

都市高速道路におけるランプ間OD交通量の短時間変動分析

Analysis on short-duration variations of traffic volume between entrances and exists on an urban expressway*

小池真実**・井料隆雅***・朝倉康夫****

By Mami KOIKE**・Takamasa IRYO***・Yasuo ASAKURA****

1. はじめに

交通量が変動することは、交通量データを収集したり利用したりするときに留意すべき点の一つである。交通量の時間変動と道路の混雑には密接な関係があるし、日変動は旅行時間の信頼性を損ねる原因の一つとなりうる。交通量の変動の性質を知ることが、効率的な道路ネットワークの計画や管理を行う際には必要不可欠である。

交通量の変動を統計的に分析した研究は過去にも多く存在する。たとえば飯田・高山¹⁾は、都市間高速道路上の複数のインターチェンジにおける流入流出交通量の時系列分析を1年間にわたる日交通量データを用いて行っている。その結果、交通量の平均値と分散の間に一定の関係が成立すること、交通量変動の分布形として正規分布が適切であることなどが指摘されている。井料ら²⁾は、都市高速道路の127箇所の入口からの流入交通量の時間交通量の週平均値について約3年間にわたって同様の分析をし、交通量の平均値と分散の関係は場所や時間帯等にかかわらず普遍的に存在することを示した。

以上の研究で扱われた交通量はすべて断面交通量であるが、交通量変動がどのようなメカニズムで発生するかを知るためには、断面交通量よりもOD交通量の変動を分析したほうが都合がよいことが想像出来る。ただし、OD交通量の変動を直接測定することはこれまでは簡単とは言えなかった。たとえば、日流入交通量と起終点調査で得られたランプ間OD交通量を元に推計した結果を基にOD交通量の日変動の特性を分析した研究もある³⁾が、この場合のOD交通量はあくまでも推定値である。

より正確なランプ間OD交通量を知るための有力な手段として、近年急速に普及が進んだETC (Electronic Toll Collection System) により集計される統計データを使用することが最近注目されている。ETCは各車両が

*キーワード：発生交通，交通行動調査，交通行動分析

**学生員，学士，神戸大学大学院工学研究科市民工学専攻

***正員，博士(工学)，神戸大学大学院工学研究科市民工学専攻
(神戸市灘区六甲台町1-1, TEL:078-803-6360,

E-mail: iryo@kobe-u.ac.jp)

****正員，工博，神戸大学大学院工学研究科市民工学専攻

流入した入口と流出した出口がどこかを知ることができるので、これを集計することによりランプ間OD交通量を統計データとして得ることが出来る。このランプ間OD交通量はETC利用車両のみとなるが、最近のETCの普及率の高さを考えれば、ランプ間OD交通量の変動を知るための情報としては非常に有用である。特に、ETC統計データは高い時間分解能でランプ間OD交通量を提供するので、時間的により詳細(分単位)なランプ間OD交通量の変動を把握することが可能である。

高い時間分解能でランプ間OD交通量変動の測定が可能であれば、ランプ間OD交通量がどのような確率分布にしたがって変動しているかを知ることが可能になるだろう。いま、交通量の期待値が十分大きければ、通常は中心極限定理により正規分布が近似的に適切になる(このことは飯田・高山の結果からもサポートされている)。しかし、このことは逆にいうと、「交通量の期待値が十分大きい場合には、データから真の確率分布を知ることが困難になる」ということも意味する。正規分布は正の離散値しかもたない交通量の変動を正確に記述するものではなく、真の確率分布は他のもの(例えばポアソン分布など)になるはずである。このことを調べるには、高い時間分解能を活かしてランプ間OD交通量の集計時間幅を数分程度まで十分小さくし、中心極限定理が成立しないくらいに交通量の期待値を減らすしかない。

短い時間幅で集計されたランプ間OD交通量の統計分析としては、西内らによる例⁴⁾がある。西内らは、首都高速道路におけるETC-ODデータから集計した5分間OD交通量の観測度数分布が負の二項分布に従うことを示した。この結果は統計学的には大変興味深い。なぜなら、仮に車がランダムに出発していれば、一定時間で集計した交通量の分布形はポアソン分布になることが統計学的には予想されるからである。そこで、この結果が普遍的であるかどうかを、首都高速道路以外の道路で確認することがまず必要になるであろう。さらにいえば、5分間OD交通量が負の二項分布に従うのは、観測している変動にランダム成分以外の成分、すなわちトレンド変動が混入し、それによって本来ポアソン分布で出るべきものが

別の分布形で出ている可能性も検証しなくてはならない。負の二項分布は期待値より分散が大きい分布型であり、複数のポアソン分布がかさなった結果として（ポアソン分布では期待値と分散が等しいことに注意したい）、一見そのような分布形が見えたのではないかと、ということも推測できる。実際、西内らの分析では昼間12時間にわたる5分間OD交通量の変動をいっせいにしているため、昼間の交通量を持つ大きなトレンド変動が、ポアソン分布によるランダム変動と混じっている可能性は相当大きい。

本研究では、阪神高速道路のETC統計データを用いて集計したランプ間OD交通量の観測度数分布の分布形を分析する。2章では、西内らと同様の時間帯における分布形が負の二項分布に従うかを確認する。3章では、交通量の1日の間のトレンド変動を混入させないようにするために、観測時間帯を昼間2時間に限定した場合のランプ間OD交通量の観測度数分布がどのような確率分布に従うか分析する。

2. 阪神高速道路の5分間OD交通量の分布形

1章で述べたとおり、西内ら⁴⁾は首都高速道路のETC-ODデータを用いて、5分間OD交通量の観測度数分布が負の二項分布に従うことを明らかにした。ここでは、阪神高速道路のETC統計データにおいても、5分間OD交通量の観測度数の分布形が負の二項分布に従うか検証する。

(1) 分析対象ODペアとETC統計データ

ランプ間OD交通量データは、期間を2008年9月1日から9月30日までの平日20日分とし、時間帯は7時から19時の12時間としている。

分析対象ODペアは、阪神高速の安治川本線(17号西大阪線)を入口とし、北津守(17号西大阪線)を出口にするODペアと、夕陽丘(1号環状線)を入口とし大堀、松原本線(14号松原線)を出口とするODペアとした。この3つのODペアは、平均OD交通量の違いに着目して選んだ。それぞれのODペアの位置と平均交通量を図1に示す。



図1 分析対象ODペアと平均交通量⁵⁾

(2) 5分間OD交通量の分布形

図2から図4は分析対象とした3つのODペアごとに、5分間OD交通量の観測度数と負の二項分布を仮定して推計した期待度数の分布を示している。

負の二項分布の確率密度関数は

$$f(x) = \binom{k+x-1}{x} p^k (1-p)^x \quad (1)$$

と示される。5分間OD交通量の観測度数から平均5分間交通量 μ と分散 σ^2 を求め、以下の式

$$k = \frac{\mu^2}{(\sigma^2 - \mu)} \quad (2)$$

$$p = \frac{\mu}{\sigma^2} \quad (3)$$

からパラメータ k , p を算出することによって、負の二項分布の期待度数を推定した。

図2から図4より、いずれのODペアについても、5分間OD交通量の観測度数分布は負の二項分布に比較的適合しているように見える。負の二項分布は、平均よりも分散が大きなデータに対して適用される分布形であるという特性を持っている。対象のODペアの平均と分散を表1に示す。表1より、どのODペアにおいても平均よりも分散が大きいことが分かる。このことから負の二項分布に比較的適合したと考えることができる。

5分間OD交通量データの負の二項分布への適合度を²検定により調べる。それぞれのODペアの²値とP値を表2に示す。表2のP値は数パーセントかそれ以下の値であり、どのODペアも適合度が十分高いとは言えない。すなわち、阪神高速道路のETC統計データにおいても西内らと同様に、5分間OD交通量の観測度数分布は負の二項分布に従っているが、適合度は十分に高いとは言えないことが分かった。

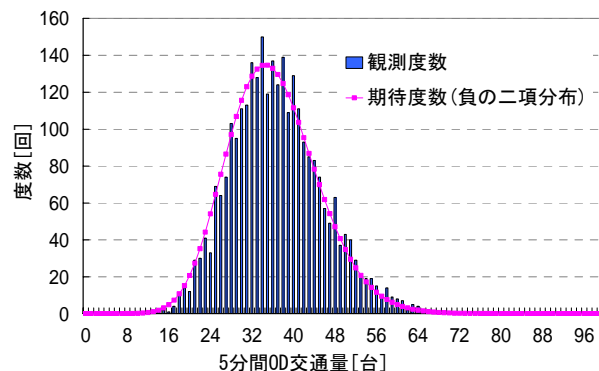


図2 5分間OD交通量の観測度数と期待度数の分布 (OD①: 安治川本線 北津守, 12時間で集計)

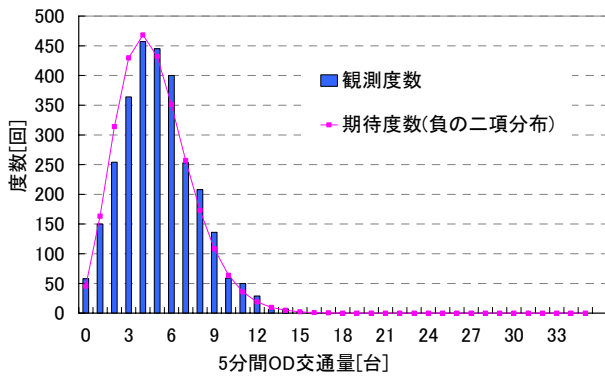


図 3 5分間OD交通量の観測度数と期待度数の分布
(OD②: 夕陽丘 松原本線, 12時間で集計)

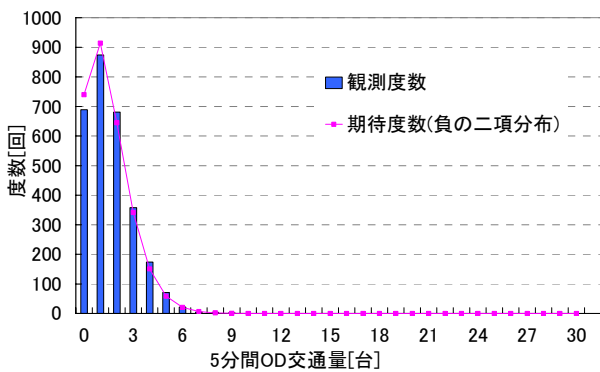


図 4 5分間OD交通量の観測度数と期待度数の分布
(OD③: 夕陽丘 大堀, 12時間で集計)

表 1 5分間交通量の平均と分散(12時間で集計)

	平均5分間交通量[台]	分散[台 ²]
OD①	36.8	76.0
OD②	5.1	6.8
OD③	1.6	1.9

表 2 負の二項分布を仮定したときの χ^2 値と P 値
(12時間で集計)

	χ^2 値	P 値
OD①	74.97507	0.06619
OD②	66.14365	9.84016E-08
OD③	20.05275	0.04462

3. 時間帯を限定した5分間OD交通量の変動分析

(1) 分析の概要

2章では、観測時間帯を7時から19時の12時間とした場合、5分間OD交通量の観測度数の分布形は負の二項分布に従う傾向にあることを確認した。しかし、適合度は十分に高くなかった。負の二項分布は平均よりも分散が大きいデータに対して適用される分布形であるという特

性を持っている。観測時間帯の12時間の中には、朝や夕方方の交通量が多い時間帯と昼間の交通量が少ない時間帯を含んでいる。12時間内の時間帯のトレンドが分散を大きくしていると考えられることができ、そのため負の二項分布に従った可能性がある。

そこで、時間帯のトレンドをできるだけ排除するために、観測時間帯を短くして分析する。交通量が比較的安定していると思われる14時から16時の2時間における5分間OD交通量の観測度数分布がどのような確率分布に従うか確認する。

(2) 分析対象ODペアとETC統計データ

ランプ間ODデータは、2008年9月1日から9月30日までの平日20日間の14時から16時の2時間としている。分析対象ODペアは、阪神高速道路の全てのODペアとする。

(3) 時間帯を限定した5分間OD交通量の分布形

全てのODペアにおいて、5分間OD交通量の観測度数分布を求め、その平均5分間OD交通量と分散を算出し、その関係を図5に示す。図5より平均と分散が一致する傾向にあることが分かる。一方で、ポアソン分布ではパラメータにかかわらず平均と分散が一致することがよく知られている。これにより、5分間OD交通量の分布形はポアソン分布であることが推測できよう。

そこで、例として表3に示す5分間OD交通量の平均と分散がほぼ一致する3つのODペアを取り出し、ポアソン分布に従うか分析する。それぞれのODペアにおける観測度数分布とポアソン分布を仮定して推計した期待度数の分布を図6から図8に示す。図6から図8よりポアソン分布に比較的適合していることがわかる。これら3つのODペアの分布形について、ポアソン分布との適合度を²検定により確認し、²値とP値を表4に示す。表4より、どのODペアについてもP値は十分に大きくポアソン分布に適合していると言える。観測時間帯を14時から16時の2時間にするので、5分間OD交通量の観測度数分布はポアソン分布に従う傾向にあることがわかった。

図5には平均よりも分散が大きくなるODペアが相当数見受けられるが、これらの原因を知るために、1日あたり14時から16時の2時間の5分間OD交通量変動を20日間分連続してプロットした図を図9から図11に示す。図9、図10を見ると交通量が多い特定の日があることがわかる。たとえば、図9における2日と26日である。図11では、24日の交通量がゼロとなっている。平均より分散が大きいODペアには、24日のOD交通量がゼロであるODペアが複数含まれていた。これらから、5分間OD交通量の観測度数分布がポアソン分布に従わないODペアは、特定の日の交通量が他の日の交通量と大きく異なることが、分散を大きくしていると推測できる。

表3 5分間交通量の平均と分散(2時間で集計)

	5分間平均交通量 [台]	分散 [台 ²]
OD 大正西 → 安治川本線	11.59	11.62
OD⑤ 西宮JCT → 芦屋	6.21	6.35
OD 南森町 → 松原本線	2.70	2.72

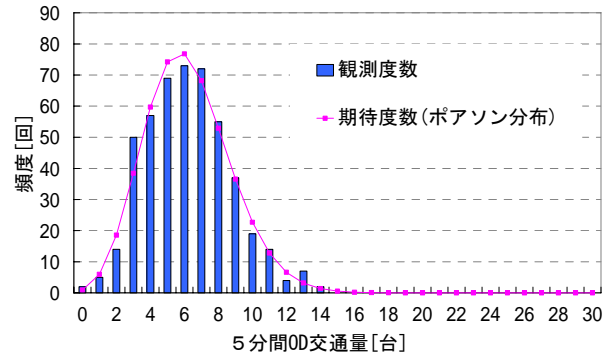


図7 5分間OD交通量の観測度数と期待度数の分布
(OD⑤: 西宮 JCT 芦屋, 2時間で集計)

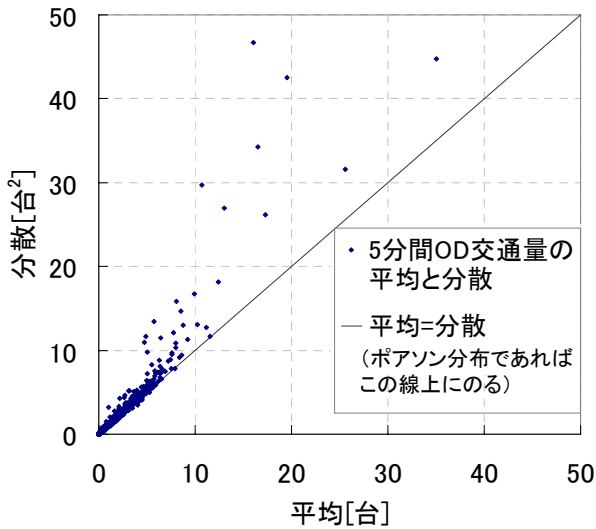


図5 5分間OD交通量の平均と分散の関係
(2時間で集計)

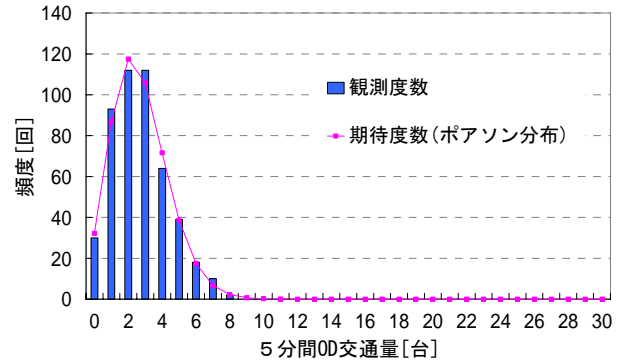


図8 5分間OD交通量の観測度数と期待度数の分布
(OD⑥: 南森町 松原本線, 2時間で集計)

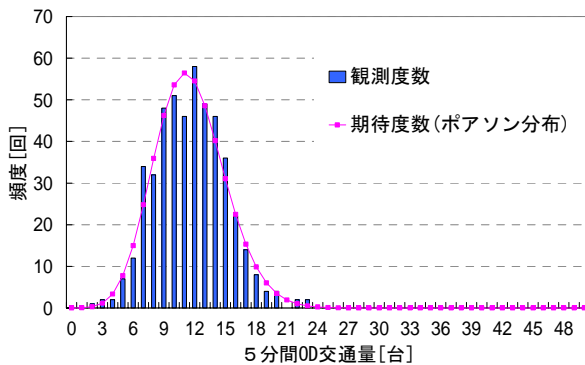


図6 5分間OD交通量の観測度数と期待度数の分布
(OD④: 大正西 安治川本線, 2時間で集計)

表4 ポアソン分布を仮定したときの²値とP値
(2時間で集計)

	² 値	P値
OD	20.2499	0.5055
OD	14.4136	0.3454
OD	4.5415	0.7157

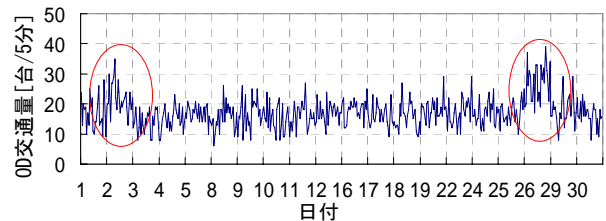


図9 5分間OD交通量変動(安治川本線→大正西)
[平均 17.27 分散 26.15](2時間で集計)

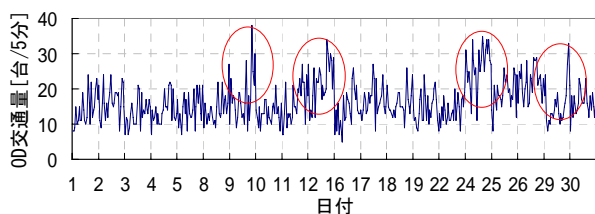


図 10 5分間OD交通量変動 (伊川谷 JCT 西宮山口東)
[平均 16.48 分散 34.27] (2時間で集計)

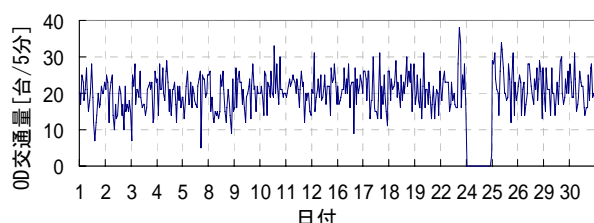


図 11 5分間OD交通量変動 (京橋西行→神戸線(本線))
[平均 19.55 分散 42.51] (2時間で集計)

4. まとめ

ETC統計データから5分間OD交通量の観測度数分布は、観測時間帯を7時から19時の12時間とした場合、負の二項分布に従うが、適合度は十分に高いとは言えない。観測時間帯を14時から16時の2時間にした場合、ポアソン分布に従う傾向にあることがわかった。このことから、負の二項分布に従った要因として12時間内に含まれる時間帯別のトレンド（朝夕の交通量ピーク、昼間のオフピークなど）が分散を大きくしたことを指摘できよう。また、短時間交通量の変動がポアソン分布に従うことは、短時間の交通量変動の原因は単純なランダム性（時隔が指数分布に従うランダム到着）のみであることを示唆し

ている。

一方で、時間帯による交通量のトレンドを減らしてもポアソン分布に従わず、平均よりも分散が大きくなるケースについては、特定の日で交通量が大きく変動していることが観測された。今回は1ヶ月間のデータで分析したためそのような地点はそれほどなかったが、より長期間で分析すれば日変動による影響はより多くみえてくるだろう。一般的には、単純なランダム変動よりも日変動のほうが実務的にも学術的にも興味の対象となることを考えれば、このような日変動をランダム変動からいかに切り出すかが今後重要な課題になるといえる。

謝辞

本研究で用いたETC交通量データは阪神高速道路株式会社から研究目的で提供いただいたものである。この場を借りて感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 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, 24(12), 22-32, 1981.
- 2) 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, 173-176, 2007.
- 3) 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, 22(2), 251-254, 1999.
- 4) 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, CD-ROM, 41, 2010.
- 5) 財団法人日本道路交通情報センター: 道路交通情報(阪神高速), <http://www.jartic.or.jp/> [2010/07/20アクセス]