

航空需要予測の精度向上と課題

空港研究部長

長谷川 浩

航空需要予測の手法と課題

空港研究部長 長谷川浩

1. はじめに

航空需要予測は空港整備の必要性や施設規模の算定に使われてきたが、そのみならず、事業評価の際に行う費用対効果分析の基礎データとしても重要なものである。また今後は既存施設の有効利用、戦略的国際競争力の確保の観点から空港政策、航空政策の立案検討の基礎資料としての役割が増大するものと考えられる。このための基礎資料として、ほぼ5年毎に全国の航空需要予測が実施されている。なお、一般に航空需要として予測の対象とするのは、国内旅客数、国際旅客数、国内貨物量、国際貨物量である。将来の予測をする以上、不確実性を排除することはできず、例えばテロの発生や経済危機といった予測時点では予見不可能な突発的な事態が航空需要の予測値と実績値との差を生じさせる。しかし、それらは予測手法とは別の問題と考えざるをえない。

予測手法については長期にわたり改善が繰り返され理論的にも実務的にもかなり確立されている、とは言うものの残された課題もあり、平成20年12月24日に策定された「空港の設置及び管理に関する基本方針」では、「施設整備等の基礎となる需要予測の一層の精度向上に引き続き努め」とされており、今後とも引き続き航空需要予測手法の改善を進めていく必要がある。ここでは現在使用している需要予測の手法をレビューするとともに、今後に残された課題と、その中の一つでエアラインの行動原理を踏まえた手法に関する提案について紹介する。

2. 予測手法の要件と分類

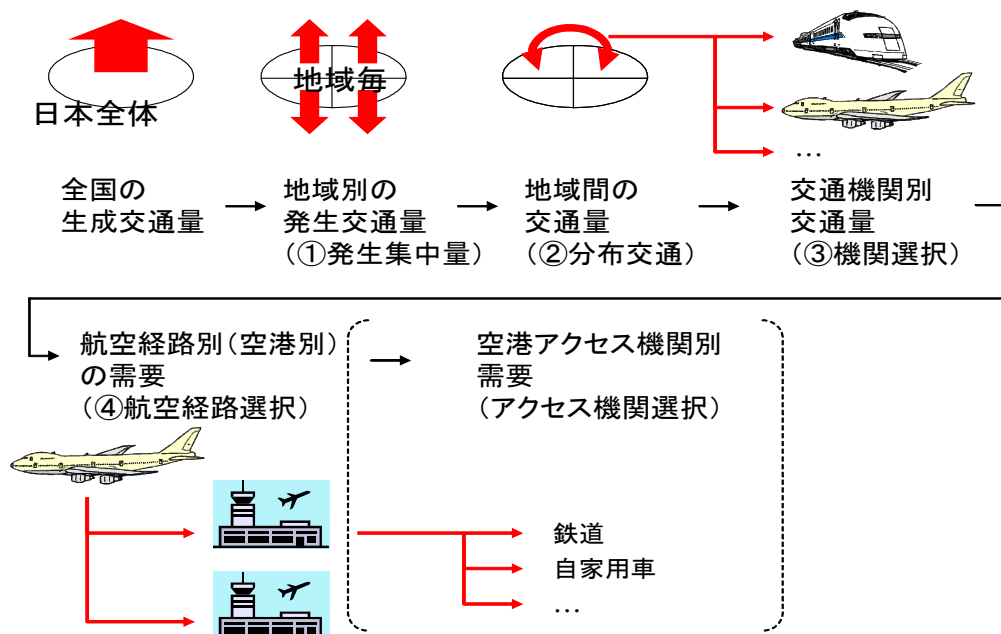
需要予測の用途を考えた場合に航空需要予測手法に求められる要件としては次のようなものがあげられる。

- i 社会経済の変化を適切に反映できること
- ii 各種交通サービスの水準の違いや変化を反映できること
- iii 航空行政を巡る変化を反映できること
- iv 旅客の属性別の需要が予測できること

需要予測の手法は、直接的な予測手法と間接的な予測手法に大別できるが、直接的な予測手法は競合する他の交通機関との需要分担を考慮せず、単純な回帰モデルや時系列モデルによって需要予測を行うものであり、簡易ではあるが交通サービスが改善された場合に、それらの効果を予測に反映することができないため、各種評価のための需要予測には適さない。間接的な予測手法は、競合する他の交通機関も含めて輸送の総流動を予測した上で航空輸送の分担率を求めて航空需要を予測するものである。この間接的な予測手法は路線開設による需要誘発や運航頻度の増加による需要増加といった航空需要に影響を与える要因を反映できることから、一般的に用いられている。

3. 現行の需要予測の手法

現行の需要予測では代表的な間接的予測手法である四段階推定法を用いている。これは需要予測までのプロセスとして、図－1に示すとおり、国内需要であれば、まず日本全体の交通量（生成交通量）を求めた後、4つの段階つまり地域別の発生量（発生集中交通量）地域間の交通量（分布交通量）交通機関別交通量及び経路別交通量をを経て推計する手法である。以下に国内航空旅客需要予測を例に手法の概略を述べる。



図－1 四段階推定法による国内航空旅客需要予測の流れ

3.1 生成交通量

対象地域（日本全体）で発生する総交通量（旅客の地域流動総数）を生成交通量として求める。戦後民間航空輸送が再開されて以来、航空需要は一貫して伸びてきたが、この間一人当たり長距離旅行回数と一人当たり実質 GDP は非常に高い相関を示してきた。またアクセス交通の発達や運航頻度の増加等により誘発需要があることもわかっており、現行予測手法においては、人口、一人当たり実質 GDP、アクセシビリティ（運航頻度等利便性を指数化したもの）を変数としてモデル化している。

3.2 発生集中交通量

発生交通量は各地域を出発地とする交通量の合計であり、集中交通量とは各地域を到着地とする交通量の合計である。それぞれ発生シェア、集中シェアと呼ぶ場合もある。航空需要は予測の単位時間を通常1年としており、地域毎にみた場合、その発生交通量と集中交通量は同じ値となると考えて差し支えない。なお、ここで言う各地域を設定するため予測対象地域を予め分割（ゾーニング）する必要がある、現行予測手法においては全国を223の生活圏ゾーンに分割している。

発生集中交通量の推計モデルとしては回帰モデル法を使用している。これは通常2

つ以上の説明変数を用いて発生集中交通量を求める関数を回帰分析により定式化し、将来の発生集中交通量を推計する方法である。多くの場合この回帰モデルが用いられるが、説明変数の選択には十分注意する必要がある。現行予測手法においては、旅行目的別に説明変数を分け、業務目的では居住地ゾーンの就業者数を、それ以外の目的（観光及び使用等）では夜間人口を用い、これらに一人当たり GRP(地域内総生産)を乗じて説明変数としている。

3.3 分布交通量

分布交通量とは、各発地 (Origin) から各着地 (Destination) までの交通量、即ち2つの地域間の交通量であり地域間交通量または OD 交通量とも呼ばれる。交通需要で使われる一般的な推計モデルとしては、現在パターン法、重量モデル（グラビティモデル）、エントロピーモデル、介在機会モデル（オポチュニティモデル）等がある。

現行予測手法においては、旅行先選択モデルとして、ある居住地からある旅行先を選択するときの効用からロジットモデルを用いて選択確率を求める方法をとっている。この場合の効用については、前述の「アクセシビリティ指標」及び「旅行先ゾーンの集客力指標」を説明変数とする関数として設定する。集客力指標とは、例えば業務目的であれば本社・支社の立地や消費市場の集積などが、また観光目的であれば都市機能や人的交流観光資源の集積などが考え得る。しかし、少数の指標で全体傾向を把握することや将来の集客力指標を設定することは非常に困難であり、現行予測手法においては、将来の集客力指標を現状値のまま一定と仮定している。

3.4 交通機関別交通量

交通機関別交通量とは、分布交通量のうち、個々の交通機関が分担する交通量のことである。交通機関別の分担率を求めるための推計モデルとして分担率曲線モデルや犠牲量モデルがあるが、運賃や所要時間だけでなく、乗り換え回数や運航頻度、アクセス時間など様々な要因を取り込んでいないので理論的裏付けが弱く説明力に欠けるとされ今や古典的モデルとなっている。

これに対し、現在の航空需要予測においては、個人の選択行動に基礎をおいた非集計的モデルと呼ばれるモデルを使うことが一般的であり、ここではロジットモデルを使用している。非集計モデルは集計モデルに比べて理論的背景が明確で説明力があり多くの説明変数を入れることができるといった利点がある。

まず、各交通機関の魅力度を示す指標として効用関数 U を

$$U = V + \varepsilon \quad (a)$$

のとおり表す。ここで V は計測可能ないくつかの説明変数から確定的に定まる確定効用、 ε はその他の計測できない要因により確率的に変動する確率効用（または誤差項）である。この確率効用 ε の確率分布として正規分布に類似したガンベル分布を仮定することにより、求めたい交通機関（ i とする）の選択確率 P_i は次式のとおき求めることができる。

$$P_i = \frac{\exp(V_i)}{\exp(V_i) + \exp(V_j)} \quad (b)$$

この式がロジットモデルの基本式である。これは選択可能な交通機関が i と j の 2 つとした 2 項ロジットモデルであるが、交通機関が 3 以上であっても基本的には同じであり、交通機関 i の選択確率 P_i は多項ロジットモデルとして次式から得られる。

$$P_i = \frac{\exp(V_i)}{\sum_{j=1}^n \exp(V_j)} \quad (c)$$

式 (b) または (c) により各交通機関の選択確率を求めるためには、確定効用関数 V を各交通機関別に求めておく必要がある。簡単なケースとして、確定効用関数 V の説明変数を運賃 C と所要時間 T の 2 つとすれば、交通機関 i の確定効用関数 V_i は次式のとおりの線形の関数として定式化することができる。

$$V_i = a + b \cdot C_i + c \cdot T_i \quad (d)$$

ここで、 a 、 b 、 c はパラメータであり、既存のデータ（幹線旅客純流動調査や航空旅客動態調査等）から推計できる。パラメータが決まれば、OD 毎に各交通機関の運賃 C と所要時間 T は計測可能であるから、確定効用関数 V が全ての交通機関について決まり、式 (b) または (c) により各交通機関の選択確率を求めることができる。

現行手法においては前述の「アクセシビリティ」と「交通サービス指標」（所要時間、費用、頻度、ダイヤを指数化したもの）を説明変数とする交通機関の選択効用をベースにロジットモデルを使用している。このロジットモデルは、入れ子式に階層化した階層ロジットモデル（またはネステッドロジットモデル）にすることができ、その概念図を図-2 に示す。次の段階である経路別交通量を求めるモデルとしても、前述の分布交通量を求めるモデルとしても使うことができる。

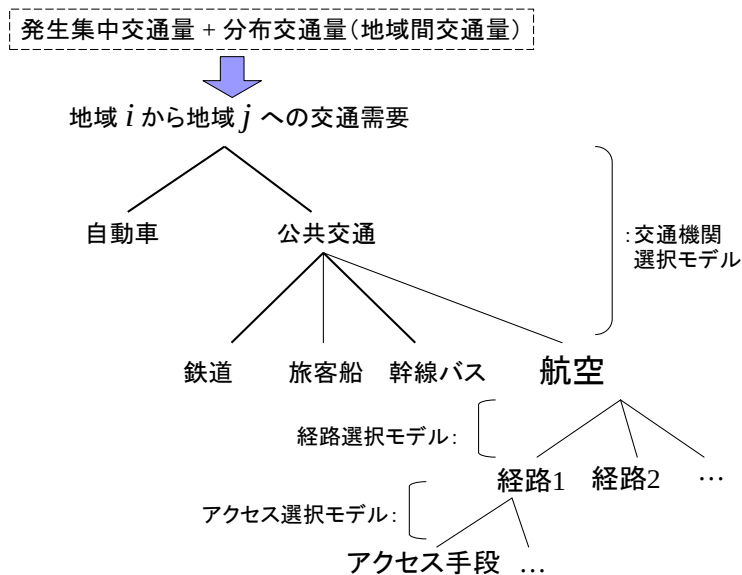


図-2 ネステッドロジットモデルの概念図

3.5 経路別交通量

経路別交通量は配分交通量とも呼ばれ、各交通機関で分担する交通機関別交通量を経路配分モデルを用いて両地域間を結ぶ各経路（ルート）に配分した交通量のことである。航空需要予測においてはその地域の中でどの空港を利用するかという空港選択

問題に帰着されるため、両地域とも空港が1つしかない場合には両地域間を結ぶ空路が一意に決まるため、このステップは不要となる。現行モデルにおいては出発地、目的地双方におけるアクセシビリティと交通サービス指標を説明変数とする経路選択の効用をベースにした経路選択確率をロジットモデルにより導出している。

3.6 各空港の需要予測値

以上、経路別交通量まで求めれば各地域間で各空港を利用する旅客需要が求まることとなる。空港別に旅客需要を求めたい場合には、その対象とする空港を利用する旅客需要を全ての地域間から合計すれば良い。

予測の結果、路線便数が導かれるが、それにより設定したアクセシビリティが変化する。それにより各段階における前提が変化するので一連の計算を収束するまで繰り返すことにより最終的な結果が導かれることになる。図-3にフローを示す。

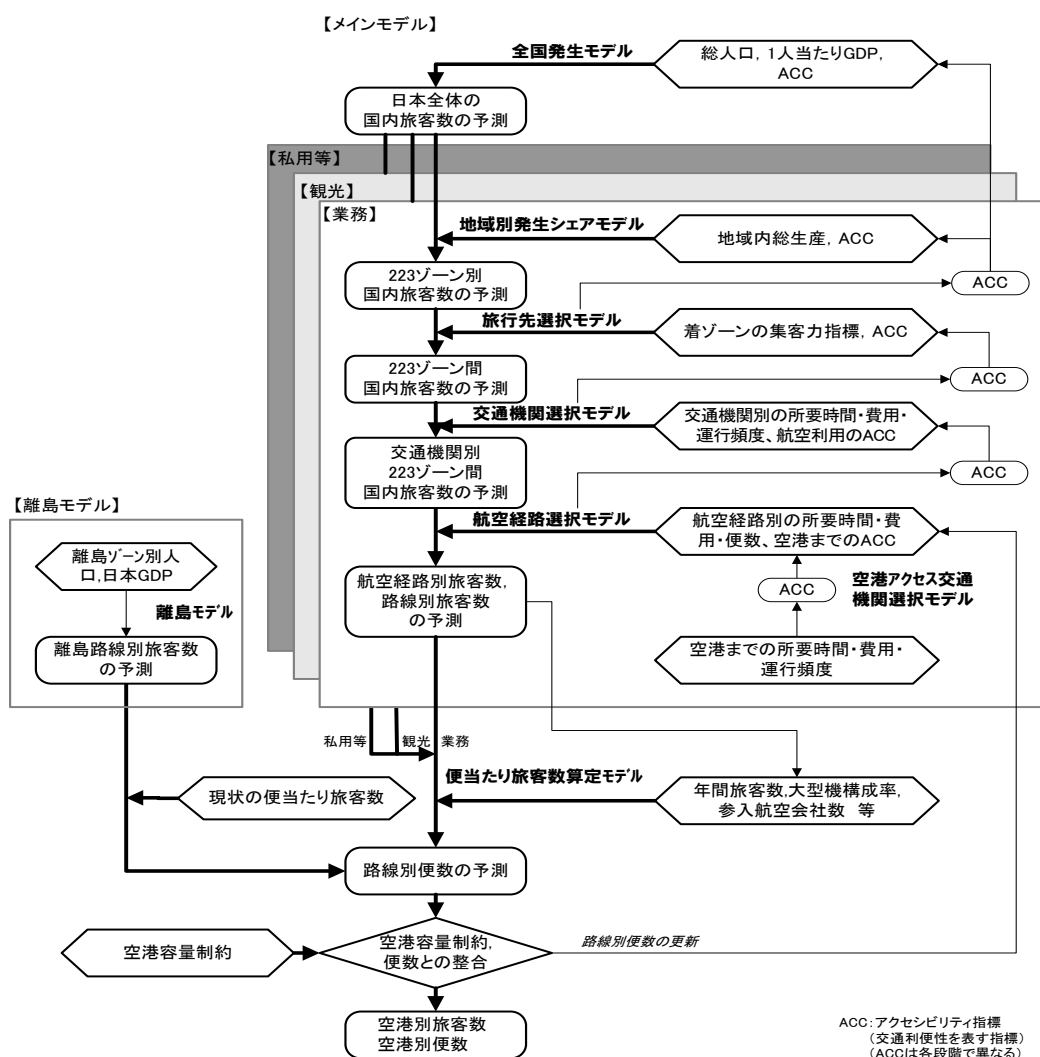


図-3 国内航空旅客需要予測モデルのフロー

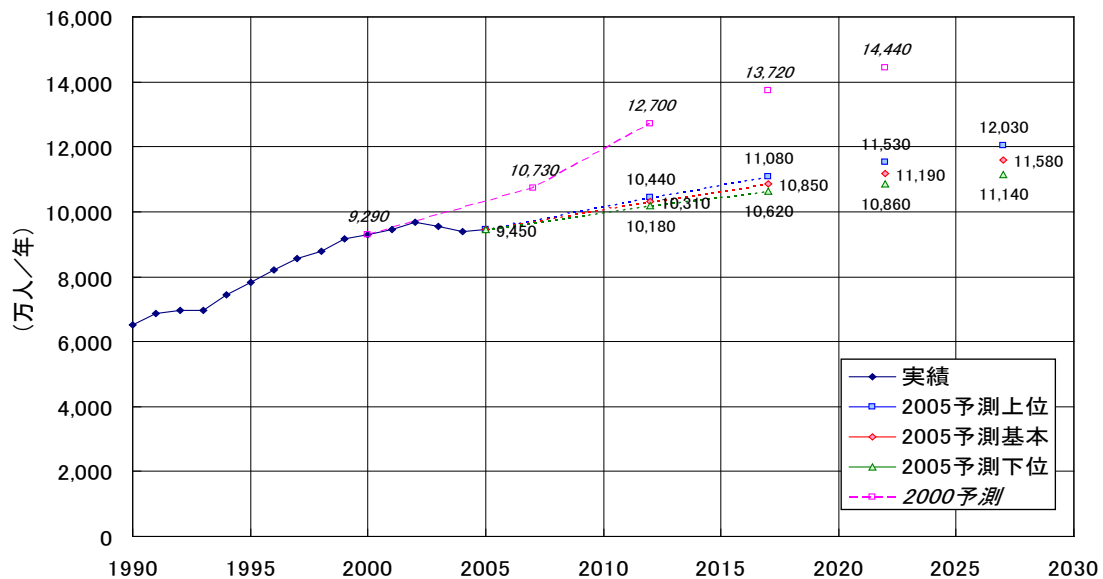
4. 航空旅客需要の予測値

航空需要予測の実施例として、平成 19 年 5 月の交通政策審議会航空分科会に報告された国内航空旅客需要、国際航空旅客需要の予測結果を紹介する。また、国内航空旅客需要予測に用いた社会経済フレームを表－1 に、国内航空旅客の予測値を図－4 に、国際航空旅客の予測値を図－5 に示す。

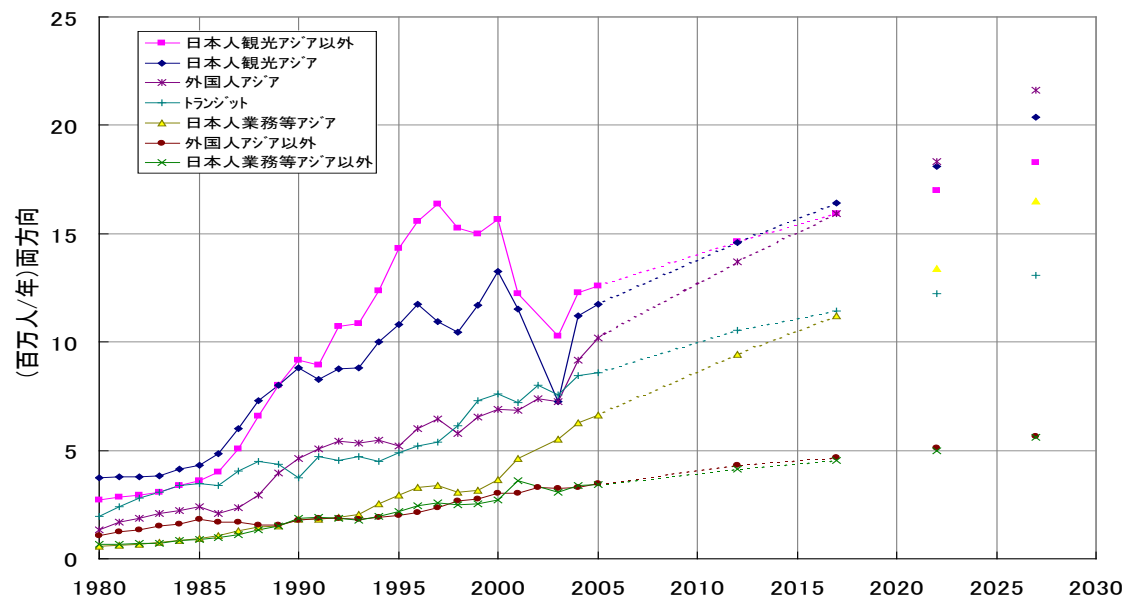
表－1 社会経済フレーム等の設定（共通事項）

項目		設定内容
試算年次		2012・2017 年度（参考値 2022・2027 年度）
日本 GDP 成長率※ ¹		政府見通し等より 1.8%（2006～2012）、2%程度（2013～2020）、1%台半ば（2021～2027）
都道府県別 GRP※ ¹		政府見通し等より設定
人口※ ¹		全国値は国立社会保障・人口問題研究所「日本の将来推計人口」（2006年12月推計）の中位推計値 都道府県別値は国土交通省国土計画局推計値
道路ネットワーク※	既設	2005 年度時点での高速道路ネットワーク
	新設	高規格幹線道路は整備予定に応じ供用
サービスレベル（時間・運賃）※		・2005 年 10 月現在のサービスレベル（時間・運賃）を設定 ・神戸、新北九州空港は 2006 年 10 月時点を反映 ・整備新幹線は整備計画や既存の路線を参考に設定

※：都道府県別 GRP、人口、道路ネットワーク、及びサービスレベル（時間・運賃）については、国内航空貨物以外（国内航空旅客、国際航空旅客、国際航空貨物）の共通事項



図－4 国内航空旅客の予測結果



図ー 5 国際航空旅客の予測結果(推計区分別)

5. 予測手法に残された課題

現行モデルは航空需要予測の手法検討委員会でも現時点では最も配慮されたモデルであるとされるが、残された課題も多く、それはデータ整備に関する課題とモデル構築に関する課題とに分け以下の通り指摘されている。

5.1 データ整備に関する課題

i. 実勢運賃に関するデータの整備

航空運賃は運賃表に記載されているものがあるが、様々な割引設定があり、それぞれ何人がどの割引料金で搭乗しているか不明である。現状は航空旅客動態調査（2日のサンプル調査）においてどの割引料金を使用したかを聞いているが、わずかなサンプルであるしパック旅行となると航空運賃分が見えないため精度に限界がある。運賃は需要予測上重要なファクターでありこれの実態把握が課題となっている。

ii. エアラインの経営情報の整備

航空需要は経済学的には需要と供給のバランスだが、実際にはエアラインがどのような路線便数を張るかに懸かっている。そこでは保有する輸送資源で如何に利潤を上げるかという行動原理が働くことになるため路線別や機材別などの経費や収入などのエアラインの運航に関するデータの整備が課題となっている。

iii. 年齢階層別の需要データの整備

今後の需要増加が見込まれる高齢者に関してはより細分化して分析する必要があるため、これらのデータ収集が課題となっている。

iv. 東アジア等のビジネス需要データの把握

アジアとの交流が今後ますます増大することを踏まえると、これら旅客の旅行目的や業務内容、頻度等の詳細データが不足している。

5.2 モデル構築に関する課題

i. 供給者の行動を合理的に予測するモデルの検討

民間事業者であるエアラインの経営情報に属する費用や価格等のデータ利用が困難であることから、エアラインの行動原理を明示的にモデル化することができていないが、今後ますますこれらが航空需要に及ぼす影響が大きくなると予想されるため課題となっている。

ii. 国内と国際の連携

現行では際内旅客は別個のモデルで予測しており、国内国際相互の乗継ぎ旅客については国内モデルでの予測のみによるものとしている。今後は国際旅客の方がより大きな伸びが予想される他、国際線の目的地と国内線の目的地が同じ土俵の選択肢になり得ることから際内両モデルの連携が課題となっている。

iii. 空港容量制約を明示的に考慮したモデル構築

現行モデルにおいては空港の容量に制約がある現状の需要を基に経路選択モデルなどのパラメータが設定されており、今後空港容量の制約が大きく変化したときには歪みをもたらす可能性がある。制約の影響を明示的に考慮できるモデルの構築が課題となっている。

6. エアラインの行動原理を考慮したモデルの提案

課題のひとつであるエアラインの行動原理を考慮したモデル構築を試みる。従来の需要予測モデルにおいては、エアラインの行動、すなわち便数、路線設定、機材選択等については需要から一義的に決定され、また運賃は与件とされている。したがって政策効果の評価を行うにあたり、政策がエアラインの行動に及ぼす影響をモデルで表現することができない。

航空市場の状況によってエアラインの便数設定や運賃は変化し、これによって旅客の行動が決まる。さらに運航規制の変化、空港使用料変化などエアラインの供給行動に影響する政策による旅客需要への影響を評価するためにはエアラインの行動を明示的に考慮する必要がある。

6.1 既存研究の整理

エアラインの行動と旅客行動の相互影響をモデル化し実ネットワークレベルへ適用した研究としては、詳細は省略するが、大橋，安藤(1996)、大橋，安藤(1999)、黒田ら(1999)、高田ら(2001)、竹林ら(2001)により様々なアプローチがなされている。これらに対し、竹林(2005)は地域分割の単位を「ゾーン間 OD 市場」と「都市間 OD 市場」の二段階に階層化し、エアラインと旅客の市場行動に加えて、ゾーン内の空港間競争を分析する手法を提案した。航空需要への影響のみではなく、近接空港間の路線便数設定への影響も評価することが可能となる。本研究は、国内航空旅客市場における多様な分析を可能とするため、竹林(2005)と同様の市場設定の枠組みを基に市場モデルの構築を行う。

6.2 市場状態の前提と全体的枠組み

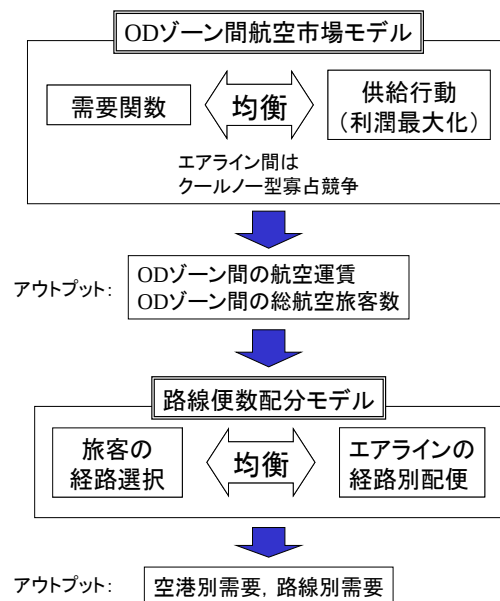
本研究のモデルは「ODゾーン間航空市場モデル」と「路線別便数配分モデル」の2つのサブモデルから構成される。モデルの全体枠組みを図－6に示す。

ODゾーン間航空市場モデルのアウトプットとして、ODゾーン間の航空運賃と旅客需要量が得られ、ここで得られた需要が路線別便数配分モデルの入力値となる。

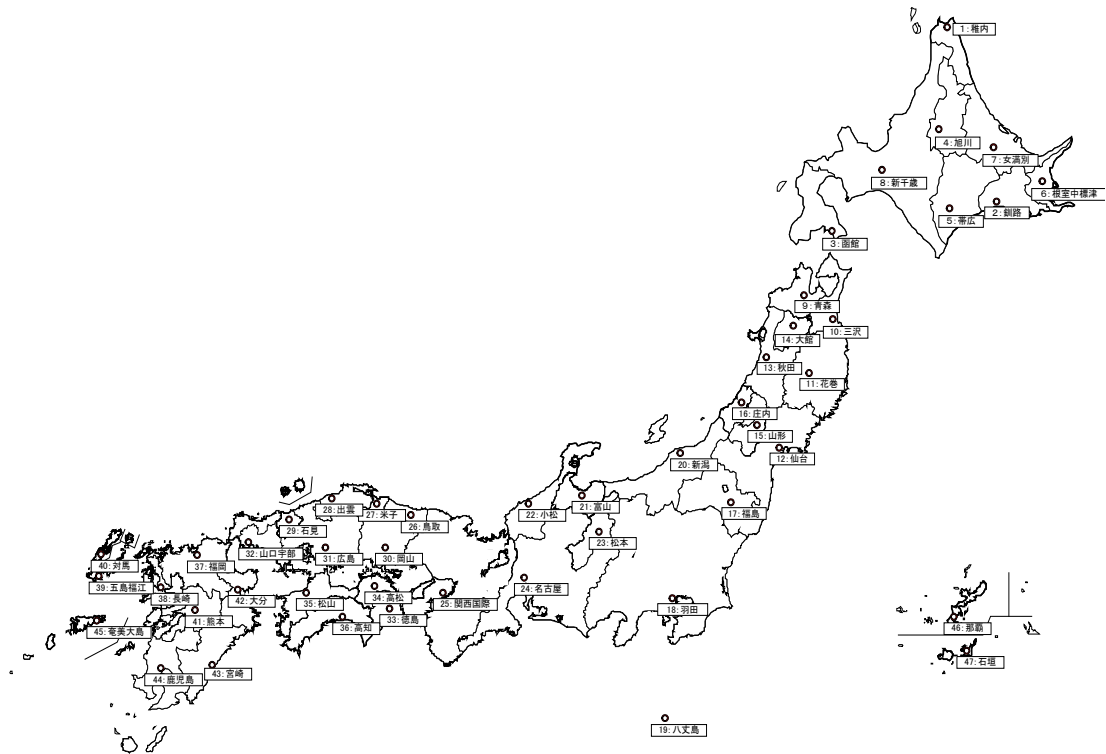
路線別便数配分モデルはODゾーン間航空市場モデルから得られた総需要を基に、各航空路線への便数および旅客数配分を推定する。ここではODゾーン間航空市場モデルよりも細分化されたゾーニングを行い、航空サービスレベルである便数や空港アクセス利便性による旅客の経路選択行動への影響を詳細に評価することが可能となる。

以下、各サブモデルにおける前提条件と概要について述べる。前半のODゾーン間航空市場モデルでは、まずODゾーンの設定が必要であるが、ODゾーン作成の基礎データとして2000年幹線旅客純流動調査データを用い、以下の考え方により全国207生活圏を図－7のとおり47のODゾーンに分類した。まず生活圏ごとに利用者数が最大の空港を代表空港（全国48空港）として定義し、代表空港が同じ生活圏は同一ゾーンとして統合する。ただし、この前提では関西国際空港と大阪国際（伊丹）空港が別ゾーンに存在すると定義され、これら2空港間の競合状況の分析ができなくなるため、例外的にこれらのゾーンを統一することとした。我が国の航空市場では同一路線で運航するエアライン数が少なく、完全競争的という前提は適切ではない。したがって各ODゾーン間航空市場ではエアライン間がクールノー型寡占競争状況であると仮定する。クールノー型寡占とは、市場に参加する各企業が他企業の産出量を所与として自己の利潤を最大化するようにその産出量を決定するという市場メカニズムを表す。

同一のODゾーン間では利用空港が異なる場合でも運航距離の差が小さいため、エアラインの運航費用に大きな差はないと仮定する。また、同様の理由により同一ODゾーン間におけるいかなる空港ペア路線によっても運賃差が生じないと仮定する。



図－6 モデルの全体枠組み



図－7 OD ゾーン間航空市場モデルにおける 47 ゾーン

後半の路線便数配分モデルにおいては、ある OD ゾーン内に複数の空港が存在する場合、旅客による空港（経路）選択およびエアラインによる路線別配便が行われる。旅客の空港選択においては、発生集中地から空港までの交通アクセス条件や路線毎の航空サービスレベルが影響する。このためゾーンを細分化する必要が生じる。本研究では、空港選択・路線配便を考えるにあたり 47OD ゾーンを生活圏ゾーン 207 地域に分割して考える。

本研究では、各空港間の航空路線における配便数決定は、旅客の空港・経路選択行動と、エアラインの便数配分原理によって行われると考える。OD ゾーン間の航空市場において、総需要量と総供給座席数が先決されているので、旅客行動については生活圏ゾーンを集計単位とし、各生活圏ゾーンから空港までの交通アクセス条件と航空サービスレベルである路線便数を考慮して経路選択が行われると仮定する。各エアラインは路線に投入される機材のロードファクターを最適化するという行動規範の下、旅客の経路選択行動を考慮して路線毎の配便数を決定すると仮定する。

以上がモデルの全体的枠組みであるが、以下に各段階におけるモデルの詳細を述べる。

6.3 OD ゾーン間航空市場モデル

6.3.1 モデルの一般形

本モデルにおける需要関数の一般形を以下のように定義する。

$$OD_{rs} = f_{rs}(p_{rs}^{air}, Acc_{rs}^{air}, \mathbf{M}_{rs}, \mathbf{Y}_r, \mathbf{Y}_s, \mathbf{Y}) \quad (1)$$

ここで、

OD_{rs} : OD ゾーン rs 間の航空需要

p_{rs}^{air} : OD ゾーン rs 間の航空運賃

Acc_{rs}^{air} : OD ゾーン rs 間の航空サービスに関するアクセシビリティ指標

$\mathbf{M}_{rs}$: OD ゾーン rs 間における航空以外の競合交通機関に関するサービスレベル (LOS) 変数列ベクトル

$\mathbf{Y}_r$: OD ゾーン r の社会経済指標変数列ベクトル

$\mathbf{Y}_s$: OD ゾーン s の社会経済指標変数列ベクトル

$\mathbf{Y}$: 日本の社会経済指標変数列ベクトル

である。

各エアラインは、クールノー的寡占市場において以下のように利潤最大化行動を行うと考える。

$$\max \pi_{rs}^m(q_{rs}^m) = p_{rs}^{air}(OD_{rs}) \cdot q_{rs}^m - C_{rs}^m(q_{rs}^m) \quad (2)$$

ここで、

q_{rs}^m : OD ゾーン rs 間におけるエアライン m の供給 (=需要)

$C_{rs}^m(q_{rs}^m)$: OD ゾーン rs 間におけるエアライン m の費用関数

である。費用関数については供給量のみの関数ではなく、以下のように他の外生変数の関数と考える。

$$C_{rs}^m = C_{rs}^m(q_{rs}^m, tax_{rs}, \mathbf{x}_{rs}^m) \quad (3)$$

C_{rs}^m : ゾーン rs 間のエアライン m の費用

q_{rs}^m : ゾーン rs 間のエアライン m の輸送量

tax_{rs} : OD ゾーン rs 間の運航に関わる公租公課

$\mathbf{x}_{rs}^m$: OD ゾーン rs 間におけるエアライン m の特性変数列ベクトル

$p_{rs}(OD_{rs})$ は逆需要関数であり、式(1)を変形することにより得る。また、

$$OD_{rs} = \sum_m q_{rs}^m \quad (4)$$

である。

当該市場に M 社のエアラインが参入しクールノー的競争を前提とすると、一階の条件は以下のように表される。

$$\frac{\partial p_{rs}^{air}}{\partial q_{rs}^m} \cdot q_{rs}^m + p_{rs}^{air} - \frac{\partial C_{rs}^m}{\partial q_{rs}^m} = 0 \quad \forall m \in M \quad (5)$$

式(5)は各エアラインの反応曲線を意味しており、全エアラインの供給量の関数となる。これら M 本の連立方程式を解くことにより均衡需要（供給）および均衡価格が得られる。

6.3.2 OD 需要関数

需要関数の一般形は式(1)のように表されるが、本節ではパラメトリックに需要関数を仮定し、実績データよりパラメータ推定を行う。本研究では実務的にも実績が豊富であり推計結果が比較的安定的な、式(6)に示すグラビティモデル型の関数形により需要関数を特定化した。

需要関数の推定においては、航空輸送統計年報における空港間ODデータを用いてOD需要関数の推定を行った。説明変数として種々の社会経済指標および競合交通機関サービスレベル指標を用意しパラメータ推定を行った結果、以下の関数式が採択された。なお、OD需要関数の推定においては短距離路線では精度の高い推定結果が得られず、競争的な市場が成立していない可能性が高いため、路線距離 300km 以上のデータのみを対象としている。

$$\begin{aligned} \ln OD_{rs} = & \beta_0 + \beta_1 \ln(time_{rs}^{air}) + \beta_2 \ln(p_{rs}^{air}) \\ & + \beta_3 \ln(time_{rs}^{rail}) + \beta_4 \ln(Y_r) \\ & + \beta_5 \ln(Y_s) \end{aligned} \quad (6)$$

$time_{rs}^{air}$: ゾーン rs 間の航空ラインホール時間

p_{rs}^{air} : ゾーン rs 間の航空運賃

$time_{rs}^{rail}$: ゾーン rs 間の鉄道所要時間

Y_r : 発ゾーンGRP（1人あたりGRP×人口）

Y_s : 着ゾーンGRP（1人あたりGRP×人口）

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$: パラメータ

パラメータ推定における各種統計指標は表-2のとおりである。

表-2 OD 需要関数のパラメータ推定結果

Adjusted R ²		0.6246	
サンプル数		338	
		パラメータ値	t 値
定数項	β_0	-11.716	-4.13
航空ラインホール時間（分）	β_1	-1.587	-2.70
航空ラインホール費用（円）	β_2	-0.849	-1.55
鉄道所要時間（分）	β_3	1.745	6.77
発地 GRP（百万円）	β_4	0.894	19.60
着地 GRP（百万円）	β_5	0.899	19.87

この方法ではODが真の出発地・目的地を表現するものではないため、空港存在地域のGRPを用いて発生量・集中量等を表現することになり、その点について若干の論理的な不整合が生じる点に注意を要する。しかし、国内航空におけるトランジット旅客のボリュームが比較的小さいことを鑑みれば、需要関数の推定においては大きな影響はないと考えられる。

また、ここで推定されたパラメータは羽田空港等における空港容量制約など、本モデルでは明示的に扱われていない外的要因による影響も内包した値であることにも留意する必要がある。

6.3.3 エアラインの費用関数

本研究では費用関数について航空会社別に違いはないと仮定し、また公租公課は輸送量に応じた可変費に内包されたものと見なし、以下のように線形関数として設定した。

$$C_{rs}^m(q_{rs}^m) = \alpha \times q_{rs}^m \quad (7)$$

ただし、費用関数の一般形は、式(3)のように、航空会社や航空路線の特性および公租公課による費用特性の差異を反映することが可能な関数形を想定している。費用関数の精緻化については今後の課題とする。

大手航空会社3社（JAL, ANA, JAS）の2000年度における財務データ（航空統計要覧）よりパラメータを $\alpha = 9.1015$ 円/人キロ（1995年価格）と設定した。

ここで、可変費用は、人件費、航空燃油費、整備費、運航施設利用費、代理店手数料、航空保険費からなると仮定した。なお、着陸料や燃料税などの政策変数は運航施設利用費、航空燃油費に含まれることになる。また、ここでの費用は国際線も含む費用である。

6.3.4 ODゾーン間航空市場モデルの現況再現性

ODゾーン間航空市場モデルの均衡解は、式(6)と式(7)を式(5)の連立方程式へ代入して解くことにより得られる。ここでは2000年の国内航空輸送実績を対象に現況再現性を検討した。

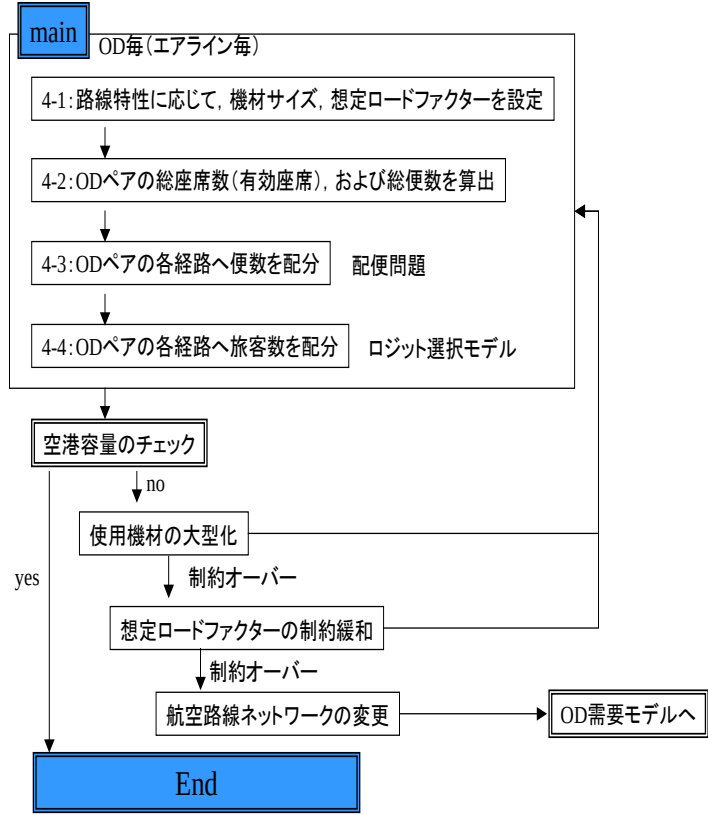
ここでは簡単のため、すべてのゾーン間に2社のエアラインが参入していると仮定した。この仮定により1社あたりの需要については実際の参入社数を用いていないため乖離が大きくなる可能性があるが、ODペアの需要については影響が少ないと考えられる。

航空運賃については全体的に若干過小推計となった。これについては、運賃の実績値が正規運賃であるのに対し、均衡解で算出される運賃はエアラインの実際の限界費用に基づく値であり、実勢運賃に近い挙動を示していることが要因の1つとして考えられる。航空需要量については運賃の再現誤差と関連して全体的に過大推計傾向となっている。今後、実勢運賃の推定およびこれを採用したOD需要関数推定、相関の向上をもたらす新たな説明変数の導入などを検討する必要がある。

6.4 路線便数配分モデル

6.4.1 路線便数配分モデルの定式化

路線便数配分モデル構築においてはODゾーン間航空市場モデルにおけるエアラインの行動と不整合を起こさない形の定式化を行う必要がある。すなわちODゾーン間航空市場モデルにより各エアラインの提供する座席数、運賃および旅客の空港間ODは決定されているので、路線便数配分モデルではこれらの変数を固定した上でエアラインの合理的な行動を表現する必要がある。そこで本研究は、エアラインの行動規範として「各便の機材容量と需要とのギャップを最小化する」



図ー8 路線便数配分モデルのフロー

ことを想定したモデル化を行う。

すなわち望ましいロードファクター（以下、目標ロードファクターと呼ぶ）からの乖離が小さくなるようにロードファクターが調整されるよう、各路線の便数が決定されるとする。路線便数配分モデルのフローを図ー8に示す。本モデルではエアラインの路線別便数配分と、旅客の経路選択行動の均衡解として、路線別便数および旅客数が導出される。

エアラインの便数配分は以下のように定式化される。

$$\min_{Freq_{rs}^{i1}, Freq_{rs}^{i2}, \dots, Freq_{rs}^{iK}} \sum_k (Capa_{rs}^{ik} \cdot Freq_{rs}^{ik} - D_{rs}^{ik})^2 \quad (8)$$

subject to

$$\sum_{k \in K} D_{rs}^{ik} = \overline{q_{rs}^i} \quad (9)$$

$$Capa_{rs}^{ik} \cdot Freq_{rs}^{ik} - D_{rs}^{ik} \geq 0 \quad (k=1, \dots, K) \quad (10)$$

$$Capa_{rs}^{ik} = Seat_{rs}^{ik} \cdot LF_{rs}^{ik} \quad (11)$$

$Capa_{rs}^{ik}$: rs 間のエアライン i の航空経路 k の機材容量

$Freq_{rs}^{ik}$: rs 間のエアライン i の経路 k の便数

D_{rs}^{ik} : rs 間のエアライン i の経路 k の旅客数

$\overline{q}_{rs}^i$: rs 間のエアライン i の総旅客数（先決）

$Seat_{rs}^{ik}$: rs 間のエアライン i の経路 k の機材サイズ（座席数）

LF_{rs}^{ik} : rs 間のエアライン i の経路 k の目標ロードファクター

なお、 D_{rs}^{ik} は後述する旅客の経路配分モデルより与えられ、各経路の空港アクセシビリティ指標、運航頻度等の関数として表される。

旅客の経路配分モデルはロジット型選択モデルとして表現する。本研究では平成 14 年度に航空局で開発された国内航空旅客需要予測モデルの航空経路選択モデルのパラメータ推定結果を用いる。経路配分は以下の式により表される。

$$P_{rrss}^{ik} = \frac{\exp(V_{rrss}^{ik})}{\sum_{k \in K} \exp(V_{rrss}^{ik})} \quad (12)$$

表－3 航空経路配分モデルのパラメータと再現性

	業務目的	観光・私用等目的
航空ラインホル時間（分）	-2.35533E-02 -8.3	-1.72316E-02 -6.6
航空ラインホル費用（円）	-2.94753E-04 -2.4	-2.67557E-04 -2.1
ln [路線運航頻度（便／日）]	7.52284E-01 9.2	7.72880E-01 4.1
滞在可能時間（分）	1.88510E-03 4.8	1.81855E-03 6.8
アクセシビリティ指標	7.59895E-01 19.8	7.54901E-01 14.9
尤度比	0.388	0.351
的中率（％）	73.5	71.5
時間評価価値 （円／hr）	4795	3864
サンプル数	3297	3191

注）上段：パラメータ値，下段：t 値
資料：国土交通省資料

6.4.2 路線便数配分モデルの現況再現性

ここでは 2000 年度の実績値および説明変数を用いて路線便数配分モデルの現況再現性を検証する。なお、再現性検証においては東京－大阪間 OD の経路配分を事例として取り上げた。前提条件のうち、機材容量については、実際に各経路を飛行している航空機材をクラス別平均座席数で加重平均することにより経路別の平均機材容量として求めた。目標ロードファクターに関しては 2000 年実績のロードファクターの値を路線別に適用した（2000 年現況値で最適のロードファクターで運航していると仮定した）。

以上の前提条件および表－3 のパラメータを用い、式(8)から式(11)で表される最適化問題を解き、経路別の便数を求めた。結果は羽田－関空が若干過小推

計となったが全体の傾向は表現できていると考えられる。羽田－関空が過小推計となっている要因の一つとしては海外便への乗換客の特性が反映されていないことが考えられる。

7. 一地域複数空港における運航制限による影響分析

一地域に空港が複数ある地域と言えば首都圏、関西圏、北部九州であるがここでは関西圏を例に前述のモデルを使って運航制限が航空市場に与える影響を分析してみる。本研究の目的は需要予測の手法が需要マネジメント政策の評価にも的確に使えるように機能を向上させることであるが、現在我が国で行われているのはマネジメントというより物理的制約や、環境上の制約からやむなく制限している例がほとんどである。しかし今後は羽田の国際化問題や、関西 3 空港の役割分担議論などマネジメントの評価のニーズは高まる。

7.1 前提条件

対象とする航空市場は首都圏と関西圏の間の市場とした。また分析に用いたデータは 2005 年のデータであり従ってまだ神戸空港は対象に入っておらず、対象になっているのは首都圏では羽田、成田の両空港、関西圏では伊丹と関西、南紀白浜の 3 空港である。ケーススタディーとしては伊丹空港への乗り入れ機材サイズが制限された場合と便数に上限が課された場合を想定し条件を変化させて結果を比較した。具体的には表－4 に示す前提条件を設定し、便数と旅客数を比較した。

7.2 分析結果

結果を表－5～7 に示す。伊丹空港において機材サイズが制限され小型化すると (Case0→1→2) 路線の供給容量に制約がない場合には伊丹発着路線、特に羽田－伊丹路線での供給量が増加することが示された。一便当たりの座席数の減少が増便によってカバーされている。結果、便数増加による伊丹空港の利便性向上のため関西空港が選択されにくくなっている。伊丹路線に便数の制約が課されると (Case3→4) 当然ながら羽田－伊丹路線では便数旅客数とも減少する。機材制約と便数制約のどちらが大きく影響するかは条件の程度によるが双方の制約をかけた Case5 が羽田－伊丹路線の減少が大きく、成田－伊丹にシフトするという結果が出ている。

ただし、この分析はモデルの挙動を確認するために仮に設定した条件であり、実務的分析のためには神戸空港を対象に加えるとともに、より精緻な前提条件を与える必要がある。また、旅客が新幹線に流れることの考慮も当然必要であり、モデルに一工夫が求められる。

表－4 運行制限による比較分析の前提条件

	Case 0	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5
成田－伊丹路線の機材座席数	400	350	300	400	400	350
羽田－伊丹路線の機材座席数	400	350	300	400	400	350
成田－伊丹路線の日便数上限制約	制限なし	制限なし	制限なし	6	6	6
羽田－伊丹路線の日便数上限制約	制限なし	制限なし	制限なし	18	15	15

表－５ 路線別便数の比較(便/年)

	NRT-ITM	HND-ITM	HND-KIX	HND-SHM
Case 0	974	7,116	4,980	817
Case 1	1,171	9,065	3,992	816
Case 2	1,799	10,950	3,395	812
Case 3	1,229	6,570	5,344	814
Case 4	1,593	5,475	6,102	811
Case 5	2,190	5,475	6,259	809

表－６ 路線別旅客数の比較(人/年)

	NRT-ITM	HND-ITM	HND-KIX	HND-SHM
Case 0	272,728	1,992,657	1,220,079	91,486
Case 1	286,856	2,220,906	978,113	91,385
Case 2	351,910	2,333,091	801,333	91,147
Case 3	321,129	1,879,559	1,284,802	91,357
Case 4	390,254	1,665,315	1,429,809	91,213
Case 5	467,488	1,606,575	1,411,502	91,040

表－７ 路線別搭乗率の比較

	NRT-ITM	HND-ITM	HND-KIX	HND-SHM
Case 0	70.0%	70.0%	70.0%	70.0%
Case 1	70.0%	70.0%	70.0%	70.0%
Case 2	65.2%	71.0%	67.4%	70.1%
Case 3	65.3%	71.5%	68.7%	70.1%
Case 4	61.2%	76.0%	67.0%	70.3%
Case 5	61.0%	83.8%	64.4%	70.3%

８．おわりに

本資料は、現行需要予測の手法を紹介し、あわせて、クールノー型寡占市場を反映した経済均衡モデルと、ロードファクター最適化による路線便数配分モデルを組合せ、供給者であるエアラインの行動を反映した国内航空需要分析モデルを提案したものである。

本モデルで評価可能、あるいは本モデルを発展させることにより評価可能な政策等については以下のようなものが挙げられる。

まず、着陸料の値上げ・値下げの影響については OD ゾーン間航空市場モデルにおける費用関数のパラメータを変化させることにより、評価することが可能である。航空燃油税などの値上げ・値下げの影響についても同様に OD ゾーン間航空市場モデルにおける費用関数のパラメータ変化によって分析が可能である。

エアラインの行動に関する状況変化として、機材サイズの変化については、路線便数配分モデルにおいて機材サイズの設定を変えることにより分析可能である。新規路線開設による影響は、路線便数配分モデルにおいて前提条件となる路線を追加することにより分析することができる。ローコストキャリアの参入に関しては、OD ゾーン間航空市場モデルにおける参入社数設定の変化および費用関数の差別化により影響を評

価することができる。

しかし、全国の航空需要予測モデルに組み込む形にはなっておらず、部分的あるいは補完的に制約条件の影響を分析するツールとしての利用が考えられる。政策評価のための検討材料として政策適用後の航空市場の状況についてこれまで以上の情報を提供することができる仕組みとなつてはいるが、精度の面では課題も多い。今後の課題としては、OD 需要関数等の各サブモデルの精度向上が挙げられる他、路線便数配分モデルにおける目標ロードファクター等の各種の前提条件の設定方法についても検討する必要がある。

謝辞

需要予測モデルの改善にあたっては、屋井鉄雄 東京工業大学大学院教授を座長とする「需要予測手法改善検討会」において、座長をはじめとする学識経験者、行政関係者の方々に貴重なご意見とご指導を頂いたことを感謝します。また、本資料のうち、6. ～ 7. は、石倉智樹元空港研究部主任研究官(現東京大学大学院工学系研究科特任講師)らの研究成果によるものであることも申し添えます。

参考文献

- 1) 国土交通省ウェブサイト：交通政策審議会航空分科会（平成 19 年 5 月 31 日），
http://www.mlit.go.jp/singikai/koutusin/koku/07_9/070531.html
- 2) 国土交通省国土技術政策総合研究所ウェブサイト：航空需要予測について，
<http://www.ysk.nilim.go.jp/kakubu/kukou/keikaku/juyou.html>, 2007.
- 3) 大橋忠宏，安藤朝夫：ネットワークを考慮した航空旅客市場と航空政策のモデル分析，応用地域学研究，No. 2，pp133-144，1996
- 4) 大橋忠宏，安藤朝夫：航空市場でのハブ・スポークネットワーク形成と空港使用料に関する研究，土木学会論文集，No. 611，IV-42，pp33-44，1999
- 5) 黒田勝彦，竹林幹雄，平井一人，正木智也，鈴木秀彦：規制緩和下における国際航空旅客輸送市場のモデル分析，土木計画学研究・論文集，No. 16，pp835-843，1999
- 6) 高田和幸，屋井鉄雄，原田誠：エアライン間提携の影響分析手法に関する研究，土木学会論文集，No. 667，IV-50，pp73-83，2001
- 7) 竹林幹雄，黒田勝彦，鈴木秀彦，宮内敏昌：完全競争市場として見た国際航空旅客輸送市場のモデル分析，土木学会論文集，No. 674，IV-51，35-48，2001
- 8) 竹林幹雄：わが国国内航空旅客輸送市場への LCC 参入に関する一考察，土木計画学研究・講演集，No. 31，CD-ROM，2005