トリップチェーンを考慮した時間帯別分担配分統合モデル －京都市を例とした施策評価－

A trip-chain based time-of-day combined mode and route choice assignment model -A case study in Kyoto City-

樋口　貴士*

Takashi HIGUCHI

*交通マネジメント工学講座　交通情報工学分野

1．はじめに

公共交通の利用を促進するにあたって，一日を通して便利な公共交通サービスが求められている．しかし，現在の多くの交通需要予測モデルでは，需要をトリップベースで扱うため，一部の時間帯・場所におけるサービスレベルの変化が与える影響を過小評価する可能性が大きい．そこで，本研究では，次の特徴を有するモデルを構築し，京都市のネットワークに適用して施策評価を行うことを目的とする．

- 機関分担が各旅行者のトリップチェーン(以下TC)単位のコストをもとに行われる[1].
- 公共交通の配分では，common lines problem を考慮している[2].
- 鉄道とバスの運行時間や待ち時間等について現実に即した状況を再現している．
- 時間帯を考慮することにより，各時間帯のサービスレベルの違いを反映できる．

2．トリップチェーンを考慮した時間帯別分担配分統合モデルの構築

各トリップチェーンの需要 q_n は，トリップチェーン単位の公共交通，自動車の各コスト c_n^{PC}, c_n^{PT} を基に式(1)によって各モード別需要 q_n^{PC}, q_n^{PT} へと分担される．なお，θ は分散パラメータである．

$$q_n^{PC} = \frac{1}{1+\exp\left\{-\theta\left(c_n^{PT}-c_n^{PC}\right)\right\}} q_n, q_n^{PT} = q_n - q_n^{PC} \qquad (1)$$

モード別 TC 需要から式(2)に示すような TC n が時間帯 t に OD ペア rs 間を旅行しているときのみ 1 をとるバイナリ変数 $\eta_n^{rs,t}$ を用いて，モード・時間帯別 OD 需要 $q_{rs,t}^{PC}$, $q_{rs,t}^{PT}$ を作成する．

$$q_{rs,t}^m = \sum_{n\in N} q_n^m \eta_n^{rs,t} \ , m = \{PC, PT\} \qquad (2)$$

モード・時間帯別 OD コスト $c_{rs,t}^{PC}$, $c_{rs,t}^{PT}$ を式(3)によって各 TC コストに集計する．

$$c_n^m = \sum_{t\in T}\sum_{rs\in\Omega_{rs}} c_{rs,t}^m \eta_n^{rs,t} \ , m = \{PC, PT\} \qquad (3)$$

自動車の均衡条件を式(4)に示す．時間帯 t について OD 間の最小コスト $c_{rs,t}^{PC*}$ と OD 間の経路 k のコスト $c_{rs,k,t}^{PC}(\mathbf{f_t})$ が等しいとき以外は経路交通量 $f_{rs,k,t}$(ベクトル形式 $\mathbf{f_t}$)が必ずゼロをとるという Wardrop 第一原則による均衡を表現している．

$$\begin{cases} f_{rs,k,t}\left(c_{rs,k,t}^{PC}(\mathbf{f_t}) - c_{rs,t}^{PC*}\right) = 0 \\ c_{rs,k,t}^{PC}(\mathbf{f_t}) - c_{rs,t}^{PC*} \geq 0 \end{cases} \qquad (4)$$

また，OD ペア rs 間の経路 k のコストは，リンク交通量 $x_{a,t}$ から BPR 関数でリンク所要時間 $t_a(x_{a,t})$を求め，経路がリンク a を含む場合のみに 1 を取るバイナリ変数 $\delta_{rs,k}^a$ を用いて式(5)のように集計する．

$$c_{rs,k,t}^{PC}(\mathbf{f_t}) = \sum_{a\in A} \delta_{rs,k}^a t_a(x_{a,t}) \qquad (5)$$

次に，公共交通の均衡条件を式(6)に示す．時間帯 t の OD ペア rs 間の経路群 p について，公共交通乗車コスト，待ちコスト，徒歩コストの和の期待値 $g_{p,t}(\mathbf{x_t},\mathbf{y_t})$が最小値 $c_{rs,t}^{PT*}$となるときにフロー$y_{p,t}$ が生じるという均衡条件を表現している．

$$\begin{cases} y_{p,t}\left(g_{p,t}(\mathbf{x_t},\mathbf{y_t}) - c_{rs,t}^{PT*}\right) = 0 \\ g_{p,t}(\mathbf{x_t},\mathbf{y_t}) - c_{rs,t}^{PT*} \geq 0 \end{cases} \qquad (6)$$

以上で得た均衡条件は，相補性問題を経て最終的に式(7)で表される変分不等式問題に帰着できる．

$$\begin{aligned} &\text{Find}(\mathbf{q}^{PC*}, \mathbf{q}^{PT*}, \mathbf{f}^*, \mathbf{y}^*) \in \Omega \, \text{such that} \\ &\frac{1}{\theta}\sum_{n\in N}\left(\ln q_n^{PC*}\right)\left(q_n^{PC} - q_n^{PC*}\right) \\ &+\frac{1}{\theta}\sum_{n\in N}\left(\ln q_n^{PT*}\right)\left(q_n^{PT} - q_n^{PT*}\right) \\ &+\sum_{t\in T}\sum_{rs\in\Omega_{rs}}\sum_{k\in K_{rs}} c_{rs,k,t}^{PC}\left(\mathbf{f}^*\right)\left(f_{rs,k,t} - f_{rs,k,t}^*\right) \\ &+\sum_{t\in T}\sum_{rs\in\Omega_{rs}}\sum_{p\in P_{rs}} g_{p,t}\left(\mathbf{x_t^*},\mathbf{y_t^*}\right)\left(y_{p,t} - y_{p,t}^*\right) \geq 0 \end{aligned} \qquad (7)$$

以上を緩和法による解法アルゴリズムを用いて解く．

3．計算条件

本研究では図 1 に示す京都市のネットワークを用いて分析を行った．分析にあたり，平成 12 年度第 4 回京阪神都市 PT 調査から交通需要データを作成し，また公共交通運行データは平成24年4月時点各時刻表をもとに作成した．また，需要特性を考慮して時

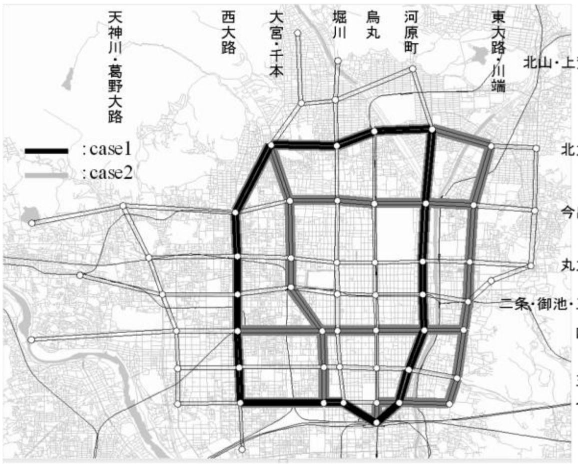

図 1　対象ネットワーク

間帯を 07:00-10:00，10:00-16:00，16:00-20:00，20:00-24:00 の 4 つに分割して分析を行った．分担・配分の分析対象とする TC はこれらの時間帯中に全てのトリップが完了しており，かつ域外との出入りがないものとした．その他のトリップは，移動モードが PT 調査の回答結果を利用するものと仮定して配分のみを行った．なお，ゾーンを通過する全 TC の約 15%が分析対象エリアでトリップが完結する分析対象となった．

施策評価にあたり，モデルのパラメータ推定を行った. PT 調査の観測 OD を各時間帯ネットワークに配分することにより，推定に必要な各 TC のモード別コスト $\tilde{c}_n^{PC}, \tilde{c}_n^{PT}$ を得た上で，分散パラメータを θ=1 として，各交通機関別のコスト $\hat{c}_n^{PC}, \hat{c}_n^{PT}$ を式(8)のように再定義して推定を行った．なお，定数項は自動車利用に対する制約や付加的なコストと捉える.

$$\hat{c}_n^{PC} = \alpha_1 \tilde{c}_n^{PC} + \beta_1,\ \hat{c}_n^{PT} = \alpha_2 \tilde{c}_n^{PT} \qquad (8)$$

推定結果を表 1 に示す.

表 1　パラメータ推定結果

パラメータ	推定値	t値
α1	0.00181	4.79*
α2	0.00127	9.58*
β1	0.506	10.45*

*：1%有意
ρ^2 値 : 0.0669

推定されたパラメータは符号条件を満たしており，かつ 1%有意となった．また， H17 年度交通センサスデータと合うように交通容量を調整した結果，概ね現況を再現できており，良好な結果が得られた．以上で述べた設定の下，次章の施策評価を行う.

４．京都市における施策評価

本章では, 施策評価として図 1 に示すように case1 では 1 路線，case2 では 3 路線の LRT の路線を導入する場合の効果を検証する．LRT を導入したリンクの容量は 1000 台減ずるものとし, 他の公共交通サービス水準は変化しないものとする．また，LRT のリンク所要時間は自動車の影響を受けないものとする.

図 2 に分担量とモード別総移動コストの変化を示す．公共交通の分担率が向上しており，また公共交通の総移動コストは減少しているが，全体の総移動コストは増加している．これは，LRT 導入により公共交通の定時性が向上したものの，導入リンクの容量が減少して道路混雑が激しくなったためであると考えられる.

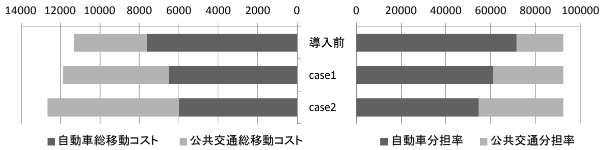

図 2　分担率と総移動コストの変化

図 3 は導入前と case1 での公共交通の OD コスト変化率を示している．コストは交通需要の集中する南部で増加する反面，北部では減少している．南部ではリンク容量の減少により道路が混雑し，多くのバス路線がその影響を受けた一方で，北部では交通容量に余裕があり, 道路の混雑の影響よりも LRT の定時性の効果が強く表れたことによる結果であると考えられる.

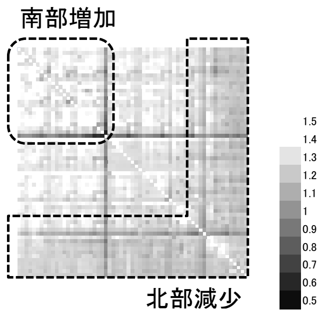

図 3　07:00-10:00　公共交通 OD コスト変化率

５．おわりに

本研究では，トリップチェーンを考慮した時間帯別分担配分統合モデルを構築し，それを京都市のネットワークに適用することにより，施策評価を行った．今後の課題として，モデルの適合度の向上や，インプットデータの精緻化などが挙げられる.

参考文献

[1] Maruyama T. and Harata, N. : Incorporating Trip-Chaining Behavior into Network Equilibrium Analysis. Transportation Research Record, 1921, 11-18, 2005.

[2] De Cea，D． and Fernandez，E．：Transit asignment for Congested Public Transport Systems， Transportation Science，Vol.27，No.2，pp.133-147，1993.

修士論文指導教員

宇野伸宏准教授，嶋本寛講師，中村俊之助教，山崎浩気助教