

## 68. データマイニングによる広島空港流入車両の時間分布パターンの分析

広島大学大学院 正会員 ○塚井 誠人

広島大学大学院 学生会員 井上 真一

東北大学東北アジア研究センター 正会員 奥村 誠

## 1. はじめに

航空自由化や地方空港の整備・拡充を背景として、国内の航空便数は増加している。一方、航空サービスは、常に遅延や欠航などのリスクを抱えており、いったん欠航が発生すれば、航空利用者は待ち時間の増大やスケジュールの再調整による大幅な利便性低下に見舞われる。しかしこれまでのところ、欠航時の航空利用者の時間分布の特性は、ほとんど解明されていない。

欠航への空港利用者行動特性を明らかにする上では、自動観測機器によって連続観測される断面交通量データの活用が考えられる。井料ら<sup>1)</sup>は、阪神高速道路への時間帯別流入交通量の週変動に着目して、利用者のミクロ行動モデルを定式化した上で、短期および長期の変動成分の抽出を行った。その結果、断面交通量データの持つ豊富な情報量から、交通需要変動に関して統計的に安定した関係を見出すことに成功しているが、筆者らも言及しているように、仮定したミクロ行動モデルの構造が、解析結果に影響している可能性は否定できない。

連続観測データの示す交通量変動は、週変動や時間帯変動など、一定の規則性を示す平常時の変動パターンと、突発的な要因によってもたらされる非平常時の変動パターンの両方を含んでいる。そこで連続観測データの解析では、分布特性の異なるこれらの変動パターンを、比較的緩やかな仮定に基づいて柔軟に抽出できるデータマイニング手法の適用が有効と考えられる。

本研究は、広島空港へ流入する自動車交通量を対象として、欠航のない平常日と欠航日の空港流入車両の到着時刻の分布特性を明らかにする。分析手法として、観測交通量を複数の基本的な時間分布パターン(以下、原系列と呼ぶ)と、その重みに分解できる独立成分分析

Keywords: 交通流, データマイニング, 非平常交通

\*連絡先: mtukai@hiroshima-u.ac.jp

082-424-7827

を適用して、平常日および欠航日の広島空港流入交通量の時間分布パターンを推定する。さらに原系列の重みに関する回帰分析を行って、平常日および欠航日の特徴を明らかにする。

## 2. 独立成分分析の概要

広島空港において、 $n$ 日間にわたって観測された流入交通量のうち、 $i$ 日の時刻 $t$ の観測系列を $x_i(t)$ とする。ここで $x_i(t)$ は、複数の原系列 $s_j(t)$ の時刻 $t$ によらない重み $a_{ij}$ を係数とする重ね合わせによって観測されるとすれば、全観測日 $i$ について、式(1)が成り立つ。

$$x_i(t) = \sum_{j=1}^k a_{ij} s_j(t), \quad (i=1, \dots, n) \quad (1)$$

独立成分分析は、多変量時系列として、観測される $x_i(t)$ に独立性を仮定し、 $x_i(t)$ の情報のみを用いて、 $s_j(t)$ と $a_{ij}$ を同時推定する方法である。Hyvarinen<sup>2)</sup>は、系列間の独立性の指標として、 $s_j(t)$ の4次モーメントである尖度に着目し、尖度の絶対値を最大化する $s_j(t)$ と $a_{ij}$ を同時推定する、Fast ICAアルゴリズムを開発した。以下の分析では、Fast ICAアルゴリズムを用いる。

## 3. 空港流入自動車交通量の観測とデータの概要

広島空港への流入自動車交通量について、自動トラフィックカウンターを用いて、2007年6月9日～7月27日(49日間)の交通量を観測した。観測地点は空港にアクセスする主要道路2断面、および駐車場の3地点であり、観測データは車輛通過時刻と車長である。観測結果から、分布特性が異なると予想されるバスやトラック等の大型車は、通過車輛の車長データに基づいて除去した。さらに、3地点の交通量を合計して5分間隔で集計して、1日を1系列とする49系列に加工した。観測期間中の総流入交通量と欠航日を図1に示す。図1より、欠航日のうち7

2, 7/4, 7/14は、1日の総流入交通量が少なくなっている。

観測期間中の広島空港発便の実出発時間を、ANA, JALのホームページから取得した<sup>3), 4)</sup>。

取得した各便の出発時刻から、早着・遅延時間と欠航の有無を求めた。表1に、欠航日の広島空港発便の早着・遅延時間を示す。ここで表中の×印は欠航を示しており、負の値は早着時間(分)を示している。表1より、午後の便と比較して、午前の便の欠航がやや多い。

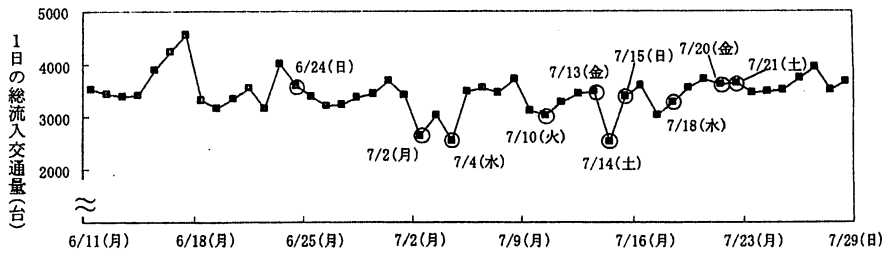


図1 広島空港への1日の総流入交通量(○印は欠航日)

表1 広島空港発便の欠航状況(数字は遅延時間, 分)

運行便(目的地)	6月24日	7月2日	7月4日	7月10日	7月13日	7月14日	7月15日	7月18日	7月20日	7月21日
7:35 (羽田)	2	0	43	60	0	0	×	2	2	×
7:35 (羽田)	×	-3	11	×	4	4	×	-4	-4	×
7:45 (成田)	×	×	16	0	2	3	×	-2	0	3
8:10 (沖縄)	2	1	3	0	×	9	×	0	1	×
9:00 (羽田)	×	×	5	×	×	2	-3	8	-1	×
9:30 (羽田)	×	×	6	4	1	×	0	-2	-3	×
10:15 (札幌)	×	×	2	9	2	-1	-1	×	×	×
10:30 (羽田)	×	×	1	×	5	4	0	-1	0	×
12:15 (羽田)	7	1	2	0	5	9	×	3	-2	×
12:30 (札幌)	×	3	3	-1	4	8	1	0	2	×
13:45 (羽田)	0	0	5	-1	0	5	-3	0	-3	×
14:00 (仙台)	×	-2	×	-2	5	2	-6	-2	1	0
14:30 (羽田)	9	-2	-2	-5	3	3	-4	0	0	0
16:45 (羽田)	4	-2	-2	-1	4	×	-2	0	0	-3
17:00 (羽田)	×	0	0	0	8	8	3	1	6	0
18:10 (羽田)	0	1	4	-4	10	×	2	0	0	5
18:00 (羽田)	53	×	-1	0	5	×	-4	-4	5	-1
19:35 (羽田)	-3	-4	-1	-4	1	×	-1	-3	5	0
19:40 (羽田)	-2	1	0	1	3	0	0	-2	×	4
20:40 (羽田)	0	×	-2	-3	-2	×	-2	-1	×	0

3. 原系列と重みの推定結果

作成した49日分の観測流入交通量データに独立成分分析を適用して、全変動の90%を説明する8本の原系列を求めた。なお原系列の推定を容易にするため、予めそれぞれの平均値(i日の平均5分間交通量)を引く中心化を行った。そのため、原系列の期待値は全て0となる。紙面の都合上、S1~S3, および S5, S7の時間分布を、それぞれ図2, 3に示す。重みの推定結果のうち、平常日の一部と全欠航日の結果を、表2に示す。

S1は、6:00過ぎから22:00頃まで、なだらかなピークを示している。S2, S7は、それぞれ7:00~8:00, 19:00~20:00にかけて連続したピークを示している。一方、S3は、9:00前後にやや連続したピークがみられるものの、その他の時間帯は、短時間でピーク

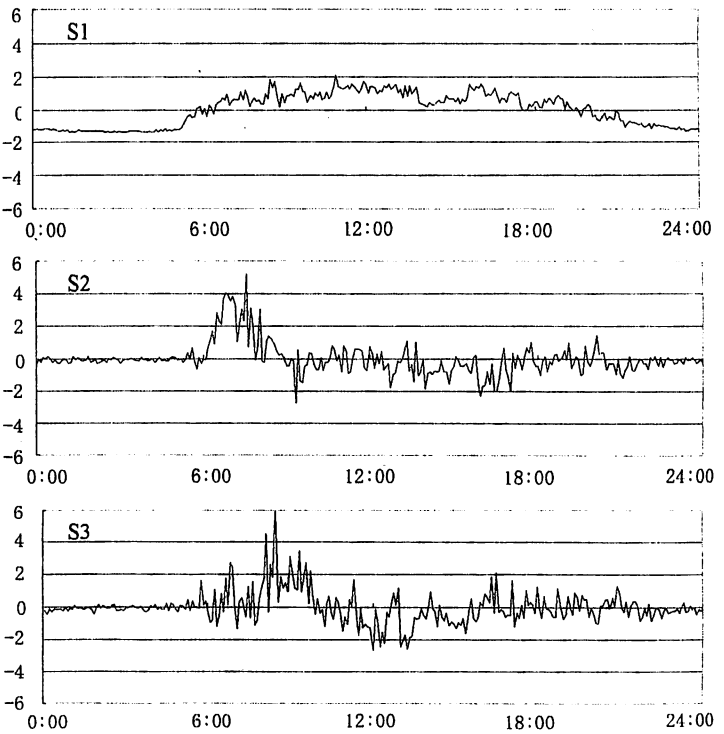


図2 原系列 S1 (上段), S2 (中段), S3 (下段) の推定結果

が変動する鋸歯状を示している。S5, および図示していないS4, S6とS8は, ピークが継続しない鋸歯状であった。

表2において, S1~S3の重みは全観測日で正となっているが, S4以下の原系列は, 負の重みが現れる日がある。表2の最下段に, 推定された重みに基づいて計算した, 全分散に対する各原系列の寄与率を示している。これによると, S1~S3の3成分の累積寄与率は約90%であり, これら3つの原系列が流入交通量の変動の大部分を説明している。

平常日と欠航日を比較すると, S1~S3の重みはやや低下しているが, 全欠航日で一様に低下しているわけではない。一方, 寄与率の小さいS4~S8のうち, 鋸歯状のS4~S6, およびS8は, 必ずしも欠航日の重みが大きいわけではなく, 平常日と同程度の欠航日も見られる。S7は, 観測期間中で絶対値が最も大きい重み(4.45)が欠航日の7/20に現れており, 7/20の欠航特有の変動を表わす原系列である。なお表1によると, 7/20の欠航は, 羽田行き最終便1便のみであり, 欠航便数の多い6/24や7/15

に対応する, 特有の原系列は得られていない。

以上の分析において, 特定の欠航日の変動に対応する原系列が推定される場合もあるが, その他多くの欠航日は, 平常日と同じ原系列が異なる重みで重ね合わされることによって再現される。すなわち, 欠航日の流入交通量の変動は特異な分布パターンではなく, 平常日と同じ分布パターンで説明できることが明らかとなった。

4. 平常日と欠航日の分布パターンの特性

重みの曜日変動傾向を明らかにするため, 各原系列の重みを目的変数とする回帰分析を行った。ただし欠航日をサンプルに含めると, 推定結果精度が低下する傾

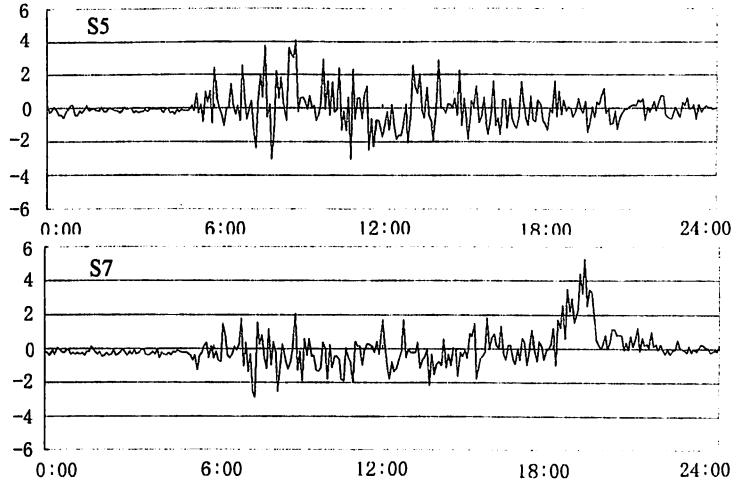


図3 原系列S5(上段), S7(下段)の推定結果

表2 重みの推定結果

	日付	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7	s8
平常日	6/11(月)	8.06	4.66	2.52	1.82	1.53	0.17	-0.09	-0.33
	6/12(火)	7.98	4.12	3.82	2.09	2.32	0.00	-0.93	0.30
	6/13(水)	7.87	4.12	3.39	0.34	1.56	-0.51	-0.54	0.38
	6/14(木)	8.30	5.30	3.54	1.37	1.31	0.56	-1.26	0.19
	6/15(金)	9.13	4.28	3.39	1.32	1.72	-0.87	0.78	0.55
	6/16(土)	10.33	2.20	3.15	2.77	1.13	2.47	-1.58	1.12
	6/17(日)	11.93	1.66	0.22	-1.43	2.67	3.29	-2.31	1.46
	6/18(月)	7.67	5.05	3.01	1.59	1.71	-0.41	-0.98	0.53
	6/19(火)	7.46	3.12	2.47	1.64	1.41	-0.27	-1.21	0.95
	6/20(水)	7.66	3.08	3.21	1.22	0.94	-0.42	-0.73	0.67
欠航日	6/24(日)	9.10	2.64	0.99	-0.61	0.27	1.67	-1.21	0.29
	7/2(月)	6.13	3.95	2.69	1.73	1.02	-0.34	-0.83	1.08
	7/4(水)	5.49	3.95	1.30	1.73	0.90	-1.55	0.21	-0.43
	7/10(火)	6.63	3.88	2.90	1.93	2.43	-0.35	0.52	1.06
	7/13(金)	7.75	2.24	2.18	2.21	0.91	-1.77	1.91	1.34
	7/14(土)	5.90	4.46	1.21	2.68	0.82	1.43	-1.43	0.13
	7/15(日)	8.13	0.30	0.00	-0.03	1.70	0.67	-0.31	-0.04
	7/18(水)	7.36	3.14	3.66	1.65	2.41	-1.39	0.35	-0.14
	7/20(金)	7.70	5.19	2.83	1.77	2.42	0.13	4.45	0.62
	7/21(土)	8.01	3.82	1.94	2.55	1.80	1.05	-0.83	0.33
寄与率		69.2%	14.1%	6.9%	3.6%	3.1%	1.3%	1.1%	0.7%

向がみられた。これは, 欠航情報が利用者に伝わった時点によって, 利用者の反応が異なるためと考えられる。そこで, 無欠航日のみをサンプルとして分析を行った。回帰モデルの推定結果を表3に示す。これより, S1, S2, およびS6は, 曜日ダミーが有意となっており, 曜日変動が認められる。またこれらの原系列の重みについては, 総流入交通量が有意となった。S3は, 曜日ダミーは有意ではないものの, 日曜のみ負の値となっており, その他の平日と変動傾向が異なっている。時間帯別総到着時間が, 重みの変化に有意な影響を及ぼす結果が得られた。さらに, 得られたパラメータを用いて重みを推定し, これらを用いて観測交通量の再現値(平常日推定交通量)を

表3 重みの曜日変動に関する回帰分析結果

説明変数	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
月曜ダミー	-2.755 **	9.305 **	0.672	3.484	-1.461	-6.213 *	1.371	0.598
火曜ダミー	-2.753 **	8.616 **	1.582	3.709	-0.666	-6.425 *	0.960	1.159
水曜ダミー	-2.714 **	8.286 **	0.973	2.680	-1.299	-6.193 *	1.206	1.379
木曜ダミー	-2.740 **	8.667 **	1.457	3.769	-0.649	-6.523 *	1.505	1.501
金曜ダミー	-3.135 **	8.959 **	1.671	4.273	-0.922	-7.431 *	2.438	1.104
土曜ダミー	-2.858 **	8.095 **	0.625	3.596	-1.542	-4.853	1.114	2.227
日曜ダミー	-2.306 **	7.085 **	-1.437	2.512	-2.172	-5.634	1.292	2.118
降雨ダミー	0.214 *	-0.155	0.152	-0.535	-0.373	0.288	-0.127	0.133
早着計(8:10~12:55)	0.005	0.078 *	0.020	0.004	-0.024	-0.024	-0.060 *	0.067
早着計(13:25~17:15)	-0.026	0.037	-0.006	0.054	0.074	-0.083	-0.002	-0.086
早着計(18:40~20:55)	0.020	-0.112 *	-0.021	-0.056	-0.107	0.068	-0.013	-0.016
遅延計(8:10~12:55)	0.001	-0.007	-0.005	0.006	0.003	0.005	0.004	-0.012
遅延計(13:25~17:15)	0.001	0.006	0.001	-0.006	-0.004	0.005	0.001	0.005
遅延計(18:40~20:55)	-0.004	0.014	-0.002	0.026	0.004	-0.011	0.011	-0.004
総流入交通量	0.003 **	-0.001 *	0.000	-0.001	0.001	0.002 *	-0.001	0.000
自由度調整済み決定係数	0.953	0.619	0.607	0.222	0.178	0.343	0.353	0.301

\*\*1%有意, \*5%有意

求めた。図4は、観測交通量に対するICA再現交通量と平日推定交通量の残差二乗和を示している。なお欠航日の平常日推定交通量は、当日の曜

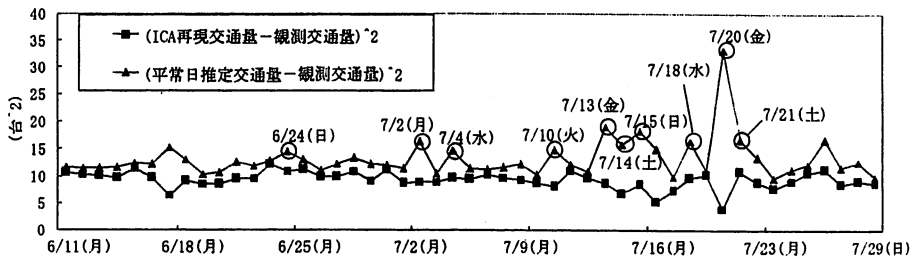


図4 観測交通量に対するICA再現交通量と平日推定交通量の残差二乗和

日と総流入交通量を用い、遅延や早着はないものとして推定した。また、観測交通量(5分間流入)とICA再現交通量、観測交通量と平日推定交通量の決定係数は、それぞれ0.718、および0.706であり、適合度は比較的高い。図4よ

表4 ICA重みー平日推定重み

	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7	s8
6/24(日)	0.06	0.66	0.66	-0.69	0.23	1.23	0.14	-0.81
7/2(月)	0.50	-1.56	0.68	0.18	0.95	1.34	-0.22	1.20
7/4(水)	0.13	-0.68	-0.96	0.93	0.75	0.27	0.90	-1.13
7/10(火)	-0.21	-0.40	-0.19	0.36	1.29	0.92	1.80	0.74
7/13(金)	-0.10	-1.77	-1.20	0.31	-0.30	-0.22	2.03	1.21
7/14(土)	0.75	-0.01	-0.70	0.95	0.92	1.94	-0.66	-1.42
7/15(日)	-0.28	-1.96	-0.24	-0.21	1.81	0.57	0.89	-1.21
7/18(水)	-0.09	-0.62	1.21	0.71	1.35	-0.47	1.44	-0.47
7/20(金)	-0.90	1.52	-0.67	0.00	1.04	1.29	4.74	0.57
7/21(土)	-0.60	0.89	-0.47	1.41	1.10	-0.23	0.73	-0.87

り、ICA再現交通量は、平日と欠航日の残差に明らかな違いが見られない。一方、平日推定交通量の観測交通量に対する残差は、欠航日を除くと、概ね観測交通量を再現している。表4は、欠航日における重みと平日推定重みの差を示している。後者の値は、仮想的に欠航日が平常日であった場合の重みの推定値である。よって各列の符号が一定の傾向を持つ原系列は、欠航日に共通した重み変化を示すことを意味する。表4より、寄与率の高いS1~S3は、一の符号の方が多く現れている。しかし、午前便が多く欠航した6/24、7/15、7/21において、早朝にピークを示すS2の重みが低下しているとは限らない等、表1の欠航状況と原系列が

示すピークとの対応関係は不明確である。一方S5は、7/13を除いて正の値が得られている。またS5は、平常日に関する表3の回帰分析では最も決定係数が低い。よってS5は、欠航日に共通して現れる短時間の変動を表していると考えられる。

参考文献

- 1) 井料, 岩谷, 朝倉: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, vol.27, pp.173-176, 2007
- 2) Hyvarinen, A.: [詳解]独立成分分析, 東京電機大学出版局, 2005
- 3) 全日本空輸(ANA): <http://www.ana.co.jp/asw/index.jp>, 2007
- 4) 日本航空(JAL): <http://www.jal.co.jp/>, 2007