

国内航空ネットワークにおける運航中の区間別遅延を考慮した到着遅延要因に関する実態分析

佐藤 輝明¹・平田 輝満²

¹学生会員 茨城大学大学院 理工学研究科 (〒316-8511 茨城県日立市中成沢町4-12-1)
E-mail: 19nm812x@vc.ibaraki.ac.jp

²正会員 茨城大学准教授 大学院理工学研究科 都市システム工学領域 (同上)
E-mail: terumitsu.hirata.a@vc.ibaraki.ac.jp

我が国の航空機遅延要因の統計は、出発時刻から15分以上遅れたものを遅延便とみなし、出発遅延要因のみの集計・分析に留まっている。しかし、最終的には利用者・交通システムの両者の視点からも到着遅延の要因の方が重要となってくる。そこで、本研究の目的を(1)我が国の国内航空ネットワークにおける到着遅延要因の推計、特に運航中遅延をより詳細なフェーズに分解すること、(2)得られたデータベースより到着遅延要因を分析すること、の2つとした。本研究の成果として、(1)機材繰りや運航中の遅延の分解手法を検討し、到着遅延要因をより詳細な区分で集計を行った。その結果、「飛行中」や「出発地上走行中」の遅延の割合が高いことが分かった。(2) 集計方法により遅延要因の割合が変化することを明らかにし、遅延対策を考えるうえでの重要性を示した。

Key Words : Gate to gate delay, Arrival delay, Database

1. 研究の背景

我が国では2010年に国土交通省航空局(JCAB)¹⁾が航空交通システムの長期ビジョンである「CARATS」を策定し、航空輸送の効率化・利便性の向上等を図る長期目標が定められた。しかし、我が国の航空機遅延はCARATS策定以後も、悪化の一途をたどっている(図-1)²⁾。遅延悪化の原因は、航空交通量の増加やLCCの参入、機材の稼働率向上のための運航時間バッファの削減など、様々な要因が想像されるが、今後の遅延軽減のためには、現時点で発生している遅延要因を正確に把握し、効果的な対策を検討することが重要と考えられる。

出発便の遅延理由については、約70%が「機材繰り」であり、同じ航空機が前便において遅れて到着することにより発生する遅延が原因である(図-2)³⁾。これは、上流便から伝わってきた一種の波及遅延であるため、その基となる真の遅延要因があるとも考えられる。

我が国の航空機遅延要因の統計は、出発時刻から15分以上遅れたものを遅延便とみなし、出発遅延要因のみの集計・分析に留まっている。最終的には利用者・交通システムの両者の視点からも到着遅延の要因の方が重要となってくる。より効果的な遅延軽減策を計画するために、遅延要因をより正確に調査するには、航空ネットワーク

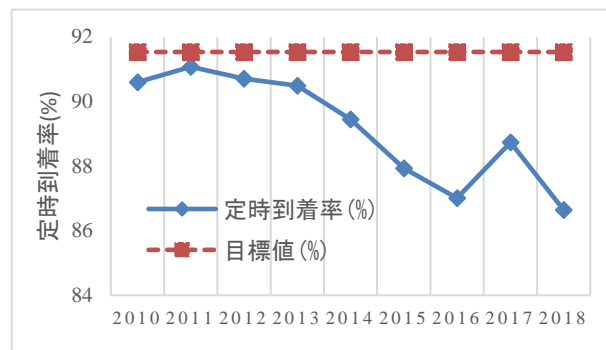


図-1 近年の我が国の航空機定時到着率の変化²⁾

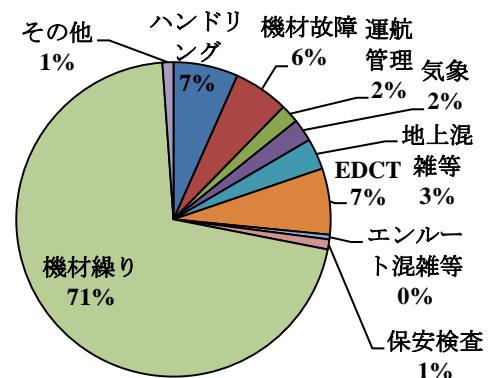


図-2 JCABによる出発遅延理由の推計³⁾

上における機材繰り遅延の真の遅延要因と到着遅延要因を分析する必要があると考えられる。

そこで、本研究では、到着遅延要因、運航中の具体的な遅延要因、機材繰りの根本的な遅延要因を知ることが航空機の遅延軽減策を考える上で重要と考え、以下の2つを本研究の目的とする。

- (1) 我が国の国内航空ネットワークを対象とした航空機の到着遅延要因の推計、特に運航中遅延をより詳細なフェーズに分解する。
- (2) 得られたDBより到着遅延要因を分析する。

2. 既存研究の整理と本研究の位置づけ

航空輸送の遅延要因の分析に関して、米国とヨーロッパにおいては、米国の交通統計局 (BTS)、Eurocontrolの遅延分析航空局 (CODA) などによる遅延要因データの包括的な分析が行われている。これらの組織による分析では、到着便の遅延要因も詳細に示されているが、分析される詳細な手順が必ずしも示されているわけではない。

Muellerら⁴⁾ (2002) は、出発及び到着便にいくつかの遅延要因統計を導入し、いくつかの確率変数によって遅延時間を予測することで、米国の10の主要空港の遅延統計を分析した。また波及遅延に関しては多くの既存研究がある。Welman⁵⁾ (2010) は、観測された合計遅延時間からオリジナルの遅延と波及遅延を分離する方法論を提案し、波及遅延乗数を計算した。Kafleら⁶⁾ (2016) は運航バツファ時間の影響を考慮した波及遅延乗数を推定する新しい定量的な経済モデルを提案した。平田ら⁷⁾ (2018) は我が国の国内航空ネットワークにおける波及遅延を独自に収集・構築したデータベースにより分析し、航空システムへの対策検討における費用対効果分析への波及遅延の考慮の手法を検討した。しかし、波及遅延を遅延理由で分析する研究はほとんど行われていない。

我が国では、高倉ら⁸⁾ (2018) は到着遅延に着目して、波及遅延である機材繰り遅延を真の遅延要因に分解しつつ、到着遅延要因の推計を行った。その結果、出発後の「運航中遅延」が遅延要因として非常に大きいことを示したが、運航中のどのフェーズ(出発空港の地上走行時、飛行中、到着空港の地上走行時)で遅延が発生しているのかは明らかにできていなかった。本研究は高倉らの研究をもとに従来明らかにできていなかった我が国の国内航空ネットワークにおける到着遅延要因を運航中の遅延をより詳細なフェーズに分解する。

3. 分析に使用するデータ

本研究では、国土交通省航空局 (JCAB) から提供を受けた、2016年度のフライト遅延統計を含む国内の運航実績データを使用する。そのデータには、出発地/目的地の空港、航空機の種類、出発と到着の予定時刻/実際の時刻、離着陸の実際の時刻、出発遅延の理由 (各航空会社によって報告される) が含まれる。

複数の出発遅延の理由はフライトごとに遅延時間とともに記録されるが、その出発遅延理由の合計時間は、出発予定時刻と実出発時刻の差によって計算される出発遅延時間と等しくない場合がある。そのため、各遅延理由の遅延時間を計算するためにそれらを調整する必要がある。

また、機材繰り (波及遅延) の分析のために、1日ごとに同じ航空機ですべてのフライトを追跡できないデータ、及び遅延要因の分析をするために、遅延理由が記載されていないデータは除外した。その結果、使用するデータの数は、運航フェーズごとの予定移動時間の推定は約65万便 (国内便の約76%)、遅延要因の分析は約54万便 (国内便の約63%) となった。

4. 波及遅延を考慮した到着遅延要因の分析方法

(1) 基盤となる考え

図-3に波及遅延を考慮したフライトごとの各到着遅延要因の遅延時間を計算するフローチャートを示す。我が国の遅延理由データは出発遅延理由のみが記載されている。そのため到着遅延要因は、出発及び到着の予定時刻と実時刻など、運航実績データ内の他のフライトデータを使用して定義する必要がある。

そこで、そのデータには離陸及び着陸の時間も含まれているため、出発空港での地上走行の遅延 (以下「出発地上走行中」)、飛行中の遅延 (以下「飛行中」) 及び到着空港の地上走行での遅延 (以下「到着地上走行中」) のように運航段階の各フェーズでの遅延時間を推定することが出来る。

波及遅延については、図-2の通り、出発フライトの遅延理由の約70%が「機材繰り」であり、これが波及遅延に関連する遅延要因である。しかし上流のフライトに係る真の遅延要因が存在すると考えられるため、「機材繰り」遅延時間を真の遅延要因に分解する。

そして最後に、各到着フライトの複数の遅延要因の遅延時間は、「機材繰り」を除いた到着遅延要因に、「機材繰り」の真の遅延要因からみた内訳を足し合わせることで算出できる。詳細な計算方法は、次節で説明する。

(2) 到着遅延要因の計算及び運航中遅延の分解方法

まず到着遅延要因ごとの遅延時間の計算方法について説明する。JCABからのデータでは分かっている遅延理由が出発時のみであるため、到着時の遅延理由は不明である。そこでまず到着遅延時間が出発遅延時間より減少した場合、出発時の各遅延理由 (Individual Delay Time-Departure : 以後IDT-D) の遅延時間を比例配分することにより、各到着遅延理由 (Individual Delay Time-Arrival : 以後IDT-A) の各遅延時間を推定する。それに対して、到着遅延時間が出発遅延時間から増加した場合、遅延時間の増加分を「運航中」という遅延理由を定義する。

中にはデータベース上に整合性・一貫性のないデータがあるため、このようなデータを「不明」という遅延理由を定義する。例えば、前便で「機材繰り」により遅れて到着した航空機による遅延時間が、次便で増加した(実際にはこの増加は発生しない)場合、その増加時間を「不明」と定義する。

また、各出発遅延理由の遅延時間の合計が「合計出発遅延時間(実際の出発時刻(ATD)- 予定出発時刻(STD))」と異なる場合、それぞれを比例的に増減することにより差を調整する。調整後、フライトごとのIDT-Dの合計は、合計出発遅延時間と同じ値となる。

続いて運航中遅延を3つの運用フェーズに分解を行う。すなわち、「出発地上走行中」、「飛行中」、「到着地上走行中」である。各運用フェーズの予定時刻に関する正確なデータはなく、航空会社もそれを明確に定義していない可能性がある。そのため、各フェーズの遅延を計算するためには、各フェーズの予定(名目上の)移動時間を定義する必要がある。

そこで、飛行路線/航空会社/航空機のサイズの組合せごとに、各フェーズの実際の移動時間の50パーセント値に比例して予定運航時間(STA-STD)を割ることにより、各フェーズの予定移動時間を計算する。50パーセント値は、スケジュール上の予定運航時間と実際の運航時間の50パーセント値とほぼ同じことを確認したことから適用している。以上の計算から、各到着遅延について、運航中の遅延を3つの運用フェーズに分解することを考慮した各到着遅延の個々の遅延時間(IDT-A')が取得できる。

(3) 機材繰り遅延の分解方法

出発時の「機材繰り」遅延の根本的な遅延要因への分解は、当該便の出発時の機材繰り遅延時間を前便の到着遅延理由の個々の遅延時間(IDT-A')の比率で分解を行う。その日の最初のフライトにおいても「機材繰り」遅延が含まれるデータがあるため、その場合は分解せずに残した。

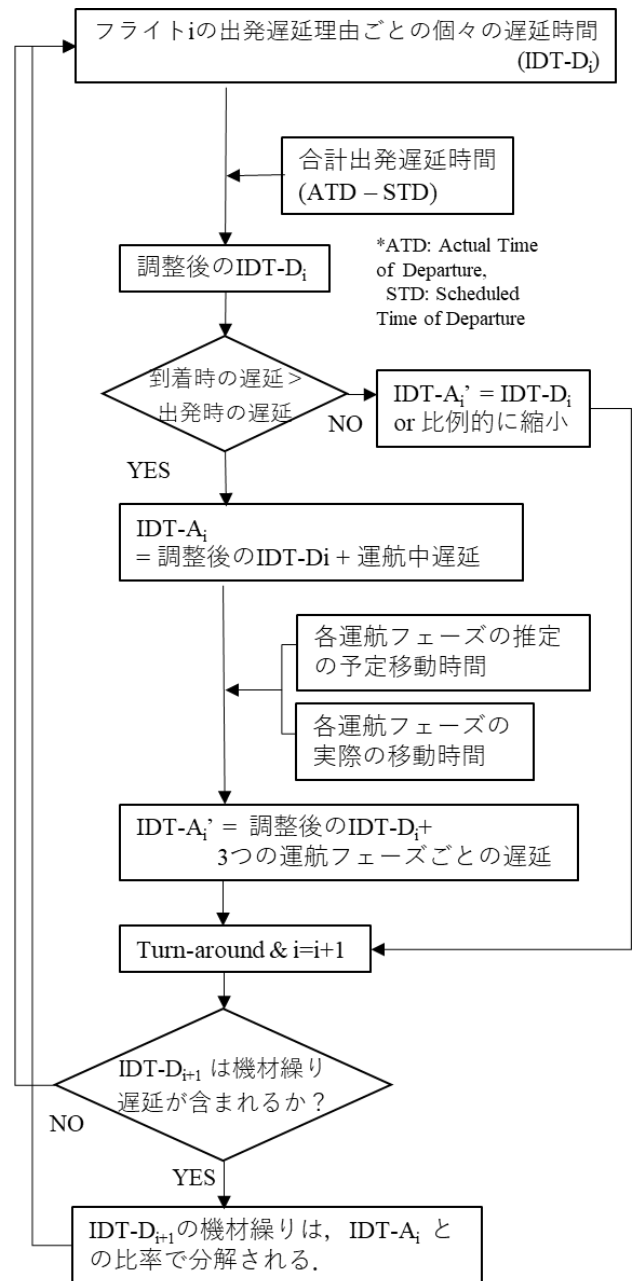


図-3 分解のフローチャート

5. 結果

(1) JCABの方法に基づく基本的な集計分析

まず、比較のためにJCABで行われている方法で集計した。JCABは、出発の遅延理由のみを分析しており、出発時の遅延15分以上を遅延とみなし、各便の最大の遅延理由を便ベースで集計されている。すなわち、異なる遅延時間でも遅延理由に違いはない。例えば、20分間の遅延要因と40分間の遅延要因は、この集計では同じ重みである。

図-4はJCABの方法に基づいて集計した結果を示している。15分以上の出発遅延便及び全ての出発遅延便を便

ベース（各便の最大遅延理由1つ）で集計している。

また図-5は出発遅延理由の集計結果を示しているが、遅延時間ベース（各要因の遅延時間で重みづけ）で集計している。

これらの結果から、特に15分未満の遅延（全ての出発遅延便）を伴う便の遅延要因が考慮されるかどうか、また異なる集計基準を適用することによって、遅延要因シェアの図が大幅に変化することが読み取れる。

「機材繰り」は主要かつ重要な遅延理由であり、朝から夜にかけて累積的に遅延に影響することを考慮すると、15分未満などの比較的短い遅延時間を分析することも重要であると考えられる。

(2) 到着遅延理由

図-6は、運航中遅延とその3つの移動フェーズへの分解したことを考慮して、到着遅延理由を計算し集計した結果を示している。全ての到着遅延便で複数の遅延理由を遅延時間ベースで集計している。到着遅延理由に関しては、オフブロック（出発空港ターミナルビルからのゲートアウト）からインブロック（ゲートインから到着空港ターミナルビルへ）で発生する運航中遅延が明確に示されており、遅延理由の40%を占めている。運航中遅延の中では、「飛行中」が最も大きく、それに続いて「出発地上走行中」が大きいという結果となっている。

「飛行中」は、到着滑走路の混雑または強い向かい風などの気象条件による到着空港周辺の空域での待機時間（レーダーベクター：着陸時間を調整するための管制官による飛行ルートの変更指示）によるものと考えられる。

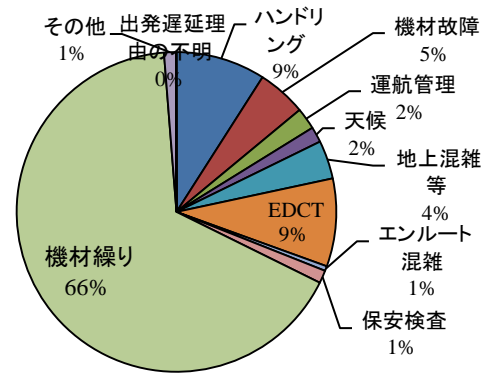
また、「出発地上走行中」は、主に出発滑走路の混雑（出発能力の不足）と駐機場（エプロンエリア）周辺の交通渋滞によるものと考えられる。

(3) 機材繰り遅延の分解

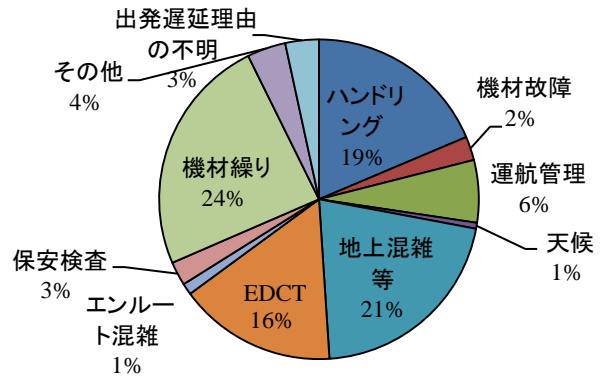
図-7は、「機材繰り」を真の遅延要因に分解した結果を示している。元の遅延理由のシェアと比較することで、どの遅延要因が航空ネットワーク内で波及しやすいかを知ることが出来る。

(4) 機材繰り遅延分解を考慮した到着遅延要因

最後に、図-7に示す機材繰り遅延の内訳を図-6の到着遅延理由シェアに反映することにより、到着遅延の根本となる遅延要因シェアを取得できる。その結果を図-8に示す。また、図-9は、(a)図-8の最終結果と、(b)図-4(a)より「機材繰り」を除いたJACBの集計方法の遅延要因シェアの比較を示している。赤枠で囲まれた遅延要因は航空会社に関する要因（航空会社要因）、青枠で囲まれた遅延要因は航空管制や空域システムに関連する要因（管制要因）を示している。

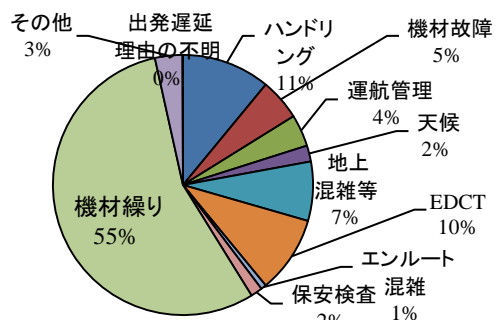


(a) 出発遅延理由 (便ベース・遅延15分以上)

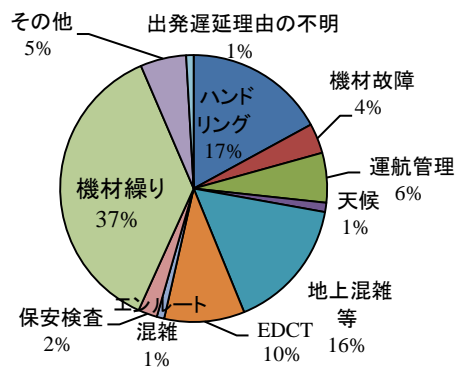


(b) 出発遅延理由 (便ベース・遅延便全て)

図-4 JACBの方法に基づいた集計



(a) 出発遅延理由 (時間ベース・遅延15分以上)



(b) 出発遅延理由 (時間ベース・遅延便全て)

図-5 時間ベースの出発遅延理由の集計

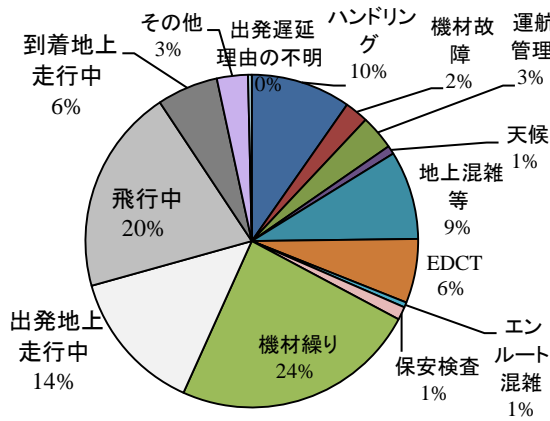


図-6 到着遅延理由の内訳

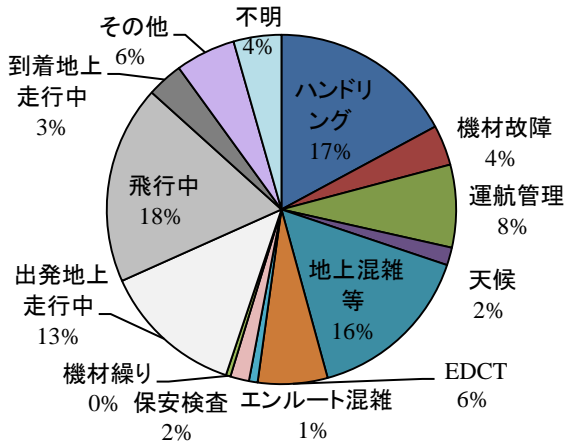


図-7 機材繰り遅延の内訳

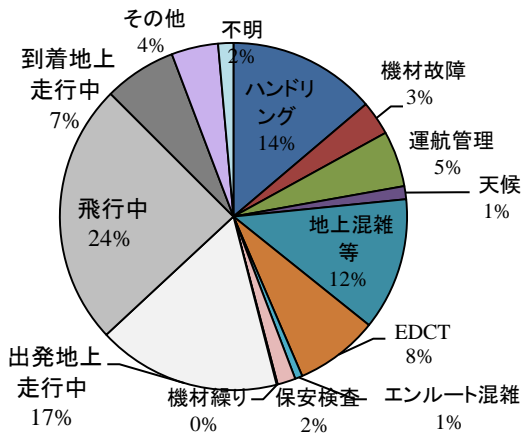
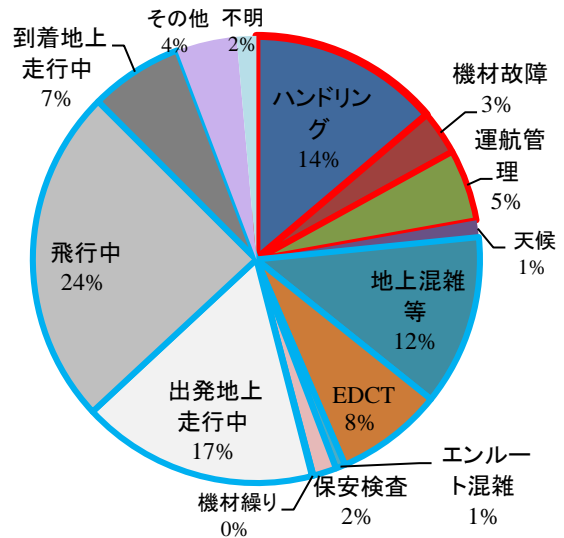
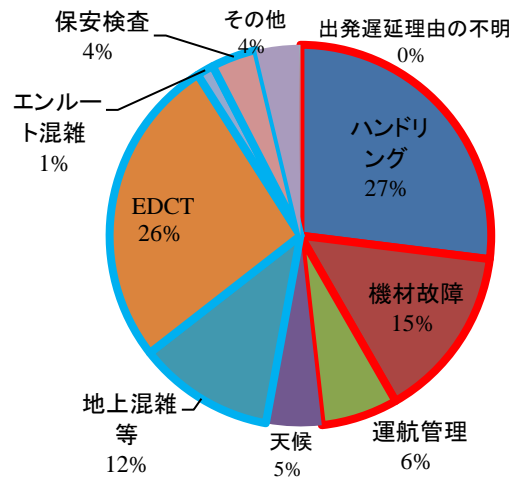


図-8 機材繰り分解を考慮した到着遅延要因の内訳

これらの図から、「便ベースか時間ベースか」, 「15分未満の遅延便データを考慮するか, しないか」, 「出発遅延要因か到着遅延要因か」によって, 「機材繰り」の有無にかかわらず, 遅延要因のシェアは全く異なる結果であると言える。例えば, 図-9で(a)と(b)を比較すると, 管制要因の割合は, JCABの元の出発遅延の集計よりも, 本研究の時間ベースで行った最終的な分析結果の方が大幅に高くなる。これは, CARATSプログラムにおいて新しい技術と航空インフラを導入することの重要性を示唆



(a) 本研究の最終結果 (図-8と同じ)



(b) JCABの集計方法 (機材繰り除く)

図-9 シェア比較 (赤枠: 航空会社要因, 青枠: 管制要因)

していると考えられる。

6. 結論

本研究では, 波及遅延を考慮して日本の国内航空ネットワークにおける到着便の真の遅延要因を把握することを試みた。その結果, 遅延要因データの集計方法が遅延要因シェアに及ぼす重要な影響を示しており, 異なる集計方法を適用した場合, 主要要因は異なって見えることを示した。

空域の混雑や気象条件の影響のような運航中遅延の真の要因を推定する方法など, いくつかの問題が解決されていないが, 本研究で提案した分析は, 航空機遅延の軽減方策の効果的な検討や, 特定の空港/空域への遅延対策のネットワークへの影響の推定などに一定程度活用できる可能性があると考えられる。

謝辞：本研究を実施するにあたり国土交通省航空局 (JCAB) より2016年度の航空機遅延に関する運航実績データの提供を受けた。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 国土交通省航空局：将来の航空交通システムに関する推進協議会, http://www.mlit.go.jp/koku/koku_fr13_000006.html (2019.9.21最終閲覧日)。
- 2) CARATS 第23回費用対効果・指標分析検討分科会：資料3-1「CARATS目標指標の推移」, pp.1-2., 2017.
- 3) CARATS 第23回費用対効果・指標分析検討分科会：参考1「指標分析」, p.28, 2017.
- 4) Eric R. Mueller, Gano B. Chatterji : Analysis of Aircraft Arrival and Departure Delay Characteristics, AIAA's Aircraft Technology, Integration, and Operations (ATIO), 2002.
- 5) Stephen Welman, Ashley Williams, David Hechtman : Calculating Delay Propagation Multipliers for Cost-Benefit Analysis, MITRE PRODUCT, MP100039, 2010.
- 6) Nabin Kafle, Bo Zou : Modeling Flight Delay Propagation : A New Analytical-Econometric Approach, Transportation Research Part B Methodological 93(A), pp.520-542, 2016.
- 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.
- 8) 高倉信一, 平田輝満：国内航空ネットワークにおける航空機の波及遅延と遅延要因に関する実態分析, 土木計画学研究・講演集, Vol.57, CD-ROM, 2018.

(2019. 10. ? 受付)

THE ANALYSIS ON ARRIVAL DELAY CAUSE IN JAPANESE DOMESTIC AVIATION NETWORKS

Teruaki SATOH, Terumitsu HIRATA

The purposes of this study are (1) estimation of arrival delay factors in Japan's domestic aviation network, in particular, decomposing delays during operation into more detailed phases, (2) analyzing arrival delay factors from the obtained DB. As a result of this study, (1) We studied the method of decomposing the equipment delay and delay during operation, and tabulated arrival delay factors in more detailed categories. As a result, it was found that the ratio of delay during flight and during departure was high. (2) It was clarified that the ratio of delay factors varies depending on the aggregation method, and showed the importance of considering delay countermeasures.