

混雑空港の容量拡大に伴うエアラインの機材購入・スロット使用行動に関する分析*

Airline's Aircraft-size Choice Behavior considering Capacity of the Congested Airport*

平田輝満**・山田直樹***・屋井鉄雄****

By Terumitsu HIRATA, Naoki YAMADA, Tetsuo YAI

1. はじめに

我が国では首都圏の空港容量制約が長年の課題となっており、また一部の地方空港でも空港容量の需給逼迫が生じている。特に羽田空港の容量不足は、機材の異常な大型化、低頻度化、ネットワークの低密化、エアライン間の競争・新規参入の阻害など、国内航空市場の健全な発展や利便性向上に対して大きな制約となっている。そうした中、2009年に羽田空港に4本目の滑走路の建設が決定し、容量が現在の1.4倍となる予定であり、また、そのうち年間3万回分の発着枠は近距離国際線に使用することになっている。

この拡張により今後の国内航空需要を十分に賄えるとも言われているが、容量に余裕が生じると、欧米で進展しているような小型多頻度・直行便サービスが、日本でも進展し、その程度によっては、拡大した容量が早晩に一杯になってしまう可能性もある。一方で、既存のエアラインに十分な体力がなく、新規キャリアもリスクが大きく安易に登場しないため、増便が一定量にとどまり、再拡張の効果がフルには発揮されないというシナリオもありうるが、欧米と比べて平均で3倍も大きな機材が運航されてきたわが国の状況から、欧米並みの機材運用を上限と考えると非幹線路線を中心に、今の3倍の運航頻度を想像することができる。その途端に1.4倍の容量増はたちまちいっぱいになる¹⁾。容量が逼迫してくると、エアラインは再び機材の大型化をする必要に迫られる。需要の伸びや多頻度化の程度を予測し、将来的な容量の余裕を考えた際に、もし容量逼迫の可能性が近い未来であるようであったら、機材の買い替えコストを考え、比較的大型の機材を購入する行動をとることも考えられる。その結果、機材の小型化がそれほど進まないといった可能性もある。また、機材構成変化は空港容量自体にも大きな影響を与える。機材の小型化により、離着陸間隔の短縮が可能となるためである。従って、空港容量がエアラインの機材購入（機材構成）に影響を与え、一方で機材構成が空港容量に影響を与えるといったように、相互

に影響を及ぼしあっている。そのため、中長期的にみた航空サービスの利便性を維持・向上するために必要な空港容量については、羽田の再拡張に伴う国内航空市場の変化も考慮しながら検討する必要がある。

そこで本研究では、2009年に予定されている羽田空港再拡張後を対象に、多数のスロットが開放された場合の機材構成変化について、空港容量を考慮したエアラインの機材購入・スロット使用行動を簡易なゲーム理論モデルにより表現し、羽田空港再拡張後の小型化の進展可能性と空港容量・スロット開放速度について基礎的な分析を行うことを目的としている。

2. エアラインの機材購入・スロット使用戦略のモデル化

2.1. モデル構築のポイントと仮定

エアラインの機材購入・スロット使用戦略のモデル化する上での主なポイントを以下に列挙する。

①分析対象は羽田空港を発着する航空需要のみとし、路線（OD需要）といった概念をなくし、単純に、羽田空港において、エアラインが、限りあるスロットをある機材で使用することで、羽田空港を利用する旅客を輸送する、といった市場を考える。

②羽田空港のスロットは、2009年の再拡張時に一度に開放される場合と、2009年及び2014年の2度に分けて半数ずつ開放されるケースを想定した。

③エアラインは同質の2社が存在し、お互いに競争しながら旅客を奪い合う。2社は相手の戦略（今回は小型多頻度戦略 or 大型低頻度戦略）を予測しながら、自社の戦略を決定する。

④エアラインの機材購入計画と利潤計画の対象期間は20年（2007～2027年）とする（エアラインは大きな費用の伴う機材購入に当たり、短期的な利益を考えるのではなく、ある程度中長期的な利益を考えて機材の購入を決定すると考えられ、また、航空機材の減価償却期間約10年や機材の寿命期間約20年は機材購入に関して考慮すべき点であるとする）。

⑤エアラインが機材を購入するタイミングは2度のみで、スロット開放の2年前の2007年と2012年とした（機材発注してから2年後に納入）。機材は大型、小型の2種類でそれぞれ400席と100席の機材を想定し、1回の購入時期に1種類の機材のみ購入可能とした。機材のサイズと

*キーワード：空港計画、機材構成変化、空港容量、羽田再拡張

**正員、博士（工学）、運輸政策研究所（港区虎ノ門3-18-19、

TEL: 03-5470-8415、E-mail: hirata@iterc.or.jp）

***非会員、修士（工学）、札幌市環境局

****正員、工博、東京工業大学大学院総合理工学研究科

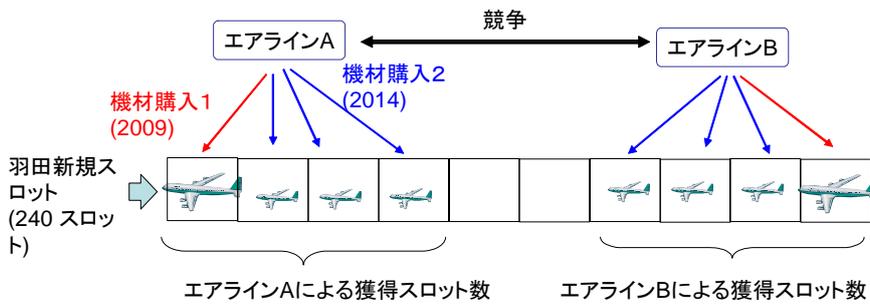


図-1 エアライン2社によるスロット獲得競争のイメージ図

購入数により、自動的にスロットの獲得数を決定した(小型機の方がスロットを多く獲得可能)。この仮定により、小型機により先に多くのスロットを獲得し、将来のスロット不足に対応する行動を考慮している。また、スロットの保有数に応じて運行頻度も自動的に決定した。

⑥旅客は、運行頻度を説明変数としたロジット型選択モデルにより、エアライン2社から搭乗するエアラインを決定し、その選択確率から2社の旅客獲得割合を算出。

⑦ある時点で旅客需要がエアラインの提供座席数(ロードファクターを70%として計算)を超過した場合は、(a)大型機と小型機のトータルの保有機材数を変えることなく小型機を大型機へと買い換えて提供座席数を増やし獲得需要をまかなうか、(b)機材を買い換えることなく今の提供座席数で運べるだけの需要を運ぶかの2通りのうち利潤の高いほうを選択する。

以上のポイント、仮定をもとにエアラインの機材購入、スロット使用行動のモデル化を、簡易なゲーム理論により表現する。

2.2. エアラインの機材購入行動のモデル化

(1) エアラインの戦略

前述の通り、エアラインの行動規範は同質な2社のエアラインを仮定し対象期間20年において純現在価値に割り引いた利潤の最大化を計る。意思決定期は2007年とし、この年に2009年、2014年に購入する機材数を決定する。これらの機材購入期以外では機材の購入が出来ず増便が出来ない。さらに保留機材はないものとし保有している機材は全て運航すると仮定する。

エアラインの機材購入戦略はモデルの簡略化のため以下の3通りとした。

1. 大型機を購入する
2. 小型機を購入する
3. 購入を見送る

機材購入の際エアラインは年間1000万人を新たに輸送できる量の機材を購入しようとした。

(2) スロット配分の仮定

エアラインは機材購入期に購入機材数にあわせてスロ

ットの増加申請を行うものとする。そのため、大型機を購入する場合: 10(機) × 6(1機当たりの運航回数) = 60(枠) 小型機を購入する場合: 40(機) × 6(1機当たりの運航回数) = 240(枠) の申請となる。

しかしながら2009年の羽田空港再拡張の伴うスロットの増加は国際線枠を除く年間377000回を仮定すると1日240枠(120往復)となる

ため、以下のルールによってスロットが振り分けられると仮定する。

- ・基本的には2社に同数(120枠)のスロットを振り分ける。
- ・どちらかが振り分けられた枠を使用せず(大型機購入や購入しない場合)、どちらかが配分以上のスロットを申請していた場合使われていない枠を獲得できる。
- ・両社ともにスロット枠を余らせた場合にはそのスロットは使われないまま余る

以上のルールによりスロットを振り分けると表-1のマトリクスになる。またスロットの開放が2段階の場合や2回目の機材購入選択期には、1回目のスロットの配分で余った枠を追加した後に同様のルールにおいて、同程度の規模の拡大を想定してスロットの申請、配分を行う。

表-1 戦略の組み合わせ別の配分スロット数

	エアラインB	大型機購入	小型機購入	購入しない
エアラインA				
大型機購入	[A]:[B]=60:60	[A]:[B]=60:18 0	[A]:[B]=60:0	
小型機購入	[A]:[B]=180:6 0	[A]:[B]=120:1 20	[A]:[B]=240:0	
購入しない	[A]:[B]=0:60	[A]:[B]=0:240	[A]:[B]=0:0	

(3) 旅客の行動の定式化

旅客は、単純にエアラインの選択を行う。エアラインの選択は、説明変数を運航便数のみとした効用関数Vのロジットモデルとして式(1)の様に定式化した。

$$V_t^i = \beta_1 \ln fr_t^i + const \quad (1)$$

エアラインiの選択確率Pは式(2)となる。

$$P_t^i = \frac{\exp(V_t^i)}{\sum_{i \in I} \exp(V_t^i)} \quad (2)$$

外生的に与えられるt期の総需要X_tを選択確率Pに応じて2社に配分することによりエアライン別の獲得需要x_tⁱ

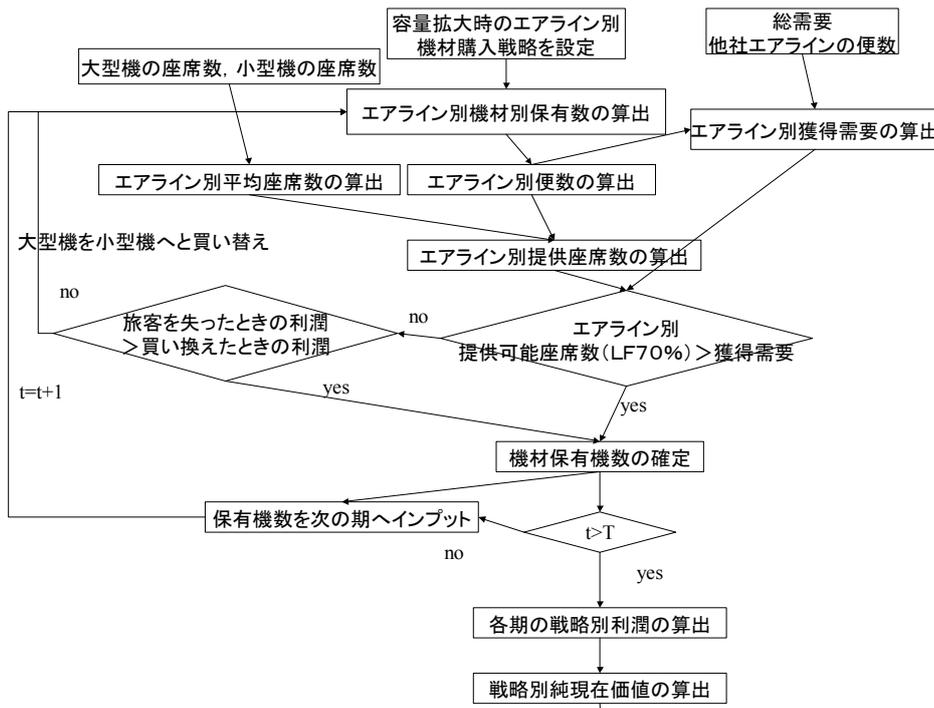


図-2 エアラインの利潤算出フロー

を求める。

$$x_t^i = X_t P_t^i \quad (3)$$

また、需要は外生的に与えられる伸び率 σ によって変化していくものとする。

$$X_t = X_0(1 + \sigma)^{t-1} \quad (4)$$

(4) エアラインの利潤

各戦略別にエアラインの購入数が決定され、図-2 のフロー及び式 (5) により、保有機材数と利潤の算出を行う。その結果、算出された各エアラインの利潤をゲーム論的に描写しお互いの最適戦略を決定する。

$$NPV = \sum_{t=1}^{20} \frac{\pi_t^i}{(1 + \delta)^{t-1}} \quad (5)$$

[タイプ A 期: 機材購入期]

$$\pi_t^i = fa_t^i \cdot x_t^i - \sum_j OC_j^i \cdot \alpha (K_{j,t-1}^i + k_{j,t}^i) - \sum_j ac_j \cdot k_{j,t}^i$$

[タイプ B 期: 他の期]

$$\pi_t^i = fa_t^i \cdot x_t^i - \sum_j OC_j^i \cdot \alpha (K_{j,t}^i)$$

π_t^i : t期の利潤, fa_t^i : 運賃, x_t^i : 旅客数, OC_j^i : 運航費,
 α : 1機当たり運航頻度, $K_{j,t-1}^i$: 前期の保有機材数,
 $k_{j,t}^i$: 機材 j の購入数, ac_j : 機材 j の購入費

2.3. 数値シミュレーション

以上で構築したモデルにより、実際に羽田空港拡張後のエアラインの機材購入戦略についてシミュレーションを行った。表-3 よりマックスミニ均衡点 (表-3 深緑色) は1回目の機材購入期に両社とも小型機を購入する点になる。しかしながらパレート最適点 (両者の利益が最大となりそれ以上動かない点, 表-3 薄緑色) は1回目の機材購入選択期には機材の購入を見送り、2回目の機材購入選択期に大型機を購入する点となる。このことは、エアラインがお互いに協力しない状態で機材導入計画を立てる場合には相手にスロットを多く

獲得され需要を奪われるのを避けるためお互い小型機での多頻度運航をすることを示す。しかしながら、エアラインが協力して機材購入戦略を立てる場合はスロットを余らせながら需要の伸びに合わせて Seat mile 当たりの運航頻度の低い大型機での低頻度運航をすることを示す。

次にスロットの段階的な開放 (2段階) を仮定した場合について将来需要の伸びが変化した場合の感度分析を行う。その結果表-4 のようになる。

スロットの開放が段階的に行われる場合 (2段階開放) は大型化が進行することがわかる。これは段階的なスロットの開放により需要の伸びと増加できるスロットの乖離が小さくなり、相手にスロットを埋められないように小型機を使ってスロットを埋めていこうとする動機が低下したためであると考えられる。

表-2 各パラメータの設定値

運賃 (円)	fa	28000
初期需要 (万人)	X_1	6000
大型機の初期保有数	-	45
小型機の初期保有数	-	20
1機あたりの1日の運航頻度 (/day/aircraft)	α	6
運航費: 大型機 (円)	OC1	880000
運航費: 小型機 (円)	OC2	416000
座席数 (大型機)	a	400
座席数 (小型機)	b	100
機材購入費: 大型機 (億円)	ac1	140
機材購入費: 小型機 (億円)	ac2	22
ロードファクター	LF	0.7
総需要の伸び率/年	σ	0~0.03
割引率	δ	0.04
効用関数内の頻度パラメータ	β	0.724
現在の空港容量 (スロット/day)	CAP ₀	390
拡張後の空港容量 (スロット/day)	CAP	510

表-3 エアラインの機材購入戦略別利潤の例（スロット開放1度、需要の伸び2%）

		(兆円)													
		B													
		大型		大型		大型		小型		購入見送り		購入見送り		購入見送り	
A	B	大型		小型		購入見送り		大型		小型		購入見送り			
1回目購入期	2回目購入期	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B		
大型	大型	11.94	11.94	11.94	11.95	12.28	11.64	11.04	12.61	12.48	11.50	12.14	11.67	12.80	10.98
大型	小型	11.95	11.94	11.95	11.95	12.41	11.37	11.04	12.61	12.61	11.23	12.38	11.28	13.23	10.49
大型	購入見送り	11.64	12.28	11.37	12.41	11.96	11.96	11.04	12.61	12.27	11.81	11.68	12.25	12.54	11.12
小型	購入見送り	12.61	11.04	12.61	11.04	12.61	11.04	11.80	11.80	13.43	10.07	13.43	10.07	13.43	10.07
購入見送り	大型	11.50	12.48	11.23	12.61	11.81	12.16	10.07	13.43	11.97	11.97	11.36	12.43	12.32	11.56
購入見送り	小型	11.67	12.14	11.28	12.38	12.25	11.57	10.07	13.43	12.43	11.36	11.87	11.87	12.92	10.80
購入見送り	購入見送り	10.98	12.80	10.49	13.23	11.12	12.43	10.07	13.43	11.56	12.32	10.80	12.92	11.92	11.92

表-4 シナリオ別のエアラインの決定戦略の結果

		需要の伸び率			
		0	0.01	0.02	0.03
Max-Min 均衡	一度にスロット開放	1st: 小型機 2nd: - (no slot)	1st: 小型機 2nd: -	1st: 小型機 2nd: -	1st: 小型機 2nd: -
	2段階スロット開放	1st: 小型機 2nd: 小型機	1st: 小型機 2nd: 小型機	1st: 大型機 2nd: 小型機	1st: 大型機 2nd: 大型機
Pareto 均衡	一度にスロット開放	1st: 購入しない 2nd: 購入しない	1st: 大型機 2nd: 購入しない	1st: 大型機 2nd: 購入しない	1st: 大型機 2nd: 購入しない
	2段階スロット開放	1st: 購入しない 2nd: 購入しない	1st: 大型機 2nd: 大型機	1st: 大型機 2nd: 大型機	1st: 大型機 2nd: 大型機

また、エアラインの機材購入戦略によってスロットが余った場合においてそのスロットを新規参入企業が使用する場合を想定して利潤の計算を行うと小型化が進行することがわかる。これは、エアラインが大型機での低頻度運航をすると空きスロットを新規参入企業が埋めてしまうため、獲得需要が低下し、利潤が低下する。そのため、マックスミニ均衡点もパレート最適点も小型機購入に移動する。これは小型機購入によりスロットを埋めてしまい、新規参入企業の参入する隙間を埋めようとすることを示唆する。

さらに、需要の伸び率と機材購入戦略の関係について考えてみると、需要の伸びが高くなるほど、大型化が進むことがわかる。

以上から、簡易なモデルによる分析ではあるものの、羽田空港再拡張は、現在と比べて機材のダウンサイジングが進む傾向が強いことが伺える。しかしながら、需要の伸びや、スロットの開放速度などにより、ダウンサイジングの進行度合いに差が生じる可能性も示唆された。将来的な羽田空港の容量を検討する際には、前述の通り、機材構成によっても空港容量が変化し、さらにスロット数の上限や開放速度などがエアラインの機材選択に影響を与えることも考えられるので、必要な容量や適正な機材構成を検討する際には、それらの因果関係も考慮する必要がある。

3. おわりに

本研究では、羽田空港の再拡張後を対象に、機材構成変化がどのように変化しうるかを、エアラインの機材購入、スロット使用行動をモデル化することで分析を行った。非常に簡易なモデルによる分析であるため現実のエアラインの行動を適切に表現できていない可能性もあるが、小型化の進む傾向が強いことがモデルから示唆された。機材の小型化の程度は、空港容量を考える上でも、柔軟な滑走路運用などによる容量拡大を検討する際に非常に重要な要素となる^{2) 3)}。本研究の精緻化を行い、それら容量拡大のための研究をする上での参考ともしたい。今後の課題としては、路線ごとの需要規模の考慮や、エアラインの機材購入判断タイミングの精緻化などが挙げられる。

参考文献

- 1) 屋井鉄雄：東アジアにおける競争優位と日本の空港政策、ていくおふ、No.114, pp.2-9, 2006
- 2) 平松健志, 平田輝満, 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, 2006 (登載決定)。
- 3) 平田輝満, 山田直樹, 屋井鉄雄：空港管制からみた空港容量拡大方法に関する基礎的研究, 土木計画学研究・講演集, Vol.34, 2006.