

交通・物流問題に対する多様なアプローチ： 国際開発・国際物流・航空



花岡研究室 (Hanaoka Research Group)

はなおか しんや
花岡 伸也

東京工業大学環境・社会理工学院融合理工学系教授

連載「研究室紹介」では、学術の世界と読者の橋渡しをするべく、交通研究の最前線の活動を紹介します。第一線の研究者が取り組んでいる研究テーマ、具体的な研究内容、交通政策や交通事業者の経営へのインプリケーション等について、研究者自身から分かりやすく紹介して頂きます。

東京工業大学では、研究室名は伝統的に分野名ではなく代表者の名前が用いられており、本研究室も「花岡研究室 (Hanaoka Research Group)」が正式な名称である。東京工業大学内の複数の研究室で構成されている「Transport Studies Unit」の一員でもある。2007年度途中に東京工業大学に着任後、2008年4月から学生指導を始め、2024年4月に17年目に突入した。それ以前はタイにあるアジア工科大学院 (Asian Institute of Technology) に現地採用の Assistant Professor として4年間勤務したことがあるものの、日本での大学教員経験は東京工業大学一筋である。この間、助教2名 (中道久美子氏、川崎智也氏) と共に研究室を運営してきており、現在は Choi Sunkyung 特任講師と杉下佳辰助教の3名体制で研究活動を展開している。

花岡研究室の特徴はなんといっても留学生が多いことである。2024年3月までに主査として研究指導した博士、修士、学士の学生総数は102名、

国籍数は18カ国 (日本、中国、ベトナム、インドネシア、タイ、モンゴル、バングラデシュ、韓国、フィリピン、ネパール、インド、イラン、ロシア、台湾、スリランカ、カンボジア、マレーシア、ケニア) と多岐にわたり、うち留学生は64名と6割を超える。博士学位取得者数は17名、同修士80名、同学士40名 (延人数) と、大学院生が中心である。また女性率は37%と理工系の研究室としては高い比率である。長期滞在した交換留学生受入数は10名で、スペイン、ハンガリーやコスタリカ出身の学生も含まれる。2024年4月時点の在学生は、博士5名、修士13名、学士3名の計21名で、そのうちオマーン、ウガンダ、シンガポールなど8カ国の留学生が11名と約半数を占める。英語を公用語としており、研究室ゼミでは、留学生から思いもよらない意見が出ることもある。多様性を尊重した文字通りグローバルな研究室の形を今後も続けていく予定である。

研究テーマは、①交通開発学、②国際物流・ロジスティクス、③航空の3本柱で進めている。また、研究室の講師や助教の専門性を生かした研究も実施している。

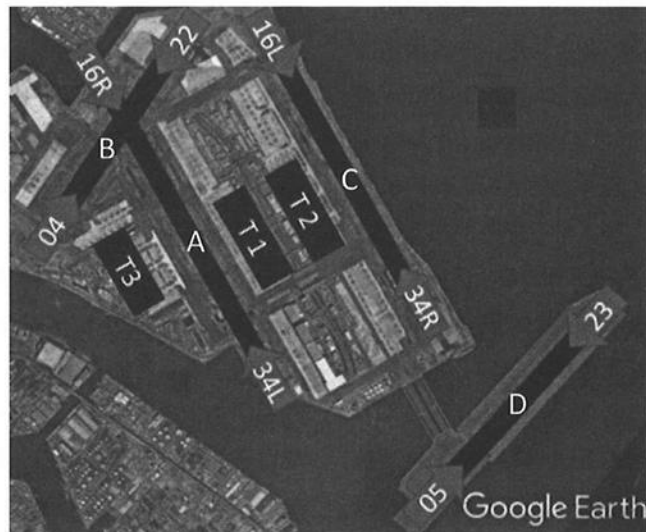
交通開発学 (Transport Development Studies) は筆者が提唱している研究分野である。前職のアジア工科大学院勤務時に多くの開発途上国出身の修士・博士学生を指導した経験から、開発途上国を対象とした交通・物流の研究の必要性を強く認識したのがきっかけである。交通開発学は、開発途上国や新興国における旅客輸送と貨物輸送の課題の解決を目的とした一連の研究と位置づけており、交通計画・物流計画と国際開発、そして地域研究が重なる学際研究である。開発途上国を対象としたケーススタディに留まるものではなく、幅広い研究成果の蓄積により、課題に応じた解決策の効果を集約し、国・地域・都市・町・村に有効な政策や施策を有機的に関連づけることで、モデル化や一般化を目指す。これまでの研究実績は海上輸送やインターモーダル輸送を中心とした国際貨物輸送が中心であり、②の国際物流・ロジスティ

クスと重なっている。

交通開発学の研究事例は日本語文献^[1]で解説しているため、本稿では実用的な成果を得られた航空の事例を紹介する。航空分野は筆者のポストク期にあたる運輸政策研究所在籍時に始めた研究テーマであり、20年以上続けている。

本研究^[2]は、羽田空港を対象に、1)航空機の地上走行運用の現状分析、2)走行距離と走行時間の最小化を目的とした最適化モデルの開発、3)最適化モデルの結果と実走行の比較分析の3つを目的として実施した。国土交通省航空局交通管制部が提供しているCARATS (Collaborative Actions for Renovation of Air Traffic Systems) オープンデータを用いて、航空機の位置情報を秒単位で確定できる形式に変換してデータを読み込み、現状分析した結果、南風時にA滑走路(16R/34L)とB滑走路(04/22)に挟まれた付近の誘導路が離陸機・着陸機の両方が集中的に走行するエリアであることを示したほか(図1)、離陸時はターミナルに近い滑走路を選択する傾向にある一方で、着陸時はターミナル間で滑走路選

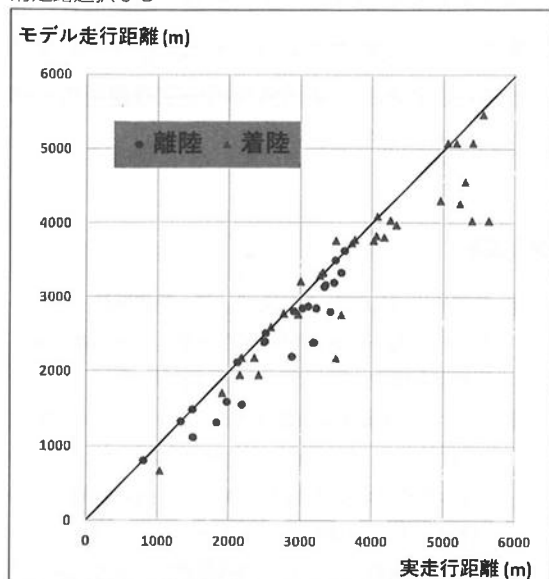
図1 羽田空港の滑走路とターミナルの位置



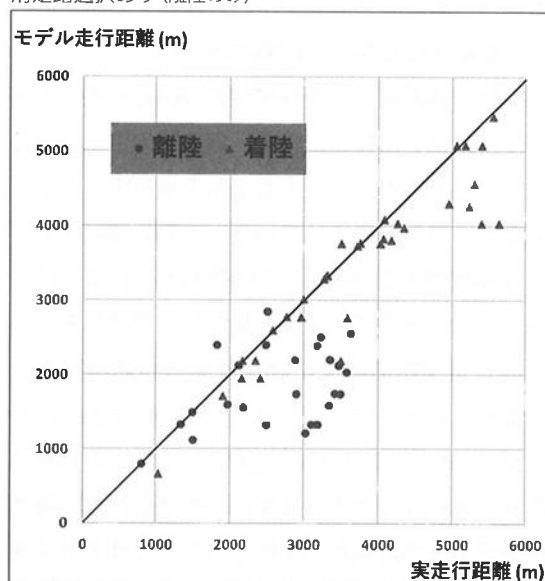
図はすべて筆者作成

図2 総走行距離の比較

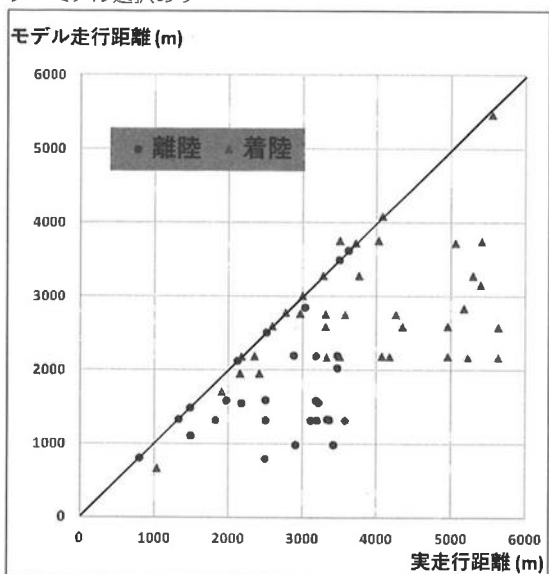
滑走路選択なし



滑走路選択あり (離陸のみ)



ターミナル選択あり



折に差はないことを明らかにした。

移動中の航空機の位置は常に変化していることから、Receding Horizon 制御を用いた混合整数線形計画法¹⁾により、ある時点で羽田空港上を

移動している全航空機を対象とした総走行距離と総走行時間を最小化するモデルを開発した。制約条件として、滑走路上や誘導路上での衝突回避制約を導入している。2016年5月の夕方1時間を対象に、最適化モデルの計算結果と実走行を比較したところ、滑走路選択をしない(モデルと実走行で離着陸する滑走路が同じ)場合、総走行距離はモデルが実走行から9.8%削減され、総走行時間は22.0%削減する結果を得た。次に、離陸時は滑走路を選択できる設定で計算したところ、実走行と比較して、総走行距離は18.5%、総走行時間は29.8%削減する結果を得た。さらに、離陸時・着陸時にターミナル1と2の近い方を選択できる設定で計算したところ、総走行距離は29.7%、総走行時間は37.3%とさらに削減できる結果を得た。図2は総走行距離を例として結果を示したもので、各点は航空機である。ラインの下側は最適化モデルの結果が実走行より走行距離

1) Receding Horizon 制御とは、各時刻で有限時間未来までの応答を最適化してフィードバック制御を実現する手法のこと。モデル予測制御とも呼ぶ。^[3]

が短いことを示しており、ターミナル選択ができる場合、離着陸共にモデルの方が多くの航空機の走行距離が短くなっていることがわかる。

また、誘導路上の走行頻度について実走行とモデルの結果を比較した結果、着陸時の走行で次のような結果を得た。(1) A滑走路の横断箇所として、実走行は南側に集中している一方で、最適化モデルは複数箇所に分散。(2) A滑走路とB滑走路に挟まれた誘導路の航空機の集中を、最適化モデルではB滑走路着陸時に利用する取付誘導路をより奥側にすることで分散化。(3) A滑走路とC滑走路(16L/34R)を結ぶ北部にある2つの誘導路の走行方向は、実走行は常に一方通行だが、最適化モデルは両滑走路の中間地点で交差する方法を取り入れて双方向通行を導入し、走行時間を短縮。

本研究は日本航空(JAL)の支援を受けて実施したものであり、研究成果を日本航空の関係者に発表している。その際、発表を聴講された現役パイロットの方から、誘導路上の走行頻度の比較分析結果は有益で検討する余地ありとの貴重なご意見をいただいた。実走行では個別の航空機が安全性等を考慮しながら誘導路上を移動している一方で、本研究は全航空機を対象として総走行距離・時間を最小化しているため、現実の地上走行運用に即座に活用できるわけではないが、実用性のある成果を得られたと考えている。

ロンドン、ニューヨークと並び、東京は航空需要の大きい世界3大都市圏の1つであり、羽田空港はその一翼を担っている。常に混雑しており、その状況は数十年後も変わることはない。本研究は航空機の地上走行運用に着目したものであり、開発したモデルを用いて、航空機の低速走行割合の削減、それに伴うエネルギー消費量・二酸化炭素排出量の削減、さらに空港容量の増加につながる地上走行交通戦略を検討できる。また、将来、

国際線の離着陸数が増加し、国際線ゲート用のターミナルを変更すると走行距離・時間に大きな影響を与える可能性があり、その変化を分析することも可能である。本研究が羽田空港運用の一助になれば幸いである。

参考文献

- [1] 花岡伸也 (2023) クロスボーダー回廊開発における整備と制度——交通開発学の一事例——, 展望論文, 国際開発研究, Vol.32, No.1, pp.1-15.
- [2] Chen, T. and Hanaoka, S. (2022) Improvement of airport surface operation at Tokyo International Airport using optimization approach, Aerospace, Vol.9, No.3, 145.
- [3] 大塚敏之編著 (2015) 実時間最適化による制御の実応用, コロナ社.