

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 18 日現在

機関番号：37402

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23530354

研究課題名(和文) 我が国の最適航空ネットワーク政策に関する理論とそのシミュレーション

研究課題名(英文) Theory and Simulation of Optimal Aviation Networks in Japan

研究代表者

坂上 智哉 (SAKAGAMI, Tomoya)

熊本学園大学・経済学部・教授

研究者番号：50258646

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円、(間接経費) 1,140,000円

研究成果の概要(和文)：我が国の最適な航空ネットワーク政策に関して、理論とシミュレーションの双方から分析を行った。まず、ネットワーク形成理論に基づくシミュレーションモデルを提案し、国内線と国際線の2つのケースにおける最適航空ネットワークのグラフのシミュレーションに成功し、現状の航空路線が過剰傾向にあることを明らかにした。

次に、格安航空会社(LCC)が、大手が直通便を運航する路線と、大手が直通便を運航していない路線のどちらに参入するインセンティブを持つのかについて分析を行った。その結果、直通便が利用できない場合の追加的な移動時間が大きくなるような路線であれば、LCCはそうした路線に参入することを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：In this study, we have analysed the optimal aviation networks in Japan by using network theory and its simulation. First of all, we presented the simulation model based on the network formation theory. Through the simulation, we found the optimal domestic and international aviation networks. Second, we investigated the entry route choices of low-cost carriers (LCCs). A LCC considers whether to enter a spoke route or a rim route of a major carrier's hub-spoke network. We demonstrated that rim entry is more profitable for LCCs if connecting passengers' hub-through additional travel time cost is large, and that spoke entry is more profitable if this time cost is small.

研究分野：社会科学

科研費の分科・細目：経済学・経済政策

キーワード：政策シミュレーション 航空ネットワーク 進化計算

1. 研究開始当初の背景

我が国の航空ネットワークは、日本航空の経営再建問題、相次ぐ新規空港の開港、地方路線の撤退、アジアのハブ空港間の競争、格安航空会社 (LCC) の参入など、極めて多くの問題を抱えている。そのネットワーク形成の問題に対する理論的アプローチにはゲーム理論を用いた研究があり、さらにその研究には、(1)ネットワーク形成ゲーム理論と、(2)産業組織論からのアプローチの2種類の手法が存在する。

(1)の研究ではペア安定ネットワークやナッシュ均衡ネットワークといった、各経済主体(ノード)が自発的に意思決定した結果得られるネットワークグラフの形状と、中央計画者のもとで社会全体の厚生を最大化する最適ネットワークの双方を導出することができる (Jackson and Wolinsky (1996), Bala and Goyal (2000), Galeotti, Goyal and Kamphorst (2006)). 両者を比較することで、望ましいネットワーク政策を論じることができる。

(2)の研究では主に、ハブ型を中心とした航空ネットワークの形態に関する研究が進められている。(Brueckner and Spiller (1991), Oum, Zhang and Zhang (1995), Berechman and Shy (1996)). 近年ではKawasaki (2008)が乗客の時間価値の異質性、及び運航頻度が乗客の効用に影響を与えるという効果の両方を含めたモデルを構築し、独占状態の航空会社が選択するネットワーク形態について分析している。Lin and Kawasaki (2010)では、3つの空港間のネットワークについて、運航頻度と乗客数(機体のサイズ)で競争を行う2つの航空会社間の最適戦略を分析し、乗り換え時間との関係で、異なる空港がハブ化する可能性があることを指摘している。

2. 研究の目的

本研究の目的は、我が国の最適な航空ネットワークについて、経済理論とシミュレーションの双方から明らかにすることである。理論分析では、Jackson and Wolinsky (1996)型のネットワーク形成ゲーム理論や、産業組織論での hub and spoke ネットワークの研究を融合・発展させることで、より説得力のある理論モデルの構築を目指す。進化計算手法を用いたシミュレーション分析では、構築された理論モデルに実際のデータを当てはめ、我が国の最適航空ネットワークの姿を示す。これにより、望ましい路線網、地方路線撤退が生じるメカニズム、アジアとのハブ競争を克服するための日本の航空政策などについて政策提言を行う。

3. 研究の方法

本研究では、全体の組織を「理論分析班」

と「シミュレーション班」に分け、さらに理論分析班を「ネットワーク形成ゲーム理論班」と「産業組織分析班」に分ける。各班が相互に連携することで、統合理論モデルを構築し、そのモデルに基づいたシミュレーションを実施する。

研究期間は3カ年である。1年目の理論分析班は、従来の理論モデルの再検討と、それらの課題を克服した新たなモデルの構築を行う。シミュレーション班は従来の探索アルゴリズムを改善し、より正確に、より早く最適解を見いだせるソフトの開発を進める。2年目の理論分析班は、1年目に構築されたモデルの統合を進める。その一方でシミュレーション班は、統合モデルをシミュレーションできるプログラムの作成を行う。そのうえでシミュレーションを実施し、現状との整合性を確認する。最後の3年目には、モデルとシミュレーションを用いて政策分析を展開する。

4. 研究成果

(1) 我が国の最適航空ネットワークに関する基本モデルの提示とそのシミュレーション分析(5 [雑誌論文]の②と③に関する研究)

本研究では、我が国の最適な航空ネットワークの形状について分析を行った。航空ネットワークのモデル化にあたっては Jackson and Wolinsky (1996)のネットワーク形成モデルに基づいて、ネットワークの利得関数を定義した。本研究の「航空ネットワーク最適化問題」では航空業界全体の利得を最大化するネットワークを見つけ出すことであるが、現実のネットワークにおいて理論的に最適なネットワークを導出することは難しい。そこで、メタヒューリスティクスの1種である進化計算を用いた「航空ネットワーク最適化問題」の解法を提案した。進化計算を用いたシミュレーションの対象は日本の国内線である。

シミュレーションでは、まず乗り継ぎによる旅客割引率だけを変化させていった場合の最適ネットワークを提案アルゴリズムによって導出した。ここでは基準としたパラメータにおける既存ネットワークと最適ネットワークを図1と図2に示す。既存のネットワークに比べ、シミュレーションによる最適ネットワークでは路線数が少ない傾向が見出された。これは直通便を減らし乗継便を増やすことで費用削減が期待できることを示唆している。

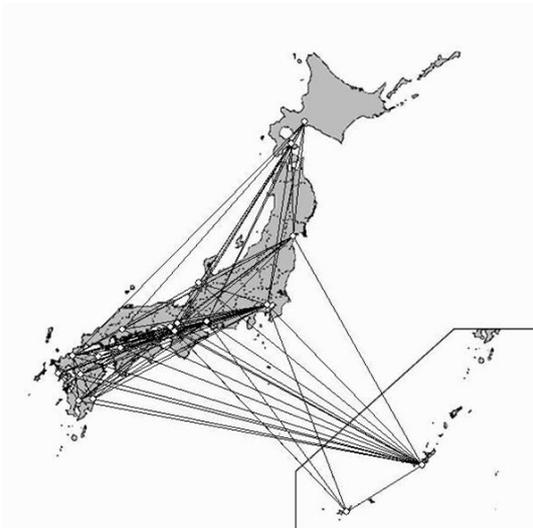


図1：既存の航空ネットワーク

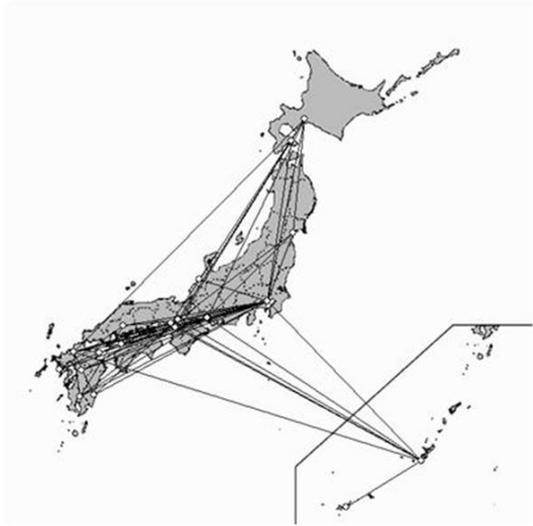


図2：最適航空ネットワーク

(2) 我が国の最適航空ネットワークに関するモデルの拡張とそのシミュレーション分析 (5 [学会発表] の④に関する研究)

(1)の研究では Jackson and Wolinsky のモデルに準拠した航空ネットワークモデルを構築した。しかしながら、乗継便の利用客には費用がかからないとの仮定を置いていた。本研究ではこの点を修正し、乗継便の利用客にも運行費用がかかるよう修正した。乗継便の利用客を、彼らが使用する経路上の直通便の乗客数に足し合わせることで、より現実に則したモデルになった。

シミュレーションにより導出された最適ネットワークを図3と図4に記載する。収入の残存率 δ の値が小さい場合は、既存のネットワーク (図1) よりも最適ネットワークの路線数が多くなるのが新たに見出された。特に新千歳空港では、那覇空港へも直通便が就航するなど、各地へのアクセスが改善している。(1)で行った研究では δ の値にかかわらず既存のネットワークよりも路線数を減らす方が望ましいという帰結であった

が、今回のモデルでは δ の値次第では既存のネットワークよりも路線数を増やした方がネットワーク価値を高められることが明らかとなった。1フライトあたりの座席数には限りがあるため、直通便をなくして乗継を増やしても、増便の必要に迫られるため大きな費用削減にはつながらないことが原因であると考えられる。

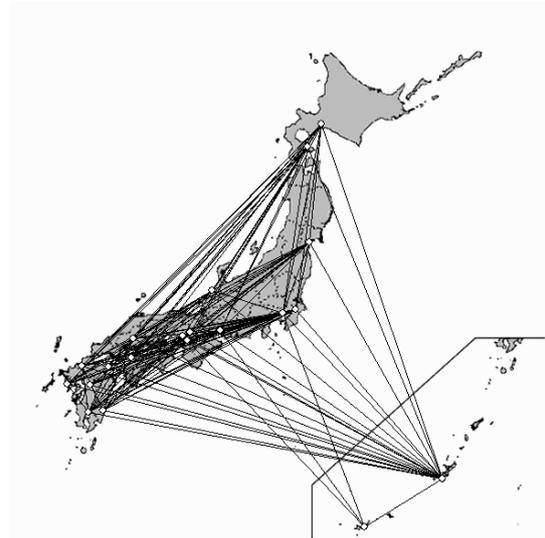


図3：修正モデルのもとでの最適ネットワーク ($\delta = 0.10$ のケース)

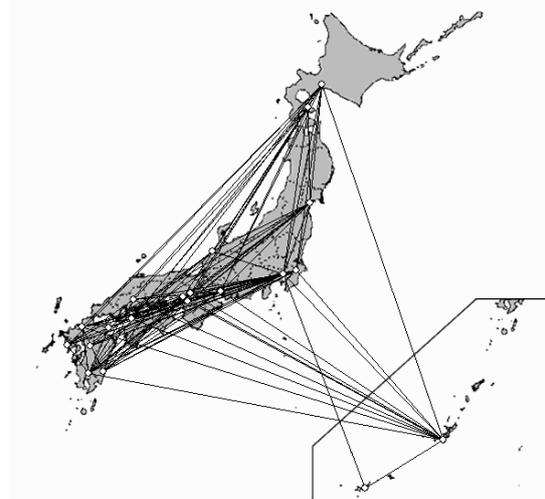


図4：修正モデルのもとでの最適ネットワーク ($\delta = 0.60$ のケース)

(3) 国際的な最適航空ネットワークに関するシミュレーション分析 (5 [学会発表] の①に関する研究)

我が国の航空ネットワークを語る上で国際線の影響は無視することはできない。そこで本研究では、主要な国際空港間を結ぶ最適なネットワークについて研究を行った。理論モデルは(1)と(2)で構築したものを適用した。

シミュレーションの結果、乗継に対する航空券価格の残存率が大きいほど直通便の数

が大きくなることが示された。この結果は日本の国内線についての研究から得られた帰結と一致する。さらに、乗継費用を組み込んだ修正モデルでのシミュレーション（図7）では、航空業界は太平洋上のルートよりも欧州への複数のルートを充実させる必要があることを示唆する結果となった。



図5：既存の国際線のネットワーク



図6：基本モデルのもとでの最適航空ネットワーク



図7：修正モデルのもとでの最適航空ネットワーク

(4) LCCの新規参入路線に関する理論研究（5〔雑誌論文〕の①に関する研究）

本研究では、近年の格安航空会社（LCC）が、大手が直通便を運航する同一の路線に参入するインセンティブを持つのか、大手が直通便を運航していない路線に参入するインセンティブを持つのか、について、LCCと大手航空会社との費用格差、ならびに直通便が利用できない場合の追加的な移動時間に注目して分析を行った。その結果、以下の結論が得られた。まず、直通便が利用できない場合の追加的な移動時間が大きくなるような路線であれば、LCCはそうした路線に参入する。逆に追加的な移動時間が短いような路線であれば、LCCは大手が直通便を運航する路線に参入する。

以上の結論を、費用の側面からとらえると以下のことが明らかとなった。大手航空会社とLCCの費用格差が小さい場合、LCCは大手が運航している直通便と同一の路線に参入するインセンティブが強い。一方で、その費用格差が大きい場合、LCCは大手の航空会社が直通便を運航していない路線に参入するインセンティブが強い。

(5) 国際線ネットワークの規模と空港運営

に関する政策分析（5〔学会発表〕の③に関する研究）

本研究では、国内のハブ空港に、どのくらいの国際線のネットワークが形成されれば、空港の民営化が進むのかについて議論をした。この研究は、国内外のネットワークのあり方が変わるとともに、空港の運営方式も変わろうとしている現状を踏まえたものである。本研究で明らかとなったことは以下のとおりである。海外とのネットワーク形成が小さい場合、国内乗客の利便性を確保するために、空港料金を引き下げておく必要がある。その結果、公営空港が望ましくなる。しかし、国際路線が増加してくると、国内乗客の利便性を確保することより、海外からの乗客から得られる収入をより多くすることがその国の厚生にとって望ましくなるため、空港を民営化する動機が生まれる。つまり、本研究によって、航空ネットワークの変化が空港の運営方式に影響をもたらす可能性があることを明らかにした。

(6) アルゴリズムの改善に関する研究（5〔学会発表〕の②と⑥に関する研究）

この研究では、PBILの並列化をPSO（Particle Swarm Optimization）の考え方に基づいたマルチエージェント型の進化計算モデルとして議論し、新たなアルゴリズムを提案した。進化計算アルゴリズムはローカルサーチなどの他のアルゴリズムとのハイブリッドにより性能が向上することも知られている。PSOはGAとは趣向が異なり、粒子の群れに解空間上を飛び回らせ最適な解（位置）を探す手法である。ただし、粒子はやみくもに解空間を飛び回るわけではなく、優れた解の情報に基づいて飛んでいく方向を決めている。その粒子をエージェントとしてPBILの遺伝子構造の確率分布の推定に応用しようというのが本研究の提案アルゴリズムである。

提案アルゴリズム（SPBIL）の性能を測るため、関数最適化と組み合わせ最適化の2種のベンチマーク問題による検証を行った。その結果、SPBILはGriewank関数とRastrigin関数を除いて最良の性能を示した。このアルゴリズムは特に組み合わせ最適化問題に対し有用であることから、航空ネットワーク最適化問題への応用にも期待が持てる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計3件）

① Akio Kawasaki, Ming Hsin Lin, "Airline schedule competition and the entry route choices of low-cost carriers", *Australian Economic Papers*, 52(2), 97-114, (2013), 査読有,
DOI: 10.1111/1467-8454.12011

② Hiroki Inoue, Yasuhiko Kato, Tomoya

Sakagami, "Airline Network Optimization Using Evolutionary Computation," *Electronics and Communications in Japan*, Vol. 96, No 11, 16-25 (2013), 査読有, DOI: 10.1002/ecj.11531

③ 井上寛規, 加藤康彦, 坂上智哉, 「航空ネットワーク最適化問題の進化計算によるシミュレーション分析」, 『電気学会論文誌 C(電子・情報・システム部門)』, Vol. 132, No. 7, Sec. C, (2012), 査読有.

[学会発表] (計 6 件)

① Hiroki Inoue, Yasuhiko Kato, Tomoya Sakagami, "International Airline Network Optimization using Evolutionary Computation," WINE 2013: The 9th Conference on Web and Internet Economics, (2013. 12) , Harvard University, Cambridge.

② 加藤康彦, 井上寛規, 「A Society of Population Based Incremental Learners for Multi Knapsack Problem」, 『経営工学会平成 24 年度秋季大会予稿集』, pp. 2-4, (2013. 11), 日本工業大学.

③ Akio Kawasaki, "International Complementary Hub Airport Privatization in the Airline Network", Asian Seminar in Regional Science, 2013 年 8 月 7 日, 台湾.

④ Hiroki Inoue, Tomoya Sakagami, Yasuhiko Kato, "Japanese Domestic Airline Network Optimization in Consideration of Transit Passenger Cost," 10th Biennial Pacific Rim Conference, (2013. 3), Keio University.

⑤ Hiroki Inoue, Tomoya Sakagami, Yasuhiko Kato, "Optimizing Japanese Domestic Airlines Network by Evolutionary Computation," in Proceedings of The 2012 International Conference on Artificial Intelligence (ICAI' 12) in WORLDCOMP' 12, Vol.1, pp.497-503, (2012. 7), Las Vegas.

⑥ 井上寛規, 加藤康彦, 「A Society of Population Based Incremental Learners」, 『経営工学会平成 24 年度春季大会予稿集』, pp. 24-25, (2012. 5) , 法政大学.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

坂上智哉 (SAKAGAMI, Tomoya)
熊本学園大学・経済学部・教授
研究者番号 : 50258646

(2) 研究分担者

川崎晃央 (KAWASAKI, Akio)
鹿児島大学・教育学部・准教授
研究者番号 : 10452723

加藤康彦 (KATO, Yasuhiko)
熊本学園大学・経済学部・准教授

研究者番号 : 80331073

(3) 研究協力者

井上寛規 (INOUE, Hiroki)
京都大学・経済研究所・研究員
研究者番号 : 90635963