

# 都市高速道路の時間・日交通量の変動特性と分布形状に関する一考察

著者	稲田 裕介, 中山 晶一郎, 高山 純一
雑誌名	土木学会論文集D3 (土木計画学) = Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. D3 (Infrastructure Planning and Management)
巻	67
号	5
ページ	67_I_553-67_I_561
発行年	2011-01-01
URL	<a href="http://hdl.handle.net/2297/36336">http://hdl.handle.net/2297/36336</a>

doi: 10.2208/jscejipm.67.67\_I\_553

# 都市高速道路の時間・日交通量の変動特性と 分布形状に関する一考察

稲田 裕介<sup>1</sup>・中山 晶一郎<sup>2</sup>・高山 純一<sup>3</sup>

<sup>1</sup>学生会員 金沢大学大学院 自然科学研究科 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)  
E-mail: ysksysk@stu.kanazawa-u.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 金沢大学 環境デザイン学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)  
E-mail: snakayama@t.kanazawa-u.ac.jp

<sup>3</sup>フェロー会員 金沢大学 環境デザイン学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)  
E-mail: takayama@t.kanazawa-u.ac.jp

交通量の確率的性質については、交通量がどのような確率分布に従っているのかというような基本的な問題を含めて、いまだ未知の部分も多い。本研究では、交通量を対象に都市高速道路の時間交通量と日交通量の確率変動特性がどのようなものか、そして、それらがどのような確率分布形に従うのかについて、阪神高速道路の観測交通量を用いて統計学的に考察する。具体的には、実測交通量分布と正規分布に代表される理論分布との適合を適合度検定を用いて検証している。適合度検定には、統計学的検定手法の1つであるKolmogorov-Smirnov検定を用い、交通量分布の形状がどのような統計分布形状に合致しているか分析をしている。

**Key Words :** *traffic flow, probability distribution, goodness of fit test*

## 1. はじめに

近年、道路サービスに対する信頼性が社会的に求められている。道路サービスに対する信頼性には種々のものがあるか、その主要なものの一つは時間信頼性、つまり、旅行時間の信頼性であると考えられる<sup>1) 2)</sup>。道路利用者にとっては、旅行時間の変動は小さく、安定的であることが望ましい。時間信頼性を向上させるためには、道路ネットワーク上の各リンクの旅行時間の変動を把握し、変動が大きいリンク等に対しては何らかの施策を実施することが必要となろう。しかしながら、一般に旅行時間の把握は容易ではないことが多い。より容易に計測が可能なのは(断面)交通量である。交通量の変動を計測することが出来ると、それを旅行時間に変換し、旅行時間の変動を推定することが出来る。旅行時間の変動を直接観測するだけでなく、より観測が容易な交通量変動を計測し、旅行時間を推定するアプローチも有用と思われる。

交通量は、週や月等の周期的な要因と、自然現象や事故をはじめとする突発的に起こるランダム要因など、いくつもの要因が複雑に絡み合っただけでなく、より観測が容易な交通量変動を計測し、旅行時間を推定するアプローチも有用と思われる。

交通量がどのような形状の確率分布に従って、変動しているのか、さらに、どの条件によりその分布はどのように変化するかなど基本的事項が把握できていないのが現状であると考えられる。

交通量の変動特性、確率的特性の分析を行った研究については、中山<sup>1)</sup>で詳述されているため、ここでは割愛するが、交通量がどのような確率分布に従って変動しているのかについては、実測に基づいた知見を重ねる必要がある。上述の通り、道路の時間信頼性を考える上では、旅行時間の確率分布を仮定する必要があるが、交通量の確率分布が分かるならば旅行時間関数によって、それを旅行時間分布に変換することが出来る。このように時間信頼性を考える上では、交通量の確率分布がどのようなものを把握することは非常に重要である。また、道路の運用・管理の観点から重要なもの一つには、渋滞対策があり、交通容量を超えた交通量がどの程度発生するのかを知ることは非常に有用である。そのような観点からも交通量の確率分布を把握することは重要と考えられる。

本研究では、阪神高速道路上の交通量観測データを用い、交通量特性を確率・統計学的に分析することにより交通量の変動特性を明らかにする。具体的には、阪神高

速道路での交通量分布形状がどの確率分布に適合しているのかを検定し、その分析結果から阪神都市圏ネットワーク全体の交通量変動特性（確率的特性）を把握するものである。

この研究により、阪神高速道路の交通量がどのような確率分布に従っているのかが明らかになると期待できる。このような研究知見を重ねることによって、交通量がどの確率分布に従っているのかが特定できる。交通量が何分布に従っているのかが分かると、平均と分散などの観測・推定によって、交通量分布を同定でき、それを旅行時間分布に変換できる。これを用いて道路ネットワークの時間信頼性分析が可能となろう。このように時間信頼性などを考慮した道路の運用・管理・情報提供・路線計画などが新たにできるようになると期待できる。

## 2. 研究に用いる交通量データ

研究に用いたデータは、阪神高速道路の本線ならびにランプ部分等に設置されたトラフィックカウンタデータである。ここでは、5分間交通量データから作成した時間交通量・日交通量である。データ観測期間は、2003年3月1日から2007年5月31日までの1553日間である。観測されたデータについて Step 1 から Step 3 に示した手順により、該当する地点のデータ、交通量データのクリーニングを行った。

- Step 1 感知器が正常に働かない時間帯の交通量を削除
- Step 2 感知器数が車線数を満たさない地点データを削除
- Step 3 有意水準  $\alpha = 0.05$  でスミルノフ・グラブス検定によって外れ値の削除

Step 2 の定義にしたがって不要な観測地点を取り除くと、分析の対象となる観測地点は合計 867 箇所となった。その内訳は本線上 485 箇所、ランプ上 361 箇所、本線料金所手前 14 箇所、パーキングエリアの入口部分 7 箇所である。

Step 1 から Step 3 まで通して、時間交通量の不要デー

表-1 日交通量のデータ削除割合(曜日別)

曜日	a.観測日数	b.観測データ個数 =(a) × 地点数867	c.削除個数 (のべ日数)	d.削除割合(%)
月	193	167331	16446	9.8
火	210	182070	18798	10.3
水	212	183804	17518	9.5
木	211	182937	18113	9.9
金	209	181203	20370	11.2
土	208	180128	34148	19.0
日祝	311	269637	46087	17.1
全体	1554	1347110	171480	12.7

表-2 算出した統計諸量一覧

最大値	中央値	変動係数
最小値	最頻値	尖度(せんど, kurtosis)
平均値	標準偏差	歪度(わいど, skewness)

タ削除割合(観測地点削除は含まず)は全体(867か所)で約3%である。時間交通量から日交通量のデータ作成を行うにあたり、以下の条件 i, ii に従うこととする。

- i. 日交通量は時間交通量の和である。
- ii. 削除された時間交通量データが含まれる日のデータは削除対象とする。

日交通量データの削除割合を表-1に示す。日交通量のデータ削除割合は、全体で12.7%であった。

## 3. 統計諸量との関係性に関する考察

### (1) 統計諸量概要

本章では、交通流の状況を統計学的に表現する各指標を算出し、それらの関係性に関して考察を行う。

表-2に算出した統計諸量の一覧を示す。表-2中での「歪度」は、対象とする分布の歪み具合を示す指標であり、値が正をとれば分布形状は左側に歪み、右側の裾が厚く、逆に負の値をとれば右に重みを持っていると考えられ、0からその値が離れるほど左右非対称な分布であると判断できる。特に正規分布では、左右対称であるため、歪度の値は0となる。また、表-2の「尖度」は、分布の尖り具合を示す指標であり、尖度が大きければ鋭いピークと長く太い裾を持った分布であることが判断できる。正規分布の尖度は0である。

### (2) 歪度ヒストグラムに関する考察

歪度は対象とする交通量分布の数だけ算出した。時間交通量の場合、地点数、曜日、時間帯を掛け合わせたものである。図-1は、その算出した時間交通量に対しての歪度の全ての時間帯のデータを合計した時のヒストグラムを示したものである。なお、ここで度数は地点数である。この図-1をみると、歪度の値が0である箇所を境にすると、正の値である箇所数が、負の値である箇所に比べ多いことが分かる。ここから、この時間帯では、対象となる時間交通量分布が左に歪む地点が多いことが分かる。この図-1の場合、歪度の地点平均をとると

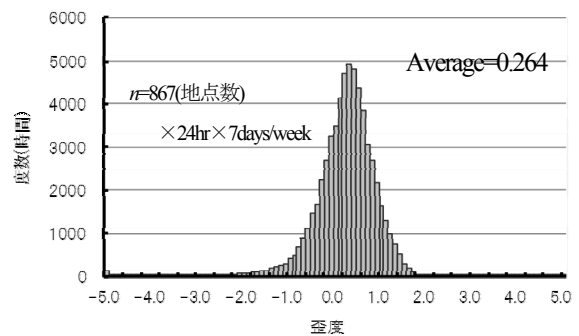


図-1 歪度ヒストグラム(全時間帯合計)

0.264 であった。この地点平均は、阪神高速道路全線での観測時間交通量の非対称具合の全体の傾向を把握するのに有用である。図-2に図-1中に示された Average と同様に算出した歪度を地点平均したものの時間帯変化を示す。なお、図では平日と土曜、日曜・祝日を分けて示している。これをみると、平日、土曜、日曜祝日ともに、夜間に比べ日中の時間帯にこの歪度地点平均が低い傾向にあることが伺える。特に、朝方7時台、8時台、夕方17時台、18時台では、その低下が他時間帯に比べ大きく、平日ではその値が負となっていることが分かる。図-3に平日の7時台の歪度ヒストグラムを示す。上記の時間帯では、歪度が負の値をとる度数が多く、ピークが右に寄り、左に長く厚い裾が伸びるような分布であることが多いことが推認できる。一般に、これら歪度の値が全体的に低下した時間帯は、交通量が一日で多くなる時間帯で、道路には通行可能な容量があり、それ以上の交通量は流れないため、交通量が頭打ちになることが原因

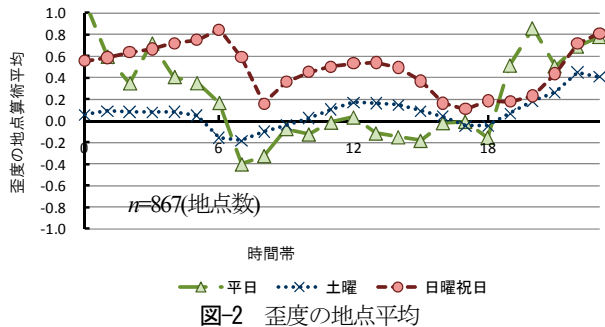


図-2 歪度の地点平均

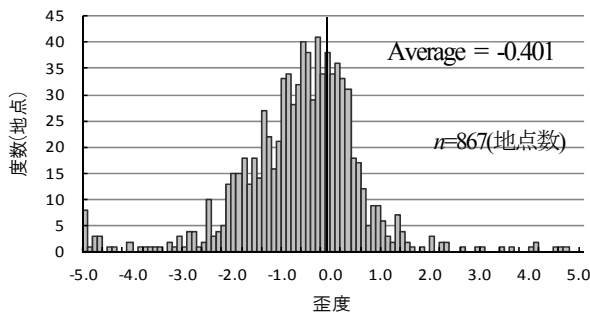


図-3 平日7時台 歪度ヒストグラム

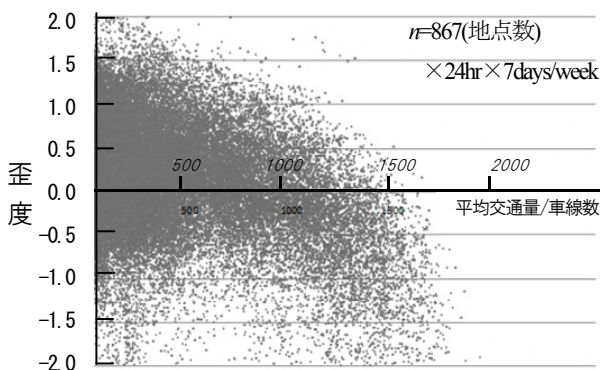


図-4 歪度と1車線交通量との関係性

と考えられる。交通量が少ない場合は容量による頭打ちは実質的にはあまり影響はしないことが多い。

図-4は、平均交通量を車線数で除した1車線平均時間交通量と歪度との関係性を示したものであり、時間数×地点の数だけプロットしたものである。ここから、相関はそれほど高くないが、交通量が増えるに従って歪度の値が負となるよう低下していることがわかり、交通量が増えると交通量の絶対的な大きさが分布のピークを右に傾かせる傾向があることが把握できる。これに関しては、今後、交通容量や渋滞状況等、現地の地域特性との関係性や、理論分布に対する実測交通量分布の適合結果との検討を行うことで詳細に分析していくことが必要である。

### (3) 尖度ヒストグラムに関する考察

前節の歪度の場合と同様、尖度も交通量分布の数だけ算出している。図-5は、算出した尖度のヒストグラム(全時間帯データの合計)である。すなわち、交通量分布が正規分布より平準なものになりやすいことがいえる。また、尖度の地点平均の時間帯変化を図-6に示す。これをみると、平日と土曜・日曜祝日との間で、尖度のとりうる値が、阪神高速道路全体として、まったく異なっており、平日の平均値のほうが、土曜・日曜祝日に比べ圧倒的に大きな値となっていることが分かる。つまり、平日のほうが、全体的に分布形状が尖りやすくなっていることが理解できる。また、ここから、平日、土曜、日曜祝日ともに尖度が負の値をとる地点が少ない傾向であることが理解できる。

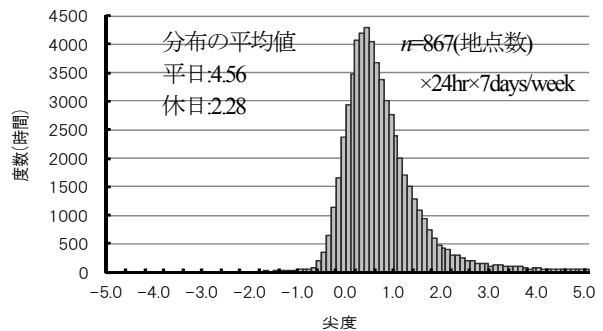


図-5 尖度ヒストグラム (全時間帯合計)

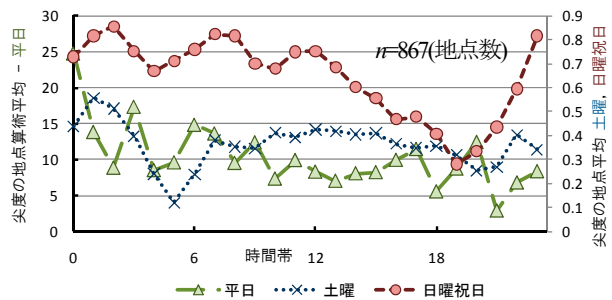


図-6 尖度の地点平均

#### (4) 変動係数ヒストグラムに関する考察

歪度、尖度と同じように、変動係数に関してヒストグラムを考察する。図-7 は変動係数(全時間帯データの合計)のヒストグラムである。また、図-8 は変動係数ヒストグラムの地点平均の時間変化であり、これをみると、平日・土曜に比べ、日曜祝日には、交通量のばらつきが大きくなる傾向、全ての曜日とも日中のほうが、ばらつきが小さくなる傾向が読み取れる。

### 4. 理論交通量分布に対する適合度検定

#### (1) 検定手法の概要

時間交通量、日交通量、それぞれの交通量を曜日分類し、各曜日の成分のみを抽出した。日交通量については、地点ごとに分け、さらに曜日ごとに交通量のヒストグラムを作成した。時間交通量については、24 の時間交通量を地点・曜日ごとにヒストグラムを作成した。その結

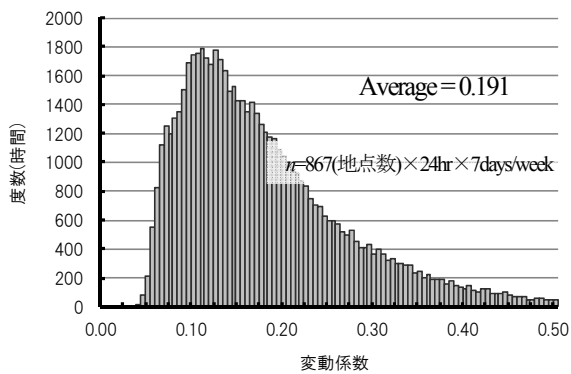


図-7 変動係数ヒストグラム (全時間帯合計)

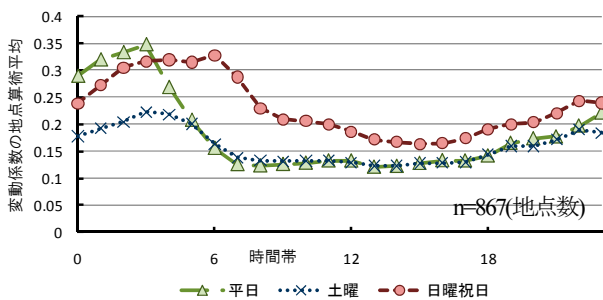


図-8 変動係数の地点平均

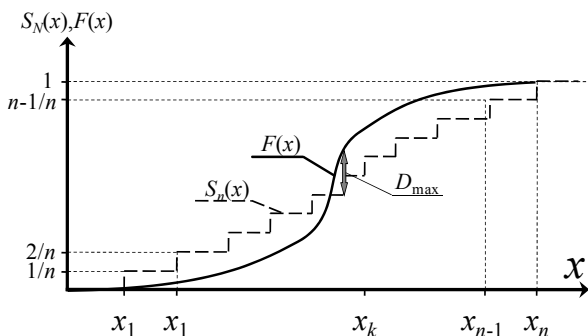


図-9 K-S検定の概要

果、正規分布に比較的似た形状の交通量分布が多く確認できた。本研究では、観測された交通量分布がどのような確率分布に従うのか判断するため、代表的な確率分布を取り上げ、交通量がそれら分布に従っているのかどうかを統計的に判定する適合度検定を検定手法にKolmogorov-Smirnov 検定 (以下、K-S 検定) を用いた。分布の適合度検定にはいくつかのものがあるが、本研究では、比較的計算が簡便である K-S 検定を用いることにした。この K-S 検定は、実測分布 (実測度数) が理論分布に従うかどうかを、図-9 のように累積分布関数として表わし、理論分布 (分布関数) との差の最大値  $D_{max}$  とを検定統計量有意水準  $\alpha$  の限界値  $D_n^\alpha$  によりと比べて判定を行うものである。すなわち、 $D_{max} < D_n^\alpha$  となると、その分布の理論分布への適合性が認められる。なお、図-9 において階段状の分布が実測値の累積分布関数  $S_n(x)$  を表しており、次の式(1)を用いて表すことができる。なお、式(1)中  $x_k$  は、 $n$  個のサンプル  $x$  を昇順に並べたときの  $k$  番目にあたるものである。

$$S_n(x) = \begin{cases} 0 & (x < x_1) \\ k/n & (x_k \leq x < x_{k+1}) \\ 1 & (x \geq x_n) \end{cases} \quad (1)$$

#### (2) 正規分布に対する適合度検定

##### a) 時間交通量に関して

実測交通量分布の適合度を検定した。なお、検定の有意水準は 5% である。時間交通量に対する検定結果を図-10 に示す。図-10 の横軸は時間帯を表しており、縦軸は適合割合、つまり、全 867 地点における正規分布への適合が認められた地点 (K-S 検定で 5% 有意で棄却されなかった地点) の割合である。

以下、これを考察する。平日の各曜日が時間変化にかかわらず適合割合の高さが同じような傾向が見られたのに対して、土曜、日曜・祝日には、それぞれの正規分布に対する適合度は異なったものとなった。土曜においては、ほぼ全時間にて正規分布への適合割合が 8 割を超え

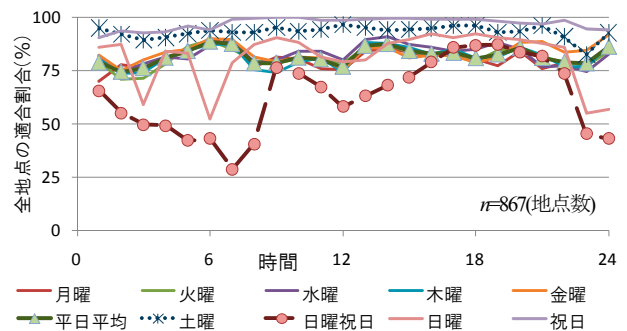


図-10 正規分布に対する K-S 検定結果 (時間交通量)

高いものとなった。日曜・祝日を見ると、他の曜日に比べ正規分布への適合割合が低い結果となった。日曜・祝日の適合割合が低い結果となった理由に、日曜と祝日の変動が大きく異なることが考えられる。これについて、この二者を用いて独立性の検定を行った結果有意な差が表れたこと、両者を違うものとして扱い再度適合度検定を行ったとき適合割合が向上したことから裏付けられる。

土曜の正規分布への適合割合に比べ、日曜祝日と平日の適合割合は低い結果である。これは、平日や日曜祝日の適合割合が低い原因としてデータ量の多さが影響している可能性がある。つまり、土曜日のサンプル数は、平日や日曜・祝日のサンプル数よりも少ないため、土曜日の限界値  $D_n^{\alpha}$  は相対的に大きくなり、棄却されにくくなっている可能性があり得る。また、4年3カ月のスパンにおける長期的な変動があることも考えられる。そこで、年変化を要因に、一元配置分散分析(有意水準  $\alpha=0.05$ )を行ったところ、約9割の地点(867地点中、806地点)で各年の交通量に有意な差(傾向変動、経年変動)が存在することが明らかになった。データの多さ以外、今回分析した適合割合が低くなる要因として次のことが考えられる。まず、二つ山のヒストグラムが存在する。この分布形状は、深夜、大阪市都心やその周辺地域での本線やランプ部分で多く確認できた。今回、一般的に交通量が最も減少する午前5時でなく、午前0時を各曜日の境界にしたため、これらの地点では、例えば日曜深夜時間の交通量が平日深夜の適合割合に影響しているものと考え

られる。

二つ山にならずとも、左右のどちらかに分布の重心が偏ったヒストグラムも多く確認できている。これについても同様の原因が考えられる。

また、利用の少ない路線(北神戸線・神戸山手線など)、特にその中のランプ部分は深夜時間帯に、交通量が極端に少ないため、正規分布に適合しない分布が多く確認されている。

図-11 に図-10 において適合が認められなかった地点の路線構成比を示す。図中のデータは適合度検定によって理論分布に適合されなかった地点すべてを路線別に分類し100分率で表現したものであり、平日、土曜、日曜、祝日に系列を分けて、観測地点の構成比と合わせ示している。これをみると、観測地点の構成比に比べ、平日では、環状線(7.0%)や守口線(7.0%)では正規分布への適合が認められなかった地点の路線構成比率が高くなっており、阪神高速全体の中で交通量分布が正規分布に適合しない傾向が比較的強い路線であると判断することができる。

図-12a に環状線、図-12b に守口線の適合結果を示す。これらの路線に共通してみられる特徴は、平日の日中時間帯での適合割合の低下である。環状線では朝、夕のラッシュ時間帯を中心に正規分布への適合割合が20%となり、守口線では、日中はほぼすべての時間帯で20%を下回り、曜日によっては、0%となることもある結果であった。

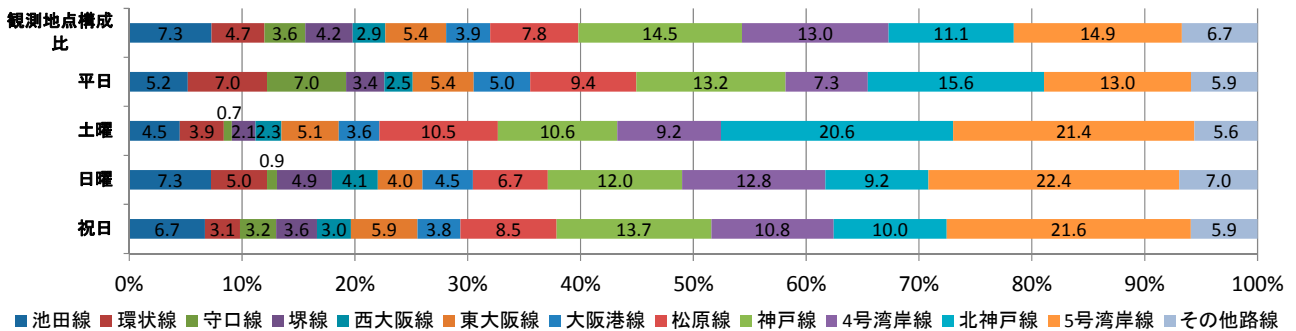


図-11 適合が認められなかった地点の路線分類(n=867)

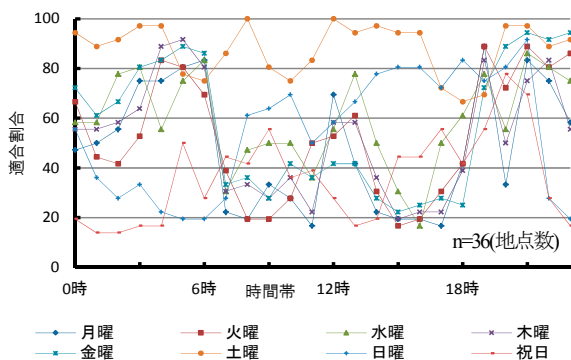


図-12a 環状線検定結果(正規分布・時間交通量)

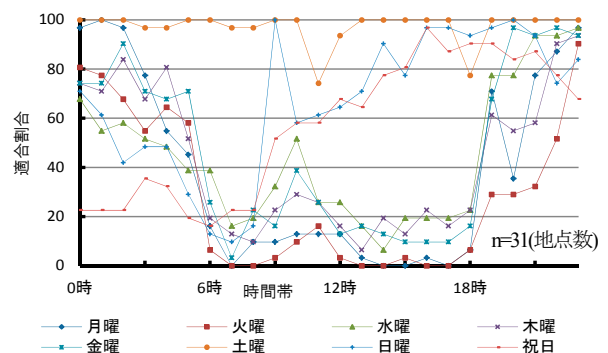


図-12b 守口線検定結果(正規分布・時間交通量)

また、図-11において、先程とは逆に適合しなかった地点の構成割合が、観測地点の構成比に比べ小さくなっている個所のデータも存在する。4号湾岸線や、池田線はその例である。図-13aに4号湾岸線、図-13bに池田線の適合結果を示す。これらの路線に共通してみられる特徴は、平日、日中時間帯にも正規分布への適合割合が低下していないことである。しかし、両者とも日曜祝日の適合割合が低下している。この理由を含め、今後詳細な分析が必要となってくる。

### b) 日交通量に関して

時間交通量に対してと同様に、日交通量に対しても同様の検定を行った。その結果を図-14に示す。図-14の横軸は曜日を表しており、データの系列は、検定の有意水準である。縦軸は、図-14と同様全地点における適合割合である。これを見ると、5%有意水準では、適合割合が、全ての曜日で75%を超える高い割合を示していることが分かる。

ここで、正規分布との適合が認められない日交通量分布の形状の分類を示す。主要パターンは、3つに分けられ、I. 左右どちらかにピークが偏っているもの、II. 外れ値データが存在しているもの、III. 二つ山の分布のもの、である。曜日により異なるが適合が認められない地点のうち、約8割がこれら主要パターンのものであった。曜日別日交通量のうち火曜日のデータに対して目視でこれらのパターンの判別を行った。その結果、3つの主要パターンのうち、II. 外れ値データが存在しているもの

(63個)が多い結果となった。続いて、I. 左右どちらかにピークが偏っているもの(40個)、III. 二つ山の分布のもの(20個)であった。その他(37個)は、これらのパターンの特性のうち複数を併せ持っているものが比較的多く、主要パターンとは全く異なった形状のものは少ない結果となった。図-15は、適合性が認められない分布に多くみられた形状の主要パターン例を示したものである。

この分類に関する分析は、他曜日の検討や、近接しあう観測値間での分布形状の関係等、解明の余地が多くあり、今後の詳細な分析を課題としたい。

### (3) 対数正規分布に対する適合度検定

対数正規分布は、正規分布とともに代表的な確率分布であり、交通量分布がこの分布に従いやすいことが把握できれば、分布の構造が比較的単純であることから対数正規分布を推計モデル式に組み込みやすい。Richardson・Taylor<sup>5)</sup>の研究では、旅行時間の分布に対して、正規分布と対数正規分布への適合に対する検定 ( $\chi^2$ )

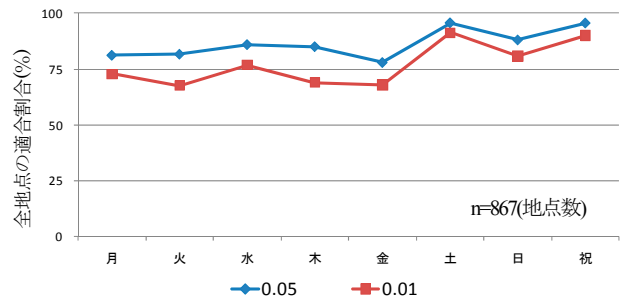


図-14 検定結果 (日交通量・正規分布)

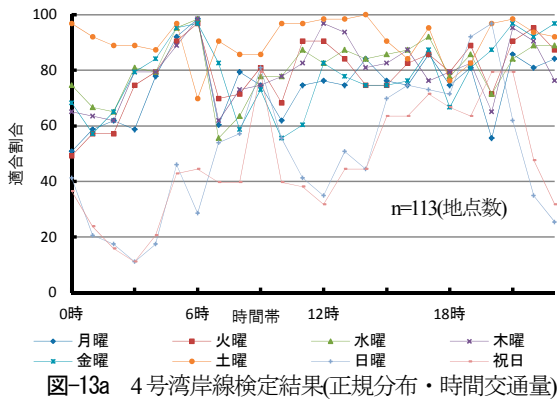


図-13a 4号湾岸線検定結果(正規分布・時間交通量)

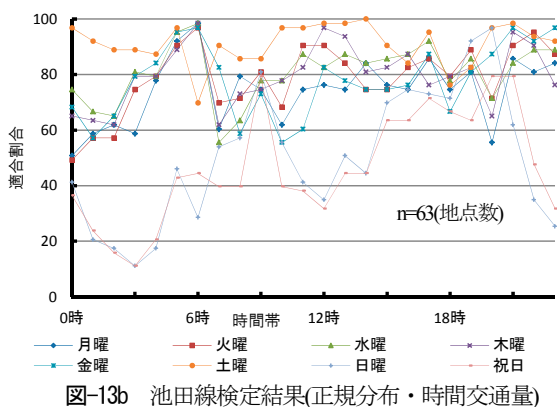


図-13b 池田線検定結果(正規分布・時間交通量)

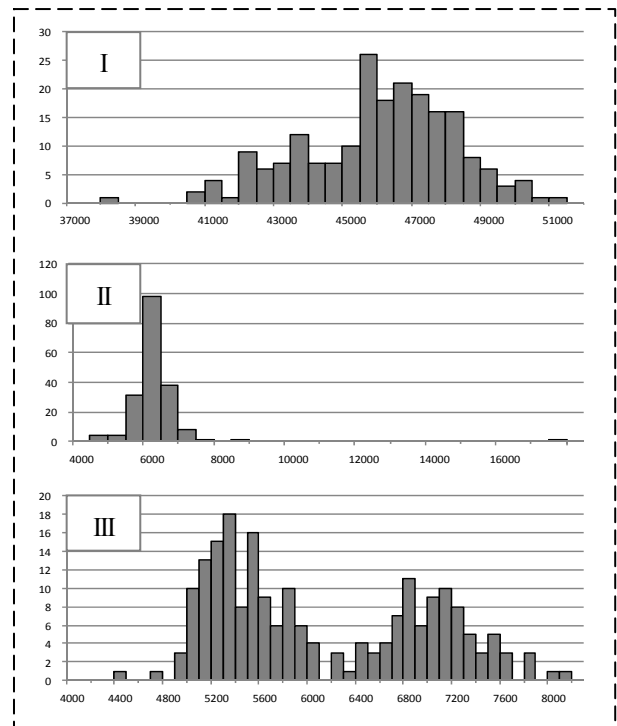


図-15 正規分布と認められない分布の主要パターン

検定, 歪度に対する検定, K-S 検定) を行い, 明らかに正規分布ではないと結論付け, 対数正規分布への適合が比較的良好であったと報告している. この研究では, 旅行時間に対して分布の適合度を検定しているが, 本研究では, 交通量に対して対数正規分布への適合度検定を行った.

#### a) 時間交通量に関して

理論分布を対数正規分布とし, 正規分布と同様に実測交通量分布の適合度を時間交通量・日交通量ともに検定した. 時間交通量に対しての結果を図-16 に示す.

図を見ると, 時間によって適合割合にばらつきは存在するが, 平日では全体の 50% から 80%, 土曜では 75% から 90%, 日曜日では 50% から 85% の適合割合であることが分かる. これを正規分布の結果と比較すると, 平日ではあまり変わらず両者とも高い適合を示しており, 土曜も適合割合に大きな差は見られなかった. 一方, 日曜日では, 正規分布の時と比べ対数正規分布に対する適合割合が増加するような結果となった.

#### b) 日交通量に関して

時間交通量に対する適合度検定と同時に, それから作成された日交通量分布に対しても同様の検定を行った. 検定では, 日交通量を曜日ごとに整理したものをを用いた. その結果を図-17 に示す (5% 有意水準). なお, 比較のため正規分布の結果も同時に記載する. この結果を見ると, おおよそ平日で, 70% 前後, 土曜は正規分布と同様に 90% を超える高い値をとっていることが分かる, また日曜日で 70% の値をとっており, 全体として正規分布より適合度が低い結果であることが分かる.

### (4) ジョンソン分布 $S_B$ システムに対する適合度検定

#### a) 検定の概要

前節までに正規分布・対数正規分布を対象としたときの, 時間交通量, 日交通量, それぞれの分布の適合結果を得た. その結果, 時間や地点により多少のばらつきは存在するが, おおよそ 7 割以上の地点で適合が見られた. 一見すれば高い適合を得たが, これら以上に高い適合を得る分布が存在しないとは限らない. 例えば自由度の大

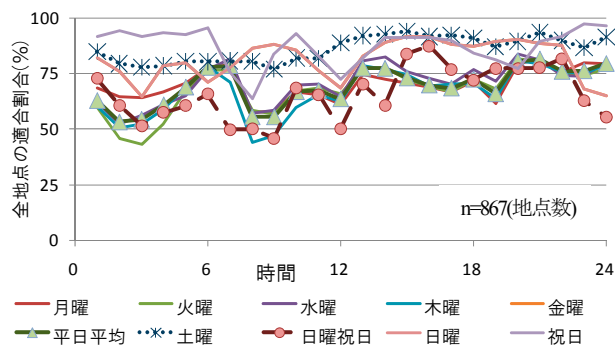


図-16 検定結果 (時間交通量・対数正規分布)

きな分布は, 多様な形状をとるため, 多くの実測分布に適合するはずである. 左右に分布の山が偏るような形状を表現できるものにベータ分布が存在する. また, 山が二つ存在するような分布形状は, パー分布システムに代表される分布で補完することができる.

本節では, そのように自由度の高い分布形状の中から, ジョンソン分布  $S_B$  システムに着目し, この分布への適合可能性を検証した. 以下, その詳細に関して述べる.

#### b) 理論分布 - ジョンソン分布 $S_B$ システム

本研究では正規分布・対数正規分布に加え, 新たな統計分布族としてジョンソン分布  $S_B$  システム (以下: ジョンソン SB 分布) を検定に用いた. このジョンソン SB 分布は, 非対称な形状を表現できる分布として, ベータ分布などと同様に, パラメータの設定により, 平均, 標準偏差, 歪度, 尖度を自由に設定できるため, 多くの分布データにフィットできると期待できる (図-18 参照). この分布を採用した理由として, 多くの形状を表現できることに加え, ベータ分布と比較したとき, このジョンソン SB 分布は式が比較的単純であることが挙げられる. ここから将来のモデルの組み立てにも, 比較的応用しやすいと考える. このジョンソン SB 分布の確率密度関数を式(2)に, 累積分布関数を式(3)に示す. 式中  $\alpha, \beta, \gamma, \delta$  は, パラメータであり, 分布の定義域は  $\alpha < x < \beta$  である. また, 式(3)中,  $\Phi[\cdot]$  は, 標準正規変数の累積分布関数を表している.

$$f(x) = \frac{(b-a)}{(x-a)(b-x)\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left[\gamma + \delta \log\left(\frac{x-a}{b-x}\right)\right]^2\right\} \quad (2)$$

$$F(x) = \Phi\left[\gamma + \delta \log\left(\frac{x-a}{b-x}\right)\right] \quad (3)$$

#### c) 検定結果

検定は計算時間の関係上, 日交通量に対してのみ行った. 検定手順は, ジョンソン SB 分布の 4 つのパラメータ  $\alpha, \beta, \gamma, \delta$  を表-3 に示すように変化させたとき, そ

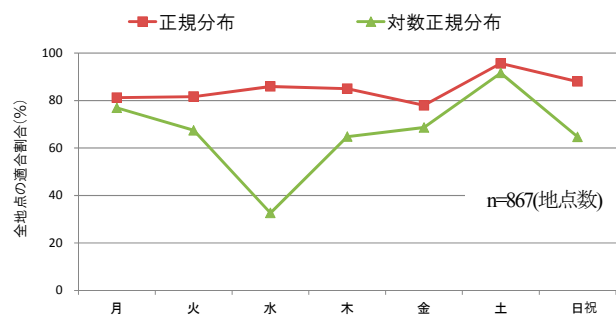


図-17 検定結果 (日交通量・対数正規分布)



それぞれのパラメータの組み合わせ条件における理論分布の分布関数を算出する。この分布関数と式(1)で表される実測分布  $S_n(x)$  との差の最大値  $D_{max}$  を、各地点・曜日でパラメータの組み合わせだけ算出し、その組み合わせの中で最小となる  $D_{max}$  と検定統計量の大小関係から判定を行った。

この適合度検定結果を図-19 に示す。いずれの曜日についても正規分布・対数正規分布よりもこのジョンソンSB分布への適合の方がよいことが分かる。しかし、正規分布と比較すると、その適合の良さはそれほど大きなものではない。ここから、パラメータの変化量によるが、変化量次第では、正規分布以上の適合結果を得ることが確認できる。

今後、パラメータの設定方法や、検定により適合しない分布形状の把握について詳細な検討が必要である。

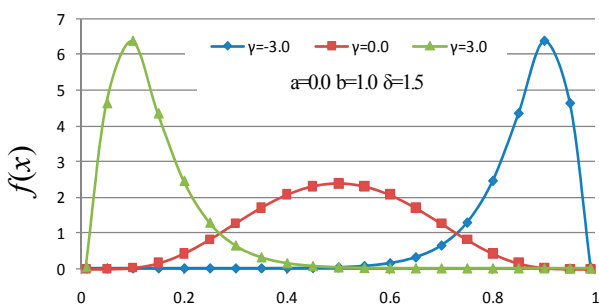


図-18a ジョンソンSB分布 ( $\gamma$ を変化させた場合)

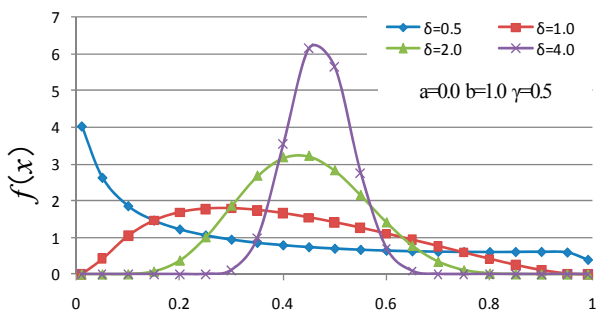


図-18b ジョンソンSB分布 ( $\delta$ を変化させた場合)

表-3 パラメータの変化量

パラメータ	変化条件	変化数
a	最小値から負方向にレンジの1%刻み, 50%まで	51
b	最大値から正方向にレンジの1%刻み, 50%まで	51
$\gamma$	範囲:-1.5~+1.5.0.1刻み	21
$\delta$	範囲:+1.5~+4.5.0.1刻み	31

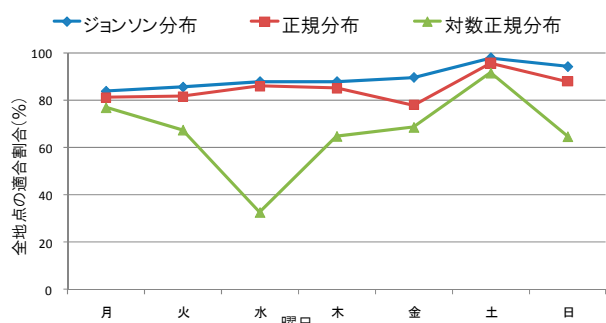


図-19 検定結果 (日交通量, 理論分布: 3種)

## 5. まとめ

本研究では、阪神高速道路の時間交通量・日交通量分布それぞれに対して、分布形状がどのような理論分布に従いやすいのか理論分布への適合度検定を持って分析を行った。

その結果、正規分布、対数正規分布に対しての適合性は曜日・時間により、多少のばらつきは存在するが、おおむね7割以上の地点において、適合性が認められるものとなった。また、上記の理論分布に加え、自由度の高い分布形状としてジョンソン分布SBシステムに着目し、同様に検定を行った。そこから、パラメータの分布形状次第では、適合割合がより高くなる結果を得られた。

また、統計諸量の一つとして分布の非対称性を示す歪度に対する分析を行った結果、概念的ではあるが時間変化によって分布形状に変化が生じており、1車線あたりの交通量の増減とも関連性が存在することを示すことができた。尖度のヒストグラムを調べた結果から、時間交通量分布は、正規分布よりも尖った地点が多くなることが把握できた。

本研究の今後の展開として、時々刻々、様々な条件により変化していると考えられる交通量分布がどういった条件により、その形状がどのように変化するか検討すること、また、それが、旅行時間分布の形状とどういった関わりを持っているのかを明らかにすることが重要であると考え。これらについては今後の課題としたい。

謝辞：研究遂行にあたり、データ提供や加工にご協力頂いた阪神高速道路株式会社、株式会社都市交通計画研究所の方々にこの場を借り、改めて感謝の意を示します。

## 付録 スミルノフ・グラブス検定の手順

### i. 前提条件

帰無仮説：全てのデータは同じ母集団のものである。

対立仮説：データ  $(x_1, \dots, x_n)$  のうち、平均値から最も離れたサンプル  $x_i$  は外れ値である。

### ii. 検定統計量 $T_i$ の算出

$$T_i = |x_i - \bar{x}| / \sqrt{u}$$

※  $\bar{x}$  は平均値,  $u$  は不偏分散

### iii. 棄却限界値 $\tau$ との比較

$T_i > \tau$  then 帰無仮説を棄却する。

$T_i < \tau$  then 帰無仮説を棄却できない。

※  $\tau$  は以下の式により算出

$$\tau = \frac{(n-1)t}{\sqrt{n(n-2)+nt^2}}$$

$t$  は、有意水準  $\alpha$  , 自由度  $n-1$  の  $t$  分布の  $100\alpha/n\%$  ile 値

#### 参考文献

- 1) 中山晶一郎：道路の時間信頼性に関する研究レビュー，土木学会論文集 D3（土木計画学），Vol. 67, No.1, pp. 95-114, 2011.3.
- 2) 中山晶一郎：ネットワークレベルでの道路交通の信頼性研究の諸相・展望とその便益評価の一考察，土木学会論文集，Vol. 67, No.2, pp. 147-166, 2011.4.
- 3) 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, pp.22-32, 1981.
- 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，交通工学研究発表会論文集，Vol.27, pp.173-176, 2007.
- 5) Richardson, A. J. and Taylor, M. A. P.: Travel time variability on commuter journeys, *High Speed Ground Transportation Journal*, Vol. 12, pp. 77-99, 1978.
- 6) Montgomery, F. O. and May, A. D.: Factors affecting travel times on urban radial routes, *Traffic Engineering & Control*, Vol. 28, pp. 452-458, 1987.
- 7) 西内裕晶，Marc MISKA，桑原雅夫，割田博：観測時間の集約と OD 交通量の分布形の関係に関する基礎的研究，土木計画学研究講演集，Vol. 41 (on CD-ROM, No.271), 2010.
- 8) 福田大輔：旅行時間変動のリンク間加法性に関する一考察，土木計画学研究講演集，Vol. 42 (on CD-ROM, No.172), 2010.
- 9) 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, pp. 49-58, 2001.

(2011.2.25 受付)

## AN ANALYSIS ON PROBABILISTIC VARIABILITY AND DISTRIBUTION OF HOURLY AND DAYLY TRAFFIC VOLUMES OF URBAN EXPRESSWAYS

Yusuke INADA, Shoichiro NAKAYAMA and Jun-ichi TAKAYAMA

Probabilistic property is considered as one of the traffic change, "What is the distribution of what the traffic distribution," including such basic issues that still many unknown parts. Once it is cleared what probability distributions follows to the traffic, now handled in a probabilistic traffic, road management plan could help enable us to access travel time reliability considering variation.

In this study, using cross-section traffic data from all lines of the Hanshin Expressway, time for statistical analysis conforms to the theoretical model does not make what the shape of the distribution of hour or daily traffic.