

民間フライトログデータを用いた 地方空港の航空運航特性分析

野田 勇翔¹・神田 佑亮²

¹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

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

E-mail:y-kanda@kure-nct.ac.jp (Corresponding Author)

都市間輸送において、航空輸送の重要性は高まりつつある。中でも、定時性の高い安定輸送の構築は極めて重要な課題であり、地方空港においては、空港へのアクセス・イグレス交通手段はバスに依存していることも多く、交通手段間の遅れが深く関係する。そのために航空便の運行パターンを把握することは重要である。本研究では、オープン化されたビッグデータを活用し、広島空港をケーススタディとして、曜日ごとの遅れの傾向や繁忙期と通常時との違いを分析し、遅れ時間予測モデルの構築を試みた。結果として、週の初めである月曜日と比較して火・水は遅れにくく、金・土・日の週末は遅れ易い傾向が確認された。また、航空便の需要が高まる繁忙期のシーズンには、平常時よりも大幅に遅れが増大する傾向も確認された。更に、重回帰分析を行い、航空遅延を推察するモデルを構築した。これにより、時間帯や曜日ごとの各便の遅れ時間を推定することが出来ると考えられる。

Key Words : *flight log database, flight delay, delay forecasting, transit information, regression analysis*

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捉え、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」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. 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んでいない。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。今回分析の対象としたデータでは、対象とするフライト13,420便のうち、欠損は542件(4.0%)であり、96.0%は捕捉されていた。

3. 分析内容

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)が運行している。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、定刻に対する遅れを算出し、集計した。

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)と定義した。

4. 分析結果

(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。

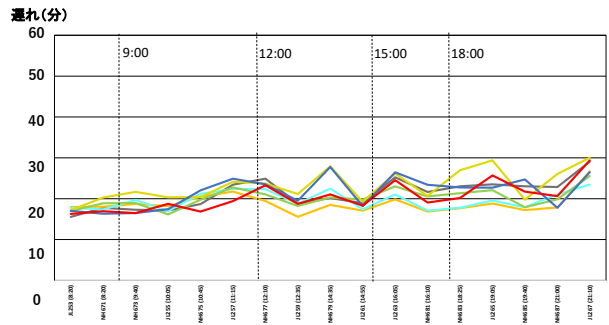


図-1 広島空港出発時刻の便別平均遅れ時間(曜日別)

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る傾向にある。

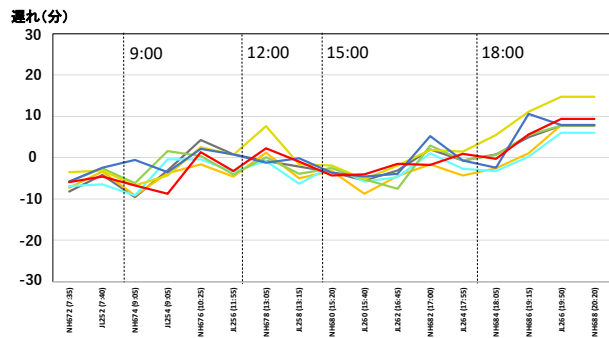


図-2 東京羽田到着時刻の便別平均遅れ時間(曜日別)

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。この要因として、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。

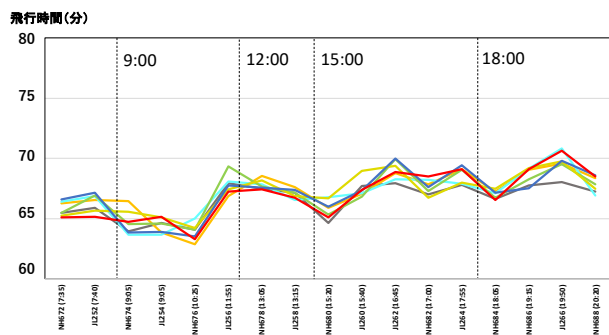


図-3 広島発-東京羽田着の便別平均飛行時間(曜日別)

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。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，この原因としては，利用客の集中によるものと考えられる。また，朝の時間帯に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15時頃の便で特に遅れが大きい。

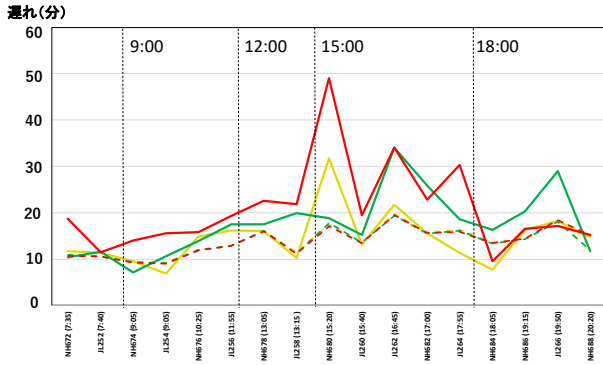


図-4 広島空港出発時刻の便別平均遅れ時間（繁忙期別）

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。

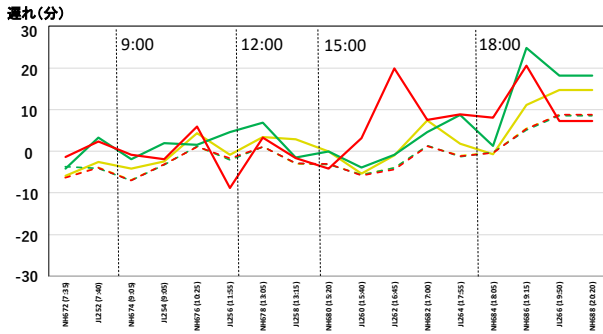


図-5 東京羽田到着時刻の便別平均遅れ時間（繁忙期別）

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。

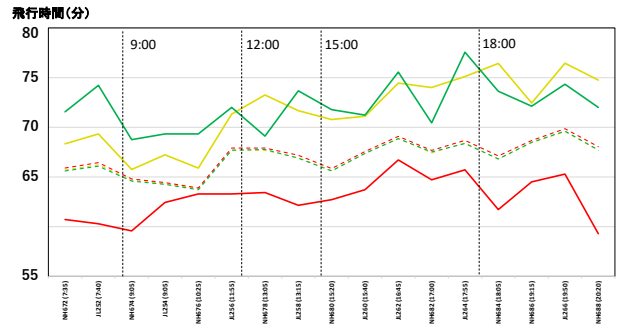


図-6 広島発-東京羽田着の便別平均飛行時間（繁忙期別）

(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。

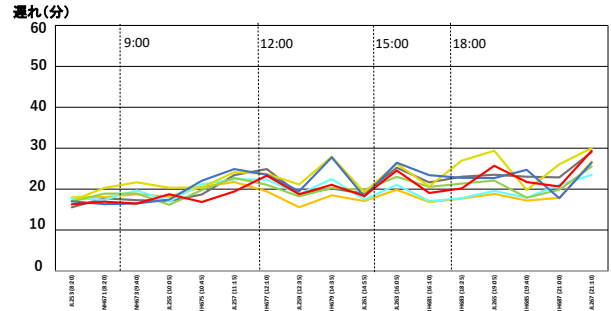


図-7 東京羽田空港出発時刻の便別平均遅れ時間（曜日別）

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。

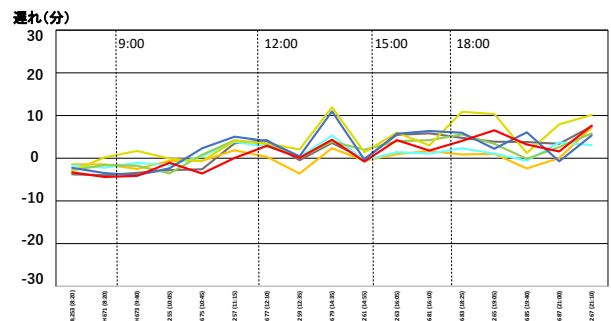


図-8 広島空港到着時刻の便別平均遅れ時間（曜日別）

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。この要因として考

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。

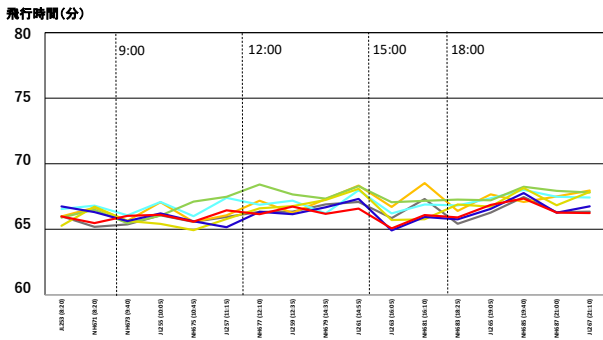


図-9 東京羽田発-広島着便の便別平均飛行時間（曜日別）

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。

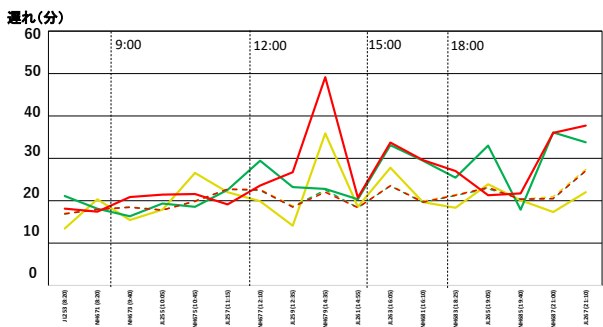


図-10 東京羽田出発時刻の便別平均遅れ時間（繁忙期別）

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。

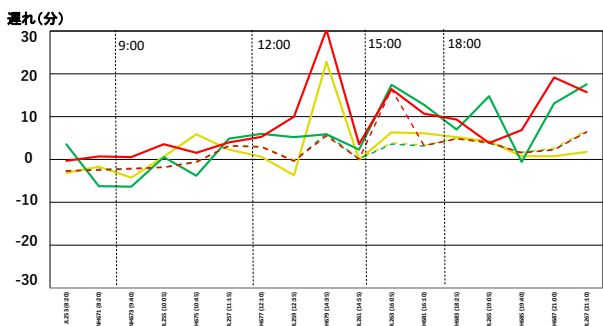


図-11 広島空港到着時刻の便別平均遅れ時間（繁忙期別）

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。

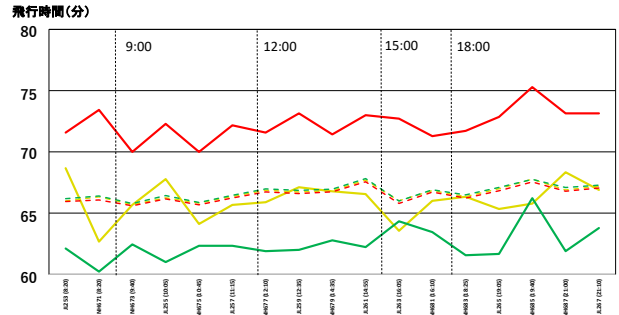


図-12 東京羽田発-広島着便の便別平均飛行時間（繁忙期別）

5. 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、他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を構築する。構築するモデルは重回帰モデルであり、目的変数を定刻に対する出発および到着遅れ時刻、説明変数を航空会社、機材、曜日、季節、シーズナリティ、気象とし、ステップワイズ法により説明変数を絞り込んだ。なお本稿では、広島発東京羽田行きのみ記載する。

(2) モデル推定結果

1) 広島発東京羽田着便

モデル推定結果を表-1に示す。始めに、離陸遅れ時刻推定モデルについて考察する。航空会社の要素はJAL便に比べANA便がどの程度の遅延や早着の傾向があるかを示しているが、今回は有意な結果を得られなかった。時刻ダミーは始発便が出発する時間帯（9時以前）の時間帯を基準とし、その後の時間帯（3時間区切り）ではどの程度遅れるかを示したものである。結果から、約1~1.5分の遅延増加が示された。曜日ダミーは月曜日を基準としてその他の曜日では遅れ方にどのような違いがあるか

を示したものである。結果として、3章でも示したように、月曜日と比べて、金・土は1~2分の遅延増加、火・水は1.4~2分程の遅延減少が確認された。季節ダミーは、春季を基準としてその他の季節がどのような遅れの特徴を持っているかを分析したものであり、夏季は2.6分の遅延増加、秋季は0.8分程の遅延増加が示された。気象条件としては出発地と到着地の両方の要素を分析に用いた。結果として、降水量が10mm/h増加すると発着地ともに4分弱の遅延増加、最大風速が10m/s増加すると出発地では約2分、到着地では約4分の遅延増加が示された。繁忙期ダミーでは、平常時に比べお盆では2.4分、年末年始は7分程の遅延増加が示された。機材ダミーでは、B737型機等の小型機を基準として運航機種による遅れの比較を行い、B767-300(B763)型機では1.5分の遅延減少、B787-900(B789)型機では7分程の遅延増加という結果が得られた。

次に、目的地の着陸遅れ時間推定モデルについて考察する。航空会社ダミーでは、ANA便はJAL便に比べて約4分の遅延減少が見られた。時間帯ダミーでは、どの時間帯でも1.5~6分の遅延増加が発生している。曜日ダミーに関しては、火・水は1.2~1.6分の遅延減少、金・土は1.1~2.4分の遅延増加が見られた。季節ダミーに関しては夏季のみ結果が得られ、春季と比べ、4.4分の遅延増加であった。気象条件に関しては、降水量が10mm/h増加すると、出発地では3.6分、到着地では2.9分の遅延増加、最大風速が10m/s増加すると、到着地で約9分の遅延増加が確認された。繁忙期ダミーに関しては、平常時と比較して、GWは3.5分、お盆は2.7分、年末年始は6分の遅延増加が確認された。機材ダミーでは、B763型機で約2分の遅延減少、B789型機では6.6分の遅延増加が確認された。

2) 東京羽田発広島着便

モデル推定結果を表-2に示す。初めに、離陸遅れ時刻推定モデルについて考察する。航空会社の要素は有意な結果を得られなかった。時刻ダミーに関しては、9~12時の時間帯の便では、同時間帯のJAL便に比べて約1.6分の遅延増加が発生しているが、それ以降の時間帯に遅れが増大することは無く、15~18時の時間帯に約0.8分まで差を縮めたのち、18時以降の時間帯に約1.1分の遅延増加に留まっている。曜日ダミーに関しては、火・水曜日は月曜日に比べて約1~2分遅延が減少する傾向が確認できた一方で、金・土曜日は遅延が増加する傾向が見られ、特に金曜日は2.2分遅れが増大するという結果が示された。季節ダミーに関しては、夏・秋・冬の全ての季節において春よりも遅れやすいという結果が得られ、特に夏に関しては約3分遅延が増加するという結果が示された。気象条件に関しては、降水量が10mm/h増加すると、出発地では2.9分、到着地では0.9分の遅延増加、最大風速が10m/s

増加すると、出発地では2.0分、到着地で約3.3分の遅延増加が確認された。繁忙期ダミーに関しては、平常時と比較して、お盆は約2.6分、年末年始は約4.6分の遅延増加が確認された。GWに関しては、データを得ることが出来なかったが、繁忙期、特に年末年始は遅れが拡大する傾向が示されており、利用者が集中し、遅れが拡大する傾向があると言える。機材ダミーに関しては、B789型機では約5.6分の遅延増加が確認された。

次に、目的地の着陸遅れ時間推定モデルについて考察する。航空会社ダミーに関しては、ANA便はJAL便に比べて約1分の遅延増加が生じることが示されたが、両社の間に大きな差は無いと考えられる。時間帯ダミーに関しては、9~12時の時間帯の約2分の遅延増加が最大であり、その後の時間帯になるにつれ次第に遅れが小さくなっていく傾向が確認された。曜日ダミーに関しては、月曜日と比較して火曜日が約1.7分の遅延減少、金曜日が約2分の遅延増加が発生することが示された。なお、その他の曜日に関してはデータを得ることが出来なかった。季節ダミーに関しては、夏季のみ結果が得られ、春季に比べ約0.8分遅延が増加する傾向が確認された。気象条件に関しては、降水量が10mm/h増加すると、出発地では3.8分、到着地では2.8分の遅延増加、最大風速が10m/s増加すると、出発地では2.7分、到着地で約5.7分の遅延増加が確認された。このことから、降水量よりも風速のほうが航空機の運航に与える影響が大きいと考えられ、離陸時よりも着陸時の方がより影響を受けやすいと推察される。繁忙期ダミーに関しては、お盆は約4分の遅延増加、年末年始は約6.2分の遅延増加が確認された。なお、GWに関しては結果を得られなかった。機材ダミーに関しては、B763型機では約1.1の遅延減少、B789型機では約3.2分の遅延増加が確認された。

表-1 出発空港離陸遅れ・到着空港着陸遅れ時間モデルの推定結果 (広島⇒東京羽田線)

路線		広島⇒東京羽田			
離陸/着陸		離陸		着陸	
説明変数		推定値	t 値	推定値	t 値
航空会社	ANA ダミー	-	-	-3.938	-9.895 ***
時刻ダミー	9~12	-	-	-	-
	12~15	1.057	5.818 ***	1.594	7.906 ***
	15~18	1.468	14.488 ***	1.583	14.038 ***
	18~	0.993	10.600 ***	1.526	14.632 ***
曜日ダミー (基準:月曜日)	火曜日	-2.077	-4.154 ***	-1.640	-2.976 ***
	水曜日	-1.433	-2.880 ***	-1.277	-2.319 **
	木曜日	-	-	-	-
	金曜日	2.550	5.054 ***	2.417	4.323 ***
	土曜日	1.068	2.120 **	1.172	2.099 **
	日曜日	-	-	-	-
季節ダミー (基準:春季)	夏季	2.667	6.357 ***	4.442	10.313 ***
	秋季	0.859	2.062 **	-	-
	冬季	-	-	-	-
出発地気象	降水量(mm/h)	0.348	9.901 ***	0.361	9.390 ***
	最大風速(m/s)	0.239	2.469 **	-	-
到着地気象	降水量(mm/h)	0.384	7.096 ***	0.290	4.946 ***
	最大風速(m/s)	0.387	5.981 ***	0.912	13.923 ***
繁忙期ダミー	GW	-	-	3.487	3.092 ***
	お盆	2.423	2.340 **	2.730	2.376 **
	年末年始	7.188	6.295 ***	6.026	4.780 ***
機材ダミー	B763	-1.542	-3.288 ***	-1.939	-3.524 ***
	B789	7.097	4.624 ***	6.681	3.893 ***
定数項		3.846	5.087 ***	0.491	980.985 ***
	調整済みR ² 値		0.119		0.166

*** : 1%水準で有意 ** : 5%水準で有意 * : 10%水準で有意

表-2 出発空港離陸遅れ・到着空港着陸遅れ時間モデルの推定結果 (東京羽田⇒広島線)

路線		東京羽田⇒広島			
離陸/着陸		離陸		着陸	
説明変数		推定値	t 値	推定値	t 値
航空会社	ANA ダミー	-	-	1.048	2.969 ***
時刻ダミー	9~12	1.578	6.573 ***	1.967	7.616 ***
	12~15	1.034	5.441 ***	1.887	9.423 ***
	15~18	0.844	7.035 ***	1.508	11.821 ***
	18~	1.157	11.987 ***	1.311	12.864 ***
曜日ダミー (基準:月曜日)	火曜日	-1.955	-4.196 ***	-1.737	-3.745 ***
	水曜日	-1.112	-2.395 **	-	-
	木曜日	-	-	-	-
	金曜日	2.246	4.771 ***	2.063	4.402 ***
	土曜日	0.945	2.008 **	-	-
	日曜日	-	-	-	-
季節ダミー (基準:春季)	夏季	2.913	6.169 ***	0.816	2.129 **
	秋季	2.034	4.272 ***	-	-
	冬季	1.443	2.987 ***	-	-
出発地気象	降水量(mm/h)	0.285	5.567 ***	0.380	7.285 ***
	最大風速(m/s)	0.200	3.275 ***	0.268	4.357 ***
到着地気象	降水量(mm/h)	0.091	2.741 ***	0.281	8.148 ***
	最大風速(m/s)	0.329	3.568 ***	0.568	6.050 ***
繁忙期ダミー	GW	-	-	-	-
	お盆	2.566	2.657 ***	3.913	3.862 ***
	年末年始	4.571	4.168 ***	6.216	5.536 ***
機材ダミー	B763	-	-	-1.124	-2.404 **
	B789	5.604	3.849 ***	3.204	2.085 **
定数項		11.764	14.892 ***	709.744	943.836 ***
	調整済みR ² 値		0.066		0.098

6. 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) 平田輝満・古田士渉・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.