

車利用者の経路選択行動の実態分析と 確率均衡配分法の実証的検討*

An Empirical Analysis of Route Choice Behavior
and Stochastic User Equilibrium Assignment

廣島 康裕** 伊東 勇人***

By Yasuhiro HIROBATA and Hayato ITOH

The purpose of this study is to examine the traffic assignment method empirically. Firstly we analyse the route choice behavior of car users. Secondly, we estimate the dispersion parameter of the probit-based stochastic route choice model by using two methods: a maximum likelihood method based on the route choice data; an empirical method based on the traffic assignment to real road network. Thirdly, we compare the goodness-of-fit of various traffic assignment methods and examine the validity of the probit-based stochastic user equilibrium model. It was found that the value of the parameter lie in the range of 0.2-0.7. It was also found that while the goodness-of-fit of the stochastic assignment methods are better than that of the deterministic method, the probit-based model is not so good in comparison with the logit-based model.

1. はじめに

従来、道路網への交通量配分においては、確定的な均衡の概念に基づく手法が多く用いられてきた。この確定均衡は、①全ての利用者は利用可能な全ての経路に関する完全な情報を得ている、②全ての利用者は同一の評価基準で経路を選択する、③全ての利用者は常に交通費用が最小の経路を選択する、という3つの条件が満たされることを前提としている。しかし、現実にはこのような条件が完全に満たされているとは考えられない。このため、最近では、これらの仮定を緩め、経路費用に対する利用者の知覚のばらつきを考慮する確率均衡配分法の検討が進められてきた。そして、その検討の中心はモデルの展開及び計算が容易であるという理由から、知覚のば

らつきに対してi. i. d. Gumbel分布を仮定するロジット型経路選択確率モデルを用いる手法に置かれてきた。しかし、このロジットモデルには、分散の同一性や相互独立性などの問題点が挙げられることから、より一般性のある確率分布である多変量正規分布の仮定に基づくプロビット型経路選択確率モデルを用いる手法についての検討が必要であると考えられるものの、その実証的検討の蓄積はロジット型のもの^{1~3)}に比べると十分でないと言える。

一方、これまで交通量配分においては、理論研究が中心に行われ、実証研究に関しても、リンク配分結果とリンク観測値との比較が中心であり、経路選択行動そのものについての調査結果に基づく分析は必ずしも十分でない。このため、自動車利用者の経路選択行動に関して明らかになっていない点も残されている。

そこで本研究では、経路選択行動の実態を明らかにするとともに、実際の交通量配分の精度向上を図ることを目的として、プロビット型経路選択確率モ

*キーワード：交通量配分、確率均衡、プロビットモデル

**正会員 工博 豊橋技術科学大学助教授 建設工学系
(〒441 豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1)

***学生員 豊橋技術科学大学大学院

デルを用いる確率均衡配分法について実証的検討を加えるものである。具体的には、まず、豊橋市において実施した利用経路調査に基づいて、経路選択行動の実態分析を行う。次に、プロビット型経路選択確率モデルを特定化し、その分散パラメータの最適値の推定を、経路調査データに基づく方法と実際配分の適用に基づく方法により試みる。さらに、本研究で特定化したプロビット型確率均衡配分法の有効性と限界を明らかにするために、豊橋市の道路ネットワークに対する配分結果の適合度を他の均衡配分手法のものと比較する。

2. 実態調査に基づく経路選択行動の分析

(1) 調査の概要

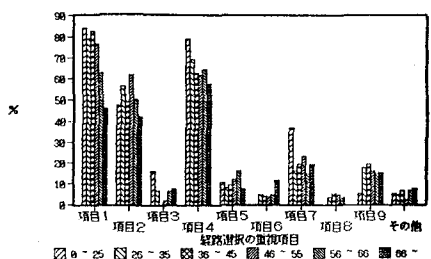
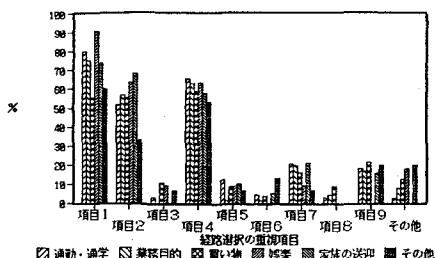
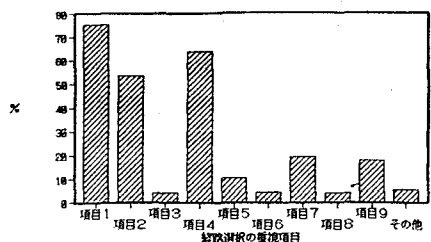
調査は、平成3年10月に豊橋市全域を対象にアンケート票の郵送配布・郵送回収形式で行い、調査対象者は住宅地図から無作為に抽出した世帯の中で最もよく自動車を利用する1人とした。その主な調査内容は、対象者が日常自家用車で言うトリップを2つ取り上げ、利用経路を5万分の1スケールの地図に記入してもらうものである。また、その時のトリップ目的・目的地、利用経路の同一性、経路選択における重視項目についても答えてもらった。回収率は、調査票配布数1500通に対して49.1%であった。なお、以下の実態分析における有効サンプル数は527(男性405、女性120)である。また、対象者の職業は会社員が多かったため交通目的の60%強が通勤・通学となっている。

(2) 経路選択実態の分析

1) 経路選択における重視項目

経路決定における重視項目(10項目から最大3まで)の集計結果を図-1に示す。利用者全体では、「所要時間」、「距離」、「道路の混み具合」を重視しており、最短経路を利用しようとする傾向が現れている。目的別に見ると、特に到着時間に制約がないと思われる買物において、所要時間の割合が相対的に低くなっている。年齢別に見ると、高齢になるにつれて「所要時間」の割合が低くなり、66歳以上では他の年齢層に比べて「大型車の交通量」が多くなっている。

以上のように、交通目的や個人属性により経路選択における重視項目に若干の差異は見られるものの、全体的には所要時間が重要であると言える。



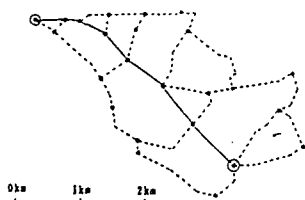
1. 所要時間
2. 距離
3. 他の経路を知らない
4. 道路の混み具合
5. 歩道の有無、歩行者交通量
6. 大型車(トラック等)の交通量
7. 信号交差点の数
8. 右折回数
9. 道路の幅員・車線数

図-1 経路選択における重視項目

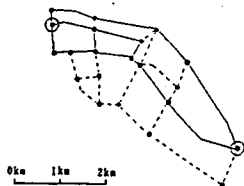
2) 経路利用状況

ここでは、サンプル数が少なく、経路利用率を求めることができないため、代表的なノードペアをいくつか選定し、それぞれのノードペアを通過しているトリップの利用リンクの集計を行った。その結果、図-2に例示するように、近郊から郊外へ向かうトリップ(a)では幹線道路を通る経路に集中しているのに対して、近郊から都心へ向かうトリップ(b)では、特定の経路に集中することなく複数の経路が利用される傾向が見られた。

各利用者のリンク通過時の走行条件が明らかでないため、このような結果からだけでは明言できないものの、道路網が密な場合には現実に確率的な経路選択行動がなされている可能性があると思われる。



a) 近郊～郊外のノードペア



b) 近郊～都心のノードペア

凡例
— : 利用リンク
- - - : 利用されないリンク

図-2 代表的ノードペア間のリンク利用状況

3) 利用経路の同一性

各個人が同一の交通において利用する経路が日によってどの程度異なっているかを知っておくことは、配分交通量予測において一定の意味を持つと考えられる。そこで、本調査では利用経路の一定性の程度について、「いつも同じ」、「時々かえる」、「よくかえる」の3つから選択してもらった。図-3に示すように、全体では、約75%が「いつも同じ」と答えており、比較的一定した経路利用がなされている。交通目的別に見ると、特に通勤・通学において「よくかえる」が他の目的に比べてかなり低くなっている。これより、通勤・通学のように、日常繰り返しおこなわれる交通では、経験によって得られた知識により利用者は普段利用する経路が最短経路であると判断しているため頻繁に経路変更をしないと考えられる。すなわち、このような交通目的においては利用経路の個人内変動は小さいと言える。

3. 確率均衡配分法

(1) 確率均衡配分の定義

確率的利用者均衡(Stochastic User Equilibrium : SUE)とは、利用者が不完全情報下で必ずしも同一でない評価基準に従って経路を選択しているという仮説の下で、経路選択行動と経路費用の間に成立す

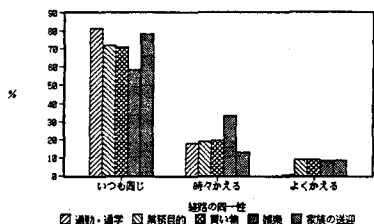
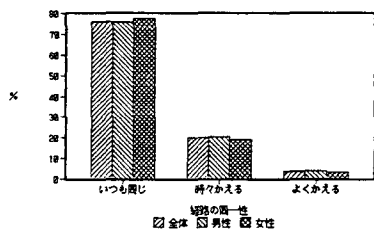


図-3 利用経路の同一性

る均衡状態をいう。この均衡状態は、「どの利用者也経路を変更することによってその知覚経路費用を良くすることができない状態」である。したがって、確率均衡配分問題は、以下の式を同時に満たす経路交通量 f_{ijk} またはリンク交通量 x_a の集合を求める問題となる

$$f_{ijk} = q_{ij} \cdot \text{Prob}[C_{ijk} \leq C_{ijk'}, k' \neq k] \quad (1.a)$$

$$C_{ijk} = c_{ijk} + \varepsilon_{ijk} \quad (1.b)$$

$$c_{ijk} = \sum_a \delta_{ijka} \cdot t_a(x_a) \quad (1.c)$$

$$x_a = \sum_{i,j,k} \sum \delta_{ijka} \cdot f_{ijk} \quad (1.d)$$

ここに、 f_{ijk} はODペア ij の経路 k の交通量、 q_{ij} はODペア ij の交通量、 x_a はリンク a の交通量である。 C_{ijk} はODペア ij の経路 k の知覚所要費用、 c_{ijk} はその平均値、 ε_{ijk} は知覚所要費用のばらつきを表す確率変数、 $t_a(\cdot)$ はリンク走行費用関数である。 δ_{ijka} は経路とリンクの対応関係を表す変数で、ODペア ij の経路 k がリンク a を含むとき1、その他のときに0となる。

(2) 確率的経路選択モデルとその仮定

確率均衡配分で用いられる代表的な経路選択モデルとしてロジット型モデルとプロビット型モデルがある。ロジット型モデルは、経路費用の知覚のばらつきを表す確率変数 ε_{ijk} が経路間で独立で同一の分散をもつGumbel分布に従うと仮定するもので、経路選択確率 p_{ijk} は次式で与えられる。

$$p_{ijk} = \frac{\exp[\theta \{c_{ijk}\}]}{\sum_k \exp[\theta \{c_{ijk}\}]} \quad (2)$$

ここに、 θ は ϵ_{ijk} の分散に対応するパラメータで、分散が大きいかほど θ は小さくなる。

一方、プロビット型モデルは、 ϵ_{ijk} が経路間で異なる分散をもち、かつ相互独立でない多変量正規分布に従うとするもので、その経路選択確率は次式で与えられる。

$$p_{ijk} = \int \cdots \int \phi(u; c_{ij}, \Sigma_{ij}) du \quad (3)$$

ここに、 $\phi(\cdot)$ は多変量正規分布の確率密度関数、 Σ_{ij} は知覚経路費用の分散共分散行列である。

一般に、プロビットモデルにおける ϵ_{ijk} の分布は、経路を構成する各リンクの知覚費用 T_a に対して期待値が t_a 、分散が σ_a^2 の正規分布を仮定することによって導かれる。すなわち、 $T_a \sim N(t_a, \sigma_a^2)$ と仮定するとき、経路 k の知覚費用 C_{ijk} は、期待値が $\sum_{i,j,k} t_a$ 、分散が $\sum_{i,j,k} \sigma_a^2$ の正規分布に従い、経路 k と k' の共分散は $\sum_{i,j,k} \delta_{ijk} \delta_{ijk'} \sigma_a^2$ となる。なお、 σ_a^2 の構造に関しては様々な仮定が可能である。

以上からわかるように、ロジット型モデルとプロビット型モデルの違いは、経路費用の知覚のばらつきに対して仮定する確率分布形の違いのみにあるのではなく、そのばらつきが何に起因すると考えるのかという点にもある。このことは、以下に述べるように、実際の配分において重要な意味を持つと考えられる。

実際の交通量配分においては、各ODペアの各経路はセントロイド間で定義され、その費用が算出されるのに対して、配分対象OD交通量は実際は発着点がゾーン内で空間的に分布している交通の集計値である。このため、同一ODペアの同一経路であっても利用者ごとにその客観的な費用は異なっている。すなわち、実際の交通量配分においては、ゾーニングに起因する誤差が多少なりとも発生する。この誤差は、経路間で独立で同一の分散をもつ確率変数であると仮定してもそれほど無理はないと考えられる。ロジット型経路選択モデルは、このような誤差を経路費用の知覚のばらつきという形で考慮しているものと解釈することもできよう。一方、これまでに提案されているプロビット型経路選択モデルは、経路

費用の知覚のばらつきがリンク費用の知覚のばらつきのみによると考えており、このような誤差を直接的には考慮していない。このような誤差は実際の配分問題において回避し得ないと考えられる。したがって、実際の交通量配分への適用を考える場合には、本来の知覚費用のばらつきに加えて、ゾーニングに起因する見かけのばらつきを考慮することが望ましいと言えよう。

(3) 確率均衡配分問題の解法⁵⁾

確率均衡配分問題は、確定均衡配分問題の場合と同様、数理最適化問題として定式化されることが証明されているが、確定均衡配分の場合に有効な解法であるFrank-Wolfe法の適用は困難であり、その解法として、MSA(Method of Successive Average)法が提案されている。このMSA法では、ロジットモデルの場合はDial法を用い、プロビットモデルの場合はMonte Carloシミュレーションを用いることにより、経路を列挙することなく、各モデルで与えられる経路交通量に整合するリンク交通量を求めることができる。

5. 分散パラメータの推定^{6~7)}

本研究では、リンクコストの知覚のばらつきに対して平均値が t_a 、分散が βt_a の正規分布を仮定するプロビット型経路選択モデルを取り上げ、その分散パラメータ β の推定を行うものとした。

(1) 推定方法

確率的経路選択モデルのパラメータの最適値を決定する方法には様々なものが考えられているが^{1~4)}、本研究では、以下の2つの方法を用いている。

1) 経路調査データに基づく方法(方法1)

この方法は、 β の値を順次変化させながら、各段階で各起終点間の各リンクの選択確率を求め、経路選択調査から得られた実際のリンク選択結果データに対する尤度を次式から計算し、その値が最大となるパラメータを選ぶというヒューリスティックな方法である。ここでのリンク選択確率は、正規乱数を発生させて知覚リンクコストの実現値を与える度に最短経路を記録するというモンテ・カルロ・シミュレーションを用いて求める。

$$L(\beta) = \prod_{i,j,a,n} p_{ija}(\beta)^{\delta_{ijn}} \quad (4)$$

ここに、 $p_{ij,a}$ はODペア*ij*間でのリンク*a*の選択確率である。また、 $\delta_{ij,a}$ はリンク選択結果であり、ODペア*ij*間をトリップしている個人*n*がリンク*a*を利用している場合に1、その他のとき0となる。

2) 実際配分の適用に基づく方法(方法2)

この方法は、 β の値を順次変化させながらOD交通量の実際配分を行い、リンク観測値に対する配分結果の適合度指標（平均誤差、平均誤差率、相関係数）によりパラメータを選ぶ方法である。

3) 2つの方法の特徴

これら2つの方法には以下のような一長一短があるため、本研究では両手法による推定を行っている。

①方法2ではリンク走行費用関数を通じて道路混雑の影響を考慮できるが、方法1では混雑による費用の変化を考慮するのが困難である。②方法2ではゾーニングの影響を受けると考えられるが、方法1では、各個人の起終点にノードを用いるために、その影響を受けない。③方法1では調査対象者のみのパラメータを推定することになるが、方法2では対象地域外に起終点をもつ交通についても考慮することができる。④方法2では平均的なパラメータしか推定できないが、方法1では、経路選択に影響を与えと思われる各種個人属性別のパラメータ推定を行うことができる。

(2) パラメータ推定結果

先に述べた豊橋市での経路実態調査のデータに対する方法1の適用結果を図-4に示す。これより、全サンプルでは β の最適値は0.2前後であると言える。なお、性別の推定では女性の値が0.3前後、交通目的別では買物の値が0.4前後となり、個人属性や交通目的によって β の最適値は若干異なることがわかった。

次に、方法2を豊橋市の道路ネットワーク（ノード数189(その内セントロイド31)、リンク数638)に適用した結果を図-5に示す。これより、各種の適合度指標値は β が0.2～0.7の範囲においては大きな差は見られないことがわかる。なお、この図より、修正BPR型（ $\alpha=2.62$ 、 $\beta=5.0$ ）用いた場合の方が全体的に適合度がよいこともわかる。

6. 他の均衡配分法との適合度比較

ここでは、プロビット型均衡配分の有効性を検討するため、ロジット型確率均衡配分法と等時間原則

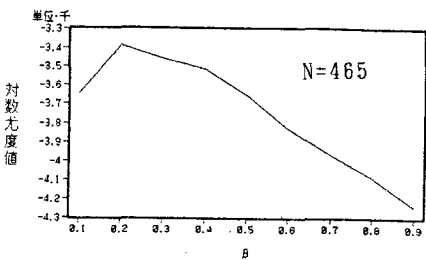
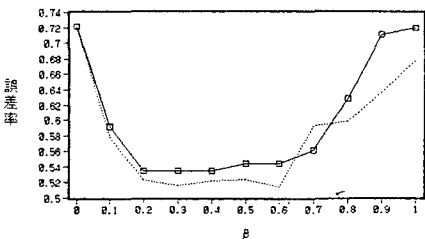
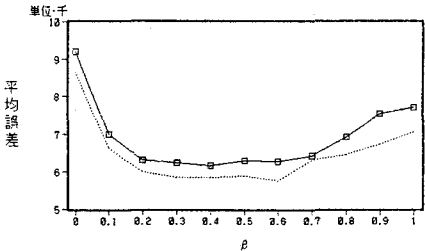


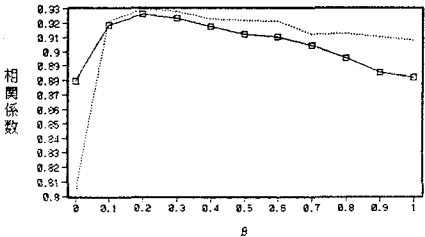
図-4 方法1の結果



□ ALFA = 0.15, BETA = 4.0 ALFA = 2.62, BETA = 5.0



□ ALFA = 0.15, BETA = 4.0 ALFA = 2.62, BETA = 5.0



□ ALFA = 0.15, BETA = 4.0 ALFA = 2.62, BETA = 5.0

図-5 方法2の結果

配分法による配分を行い、適合度を比較する。

3つの均衡配分法によるリンク別の配分値と観測値の分布を図-6に示す。これより、プロビット型均衡配分法の適合度は、等時間原則配分に比べると良いと言えるものの、ロジット型に比べるとやや劣っていると判断される。

このように、プロビット均衡配分法は、より現実味を帯びた知覚のばらつきを考慮できることから、理論的には優れていると考えられるものの、ロジット型の方が適合度が良くなった原因として以下のことが考えられる。3. で述べたように、ロジット型経路選択モデルにおける経路費用の知覚のばらつきは、その理論的な解釈は別として、実際の配分においては、ゾーニングに起因する誤差を反映できるものとなっている。これに対して、本研究で用いたプロビット型経路選択モデルは、リンク費用の知覚のばらつきに起因するについては適切に考慮できるものの、ゾーニングに起因する誤差を直接的には考慮できない構造となっている。したがって、本適用例においては、このゾーニングに起因する誤差が大きかったものと考えられる。しかし、それでもプロビット型均衡配分は、一定の適合度を示していることから、ゾーニングによる誤差をも考慮できるようモデルを拡張するならば、その適合度はさらに向上するものと考えられる。

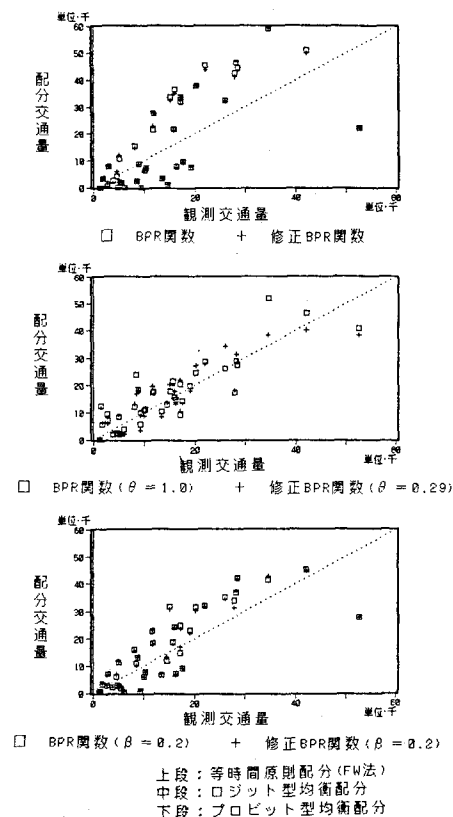


図-6 各種均衡配分法の適合状況

6. おわりに

本研究では、自動車利用者の経路選択行動の実態分析を行うとともに、プロビット型確率均衡配分法に関して実証的検討を加えた。

この結果、1)経路選択において重視する項目は交通目的や個人属性によって若干異なるものの、全体的には所要時間が重視されていること、2)道路網が密である場合には確率的な経路選択がなされる可能性があること、3)日常繰り返しのなされる通勤通学交通においては各利用者の利用経路は比較的一定である傾向が強いこと、などがわかった。

一方、知覚費用の分散が平均費用に比例することを仮定するプロビット型経路選択モデルについての検討結果から、4)分散パラメータ β の最適値は0.2~0.7の範囲に存在すると考えられ、実際配分に対する適合度はその範囲内でそれほど変化がないこと、5)プロビット型確率均衡配分の実際配分における適合度は、等時間原則配分よりも良いものの、ゾーニングによる経路費用の誤差を考慮できないためにロジットモデル型確率均衡配分に比べてやや劣っていること、などがわかった。

今後の課題として、1)ゾーニングによる誤差をも考慮できるよう、より一般的な構造を持つモデルへとプロビットモデルを拡張すること、2)より厳密な分散パラメータの推定方法を開発すること、3)個人属性、交通目的、時間帯によるパラメータの違いを同時に考慮すること、などが挙げられる。

参考文献

- 1) 桑原雅夫: 交通量配分手法の実証的検討, 交通工学, Vol.23, No.2, pp.17-25, 1988年.
- 2) 清上章志・松井 寛: Fishモデルにおける θ の推定方法およびその実用可能性に関する一考察, 土木計画学研究・講演集, No.12, pp.511-516, 1989年.
- 3) 高山純一: フォブ法を用いたドライバーの経路選択特性に関する調査研究, 土木計画学研究・講演集, No.13, pp.503-516, 1990年.
- 4) 宮城俊彦・小川俊幸: 共役性理論を基礎とした交通配分モデルについて, 土木計画学研究・講演集, No.7, pp.301-303, 1985年.
- 5) Sheffi, Y.: URBAN TRANSPORTATION NETWORKS, Prentice-Hall, 1985.
- 6) 大木亮彦・廣島康裕: プロビットモデル型の確率均衡配分法に関する実証的研究, 土木学会第46回年次学術講演会講演集IV, pp.372-373, 1990年.
- 7) 伊東勇人・廣島康裕: 車利用者の経路選択行動の実態分析と確率配分モデルのパラメータ推定, 土木学会中部支部平成3年度研究発表会講演要集, pp.427-428, 1992年.