

経路交通量推定モデルを用いた交通規制規制が自動車利用者の経路選択行動に及ぼす影響分析

嶋本 寛¹・田之上 直樹²

¹正会員 宮崎大学准教授 工学部社会環境システム工学科 (〒889-2192 宮崎市学園木花台西 1-1)

shimamoto@cc.miyazaki-u.ac.jp

²非会員 福岡市役所 (元宮崎大学学生)

宮崎市では 2016 年 2 月よりバスレーン規制が本格実施され、自動車利用者が経路変更や出発時刻の変更などの対応行動をとることが考えられる。本研究では、先行研究で構築した経路選択パラメータと経路交通量の同時推定モデルを用いて、バスレーン規制が自動車利用者の経路選択行動に及ぼす影響を分析した。分析の結果、自動車利用者はバスレーン規制直後において道路ネットワークの混雑状況の認識に対する不確実性が大きくなるが、規制から日数が経過するにつれて不確実性は小さくなることを明らかにした。さらに、市街地から郊外の移動に関しては自動車利用者はバスレーン規制後の時間帯に通過するように出発時刻を調整していることを明らかにした。

Key Words: traffic regulation, route choice parameter, path flow

1. はじめに

宮崎市において、公共交通の利用促進を目的に 2016 年 2 月からバスレーン規制が本格実施され、市内中心部において朝夕のラッシュ時間帯で 2 車線あるいは 3 車線のうち 1 車線がバス専用レーン化された。これにより、自動車利用は経路変更や出発時刻変更などの対応行動をとり、これらの行動が都市内の交通ネットワークにも影響が及ぶことが考えられる。今後は、バスレーン規制のみならず老朽化したインフラの更新などにより、自動車の走行空間の削減をとまなう長期間にわたる交通規制が全国各地で行われる可能性がある中で、交通規制による自動車利用者の対応行動を把握することが重要である。

自動車利用者の対応行動をアンケート調査により直接尋ねることも考えられるが、1)調査対象日の行動しか把握できない、2)サンプル調査である、という問題点を有している。ネットワーク上で観測されるデータから OD 交通量¹⁾や経路交通量²⁾を推定するモデルが数多く提案されており、これらの情報から任意の日の流動を把握することが可能となる。しかし、これらの研究では利用者の経路選択規範を表すパラメータを推定対象としておらず、利用者の経路選択行動を分析することはできない。

一方、中山ら³⁾は、観測リンク交通量の相関関係を考慮して経路選択パラメータを最尤推定する方法を提案し

ている。さらに、中山ら⁴⁾は経路重複の影響も加味した推定手法を提案している。石川ら⁵⁾は首都圏高速道路を対象にして、経路選択パラメータを動的に最尤推定し、経路選択パターンの規則性を分析している。これらの経路選択パラメータを推定する研究は OD 交通量を所与としており、OD 交通量が不明の場合は別途推定する必要がある。Lo⁶⁾らは観測リンク交通量から OD 交通量と経路選択パラメータを最尤推定法により同時推定する手法論を提案している。Lo らの研究は OD 交通量の先験情報を必要としていないが、近年は日々の流動を観測する技術が進展しており、OD 交通量の先験情報を入手しやすい環境にあるといえる。また、入力データの誤差やモデル化の仮定 (e.g. 自動車利用者は確率的利用者均衡規範にしたがって経路選択を行う) と現実の利用者行動との間の齟齬が推定精度に大きな影響を及ぼすと考えられる。嶋本⁷⁾は OD 交通量の先験情報と一部リンクで計測されるリンク交通量を入力データとして、経路交通量と経路選択規範を表すパラメータの同時推定モデルを構築し、大規模なネットワークでこれらの誤差要因と推定精度の間の検証を行っている。

以上を踏まえて、本研究では先行研究¹⁾で構築したモデルを宮崎都市圏ネットワークに適用し、バスレーン規制前後における経路選択パラメータならびに経路交通量を算出、比較することでバスレーン規制が自動車利用者に及ぼす影響を明らかにすることを目的とする。

2. モデルの定式化

本論文で用いるモデルは、先行研究¹¹⁾で構築したモデルに対して複数時間帯を推定できるよう拡張したものである。ただし、各時間帯における残留交通量は明示的には考慮していないが、藤田ら¹²⁾によれば本研究で推定される OD 交通量は残留交通量を考慮した後の OD 交通量に相当し、推定される OD 交通量から残留交通を考慮する前の発時刻ベースの OD 交通量も算出可能である。

(1) 前提条件

モデル化にあたり、以下の前提条件を設定する。

- ・ 自動車利用者は、確率的利用者均衡規範にしたがって経路選択を行う
- ・ 道路ネットワーク諸元に関する情報に加えて、一部リンクの交通量データと OD 交通量の先験情報データが利用可能である

2 番目の仮定に関して、OD 交通量の先験情報はパーソントリップ調査データやセンサスデータが利用可能であり、また近年では携帯電話の位置情報データをもとにした流動データの活用が考えられる。

(2) 記号表記

本研究で用いる記号表記とその意味を以下に示す。なお、以下ではベクトル \mathbf{z} あるいは行列 \mathbf{A} の転置をそれぞれ \mathbf{z}^{tr} 、 \mathbf{A}^{tr} のように表記する。

- A : リンク集合
- M : 交通量が計測されているリンクの集合
- W : OD ペアの集合
- K_w : OD ペア $w \in W$ における経路集合
- δ_{wk}^a : OD ペア $w \in W$ における経路 k がリンク a を通過すれば 1, そうでなければ 0 をとるダミー変数
- T : 時間帯の集合
- \mathbf{x}^τ : 時間帯 τ の推定リンク交通量ベクトル
($\mathbf{x}^\tau = (x_1^\tau, \dots, x_{|M|}^\tau)^{\text{tr}}$)
- \mathbf{v}^τ : 時間帯 τ の観測リンク交通量ベクトル
($\mathbf{v}^\tau = (v_1^\tau, \dots, v_{|M|}^\tau)^{\text{tr}}$)
- \mathbf{f}^τ : 時間帯 τ の経路交通量ベクトル
($\mathbf{f}^\tau = (\dots, f_{wk}^\tau, \dots)^{\text{tr}}$)
- \mathbf{q}^τ : 時間帯 τ の推定 OD 交通量ベクトル
($\mathbf{q}^\tau = (q_1^\tau, \dots, q_{|W|}^\tau)^{\text{tr}}$)
- \mathbf{Q}^τ : 時間帯 τ の経路交通量ベクトル
($\mathbf{Q}^\tau = (Q_1^\tau, \dots, Q_{|W|}^\tau)^{\text{tr}}$)
- \mathbf{x} : 推定リンク交通量ベクトル
($\mathbf{x} = (\mathbf{x}^1, \dots, \mathbf{x}^T)^{\text{tr}}$)
- \mathbf{v} : 観測リンク交通量ベクトル
($\mathbf{v} = (\mathbf{v}^1, \dots, \mathbf{v}^T)^{\text{tr}}$)
- \mathbf{f} : 推定経路交通量ベクトル
($\mathbf{f} = (\mathbf{f}^1, \dots, \mathbf{f}^T)^{\text{tr}}$)

- \mathbf{q} : 推定 OD 交通量ベクトル
($\mathbf{q} = (\mathbf{q}^1, \dots, \mathbf{q}^T)^{\text{tr}}$)
- \mathbf{Q} : 先験 OD 交通量ベクトル
($\mathbf{Q} = (\mathbf{Q}^1, \dots, \mathbf{Q}^T)^{\text{tr}}$)
- $t_a(x_a)$: リンク a の旅行時間
- t_{a0} : リンク a の自由流旅行時間
- C_a : リンク a の容量
- c_{wk}^τ : 経路 $k \in K_w$ の旅行時間
($c_{wk}^\tau = \sum_{a \in A} \delta_{wk}^a t_a(x_a^\tau)$)
- θ, η : 経路選択パラメータ
- PS_{wk} : 経路間のリンク共有の程度を表す修正項
- λ_1, λ_2 : 目的関数の重み

(3) 定式化

本研究で構築するモデルは、式(3)に示すように自動車利用者は確率的利用者配分規範に従って経路選択するという条件のもと、式(1)に示すリンク交通量と OD 交通量の重み付き二乗和を最小にするように OD 交通量 \mathbf{q} と経路選択パラメータ θ および η を決定するものである。

$$\min_{\mathbf{q}, \theta, \eta} G = \sum_{\tau \in T} \left(\lambda_1 \sum_{a \in A} (x_a^\tau - v_a^\tau)^2 + \lambda_2 \sum_{w \in W} (q_w^\tau - Q_w^\tau)^2 \right) \quad (1)$$

Subject to

$$\mathbf{q} \geq \mathbf{0}, \theta > 0, \eta > 0 \quad (2)$$

ここに、

$$\begin{aligned} \mathbf{x}^\tau(\mathbf{f}^\tau) &= \arg \min_{\mathbf{x}^\tau(\mathbf{f}^\tau)} \left[\sum_{a \in A} \int_0^{x_a^\tau} t_a^\tau(w) dw + \frac{1}{\theta} \sum_{w \in W} \sum_{k \in K_w} \left\{ f_{wk}^\tau \ln \left(\frac{f_{wk}^\tau}{q_w^\tau} \right) + \eta f_{wk}^\tau \ln PS_{wk} \right\} \right] \quad (3) \end{aligned}$$

Subject to

$$x_a^\tau = \sum_{w \in W} \sum_{k \in K_w} \delta_{wk}^a f_{wk}^\tau, \forall a \in A, \tau \in T \quad (4)$$

$$\sum_{k \in K_w} f_{wk}^\tau = q_w^\tau, \forall w \in W, \tau \in T \quad (5)$$

$$f_{wk}^\tau \geq 0, \forall w \in W, k \in K_w, \tau \in T \quad (6)$$

$$t_a(x_a^\tau) = t_{a0} \left\{ 1 + \alpha \left(\frac{x_a^\tau}{C_a} \right)^\beta \right\}, \forall \tau \in T \quad (7)$$

式(3)から式(7)は確率的利用者均衡条件を表している。なお、式(3)から式(7)のキューンタッカー条件より、経路交通量は以下のように算出される。

$$f_{wk}^\tau = \frac{\exp(-\theta c_{wk}^\tau - \eta \ln PS_{wk})}{\sum_{k' \in W} \exp(-\theta c_{wk'}^\tau - \eta \ln PS_{wk'})} q_w^\tau, \forall w \in W, k \in K_w, \tau \in T \quad (8)$$

なお、式(8)に示す経路選択確率は多項ロジットモデルであり、重複部分が多い経路に大きな交通量が負荷されてしまう問題点がある。これを緩和するために、以下に示す経路間のリンク共有の程度を表す修正項を導入している。

$$PS_{wk} = \sum_{a \in A} \frac{\delta_{wk}^a l_a}{L_{wk}} \frac{1}{\sum_{k' \in K_w} \frac{L_{wk'}^{min}}{L_{wk}}} \quad (9)$$

$, \forall w \in W, k \in K_w$

なお、確率的利用者均衡配分モデルにおいて、しばしば経路の列挙方法が問題となるが、本研究における経路の列挙方法は次節で述べる。

(4) 経路列挙

確率的利用者均衡配分モデルの目的関数に経路変数が含まれており、配分にあたり経路集合を特定する必要がある。Dial のアルゴリズムや Markov 連鎖配分を援用した経路列挙を必要としない配分方法が古くから提案されているが、それぞれ経路集合が限定される、推移確率行列が Hawkins-Simon 条件を満たさない場合は適用不可能である、という問題点を有している。

近年は、すべての経路を列挙可能な ZDD (Zero-suppressed Binary Decision Diagram: ゼロサプレス型二分決定グラフ) ¹³⁾ が交通計画分野においても活用されている。しかし、ネットワークサイズが大きくなれば経路列挙が困難になる。先行研究 ¹¹⁾ では、小規模なネットワークを対象にしたものであるが、ZDD で経路列挙した場合と k 番目最短経路探索で経路列挙した場合で推定精度に大きな違いがないことを確認している。したがって、本研究では k 番目最短経路探索により経路列挙を行う。

(5) 解法アルゴリズム

a) モデル全体の解法

本研究で構築するモデルの未知変数は OD 交通量 \mathbf{q} およびロジットモデルのパラメータ θ , η である。式(1)は非線形最小二乗問題であり、その解法アルゴリズムも提案されているが、実規模ネットワークでは OD ペア数が増大するため計算コストが大きくなる。一方、式(1)は \mathbf{q} について見れば 2 次計画問題であり、高速な計算アルゴリズムが提案されている。そこで、本研究では OD 交通量とロジットモデルのパラメータを別々に最適化し、収束計算を行うことにする。具体的な解法アルゴリズムは以下の通りである。

Step 0 初期設定

前節で述べた方法により OD ペアごとに経路を列挙し、リンク共有の程度を表す修正項 PS_{wk} を計算する。

Step 1 推定モデルの初期値設定

$n = 1$, $\mathbf{q}^n \leftarrow \mathbf{Q}$, $\theta^n \leftarrow \theta_{initial}$, $\eta^n \leftarrow \eta_{initial}$ とする。

Step 2 初期実行可能解の算出

Step 1 で設定した初期値を用いて時間帯ごとに SUE 配分を行い、リンク交通量 \mathbf{x}^n および OD ペア別のリンク利用確率マトリクス \mathbf{P}^n およびリンク旅行時間を算出する。なお、時間帯 τ におけるリンク利用確率マトリクス

$$\mathbf{P}^{\tau n} = \begin{pmatrix} p_{11}^{\tau n} & \cdots & p_{1M}^{\tau n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{W1}^{\tau n} & \cdots & p_{WM}^{\tau n} \end{pmatrix} \text{の要素は以下のように求める}$$

ことができる。

$$p_{wa}^{\tau n} = \frac{\sum_{k \in K_w} \delta_{wk}^a f_{wk}^{\tau n}}{q_w^{\tau n}}, \forall w \in W, \forall a \in M \quad (10)$$

ここに、 $f_{wk}^{\tau n}$ は n ステップ目の時間帯 τ において SUE 配分により得られる経路交通量である。

Step 3 ロジットモデルのパラメータの更新

OD 交通量 \mathbf{q}^n およびリンク旅行時間を固定した上で、ロジットモデルのパラメータ θ^n , η^n を更新する。

Step 4 OD 交通量の補助解の算出

θ^n , η^n およびリンク利用確率マトリクス \mathbf{P}^n を所与として、OD 交通量の補助解 \mathbf{q}^{aux} を求める。

Step 5 リンク交通量の補助解の算出

\mathbf{q}^n および θ^n , η^n を所与のもと SUE 配分を行い、リンク交通量の補助解 \mathbf{x}^{aux} を求める。

Step 6 逐次平均法による解の更新

$$\mathbf{x}^{n+1} = \mathbf{x}^n + \frac{1}{n} (\mathbf{x}^{aux} - \mathbf{x}^n), \quad \mathbf{q}^{n+1} = \mathbf{q}^n + \frac{1}{n} (\mathbf{q}^{aux} -$$

$\mathbf{q}^n)$ により解を更新する。

Step 7 収束判定

リンク交通量および OD 交通量の変化が十分小さければ計算終了。そうでなければ、 $n = n + 1$ としてリンク利用確率マトリクス \mathbf{P}^n およびリンク旅行時間を更新した上で Step 3 に戻る。

以下に、Step 3 および Step 4 の解法について述べる。

b) Step 3 の解法

Step 3 は θ^n および η^n を未知変数とする非線形最小二乗問題である。Step 3 における問題は θ^n および η^n に関して凸性を満たさないため、大域的最適化アルゴリズムの一種である微分進化法により求解する。

c) Step 4 の解法

リンク利用確率マトリクス \mathbf{P}^n が与えられたとき、式(1)は以下のように表すことができる。

$$\min_{\mathbf{q}} G' = \sum_{\tau} \left(\lambda_1 \sum_{a \in M} \left(\sum_{w \in W} q_w^{\tau, aux} p_{wa}^{\tau n} - v_a^{\tau} \right)^2 + \lambda_2 \sum_{w \in W} (q_w^{\tau, aux} - Q_w^{\tau})^2 \right) \quad (1)'$$

式(1)'は OD 交通量の補助解 \mathbf{q}^{aux} に関する 2 次計画問題であり、効率的な解法が提案されている。いま、 $\mathbf{q} = (\mathbf{q}^{1, aux}, \dots, \mathbf{q}^{T, aux})^{\text{tr}}$, $\mathbf{Q} = (\mathbf{Q}^1, \dots, \mathbf{Q}^T)^{\text{tr}}$, $\mathbf{v} = (\mathbf{v}^1, \dots, \mathbf{v}^T)^{\text{tr}}$, $\mathbf{P}^n =$

$$\begin{pmatrix} p_{11}^{1n} & \cdots & p_{1M}^{1n} & \cdots & \mathbf{0} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \cdots & \vdots \\ p_{W1}^{1n} & \cdots & p_{WM}^{1n} & \cdots & \vdots \\ \vdots & & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{0} & \cdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ & & p_{11}^{\tau n} & \cdots & p_{1M}^{\tau n} \\ & & \vdots & \ddots & \vdots \\ & & p_{W1}^{\tau n} & \cdots & p_{WM}^{\tau n} \end{pmatrix} \text{とし、さらに}$$

$\mathbf{H} = 2(\lambda_1 \mathbf{P}\mathbf{P}^{\text{tr}} + \lambda_2 \mathbf{I})$, $\mathbf{h} = -2(\lambda_1 \mathbf{v}^{\text{tr}}\mathbf{P}^{\text{tr}} + \lambda_2 \mathbf{Q}^{\text{tr}})$ とすれば、式(1)および式(2)は以下のようにベクトル表記が可能である。

$$\min_{\mathbf{q}} G' = \frac{1}{2} \mathbf{q}^{\text{tr}} \mathbf{H} \mathbf{q} + \mathbf{h} \mathbf{q} + \lambda_1 \mathbf{v} \mathbf{v}^{\text{tr}} + \lambda_2 \mathbf{Q} \mathbf{Q}^{\text{tr}} \quad (11)$$

Subject to

$$\mathbf{q} \geq \mathbf{0} \quad (12)$$

本研究では、上記の2次計画問題を python3.7 上におけるソルバーcvxopt 関数を用いて求解した。

3. バスレーン規制およびデータ概要

(1) バスレーン規制の概要

宮崎市では、2016年2月よりバスレーン規制が本格実施された。これにより、図-1に示す宮崎市中心部の一部区間において、平日の朝夕1時間に限り2車線あるいは3車線のうち1車線がバス専用レーン化された。

(2) データ概要

分析に用いたデータは、以下の2つである。

a) 車両感知器データ

観測リンク交通量データとして、図-2に示す18箇所の交差点における80基の車両感知器により観測された、6:30から9:00までの間の30分ごとの交通量データを用いた。なお、異常値として記録されているデータは分析から除外した。

b) モバイル空間統計データ

OD交通量の先験情報として、モバイル空間統計の人口流動統計データを用いた。バスレーン規制本格実施前にあたる2016年1月22日から1月31日と、本格実施後にあたる2月1日から2月20日までの平日における、図-2に示す47メッシュ間1時間ごとの流動データを入手した。

なお、人口流動統計データは1時間ごとのデータであるが、これを各時間帯における車両感知器データの30分ごとの総交通量で按分することで、30分ごとの流動データに変換した。なお、6:00から6:30までの車両感知器データが存在しない。そこで、6時台に関してはJARTICにより公開されている2019年10月1日から10月6日における宮崎市内の断面交通量データから30分ごとの交通量の比率を求め、6:30から7:00の流動を算出した。

(3) 分析対象ネットワーク

本研究では、前述した人口流動統計データの入手範囲である47メッシュを内包する範囲における主要な道路を抽出し、図-3に示す分析対象ネットワークを作成した。図-3におけるノード数、リンク数はそれぞれ305、847である。また、47メッシュの概ね中心に位置するノード

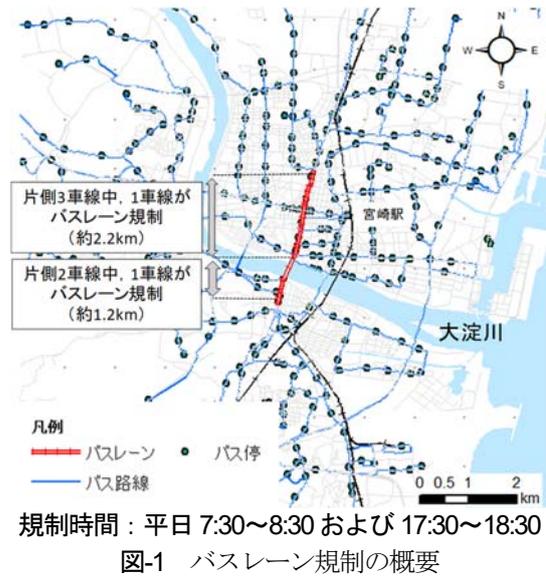


図-1 バスレーン規制の概要

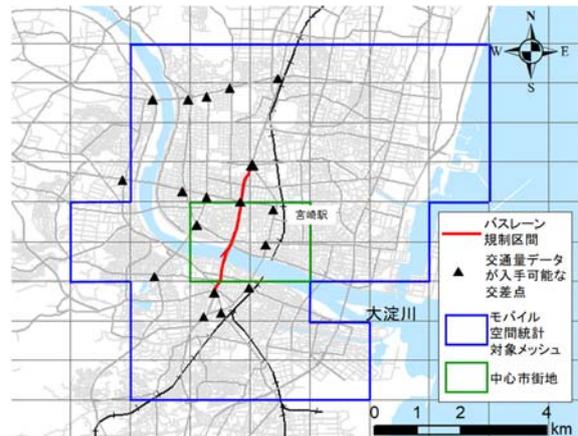


図-2 入手データの位置関係

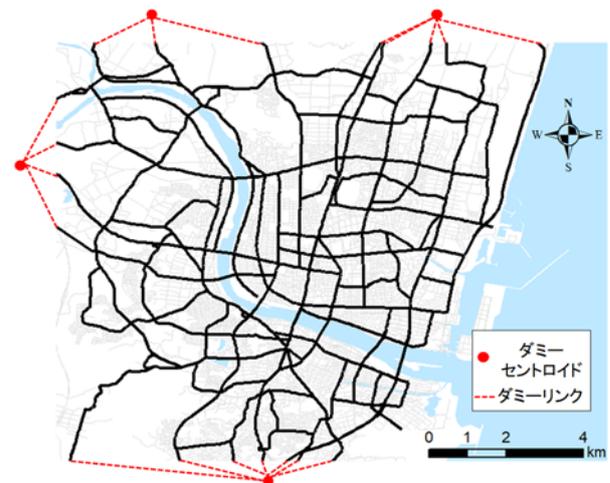


図-3 分析対象ネットワーク

をセントロイドとした。さらに、域外からの交通を考慮するため、図-3に示すように南北および西の域外にダミーのセントロイドを設定し、ダミーのセントロイドから域内の端に位置するノードの間に、所要時間が0で後述するリンク容量の最大値の容量を持つダミーリンクを設

定した。

各リンクの交通容量の算出にあたり、まず車線数あたりの基本交通量に車線幅員や側方余裕幅、沿道状況によって決められた補正値を掛けて算出される単路部の可能交通容量を算出した。その後、算出した可能交通容量に車線数を掛け、信号による影響を加味するため、各リンクの可能交通容量の 0.75 倍をリンク交通容量とした。リンク所要時間の算出に用いる制限速度は、郊外部に位置するリンクを 50km に設定し、その他のリンクの制限速度は車線数が 1 車線の場合 40km, 2 車線以上の場合 50km とした。例外としてバイパスのリンクは 60km とした。

4. バスレーン規制が自動車利用者の経路選択行動に及ぼす影響分析

(1) パラメータ設定

分析にあたり表-1に示すようにパラメータを設定した。経路集合生成にあたっては、OD ペアごとに最大で 100 経路を列挙したが、このうちで最短経路の 2 倍を超過する経路は経路集合から除外した。なお、域外ノードを起終点とする需要の最大値を 1,000 として計算した。

表-1 設定したパラメータ

経路集合生成	最大経路数	100
	経路長	最短経路の 2 倍
式(1)における目的関数の重み		$\lambda_1 = 1, \lambda_2 = 0.2$

(2) 観測リンク交通量の推定精度検証

バスレーン規制による影響評価を行うにあたり、車両感知器で計測される交通量とモデルにより推定されるリンク交通量を比較し、モデルの推定精度を検証する。推定精度は、以下に示す RMSEP 値により評価する。

$$RMSEP = 100 \sqrt{\frac{1}{N} \sum_i \left(\frac{x_{true}^i - x_{estimate}^i}{x_{true}^i} \right)^2} \quad (13)$$

ただし、 x_{true}^i , $x_{estimate}^i$ はそれぞれ i 番目の真値および観測値を、 N はリンク交通量のデータ数表す。RMSEP を時間帯ごとに推定し、集計した結果を図-4 に示す。これを見ると、6:30~7:30 と 7:30~8:00 の時間帯において全体的に RMSEP 値が大きい傾向にあることがわかる。また、2/19 の RMSEP 値が他の日よりも大きいため、2/19 における時間帯ごとの交通量の観測値と推定値の関係を図-5 に示す。これを見ると、交通量が大きくなると過小推定の傾向が見られるが、概ね 45 度線上にプロットされていることがわかる。したがって、観測されたリンク交通量については概ね正しく推定されているといえる。

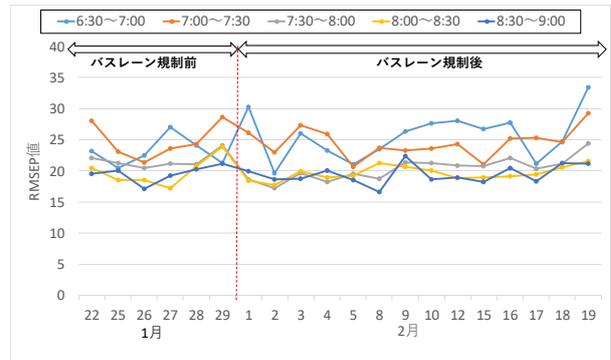


図-4 RMSEP 値の比較

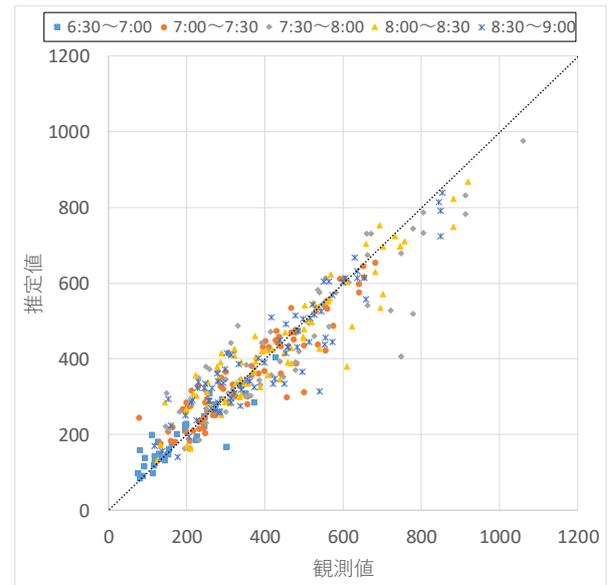


図-5 2月19日におけるリンク交通量の推定精度比較

(3) 経路選択における不確実性の時系列推移

本節では、自動車利用者が経路選択する際に認知する不確実性の時系列的な推移を明らかにするために、推定された分散パラメータの経日的な変化について考察する。分散パラメータは式(1)から(3)における θ に相当し、これが大きいほど自動車利用者が自動車利用者はすべての経路の旅行時間を正確に認知し、最短経路を選択する傾向にあることを表している。

図-6に推定結果を示す。バスレーン規制前は比較的高い値になっているが、規制後は規制前より低い値で上下していることが分かる。これは、自動車利用者がバスレーン規制開始直後は道路ネットワークの混雑状況に対する不確実性が大きくなっていることを示唆している。さらに、2月の中旬にかけて分散パラメータの値が大きくなる傾向にあることから、規制開始から日数が経過するにつれて道路ネットワークの混雑状況に対する不確実性が小さくなっていく傾向にあるといえる。

(4) OD 交通量の変化

最後に、バスレーン規制が自動車利用者の出発時刻選択に及ぼす影響を明らかにするために、推定された OD 交通量の時間帯ごとの推移について考察する。ここでは、**図-2**において緑で囲まれているゾーンを中心市街地、それ以外のゾーンを郊外と定義し、中心市街地・郊外および郊外・中心市街地間における全時間帯の推定交通量に対するそれぞれの時間帯の推定交通量の比率を算出し、考察を加える。**図-7**に結果を示す。これを見ると、市街地から郊外に向かう流動に関しては、バスレーン規制が本格実施された 2/1 以降において、バスレーン規制時間帯にあたる 7:30~8:30 の交通量が占める比率がやや減少傾向にあり、8:30~9:00 の交通量が占める割合がやや増加していることがわかる。すなわち、バスレーン規制によって、自動車利用者はバスレーン規制後の時間帯に通過するように出発時刻を調整されたことが推察される。一方、郊外から市街地に向かう交通量の比率に関しては、バスレーン規制前後に大きな違いは見られなかった。

5. おわりに

本研究では、先行研究¹⁾で構築したモデルを宮崎都市圏ネットワークに適用し、バスレーン規制前後における経路選択パラメータならびに経路交通量を算出、比較することでバスレーン規制が自動車利用者の経路選択行動に及ぼす影響を分析した。分析の結果、自動車利用者はバスレーン規制直後において道路ネットワークの混雑状況の認識に対する不確実性が大きくなるが、規制から日数が経過するにつれて不確実性は小さくなる傾向にあることを明らかにした。さらに、分析対象エリアを中心市街地と郊外にわけ、それぞれの間の時間帯ごとの流動の比率の推移を分析したところ、市街地から郊外の移動に関しては自動車利用者はバスレーン規制後の時間帯に通過するよう出発時刻を調整していることを明らかにした。

今後の課題として、本研究では k 番目最短経路探索により経路集合を生成したが、経路集合の生成方法を検討する余地があるといえる。その上で、経路交通量の比較を行うとともに、夕方時間帯においても同様の分析を行い、朝と夕方の自動車利用者の対応行動の違いを分析する予定である。

謝辞：本研究は、JSPS 科研費 18H01562 の助成を受けたものである。また、交通量感知器データは宮崎県警より提供を受けた。

参考文献

1) Yang, H.: Heuristic algorithms for the bilevel origin-destination matrix estimation problem, *Transportation Research Part B*, 29(4), 231-242,

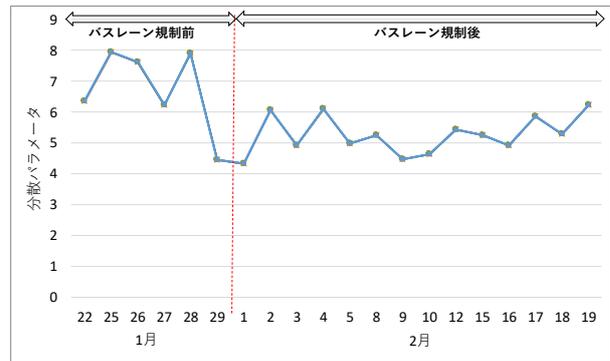
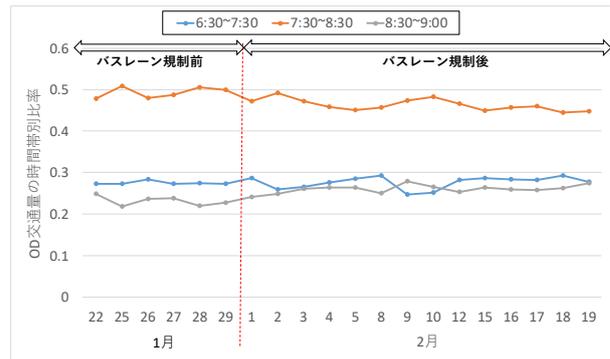
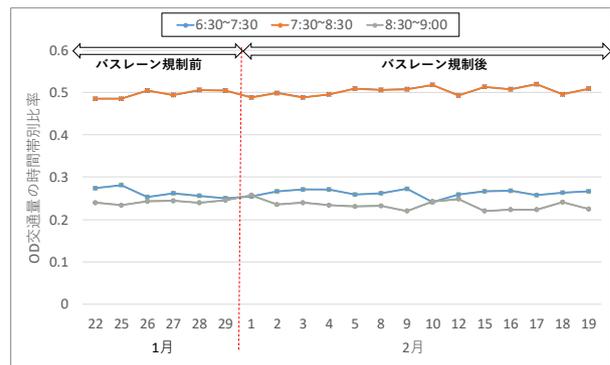


図-6 分散パラメータの推移



(a) 市街地から郊外



(b) 郊外から市街地

図-7 時間帯別の流動の推移

1995
 2) Lundgren, J. T., and Peterson, A.: A heuristic approach for the bilevel origin-destination matrix estimation problem, *Transportation Research Part B*, 42(4), 339-354, 2008
 3) Nie, Y. M., Zhang, and H. M.: A relaxation approach for estimating origin-destination Trip Tables, *Networks and Spatial Economics*, 10, 147-172, 2010
 4) Bell, M.G.H, Shield C. M., Busch, F. and Kruse, G.: A stochastic user equilibrium path flow estimator, *Transportation Research Part C*, 5(3-4), 197-201, 1997
 5) Chen, A., Chootinan, P. and Recker, W.: Norm approximation method for handling traffic count inconsistencies in path flow estimator, *Transportation Research Part B*, 43(8), 852-872, 2009
 6) Tang, S., and Zhang, H. M.: Primal-dual heuristic for path flow estimation in medium to large networks, *Transportation Research Record*, 2333, 91-99, 2013
 7) 中山晶一郎, 高山純一: リンク交通量を用いた交通ネッ

- トワーク均衡問題のパラメータ推定：リンク相関を考慮した最尤法, 土木学会論文集 D, Vol.62, No.4, 548-557, 2006
- 8) 中山晶一郎, 道下健二, 高山純一: 経路重複を考慮したネットワーク上での経路選択パラメータ推定法: リンクベースの最尤法, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.68, No.5, I_741-I_749, 2012
 - 9) 石川裕太郎, 酒井高良, 赤松隆: 首都圏高速道路網における経路選択パターンの規則性, 土木計画学研究・講演集, 59, CD-DOM, 2019
 - 10) Lo, H.P. and Chan, C.P.: Simultaneous Estimation of an Origin-Destination Matrix and Link Choice Proportions Using Traffic Counts, Transportoin Research Part A 37, 771-788, 2003
 - 11) 嶋本寛: 経路選択パラメータと経路交通量の同時推定モデルの構築と推定誤差要因に関する考察, 土木計画学研究・講演集, 60, CD-DOM, 2019
 - 12) 藤田素弘, 渡邊健, 山田真士: 観測交通量からの時間変動係数に基づく時間帯別 OD 交通量の逆推定手法の開発, 交通工学論文集, 2, 1, pp.11-20, 2016
 - 13) Minato, S.: Zero-suppressed BDDs for set manipulation in combinatorial problems, Proceedings of 30th ACM/IEEE Design Automation Conference, pp. 272-277, 1993

(2020. 3. 6 受付)

ANALYSIS OF THE IMPACT OF A TRAFFIC REGULATION ONTO ROUTE CHICE BEHAVIOUR USING A PATH FLOW ESTIMATOR

Hiroshi SHIMAMOTO and Naoki TANOUE