

JALグループにおける各路線の利潤最大化についての研究

— 中部国際空港にむけて —

2000MM001 朝倉 健爾

2000MM087 鈴木 伸太郎

指導教員 鈴木 敦夫

1 はじめに

1970年代以降の規制緩和の流れから、さまざまなものが自由化されてきた。その一つに航空業界の自由化が、あげられる。この航空自由化によって、新規参入が相次ぎ、価格競争、サービス競争が激化した。よって航空運賃の値下がりや路線の拡充で利用者利便性は著しく向上したが、経常利益率は1991年度から一貫して他産業よりも著しく低い状態で推移している。そこで我々は、航空会社の多くの路線で座席利用率の低さに着目し、今後、航空会社が競争の激しい航空業界や他の交通機関で、勝ち残っていくためにも、今の現状での各路線における機材の配置を見直し、限られた各機材での最適配置をすることが更なるコスト削減や利潤追求できるのではないかと考え、本研究に取り組むことにした。

2 研究方針

ある航空会社の利潤を最大にする機材配置を試みることを目的とし、その航空会社が現在運航させている各路線に、各機種の機材（航空機）を何本配置することが最適であるか、同時に、各路線の利用者を各航空機にどのように振り分けることができれば、利潤を最大にすることができるだろうか。

まず、航空会社の最適機材配置問題についてモデルを作る。次にJALグループを例に用い、JAL マンスリーレポート、数字でみる航空2003を使用し、必要となる利益データを算出する。そして、実際に解が出るかを確かめるためにも、簡単な小さなモデルを考え、実際のモデルの解を求めることにする。

また、結果として利潤の低い路線については、現行の往復路線から空港を経由する経由路線にすることにより利益を上げることができないか、と新たなネットワークの観点から最適機材配置を試みる。

3 航空会社の最適機材配置問題

3.1 記号の定義

$j \dots$ 各路線の番号 $i \dots$ 各機種の番号

$k \dots$ 各乗車人数に対する番号

$\alpha \dots$ 機種数 $\beta \dots$ 路線数

$\gamma \dots$ 各乗車人数に対する番号数

$X_{ijk} \dots j$ 路線に、 k 番目の乗車人数で、 i 機種の航空機が1日に運航する本数

$p_{ijk} \dots j$ 路線に、 k 番目の乗車人数で、 i 機種の航空機を1本運航させた時の利益

$a_i \dots$ 現在、1日に運航する i 機種の総本数

$E_{ik} \dots i$ 機種における k 番目の乗車人数

$Y_j \dots j$ 路線を利用している現在の乗車人数

$B_i \dots i$ 機種の航続距離 $D_j \dots j$ 路線における距離

3.2 問題の定式化

3.2.1 目的関数

各路線において各乗車人数での各機種の1日の本数と各路線において各乗車人数で各機種を1本を運航させた時の利益の積を最大にする。

$$\sum_{i=1}^{\alpha} \sum_{j=1}^{\beta} \sum_{k=1}^{\gamma} p_{ijk} X_{ijk} \implies \max$$

3次元の目的関数では計算しにくいので下記のように2次元に直し、計算をする。

$$\sum_{j=1}^{\beta} \sum_{k=1}^{\gamma} p_{1jk} X_{1jk} + \sum_{j=1}^{\beta} \sum_{k=1}^{\gamma} p_{2jk} X_{2jk} + \dots +$$

$$\sum_{j=1}^{\beta} \sum_{k=1}^{\gamma} p_{\alpha jk} X_{\alpha jk} \implies \max$$

3.2.2 制約条件

<本数の制約>

機種ごとに各路線を運航している航空機の総本数は現在運航している航空機の総本数と等しくする。

$$\sum_{j=1}^{\beta} \sum_{k=1}^{\gamma} X_{ijk} \leq a_i \quad (1 \leq i \leq \alpha)$$

<定員・乗客の制約>

航空機に、乗客を振り分ける際に、各路線を利用している現在の乗車人数と等しくする。

$$\sum_{i=1}^{\alpha} \sum_{k=1}^{\gamma} E_{ik} X_{ijk} = Y_j \quad (1 \leq j \leq \beta)$$

<距離の制約>

各航空機には、航続距離が決まっています。小型航空機ではあまりに遠い距離を運航させることはできない。よって、各航空機の航続距離が路線の距離を満たしていない時、解を0として計算する。

$$B_i < D_j \text{ のとき } X_{ijk} = 0 \quad (1 \leq i \leq \alpha, 1 \leq j \leq \beta)$$

<路線の制約>

各路線で最低1本以上の航空機が運航していなければならないために、各路線を運航する航空機の総本数が1本以上にする。

$$\sum_{i=1}^{\alpha} \sum_{k=1}^{\gamma} X_{ijk} \geq 1 \quad (1 \leq j \leq \beta)$$

4 JALグループに対する適用例

4.1 データの説明（利益データの算出）

各路線、各機種、の航空機を一本運航させた時にかかる費用を求める。まずJALグループの一年間の決算データを元に、一ヶ月の各費用（燃油費、運航施設利用費、整

備費, 販売手数料, 航空機機材減価償却費, 航空機機材賃借料, 人件費) を計算し, それを, 各路線の乗車人数, 一ヶ月に運航される本数, 各機種の燃費や着陸料, 重量, などによって, 各路線, 各機種, の航空機を運航させたときにかかる費用の割合を求め, 割り振ることによって, 算出する。そして, 同じく, JAL グループ決算から, 一ヶ月の収益を求め, 各路線のチケット代, 運航される各航空機の数から, 各路線, 各機種における収益の割合を求め, 先の一ヶ月の, 全体の収益を割り振ることによって, 各路線, 各機種, の航空機を一本運航させた時の各収益を求めることができる。そしてその計算した費用と収益によって, 各路線, 各機種の航空機を一本運航させた時の利益を求める。そしてその求めた利益を, 各乗車人数 (10 人単位) に, 比例させることによって, 各乗車人数で, 各路線, 各機種の航空機を一本運航させたときの利益を算出することにする。

4.2 最適機材配置をするにあたり

JAL グループの運航している路線は 165 路線, 運航している航空機は 21 機種, そしてその各航空機の定員を 10 単位に区切った数 (B747-400 なら定員 580 人なので, 58 個) の全体での平均数は約 21 個である。よって, 計算するにあたり変数は, $165 \times 21 \times 21$ の 72765 個より, 実用的な時間内に解を求められない。よって本研究では, JAL グループを会社別 (JAL, JAS, JTA, JEX, JAC, RAC, J-AIR, HAC) に分け, 解を求めることにした。ただし, JAL, JAS においては, 路線の数, 機種数が共に多いことから, すべての機種を同時に整数計画法で解くと, 実用的な時間内で解を求めることができないので, 大型機種から順に, 配置していく方法を選んだ。

4.3 そこで

計算例として小さなモデルを用い, 全ての機種を同時に整数計画法で解く方法と機種別に整数計画法で解く方法を試してみることにする。モデルは 5 路線, 3 機種 (大型, 中型, 小型), 各機種の定員がそれぞれ 5, 3, 2 人 ($i = 1, 2, 3$ の順), あと, 乗車人数の単位は 1 (人) 単位とする。また, 各機種は全ての路線の距離を運航することのできる航続距離を持っているとする。

それぞれ”LINDO What’s Best!7.0” を用い, 計算させることにする。

4.4 全ての機種を同時に整数計画法で解く

< 目的関数 >

$$\sum_{j=1}^5 \sum_{k=1}^5 p_{1jk} X_{1jk} + \sum_{j=1}^5 \sum_{k=1}^3 p_{2jk} X_{2jk} + \sum_{j=1}^5 \sum_{k=1}^2 p_{3jk} X_{3jk} \Rightarrow \max$$

< 制約条件 >

$$\sum_{j=1}^5 \sum_{k=1}^5 X_{1jk} \leq a_1, \quad \sum_{j=1}^5 \sum_{k=1}^3 X_{2jk} \leq a_2$$

$$\sum_{j=1}^5 \sum_{k=1}^2 X_{3jk} \leq a_3$$

$$\sum_{k=1}^5 X_{1jk} + \sum_{k=1}^3 X_{2jk} + \sum_{k=1}^2 X_{3jk} \geq 1 \quad (1 \leq j \leq 5)$$

$$\sum_{k=1}^5 E_{1k} X_{1jk} + \sum_{k=1}^3 E_{2k} X_{2jk} + \sum_{k=1}^2 E_{3k} X_{3jk} = Y_j \quad (1 \leq j \leq 5)$$

< 結果 >

[利益]		乗車人数				
機種	1	2	3	4	5	
路線	1	0	2	5	6	7
	2	3	4	5	8	8
	3	5	6	7	9	12
	4	3	5	6	6	8
	5	6	7	9	12	15

[本数] < 実行解 >						
機種	1	2	3	4	5	
路線	1	0	0	0	0	2
	2	0	0	0	0	1
	3	0	0	0	1	0
	4	0	0	0	0	2
	5	0	0	0	0	4

[利益]		乗車人数		
機種	1	2	3	
路線	1	0	2	3
	2	1	2	3
	3	4	5	5
	4	1	2	2
	5	4	4	4

[本数] < 実行解 >				
機種	1	2	3	
路線	1	0	0	1
	2	0	0	2
	3	0	5	0
	4	0	0	0
	5	1	1	0

[利益]		乗車人数	
機種	1	2	
路線	1	0	0
	2	0	0.5
	3	2	2
	4	2	4
	5	2	2

[本数] < 実行解 >			
機種	1	2	
路線	1	0	0
	2	0	0
	3	0	0
	4	0	20
	5	0	0

目的関数	229
------	-----

4.5 機種別に整数計画法で解く

4.5.1 機種 1 での結果

< 目的関数 >

$$\sum_{j=1}^5 \sum_{k=1}^5 p_{1jk} X_{1jk} \Rightarrow \max$$

< 制約条件 >

$$\sum_{j=1}^5 \sum_{k=1}^5 X_{1jk} \leq a_1, \quad \sum_{k=1}^5 X_{1jk} \geq 0 \quad (1 \leq j \leq 5)$$

$$\sum_{k=1}^5 E_{1k} X_{1jk} \leq Y_j \quad (1 \leq j \leq 5)$$

4.5.2 機種 2 での結果

< 目的関数 >

$$\sum_{j=1}^5 \sum_{k=1}^3 p_{2jk} X_{2jk} \Rightarrow \max$$

< 制約条件 >

$$\sum_{j=1}^5 \sum_{k=1}^3 X_{2jk} \leq a_2, \quad \sum_{k=1}^3 X_{2jk} \geq 0 \quad (1 \leq j \leq 5)$$

$$\sum_{k=1}^3 E_{2k} X_{2jk} \leq Y_j - \sum_{k=1}^5 E_{1k} X_{1jk} \quad (1 \leq j \leq 5)$$

4.5.3 機種 3 での結果

< 目的関数 >

$$\sum_{j=1}^5 \sum_{k=1}^2 p_{3jk} X_{3jk} \Rightarrow \max$$

< 制約条件 >

$$\sum_{j=1}^5 \sum_{k=1}^2 X_{3jk} \leq a_3, \quad \sum_{k=1}^2 X_{3jk} \geq 0 \quad (1 \leq j \leq 5)$$

$$\sum_{k=1}^2 E_{3k} X_{3jk} \leq Y_j - \sum_{k=1}^5 E_{1k} X_{1jk} - \sum_{k=1}^3 E_{2k} X_{2jk}$$

$$(1 \leq j \leq 5)$$

<機種 1~3 での結果>

[利益]		乗車人数				
機種1		1	2	3	4	5
路線	1	0	2	5	6	7
	2	3	4	5	8	8
	3	5	6	7	9	12
	4	3	5	6	6	8
	5	6	7	9	12	15

[本数] <実行解>				
1		1	2	3
1	1	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	1
4	0	0	0	0
5	0	0	1	0

[利益]		乗車人数		
2		1	2	3
1	1	0	2	3
2	1	2	3	
3	4	5	5	
4	1	2	2	
5	4	4	4	

[本数] <実行解>				
2		1	2	3
1	0	0	4	
2	0	0	2	
3	0	0	0	
4	0	4	0	
5	0	0	0	

[利益]		乗車人数	
3		1	2
1	0	0	
2	0	0.5	
3	2	2	
4	2	4	
5	2	2	

[本数] <実行解>			
3		1	2
1	1	1	0
2	0	0	
3	0	0	
4	7	0	
5	0	0	

目的関数

158

4.6 実際のモデルの結果、考察

上記を基に、実際のモデルを解いたところ
 会社別に解を出すことにより、実用的な時間内に解を出すことができた。もし結果のように、効率よく各機種、各路線に各乗車人数を振り分けることができたなら、2億円もの利潤を出すことができる。また更に、約半分の数の航空機を削減することできる。そして、これより、実行前に予想された最適機材配置によって、利潤が上がるということが立証された。

5 JAL グループにおける路線ネットワーク

前述のモデルは、すべての路線を航空機は往復するものとして、考えてきた。しかし、実際には、東京-石垣間、大阪-石垣間の二つの路線では、宮古島を経由する形となっている。利益が低い路線の間に、ある一つの空港を経由させることによって、更に利益を上げることができるのではないだろうか。そこで、宮古島と同じような離島を含んだ路線を多く持つ、日本エアコミューター (JAC) を例にとり、利益が上がっていない、鹿児島、奄美大島、喜界島間の路線を例に挙げ、この3つの路線で、どの空港を経由する空港とするのか、またこのモデルを使用することによって利潤は上がるか、についても検討する。

3つの空港を、1つずつどの空港を経由させる空港にすればよいかを検討するために、3つの全ての空港をそれぞれ経由させる空港とし、3つのモデルを作り実行する。

5.1 記号の定義

$Q_{mqik} \dots m$ 空港から q 空港に、 k 番目の乗車人数で運航する i 機種の航空機の本数

$Q_{mrqik} \dots m$ 空港から r 空港を経由して q 空港に、 k 番目の乗車人数で運航する i 機種の航空機の本数

$P_{mqik} \dots m$ 空港から q 空港に、 k 番目の乗車人数で i 機種の航空機を 1 本運航させたときの利益

$P_{mrqik} \dots m$ 空港から r 空港を経由して q 空港に、 k 番目の乗車人数で i 機種の航空機を 1 本運航させたときの利益

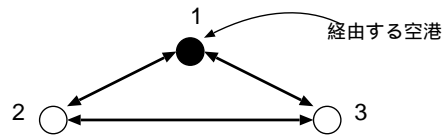
$V_{mq} \dots m$ 空港から q 空港に行く現在の乗客数

$W_{mq} \dots m$ 空港から q 空港に行く振り分け後の乗客数
 $O_{mqik} \dots m$ 空港から q 空港に、 k 番目の乗車人数で現在運航している i 機種の航空機の本数

$R_{mq} \dots m$ 空港から q 空港に行く際に、他の空港を経由したくない人の割合

5.2 データについて

1 を経由する空港として、今まで、1 2,1 3,2 1,2 3,3 1,3 2 の運航だけだったが、2 1 3 と 3 1 2 の2つの路線で運航することを可能にする。各路線の各機種に人数を振り分け、1 本航空機を運航させた時の利益は前の最適機材配置のデータを用い、2 1 3,3 1 2 など経由させた路線、例えば、2 1 3 の場合は、2 1 に運航させる利益と 1 3 に運航させる利益の和に割引をすることで、0.8 をかけることにする。



5.3 定式化

5.3.1 目的関数

各路線において各乗車人数での各機種の 1 日の本数と各路線において各乗車人数で各機種を 1 本を運航させた時の利益の積を最大にする。

経由される空港は、 r 空港だけとし、 $r = 1$ とする。

$$\sum_{m=1}^3 \sum_{i=1}^3 \sum_{k=1}^{\gamma} P_{mqik} Q_{mqik} + \sum_{m=1}^3 \sum_{i=1}^3 \sum_{k=1}^{\gamma} P_{mrqik} Q_{mrqik} \implies \max$$

5.3.2 制約条件

<本数の制約>

機種ごとに現在運航している本数の合計を、現在の路線と経由させた路線での合計の本数と等しくする。

$$\sum_{m=1}^3 \sum_{k=1}^{\gamma} O_{mqik} = \sum_{m=1}^3 \sum_{k=1}^{\gamma} Q_{mqik} + \sum_{m=1}^3 \sum_{k=1}^{\gamma} Q_{mrqik} \quad (1 \leq i \leq \alpha)$$

<定員・乗客の制約>

現在の各路線での乗車人数と、経由させることによって増えた路線と現在運航している路線に振り分けた合計の乗車人数を等しくする。

$$V_{12} = W_{12} + W_{312}, \quad V_{13} = W_{13} + W_{213}$$

$$V_{21} = W_{21} + W_{213}, \quad V_{23} = W_{23} + W_{213}$$

$$V_{31} = W_{31} + W_{312}, \quad V_{32} = W_{32} + W_{312}$$

<路線の制約>

現在、運航している各路線の数は、経由させた際も同数の路線の数とする。

$$\sum_{i=1}^{\alpha} \sum_{k=1}^{\gamma} (Q_{12ik} + Q_{312ik}) = \sum_{i=1}^{\alpha} \sum_{k=1}^{\gamma} O_{12ik}$$

$$\sum_{i=1}^{\alpha} \sum_{k=1}^{\gamma} (Q_{13ik} + Q_{213ik}) = \sum_{i=1}^{\alpha} \sum_{k=1}^{\gamma} O_{13ik}$$

$$\sum_{i=1}^{\alpha} \sum_{k=1}^{\gamma} (Q_{21ik} + Q_{213ik}) = \sum_{i=1}^{\alpha} \sum_{k=1}^{\gamma} O_{21ik}$$

$$\sum_{i=1}^{\alpha} \sum_{k=1}^{\gamma} (Q_{23ik} + Q_{213ik}) = \sum_{i=1}^{\alpha} \sum_{k=1}^{\gamma} O_{23ik}$$

$$\sum_{i=1}^{\alpha} \sum_{k=1}^{\gamma} (Q_{31ik} + Q_{312ik}) = \sum_{i=1}^{\alpha} \sum_{k=1}^{\gamma} O_{31ik}$$

$$\sum_{i=1}^{\alpha} \sum_{k=1}^{\gamma} (Q_{32ik} + Q_{312ik}) = \sum_{i=1}^{\alpha} \sum_{k=1}^{\gamma} O_{32ik}$$

< 出発地に帰る制約 >

1 空港を出発した航空機は、1 空港に到着する。(2 空港, 3 空港も同様)

$$\sum_{k=1}^{\gamma} Q_{12ik} + \sum_{k=1}^{\gamma} Q_{13ik} = \sum_{k=1}^{\gamma} Q_{21ik} + \sum_{k=1}^{\gamma} Q_{31ik}$$

$$(0 \leq i \leq \alpha)$$

$$\sum_{k=1}^{\gamma} Q_{21ik} + \sum_{k=1}^{\gamma} Q_{23ik} + \sum_{k=1}^{\gamma} Q_{213ik} = \sum_{k=1}^{\gamma} Q_{12ik} + \sum_{k=1}^{\gamma} Q_{32ik} + \sum_{k=1}^{\gamma} Q_{312ik} \quad (0 \leq i \leq \alpha)$$

$$\sum_{k=1}^{\gamma} Q_{31ik} + \sum_{k=1}^{\gamma} Q_{32ik} + \sum_{k=1}^{\gamma} Q_{312ik} = \sum_{k=1}^{\gamma} Q_{13ik} + \sum_{k=1}^{\gamma} Q_{23ik} + \sum_{k=1}^{\gamma} Q_{213ik} \quad (0 \leq i \leq \alpha)$$

< 経由したくない人の割合の制約 >

経由の路線に航空機が飛んだとしても、例えば、2 3 に行きたい人が 2 1 3 と時間が多くかかってしまう路線を必ずしも利用するとは限らないので、2 1 3 を利用する乗客と 2 3 を利用する客の和で 2 3 を利用する客を割り、その数値を経由した路線を利用したくない客の割合とする。

経由路線を利用したくない乗客の割合を 1 以下にする。結果として、一番最適な経由を使用する割合となり、利潤を最大へと導く。

$$R_{23} = \frac{W_{23}}{W_{23} + W_{213}} \quad R_{32} = \frac{W_{23}}{W_{32} + W_{312}}$$

5.4 考察

< 1 つ目 > 奄美大島を経由させる空港とした時、喜界島 奄美大島 鹿児島、また、鹿児島 奄美大島 喜界島という経由を使う路線に、2 本ずつ SA を運航させることにより、航空機の総本数を 10 本減らすことができ、利益を約 600 万円上げることができる。しかし、利便性をはかるために各路線の航空機を運航させる数は、実際の各路線の運航している航空機の数と等しくさせるので、0 人を乗せて運航させる航空機が 10 機もでてきてしまう。

< 2 つ目 > 喜界島を経由させる空港とする時、奄美大島 喜界島 鹿児島の場合は、経由を利用せずに、奄美大島 鹿児島間を往復した際に、利益が上がるのが分かる。また、鹿児島 喜界島 奄美大島の場合は、経由を利用しない人が、0.85 と経由を利用する人が少ない時に、利益が最大になることから、あまり経由させる必要性がないこ

とが分かる。

< 3 つ目 > 空港間の距離を考えると、鹿児島 喜界島は 467km、鹿児島 奄美大島も 467km、しかし、喜界島 奄美大島は 8km と距離、時間を考えても、経由の路線を作るには、ふさわしくないとと言える。

以上から、この 3 つの空港間の路線では、1 番の奄美大島を経由の空港にすることが、一番利益を上げることができ、奄美大島を経由の空港にすることが、ふさわしいと言える。

5.5 結果の一部

奄美大島、喜界島、鹿児島間で、(SA, Q4, YS 機種のうち) SA 機種が現在運航している本数と奄美大島を経由させたときの SA 機種での実行解

SA 1 奄美大島 2 喜界島 3 鹿児島

[本数] < 実際のデータ >

		乗車人数				
		0	10	20	30	40
路線	1-2	3	0	0	0	1
	1-3	0	0	0	0	0
	2-1	3	0	0	0	1
	2-3	0	1	0	1	0
	3-1	0	1	0	0	0
	3-2	0	0	0	1	0

< 実行解 >

		0	10	20	30	40
1-2		3	0	0	0	1
1-3		0	0	0	0	0
2-1		3	0	0	0	1
2-3		0	1	0	1	0
3-1		0	1	0	0	0
3-2		0	0	0	1	0
2-1-3		0	0	0	0	2
3-1-2		0	0	0	0	2

6 おわりに

この最適機材配置モデルでは、実用的な時間で解が求まらず、会社ごとや機種別などに細分化したために、現在のデータから、突拍子もなく、外れる解がでなかったが、折角の JAL グループのデータがあったために、JAC の路線に JTA の航空機を運航させるなど、JAL グループ全体での利潤拡大ということをやってみたかった。またネットワークに関して言えば、経由を使ったモデルでは、利益の低い路線をかかえる会社から 3 つの路線を選出し、それを経由の方法を使うことによって利潤を最大にすることを考えたが、他にも、経由のモデルを使うことにより、もっと利益と効率を上げる路線があると考えられる。今後は、このような路線に、どのような特徴があるのか、どんな法則で、そのような路線を見つけたいのか、その辺りに注目していきたい。また、中部国際空港の開港にあたり、ハブ化が期待される中、この経由のモデルの形を変えて、利用することができないかを考えていきたい。

参考文献

- [1] 航空振興財団: 数字でみる航空 2003, 国土交通省航空局監修, 2003 年発行
- [2] 日本航空ホームページ: 2003 年 5 月 マンスリーレポート, <http://www.jal.co.jp/ship..html>.