

広島空港における連続観測断面交通量に基づく非日常交通特性の分析*

Analysis on Unusual Traffic demand based on Continuous Traffic Observation at Hiroshima airport*

井上真一**・塚井誠人***・桑野将司****・奥村誠*****・吉村充功*****

By Shinichi INOUE**・Makoto TSUKAI***・Masashi KUWANO****・Makoto OKUMURA*****・Mitsunori YOSHIMURA*****

1. はじめに

広島空港では、霧による航空機の欠航や遅延が多発しており、利用者の利便性が大きく損なわれてきた。このような突発事象下の交通特性の把握には、近年進歩してきた自動観測機器による交通量の連続観測が有効である。連続観測データから得られる空港流出交通量の特性は、航空便がダイヤ通り運行されている日常時と、欠航や遅延が見られる非日常時を含む、空港利用者の交通行動の特性を示しており、特徴的な交通特性の解析を進めることによって、アクセスやイグレス交通計画等の、空港施設管理に必要な情報が得られると期待される。

本研究では、連続観測によって得られた空港からの流出交通量データに独立成分分析(ICA)を適用して、空港流出交通量の特性を明らかにする。具体的には、ICAによって流出交通量データを、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。さらに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、各原系列の重みに影響する要因を分析することによって、航空機の遅延・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

流出交通量時系列データを $x_i(t)$ 、原系列 $s_j(t)$ をとすると、流出交通量は式(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、流出交通量 $x_i(t)$ 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出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

*キーワード：発生交通、交通行動分析

**学生員，広島大学大学院工学研究科

***正員，博(工)，広島大学大学院工学研究科

****正員，修(工)，広島大学大学院工学研究科

(東広島市鏡山1-4-1, TEL 0824-24-7849)

*****正員，博(工)，東北大学東北アジア研究センター

(仙台市青葉区川内41)

*****正員，博(工)，日本文理大学建設都市工学科

(大分市一木1727)

て、尖度(4次統計量)を用いる FastICA アルゴリズムを開発した。本研究では、FastICA アルゴリズムによって、航空便の運行ダイヤに対応した空港流出交通の集中特性や、非日常時における、乱れの特性を抽出する。

3. 観測とデータの概要

広島空港から流出する自動車交通を対象に、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)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3地点であり、観測データは車輛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、これらの交通量を通過車輛の車長データに基づいて除去した。その上で、3地点の空港から流出する方向の交通量を合計して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系列の流出交通量系列に加工した。

また運行便の遅延・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、広島空港に到着した運行便の実到着時刻をANA、JALのホームページから取得した^{2), 3)}。取得した各運行便の実到着時刻から、運行便の早着・遅延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早着・遅延時間を示す。なお表中の×印の箇所は欠航を示し、()は早着時間(分)を示す。

表1 欠航が起こった日の各運行便の早着・遅延時間(分)

運行便(出発地)	6月24日	7月2日	7月4日	7月9日	7月12日
8:10(羽田)	×	67	18	0	2
8:20(羽田)	×	×	10	(4)	22
9:30(羽田)	×	29	(1)	6	8
9:45(羽田)	×	27	6	12	7
11:20(羽田)	2	0	9	10	7
11:25(羽田)	39	12	44	12	21
12:55(羽田)	16	9	12	(3)	8
13:25(仙台)	33	3	×	0	8
13:30(羽田)	23	3	18	7	15
15:50(羽田)	(2)	(11)	(8)	8	0
16:05(羽田)	29	20	7	12	6
17:10(札幌)	12	23	14	31	18
17:15(札幌)	21	(7)	3	8	20
18:40(羽田)	5	(3)	(2)	4	(6)
18:50(羽田)	4	(6)	(8)	3	6
19:00(成田)	8	14	5	7	2
19:50(沖縄)	1	0	2	(1)	×
19:55(羽田)	4	40	0	17	1
20:55(羽田)	10	0	9	×	22
20:55(羽田)	13	6	20	×	24

4. 流出交通量系列に対する独立成分分析の適用

49日分の広島空港からの流出交通量系列に主成分分析を適用して、流出交通量の全変動のほぼ85%を説明する7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、7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_7 を示す。

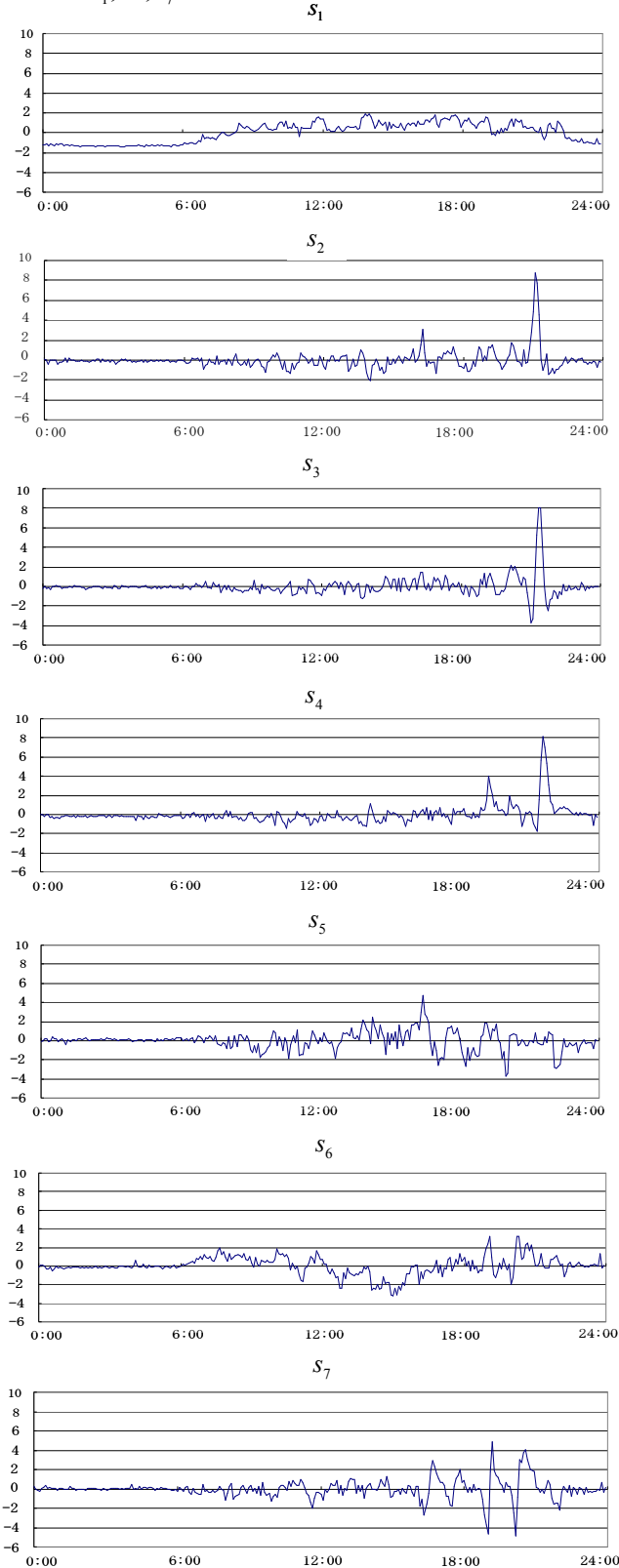


図1 原系列 s_1, \dots, s_7

表2 欠航が起こった日の各運便の早着・遅延時間(分)

運便(出発地)	7月13日	7月14日	7月18日	7月20日	7月21日
8:10(羽田)	5	1	(10)	(7)	×
8:20(羽田)	28	6	(11)	(10)	×
9:30(羽田)	2	(2)	×	13	120
9:45(羽田)	15	12	0	5	27
11:20(羽田)	11	(6)	3	(9)	27
11:25(羽田)	15	11	(8)	8	13
12:55(羽田)	(1)	4	(14)	(8)	47
13:25(仙台)	11	(4)	(16)	(4)	(5)
13:30(羽田)	14	8	(7)	5	6
15:50(羽田)	(1)	×	(16)	(11)	(13)
16:05(羽田)	6	12	(8)	4	0
17:10(札幌)	20	×	(9)	10	4
17:15(札幌)	6	28	(13)	(1)	3
18:40(羽田)	3	×	(15)	4	(12)
18:50(羽田)	9	3	(15)	30	(7)
19:00(成田)	23	×	(9)	(2)	9
19:50(沖縄)	×	×	(3)	(1)	3
19:55(羽田)	(1)	×	(5)	×	3
20:55(羽田)	7	×	0	×	3
20:55(羽田)	15	×	(5)	33	7

表3 原系列の流出交通量への寄与を表す重み a_{ij}

	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7
6/11(月)	8.62	2.44	1.54	1.55	-2.19	-0.95	1.31
6/12(火)	9.08	2.92	1.65	1.13	-3.01	-2.09	-0.31
6/13(水)	8.28	5.91	1.09	0.57	2.16	1.11	-0.04
6/14(木)	9.57	3.03	6.52	2.75	1.08	1.76	-0.23
6/15(金)	8.94	4.71	4.97	1.59	2.14	1.54	-0.76
6/16(土)	11.96	2.71	3.85	0.23	3.54	-1.31	-2.45
6/17(日)	13.16	3.53	6.23	2.17	5.48	-5.97	-0.34
6/18(月)	8.82	3.06	2.07	1.08	2.31	0.88	-0.62
6/19(火)	8.93	5.51	2.88	1.12	2.07	0.68	-1.24
6/20(水)	8.28	5.91	1.09	0.57	2.16	1.11	-0.04
6/21(木)	9.06	5.41	0.01	1.08	2.22	-0.01	-0.87
6/22(金)	8.36	0.75	2.59	6.58	0.86	1.11	0.83
6/23(土)	10.70	3.58	1.68	0.48	3.57	-1.73	-0.45
6/24(日)	10.83	0.62	5.22	4.52	0.24	-2.31	2.76
6/25(月)	9.21	0.54	3.18	2.81	2.16	1.65	2.27
6/26(火)	8.63	5.11	1.82	0.37	1.62	1.18	-0.36
6/27(水)	8.90	3.85	0.35	0.78	2.84	1.23	-1.35
6/28(木)	8.72	5.05	1.15	0.45	2.26	0.24	-1.93
6/29(金)	8.21	2.21	2.73	4.62	2.44	1.23	-0.19
6/30(土)	10.00	4.43	1.90	0.83	2.59	0.09	-2.46
7/1(日)	10.12	3.93	4.36	1.83	3.50	-0.28	-0.82
7/2(月)	7.56	1.62	1.97	0.29	0.32	2.64	1.43
7/3(火)	7.68	4.59	1.56	0.78	2.51	1.94	-0.53
7/4(水)	7.59	1.24	2.59	2.89	0.35	1.19	-1.32
7/5(木)	8.54	1.78	3.01	1.72	2.17	1.89	-0.11
7/6(金)	8.27	0.91	2.24	9.18	1.40	2.52	3.25
7/7(土)	8.77	2.22	2.00	1.24	3.00	0.56	-1.48
7/8(日)	10.72	3.06	5.65	2.07	4.93	-2.03	3.03
7/9(月)	9.60	-0.15	0.34	0.76	1.87	2.42	2.41
7/10(火)	8.08	4.78	1.14	1.13	2.80	3.15	1.81
7/11(水)	8.27	2.43	4.60	0.94	2.60	1.88	0.03
7/12(木)	8.37	0.23	0.52	5.32	1.97	0.63	-0.35
7/13(金)	9.10	0.70	5.65	6.64	2.11	1.00	-0.45
7/14(土)	8.42	-1.52	-0.65	-1.33	0.72	-1.55	0.16
7/15(日)	10.29	3.89	1.46	-0.29	1.90	-1.91	-0.01
7/16(月)	12.71	1.07	4.63	3.48	5.65	-1.80	4.78
7/17(火)	7.58	1.74	3.21	1.36	2.16	1.79	-1.33
7/18(水)	8.56	4.36	2.27	0.89	0.24	1.31	-2.09
7/19(木)	8.94	6.40	3.65	0.19	1.26	1.35	-2.34
7/20(金)	9.02	-0.06	-1.33	4.57	3.33	2.03	-1.81
7/21(土)	9.73	-0.48	3.20	0.84	2.81	0.30	-1.10
7/22(日)	10.44	1.78	4.96	2.48	4.54	-1.61	0.04
7/23(月)	9.20	1.57	3.92	0.47	2.26	0.77	-1.73
7/24(火)	8.66	3.24	4.37	1.53	2.53	1.54	-0.55
7/25(水)	8.77	5.80	1.15	0.82	2.78	1.78	0.79
7/26(木)	9.86	4.82	4.66	0.44	2.43	1.32	-1.51
7/27(金)	9.78	3.98	5.24	1.71	1.10	2.11	1.91
7/28(土)	9.97	2.74	2.05	-0.55	2.90	0.92	0.54
7/29(日)	10.77	0.21	0.95	5.48	4.55	-1.03	2.41

5. 各原系列と運行便との対応関係

得られた原系列と、6月9日～7月27日における、日ごとの広島空港に到着した運行便との対応関係を、以下の手順で分析した。

まず原系列の細かい時間変動を除くため、 s_1, \dots, s_7 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を階級幅(0.05)で集計したヒストグラムから、 \bar{s}_j の値の出現確率の分布を求める。得られた出現確率の分布に基づいて、特に交通量が大きく増加するピークを求めるため、 \bar{s}_j に閾値を設定する。ここで出現確率の閾値は、各原系列の確率密度の超過、および非超過確率が3%のときとして求めた。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については、値の正負が反転するためである。

ここで広島空港着の運行便を利用する利用者の行動特性として、「利用者は運行便が到着した時刻の10分後～30分後に観測地点を通過する」と仮定し、各運行便の日ごとの到着時間の10分後～30分後の時間帯と、各原系列における出現確率3%以下のピークの時間帯との重複時間によって対応関係を判断した。なおピークとの重複時間が5分以上の便は、以下対応便と呼ぶ。

6. 原系列の重みの回帰分析

各原系列の日間変動パターンを分析するため、原系列ごとの重みを目的変数とし、各系列の対応便の早着・遅延時間、および欠航の有無を説明変数として、各系列の対応便の早着・遅延、および欠航によって各系列の重みが増加するか否かについて分析を行う。ここで式(2)の回帰モデルを考える。

$$a_{ij} = \sum_k \beta^k \cdot \exp(-\alpha_e t_e^k) \cdot \exp(-\alpha_d t_d^k) \cdot \delta_j^k + \sum_k \gamma^k f^k + \sum_{l=1}^7 \lambda_l dy_{ij} + \varepsilon_j \quad (2)$$

式(2)において a_{ij} は、表3に示した原系列 s_j の*i*日の流出交通量 $x_i(t)$ への重み、つまり影響の大きさを表す。 δ^k は、*i*日の運行便 k が s_j のピークと対応した場合に1となるダミー変数である。また t_e^k は*i*日における運行便 k の早着時間(≥ 0)であり、 t_d^k は*i*日における運行便 k の遅延時間(≥ 0)である。 f^k は運行便 k のうち、*i*日に欠航した便の座席数の和である。 df_1, \dots, df_6 は $x_i(t)$ が月曜、火曜、水曜、木曜、金曜、土曜の流出交通量の場合に1となるダミー変数であり、 df_7 は*i*日に雨が降った場合に1となるダミー変数である。 $\beta^k, \alpha_e, \alpha_d, \gamma^k, \lambda_l$ はパラメータであり、 ε_j は誤差項である。

式(2)を用いて、各原系列の重みについて回帰分析を行った結果のうち、遅延・欠航による寄与の変化が明確

であった s_2, s_3, s_4 の分析結果を、表4～表6に示す。なお s_2, s_3, s_4 の最も大きなピークは、それぞれ20:55～21:20, 21:15～21:35, 21:30～21:55に現れており、これらのピークの対応便は最終便である20:55着羽田便である。そこで s_2, s_3, s_4 については、20:55着羽田便の遅延、欠航を分析対象とした。また20:55着羽田便はJAL、およびANAが同時刻に運航させており、それぞれの座席数はJALが290席、ANAが569席である。なお以下の分析において、サンプル数は全て49(49日分)である。

表4 原系列 s_2 の重み a_{i2} に対する回帰分析

パラメータ	推定値	t 値
20:55着羽田便<JAL>	0.786	1.184
20:55着羽田便<ANA>	3.527	6.280 **
20:55着欠航(座席数)	-0.005	-5.598 **
早着(時間)	-0.141	-0.127
遅延(時間)	5.923	3.129 **
月曜ダミー	-0.359	-0.720
火曜ダミー	0.562	1.192
水曜ダミー	0.655	1.339
木曜ダミー	0.923	2.060 *
金曜ダミー	1.212	2.688 *
土曜ダミー	-0.734	-1.472
降雨ダミー	-0.256	-0.936
自由度調整済み決定係数	0.781	

**1%有意 *5%有意

表5 原系列 s_3 の重み a_{i3} に対する回帰分析

パラメータ	推定値	t 値
20:55着羽田便<JAL>	1.078	1.449
20:55着羽田便<ANA>	4.518	5.964 **
20:55着欠航(座席数)	-0.005	-3.775 **
早着(時間)	9.564	2.660 *
遅延(時間)	1.254	2.153 *
月曜ダミー	-1.569	-2.042 *
火曜ダミー	-1.687	-2.153 *
水曜ダミー	-1.607	-2.087 *
木曜ダミー	-0.967	-1.296
金曜ダミー	-0.546	-0.702
土曜ダミー	-1.913	-2.444 *
降雨ダミー	-0.136	-0.301
自由度調整済み決定係数	0.438	

**1%有意 *5%有意

表6 原系列 s_4 の重み a_{i4} に対する回帰分析

パラメータ	推定値	t 値
20:55着羽田便<JAL>	1.029	3.608 **
20:55着羽田便<ANA>	0.435	2.190 *
20:55着欠航(座席数)	-0.002	-2.220 *
早着(時間)	12.334	0.706
遅延(時間)	-3.967	-5.483 **
月曜ダミー	0.009	0.017
火曜ダミー	-0.512	-1.070
水曜ダミー	-0.429	-0.929
木曜ダミー	-0.335	-0.736
金曜ダミー	1.380	2.401 *
土曜ダミー	-0.725	-1.416
降雨ダミー	0.177	0.510
自由度調整済み決定係数	0.759	

**1%有意 *5%有意

s_2 の重み a_{i_2} について、表4に示す決定係数は0.781であり、モデルの当てはまりはやや高い。説明変数のうち、20:55着のANA便が正で有意である。また対応便の遅延パラメータが正で有意であった。したがって20:55~21:20に大きなピークを示す s_2 は、20:55着の運行便が通常どおりの運航状況のとき重みが大きくなり、遅延時には重みが小さくなる原系列と言える。一方、対応便早着については、有意な値ではないが負のパラメータが推定されており、同便が早着すると s_2 の重みが大きくなる傾向がみられる。この他の変数のうち、同便の欠航が重みに及ぼす影響は負で有意であった。これより20:55着羽田便が欠航した日は、 s_2 の重みが低下する。また曜日変動については、木曜日、金曜日の曜日ダミーが正で有意となっていることから、 s_2 の重みは平日の週末に大きくなる傾向がある。

s_3 の重み a_{i_3} について、表5に示す決定係数は0.438であり、モデルの当てはまりはやや低い。説明変数のうち20:55着のANA便が正で有意である。また対応便の早着、遅延の変数は共に正で有意であった。これより21:15~21:35に大きなピークを示す s_3 は、20:55着の運行便が定時運航している場合に重みが最大である一方、同便が早着、または遅延すると重みが低下する原系列である。この他の変数のうち、同便の欠航が重みに及ぼす影響が負で有意であった。よって20:55着羽田便が欠航した日は、 s_3 の重みは減少する。また月曜日、火曜日、水曜日、土曜日の曜日ダミーが負で有意となった。これより s_3 は、木曜日、金曜日、日曜日について重みが大きくなる傾向があると言える。

s_4 の重み a_{i_4} について、表6に示す決定係数は0.759であり、モデルの当てはまりはやや高い。説明変数のうち、20:55着のJAL、およびANA便がいずれも正で有意となった。また対応便の遅延パラメータが負で有意である。これより21:30~21:55に大きなピークを示す s_4 は、20:55着羽田便が遅延した日は、重みが大きくなる原系列であることがわかる。なお対応便の早着に関しては、正のパラメータが推定されており、有意な値ではないが、20:55着羽田便が早着すると s_4 の重みは低下する傾向がある。その他の変数では、同便の欠航が重みに及ぼす影響が負で有意となり、 s_4 の重みは低下する傾向がみられる。また曜日変動については、金曜ダミーが正で有意であり、 s_4 は金曜日の重みが大きくなる傾向がある。

7. 原系列の時間分布特性と曜日変動パターンのまとめ

s_1 は9:00~22:00にはほぼ連続して高い値を示す時間分布であり、重み a_{i_1} から s_1 は全日に対して大きく影響す

る系列であることが分かる。また a_{i_1} に関する回帰分析の結果、決定係数は低く、対応便の早着・遅延、および欠航は s_1 の重みに影響しないことがわかった。以上より s_1 は、平均的な利用者行動を表す系列と考えられる。

s_2, s_3, s_4 は、20:55~21:55の時間帯に大きなピークをもつ時間分布であり、これらのピークは最終便である20:55着羽田便と対応する。また $a_{i_2}, a_{i_3}, a_{i_4}$ について分析した結果から、 s_2 は20:55着羽田便が早着した日の利用者行動を表し、 s_4 は遅延した日の利用者行動を表す系列と考えられる。

s_5 は16:20~16:40に正の大きなピークが、17:00以降は負のピークが複数見られる時間分布である。 a_{i_5} について回帰分析を行ったところ、決定係数は低く、対応する利用者行動は明確ではなかった。なお、16:05着羽田便の早着が重みに影響するという結果が得られたが、負のピークの対応便の影響は見られなかった。

s_6 は15:00~15:30に負の大きなピークが、20:15~20:50に正のピークが見られる時間分布である。 a_{i_6} に関して回帰分析を行ったところ、19時台の運行便の早着が重みに影響するという結果が得られたが、負のピークの対応便の影響は見られなかった。なお曜日変動は全ての変数が正で有意であり、特に火曜日、水曜日の重みが大きくなる傾向があることが分かった。

s_7 は18:30以降に正と負の大きなピークが複数見られる時間分布である。 s_7 の重み a_{i_7} について回帰分析を行ったところ、対応便の早着・遅延、および欠航のいずれも s_7 の重みと明確に対応しない結果が得られた。また s_7 に関しては、曜日変動の影響も明確ではないことが明らかになった。

8. おわりに

本研究では、空港への流出交通量データから、航空機遅延、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、流出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、観測日間の平均的な利用者行動を表す時間分布や、最終便である20:55着羽田便が早着・遅延した場合の利用者行動を表す原系列を抽出できた。

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