

京都大学工学部 学生員 ○樋口 貴士
 京都大学大学院 正会員 嶋本 寛
 京都大学経営管理大学院 正会員 宇野 伸宏
 京都大学大学院 正会員 塩見 康博

1. はじめに

自動車と公共交通の間の分担配分モデルは多く提案されているが、その多くはトリップ単位の配分である。本研究では、公共交通配分の特徴である common lines problem を考慮し、トリップチェーン(TC)単位の分担配分統合モデルを構築し、ケーススタディを行う。

2. トリップチェーン単位の分担配分統合モデル

2.1. 構築するモデルの特徴

本研究では、以下の特徴を有するモデルを構築する。

- 交通機関として自動車(PC)とバス(PT)を考え、利用者は機関選択をトリップチェーン単位で行う。
- バスのリンク所要時間は自動車混雑の影響を受ける。
- バスにおいて common lines problem¹⁾と混雑の影響を考慮する。バス停間の徒歩移動を認める。

2.2. モデルの定式化

TC 単位での機関分担

本研究では利用者はトリップチェーン単位で、式(1)に示すように PC, PT のコスト c_n^{PC} , c_n^{PT} に基づき機関選択を行うと仮定する。

$$q_n^{PC} = \frac{1}{1 + \exp\{-\theta(c_n^{PT} - c_n^{PC})\}} q_n, q_n^{PT} = q_n - q_n^{PC} \quad \forall n \in N \quad \dots (1)$$

ただし、 N はトリップチェーンの集合であり、 θ は分散パラメータである。ここで、Maruyama et. al.²⁾と同様にトリップチェーン n を、訪問中継点を訪問順に従って $n = \{n_1, n_2, \dots, n_k\}$ と表現し、トリップチェーン n が OD ペア rs を含む ($n = \{\dots, r, s, \dots\}$) 場合に 1 を取り、それ以外の場合は 0 を取る変数 η_n^{rs} を定義しよう。このとき、トリップチェーンコスト c_n^{PC} , c_n^{PT} は式(2)に示すようにトリップ単位のコスト c_{rs}^{PC} , c_{rs}^{PT} の和として表現できる。

$$c_n^m = \sum_{r \in R} \sum_{s \in S} c_{rs}^m \eta_n^{rs} \quad m = \{PC, PT\} \quad \dots (2)$$

さらに、トリップチェーン n における機関分担量 q_n^{PC} , q_n^{PT} は式(3)により OD 単位の機関分担量 q_{rs}^{PC} , q_{rs}^{PT} に変換することが可能であるため、自動車、公共交通ネット

ワークにおける配分はトリップ単位で行うことができる。

$$q_{rs}^m = \sum_{n \in N} q_n^m \eta_n^{rs}, \quad m = \{PC, PT\} \quad \dots (3)$$

また、経路交通量と OD 交通量には式(4)が成立する。

$$q_{rs}^{PC} = \sum_{k \in K_{rs}} f_{rs,k}^{PC}, q_{rs}^{PT} = \sum_{p \in H_{rs}} y_p \quad \forall r \in R, \forall s \in S \quad \dots (4)$$

以下では、機関選択に関する均衡状態と自動車、バスネットワークにおける均衡状態を相補性条件として表現し、変分不等式問題として定式化する。

機関選択に関する均衡状態

機関選択は式(1)に従うと仮定しているため、機関選択に関する均衡状態は式(5), (6)のように表される。

$$q_n^{PC} \left(c_n^{PC} + \frac{1}{\theta} \ln q_n^{PC} - \kappa_n \right) = 0 \quad \forall n \in N \quad \dots (5)$$

$$c_n^{PC} + \frac{1}{\theta} \ln q_n^{PC} - \kappa_n \geq 0 \quad \forall n \in N$$

$$q_n^{PT} \left(c_n^{PT} + \frac{1}{\theta} \ln q_n^{PT} - \kappa_n \right) = 0 \quad \forall n \in N \quad \dots (6)$$

$$c_n^{PT} + \frac{1}{\theta} \ln q_n^{PT} - \kappa_n \geq 0 \quad \forall n \in N$$

ただし、 κ_n はトリップチェーン n における最小コストである。

自動車 (PC) ネットワークの均衡状態

PC ネットワークの均衡状態は式(7)で表される。

$$f_{rs,k}^{PC} (c_{rs,k}^{PC}(\mathbf{f}) - c_{rs}^{PC*}) = 0 \quad \dots (7)$$

$$c_{rs,k}^{PC}(\mathbf{f}) - c_{rs}^{PC*} \geq 0$$

$c_{rs,k}^{PC}(\mathbf{f})$ は式(8)に示すように BPR 型関数のリンクコストの和で示される。

$$c_{rs,k}^{PC}(\mathbf{f}) = \tau_d \sum_{a \in A} \delta_{rs,k}^a t_a(x_a), t_a(x_a) = t_{a0} \left\{ 1 + \alpha \left(\frac{x_a}{C_a} \right) \right\}^\beta \quad \dots (8)$$

ただし、 x_a はリンクフローである。

バスネットワークの均衡状態

バスネットワークの均衡状態は式(9)で表される。

$$y_p (g_p(\mathbf{x}, \mathbf{y}) - c_{rs}^{PT*}) = 0 \quad \dots (9)$$

$$g_p(\mathbf{x}, \mathbf{y}) - c_{rs}^{PT*} \geq 0$$

ただし、バスの hyperpath コストはその乗客フロー \mathbf{y} と、自動車リンクフロー \mathbf{x} 双方の影響を受けるため、以下のようなコスト関数となる。第 1 項はバス乗車コストの総

和, 第 2 項はバス待ち(混雑含む)コスト総和, 第 3 項は徒歩移動コストの総和である.

$$g_p(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \tau_b \sum_{a \in A_p} \alpha_{ap} t_a(x_a) + \tau_w \sum_{i \in S_p} \frac{\beta_{ip}}{F_{ip}} + \tau_f \sum_{a \in A_{pw}} \alpha_{ap} t_{aw} \dots (10)$$

ただし,

$$F_{ip} = \sum_{a \in OUT_{p(i)}} f'_{il(a)} \cdot f'_{il} = \frac{1}{\omega_{il}} \dots (11)$$

$$\omega_{il} = \frac{1}{f_{il}} + \gamma \left(\frac{V_{bil} + V_{il}}{f_{il} \pi_i} \right)^\delta \dots (12)$$

式(11)における f_{il} は乗客集中に起因する待ち時間の増加を式(12)のように加味した表現であり, 有効頻度と呼ばれている. また, τ は時間価値である.

変分不等式問題としての定式化

詳細は省略するが, 式(5), (6), (7), (9)の均衡状態を以下の変分不等式問題として定式化できる.

Find $(\mathbf{q}^{PC*}, \mathbf{q}^{PT*}, \mathbf{f}, \mathbf{y}) \in \Omega$ such that

$$\sum_{r \in R} \sum_{s \in S} \sum_{k \in K_{rs}} c_{rs,k}^{PC*} (f_{rs,k} - f_{rs,k}^*) + \sum_{r \in R} \sum_{s \in S} \sum_{p \in H_{rs}} g_p(\mathbf{x}^*, \mathbf{y}^*) (y_p - y_p^*) \dots (13)$$

$$+ \frac{1}{\theta} \sum_{n \in N} \ln q_n^{PC*} (q_n^{PC} - q_n^{PC*}) + \frac{1}{\theta} \sum_{n \in N} \ln q_n^{PT*} (q_n^{PT} - q_n^{PT*}) \geq 0$$

本研究では, 長尾ら³⁾を参考に公共交通の乗客フローが直接的に自動車ネットワークに影響を与えないことに着目し, 繰り返し計算内の一部分で公共交通の総コストやリンク所要時間を固定した緩和問題を用いる求解法を構築した.

3. ケーススタディ

3.1. 入力データ

本ケーススタディでは, 図 1 で示されるネットワーク, バス路線を考える. また, 需要はノード 0→4, 4→8 の 2 トリップからなるトリップチェーンに対して, 10000 人とした. ここでは, 路線 1 のサービスレベル(LoS)変化に対する配分結果の違いをトリップ単位, TC 単位のモデルで比較する. その他, 種々の条件を以下に示す.

- 式(10)で $t_{a0} = 10, \alpha = 2.62, \beta = 5.00, C_a = 4000$ とし, 式(12)の $\gamma = 10, \delta = 1$ とする.
- 分散パラメータ $\theta = 0.003$ とする.
- 時間価値 $\tau_b = 13, \tau_w = \tau_d = 26, \tau_f = 50$ とする.

3.2. 配分結果

結果は図 2 のようになった. まず, それぞれのモデルで評価した総トリップのバス分担量の増分をみると, TC 単位の配分では 1705 トリップ増加しているのに対して, トリップ単位の配分では 1042 トリップの増加に留まっている. これは, トリップ単位の配分ではバスの LoS が前後で変化しないノード 0→4 のバス分担量はほ

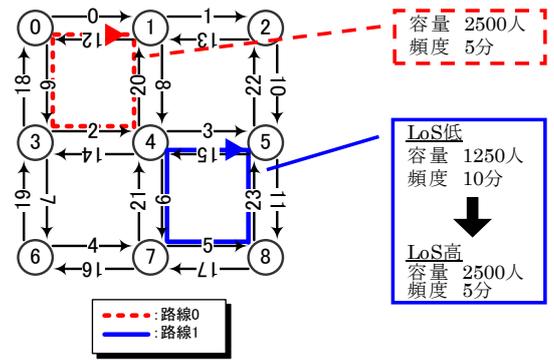


図 1 入力ネットワーク

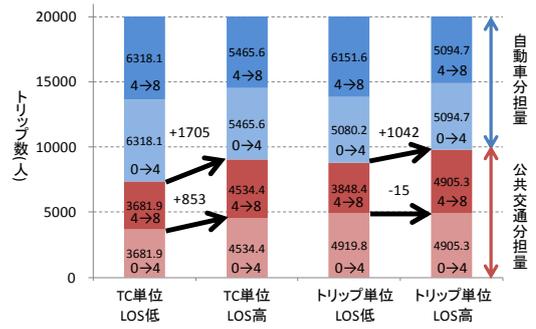


図 2 配分結果

ぼ横ばいである一方, トリップチェーン単位の配分では 853 トリップ増加していることに起因しており, トリップ単位の分担配分統合モデルでは, 一部路線の LoS 改善の影響を過小評価する可能性を示唆している. 一方で, 同一 LoS におけるトリップチェーン単位の配分結果とトリップ単位の配分結果を比較すると, バス分担量はトリップ単位での配分による方が総じて大きいことが分かる. これは両機関のコスト差がトリップ単位で評価する場合よりも積算されて大きくなったことに起因すると考えられる.

4. おわりに

本研究では, トリップチェーンを考慮した分担配分統合モデルを構築し, ケーススタディではトリップ単位の配分との結果の比較を行った. その結果, トリップチェーン単位の分担配分統合モデルを用いると, 交通ネットワークの一部の LoS 変化の影響をより俯瞰的に評価できることが明らかとなった.

【参考文献】

1)Kurauchi, F. Bell, M.GH, Schmöcker, J-D. : Capacity constrained transit assignment with common lines, Journal of Mathematical Modeling and Algorithm, 2-4 pp.309-327, 2003
 2)Maruyama T. and Harata, N., 2005. : Incorporating Trip-Chaining Behavior into Network Equilibrium Analysis. Transportation Research Record, 1921, 11-18.
 3)長尾一輝, 中山晶一郎, 高山純一, 円山琢也 : 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に関する研究—金沢都市圏への軌道系交通機関導入時の道路交通への影響分析を例に一, 土木学会論文集 D, Vol.65 No.1, pp.12-25, 2009.1