

IV-335 MixedMode ネットワーク均衡モデルによる P&R システムの需要予測モデル

熊 本 県 正会員 河内 誠
熊本大学 正会員 溝上 章志

1. はじめに

朝夕の通勤・通学時の交通渋滞対策として、人の交通行動そのものを調整する TDM 施策がある。この施策の一つである P&R システムの予測、評価方法として交通行動とネットワークフローのマイクロシミュレーションが挙げられるが、より詳細な検討が可能なネットワーク均衡分析が必要である。そこで、P&R システムを対象として、ネットワーク均衡モデルによる需要予測モデルを提案する。

2. NLSUE/MixedMode モデルの定義と定式化

本研究では P&R システムのような複数の代表交通手段の組合せで1つの代替手段となっているものを MixedMode とし、自動車や鉄道、バスなどの単一モードと区別する (図-1 参照)。

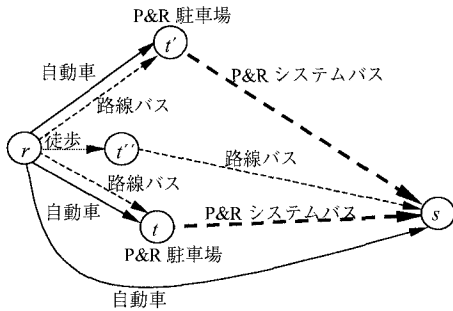


図-1 MixedMode ネットワーク

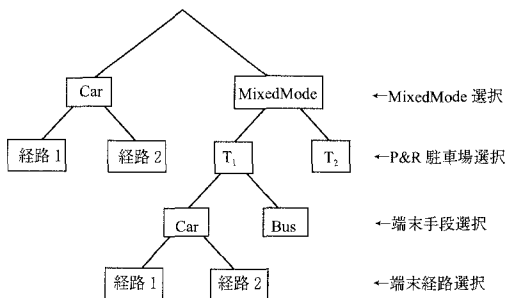


図-2 NLSUE/MixedMode の選択枝ツリー

ネットワークフローの均衡状態は確率的利用者均衡, MixedMode の選択構造は最上位に MixedMode 選択, 下位選択枝をターミナル選択, 端末手段選択という段階的ツリー構造とし、これらをネステッドロジットモデルで記述する (図-2 参照)。したがって、本モデルはネステッドロジット型分担・配分統合[NLSUE/MixedMode]モデルである。

本モデルでは定式化を容易にするために以下のような仮定を設ける。

1)自動車は単一モードの OD 間、および MixedMode の発地とターミナル間で確率均衡が成立する。

2)代表交通手段には、自動車以外に既存路線バスと P&R システムが存在するが、MixedMode 選択段階では両者を同一の手段とみなす。ただし、路線バスへのアクセスは徒歩のみとし、P&R システムへの端末手段は自動車と路線バスが利用可能である。また、P&R には P&R 駐車料金を別途加算することによってその路線バスと区別する。

本モデルで扱う変数は、 t がリンク所要時間、 x がリンク交通量、 q が OD 交通量、 C がコスト、 f が経路交通量、 δ がダミー変数、 K が利用可能経路集合、 T がターミナル集合、 π がターミナル利用コストである。

ここで、[NLSUE/MixedMode]の解が満足すべき必要条件は以下のようである。

(1)端末手段選択モデル

ターミナル t への路線バス、自動車それぞれのアクセス手段選択需要は、次式のように与えられる。

$$\hat{q}_{rs,t}^b = \hat{q}_{rs,t} \frac{\exp(-\theta_2 \hat{C}_{r,t}^b)}{\exp\{-\theta_2(\hat{C}_{r,t}^a + \pi_r)\} + \exp(-\theta_2 \hat{C}_{r,t}^b)}$$

$$\hat{q}_{rs,t}^a = \hat{q}_{rs,t} \frac{\exp\{-\theta_2(\hat{C}_{r,t}^a + \pi_r)\}}{\exp\{-\theta_2(\hat{C}_{r,t}^a + \pi_r)\} + \exp(-\theta_2 \hat{C}_{r,t}^b)}$$

$\hat{C}_{r,t}^a$ は以下の rt 間端末自動車の合成コスト値である。

$$\hat{C}_{r,t}^a = -\frac{1}{\mu_2} \ln \sum_{k \in K_{r,t}^a} \exp(-\mu_2 C_k^a)$$

(2) ターミナル選択モデル

ターミナル選択需要は次式で与えられる.

$$\hat{q}_{rs,i} = \hat{q}_{rs} \frac{\exp\{-\beta(\hat{C}_{rs,i} + \pi_i)\}}{\sum_{i \in T_{rs}} \exp\{-\beta(\hat{C}_{rs,i} + \pi_i)\}}$$

ここで, $\hat{C}_{rs,i}$ は MixedMode 利用による rs の合成コスト値であり, 次式で与えられる.

$$\hat{C}_{rs,i} = -\frac{1}{\theta_2} \ln[\exp\{-\theta_2(\hat{C}_{rs,i}^a + \pi_i)\} + \exp\{-\theta_2\hat{C}_{rs,i}^b\}]$$

(3) MixedMode 選択モデル

MixedMode の選択需要は次式で与えられる.

$$\hat{q}_{rs} = \bar{q}_{rs} \frac{\exp(-\theta_1 \Phi_{rs})}{\exp(-\theta_1 C_{rs}) + \exp(-\theta_1 \Phi_{rs})}$$

C_{rs} , Φ_{rs} はそれぞれ次式で与えられる自動車利用, MixedMode 利用による rs 間合成コストである.

$$C_{rs} = -\frac{1}{\mu_1} \ln \sum_{k \in K_{rs}^a} \exp(-\mu_1 C_k^{rs}), \quad \Phi_{rs} = -\frac{1}{\beta} \ln \sum_{k \in K_{rs}^b} \exp(-\beta \hat{C}_{rs,i}^b)$$

(4) 経路選択モデル

rs 間, rt 間の確率均衡交通量は次式で与えられる.

$$f_k^{rs} = q_{rs} \frac{\exp(-\mu_1 C_k^{rs})}{\sum_{k \in K_{rs}^a} \exp(-\mu_1 C_k^{rs})}, \quad \hat{f}_i^{rs,t} = \hat{q}_{rs,i}^a \frac{\exp(-\mu_2 C_k^{rt,i})}{\sum_{k \in K_{rs,i}^b} \exp(-\mu_2 C_k^{rt,i})}$$

3. 等価な数理最適化問題の定式化

前述の必要条件を満足する解は, 次式を目的関数とし, 幾つかの適切な交通量保存条件を制約条件に持つ数理最適化問題で定式化できる.

$$\begin{aligned} \min Z(x_a, x_a^m, \hat{q}_{rs}, q_{rs}, \hat{q}_{rs,i}^a, \hat{q}_{rs,i}^b, f_k^{rs}, \hat{f}_i^{rs,t}, \hat{f}_k^{rt,i}) \\ = \sum_{a \in A} t_a(\omega) + \sum_{a \in A} x_a^m + \frac{1}{\mu_1} \sum_{rs} \sum_{k \in K_{rs}^a} f_k^{rs} \ln \left(\frac{f_k^{rs}}{q_{rs}} \right) + \frac{1}{\mu_2} \sum_{rs} \sum_{i} \sum_{k \in K_{rs,i}^b} \hat{f}_i^{rs,t} \ln \left(\frac{\hat{f}_i^{rs,t}}{\hat{q}_{rs,i}^a} \right) \\ + \sum_{rs} \int_0^{\hat{q}_{rs}} \frac{1}{\theta_1} \ln \frac{\omega}{\hat{q}_{rs} - \omega} d\omega + \sum_{rs} \sum_{i} \int_0^{\hat{q}_{rs,i}^b} \left(\frac{1}{\theta_2} \ln \frac{\omega}{\hat{q}_{rs,i}^b - \omega} - \pi_i + \hat{C}_{rs,i}^b \right) d\omega \\ - \frac{1}{\beta} \sum_{rs} (\ln \hat{q}_{rs} - 1) + \sum_{rs} \sum_{i} \hat{q}_{rs,i}^b \left\{ \frac{1}{\beta} (\ln \hat{q}_{rs,i}^b - 1) + \pi_i \right\} \end{aligned}$$

制約条件はすべて線形であるから解集合は凸集合であり, 目的関数の Hessian は正値定符号行列になることから, [NLSUE/MixedMode]モデルは一意的の解を持つことが証明される.

4. モデルネットワークによる感度分析

モデルネットワークによる感度分析により, 現実の交通網への本モデルの適用可能性を検討する. トリップが都心に集中するよう設定した OD パターンは一定とし, ①総トリップ数の変化と, ②P&R 駐車

場料金の変化による感度分析を行った. 感度分析指標は, MixedMode 分担率と P&R システム評価指標としての自動車の総走行時間などである.

総トリップ数の増加(減少)に従って MixedMode 分担率, 総走行時間とも増加(減少)する. しかし, 総トリップ数の変化率以上に MixedMode 分担率の変化率は大きい. さらに, P&R システムの導入により, 総走行時間の急上昇が抑制されていることから, 今後の都心への交通需要の増加に対して P&R システムの整備は有効な施策であると考えられる.

P&R 駐車場料金の変化に対しても P&R 駐車場料金の上昇に伴い P&R 分担率は減少するなど本モデルが P&R システムに重要な変数に対して感度を計測でき, 現実の道路網での需要予測に適用可能と考えられる.

5. おわりに

本モデルとその解法は, ネットワーク分析の視点からの P&R システム施策の評価に十分, 適用可能と考えられる.

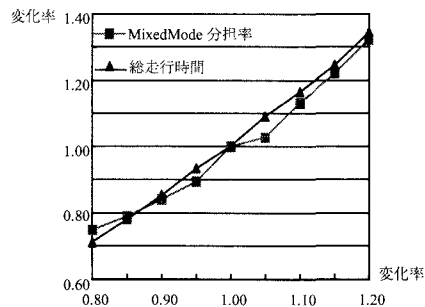


図-3 総トリップ数の変化に対する感度

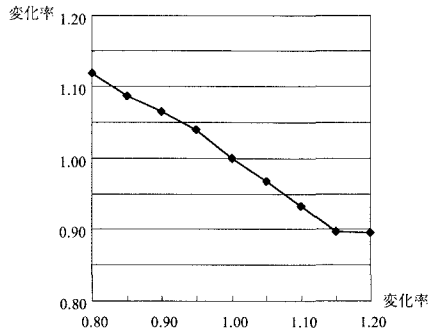


図-4 駐車場料金の変化に対する感度