

航空工業の現状と将来

—ロケット超高空旅客機の可能性について—

糸 川 英 夫

1. 日本の航空工業の現状

1941年から1945年迄の間に70,000機の航空機を生産して世界有数の航空機生産国の座にいた日本が、占領による禁止を解かれて再び航空工業の分野に活動を開始したことは国の内外に色々な反響を呼んでいる。特に同じ状態にあったドイツが東西に分裂したまま、今日においても依然として占領下にあり、航空工業の禁止を続けられているときに、日本が分裂することなしに（そのかわり国土は縮小されたけれども）、一応スタートを切ったことはより有利な態勢にあるように思われ、多くの興味と、そして同程度の期待と反感をまき起しているのは当然のことであろう。最近の海外航空技術雑誌が相ついで、“Come-back of Japan's Air-Industry in Race” をとり上げているのもこの現われである。

さてところで、これ等の海外航空誌に載せられた論文を一読して感ずることは、これらの興味も期待も反感も甚だ先走りすぎた、かつ間違ったもので、事実は大方向の因難に包まれている。

第一に経済及び財政上の問題である。日本はかつて世界有数の航空工業国であった時代にも、航空機生産のための必要材料であるアルミニウムと石油の資源に悩んでいた。満洲国に産する低品位の粘土からアルミニウムを精製したり、Oil-shell から石油を抽出しようとする基礎的な研究が真剣に行われてはいたけれども成功に至らず、それ故にアルミニウムと石油の輸入を禁止される措置に遭遇したときは、航空機工業界は暗い思いに閉ざされた。東南アジアに産するボーキサイトと石油の魅力から日本軍の仏印進出という筋書きが演出されたことは未だ記憶に生々しい。今日、日本はアルミニウムや石油を輸入しなければならぬばかりでなく、ニッケル、コバルトその他の材料のほとんどすべてを輸入しなければならない。

国土が狭少となり、カリフォルニア州一州にもみたない国土に米国人の半ばを越す現状で、第一に輸入せねばならぬものは食糧であり、食糧の輸入を賄って余りがあれば輸出に見合う物を輸入するのが原則である以上、輸出が可能でない限り、航空機工業そのものが日本にとって財政経済上の負担になってしまう。

第二に戦後と戦前の相違は計画性にある。戦前高い程度の航空機生産能力をもっていた時代は、日本は高度の国家統制経済下にあり、この下で計画性をもった優先権が航空機工業に与えられていた。例えば一つの航空機の試作命令がある飛行機会社に出されるときは、これに先き立って基本材料、特殊合金から微細な二次的部品に至る迄の工場能力調査が行われ、発注をうけた飛行機会社が遭遇するであろうあらゆる障害は事前に注意深く、滑走路の上から取り除かれていたのである。

今日たまたま、飛行機またはその一部を製作するように注文をうけた飛行機会社の幹部は、金属材料会社へ走ってまず規格材料がないことを知り、部品メーカーを探してどこにも計器がないことを知り、かくしてジャングルを切り拓いて歩まねばならぬのである。今日航空機工業が他の工業に先んじて優先権を与えられるには、余りにも優先権を与えるべき工業が他に多すぎるし、また高度の計画性をもつには、国の状態が適していないといわねばならぬ。

第三に今日の日本に欠くべからざる工業要素である商業採算 (Commercial base) を考えてみよう。輸出工業としての航空機は、例えば他の自動車工業などに比較して「人手」を食う、いわゆる man-power を要する工業であるという点だけで有利である。航空機工業では依然として組立作業は人手のみに頼っており、automationは不可能なのである。この点、automation のやれる自動車工業は日本に不利なのであるが、この点だけが望みの綱で、材料が輸入にまつことは前記のように大きなハンディキャップとなる上に、狭少な国土では国内航空路の発達がほとんど望まれないという悲観材料で cancel されてしまう。domestic な国内用輸送機は工業として採算がとれない。

さて以上のような現実の条件を念頭におきながら、日本航空工業がその再開以後してきたことを考えてみよう。政府は1953年と1954年にわたって二つの公式の航空技術調査団をヨーロッパとアメリカに送った。民間会社は、某社は米国のA社と、某社は米国のB社と、という具合に「ていけい」をしたし、またしつゝある。つまり官民共にいわゆる10年間の「技術的空白」をうめるための努力をしてきたのである。またこの空白の最大

のものはジェットエンジンの出現にあるとして、この進歩に追いつくための多くの努力がなされ、またなされんとしている。

何のために追いつくのであろうか。ジェットエンジンやジェット航空機の「技術的空白」をうめたとして、さてその時に世界を相手に貿易戦で勝てるであろうか、日本製ジェット戦闘機を英国に輸出し、日本製ジェットライナーがヨーロッパの空で輸送事業を行う日が何時になるか計算してみたであろうか。われわれは冒頭に述べた三つの事項あるいは現在の境界条件のもとで解を求めていることを忘れてはならない。

日本の航空界が現在もっている最大の強味は「白紙」であるということである。「技術的空白」こそは日本航空界がもつ唯一の取り柄である。この「空白」を賢明に利用する方法は、世界航空界の未来位置を的確に推定して、これをねらってスタートすることであって、「ていけい」や「技術導入」で貴重なドルと貴重な man-power を浪費することによって「空白」を灰色にすることではない。

さてそれならば、世界航空界の未来位置はどこであろうか。日本はそのどこをねらうべきか。これについては次章で述べたい。

2. 高々度と高速化——ロケット旅客機の採算性

航空機は輸送機関である。船舶、汽車、自動車等の輸送機関の中で航空機に托されている使命は速度である。重量物の運搬には将来共船舶が用いられるであろう。

従って高速化は航空機の宿命である。

今日の主要な輸送用航空機は往復式発動機とプロペラがついている。英国のコメット機はジェット旅客機の世界に一步をふみこんだ。ところでアメリカ側の計算によれば、本格的に世界がジェット旅客機時代になるのは1960年であると考えている。

この時代には1954年の現在の約2倍の速度になるであろう。

ここに計算しようというのは、その先きの話しである。1954年の旅客輸送の速度の10倍になる時期と、更にその10倍になる時期、デシベル単位でいえば、10db ずつ上がった場合の話である。

さて計算に先立って一つの法則、あるいは仮定を立てよう。輸送機を高速化した場合の採算を推定するのに、速度それ自身に対する「評価」の問題がある。今日旅客機の設計には seat-mile (一座席当り、1哩当り) の運賃計算が基準になっているけれど、これは速度が大体同じ程度の旅客機同志間の話で、スピードが格段に違えば、速度そのものに対する評価が必要になる。

東京—桑港間を船で行くと14日かかり、\$300の運賃である。邦貨約10万円。これを旅客機で行くと1.4

日(約30時間)で、運賃は\$600(20万円)となる。所要時間が1/10に短縮された場合、運賃が2倍になる。

これはもっと近距離、例えば東京—大阪にもあてはまる。東京—大阪を汽車で10時間とし、飛行機が1時間とすれば、飛行賃は約倍になる。時間を1/10に短縮する評価として旅客は倍の運賃評価をしている。この rule が一般的に成立つと仮定しよう。

そうすると、東京—桑港間の将来の reasonable price は下のようになる(第1表)。

第 1 表

	東京—桑港間所要時間	平均速度 (km/h)	適正運賃 (万円)	許容ガソリン消費量 (ton)
A	14日	50	10	50
B	1.4日(30時間)	500	20	100
C	3時間(180分)	5000	40	200
D	20分	50000	80	400

Aは船舶、Bは現在の旅客機、C、Dはこれから論ずるロケット旅客機で、問題はC、Dの技術的可能性と、その場合の所要運賃が上表を上廻るか、下廻るかにかかる。

さてC、D、の計算にかかるに先立って、Bの現在の最新式旅客機について検討しよう。米国の代表的旅客機としてスーパーコンステレーションを例にとり、大の値を出すと、次のようになる。

乗客数(座席数)	100名	最高速度	600km/h
全備重量	60ton	巡航速度	500km/h
燃料搭載量	25ton	航続距離	4000km/h
翼面積	150m ²	航続時間	8 hr
		飛行高度	4000m~6000m
発動機馬力	2500HP×4=10,000HP		

これで東京—桑港間はハワイ経由で約30時間かかり、総ガソリン消費量は

$$25\text{ton} \times \frac{30}{8} = 93.75\text{ton}$$

すなわち、東京—桑港間で、旅客一人当りの燃料所要量は1ton、ドラムかんにして約7本ということになる。運賃が主として燃料費できまると仮定すると、上表の最終行に示したように、Aの場合の許容所要燃料はガソリン換算で50ton、Bが100ton、Cが200ton、Dが400tonになり、これ以下ならば、採算がとれるということになる。

3. 超高々度ロケット旅客機の計算

最近の理論及び実験の結果によると、高度と空気密度比(地上の空気密度との比)、及び空気分子の平均自由路程の長さは第2表のようになる。

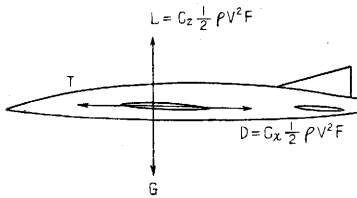
すなわち、高度35kmでは密度が地上の1/100になり、空気抵抗が1/100になると同時に揚力も1/100になるこ

第 2 表

高度 (km)	密度比 (ρ/ρ_0)	分子の平均自由行路(λ)
0	1	10^{-5} cm
10	0.3	2×10^{-5} cm
35	$1/100 = 10^{-2}$	10^{-3} cm
70	$1/10000 = 10^{-4}$	0.1cm
85	$1/100000 = 10^{-5}$	1.0cm
100	$1/1000000 = 10^{-6}$	10cm

とを示す。因みに今日の成層圏飛行機と称せられるものの高度は 10 km 乃至 15 km, エベレスト山の頂上が約 9km である。

まず高度 35km(35,000m) を飛ぶロケット旅客機を考えよう。重量と揚力が釣り合い、抵抗とロケット推力が釣り合うためには、



第 1 図 ロケット機の平衡式

$$C_z \frac{1}{2} \rho V^2 F = G \quad (1)$$

$$C_x \frac{1}{2} \rho V^2 F = T \quad (2)$$

但し C_z, C_x = 揚力, 抵抗係数 F = 翼面積 m^2

ρ = 空気密度 G = 全備重量 kg

V = 速度 m/sec T = 推力 kg

前掲スーパーコンステレーションについて、所要推力を求めてみると、プロペラ効率を 85% として、

$$T = C_x \frac{1}{2} \rho V^2 F = \frac{75 \eta HP}{V}$$

$$= \frac{75 \times 0.85 \times 1000}{140} = 4600 kg \quad (3)$$

となる。

今、仮りにスーパーコンステレーションの機体をそのまま用いて、エンジンだけをロケットエンジンに取り換え、高度 35km で飛ぶとすると、(3) 式から、飛行速度 V が、

$$V = 500 km/h \times \sqrt{100} = 5000 km/h$$

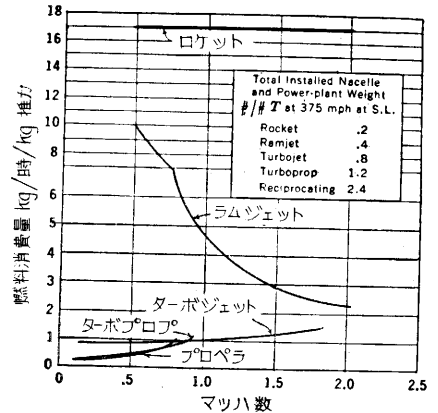
でなければならぬことになる。すなわち、 $z=35km$ では、スーパーコンステレーションと同じ空気力学係数をもつ 100 人乗りロケット旅客機は、5000km/h の速度で飛べば、(1), (2) の平衡式が成立する。このロケットエンジンの燃料消費量として、

$$1 \text{ 時間, 推力 } 1kg \text{ 当り } 17kg = b \quad (4)$$

とおくと。(3) 式より、4,600kg の推力に対しては、

$$\text{所要燃料/時間当り} = 17kg/hr \times 4600kg = 78ton/hr$$

すなわち、プロペラント (燃料) と酸化剤を併せたもの一時間当り 78ton を要する。



第 2 図 燃料消費量比較図 (地上より 12,000m 迄)

さて、5000km/h の速度では前表により、飛行時間は 3 時間でよいことになるが、ロケット旅客機の特徴としてこの中の半分だけ動力飛行をやれば、あとの半分は動力なしの滑空飛行でとべる。実際には動力飛行は半分以下で、或る計算では 35% 位でよいことになるが、ここでは安全側に考えて 50% を動力飛行、あとの 50% を滑空としよう。

そうすると、3 時間の中、動力飛行は、1.5 時間となり所要燃料の総量は、

$$W = 78ton \times 1.5hr = 117ton$$

すなわち、第 2 表の許容量の $117/200 = 58\%$ にすぎない。

但し、上の計算では高度 35km 迄に上昇するに要する燃料が考えに入れていないが、これを考えに入れても許容量 200ton を遙かに下廻り、結局、東京-桑港間を 3 時間で飛ぶ 100 人乗りロケット旅客機は、空気力学的にはスーパーコンステレーション程度の係数でよく、またその運賃は適正值より遙かに安く、採算が完全にとれることになる。

なお、上記の旅客機の数と音速の比 (マッハ数) を計算してみると、音速 (a) と温度 T の間の関係式

$$T = 2.5 \times 10^{-3} a^2 \quad (5)$$

を用いて、高度 35km での温度 $T = 250^\circ K$ を用いると、

$$a = \sqrt{\frac{250}{2.5} \times 10^3} = 314 m/sec$$

$$M = \frac{V}{a} = \frac{1400 m/s}{314 m/s} = 4.5$$

マッハ数 5 以上を hyper-sonic と定義すると、このロケット旅客機は super-sonic と hyper-sonic との間位となり、空気力学係数として、コンステレーションの sub-sonic での値を保つことは可能である。また(4)式の消費量の仮定から specific impulse (推力を燃料消費量で割つたもので、時間の次元をもつ) を計算すると、

$$\text{specific impulse } I = \frac{3600}{b} = \frac{3600}{17} = 210 \text{ 秒}$$

となり、現存しているロケットエンジンの標準値に近

る。この値は遠からず300秒位迄高められるであろうから、上記の計算はかなり控え目な計算であることになる。

商業航空として極めて有利に思えるこのロケット旅客機は、1965年には実現するであろう。

4. 空間ロケット旅客機とその採算性

さて高度35kmを100人の乗客をのせ、適正運賃の半分位の低廉な運賃で、東京—桑港間を3時間で飛ぶ計画に味をしめて、更に高度を上げてみよう。

高度70kmでは空気密度は地上の値の1/10000になり、高度100kmでは百万分の一になる。このときの空気分子のmean free path (平均自由行路)は10cmとなる。すなわち空気は10cmおきに分子が一個並んでいる程稀薄になる。もはや空気は連続流体でなく、不連続な粒子の散在体となる。この範囲の空気力学をSuper-aerodynamicsと定義する。

高度70kmでは、空気力(揚力、及び抵抗)をスーパーコンステレーションと同一に保つためには、100倍の速度が必要である。すなわち速度は50000km/hとなり、東京—桑港間の所要時間は更に10分の1になって約20分となる。

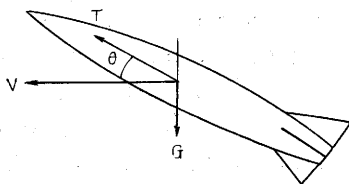
しかしこれには多くの問題がある。マッハ数は約50となりhyper-sonic aerodynamicsの領域になる。摩擦熱は予測を許さないし、多くの予測され、またはされぬ困難が伴うであろう。

そこで、更に高度をあげて、ほとんど真空の中を飛ぶことを考えよう。すなわち、機体の重量を支えるために、空気力としての揚力を用いることを断念して、ロケットの推力自体によって重量を支えることを考えてみよう。元来、ロケットエンジンは、それ自体空気を必要としない。いわゆる「呼吸式エンジン」と異って、酸素はそれ自身が酸化剤をもっているのである。従って空気層を飛ぶという必要は単に揚力を空気力に頼るだけにあるのであって、設計としては中途半端といえる。

揚力をもまたロケット推力を用いた場合が、最も本格的なロケット機となり得、この分野、つまり空気のなくなった空間での旅行は、空気を必要とするジェットエンジンやラムジェットの絶対になし能わざる独壇場なのである。

第3図で、鉛直方向の平衡は、

$$T \sin \theta = G \quad (6)$$



第 3 図

水平方向の速度を V とすれば、

$$\frac{G}{g} \frac{dV}{dt} = T \cos \theta \quad (6)$$

空気抵抗はなく、また揚力もない。(7)式に(6)式を用いると、

$$\frac{dV}{dt} = g \cot \theta \quad (8)$$

これを積分して、水平距離 R は、

$$R = V_0 t + \frac{1}{2} g \cot \theta \cdot t^2 \quad (9)$$

$\theta = \pi/4$, $V_0 = 3000$ m/sec (≈ 10 M) と仮りにおくと(9)式の解は、

$$t = 720 \text{ 秒} = 12 \text{ 分}$$

$$R = 50,000 \text{ km}$$

となる。さてロケット機の特徴である半分動力、半分滑空の原則はここでも成立つ。但しこの場合は滑空でなく、惰性飛行となる。同距離を惰性で飛ぶとすると、航続距離は

$$R = 50,000 \text{ km} \times 2 = 100,000 \text{ km}$$

となる。

この飛行に許される経済的燃料重量は第1表から400tonである。この400tonを12分で燃焼さすロケットエンジンの1時間当り消費量は従って、

$$400 \text{ ton} \times \frac{60}{12} = 2,000 \text{ ton}$$

となり、これから推力は、

$$T = \frac{\text{時間当り消費量}}{17} = \frac{2,000 \text{ ton}}{17} = 117 \text{ ton}$$

となる。 $\theta = \pi/4$ のとき、この推力で支えられる重量は

$$G = T \sin \theta = 84 \text{ ton}$$

これはスーパーコンステレーションの重量の約2倍に相当する。すなわち構造重量としてコンステレーションの2倍以下に設計をおさめることができればこのロケット旅客機—空間ロケット旅客機は技術的に可能で、また運賃採算がとれる。

さて、以上の二例の計算は、もちろんごく大まかな見当をつけるためのものにすぎない。更に詳細な計算は別の機会に譲るとして、なお多くの解決すべき問題があるのはいう迄もない。離陸と着陸をどうするか。このような高空では視力による航法は不可能であるから、すべて電子工学的航法が必要になる。摩擦によってどれ位表面の温度が上がるか。またこれはどうすれば解決できるか。安定性は、操縦性は、操舵は、ロケットエンジンの制御は、等々。

これ等は一つ一つ解決されなければならない。しかしながら注目すべき事からは、従来ロケットは比較的短距離かつ短時間に大馬力を出し、その燃料消費量は非常に大きく、長距離の航空には不向きであると頭からきめられていたのが、実はそうでなく、むしろ長距離飛行に強味があり、特に高々度飛行には、ほとんど唯一つの推進

機関であることが明らかになったことである。

6. 高空研究用ロケット

現在迄のところ、世界の主要な航空機会社は定期旅客機については、ジェット化することに忙しく、これをロケット化する計画を立てているところはない。しかしながら、100km以上の超高空についての基礎研究は漸次活発になりつつある。米国では少くとも二つの大学、すなわち西海岸の California Institute of Technology と東海岸の Johns Hopkins 大学が、それぞれ高空研究用ロケットを設計試作し、これによって系統的な実験を行いつつある。

Johns Hopkins 大学の Applied Physics Laboratory で設計したロケットは Aerobee とよばれ、1947 年 11 月に最初の発射試験を行って以来 1952 年 11 月迄 5 年間に総計 88 機が発射されている。その主要な観測目標は

- (1) 高空の空気の組成
- (2) 圧力及び温度
- (3) 宇宙線
- (4) 太陽輻射
- (5) 電離層
- (6) 空の明るさ
- (7) 生体现象(生理及び医学)

であって、Aerobee 自体の性能、要目は下のようなものである。なお、深海を測深する技術にならって、これ等の高空探険用ロケットは、Sounding rocket とよばれている。

Aerobee 高空研究用ロケット要目

- 諸元
 - 全長=242 吋
 - 離陸補助ロケット(ブースター)全長=75吋
 - 直径=15吋
 - 尾翼翼幅=62吋
- 重量
 - 機体重量=295 lbs
 - 燃料=623 lbs
 - 搭載物重量=150 lbs (テレメーター用セット)
 - 全備重量=1,068 lbs
- 材料 0.04吋 厚さ アルミニウム
- アンテナ
 - 三枚の尾翼内にノッチアンテナ
 - 胴体にスロット
 - 三枚尾翼と胴体間にアンテナ線
 - 先端にプローブとダイポール
 - 先端にスロット
- 性能
 - 最高高度=100km
 - 飛行時間=350秒
 - 加速度=離陸瞬時 14g, 飛行中 2~5.8g
 - 速度=1,380m/sec

Johns Hopkins 大学の A. P. L. (Applied Physics Laboratory) はこの Aerobee の測定用に、いわゆる A. P. L. Telemetry System を研究完成している。これは F. M. 方式で、219Mc の搬送波を用い、sub-carrier frequency で 6 チャンネルに分けられ、前記の諸量の測定に用いられ、なお Bendix Aviation Co. で工業化し、製品化された。

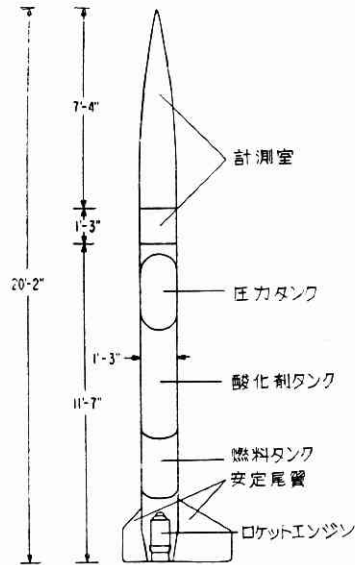
米国はこの外に、前記 California 大学 J. P. L. (Jet Propulsion Laboratory) の WAC-Corporal (第 5 図参照) と、ドイツから終戦時もってきた V-2 約 100 個、及び Martin 会社製の Viking 約 10 個を 1952 年迄にいずれも高空観測用として打上げている。高度の世界記録は WAC

-Corporal と V-2 号の組合せ二段ロケットでつくられ、389km である。

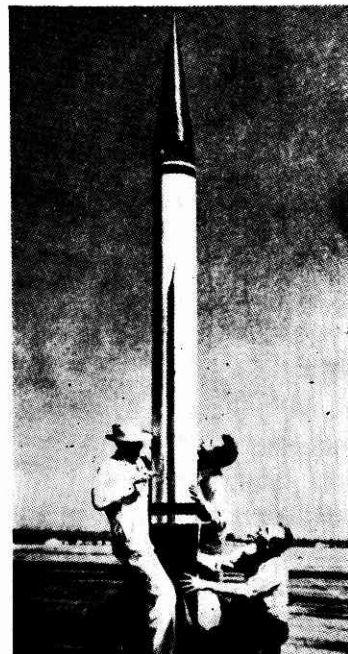
これ等の研究は米国政府によっていわゆる防衛科学の一部に含まれてはいるが、本稿で述べたように将来の超高度航空路の開拓に欠くことのできない基礎となる重要な新しい科学の分野である。

5. 結 び

ロケット飛行は最初、宇宙旅行への夢を実現する手段として科学がとり上げたが、その最初の応用が、ドイツの V-2 号という兵器であったために、それ以来、兵器という破壊的な方向か、あるいはわれわれの生きている間には実現しそうもない宇宙旅行用と結びつけてのみ考えられているのは、甚だ誤りであって、ロケット本来の使命は、超航空路の開拓という新しい輸送機として最も意味があることを主張するのが本稿を草した趣旨である。また、10年間の空白を最も有効に生かすことのできる、日本の航空工業界にとって最も有望な分野であることに注意を喚起したい。原子力の最初の応用は不幸にも原子爆弾であったけれども、その本来の応用がエネルギー源としての工業力であるべきであり、このための努力が世界で行われていると同じに、V-2 号によって人類の前に登場した高空ロケット飛行という科学もまた人類生活の建設者としての将来をもたせたい。そして願くは、この新しい分野をこそ、新人日本航空工業界の手によって開拓したいものである。(1954. 6. 30)



第 4 図 Johns Hopkins 大学の高空研究ロケット "Aerobee"



第 5 図 California 大学の高空研究ロケット "WAC-Corporal"