

ETC-ODデータを用いた首都高速道路におけるランプ間OD交通量の変動特性分析*

An Analysis of OD Traffic Volume Variation on Tokyo Metropolitan Expressway using ETC-OD Data*

西内裕晶**・吉井稔雄***・桑原雅夫****・Marc MISKA*****・割田博*****

By Hiroaki NISHIUCHI**・Toshio YOSHII***・Masao KUWAHARA****・Marc MISKA*****・Hiroshi WARITA*****

1. はじめに

交通渋滞は依然として解決すべき課題である。例えば首都高速道路では、動的な交通運用・制御を目指してリアルタイム交通流シミュレーションの開発¹⁾が行われている。そのシミュレーションの出力の予測精度を高めるためには、OD(Origin-Destination)交通量の精度を上げることも必要である。よって、これまでのようなある1日を代表するOD交通量データではなく、時々刻々と変動する時間帯別OD交通量データから、その変動特性を捉えることが必要である。しかしながら、これまでは、OD交通量データの取得自体が困難であり、OD交通量の変動特性に関する研究は少ないのが現状である。

一方で、ETCサービスが高速道路の料金支払いの新たな手段として開始され、その後の利用率増加に伴い、高速道路内のみではあるものの、長期的で大規模に観測されたランプ間OD交通量データを取得し、それを統計的に解析することが可能となった。そこで西内ら²⁾は、首都高速道路のETCデータより30分ランプ間OD交通量データを用いて、首都高速道路4号新宿線上り方向を起点とするOD交通量の時間的・空間的な相関性について分析し、出口の路線が同一なODペア同士において高い相関性があることなどを確認している。さらに、横田ら³⁾は、阪神高速道路における大型車のETCデータを用いて大型車のOD交通量に関して、時間的・空間的に変動を解析している。

ここで、秋元ら⁴⁾は、首都高速道路におけるETC利用者のランプ選択行動分析を行い、高頻度利用者は、首都高速道路内の交通状況の変化と共に、普段利用する入口とは異なる隣接する入口を利用している可能性を示している。このような利用者の高速道路利用特性は、ある時

間単位で集計されたOD交通量データにも影響を及ぼしている可能性がある。例えば通勤などで、いつも同一の入口・時間帯に利用している利用者が多く占めているようであれば、ある短い時間単位で集計されたOD交通量データを長い時間単位に集計し直すことで、OD交通量データの変動は小さくなるはずである。一方で、OD交通量が日々・時々刻々と大きく変動しているのであれば、その変動は集計時間単位の増加とともに増加することが予想される。しかしながら、前述の通り、これまでOD交通量の蓄積データを用いることによるOD交通量の変動特性に関する研究は少ないのが実情であり、実際にOD交通量の日変動や、ある時間帯におけるばらつきによる変動(以下、時間内変動)に着目したOD交通量の変動分析はなされていないのが現状である。

そこで本研究では、首都高速道路のETC-ODデータを用いて、あるODペアが持つ日変動と時間内変動の特性を明らかにする。具体的には、まず、解析に用いる5分間OD交通量データの発生分布がポアソン分布に従っているかどうかを確認する。その後、分散分析で要因間の違いを示す指標である級間分散とデータが持つ誤差変動を示す級内分散を用いて、各ODペアが持つOD交通量の日変動とある時間内の変動がどの程度であるのかについて把握し、両変動指標の関係を分析する。これらの分析結果から、今後、リアルタイム交通流シミュレーションをはじめとする動的な交通運用・管理に対してOD交通量をどのように取り扱うべきかについて考察を行う。

2. 既存の研究

OD交通量の変動に関する既存の研究は、そのデータの観測が困難なことから、少ないのが現状である。また、高速道路内の流入交通量の変動特性に関しては多くの知見が得られているものの、ランプ間OD交通量そのものに関しては、得られるデータが限られており、その知見も少ないのが現状である。よって、多くの研究成果は、リンク交通量や流入交通量の変動について分析している。例えば、Rakha⁵⁾らは、フロリダ州のI-4Freeway上の16km区間内にある25個の車両感知器から得られる区間交通量データを用いて、時間的・空間的な交通量変動特性を分

*キーワード：ETC-ODデータ、OD交通量、交通管理

** 正会員、博(工)、日本大学理工学部社会交通工学科

(千葉県船橋市習志野台7-24-1 744教室、TEL& FAX 047-469-5219, E-mail nishiuchi.hiroaki@nihon-u.ac.jp)

*** 正会員、博(工)、愛媛大学大学院理工学研究科生産環境工学専攻

**** 正会員、Ph. D、東北大学大学院情報科学研究科

***** 正会員、Ph. D、東京大学生産技術研究所

***** 正会員、博(工)、首都高速道路株式会社

析している。その結果、月曜日と金曜日の交通量変動は、水曜日から木曜日までのそれとは統計的に異なることを分散分析を用いて明らかにしている。同様な解析をStathopoulos⁹⁾らは、ギリシャ・アテネ市内の140箇所に設置されている車両感知器データから得られる交通量データを用いて、その時間的・空間的な変動特性を分析している。一方で、Weijemars⁷⁾らは、オランダのHighway A50に設置されている車両感知器データから得られる交通量の時系列データをクラスター分析によりパターン化し、日変動・時間変動特性の解析を行っている。その結果、前述のRakhaら⁵⁾の研究のように、月曜日から木曜日、金曜日、休日で交通量変動特性を区別できることを確認している。流入交通量データを用いた変動解析に関して飯田ら⁸⁾は、複数の都市間高速道路のインターチェンジにおける流入流出交通量データを1年分用いて、統計的手法により、交通量の月間変動、週間変動、曜日変動を変動要因として取り上げ、分散分析によりその要因の影響の大きさを解析している。また、曜日変動の著しいインターチェンジでは7日の周期性が明確にあることを確認し、また、交通量データの χ^2 検定により、交通量変動がほぼ正規分布に従うことを確認している。さらに、平均値と分散の間に指数関係が成立することを解明している。また、井料ら⁹⁾は、阪神高速道路の入口において観測される流入交通量データを用いて、時間帯別交通量の変動を時系列モデルを用いて実証的に分析している。モデルは、長期変動成分と短期変動成分に分類し、短期変動成分の標準偏差はその平均交通量と強い相関関係があることを確認し、それにより交通量の短期的な変動はその入口を利用する交通量の平均的な量のみ依存するモデルで記述できることを考察している。稲田ら¹⁰⁾は、阪神高速道路の流入交通量データを用いて、交通量を確率的に捉えるために、交通量の分布形についてK-S検定により正規性を分析している。その結果、交通量分布は、正規分布に比較的従いやすいことを確認し、交通量は、時間帯別に確率論的な指標として取り扱うことができることを確認している。

ここで、村上ら¹¹⁾は、流入交通量を予め得られた起終点調査のOD分布率を用いて、曜日の違いによるランプ間OD交通量の変動特性について解析している。しかしながら、ある1日の代表値である起終点調査のOD分布率を用いた知見であり、そこには利用者の目的地の選択率は常に一定であるという仮説に基づいて解析がなされている。ここで田中ら¹²⁾は、首都高速道路の出入口においてナンバープレートマッチングによって得られたランプ間OD交通量データを用いてその変動特性を解析している。その中で、平均ランプ間OD交通量とそれを標準偏差で割った変動係数の関係を分析し、両者が指数関数にて近似できることを確認している。しかしながら、ナン

バープレートマッチングによって得られたデータであることから、限られたODペアのみの観測データである点、またナンバープレートマッチングに誤差が生じる点などに問題点があった。

一方で、前章でも述べたように、近年ではETCからランプ間OD交通量のデータを蓄積することが可能となっており、それを用いてランプ間OD交通量の変動に関する研究もなされてきている。特に金¹³⁾らは、阪神高速道路のETCデータを用いて、動的なランプ間OD交通量を推定し、その推定結果に基づいて日・時間変動の特性について整理している。また横田ら³⁾は、阪神高速道路のETCデータを用いて、大型車に着目したランプ間OD交通量の変動特性について明らかにしている。また、それを予測する手法を提案している。しかしながら、横田らの研究は、大型車のみに着目しており、限られたサンプルのランプ間OD交通量の変動特性に関する知見である。よって、これまでの研究成果には、本研究のようにランプ間OD交通量の日・時間帯変動特性を用いてODペアが持つ変動特性を明らかにした知見はないのが現状である。

これらを明らかにすることにより、どのODペアに対して特に変動を考慮すべきか否か等、前章で述べた都市内高速道路におけるリアルタイム交通流シミュレーションや動的な交通運用・管理のためのOD交通量変動特性の基礎的な知見を得ることとする。

3. ETC-ODデータと分析対象路線

本研究で用いたETC-ODデータは、首都高速道路におけるある入口から5分間に発生した5分間ランプ間OD交通量データ(以下、OD交通量)である。詳細なデータの取得状況は以下に示す通り、2006年6月26日～2007年3月23日の間で欠損日を除く平日169日間である。分析の対象とした時間帯は午前7時から午後7時までの12時間である。

- ・ データ取得期間：2006年6月26日～2007年3月23日の
平日169日間(データ欠損日は除く)
- ・ 分析対象時間帯：7時～19時(12時間)
- ・ 交通量集計単位：5分間
- ・ 交通量：データ取得中の対象時間帯(144時間帯)のうち1つの時間帯で1台以上OD交通量が発生したODペア

本研究では、図－1に示す首都高速道路の東京料金圏内の5路線(3号渋谷線、4号新宿線、7号小松川線、湾岸線、都心環状線)を対象に分析を行う。これらの路線は、過去の首都高速道路交通調査を参考にして、他の路線に比べて利用交通量が多い路線(都心環状線、湾岸(東京)線)や渋滞量が多くNEXCOの高速道路から首都高速

道路へ入る路線(3号新宿線, 4号新宿線), 別途ETC-ODデータで確認した平均5分間OD交通量が高かった路線(7号小松川線)から抽出されたものである。なお, 上述の定義(データ取得期間(169日)の対象時間帯(144時間帯)のうち1時間帯でも1台以上OD交通量が発生)に基づいて抽出されたODペア数は870ODペアである。よって, それ以外のODペアのデータ取得期間中のOD交通量は0台である。本研究では, 後述するような分散などの統計量でOD交通量の変動を解析するため, OD交通量が発生しなかったODペアについては対象から除外した。図-2には, 対象とした870ODペアの平均5分間OD交通量を高い順から並べた際の分布を示している。図-2より, 対象としたODペアの80%程度(753 ODペア)は平均5分間OD交通量が1台未満であった。残りの17%(117 ODペア)は平均5分間OD交通量が1台以上であった。ここで, 144の全ての時間帯でコンスタントにOD交通量が発生しているODペアを本稿では比較的交通量水準が高いODペアとして捉えることとする。

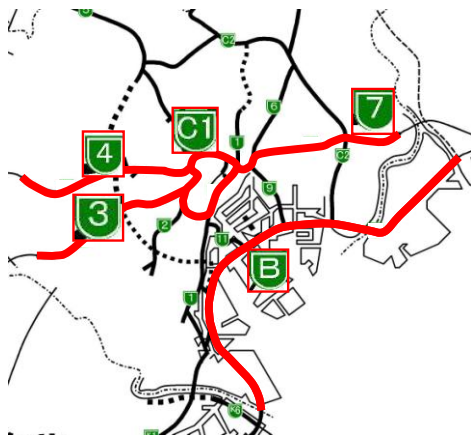


図-1 分析対象路線

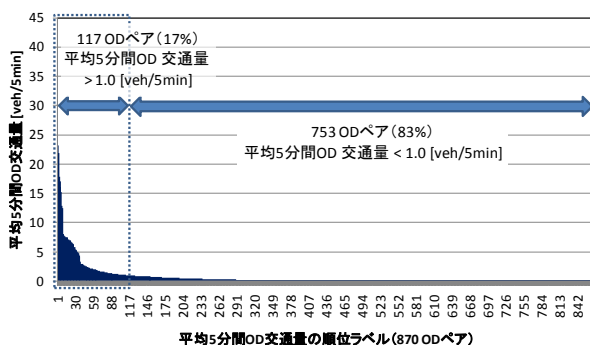


図-2 平均5分間OD交通量分布

4. 同一曜日同一時間帯におけるOD交通量発生の独立性

(1) 5分間OD交通量の分布に関する仮説

ここでは, 5分間OD交通量を用いて, 「特定の同一曜日および同一時間帯におけるOD交通の発生は, 同時

間帯における1時間平均OD交通量を平均発生レートとするポアソン分布に従う。」との仮説の検証を行う。

上記仮説が正しいとするとOD交通量は, 式(1)に示すポアソン分布に従ってランダムに出現していることを意味している。ただし, 本研究では, $\lambda > 5$ の場合には正規分布と見なすものとする。

$$P(Q=q) = \frac{\lambda^q}{q!} e^{-\lambda} \quad (1)$$

$$\lambda = \mu_{rs}^5(d, h) \quad (2)$$

$$\mu_{rs}^5(d, h) = \frac{1}{12k} \sum_{m=1}^k \sum_{l=1}^{12} q_{rs}^5(d, h, m, l) \quad (3)$$

ここで,

$\mu_{rs}^5(d, h)$: 起点 r , 終点 s とする, 曜日 d で時間帯 h の5分間平均OD交通量

$q_{rs}^5(d, h, m, l)$: 起点 r , 終点 s とする, 曜日 d で時間帯 h のうち, m 番目観測日における l 番目の5分間OD観測交通量

これによる期待度数分布と観測度数分布の適合性について, 式(4)に示すような χ^2 検定量を用いて検定する。

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^h \frac{(f_i - np_i)^2}{np_i} \quad (4)$$

ここで,

n : 観測数

p_i : 階級 i に属する観測データの出現期待確率

f_i : 階級 i に属する観測データの観測度数

(2) 適合度の検定結果

ここでは, 分析対象の870ODペアの5分間OD交通量を用いて, 曜日別・時間帯別に行った適合度の検定結果を示す。表-1には, 有意水準5%で検定した結果, ポアソン分布に従っていないとはいえないODペア数を示し, 表-2には, ポアソン分布に従っていないといえるODペア数を示している。この結果から, 特定の時間帯における各観測日のOD交通発生の独立性はODペアや時間帯によって差があることが示された。すなわち, あるODペアでは, 5分間に発生するOD交通量がランダムに発生している時間帯も存在するが, 渋滞状況や事故の発生状況等の道路上の交通状況により他のODペアと相関性を持ちながら交通量が発生している時間帯も存在し得ることが考えられる。そこで本研究では, 分散分析で用いられる級内分散と級間分散を用いて, ある時間帯の日変動ならびにその時間帯内のOD交通量の変動について各ODペアが持つ変動特性を示すこととする。

表－１ ポアソン分布に従っていないとはいえない

OD ペア数

	月	火	水	木	金
07:00-08:00	320	308	328	314	319
08:00-09:00	364	351	358	343	354
09:00-10:00	352	372	378	361	363
10:00-11:00	371	356	368	366	364
11:00-12:00	351	368	349	343	361
12:00-13:00	349	364	367	360	354
13:00-14:00	409	405	393	385	384
14:00-15:00	410	409	401	394	393
15:00-16:00	380	385	387	361	379
16:00-17:00	360	357	384	348	349
17:00-18:00	332	343	342	320	316
18:00-19:00	310	294	306	288	291

表－２ ポアソン分布に従っていないといえる

OD ペア数

	月	火	水	木	金
07:00-08:00	550	562	542	556	551
08:00-09:00	506	519	512	527	516
09:00-10:00	518	498	492	509	507
10:00-11:00	499	514	502	504	506
11:00-12:00	519	502	521	527	509
12:00-13:00	521	506	503	510	516
13:00-14:00	461	465	477	485	486
14:00-15:00	460	461	469	476	477
15:00-16:00	490	485	483	509	491
16:00-17:00	510	513	486	522	521
17:00-18:00	538	527	528	550	554
18:00-19:00	560	576	564	582	579

5. OD交通量データの日・時間帯変動特性分析

(1) OD交通量の日・時間内変動の分析概要

ここでは、OD 交通量の日変動と時間内変動について、分散分析で使用する級間分散と級内分散を計算し、それを比較する。具体的には、分散分析で用いられる級間分散を日の違いによる OD 交通量の変動とし、級内分散をある時間帯におけるばらつきによる OD 交通量の変動の大きさを示す指標として計算するものである。また本研究では、その変動特性を OD ペアの入口・出口の配置パターンによる分類を試みる。これは、首都高速道路の交通状況は交通事故や需要超過による交通渋滞が発生しており、OD ペアの入口・出口の位置によっては、それらが季節や曜日変動よりも大きな変動要因となっていると考えたからである。入口・出口の分類の定義は以下の通りである。これは、NEXCO から(～)流入(流出)する交通量水準が大きい OD ペアとそれ以外を分類する形で 7 つの OD ペアグループを定義した。

<入口・出口の配置パターンの分類>

- a) 首都高速道路内 → 首都高速道路内
- b) 首都高速道路内(流出本線料金所と同じ路線の入口) → 首都高速道路外
- c) 首都高速道路内(流出本線料金所と異なる路線の入口) → 首都高速道路外

d) 首都高速道路外

→ 首都高速道路内(流入本線料金所と同じ路線の出口)

e) 首都高速道路外

→ 首都高速道路内(流入本線料金所と異なる路線の出口)

f) 首都高速道路外 → 首都高速道路外

g) 大井本線料金所 → 首都高速道路内外

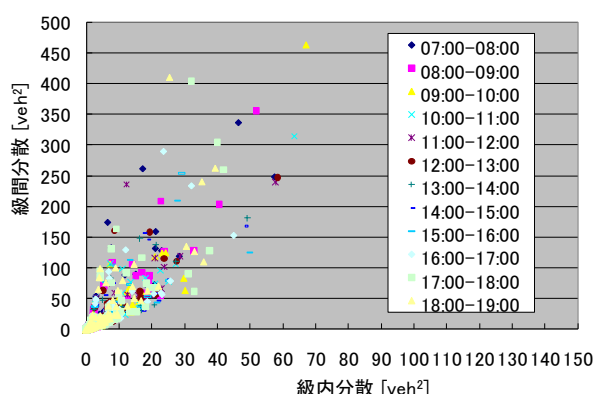
なお、本研究で用いる ETC-OD データの取得日数(169 日)で曜日を分類すると、各曜日の日数が 20 日程度となる。20 日程度では、本研究で対象とした 8700 OD ペアの中で OD ペアによっては、5 分間 OD 交通量が 1 台も発生しない曜日が存在し、級間分散、級内分散を算出することができない場合があるため、ここでの分析には曜日を分けずに平日としてデータを使用した。

(2) 級間分散と級内分散の関係

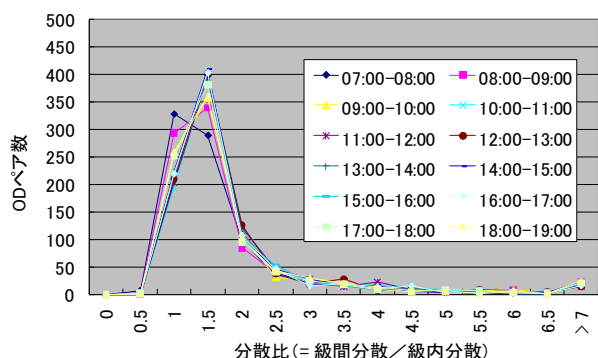
図－3 には、OD 交通量のある時間内の変動(級内分散)と日による違いの変動(級間分散)の関係を示す。図－3 より、全時間帯で級内分散の値の増加に伴って、級間分散の値がそれ以上に高い水準で増加することが分かる。すなわち、時間内変動が大きい OD ペアは、日変動も大きくなることが示された。ここで、各 OD ペアの級間分散が級内分散に対してどの程度異なるかを各時間帯において分散比(=級間分散 / 級内分散)を計算することにより分析する。図－4 には分散比の時間帯別頻度分布を示す。図－4 より、全時間帯において 90%以上の OD ペアについて、分散比は 1 より大きくなっていることが分かった。これらの結果より、OD 交通量の変動は、ある 1 時間内の 5 分間交通量データのばらつきの程度よりも、日による違いによってその OD 交通量の水準の変動が大きいことが示された。

そこで、実際にどの OD ペアにおいて日変動が大きいのか、もしくは小さいかを確認した。変動が大きい OD ペアの抽出には、全時間帯において変動比が常に上位 10%であった OD ペアを抽出した。一方で変動比が小さい OD ペアの抽出については、その数が少なかったため、本研究の分析対象である 12 時間帯中 6 時間帯で変動比が小さい OD ペアを抽出した。その結果、首都高以外の他社線高速道路から都心環状線に向かう OD ペア、もしくはその逆方向の OD ペアの OD 交通量の変動が大きいことが明らかになった。また、分散比が小さい OD ペアを抽出すると、変動比が大きい OD ペアの入口・出口の配置パターンとは異なり、首都高速道路内に入口・出口が存在する内々トリップが多く抽出された(表－4 参照)。また、表－5－1 と表－5－2 には、各時間帯において変動比が高い OD ペア(上位 100 OD ペア)と低い OD ペア(下位 100 OD ペア)を列挙している。各表より、変動比が高い OD ペア、低い OD ペア共に、いくつかの OD ペア

は、常に全時間帯で列挙されていることが分かる。全体的な傾向としては、都心環状線から他の高速道路へつながる本線料金所へのODペアが多く列挙されていることが分かる。しかしながら、分散そのものの特性として、交通量レベルが高く（低く）なればなるほど、その値も大きく（小さく）なる。よって、具体的にどのようなODペアが、どのような級内分散と級間分散の特性を持つかを考察するためには、平均OD交通量等で標準化する必要があるものと考えられる。そこで、次節では、5分間平均OD交通量で級内分散・級間分散を標準化し、具体的には、どのように入口・出口が配置されているODペアが日の違いによる、もしくはある時間内の変動が大きいかについて考察を行うこととする。



図－3 級間分散と級内分散の関係



図－4 時間帯別分散比の頻度分布

(3) ODペアの配置パターンとOD交通量変動特性の関係

ここでは、本章において分析してきたOD交通量の級間分散と級内分散の関係を用いて、それら特性をODペアの入口・出口の配置パターンとの関係について考察を行う。具体的には、級内・級間分散の値を平日5分間平均OD交通量で標準化し、両指標に関して当該ODペアの入口・出口の高速道路上の配置パターンにより、ODペアが持つ変動特性を考察するものである。ここで

分析の対象としたODペアは、図－2で示した平日5分間平均OD交通量が1.0[veh/5min]以上の比較的交通量水準の高い117ODペアとした。

表－3 分散比が全時間帯において高いODペア

ODグループ	入口	出口
e	用賀本線	汐留 内回
e	用賀本線	銀座 内回
e	用賀本線	京橋 内回
e	用賀本線	新富町 内外回
e	用賀本線	芝公園 内回
d	永福本線	永福
e	永福本線	新富町 内外回
e	永福本線	芝公園 内回
e	永福本線	霞が関 内回
c	銀座 外回	用賀本線
c	銀座 内回	一之江本線
a	京橋 外回	用賀
c	京橋 外回	用賀本線
c	宝町 内回	市川本線
a	芝公園 外回	用賀
c	芝公園 外回	用賀本線
a	芝公園 外回	高井戸
c	芝公園 外回	高井戸本線
a	芝公園 内回	葛西
c	芝公園 内回	市川本線
g	大井本線	汐留 内回
g	大井本線	銀座 内回
g	大井本線	京橋 内回
g	大井本線	芝公園 外回
g	大井本線	葛西
e	市川本線	汐留 内回
e	市川本線	宝町 外回
e	市川本線	芝公園 外回
e	市川本線	有明
e	市川本線	新木場
e	市川本線	浦安
e	錦糸町本線	宝町 外回
e	錦糸町本線	芝公園 外回
d	錦糸町	一之江本線

表－4 分散比が6時間帯において低いODペア

ODグループ	入口	出口
a	神田橋 内回	渋谷
a	江戸橋 内回	高樹町
a	浦安	永福
f	永福本線	高井戸本線
a	江戸橋 内回	永福
a	呉服橋 内回	渋谷
a	呉服橋 内回	浦安
a	渋谷	小松川
a	三軒茶屋	新木場
a	霞が関 外回	浦安
a	霞が関 内回	一之江
a	江戸橋 内回	渋谷
a	江戸橋 内回	三軒茶屋
a	新木場	用賀
a	新木場	幡ヶ谷
a	葛西	錦糸町
a	舞浜	幡ヶ谷
a	舞浜	北の丸
a	舞浜	錦糸町

表－５－１ 各時間帯で分散比が高いODペアと低いODペア (07:00～13:00)

時間帯	分散比が高いODペア				時間帯	分散比が低いODペア			
	ODグループ	平均5分間OD交通量	入口	出口		ODグループ	平均5分間OD交通量	入口	出口
07:00 08:00	e	20.36	用賀本線	芝公園 内回	07:00 08:00	a	0.34	舞浜	錦糸町
	e	15.47	永福本線	芝公園 内回		a	1.59	神田橋 外回	小松川
	d	69.20	市川本線	有明		a	1.29	呉服橋 内回	錦糸町
	d	84.33	市川本線	浦安		a	2.22	江戸橋 内回	渋谷
	a	2.59	千鳥町	浦安		a	0.36	代々木	小松川
	g	15.13	大井本線	京橋 内回		a	2.42	飯倉 内回	千鳥町
	c	31.04	芝公園 内回	市川本線		a	0.35	呉服橋 内回	渋谷
	g	15.93	大井本線	汐留 内回		a	0.21	呉服橋 内回	三軒茶屋
	e	10.25	用賀本線	汐留 内回		a	2.55	高樹町上	錦糸町
	e	7.09	用賀本線	京橋 内回		a	1.00	高樹町上	小松川
08:00 09:00	c	32.14	芝公園 外回	用賀本線	08:00 09:00	a	1.29	呉服橋 内回	錦糸町
	c	31.04	芝公園 内回	市川本線		a	1.00	高樹町	小松川
	d	69.20	市川本線	有明		a	0.29	三軒茶屋	呉服橋 内回
	g	15.13	大井本線	京橋 内回		a	1.02	渋谷	小松川
	e	20.36	用賀本線	芝公園 内回		a	2.08	呉服橋 内回	一之江
	c	29.97	芝公園 外回	高井戸本線		a	2.22	江戸橋 内回	渋谷
	e	15.47	永福本線	芝公園 内回		a	2.90	高樹町	新木場
	g	15.93	大井本線	汐留 内回		a	1.12	三軒茶屋	小松川
	g	85.45	大井本線	葛西東		a	1.43	渋谷	一之江
	g	10.29	大井本線	銀座 内回		a	7.41	神田橋 外回	渋谷
09:00 10:00	c	32.14	芝公園 外回	用賀本線	09:00 10:00	a	2.20	江戸橋 内回	高樹町
	c	31.04	芝公園 内回	市川本線		a	0.31	新木場	北の丸 内回
	c	29.97	芝公園 外回	高井戸本線		a	1.52	葛西	呉服橋 内回
	d	69.20	市川本線	有明		a	0.85	新木場	呉服橋 内回
	f	15.31	大井本線	一之江本線		a	1.92	代々木	霞ヶ関 内回
	e	20.36	用賀本線	芝公園 内回		a	0.56	飯倉	一之江
	c	13.90	宝町 内回	市川本線		a	7.41	神田橋 外回	渋谷
	c	0.25	新宿	一之江本線		a	5.10	外苑	幡ヶ谷
	g	15.93	大井本線	汐留 内回		a	3.31	渋谷	葛西
	e	15.47	永福本線	芝公園 内回		a	0.48	三軒茶屋	外苑
10:00 11:00	c	32.14	芝公園 外回	用賀本線	10:00 11:00	c	0.41	幡ヶ谷	用賀本線
	c	29.97	芝公園 外回	高井戸本線		a	0.75	神田橋 外回	錦糸町
	c	31.04	芝公園 内回	市川本線		a	2.20	江戸橋 内回	高樹町
	d	69.20	市川本線	有明		a	2.71	渋谷	江戸橋 外回
	e	15.93	大井本線	汐留 内回		a	0.26	飯倉 内回	小松川
	d	85.52	永福本線	永福		a	1.37	新宿	用賀
	g	15.31	大井本線	一之江本線		a	1.43	千鳥町	外苑
	c	12.45	京橋 外回	用賀本線		a	0.64	葛西	霞ヶ関 外回
	c	13.90	宝町 内回	市川本線		a	1.29	呉服橋 内回	錦糸町
	a	11.87	芝公園 外回	高井戸		a	3.24	呉服橋 内回	浦安
11:00 12:00	d	85.52	永福本線	永福	11:00 12:00	a	2.20	江戸橋 内回	高樹町
	c	32.14	芝公園 外回	用賀本線		a	0.56	舞浜	永福
	c	31.04	芝公園 内回	市川本線		a	3.37	江戸橋 内回	永福
	c	29.97	芝公園 外回	高井戸本線		a	0.39	市川本線	市川本線
	d	69.20	市川本線	有明		a	0.42	有明	錦糸町
	g	15.93	大井本線	汐留 内回		a	2.78	葛西	渋谷
	g	15.13	大井本線	京橋 内回		a	0.67	新木場	代々木
	c	12.45	京橋 外回	用賀本線		a	0.11	新木場	新富町
	e	20.36	用賀本線	芝公園 内回		a	0.89	新木場	飯倉 外回
	c	13.90	宝町 内回	市川本線		c	0.98	有明	高井戸本線
12:00 13:00	d	85.52	永福本線	永福	12:00 13:00	a	1.02	渋谷	小松川
	c	31.04	芝公園 内回	市川本線		a	3.37	江戸橋 内回	永福
	c	32.14	芝公園 外回	用賀本線		a	4.14	神田橋 外回	千鳥町
	c	29.97	芝公園 外回	高井戸本線		a	1.54	浦安	幡ヶ谷
	d	69.20	市川本線	有明		a	0.77	舞浜	飯倉 外回
	g	15.93	大井本線	汐留 内回		a	2.22	江戸橋 内回	渋谷
	c	13.90	宝町 内回	市川本線		a	0.64	葛西	霞ヶ関 外回
	g	15.13	大井本線	京橋 内回		a	1.18	外苑	一之江
	d	0.01	永福本線	初台		e	0.24	市川本線	代官町
	e	15.47	永福本線	芝公園 内回		a	1.98	大井東	錦糸町

表－５－２ 各時間帯で分散比が高いODペアと低いODペア（13:00～19:00）

時間帯	分散比が高いODペア			
	ODグループ	平均5分間OD交通量	入口	出口
13:00 14:00	c	31.04	芝公園 外回	市川本線
	c	32.14	芝公園 外回	用賀本線
	c	29.97	芝公園 外回	高井戸本線
	d	85.52	永福本線	永福
	e	20.36	用賀本線	芝公園 内回
	d	69.20	市川本線	有明
	g	15.93	大井本線	汐留 内回
	d	0.01	永福本線	初台
14:00 15:00	e	15.47	永福本線	芝公園 内回
	g	15.13	大井本線	京橋 内回
	c	31.04	芝公園 内回	市川本線
	c	32.14	芝公園 外回	用賀本線
	c	29.97	芝公園 外回	高井戸本線
	g	15.93	大井本線	汐留 内回
	e	20.36	用賀本線	芝公園 内回
	d	69.20	市川本線	有明
15:00 16:00	e	15.47	永福本線	芝公園 内回
	d	85.52	永福本線	永福
	g	15.13	大井本線	京橋 内回
	c	13.90	宝町 内回	市川本線
	c	31.04	芝公園 内回	市川本線
	c	29.97	芝公園 外回	用賀本線
	c	32.14	芝公園 外回	高井戸本線
	d	84.33	市川本線	浦安
16:00 17:00	d	69.20	市川本線	有明
	g	15.93	大井本線	汐留 内回
	e	20.36	用賀本線	芝公園 内回
	e	15.47	永福本線	芝公園 内回
	g	15.13	大井本線	京橋 内回
	c	13.90	宝町 内回	市川本線
	e	15.47	永福本線	芝公園 内回
	c	29.97	芝公園 外回	高井戸本線
17:00 18:00	c	32.14	芝公園 外回	用賀本線
	c	31.04	芝公園 内回	市川本線
	d	84.33	市川本線	浦安
	d	69.20	市川本線	有明
	d	0.01	永福本線	初台
	c	13.90	宝町 内回	市川本線
	a	12.90	芝公園 外回	用賀
	a	11.87	芝公園 外回	高井戸
18:00 19:00	d	73.01	市川本線	新木場
	c	32.14	芝公園 外回	用賀本線
	c	31.04	芝公園 内回	市川本線
	c	29.97	芝公園 外回	高井戸本線
	d	0.01	永福本線	初台
	d	69.20	市川本線	有明
	a	12.90	芝公園 外回	用賀
	d	84.33	市川本線	浦安
	c	13.90	宝町 内回	市川本線
	a	11.87	芝公園 外回	高井戸
	c	12.45	京橋 外回	用賀本線

時間帯	分散比が低いODペア			
	ODグループ	平均5分間OD交通量	入口	出口
13:00 14:00	a	0.20	新木場	錦糸町
	a	0.90	浦安	代々木
	a	3.37	江戸橋 内回	永福
	c	3.69	高樹町	高井戸本線
	a	2.20	江戸橋 内回	高樹町
	a	2.03	葛西	幡ヶ谷
	a	0.52	代々木	一之江
	a	1.42	新木場	三軒茶屋
14:00 15:00	a	1.74	幡ヶ谷	浦安
	a	2.08	呉服橋 内回	一之江
	a	1.15	呉服橋 内回	小松川
	a	1.42	新木場	三軒茶屋
	a	1.72	幡ヶ谷	江戸橋 外回
	a	1.43	千鳥町	外苑
	a	15.27	神田橋 外回	高井戸
	c	0.99	神田橋 外回	用賀本線
15:00 16:00	a	3.24	呉服橋 内回	浦安
	f	0.16	永福本線	高井戸本線
	e	0.21	錦糸町本線	浦安
	c	0.25	新木場	一之江本線
	a	3.24	呉服橋 内回	浦安
	c	12.72	渋谷	市川本線
	a	0.23	永福	高樹町
	e	0.21	錦糸町本線	浦安
16:00 17:00	e	0.43	錦糸町本線	新木場
	a	1.71	霞が関 内回	千鳥町
	a	1.66	幡ヶ谷	新木場
	c	16.70	神田橋 外回	用賀本線
	c	0.72	渋谷	高井戸本線
	a	2.55	江戸橋 内回	外苑
	a	2.20	江戸橋 内回	高樹町
	a	2.81	新木場	用賀
17:00 18:00	a	3.24	呉服橋 内回	浦安
	a	2.21	江戸橋 内回	三軒茶屋
	a	3.67	飯倉 内回	葛西
	a	1.42	新木場	三軒茶屋
	a	0.89	舞浜	呉服橋 内回
	a	0.26	新木場	霞が関 外回
	a	0.26	新宿	高樹町
	a	1.52	外苑	浦安
18:00 19:00	a	3.50	神田橋 外回	新木場
	a	3.36	飯倉 内回	新木場
	a	2.22	江戸橋 内回	渋谷
	a	1.54	浦安	幡ヶ谷
	a	0.84	幡ヶ谷	小松川
	a	1.65	新宿	小松川
	a	0.56	飯倉 内回	一之江
	a	0.42	有明	錦糸町
	c	12.72	渋谷	市川本線
	a	2.13	呉服橋 内回	新木場
	a	1.47	新木場	幡ヶ谷
	a	2.13	呉服橋 内回	新木場
	a	0.43	錦糸町	新木場
	a	3.13	三軒茶屋	千鳥町
	a	0.56	飯倉 内回	一之江
	a	1.36	葛西	神田橋 内回
	a	1.53	浦安	三軒茶屋
	c	3.69	高樹町	高井戸本線
	a	0.89	新木場	飯倉 外回
	a	1.25	霞が関 外回	小松川

OD ペアの配置パターン別にみた級間分散と級内分散の関係を図-5に示す。d) 首都高速道路外 → 首都高速道路内(流入本線料金所と同じ路線上)の OD ペアに関しては、他の OD グループに対して級内分散と級間分散共に高い値となっており、日の違いによる OD 交通量の変動ならびにある時間帯内におけるばらつき共に大きいことが分かる。この理由としては、首都高速道路外から首都高速道路内に流入する際に首都高速道路内の交通状況により、利用者の首都高速道路を利用し続けるか否かの選択行動結果が他の OD ペアに比べて多く影響していることが考えられる。そのような選択行動が存在していることについては、秋元ら⁴⁾の知見と一致している。そのような選択行動の結果が頻繁に行われていることから、d) 首都高速道路外 → 首都高速道路内(流入本線料金所と同じ路線上)の OD 交通量は時間内変動と日間変動が大きい結果となったものと考えられる。

一方で、f) 首都高速道路外 → 首都高速道路外 の首都高速道路を通過する OD ペアや、e) 首都高速道路外 → 首都高速道路内(流入本線料金所と異なる路線の出口)のような比較的長距離な OD ペアに関しては、級内・級間分散のばらつきが他の OD ペアグループに対して比較的小さいことが分かった。これらの OD ペアについては、d)グループの OD ペアとは逆に、首都高速道路の交通状況によって出口を変更することなく首都高速道路を利用した利用者であり、集計したとしても、交通状況の変化によって OD 交通量の変動があまり見られないものと考えられる。また、その他の OD ペアに関しては、入口・出口の配置パターンにより明確な OD 交通量の変動特性が一致することはなかったものの、級間分散で様々な値を取り、級内分散に関してはそのばらつきが比較的小さい値でまとまっていることが分かる。

よって、本研究の結果から、ODグループ d) のように、日々時々刻々と大きく変動している短距離の OD ペアについては、リアルタイム交通流シミュレーション等で将来 OD 交通量を用いる場合には、当日の直前の時間帯の交通状況を的確に捉えながら入力することが有効であると考えられる。また OD グループ e) や f) のように比較的長距離な OD ペアについては、日変動も時間内変動も小さいことから、過去に蓄積された平均的な値でも十分に将来 OD 交通量としてリアルタイム交通流シミュレーションへ利用可能であることが示された。なお、それ以外の OD ペアについても、級内分散はどの OD ペアでも大きな差が無いものの、級間分散については OD ペアによりばらつきが生じていることから、級間分散が高い OD では当日の OD 交通量水準を見ながら将来 OD 交通量を予測し、級間分散が低い OD ペアでは、OD グループ e) や f) と同様にリアルタイム交通流シミュレーション等へ各 OD ペアが持つ平均的な OD 交通量を入力していくべきであると考えられる。

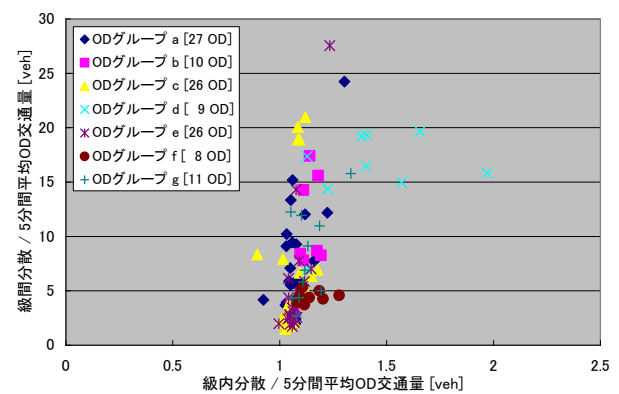


図-5 入口・出口の配置パターンによる OD 交通量の変動特性

5. おわりに

本研究では、ある1時間内の5分間OD交通量データが統計的に独立に発生しているかどうかを分析し、それが曜日・時間帯によってことなる傾向にあることを示した。また、日によるOD交通量水準の違いの程度を級間分散により示し、ある時間帯内のばらつきの効果について級内分散を用いることにより示した。その結果、級内分散が比較的大きいODペアは、級間分散がそれ以上に大きいことを示した。また、ODペアの入口・出口の配置パターン別に、ODペアが持つ級間分散と級内分散の関係について考察をした。これにより、ODペアの入口・出口の配置パターンによりOD交通量の変動特性に違いがあることを示し、特に、首都高速道路外から流入しその直後の出口で流出するODペアについては、日による変動、ある時間内の変動がともに大きいことが分かった。一方で、首都高速道路を通過する、もしくは比較的長距離なODペアに関しては、級間分散と級内分散が他のグループに比べて小さいことを明らかにした。

今後の課題としては、以下の2点について研究を進める必要がある。

1) OD交通量の空間的な相関性

本研究では、入口・出口の配置とOD交通量の変動特性の関係を解析したものの、実質はOD交通量の日変動と時間変動という時間的な変動効果に着目して解析を行っている。一方で、ある1路線ではあるものの、隣り合う入口を持つOD交通量の相関性等も筆者ら²⁾により確認している。よって今後は、分析対象範囲を広げながら、ODペアの同士の変動や入口を集約したOD交通量(路線間OD交通量等)の変動との関係を解析する必要がある。

2) 交通量水準の低いODペアの交通量変動特性

本研究では比較的交通量水準の高いODペアを対象としているが、首都高速道路上に多く存在している交通量水準が低いODペアでもその観測時間を5分以上に拡張することによりOD交通量の変動特性も異なってくる可能

性がある。よって今後は、交通量水準の低いODペアに着目しながら、集計時間単位を拡大することによって、OD交通量の変動特性がどのように変化するのかについて解析を行う必要がある。

これらの研究を行うことにより、導入が進められているリアルタイム交通流シミュレーションなど動的な交通運用・管理へのOD交通量の入力方法の在り方(例えば、OD単体で入力すべきか、ある程度ODをまとめて入力すべきか、全てのODペアで同一の時間単位のOD交通量を入力すべきか、OD交通量の変動特性によってはODペアごとに異なる時間単位のOD交通量を入力すべきか等)について議論を進める必要がある。

謝辞

本研究は首都高速道路(株)が推進する「新しいリアルタイムネットワークシミュレーション研究WG」での検討の一環として実施されたものである。実施に当たり首都高速道路(株)には貴重なデータを提供やその他多大なるご協力をいただいた。この場を借りて謝意を表します。

参考文献

- 1) 白石智良, 桑原雅夫, 堀口良太: リアルタイム予測交通流シミュレーションシステムの開発, 第30回土木計画学研究・講演集, CD-ROM, 2004
- 2) 西内裕晶, Agachai SUMALEE, Marc MISKA, 割田博, 桑原雅夫: 首都高速道路におけるランプ間OD交通量の時間的・空間的相関性分析, 第38回土木計画学研究・講演集, CD-ROM, 2008
- 3) 横田孝義, 玉川大, 谷口栄一, 河本一郎: 阪神高速道路の大型車交通のランプ間ODの空間, 時間的性質に関する研究, 第40回土木計画学研究・講演集, CD-ROM, 2009
- 4) 秋元健吾, 小根山裕之, 西内裕晶, 割田博: ETCデータを用いた首都高速道路における入口選択行動の分析, 第27回交通工学研究発表会論文報告集, pp.193-196, 2007
- 5) H.RAKHA and M. Van AERDE: Statistical Analysis of Day-to-Day Variation in Real-Time Traffic Flow Data, Transportation Research Record 1510, pp26-34, 1995
- 6) A.Stathopoulos and M.Karlaftis: Temporal and Spatial Variations of Real-Time Traffic Data in Urban Areas, Transportation Research Record 1768, pp135-140, 2001
- 7) Wendy Weijermars and Eric van Berkum: Analyzing highway flow patterns using cluster analysis, Proceeding of the 8th International IEEE Conference on Intelligent Transportation System, pp831-836, 2005
- 8) 飯田恭敬, 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, pp22-32, 1981
- 9) 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, 交通工学研究発表会論文集, Vol.27, pp173-176, 2007
- 10) 稲田裕介, 中山晶一郎, 高山純一: 阪神高速道路の時間交通量の分布形に影響を及ぼす要因に関する分析, 第40回土木計画学研究・講演集, CD-ROM, 2009
- 11) 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・講演集, No.22, Vol.2, pp251-254, 1999
- 12) 田中芳和, 村上康紀, 井上浩, 桑原雅夫, 赤羽弘和, 小根山裕之: 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, pp49-58, 2001
- 13) 金進英: 動的経路交通量推定モデルの構築及び交通管制方策の評価・考察に関する研究, 京都大学博士論文, 2007

ETC-ODデータを用いた首都高速道路におけるランプ間OD交通量の変動特性分析*

西内裕晶**・吉井稔雄***・桑原雅夫****・Marc MISKA*****・割田博*****

本研究はOD交通量の変動特性を把握するために、首都高速道路のETC-ODデータを用いて、5分間OD交通量の独立性について分析し、日による違いによる変動効果(級内分散)とある時間内のばらつきによる変動効果(級間分散)に着目してOD交通量変動特性を示した。その結果、OD交通量の発生は、曜日・時間帯で異なることが明らかになった。また、級間分散と級内分散はODペアの配置パターンにおいて違いがあることが明らかになった。具体的には、首都高速道路を通過するODペアに関しては、級内分散、級間分散が他のODペアに比べて小さい傾向にあることを明らかにし、他社の高速道路から首都高速道路へ流入し本線料金所と同一路線の出口から流出するODペアに関しては、変動効果が大きいことが明らかになった。一方で、首都高速道路を通過するようなODペアに関しては、その変動効果が小さいことが明らかになった。

An Analysis of OD Traffic Volume Variation on Tokyo Metropolitan Expressway using ETC-OD Data*

By Hiroaki NISHIUCHI**・Toshio YOSHII***・Masao KUWAHARA****・Marc MISKA*****・Hiroshi WARITA*****

This paper present OD traffic volume variation using ETC-OD data measured on Tokyo Metropolitan Expressway. The independency of OD volume is tested by chi-square test assuming OD volume follows Poisson distribution. From the results of test, independency of OD volume has different tendency by day of week and time of the day. The characteristics of OD variation is described by Between-Group variance to represent daily OD volume variation and Within-Group variance to represent hourly OD volume variation. Using these variances, characteristics of OD volume variation could be identified by location of OD pairs.
