

# 民間輸送機開発のOR

近藤 次郎

## YS-11のOR

昭和32年の10月、財団法人輸送機設計研究協会の杉本修専務理事が東京大学の私の研究室に突然訪ねてこられた。「近藤さん、あなたは航空の教授でオペレーションズ・リサーチをやっているそうだが、ひとつ協力をしてもらえないか」。それはどういうことですか、と聞くと「現在、名旅客機とうたわれたDC3型は、昭和29年に伊豆下田沖に墜落して以来、日本では使用停止になっている。この飛行機は1935年初飛行以来すでに20年近くも経っているのもうボツボツ交替の時期にきており、航空路線からの引退が取沙汰されている。そこでこの輸送機に替わるものをねらって、世界中の飛行機設計者が競争で先陣争いをしている。わが国には三菱、中島(富士重)、川崎、川西(新明和)、日本飛行機、昭和飛行機の第二次世界大戦中に大成し、敗戦後も残っている会社はあるものの、20トンクラスの飛行機となると1社で開発するのはリスクが大きすぎて到底できない。そこで、輸送機設計研究協会という協会を作って6社で25億円を協同出資し、これに政府の補助金30億を合わせて55億の開発費をもって、新しい中型輸送機を開発しようと考えているのである。

ところで運輸省は、32人乗りのDC3型の後継機であるので、日本ではまず40人乗りが適当であ

るといってゆずらない。一方、設計者、木村秀政、菊原静男、土井武夫、堀越二郎、太田稔氏等は、もう少し大型の飛行機が最適であると考えている。そこで何とかオペレーションズ・リサーチによって、誰でも納得ができる最適な基本設計を決めてもらえないか」というのである。この飛行機は5年後に完成のもくろみであった。

私は面白そうな研究だと思った。工学部の航空学科の教官として、少しでも日本の航空機産業の発展に役に立てばそれは望むところである。しかしながら私は実際の飛行機設計については経験も乏しく、専門とはいえないがORが役に立つものならばと思ってこの仕事を引き受けることにした。しかし、何ぶんにも最初は雲をつかむような話で、最適設計といっても何をもって最適とするかがわからない。第1、日本の航空旅客需要を調べようとしても、昭和26年に民間航空が再開して以来まだ日が浅くて図1のように統計資料が5年分ぐらいしかない。そのうえ、この飛行機YS-11が完成して路線に就航するのは少なくとも5~6年先であるという。そこで、5年間の統計資料をもって5年以上先の航空旅客需要を予測するというような問題にぶつかった。

私自身は「予測理論」に興味を持っていたが、この時期は終戦後、日本の空に日の丸のついた翼が甦って間もなくの時であり、朝鮮動乱などの影響で日本の経済が急速に復興の兆しを見せた時代であった。そこで、このような非定常な時系列の

こんどう じろう 国立公害研究所

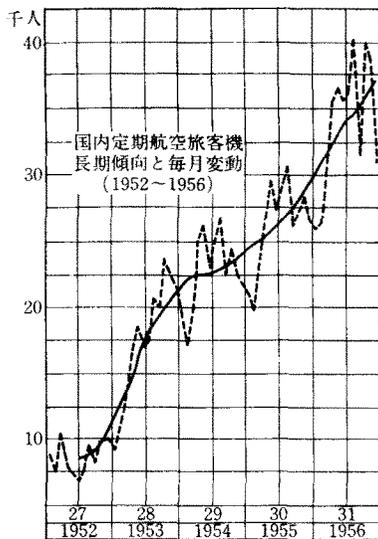


図 1 a 旅客数

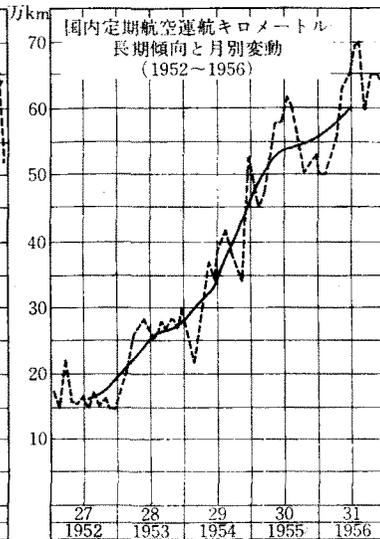


図 1 b 運航距離

外挿ということになる。それでも日本航空や日本ヘリコプター輸送(全日空の前身)の統計資料を丹念に集めて調べてみた。

各社、各便ごとに男が何人、女が何人、子供や株主優待券が何人というように詳細なデータがあるにもかかわらず、満席で旅客を断ったというデータはない。実際に毎月の旅客数は急激に伸びているが、平均と分散とを調べてみると、図2のように平均が高くなるほど、分散が小さくなるという奇妙な統計的事実を発見した。

そこで私は考えた。これは旅客の座席数が一定であって各便の平均旅客数が高くなると、ほとんど満席の状態で運航することが多くなるので、その意味で分散が小さくなるのであろうと。しか

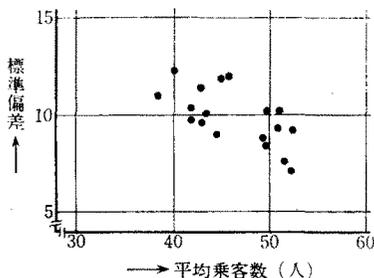


図 2 日本航空 304 福岡—東京の月別乗客数の特性値

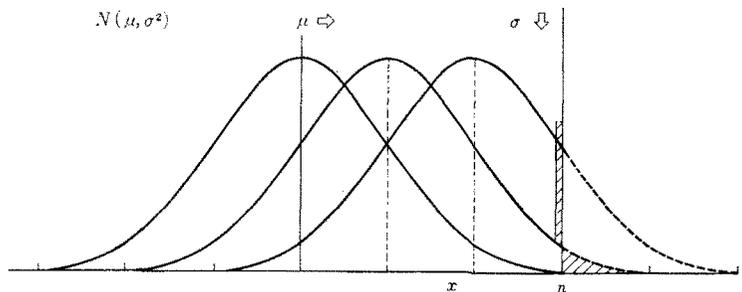


図 3 正規分布  $N(\mu, \sigma^2)$  の変数  $x$  につき、 $x \leq n$  のとき、 $\mu$  が増すと  $\sigma$  は減少する

し、実際の旅客統計を見ると必ずしも満席ではなくて、貨物の搭載量や直前の予約取り消し等のために、必ずしも満席状態とは限らない。そこで、一種の数学モデルを作って各便ごとの旅客数が正規分布するという仮定を設け、平均が増すと分散が小さくなるのは図3に示したように確率変数に上限があるからとした。

一方、座席数と運航費との関係は、航空機の設計理論や飛行経路にも依存し、

また、ルートの長さなどにも影響を受ける。そこで、直接運航費についていろいろな試算を行なった。その内にアメリカのロッキード社の運航費の算式というのが見つかった。これは飛行機の座席数の関数として時間あたりの運航費を示すものである。搭載する燃料の量やエンジンの種類などによって運航費が変わってくる。そこで、その種の計算はきわめて面倒になるのであるが、ロッキードの算式は、目安を立てるには都合がよかった。航続距離は日本の主要な幹線の90%程度を押え、また、滑走路長についてもほぼ同様な考え方で、ほとんどの地方の飛行場で利用できるような長さに決めた。

もちろんこの飛行機は、外国にも輸出すること

を当初から考えていたが、外国の統計資料等はもちろん得難いので日本の資料を専ら中心として考えた。

このようにして、直接運航費が主旨決まってきたのでそれらを用いて、次は最適の座席数を計算した。これは結局飛行機が大きすぎて座席が余るとそこが空席でも運航しなければならないことになり、在庫管理の理論でいうと、売残りが出て在庫費用が増えることになる。反対に座席数が少なすぎて旅客の積残しが出てくると、品切れ損失を生ずることになる。このように

して、先に述べた需要の確率モデルと組み合わせると最適な座席数は60席ということになった。

一方エンジンのほうは、わが国では、まだ当時は開発する力がなかったので25トンクラスの飛行機としては、ロールスロイスのターボジェット、ダート10が選択された。このようにしてエンジンが決まると、他の要目は自然と選択の余地が狭くなり、座席数60、滑走路長は1200m程度となつて、ほぼYS-11の基本設計が完成したのである。

杉本修氏の著書『わが空への歩み』(昭和42年7月)には、次のように書かれている。

「ORの作業はむずかしい数学式を利用して結論を求めるもので、東京大学の近藤教授が専らその作業を担当された。

その目的は、日本国内および東南アジア地域において、最も需要が多いと推定される中型輸送機の基本諸元すなわち座席数、巡航速度、航続距離、滑走路長を求めることで、これは5年後を目標とした。ORの結論は次のとおりであった。

1. 座席数 60席以上
2. 巡航速度 時速/320哩～420哩
3. 航続距離 600哩

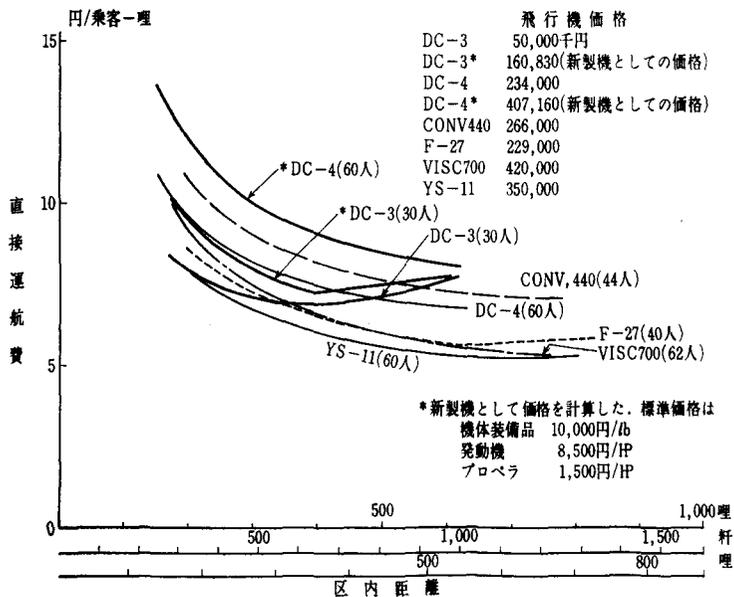


図4 直接運航費の比較(『数学入門』前出より)

#### 4. 滑走路長 1200 m

これらのOR結論は、われわれが飛行機の型式を決定するうえで非常に役立った。私は近藤教授のご努力に対し、深甚の謝意を表するものである」

在庫管理の理論が適用できるということに気がついたのは、この基本計画の作業がほとんど終了してからのことであつて、最初は飛行機設計の理論や交通量の需要予測の数学モデルなどについての研究に多くの時間を費やした。この研究は約半年をもって完了して、昭和33年春には結論に達し、実際の設計に入り、昭和39年に初飛行、足掛け7年を経てYS-11となつて完成したのである。YS-11のORは、ほとんど私1人で教育・研究の余暇をフルに利用して行なつた。

YS-11のYSは輸送機設計研究協会の頭文字をとつたもので、最初の1はダート・エンジンにつけたナンバーで、次の1は主翼の面積について改修したことを示すものである。最初の設計機はYS-10であった。それから昭和40年代になって、アメリカのハワイ、ギリシャ、ブラジル、アメリカ本土等で広く採用され、予測外の好評を得て昭

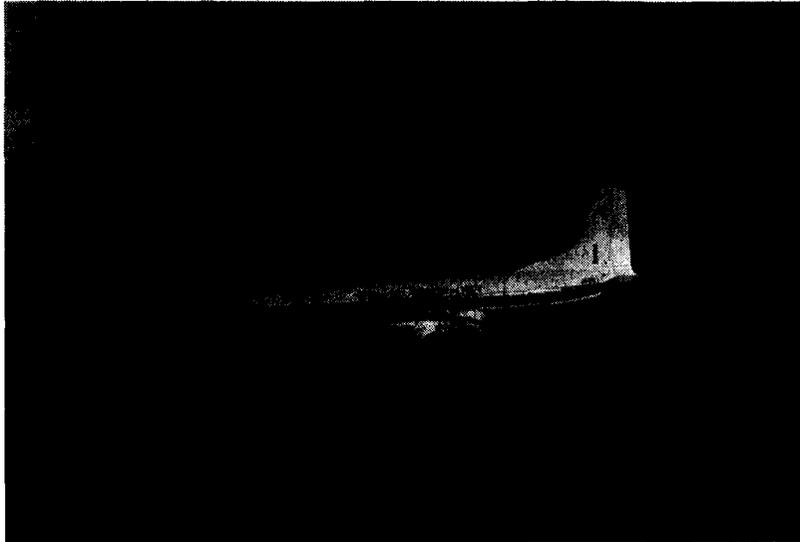


図 5 YS-11(日本航空機製造提供)

和48年度までに182機生産することができた。この種類のターボジェット機としては、技術的に成功を収めたものといえることができる。実際図4のようにYS-11は既存の航空機よりは優れていた。

### YXのOR

昭和42年に通産省は、YXの後継機を企画することになり、再びそのためのOR作業を依頼してきた。この時は虎の門にYX-ORセンターを設置し、まる1年間にわたり各社からえり抜きの13人の技術者を中心として本格的なORを行なった。この人たちは、常勤として企業から離れてORセンターに勤務したのである。

私は、図6に示すように最初に全体のシステムをエアラインのルート分析を行なう部門と要目の違った各種の航空機を検討する部門とに分け、ALSS(エアライン・システムズ・シミュレーション)、CAD(コンピュータ・エイデッド・デザイン)に分けて、全面的にコンピュータを取り入れシミュレーション

をすることにした。エアラインは幹線とビームラインと称する支線とに分かれており、また、長短各種の特色がある。飛行場についても、滑走路長の長さや地上の離着陸援護施設などさまざまである。また、この時には日本だけでなく、中近東、アラブ諸国まで含め世界中のルート分析を行なった。このたびは人手と時間とがあったこともあって非常に仕事ははかどり、詳細で精密な作業を行なうことができた。

一方、CADはいわゆるコンピュータ援助による設計システムであって、この座席数、速度、離

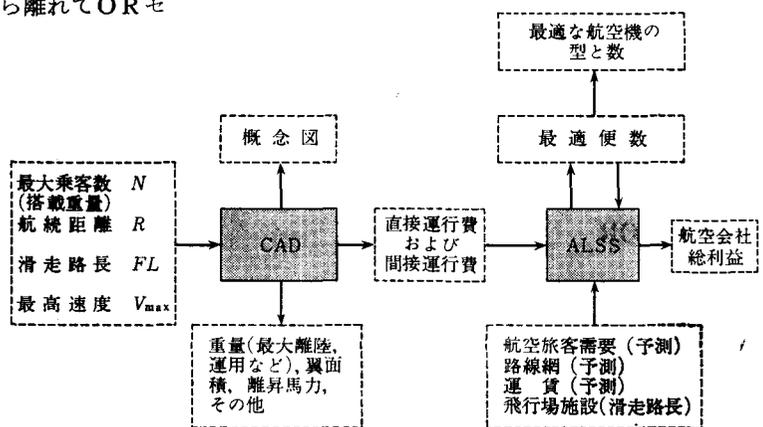


図 6 CAD と ALSS を中心とする流れ図(『システム工学』丸善より)

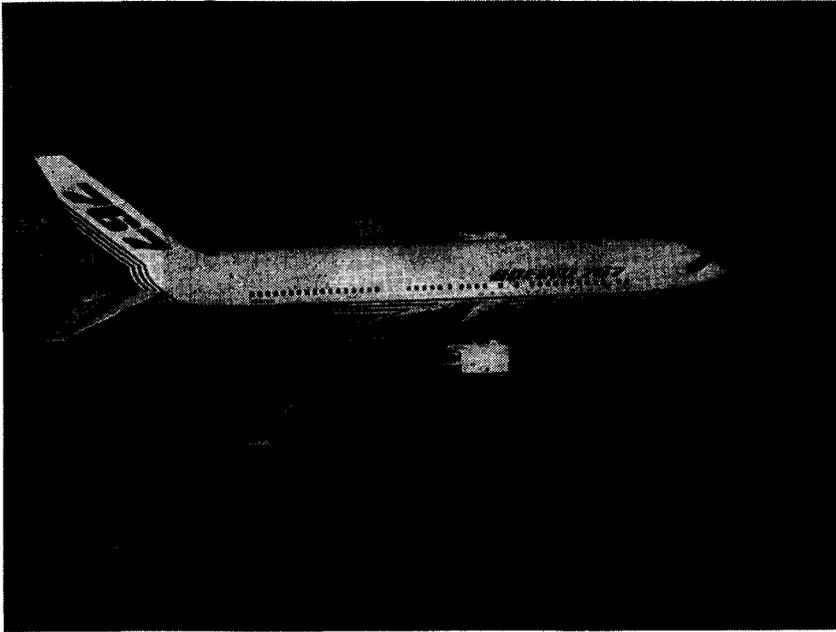


図 7 YX, ボーイング767(民間輸送機開発協会提供)

着陸滑走路長, 航続距離の代表値を投入すると, 航空機力学の原理にしたがって自動的に設計を行ない, その概念図もグラフィック・ディスプレイで描写するというようなシステムである。

CADの方法はその後いちじるしく発達したが, 昭和42年に行なったのは, おそらく世界でも比較的早く着手したほうではないかと考える。このCADを使って, この時は双発ジェット機を想定してそれを150機ばかり設計し, 最終的には125人ないし95人乗りが最適であるという結論に達して, 予定どおり1年で一応の作業を終了した。この時の所要開発の総額費は180億, 開発期間は6年ということで答申を行なった。

### XJBのOR

しかし, この飛行機に搭載する適当なエンジンが見当たらないということもあって, この案は結局は棚上げとなり, その後米国ボーイング社と国際共同開発する方針に変わり, B767として1980年暮れに完成したのはよく

知られているところである。日本がどこと組むかはゲーミングの問題であった。1982年8月から就航の予定である。

しかるに, さらにこのYXの後継機については, 国際協同開発にするか, 日本の単独の開発にするか基本的方針がまだ固まっていないが, 大体125人乗り, ないし150人乗り程度の中型双発ジェット輸送機であり, 推力12トンクラスのエンジンを装着することになっている。このエンジンにつ

いては, XJBと称し, 最近日本とロールスロイスとで共同開発を行なってきたが, 最近プラット・アンド・ホイットニーが加わるようになった。このようなエンジンができれば, 低燃費の画期的な飛行機ができるはずであるが, その大きさ, 性能, その他のエンジンのその後20年の技術進歩があるとしても, 再び15年も前に行なったYXの答申に似通った飛行機になるということは興味深い

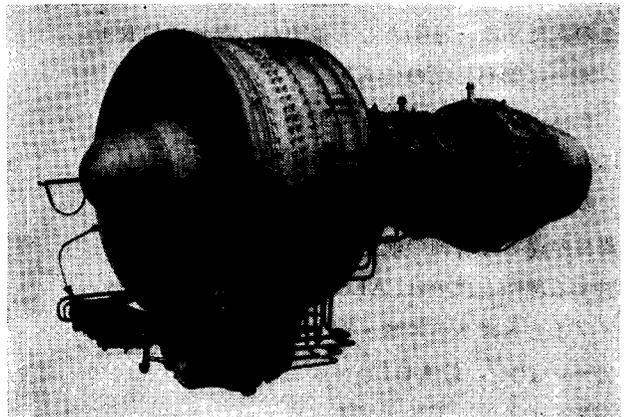


図 8 XJB エンジン(日英共同開発のファンジェットエンジン。推力約9トン, 低騒音, 低公害で燃料消費率が格段に低い特長を有している)

ことである。

あの時もし答申の線に沿って日本独自の YX を作っていたとすれば、どのようなことになっていたかは仮定の上の問題で、成否を占うことは今でもむずかしい。

#### 参 考 文 献

- [1] The Determination of the Optimum Number of Seats of a Passenger Transport Plane. *Journal of the Operations Research Society of Japan*, Vol. 1 (1958) pp. 127-138
- [2] 中型輸送機の計画。オペレーションズ・リサーチ第 3 巻第 4 号 (1958) pp. 2-7
- [3] 中型輸送機設計のための OR。—YS-11 国産輸送機の設計中間報告— 財団法人 輸送機設計協会編集 (1959) pp. 181-192
- [4] Operations Research in the Basic Design of YS-11 Transport Airplane. *Advances in Aeronautical Sciences*, Vol. 3-4(1961) pp. 557-574
- [5] Determination of the Optimum Transport Capacity. *Journal of the Operations Research Society of Japan*, Vol. 9, No. 1, Dec. (1966) pp. 36-43
- [6] Airline Systems Simulation—A Computer System. *Journal of the Operations Research Society of Japan*, Vol. 10, No. 374 (1968) pp. 145-155
- [7] Prediction of Domestic Air Traffic Passengers. *Journal of the Operations Research Society of Japan*. Vol. 11, No. 2 (1968) pp. 66-77
- [8] Application of Computer Techniques to Aircraft Design Problems. ICAS Paper No. 70-28, Sept. (1970)
- [9] Computer Aided Design of Civil Transport Plane. *Transactions of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences*, Vol. 13, No. 23 (1970) pp. 37-56