

羽田空港の容量制約による首都圏地方間 旅客の利用者便益損失分析

西園 知哉¹・轟 朝幸²・稲垣 具志³

¹学生会員 日本大学大学院 理工学研究科 交通システム工学専攻

(〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1)

E-mail: cstol7014@g.nihon-u.ac.jp

²正会員 日本大学教授 理工学部 交通システム工学科 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1)

E-mail: todoroki.tomoyuki@nihon-u.ac.jp

³正会員 日本大学助教 理工学部 交通システム工学科 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1)

E-mail: inagaki.tomoyuki@nihon-u.ac.jp

わが国最大の空港である羽田空港では、開港から現在に至るまで段階的に発着枠を拡大してきたが、容量は常に切迫した状態が続いている。そのため、エアラインは容量制約下において多くの旅客を輸送するため諸外国と比較して稀に見る中・大型機材で運航されており、小型機を用いた多頻度運航を十分に行えていない可能性がある。それは、本来旅客が享受できる便益を損失しているともいえる。そこで本研究では、羽田空港の容量制約がない場合、小型機を用いた多頻度運航が進展するかを推測した上で、旅客が便益をどの程度損失しているかを明らかにした。

Key Words : Haneda Airport, Airport Capacity, Logit Model, User Benefit

1. はじめに

わが国最大の空港である羽田空港では、航空需要の増加を受け、開港から現在に至るまで滑走路の増設や飛行経路の見直し等が行われ、段階的に発着枠を拡大してきた。しかしながら、現在も容量は切迫した状態が続いている。特に、国内航空旅客のうち約 6 割¹⁾が集中している羽田空港では、エアラインが容量制約下において多くの旅客を輸送するための最適解として、諸外国でも稀に見る中・大型機材での運航が行われている。近年では、段階的な発着枠拡大の恩恵を受け、小型機を用いた多頻度運航が進展しつつあるが、諸外国と比較しても未だに大型な機材で運航されているのが現状である。そのため、小型機を用いた多頻度運航が十分に行われておらず、本来発生するはずの便益を旅客が損失している可能性がある。一方、地方空港において、羽田空港の容量制約によって便数を十分に掘り起こせてなく、ストック効果を最大限に発揮できていない可能性があると考えられ、さらには赤字経営批判につながる一要因であるとも考えられる。

そこで本研究では、羽田空港の容量制約がない場合、多頻度運航が進展するかを推測し、首都圏一地方間を移

動する旅客が便益をどの程度損失しているのかを明らかにする。

以上のことが明らかになれば、羽田空港において、国際線だけでなく国内線においても発着枠を拡大させる必要性を示すことができるほか、旅客の利便性向上に資する国内線発着枠配分方策や滑走路増設、飛行経路の見直しなどの必要性を判断するための一助になるものと考えられる。

2. 既存研究と本研究の位置づけ

本研究の位置づけを明確にするため、関連研究の整理を行う。

(1) 羽田空港における容量拡大に関する研究

羽田空港の容量不足は多くの研究者が指摘している。平松ら²⁾は羽田空港にて小型機を活用することにより、既存の運航便数を減らさずに容量増加が可能であることを示している。また、平田ら³⁾は、5 本目の滑走路を新設した場合の容量拡大方策について複数シナリオを想定した上で分析している。その上で、将来において容量拡大の可能性が見込めることを示している。

(2) 羽田空港における需要・多頻度運航に関する研究

酒井⁴⁾は羽田空港の容量制約がない場合における潜在需要(1996年時点)を算出しており、容量制約によって需要を増加できていないことを示唆している。平松ら²⁾は羽田空港を発着する低需要路線に小型機が導入された場合の効果を分析している。その結果、小型機材を低需要路線に導入することで利用者便益が向上することを示しているが、小型機が低需要路線に導入されて多頻度化が行われるか否かは需要と供給を考慮して分析する必要がある。一方、竹林⁵⁾は羽田空港における国内線運航の特徴を示した上で、容量制約の緩和に伴う航空会社側の機材選択およびネットワーク形成行動について分析している。その結果、容量制約の緩和によって機材の小型化や、幹線を中心に多頻度化が進展する可能性を示している。しかし、利用者便益の観点からは分析が行われていない。

(3) 地方空港・地方路線維持に関する研究

尾関⁶⁾は地方空港の生産性向上に与える要因を過去のデータをもとに分析している。その結果、便数・旅客ともに羽田発着路線に依存している地方空港では、羽田空港への路線を増便させることが空港の生産性向上の要因になっていることを明らかにした上で、羽田空港の容量拡大政策を支持している。また、橋本ら⁷⁾は地方航空路線の撤退要因について分析を行っている。その結果、諸外国と比べ小型機材の導入が遅れたことなどを要因として挙げている。

以上の既存研究より、羽田空港では容量拡大方策が検討されていること、容量が拡大した際には機材の小型化・多頻度運航が期待でき、地方路線を利用する旅客の便益が向上することなどが明らかとなっている。一方、羽田空港の容量制約がない場合、首都圏-地方間を移動する旅客が便益を損失しているのかについては明らかになっておらず、羽田空港発着路線に依存している国内線においてこのような分析を行うことは羽田空港の機能強化方策や地方空港活性化方策の方向性を検討する上で非常に重要であると考えられる。

3. 本研究の流れ

本研究の流れを図-1に示す。本研究では、羽田空港の容量制約がない場合、小型機を用いた多頻度運航が進展するかをはじめに推測する必要がある。そのため、運航便数の提供に影響を与えると考えられる旅客行動(効用最大化行動)と供給行動(利潤最大化行動)を表現できるモデルの構築を行う。そして、需要と供給の整合から運航便数を求め、運航便数の増加分を貨幣換算した上で

利用者便益として算出し、旅客が容量制約によってどの程度便益を損失しているかを示す。

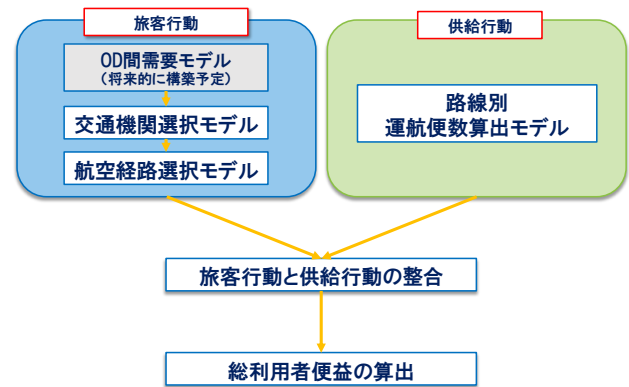


図-1 本研究の流れ

4. 旅客行動モデルの構築

本章では、羽田空港における運航便数が変化した場合に旅客が効用最大化となるような交通機関・航空経路選択行動を取ることを表現可能な非集計ロジットモデルを用いてモデルの構築を行う。旅客流動を表現するために、第5回全国幹線純流動調査(2010)のデータを使用する。本研究で仮定する旅客の選択肢構造は図-2である。航空経路選択モデルより求めたアクセシビリティ値を交通機関選択モデルに組み込んだネスティッド型(段階推定)のロジットモデルとする。なお、全国幹線純流動調査の個票データには航空・鉄道以外にもバス・フェリー・自動車のデータも含まれるが、本研究で扱うのは航空路線の新設などではなく運航便数の変化による交通機関・航空経路選択行動の変化になるため、航空と鉄道のみが競合するものと仮定した。

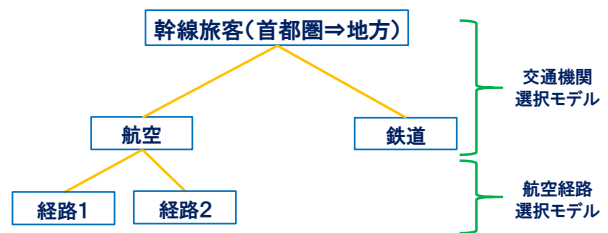


図-2 本研究で仮定する旅客行動の選択肢構造

(1) 航空経路選択モデル

航空経路選択モデルは運航便数が変化することによる航空経路間の競合関係を表現するためにモデルの構築を行う。

航空経路選択モデルの式は(1a), (1b)のように定式化される。

$$p_{ijr} = \frac{\exp(v_{ijr})}{\sum_{r \in c_{ij}} \exp(v_{ijr})} \quad (1a)$$

$$V_{ijr} = \sum_k \beta_{rk} \cdot X_{ijrk} \quad (1b)$$

P_{ijr} : 地点 i から j へ移動する際に航空経路 r を選択する確率

V_{ijr} : 地点 i から j へ移動する際に航空経路 r を選択する時の効用

c_{ij} : 地点 i から j へ移動する際に選択可能な航空経路の集合

x_{ijrk} : 地点 i から j を目指す旅客が航空経路 r を選択する場合の k 番目の交通サービス指標

β_{rk} : パラメータ

モデル化の対象は、首都圏出発かつ羽田空港の乗客であり、目的地ゾーンごとに指定した航空 2 経路を利用した航空旅客とした^{注1)}。ただし、パラメータ推定を安定させるという観点から、首都圏から目的地ゾーンへ移動する際の航空 2 経路の分担率がそれぞれ 10%以上あることを条件に追加した。

航空経路の設定方法を図-3、説明変数の設定方法を表-1にそれぞれ示す。



図-3 航空経路選択モデルの経路設定例（東京⇒佐賀）

表-1 説明変数の設定方法^{注3)}

説明変数	設定方法
総所要時間	アクセス時間 首都圏の各ゾーンから羽田空港へ鉄道を利用して移動する際の所要時間を設定。
	航空時間 搭乗時間に加えて搭乗手続き等の時間を60分加えた時間を設定。
	イグレス時間 地方空港から各目的地ゾーンへ車を利用して移動する際の所要時間を設定（有料道路考慮）。
総費用	アクセス費用 首都圏の各ゾーンから羽田空港へ鉄道で移動する際の費用。
	航空費用 普通運賃から35%割引した運賃を設定。
	イグレス費用 地方空港から各目的地ゾーンへ車を利用して移動する際の費用を設定（有料道路・燃料考慮）。
航空運航便数	羽田空港発路線の運航便数を自然対数を用いて設定。
県内空港ダミー	県内と県外の空港が競合する場合に県内空港を通る経路を導入。ただし、佐賀空港と福岡空港が競合する場合にはダミーを導入していない。

パラメータ推定結果および再現性を表-2、図-4 に示す。各説明変数のパラメータの符号は矛盾のない結果となっている。説明変数には、県内空港経路ダミーを導入して

いるが、パラメータの推定値を見るとプラスの値が算出されており、時間・費用・頻度などでは表すことのできない県内空港に対する愛着などを示しているものと推察される。また、尤度比は低くなっているものの、的中率や時間価値は良好な値になっており、再現性の高いモデルが構築できている。

表-2 航空経路選択モデルのパラメータ推定結果

説明変数	パラメータ	t値	
共通	総所要時間(分)	-0.0188	-27.31
共通	総費用(円)	-0.000209	-18.55
共通	ln(航空運航便数(便/日))	0.536	28.24
共通	県内空港経路ダミー	0.552	18.61
尤度比	0.089		
的中率(%)	63.8		
時間価値(円/時)	5,397		
サンプル数	18,520		

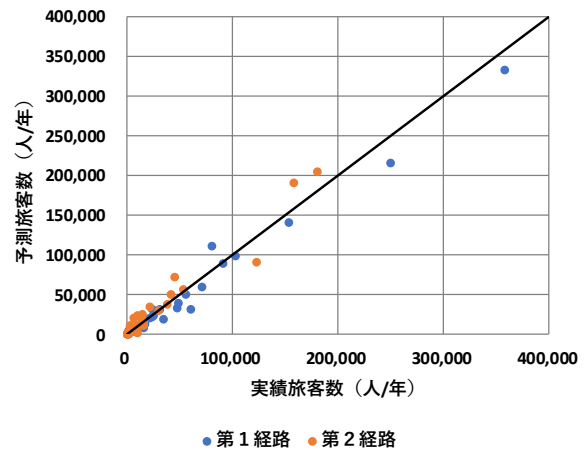


図-4 航空経路選択モデルの再現性

(2) 交通機関選択モデル

交通機関選択モデルは、航空の運航便数が変化することによる鉄道と航空の競合関係を表現するためにモデル構築を行う。

交通機関選択モデルの式は(2a)、(2b)、(2c)のように定式化される。

$$p_{ijn} = \frac{\exp(v_{ijn})}{\sum_{n \in c_{ij}} \exp(v_{ijn})} \quad (2a)$$

$$V_{ijn} = \sum_k \beta_{nk} \cdot X_{ijnk} + \gamma \cdot AC_{ijn} \quad (2b)$$

$$AC_{ijn} = \ln \left\{ \sum_{m \in c_{ij}} \exp(v_{ijm}) \right\} \quad (2c)$$

P_{ijn} : 地点 i から j を目指す旅客が交通機関 n を選択する確率

V_{ijn} : 地点 i から j を目指す旅客が交通機関 n を選択す

る時の効用

c_{ij} : 地点 i から j を目指す旅客の交通機関 n の集合

x_{ijnk} : 地点 i から j を目指す旅客が交通機関 n を選択する場合の k 番目の交通サービス指標

AC_{ijn} : 航空経路選択モデルより得られるログサム変数

β_{nik}, γ : パラメータ

モデル化の対象としては首都圏出発かつ目的地ゾーンへ羽田空港からの直行便を利用しての移動が観測された OD とした^{注12)}。ただし、パラメータ推定を安定させるといふ観点から首都圏から目的地ゾーンへ移動する際の航空・新幹線の分担率がそれぞれ 10%以上あることを条件に追加した。経路の設定方法を図-5 (航空 2 経路も併せて表示)、説明変数の設定方法を表-3 にそれぞれ示す。

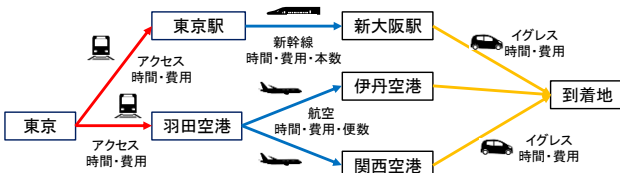


図-5 交通機関選択モデルの経路設定例 (東京⇒大阪)

表-3 交通機関選択モデルの説明変数設定方法^{注3)}

説明変数	設定方法
総所要時間	アクセス時間 首都圏の各ゾーンから新幹線駅へ鉄道を利用して移動する際の所要時間を設定。
	新幹線時間 出発駅から到着駅までの所要時間を設定。
	イグレス時間 新幹線駅から各目的地ゾーンへ車を利用して移動する際の所要時間を設定 (有料道路考慮)。
総費用	アクセス費用 首都圏の各ゾーンから羽田空港へ鉄道を利用して移動する際の費用。
	新幹線費用 出発駅から到着駅までの運賃を設定。
	イグレス費用 地方空港から各目的地ゾーンへ車を利用して移動する際の費用を設定 (有料道路・燃料考慮)。
新幹線運行本数	出発駅から到着駅までの運行本数を自然対数を用いて設定。
アクセシビリティ値	航空経路選択モデルより得られるログサム変数。

パラメータ推定結果および再現性を表-4、図-6 に示す。各説明変数のパラメータの符号条件は想定通りの結果となっている。また、尤度比、的中率、時間価値、再現性等どれも良好となっており、分析可能なモデル構築ができた。

5. 供給行動モデル (路線別運航便数算出モデル) の構築

本章では、羽田空港における容量制約がない場合に供給者側が提供する 1 日あたりの運航便数を予測するモデルを構築する。従来より、航空需要予測においては供給

表-4 交通機関選択モデルのパラメータ推定結果

説明変数	パラメータ	t値	
鉄道	総所要時間(分)	-0.00674	-40.66
鉄道	総費用(円)	-0.000141	-41.89
鉄道	ln(新幹線運行便数(本/日))	0.471	61.33
航空	アクセシビリティ値	0.498	59.07
尤度比		0.208	
的中率(%)		74.3	
時間価値(円/時)		2,868	
サンプル数		85,842	

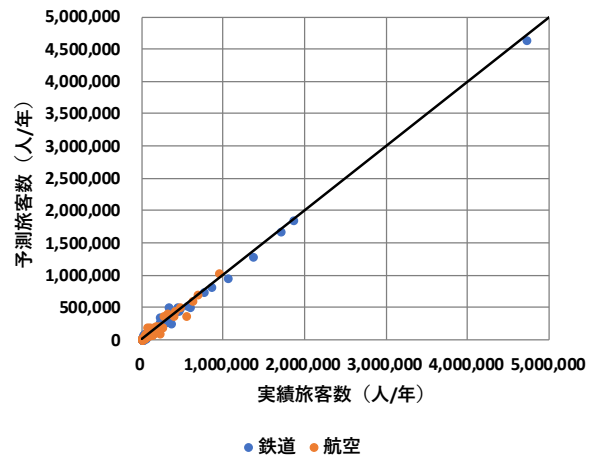


図-6 交通機関選択モデルの再現性

者行動の内生化が試みられており、供給者に関してはエアラインの財務データなどをもとに、利潤最大化行動と取ると仮定して表現する方法の検討が行われてきている。しかし、それらを考慮した上での運航便数の予測精度には課題があるとされており、実務的に適用には至っていない⁹⁾。本研究では、容量制約を受けていない路線は利潤最大化となるような運航便数を供給者側が旅客に提供しているという前提のもと、容量制約を受けていない路線を抽出した上で ln(運航便数(便/日)) を被説明変数とし、重回帰分析を用いた路線別運航便数算出モデルを構築した上でモデルを羽田空港発路線に適用する。モデル化するデータは、第 5 回全国幹線純流動調査が行われた時期に合わせるため、平成 22 年度航空輸送統計調査の路線別データを使用する。なお、1 便当たりの平均座席提供数が 50 席未満の路線においては離島路線が多く含まれており、これらの路線は国や自治体などから補助金を受けている路線が多数存在するため、対象から外している。

パラメータ推定結果を表-5、モデルの再現性を図-7 に示す。各説明変数の符号には矛盾がなく、統計的に有意なモデルを構築できた。また、再現性も非常に高くなっており、羽田空港における容量制約がない場合において提供される運航便数を精緻に予測できるものと考えられる。なお、説明変数には座席利用率 50%以下ダミーを設けているが、当時は座席利用率が低い路線が多く存在し

たために導入している。ただし、平成 22 年度における羽田空港発着路線には座席利用率 50%以下の路線は 2 路線のみである。1 便当たり 100 席以下ダミーについては、リージョナルジェットでの多頻度運航を表現するために導入している。

表-5 路線別運航便数算出モデルのパラメータ推定結果

説明変数	パラメータ	t値
定数項	-1.514	-4.700
ln(片道運航距離(km))	-0.305	-4.010
ln(片道旅客数(人/日))	0.809	18.839
1便当たり100席以下ダミー	0.521	8.326
座席利用率50%以下ダミー	0.266	-2.374
航空会社競合ダミー	0.261	2.139
重相関係数	0.967	
サンプル数(路線)	65	

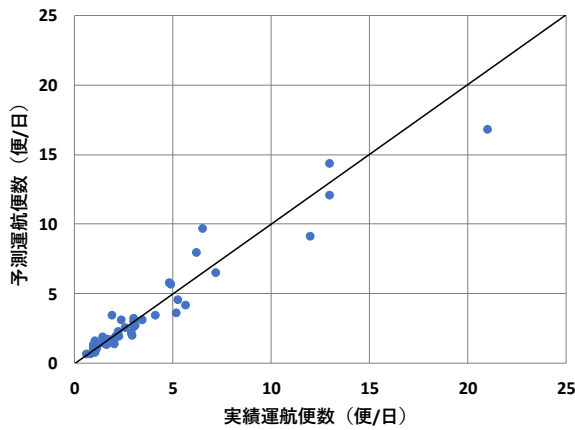


図-7 運航便数算出モデルの再現性

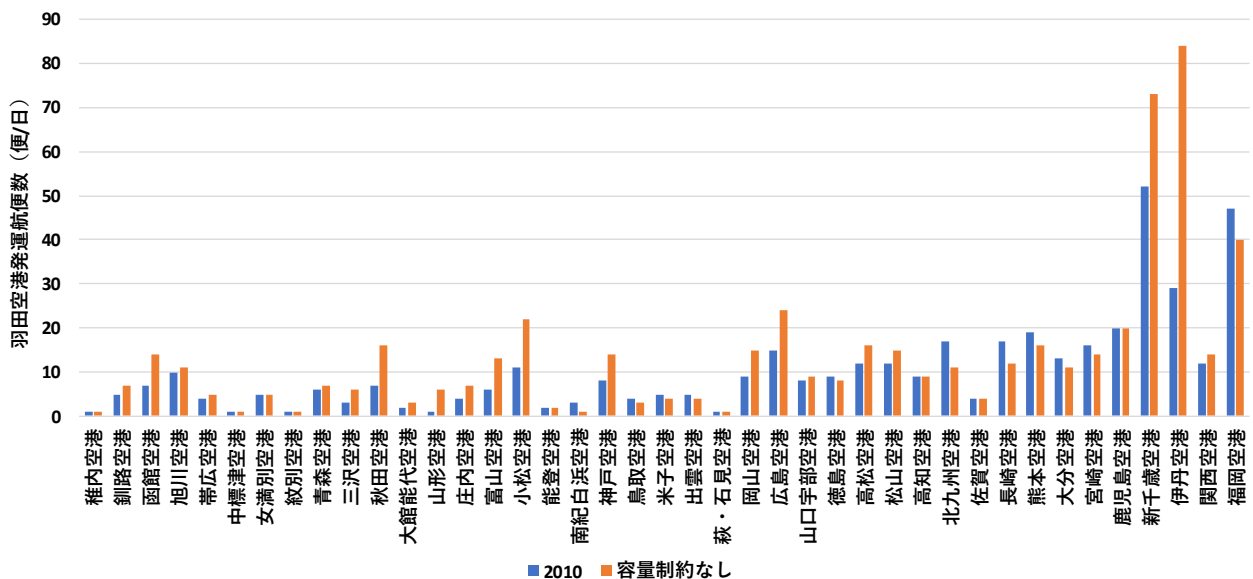


図-9 路線別運航便数算出結果

6. 容量制約がない場合の路線別運航便数の算出

本章では、羽田空港にて容量制約がない場合の路線別運航便数を構築した旅客行動モデル・供給行動モデルを用いて算出を行う。その後、算出された路線別運航便数に関して考察する。なお、旅客行動モデル、供給行動モデルで利用したデータと同じ 2010 年時点での分析とする。次章で算出する利用者便益についても同様に 2010 年時点である。

(1) 運航便数の算出方法

提供される運航便数は旅客の効用最大化行動と供給側の利潤最大化行動が整合した場合に決定するものと考えられる。そこで、それらを踏まえた上で運航便数の算出を図-8に示すフローに従って行う。

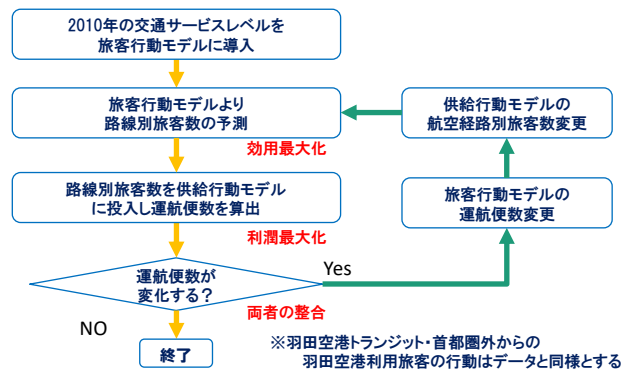


図-8 運航便数の算出方法

(2) 羽田空港発の路線別運航便数算出結果

図-9は羽田空港発の路線別運航便数算出結果を示す。2010年において羽田空港の容量制約がない場合、多くの

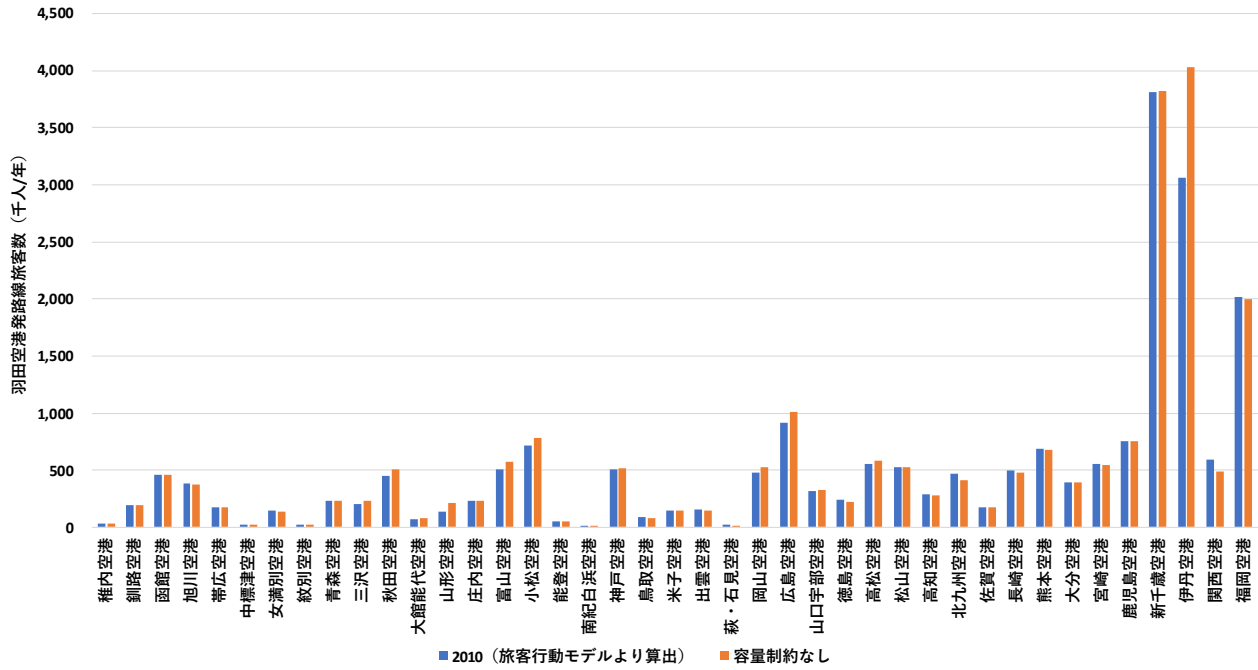


図-10 路線別旅客数算出結果

羽田空港—地方空港間路線にて増便する結果となった。特に、新幹線との競合がある路線にて運航便数が増加している。これは、運航便数が増加することにより、鉄道から航空へ転換する旅客が増えたためであると推察される。図-10は路線別に旅客数の変化を示しているが、伊丹空港への運航便数・旅客数を見ると大幅に増加していることが分かる。

一方、新千歳空港や釧路空港へ向かう便などは、旅客数がほとんど変化しないにもかかわらず、運航便数が増加している。これらの路線では、機材の小型化・多頻度運航が行われることにより、供給側が運航コスト削減・効率化、公共交通機関として旅客の利便性向上を図るような行動をとると推察される。なお、鉄道旅客を獲得した路線においてもこのような解釈ができる可能性がある。

また、山陰や九州を結ぶ路線では容量制約がない場合に2010年と比較して減便になるという結果が算出された。今回、時間・費用・頻度の3つを説明変数として、旅客行動モデルを全国に適用したため、航空の分担率が極めて高い地域の再現性に乖離（鉄道の過大予測）が見られたことが影響しているものと考えられる。このような地域の予測精度向上に関しては今後の課題となる。

7. 利用者便益の算出

本研究では、羽田空港の容量制約がない場合における運航便数の増加分を貨幣換算し、利用者便益として算出することで首都圏—地方間を移動する旅客の便益損失について考察する。具体的には、旅客行動モデルより得

られるパラメータを用いて、利用者便益が算出可能なログサム法にて利用者便益を求める。利用者便益を算出する対象としては首都圏から地方へ羽田空港からの直行便が観測された OD^{注12)}を移動した航空・鉄道旅客とし、道府県ごとに利用者便益の算出を行う。

利用者便益の算出式を式(3a), (3b)のように定式化する。

$$UB_{ij} = X_{ij} \cdot \left\{ \ln \left(\sum_n \exp(V_{ijn}^{WO}) \right) - \left(\sum_n \exp(V_{ijn}^W) \right) \right\} / b \quad (3a)$$

$$UB = \sum_i \sum_j UB_{ij} \quad (3b)$$

UB_{ij} : 地点 i から j を目指す旅客に生じる利用者便益発生額

UB : 首都圏—地方間移動旅客に生じる総利用者便益発生額

X_{ij} : 地点 i から j へ向かう総旅客数

V_{ijn} : 地点 i から j へ移動する際に交通機関 n を選択する際に得られる効用

WO : without ケースである事を示す添え字で 2010 年ケース

W : with ケースであることを示す添え字で、容量制約がないケース

b : 航空経路選択モデルの総費用パラメータ

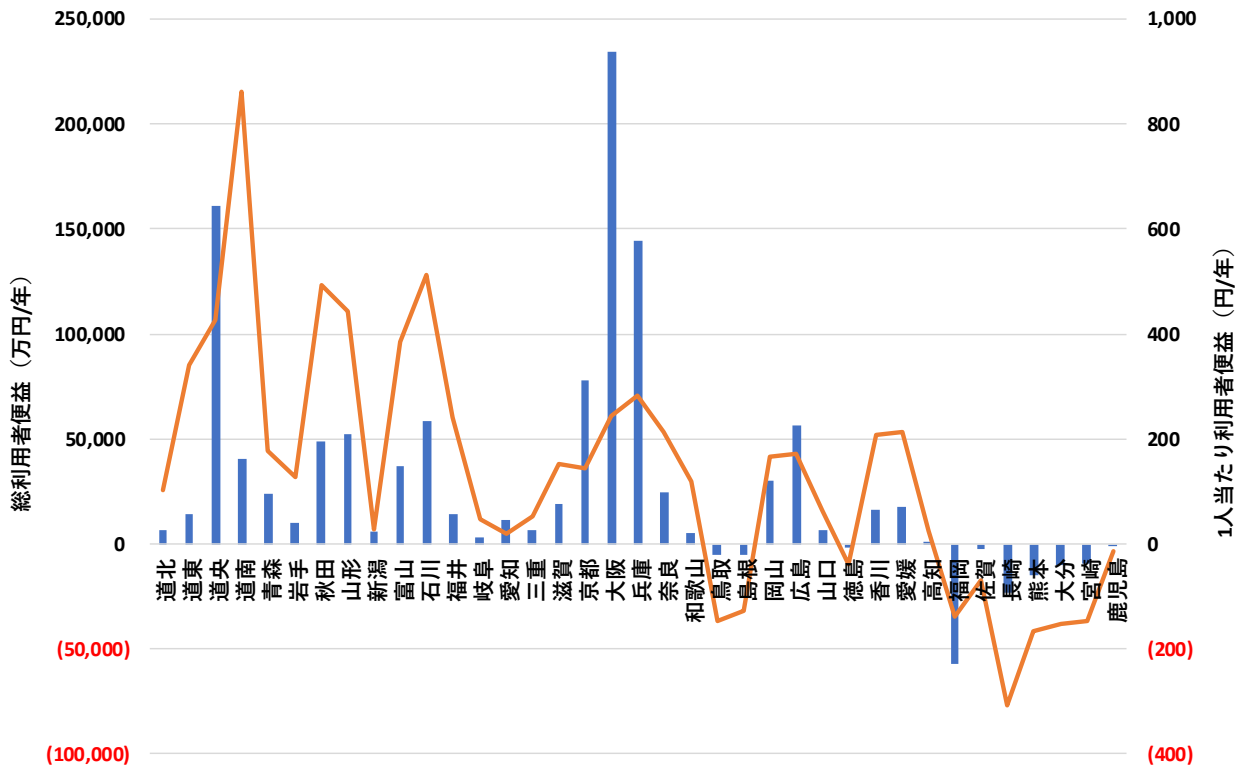


図-11 首都圏-地方間を移動する旅客に発生する利用者便益および一人当たりの利用者便益

図-11 は羽田空港の容量制約がない場合に発生する首都圏-地方間を移動する旅客の総利用者便益発生額および1人当たりの利用者便益発生額を道府県別に示している。

まず、総利用者便益発生額が大きい道府県に着目すると、大幅に運航便数が増加する新千歳線や伊丹線に関係する道府県へ向かう旅客を中心に総利用者便益が大きく発生しており、OD量が多いために総利用者便益は大きい値になっているものと推察される。しかし、1人当たりの利用者便益発生額は他の道府県と比較すると大きくはない。理由として、新千歳線や伊丹線はもともと運航便数が多いため、運航便数が大幅に増えても効用が逡増しているからであると推察される。

次に、1人あたりの利用者便益発生額が大きい道府県に着目すると、道南、秋田、山形、石川にて大きくなっている。これらの道府県に関係する空港では新千歳線や伊丹線までの増便は実現しないものの、新幹線が通っていないまたは羽田空港からの運航便数が少なかった空港に関係する道府県になるため、羽田空港発の運航便数が増加することにより旅客利便性が向上しているものと推察される。ただし、これらの道府県ではOD量が幹線(大阪など)などに比べると少ないため総利用者便益は大きくない。

なお、山陰や九州では利用者便益がマイナスに算出されているが、前章より山陰や九州に関係する路線では運航便数が減るといった結果を受けての利用者便益になっ

ている。

8. おわりに

本研究では、羽田空港の容量制約がない場合に多頻度運航が進展するかを推測した上で、首都圏-地方間を移動する旅客がどの程度利用者便益を損失しているかを明らかにした。

その結果、羽田空港の容量制約がない場合において、多くの空港で多頻度化が進展する可能性が高いことが示された。特に、幹線(伊丹線や新千歳線など)や新幹線と競合するような路線が顕著であった。次に、多頻度運航が進展することによる利用者便益を算出した結果、羽田空港の容量制約が存在することで首都圏-地方間旅客を移動する旅客が利用者便益を損失していることが明らかとなった。特に、総利用者便益の観点からは幹線に関係する道府県、一人当たりの利用者便益の観点からは新幹線の存在しない道府県や羽田空港発路線の運航便数が少ない空港が存在する道府県を中心に便益を損失している。

以上の結果より、羽田空港では将来に向けて、国際線だけでなく、国内線においても容量の拡大が必要であることが明らかとなった。

今後は、まもなく公表される第6回全国幹線純流動調査(2015)を用いて2015年における分析をモデルの改良も含めて行う。また、OD間需要モデルの構築を行い、

多頻度化の進展による需要の増加といったことも表現することが望ましい。講演発表時にはこれらの発展的視点を踏まえた分析結果も併せて報告する予定である。

補注

- 注1) 離島ゾーンおよび離島を目的地とする旅客除く。
 注2) 都道府県ベースで抽出（ただし、羽田直行便利用のない目的地ゾーンは除いた）
 注3) 丹生ら⁹⁾の研究を参考に航空運賃を設定。
 注4) 新幹線の運行本数は簡便のため 2018 年の本数を設定。

参考文献

- 1) 国土交通省航空局：航空輸送統計調査，2017.
- 2) 平松健志・平田照満・屋井鉄雄：空港容量算定シミュレーションの開発と容量拡大効果に関する研究，運輸政策研究，Vol.9, No.2, pp.25-37, 2006.
- 3) 酒井正子：羽田・日本を担う空港—航空交通と都道府県—，成山堂.
- 4) 平田照満・清水吾妻介・屋井鉄雄：羽田空港再拡張後の新規滑走路整備による容量拡大方策と騒音影響に関する研究，土木学会論文集 D3（土木計画学），Vol.67, No.5（土木計画学研究・論文集第 28 巻），pp.I_1011-I_1022, 2011.
- 5) 竹林幹雄：滑走路容量の影響を考慮した航空会社の機材選択・ネットワーク形成に関する研究；羽田空港を対象として，土木計画学研究・論文集，Vol.27, No.4, pp.803-810, 2010.
- 6) 尾関淳哉：Malmquist 指数を用いた地方空港の生産性変化の計測，日本経済研究，No.59, pp.22-41, 2008.
- 7) 橋本安男・屋井鉄雄・伊藤誠：地方航空路線の撤退要因と維持・拡充に係る研究，運輸政策研究，Vol.17, No.3, pp.2-14, 2014.
- 8) 国土技術政策総合研究所：航空需要予測について，<http://www.ysk.nilim.go.jp/kakubu/kukou/keikaku/fuyou1.html>
- 9) 丹生清輝・磯野文暁・大石礎：国内航空運賃に関する分析，土木計画学研究・講演集，Vol.44, 6pp., 2011.