

トリップ発生空間的連続分布近似を用いた利用者均衡モデル

東京大学大学院 学生会員 円山琢也
東京大学工学部 正会員 室町泰徳
東京大学大学院 正会員 原田 昇
東京大学大学院 フェロー 太田勝敏

1. はじめに

従来、交通ネットワークの分析において、Trip End は発着ゾーンの代表地点(セントロイド)で近似され、Trip End から道路等のネットワークへのアクセスコストも代表的な一意な値での近似がなされてきた。分析対象が道路整備計画のみの場合この手法に起因する空間的集計誤差の問題は、顕著なものにはならなかった。しかし、例えば鉄道と自動車の分担配分統合モデルを構築する場合、駅へのアクセスの一意近似による誤差は無視できないものとなる。本研究では、Trip End に対して空間的な連続分布近似を用いることで、分担配分段階のネットワーク利用者均衡モデルの枠組みにおいて詳細な空間情報を表現可能とする手法の提案を行う。

2. コネクターコストの確率変数化

図1の1ODペア間の場合について考察する。これらを多ゾーン間の場合に拡張するのは容易である。Trip End に接続すると考えられるネットワーク上の点を access node と定義する。図1では access node $r1, r2, s1$ は駅、 $r3, s2$ は交差点に相当する。鉄道と自動車の手段選択モデルでは、Trip End から駅までの距離が、結果を大きく左右することになるが、Trip End をゾーンのセントロイドに限定する手法ではこれらの事象の表現が困難となる。

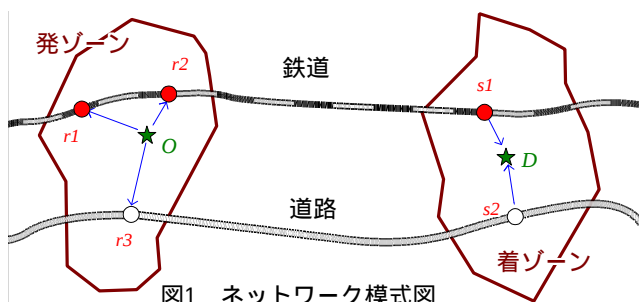


図1 ネットワーク模式図

この問題に対するひとつの対処法は、ゾーンを詳

細に分割する事である。しかし、分割された OD の精度は保証されるものではない。もうひとつの対処法として、OD 表はそのまま、分担配分モデルの段階で、コネクターのコストを一意的値ではなく、確率変数として与える手法が考えられる。

図1で、本来発着ゾーン内に確率的に存在するトリップ発生点 O から、access node $r1, r2, r3$ へのコストをそれぞれ C_{r1}, C_{r2}, C_{r3} とおく。これら確率変数の確率分布は、ゾーンの形状、大きさ、ゾーンに対する access node の位置で決定されるものである。また、例えば $r1$ と $r2$ が近接している場合には、 C_{r1}, C_{r2} 間には正に強い相関があるというように C_{r1}, C_{r2}, C_{r3} はそれぞれ独立な変数ではない。つまり、各 access node へのコストベクトル $C = (C_{r1}, C_{r2}, C_{r3})$ を3次元確率分布として扱う必要がある。この3次元確率分布の平均ベクトル、分散共分散行列は、次式で与えられる(対象地域をメッシュに区切った $x-y$ 平面を考える)。

$$m_i = \sum_{x,y \in A} d_i(x,y) P(x,y)$$

$$s_i^2 = \sum_{x,y \in A} (d_i(x,y) - m_i)^2 P(x,y)$$

$$s_{ij} = \sum_{x,y \in A} (d_i(x,y) - m_i)(d_j(x,y) - m_j) P(x,y)$$

$$P(x,y) = \frac{pop(x,y)}{\sum_{x,y \in A} pop(x,y)}$$

ここで、access node i へのコストの確率分布の平均 m_i 、分散 s_i^2 、「access node i へのコスト」と「access node j へのコスト」の共分散を s_{ij} 、 $P(x,y)$ をセル (x,y) に Trip End が存在する確率、対象ゾーンを A 、セル (x,y) の中心から access node i へのコストを $d_i(x,y)$ とする。 $P(x,y)$ は、そのセルの人口密度 $pop(x,y)$ に比例すると仮定している(この仮定は OD 表分割の際に、人口比で按分することと本質的に同等である)。

厳密には、セルのサイズを 0 に近づけた時の極限值として上記式は積分で表現されるべきものである。

キーワード: セントロイドコネクター, Probit 型確率的利用者均衡配分

連絡先: 〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1, Tel.03-5841-8391, Fax03-5841-8527

実際には、セルサイズを例えば 100m メッシュとし、GIS を用いて計算する。Daganzo¹⁾はこれらの統計量を図学的に求める方法を示している。

確率分布の分布形に、上記平均、分散共分散行列に従う多変量正規分布を仮定する。コスト C_{r1}, C_{r2}, C_{r3} がそれぞれ最小となる確率は 3 項選択 Probit モデルで与えられることになる。一般に、あるゾーンに対応する access node 数が n のとき、 n 次元正規分布、 n 項選択 Probit モデルとなる。

3. Probit 型利用者均衡配分モデルとの統合

Sheffi²⁾は、Monte Carlo 法による Probit 型の確率配分モデルを提案している。 t_a を測定可能なリンクコストとしてリンク a の認知コスト T_a を次のような正規乱数で与え、

$$T_a = N(t_a, \beta t_a)$$

この T_a に基づいて、All or Nothing 配分を行う。繰り返し平均化操作を行うと Probit 型経路選択モデルによる配分結果が得られる。経路の重複を考慮できるなど理論的に優れたモデルであり Logit 型配分の IIA 特性による問題を解消するモデルである。

これらのモデルを統合することで、理論上「IIA 特性が無く、空間的集計誤差が生じない」確率的配分モデルが構築可能になる。すなわち、一般ネットワーク上のリンク a のコストは上記正規乱数 T_a 、コネクタのコスト C は、前述の多変量正規分布

$$C = MVN(\mu, \Sigma)$$

にそれぞれ従う乱数として発生させ All or Nothing 配分を収束するまで繰り返す手法である。

この統合モデルの認知経路コスト U_{rks} は、平均、分散共分散が次式で示される多変量正規分布に従う。

$$E(U_{rks}) = m_r + c_k + m_s$$

$$\text{Var}(U_{rks}) = s_r^2 + bc_k + s_s^2$$

$$\text{Cov}(U_{r_1k_1s_1}, U_{r_2k_2s_2}) = s_{r_1, r_2} + bc_{k_1, k_2} + s_{s_1, s_2}$$

ただし、「発生点 $O \rightarrow$ access node $r \rightarrow$ ネットワーク上の経路 $k \rightarrow$ access node $s \rightarrow$ 終着点 D 」の path を rks と表記し、ネットワーク上の経路 k に含まれるリンクのコスト和を c_k 、経路 $k1, k2$ における重複部のリンクコストの和を $c_{k1, k2}$ とする。モデル全体でも経路選択に関して、多項選択 Probit モデルに従う事になる。MSA²⁾を用いて均衡問題へ拡張可能である。ネットワーク均衡問題の収束計算の各回において、

セントロイドの位置をゾーン内で確率的に移動させているイメージのモデルであり、理論上セントロイド数が無限大の場合と等しい結果が得られる。

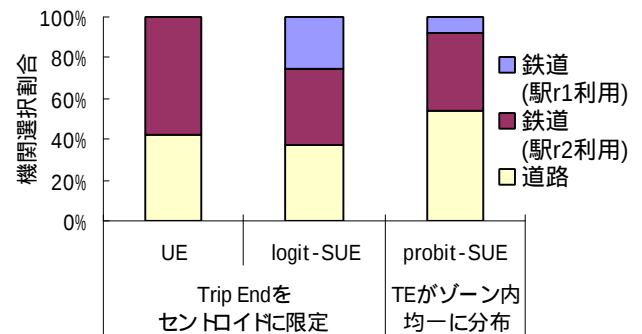


図2 配分法、Trip End の表現の差による結果の違い

4. 単純例でのモデルの挙動の検証

図1の多手段均衡配分ネットワークで、Trip End 表現および配分法を変えたときの配分結果の差を図2に示す。ゾーン内に Trip End が均一に分布していると仮定した提案型 Probit-SUE(確率均衡配分)と比較して、Trip End を図1に示される O と D に限定すると鉄道の LOS を過大評価した結果となる。また、UE(確定的均衡配分=最短経路配分)は、駅 $r1$ の利用者をゼロと推計し、Logit-SUE では、IIA 特性の影響がみられ、提案モデルの有用性が確認できる。

5. おわりに

IIA 特性のなく、Trip End をセントロイドに限定することに起因する空間的集計誤差が生じない確率的利用者均衡モデルを提案した。このモデルは、アクセスコストや経路の重複を重視すべき軌道系機関を含んだ多手段モデルで特に有用となる。

Monte Carlo 法による Probit 配分モデルは、計算コストが膨大になるとされてきた。しかし、提案モデルは、従来 OD 表で表現されていた詳細な空間情報を、ネットワーク分担配分モデルの段階で処理するため、集約した OD 表の使用が可能であり、近年の計算機の性能向上も伴い、大規模なネットワークにおいても計算は実行可能となりうるものである。

参考文献

- ¹⁾ Daganzo, C. F.; Network representation, continuum approximations and a solution to the spatial aggregation problem of traffic assignment, Transpn Res. -B Vol. 14B, pp229-239, 1980
- ²⁾ Sheffi, Y.; Urban Transportation Networks, MIT press, 1985