

独立成分分析による空港流入交通量の時間分布特性の分析

広島大学大学院工学研究科	学生員	井上真一
広島大学大学院工学研究科	正会員	塚井誠人
広島大学大学院工学研究科	正会員	桑野将司
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

広島空港においては、霧による航空機の欠航が多発しており、利用者の利便性が大きく損なわれている。この問題に対して、従来の調査手法では、欠航や遅延に対する利用者行動の変化を詳細に把握することは不可能であった。しかし、近年進歩してきた自動観測機器を用いれば、日常時と非日常時の交通量を連続して観測することが可能である。このような観測データを適切に解析することによって、非日常時の空港流入交通量の特性の違いを明らかにすることができれば、利用者の情報提供や、欠航や遅延による混雑のより少ない空港施設管理に必要な情報が得られると期待される。

そこで本研究では、連続観測によって得られた空港への流入交通量データに独立成分分析を適用して、流入交通量データを、日常時および非日常時の利用者の行動をとらえた複数の原系列と重みに分解する。また得られた原系列と航空機の運行ダイヤとの関係を明らかにし、各原系列の寄与を分析することで、航空機の欠航が利用者行動に及ぼす影響を明らかにする。

2. 独立成分分析

流入交通量時系列データを $x_i(t)$ 、原系列を $s_j(t)$ とすると、流入交通量 $x_i(t)$ は式(1)に示すように、 $s_j(t)$ と重み a_{ij} の重ね合わせで表される。

$$x_i(t) = \sum_j a_{ij} s_j(t) \quad (1)$$

独立成分分析は、 $s_j(t)$ の独立性を仮定して、流入交通量を複数の原系列 $s_j(t)$ に分解すると同時に、各原系列の各日の流入交通量に対する寄与を表す重み a_{ij} を求める方法である Hyvarinen ら¹⁾は独立性の指標として、尖度(4次統計量)を用いる FastICA アルゴリズムを開発した。FastICA アルゴリズムを用いて原系列を抽出することにより、それぞれの航空便の運行ダイヤに対応した空港利用交通の集中、および非日常時におけるその乱れが抽出できると期待できる。

3. 観測とデータの概要

1) 断面交通量の観測と集計

自動トラフィックカウンターを用いて、広島空港に流入する自動車交通を対象に、2007年6月9日~7月27日の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、駐車場の合計3地点であり、観測データは車輦の通過時刻と車長である。分析に際して、バスやトラック等の大型車は時間分布特性が異なると予想されるため、通過車輦の車長データに基づいて除去した。その上で、3地点の空港へ流入する交通量を合計して5分間隔で集計し、49日分の連続観測データを、1日を1系列とした49系列の流入交通量系列に加工した。

2) 広島空港に発着する運行便の遅延・欠航情報

運行便の遅延・欠航が利用者行動に与える影響を分析するため、断面交通量の観測期間中における、広島空港を出発する運行便の実出発時間をANA、JALのホームページから取得した^{2), 3)}。また取得した各運行便の実出発時間から、運行便の遅れ時間と欠航の有無を求めた。表1、表2に、欠航があった日の各運行便の遅れ時間を示す。なお表中の×印の箇所は欠航を示す。

表1 欠航が起こった日の各運行便の遅れ時間(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
7:35(羽田)	242	0	48	0	0
7:35(羽田)	215	0	31	×	4
7:45(成田)	35	40	35	0	2
8:10(沖縄)	212	31	28	0	×
9:00(羽田)	×	×	5	35	21
9:30(羽田)	×	33	6	4	1
10:15(札幌)	×	20	2	9	2
10:30(羽田)	×	16	1	11	5
12:15(羽田)	7	1	2	0	5
12:30(札幌)	26	3	22	0	4
13:45(羽田)	0	0	5	0	0
14:00(仙台)	17	0	×	0	5
14:30(羽田)	9	0	0	0	3
16:45(羽田)	4	0	0	0	4
17:00(羽田)	19	0	0	0	8
18:10(羽田)	53	1	4	0	10
18:00(羽田)	0	14	0	0	5
19:35(羽田)	0	0	0	0	1
19:40(羽田)	0	1	0	1	3
20:40(羽田)	0	31	0	0	0

4. 流入交通量系列に対する独立成分分析の適用

49 日分の広島空港への流入交通量系列に主成分分析を適用して、流入交通量の全変動のほぼ 90%を説明する 5 本の合成変量系列を求めた。さらにこれらの合成変量系列に対して独立成分分析を適用して、5 本の原系列と重みを求めた。表 3 に重み a_{ij} を、また図 1 に得られた原系列 s_1, \dots, s_5 を示す。

5. 各原系列と運行便との対応関係

得られた原系列と、広島空港を出発する運行便との対応関係を以下の手順で分析した。まず交通量の細かい変動を除くため、各原系列 s_j の時間分布に対して、5 分間の移動平均フィルタを設定して平滑化を行う。次に、得られた移動平均値 \bar{s}_j を階級幅(0.05)で集計したヒストグラムから、 \bar{s}_j の縦軸の値の出現確率の分布を求める。さらに、出現確率から設定した \bar{s}_j の閾値を越える場合を、特に交通量が大きく増加するピークと定義する。出現確率の閾値は、各原系列の確率密度の超過、および非超過確率が 5%のときと設定する。なお、分布の左裾に対応する非超過確率に閾値を設定する理由は、重みの符号が負の原系列 (s_3, s_4, s_5) については、値の正負が反転するためである。

また広島空港発の運行便を利用する利用者の行動特性として、「利用者は運行便出発の 20 分前～50 分前に観測地点を通過する」と仮定し、各運行便の出発時間 20 分前～50 分前の時間帯と、各原系列における出現確率が 5%以下のピークの時間帯が重なる程度によって、ピークと運行便との対応関係を判断した。

6. 原系列の時間分布特性と曜日変動パターンの考察

各原系列と運行便の対応関係、また各日の流入交通量への寄与の傾向から、原系列が表す利用者行動を考察した。以下にその結果を示す。

s_1 の時間分布は、6:00～18:00 にほぼ連続して高い値を示し、ピークの多くは昼の時間帯に現れ、9:30～13:45 の便と対応が見られる。また重みから、 s_1 は全系列の流入交通量に大きく寄与し、特に日曜・祝日の寄与が大きいことがわかる。以上より s_1 は、一部の運行便との対応がみられるものの、空港利用者に限らず週末に空港周辺の施設を利用する行楽交通や、平日の通過交通に対応する系列と考えられる。

表 2 欠航が起こった日の各運行便の遅れ時間(分)

運行便(目的地)	7月14日	7月15日	7月18日	7月20日	7月21日
7:35(羽田)	0	x	2	2	12
7:35(羽田)	4	x	0	0	x
7:45(成田)	3	x	0	0	3
8:10(沖縄)	9	x	0	1	140
9:00(羽田)	2	0	8	0	x
9:30(羽田)	17	0	0	0	x
10:15(札幌)	0	0	x	17	141
10:30(羽田)	4	0	0	0	53
12:15(羽田)	9	11	3	0	54
12:30(札幌)	8	1	0	2	14
13:45(羽田)	5	0	0	0	39
14:00(仙台)	2	0	0	1	0
14:30(羽田)	3	0	0	0	0
16:45(羽田)	x	0	0	0	0
17:00(羽田)	8	3	1	6	0
18:10(羽田)	22	2	0	0	5
18:00(羽田)	x	0	0	5	0
19:35(羽田)	x	0	0	5	0
19:40(羽田)	0	0	0	28	4
20:40(羽田)	x	0	0	x	0

表 3 原系列の流入交通量への寄与を表す重み a_{ij}

	s1	s2	s3	s4	s5
6/11(月)	8.17	5.11	2.05	1.33	0.12
6/12(火)	8.20	4.69	3.22	2.27	-0.87
6/13(水)	7.90	4.24	3.13	1.24	-0.11
6/14(木)	8.40	5.76	2.93	1.05	-1.09
6/15(金)	9.21	4.39	3.11	1.97	1.10
6/16(土)	10.67	3.16	2.12	0.76	-2.41
6/17(日)	12.11	1.15	2.59	-2.88	-2.71
6/18(月)	7.77	5.20	2.93	1.80	-0.67
6/19(火)	7.60	3.31	2.31	1.75	-1.12
6/20(水)	7.73	3.44	2.42	1.69	-0.55
6/21(木)	8.73	3.95	3.61	1.55	-0.37
6/22(金)	7.32	4.73	1.83	1.25	0.19
6/23(土)	9.99	3.27	2.73	0.66	-2.10
6/24(日)	9.07	2.69	1.15	-1.60	-1.15
6/25(月)	7.72	4.84	2.30	2.06	-0.15
6/26(火)	7.49	3.76	2.21	1.89	-0.32
6/27(水)	7.67	3.56	2.22	0.84	-0.34
6/28(木)	7.90	4.23	2.20	1.04	0.06
6/29(金)	7.82	3.97	2.22	3.07	0.15
6/30(土)	8.60	3.53	1.85	1.31	-1.18
7/1(日)	8.20	1.54	0.73	0.27	-0.61
7/2(月)	6.25	4.05	2.52	1.76	-0.75
7/3(火)	6.99	4.14	2.84	1.20	-0.56
7/4(水)	5.48	4.08	0.94	2.10	0.82
7/5(木)	8.14	4.18	2.51	2.52	0.02
7/6(金)	8.27	4.11	2.70	2.37	0.97
7/7(土)	8.47	3.14	2.99	0.56	-0.67
7/8(日)	9.60	1.52	-0.29	-0.54	-0.51
7/9(月)	7.06	5.65	2.53	1.99	-0.18
7/10(火)	6.87	3.85	3.39	2.10	0.46
7/11(水)	7.60	3.26	1.94	0.96	0.21
7/12(木)	8.17	4.67	1.57	2.80	-0.12
7/13(金)	7.87	2.15	1.93	2.80	2.01
7/14(土)	6.10	4.93	1.04	0.65	-1.68
7/15(日)	8.21	0.31	0.61	-0.36	-0.27
7/16(月)	8.81	3.26	-0.80	-1.15	0.90
7/17(火)	7.01	4.54	2.36	1.61	0.45
7/18(水)	7.49	3.60	2.90	2.94	0.75
7/19(木)	8.38	4.01	2.87	3.02	0.09
7/20(金)	7.93	4.91	3.76	1.15	4.24
7/21(土)	8.26	4.27	1.88	1.20	-1.07
7/22(日)	8.88	2.48	0.06	1.16	-0.17
7/23(月)	8.03	5.33	0.87	1.79	0.33
7/24(火)	8.03	3.73	2.32	3.09	-0.27
7/25(水)	8.02	4.83	2.14	2.23	0.06
7/26(木)	8.92	3.04	2.46	3.81	0.13
7/27(金)	9.00	4.30	1.07	3.66	1.35
7/28(土)	7.81	3.74	2.87	0.00	-0.67
7/29(日)	9.31	0.94	0.29	-0.12	-0.37

s_2 の時間分布は、早朝の6:45~7:20に継続時間の長いピークが現れており、同時間帯の羽田、成田、沖縄行きが対応便となっている。よって s_2 は、早朝便の利用者行動を表す成分と考えられる。さらに s_2 は、月曜日の流入交通量への寄与が大きいため、月曜の早朝便を利用するビジネス客の利用者行動を表していると考えられる。

s_3 は重みが正の場合、8:45~9:35に継続時間の長いピークが現れており、対応する運行便は東京、札幌行きの便である。重みが負の場合のピークは、継続時間が短く、対応便は8:10発沖縄便、12:30発札幌便、16:55発羽田便であった。また s_3 の寄与は7月8日(日)、7月16日(月)を除くほとんどの観測交通量に対して正の値をとっている。よって s_3 は8:45~9:35の東京、札幌便の利用者行動を表す系列と考えられる。また曜日別の寄与に着目すると、 s_3 は火曜日~土曜日の流入交通量への寄与が大きい傾向がみられる。

s_4 は重みが正の場合、ピークは9:00台に出発する羽田便と対応がみられる。一方、負の場合のピークは12:00前後に現れ、羽田・札幌行きが対応便となった。また s_4 は、平日の流入交通量に対して正、日曜・祝日に対して負の値で寄与する系列である。よって s_4 は、平日は9:00台の羽田便利用者の行動を表し、日曜・祝日は10:20~11:20の行楽交通か、または12:00台の東京・札幌便利用者の行動を表すと考えられる。

s_5 は全般的に流入交通量への寄与は小さいが、7月20日(金)の流入交通量に対しては寄与が大きい。なお、7月20日(金)は広島空港の出発便に欠航が見られるため、この欠航便と s_5 の時間分布を詳しく分析した。図2に、原系列 s_5 と7月20日(金)の広島発羽田行きの欠航便の発生時間、および座席数を示す。また図中に、欠航便より1便、また2便前の羽田便のそれぞれの出発予定時刻、および座席数を示す。

7月20日(金)の欠航便は、20:40発の羽田行きの便であった。また、 s_5 のピークのうち最も継続時間が長いピークは18:35~19:30に現れており、このピークは欠航便の1便、および2便前の19:35発羽田便、19:40発の羽田便と対応する。すなわち s_5 は、20:40発の羽田便の利用者の大部分が、欠航を回避するため1便、もしくは2便前の19:35発、19:40発の羽田便に乗り換える行動をとった結果を表していると考えられる。また図2に示すように、欠航した20:40発羽田便の座

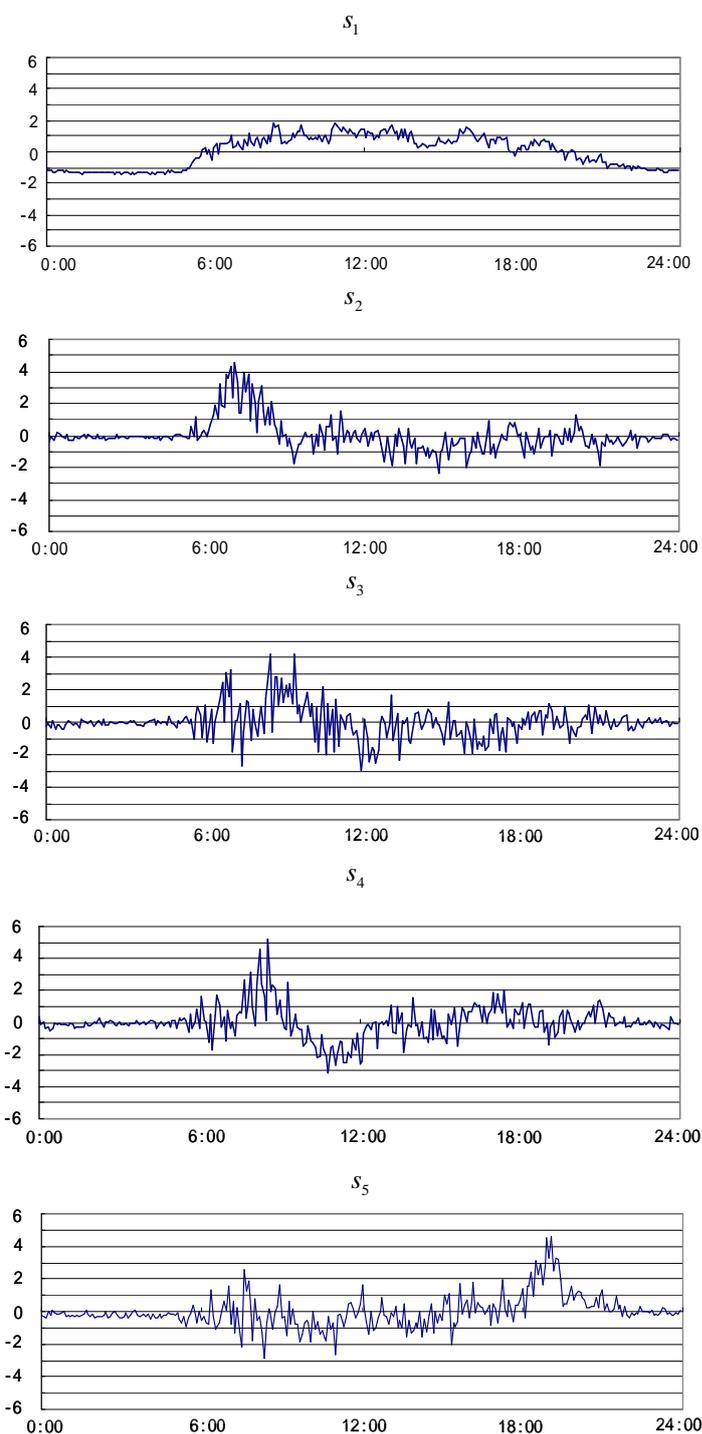


図1 得られた原系列 s_1, \dots, s_5 の時間分布

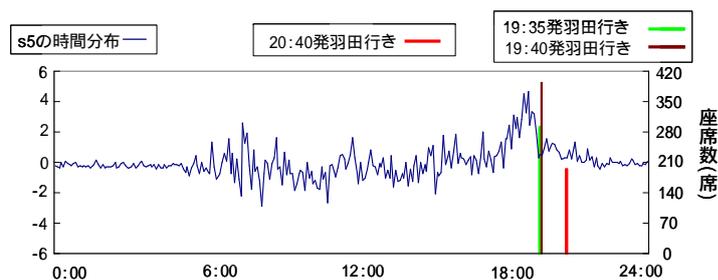


図2 s_5 の時間分布と7月20日(金)の欠航便

席数は 195 席であるのに対して, 19:35 発羽田便の座席数は 290 席, 19:40 発羽田便の座席数は 394 席であった. これら 3 便の予約状況を確認しない限り断定はできないが, 座席数から判断して, 欠航便の利用を予定していた利用者の多くが, 19:35 発もしくは 19:40 発の羽田便に乗り換えを試みた可能性は高い.

7. その他の欠航日の原系列, および重みの特徴

7月20日(金)以外で, 運行便の欠航がみられた日の各原系列の寄与の傾向についてまとめる.

6月24日(日)は9:00 発羽田便, 9:30 発羽田便, 10:15 発札幌便, 10:30 発羽田便が欠航している. 表3より, 同日の流入交通量に対する各原系列の重みに着目すると, 運行便との対応関係が不明確な s_1 の寄与が大きく, また他の日曜との間で原系列の寄与に大きな違いが見られないため, 欠航便の影響は明確ではない.

7月2日(月)は9:05 発羽田便が欠航している. 表3より, 同日の流入交通量に対する各原系列の重みは, s_2 の値が他の月曜日と比較して, 最も小さい値をとっている. なお s_2 は欠航があった9:05 発羽田便よりも, 早い時間の運行便の利用者行動を表す時間分布である. すなわち早朝からの欠航が予想される7月2日(月)の利用者は, あらかじめ欠航を予測してこれらの便の利用を控えたと考えられる. なお9:05 発羽田便の利用者行動を表す s_3 の重みは, 他の月曜日とほぼ変わらない. この理由として, 欠航した9:05 発羽田便の利用者ではなく, その後の便の利用者が空港に早着して状況を見極める行動をとった可能性がある.

7月4日(水)は14:00 発仙台便が欠航しているが, この便に対応する原系列は存在しない. ただし, 13:45 発羽田便に対応する s_1 は, 他の水曜日よりも値が小さくなっている.

7月10日(火)は7:35 発羽田便が欠航している. 表3より, 同日の流入交通量に対する各原系列の重みは, s_3 の値が他の火曜日と比較して最も大きい. s_3 は, 主に欠航便よりも少し遅い時間の運行便の利用者行動を表す時間分布であるため, 7月10日(火)の利用者は, 欠航を予測して少し後の便を利用したと考えられる.

7月13日(金)は8:10 発沖縄便が欠航している. 表3より, 同日の流入交通量に対する各原系列の重みは, s_2 の値が金曜日の中で最も小さい. なお s_2 は, 欠航した8:10 発沖縄便を含む早朝便の利用者行動を表す時

間分布である. よって s_2 の寄与の減少は, この欠航による早朝便の利用者の減少を表していると考えられる.

7月14日(土)は16:55 発羽田便, 18:00 発羽田便, 19:35 発羽田便, 20:40 発羽田便が欠航している. 表3より, 同日の流入交通量に対する各原系列の混合比率は, s_2 の値が他の土曜日よりもかなり大きい. s_2 は早朝の運行便と対応する時間分布である. したがって7月14日(土)の利用者は, 夕方に起きた羽田便の欠航を予測して早朝便を利用したと考えられる.

7月15日(日)は7:35 発羽田便, 7:45 発羽田便, 8:10 発沖縄便が欠航している. 表3より, 同日の流入交通量に対する各原系列の重み混合比率は, 他の日曜日と同様に, s_1 の値が大きく, s_2, \dots, s_5 の値が小さいため, 欠航便の影響は明確でない.

7月21日(土)は7:35 発羽田便, 9:05 発羽田便, 9:30 発羽田便が欠航しており, 欠航便の前後の便が2時間以上遅延するなど, 午前中の運行ダイヤが大きく混乱している. 表3より, 同日の流入交通量に対する各原系列の寄与は, s_2 の値が他の土曜日よりもかなり大きい. なお, s_2 は欠航した7:35 発羽田便を含む早朝の運行便の利用者行動を表す時間分布である. したがって, 7月21日(土)の利用者は欠航に対応するため, 空港に足を運んだと考えられる.

8. おわりに

本研究では, 空港への流入交通量データから, 航空機欠航の影響を受けた利用者行動を明らかにすることを目的として, 流入交通量を複数の原系列と重みに分解し, 得られた原系列が表す利用者行動を推測した.

分析の結果, 日常時の利用者行動を表す原系列に加えて, 7月20日(金)の欠航便を回避することを試みた利用者行動を表す原系列を抽出できた. しかし他の欠航日については, 各欠航便に対する利用者行動の特徴はそれぞれ異なることが明らかとなった.

参考文献

- 1) Aapo Hyvarinen: [詳解]独立成分分析, 東京電機大学出版局, 2005
- 2) 全日本空輸(ANA): <http://www.ana.co.jp/asw/index.jep>, 2007
- 3) 日本航空(JAL): <http://www.jal.co.jp/>, 2007