

旅行時間の不確実性を考慮した分担・配分統合交通ネットワーク均衡モデルの構築

金沢大学大学院自然科学研究科 学生会員 ○長尾 一輝

金沢大学大学院自然科学研究科 正会員 中山晶一郎

金沢大学大学院自然科学研究科 正会員 高山 純一

1.はじめに

交通利用者は旅行時間のみならず、その不確実性も考慮して経路を選択していると考えられる。例えば、通勤時や予定のあるときはなるべく時間に遅刻しないようにするため、遅刻の可能性の低い経路、つまり旅行時間のばらつきの小さい経路を選択する確率が高くなるはずである。

ここで交通手段による旅行時間の不確実性の違いを考えてみる。鉄道は毎日ほぼ定時で運行しているため、旅行時間の不確実性はほとんど無いと考えられる。マイカーの旅行時間は道路の交通量変動に影響されるため、旅行時間の不確実性は経路によって差異があるものの、鉄道と比較すると全体的に大きいと言える。バス交通に関しては、バスレーンが無い場合はマイカー交通と同様であるが、バスレーンがある場合は、道路の交通量の変動による影響を受けにくいいため、マイカー交通と比較して旅行時間の不確実性は小さいと考えられる。

以上のように、旅行時間の不確実性は、道路の各経路間のみならず、交通手段によっても大きく異なる。交通利用者が旅行時間の不確実性も考慮して経路を選択していると考え、旅行時間の不確実性が交通手段の選択に影響を与えている可能性は大いにあり、そういった影響を考慮したモデルを構築することは大変有意義だと考えられる。

さて、道路の交通量や旅行時間が変動し、ばらつく原因には様々なものが考えられるが、事故や災害などが発生していない通常の交通では、交通需要が不確実である(確率的に変動している)ことが一つの大きな原因であろう。そこで、著者らはOD交通量が正規分布に従うと仮定し、正規分布に従う交通量を配分する確率ネットワーク均衡を提案している¹⁾。この均衡モデルによって、交通ネットワークの旅行時間の不確実性や時間信頼性を評価することが可能となる。

本研究では、このモデルを拡張し、様々なトリップ手段の選択によって異なるであろう旅行時間の不確実性を的確に計算、考慮した、分担・配分の統合モデルを提案する。そして、提案した均衡モデルを金沢ネットワークなどの実際のネットワークに適用し、その妥当性、実用性などを確認する。このようなモデルを利用することによって、バスレーンの拡大、バス路線網の再編、PTPS、パークアンドライド、LRTの導入などといった政策評価において、より有効な評価が可能であると考えられる。

2.基本概念

(1)均衡概念

ネットワーク均衡の枠組みで分担・配分統合モデルへの拡張を考える場合、ODペア間の均衡条件についてはいくつかの考え方があがあるが、最も単純な考え方は、「ODペア間で利用されている経路の一般化費用は手段によらず一定」とするものであろう。本研究で提案するモデルは、著者らが提案した確率ネットワークモデル¹⁾について、この考え方をを用いて拡張するものである。

(2)道路交通量の分布

本研究では正規分布のOD交通量を正規分布の交通量として配分する。このときOD交通量について、平均に比例して分散が決まると仮定する。ODペア i ($i \in U$)のOD交通量の分散 $(\sigma^i)^2$ は $\eta\mu^i$ と仮定する。ただし、 η は正のパラメータ、 μ^i はOD交通量の平均である。このとき、 $\mu^i = \sum_j \mu_j^i$ 、 $(\sigma^i)^2 = \sum_j (\sigma_j^i)^2 = \eta \sum_j \mu_j^i$ である。ここで、 F_j^i はODペア i の経路 j の経路交通量の確率変数であり、 μ_j^i はその平均である。

$$F_j^i \sim N[\mu_j^i, \eta \mu_j^i] \quad (1)$$

以上に加えて、各経路交通量は独立と仮定する。このとき、リンク a の交通量 X_a は正規分布に従う(独立な)

経路交通量 F_j^i の和 $\sum_i \sum_j \delta_{aj} F_j^i$ であるため、それは以下の正規分布となる。

$$N[\sum_i \sum_j \delta_{aj} \mu_j^i, \eta \sum_i \sum_j \delta_{aj} \mu_j^i] \quad (2)$$

3. 旅行時間の考え方

(1) 期待旅行時間

道路リンクの走行時間が BPR 関数に従うと仮定すると、マイカーのリンク旅行時間 t_a^e は $t_{a0}\{1+\alpha(x/C_a)^\beta\}$ で表される。ただし、 t_a^e はリンク a のマイカー旅行時間、 t_{a0} は自由走行時間、 C_a は交通容量、 x はマイカー交通量である。道路上にはバスも走行するが、バスの台数はマイカーの台数に比べて十分小さいとして無視する²⁾。期待リンク旅行時間関数 g_a は μ_a の式で表され、 $\beta=4$ のとき、 g_a は次式となる。

$$g_a(\mu_a)=t_{a0}[1+\alpha\{3(\eta\mu_a)^2+6\mu_a^2(\eta\mu_a)+\mu_a^4\}/C_a^4] \quad (3)$$

バスの旅行時間は道路交通量の影響を受けるものとする。具体的には、河上ら²⁾の考えに基づき、道路旅行時間にパラメータ ϕ を掛けた値とする。ここで ϕ は、停留所への停車の影響などを含めたものである。鉄道の旅行時間は、道路交通に影響されないので定数として与える。バス停留所や鉄道駅とのアクセス、イグレスリンクは、徒歩リンクとして定数で与える。

(2) 実効旅行時間

著者らが提案した確率ネットワークモデル¹⁾では、期待旅行時間だけではなく、旅行時間の標準偏差も算出可能である。そこで、期待旅行時間の代わりに以下に示す実効旅行時間を用いて、利用者の旅行時間の不確実性への態度(リスク態度)を考慮したモデルへ拡張できる。一例として、マイカーにおける実効旅行時間を以下に示す。

$$V_k^{i,c} = E[T_k^{i,c}] + \gamma \sqrt{\text{Var}[T_k^{i,c}]} \quad (4)$$

$V_k^{i,c}$ は OD ペア i の経路 k のマイカー実効旅行時間、 $T_k^{i,c}$ はその経路のマイカー旅行時間の確率変数、

$E[T_k^{i,c}]$ はマイカー旅行時間の期待値、 $\sqrt{\text{Var}[T_k^{i,c}]}$ は

標準偏差である。 γ はリスク態度を表すパラメータであり、 $\gamma > 0$ ならばリスク回避、 $\gamma = 0$ ならばリスク中立、 $\gamma < 0$ ならばリスク選好である。

4. 一般化費用の考え方

マイカー交通と公共交通の統合モデルを構築するためには、旅行時間やバスの運賃などを、単位を揃えて取り扱う必要がある。そこで、本研究では時間価値を用いて実効旅行時間を貨幣価値に換算し、更にバスの運賃などを含めた一般化費用の概念を用いる。

実効旅行時間以外に経路一般化費用に含まれるものとして、マイカー交通ではマイカーの維持費などとして説明できる定数項、公共交通ではバスの運賃、待ち時間、アクセス、イグレスリンクの旅行時間を考える。

5. 定式化

2 節で述べた均衡概念に基づくと、本研究のモデルは以下のように定式化できる。

$$c_k^i = \lambda^i \quad \text{if } E[f_k^i] > 0 \quad \forall i \forall k \quad (5)$$

$$c_k^i \geq \lambda^i \quad \text{if } E[f_k^i] = 0 \quad \forall i \forall k \quad (6)$$

ここで、 c_k^i は OD ペア i の経路 k の一般化費用、 λ^i は OD ペア i の最小一般化費用、 $E[f_k^i]$ は OD ペア i の経路 k の期待交通量である。

本研究で用いる一般化費用は、リンク相互の相関が効用に反映される。そのためワードロップ均衡の最適化問題として定式化は出来ず、変分不等式等で表し、緩和法や射影法などの方法を用いて解くことになる。

6. おわりに

本研究では、旅行時間の不確実性を考慮した手段選択、配分統合交通ネットワーク均衡を提案した。なお、単純なネットワークでの計算例及び金沢ネットワークへの適用結果は講演時に発表する。

参考文献

- 1) 中山晶一郎, 高山純一, 長尾一輝: 道路利用者のリスク態度を考慮した金沢道路ネットワークの均衡分析, 第 59 回土木学会年次学術講演会講演概要集, on CD-ROM, 2004.
- 2) 河上省吾, 高田篤: 都市圏における公共輸送機関の料金システムおよび輸送計画の評価に関する研究, 土木学会論文集, No.431/IV-15, pp.77-86, 2002.