

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 10 月 14 日現在

機関番号：32702

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26870643

研究課題名(和文)非集計行動モデルを用いた航空と高速鉄道の提携に関する研究

研究課題名(英文)High-speed Rail and Airline Cooperation under the Multinomial Logit Model

研究代表者

佐藤 公俊(Kimitoshi, Sato)

神奈川大学・工学部・助教

研究者番号：60609527

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、3都市ネットワークにおいて航空と高速鉄道の提携による利益最大化モデルを構築し、両機関が競合している場合と比較することで、市場シェアおよび社会的厚生に対する提携の効果を定性的に分析することが目的である。

本研究の結果、提携により両機関が競合する国内路線の価格の上昇に伴い、総需要は減少するが、乗り換え路線の総需要が増加することを示した。さらに、両機関が国内で大きなシェアを占めている区間または乗り換え路線の潜在需要が比較的大きい区間を提携サービスの対象にすることで、提携により企業利益と消費者余剰の総和である社会的厚生が増加することを示した。

研究成果の概要(英文)：We study the cooperation between the airline and the HSR sectors by formulating their joint profit maximization problem using the multinomial logit choice model in a three-node setting. Cooperation refers to the situation at which an airline uses the HSR to provide continuing short-distance services from a hub to a final destination (a spoke) in its network.

We have the following findings in this research. First, the cooperation decreases the total volume in the domestic market due to raise the HSR and air ticket prices. However, the volume in connecting market is increased by cooperation. Second, the cooperation increases the social welfare in whole market if the both sectors takes a large share of the domestic market in competitive situation or the number of potential customers in connecting market is relatively large.

研究分野：オペレーションズ・リサーチ

キーワード：交通工学 航空と鉄道 数理モデル 収益管理 企業間提携

### 1. 研究開始当初の背景

近年、航空輸送市場の国際化に伴う需要の急激な増加により、我が国の空港の混雑が深刻化している。空港の混雑によりフライトの遅延や環境問題が発生し、さらには航空会社の新規参入や増便が困難となっている。そのため、新たな滑走路の建設による発着枠の拡大とともに、交通インフラの整備による空港容量の効率的な利用が求められている。ドイツなど欧州の一部の区間では、中短距離市場において航空と鉄道が提携し、時速 200km 以上の高速鉄道を既存の航空路線の代替機関として利用する取り組みが行われている。これにより、空港の混雑緩和に効果的であることが報告されている。また、インフラの整備だけでなく、顧客の利便性を考慮した提携サービスも提供されている。例えば、ルフトハンザ航空はドイツ鉄道との提携により、国際線に接続するドイツ鉄道の区間も、航空券と一緒に購入できる Airail サービスを提供している。現状、我が国では訪日外国人需要が増加している状況で、このような取り組みが十分になされていないため、提携サービスの効果を適切に評価するための手法の確立が重要な課題である。

### 2. 研究の目的

本研究では、このような両機関の協力関係が市場シェアや社会的厚生に対してどの程度の効果があるかを数理モデルの構築により、検証することが目的である。

#### (1) 輸送サービスと提携効果

航空と鉄道のサービス品質の違いは顧客の購買選択に影響するため、提携効果を適切に分析する上で、モデルに組み入れる必要がある。しかしながら、先行研究では二次効用関数から得られる価格需要関数の下でモデル化されており、需要量を定める変数が価格のみであると仮定されている。そのため、移動時間や距離、運行本数、サービスなど輸送機関固有の要因を需要関数に取り入れた分析はなされていない。そこで、本研究のスタートとして、従来研究と同様の輸送ネットワークにおいて需要関数を非集計行動モデルにおけるロジットモデルを用いて拡張することにより、サービス品質を需要量に反映したモデルに拡張する。これにより、各輸送機関のサービス品質を考慮するだけでなく、顧客が航空および鉄道のいずれも選択しない（例えば、高速バスの利用、競合他社の利用等）という非購買選択も考慮することが可能となり、より適切な提携効果の分析が可能となる。

#### (2) 空港の容量制約と提携効果

次に、航空と鉄道の提携による空港の混雑緩和への効果を分析するために、(1)で述べたモデルを空港の発着容量制約を課したモデ

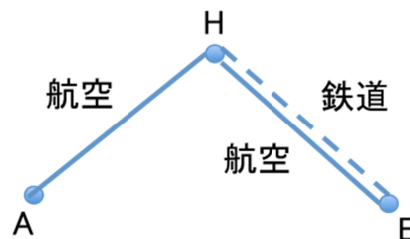


図 1. 3都市ネットワーク

ルに拡張する。潜在顧客数に対する空港の容量サイズが提携にどのような影響を与えるかを明らかにすることが目的である。

### 3. 研究の方法

本研究では、図 1 に示す 3 つの都市 A, B, H を結ぶ輸送ネットワークを考える。都市 A からハブ空港のある都市 H までの輸送市場を市場 1 とする。この区間は航空のみ運行しており、鉄道は運行していない。都市 H と都市 B の区間を市場 2 とし、この区間では高速鉄道と航空が運行している（国内市場と呼ぶ）。さらに、都市 A から都市（空港）H で乗り換え、都市 B へ向かう輸送市場を市場 3 とする（乗り換え市場と呼ぶ）。ここで、都市 A から B に向かう顧客が、都 H に滞在したのち、都市 B に向かう場合は市場 1 と市場 2 それぞれの顧客として扱う。また、都市 A から都市 B への直行便は運行していない。例として、国内では新幹線と航空が競合する羽田-金沢がそれぞれ都市 B と都市 H にあたる。

提携効果を分析するために、競合モデルと提携モデルの 2 つのモデルを構築する。競合モデルは区間 HB（市場 2）において航空と高速鉄道が競合しており、各機関それぞれが自身の利益を最大化するよう価格を決定する。一方、提携モデルでは新たに都市 A から空港 H に到着した顧客が鉄道に乗り換え、都市 B に移動する提携サービスを市場 3 に追加し、両機関の総利益が最大となる価格を共同で決める。競合および提携の問題を定式化し、最適化問題を解くことで、最適価格がランベルト W 関数を用いて解析的に求められることを示す。その後、最適価格の下での市場シェア、利益、社会的厚生を比較し、提携効果を分析する。ここで、社会的厚生とは、利益と消費者余剰の和と定義する。

### 4. 研究成果

(1) 各市場におけるシェアおよび価格に対する提携の効果を表 1 に示す。表内の「=」は提携の効果なし、「+」と「-」はそれぞれ提携により増加と減少を、「±」はどちらとも言えない場合を意味する。第一に、輸送機関のサービス品質や非購買選択の効用の大きさに関わらず、提携により国内市場の総需要（提携する航空と鉄道の和）は減少することを明らかにした（表 1 :3 行 5 列目）。これは、両機関の競合関係が解消され、価格が値

上がりするためである。また、乗り換え市場では、航空シェアが減少し、総需要が増加することから、Air-rail サービスがうまく機能していると考えられる。

次に、各市場の利益、消費者余剰、社会的厚生に対する提携効果を表2に示す。表2より、提携によって乗り換え市場の社会的厚生は増加することがわかる。しかしながら、市場2では、顧客の非購買選択による効用の大きさが社会的厚生に対する提携効果を分ける。言い換えると、提携の対象となる航空と鉄道が提携前にどの程度の市場シェアを占めているかが重要となる。両機関が国内市場シェアを大きく占めている場合には、市場2および全市場の社会的厚生は増加することを明らかにした。逆に、市場シェアが小さい場合、乗り換え市場の潜在旅客数が比較的多い場合に限り、全市場の社会的厚生は増加することを示した。それ以外の場合には、社会的厚生は減少するため、国内市場（市場2）の状況および旅客数をもとに、各輸送機関は提携関係を結ぶかどうかを判断すべきであるといえる。

これらの成果は研究発表[17],[20],[21]にて報告し、現在、論文誌に投稿中である。

表1. 容量制約のない場合の価格およびシェアに対する提携効果

		価格	シェア	総需要
市場1	航空	=	=	=
市場2	航空	+	±	-
	鉄道	+	±	-
市場3	航空	+	-	+

表2. 容量制約のない場合の社会的厚生に対する提携効果

	総利益	消費者余剰	社会的厚生
市場1	=	=	=
市場2	±	-	±
市場3	+	+	+

(2)空港の容量制約を考慮した場合、競合モデルおよび提携モデルともに最適価格を解析的に求めることができるが、解の構造は複雑である。特に、空港容量に対する限界利得の大きさが各モデルの最適価格に影響するため、両モデルの比較が困難となる。そこで、本研究では、提携の目的の1つである空港に対する航空の総需要が提携により減少する場合に限定し、市場シェアや社会的厚生に関する分析を行った。

表3は最適価格およびシェアに対する影響を示している。表1と比較すると、提携によ

って航空需要が減少する場合、鉄道がアクセス不能な路線（市場1）および国外からの乗り継ぎ路線（市場3）に容量が配分され、総需要が増加することがわかる。さらに、表4より、社会的厚生も増加する。しかし、市場2では、空港の容量サイズと非購買選択による効用の大きさとの関係により、提携効果は変化する結果となった。ただし、容量制約のない場合と同様に、市場2において両機関が国内市場シェアを大きく占めている場合には、市場2および全市場の社会的厚生は増加することを示した。

また、提携のデメリットとして、(i)鉄道と航空が競合する国内市場では、提携により独占となるため、航空価格が値上がりする可能性が高い。(ii)提携により、国内航空需要が減少し、地方空港の需要が減少することを指摘した。

これらの成果は研究発表[2],[4]にて報告し、現在、論文にまとめている。

表3. 容量制約のある場合の価格およびシェアに対する提携効果

		価格	シェア	総需要
市場1	航空	-	+	+
市場2	航空	±	±	±
	鉄道	+	±	±
市場3	航空	±	±	+

表4. 容量制約のある場合の社会的厚生に対する提携効果

	総利益	消費者余剰	社会的厚生
市場1	+	+	+
市場2	±	±	±
市場3	+	+	+

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 6 件)

1. K. Sato, K. Nakashima and H.Ting (2015). Optimal Safety-stock Policies for a Supply Chain under Forecast Errors, Proceedings of the 16th Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference (APIEMS 2015). (査読有)
2. K. Sato (2015). Dynamic Pricing with

Customer Purchase Postponement, *International Journal of Industrial Engineering: Theory, Applications and Practice*, 22(1), pp.159-170. (査読有)

3. 佐藤公俊, 澤木勝茂 (2015). 部分観測マルコフ決定過程による償還条項付有価証券の評価, 数理解析研究所講究録, ファイナンスの数理解析とその応用, 1933, pp. 157-167. (査読無)
4. K. Sato and K. Sawaki (2014). The Dynamic Pricing for Callable Securities with Markov-Modulated Prices, *Journal of the Operations Research Society of Japan*, 57(3-4), pp.87-103. (査読有)
5. 佐藤公俊, 八木恭子, 嶋崎真仁 (2014). 不確定環境下の協調型サプライチェーンにおける最適在庫政策について, 日本設備管理学会秋季研究発表会, 論文集, pp.7-10. (査読無)
6. K. Sato and Y. Chen (2014). High-speed Rail and Airline Cooperation under the Multinomial Logit Model: Model and Properties. In Proceedings of the 7th International Forum on Shipping, Ports and Airports, pp. 84-92. (査読有)

[学会発表](計 21 件)

1. 佐藤公俊 (2016年3月3日) 部分観測マルコフ決定過程による償還付請求権の評価と最適戦略, YNU Economics Workshop, 横浜国立大学 (神奈川県・横浜市) .
2. 佐藤公俊, Y. Chen (2016年3月17日) 航空と鉄道の提携と社会的厚生, 日本オペレーションズ・リサーチ学会2016春季研究発表会, アブストラクト集, pp.157-158, 慶應義塾大学 (東京都・港区) .
3. 中本達也, 佐藤公俊, 中島健一 (2016年3月6日) スーパーマーケットにおける生

鮮食品の値引き戦略に関する研究, 日本経営工学会, 生産物流部門, 第4回産学交流ワークショップ, 伊勢シティホテル (三重県・伊勢市) .

4. 佐藤公俊 (2016年2月7日) 多項ロジットモデルによる航空と鉄道の提携モデル構築と社会的厚生の分析, 日本オペレーションズ・リサーチ学会, 数理的発想とその実践, 第5回研究部会, しきぶ温泉 (福井県・越前市) .
5. K.Sato (19<sup>th</sup>, February 2016). Effects of Competitor Presence on Price Trends in a Dynamic Pricing, Winter Workshop on Operations Research, Finance and Mathematics, Hokkaido (北海道・上川郡) .
6. K.Sato, K.Nakashima and H.T.Ting (9<sup>th</sup>, December 2015). Optimal Safety-stock Policies for a Supply Chain under Forecast Errors, Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference, Ho Chi Minh City, Vietnam.
7. 韓婷婷, 佐藤公俊, 中島健一 (2015年11月28日) プロダクトライフサイクルを考慮したサプライチェーン・マネジメントに関する研究, 日本経営工学会秋季大会, アブストラクト集, pp.126-127, 金沢工業大学 (石川県・金沢市) .
8. H.T.Ting, K.Nakashima and K.Sato (1<sup>th</sup>, November 2015). Optimal Inventory Control Models with a Distribution Center, The 3<sup>rd</sup> International Workshop on Production and Logistics, Otsu, Japan.
9. 佐藤公俊 (2015年10月10日) 部分観測可能なマルコフ変調価格過程の下での償還付請求権の評価, 日本オペレーションズ・リサーチ学会, 3研究部会合同研究会, 名古屋工業大学 (愛知県・名

- 古屋市) .
10. 佐藤公俊 (2015年8月28日) 収益管理における最適価格の変動傾向とその要因, 日本オペレーションズ・リサーチ学会研究部会, 不確実性環境下の意思決定モデリング, 大阪工業大学 (大阪府・大阪市) .
  11. 佐藤公俊, 高嶋隆太, 内藤優太 (2015年3月26日) 多段回投資における最適投資回数の分析, 日本オペレーションズ・リサーチ学会2015春季研究発表会, アブストラクト集, pp.262-263, 東京理科大学 (東京都・新宿区) .
  12. 佐藤公俊 (2015年2月13日) 価格調整による在庫管理, 第10回「地域の明日を考える」大学セミナー, 由利本荘市文化交流会館カダーレ (秋田県・由利本荘市) .
  13. 中村俊晶, 佐藤公俊, 八木恭子, 木村寛 (2014年12月14日) オプションを用いたチケット販売モデルのプロ野球日本シリーズへの応用, 2014年度「都市のOR」ワークショップ, 南山大学 (愛知県・名古屋市) .
  14. 佐藤公俊, 澤木勝茂 (2014年11月26日) The Dynamic Valuation of Callable Securities with Partially Observable Regime Switches, 数理解析研究所研究集会, ファイナンスの数理解析とその応用, 京都大学 (京都府・京都市) .
  15. 佐藤公俊, 八木恭子, 嶋崎真仁 (2014年11月11日) 不確実環境下の協調型サプライチェーンにおける最適在庫政策について, 日本設備管理学会秋季研究発表会, 論文集, pp.7-10, 秋田県立大学 (秋田県・由利本荘市) .
  16. 佐藤公俊 (2014年9月9日) 不確実環境下の協調型SCMにおける最適在庫政策について, 第3回リーンマネジメントシ
- ステム研究部会, 名古屋国鉄会館 (愛知県・名古屋市) .
  17. 佐藤公俊 (2014年8月28日) 高速鉄道による代替輸送を考慮した航空価格決定モデル, 日本オペレーションズ・リサーチ学会2014秋季研究発表会, アブストラクト集, pp.186-187, 北海道科学大学 (北海道・札幌市) .
  18. 佐藤公俊, 八木恭子, 嶋崎真仁 (2014年8月28日) 供給の不確実性と協調型在庫管理モデル, 日本オペレーションズ・リサーチ学会2014秋季研究発表会, アブストラクト集, pp.16-17, 北海道科学大学 (北海道・札幌市) .
  19. K.Sato and A.Suzuki (13<sup>th</sup>, July 2014). Optimal Impulse Control for Cash Management with Double Exponential Jump Diffusion Processes. International Federation of Operational Research Societies, Barcelona, Spain .
  20. 佐藤公俊 (2014年6月30日) 高速鉄道と航空の提携による輸送サービスと空港の混雑緩和について, 第4回中部圏研究フォーラム, 中部圏経済研究所 (愛知県・名古屋市) .
  21. K. Sato and Y. Chen (19<sup>th</sup>, May 2014). High-speed Rail and Airline Integration under the Multinomial Logit Model. International Forum on Shipping, Ports and Airports, Hong Kong, China.
- 〔図書〕(計 件)
- 〔産業財産権〕  
出願状況 (計 件)
- 名称 :  
発明者 :  
権利者 :  
種類 :  
番号 :  
出願年月日 :

国内外の別：

取得状況（計 件）

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

取得年月日：

国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6．研究組織

(1)研究代表者

佐藤公俊 (Kimitoshi Sato) 神奈川大学・  
工学部・助教

研究者番号：60609527

(2)研究分担者

( )

研究者番号：

(3) 研究協力者

Yihsu Chen