V/STOL 輸送機の大きさ, 設計規準, 運航法が, 短距離都市間の運航費におよぼす影響*

George D. Ray**

序 論

1975 年から 80 年に実用可能になると思われる商用 V/STOL 旅客機は, 今日約 300 マイルの区間距離を普通の短距離ジェット機で旅行するよりも, はるかに時間短縮の可能性がある。

現在の短距離ジェット旅客機の巡航速度は 500 マイル/時程度であるが, 150 マイル区間での戸口から戸口までの平均速度は, 70 マイル/時を越えないようである。同じ区間を V/STOL 機によれば, これを 150 ~ 200 マイル/時程度まで増すことが可能である。

空港から空港までのコストは V/STOL 機による方が短距離ジェット機よりかさむと予想されるが, 空港と戸口間でタクシーを使用するような場合には, 全体の戸口から戸口のコストは両者で大差なく非常に接近する。現在乗客は, ジェット機に乗るとき, ピストン機のときにくらべ, 割増料金を払っており, SST もまた割増料を取るだろう。乗客が, V/STOL 機による同様の時間節約に対して, 同じように割増料の価値を認めるかどうかは興味あることである。

V/STOL 機の座席・マイル当たりの運航費は, その設計上の因子と運航方法によって大きく影響され, その各種要素の内のいくつかが, どんなものかを指適するのがこの論文の目的である。

大 き さ

与えられた区間距離で運航するように飛行機が設計され, 同じ程度の速度および推進系統を持つとすれば, 座席数や荷物のトン数で表わされる単位容量当たりの運航費は飛行機が大きくなるほど減少する。この大きな理由は, 卵のような特定の二次的構造物, 多くの固定装備, 乗員などが飛行機の大きさとともに変わらないことである。

この変わらない固定された項目は, 設計の際にその飛行機がねらいとする任務によって定められるので, ひとまとめにして, 任務重量 (mission weight) といわれる。V/STOL 機の任務重量と有料荷重 (payload) の比較を第 1 図に示す。

第 1 図 任務重量と有料荷重の変化

これに反して, 主要構造重量, 動力装置および燃料重量は, 第 1 近似としては全備重量に対し直線的に変化する。

ある全備重量以下では, その飛行任務を達成できず, かつ有料荷重を運べなくなることは明白であろう。

飛行機が大きくなればなるほど可能な有料荷重は増し, 全備重量の増加につれて, 有料荷重と全備重量の比は, 初めは急激に増加し, しだいにその増加率は減少する (第 2 図)。

第 2 図 全備重量と有料荷重の割合

V/STOL の任務重量は普通機とほぼ同じとなるうが, 離陸時の推力-重量比が普通機の 0.3 に対して, 1.0 以上必要なため, 比較的重い動力装備をせねばならない。このため, 構造重量も増える。さらに, より

* The Influences of Size, Design Ground Rules, and Operating Method on Operating Costs of a Short-haul, Inter-city V/STOL Transport. 昭和 41 年 4 月 6~8 日 日本航空学会年會において講演。英文 copy 頒布中

** CX-6 Program Manager, Military Aircraft Product Development, The Boeing Co. 川幡長勝氏

多くの燃料を必要とする。この理由は、構造および動力装置の重量増加のためであり、また着陸遷移のために比較的短時間ではあるが、大出力を使用するためである。これらは第3図にまとめられている。

第3図 重量内容

与えられた任務を持つ飛行機について、全備重量と有料荷重を調べると第4図の如くなり、有料荷重が零となる全備重量は普通機、STOL機、V/STOL機の順序で大きくなり、また特定全備重量については、同じ順序で可能な有料荷重が減る。

第4図 全備重量と有料荷重

同一の任務に対して設計された V/STOL について、もし相当多く作られるならば（この仮定は製作習熟曲線（manufacturing learning curve）の影響を最小にするものであるが）、それを購入し、ある年月にわたって運航する費用は、定数と全備重量の和の関数となる（第5図）。

第5図 大きさとコスト

第5図のシステム価格（system cost）を第4図のC曲線で割って第6図の結果を得る。この有料荷重で除したシステム価格は、有料荷重が零になる全備重量で無限大となる。もし、初代の短距離 V/STOL 輸送機を選ぼうとするならば、このように飛行機の大きさ

第6図 経済性と大きさ

が、経済上の問題に大きく影響することをしっかり心すべきである。

大きな失敗の危険性より小さな失敗の危険性の方が良いという考え方に従って、飛行機の開発段階での危険性を最小にするように、第5図のA点の左の方に属する小さな V/STOL を設計したくなるかもしれない。しかしながら、一定の任務を遂行する V/STOL の大きさをいろいろに変えて、その開発費を見積ると、大きさによっては大して変わらないことがわかる（第7図）。あまりにも小さな輸送機の使用を企画する

第7図 開発費と大きさ

と、経済上の失敗の危険性がかなり大きくなることは、第6図から明らかであるから、そのような小さい機体から始めるべきではないように思われる。

一方、短距離輸送の需要の性質から、最初の短距離輸送機は、第6図のA点のあまりにも右側の点で設計されるべきではない。すなわち、大きすぎはならない。飛行機を利用する大衆が V/STOL という新しい型式の利用法を学びとるまでは、軽荷で運航する必要が出るかもしれない。ある期間、ほとんど空荷で飛行せざるを得ないときには、座席・マイル当たりよりも、飛行機・マイル当たりの費用の方に興味がある。これは、小さな V/STOL 輸送機ほど少ないだろう。言い換えれば、軽荷なら、小さな飛行機の方が潜在利益の損失が比較的少なく、反対に、重荷なら、大きな飛行機ほど、その利益能力が大きくなる。

短距離輸送に対する需要のもう一つの特徴は、乗客の輸送機関に対する価値判断が、その便数によって大きく左右されることである。かりに、自動車なら、すぐに旅行先に向けて出発できるが、V/STOL 機なら、

つぎの便まで2時間も待たねばならないとしたら、自動車を使いたくなるであろう。したがって、便数という観点に立てば、比較的小さな V/STOL を使用することが望ましい。

便数が多くなければならず、また経済的な V/STOL 輸送機であるために寸法が大きくなければならない(たとえば、100 人程度の容量)としたら、V/STOL 短距離輸送機は初めのうちは、需要度の極めて高い所でしか魅力がないであろうという結論を得る。もう少し楽観的解釈をするには、ジェット輸送機が初めてアメリカに導入されたとき、同じような問題を抱えていたことを思い起こすことである(第8図)。ジェット

第8図 ジェット輸送機航路

機は時間の節約に大きな意味があったから、比較的大量輸送の長距離航路でだけで競争できた。そして、ピストン機よりも、かなり多くの座席を設け、経済的であるように設計された。予定便数を減らすことは、望ましくないのに、交通密度が高くなりつつあった初めの内は、軽荷で運航され、多くの損害を被った。後に、重荷では、このようなジェット定期便は、長距離運航では非常に有利になってきた。その内に、技術的改良、特にファン・エンジンの導入、高揚力装置の改良、あるいは、空の旅行増大によって、中短距離でも、需要度の高い所では、比較的大きなジェット機でもピストン機に取って代わるほど利益をあげるようになった。

短距離 V/STOL 輸送機の計画は、第9図に示したように、1970 年から 75 年ごろのエンジンの技術によって期待し得る推進系統重量の大きな軽減を基にしている。このような原動機の進歩が実際に起こるであろうという予想は、現在発表されている要素の改良から

第9図 エンジン技術の進歩

わかるように、かなり確かなものである。しかしながら、このような改良の後、1975 年以後に、それ以上、原動機を改良することは、さらに困難になるかもしれない。

私は、今や、任務重量や主要構造重量の軽減に、もっと重きを置く必要があることを提唱したい。この種の重量軽減は普通の航空機にも応用できるとはいえ、V/STOL 輸送機の経済性におよぼす影響の方が、はるかに重要となるであろう。

余裕燃料

V/STOL はホバーできるものであるから、飛行機の大きさを決める際の任務として、通常の飛行機の場合に加えて、数分間にわたるホバリングの余裕を含ませるのが妥当と思われる。しかしながら、第10図に示すように、ホバリング中の燃料消費は、非常に多いので、定期航空路での運航方法に、長いホバリングを取り入れるのは好ましくない。翼の空気力だけで飛行できる速度まで加速するのに要する時間を、最小にするように、離陸径路を選ぶであろうから、10~20 秒ですみ、また、翼の空気力だけに頼る状態から接地までの減速時間は、2ft/s 程度の降下率で、50~80 秒程度必要とする。

第10図 離着陸に要する燃料

出力の大きさは、離陸遷移については、推力が重量に等しい出力と、上昇時の出力の間で変化するであろうし、着陸遷移については、降下時の出力と、推力が重量と等しい出力の間で変化するであろう。上の場合、推力が重量に等しい時間は極めて短いだろう。燃料節約の意味で、重量以上の余裕推力を小さめにとり、出力を押えるよりも、加速のために、利用可能な全出力を使って、離陸過程を短縮する方が望ましい。離陸時に消費される燃料は上のどちらの場合も、ほぼ同じであって、遷移時のクリティカルな期間を短縮する意味で、後者が望ましい。

着陸時に、操縦者は、いったん着陸遷移に移ると、それを中断するような事情が全くないように飛行しようとする(第11図)。比較的小さい飛行区間の場合には、着陸進入開始に先立って、着陸場の混み具合いか

第11図 着陸飛行経路

ら、ホールディングをする必要が、減多にないように迅速に適切な処置をとるべきである。しかしながら、止むを得ぬときには、操縦士は、翼の揚力（wing-borne flight）低速で旋回飛行しながら待機し、進入経路と着陸場が空いてはじめて遷移にうつるであろう。

操縦士は、進入経路を、いくぶん手前ぎみに採るので、予定点に接地するために、出力を加える必要が生ずる。このように操縦士というものは、行き過ぎ量を訂正するか、あるいは、着陸復行を行なう必要が生ずるのを非常に嫌うものである。操縦士は、計器によって、進むべき水平垂直距離、および、着陸接地点の方向を連続的に知ることができるであろう。

長時間のアイドリングやタキシングが必要であってはならない。うまく設計された V/STOL 機用空港で、運航するときの主な利点は、離着陸する航空機の相互干渉がほとんどないことであろう。今日、普通の飛行機で、出発の遅れや地上での燃料消費の主な原因は、ランプを離れてから離陸許可を待つまでの時間である。

有料荷重について

V/STOL の有料荷重は、乗客とその手荷物、郵便、荷物から成っている。

短距離の乗客量は、休日以外の日の、一日の初めと終わりに最も多くなる傾向を示し（第12図）、ある特定の区間が他の区間より交通量が多くなることもありうるから、座席数をできるだけ垂直飛行可能な臨界重量と一致させ、また、普通空港を途中の連絡に使うような場合は、できれば、STOL 離陸をするように多くの努力を注ぐことが望ましい。

あまり好まれない時間の料金を安くしたり、自由席

第12図 V/STOL の利用度

を設けて料金を下げたり、荷物を忙しくない時間に運んだりして、交通の拡大を行なうのが望ましい。座席容量は、途中の離陸回数（ほぼ 85%）が、それを越えないような温度までは一定であるべきである。この温度以下においては、旅客輸送と同時に荷物を運ぶことができる。この温度以上では、乗客数は減らされるであろうし、したがって乗客輸送回数が増える。暑い夏季には、重量制限のために、予報温度に基づいて、毎日座席間隔を変えて、交通量の最も多い時間でも、お客を乗せられない座席は、取りはずすのがよい。

オーバーヘッドの配分

高密度の短距離 V/STOL 定期便についての予備的考察から、V/STOL システムのための乗客当たりのオーバーヘッド・コストは、STOL や普通の運航のための費用よりも、かなり少なくできることがわかる。

その理由は、空港の大きさを縮小しうることにより、また、全天候着陸システムに必要なよけいなものを減少しうることにある。

V/STOL 機は、離着陸区域のすぐ近くでは、騒々しいであろう。しかしながら、遷移中にすみやかに上昇し、すぐに出力を下げるができるであろうし、同様に、地上での騒音を最小にするような進入、出発経路を選ぶこともできよう。空港に非常に近い所以外での騒音問題は大きなことにはないと思われる。

空港の騒音問題の最も筋道立った解決方法は、波止場や駅構内の上部に設けたホームなど、乗客に便利でかつ、大きな騒音源に近い場所を利用することだと思われる。

第13図

手荷物は一般に小さいから、申し込みと切符発売の手続を、現在イースタン・エア・ラインのボストン、ニューヨーク、ワシントン間のシャトル便（shuttle flight）に使われている方法に似せることができよう。

前にも記したように、現在の典型的な幹線よりも、かなり安い乗客当たりのオーバーヘッド・コストで運

航することができるであろう。しかしながら、いろいろな運航方式に対して同一の割合を使うのではなく、空港設備などを含めたオーバーヘッド・コストを正しく配分する計算方法が工夫されない限り、V/STOL機のいくつかの利点は、目に見えて来ないであろう。この工夫によって、V/STOL機だけの専用航空路は幹線航空路よりも安い料金を提供できるであろう。

V/STOLシステムの運航にとって、計算機設備を中央に集めることが非常に重要な要素となるであろう。それは、蓄積された統計資料に基づいて、何時、臨時便を出せば有利かを決定したり、最も交通量の多い時間に、より高い利用度を生むように整備作業を管理したり、交通管理等をするのに使われるであろう。

結 論

結論すれば、1975年から80年の間に使われるV/STOL機は、ある場合には、乗客の戸口から戸口までの平均速度を増すことができる。たとえば、150マイルの区間距離では、現在の普通の短距離ジェット機の平均速度である70マイル/時を、150マイル/時あるいは、それ以上に速くできる。

V/STOLは空港間の直接運航費は、飛行機マイル当たりにしても、座席マイル当たりにしても、普通の

短距離ジェット機より、高くつくであろう。しかしながら、乗客は、V/STOL空港が現在の空港よりずっと便利な所になるので、普通の飛行機のために使う地上輸送機関の大部分の費用を節約することができるであろう。

V/STOL機で可能な戸口から戸口までの時間の節約は、中距離においてビストン・エンジン機に較らべて亜音速ジェット機によって得られる節約、あるいは、かなりの長距離において亜音速ジェット機に較らべてSSTによって得られる節約と同程度に大きいので、V/STOLの料金は普通の短距離ジェット機よりも高くし得ると思われる。

経済的なV/STOL機にするためには、比較的大きくしなければならず、100人程度のものとなる。

大きさと、便数に対する要求のために、高密度の航路以外では少なくとも、初めは経済的に魅力がないであろう。

大して交通量が多くない時間の料金を安くしたり、有料荷重を天候条件に合わせるように乗客容量や利用率を変えるような営業法が、V/STOL輸送機の利益を決める上で、非常に重要になるであろう。

乗客当たりのオーバーヘッド・コストは、V/STOLの運用によってかなり下げられるし、また、実際の会計業務に反映されなければならない。

宇宙船の温度設計法*

大 島 耕 一**

要 約

地球上比較的低高度を周る宇宙船の温度を計算する方法が、計算例とともに示される。まず、そのような宇宙船に対する太陽エネルギー入射率、その地球による反射光の入射率が計算され、それから平均温度が定められる。このような条件の下における宇宙船の表面の温度分布が近似的に示され、最大温度差が推定される。最後に、このような宇宙船が地球の陰の部分に入って冷却されるとき温度変化を与える式が示され、一つの例についての結果が示された。

1. は し が き

米国航空学会(AIAA)には、わが国の航空学会の部門委員会に相当する35の専門委員会(Technical

Committee)があるが、その中に、astrodynamics, plasmadynamicsなどと並んでthermophysicsという委員会がある。その分野の説明には“物体の中、物体相互の間、または物体と外部環境との間の熱エネルギー交換、特にふく射によるその性質と機構の研究と応用、そのような性質と機構に対する環境条件の影響の研究”とかいてある。この説明にあるように、この新しい専門分野、thermophysicsはふく射による熱移動が支配的になる宇宙空間における物体の環境特性を研究するもので、全ての新しい学問がそうであるように、空気力学、気体力学、熱学、表面物性論、材料力学、構造力学などの境界領域の学問として成長して来たのであるが、すでに数次にわたる symposium注)

1) AIAA. Space Simulation Testing Conference, Pasadena, Nov. 1964.

2) AIAA. Thermophysics Specialist Conference. Monterey, Sept. 1965.

* 昭和41年6月13日原稿受理

** 東京大学宇宙航空研究所