

ジェット機の気象と

ジェットストリーム飛行

橋 本 梅 治

1 まえがき

立川等五大飛行場の拡張問題は政治・国際・思想問題と関連して、長い間報導陣に騒がれている。基地を拡張しなければならないわけは、既設の飛行場がジェット機の離着陸には狭小であるということである。第二次大戦後、朝鮮戦乱の経験を経て、空軍の新鋭機はジェット機に置き換えられている。戦闘機、爆撃機はもちろん、輸送機が採用されている。英国のデハビランドコメットは2・3年以内に再び就航するものと考えられる。ダグラスDC-8ターボジェットのテストフライトは、1957年12月の予定である。パンアメリカの航空会社は、1958年からジェット機を使用し、ジェットストリームに乗って8時間で太平洋を無着陸横断するということである。東京国際空港に飛来する国際線の新鋭機がターボプロップからジェットに代る日はもうそれ程遠い将来ではない。ジェット機が今迄のピストンエンジン機と異っている重要な点は、

- (1) 巡航速度が450ノット以上になること。
- (2) 最適巡航高度は、30,000フィート以上であること
- (3) 燃料消費の大きいこと、そして最適巡航高度以下では燃料消費が特に大きいこと。
- (4) エンジンの性能が気温と空気の密度について特に鋭敏であること。

等の四項目である。

運航上の難点は、離陸に必要な推力をうために長い地上滑走が必要であり、着陸時の対地速度をしぼることが困難なことである。ジェット機の離着陸には9,000~10,000フィートの滑走路が必要である。

羽田空港のA滑走路は8,400フィートの長さである。国際A級C空港として一応近代的規模の空港にはなっているが、ジェット機の離着陸にはなお窮屈である。ジェット機が、燃料と貨客搭載量をできるだけ多くして離陸するということになれば、基地の気象は非常に重大な要素となってくる。

2 離着陸と気象

プロペラ式飛行機のために設計された従来の飛行場はジェット機の離着陸には、狭小である。しかし多くの飛行場をジェット機の離着陸に充分な大きさに拡張することは、困難である。臨界条件のもとに離陸するものとす

れば、滑走路の気圧、気温、風の状態が重大な影響をあたえる。計器飛行条件でのシーリングと視界についてはプロペラ機の場合より一層許容範囲が狭くなり、離着陸の困難性を増大している。

気圧、気温、密度

エンジンの空気取入口の高さの気圧と気温、それから翼面高度の空気の密度は、ジェットエンジン機の飛行性能、つまり推力、浮揚力を決定するために重大な要素である。これらの気象要素の値を滑走路の風の値から最大有償荷重とそれに必要な滑走路の長さが決定される。

離陸するための臨界条件では、滑走路の短いこと、滑走路気温の高いこと、空気密度の小さいこと、不適当な地上風の状態等が影響する。

ターボジェットエンジンの推力はエンジンを通る空気の流量の函数であるから推力は空気の密度が減少する。同じ気圧高度であれば、気温が増すと減少する。滑走路の長さが制限されておれば、有償荷重を少なくする必要が起ってくる。

デハビランド・コメット1型の場合には、仮にある制限された運航条件のもとに離陸するものとすれば、5°Cの気温変化によって、最大離陸荷重を2,000ポンド(約930kg)、滑走路距離にして400フィート(約130m)増減することができる。運航計画を立てるためには、滑走路上で、気温の測定をしているが、内陸の飛行場では、時に5°~8°Cくらい百葉箱の気温より高いことがある。東京国際空港は海の中の島であるが、高温の日には時に数度くらいの温度差の起ることがある。滑走路観測は、ターボジェット、ターボプロップ等のために今では夏季半年のルーチン観測となっている。運航計画を作るためには、滑走路気温の予報が必要である。

滑走路観測の通報は、離陸する1,2時間前と、離陸する直前になされなければならない。滑走路気温の予報は離陸予定時刻の12時間前に必要であるが、予報の精度は、±5°Cの誤差は許容される。

風

滑走路に翼面高度の風は、ジェット機が安全に離陸するために必要な、

離陸可能最大重量、

滑走路の長さ、

等を決定するために必要である。シノブチェック観測には

風力塔は高い程好都合であるが、ジェット機のためには滑走路上面高度の風でよい。離陸条件についての風の影響は、ピストンエンジン機に比べて、許容される限界が遥かに狭い。

気温の処で述べたように、ある臨界条件のもとに安全に離陸するためには、向い風の分力の大きさが重要な役割をする。ターボジェットエンジンは、ピストンエンジンの2倍から3倍半の燃料消費が必要であるから、離陸時の燃料総積載量は、全重量の半分くらいになる。今仮に滑走路上の向い風分力を10ノットまで正確に予報できるものとすれば、有償荷重を数トン増加させることもできる。地上風の観測と予報は、重要な問題であるが、ジェット機のためには、

何分間平均の風を測定するか。

風の息をどのように表わすか。

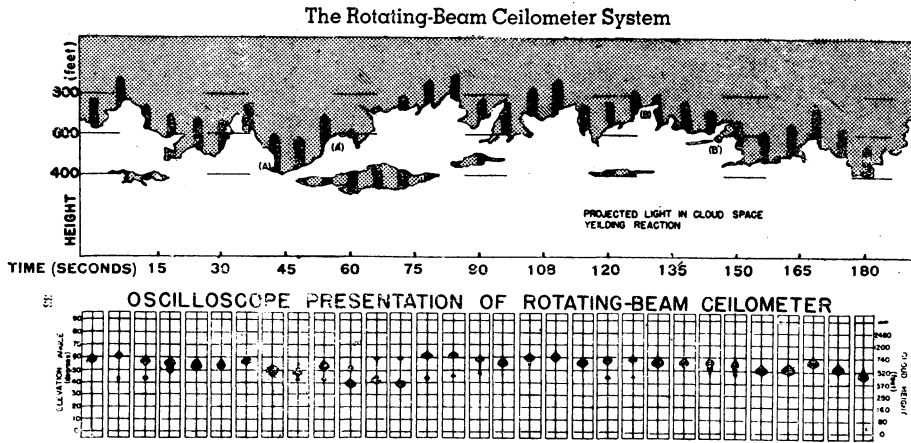
擾乱 (turbulence) をどのように測定するか。

等が問題である。ジェット機は、翼の高さが低いので、ちょっとしたつまずきにも事故を起しやすい。擾乱の取り方としては、風速の記録紙から五分間の最大を拾ったものが役に立つものと考えられている。ある限界値に達した乱流 (turbulence) の観測予報は、離着陸の12時間前と1時間前と、その直前等に、なされることが必要である。

シーリングと視界

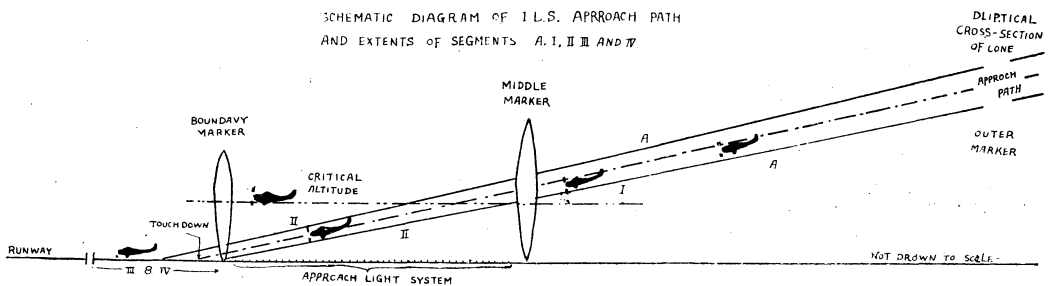
計器飛行状態で着陸する総べての飛行機にとって、シーリングと視界は、一番重要な項目である。GCA, ILS等の精密レーダー誘導装置によって、着陸進入路上空まで誘導された飛行機は、雲の下に出て視認飛行状態に移る。

第1図は、詳細なシーリングの一例を示したものである。この図は6秒間に一ずつ測定値のえられる廻転式ビームシーロメーターのデーターを参考にした。雲底の形



3

第1図 シーリングの精密観測



第2図 ILS 着陸と臨界高度

は、大体実際のもをを表わすように作図されている。図の縦軸のスケールは大体同じになるように取ってある。図の右端から左端まで飛行するに要する時間は、ピストン機であれば、40~50秒、ジェット機であれば、20~30秒ぐらいのものである。

着陸する飛行機の通路は、第2図に示してある。しかしその着陸を安全にするためには、最後は肉眼で滑走路を見て正確に降着しなければならない。もし、機の姿勢

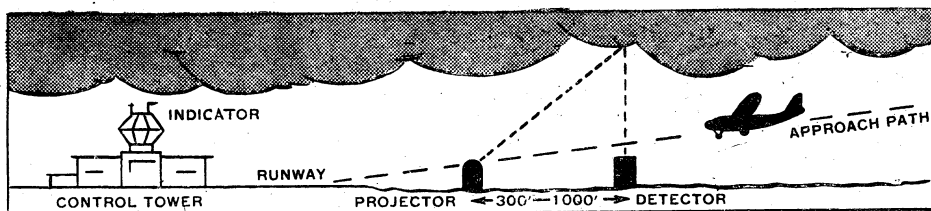
や進行位置等が適当でなければ、着陸を取り止めてもう一回やり直しということになる。この着陸やり直しのできる最低の高度は、“臨界高度”(Critical altitude)と呼ばれ、飛行機の型、操縦士の技倆、空港保安施設の状態等によって異っている。臨界高度以上で進入路誘導燈や、滑走路標識を視認するためには、その場所のシーリングと視界の値がそれを許すものでなければならない。このようなシーリングと視界の値を法律の施行細則によ

って規程したものがウェザーミニмум (Weather Minimum) である。

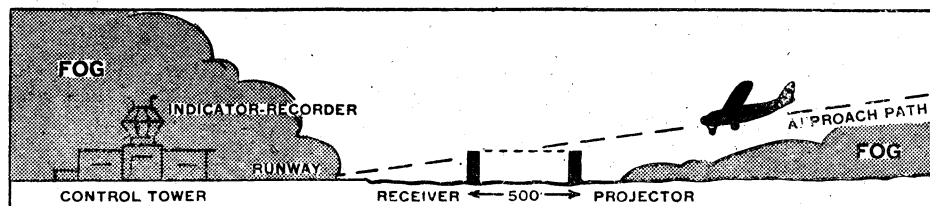
シーリングを形成する雲の底の形は不規則になることが多く、平になることは非常に少ない。ある場合には垂れ下った部分があり、又ある場合には穴のあいた部分も見られる。着陸降下雲の底の低く垂れ下った部分に遭遇すれば、なかなか地面が見えないし、垂直ビーム式シーロメーターの光がこの穴の中に抜けておれば、必要な雲底高度の観測がえられないことがある。

着陸のため、滑走路に向かって進入している間の視程

(Approach Visibility) は、滑走路の端末までは斜方向の視程、滑走路着陸後は水平視程に若干の加減をしたものである。これらの地域は通常観測所から遠く離れており、視程の悪い時に操縦室で見えるであろう処の視程を視測するのは非常に困難である。着陸のさい、操縦室から滑走路がどこまで見えるかということは、その操縦士の視力の状態はもちろん、滑走路の明るさ、標示燈の明るさ、風防窓ガラスに吹きつける雨、雪、雲滴の状態から、空気の混濁度にも関係するので簡単ではない。又それらのものは絶えず変化し、移動もする。



第3図 空港外進入路に設備されたシーロメーター



第4図 空港外進入路に設備された視程計

観測と予報については、通報回数を多くするだけでは解決されない。観測範囲はその空港の周辺を含む若干の地域に拡大されなければならない。長い滑走路の端末附近には、第3図第4図のような視程とシーリングの器械観測施設が必要であり、それらの値は同時に空港の中央観測所に確保され、予報と最新の観測を組み合わせたものが、いつでも無線で操縦士に通信されるようにしなければならない。

3 航行中の気象

ジェット機の巡航高度は対流圏の上層から成層圏の下層あたりである。中緯度地方では、この高さはジェットストリームの心核の存在する高さである。ジェットストリームは風速 100ノット以上に達する強風帯であるから運航上からはこの風速が問題である。上空の気温はそれ程重大ではない。しかし、最適巡航条件と最適マッハ数は、上空の気温から求められるので、巡航高度の気温は 1°C 以内の単位で測定しなければならない。これらの気温は、定圧面天気図に記入して風向風速の解析に利用することもできる。

着氷と擾乱は機速に比例して増大するから、ジェット機にとっては重大である。160mpmで飛ぶC-47について弱程度に観測される擾乱は、500mph飛ぶジェット

機にとっては強程度の擾乱になる。飛行中発生する着氷もその機速に比例して増大する。しかし、 -2°C 以下の上空では着氷の発生する危険は少ない。

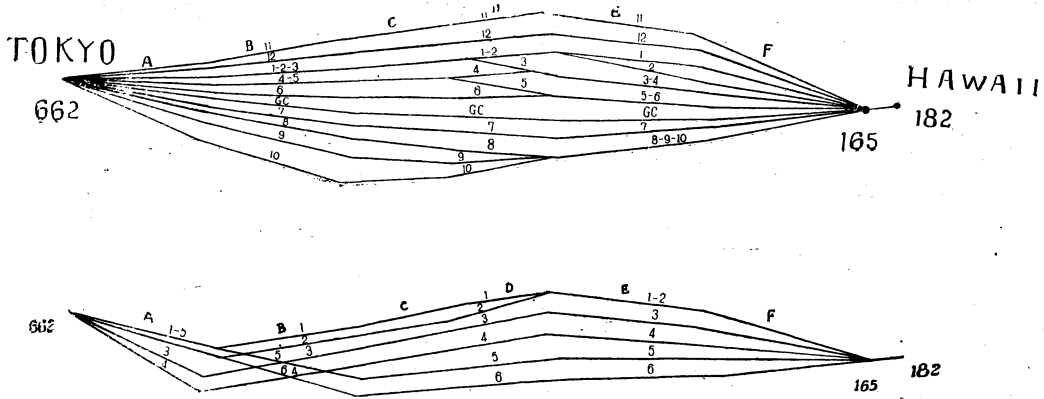
雲の被害も機速に比例して増大する。

Clear air turbulence はトロポポーズやジェットストリームの風速傾度の大きい処で発生する。積雲や積乱雲の擾乱は機上からレーダーで測定することもできるが、Clear air turbulence については、量的予報の方法が確立されていない。

地上から巡航高度への上昇、または巡航高度から地上への下降の区間については、その平均気温と平均風が必要である。これらの値の決定のために、等圧面解析はあまり有効ではないが、要求されている予報の精度はそれ程嚴重なものではない。

4 ジェットストリーム飛行

ジェットストリームに乗って飛行するためには、まず机上作業の方法でジェット流の大体の位置を決定する。天気図としては 500mb, 400mb, 300mb, 200mb, トロポポーズ解析が使われる。しかし高層観測所の数は充分ないので、航空機の報ずる気象報を活用しなければならない。洋上の分については、その主要部分は航空機の気象報である。



第5図 東京～ハワイ間気圧配置飛行コース

断面図はジェットストリームの詳細な構造を知るために役立つ。解析の方法としては等風速線解析が便利である。ジェット機の運航高度は時間とともに変る、この断面図の活用が一番有効である。

ジェットストリームは又目で見ることもできる。ジェットは強い風の束心であるから、雲があれば、その雲の速い運動からそれを観察することができる。ジェットの中心軸の下の方では、高度 1,500フィートから 1,000フィート上る毎に風速は13ノットくらい強くなっている。

500mb のジェット中心軸の下で飛行機の機首を風向に合せ、その飛行機の最適巡航高度に上昇して飛ばせば一番経済的である。航空路からジェットストリームに沿っているような場合には、200～300マイルもの追い風に遭遇することがある。時速 300マイル内外の今のジェット輸送機にとってはこれは重大な問題である。

5 気圧配置飛行

太平洋や大西洋のような広い空域を、航空交通管制の制限なしに飛ぶ場合には、気圧配置飛行が一番有利である。気圧配置飛行は飛行高度の予想し層天気図を使用し一番有利なコースを選定して飛ぶ方法である。パンアメリカン航空会社が、ストラトクルーザーを使って、ハワイまで飛ぶコースは第5図の通りである。このコースで冬半年は、東京～ハワイ間を平均10時間の飛行で無着陸横断することができる。このコースは20,000～25,000フィートぐらいのジェットストリームに乗るために使われ

ている。これはジェットストリームのよく現われる位置や地上保安施設の状態を考えて作られた、気象学上のコースである。このコースは使用する天気図のスケールに合せて、プラスチックの板に目盛っておく。コースを選定する場合には、このプラスチックの板を予想天気図の上に重ね、どのコースが最短時間飛行コースであるかを目の子で算定する。その原理は、飛行時間を T 、飛行距離を L 、対地速度を S とすれば、超距離と速さと時間の関係は次のように表わされた。

$$T = \frac{L}{S}$$

対地速度 S は真対気速度に追い風分力を加えたものであるから、飛行時間 T を少くするためには強い追い風に乗って飛ぶことである。地上最大の追い風は、日本列島附近を流れており、時に時速 400マイルにも達するジェットストリームの中心に飛行機を乗り入れて飛ばせば、太平洋無着陸横断として、8時間でアメリカ大陸に到着できるわけである。 (羽田航空地方気象台)

参考文献

MACA : Meteorological problems associated with commercial turbojet aircraft operation. (1955)
 U.S. Weather Bureau, Air Navigation Development Board project : Final Approach Visibility Studies, Part I, II, III, IV (1952, 53, 55)
 橋本梅治, 鈴木義男 : 新しい航空気象 (1954)

- I Statistical Inference Applied to Classifactory Problems.
- II The Concept of Distance and the Problem of Group Constellation. Extracted from "Advanced Statistical Method in Biometric Research". By C. R. Rao. (1952)

上記論文のリプリントを御希望の方は下記へ申し込み下さい。A 5版 105頁 200円位の予定です。
 内容は「いろいろな特性をつかって、天気型や、生物

種の分類を行ったり、又ある個体が、すでに分類されたどの型に属するかを知りたいことがよくあります。この問題に答えるのが判別函数による統計的方法です。本書はその数理的基礎をていねいに説明し、豊富な実例によってその応用を解いています。なお代金は決定次第お知らせしますから、その時御申込み下さい。

東京都杉並区馬橋4の499 気象研究所内
 気象統計懇話会