

# 推定動的経路交通量を用いた都市高速道路の交通需要変動分析\*

Analysis on traffic demand fluctuation by dynamic path flow estimates on urban expressway\*

金進英\*\*・倉内文孝\*\*\*・宇野伸宏\*\*\*\*

By Jinyoung KIM\*\*・Fumitaka KURAUCHI\*\*\*・Nobuhiro UNO\*\*\*\*

## 1. はじめに

信頼性の高い道路ネットワークの構築を図るためには、時々刻々変化する交通需要の変動に応じた効果的な交通政策や交通管制の実行が必要である。交通需要は様々な道路環境や条件などによって変動しやすく、交通渋滞の原因にもなる。しかし、これらの周辺の環境要因とその要因に伴う交通需要の変動は定量的に分析されておらず、その根拠は十分に検討されていないのが現状である。このような交通量変動把握の重要性はHighway Capacity Manual (HCM, 1985)<sup>1)</sup>にも指摘されており、季節及び月、曜日などを考慮した道路容量のデザインが求められている。しかし、HCMに示されている変動はリンク容量によって規定される区間観測交通量の変動を示しており、それをもとに交通需要の変化を表現するには限界がある。一般に交通需要を正確に把握することは困難であるため、本研究では動的経路交通量推定モデルを活用して、実際の道路ネットワークを対象に交通需要の変動について分析を行うこととした。本稿では、曜日、季節、天気などの様々な要因が交通需要の変動に及ぼす影響を分析した結果を報告する。

## 2. 動的経路交通量推定モデル

本研究では動的経路交通量を得るために、DCLS-TGV<sup>2)</sup>(Dynamic Combined Least Squares with Trip Generation as dependent Variables)モデルを用いる。このモデルは逐次推定法を採用しており、任意の時間間隔でリアルタイムの推定が可能である。観測誤差がある場合にも推定可能なモデルであるため、実際の道路ネットワークに適用可能なロバストなモデルとなっている。DCLS-TGV モデルの定式化は以下のようである。

\*キーワード：交通需要，需要変動，動的経路交通量

\*\*正員，博士（工学），京都大学大学院工学研究科  
（〒615-8540 京都市西京区京都大学桂，  
TEL075-383-3237，FAX075-383-3236）  
jeanjn@trans.kuciv.kyoto-u.ac.jp

\*\*\*正員，博士（工学），京都大学大学院工学研究科

\*\*\*\*正員，博士（工学），京都大学大学院工学研究科

min

$$\sum_{a \in A_{it}} \left[ \sum_{p=1}^{P_a} \sum_{i \in I} \sum_{s=1}^t \left\{ \delta_{iaps} \cdot q_{iaps} \cdot y_{iaps} + (1 - \delta_{iaps}) \cdot q_{iaps} \cdot \hat{y}_{iaps} \right\} - v_{at}^* \right]^2 + \left[ \sum_{p=1}^{P_a} \sum_{i \in I} \sum_{s=1}^t \left\{ \delta_{iaps} \cdot (y_{iaps} - O_{is} g_{iaps}) + (1 - \delta_{iaps}) \cdot (\hat{y}_{iaps} - \hat{O}_{is} g_{iaps}) \right\} \right]^2 + \sum_{i \in I} \sum_{s=1}^t (O_{is} - O_{is}^*)^2 \quad (1)$$

subject to

$$\sum_{a \in A_{it}^{out}} y_{iaps} = O_{is} \quad \forall i \in I, s(1 \leq s \leq t) \quad (2)$$

$$\sum_{a \in A_{in}^n} y_{iaps} = \sum_{a \in A_{out}^n} y_{iaps} \quad \forall i \in I, n \in \{N - N^{off}\}, p(1 \leq p \leq P_{ia}), s = \{s | 1 \leq s \leq t\} \quad (3)$$

$$\sum_{a \in A_{in}^n} y_{iaps} \geq \sum_{a \in A_{out}^n} y_{iaps} \quad \forall i \in I, n \in N^{off}, p(1 \leq p \leq P_{ia}), s = \{s | 1 \leq s \leq t\} \quad (4)$$

$$y_{iaps} \geq 0 \quad \forall i \in I, a \in A, p(1 \leq p \leq P_{ia}), s = \{s | 1 \leq s \leq t\} \quad (5)$$

$$O_{is} \geq 0 \quad \forall i \in I, s = \{s | 1 \leq s \leq t\} \quad (6)$$

ここで、

$y_{iaps}$  : ある時間帯  $s$  に発生地  $i$  から発生した交通量でリンク  $a$  を利用する交通量のうち、手順\*で計算される  $p$  番目未知変数に該当する交通量（発生地別リンク交通量），

$A_{ot}$  : ある時間帯  $t$  において、交通量が観測されているリンク  $a$  の集合，

$P_{ia}$  : 発生地が  $i$  である OD ペアに対して、手順\*で計算されるリンク  $a$  に対する未知変数  $y_{iaps}$  の数，

$I$  : 出発地の集合，

$v_{at}^*$  : 時間帯  $t$  にリンク  $a$  から観測された交通量，

$q_{iaps}$  : 時間帯  $s$  に発生地  $i$  から発生した車両のうち、時間帯  $t$  に  $p$  番目のリンク  $a$  を利用する割合（動的リンク利用率），

$\delta_{iaps}$  :  $y_{iaps}$  が直前の推定時間帯  $t-1$  までに推定されている場合は 0，そうではなければ 1 を取る変数，

$g_{iaps}$  :  $y_{iaps}$  に対応する事前確率，

手順とは、まず経路を抽出し、出発地から同一の経路を統合し、分岐して合流したときには新しい番号  $p$  を数える一連の過程である。

$O_{is}$  : ある時間帯  $s$  に出発地  $i$  から発生した交通量,  
 $O_{is}^*$  : ある時間帯  $s$  に出発地  $i$  で観測された発生交通量,  
 $\hat{y}_{iaps}$  :  $y_{iaps}$  の推定値,  
 $I^*$  : 発生交通量が観測されている出発地の集合,  
 $A_{out}^i$  : 出発地  $i$  と結びついているノードに繋がっているリンク,  
 $N$  : ノードの集合,  
 $N^{off}$  : オフランプのあるノードの集合,  
 $A_{in}^n$  ( $A_{out}^n$ ) : ノード  $n$  を終点 (始点) とするリンクの集合,  
 $t$  : 現在時刻, である.

このモデルに必要な観測交通データはオンランプ交通量とリンク交通量, リンク速度などであり, 逐次で動的リンク利用率と事前確率を計算しながら, 流入交通量と発生地別リンク交通量 (経路交通量) を推定する. 詳細なモデルの推定については参考文献を参照されたい.

### 3. 研究対象ネットワーク及び観測交通データ

本研究では, 図-1の阪神高速道路の神戸線の「月見山」から「武庫川」までの約2.7kmを対象ネットワークとして分析を行う. 得られた観測データは, 5分間隔で検知器から観測されたオンランプ交通量, リンク交通量及び速度データ等である.

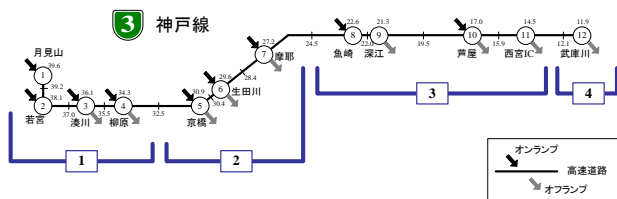


図-1 対象ネットワーク

動的経路交通量推定 (DCLS-TGV) モデルを用いて, 各オンランプとオフランプをOriginとDestinationとした,

2005年1月1日から2005年12月31日までの1年間の5分間隔の経路交通量の推定を行った. しかし, 検知器のエラーのため8月8日~8月31日と12月22日の25日間は推定ができず, 実際に推定できた日数は340日である (平日224日, 土曜日52日, 日曜/休日64日). ここで使われる事前確率の計算には, 前一週間分の推定交通量を用いられる. 平日, 土曜日, 日曜及び休日の3つのパターンの5分ごとの事前確率の平均値を計算して, それを用いて経路交通量の推定を行い, また同様にその推定結果から事前確率の平均値を計算して次週分の計算に適用した.

本研究での対象ネットワークでは, 9つのオンランプと9つのオフランプがある. しかし, 各オンランプとオフランプ間の距離が短いため, 推定された経路交通量は図-1に示した4つのゾーンに分けて集計を行った. 図-2は対象ネットワークで推定された1年間の経路交通量をゾーンごとに集計した年平均経路交通量である. このグラフによると, ゾーン1から神戸市中心部であるゾーン2に移動する交通量 (OD12) が圧倒的に多く, 特に朝ピーク時の交通量が多いことが分かる. また, OD13の交通量も夜より朝のピーク時の交通量が多いことが分かる. 一方, OD23とOD24の交通量は午前中より夜のピーク時に多いことが見られる.

### 4. 周辺要因による交通需要の変動分析

道路上の交通需要の変動は様々な周辺要因の影響を受けている. 例えば, 曜日によっても交通量は変わり, 天気によっても道路渋滞の程度は異なるといわれている. 本研究ではDCLS-TGVモデルから推定された1年間の動的経路交通量を用いて, 周辺要因として曜日, 季節 (四半期), 天気などを考慮して, これらの要因による交通需要の変動を分析することで, 各要因が交通需要の変動に及ぼす影響とその程度を把握する.

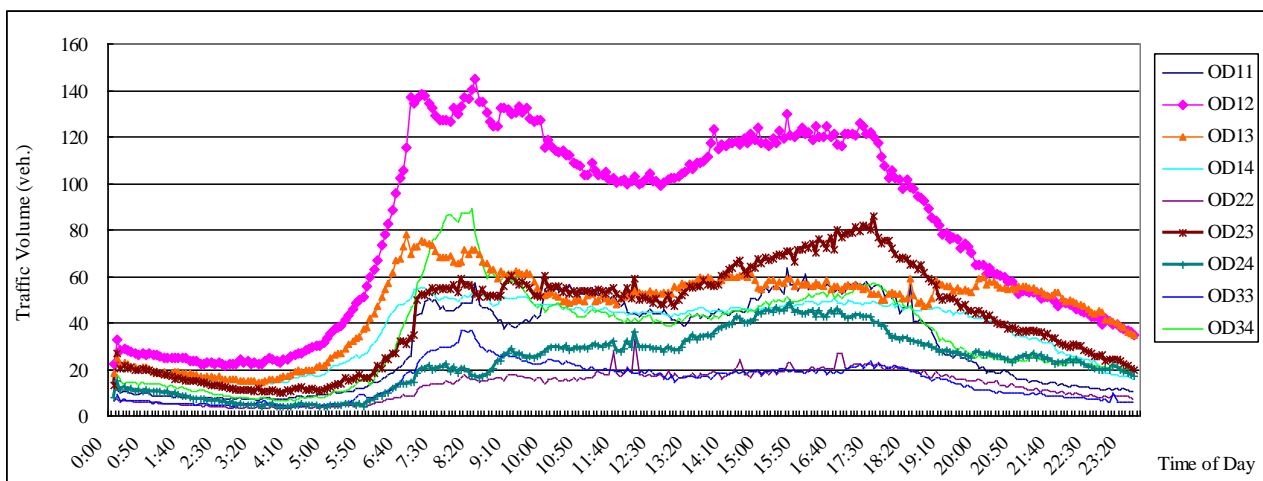


図-2 各ODの推定交通量の年平均交通量

### (1) 時間帯及び曜日による影響

1日中の時間帯及び曜日による交通需要の変動を見るために、各ODペアの5分間の交通量を平日、土曜日、日曜/休日に分けて集計した。そのうちOD14における曜日別の平均交通量と変動を表しているのが図-3から図-5である。図の細い折れ線は時間帯別の年平均交通量であり、太い折れ線は各平日、土曜日、日曜/休日の時間帯別の平均交通量と、その25パーセント値と75パーセント値を示している。年平均交通量をみると、午前7時前後と午後6時前後に朝夕のピークが見られ、朝より夜のピークが長いことがわかる。また、図-3によると、平日の朝と夜のピーク時の交通量は年平均交通量より多く、昼間の交通量は年平均交通量より少ない。25パーセント値と75パーセント値をみると、交通量が少ない深夜から朝までは交通量の変動も小さく、交通量が多い朝のピーク時から夜のピーク時にわたっては変動も大きいものの、比較的安定していると考えられる。

図-4の土曜日の場合は、朝ピークの開始時間帯は平日とほぼ同じであるものの、そのピークの山が長い時間にわたって続いている。夜のピークの時間帯は平日と比べて少し遅い時間帯にシフトしている。全般的に年平均交通量より交通量が多く、特に夜の遅い時間帯の交通量は著しく多くなっている。また、夜のピーク時間帯には交通量の変動も不安定になっている。日曜日及び休日である図-5のグラフでは、朝のピーク時間帯がかなり遅くなっており、昼間の交通量が多いことがわかる。夕方から夜にわたって交通量の変動もばらついており、特に深夜までも交通量の変動が大きいことが特徴的である。

### (2) 四半期による影響

季節が交通のフローパターンに影響を与えるのか否かを検討するため、1年間を四半期（1月～3月、4月～6月、7月～9月、10月～12月）にわけて交通需要の変動分析を行った。ODペア別に推定交通量を集計した結果、神戸線の各ODの経路交通量は、四半期ごとに異なるパターンを持つことがわかった。その例として図-6と図-7は、OD14の7月～9月と10月～12月の平均交通量を表している。これらの図によると、7月～9月は年平均よりかなり交通量が少なく昼のみ変動が大きいものの、10月～12月は年平均より著しく交通量が多く朝ピーク時の変動も大きくなっている。

全ODペアにおいて経路交通量の増減と変動は時期によって異なることが示唆されたため、その違いが統計的に有意であるかを検証した。四半期ごとの4つのグループを考え、その4つのグループ間の交通量に差があるのかを調べるために、ノンパラメトリック検定を行った。本研究では3つ以上のグループの差の検定であるため、両側検定であるクラスカル・ウォリス検定 (Kruskal-Wallis test) を用いた。

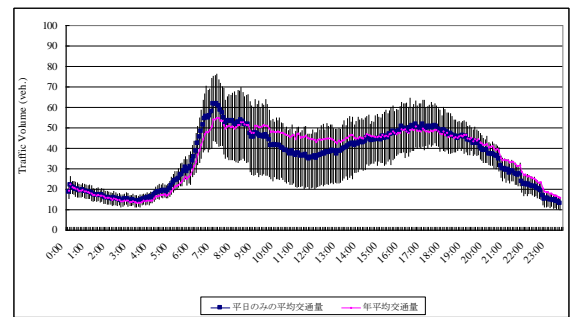


図-3 平均交通量と変動 (OD14, 平日)

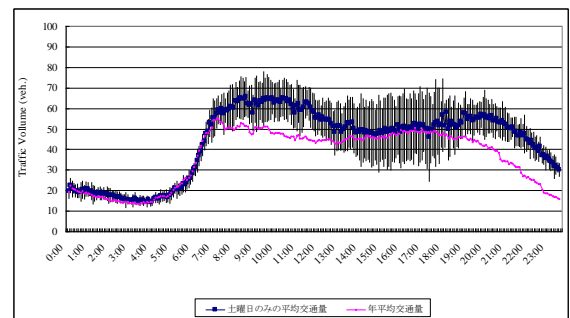


図-4 平均交通量と変動 (OD14, 土曜日)

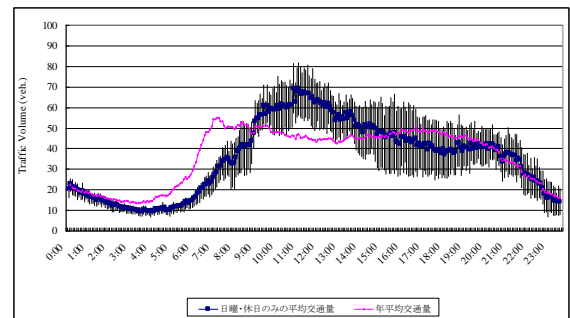


図-5 平均交通量と変動 (OD14, 日曜日・休日)

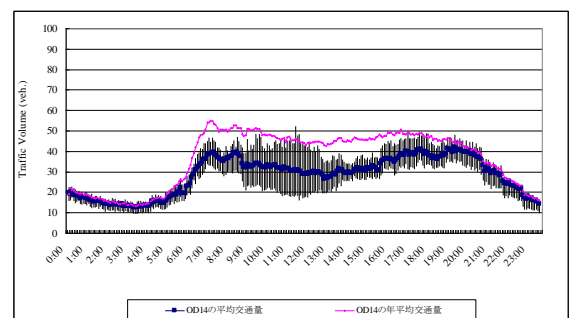


図-6 平均交通量と変動 (OD14, 7月～9月)

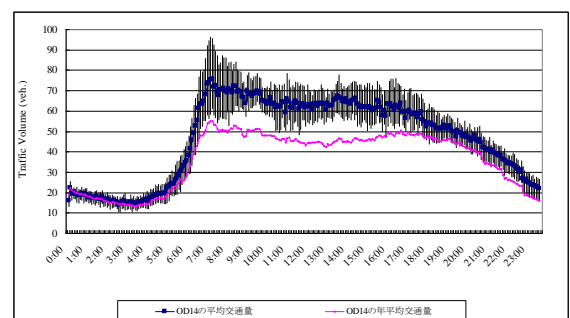


図-7 平均交通量と変動 (OD14, 10月～12月)

「仮説 $H_0$ ：各四半期の経路交通量の中央値の間に差はない」

という仮説を設けて、クラスカル・ウォリス検定を行った結果が表-1である。

表-1 クラスカル・ウォリス検定の検定統計量

	OD11	OD12	OD13	OD14	
カイ2乗	16.52	142.60	287.51	218.47	
自由度	3	3	3	3	
漸近有意確率	0.001	0.000	0.000	0.000	
	OD22	OD23	OD24	OD33	OD34
カイ2乗	410.93	205.96	98.83	191.80	37.60
自由度	3	3	3	3	3
漸近有意確率	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

表1の結果から、すべてのODペアにおいて有意水準5% ( $\chi^2(0.05)=7.81473$ ,  $DF=3$ ) で仮説 $H_0$ は棄却された。すなわち、各ODペアにおける経路交通量は、時期(四半期)によって異なることがわかった。

### (3) 天気による影響

一般的に雨の日は深刻な道路渋滞が生じるといわれている。雨の日の渋滞の原因は、交通量の増加なのか、道路パフォーマンスの低下なのか、それとも両方が原因であるのか。この疑問を明確にするため、雨の日による交通需要の変動を考察する。本研究では、1時間ごとの1年間の気象データに基づいて、降水量1mm以上が2時間以上続いている時を雨天時と定義した。特に、午前中の雨は交通量の変化に大きな影響を与えると考え、午前中雨が降った日に注目した。2005年1月1日から2005年12月31日までに午前中に雨が降った日は29日間であり、平日は20日、土曜日は5日、日曜日及び休日は4日間である。

推定された経路交通量を用いて午前中に雨が降った日の経路交通量の集計を行った。その結果の一例が図-8である。この図からは年平均交通量である細い線とOD14における午前中雨天時の平均交通量である太い線を比較してみても交通量の増減は軽微である。ここで、すべてのODペアにおける年平均交通量対比の午前中雨の日の平均交通量の増減を集計した。その結果が表-2である。雨が降った午前の時間帯のうち、朝のピークである7時から9時までの交通量をもみても、5つのODペアは年平均交通量より増加しているものの、4つのODペアはむしろ減少している。各雨天時の経路交通量が年平均交通量と差があるのかを統計的に検証するため、7時～9時の交通量について対応のあるt検定を行った。その結果を見ると、OD11を除いた全てのODペアが年平均交通量と雨天時の平均交通量に差があることがわかる(両側検定、自由度23、5%有意水準で、t値は2.069)。すなわち、雨天時に交通量が増加するとはいいいきれないものの、交通

量に変動はあるといえる。

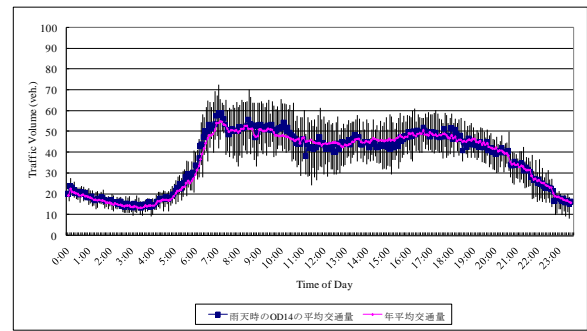


図-8 OD14における午前中雨天時の平均交通量と変動

表-2 午前中雨天時の平均交通量の増減対比

OD ペア	7時～9時		9時～17時	17時～19時	19時～7時
	t 値				
OD11	1.47	-0.89	-6.11	-12.83	-6.22
OD 12	-10.50	16.19	-4.07	-9.14	-5.53
OD 13	-5.62	6.21	-3.48	2.63	-3.30
OD 14	2.66	-3.75	-0.76	0.20	2.30
OD 22	12.45	-5.15	15.47	13.54	17.10
OD 23	-14.34	14.08	-10.79	-15.93	-21.33
OD 24	-6.48	3.54	-3.36	1.55	-8.55
OD 33	10.11	-4.25	6.65	-11.27	8.42
OD 34	6.15	-8.38	0.83	-11.03	-3.67

## 5. おわりに

本研究では、動的経路交通量推定モデルを用いて交通需要の変動分析を行った。特に周辺要因として、時間帯、曜日(平日、土曜日、日曜/休日)、季節(四半期)及び天気(雨)などを考慮した交通需要の変動を分析した。その結果、各要因によって交通需要は変動し、統計的にもその差は有意であることが検証できた。

しかし、交通需要の変動には複数の要因が複合的に影響を及ぼしているため、それらを考慮した分析が必要であると考えられる。交通需要は道路パフォーマンスと密接な関係があり、道路パフォーマンスの変動に基づいた交通需要の変動分析も必要である。また、本研究で言及している変動についても定量化することでより具体的な交通管制方策の対案を提示することができると考えられる。最後に、本章で挙げられた周辺要因以外に考えられる要因についての追加分析も必要である。

### 参考文献

- 1) Highway Capacity Manual, Special Report 209, Transportation Research Record, TRB, 1985
- 2) 金進英, 倉内文孝, 飯田恭敬, “発生交通量を未知変数とした動的ネットワーク交通量推定モデルの構築”, ITS シンポジウム, 2003