

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*

Analysis of Dynamic OD Traffic Flow Fluctuation on Hanshin Expressway*

金進英†・宇野伸宏††・倉内文孝‡・吉村敏志§・萩原武司§

By Jinyoung KIM†・Nobuhiro UNO††・Fumitaka KURAUCHI‡・Satoshi YOSHIMURA§・Takeshi HAGIHARA§

1. はじめに

2009年3月から実施された、ETC搭載車両を対象とした日本全国の高速道路料金の値下げによってETCは一層急激に普及しており、有料道路のETC利用率100%の実現も遠い話ではないかもしれない。ETCから得られる統計データ（以下、ETCデータと呼ぶ）は交通需要を把握するのに貴重な情報であるものの、また現実ではETCデータのみでは正確なODパターンを取得することはできないため、ETCデータの活用法について検討を加えている。倉内ら¹⁾は検知器データとETCデータを用いた動的OD交通量推定モデルを提案し、モデルの推定精度について検証を行った。本研究では、倉内ら¹⁾が構築した動的OD交通量推定モデルを用いて阪神高速道路における時間帯別ランプ間OD交通量の推定を行い、推定された結果を用いてOD交通量の変動を分析する。変動の要因及びパターンについて詳細に考察することで、適切な交通管制を行うことが期待できる。

2. 動的OD交通量推定モデル

本研究では、倉内ら¹⁾が提案した「P2」のモデルを用いて動的OD交通量の推定を行うこととする。実用向きの推定計算の容易さを考慮して、最小自乗推定量を用いたOD推定法²⁾を適用している。モデルの定式化は以下の式(1)のようになる。

$$\min_y \sum_k \sum_s \sum_j \sum_i \alpha_{ijsk}^2 (g_{ijsk} \sum_j y_{ij'sk} - y_{ijsk})^2 + \sum_k \sum_s \sum_i \beta_{isk}^2 (o_{isk}^* - \sum_j y_{ijsk})^2 + \sum_k \sum_t \sum_j \gamma_{jtk}^2 (d_{jtk}^* - \sum_s \sum_i r_{ijstk} y_{ijsk})^2 \quad \dots(1)$$

subject to $y_{ijsk} \geq 0 \forall i, j, s, k$

*キーワード：ETC統計データ，交通変動，動的OD交通量

† 正員，工博，京都大学大学院工学研究科（京都市西京区京都大学桂，TEL075-383-3237，FAX075-383-3236）

†† 正員，工博，京都大学大学院工学研究科

‡ 正員，工博，岐阜大学工学部

§ 正員，阪神高速道路株式会社

ここで，

y_{ijsk} ：時間帯 s にオンランプ i から流入した車種 k の車両の内オフランプ j で流出する交通量(未知変数)

g_{ijsk} ：時間帯 s にオンランプ i から流入した車種 k の車両のオフランプが j である割合(ETC データから得られるオフランプ選択確率) $\sum_j g_{ijsk} = 1 \forall i, s, k$

r_{ijstk} ：時間帯 s にオンランプ i から流入した車種 k の車両が時間帯 t にオフランプ j を流出する割合(ETC データから得られる確率) $\sum_t r_{ijstk} = 1 \forall i, j, s, k$

o_{isk}^* ：時間帯 s にオンランプ i から流入した車種 k の交通量の観測値

d_{jtk}^* ：時間帯 t にオフランプ j から流出した車種 k の交通量の観測値

α_{ijsk} ：観測データの信頼性を考慮するための重み

β_{isk} ：同上

γ_{jtk} ：同上

である。

式(1)のモデルはETCデータからオンランプごとのオフランプ利用率である、 g_{ijsk} 及び r_{ijstk} を算定し、それを観測流入交通量 (o_{isk}^*) および流出交通量 (d_{jtk}^*) を用いて補正していく考え方を採用している。係数である g_{ijsk} と r_{ijstk} の計算式は以下のようである。

$$g_{ijsk} = e_{ijsk} / \sum_j e_{ijsk} \quad \dots(2)$$

$$r_{ijstk} = e_{ijstk} / \sum_t \sum_j e_{ijstk} \quad \dots(3)$$

ここで，

$e_{ijs(t)k}$ ：ETCデータにより得られている時間帯 s にオンランプ i から流入した車種 k の車両の内(時間帯 t に) オフランプ j へ流出するETC車両台数

である。詳しくは原著¹⁾を参照されたい。

3. 対象ネットワーク及び観測データ

本研究では、阪神高速道路の全区間を対象ネットワークとして、15分間隔で観測されたオンランプおよびオフランプの交通量とETCから得られたデータを用いて1時間ごとのランプ間OD交通量の推定を行った。しかし、ランプ間を対象ODとして推定された時間OD交通量は少ないため、重要路線間をODとして交通量を集計した。本稿ではそのうち17個の路線ODペアを分析対象に議論

を行う。17個のODペアを表-1に示す。また、図-1では重要路線のうち分析対象路線を太い線で表している。分析対象の期間は2007年5月、8月、11月と2008年2月、5月の5ヵ月であり、曜日の構成は表-2の通りである。

表-1 分析の対象ODペア

環状線から	守口線上りから	大阪港線下り
池田線下り		松原線下り
守口線下り		神戸線下り
東大阪線下り		湾線下り
大阪港線下り		岸線下り
松原線下り	岸線上りから	東大阪線下り
神戸線下り		松原線下り
湾線下り		湾線下り
岸線下り		岸線上り

※ 神戸線は兵庫と大阪に分けて兵庫地域を対象にした。

表-2 対象期間の曜日構成

5ヵ月		平日	土曜日	日曜・休日
2007年5月	31日	21日	3日	7日
8月	31日	23日	4日	4日
11月	30日	21日	3日	6日
2008年2月	29日	20日	4日	5日
5月	31日	20日	4日	7日

4. 経年によるOD交通量の変動分析

ここでは、OD交通量の経時変動を分析するため、2007年と2008年の同じ5月の2ヶ月間の路線OD交通量を用いて、曜日ごとの平均交通量の変化を比較してみた。その結果の一部が図-2である。グラフの縦軸は交通量（台/時間）、横軸は1日の時間帯である。緑色の実線は2007年5月平日の平均交通量、緑色の点線は2008年5月平日の平均交通量を表している。同様に、水色の実線は2007年の土曜日と点線は2008年の土曜日の、赤色の実線は2007年の日曜・休日と点線は2008年の日曜・休日の平均交通量を示している。

図-2(a)の環状線から（兵庫）神戸線下りのグラフのように一部のODペア（対象ODペアの中では特に神戸線下りを目的地にしたODペア）では交通量に変化（2007年より2008年の交通量が減少）があったものの、ほとんどのODペアでは図-2(b), (c)のように同じ5月の交通量には1年経過することによる変動はみられなかった。

さらに、経年による交通量の変動を統計的に検証するため、次の帰無仮説を設定して1元配置の分散分析を行った。

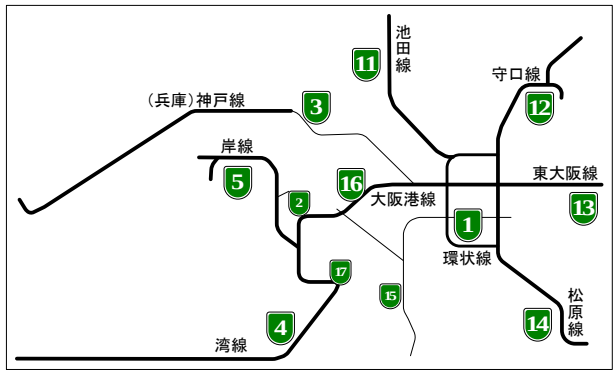


図-1 対象ネットワーク

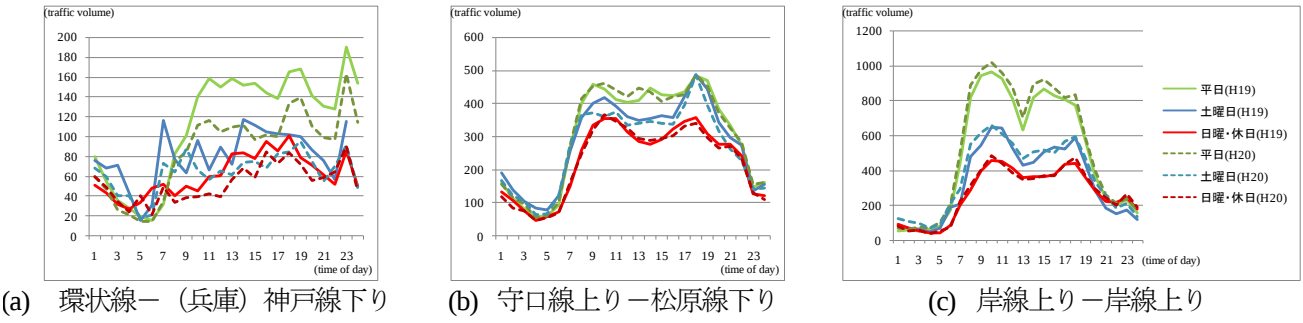


図-2 2007年5月と2008年5月の曜日ごとの路線OD交通量の変動

表-3 路線OD交通量の経年変化に対する1元配置の分散分析

路線	環状線ー池田線下り	守口線下り	東大阪線下り	大阪港線下り	松原線下り	神戸線下り	湾線下り	岸線下り	
F 値	1.261	.269	1.770	.162	.704	50.948	1.994	.715	
自由度	1	1	1	1	1	1	1	1	
有意確率	.262	.604	.184	.687	.402	.000	.158	.398	
路線	守口線上りー大阪港線下り	松原線下り	神戸線下り	湾線下り	岸線下り	岸線上りー東大阪線下り	松原線下り	湾線下り	岸線上り
F 値	1.412	.058	66.535	2.343	9.526	.225	1.730	.148	2.410
自由度	1	1	1	1	1	1	1	1	1
有意確率	.235	.809	.000	.126	.002	.636	.189	.700	.121

H_0 : 2007年・2008年5月の路線間OD交通量に差がない

平日交通量のみを用いて分散分析を行った結果が表-3である。結果によると、グレーの網掛けをした3つのODペア（内、2つのODペアの目的地が神戸線）のみの帰無仮説 H_0 が棄却され（有意確率<0.05）、ほとんどのODペアに経年による交通量の差はないことが分かった。

5. 季節によるOD交通量の変動分析

ここでは、1年内のOD交通量の変動を分析するため、2007年5月、8月、11月と2008年2月の4ヶ月の推定路線OD交通量を用いて、季節による変動の特徴について考察する。まずは、各ODペアの交通量における季節ごとの変動を明らかにするため、統計分析を行った。上記4ヶ月のOD交通量には等分散性がみられなかったため、ノンパラメトリック検定（Kruskal-Wallis検定）を用いることにした。帰無仮説は次の通りである。

H_0 : 季節間でOD交通量に差はない

分析の結果を表-4に示す。ここではグレーの網掛けをした3つのODペア以外の全ODペアについて帰無仮説 H_0 が棄却（有意確率<0.05）されており、OD交通量は季節によって変動するといえる。

さらに、OD交通量の季節による変動が各路線によってはどのような傾向があるのかをみるため、対象路線間ODペアについて、同一出発路線を持つOD交通量ごとにクラスタ分析を行った。今回は20回の反復計算によって7つのクラスタで分けることにした。分析の結果からのクラスタとクラスタのケース数（総ケース数 2904=24(時間)×31(5月日数)+24×31(8月)+24×30(11月)+24×29(2月)）及び各クラスタの平均交通量と標準偏差を計算したのが表-5である。この表には出発路線ごとに平均と標準偏差が大きな順で上から並べられてある。ここで、一番上にあるクラスタを濃い赤色にし、そこから徐々に青色に変化するように定義した（表-5の左参照）。

すなわち、色が赤いほど路線単位での発生交通量が多いと考えられる。ここで、4ヶ月間のクラスタを色で分類したのが図-3である。図-3は三つのブロックで構成されており、上から環状線上り、守口線上り、岸線上りを示している。各ブロックは、上が0:00で始まって下が24:00まであり、左は5月の1日から始まって5月31日の次には8月1日で、それが11月と2月まで続いて一番右が2月29日までとなっている（各月の境界は黒線で標している）。この図をみると、どの路線でも5月初旬（ゴールデンウィーク）と8月中旬（盆の前後）にはいつもとは異なるパターンがみられ、その他の日には平日と土曜日及び日曜・休日のパターンが安定して生起しているといえる。一方、路線によって交通量のピーク時のパターンは異なる。環状線の場合は、平日の午前8:00からピンク色（1時間平均交通量：約270台、上位10%の1時間交通量：約520台）のクラスタが始まって9:00から2,3時間は赤色（310, 720）と濃い赤色（340, 830）で変わり、夜は午後5:00から2,3時間くらいが濃い赤色で続く。これらが環状線の朝と夜のピーク時であると考えられる。さらに、2月を除いた3カ月間では、他の平日と比べて月曜日と金曜日に濃い赤色のクラスタが多く分布していることがみられる。

守口線の場合は、赤色クラスタ（290, 500）が平日の午前6:00から分布して濃い赤色（310, 520）が4,5時間くらい続いている。このことから、守口線上りへは早朝から大量の交通量が発生していることと推測できる。午後には朝ほどのピークはみられない。また、クラスタの分布から8月は交通量が少ないことと、11月と2月には交通量が多く特に週末又は連休の前後に著しく多いことが分かった。

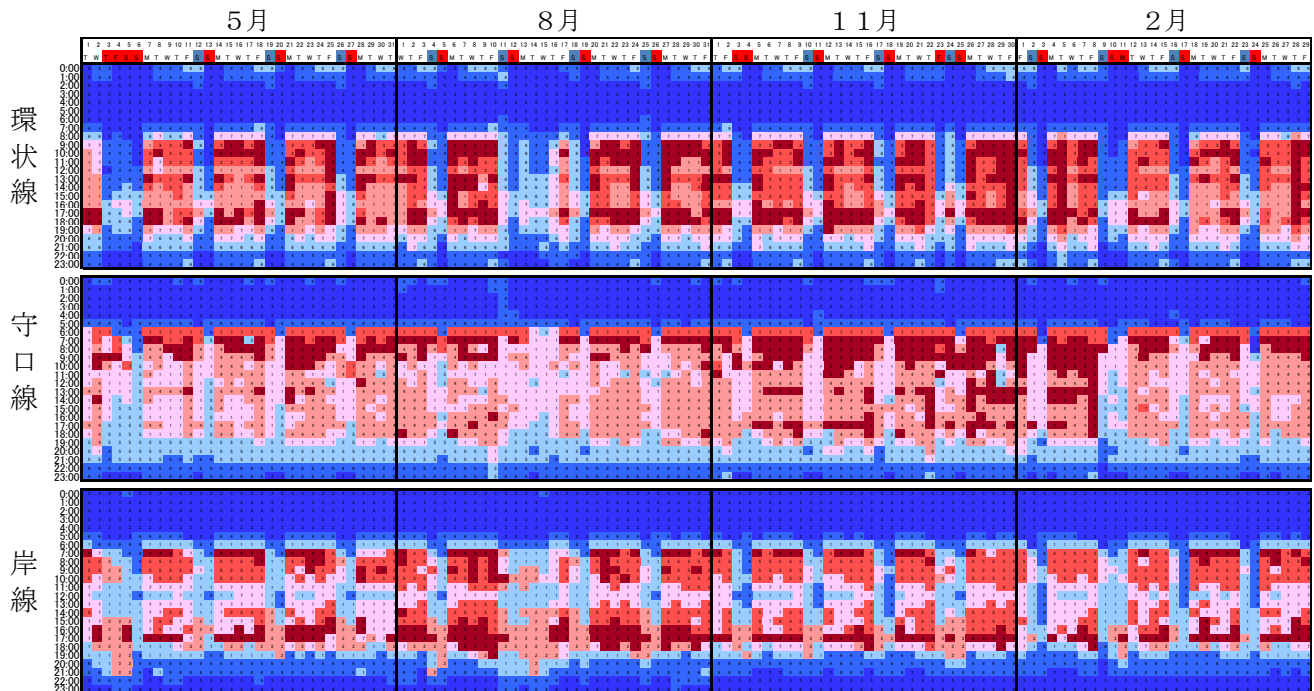
一方、岸線の場合は、午後4:00から2,3時間の時間帯に濃い赤色（620, 1220）と赤色（570, 1070）のクラスタが多く分布しており、朝より夜のピークが顕著であることが考えられる。また、岸線上りは、昼の12:00前後の交通量が少ないことと、他の月と比べて8月に交通量が多いという特徴もみられる。

表-4 路線OD交通量の季節間での差に関するノンパラメトリック検定

路線	環状線ー池田線下り	守口線下り	東大阪線下り	大阪港線下り	松原線下り	神戸線下り	湾線下り	岸線下り	
カイ2乗自由度	20.72	16.53	9.05	4.03	4.73	18.31	16.43	222.94	
漸近有意確率	3	3	3	3	3	3	3	3	
	.000	.001	.029	.258	.193	.000	.001	.000	
路線	守口線上りー大阪港線下り	松原線下り	神戸線下り	湾線下り	岸線下り	岸線上りー東大阪線下り	松原線下り	湾線下り	岸線上り
カイ2乗自由度	8.97	28.50	52.62	50.93	178.48	2.21	45.63	38.78	12.98
漸近有意確率	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	.030	.000	.000	.000	.000	.529	.000	.000	.005

表－5 路線OD交通量を用いたクラスタ分析の結果及び平均と標準偏差

	環状線から				守口線上りから				岸線上りから			
	クラスタ	ケース数	平均	標準偏差	クラスタ	ケース数	平均	標準偏差	クラスタ	ケース数	平均	標準偏差
	2	316	336.13	273.90	2	294	312.21	140.12	4	212	622.01	451.13
	3	289	306.38	235.72	7	128	290.78	135.94	5	381	571.91	425.92
	1	271	271.29	222.03	4	608	261.39	141.06	2	167	509.83	390.97
	7	253	209.86	178.05	1	492	226.03	110.96	7	365	497.99	344.35
	6	330	160.73	142.88	5	373	164.13	98.56	1	468	356.83	274.89
	4	649	119.01	101.90	6	391	113.53	67.39	6	429	211.93	155.94
	5	796	49.02	50.50	3	618	63.48	38.97	3	882	86.95	68.97



図－3 路線OD交通量を用いた月日・時間帯別のクラスタ分析の結果

6. おわりに

本研究では、ETCデータの活用の一案として、ETCデータおよび検知器の観測データを用いて時間帯別ランプ間OD交通量を推定し、推定結果から交通量の変動分析を行った。倉内ら¹⁾が構築した動的OD交通量推定モデルに基づいて、阪神高速道路の全区域を対象ネットワークに2007年5月、8月、11月と2008年2月、5月の5ヵ月間のOD交通量を推定することで、モデルの実ネットワークへの適用可能性が検証できた。また、推定されたランプ間OD交通量のうち一部ODペアの交通量を用いて様々な方法で変動分析を行った。その結果、まず交通量は曜日によって大きく変動し、ゴールデンウィークやお盆休みなどの期間中にもいつもとは異なるパターンを持つことがわかった。1日のピーク時などによる日変動は路線によってそれぞれの特徴があり、同じ路線でも季節によって交通量が大きく変動することも明らかになった。しかし、一部路線を除いては、同じ5月であれば、2007年と2008年の1年経過による大きな変動がないことも検証

された。これより今後よりきめの細かい交通管制、交通制御のためには、1つのODパターンではなく、日内変動および季節変動も考慮する必要性が明らかになった。

今回は5月のデータでしか検証できなかったが、対象期間を延ばすことでより詳細な経年変動の分析が必要と考えられる。また、変動における経年と季節の相関関係や、他の要因についてもさらに分析を進めたい。

謝辞 本研究は、(社)交通工学研究会受託業務「交通流シミュレーションの活用と関連技術に関する調査研究」の成果の一部であり、研究会ご出席の皆様より貴重なご示唆を多数頂戴した。また、データ整備については(株)交通システム研究所大藤武彦氏、小澤友記子氏にご尽力いただいた。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 倉内文孝, 金進英, 宇野伸宏, 石橋照久: ETC統計データによる時間帯別ランプ間OD交通量推定, 第28回交通工学研究発表会論文報告集, pp.205-208, 2008.
- 2) 佐佐木綱監修, 飯田恭敬編著: 交通工学, 国民科学社, pp. 104-106, 1993.