

負の二項回帰を用いた 都市高速道路の需要変動モデル

安田 昌平¹・池田 賢史²・井料 隆雅³・石原 雅晃⁴

¹学生会員 神戸大学大学院工学研究科市民工学専攻（〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1）
E-mail:159t757t@stu.kobe-u.ac.jp

²非会員 神戸大学大学院工学研究科市民工学専攻（〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1）
E-mail:191t102t@stu.kobe-u.ac.jp

³正会員 神戸大学大学院工学研究科市民工学専攻（〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1）
E-mail:iryoy@kobe-u.ac.jp

⁴非会員 阪神高速道路株式会社計画部調査課（〒530-0005 大阪市北区中之島3-2-4）
E-mail: masaaki-ishihara@hanshin-exp.co.jp

都市高速道路の需要変動に影響を与える要因を定量的に分析することは、適切な道路マネジメントを行うために重要である。これまで、高速道路上で得られる各種データを用いて、その関係を直接記述するデータ指向なモデルが開発されてきた。近年、一般道路の情報を含めた多様な観測データが得られるようになったことから、これらをデータ指向なモデリングに活用することが求められている。本研究では、都市高速道路の利用台数を被説明変数とした一般化線形モデルを構築し、一般道路の情報を含めた各種観測データを説明変数に追加する影響を分析する。分析対象である都市高速道路の日々の需要レベルの変動を捉えるため、一般道路の交通量を空間的に集計した指標を説明変数として用いたところ、従来のモデルと比較してその精度は向上した。

Key Words : *Traffic demand, Correlation analysis, Generalized linear model, Negative binomial regression*

1. はじめに

都市高速道路の効率的なマネジメントのためには、その利用台数に影響を与える要因を把握することが重要である。例えば、個々の日や時刻における交通量を正確に予測するためには、この要因を特定したモデルの構築が必要である。また各種の渋滞緩和施策による所要時間の短縮による高速道路の利用台数の増加を把握すれば、その効果を定量的に評価することも可能となる。

交通工学的な観点からこのような道路の需要変動を把握する手法として交通量配分が考えられる。道路の利用台数に影響を与える要因として、ネットワークに対する交通需要と、利用台数に対するネットワークの混雑状況があり、そこに正確な経路選択モデルを合わせれば交通状態を表現できるということが交通量配分の考えである。しかしながら、実ネットワーク規模のリンクパラメータを推定・キャリブレーションすることは膨大な作業である。更に時間帯や日々の揺らぎを考慮した動的な交通量

配分への発展は、よりチャレンジングな課題となっている。

近年、多様な交通観測データを取得できるようになったことから、データから直接その特性や将来の状態を記述するデータ指向型アプローチが開発されている。実際に、車両検知器/感知器や ETC 統計データのような交通流データを活用した交通需要変動に関する研究はすでに多く存在する（たとえば飯田、高山¹⁾、村上ら²⁾、田中ら³⁾、井料ら⁴⁾、金ら⁵⁾、西内ら⁶⁾、小池ら⁷⁾、小篠ら⁸⁾、中田ら⁹⁾、小篠ら¹⁰⁾）。

このようなデータ指向型アプローチの研究の中には、交通量と旅行時間の相関関係について分析を行った既存研究が存在する。Iryo et. al.¹¹⁾は車両感知器データを用いて都市高速道路における旅行時間と交通量の相関関係の分析を行った。上田ら¹²⁾は、ETC-OD データを用いて同一時間帯の旅行時間と交通量の間に線形の関係式が成り立つと仮定して最小二乗法を用い都市高速道路における旅行時間とランプ間 OD 交通量の関係の分析を行った。

その結果、旅行時間が 1 分増加したときに交通量は 1% 程度減少する時間帯が多いことを示した。これらの知見から、例えば渋滞対策等で旅行時間が減少した時に交通量がどう変動するかをデータ指向型アプローチにより予測でき、その結果を交通施策策定に活用できる可能性が示唆される。一方、これらの研究は単に相関関係を見ているだけであり、この結果だけからは旅行時間の増減が交通量に影響を与えたということを直接主張することはできない。

旅行時間と交通量の相関関係の原因を分析するために、高速道路を一つの財とみなした需要供給曲線を考えよう。一定の短い時間帯（例えば 15 分間隔）に高速道路の特定のランプ間を利用する台数を需要曲線で記述し、その時の旅行時間を供給曲線で記述する。需要曲線は旅行時間の増加に応じて交通量が減少する単調減少の曲線で表現される。対象とする時間帯やランプペアを限定することで、日々観測される需要パターンは一定範囲内に抑えられ、需要曲線のシフトは小さく抑えられる。一方、供給曲線は交通量の増加に対して旅行時間が単調に増加するような曲線で表現される。その切片は直前の混雑状況（旅行時間）に依存して変動するため、同一の時間帯・ランプペアに対しても、日によってその位置が大きくシフトする可能性がある。需要曲線と供給曲線の交点が実際に観測された旅行時間と交通量の組み合わせであると考え、これらの交点を結ぶ曲線は図-1 に示すように需要曲線を表していると考えられる。もし需要曲線のシフトを適切に抑えることができれば、観測データは単調に減少する需要曲線の形状を表し、一般化線形モデルを用いてその形状を推定できる可能性がある。

需要曲線を正確に推定するためには、需要曲線のシフトを抑え、サービスレベルの変化を適切に表現することが重要であると考えられる。本研究の目的は、高速道路の旅行時間と交通量に加え、対象エリアの需要やサービスレベルをより詳しく説明する変数をモデルに加えることで、需要曲線を正確に特定し、一般化線形モデルによる推定精度を向上させるものである。近年一般道路の断面交通量を感知器により観測したデータが公開され、

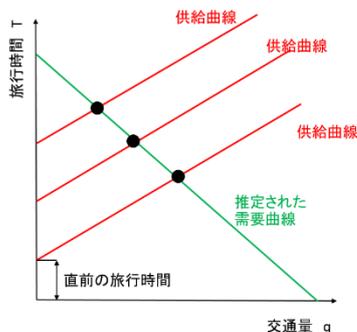


図-1 需要曲線の推定

一般道路の交通量が取得できるようになった。また ETC2.0 データを活用することで、一般道路の旅行時間が取得できるようになった。これらのデータを説明変数に組み込むことの有用性を確かめ、その効果を定量的に検証した後、実際にモデルを構築し精度の評価を行う。

本論文の構成は以下のとおりである。第 2 章は使用データの概要などを述べる。第 3 章はモデル式やパラメータ推定に関して述べる。第 4 章ではパラメータ推定の結果を述べる。第 5 章では結果の考察を述べる。第 6 章では本研究のまとめと今後の課題を述べる。

2. 対象路線、対象期間およびデータの概要

(1) 対象路線

本研究の対象路線は阪神高速道路 3 号神戸線とした。神戸線内でトリップが完結している OD ペアのうち、交通量が東西とも上位であった京橋西宮間（西行）（東行）、生田川西宮間（西行）（東行）の OD ペアを用いた。

(2) データの概要と対象期間

a) ETC-OD データ

ETC-OD データには 15 分単位で集計された高速道路のランプ間 OD 別交通量（以下高速交通量と呼ぶ）と高速道路のランプ間 OD 別旅行時間（以下高速旅行時間と呼ぶ）が含まれている。高速交通量は各時間帯に流入した車両の合計台数とした。高速旅行時間は、異常値の影響を除くため、各時間帯に流入した車両の旅行時間の中央値をとったものとした。

b) 一般道路の断面交通量データ

一般道路の交通量を把握するため、日本道路交通情報センターによって公開されている一般道路の断面交通量データ³⁾を用いた。本データは各感知器で観測された交通量情報が 5 分ごとに集計している。本研究では、東西に走る道路に設置された感知器のみを用いることとする。これは分析対象とする高速道路が東西に走っており、また東西に取得率が高い感知器が多く存在したためである。本研究では東西の道路に設置された感知器のうち取得率が 90% 以上のものを用いる。その感知器の個数は 218 個である。取得率が 90% 以上の感知器のデータにも欠測値が存在するため、欠測値の処理を行う必要がある。その方法は以下の順に行う。

① 感知器を各幹線道路ごとにグループ分けする。

(国道 43 号、国道 2 号 I (岩屋以東)、国道 2 号 II (岩屋～春日野)、国道 2 号 III (春日野以西 (神戸市道梅花浜辺脇浜線経由)、山手幹線東 (王子競技場前以東)、山手幹線西 (王子競技場前以西))

② グループ内で隣接する感知器間の補間。

③ 同感知器で隣接する時間の補間。

②では、各グループ内で隣接する感知器の交通量から線形補間を行う。ただし4連続で欠測のある感知器が存在する場合補間を行わない。補間ができなかった場合、③で同一感知器の欠測のある前後の時間帯から線形補間を行う。ただし4連続時間帯で欠測が存在する場合補間を行わない。以上で補間できない感知器が1つでも存在する日は、分析対象日から除外する。欠測値の処理後の対象エリアの日毎の断面交通量の合計を一般道路エリア交通量（以降、エリア交通量と呼ぶ）とする。

欠測値の処理後のデータを用いて高速道路の代替経路となる一般道路の交通量（一般道路区間交通量と呼ぶ）を求める。その方法は以下の順に行う。

- ① 代替経路を決める。（東から順に国道 43 号、国道 2 号、神戸市道梅花浜辺脇浜線、国道 2 号）
- ② 各感知器別、日、15 分ごとに断面交通量の和を求める。
- ③ 各感知器に走行距離を与える。走行距離は隣り合う感知器の midpoint の距離とする。（図-2を参照）
- ④ 感知器別に求めた断面交通量の和に走行距離を掛け合わせ、感知器別に走行台キロを求める。
- ⑤ 代替経路上の各感知器の走行台キロの和を一般道路区間交通量とする。（ただし単位は台キロである）

c) ETC2.0データ

ETC2.0 データは ETC2.0 のドットデータをマップマッチング処理したもので各車両の軌跡が DRM リンクに結び付けられ、車両、リンクごとに流出入時間、旅行時間が記録されている。これから高速道路の代替経路となる一般道路の旅行時間（一般道路旅行時間と呼ぶ）を算出する。算出方法は以下の通りである。

- ① 代替経路の選定（一般道路区間交通量と同じ方法）
- ② 各 DRM のリンク別、日、15 分ごとに旅行時間を集計する。その際 15 分間に流入した車の旅行時間の中央値をとる。
- ③ 各リンクで求めた旅行時間を足し合わせて、一般道路旅行時間を算出する。

d) 対象期間

本研究では対象期間を 2018 年 4 月 1 日～2019 年 1 月 31 日の 5 : 00～21 : 00 までとした。ただし、災害のあった 2 日間と (6/18, 7/5) と一般道路の断面交通量について欠測値の補間ができなかった 18 日間 (5/20, 9/4, 9/5,



図-2 走行距離の与え方

表-1 全データ間の相関係数

	一般道路区間交通量	エリア交通量	一般道路旅行時間	高速旅行時間
一般道路区間交通量	1.00	0.152	0.348	0.276
エリア交通量	0.152	1.00	0.092	0.010
一般道路旅行時間	0.348	0.092	1.00	0.419
高速旅行時間	0.276	0.010	0.419	1.000

9/20, 9/21, 9/23, 10/5, 10/30, 11/1, 11/25, 11/28, 11/30, 12/3, 12/13, 1/15, 1/17, 1/25, 1/31) の計 20 日間は対象期間から除外した。分析対象日は計 286 日間である。

(3) 各変数間の相関と使用変数の決定

2018 年 4 月～7 月のデータを用いて 2.2 節で述べた各変数について相関関係を調べた結果、本研究では高速交通量、高速旅行時間、エリア交通量を用いた分析を行うこととした。高速旅行時間、エリア交通量以外にも高速道路の代替経路となりうる一般道路交通量や一般道路旅行時間なども高速交通量に影響することが考えられる。しかしながら、全データ間の相関を確認したところ表-1 より多くの組み合わせで強い相関関係がみられた。相関関係のあるものを用いて回帰分析を行うと多重共線性の影響で正しい推定結果が出ない。そこで、本研究では高速旅行時間以外に新たな説明変数を 1 つ追加することによる効果を確かめるため、最も決定係数が 0.01 と小さかった高速旅行時間とエリア交通量のみを説明変数とした。

分析に使用したデータの特徴を概説する。高速交通量の OD 別時間帯別の対象期間の平均の日変動を図-3、図-4 に示す。図-3 より東行の高速交通量は昼間の時間帯に多いことがわかる。図-4 より西行の高速交通量は朝の通勤時間と午後に多いことがわかる。

高速旅行時間の OD 別時間帯別の平均の日変動を図-5、図-6 に示す。図-5 より東行の高速旅行時間は夕方最も長く、昼間の時間帯は概ね一定である。図-6 より西行の高速旅行時間は朝の通勤時間と 10-12 時にかけて長く、午後は概ね一定である。

エリア交通量の全期間の推移を図-7 に、2018 年 4 月 1

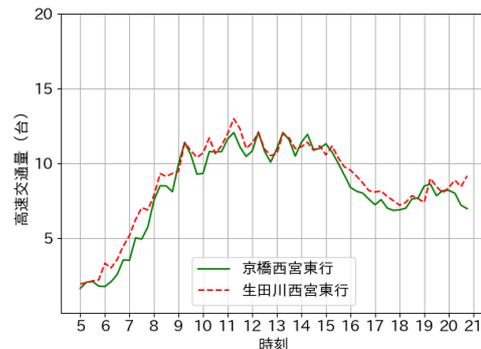


図-3 高速交通量（平均）の日変動（東行）

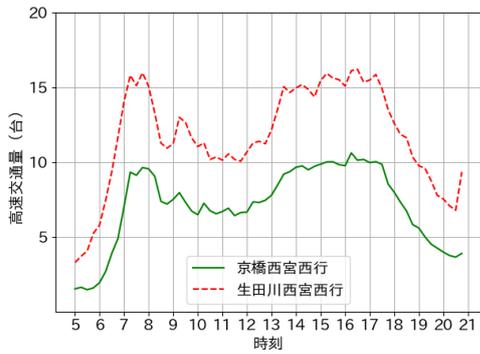


図-4 高速交通量（平均）の日変動（西行）

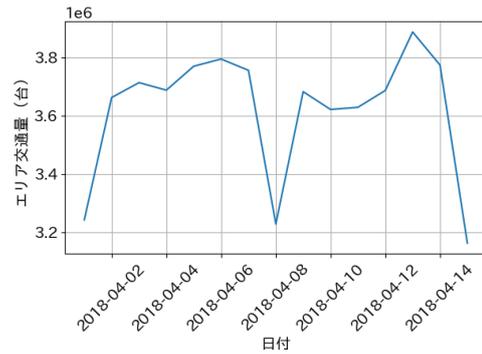


図-8 エリア交通量の推移（2018年4/1～4/15）

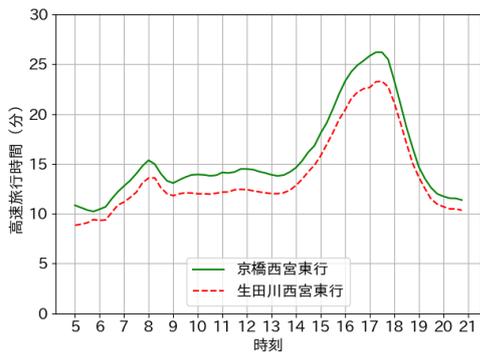


図-5 高速旅行時間（平均）の日変動（東行）

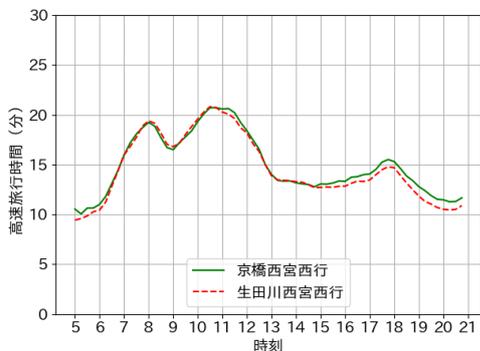


図-6 高速旅行時間（平均）の日変動（西行）

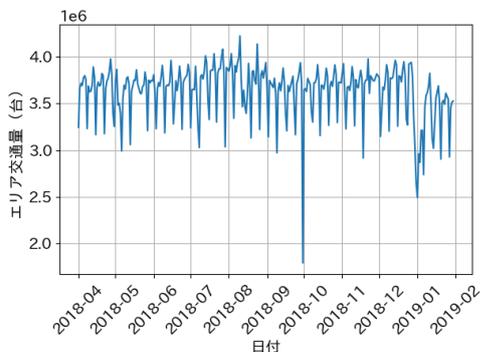


図-7 エリア交通量の推移（全体）

日から 4 月 15 日の間の例を図-8 に示す。平日に交通量が多く、休日（特に日曜日）に交通量が少ないことがわかる。

3. 高速交通量モデル

(1) 高速交通量モデルの定式化

本研究では、高速交通量は期待交通量を母数とするポアソン分布に従う確率モデルであると考え、あるランプ間 OD ペア i について、その交通量と旅行時間を、各対象日 k におけるランプ流入時間帯時刻 t を基準として計算する。時間帯の幅は 15 分とする。OD ペア i 、対象日 k の流入時間帯 t の高速旅行時間を T_{ikt} (min) で表す。対象エリアの対象日 k におけるエリア交通量を q_k (台) とする。期待交通量 (λ_{ikt}) を被説明変数とし、説明変数を高速旅行時間とエリア交通量とする。これらの関係を

$$\lambda_{ikt} = \exp(v_{it} + \alpha_{it}T_{ikt} + \beta_{it}q_k + \log \varepsilon_{ikt}) \quad (1)$$

v_{it} : 定数項

ε_{ikt} : 誤差項

α_{it}, β_{it} : パラメータ

で示す。ただし ε_{ikt} は γ 分布に従う誤差とする。OD ペア i 、対象日 k の流入時間帯 t の高速交通量 Q_{ikt} (台) は

$$Q_{ikt} \sim P_0(\lambda_{ikt}) \quad (2)$$

$P_0(a)$: a を期待値とするポアソン分布

と表せる。 ε_{ikt} が γ 分布に従うとき Q_{ikt} は負の二項分布に従うことが分かっている¹⁴⁾。負の二項分布は期待値と分散を示すことにより特定できる。分散は

$$V = \mu + \frac{\mu^2}{\theta} \quad (3)$$

で表せる。 μ は期待値である。 θ を無限大にすると $V = \mu$ となり、負の二項分布はポアソン分布に近づく。

エリア交通量の有無によるモデルの精度の比較を行うため、説明変数が旅行時間のみとするモデルを作成する。高速交通量の期待値 (λ'_{ikt}) は

$$\lambda'_{ikt} = \exp(v'_{it} + \alpha'_{it}T_{ikt} + \log \varepsilon'_{ikt}) \quad (4)$$

v'_{it} : 定数項
 ε'_{ikt} : 誤差項
 α'_{it} : パラメータ

と表せる。ただし ε'_{ikt} は γ 分布に従う誤差とする。高速交通量 Q_{ikt} (台)は

$$P_0(a) : a \text{ を期待値とするポアソン分布} \quad (5)$$

と表せる。式(1)の高速旅行時間が1分増加した際に減少する期待交通量の割合は

$$\frac{\exp(v_{it} + \alpha_{it}T_{ikt} + \beta_{it}q_k + \varepsilon_{ikt}) - \exp(v_{it} + \alpha_{it}(T_{ikt} + 1) + \beta_{it}q_k + \varepsilon_{ikt})}{\exp(v_{it} + \alpha_{it}T_{ikt} + \beta_{it}q_k + \varepsilon_{ikt})} = 1 - e^{-\alpha_{it}} \quad (6)$$

のように表せる。式(6)の α_{it} が微小の時、テーラー展開を用いて近似すると高速旅行時間が1分増加した際に増加する期待交通量の割合は

$$1 - e^{-\alpha_{it}} = 1 - \left(1 + \alpha_{it} + \frac{\alpha_{it}^2}{2!} + \frac{\alpha_{it}^3}{3!} + \dots\right) \cong -\alpha_{it} \quad (7)$$

と表せる。式(4)も同様に近似できる。 α_{it} 、 α'_{it} は1分増加したときに減少(または増加)する高速交通量の割合を示し、以下旅行時間係数と呼ぶ。 β_{it} に関しても同様にするとうり交通量が1台増加したときに増加(または減少)する高速交通量の割合を示すことができ、これを以下エリア交通量係数と呼ぶ。

(2) パラメータ推定

各モデルのパラメータ推定方法について説明する。各モデルともに最尤推定法によりパラメータを推定する。本研究ではR⁵のMASS[®]パッケージに含まれるglm.nbを用いてパラメータ推定を行う。ODペア*i*対象日*k*時間帯*t*の交通量が0の場合、旅行時間は存在しないことになる。その場合は、ODペア*i*対象日*k*時間帯*t*のデータが無いものとして推定を行う。AICはモデルの予測精度を表す指数であり、AICがより小さいほうが精度の高いモデルである。 θ とは式(3)で示した θ のことで、 θ の値が大きくなれば $V = \mu$ となりポアソン分布に近づく。負の二項分布がポアソン分布に近づくということは各モデルの誤差項が小さくなり説明変数で被説明変数をより効果的に説明できていると言える。

4. 結果

各モデルを用いた負の二項回帰の結果を示す。誤差棒は各時間帯の土標準誤差の範囲を示している。ODペア、時間帯ごとのサンプル数を図-9に示す。早朝の時間帯は欠測値が補間できない日が多く、データ数が少ない傾

向がある。旅行時間係数(α_{it} , α'_{it})の推移をODペア、モデルごとに図-10~図-17に示す。東行は午前中に正の旅行時間係数となる場合が多く、午後は負の旅行時間係数となっている。午前中は標準誤差が大きく午後になるにつれて小さくなっている。一方西行は一日を通して負の旅行時間係数をとることが多く、標準誤差は小さい。また、東行西行どちらも旅行時間のみを説明変数とした式(5)よりも旅行時間とエリア交通量を説明変数とした式(2)の旅行時間係数の値の方が概ね小さくなっている。

エリア交通量係数(β_{it})の推移をODペアごとに図-18~図-21に示す。エリア交通量係数は早朝の時間帯を除いて正のエリア交通量係数をとる。東行は午前中に大きい値をとる。西行は朝の通勤時間帯にピークとなりそれ以降の午前中の時間帯に小さい値をとる。早朝の時間帯を除き標準誤差は概ね一定で小さい値をとる。

AICと θ の比較を行う。高速旅行時間とエリア交通量を説明変数としたモデルのAICをAIC1、旅行時間のみを説明変数としたモデルのAICをAIC2とし、AIC1/AIC2を求めることにより比較をしている。一方 θ はODペアごとに θ の逆数をとることで比較する。AIC1/AIC2のODペア別推移を図-22、図-23に、 θ の逆数のODペア別モデル別の推移を図-24、図-25に示す。AIC1/AIC2は大部分の時間帯で1より小さい値をとっている、すなわちAIC1がAIC2より小さくなっており、旅行時間とエリア交通量を説明変数としたモデルの精度が高くなっている。一方 $1/\theta$ は旅行時間とエリア交通量を説明変数としたモデルの方が旅行時間のみを説明変数としたモデルよりも小さくなっていた。このことから旅行時間とエリア交通量を説明変数としたモデルの方が θ の値が大きくなっていると言える。

5. 考察

結果の考察を述べる。旅行時間係数は正に出た時間帯と負に出た時間帯があった。旅行時間係数が負となった時間に関して、東行は概ね-0.02~-0.06程度、西行は-0.02~-0.04程度であった。これより、東行は高速旅行時

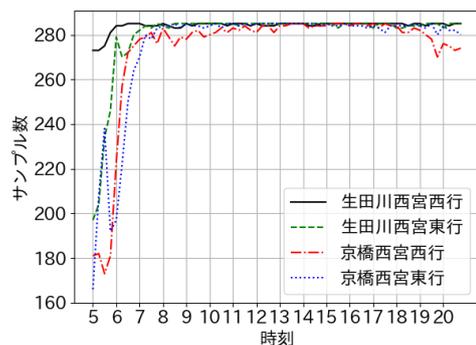


図-9 時間帯毎のサンプル数

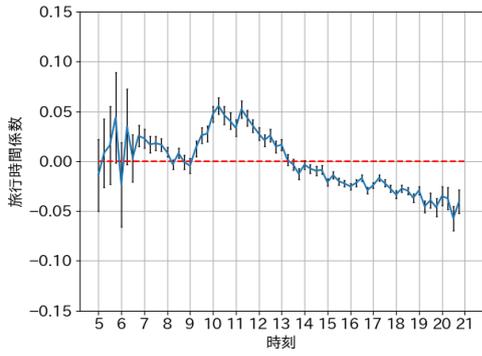


図-10 京橋西宮東行 旅行時間係数 (旅行時間のみ)

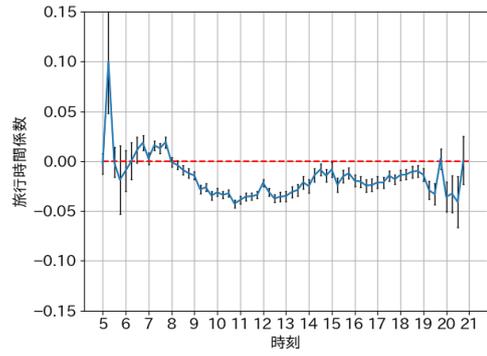


図-14 京橋西宮西行 旅行時間係数 (旅行時間のみ)

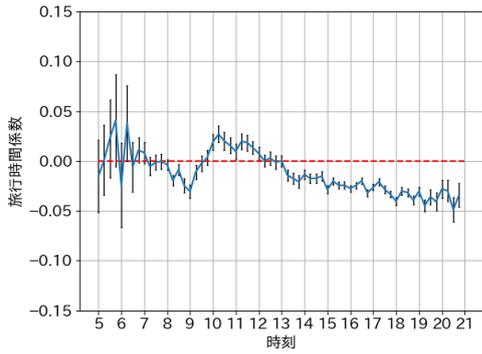


図-11 京橋西宮東行 旅行時間係数
(旅行時間+エリア交通量)

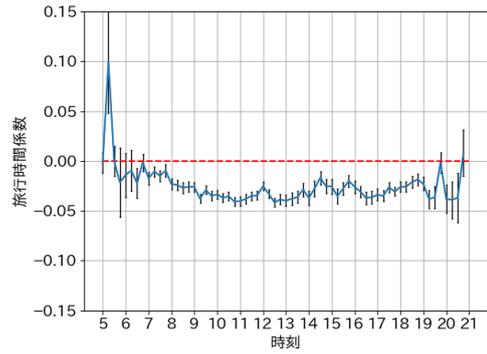


図-15 京橋西宮西行 旅行時間係数
(旅行時間+エリア交通量)

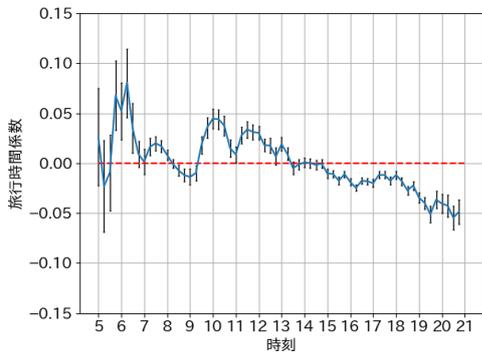


図-12 生田川西宮東行 旅行時間係数(旅行時間のみ)

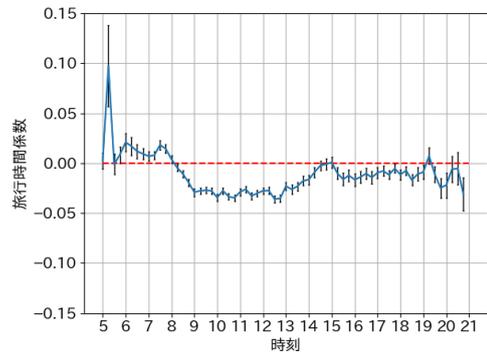


図-16 生田川西宮西行 旅行時間係数(旅行時間のみ)

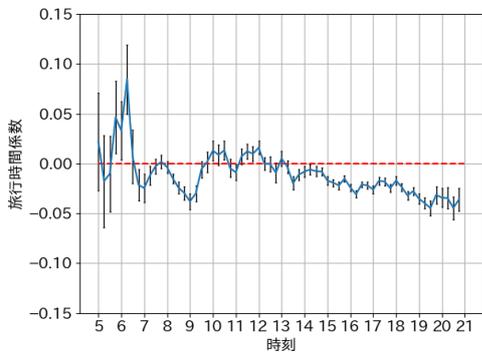


図-13 生田川西宮東行 旅行時間係数
(旅行時間+エリア交通量)

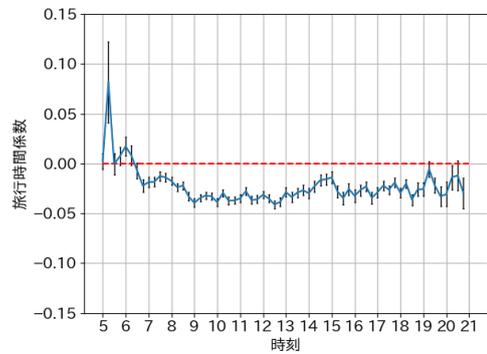


図-17 生田川西宮西行 旅行時間係数
(旅行時間+エリア交通量)

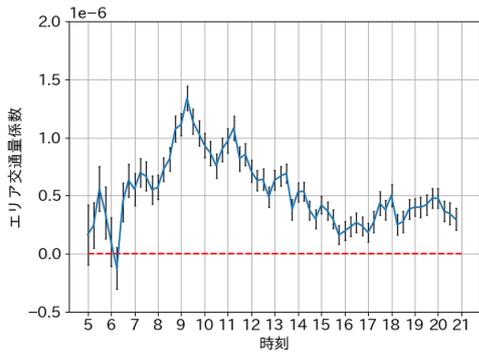


図-18 京橋西宮東行 エリア交通量係数

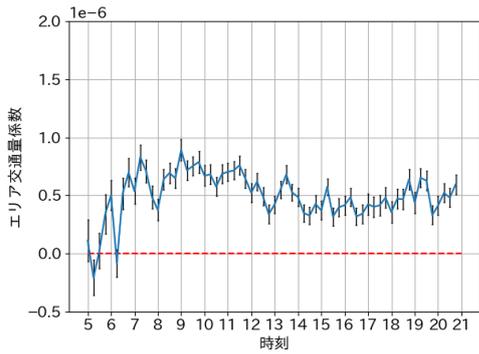


図-19 生田川西宮東行 エリア交通量係数

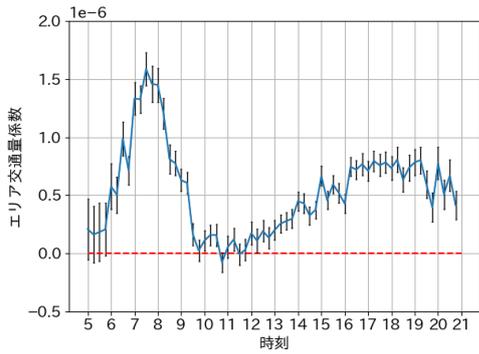


図-20 京橋西宮西行 エリア交通量係数

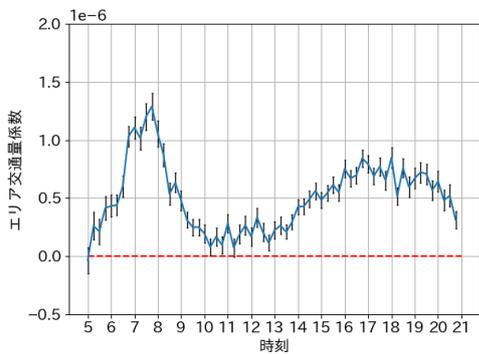


図-21 生田川西宮西行 エリア交通量係数

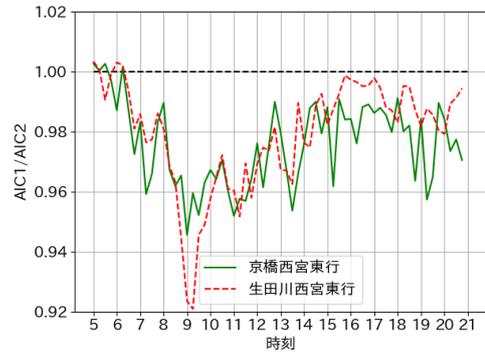


図-22 東行 AIC1/AIC2 の推移

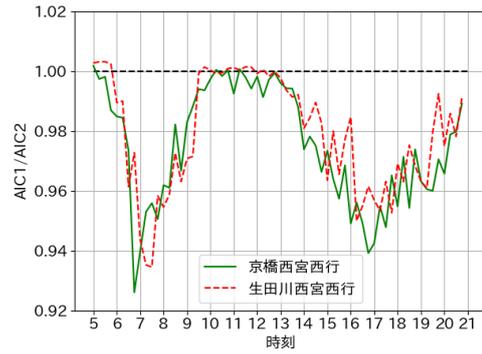


図-23 西行 AIC1/AIC2 の推移

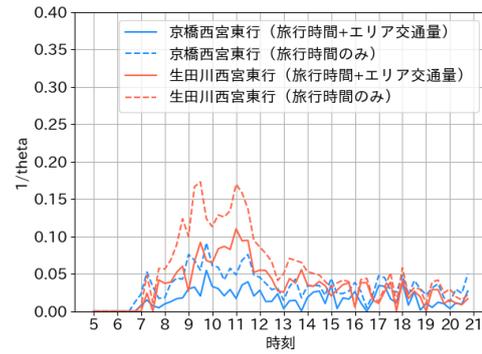


図-24 東行 theta の逆数の推移

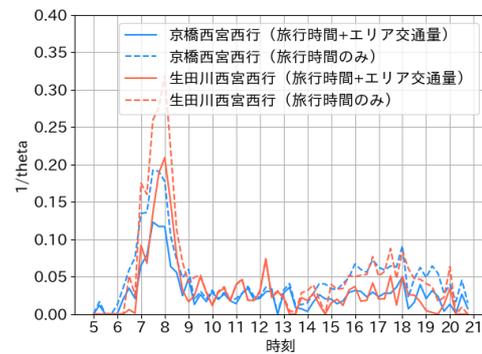


図-25 西行 theta の逆数の推移

間が1分増加すると高速交通量が2~6%程度減少し、西行は高速旅行時間が1分増加すると高速交通量が2~4%程度減少することが分かる。このように旅行時間係数が負となった時間帯については、需要曲線側の関係を正しく特定できていると考えられる。一方、旅行時間係数が正に出ている時間帯は本研究の仮説に沿わない結果となっており、推定誤差も大きい。その原因として、旅行時間係数が正に出ている時間帯の旅行時間では混雑が発生しておらず、供給曲線のシフトが抑制されたことにより、観測データの組み合わせが需要曲線の形状を表していなかったことが考えられる。このように混雑した状況の観測データが十分得られない時間帯については、需要曲線の形状を推定できない可能性がある。

エリア交通量係数に関しては、大部分の時間帯で正に出ている。負に出ている時間帯は概ね有意でなかった。エリア交通量が正に出るといったことはエリア交通量が増加すると高速交通量が増加することを意味する。西行の朝の通勤時間帯のように、エリア交通量係数が大きくなっている時間帯では、エリア交通量が高速交通量に与える影響が大きく、説明変数を加えることで需要曲線のシフトを適切に吸収できていると考えられる。

AIC と θ について述べる。AIC は高速旅行時間とエリア交通量を説明変数としたモデルの方が旅行時間のみを説明変数としたモデルよりも小さくなっていた。AIC が小さいとモデルの精度がよくなっていると言えるのでエリア交通量を説明変数に加えることでモデルの精度が向上したと言える。AIC があまり変化しなかった時間帯（西行の10-13時台）はエリア交通量を説明変数に追加してもモデルの精度が向上していない。この時間帯の旅行時間は長くなっており混雑が発生している。よって混雑が発生している時間帯は旅行時間の影響が卓越しており、エリア交通量はほぼ影響していないといえる。このことから、混雑が発生している時間帯の高速交通量は、旅行時間のみで概ね説明できると言える。一方、混雑していない時間帯はエリア交通量を説明変数に加えることによりモデルの精度が向上している。 θ は高速旅行時間とエリア交通量を説明変数としたモデルの方が旅行時間のみを説明変数としたモデルよりも大きくなっていた。よって説明変数で被説明変数をより正確に説明できていると言える。西行の7-8時台の θ は他の時間帯の θ と比べてどちらのモデルもかなり小さい値となっており、このことから高速旅行時間が増加すると高速交通量が減少するという関係以外のものが大きくかかわっていることが考えられる。AIC と θ の比較によりエリア交通量を説明変数に加えることでモデルの精度は向上した。

6. まとめと今後の課題

本研究ではいくつかの OD ペアで高速交通量と高速旅行時間とエリア交通量の関係を分析し、エリア交通量を新たに説明変数に加えることによるモデルの精度の検証を行った。その結果、高速交通量と高速旅行時間には概ね負の相関があること、高速交通量とエリア交通量には概ね正の相関があることを確認した。エリア交通量を説明変数に追加することで、AIC、 θ ともに向上した。AIC があまり向上しなかった時間帯は渋滞が頻繁に発生している時間であり、そのような時間帯は旅行時間の影響が需要レベルの変動を卓越していることが考えられる。早朝のように、渋滞が立ち上がりが多く観測される時間帯は、旅行時間が増加すると交通量が減少するという意思決定的な相関関係よりも、交通量が増えることにより旅行時間が増えるという物理現象的な影響が大きいことが予想される。

本研究では高速旅行時間とエリア交通量を説明変数として高速交通量との相関分析を行った。説明変数は2.3節で検討したもの以外にも、例えばネットワークの形状や一般道路との位置関係に関する変数の追加が考えられる。本研究の対象区間では高速道路と一般道路が並走していたため、これらの変数は必ずしも必要でなかったが、対象を一般的な高速道路ネットワークへと拡張する場合、一般道路から高速道路へのアクセス性に関する情報は有用な説明変数となろう。今後、更なる有用な説明変数の追加等によりモデルの精度を向上させることで、より正確な需要変動が把握できるようになり、都市高速道路のより効率的なマネジメントにつながるであろう。

参考文献

- 1) 飯山恭介, 高山純一: 高速道路における交通量変動特性の統計分析, 高速道路と自動車, Vol.24, No.12, pp.22-32, 1981.
- 2) 村上康紀, 吉井稔雄, 桑原雅夫: 都市高速道路における OD 交通量の日変動に関する研究, 土木計画学研究・講演集, Vol.22, No.22, pp.251-254, 1999.
- 3) 田中芳和, 小根山裕之, 桑原雅夫, 村上康紀, 赤羽弘和, 井上浩: 首都高速道路における OD 交通量の日変動に関する研究, 交通工学, Vol.36, No.1, pp.49-58, 2001.
- 4) 井料隆雅, 岩谷愛理, 朝倉康夫: 都市高速道路における時間帯別流入交通量の週変動分析, 第27回交通工学研究発表会論文報告集, pp.173-176, 2007
- 5) 金進英, 宇野信宏, 倉内文孝, 吉村敏志, 萩原武司: 阪神高速道路における時間帯別ランプ間 OD 交通量の変動分析, 土木計画学研究・講演集, Vol.39, CD-ROM, 2009.
- 6) 西内裕晶, Miska, M., 桑原雅夫, 割田博: 観測時間の集約と OD 交通量の分布形に関する基礎的研究, 土木

- 計画学研究・講演集, Vol.41, CD-ROM, 2010.
- 7) 小池真実, 井料隆雅, 朝倉康夫: 都市高速道路におけるランプ間交通量の短時間変動分析, 土木計画学研究・講演集, Vol.42, CD-ROM, 2010.
- 8) 小篠耕平, 井料隆雅, 朝倉康夫: ETC-ODデータを用いた潜在ランプ間 OD 交通量の推定, 土木計画学研究・講演集, Vol.49, CD-ROM, 2014.
- 9) 中田諒, 安田昌平, 井料隆雅: 実データを基にした交通流シミュレーションによる高速道路上の突発事象マネジメントの評価, 土木計画学研究・講演集, Vol.47, CD-ROM, 2013.
- 10) 小篠耕平, 井料隆雅, 上田大樹: 検知器データを用いた突発事象発生時の流入交通量変動の可視化分析, 第 32 回交通工学研究発表会論文集, CD-ROM, 2012.
- 11) Iryo, T., Inoue, K., Tohyama, T., and Asakura, Y.: Time Dependent Correlations Between Travel Time and Traffic Volume on Expressways. Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.6, pp. 1557-1569, 2005.
- 12) 上田大樹, 井料隆雅, 朝倉康夫: 都市高速道路のランプ間 OD 交通量に旅行時間が与える影響の実証分析, 第 31 回交通工学研究発表会論文集, CD-ROM, 2011.
- 13) 公益財団法人日本道路交通情報センター: 一般道路の「断面交通量情報」, <http://public-data.jartic-raws.durasite.net/opendata.html>, (2019年8月30日閲覧)
- 14) 南美穂子, Lennert-Cody, C. E.: ゼロの多いデータの解析: 負の 2 項回帰モデルによる傾向の過大推定, 統計数理, Vol. 61, No.2, pp.271-287, 2013.
- 15) R Core Team: R: A language and environment for statistical computing., R Foundation for Statistical Computing, 2018.
- 16) W.N. Venables and B. D. Ripley: Modern Applied Statistics with S Fourth Edition, Springer, New York, 2002.

(2020.3.8 受付)

DEMAND FLUCTUATION MODEL OF URBAN EXPRESSWAY WITH USING NEGATIVE BINOMINAL REGRESSION

Shohei YASUDA, Kenji IKEDA, Takamasa IRYO and Masaaki ISHIHARA

Analyzing day-to-day and within-day changes of ramp-to-ramp traffic volume on an urban expressway are important for efficient operation and management of the road. A data-oriented approach is proposed in this study to estimate day-to-day and within-day changes of ramp-to-ramp traffic volume using three types of traffic data: ramp-to-ramp traffic volume, travel time between ramps, and section traffic volume data of arterial roads. We constructed a generalized linear model to describe the ramp-to-ramp traffic volume of a certain time slot whose duration is several minutes. The expected value of the negative binomial model is formulated using explanatory variables including travel time of the corresponding ramp-to-ramp pair and arterial traffic volume data obtained by traffic detectors. The accuracy of the results of the model constructed in this study is improved compared to the results of the conventional model by adding to the model a value that captures fluctuations in daily traffic demand levels.