

# 仙台空港発着便における遅れの統計的分析\*

## Statistical Analysis of Flight Delays at Sendai Airport\*

木村裕介\*\*・加藤寛道\*\*・奥村誠\*\*\*・塚井誠人\*\*\*\*

By Yusuke KIMURA\*\*・Hiromichi KATO\*\*・Makoto OKUMURA\*\*\*・Makoto TSUKAI\*\*\*\*

### 1. はじめに

都市間交通の代表的な交通機関である航空は、鉄道に比べて遅れが多く、信頼性が低いという問題がある。人々の時間価値が高まり、信頼性の高いサービスが求められる今日、遅れや欠航に対する適切な対応によりサービスレベルの低下を防ぐことが求められる。航空の遅れに関して、海外を対象に遅れの原因や波及を考察した研究<sup>1)</sup>や波及を抑えるために必要な余裕時間の決定を取り扱った研究<sup>2)</sup>があるが、国内の実際の運行時刻データに対して、統計的な分析を行っている研究は少ない。

そこで本研究では、4ヶ月間の仙台空港の遅れデータを、統計量と独立成分分析(ICA)を用いて分析し、その傾向を明らかにする。

### 2. 使用データと分析対象

本研究では、全日空(以下,ANA),日本航空(以下,JAL)がWebページ上で提供する運行情報<sup>3)4)</sup>を基に分析を行う。本研究では、仙台空港を発着する国内線ANA9路線(仙台・新千歳・中部国際・伊丹・福岡・那覇・成田・小松・神戸・広島,21便/日),JAL6路線(JALエクスプレス(以下,JEX)を含む)(仙台・新千歳・中部国際・伊丹・福岡・那覇・神戸,16便/日)について分析を行う。また、遅れ時間として、実際の出発(到着)時刻から予定出発(到着)時刻を引いた値(分単位)を用いる。

本研究での分析対象期間は、冬ダイヤが適用されていた2006年12月1日から2007年3月31日までとし、欠航便が

\*キーワード: 公共交通運用, 空港管理, ICA

\*\*学生員, 東北大学大学院工学研究科土木工学専攻

(仙台市青葉区川内41番地,

TEL022-795-7567, FAX022-795-7477,

E-mail:y\_kimura@cneas.tohoku.ac.jp

hkato@cneas.tohoku.ac.jp)

\*\*\*正員, 博士(工学), 東北大学東北アジア研究センター

(同上, E-mail:mokmr@cneas.tohoku.ac.jp)

\*\*\*\*正員, 博士(工学), 広島大学大学院工学研究科

(東広島市鏡山1-4-1, TEL&FAX:082-424-7827

E-mail:mtukai@hiroshima-u.ac.jp)

ある日を除いて、95日を分析対象とする。

### 3. 統計量を用いた分析

#### (1) 出発便と到着便の遅れの比較

まず、仙台空港における出発便全体と到着便全体に関する遅れの比較を行う。表1にそれぞれの遅れの平均・分散・歪度・尖度を、また図1に遅れ時間ごとの便数の分布を示す。

図1を見ると、出発便、到着便とも最も多いのは1分から5分の早発・早着である。また、到着便には10分以上早着するケースが多いのに対し、出発便は大きな早発ができないために定刻付近に分布が集中している。一方、遅着に比べると遅発の起こる頻度は少ないが、分布の形状は類似している。以上の傾向は、到着便の方が出発便に比べて遅れの平均が小さいが、分散が大きく、尖度が小さいという、表1の結果にも表れている。

つまり、航空便の時刻は、出発時の遅れや途中の天候などを考慮した上で余裕を持って設定されており、途中のトラブルがなければ定刻よりも早く着くことが多い。しかし、出発便においては、使用機材が早く到着した場合には、機体整備や清掃の時間に余裕は出てくるものの、乗客が集まるのを待つ必要があるため、出発時刻が大幅に早くできるわけではない。

表1 出発便と到着便の遅れに関する統計量

	平均(分)	分散	歪度	尖度
出発便	1.39	76.41	6.10	60.56
到着便	0.51	137.26	3.40	21.39

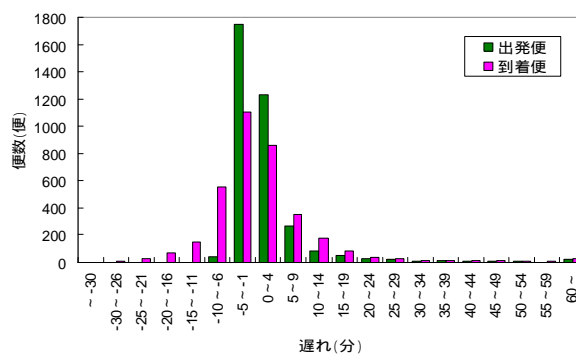


図1 出発便と到着便の遅れの比較

表2 仙台空港到着便における出発地ごとの遅れの比較

出発地	便数 (便/日)	到着遅れ		出発遅れ		所要時間		分散比
		平均(分)	分散	平均(分)	分散	平均(分)	分散	
新千歳	8	1.93	239.13	4.00	179.44	67.93	24.68	7.27
中部国際	5	-1.51	81.78	1.86	73.34	64.63	15.08	4.86
伊丹	11	2.40	87.74	1.88	72.14	70.53	18.37	3.93
福岡	5	1.05	101.45	2.91	69.51	98.13	26.86	2.59
那覇	2	4.37	183.08	8.34	139.87	148.54	50.88	2.75
成田	2	-13.22	70.41	1.71	30.42	55.07	70.33	0.43
小松	1	2.47	34.71	-1.19	32.15	58.72	9.61	3.34
神戸	1	-0.34	69.87	-0.43	51.77	75.09	19.28	2.69
広島	2	0.31	108.49	2.26	99.14	78.04	11.41	8.69

### (2) 仙台到着便における出発地ごとの遅れの比較

表2に仙台空港到着時の遅れ(以下,到着遅れ)と,同便の相手空港出発時の遅れ(以下,出発遅れ),所要時間のそれぞれの平均・分散を示す。さらに,仙台空港到着時の遅れに対する出発時の遅れと所要時間(滑走路の待ちも含む)の遅れの影響力を見るため,出発遅れと所要時間の分散比(出発遅れの分散/所要時間の分散)を算出した。到着遅れの平均を見ると,那覇便が4.37分と最も大きく,一方成田便は-13.22分と大幅に早く着く傾向がある。また,出発遅れは平均・分散とも沖縄・札幌で大きく,所要時間の分散は沖縄,成田で大きい。以下では,成田,新千歳,那覇,広島(分散比8.69)について,遅れの原因を考察する。

成田便は出発遅れの分散が9路線中最小なのに対し,所要時間の分散は最大であり,分散比が0.432と唯一1を下回っていて,所要時間の要因の影響が大きいことがわかる。この理由として考えられるのは成田空港の混雑である。成田の発着枠は限界にあり,出発時に誘導路で離陸を待たされることが多い。しかし,到着遅れの平均を見ると,成田便は-13.22分と大幅に早く着く傾向がある。これは,航空会社が混雑による誘導路での離陸待ちを見込んで余裕を持った時刻設定を行っているため,予定通り離陸できた場合には早く着くことが多いことを示している。

新千歳便については,出発遅れの分散が179.44と9路線中で最も大きく,分散比も7.27と大きい値になっている。一方所要時間の分散は他の出発地の便と大きく変わらない。つまり,出発遅れが新千歳便の遅れを決定付けているが,この原因は積雪であると考えられる。本分析では欠航日は除外しているが,30分以上の遅れがその約5%(到着遅れの95%タイル値:29分)を占めている。除雪等による滑走路の短時間閉鎖やその後の発着便の時間集中により,冬期間においては多くの遅れが発生していると考えられる。

那覇便は,到着遅れの平均,分散が大きい。出発遅れと所要時間の分散が共に大きいため,分散比は他の路線

と変わらない。これより,那覇便の遅れは出発遅れ,所要時間の遅れの両方の原因によるものと考えられる。1日2便ある那覇便の那覇出発時刻は14時15分と14時30分である。この時間は,沖縄観光を終えた旅客が帰る時間帯で,那覇空港において1日の中で最も便が集中している。日ごろ航空を利用しない観光客が多いために,カウンターでの手続き,荷物検査に時間がかかり,出発が遅れている可能性がある。また,発着が集中して,誘導路での離陸待ちが発生し,所要時間の遅れにつながっていると考えられる。

最後に,広島便については,到着遅れは0.31分と小さいものの,分散比が8.96で9路線中最大である。つまり,大幅な遅れは少ないものの,広島の出発時点で遅れが発生し,それが仙台の到着遅れにつながっている。ただし,広島-仙台便(1日1便)は,その前の仙台-広島便が30分の滞在ををばさんで折り返す便であるため,この広島の出発遅れが広島空港に起因するものか,前便の仙台出発時点の遅れに起因するものかについては判断できない。この広島便の遅れについては4.のICAによる分析で考察する。

### (3) 仙台空港の機材滞在時間と遅れの回復の分析

日中に仙台空港に到着する多くの機材は,到着後30分から1時間滞在した後,次の目的地へのお発便として運用されている。ここでは,機材の空港滞在時間によって,到着便が遅れた時間の,次の運用便の出発遅れへの波及が,どのように変化するかを分析する。

まず,機材の運用の関係をJR時刻表<sup>5)</sup>より推定した結果,8時40分着から19時55分着までの27便については,次の運用先を特定でき,それが対象期間中変化していないことが確認できた。その結果を用いて,出発遅れと到着遅れの平均差(出発遅れ-到着遅れ),分散比(出発遅れ/到着遅れ)を算出し,滞在時間が30分以内,35分,40分,45分以上の4つ区分ごとに平均したものを表3に示す。滞在時間が長くなるほど平均差は減少していく傾向にあり,分散比も減少していることから,滞在時間が長いほ

表3 仙台空港機材滞在時間と遅れの回復の関係

仙台空港滞在時間	平均差(分)	分散比
30分以内	2.52	1.03
35分	0.03	0.79
40分	-0.20	1.08
45分以上	-1.18	0.55

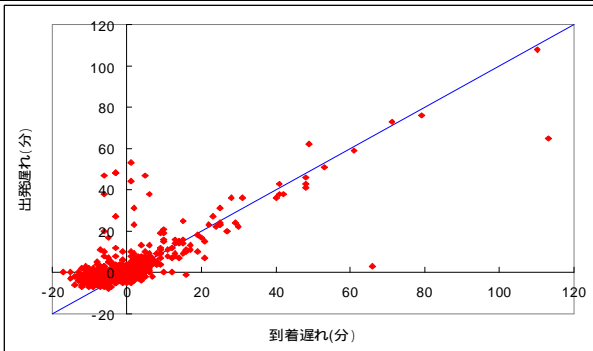


図2 滞在時間30分以内の便の到着遅れと出発遅れの関係

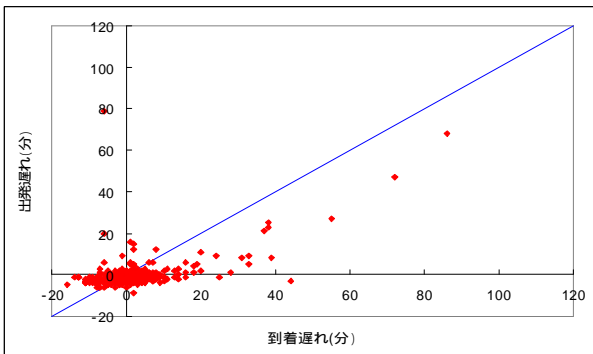


図3 滞在時間45分以上の便の到着遅れと出発遅れの関係

ど遅れが回復していることがわかる。

また、滞在時間が30分以内と45分以上の便についての、到着遅れと出発遅れ関係を図2、図3に示す。ただし、図中の直線は到着時の遅れと出発時の遅れが等しい線を示している。これらの図から、滞在時間が30分以内の場合は仙台空港において遅れが回復することは少なく、逆に拡大している便もある一方、45分以上余裕がある場合はほとんどの便で遅れが減少していることがわかる。

#### 4. ICAを用いた分析

独立成分分析（以下、ICA）とは、多変量の信号を相互に独立な複数の成分に分離する計算手法である。ICAでは、 $M$ 次元信号  $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_M)^T$  が観測された際に、 $N$ 次元の原信号  $\mathbf{s} = (s_1, s_2, \dots, s_N)^T$  に対して以下の線形関係が成立すると仮定する。

$$\mathbf{x} = \mathbf{A}\mathbf{s} \quad (1)$$

ただし、 $N \leq M$  とする。原信号の各要素は平均0、分散1であり、相互に独立であると仮定する。行列  $\mathbf{A}$  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。

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ている情報は、原信号  $s_j$  が各時刻  $t$  において相互に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<sup>6)</sup>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用いる。

以下の分析では、ある便  $i$  についての遅れ時間の日変動を95日の長さをもつ観測信号  $x_i$  とみなしてICAを適用する。系列数は発着便合わせて74本である。混合行列  $\mathbf{A}$  の各列は同じ日に複数の便に遅れが発生するといった遅れのパターンを表す。同時に、独立成分  $s$  はそれぞれの時間遅れのパターンがどの日に強く発生しているかという強度を表すことになる。

$\mathbf{x}$  から累積寄与率が90%以上となる21の主成分を求め、さらに21個の独立成分を計算した。代表的な6つの独立成分を図4に、それに対応する混合行列の列成分を表4に示す。なお表4では到着便と出発便に分けて表している。また、これら6つの独立成分の混合係数値がすべて小さい便は省略している。

図4より遅れのパターンの発生強度をみると、 $s_1 \sim s_5$  の5つではピークが複数存在している。これは機材の運用や空港の混雑などによる、日常的に現れやすい遅れのパターンを表す成分といえる。これに対して、 $s_6$  は12月24日のみにピークが存在し、他の日では0付近の値をとっている。このことから気象条件などにより、特異な一日のみに発生した遅れのパターンに対応する成分であると考えられる。

表4の混合係数を用いて遅れのパターンを考察する。

$s_1$  は ANA368 仙台 中部国際, ANA367 中部国際 仙台, ANA362 仙台 小松で遅れが発生するパターンである。これらの便には同一機材が順に運用されているため、前便の遅れが伝播する様子を表している。

$s_2$  は ANA802 広島 仙台と, ANA727 仙台 新千歳で遅れが発生するパターンである。すなわち、ANA802 便の到着遅れが次の運用先の ANA727 便に伝播している。なお、ANA802 便に先行する ANA801 仙台 広島の仙台出発遅れの混合行列の係数は小さいことから、この遅れの原因は広島空港に起因したものであると考えられる。

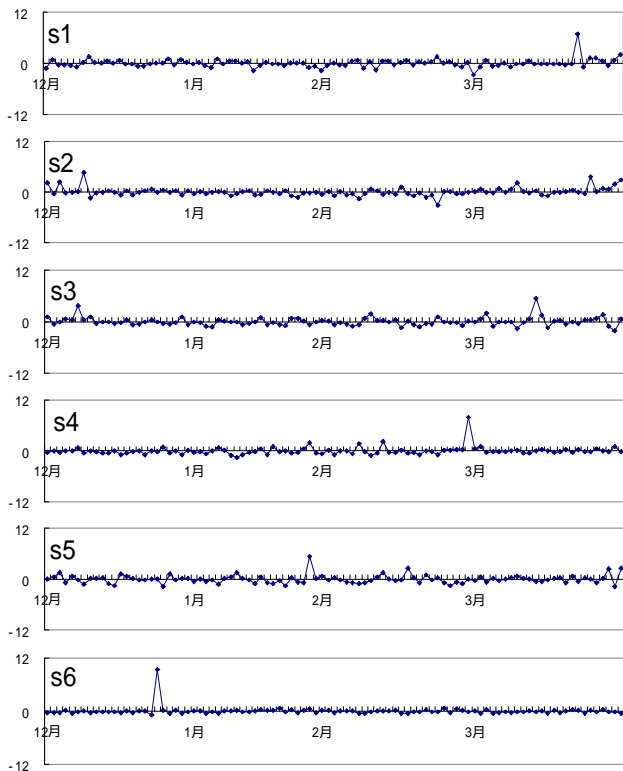


図4 独立成分

s3 は JAL2942, ANA464 という那覇からの到着便に遅れが発生するパターンである。前述したように那覇便の遅れの原因は那覇での出発遅れと所要時間の遅れであると推測できる。

s4 は 20 時以降に仙台を発着する便に遅れが発生するパターンである。特に 20 時からの 20 分間に発着する 3 便の遅れの係数が大きいことから、仙台空港での混雑もしくは誘導路での離陸待ちに起因するものと考えられる。

s5 は ANA724 新千歳 仙台, ANA3235 成田 仙台, JEX3175 中部国際 仙台, および JEX3176 仙台 中部国際で遅れが発生するパターンである。JEX の 2 便については、前便の遅れが次の運用便に波及している。一方, ANA724 新千歳 仙台的遅れは次の運用便である ANA725 仙台 新千歳に影響していない。これは仙台空港での滞在時間が 1 時間と長く、遅れを吸収できたことによる。また ANA3235 成田 仙台は係数が大きい, 3 (2) で考察したように、時間設定に余裕があるため、通常は仙台に早着する便が定刻に到着するという状況に対応している。したがってそれ以降の便には影響を与えていない。

s6 は新千歳便を主として多くの便で遅れが発生するパターンである。気象庁 HP<sup>7)</sup>によると, s6 がピークをもつ 12 月 24 日には千歳で空港運営時間中に降雪が記録されており, 滑走路の除雪待ちによる遅れが原因であると推測できる。

表4 混合行列

仙台着		s1	s2	s3	s4	s5	s6
9:15	ANA 731伊丹	0.53	-0.18	-0.47	1.86	-1.29	7.45
9:35	ANA 720新千歳	-0.36	-0.36	0.92	-0.20	0.38	3.50
12:30	JEX2904新千歳	-0.22	0.94	0.87	-2.06	-0.31	4.16
12:50	ANA 722新千歳	1.34	0.29	-0.25	-1.16	-0.39	6.83
13:50	JEX2906新千歳	-1.33	-1.06	0.83	-1.75	-0.10	11.63
14:00	ANA 724新千歳	-1.86	-1.06	1.18	-0.18	3.95	7.97
15:00	ANA 367中部国際	6.23	0.25	0.22	2.01	0.05	0.76
16:50	JAL2942那覇	-0.20	1.61	10.32	2.92	-0.29	-0.76
16:55	ANA 802広島	0.40	5.44	-0.60	0.10	-1.03	-0.45
17:00	ANA 464那覇	-0.13	0.52	3.08	1.45	-0.97	-0.52
17:50	ANA 728新千歳	0.71	0.18	1.88	-1.27	-0.07	3.50
18:10	ANA 3235成田	2.19	0.38	2.76	0.88	4.53	-0.21
18:20	JEX2912新千歳	-2.14	-0.04	1.07	-1.12	0.13	7.71
19:50	ANA 739伊丹	-0.04	0.94	-0.12	-0.83	0.99	3.95
19:55	JEX3175中部国際	-0.72	1.69	-0.39	1.56	4.32	0.08
20:55	JAL3537福岡	0.01	2.51	-0.35	3.21	1.29	-0.49
仙台発		s1	s2	s3	s4	s5	s6
9:55	ANA 734伊丹	0.54	0.29	-0.13	1.00	-0.66	6.48
10:50	JEX2907新千歳	-0.25	-0.24	0.29	-0.06	-0.13	4.30
12:05	ANA 368中部国際	3.81	1.00	-0.16	1.43	-0.10	0.24
13:20	ANA 801広島	0.71	0.51	-0.08	-0.61	-0.36	0.07
14:20	JEX2206伊丹	-0.79	-1.03	0.80	-1.11	-0.56	6.43
15:00	ANA 725新千歳	-0.36	-0.08	-0.29	0.10	1.55	4.95
15:25	JEX2911新千歳	-1.09	1.21	0.96	-0.24	-0.10	6.05
15:35	ANA 362小松	5.15	0.83	0.35	0.70	0.09	0.28
17:25	ANA 727新千歳	-0.15	4.74	0.15	-0.27	-0.95	4.92
20:00	ANA 410神戸	0.72	-0.66	-0.17	7.08	-0.78	-0.39
20:10	ANA 729新千歳	0.43	0.08	-0.05	5.51	2.93	-0.24
20:20	JEX3176中部国際	-0.46	2.37	-0.13	4.00	4.28	0.23

## 5. おわりに

本研究では、仙台空港発着便の遅れデータを統計量とICAを用いて分析した。

統計量を用いた分析では、仙台到着便における成田空港の混雑や新千歳空港の積雪による影響を明らかにした。さらに、仙台到着便の遅れが次の運用便に及ぼす影響を分析し、滞在時間が長いほど遅れの回復が大きいことを示した。また、ICAを用いた分析では、統計量を用いた分析での結果に加えて、新千歳空港積雪時の1日を通しての仙台空港発着便への影響や、仙台空港において便の集中する時間帯の遅れを明らかにした。

今後は、ICAを用いたより長期のデータの分析を行うことにより、季節による出発地ごとの遅れの比較など、さらに詳細な遅れの解析を行うことを考えている。

## 参考文献

- 1) Abdelghany, K.F. et al. , A model for projecting flight delays during irregular operation conditions , Journal of Air Transport Management, Vol.10, pp.385-394, 2004 .
- 2) Wu, C.L. : Inherent delays and operational reliability of airline schedule , Journal of Air Transport Management, Vol.11, pp.273-282, 2005 .
- 3) 全日本空輸 (ANA) HP, <http://www.ana.co.jp/asw/index.jsp> .
- 4) 日本航空 (JAL) HP, <http://www.jal.co.jp/> .
- 5) 交通新聞社 : JR時刻表2006.12, 2006 .
- 6) Aapo Hyvarinen : 詳解 独立成分分析, 東京電気大学出版局, 2005 .
- 7) 気象庁HP, <http://www.jma.go.jp/jma/index.html> .