

首都圏における航空旅客の 空港-アクセス手段同時選択行動の分析

福田 剛之¹・福田 大輔²・花岡 伸也³・坂下 文規⁴

¹学生会員 東京工業大学大学院修士課程 理工学研究科土木工学専攻 (〒152-8552 目黒区大岡山 2-12-1-M1-11)
E-mail: t.fukuda@plan.cv.titech.ac.jp

²正会員 東京工業大学大学院准教授 理工学研究科土木工学専攻 (〒152-8552 目黒区大岡山 2-12-1-M1-11)
E-mail: fukuda@plan.cv.titech.ac.jp

³正会員 東京工業大学大学院准教授 理工学研究科国際開発工学専攻 (〒152-8550 東京都目黒区大岡山 2-12-1-I4-12)
E-mail: hanaoka@ide.titech.ac.jp

⁴正会員 社会システム株式会社 社会経済部 (〒153-0043 目黒区東山 1-5-4 中目黒ビジネスセンタービル)
E-mail: sakashita@crp.co.jp

本研究では、羽田と成田という複数の国際空港を有する首都圏を対象に、2010年の羽田国際化後の国際航空旅客動態調査を用い、航空旅客の空港-アクセス手段同時選択行動の分析を行った。集計分析より、フライト頻度、居住地や年収によって空港-手段選択行動が規定されることが示された。次にNested Logitモデルを用いた非集計分析より、航空運賃、フライト頻度、アクセス時間/フライト時間が選択行動における主要な要因であることが明らかになり、フライト距離帯によってアクセス時間の感度が異なることが確認された。また、アクセス時間の不確実性が負の効用を及ぼすことも示された。最後に、成田空港行鉄道のアクセス時間短縮による各交通機関分担率の弾力性を算出し、モード間での需要の転換に比べて空港間での需要の転換が生じにくいことが示された。

Key Words : multiple airport, airport choice, access mode choice, travel time reliability, nested logit model

1. はじめに

(1) 複数空港圏としての首都圏

首都圏は東京都に羽田空港、千葉県に成田空港という2つの国際空港を有する複数空港圏である。以前は国内線は羽田空港、国際線は成田空港という明確な機能分担がなされていたが、2010年10月に羽田空港が本格的に国際線の就航を開始して以降、両空港の機能分担はなくなり、競合関係となった。海外の主要都市圏では空港機能分担ルールを用いて各空港が互いに補完的な役割を担うことが多い。首都圏でも羽田、成田両空港を一体的に運用し、国際水準の首都圏空港の形成を目指す議論がなされている。一体運用のような戦略的な空港計画、運営を行うにあたって、現在の航空旅客の空港選択構造を分析することは非常に重要である。

複数空港圏における航空旅客の空港選択行動においては、空港へのアクセシビリティも大きな要因の一つである。我が国、特に首都圏では、鉄道ネットワーク網が非常に発達しており、両空港への鉄道アクセスが容易であることが大きな特徴である。我が国の鉄道交通は非常に高い定時性を有している。一方、自動車、空港バス等の道路交通では、朝夕のラッシュ時を中心に渋滞が発生しやすく、時間信頼性の高い交通手段であ

るとは言えない。特に航空では、フライトに遅れることによる不効用が他の交通に比べて非常に高く、旅行時間信頼性が空港、アクセス手段選択行動に及ぼす影響は少なくないと考えられる¹⁾。

(2) 空港選択とアクセス手段選択の既存研究

これまでの複数空港についての研究では、空港選択、空港アクセス手段選択の両分野について多くの研究が行われてきた。

同一都市圏の複数空港を対象とし、選択行動の有意な説明要因の推定を目的とした既往研究を表-1にまとめる。論文中に記載がなかった項目は空欄としている。ここから、空港選択における主たる説明要因は、アクセス時間、アクセス費用とフライト頻度であることが示される。まず空港選択モデルとして、Skinner²⁾、Harvey³⁾、Hansen et al.^{4) 5)}、Windle et al.⁶⁾のモデルはアクセス交通機関選択を考慮せず、代表アクセス交通機関を自家用車とした非集計の多項ロジットモデルを適用した空港選択モデルを構築した。Hess et al.⁷⁾は、目的等のセグメンテーションによって航空旅客の効用の不確実性が違うことに着目し、Mixed Logitモデルを適用し、サンフランシスコ居住者の空港選択行動を分析した。これまでの研究と同様、運賃、頻度、アクセス時間が主た

表 - 1 複数空港を対象とした空港選択モデルの既往研究と説明要因

著者	対象地区	説明要因	データ	調整済尤度比
Skinner (1976)	ワシントン	アクセス時間, アクセス費用, 頻度	RP	0.59～0.69
Augustinus et al. (1978)	ニューヨーク	アクセス時間, アクセス費用	RP	
Harvey (1987)	サンフランシスコ	アクセス時間, 直行便の運行頻度, 航空機の種類	RP	0.610～0.756
Hansen et al. (1993,1995)	サンフランシスコ	アクセス時間, 同伴人数, 距離	RP	0.498～0.510
Windle et al.(1995)	ワシントン	アクセス時間, フライト頻度, 旅行経験	RP	
Pels et al.(2000)	サンフランシスコ	航空運賃, アクセス時間, フライト頻度	RP	
Hess et al. (2005)	サンフランシスコ	航空運賃, アクセス時間, フライト頻度	SP	
Udayasen et al. (2007)	東京	航空運賃, アクセス時間, フライト頻度	SP	0.535
Ishii et al. (2009)	サンフランシスコ	アクセスシビリティ指標, 航空運賃, フライト頻度	RP	

る選択要因であるが、ビジネス旅客がよりアクセス時間に敏感であるという結論をより支持する結果を得た。Ishii et al.⁸⁾ は、サンフランシスコを対象として、航空旅客の選択した出発、到着空港によって重み付けされる Conditional Weighted Logit Model を適用し、空港間、エアライン間の運賃、頻度、アクセスシビリティにおけるトレードオフを分析した。ビジネス旅客だけでなく、レジャー旅客に対してもフライト運航頻度がより重要であることを導いた。サンフランシスコにおいては、アクセス性の高い空港に多くの便数が運航し、一方で都心から離れた空港に低運賃のフライトが就航することで間接的に競合関係となっていることを明らかにした。以上のように、当該時点での行動分析を目的として RP データを用いた分析のみならず、新たな選択肢の変化に対する行動変化等を明示するために、SP データを用いた研究も行われている。Udayasen et al.⁹⁾ は、羽田、成田という複数空港圏において、航空運賃、アクセス時間、フライト頻度の 3 項目に関する SP 調査を行い、非集計モデルによる分析を行った。結果、航空旅客はフライト頻度よりも航空運賃とアクセス時間をより重要視する傾向があることが示された。

次に、空港へのアクセス手段選択についてもこれまで多くのモデルが構築され、選択行動に有意な説明変数が明らかにされている。これらを表 - 2 にまとめる。論文中に記載がなかった項目は空欄としている。アクセス手段の選択では、アクセス時間、アクセス費用、乗換回数が主たる説明要因であることが示される。主に交通需要予測に用いることを念頭にロジットモデルを適用し、空港アクセス手段の選択要因を明らかにすることを目的とした研究が多く行われている。Harvey¹¹⁾ は、空港へのアクセスシビリティが空港選択、航空需要に重要であるとして、サンフランシスコベイエリア居住者を対象に分析を行った。高瀬ら¹⁵⁾ は、全国の主要

表 - 2 空港アクセスに関する既往研究のまとめ

著者	対象地区	説明要因	データ	調整済尤度比
Nakano et al. (1983)	札幌	アクセス費用, アクセス時間, 待ち時間	RP	0.120～0.176
Harvey (1986)	サンフランシスコ	アクセス費用, アクセス時間	RP	0.342～0.353
Kishitani et al. (1990)	大分	アクセス費用, アクセス時間	RP	
Naohara et al. (1993)	日本の地方空港	アクセス費用, アクセス時間, 年収	RP	0.132～0.135
Morikawa (1995)	中部国際空港	アクセス費用, アクセス時間, 乗換回数	RP	0.377～0.821
Takase et al. (2000)	日本の数空港	アクセス費用, アクセス時間, 乗換回数	RP	0.146～0.225
Ayaki (2006)	羽田	アクセス費用, アクセス時間, 乗換回数, 運航頻度, 時間信頼性	RP	0.307～0.782
Tam (2008)	香港	アクセス費用, アクセス時間, 乗換回数, 荷物数, 同伴人数, セーフティーマージン	RP	0.612

表 - 3 空港 - アクセス同時選択に関する既往研究のまとめ

著者	対象地区	説明要因	データ	調整済尤度比
Hanaoka (2003)	東京	アクセス費用, アクセス時間, フライト頻度	RP	0.21
Pels et al. (2003)	サンフランシスコ	アクセス費用, アクセス時間, 航空運賃, フライト頻度	RP	
Sone (2005)	福岡	アクセス費用, アクセス時間, 座席数	RP	0.351
Hess et al. (2006)	サンフランシスコ	アクセス費用, アクセス時間, 待ち時間, 航空運賃, フライト時間, フライト頻度	RP	0.395～0.601
Yamashita (2009)	日本	アクセスシビリティ指標, ラインホール時間, フライト頻度	RP	0.414～0.577

な国際空港アクセスをモデル化し、空港間におけるアクセスモデルの移転可能性について分析を行っており、交通アクセス形態の似ている空港間での移転可能性が高いことを示した。空港アクセス手段の選択要因が明らかにされてきた中で、新たな説明要因に着目した研究も近年行われている。綾城ら¹⁷⁾ は、羽田空港利用者にアンケートを実施し、羽田空港へのアクセス行動の実態調査を行い、その結果を基にアクセス手段選択モデルを構築した。実施したアンケートにより、航空旅客はバスの遅れを実態より大きく感じる傾向にあることを明らかにした。そのために空港アクセスバスの利用を控えている航空旅客が一定数いるとし、アンケート結果から得られたアクセス所要時間のばらつきから時間信頼性指標を求め、説明変数に加えた分析を行った。Tam et al.¹⁸⁾ は、香港国際空港へのアクセス行動を非集計ロジットモデルを用いて分析した。その中で、期待到着時間よりも早く到着するセーフティーマージンの大きさを分析し、ビジネス旅客がアクセス時間だけでなく、セーフティーマージンにも敏感であることを明らかにした。

表 - 4 サンプル数

	2010 年 11 月		2011 年 8 月		2011 年 11 月	
	羽田空港	成田空港	羽田空港	成田空港	羽田空港	成田空港
国際旅客動態調査	2508	3313	2019	2921	2149	2666
分析対象	1794	1091	1587	1125	1630	956

このように、空港選択に関する研究も空港アクセスに関しても多くの研究が行われてきた。一方、本研究のように、複数空港圏における空港選択とアクセス手段選択を同時に考慮した研究も行われてきた。特に日本では、鉄道や空港アクセスバス等の公共交通アクセスの整備が充実しており、アクセス交通手段の選択は空港選択に大きな影響を与えられられる。空港選択、空港アクセスに関する既往研究を表 - 3 にまとめる。当時、羽田空港に就航している国際線は少なかったが、花岡¹⁹⁾は、国際航空旅客動態調査を基に首都圏から台北への航空旅客についてネスティッドロジットモデルを適用し、空港選択、空港アクセス手段選択の分析を行った。このモデルでは、実勢運賃を正確に反映できず、航空運賃は有意とはならなかった。Pels et al.²⁰⁾は、サンフランシスコにおいてネスティッドロジットモデルを適用し、空港選択、アクセス手段選択の分析を行った。レジャー目的の際はアクセス費用に、ビジネス目的だとアクセス時間に敏感に反応するという目的による行動の違いを導いた。曽根²¹⁾は、北九州空港の供用開始に伴って、国際航空旅客動態調査を基に北九州、福岡空港出発、羽田行きの航空旅客の空港選択、アクセス手段選択の分析を行った。航空に関する説明変数として、提供座席数が有意に働くこと導いた。Hess et al.²²⁾は、サンフランシスコベイエリアにおいてネスティッドロジットモデルを適用し、目的別、収入別でセグメント分けをし分析を行った。運行頻度とアクセス乗車時間がより重要であると結論づけている。山下²³⁾は、複数空港圏では、都市圏間を結ぶ路線が複数運行されており、空港運営や利用者利便の観点から、機能分担や乗り入れ規制等の航空政策の包括的な検討をする余地が多く残されているとし、複数空港圏における空港アクセス性を考慮した航空経路選択モデルの構築を試みている。その結果、複数空港地域の航空経路選択行動をネスティッドロジット型のモデルで表現することは困難であり、空港アクセスに関するサービス変数の設定を更に検討する必要があることを示している。

(3) 目的

本研究は、2010 年の羽田空港国際化により羽田、成田両空港が競合関係となったことに伴い、改めて首都

圏の複数空港圏における空港選択構造を明らかにすることが重要と考え、羽田、成田両空港への空港-アクセス手段同時選択に関する分析を行う。現在の航空旅客の空港選択構造を分析することは、一体運用のような戦略的な空港計画、運営を行うにあたって重要である。特に我が国のような公共交通が高水準で整備されている都市圏では、アクセス時間、費用のみならず、アクセス時間信頼性の違いがアクセス手段選択に及ぼす影響が大きいと考えられる。そこで、まず集計レベルにおいて、基礎集計分析を行い、航空旅客の選択行動の傾向を把握し、仮説構築の基礎とする。次に、非集計分析として MNL モデル、NL モデルを用いた分析を行う。

2. 用いるデータと分析対象となる航空旅客

本研究では、国際航空旅客動態調査と JTB 時刻表²⁴⁾^{25) 26)} の二つのデータソースを主として利用する。国際航空旅客動態調査は国土交通省によって行われている調査である。本研究では、羽田国際化以降の調査である、2010 年 11 月、2011 年 8 月、2011 年 11 月の三時点のデータをプールして使用する。また、JTB 時刻表に記載の空港アクセスに関するデータ、就航路線に関するデータを LOS 作成において使用する。

本研究では、上記の国際航空旅客動態調査のデータの中から、関東 7 県に居住しており、航空旅客の目的地へ羽田、成田の両空港から運航しているフライトを利用した航空旅客を対象とする。分析対象となるサンプル数を表 - 4 に示す。

3. 基礎集計分析

上記の分析対象者のデータを用いて基礎集計分析を行い、航空旅客の空港選択、空港アクセス行動の傾向を把握し、仮説構築の基礎とする。

(1) 空港選択

本研究の対象者を目的別、フライト距離帯別に集計した結果を以下、図 - 1、図 - 2 に記す。ここでフライト距離帯の分類と就航都市は表 - 5 の通りである。また、図 - 3 に居住地別の空港選択シェアを示す。

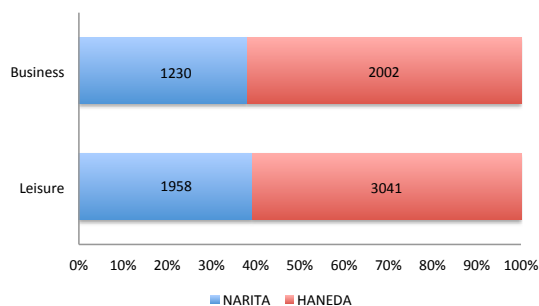


図 - 1 目的別空港選択シェア

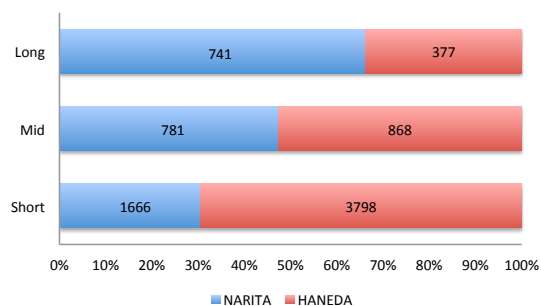


図 - 2 距離帯別空港選択シェア

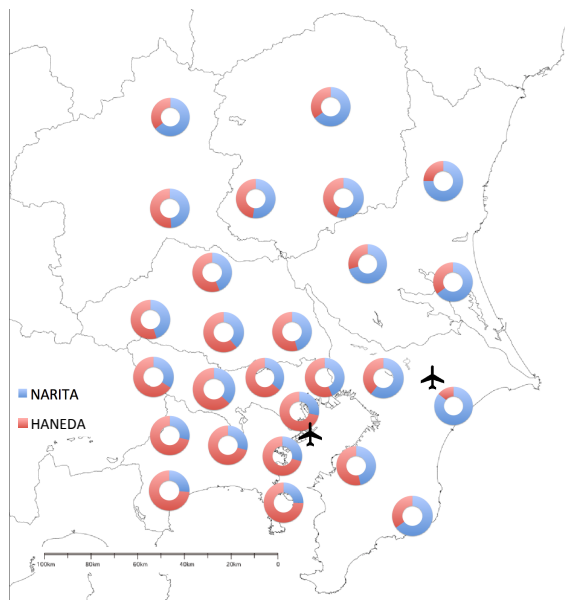


図 - 3 居住地別空港選択シェア

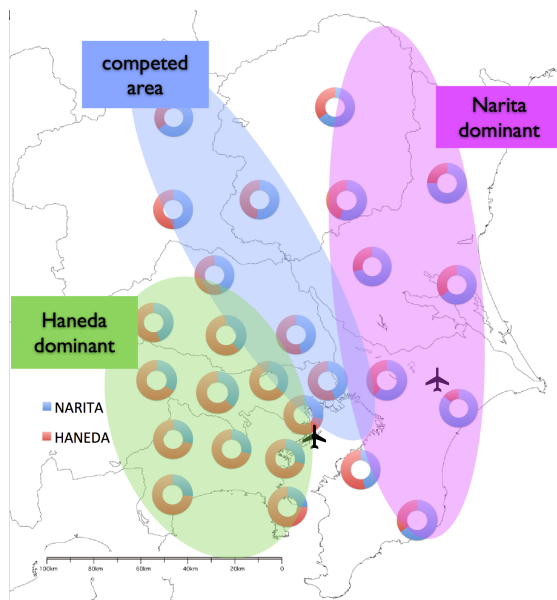


図 - 4 居住地別空港選択シェアとエリア大別

表 - 5 フライト距離帯

近距離 ～ 4 時間	中距離 4 ～ 8 時間	長距離 8 時間 ～
北京	シンガポール	サンフランシスコ
上海	バンコク	ロサンゼルス
ソウル	クアラルンプール	パリ
台北	コタキナバル	ロンドン
香港	ホノルル	ニューヨーク デトロイト

図 - 1 より、旅行目的による空港選択の違いは確認できず、旅行目的は空港選択に関係ないと考えられる。一方、図 - 2 より、フライト距離帯別に空港選択結果を見ると、近距離航空旅客には羽田空港が、長距離航空旅客には成田空港が優位である。これは、羽田空港

は都心からのアクセス性は高いが、表 - 6 に示す通り、長距離便の就航頻度が成田空港に比べて極端に低いことが影響していると考えられる。

居住地別の空港選択では、空港選択のシェアから、図 - 4 のように、成田優勢エリア、羽田優勢エリア、拮抗エリアの三つのエリアに分類することができる。これらは、空港からの距離に大きく依存しており、航空旅客は居住地から近い空港を選ぶ傾向にある。

(2) アクセス手段選択に関する分析

次に、アクセス手段選択に関して目的別、フライト距離帯別に集計した結果を図 - 5、図 - 6 に示す。また、居住地によるアクセス手段選択シェアの結果を図 - 7、図 - 8 に示す。

図 - 5 より、ビジネス旅客では鉄道交通、特に成田空港利用者では特急列車（京成スカイライナー、成田エクスプレス）の分担率が高くなっている。つまりビジネス航空旅客は、よりアクセス時間が短く、到着時



図 - 5 目的別アクセス手段選択シェア

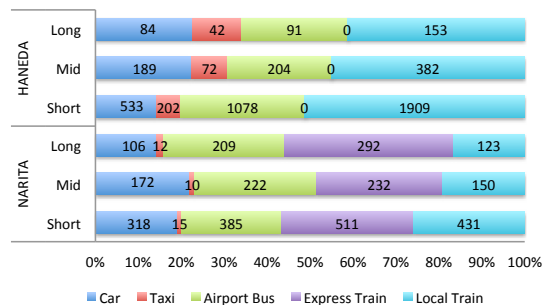


図 - 6 距離帯別アクセス手段選択シェア

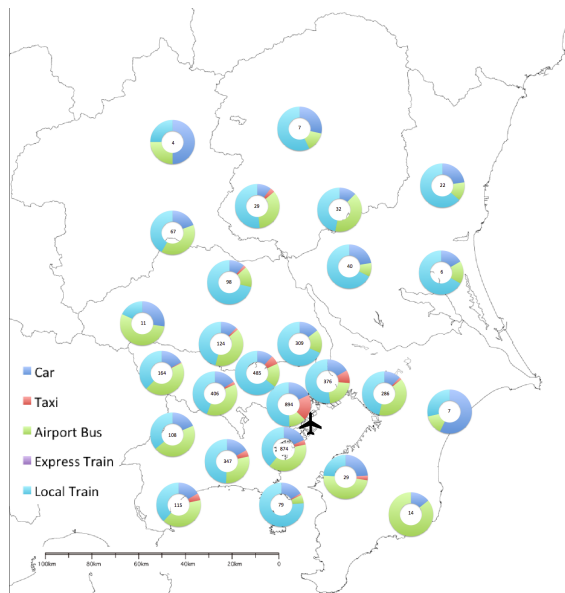


図 - 7 居住地別アクセス手段分担率（羽田空港行）

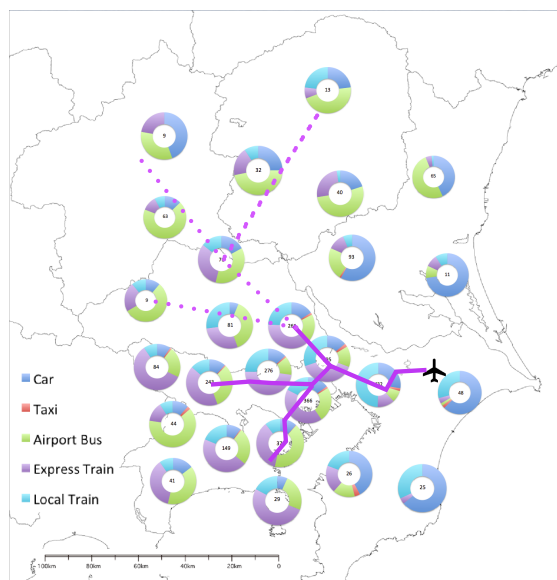


図 - 8 居住地別アクセス手段分担率（成田空港行）

表 - 6 距離帯別フライト就航便数（2010年11月時点）

便数/日	羽田	成田
ソウル	11	13
シンガポール	4	7
ロサンゼルス	1	8

間信頼性の高いアクセス交通機関を好むことがわかる。距離帯別の結果（図 - 6）では、フライト距離が長くなるにつれ普通列車の分担率が低くなる。つまり、普通列車に比べて運賃が高くなる交通機関を好む傾向が見られる。この理由として、長距離フライト航空旅客の方が航空運賃が高く、荷物も多くなるためと考えられる。また、羽田空港の中・長距離便は深夜、早朝のみであり、日中就航している近距離便と各交通機関のアクセス条件が異なることも影響を与えと考えられる。一方、花岡¹⁹⁾は、フライト時間の短い航空旅客の方が

よりアクセス時間に対してより敏感であるとしているが、集計結果からはこの傾向を見ることはできない。

居住地別のアクセス手段選択の分担率では、羽田空港へのアクセスでは普通列車が選択されやすい交通機関である。また、羽田空港に近い都心エリアではタクシーの分担率が他のエリアに比べて極めて高いという特徴が見られる。成田空港へのアクセス手段分担では、千葉県、茨城県南部では普通列車の分担率が高い。地図上、紫の線で示されるルートは特急列車沿線を表しており、この特急列車路線に沿った居住エリアでは特急列車の分担率が高いことがわかる。

次に、航空旅客の年収、航空運賃、でセグメント分けした集計結果を図 - 9～図 - 12 に示す。年収別の結果では、羽田空港利用者の中で、高所得の方が普通列車以外のアクセス費用が高い交通機関を利用する傾向にある。成田空港利用者では、年収による鉄道分担率はあまり変化がなく、自動車の分担率のばらつきが見られる。航空運賃別の結果では、航空運賃の高い航空

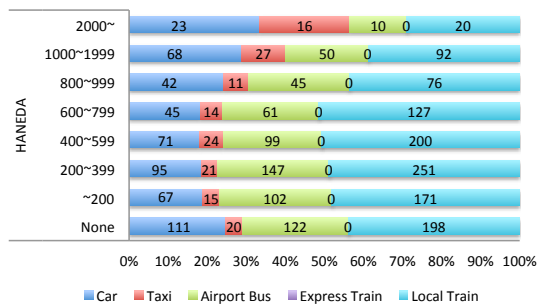


図 - 9 年収別アクセス手段選択シェア（羽田空港行）

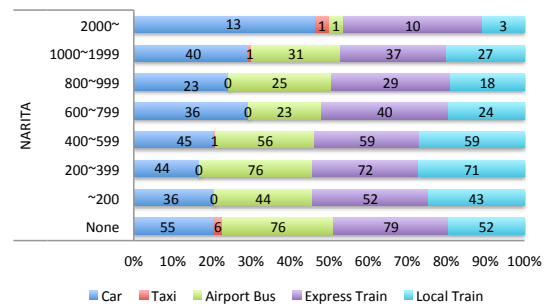


図 - 10 年収別アクセス手段選択シェア（成田空港行）

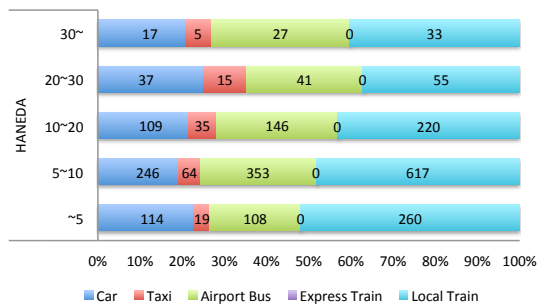


図 - 11 航空運賃別アクセス手段選択シェア（羽田空港行）

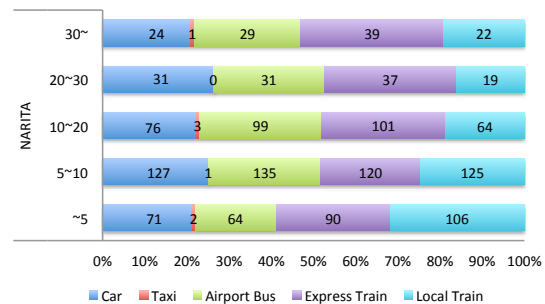


図 - 12 航空運賃別アクセス手段選択シェア（成田空港行）

旅客の方が普通列車以外のアクセス費用の高い交通機関を利用する傾向が見られ、航空運賃の違いによるアクセス費用への感度に違いがあると考えられる。

(3) 集計結果に基づく仮説構築

以上の集計結果から得られた仮説を以下にまとめる。

- 羽田空港国際化直後は羽田空港就航の長距離路線が少なく、フライト距離帯によるフライト便数の違いが空港選択に影響を与えと考えられる。
- 航空旅客の居住地によって空港選択が異なり、航空旅客は居住地からより近い空港を選択する傾向にある。空港から居住地への距離は間接的に空港までのアクセス時間やアクセス費用に影響するためと考えられる。
- ビジネス航空旅客はより時間信頼性の高いアクセス交通機関を選択する。本研究のテーマの一つでもある到着時間の信頼性がアクセス手段選択に影響を与えと考えられる。
- アクセス手段選択は居住地や居住地が鉄道路線沿線かどうか大きく影響を受ける。アクセス時間やアクセス費用だけでなく、居住地からバスや鉄道のターミナルまでの距離等アクセス交通機関の利用しやすさがアクセス手段選択に影響を与えと考えられる。

表 - 7 データセットの概要

アクセス交通	航空
アクセス手段	出発空港
アクセス実所要時間	到着空港
アクセス時間	フライト実運賃
アクセス費用	フライト便名
時間信頼性指標（バス、自動車）	航空券タイプ
乗換回数（鉄道）	座席クラス
	フライト運賃
	フライト頻度
	フライト時間

この仮説を基にして、時節では非集計モデルを構築する。

4. 空港-アクセス手段同時選択モデル

非集計分析を行うにあたり、選択・非選択交通手段の Level of Service (LOS) データの作成を行う。作成されたデータセットの概要を表 - 7 に記す。

(1) アクセス交通機関に関する LOS

本研究では、自動車、空港アクセスバス、鉄道の3つのアクセス交通手段に関する各空港へのアクセス所要

時間、アクセス費用、乗換回数（鉄道）のLOSデータの作成を行った。自動車のLOSでは、出発地最寄道路から空港までの最短時間経路によって得られる時間を所要時間とし、道路走行時の燃料消費量による経費、有料道路の通行料金の合計値を所要費用とする。空港アクセスバスのLOSでは、発着地間の最短時間経路におけるバスの乗車時間、バスと鉄道の乗換時間、鉄道の乗車時間、鉄道間の乗換時間、鉄道駅、バス停までのアクセス・イグレス時間の合計値を所要時間とする。所要費用はバス事業者HPの路線別の運賃を参考に算出した。鉄道のLOSでは、発着地間の時間最短経路における鉄道の乗車時間、鉄道相互の乗換時間、鉄道駅までのアクセス・イグレス時間の合計値を所要時間とする、所要費用は時刻表をもとに算出した。

(2) 航空に関するLOS

航空運航データは、JTB時刻表を基にデータ作成を行う。航空運賃データの作成方法を以下に示す。

航空旅客の利用空港発の航空運賃は、国際航空旅客動態調査にて調査した結果を採用する。アンケート調査にて未回答の航空運賃は、同ルート利用者の平均航空運賃にて補完を行う。一方、非利用空港発の航空運賃は株式会社OFC出版の日本発キャリア運賃^{27) 28) 29)}に記載の航空運賃を参考に設定する。日本発キャリア運賃に記載の航空運賃の中から当日まで予約可能なチケット種類の10月第一週における航空運賃の平均値を各座席クラス、平日、休日ごとに設定した。なお、確認のため、日本発キャリア運賃に記載のキャリア運賃最安値を用いて作成されたLOSデータを用いて別途推計を行ったところ、推定結果の符号が一致しなかったため採用しなかった。

フライト時間、フライト運航頻度についてもJTB時刻表に記載の情報を採用した。非選択空港発のフライト時間については、当日出発する全フライトの平均フライト時間を採用した。

(3) 道路交通の時間信頼性指標

本研究では、過去の空港-アクセス手段同時選択行動の研究では考慮されてこなかった時間信頼性による選択行動の影響を分析する。本研究における時間信頼性指標にはJTB時刻表に記載の空港アクセスバス所要時間の最小値と最大値の差によって与えるものとする。JTB時刻表に非記載の場合は各運行会社への電話調査によって得られた情報をもとに作成する。本研究では、空港アクセスバスの時刻表をもとに作成した時間信頼性指標を自動車の時間信頼性指標としても使用する。

(4) 多項ロジットモデル(MNLモデル)の推定結果

羽田、成田両空港行きの自動車、空港直行バス、鉄道という計6つの選択肢についてMNLモデルを用いて手段選択分析を行う。MNLモデル構造を図-13に示す。以下、MNLモデルでは、式(1)~(3)で表される効用関数を用いる。航空運賃、フライト便数、アクセスコスト、アクセス時間/フライト時間、は各アクセス交通の効用関数に共通変数である。自動車の効用関数には、時間信頼性指標と長期間旅行ダミーを、バスの効用関数には、時間信頼性指標、長期間旅行ダミーに加えバス乗り場ダミーを加えた。鉄道の効用関数には乗換回数、女性ダミー、65歳以上ダミーという固有変数をそれぞれ加えた。ここで、長期間旅行ダミーとは旅行日数が5日以上であるときに1となるダミー変数であり、バス乗り場ダミーとは、航空旅客の居住市区郡に空港アクセスバスの乗り場がある場合に1となるダミー変数である。

推定結果を以下の表-8に示す。MNLモデルの結果では、尤度比も高く、多くの変数の符号も正常な値が得られた。但し、全てのモデルにおいて、アクセスコストのパラメータ値が正になってしまっていることがわかる。これは、航空旅客がアクセス時間が短く、定時性の高い交通機関を好むために、費用が高くなってしまふことが原因と考えられる。航空運賃、フライト頻度、アクセス時間/フライト時間の3つの変数ではt値も大きく、これらが空港-アクセス手段同時選択における主要な要因であると考えられる。乗換回数や女性ダミー、長期間旅行ダミー、65歳以上ダミーもいくつかのモデルにおいては仮説通りの結果が得られた。また、本研究の特徴でもある時間信頼性についても、負の値が得られ、航空旅客の選択行動に時間信頼性が影響を与えるという仮説を支持する結果となった。バス乗り場ダミーも高いt値を得ることができ、航空旅客の居住地によってアクセス手段選択の可能性が変化することがわかる。

(5) ネスティッドロジットモデル(NLモデル)の推定結果

図-14のように羽田、成田の空港選択を上層に、各空港について自動車、空港バス、鉄道という3つのアクセス手段選択が下層にあるネスト構造をしたNLモデルを用いて分析を行う。効用関数については、MNLモデルと同じ効用関数を設定した。

推定結果を以下の表-9に示す。NLモデルでは、概ね多くのモデルにおいて尤度比が高く、仮説通りの符号も得られた。適合度はMNLモデルの方が高いが、係数全体の適合を考慮し、本研究ではNLモデルを基礎モデルとして分析を進める。全目的モデル(表-9)にお

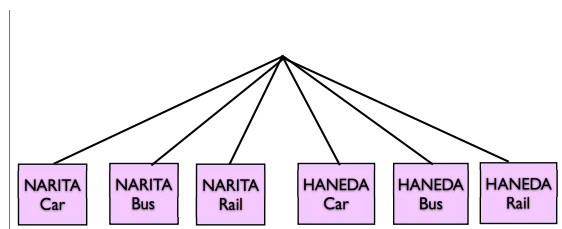


図 - 13 MNL モデル構造

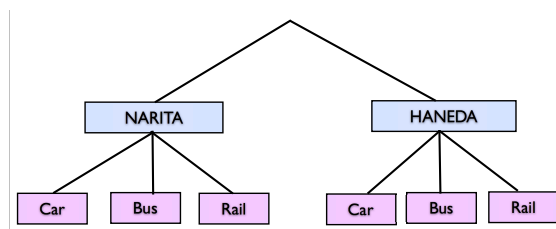


図 - 14 NL モデル構造

$$V_{Car} = \beta_{FlightFare} \times (Flight\ Fare) + \beta_{FlightFrequency} \times \log(No.of\ Flights/day) + \beta_{time} \times \frac{Access\ Time}{Flight\ Time} + \beta_{AccessCost} \times (Access\ Cost) + \beta_{Reliability} \times (Time\ Reliability) + \beta_{Duration} \times (Long\ Duration) \quad (1)$$

$$V_{Bus} = \beta_{FlightFare} \times (Flight\ Fare) + \beta_{FlightFrequency} \times \log(No.of\ Flights/day) + \beta_{time} \times \frac{Access\ Time}{Flight\ Time} + \beta_{AccessCost} \times (Access\ Cost) + \beta_{Reliability} \times (Time\ Reliability) + \beta_{Duration} \times (Long\ Duration) + \beta_{Bus\ Stop} \times (Bus\ Stop) \quad (2)$$

$$V_{Rail} = \beta_{FlightFare} \times (Flight\ Fare) + \beta_{FlightFrequency} \times \log(No.of\ Flights/day) + \beta_{time} \times \frac{Access\ Time}{Flight\ Time} + \beta_{AccessCost} \times (Access\ Cost) + \beta_{Transit} \times \log(No.of\ Transit) + \beta_{age} \times (65\ years\ old\ or\ over) + \beta_{female} \times (Female) \quad (3)$$

表 - 8 MNL モデル推定結果 (目的別)

説明変数	全目的		ビジネス目的		レジャー目的	
	値	t 値	値	t 値	値	t 値
定数項 (羽田-自動車)	-0.881	-8.93	-0.0413	-0.21	-1.16	-9.88
定数項 (羽田-バス)	0.456	4.12	2.05	9.81	-0.211	-1.55
定数項 (羽田-鉄道)	1.27	10.04	2.71	11.63	0.597	3.76
定数項 (成田-バス)	1.94	20.28	2.78	15.47	1.6	13.60
定数項 (成田-鉄道)	1.51	15.41	2.16	12.39	1.13	8.95
航空運賃 (10,000 円)	-0.0568	-16.69	-0.0337	-7.10	-0.074	-15.69
フライト便数 (便/日)	0.469	6.52	1.32	9.65	0.095	1.08
アクセスコスト (円)	0.000393	16.43	0.000459	10.45	0.000361	12.42
アクセス時間/フライト時間	-10.8	-57.30	-11.1	-35.32	-10.7	-44.43
バス乗り場ダミー (バス)	0.471	7.20	0.339	3.22	0.548	6.44
長期間旅行ダミー (自動車, バス)	0.0654	1.11	0.185	1.91	0.00635	0.08
時間信頼性指標 (分)(自動車, バス)	-0.00233	-1.51	-0.00632	-2.49	-4.23E-05	-0.02
女性ダミー (鉄道)	-0.248	-4.30	0.0892	0.57	-0.118	-1.59
65 歳以上ダミー (鉄道)	-0.186	-2.54	-0.367	-2.49	-0.0467	-0.54
乗換回数 (鉄道)	-0.264	-4.08	-0.296	-2.80	-0.229	-2.75
初期尤度	-12481.396		-4769.664		-7611.394	
最終尤度	-7659.931		-2726.261		-4747.944	
修正 ρ^2	0.385		0.425		0.374	
サンプル数	6966		2662		4248	

いて、MNL では正となっていたアクセスコストのパラメータ値が NL モデルでは負となっており、モデル構造の変化により推定結果も改善された。一方、ビジネス目的、レジャー目的と目的別でのモデルではアクセ

スコストが正の値となってしまう、スケールパラメータも 1 を下回る値となった。航空旅客はアクセス時間と到着時間信頼性をより重視するために、結果としてアクセス費用が高くなってしまふことが原因と考えら

表 - 9 NL モデル推定結果 (目的別)

説明変数	全目的		ビジネス目的		レジャー目的	
	値	t 値	値	t 値	値	t 値
定数項 (羽田-自動車)	-0.334	-3.77	-1.68	-7.25	-1.52	-12.32
定数項 (羽田-バス)	-0.038	-0.43	1.67	9.65	-0.327	-2.59
定数項 (羽田-鉄道)	0.547	6.14	5.84	39.65	0.48	4.94
定数項 (成田-バス)	-0.0573	-1.07	1.82	11.64	1.7	17.71
定数項 (成田-鉄道)	0.233	4.29	3.9	24.55	1.15	223.42
航空運賃 (10,000 円)	-0.0507	-16.91	-0.0168	-4.15	-0.0661	-14.77
フライト便数 (便/日)	0.952	16.20	1.94	14.77	-0.0284	-0.34
アクセスコスト (円)	-0.0000716	-4.57	0.000511	12.83	0.000392	14.79
アクセス時間/フライト時間	-3.38	-39.24	-9.29	-35.00	-9.93	-42.63
バス乗り場ダミー (バス)	0.491	11.29	1.07	10.48	0.265	3.51
長期間旅行ダミー (自動車, バス)	-0.0587	-1.72	1.13	10.23	0.11	1.74
時間信頼性指標 (分)(自動車, バス)	-0.00444	-4.68	0.00507	1.95	0.00258	1.49
女性ダミー (鉄道)	-0.138	-4.18	-0.255	-1.55	-0.0896	-1.44
65 歳以上ダミー (鉄道)	-0.0681	-1.64	-1.55	-9.92	-0.0408	-0.53
乗換回数 (鉄道)	-0.158	-4.13	-1.97	-17.28	-0.301	-4.39
スケール (羽田)	1.29	23.96	0.944	382.79	0.979	32.00
スケール (成田)	2.14	29.89	1.24	18.91	1.36	44.59
初期尤度	-12481.396		-4769.664		-7611.394	
最終尤度	-8309.226		-3178.69		-4693.761	
修正 ρ^2	0.333		0.330		0.381	
サンプル数	6966		2662		4248	

れる．多くのモデルにおいて，航空運賃，フライト頻度，アクセス時間/フライト時間の 3 つの変数について大きなパラメータ値と t 値であり，これら 3 つが空港-アクセス手段選択行動の主要な要因であると考えられる．花岡¹⁹⁾でも示された通り，航空旅客の選択行動はアクセス時間/フライト時間に影響を受けることが明らかになった．すなわち，フライト距離帯によってアクセス時間に対する感度が異なることが示された．乗換回数や女性ダミー，長期間旅行ダミー，65 歳以上ダミーもいくつかのモデルにおいては仮説通りの結果が得られた．仮説の通り，女性や年配の航空旅客，長期間の旅行で荷物が多くなることにより鉄道利用時の移動に対する抵抗が示された．また，本研究の特徴でもある時間信頼性についても，負の値が得られ，航空旅客の選択行動に時間信頼性が影響を与えるという仮説を支持する結果となった．バス乗り場ダミーも高い t 値を得ることができ，航空旅客の居住地によってアクセス手段選択の可能性が変化することがわかる．

(6) 時間評価値

推定結果より得られたパラメータ値を用いて時間価値 (Value of Time) を求める．本研究では，モデル推定においてアクセス時間のフライト時間による商を変数として用いているため，下記の式 (4) によって算出する．

$$(\text{時間価値}) = \frac{\beta_{\text{時間}}}{\beta_{\text{アクセス費用}} \times (\text{代表フライト時間})} \quad (4)$$

代表フライト時間は全航空旅客のフライト時間の平均値である 5.6 時間を採用した．本研究での NL 全目的モデルにて算出された時間価値は 149.6(円/分)であり，国土交通省航空局の需要予測モデルにおける時間価値は 60(円/分)よりも高く算出された．

(7) 感度分析

上述したモデル推定結果を用いて求められる弾力性による感度分析を行う．本研究では，成田空港への鉄道アクセス時間の変化に対する各選択肢の弾力性を算出する．算出された結果を表 - 10 に示す．本研究では，成田空港行鉄道のアクセス所要時間の 1% 減に対する弾力性を算出した．

表 - 10 成田行鉄道のアクセス所要時間変化における弾力性

モデル構造	被説明変数	弾力性
MNL モデル	(自己弾力性) 成田行鉄道の選択確率	2.37
	(交叉弾力性) 羽田行鉄道の選択確率	-1.72
NL モデル	(自己弾力性) 成田行鉄道の選択確率	1.53
	(交叉弾力性) 成田行空港バスの選択確率	-1.56
	(交叉弾力性) 羽田行空港鉄道の選択確率	-0.42

MNL モデル, NL モデルともに, 成田鉄道アクセス時間の減少によって成田行鉄道の選択確率が上昇し, その他の選択確率が減少することが示された. MNL モデルでは, 弾力性が高く算出されたが, NL モデルでは値が抑えられた. NL モデルの弾力性の結果から, 成田行鉄道アクセス時間の減少によって同出発空港内での手段選択の転換は生じやすいが, 出発空港選択の転換は生じにくいという結果が得られた.

5. おわりに

本研究では, 羽田と成田という複数の国際空港を有する首都圏を対象に, 航空旅客の空港-アクセス手段同時選択行動について分析を集計レベル, 個人レベル両レベルにて行った. これらの分析から以下のことを明らかにした.

- 空港-アクセス手段同時選択行動においては, 目的, フライト頻度, アクセス時間/フライト時間の3つの変数が主要な選択要因であり, フライト距離帯によってアクセス時間の感度が異なることが確認された.
- 道路交通においてアクセス時間の不確実性が航空旅客の選択行動に負の効用を及ぼすことも示された.
- 推定結果では, アクセス費用がプラスになってしまいが, 航空旅客がアクセス時間と時間信頼性を重視するために, 費用が高い交通機関が選択されることが原因であると考えられる.
- 集計レベルでは, 目的, フライト頻度, 居住地だけでなく, 年収, 航空運賃によっても空港-手段選択行動が規定されることが示された.
- 成田空港行鉄道のアクセス時間短縮による各交通機関分担率の弾力性を算出し, 成田空港へのアクセス改善では空港間の需要の転換が生じにくいことが示された.

次に, 今後の課題を以下に挙げる.

- 航空旅客のより詳細な出発地情報を用い, LOS 作成精度の改善, 推定結果の改善を行う必要がある.
- 羽田空港の中・長距離便は深夜, 早朝のみであり,

日中就航している近距離便と各交通機関のアクセス条件が異なることも影響を与えられられる. そのため, 時間帯によって LOS 設定を分ける必要がある.

- 特にビジネス旅客を中心に, 羽田空港深夜便に対する選好が強いと考えられる. そのため, 出発時間選択を考慮することで, 深夜便に対する選好だけでなく, ラッシュ時の渋滞等を考慮した行動分析を行うことが可能である.
- 本研究は, 首都圏居住者による地上アクセスに着目した分析であるが, 羽田, 成田両空港での乗継旅客を対象とした分析を行うことで一体運用の議論に資する研究を行うことが可能である.

謝辞

本研究を遂行するにあたり, 国土交通省航空局航空ネットワーク部より国際航空旅客動態調査のデータを提供していただいた. ここに記して感謝の意を表したい.

参考文献

- 1) Koster, P., Kroes, E., and Verhoef, E.: Travel time variability and airport accessibility, *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 45, No. 10, pp. 1545–1559, 2011.
- 2) Skinner, R. E.: Airport choice—an empirical study, *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 102, No. TE4, 1976.
- 3) Harvey, G.: Airport choice in a multiple airport region, *Transportation Research Part A: General*, Vol. 21, No. 6, pp. 439–449, 1987.
- 4) Hansen, M. and Du, Q.: Modeling multiple airport systems: A positive feedback approach, 1993.
- 5) Hansen, M.: Positive feedback model of multiple-airport systems, *Journal of transportation engineering*, Vol. 121, No. 6, pp. 453–460, 1995.
- 6) Windle, R. and Dresner, M.: Airport choice in multiple-airport regions, *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 121, No. 4, pp. 332–337, 1995.
- 7) Hess, S. and Polak, J.: Mixed logit modelling of airport choice in multi-airport regions, *Journal of Air Transport Management*, Vol. 11, No. 2, pp. 59–68, 2005.
- 8) Ishii, J., Jun, S., and Van Dender, K.: Air travel choices in multi-airport markets, *Journal of Urban Economics*, Vol. 65, No. 2, pp. 216–227, 2009.

- 9) Udayasen, P., FUKUDA, D., and YAI, T.: Stated preference analysis of air travelers multiple airport choice behavior in tokyo metropolitan area, *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol. 7, pp. 3028–3043, 2007.
- 10) 中野敏彦・森地茂・前田正人: 空港アクセス交通の需要分析, 土木学会年次学術講演会講演概要集, Vol. 38 巻, pp.37–38, 1983 .
- 11) Harvey, G.: Study of airport access mode choice, *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 112, No. 5, pp. 525–545, 1986.
- 12) 岸谷克己・本多均・奥村泰宏: 空港アクセス交通需要予測手法に関する研究, 土木学会年次学術講演会講演概要集, Vol. 45 巻, 1990 .
- 13) 直原史明・屋井鉄雄・兵藤哲朗・森地茂: 地方空港の国際化の進展に伴う航空旅客の動態分析, 土木学会年次学術講演会講演概要集, Vol. 48, 1993 .
- 14) 森川高行・荻野成康: 中部新国際空港のアクセス交通に関する研究, 土木計画学研究 講演集 No. 17, 1995 .
- 15) 高瀬達夫・森川高行・阿野貴史・長澤貴憲: モデルの移転可能性に焦点をあてた空港アクセス交通の非集計分析, 土木計画学研究・論文集 No. 17, pp.855–862, 2000 .
- 16) Psaraki, V. and Abacoumkin, C.: Access mode choice for relocated airports: the new athens international airport, *Journal of Air Transport Management*, Vol. 8, No. 2, pp. 89–98, 2002.
- 17) 綾城本祐・久保田勤・小島建太・齊原潤: 羽田空港アクセス交通需要予測モデルの構築と改善施策の検討に関する調査研究, 運輸政策研究, Vol. 9, No. 3, 2006 .
- 18) Tam, M., Lam, W., and Lo, H.: Modeling air passenger travel behavior on airport ground access mode choices, *Transportmetrica*, Vol. 4, No. 2, pp. 135–153, 2008.
- 19) 花岡伸也: 複数空港選択におけるフライト時間とアクセス時間の関係, 交通学研究, 2002 年度研究年報, pp.41–50, 2003 .
- 20) Pels, E., Nijkamp, P., and Rietveld, P.: Access to and competition between airports: a case study for the san francisco bay area, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 37, No. 1, pp. 71–83, 2003.
- 21) 曽根正輔: 新北九州空港の供用開始に伴う空港選択行動の予測に関する研究, 北九州市立大学大学院社会システム研究科博士論文, 2005 .
- 22) Hess, S. and Polak, J.: Airport, airline and access mode choice in the san francisco bay area, *Papers in regional Science*, Vol. 85, No. 4, pp. 543–567, 2006.
- 23) 山下良久・井上真志・早崎詩生・石倉智樹: 複数空港地域における航空旅客の空港選択に関する研究, 土木計画学研究・講演集, Vol. 39, 2009 .
- 24) JTB 時刻表 2010 年 11 月版, JTB Publishing, Inc., 2010 .
- 25) JTB 時刻表 2011 年 8 月版, JTB Publishing, Inc., 2011a .
- 26) JTB 時刻表 2011 年 11 月版, JTB Publishing, Inc., 2011b .
- 27) 日本発キャリア運賃: IT 運賃を除く 2010 年 10 月版, 株式会社 OFC, 2010 .
- 28) 日本発キャリア運賃: IT 運賃を除く 2011 年 4 月版, 株式会社 OFC, 2011a .
- 29) 日本発キャリア運賃: IT 運賃を除く 2011 年 10 月版, 株式会社 OFC, 2011b .