

高速道路転換率を組み込んだ時間帯別確率的均衡配分モデルの構築

名古屋工業大学 ○学生員 河村 陽平
正会員 藤田 素弘
正会員 雲林院 康宏

1. はじめに

高速道路を有する道路網を対象とした高速道路転換率を内生化した交通量配分モデルの中で近年利用者均衡配分が開発されてきており、その発展型モデルとして確率的均衡配分モデルが存在する¹⁾。その利点としては、不完全情報下における経路選択のランダム性を考慮できることと、特に実務において、ニーズの高い経路交通量が一意に定まることが挙げられる。

また費用対効果の面からも、より効率的な交通計画を行うため、特定時間帯(朝のピーク時間帯等)への適用が可能な時間帯別の利用者均衡モデルが開発され、その有効性がすでに示されている²⁾。

しかし、これらを統合したモデルは未だ開発されていない。そこで本研究では、特に経路交通量を一意に求められるという利点に着目して、確率的利用者均衡配分に、高速道路を含むネットワークにも対応し、かつ特定時間帯を対象とする時間帯別の概念を組み込んだ高速道路転換率内生型時間帯別確率的均衡配分モデルを開発し、実際に名古屋圏の大規模ネットワークに適用することで、その実用化の検討を行う。

2. モデルの前提条件

本研究では確率的選択モデルとして次章(a)のように比較的計算が容易なロジット型の経路選択モデルを用いる。

また、時間帯別配分においては各時間帯の終端時刻において残留交通量が必ず発生する。残留交通量の分布はOD間の経路上において三角形分布になり、これを経路上で平均的に処理するOD修正法が一般的に用いられるが、文献2)ではこれと同様の方法を用いてOD交通量を修正している。本研究ではOD修正法において期待最小コストを用いることで残留交通量を処理している(b)。

そして、高速道路と一般道路の転換率式に関しては、一般道路のみの道路網による最短経路と、高速道路を含めた道路網による最短経路を、それぞれ一般道利用

経路と高速道利用経路と定義し、2項ロジットモデルで与える(c)。

3. モデルの定式化

前節のような前提条件を持つ高速道路転換率を内生化した時間帯別の確率的均衡配分モデルは、以下の均衡条件全てを満足する状態として定式化される。

(a). 経路選択モデル

$$f_{rs}^{en} = \frac{\exp[-\mu_{en} \cdot C_{rsk}^{en}]}{\sum \exp[-\mu_{en} \cdot C_{rsk}^{en}]} \cdot Q_{rs}^{en} \quad (1)$$

$$f_{rs}^{an} = \frac{\exp[-\mu_{an} \cdot C_{rsk}^{an}]}{\sum \exp[-\mu_{an} \cdot C_{rsk}^{an}]} \cdot Q_{rs}^{an} \quad (2)$$

(b). 残留交通量の処理式

$$g_{rs}^n = q_{rs}^{n-1} + G_{rs}^n - \frac{\bar{S}_{rs}^n}{2T_w} G_{rs}^n \quad (3)$$

(c). 高速道路転換率式

$$Q_{rs}^{en} = \frac{1}{\exp[-\theta \cdot (S_{rs}^{an} - S_{rs}^{en}) + \varphi] + 1} \cdot g_{rs}^n \quad (4)$$

$$S_{rs}^{en} = -\frac{1}{\mu^e} \ln \sum \exp[-\mu^e \cdot C_{rs}^{en}] \quad (5)$$

$$S_{rs}^{an} = -\frac{1}{\mu^a} \ln \sum \exp[-\mu^a \cdot C_{rs}^{an}] \quad (6)$$

(d). 交通フローの保存則

$$\sum_{k \in K_{rs}} f_{rsk}^{an} - Q_{rs}^{an} = 0 \quad (7)$$

$$\sum_{k \in K_{rs}} f_{rsk}^{en} - Q_{rs}^{en} = 0 \quad (8)$$

$$x_a = \sum_{k \in K_{rs}} \sum_{rs \in \Omega} (\delta_{a,k}^{enrs} f_{rsk}^{en} + \delta_{a,k}^{anrs} f_{rsk}^{an}) \quad (9)$$

$$Q_{rs}^{an} + Q_{rs}^{en} = g_{rs}^n \quad (10)$$

$$f_{rsk}^{en} \geq 0 \quad f_{rsk}^{an} \geq 0 \quad Q_{rs}^{en} \geq 0 \quad Q_{rs}^{an} \geq 0 \quad g_{rs}^n \geq 0 \quad (11)$$

ここで,

χ_a^n : n 時間帯リンク a のリンク交通量

C_{rsk}^{en} : 高速道路の一般化所要時間(料金抵抗含む)

C_{rsk}^{an} : 一般道の所要時間

Q_{rs}^{en} : n 時間帯 OD ペア rs 間の高速道路の OD 交通量

Q_{rs}^{an} : n 時間帯 OD ペア rs 間の一般道路の OD 交通量

f_{rsk}^{en} : Q_{rs}^{en} に対する経路 k の経路交通量

f_{rsk}^{an} : Q_{rs}^{an} に対する経路 k の経路交通量

S_{rs}^n : 全ネットワークにおける平均期待最小コスト

(料金抵抗含まず)

S_{rs}^{en} : 高速道利用経路の期待最小一般化コスト

S_{rs}^{an} : 一般道利用経路の期待最小コスト

g_{rs}^n : n 時間帯 OD ペア rs 間での残留交通量修正後の OD 交通量

G_{rs}^n : n 時間帯 OD ペア rs 間での OD 交通量

q_{rs}^{n-1} : n-1 時間帯で修正された残留交通量

(n 時間帯において定数)

T_w : 時間帯幅

$\delta_{a,k}^{enrs}, \delta_{a,k}^{anrs}$: {1: リンク a が(e; 高速道路を含む, a; 一般道路のみ)経路 k に含まれるとき, 0: そうでないとき}

$\theta_{rs}, \varphi_{rs}, \mu_{en}, \mu_{an}$: パラメータ

以上を踏まえて本モデルを式(12)のように定式化する.

$$\begin{aligned} \min. Z = & \sum_{rs} \int_0^{x_a} t_a(w) dw \\ & - \frac{1}{\mu_{en}} \sum_{rs} Q_{rs}^{en} \cdot H_{rs}^{en}(f_{rs}) - \frac{1}{\mu_{an}} \sum_{rs} Q_{rs}^{an} \cdot H_{rs}^{an}(f_{rs}) \\ & + \frac{1}{\theta} \sum_{rs} Q_{rs}^{en} \cdot \left\{ \ln \left(\frac{Q_{rs}^{en}}{g_{rs}^n} \right) + \varphi_{rs} \right\} + \frac{1}{\theta} \sum_{rs} Q_{rs}^{an} \cdot \left\{ \ln \frac{Q_{rs}^{an}}{g_{rs}^n} \right\} \\ & - \frac{1}{b} \int_0^{g_{rs}^n} \frac{2T_w}{G_{rs}^n} \cdot (g_{rs}^{n-1} + G_{rs}^n - z - \frac{G_{rs}^n}{2T_w} a) dz \end{aligned} \quad (12)$$

$$\text{ここで, } H_{rs}^{en} = - \sum_k \frac{f_{rsk}^{en}}{g_{rs}^n} \ln \frac{f_{rsk}^{en}}{g_{rs}^n} \quad (13)$$

$$H_{rs}^{an} = - \sum_k \frac{f_{rsk}^{an}}{g_{rs}^n} \ln \frac{f_{rsk}^{an}}{g_{rs}^n} \quad (14)$$

制約条件: 交通フローの保存条件{式(7)~(11)}

a, b : 平均化所要時間パラメータ

本研究で設定したパラメータ a, b は, 微分値=0 の Kuhn-Tucker 条件から, n 時間帯の残留交通量修正後の

OD 交通量を与える関係式(3)に含まれる $\overline{S_{rs}^n}$ に関するものであり, 式(15), (16)を満たすものである.

$$\overline{S_{rs}^n} = a + S_{rs}^n b \quad (15)$$

$$S_{rs}^n = -\frac{1}{\theta} \ln \{ \exp[-\theta S_{rs}^{en} - \varphi_{rs}] + \exp[-\theta S_{rs}^{an}] \} \quad (16)$$

$\overline{S_{rs}^n}$: 高速道路の期待最小コスト(料金抵抗含まず)と一般道路の期待最小コストを各 OD 交通量で加重平均した平均期待最小コスト

S_{rs}^n : 高速道路転換率式から得られる一般道利用経路の期待最小コストと高速道利用経路の一般化期待最小コストとの期待最小値

ここで, 残留交通量は時間のみに依存する量であるので, $\overline{S_{rs}^n}$ は料金抵抗を含まない値として設定しなければならない. つまり a, b は料金抵抗を含む S_{rs}^n から料金抵抗の影響を除いた平均期待最小コストと近似するように設定する. そこで式(15), (16)を連立して a, b を求めていくが, 本研究ではパラメータ $b=1$ と一意的に設定する. そうすることでパラメータ a は式(17)のように転換率パラメータと料金コストを変数とした値として表され, n 時間帯 OD ペア rs 間の高速道路利用割合 Q_{rs}^{en}/g_{rs}^n が定まることで容易に決定できるからである.

$$\begin{aligned} a = & -\frac{1}{\theta} \cdot \frac{Q_{rs}^{en}}{g_{rs}^n} \left(\ln \frac{Q_{rs}^{en}}{g_{rs}^{an} - Q_{rs}^{en}} + \varphi \right) \\ & - \frac{Q_{rs}^{en}}{g_{rs}^n} \cdot C_{rs}^d + \frac{1}{\theta} \cdot \ln \left(\frac{Q_{rs}^{en}}{g_{rs}^n - Q_{rs}^{en}} + 1 \right) \end{aligned} \quad (17)$$

4. おわりに

本稿では, 特に経路交通量が一意に求まることを考慮して, 高速道路を含む道路ネットワークにおける時間帯別の確率的均衡配分モデルの構築を行った.

今後は名古屋圏道路ネットワークを対象に本研究で開発したモデルを用いて配分計算を行い, 精度分析を行う. 詳細については講演時に報告する.

<参考文献>

- 1) 藤田素弘, 雲林院康宏, 松井寛: 高速道路を考慮した時間帯別均衡配分モデルの拡張に関する研究, 土木計画学研究・論文集 pp563-572, 2001
- 2) 雲林院康宏, 藤田素弘, 松井寛: 高速道路転換率モデルを組み込んだ確率的均衡配分の実用化, 土木情報利用技術論文集 Vol. 12, pp123-131, 2003