

# 民間フライトログデータを用いた航空遅延分析 ～東京羽田ー広島線を対象として～

野田 勇翔<sup>1</sup>・神田 佑亮<sup>2</sup>

<sup>1</sup>学生会員 呉工業高等専門学校 専攻科 (〒737-8506 広島県呉市阿賀南2-2-11)

E-mail: S20-xwpu@kure.kosen-ac.jp

<sup>1</sup>正会員 呉工業高等専門学校環境都市工学分野 教授 (〒737-8506 広島県呉市阿賀南2-2-11)

E-mail:y-kanda@kure-nct.ac.jp

都市間輸送において、航空輸送の重要性は高まってきている。その中で定時性の高い安定輸送の実現は極めて重要な課題である。本研究では地方空港の航空遅延の発生特性を明らかにすることを目的として、2018年度に広島空港を発着する国内線全フライトを対象に、民間の航空発着ログデータ (Flight Rader24) を用いて、本発表では分析で用いた航空発着ログデータの特性を整理するとともに航空遅延の発生状況や発生に影響しうる要因等について分析を行った。分析の結果、時間帯やシーズン等の要因により遅延が発生しやすい要因があることが明らかとなった。

**Key Words :** *transportation barrier, mobility management, bus use promotion, mm in education, project evaluation*

## 1. 背景・目的

都市間輸送において、航空輸送の重要性は高まってきている。その中で定時性の高い安定輸送の実現は極めて重要な課題である。加えて最近ではICTを活用して交通をクラウド化し、すべての交通手段によるモビリティ (移動) を1つのサービスとしてとらえ、シームレスにつなぐ新たな「移動」の概念であるMaaS (Mobility as a Service) の概念が導入され、我が国においても「日本版MaaS」として、2019年度より実証実験がスタートしている。

航空輸送の場合、空港へのアクセス・イグレスが必ず必要となり、交通手段間の接続においては遅れへの対応が重要な要素の一つとなる。そのためには航空便の遅れパターンを把握しておくことは重要である。

最近では航空便の発着時刻情報がインターネット上で入手可能となっている。従来より航空会社の公式ホームページで、各便のゲート発着時間が公開されてきたが、航空機軌跡の公開サイト (民間) である「Flightradar24」<sup>1)</sup> では、航空機から発信されるADS-Bの電波を受信し、民間航空機の軌跡や高度・飛行速度や離着陸時刻等の情報を配信しており、データベースにもアクセス可能であり、過去730日分まで遡り、入手することもできる。また、このサービスは導入当初は大型機が中心であったが、最近では小型機も捕捉可能となってきた。

本研究ではこのデータベースを活用し、広島空港を対

象として航空便の離着陸時間や飛行時間の遅れのパターンを分析する。

## 2. 既往研究のレビュー

航空機の遅延に関する研究は数多く存在する。国内での研究事例として、坂下ら<sup>2)</sup> は航空会社の発着案内と気象データを用い、航空遅延の現状を明らかにするとともに、羽田空港において朝夕の時間帯に発着容量を超えた便数設定が行われており、遅延が発生していること、発生した遅延は後ろの時間帯へ波及していることを明らかにした。

地方空港を対象とした研究として、加藤ら<sup>3)</sup> の研究がある。非正規現象の中の法則性を抽出する手法である独立成分分析 (ICA) を用い、仙台空港発着便の遅延傾向を明らかにしている。また、木村ら<sup>4)</sup> は仙台空港利用者の空間分布、時間分布を基に、空港利用者への遅延予知情報提供タイミングの検討を行っている。

蔭山・福田<sup>5)</sup> の研究では、国内主要空港を対象として、空港別の定時性を算出し、他空港と比較して羽田空港の到着定時率が低くなる結果を示した。

海外での研究の例として、Abdel-Aty<sup>6)</sup> らは米国の1空港における遅延の統計分析を行い、降水量や出発地からの飛行距離に加えて、曜日や季節などの周期的要因が15分以上の遅延の発生に大きな影響を持っていることを明

らかにしている。

「Flightradar24」を用いた研究として、平田ら<sup>7)</sup>は航空会社の公式Webサイトと「Flightradar24」を組み合わせたデータベースを構築している。また、観測された遅延をオリジナル遅延と波及遅延に分離して波及遅延の量的な把握および空間的な波及現象の分布を示している。

### 3. データの特性

「Flightradar24」には、航空便の運航について、定刻出発時刻、定刻着陸時刻および実際の出発時刻と到着時刻が記載されている。ここでいう「出発時刻」および「到着時刻」は航空会社が定義する「飛行機が動き出す時刻」や「ゲートに止まった時刻」ではなく、滑走路から離陸のために動き始める時刻、または着陸のために地上に触れた時刻である。すなわち、「Flightradar24」の「出発時刻」および「到着時刻」には、ゲートを離れて滑走路に移動する時間や、着陸後、ゲートに移動するまでの時間は含まない。そのため、「Flightradar24」で示される「出発時刻」は、航空会社が示す定刻に対し、地上での移動を含む分、遅れが生じることとなる。同様に「到着時刻」は逆に地上での移動の分だけ定刻より早くなる。また、「飛行時間」は実質の地上を離れて飛行している時間である。

なお、「Flightradar24」は民間によりADS-Bの電波を受信して整備されたデータであるが、データの観測は全フライトに対し9割程度捕捉されている。また、欠航となった場合は記録されず、目的地変更となった場合はデータに記載される。

### 4. 分析の対象と手法

前述の「Flightradar24」のデータを用い、広島～東京羽田間の航空便を対象に、遅れの状況を分析する。広島～東京羽田間は17往復34便（うち、JAL：8往復16便、ANA：9往復18便）が運航している。本分析では、2018年度（2018年4月1日～2019年3月31日）のフライトを対象に分析する。

5章では、これらの便について、往路便、復路便とも出発時刻、到着時刻、飛行時間を収集し、定刻に対する平均遅れ時間を算出し、集計分析を行う。

6章では、集計分析で得られた結果をもとに、遅延に影響する要因とその大きさを定量的に把握するために、数量化分析Ⅰ類による影響要因の推定を行う。

## 5. 集計分析

### (1) 広島空港出発便の特性

#### 1) 曜日の違いによる特性

図-1に広島空港出発時刻の曜日別・便別の平均遅れ時間を示す。全体を通して見ると、始発便の時間帯（7:30～7:40）で若干の遅れが生じるが、8:00頃に遅れが一度収束する。その後お昼頃と夕方（17時前頃）に平均遅れ時間が曜日に関係なく上昇する。一旦18時前後で収束するが、20時頃に再度遅れが大きくなる。

曜日別に見ると、火曜日・水曜日は遅れが少なめであり、一方、金曜日は夕方以降が、月曜日は全般的に遅れが大きくなっている。

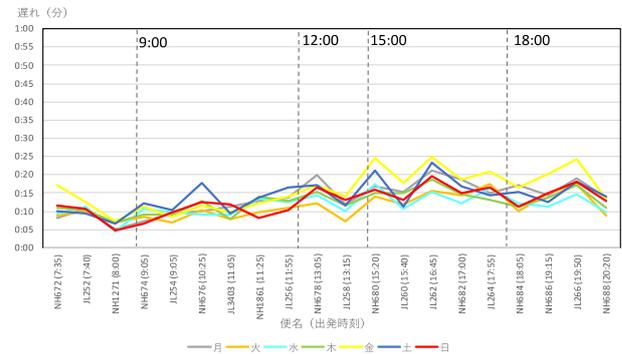


図-1 広島空港出発時刻の便別平均遅れ時間（曜日別）

図-2に東京羽田空港到着時刻の曜日別・便別の平均遅れ時間を示す。全体を通して見ると、19時以降の出発便で遅れが大きくなる。

曜日別に見ると、火曜日・水曜日は遅れが少なめであり、一方、月曜日・金曜日・土曜日は全般的に遅れが大きくなりがちである。

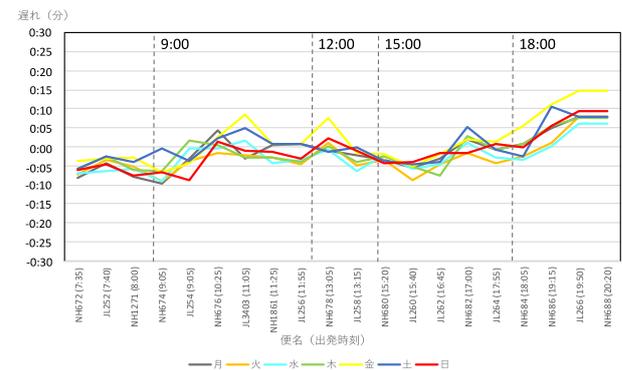


図-2 東京羽田到着時刻の便別平均遅れ時間（曜日別）

図-3に広島発-東京羽田着便の曜日別・便別の平均飛行時間を示す。便により若干の変動はあるが、平均飛行時間は概ね1時間3分～1時間12分の間に収まっているが、逆方向（図-9）より変動範囲が大きくなっている。この要員として、羽田空港の空港混雑による影響が考えられる。

曜日別の差異は特には見られない。

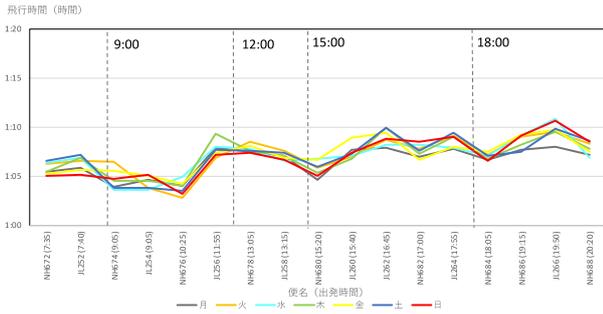


図-3 広島発-東京羽田着の便別平均飛行時間（曜日別）

2)繁忙期による特性

図-4に広島空港出発時刻の繁忙期（GW，お盆時期，年末年始）別・便別の平均遅れ時間を示す。なお，本分析では，GWは2018年4月28日（土）～5月6日（日），お盆時期は2018年8月11日（土・祝）～8月19日（日），年末年始は2018年12月28日（金）～12月30日（日）および2019年1月3日（木）～1月6日（日）と定義する。

全体を通して見ると，全体的に繁忙期は遅れが大きくなる傾向があり，この原因として，利用客の集中によるものと考えられる。また，朝の時間帯はそれほど差は見られないが，お昼以降は遅れが通常時と比べて拡大している。特に，年末年始は11時頃と15時頃の特定の便で特に遅れが大きい。

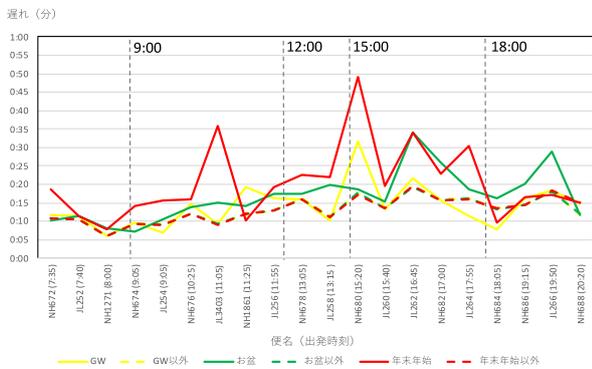


図-4 広島空港出発時刻の便別平均遅れ時間（繁忙期別）

図-5に東京羽田空港到着時刻の繁忙期別・便別の平均遅れ時間を示す。全般的に，出発が遅れた場合には到着も遅れる傾向にあるが，年末年始出発のNH680便のように，往路が遅れた場合に必ずしも遅れるとも限らない便もある。また，夕方以降には遅れが大きくなる傾向があり，往路はほぼ定刻で出発したものの，到着は遅れる傾向にある。

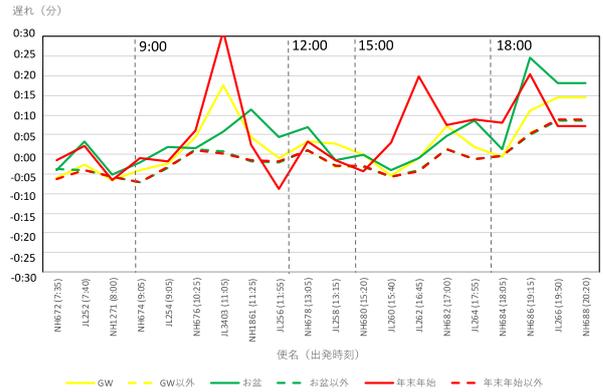


図-5 東京羽田到着時刻の便別平均遅れ時間（繁忙期別）

図-6に広島発-東京羽田着便の繁忙期別・便別の平均飛行時間を示す。GWやお盆は全般的に飛行時間が長くなる傾向にある。一方で年末年始は逆に飛行時間が短くなっている。



図-6 広島発-東京羽田着の便別平均飛行時間（繁忙期別）

(2)広島空港到着便の特性

1)曜日別の違いによる特性

図-7に東京羽田空港出発時刻の曜日別・便別の平均遅れ時間を示す。全体を通して見ると，朝の時間帯は便による差はほとんどないが，11時以降は遅れの変動が大きくなり，17時以降は遅れが生じる便が多くなる。

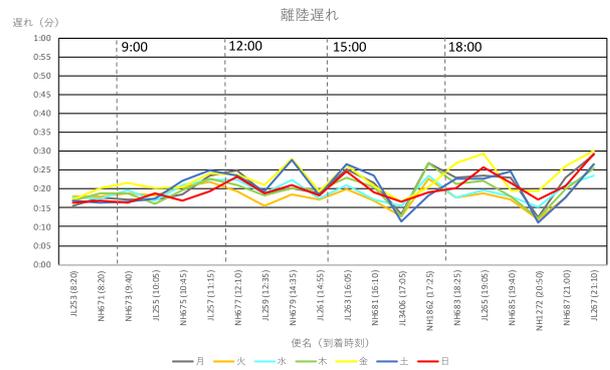


図-7 東京羽田空港出発時刻の便別平均遅れ時間（曜日別）

図-8に広島空港到着時刻の曜日別・便別の平均遅れ時間を示す。全体を通して見ると、ほとんどの便でほぼ定刻に到着しているが、金曜日は他の曜日と比較して平均遅れ時間が大きくなっている。

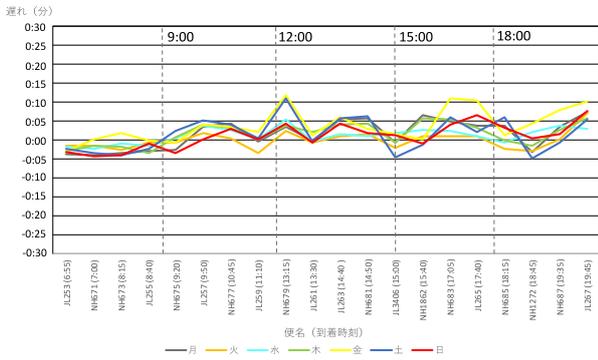


図-8 広島空港到着時刻の便別平均遅れ時間（曜日別）

図-9に東京羽田発-広島着便の曜日別・便別の平均飛行時間を示す。便により若干の変動はあるが、平均飛行時間は概ね1時間5分~1時間8分の間に収まっており、広島発東京羽田着便より変動幅は小さい。この要員として考えられることとして、広島空港の容量に余裕があり、飛行時間の調整がほとんど必要とならないためと考えられる。

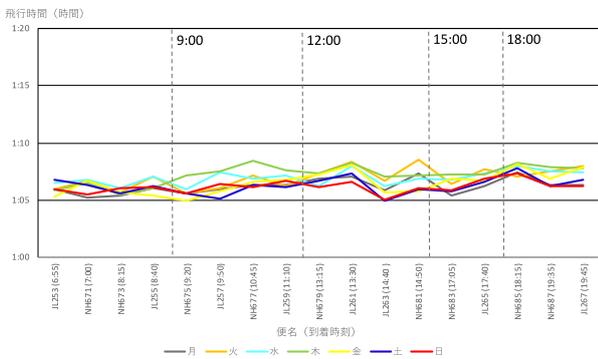


図-9 東京羽田発-広島着便の便別平均飛行時間（曜日別）

2)繁忙期による特性

図-10に東京羽田空港出発時刻の繁忙期別・便別の平均遅れ時間を示す。GW、お盆時期、年末年始とも遅れが生じている。全体を通して見ると、朝の時間帯は便による差はほとんどないが、14時以降は遅れの変動が大きくなり、17時以降は遅れが生じる便が多くなる。

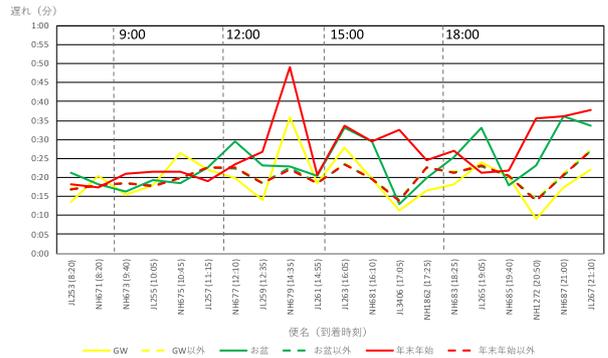


図-10 東京羽田出発時刻の便別平均遅れ時間（繁忙期別）

図-11に広島空港到着時刻の繁忙期別・便別の平均遅れ時間を示す。GWやお盆・年末年始の繁忙期は、特に午後到着（羽田空港11時出発以降）の便で遅れが大きくなっている。特にお盆や年末年始でその傾向が顕著となっている。

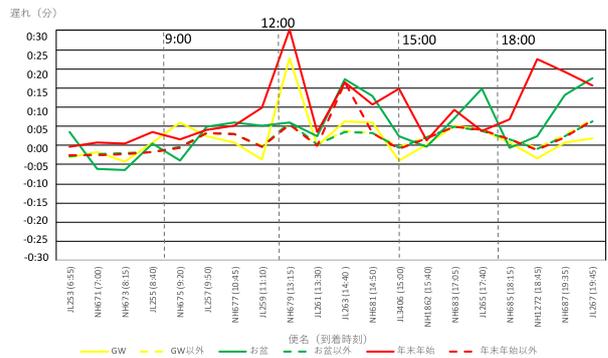


図-11 広島空港到着時刻の便別平均遅れ時間（繁忙期別）

図-12に東京羽田発-広島着便の繁忙期別・便別の平均飛行時間を示す。逆方向の広島発-東京羽田着便とは傾向が異なり、GWやお盆では通常機と比較して平均飛行時間はあまり変わらない。また、年末年始は逆に飛行時間が短くなっている。

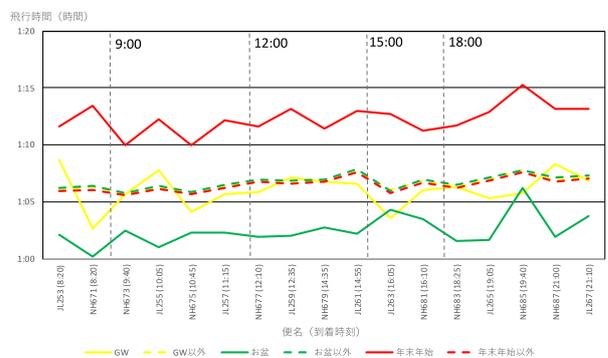


図-12 東京羽田発-広島着便の便別平均飛行時間（繁忙期別）

## 6. 離陸・着陸遅れ時刻予測モデルの構築

### (1)モデル構築の目的

航空利用者は空港へのアクセスにおいても、目的地の空港に到着した後も、ほかの交通手段と乗り継ぐ方がほとんどである。その中で、遅れ時刻は乗り継ぎに大きく影響する。ただし、既存の検索アプリ等では到着時刻の変動は考慮されておらず、固定の乗り換え時間が設定されている。もし遅れ時刻がある程度予測可能であれば、その特性を広く普及した検索アプリへの反映を通じ、人々の移動の計画の精度はより高まり、移動全般への信頼性も向上するであろう。

そのような課題認識から、離陸・着陸遅れ時刻推定モデルの構築を目指し、数量化分析Ⅰ類による影響要因の推定を行った。

### (2)影響要因の分析方法

構築したデータベースより抽出した離陸遅れおよび着陸遅れを目的変数とし、航空会社、機材、月、曜日、運航時間帯、繁忙期、気象を説明変数とする数量化分析Ⅰ類の分析を行う。なお、離陸遅れおよび着陸遅れは、時刻表で設定されていた時刻と FR24 で実際に観測された時刻との差分として算出した。また、運航時間帯は『9 時以前』『9 時～12 時』『12 時～15 時』『15 時～18 時』『18 時以降』の 5 区分として分析した。

説明変数は表-1 で整理した 3 種類に分類した。機材的要因は運航会社や運航機材のサイズによる差異について、時間的要因は運航が行われた季節や曜日、時間帯といった観点からみた差異について、気象的要因は航空機の運航に影響を及ぼす風についてとし、出発地と到着地の双方のデータを用いた。

表-1 説明変数の分類

分類	内容
機材的要因	・航空会社 ・運航機材
時間的要因	・月 ・時間帯 ・曜日 ・繁忙期 (GW, お盆, 年末年始)
気象的要因	・最大瞬間風速 (出発地・到着地)

### (3)影響要因の分析結果

モデルの推定結果を表-2 に示す。相関比は広島発出発遅れで 0.3281、到着遅れで 0.4161、東京発出発遅れで 0.2792、到着遅れで 0.3281 であった。

#### 1) 広島発→東京行き

広島発に関してレンジが最大となっているのは最大瞬間風速の項目である。航空機の運航において風速が与える影響の大きさを示す結果となった。また、曜日に関し

て、レンジはあまり大きくないものの、一定のパターンが確認できた。週の中頃である火・水・木は遅れが少なく、月・金・土といった週の初めや終わりに遅延が発生する傾向が見られた。これは前述の集計分析で得た傾向と一致する。特に金曜日の遅延が大きく、2 分前後の遅延となっている。

運航時間帯について詳しく見てみると、始発便～15 時までと 15 時以降で傾向が異なっている。前者はほとんど遅延がないのに対し、15 時を境に遅延が発生し、時間を追うごとに大きくなる傾向が確認できた。これは既往研究等でも明らかにされている波及遅延を表していると推察される。また、興味深い点として、始発便～12 時の時間帯は約 3 分の早発という結果を示した。これは、到着地である羽田空港での混雑をある程度見越した上での余裕を持ったダイヤ設定が行われている可能性が考えられる。

月ごとの影響に関しては、1 月に大きく負の値を示し、7 月～8 月に大きく正の値を示した。7、8 月は利用者が集中し、便数も増加することから、空港の混雑が予想される。

繁忙期に関して、GW、お盆、年末年始ともに遅延増大の傾向を示した。GW の影響は小さいが、お盆、年末年始の影響は大きく、2 分～最大 7 分程の遅延が確認できた。

一方で、運航機材が大型化すれば遅延も大きくなる傾向が確認できたが、その影響は小さく、レンジも比較的小さいことから、あまり影響はない。

#### 2) 東京発→広島行き

東京発に関してレンジが最大となっているのは、最大瞬間風速の項目であり、広島発と同様の結果となったが、広島発ほど突出していない。

月に関しては広島発と異なり、2 分以上の遅延を示した月は見られなかった。このことから、夏季に見られた遅延の要因は広島空港が乗客の集中に対応できず、出発が遅れ、到着遅延にも影響していると推察される。

運航時間帯について詳しく見てみると、基本的な傾向としては出発遅れと同様であり、時間を追うごとに遅延が増大している。また、午前中において、約 4 分の早着という結果が得られたが、前述の出発地を余裕をもって出発した便が順調に運航した結果、到着地へ早着となったと考えられる。午前中の時間帯は、波及遅延の影響がほぼないこと、出張等での利用客が多く遅延を発生させないようにしていることが考えられる。

また、曜日に関しても、出発遅延と同様に週の中ほどは遅延減少、金曜に特に大きく遅延が表れている。

表-2 数量化分析結果

アイテム	カテゴリー	広島→東京				東京→広島			
		出発遅延		到着遅延		出発遅延		到着遅延	
		スコア	レンジ	スコア	レンジ	スコア	レンジ	スコア	レンジ
航空会社	ANA	-0.14		-1.77		-0.54		-0.12	
	JAL	0.15	0.30	1.91	3.69	0.59	1.12	0.13	0.25
機材	小型機	0.06		0.32		-0.20		0.23	
	中型機	-0.36	0.77	-1.05	1.37	0.32	0.85	-0.80	1.26
	大型機	0.41		0.26		0.64		0.46	
曜日	月	0.56		0.41		0.58		0.07	
	火	-1.54		-1.18		-1.55		-1.29	
	水	-1.12		-0.94		-0.80		-0.34	
	木	-0.42	3.93	-0.41	3.07	-0.42	3.38	0.30	3.03
	金	2.39		1.90		1.83		1.74	
	土	0.02		0.12		0.47		-0.14	
	日	0.11		0.09		-0.12		-0.34	
月	1月	-4.23		-4.19		-2.40		-2.84	
	2月	-1.14		-1.81		0.18		0.45	
	3月	0.69		-0.55		1.14		1.88	
	4月	-1.29		-0.46		-1.87		-0.95	
	5月	-0.38		-0.03		-2.03		-0.01	
	6月	0.82	6.57	1.49	8.92	-0.23	4.35	0.71	4.72
	7月	2.34		4.73		1.95		0.89	
	8月	1.81		4.47		1.30		-0.51	
	9月	1.70		0.63		-0.28		0.70	
	10月	-0.29		-2.03		0.48		0.81	
	11月	-0.39		-1.05		1.04		-2.49	
	12月	0.46		-0.77		0.93		1.47	
出発地最大瞬間風速	<5m/s	-0.34		-0.71		0.00		0.00	
	<10m/s	-0.39		-0.34		-0.90		-1.08	
	<15m/s	0.23	14.84	0.08	11.34	-0.20	5.93	-0.26	10.29
	<20m/s	4.18		4.55		0.91		1.02	
	<25m/s	0.00		0.00		2.57		3.00	
	25m/s≤	14.45		10.63		5.03		9.22	
到着地最大瞬間風速	<5m/s	0.00		0.00		0.72		0.20	
	<10m/s	-1.06		-2.53		-0.29		-0.56	
	<15m/s	-0.34	6.80	-0.41	12.49	0.14	3.15	0.54	6.04
	<20m/s	1.40		2.78		2.87		4.57	
	<25m/s	2.87		5.94		0.00		0.00	
	25m/s≤	5.74		9.95		1.59		-1.48	
時間帯	<9時	-3.03		-4.19		-3.01		-3.96	
	<12時	-3.04		-4.10		0.32		-0.21	
	<15時	-0.01	5.55	0.73	7.26	0.10	5.78	1.43	6.65
	<18時	2.50		1.94		1.28		2.69	
	18時以降	1.30		3.07		2.78		2.00	
GW	該当なし	-0.01		-0.06		-0.02		-0.01	
	該当あり	0.47	0.48	2.25	2.31	0.67	0.69	0.34	0.34
お盆	該当なし	-0.05		-0.04		-0.06		-0.12	
	該当あり	2.09	2.15	1.64	1.68	2.39	2.45	4.73	4.86
年末年始	該当なし	-0.14		-0.12		-0.09		-0.11	
	該当あり	6.91	7.05	5.94	6.06	4.35	4.44	5.53	5.64
定数項		14.02		-0.77		21.24		1.93	
重相関係数		0.3281		0.4161		0.2797		0.3218	

## 7. まとめと今後の課題

本研究で民間のフライトログデータベースを活用し、広島空港を対象として航空便の離着陸時間や飛行時間の遅れのパターンの分析を試みた。民間のデータベースであるため、データの欠損等があるものの、9割程度は捕捉できており、分析に大きく問題ないことが確認された。その上で曜日別・繁忙期別に分析したところ、全般的には夕方の便で遅れが大きくなる傾向や、東京羽田方面行き夕刻以降の便で飛行時間が長くなる傾向が確認された。また、モデル分析では、説明力の向上が課題であるが、上記を含めた要因の関係性を定量的に検出することができた。

本論文での分析範囲は、データ分析の試行段階であり、今後は天候や機材などの観測可能な他の指標との関係性にも着目し、分析を深めていく。加えて、他の空港との遅延特性の比較により、広島空港の特性を明確化していくことを検討している。

## 参考文献

- 1) Flightrader24.com : <https://www.flightradar24.com>  
(2021/9/27 最終閲覧)
- 2) 坂下文規・森地茂・日比野直彦：羽田空港における航空遅延に関する研究，第40回土木計画学研究発表会・講演集，2009.
- 3) 加藤寛道・木村裕介・奥村誠・塚井誠人：仙台空港発着便における遅れ・欠航の分析，土木計画学研究・講演集 Vol.25 No.3
- 4) 木村裕介・加藤寛道・奥村誠・塚井誠人：航空便の欠航・遅延の短期予知と情報提供の可能性，
- 5) 蔭山康太・福田豊：航空機の運航における定時性の一解析，日本航空宇宙学会論文集，Vol.59, No.694, pp. 306-312, 2011.
- 6) Abdel-Aty, M. et al. : Detecting periodic patterns of arrival delay, Journal of Air Transport Management, Vol. 13, pp. 355-361, 2007.
- 7) 平田輝満・古田土渉・又吉直樹：国内航空ネットワークにおける波及遅延の解析モデルと費用対効果分析への活用手法，土木学会論文集D3（土木計画学），Vol.74, No.5, p. I\_959-I\_970, 2018.