

均衡確率配分モデルの岐阜市への適用結果について

岐阜大学工学部 正 会 員 宮城俊彦
岐阜大学大学院 学生会員 ○小川俊幸

1. はじめに

ランダム効用理論から誘導された均衡確率配分モデルは、利用者均衡をも含む種々のレベルの交通均衡状態を表現できる。すでに我々は、昭和46年岐阜市に対する適用事例を報告しているが、より新しいネットワークデータによる分析の必要性を感じていた。そこで、本研究は、昭和56年岐阜市に対してモデルを適用し、モデルの現況再現性とアルゴリズムの計算効率性について検討することを目的としている。

2. 均衡確率配分モデル

ネットワーク利用者の経路選択行動は、経路の混雑効果を考慮したうえでの効用最大化行動であり、目的地への所要時間最小化行動として捉えることができる。しかし、ネットワーク利用者の選択経路は、経路選択時における経路情報の不足あるいはネットワーク利用者の経路に関する評価構造の相違などから、必ずしも最短経路ではないと考えるほうが自然である。ランダム効用理論では、このような状況を説明するために経路に関する効用すなわちマイナス所要時間に誤差項を加法的に導入する。誤差項が平均0のGumbel分布に従うと仮定した場合、交通量配分の理論的フレームワークのなかでは次のようなモデルが誘導できる²⁾。

【均衡確率配分モデル】

$$\min_x \quad \frac{1}{\alpha} \sum_k \sum_r X_r^k \ln X_r^k + \sum_a \int_0^{f_a} Ca(f) df \quad (1)$$

$$s.t. \quad \sum_r X_r^k = X^k, \quad X_r^k \geq 0 \quad (2)$$

ここで、 X^k : ODペアkの分布交通量

X_r^k : ODペアkのr番目経路交通量

f_a : リンクaのリンク交通量

$Ca(\cdot)$: リンクaのパフォーマンス関数

また α は、次式に示すように、効用の誤差項に仮定したGumbel分布の分散 σ^2 に関係するパラメータである。

$$\alpha^2 = \pi^2 / 6 \sigma^2 \quad (3)$$

ここで、Gumbel分布の分散 $\sigma^2 = 0$ の場合(したがって $\alpha = \infty$)を考える。このとき、ランダム効用理論では誤差項が0に固定され、効用はマイナス所要時間そのもので表される。このときネットワーク利用者の選択経路は最短経路であり、均衡確率配分モデルが最適解として与える配分フローは利用者均衡パターンを構

成しなければならない。事実、式(1)では $\alpha = \infty$ のため第1項が無視され、均衡確率配分モデルは理論上利用者均衡配分モデルと等価になる。また、一般に、分散 $\sigma^2 > 0$ の場合($\alpha < \infty$)は、 α の大きさによって第1項のエントロピーの影響力が異なり、均衡確率配分モデルは種々の確率均衡パターンを与える。

3. 解法のアプローチ

利用者均衡配分モデルの場合、非線形最適化問題の解法であるFrank-Wolfe法(FW法)が適用可能である。この方法は、目的関数に対する線形近似と1次元最小化の2つのステップを繰り返しながら解を改善していくものであり、ある反復時点 m で求められたリンクフローを f^m とすると、 $(m+1)$ 回目のリンクフローは次式で与えられる。

$$f^{m+1} = f^m + \beta^m (y^m - f^m) \quad (3)$$

ここで y^m は、 f^m によって修正されたリンク走行時間のもとでのAll or Nothing配分フローであり、 β^m は1次元最小化法によって決定されるステップ幅である。

一方、均衡確率配分モデルに対してFW法は直接適用できないが、PowellとSheffiによって凸結合を利用する逐次平均法が開発されている³⁾。Powell-Sheffi法は、FW法と次の点で異なる。

①各反復時点 m で、 f^m によって修正されたリンク走行時間における配分フロー y^m をAll or Nothing配分ではなく、確率配分Dial法を用いて与える²⁾。すなわち、

$$y_a = \sum_k \sum_r \delta_{ar}^k X_r^k \frac{\exp(-\alpha C_r^{km})}{\sum_r \exp(-\alpha C_r^{km})} \quad (4)$$

ここで、 C_r^{km} : 反復時点 m での経路走行時間

δ_{ar}^k : 経路行列の要素

②目的関数(1)式は、第1項に経路交通量 X_r^k が含まれており、リンク交通量 f_a のみで表現できない。式(1)において1次元最小化手法を適用するためには、 X_r^k を変数とする必要があり、これは計算機の記憶容量の問題から事実上不可能である。したがって、各反復時点 m で最適ステップ幅を決定することができず、一定ステップ幅 $\beta^m = 1/m$ と仮定する。このとき、一定ステップ幅を用いても解が収束することは理論的に証明されている。

4 分析データ

(1) 道路ネットワーク

配分対象ネットワークは、昭和56年岐阜市道路ネットワークで、全ノード数240(域内セントロイド60、域外セントロイド18、中間ノード162)、リンク数832と大規模なものである。昭和46年岐阜市道路ネットワークより、ノード数で68、リンク数で282 大型化した理由は次の2点にある。

①より詳細な分析を行うため、域内に関してはPT調査における小ゾーンを集め中ゾーン化(36ゾーン)することやめ、小ゾーンそのものを対象とした。また、域外に関しても12ゾーンから18ゾーンに細分化した。これによって、セントロイド数のみならずアクセスリンク数も増大した。

②昭和46年から56年の10年間に、岐阜市環状線の一部開通など新たに主要道路が建設され、ネットワーク表示する必要があった。

(2) 分布交通量

昭和56年に実施された第2回中京都市圏PT調査から岐阜市関連トリップを抽出し、拡大集計したものでトリップOD表を作成し、平均乗車率1.3で除したものを分布交通量として用いている。ただし、岐阜市の中心を流れる長良川によるスクリーンライン調査の結果に配分交通量を一致させるため、分布交通量を拡大修正した。

5. 適用結果

本研究では、パフォーマンス関数に修正BPR関数を使用し、また、均衡計算には (a)岐阜市域内のゾーン間交通、(b)域内・域外ゾーン間交通、(c)域外・域外ゾーン間通過交通の3種類を対象とし、ゾーン内交通のみを事前にネットワークに負荷した。この条件の下で、3節で述べたアルゴリズムにより、均衡確率配分モデルと利用者均衡配分モデルを昭和56年岐阜市に適用した。モデルの適合度を示す指標としては、配分交通量と実測交通量に関するTeilの不一致係数(U)と相関係数(R)を用いる。Rが配分交通量と実測交通量が一定比率で乖離している場合にも高い値を示すのに対し、Uはこの不合理性を解消しており、適合性比較のためには都合がよい。なお、Uが0に近い程、Rが1に近い程適合性に優れている。表-1は、2つのモデルによる配分結果に対するUおよびRの値を示したものである。均衡確率配分モデルは利用者均衡配分モデルよりUは小さくRは大きく、優れた適合性を示していることは明らかである。ここでは $\alpha = 0.5$ の結果のみを掲載したが、現段階では α を変化させた場合の分析が不十分であるので詳細は講演時に報告したい。ただし、 α を大きく($\alpha > 10.0$)した場合、均衡確率配分モデル

表-1 適合度の比較(昭和56年岐阜市)

	利用者均衡配分*	均衡確率配分**
U	0.194	0.165
R	0.641	0.713

*反復回数20回 **反復回数10回 $\alpha = 0.5$

が与える配分フローは利用者均衡配分モデルが与えるそれと極めて類似し、このことにより均衡確率配分モデルの理論的特徴を実証的に確認することができた。また、前回の結果(利用者均衡配分モデル:U=0.173,R=0.719、均衡確率配分モデル:U=0.164,R=0.724)と同様に今回の結果からも現実の交通パターンは利用者均衡状態ではなく、ある分散における確率均衡状態であると予想できた。

6. 今後の課題

均衡確率配分モデルは適合性に優れているが、解法であるPowell-Sheffi法では各反復時点でDial法をセントロイド数だけ実行するため、単純なAll or Nothing配分を用いる利用者均衡配分モデルより数倍のCPU時間を必要とする。ただし、本研究では厳密な均衡計算を実行するために、通過交通をも均衡計算アルゴリズムに含み、かつ二方向配分を行っている。したがって、CPU時間短縮には、日交通ODを対称形であると仮定し往復配分に切り換えることや、あらかじめ通過交通をネットワークに負荷しておき均衡計算から除外することが考えられる。この場合、CPU時間は1/2以下になると期待できるが、均衡確率配分モデルの適合性変化のチェックが必要であろう。今後、均衡確率配分モデルにより交通均衡分析を進めていくためには、適合性と計算効率性がうまく調和したアルゴリズムを開発する必要があり、現在は、反復時点でのステップ幅を縮小写像法を用いて決定する方法を検討中である。

【参考文献】

- 1) 宮城俊彦,小川俊幸,小嶋幸則(1985) 均衡確率配分法に関する事例研究,第40回年次学術講演会要集・第4部, pp.503-504.
- 2) 宮城俊彦,小川俊幸(1985) 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.301-308.
- 3) Powell,W.B. and Y.Sheffi (1982) The convergence of equilibrium algorithms with pre-determined step sizes, Transp.Sci., Vol.16, pp.45-55.
- 4) Dial,R. (1971) A probabilistic multipath traffic assignment which obviates path enumeration, Transp.Res., Vol.5, pp.83-111.