

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	A Multifaceted Data-driven Analysis of Flight Departure Delays in the Japanese Domestic Aviation Market
著者(和文)	SADEEKSOUMIK NAFIS
Author(English)	Soumik Sadeek
出典(和文)	学位:博士(学術), 学位授与機関:東京科学大学, 報告番号:甲第512号, 授与年月日:2025年9月22日, 学位の種別:課程博士, 審査員:花岡 伸也,山下 幸彦,高田 潤一,室町 泰徳,高山 雄貴,杉下 佳辰
Citation(English)	Degree:Doctor (Academic), Conferring organization: Institute of Science Tokyo, Report number:甲第512号, Conferred date:2025/9/22, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	Soumik Nafis Sadeek		
論文審査 審査員		氏名	職名		氏名	職名
	主査	花岡 伸也	教授	審査員	高山 雄貴	教授
	審査員	山下 幸彦	教授		杉下 佳辰	助教
		高田 潤一	教授			
		室町 泰徳	教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「A Multifaceted Data-driven Analysis of Flight Departure Delays in the Japanese Domestic Aviation Market」(日本の国内航空市場における出発遅延の多面的データ駆動型分析)と題し、英文で執筆され、全6章で構成されている。

第1章(Introduction)では、背景として国内外の航空遅延の実情および遅延に関する研究の概要を説明している。本論文では、連鎖的な遅延伝播を広範に引き起こす出発遅延に着目し、日本の国内航空ネットワークの信頼性向上に資するため、(1)空港の中心性や接続性が遅延拡散に与える影響を把握するためネットワーク指標と出発遅延時間の関係を明らかにすること、(2)不確実性を考慮した遅延予測モデルを適合予測(Conformal Prediction)を用いて構築すること、(3)多空港間の遅延ループのような高次構造を捉えるために位相的データ解析(Topological Data Analysis)を用いて持続的な遅延ループを特定すること、の3点について、2018年から2021年のANAおよびJALの運航データを用いて、多面的に実証することを目的としている。

第2章(Literature Review)では、統計モデル、ネットワーク科学、不確実性定量化、最適化、機械学習といった方法論の下で発展してきた航空遅延研究の変遷を概観し、遅延予測における不確実性評価が十分に行われていないこと、またネットワーク科学が遅延伝播の解明に利用されてきた一方で、高次ネットワークモデリング手法が活用されておらず、ネットワーク全体での遅延の深刻度を測定できていないことを指摘している。これを踏まえ、本論文では、日本国内航空における遅延予測と信頼性向上のため、目的で示した方法を構築し、実証する意義を示している。

第3章(Examining the association between network properties and departure delay duration in Japan's domestic aviation)では、国内航空におけるネットワーク特性と出発遅延時間の関係を分析している。空港をノード、遅延をエッジとするネットワークを用い、入次数中心性、媒介中心性、固有ベクトル中心性、推移性という4つの指標と総出発遅延時間との関係を、系列相関と不均一分散を考慮した固定効果付きPrais-Winstenパネル回帰によって、コロナ禍前(2018-2019年)とコロナ禍中(2020-2021年)で比較している。その結果、①コロナ禍前は入次数の高い空港で遅延時間が長くなる傾向にあること、②媒介中心性からハブ空港が遅延短縮に寄与し、スポーク空港が遅延を長引かせる傾向にあること、③固有ベクトル中心性からハブ空港間で短い遅延伝播が頻発する傾向にあること、④推移性の影響は航空会社と時期によって異なること、を明らかにしている。

第4章(Uncertainty quantification of departure delay considering network properties and conformal prediction framework)では、遅延予測における不確実性を考慮するため、予測困難度に応じて区間幅を適応的に調整できる適応型適合予測を用い、遅延ラグ、ネットワーク中心性、推移性、時間を特徴量として平均日次出発遅延を予測している。予測モデルには説明可能性を重視したランダムフォレストを採用し、適応型、集約適応型、完全適応型の3手法で出発遅延予測値と重要特徴量を分析した結果、遅延ラグが最も影響力の大きい予測因子であり、次いで時間、ネットワーク中心性指標が続くことを示している。また、集約適応型は被覆率と区間幅のバランスに優れ、完全適応型は過大・過小被覆を均等化する公平性を持つこと、さらに低変動環境では適応型、高変動環境では集約適応型、全体的なバランスでは完全適応型が適していることを明らかにしている。

第5章(Identifying persistent departure delay in Japanese aviation network using topological data analysis)では、位相的データ解析の一種である永続ホモロジーを適用し、国内航空の出発遅延ネットワークにおける循環構造的なパターンを特定している。具体的には、低次のエッジが閾値を満たした場合に高次単体を形成するVietoris-Rips複体を構築し、遅延連結成分や遅延ループといった位相的特徴について、誕生値・消滅値を特徴の出現と消失とみなし、永続性によって重要度を定量化している。分析の結果、多くの遅延連結成分は5~15分以内に統合され、遅

延ループは閾値 15 分未満で形成されることが多く、また持続時間別のループ分類では顕著な季節非対称性が観察され、冬季には大規模空港を含む高持続ループが多く見られることを示している。永続ホモロジーの適用により、多階層な遅延共起構造を解明し、航空会社特有・季節特有の脆弱性を明らかにしている。

第 6 章 (Conclusion) では、各章で得られた知見を総括している。本研究は、ネットワーク科学、機械学習、高次ネットワークモデリングを活用し、日本国内航空ネットワークにおける出発遅延の解釈と運用改善のためにデータ駆動型の分析手法を構築しており、学術的貢献が大きい。したがって、本論文は博士（学術）の学位論文として十分な価値を有すると認められる。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。