

# 国内航空市場における機材変遷に関するモデル分析

屋井研究室 00M16127 齋藤輝彦

本研究では国内航空機材の変遷を明らかにし、空港容量が拡張された際に、機材変遷によってもたらされる受益者へのメリットを計測する。始めにエアラインによるこれまでの機材変遷を分析し、今後、機材が小型化していく可能性があることを示す。続いて路線ごとの機材変遷を分析し、路線ごとのサービスレベルの違いを明らかにする。最後に、東京国際空港が拡張された際の小型機運航の可能性を検討し、利用者便益を計測した。

**Key Words** : *aircraft size change, regional air, airport extension*

## 1. はじめに

世界航空需要の平均的な伸び率が 4～5%であり、特にアジアではそれを上回る 6～8%の高い伸びが続いている中で、我が国の航空旅客需要も戦後著しい発展を遂げ、現在も国内線・国際線ともに高い需要の伸びを示している。一方、国内線旅客需要の 5 割強が集中する羽田空港では、何度も容量拡張を行ってきたにもかかわらず、容量不足の現状は今でも変わっておらず、航空輸送の大きなボトルネックとなっている。これをそのまま放置しておく、国際競争にも立ち遅れ、今後の我が国の発展に支障をきたすこともありうる。ボトルネックを解消するためには、大規模空港の整備、とりわけ需要が集中する首都圏空港整備を早急に進める必要がある。

こうした現状を受け、羽田空港では平成 13 年 12 月に再拡張案が決まり、発着可能回数は年間 27.5 万回（離陸 32 回/時、着陸 28 回/時）から年間 42.3 万回（離陸・着陸 40 回/時）になる方針である。

だが、羽田空港を始めとする大空港の整備は、輸送効率・空港混雑等の理由により、小型機による低需要路線の運航（コミューター航空）を混雑空港（羽田・成田・伊丹・関空）から排除することにつながってきている。羽田空港では 1999 年時点で 1 便あたり平均 223 人乗っており、1 便あたりの乗客数は世界最大

である。「効率的な輸送」と引き換えに、乗客は便数・路線数ともに制限された劣悪なサービスを強いられてきたといえる。その後 2000 年 2 月に需給調整規制が撤廃され、完全自由市場となった今、競争は激化し、大手エアラインは独自の戦略の中で旅客のニーズに合わせた機材構成を指向することによって、路線によっては機材の小型化（ダウンサイジング）が進み、小型機の役割も増すと思われる。また小型機は大型機に比べて格段に騒音が少ないので、新規導入には比較的障害が少ない。

こうした背景のもとで、今後首都圏空港を整備していくには、将来ビジョンを明確にするとともに、容量拡張や航空機材のサイズチェンジからくる頻度増加によって、どの主体がメリットを受けるかを明確にする必要がある。しかし航空機材のサイズチェンジはこれまでもエアライン独自の判断によって行われてきており、その判断基準は明らかになっていない。そこで本研究では、まず我が国における航空機材の変遷の実態を運航実績から把握する。そして機材のサイズチェンジによって利用者の利便性がどのように変化するのかを明らかにすることを目的とする。以下に、本研究の構成を示す。

はじめに、航空機材の購入・リースを通じて行われ

てきた我が国のエアラインによる航空機材の保有状況の変遷をエアラインのグループごとに把握する。

次に、就航している都市の規模に応じて、エアラインは使用する機材を使い分けてきていることから、羽田路線を年間需要レベルに基づいて分類する。そして羽田路線ごとに行われてきた機材変遷を把握し、その変遷要因を分析する。

最後に、以上の分析で得られた知見をもとに、今後首都圏空港容量の緩和が行われた際に、それに伴って就航機材の構成が変化することによって、羽田発着のどの路線がメリットを受けるかを把握する。

## 2. アメリカにおける規制緩和後のコンピューター航空の実情<sup>1)</sup>

我が国よりも8年早く、1978年ころからアメリカでは規制緩和がスタートする。これにより競争が促進し、多様なサービスが出現するようになる。特にここではアメリカの地域航空（コンピューター航空）の発展の過程とその要因を示す。

### (1) 大手エアラインが撤退した低密度市場への進出（第1期）

参入規制の撤廃により、低コストの新規航空会社が設立され、大手エアラインが撤退していった不採算路線に進出を始めた。

### (2) ハブ・アンド・スポークネットワークにおけるスポーク運航（第2期）

大手エアラインがコスト削減を目的に「ハブ・アンド・スポーク・システム」という運航方式を採用するようになる。ハブ空港間を大手エアラインが大型機材で運航し、ハブ空港と中小都市間のスポーク部分をコンピューター航空が運航する形態が1983年ころから定着し始める。1987年以降は大手エアラインが市場を確保するためにコンピューター航空会社を買収し、系列化するようになり、大手エアラインの庇護のもとで、コンピューター航空は発展していくこととなる。

### (3) リージョナルジェット機による発展

1993年に長距離運航が可能な小型ジェット機が導入されると、従来の乗り換え輸送（スポーク部での運航）だけでなく、直行便運航が可能になり、需要が薄く長距離である地方都市間路線に投入されるようになる。これは新規需要の掘り起こしにつながると考えられている。

これら(1)(2)(3)以外にも、1988年のボストン

ローガン空港における、小型機の排除を目的とした着陸料改定問題や、EAS 補助金制度などが、コンピューター航空発展の助けとなっている。

表1 データ出典一覧

世界航空機年鑑2001 <sup>(2)</sup>	座席数
JA登録航空機一覧表 およびその追録 <sup>(3)</sup>	型式,所有者,登録年,登録抹消年
日本の旅客機2002 <sup>(4)</sup>	運航会社,所属グループ

## 3. エアラインによる機材変遷の分析

本章は航空機材の変遷をエアラインによる機材の保有状況から把握することを試みる。アメリカと同様に我が国でも、エアラインは自らの経営を効率化させるために、合併や提携を繰り返しており、グループ内での機材のリースや移管を頻繁に行っている。そのため機材の保有や買い替え、リースは個別のエアラインの判断によるものではなく、グループごとに行われていると考えられる。そこで本研究で分析の対象とするグループは、日本航空(JAL)、全日本空輸(ANA)、日本エアシステム(JAS)の大手3グループとする。

### (1) 大手3グループによる機材保有状況の把握

実際に大手3グループそれぞれの機材保有状況を詳しく把握するためには、航空機を1台ずつ把握する必要がある。使用したデータの出典は表1の通りであり、JA登録制度開始1960年以降のデータを分析対象としている。

これまで航空機材1台1台が、どのエアラインによって運航されてきたかを追跡し、その全貌を明らかにしたデータは存在しない。本研究ではエアラインによる機材の保有状況を把握する必要があるため、以下にその過程を示す。

#### 運航会社の特定

1970年代ころまで、旅客機はエアラインが所有し、運航していた。使用期間も減価償却期間としていた。しかし1980年代に入り、大型ジェット旅客機が就航するようになると、エアラインは所有することによるリスクを避け、リースによる運航形態にし、新鋭機種を導入するために減価償却期間途中に売却するようになり、航空機は複数のエアラインを渡り歩くようになる。そのため航空機ごとの運航会社を特定することは非常に困難になるが、今回はグループ単位で分析であるため、航空機はグループ間での売買・リースはないものと仮定することにより、航空機は1グループのみによって運航されるとみなしている。

(新規エアラインなどで若干の例外もあり)

### 所属グループの特定

現在は大手3グループを中心に国内航空市場は動いているが、過去に遡ると、もともとは別会社である場合も多い。今回の分析では過去のある時点で別会社であっても、2001年において、系列化しているのであれば、同一グループと見なす。

### 座席数の特定

航空機の座席数は同一機種であっても、エアラインの都合によって、ファースト・ビジネス・エコノミーの構成をほぼ例外なく変化させており、それは同一機材であっても、売買・リースされる際に行われる場合もある。そこで今回の分析では一貫性を保つために、「世界航空機年鑑 2001」<sup>2)</sup>におけるリストデータの平均値を、各航空機材の座席数とした。以上を元に作成したエアライングループ別の機材保有状況を図1~3に示す。なお、機材数は座席クラス別にしている。

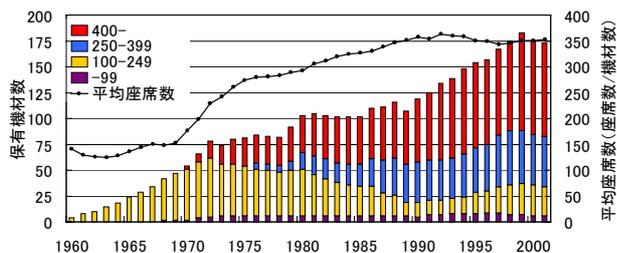


図1 JALグループの機材保有状況

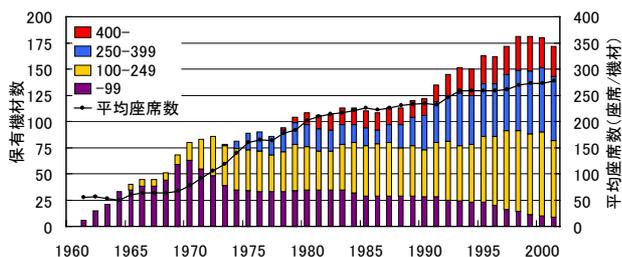


図2 ANAグループの機材保有状況

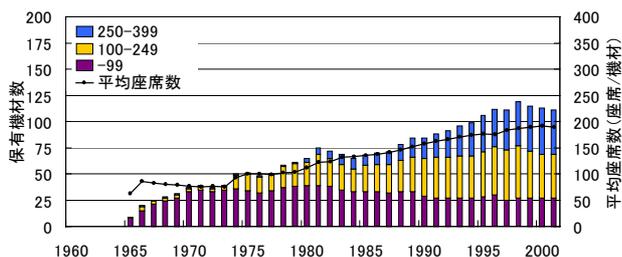


図3 JASグループの機材保有状況

## (2)機材保有状況の分析

ここではエアライングループごとの機材保有状況を分析する。図1~3を見ると、全体的に機材数は増加傾向にあるが、1998年以降は3グループとも機材総数が減少に転じている。平均座席数は3グループともに程度に差はあるが、増加傾向にある。特にJALグループは大型機を大量に導入しており、平均座席数は1970年代に大幅に増加している。しかし1990年代になると、横這いもしくは若干低下している。JASグループはもともとローカル線を担当していたので、平均座席数は増加傾向にあるものの、他の2グループよりも比較的小さい機材を使用していることがわかる。

さらにこれら3グループの機材変遷要因を探るために、回帰分析を行う。被説明変数を大型機比率とし、説明変数には累積運航回数、搭乗率、羽田容量、混雑率(=運航回数/羽田容量)、平均機材年齢および、これらのラグ2期分である。5%以下で有意な結果を以下に示す。

表2 回帰分析結果

JALグループ		偏回帰係数	t値
ロードファクターt-1		1.047943859	4.092167611
平均機材年齢t-2		0.055410235	4.275426379
混雑率(=運航回数/羽田容量)t-2		0.00112201	2.343422981
定数項		-0.82411654	5.741511629
重相関係数		0.985550353	
		t値の自由度 ... 35	
ANAグループ		偏回帰係数	t値
累積運航回数t-2		6.05142E-08	8.17130243
ロードファクターt-2		0.876891157	5.00373757
平均機材年齢t-1		0.016864276	3.15448684
定数項		-0.54552783	4.258525427
重相関係数		0.965440573	
		t値の自由度 ... 24	
JASグループ		偏回帰係数	t値
羽田容量t-1		0.001017213	22.48779295
ロードファクターt-1		-0.45929057	6.234398421
平均機材年齢t-1		0.021026603	11.82753041
定数項		-0.21711003	3.433535651
重相関係数		0.993311886	
		t値の自由度 ... 24	

## (3)機材年齢についての考察

図4はエアライングループごとの機材平均年齢を時系列にしたものである。この曲線の傾きは常に1以下であり、傾きが小さければ小さいほど、新規購入・買い替えが進んでいると考えられる。これによると、1980年代中頃までは各グループともほぼ一定の割合で機材の買い替え・新規購入が行われている。1980年代中頃からJALグループでは機材平均年齢が

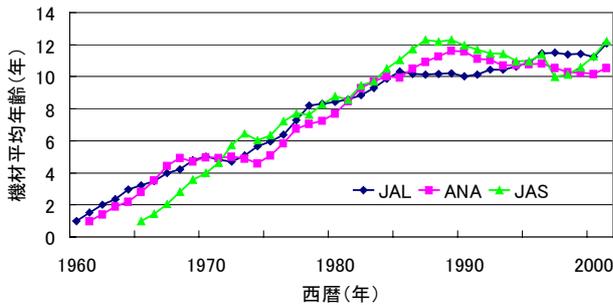


図4 大手3グループの機材平均年齢

10年ほどで横這いとなり、その後も12年弱で安定している。一方ANAグループとJASグループは1990年以降、傾きが負になっており、買い替え・新規購入が進んでいると考えられる。

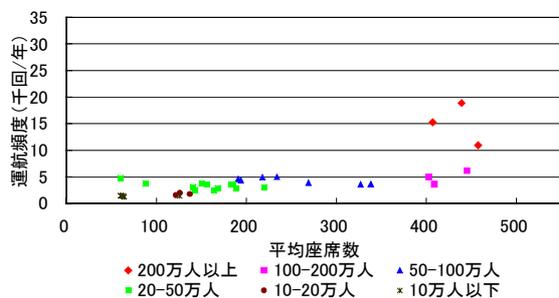


図5 1986年における羽田路線輸送実績

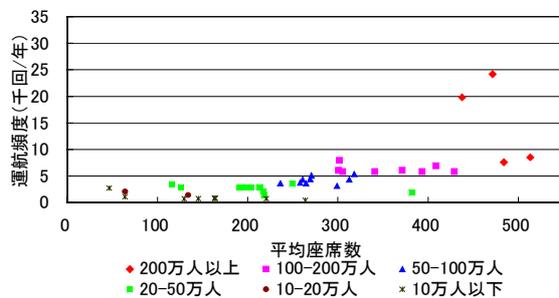


図6 1994年における羽田路線輸送実績

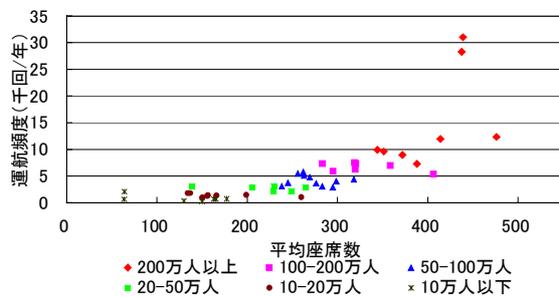


図7 2000年における羽田路線輸送実績

#### 4. 路線ごとに着目した機材変遷の分析

エアラインは幹線・ローカル線で運航機材を使い分けており、機材変遷を捉えるには路線も考慮に入れる必要がある。規制緩和以前もエアラインは路線の需要に合わせて使用機材を投入してきた。だが、路線はほぼ独占状態であり、競争は働かず、機材投入の基準も極めて硬直的で旅客のニーズに合っているとは言いがたい。1986年以降はダブル・トリプルトラッキングにより、競争環境が整い、使用する機種も多様化していると考えられる。本章では1986年の規制緩和が始まったところからの羽田路線に着目し、路線ごとの機材変遷を把握する。

##### (1) 羽田路線における運航実績の把握

ここでは1986年以降、羽田路線の年間運航実績（運航回数、総旅客数、総座席数、ロードファクター、平均座席数）を航空輸送統計年報から入力し、本章で用いるデータとした。以下に、1986年、1994年、2000年での羽田路線における運航回数、平均座席数を図示する。図5~7を見ると、路線数が1986年時点で34路線、1994年時点で43路線、2000年時点で47路線と、路線数は増加している。そして羽田のスポット数は随時増加しているため、運航回数は全体的に増大している。特に千歳・福岡などの一部の高需要路線では運航回数が急激に増加している。

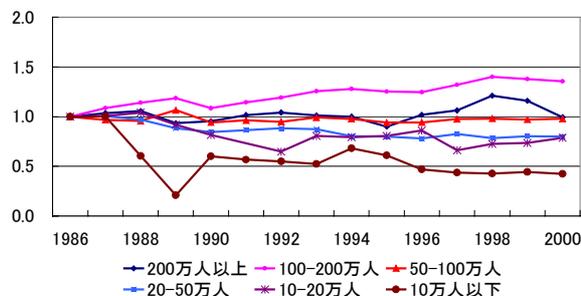


図8 路線規模別運航回数の変化率

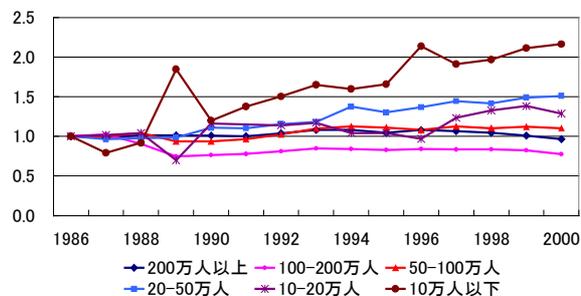


図9 路線規模別平均座席数の変化率

また、路線規模別に運航回数、平均座席数の変化率の時系列変化を、1986年を基準にして図8.9に表すと、年間50万人以下の路線では運航回数が1986年時点に比べて減少しており、年間10万人以下の路線では特に顕著である。平均座席数の変化率を見ると、年間50万人以下の路線ではアップサイジングが進んでいるが、年間50万人以上の路線では横這いもしくはダウンサイジングが進んでいる。これより、高需要路線のみでサービスレベルが向上しているが、低需要路線では相対的にサービスレベルが低下しており、低需要路線では規制緩和、空港要領拡張の恩恵を受けていないことがわかった。

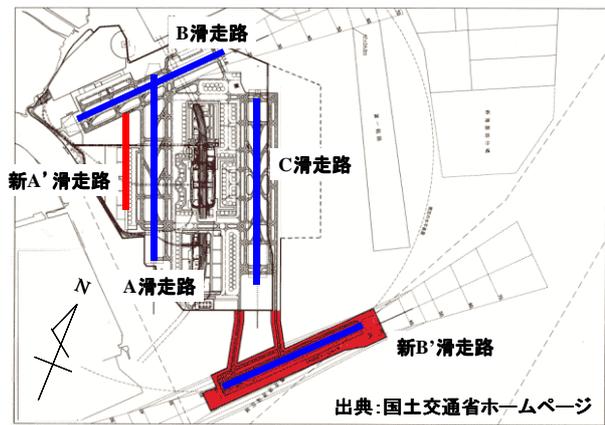


図10 新滑走路と滑走路位置関係

### 5. 空港容量が拡張された際の便益帰着分析

空港容量が増えれば路線によっては小型・中型機による多頻度運航が可能になり、旅客にとって非常に利便性が向上する。だがこれまでも述べたように、羽田空港では小型機を排除してきている経緯があり、現状のままで小型機を導入できる可能性は極めて小さい。しかしながら小型機材の導入は多頻度運航の有力な手段であり、その運用には滑走路長が1500m以下で済むので、羽田空港に小型機用の滑走路を建設すれば、羽田空港に小型機と大型機を共存させることができ、低需要路線でのサービスレベルの向上が予想される。そこで本章では羽田空港に小型機用の新たな滑走路を作り、空港全体としてのスロット数を試算する。次に新滑走路建設は誰にとってのメリットなのか。その受益者を明確にし、便益を測定する。

#### (1) 新滑走路建設による空港処理容量の計測

ここでは小型機用新滑走路（新A'滑走路）の位置を選定し、スロットの増加数を試算する。ただし、その際には予定されている新B'滑走路は既に存在するものと仮定する。

##### 滑走路位置の選定

ここでは新A'滑走路をA滑走路の内陸側に建設する（図10）。これは小型機の騒音が小さいことや、旧空港跡地の有効利用の観点からである。

##### 滑走路の利用方法

一般に、航空機が離陸・着陸をするときは向かい風時に行うのが普通であり、羽田空港も例外ではない。羽田空港での離陸・着陸方式を図11に示す。

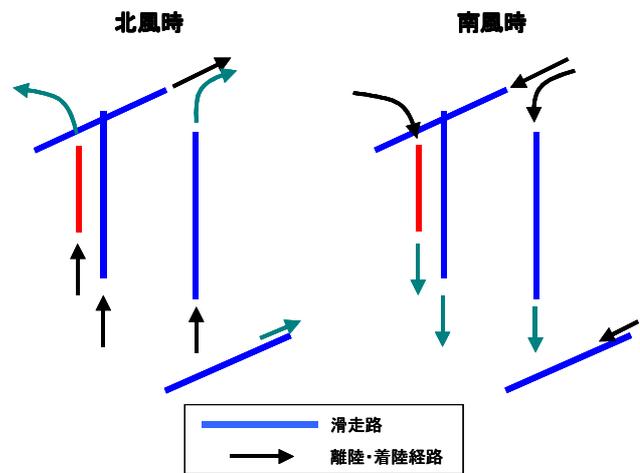


図11 北風時・南風時の離陸・着陸方式

#### 滑走路1本の処理機材数の算定

1本の滑走路で処理する航空機数には自ずと限りがあり、それは先発機と後続機との関係によって決まるものである。もちろん、他の滑走路の影響を受ける場合は、それを考慮する必要がある。

まずは一本の滑走路の処理要領を算定するために、次の3つのケースについて考える。

#### ( ) 着陸機が連続する場合

滑走路縁から着陸帯縁を通過するまでの安全間隔（15秒）、進入速度などのパラッキに対する安全間隔（30秒）、滑走路進入端を通過して、着陸滑走路縁を通過するまでの時間（平均58.8秒標準偏差9.2）となるので、2.6の安全率を確保すると、1機あたり127.72秒かかるとなり、1時間あたり28機処理できることになる。

#### ( ) 離陸機が連続する場合

先行機が2マイル離れる時間（45秒）、離陸許可を出して、離陸滑走を始める時間（15秒）、エアポンまたは1800mを過ぎるまでの時間（35秒）かかると

すると、1機あたり95秒かかり、1時間に32機処理できる。

( ) 離陸と着陸が交互に行われる場合

基本的に( ) ( )を合わせたものから、着陸・離陸で同時に行える時間(着陸機が滑走路から退避する時間と、離陸機が滑走路に進入する時間)を除いた時間である。だが実際にはスケジューリングの問題もあり、離陸と着陸が常に交互に行われることはない。

#### 空港処理容量の計測

で述べた1滑走路あたりの処理数制約と、複数の滑走路を同時に利用することによる空域の制約を考慮して、北風時、南風時についてそれぞれ処理数を算定する。後者の制約について、北風時のみ以下に示す。

( ) 新A'滑走路について

新A'滑走路は小型機専用であり、新A'滑走路で大型・中型機材が離陸・着陸することはできない。逆にA,B,C,B'滑走路を小型機が使用することはできない。また新A'滑走路の離陸・着陸同時使用は合計で20機までとした。

( ) A滑走路と新A'滑走路について

A滑走路と新A'滑走路は平行ではあるが、距離が近いので、後方乱気流(ウェークタービュランス)の影響を考慮しなくてはならない。これら2つの滑走路の、1時間あたりの着陸数を最大28とした。28機以上では後続機との間隔が127秒以下になり、小型機は特に後方乱気流の影響を受けてしまうからである。

( ) B滑走路について

北風時にB滑走路は新A'滑走路を使用する離陸機とA滑走路を使用する着陸機、C滑走路を使用する離陸機と交錯する。B滑走路ではこれら3つの制約と、離陸時の騒音問題により、使用は大きく制限される。今回の不等式制約ではスケジューリングまでを考慮に入れていないが、A滑走路の着陸と新A'滑走路の離陸はほぼ同時に行われ、新A'滑走路の着陸とB滑走路の離陸がほぼ同時に行われると想定している。B滑走路とC滑走路では、離陸時に航路が重なるので、1時間あたりの離陸数を最大32とした。

( ) C滑走路の離陸・着陸同時使用について

C滑走路は離陸・着陸の同時使用になるが、離陸のみ、着陸のみの使用も考えられるので、1時間あたりの使用回数の合計を32とした。

( ) C滑走路とB'滑走路の交錯について

C滑走路とB'滑走路では着陸前、離陸後の利用空域が異なるため、C滑走路への着陸とB'滑走路からの離陸が同時に行われなければよい。

以上を考慮し、制約条件つき最大化問題を解いた結果を図12に示す。これによると、滑走路処理数合計は北風時・南風時で異なる事がわかる。新A'滑走路を建設することによる処理数の純増は、新A'滑走路で北風時に1時間あたり10機処理するときまで、南風時には14機までとなっている。羽田空港1日の使用時間を13.5時間とすると、1日あたり135回の純増となる。新A'滑走路において1時間あたり15機以上処理すると、既存のロット数を低下させてしまうことになる。

(2) 小型機導入による利用者便益の計測

ここでは羽田路線において小型機材を導入した場合、どの程度利用者便益を向上させるのかを検討する。分析で用いる小型機はボンバルディア(カナダ)製のCRJ-200(座席数50)とした。また小型化する路線は、2000年時点での年間旅客数20~50万人の路線(カテゴリー )と、20万人以下の路線(カテゴリー )とした(表3)。なお運航補助のある離島路線は今回の分析対象外としてある。

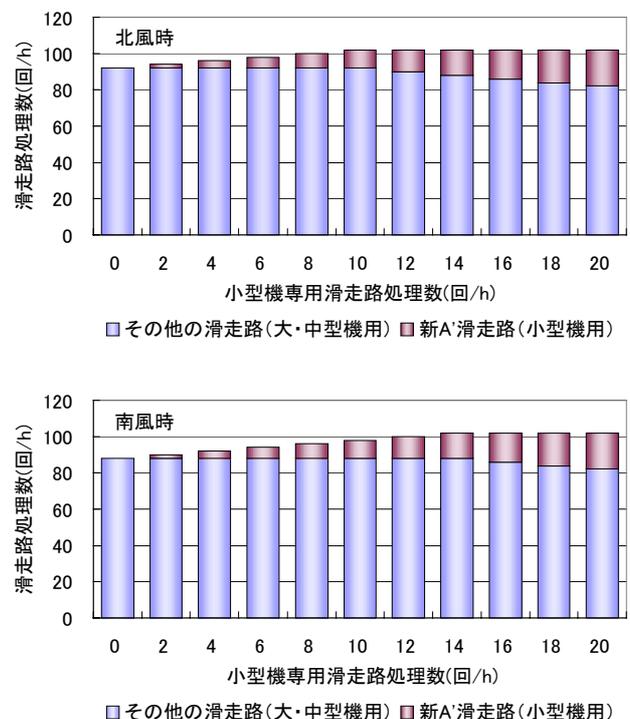


図12 羽田空港1時間あたりの機材処理数

表 3 年間旅客数 50 万人以下の羽田路線

路線		年間旅客数(人)	現況便数(便/日)
カテゴリー I	岡山	488754	4
	三沢	432584	4
	米子	364379	4
	庄内	358943	3
	鳥取	332696	3
カテゴリー II	稚内	169789	1
	佐賀	168847	2
	北九州	146936	2
	南紀白浜	136241	2
	中標津	110460	2
	大館	107729	2
	石見	101372	2
	山形	77558	1

小型機導入の検討

年間旅客数 50 万人以下の路線の需要を全て CRJ-200 で運航するだけのスロット数は確保できない。そこで今回の分析では、カテゴリー I に関しては、全便を CRJ に切り替え、カテゴリー II に関しては、他路線へ影響を与えない程度に小型化し、利用者便益を計測する。まずは段階的小型化による路線別便数と新 A' 滑走路使用回数の変化の結果を表 4 に示す。

( ) カテゴリー I の路線のみを小型化した場合

カテゴリー II のみ小型化した場合は表 4 より、新 A' 滑走路を 1 時間あたり 6 回使用することになる。これは北風時・南風時ともに、新 A' 滑走路による容量純増の範囲内であり、他路線のスロットを減らすものではない。

( ) カテゴリー II の路線も小型化した場合

カテゴリー I の路線を小型化しながら、カテゴリー II の路線も小型化した場合、他路線のスロットを減らさずに多頻度・小型化するためには、小型化することにより回収することのできるスロット分も考慮して、カテゴリー I の路線の小型化への変更は北風時には 1 便、南風時には全便小型化可能となる。

利用者便益の計測

ここでの利用者便益とは頻度増加による効用を打ち消す費用の増加のことである。便益を計算するにあたって、使用するデータは、「航空輸送統計年報 2000」の路線別年間旅客数、「航空需要予測手法に関する調査報告書」<sup>5)</sup>の航空頻度と費用のパラメータを使用した。なおデータの都合上、業務目的のパラメータを分析に使用しており、旅行目的別(業務目的・観光目的)の分析は行っていない。

以下にその結果を示す。

表 4 段階的小型化による路線別便数と新 A' 滑走路使用回数の変化

	現況便数(便/日)	カテゴリー I の CRJ への変更便数				
		0	1	2	3	4
岡山	4	4	8	12	15	19
三沢	4	4	7	10	14	17
米子	4	4	7	9	12	14
庄内	3	3	7	10	14	14
鳥取	3	3	6	10	13	13
稚内	1	7	7	7	7	7
佐賀	2	7	7	7	7	7
北九州	2	6	6	6	6	6
南紀白浜	2	5	5	5	5	5
中標津	2	4	4	4	4	4
大館	2	4	4	4	4	4
石見	2	4	4	4	4	4
山形	1	3	3	3	3	3
A' 滑走路使用回数(回/日)	0	80	123	166	209	238
A' 滑走路使用回数(回/時)	0	6	9	12	16	18

表 5 利用者便益の算出式と

運航頻度・費用のパラメータ

$$\Delta C_{M,f} = -\frac{\beta_1}{\beta_2} \ln\left(\frac{f + \Delta f}{f}\right)$$

- $\Delta C_{\Delta f, f}$ : 利用者便益
- f: 現行頻度
- $\Delta f$ : 増便数
- $\beta_1$ : 頻度パラメータ
- $\beta_2$ : 費用パラメータ

ln[路線運航頻度(便/日)]	0.723602
航空ラインホール費用(円)	-0.0002752

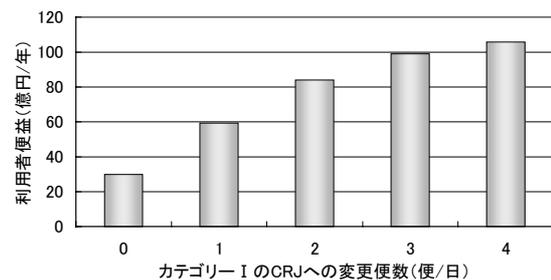


図 13 小型化多頻度による利用者便益(億円/年)

便益計測の結果、カテゴリー I のみの小型化は 30 億円、カテゴリー II の小型化と同時にカテゴリー I を 4 便小型化すると 105 億円の利用者便益がでることがわかった。

## 6. 結論

本研究で得られた成果を以下に示す。

- ・ 国内航空機材の変遷を取り扱うにあたり,JA 航空機材登録表を用い,エアライングループごとによる機材保有状況の経年変化を明らかにした。
- ・ 羽田路線において,幹線とローカル線では運航頻度や使用されている機材が大きく異なり,サービスレベルの格差が年々大きくなっていることを明らかにした。
- ・ 羽田空港を再拡張する際に,小型機専用の滑走路を共存させることが可能であり,小型機による運航と大型機とを両立させ,旅客利便性を改善できることを明らかにした。

## 参考文献

- 1) 宮内威著: コミューター航空の現状と課題 運輸と経済第 61 巻第 4 号 2001 年 4 月
- 2) 久保真人編: 日本の旅客機 2002 イカロス出版
- 3) 運輸省運輸政策局情報管理部編: 航空輸送統計年報 社団法人全日本航空事業連合会
- 4) 真島正敏編: 世界航空機年鑑 2001 年版 酣燈社
- 5) (財)運輸政策研究機構: 航空需要予測手法に関する調査報告書, 2000

### Analysis of the aircraft size changes in a domestic aviation market

In this research, when changes of the aircraft size are clarified and airport capacity is extended, the merit to the beneficiary brought about by equipments changes is measured. The old equipments changes by the introduction airline are analyzed. It is shown that equipments may be miniaturized from now on. Then, the aircraft size changes for every route are analyzed and the difference in the service level for every route is calculated. Finally, when Haneda Airport is extended, it analyzes about benefit brought to a user.