 20	1.070
3	20 ~ 30	0.824
4	30 ~ 40	0.702
5	40 ~ 50	0.616
6	50 ~ 60	0.558
7	60 ~	0.459

### (3) 分散パラメータの分析

ここでは、(1)、(2) の条件のもとで配分した結果に基づき、観測交通量に対する再現精度と、自動車起終点調査から集計された実際の OD 内訳 (OD 間旅行時間によるクラス別の交通量) に対する再現精度の 2 つの適合度評価項目について、適切な分散パラメータについて考察する。

まず、ネットワークを構成する H11 センサス対象リンク (319 サンプル) における観測交通量 (pcu/12h) に対する推計交通量の相関係数、RMSE を図 3-2 に示す。

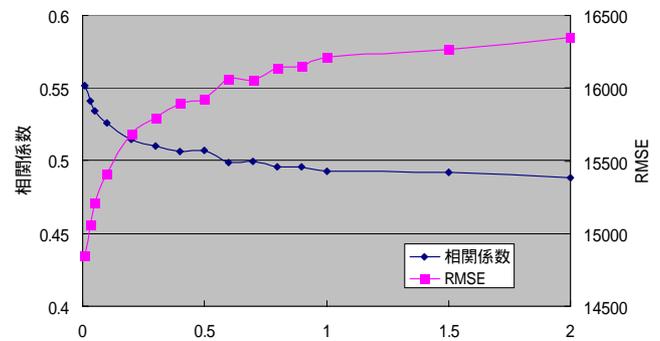


図 3-2  $\lambda$  の違いによるリンク交通量再現精度の比較

再現精度については  $\lambda = 0.01$  ( $\theta_g = 1.452 \sim 4.284$ ) が最も高くなっており、 $\lambda$  が 1.0 以上においては大きな違いはない。この結果は、岐阜都市圏道路網を対象とした宮城<sup>7)</sup>の  $\theta = 4.5$ 、豊田都市圏道路網を対象とした溝上<sup>8)</sup>の  $\theta = 2.0$  と比較して妥当な結果と言える。しかしながら、図 2-1 に示した簡単な事例のように、これらの値は直感的にかなり過大であると考えられる。

そもそも、本研究で適用したマルチクラス確率的利用者均衡配分モデルは、OD 間旅行時間の異なるドライバーの旅行時間に関する認知誤差の違いを表

現することで、リンクを通過する交通の「量」ではなく「質」に与える影響が大きいはずである。

そこで、ある特定のリンクにおいて観測されたOD内訳(OD間旅行時間によるクラス別の交通量)に対する再現精度に着目した分析を行う。断面交通量と異なり、あるリンクを通過する交通の実際のOD内訳を調査することは困難であるため、十分に大きなサンプル数を確保することは難しいが、第7回名古屋高速道路自動車起終点調査結果(平成8年)より集計した名古屋高速道路網における4つの主要断面における再現性をクラス2~7のOD内訳を対象(4断面×上下別×6クラス=48サンプル)として再現精度を比較した。

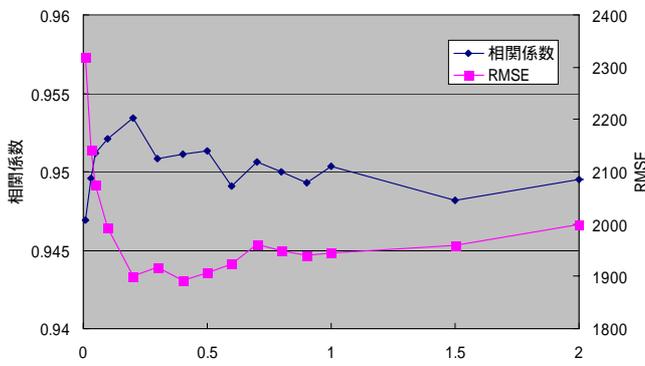


図3-3 λの違いによるリンクOD内訳の再現精度の比較

比較結果を示した図3-3をみると、 $\lambda = 0.2 \sim 0.4$ の範囲で再現性が高くなっており、逆に $\lambda = 0.01$ の場合に再現性が最も低くなっていることがわかる。

なお、 $\lambda = 0.4$ を適用した場合の $\theta_g$ は表3-2のようになるが、旅行時間の認知誤差の違いを考慮しない、つまり全ODで共通の $\bar{\theta}_g$ を与えたモデルを適用した場合のOD内訳の推計結果について、比較した4断面のうちの1方向で詳細にみると図3-4のようになっている。マルチクラス確率的利用者均衡配分モデルでは断面の合計交通量では劣るものの、各ク

表3-2 λ = 0.4の場合におけるクラス別の $\theta_g$

クラス	OD間旅行時間(分)	$\theta_g$
1	~ 10	0.677
2	10 ~ 20	0.535
3	20 ~ 30	0.412
4	30 ~ 40	0.351
5	40 ~ 50	0.308
6	50 ~ 60	0.279
7	60 ~	0.230
加重平均	-	$\bar{\theta}_g = 0.437$

クラスの交通量、すなわちOD内訳が観測交通量に近づいていることがわかる。

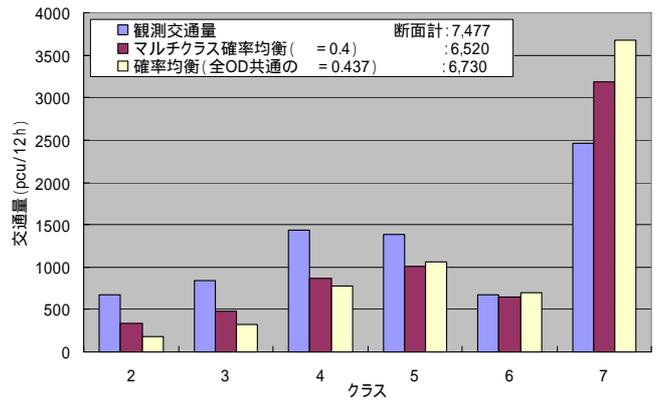


図3-4 モデルの違いによるOD内訳の比較

#### 4. まとめ

本研究では、リンク交通量とある特定のリンクにおけるOD内訳の再現精度の比較により、適切な分散パラメータの設定方法について実証的検討を行った。この方法では、評価する項目や、評価に用いる指標の違いにより得られる値は異なることが考えられるため、配分対象地域におけるネットワーク特性や配分結果を用いた分析内容に応じて適切な評価項目、評価指標よりパラメータを設定する必要がある。今後は、BPR関数の設定や車種の扱いなどより適切な配分計算を行い、より詳細な分析を行う予定である。

#### 参考文献

- 1) 土木学会：「道路交通需要予測の理論と適用 第 編」, pp.112, 2003
- 2) 溝上章志,松井寛：「Fisk型確率均衡配分モデルの未知パラメータの推定に関する一手法」, 交通工学, Vol.28, No.2, pp.21~29, 1993
- 3) Glibe, Koppelman and Ziliaskopoulos：「Route Choice Using a Paired Combinatorial Logit Model」, 78th meeting of the Transportation Research Board, CD-ROM, November 1998
- 4) HAI YANG：「Multiple Equilibrium Behaviors and Advanced Traveler Information Systems with Endogenous Market Penetration」, Transpn Res.-B, Vol.32, No.3, pp.205-218, 1998
- 5) 溝上章志,松井寛,可知隆：「日交通量配分に用いるリンクコスト関数の開発」, 土木学会論文集, 第401号/ -10, pp.99~107, 1989
- 6) 国土交通省道路局都市・地域整備局：「費用便益分析マニュアル」, pp.7, 平成15年8月
- 7) 宮城俊彦,小川俊幸,小嶋幸則：「均衡確率配分法に関する事例研究」, 土木学会第40回年次学術講演会講演概要集, pp.503~504, 1989
- 8) 溝上章志,松井寛：「均衡交通量配分手法の推定特性に関する実証的分析」, 交通工学, Vol.25, No.6, pp.33~43, 1990