

独立成分分析による本四連絡橋交通量の時間分布特性の分析*

Temporal variation analysis of traffic on Honshu-Shikoku Bridges through ICA approach*

加藤寛道**・塚井誠人***・奥村誠****

By Hiromichi KATO**・Makoto TSUKAI***・Makoto OKUMURA****

1. はじめに

近年、交通現象に対する観測技術の進歩により、自動計測装置や磁気カードを通じて、断面交通量や乗降者数などの情報が多くの地点で観測され、そのデータは日々蓄積されている。この種の自動計測データからは利用者の属性や移動目的などの詳細な情報は得られないが、正確な計測地点・計測時間を含む大量のデータが得られるという特徴がある。しかし、このような自動計測データに対応した分析方法は確立されていないため、そのデータが持つ情報が十分活用されているとは言えない¹⁾。本州四国連絡橋においても、架橋ごと・日ごとの断面交通量データが自動取得されているが、現在は一つの橋の年間交通量の比較や大型連休における渋滞予測程度にし利用されていない²⁾。

ある一日に観測される交通量は帰省や行楽、業務といった、目的ごとに質の異なる交通が混ざり合って構成されている。これらの交通は周期性・料金・天候・イベントへの反応・サービスのニーズが異なっており、それぞれに適合するきめ細やかな料金設定、サービスの提供により顧客満足度を高め需要を喚起することが運用上重要になってきている³⁾。そのためには、このような行動特性の異なる交通の構成比およびその変動特性を把握することが必要である。

本研究では自動観測された断面交通量に対して、複数の原信号が混合した結果である観測信号から、現信号を分離復元する手法である独立成分分析 (Independent

*キーワード：発生交通，交通量計測，TDM，ICA

**学生員，東北大学大学院工学研究科

(〒980-8576，仙台市青葉区川内41，

TEL 022-795-7567 FAX 022-795-7477)

***正会員，博(工)，広島大学大学院工学研究科

(〒739-8527，東広島市鏡山1-4-1，

TEL&FAX 082-424-7827)

****正会員，博(工)，東北大学東北アジア研究センター

Component Analysis (以下ICA)) を適用することにより、断面交通量の時間分布特性を分析し、複数の目的別交通量に分解することを目的とする。

2. 分析方法

ICA は確率変数、測定値、または信号などの下に隠されている要因を明らかにするための、統計学的な計算手法である。ICA の例として、音声信号の分離問題 (BSS: Blind Source Separation) を挙げる。部屋の中で3点の音源から同時に音が出ている状況で、3本のマイクが部屋の異なる場所に置いてあるとする。3本のマイクは、それぞれ3つの信号 x_1, x_2, x_3 を観測する。時間遅れが無視できるとき、観測された信号 x_1, x_2, x_3 は3つの音源からの原信号 s_1, s_2, s_3 の加重和として、式(1)のような線形関係で表すことができる。

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} a_{11} \\ a_{21} \\ a_{31} \end{pmatrix} s_1 + \begin{pmatrix} a_{12} \\ a_{22} \\ a_{32} \end{pmatrix} s_2 + \begin{pmatrix} a_{13} \\ a_{23} \\ a_{33} \end{pmatrix} s_3 \\ &= \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} s_1 \\ s_2 \\ s_3 \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\mathbf{x} = \mathbf{A}\mathbf{s}$$

ここで、原信号の各要素 s_1, s_2, s_3 はそれぞれ平均0、分散1と仮定する。 $\mathbf{A} = \{a_{ij} | i, j = 1, 2, 3\}$ は原信号の混合比率であり混合行列と呼び、その各要素 a_{ij} を混合係数と呼ぶが、以下では時間的に不変な定数であると仮定する。ICA は与えられた観測信号 \mathbf{x} のみから、原信号 \mathbf{s} と混合行列 \mathbf{A} を同時に推定する手法である。推定にあたって用いる情報は、原信号 \mathbf{s} が各時刻 t において統計的に独立であるという仮定のみである。以下抽出された原信号を独立成分と呼ぶ。

Hyvarinen ら⁴⁾は観測信号の線形加重和として独立

成分を表すときの復元行列 \mathbf{W} ($\mathbf{W} = \mathbf{A}^{-1}$) を求めるために、独立性の指標として尖度

$$kurt(y) = E\{y^4\} - 3(E\{y^2\})^2 \quad (2)$$

に着目し、各成分の尖度の絶対値が最大となるように独立成分を抽出する FastICA アルゴリズムを提案した。以下の分析においてもこのアルゴリズムを適用した。以下にその手順を示す。

(1) 観測信号ベクトル \mathbf{x} から標本の平均値を引き、平均 0 に正規化されたベクトル \mathbf{x}' を求める。

(2) \mathbf{x}' について固有ベクトル \mathbf{E} と固有値の対角行列 \mathbf{D} を用いて、白色（無相関で分散が 1）化を行い、白色なベクトル \mathbf{z} を得る。

$$\begin{aligned} \mathbf{z} &= \mathbf{V}\mathbf{x}' \\ \mathbf{V} &= \mathbf{D}^{-1/2}\mathbf{E}^T \end{aligned} \quad (3)$$

(3) $y = \mathbf{w}^T \mathbf{z}$ (\mathbf{w} は \mathbf{W} の一行分の方向ベクトル) において尖度の絶対値が急激に増大する方向を計算し、その勾配方向

$$\mathbf{w} \leftarrow E\{\mathbf{x}(\mathbf{w}^T \mathbf{z})^3\} - 3\mathbf{w} \quad (4)$$

を繰り返し探索することによって、復元ベクトル \mathbf{w} を求める。

(4) 求めた復元ベクトル \mathbf{w} を用い、線形結合 $s_j = \mathbf{w}^T \mathbf{z}$ により各独立成分 s_j の値を得る。また \mathbf{w} から \mathbf{W} 、および混合行列 $\mathbf{A} = \mathbf{W}^{-1}$ を求める。

以下の分析では、断面交通量を観測信号 x_i とみなして FastICA を適用する。すなわち独立成分分析を適用することによって、異なる時間変動特性を示す統計的に独立な交通量の変動パターンを独立成分 s_j として抽出する。これと同時に、断面交通量に対する各交通パターンの混合比率を混合行列 \mathbf{A} として推定する。

3. 分析対象

分析に用いるデータは図 1 に示すように、神戸淡路鳴門自動車道の①明石海峡大橋と②大鳴門橋、瀬戸中央自動車道の③瀬戸大橋の 3 橋に加えて、西瀬戸自動車道の 7 つの橋から、本州側と四国側にそれぞれ最も近い④新尾道大橋と⑤来島海峡大橋の 2 橋、合計 5 橋の断面交通量である。期間は 2006 年 1 月 1 日から 8 月 31 日までの 8 ヶ月間 (243 日) で、方向に関する区別 (本州から

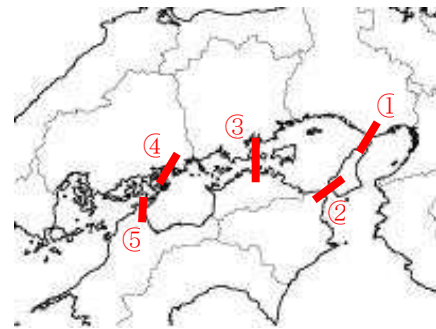


図 1 分析対象とする橋の位置

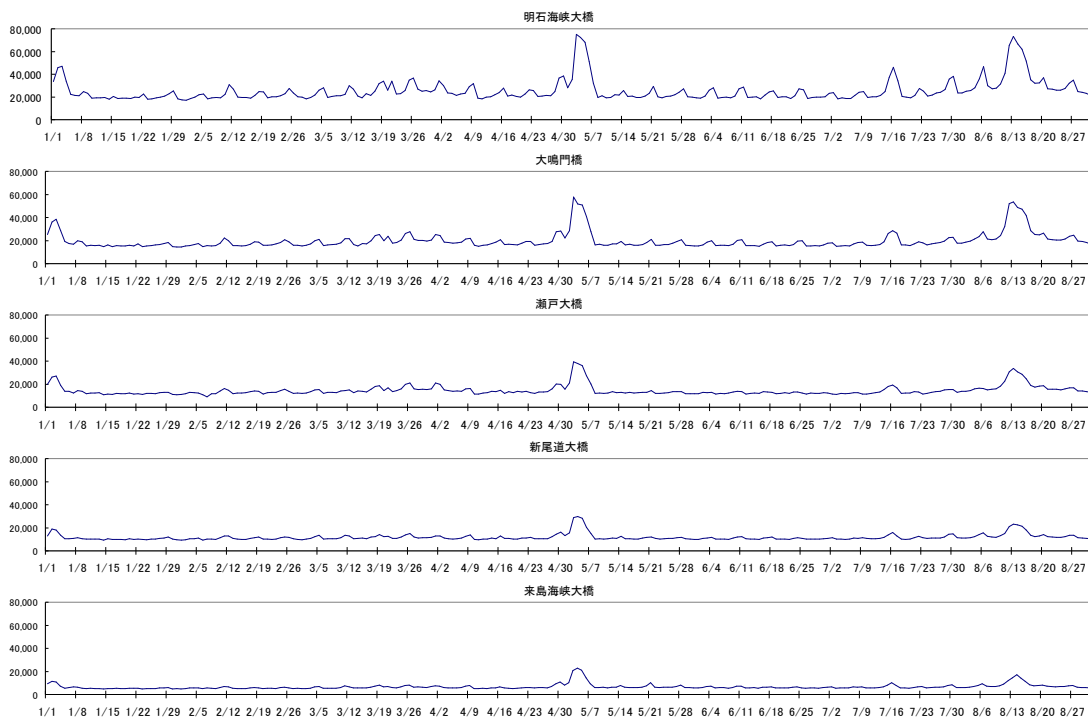


図 2 観測断面交通量

四国、四国から本州) をしない1日ごとの断面交通量である。データの時系列変化を図2に示す。図2より、1月1~3日、4月29日~5月7日、7月から8月の週末、8月12~16日に大きなピークがみられる。なお、図2における横軸の目盛は全て日曜にあたる。

4. 分析結果

観測断面交通量データにFastICAを適用した結果得られた独立成分を図3に、混合行列を表1に示す。

図3より、 s_1 は正月明けの1月3日とゴールデンウィークにあたる5月2日~7日、お盆の8月14日前後などの大型連休中に山が存在する。特にゴールデンウィークの時期に現れる山はほかの山に比べて大きい。より詳しくみると、連休の始まりから徐々に交通量が増加し、連休の中日にピークが現れ、その後は交通量が減少している。このことから s_1 は大型連休を利用した観光や行楽を目的とする交通と考えることができる。

s_2 は s_1 とほぼ同じ位置に山が存在するが、 s_1 と比べてお盆の時期に現れる山が大きく、ゴールデンウィークの時期の山は小さい。他の独立成分と比べて特徴的な点は、連休の始まりと終わりにピークをもち、連休の途中に値の低い日が存在することである。したがって、 s_2 は帰省およびUターンを目的とする交通であると考えられる。

s_3 は毎週日曜日にピークが現れており、特に夏休み期間にあたる7月16日から8月27日にかけてのピークは、ほかのピークに比べて大きい。例外的に2月11日、3月21日、5月3日という祝日にもピークが現れている。一方、5月7日に負のピークが現れているが、この日は高知で133.0mm/日の大雨が記録されており⁵⁾、天候の影響を受けている可能性がある。以上を踏まえると、 s_3 は週末を利用した、日帰りなど短期間の観光や行楽を目的とする交通と考えることができる。

s_4 は土日に負のピークをもち、平日は0に近い値をとっている。また3月中旬から4月上旬にかけて正の値が続いている。このことから、大型車・中型車などによる運輸・流通を主な目的とした業務交通を表す成分であると推測できる。しかし、今回使用したデータには車長や車種などの情報は含まれていないため、この推測の妥当性を確認することはできなかった。

s_5 は5月21日と8月15日に大きなピークをもっている。しかし、独立成分の形をみただけでは適切な解釈を与えることはできなかった。

次に表1の混合行列の数値から、各橋に対する独立成分の影響力を考察する。瀬戸大橋、新尾道大橋、来島海峡大橋は s_1 の影響が最も強く、明石海峡大橋と大鳴門橋は s_1 の影響も大きい。また、 s_2 の影響の方が若干大きい値となっている。つまりこれら5つの橋はいずれも主に大型連休における行楽を目的とする交通に使われてい

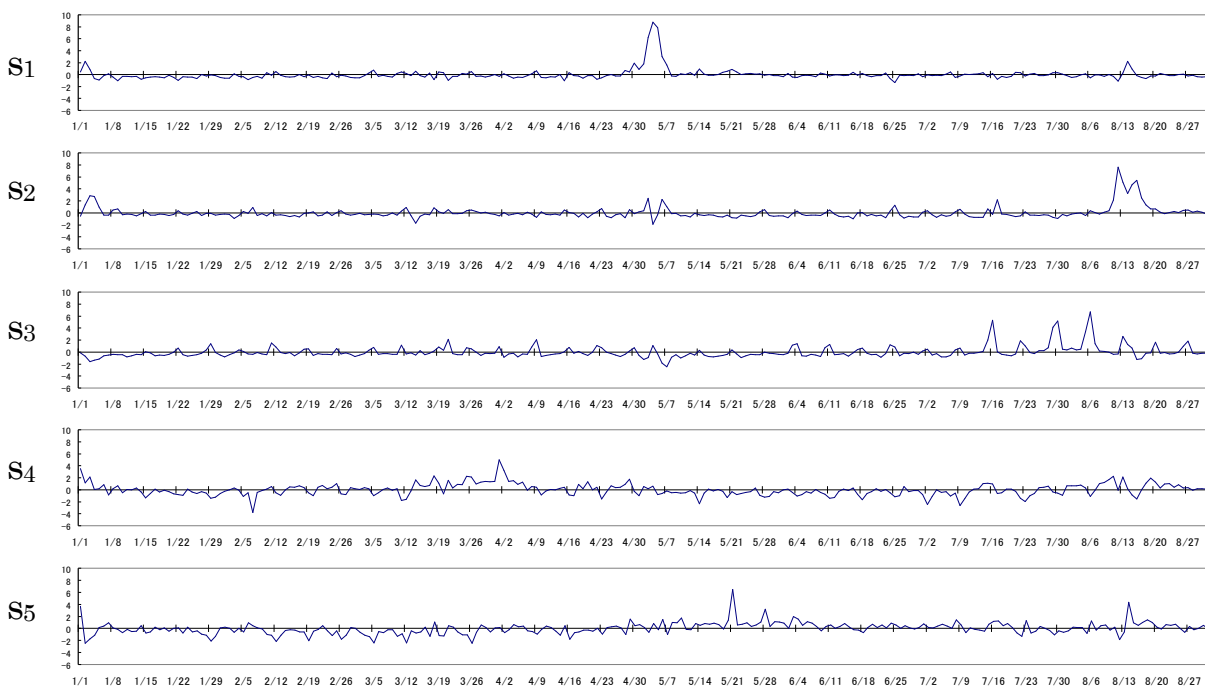


図3 独立成分

表1 混合行列

A	s_1	s_2	s_3	s_4	s_5
明石	6079.8	6374.3	3540.1	2116.2	499.5
大鳴門	4399.7	4982.5	1451.9	1599.6	269.9
瀬戸	3050.2	2600.2	618.8	1625.4	-38.2
新尾道	2255.8	1543.7	750.0	410.5	-67.5
来島	1953.7	1098.2	489.2	300.9	413.2

るが、明石海峡大橋と大鳴門橋では帰省を目的とする交通にも多く利用されているといえる。これらを各橋の位置関係と合わせると、西側に位置する橋では大型連休を利用した行楽を目的とする s_1 の影響が大きく、東側に位置する橋では帰省を目的とする s_2 の影響が大きいという傾向が見られる。

週末を利用した行楽を目的とする s_3 の影響は、背後に京阪神大都市圏が控える明石海峡大橋と大鳴門橋で大きい、それに次いで新尾道大橋で大きい値をとっている。これは、週末を利用した行楽目的の交通では遠出することは少ないため、人口の多い本州側の橋で影響が大きくなっていると考えられる。一方、瀬戸大橋は本州四国間を直結しているが、途中の島に行楽先がないこと、京阪神や広島に比べて岡山都市圏の人口が少ないことから、 s_3 の影響が小さくなっていると考えられる。

業務交通を表す s_4 の影響は明石海峡大橋、大鳴門橋、瀬戸大橋で大きく、西側の2橋では小さい。これは、西瀬戸自動車道は背後圏の人口が少ないことに加えて、2006年4月28日までは一般道路区間が挟まれていたため、時間的な信頼性に劣っており、業務交通に使われにくかったことが原因と考えられる。また、大鳴門橋よりも瀬戸大橋への影響のほうが大きい。これは関西・四国間の業務交通では、明石海峡大橋と大鳴門橋の通行料金の和が瀬戸大橋の料金よりも高いことから、瀬戸中央自動車道を選択する車が多いためと推測できる。

s_5 は他の独立成分に比べて対応する混合係数の絶対値が小さいため、影響の弱い成分であるといえる。その影響力は明石海峡大橋と来島海峡大橋で大きい。このことから、 s_5 は2つの橋周辺のイベントなどの出来事に起因した成分であると考えられる。

5. おわりに

本研究では、本州四国連絡橋における断面交通量データに対して、多変量解析の一手法である独立成分分析を

適用した時間分布特性の分析を行った。分析手法としては、観測断面交通量データの張る多次元超空間上で、尖度の絶対値を最大化する主軸方向を探索する FastICA アルゴリズムを用いた。

分析の結果、盆休みやゴールデンウィーク、夏休みにおける特徴的なピークをもつ成分と、週末にピークをもつ一週間周期の成分といった、明確にピークの出現時刻が異なる成分が検出され、断面交通量の時間分布特性の分析ができた。さらにそれらの成分を曜日や天気と照らし合わせることで、大型連休を利用した行楽、帰省、週末を利用した行楽、業務交通といった目的別の成分へ分解されていることが確認できた。同時に、各橋に対する独立成分の影響を位置関係とともに考慮した結果、各橋の特徴を把握できた。

本州四国連絡橋交通量の分析に関する今後の課題としては、より長期のデータに対する適用を行い抽出された成分の経年的な安定性を検討することが必要である。特に、通行料金の変化や四国内の高速道路ネットワークの変化が与えた影響を確認する必要がある。ICA 手法に関する課題としては、より多様なデータに ICA を適用して、ICA の有効性を確認する必要がある。さらに ICA では特徴のある独立成分をより明確に抽出するために、データの前処理の段階で求める独立成分の数を減らす次元縮約が行われることが多い。このとき求める独立成分の数は通常は試行錯誤により決める必要があるとされている。次元縮約の試行作業により、その効果を見極めることが必要である。

参考文献

- 1) 井上英彦ほか：本四架橋交通量に基づく休日交通パターン分類，交通工学研究発表会論文報告集，No.23，pp.217-220，2003.11.
- 2) 本州四国高速道路株式会社：<http://www.jbhonshi.co.jp/index.html>
- 3) 神野一ほか：本四架橋交通量の変動特性と料金変更の影響，土木計画学研究・講演集（CD-ROM）Vol.30, No.244, 2004
- 4) Aapo Hyvarinen, Juha Karhunen, Erkki Oja：詳解 独立成分分析，東京電気大学出版局，2005.
- 5) 気象庁：<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>