

座席数検討のためのOR的アプローチ

有賀 正弘

1. はじめに

“座席”は航空会社の主要商品である。飛行機が乗客を乗せて青空へ飛び立った瞬間に、その便の売れ残った座席の商品価値は皆無になるのであるから、座席はまったく保存が利かない高価な商品であるといえよう。

当社は現在、表1に示すようにB747やDC10など数種類の機材を80機余り保有しており、年2回作成する基本ダイヤに沿い、国内および海外の当社の路線を、定めた機材で運航している。通常は便名ごとに同種の機材を割当てるから、同一便名の便当り供給席数はほぼ一定であるが、一方で旅客需要は日々変動するので長期的に見れば席数が搭乗旅客数や収益に与える影響は大きい。

たとえば、旅客需要が少ない便に大きな機材を割り当てれば、いつでもほとんどの需要を吸収することができるが、平均座席利用率は低下し燃油費がかさむために採算割れとなってしまうことが考えられる。逆に機材が小さすぎると、その便についての平均座席利用率や利益率は高くなるが、他社との競合路線においては満席で搭乗できなかったお客を他社に奪われることになる。

したがって、投入機材やその座席構成を決めるに当たっては各便に関する潜在需要を単に量のみな

らずバラツキの面からも把握し、供給席数が搭乗旅客数および収益に与える影響を分析する必要がある。

本稿ではこのような観点から、投入機材の評価や座席構成に関わる種々の意思決定問題を支援するために当社で開発し活用してきたOR的アプローチについて紹介することとする。

2. 座席構成に関する諸問題

機材の座席構成や席数に関連し、現在までに以下の諸問題が検討されてきている。

(1) 機材割り当てに関する適正度の評価

表1 国際線旅客用投入機材

諸元 機種	供給席数		最高航続 距離 (km)	燃油消費量 (ガロン/Hr)
	ファースト クラス	エコノミ ークラス		
B747LR	32~40 0	304~351 422	8600	3600
DC-10	22	251	7100	2800
DC-8-61	16~28	165~183	5300	2200
DC-8-62	18~22	122~131	9300	1900
DC-8-50	0	152	7800	2000
B727	0	110~128	2220	1300

備考：(1) 供給席数は同一機種でも機内の座席構成および対象路線によって異なる。

(2) 最高航続距離および燃油消費量は貨客搭載重量、路線、気象条件等によって変動する。

(3) 上記以外に国内線用および貨物専用機がある。

ありが まさひろ 日本航空㈱ 情報システム部管理室

- (2) 機内の座席列数の変更
 - (3) スリーバレット(寝台併用座席)の導入にともなう席数決定
 - (4) 乗務員用機内休息室の設置にともなう影響分析
 - (5) ファーストクラスとエコノミークラスの最適席数バランスの決定
- (1) はダイヤにもとづき割り当てた機材で一定期間を運航した後に、投入機材の席数に関する適正度を便名ごとに評価する定期的モニタリング活動で

あり、その評価結果は次期ダイヤ編成に反映される。(2)は機内の座席の列数を増加させるか否かを決定する問題であり、決定に先立ち、改修費用と増席による効果が検討されねばならない。(3)は国際線の長距離区間を搭乗する客に対するサービス向上を目的としたファーストクラスへの寝台併用座席の導入問題である。この座席は従来よりも広いスペースを要しファーストクラスの減席につながるので席数決定に際しては搭乗旅客数や収益におよぼす影響が慎重に検討されている。(4)は国際線長距離区間を乗務する客室乗員のために従来販売可能だった座席の一部を転用して休息室を設置したのであるが、その際に減席による搭乗旅客数におよぼす影響が検討されている。(5)はファーストクラスとエコノミークラスの席数をどのように割り当てれば良いかという問題である。すなわち、各路線のクラス別旅客需要や機内スペース、クラス別料金などを考慮し、収入を最大にするようなクラス別席数が検討される。

次にこれらの座席数に関わる種々の意思決定を支援するために当社で開発した科学的方法について述べよう。

3. 席数検討のための科学的方法

まず、席数の検討を支援するための科学的方法を開発するに当り特に留意した点について紹介してみたい。

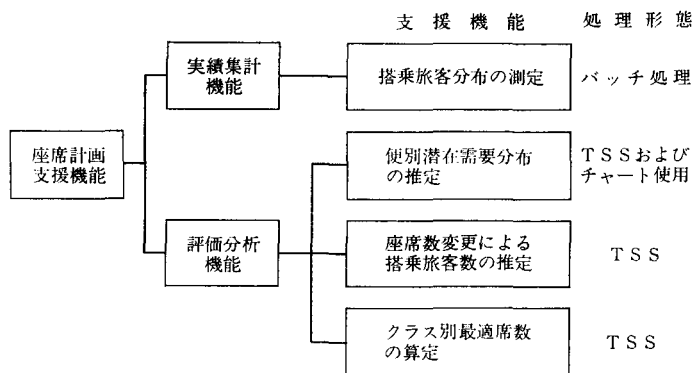


図1 席数検討のための支援機能

その第1点は機能要件を設定するに当り、席数に関わる諸問題を整理し、必要と考えられる支援機能を体系的に捕えたことである。第2点はユーザーに対し、単に支援機能の提供に留めず、席数に関わる計画—実施—評価の各段階において検討すべき項目を明確にし、支援機能がどのように使われるか手順化を図ったことである。第3点はユーザーが容易に支援機能を使えるようにしたことである。すなわち、手法面ではユーザーが概念的に理解しやすいものとし、運用面ではTSS端末の適用によりユーザーが会話モードで容易に操作できるようにシステム化を図ったことである。

図1に席数検討のための支援機能の構成図を示そう。

3.1 搭乗旅客分布の測定

席数に関わる諸問題を検討するに当り、まず便別の旅客需要を求める必要があるが、真の旅客需要、すなわち潜在需要を実測することは現実的に不可能であるといえる。なぜならば、便当りの搭乗旅客数は実測できるが、この数字の中には満席で搭乗できなかった旅客数が含まれていないからである。

過去のデータから一定期間におけるある便名について便当りの搭乗旅客数とその発生頻度の関係を調べてみると図2に示すように3つのタイプに分類される。

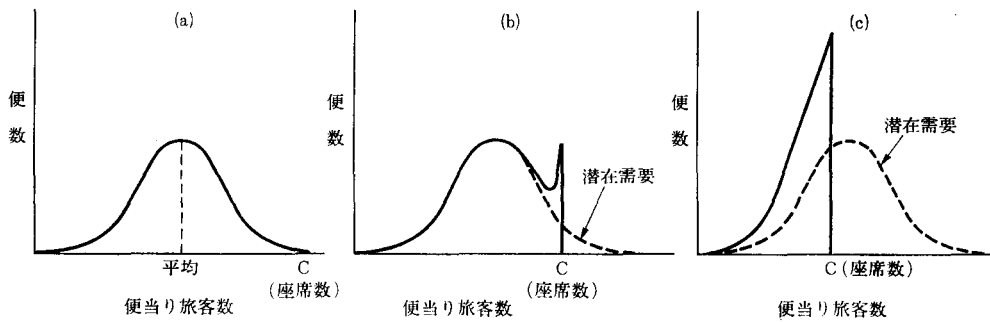


図 2 搭乗旅客分布の形状

図 2 (a) は平均値を中心とした左右対称の分布を形成しており、平均座席利用率が低い便に見られる。この搭乗旅客実績分布は搭乗旅客数が席数に拘束されていない場合であり、潜在需要分布に等しいと考えることができる。

図 2 (b) は平均座席利用率が高い便に見られる搭乗旅客分布であり、分布の右端が供給席数の影響を受けて、少し歪められている。平均座席利用率が高くなるほど分布の右端の歪みは大きくなり、やがては図 2 (c) のような三角形に似た分布を形成する。搭乗旅客分布が図 2 (c) のような形状を成す便については、潜在需要に対し供給席数が大幅に不足していると考えられる。

このように搭乗旅客実績を分布の形で把握すれば、その分布を一見してその便に関する旅客需要のパラッキ具合や席数が需要におよぼした影響度を知ることができる。

当社では一定期間における便別の使用機材の適正度をモニターするとともに後述する潜在需要推定のための基礎数値を得ることを目的として、便別に平均搭乗旅客数や平均座席利用率などの実績値を集計するとともに搭乗旅客分布（ヒストグラム）を作成している。この作業はすべてバッチ処理システムにより行なわれ、夏ダイヤ（4月～10月）、冬ダイヤ（11月～3月）および年間（4月～3月）を対象として実績レポートが作成されている。

3.2 便別潜在需要の推定

便別の潜在需要分布を推定するねらいは、潜在

需要分布と席数および搭乗旅客分布の関係をモデル化し、このモデルにより席数変更後の期待搭乗旅客数を推定したり、クラス別の最適席数を解析的に求めるなどにある。潜在需要分布の推定は以下の方法により行なう。

(1) 潜在需要分布の理論分布関数として正規分布を採用する。

前述のように潜在需要は実測できないため、席数が搭乗旅客数に影響をおよぼしていないと見られる便の搭乗旅客分布から潜在需要分布の理論分布関数のタイプを求めることとし、この条件に該当する搭乗旅客分布をいくつか選び、分布の適合度テストを行ない、その結果、正規分布を理論分布関数として採用することとした。

(2) 潜在需要分布と搭乗旅客分布の数式化

潜在需要分布を正規分布と仮定することにより潜在需要分布と搭乗旅客分布の関係は次式により表わすことができる。

$$\mu_L = \int_0^c x \cdot f(x) dx \int_c^\infty c \cdot f(x) dx \quad (1)$$

$$\sigma_L^2 = \int_0^c (x - \mu_L)^2 f(x) dx + \int_c^\infty (c - \mu_L)^2 f(x) dx \quad (2)$$

ここで、

$$f(x) = \frac{1}{\sigma_D \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2} \left(\frac{x - \mu_D}{\sigma_D}\right)^2\right) \quad (3)$$

<記号>

x : 便当り旅客数(クラス別, 以下同様)

$f(x)$: 潜在需要の確率密度関数

c : 便当り席数

- μ_D : 便当平均潜在需要
- σ_D : 潜在需要の標準偏差
- μ_L : 便当平均搭乗旅客数
- σ_L : 搭乗旅客の標準偏差

(3) D-Lチャートによる潜在需要分布の推定

潜在需要分布の推定はD-L (Demand-Load) チャートを用いて行なう。D-Lチャートは席数を固定し、(1)~(3)式により種々の潜在需要分布パラメータ(μ_D, σ_D)に対応する搭乗旅客分布パラメータ(μ_L, σ_L)の数値を計算し、縦軸に μ_D 、横軸に σ_D をとり、 μ_L および σ_L の等値曲線を描いたものである。

D-Lチャートの使用例を図3に示そう。このD-Lチャートは席数304のB747エコノミークラスのために作られたものであり、平均搭乗旅客数 $\mu_L=230.1$ 、標準偏差 $\sigma_L=77.0$ であった便Cの潜在需要分布として、平均潜在需要 $\mu_D=254.5$ 、標準偏差 $\sigma_D=112.5$ が求められたことを示している。

D-Lチャートの使用に際し、該当する席数のD-Lチャートを準備する必要があるが、すでに当社保有の機材に対し、クラス別に代表的な席数に対するD-Lチャートを作成しているため、そのつど作成する必要はない。新しい席数に対するD-Lチャートを作る場合は、計算式(1)~(3)にもとづき潜在需要分布パラメータ(μ_D, σ_D)と搭乗旅客分布パラメータ(μ_L, σ_L)の対応計算手順がプログラミングされており、TSS 端末でこれらの数値を算出しマニュアルでチャートを作成している。

3.3 座席数変更による搭乗者数の推定

席数を変更した場合の搭乗者数の推定は、投入機材の変更やいろいろな座席構成の変更を検討する際に欠かせない検討項目である。その推定方法は次のとおりである。

まず、席数変更前の搭乗旅客分布から前項で述

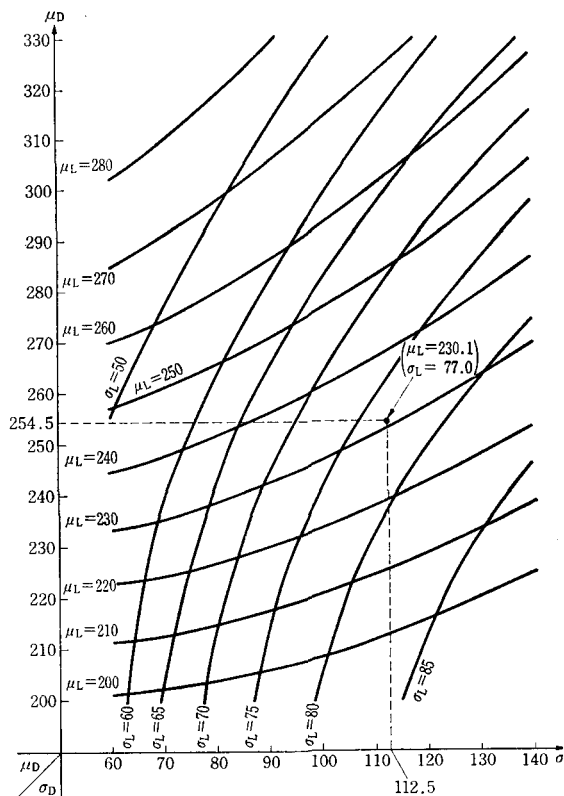


図3 D-Lチャート(304席用)

- μ_D : 潜在需要分布の平均値
 - μ_L : 搭乗旅客分布の平均値
 - σ_D : 潜在需要分布の標準偏差
 - σ_L : 搭乗旅客分布の標準偏差
- (便名C, 区間: 成田→サンフランシスコ, 機材: B747, クラス: エコノミー)

べた方法により潜在需要分布を求める。次に、潜在需要分布パラメータ(μ_D, σ_D)と新しい席数Cを(1)式に代入して席数変更後の平均搭乗旅客数を算出する。この計算はTSS 端末で行なうのでプランナーは短時間のうちに種々の席数について検討作業をすすめることができるのである。

3.4 クラス別最適席数の算定

国際線では機内をファーストクラスとエコノミークラスに分割し、その境界に仕切りを設け、クラス別に異なったサービスを行なっている。料金が違うからサービス内容が異なるのも当然であるが、ファーストクラスはエコノミークラスに比べ

て機内食が上等であるのに加え、座席が大きく座席間隔もゆったりしている。

クラス別の席数は機種ごとに数種類に統一されており、なかには国内線と同様にすべてエコノミークラスの機材も含まれている。クラス別の旅客比率は路線や区間ごとに特性を有するが、便ごとに変動する。旅客需要に合わせてそのつど座席構成を変更できればいいが、改造費や改造に要する時間的制約から、そう頻繁に変更するわけにはいかない。しかしながら、クラス間の需要と供給のアンバランスな状態が長期にわたって続くのであれば収益に与える影響は大きいから、一定期間ごとに路線・区間・便ごとにクラス別旅客需要を分析し、投入機材の席数バランスをモニターし、顕著なアンバランスがあれば是正してゆく必要がある。

次にクラス別最適席数の算出方法について述べよう。目的は便当り期待収入を最大にするようなファーストクラスとエコノミークラスの席数を求めることである。便当り期待収入 R は次のように数式化される。

$$\begin{aligned}
 R &= (\text{ファーストクラスの期待収入}) + \\
 & \quad (\text{エコノミークラスの期待収入}) \\
 &= F_f \left\{ \int_0^{C_f} x \cdot G_f(x) dx + \int_{C_f}^{\infty} C_f \cdot G_f(x) dx \right\} \\
 &+ F_y \left\{ \int_0^{C-a \cdot C_f} x \cdot G_y(x) dx + \int_{C-a \cdot C_f}^{\infty} (C-a \cdot C_f) \right. \\
 & \quad \left. G_y(x) dx \right\} \tag{4}
 \end{aligned}$$

ここで、

F_f : 旅客当り実収運賃(ファースト)

F_y : 旅客当り実収運賃(エコノミー)

x : 便・クラス当り旅客需要

$G_f(x)$: 旅客需要確率密度関数(ファースト)

$G_y(x)$: 旅客需要確率密度関数(エコノミー)

C : 最大供給席数(エコノミー換算)

a : 座席スペース比率 (ファースト対エコノミー)

C_f : 席数(ファースト)

C_y : 席数(エコノミー)

ここで $\frac{\partial R}{\partial C_f} = 0$ として期待収入を最大とする条件を求めれば、

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial R}{\partial C_f} &= F_f \cdot \int_{C_f}^{\infty} G_f(x) dx - a \cdot F_y \cdot \int_{C-a \cdot C_f}^{\infty} G_y(x) dx \\
 &= 0 \tag{5}
 \end{aligned}$$

(5)式より次の条件が得られる。

$$\frac{F_f}{F_y} = \frac{a \cdot \int_{C_y}^{\infty} G_y(x) dx}{\int_{C_f}^{\infty} G_f(x) dx} \tag{6}$$

(ただし $C_y = C - a \cdot C_f$)

したがって(6)式を満足するような席数 C_y , C_f を求めれば良い。

計算作業は TSS 端末からクラス別実収運賃、クラス別旅客需要の平均値と標準偏差、クラス別現行席数および座席スペース比率などをインプットすることにより実行される。アウトプット項目はクラス別最適席数、最適化後のクラス別期待搭乗旅客数と搭乗旅客数実績に対する増減および期待収入増などである。

4. 分析例

ここでは昭和54年夏ダイヤの国際線の中から次の3便を選び、搭乗実績データにもとづいて前項で述べた方法により席数に関する事後評価を行なってみよう。

便名	対象区間	機種
A	成田↔ロサンゼルス	B747
B	成田↔アンカレッジ	DC10
C	成田↔サンフランシスコ	B747

便A, B, Cとも太平洋路線の代表的なデイリー便でありファーストクラスとエコノミークラスをサービスしている。

4.1 便別搭乗旅客分布による評価

昭和54年4月から6カ月間にわたる搭乗旅客実績を EDPS により集計した結果を図4～図9および表2に示す。

まず便Aについて搭乗旅客分布(図4, 図5)を

見ると、特にエコノミークラス(図4)は座席利用率100%の近辺に便が集中しており、供給席数が不足した典型的な例であることがわかる。平均座席利用率もエコノミークラスは89.4%(ファーストクラス73.9%)ときわめて高いので潜在需要を推定の後に増便の対象として検討すべきと考えられる。

便BはB747よりやや席数が少ないDC10を使用しているが、平均座席利用率(表2参照)はファーストクラス(60.0%)およびエコノミークラス(69.4%)とも便Aほど高くはない。また両クラス間の席数バランスも搭乗旅客分布(図6、図7)から判断するかぎり特に問題はないと思われる。

便Cについてその搭乗旅客分布(図8、図9)を見ると、両クラスの混み具合にアンバランスが見受けられる。エコノミークラスでは座席利用率100%近辺の便が全体の30%以上も発生しているが、ファーストクラスでは2%程度である。また、平均座席利用率(エコノミークラス75.4%、ファーストクラス45.2%)からも両クラス間の席数にアンバランスが存在することがわかる。したがって、便Cはクラス別席数改善の対象としてさらに吟味する必要がある。

4.2 D-Lチャートによる潜在需要の推定

搭乗旅客分布が測定されたら、次にD-Lチャートを用いて便別の潜在需要の推定を行なう。便Cの場合を図3に示すが、ここでは便Cのエコノミークラスの席数である304席用のD-Lチャートが使われている。このチャートにより搭乗旅客分布の平均値 $\mu_L=230.1$ と標準偏差 $\sigma_L=77.0$ から対応する潜在需要分布の平均値 $\mu_D=254.5$ と標準偏差 $\sigma_D=112.5$ を求めることができる。便Aおよび便B

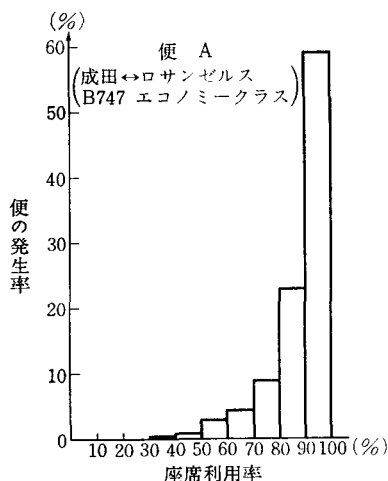


図4 搭乗旅客分布 (便Aエコノミークラス)

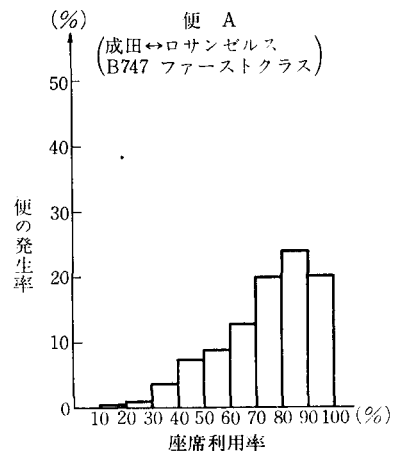


図5 搭乗旅客分布 (便Aファーストクラス)

表2 便別搭乗旅客実績(1979年4月~1979年9月)

便名	区間	機材	クラス	平均座席数	平均搭乗旅客数(人)	標準偏差	平均座席利用率(%)
A	成田↔ロサンゼルス	B747	F	36	26.7	6.9	73.9
			Y	317	283.6	54.0	89.4
B	成田↔アンカレッジ	DC10	F	22	13.2	5.6	60.0
			Y	251	174.4	59.6	69.4
C	成田↔サンフランシスコ	B747	F	39	17.8	8.6	45.2
			Y	304	230.1	77.0	75.4

備考 F:ファーストクラス Y:エコノミークラス

についても同様に該当する席数のD-Lチャートを用いてクラス別の潜在需要を推定すれば表3の結果を得る。

4.3 クラス別席数バランスの評価

さて、便別クラス別の潜在需要がわかったところで各便ごとにファーストクラスとエコノミークラスの最適席数を求めてみよう。各便のクラス別旅客当り実収運賃は表4のとおりである。これらの運賃データと潜在需要分布パラメータ(表3)、クラス別現行席数および座席スペース比率をインプットとして(6)式を満たすようなクラス別最適席数を求めれば表5に示す結果を得る。

表5によれば、席数の改善により収入増を期待

できる便は便Aと便Cである。

便Aはファーストクラスを8席減席しエコノミークラスを12席増席することにより便当たり平均271.1千円の収入増となり、便Cはファーストクラスを12席減席しエコノミークラスを18席増席することにより、便当たり平均442.2千円の収入増となる。一方、便Bは搭乗旅客分布のヒストグラム(図6、図7)からも推察されたように、現行席数はバランスのとれた最適席数であったことを裏づけている。さて、便Aおよび便Cの席数変更による年間期待収入増は往復で考えると、

便A：271.1千円/便×2便/日
(往復)×365日/年
=197,903千円/年

便B：442.2千円/便×2便/日
×365日/年
=322,806千円/年

となる。

以上、太平洋路線の代表的な3つのデイリー便を選び、便別に座席数に関する事後評価を行なったが、いうまでもなくこの評価結果が次期ダイヤ

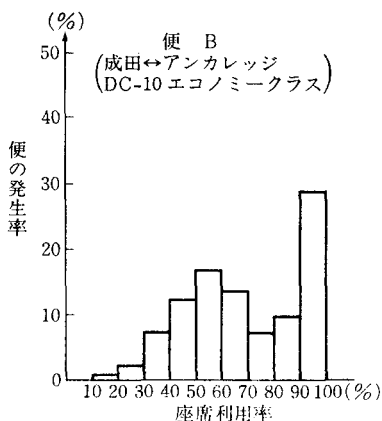


図6 搭乗旅客分布 (便Bエコノミークラス)

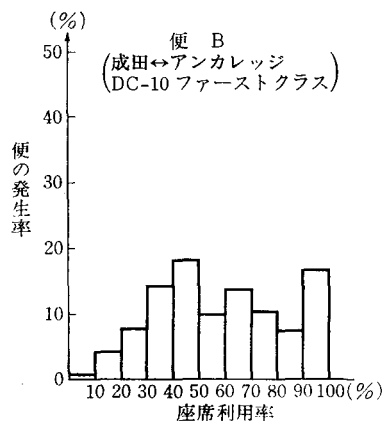


図7 搭乗旅客分布 (便Bファーストクラス)

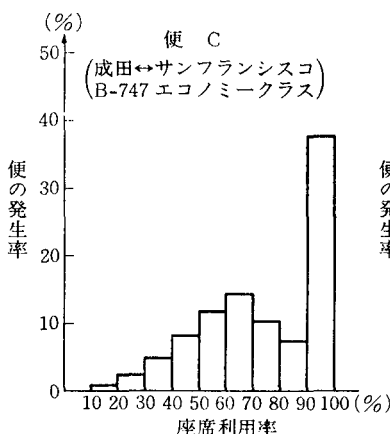


図8 搭乗旅客分布 (便Cエコノミークラス)

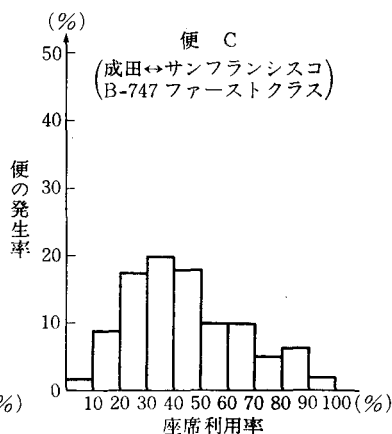


図9 搭乗旅客分布 (便Cファーストクラス)

表3 便別潜在需要推定結果(単位:人)

便名	クラス	平均値(μ _D)	標準偏差(σ _D)
A	F	27.2	7.7
	Y	332.5	102.0
B	F	13.5	6.5
	Y	180.5	71.5
C	F	17.8	9.2
	Y	254.5	112.5

備考 F:ファーストクラス
Y:エコノミークラス

の作成や機材の改修に直ちに結びつくということではない。事後評価の目的は問題点の抽出と改善案の提起にある。改善案が実施に移されるまでには技術面、運用面、収益面さらには政策面での検

表4 区間別1人当たり平均実収運賃(単位:1000円)

便名	区間	平均実収運賃	
		ファースト	エコノミー
A	成田↔ロサンゼルス	240.4	125.0
B	成田↔アンカレッジ	218.5	106.5
C	成田↔サンフランシスコ	240.4	117.5

備考:上記は昭和54年の数値で、現行運賃と異なる。またエコノミー運賃は個人客と団体客の旅客数の重みづけ平均を行なったものである。

表 5 クラス別最適席数とその効果

便名	クラス	現行席数 (a)	最適席数 (b)	変更席数 (b-a)	搭乗旅客数 実績 (人) (c)	最適席数での期 待搭乗旅客数 (人) (d)	搭乗旅客数 増減 (人) (d-c)	便当り期待取 入増(1000円)
A (B747)	F	36	28	- 8	26.7	24.5	-2.2	+271.1
	Y	317	329	+12	283.6	290.0	+6.4	
B (DC10)	F	22	22	0	13.2	同 左	0	0
	Y	251	251	0	174.4	同 左	0	
C (B747)	F	39	27	-12	17.8	17.0	-0.8	+442.2
	Y	304	322	+18	230.1	235.5	+5.4	

備考 F：ファーストクラス，Y：エコノミークラス

討が慎重に行なわれ、その際、本稿で述べた科学的手法が再び活用されることになるのである。

5. あとがき

本稿では航空会社におけるORの適用例として航空機の座席数に関わる諸問題を検討するためのOR的アプローチについて紹介した。

航空会社は航空機の運航と整備、旅客や貨物の販売と運送の各現業部門を持つ。これらの現業部門においては比較的ORの適用業務に恵まれている一方、事業計画策定の分野では国際民間航空会社や政府間の条約や協定、さらに航空法や日航法などの各種規定があるため、これらがOR適用上の阻害要因となっていることも否めない。また一般の企業に共通した問題として、当社においてもORが実際の業務に積極的に活用され効果をあげていくための諸要因、すなわち、ORグループの組織的位置づけ、ORスタッフの育成とローテーション、社内におけるORに関する認識の高揚など解決しなくてはならない課題が残されている。しかしながら、昨今の石油価格の高騰により、石油を燃料とする航空会社の経営はますますきびしさを増しつつあり、いっそうの合理化と収益の向上をはかるためにOR的アプローチに対する関心が社内の各層において次第に高まりつつあるともいえよう。

●ミニミニ●
●OR●

現代「厄年」論

先日、あるソフト会社の部長をやっているP氏と会ったとき、彼はニコニコしながらこう言った。「僕も厄年をようやく無事に過ぎたのでひと安心ですよ。」男の厄年は42歳、それに2年前後して前厄、後厄がある。これは昔の人にもあった分散の概念の表われであろう。ところでPさん、ちょっと待ってもらいたい。平均寿命がいちじるしく伸びている現代では、厄年の概念もあらためなくてはならないのではないだろうか。

昭和1ケタ生まれは血管に欠陥（ケツカンにケツカン）があるので、死亡率が高いという説があるようだ。彼らは現在、50歳を中心に分布している。これはたまたま高齢化時代の厄年に相当するのではないだろうか。厄年というのは働き盛りの最右翼、いろいろな意味でストレスが多いのは当然だろう。僕は血管欠陥説を否定したい。厄年——それは男にとって誇りの年頃でもあることを忘れないでほしい。

(小野勝章)