

複数データを用いた交通量均衡配分によるパッケージ戦略評価*

Package Strategy Evaluation by Traffic Equilibrium Distribution Using multiple Data*

山本朋広**・羽藤英二***

By Tomohiro YAMAMOTO**・Eiji HATO***

1. はじめに

近年、広く普及した自動車は、交通混雑や交通事故、環境問題などの種々の交通問題を発生させている。こうした自動車交通に起因する交通問題の解決には、単一の施策だけでは難しく、様々な施策を組み合わせるパッケージ型の取り組み（パッケージ戦略）が重要である。このようなパッケージ戦略の場合には、施策を合わせて実施することによる相互作用が考えられ、パッケージ戦略の検討には、その考慮が必要である。

そこで本研究では、利用者均衡配分を用い相互作用を考慮したパッケージ戦略の評価を行うことを目的とする。

2. 統合型利用者均衡配分モデル

本研究では、自動車と鉄道の2つの交通手段を含むネットワーク上の均衡を取り扱うため、需要変動型利用者均衡配分のうち、段階的需要推計の分担プロセスと配分プロセスを統合した分担・配分統合モデルを用いる。需要変動型利用者均衡モデルは以下の数理最適化問題に置き換えられる。

$$\min z(\mathbf{x}, \mathbf{q}) = \sum_a \int_0^{x_a} t_a(\omega) d\omega - \sum_{rs} \int_0^{q_{rs}} D_{rs}^{-1}(\omega) d\omega \quad (1)$$

subject to

$$\sum_k f_k^{rs} = q_{rs} \quad \forall r, s \quad (2)$$

$$x_a = \sum_{rs} \sum_{k \in K_{rs}} \delta_{a,k}^{rs} f_k^{rs} \quad \forall a \in A \quad (3)$$

$$f_k^{rs} \geq 0 \quad \forall k, r, s \quad (4)$$

$$q_{rs} \geq 0 \quad \forall k, r, s \quad (5)$$

ここで、ODペア間 rs の自動車交通のOD需要 q_{rs} と鉄道のOD需要 $\hat{q}_{rs}$ の和（ $\bar{q} = q_{rs} + \hat{q}_{rs}$ ）は、個々のODペアごとに与件であるとする。さらに

自動車交通のOD需要 q_{rs} は次の2項ロジットモデルで与えられるとする。

$$q_{rs} = \frac{1}{1 + \exp \theta(u_{rs} - \hat{u}_{rs} - \Psi_{rs})} \quad (6)$$

$\hat{u}_{rs}$ はODペア rs 間の鉄道による旅行コストであり、固定である。 u_{rs} はODペア rs 間の自動車による旅行コストで自動車交通量の大小により変化する。 θ, Ψ_{rs} はパラメータである。ODペア間の手段分担が式(6)で与えられ、自動車の配分交通量が利用者均衡条件を満足すると仮定すると、分担・配分統合モデルは以下の数理最適化問題と等価になる。

$$\begin{aligned} \min Z(\mathbf{x}, \hat{\mathbf{x}}, \hat{\mathbf{q}}) = & \sum_a \int_0^{x_a} t_a(\omega) d\omega \\ & + \sum_r \sum_s \hat{u}_{rs} \hat{q}_{rs} \\ & + \sum_r \sum_s \int_0^{\hat{q}_{rs}} \left(\frac{1}{\theta} \ln \frac{\omega}{\bar{q}_{rs} - \omega} + \Psi_{rs} \right) d\omega \end{aligned} \quad (7)$$

subject to

$$\sum_k f_k^{rs} = \bar{q}_{rs} - \hat{q}_{rs} \quad \forall r, s \quad (8)$$

$$\sum_l f_l^{rs} = \hat{q}_{rs} \quad \forall r, s \quad (9)$$

$$f_k^{rs}, \hat{f}_l^{rs} \geq 0 \quad \forall k, l, r, s \quad (10)$$

3. 松山都市圏への適用

(1) データ作成

本研究では、異なる2つのデータから時間帯別の鉄道OD交通量の推定を行った。

用いたデータは、まつやまエコ交通2000人チャレンジにより得られたPPデータと、伊予鉄とJR駅毎の乗降車数（日単位）である。ここで、まつやまエコ交通2000人チャレンジとは、国土交通省四国地方整備局松山河川国道事務所と松山市が主体で、GPS携帯電話やWEBサイトを用いて、正確な交通行動や環境負荷の程

度を認識・理解し、被験者が実際に環境に配慮した交通行動を行うことで、渋滞や地球環境への負荷を減らそうとする社会実験である。日常の交通行動を把握する期間とエコ交通にチャレンジする期間から成り、OD 推定には日常の交通行動を把握する期間のデータを用いている。以下に本研究で行った、2 つの異なるデータを用いた、時間帯別鉄道 OD 交通量の推定方法を示す。

- ① PP データから鉄道利用者のトリップを抽出する。ゾーン単位でトリップを集計し、日単位の OD 表を作成する。
- ② 駅ごとの乗降車数をゾーン単位で集計し、発生・集中交通量（日単位）を求める。
- ③ ②で作成した OD 表と③で求めた発生・集中交通量を基に、デトロイト法を用いて OD 交通量（日単位）を推計する。
- ④ PP データから時間帯毎の鉄道利用トリップ数の割合を求める。
- ⑤ ⑤で求めた割合を用い④で推計した OD 交通量を時間帯毎に分割する。

（２）データ概要

配分対象とする地域は、松山市、東温市、伊予郡砥部町、伊予郡松前町の2市2町であり、ゾーンはセンサスCゾーンを基本とした96ゾーンである。

自動車 OD 交通量は平成 11 年度道路交通センサス（平日）に基づく C ゾーンで集計されたデータを用いる。鉄道 OD 交通量は（1）で推定したものを用いる。

自動車ネットワークは、一般道路と高速自動車道である松山自動車道から構成され、ノード数2302、リンク数4670、ダミーリンク数222である。鉄道ネットワークはJR予讃線、伊予鉄郊外電車、伊予鉄市内電車で構成され、ノード数116、リンク数275、ダミーリンク数398である。鉄道ネットワークのダミーリンクは鉄道駅までのアクセス、イグレス時間を考慮するためコストを設定している。このコストはアクセス、イグレス手段を徒歩と仮定し、その移動速度を時速4kmとしてセントロイドから駅までの直線距離を移動速度で除すことにより求めている。このときコストが30分を超えるダミーリンクは除いている。図-1に自動車ネットワークと鉄道ネットワークを統合したネットワークを示す。

リンクコスト関数には、以下の式（11）で表わされる BPR 関数を採用した。

$$t_a(x_z) = t_{a0} \left\{ 1 + \alpha \left(\frac{x_a}{C_a} \right)^\beta \right\} \quad (11)$$

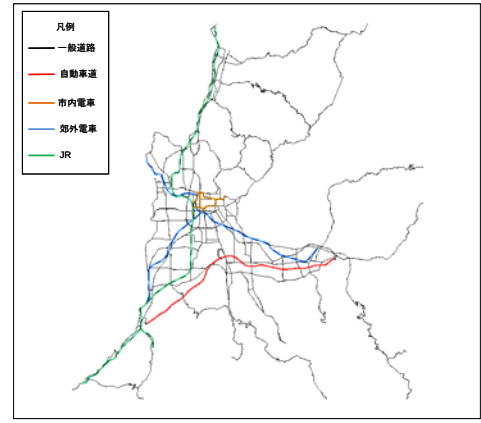


図-1 松山都市圏ネットワーク

ここに、

t_{a0} : リンクの自由旅行時間
 C_a : リンクの交通容量（台/日）
 x_a : リンクの交通量（台/日）
 α, β : パラメータ

リンクコスト関数のパラメータ α, β は、朝倉（1994）¹⁾により求められた $\alpha = 1.0$ 、 $\beta = 3.0$ を用いている。

（３）パラメータ推定

式（6）で表わされる交通手段選択モデルのパラメータであるスケールパラメータ θ と定数項 Ψ_{rs} の推定を行う。本研究で用いるパラメータ推定法は、宮下ら（1998）²⁾により提案された利用者均衡モデルを解いたときの交通量が観測された交通量に整合するようにパラメータを推定する方法を用いる。

配分交通量と観測交通量の整合性を検証する指標として、式（12）で表わされる %RMS 誤差を用いる。この値が最小となるパラメータを求める。

$$\%RMS = \frac{1}{A} \sqrt{\frac{\sum_n (P_n - A_n)^2}{n}} \quad (12)$$

ここに、

A_n : 現況交通量（台）
 $\bar{A}$: 現況交通量の平均（台）
 P_n : 配分交通量（台）
 n : サンプル数

図-2 より、 $\theta = 0.4$ $\Psi_{rs} = 0.3$ のとき最小の %RMS 誤差値が得られた。そのときの、再現性値を表-1 に示し、現況交通量と配分交通量の散布図を図-3 に示す。

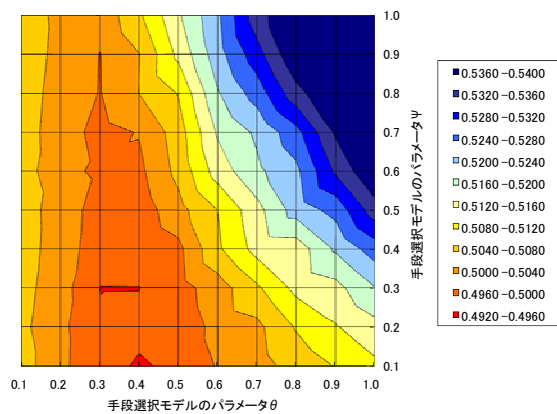


図-2 %RMS 誤差値の等高図

表-1 再現性値

再現性値	
R	0.850
abs. RMS	7136
% RMS	0.496
サンプル数	80

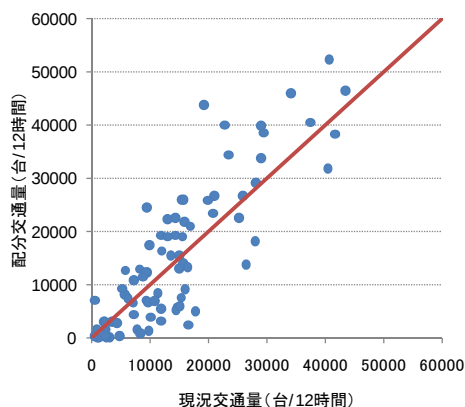


図-3 %RMS 誤差値の等高図

表-1 より、相関係数は 0.85 と強い正の相関を示しており、配分交通量と現況交通量の間には高い関係性があるといえる。一方で、abs.RMS と %RMS はそれぞれ 7136 と 0.496 と高い値が得られており、45 度線との一致率はあまり高いことを示している。図-3 から、45 度線からのばらつきが確認できる。推定されたパラメータは決して良い値とは言えないが、得られたデータを用い推定した結果の中では最も良い再現性を示しており、相関係数も高いことから、本研究では $\theta = 0.4$ 、 $\Psi_{rs} = 0.3$ を採用する。

4. 施策の評価

松山都市圏の交通問題は、1) 都市圏域の拡大や郊外部の開発、環状線沿道開発による容量低下などにより交通混雑が悪化している、2) 公共交通は、基本となるネットワークが整備されているものの利用率が低い。この 2 点が問題点として挙げられる。この問題点を解決するためのロードプライシングと鉄道路線の延伸、外環状線の建設の 3 つの施策を設定する。表-2 に各施策の内容を示し、図-4 に各施策の対象地域を示す。

表-3 に各施策の効果（現況からの変化）を示す。鉄道路線の延伸施策後では現況よりも CO2 排出量を減少させることがわかる。一方、ロードプライシング、外環状線の建設は CO2 排出量を増加させる。

鉄道路線の延伸施策が CO2 排出量を減少させる理由は、自動車よりもエネルギー消費原単位の小さい鉄道利用に自動車利用者が手段変更したためといえる。

ロードプライシングによる総旅行時間の変化をみると大きく上昇している。これはロードプライシングによ

表-2 施策内容

施策	内容	変更パラメータ
ロードプライシング	コードライン(図-4)内に流入する自動車交通に課金することで、流入する自動車交通量を抑制する。午前7時から午後6時まで500円の課金を実施。	BPR関数
鉄道路線の延伸	新規鉄道路線を建設。鉄道そのもののサービス水準を増大させ、自動車交通からの交通手段変更を促す。	鉄道ネットワーク
外環状線の建設	既存の環状線の外側に新たに環状線建設を建設する。既存の環状線の担う役割を軽減する。	自動車ネットワーク

表-3 施策の効果

施策	ロードプライシング		鉄道路線の延伸		外環状線の建設	
	変化量	変化率	変化量	変化率	変化量	変化率
鉄道利用者数 (人)	+1024	+0.11(%)	+17111	+1.91(%)	-147	-0.02(%)
自動車の総旅行時間 (台・時)	+11095	+7.40(%)	-2985	-2.11(%)	-5638	-3.99(%)
CO2排出量 (kg)	+27418	+2.36(%)	-19230	-1.63(%)	+3555	+0.30(%)

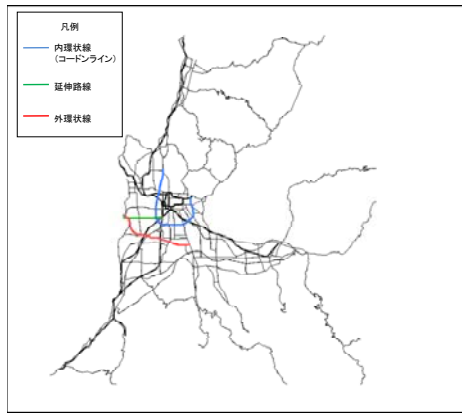


図-4 各施策の対象地域

り、自動車ネットワークの利便性が悪くなったことを表している。この影響が鉄道利用者の増加によるCO2排出量の減少効果よりも上回ったためCO2排出量が現況よりも増加したと考えられる。

外環状線の建設では新たな自動車ネットワークができたことにより総旅行時間の減少がみられ、そのため自動車の利便性が増し自動車利用者が増加している。CO2排出量の増加は、都市部を迂回することにより移動距離が伸びたためだと考えられる。

5. パッケージ戦略の評価

ロードプライシングと鉄道路線の延伸の組み合わせをパッケージ戦略1とし、ロードプライシングと外環状線の建設をパッケージ戦略2、鉄道路線の延伸と外環状線の建設をパッケージ戦略3とする。

表-4 パッケージ戦略のCO2排出量の変化

施策	変化量 (kg)	変化率 (%)
パッケージ戦略1	+7838	+0.66
パッケージ戦略2	+28409	+2.41
パッケージ戦略3	-14511	-1.23

表-4に各パッケージ戦略のCO2排出量の現況からの変化を示す。鉄道路線の延伸と外環状線の建設を組み合わせたパッケージ戦略3のみがCO2を減少させることがわかった。ロードプライシングと鉄道路線の延伸を組み合わせたパッケージ1では、鉄道路線の延伸施策によるCO2削減効果よりも、ロードプライシングによるCO2排出増加量が上回ったため、パッケージ戦略1の適用後にCO2排出量が増加する結果となった。

表-5 パッケージ戦略を構成する個々の施策の効果の和

施策	変化量 (kg)	変化率 (%)
パッケージ戦略1	+8188	+0.70
パッケージ戦略2	+30972	+2.67
パッケージ戦略3	-15676	-1.35

表-5にパッケージ戦略を構成する個々の施策の効果(CO2排出量の変化)を足し合わせた値を示す。表-4と表-5より、パッケージ戦略1ではパッケージ化によりCO2排出量が350kg減少し、パッケージ戦略2では2563kg減少。パッケージ戦略3では1164kg増加することがわかった。パッケージ戦略1、2ではパッケージ化により相乗効果が、パッケージ戦略3では相殺効果があるといえる。

6. まとめ

本研究では、自動車と鉄道の手段選択および自動車の経路選択の同時推定が可能な分担・配分統合モデルを松山都市圏において作成し、パッケージ戦略の評価を行った。

PPデータと駅の乗降車データを用いて時間帯別鉄道OD交通量の推定を行い、統合型利用者均衡配分に用いた。

施策を組み合わせることで実施するパッケージ戦略は、施策の組み合わせ方により相乗効果を生む場合と相殺効果を生む場合があること示した。

参考文献

- 1) 朝倉康夫：リンクコスト関数(Q-V式)の設定とアウトプットの精度評価：交通ネットワークの分析手法－実務と理論研究の接点－，土木計画学ワンデイセミナー（第4回），pp.51-74，1994。
- 2) 宮下等，朝倉康夫，柏谷増男：利用者均衡モデルのパラメータ推定法とその検証，土木計画学研究・講演集，No.21(2)，pp.753-756，1998。

謝辞

本研究を進めるにあたり、愛媛大学の柏谷増男教授、倉内慎也講師には多大なるご協力を頂きました。ここに感謝の意を表します。