

大気下層の乱気流調査*

柴 田 宣**

1. まえがき

テレタイプ回線と航空交通管制官を経てパイロットから入手する航空機気象観測報告のうち、激しい乱気流 (Severe turbulence) に階級づけられるものは一年間に約250通余にも達し、大多数は20,000フィート以下の下層のものである。それ以上の高々度でおこる乱気流についてはこの調査から除外した。

乱気流の成因は主として力学的、熱的および風のシアーによるものとされており、下層大気中では一般に複合的におこる場合が多いであろう。だから詳細な解析をしてもなお原因を一つのものとして断定することはむづかしい。例えば大気成層のウインドプロファイルからみても低気圧発達機構の中に含まれるもの、又季節風時の下層から高層までの強い風速場に含まれるものや、局地的な垂直流の中にあるものなど、種々である。

第2節から第4節では1965年の1年間の激しい乱気流の報告から低気圧にともなう発生分布や高層風プロファイルの特徴、および気圧配置別による発生を概観した。季節的には12～3月の冬期に集中しており、全年の約50%で、冬型気圧配置時が多い。

1962年3月17日の航空自衛隊機および1966年3月5日のBOAC機の富士山付近での航空機事故は、いずれも典型的な冬型気圧配置時のもので激しい乱気流はおこり得るとしても機体を一瞬にして破壊するにいたるようなものの存在は予測不可能が現状である。この航空機事故によつて、「富士山付近の乱気流」が気象研究所の緊急研究課題となり、地方共同研究費の若干から航空機気象観測報告の収集をおこなつた。第5節では、これら収集資料によつて冬期季節風時における本州上空での乱気流を遭遇率でもとめた。富士山周辺30km以内の乱気流分布については詳細な航空機報告の不備と資料数の不足で解明できなかつたが更に資料の収集を続けたい。低気圧

が日本海や本州中部にある場合も多数機が遭遇するのでこれについても資料収集をおこないたい。

2. 低気圧にともなう発生分布

低気圧が発生し又は発達しながら本邦を通る場合、その中心位置に対応して激しい乱気流のあつた場所は第1図に示される。

激しい乱気流の報告のあつた時間に近い地上天気図から更に1008mb以下のまとまった低気圧の場合を抜き出してブロック毎に位置と場所をプロットしたものである。又低気圧の中心に対する方向と距離による分布は、第2図に示される。低気圧の示度は1005mb以下のものとし円形に近い型を理想として距離と方向でプロットした。中心から100マイル以内と400～600マイル内のものは、夫々低気圧中心のじょう乱域と強風による地形じょう乱又は前線などの影響であろう。発生する高度には無関係で各層とも一様に分布した。(1965年1年間の15,000フィート以下の激しい乱気流)

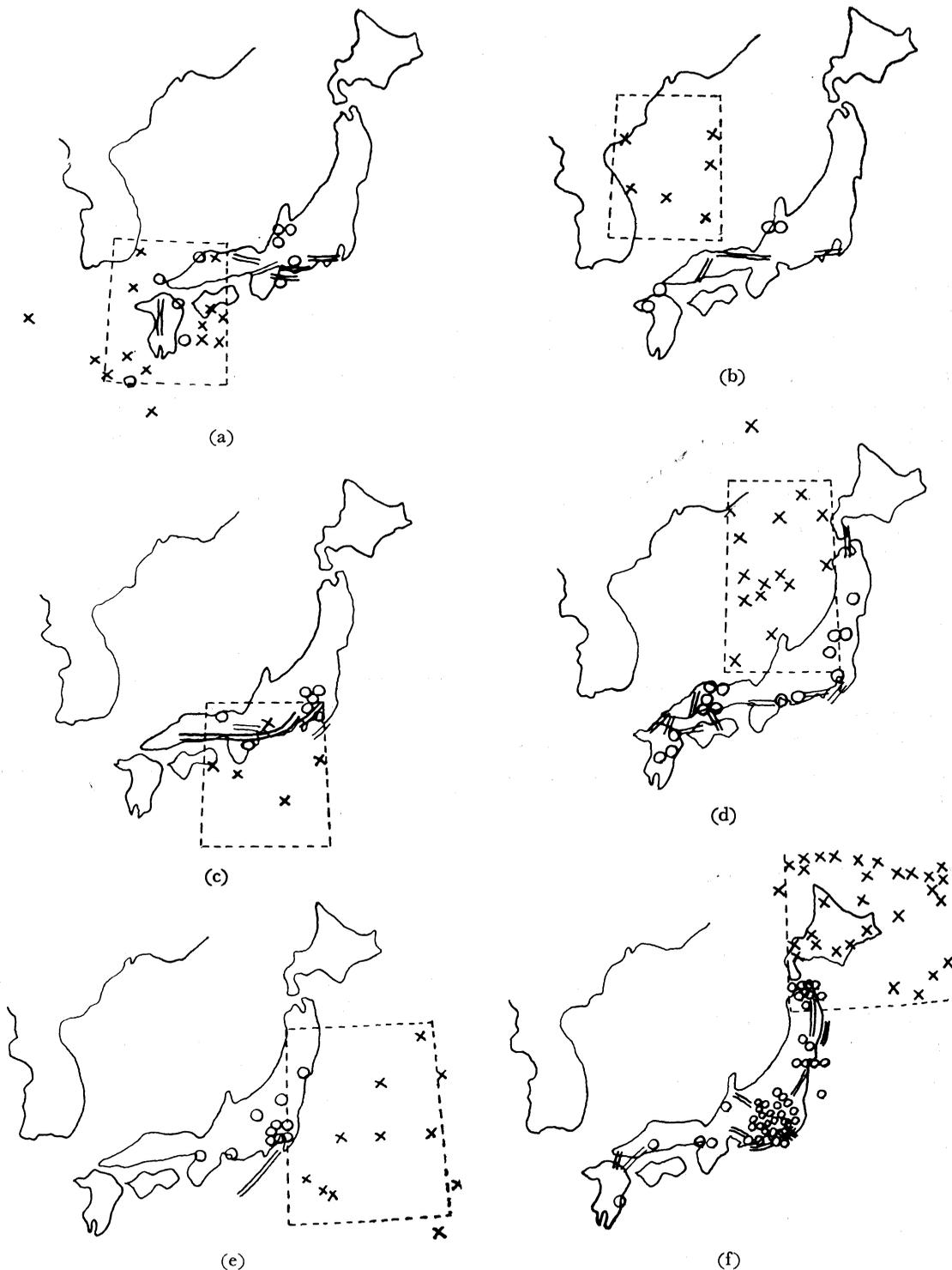
3. 高層風プロファイルの特徴

激しい乱気流が発生した時のその付近の一番近い時間の高層観測所のウインドプロファイルに発生高度を黒丸印でプロットして重ねたのが第3図である。一日4回の高層風観測資料によつた。第3—(b)では下層から約15,000フィートまでは風向の変化はあつても風速は一樣に弱く、地上天気図型は94%は弱い低圧部か小低気圧発生又は前線がある場合である。第3—(b)図で7,000フィートに極大を示す下層ジェットが見分けられるが、これは、T-33型機が5,000～12,000フィートを横切って浜松上空で激しい乱気流を受けた1965年6月3日0700GMTから4時間後の浜松における1200GMTの高層風観測図である。第3—(a)では下層から約15,000フィートまでは風速は一樣に強く第3—(b)図と対照的である。地上天気図型は、60%は西高東低の季節風型で、28%は発達した低気圧型、残りは下層の強風その他である。

強い季節風時や発達した低気圧の場合は、じょう乱による乱気流の有無は容易に予想されるが、一見平凡な地上天気図から激しい乱気流の報告がある時がある。下層

* Turbulence in The Lower Layer

** Nobu Shibata 東京航空地方気象台
1967年9月16日受理



第 1 図 低気圧の中心位置と激しい乱気流のあった場所 ×印：低気圧中心位置 ○、=印：激しい乱気流

第1表 激しい乱気流観測

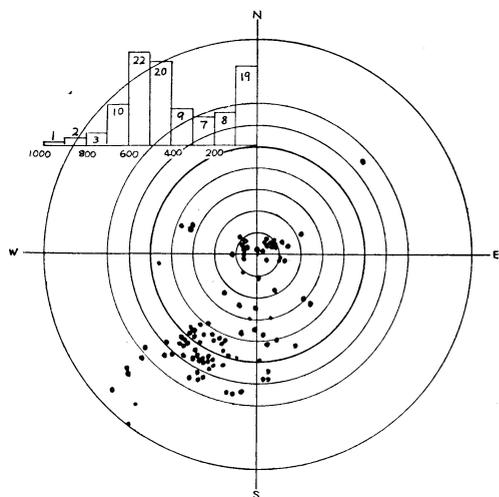
(3 May 1965)

時間	遭遇場所	高度 ft	機種	経路
0210z	信太の東	7,000	DC-7	
0414	伊丹	1,000~3,000	日航便	福岡~伊丹~東京
0430	伊丹の東	12,000	日航便	伊丹~東京
0610	浜松	11,000	日航便	福岡~伊丹~東京
0700	大阪~名古屋	9,000	DC-4	阪付~立川
0958	FAP 立川	BLO 3,000	CL-44	
1024	横田の南20マイル	8,000	DC-4	
1030	館山	不明	日航便	福岡~伊丹~東京

第2表 激しい乱気流遭遇機数と気圧配置

(1965年)

遭遇機数/日	起日	気配置
15	16 Dec.	大寒波
7	20 Mar.	北海道東方発達低
6	21 May.	日本海北部発達低
	1 Jul.	北海道低
	23 Dec.	本州中部発達低
5	24 Feb.	千島発達低
4	12 Jan.	北海道東方発達低
	1 Apr.	"
	2 Apr.	"
	3 May.	本州中部発達低
	10 Sep.	台風本州上陸, 日本海に出る
	24 Dec.	北海道発達低



第2図 低気圧の中心から方向と距離による激しい乱気流のあつた位置とその度数

風は当然ながら弱く遭遇した高度の上層の風が急激に強まっているのが特徴で、代表例を第4図で示す。遭遇した時に一番近い地上天気図と遭遇域の一番近い場所と時間の高層観測所のウインドプロファイルをホドグラフで示した。図中の1~35の指数は夫々1,000~35,000フィートの高度を表わし風速はベクトル(ノット)で示す。上層の強風と寒気移流や暖気移流も加わって垂直流を助ける機構の中に激しい乱気流として機体が感応を示した結果であろう。8例中1例を除いていずれも強い垂直流を裏付ける Hail, Lightning, MDT Rain, 発達したレーダーエコー等の現象がその付近にもなっている。第5図は典型的な冬型気圧配置の2例で、下層の平均風速

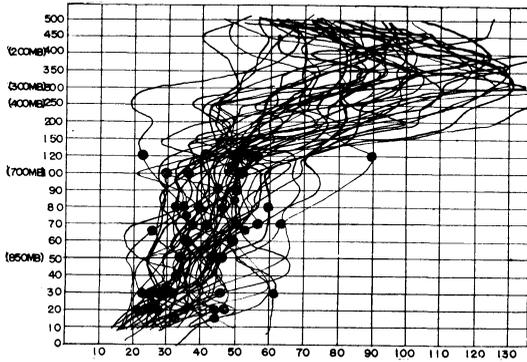
(1,000~15,000フィート層の平均風速)の等値線と激しい乱気流の発生位置である。

第6図は1965年5月3日の深い気圧の谷にもなった発達した低気圧の1例である。低気圧の前面であり又垂直シアの大きいところに集中し、その移動とともに遭遇域も東に移っている。第1表中、板付~立川間を飛行した DC-4 型機によると大阪~名古屋間で激しい乱気流の観測をしているが他の区域は並の乱気流を報じている。

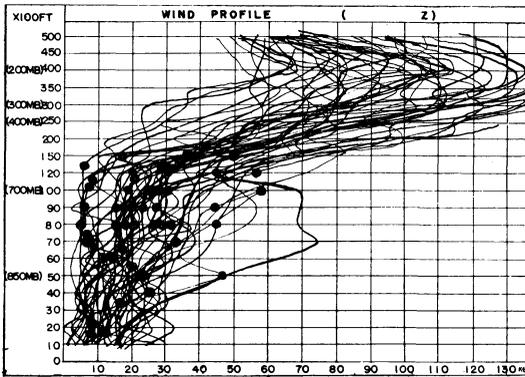
第1表は激しい乱気流の遭遇した報告内訳である。

4. 気圧配置別による発生

乱気流遭遇の報告が頻繁に入電し、激しい乱気流が1



第3—(a)図 激しい乱気流とウインドプロフィール
(西高東低型・発達低気圧)



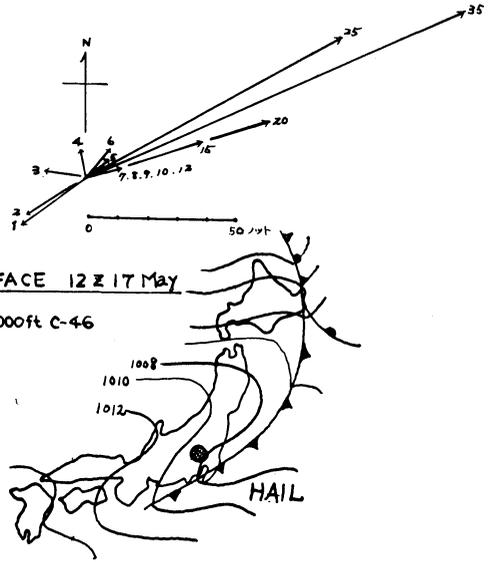
第3—(b)図 激しい乱気流とウインドプロフィール
(弱い低圧部・小低気圧発生・前線)

日で15通にもなる時がある。典型的な冬型気圧配置時であり、天気も良く飛行機数も多いという理由はあるが、遭遇率の一番高い気圧配置と言えよう。発達した低気圧が日本海や本州中部を通過する時がこれに次いで多くなる。1965年1年間を発生回数が多い順にその気圧配置を見たのが第2表である。(3機以下は省略)

5. 冬期季節風時における乱気流

1962年3月17日自衛隊機が、1966年3月5日 BOAC機が富士山付近で墜落した航空機事故は予測不可能な強い破壊力のある乱気流が原因とされており、いずれも冬期季節風の強い気象状況においておこつた。

冬期5ケ年(1961年12月~1966年3月)中、典型的な冬型気圧配置時(86日)に、航空自衛隊基地19地点(千歳、松島、仙台、百里、宇都宮、木更津、入間、静浜、浜松、小牧、岐阜、小松、美保、岩国、防府、小月、芦屋、築城、新田原)を離着陸した(第7図)3千数百機の航空機気象観測報告から本州上空の乱気流分布を遭遇率



第4図 垂直流機構の中に発生すると思われる激しい乱気流(12,000フィートまでは風向は時計回りで風速は弱く15,000フィートで40ノットに強まっている)

で求めた。又一方富士山頂の風が北西~南西で50ノット(25.5 m/s)以上継続し(日数45日)、その時間帯に関東付近を飛行した約8百機からの航空気象観測報告による関東周辺の乱気流分布を見た。乱気流は全て20,000フィート以下の下層のものである。典型的な冬型気圧配置は気象庁印刷天気図から次の規準で抽出した。

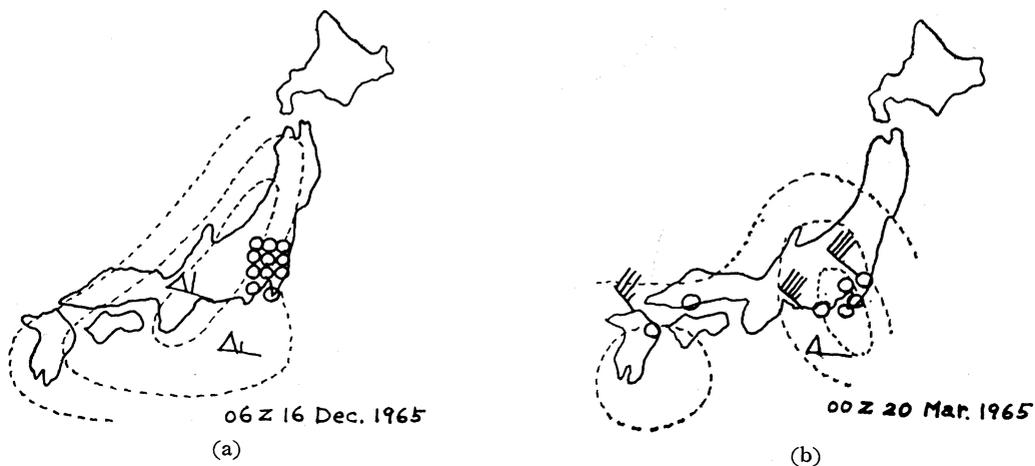
(a) 本邦は西高東低型

(b) 北緯35度を中心に東経120度~東経140度間の気圧傾度は24mb以上

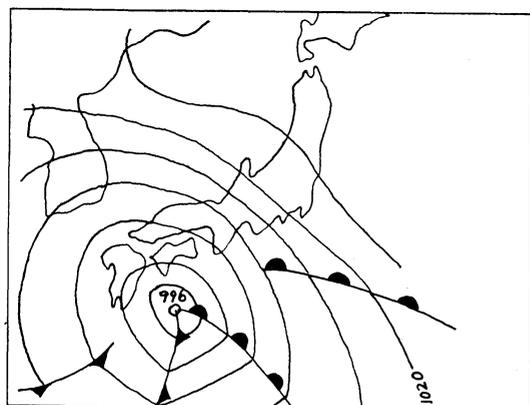
(c) 日本海側ではしゅう雨~しゅう雪、太平洋側ではおおむね晴天であること。

(1) 本州全域の分布

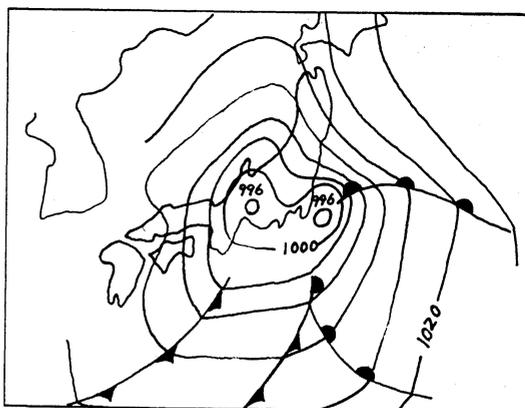
本州付近を緯度と経度の1度間隔に細分し、その区域毎の乱気流遭遇回数をその区域の飛行回数で割って遭遇率とした。高層観測資料(Aerological Data of Japan)から1,000~15,000フィートの平均風速が30ノット以上と更に50ノット以上の空域を飛行した場合に分けた。この場合平均風向が西風の空域を飛行することを条件とした。第8図、第9図は50ノット以上の空域を飛行した遭遇率分布で、弱(Light: \wedge)、並(Moderate: $_ \wedge _$)、強(Severe: \wedge)の全強度を含むものと、並~強の2図である。



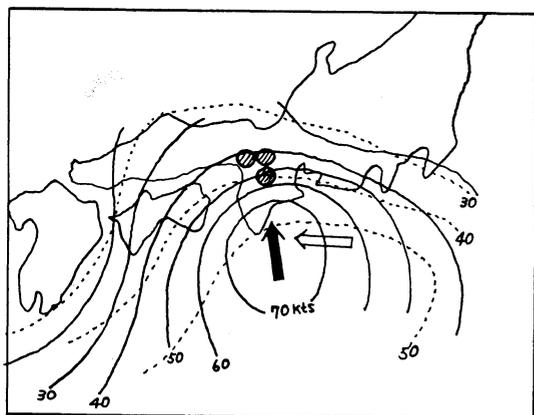
(a) (b)
第5図 典型的な冬型気圧配置時における激しい乱気流と強風域



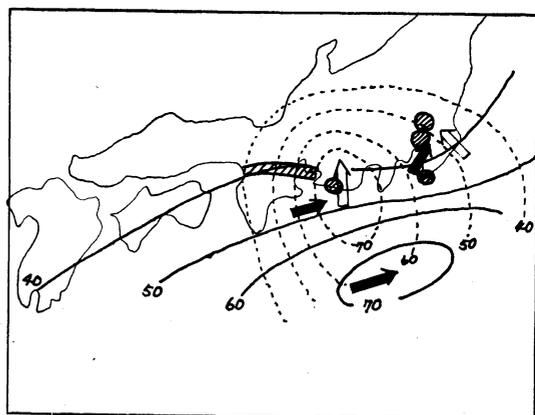
(a) 地上天気図



(b) 地上天気図



(c)



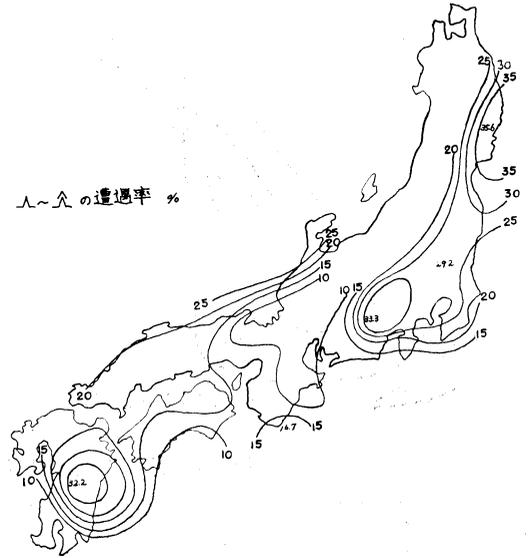
(d)

実線は 700mb 等風速線 (ノット) 点線は 850mb 等風速線 (ノット)
 黒の矢印は 700mb 主風向 斜線域は激しい乱気流のあった場所
 白の矢印は 850mb 主風向

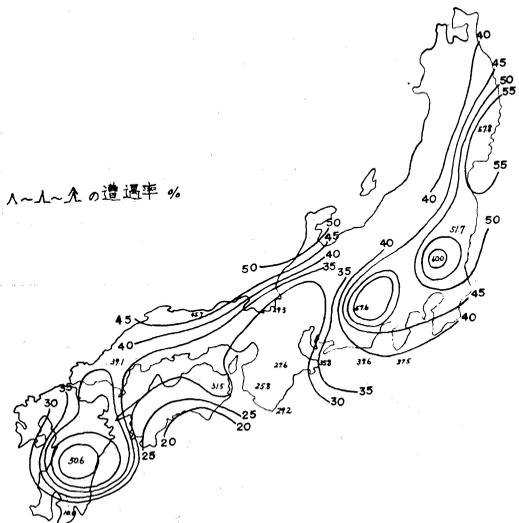
第6図 発達した低気圧にもなった激しい乱気流の例



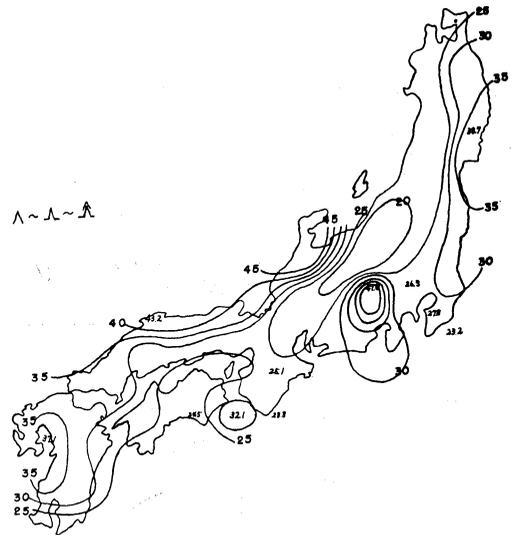
第7図 航空自衛隊基地



第9図 冬期季節風時における下層平均風速 50 kts 以上空域飛行の場合 (階級並以上)



第8図 冬期季節風時における下層平均風速 50 kts 以上空域飛行の場合 (全階級)

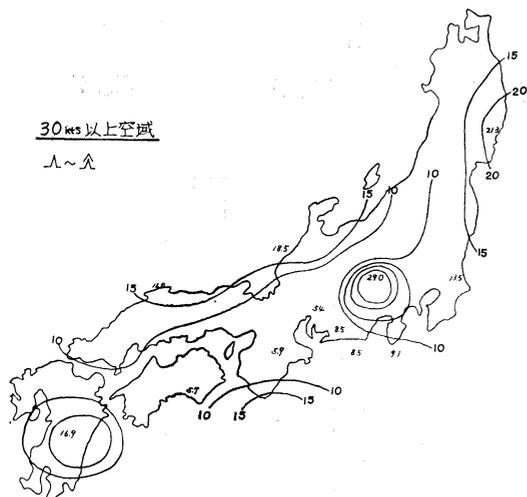


第10図 冬期季節風時における下層平均風速 30 kts 以上空域飛行の場合 (全階級)

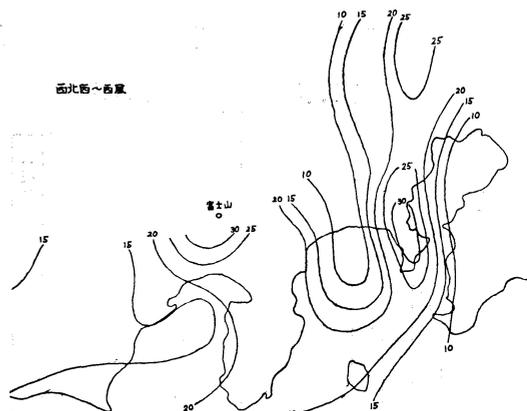
同様に第10図, 第11図は30ノット以上の空域を飛行した遭遇率分布である。山脈や山岳地帯の影響が平均風速に比例して増大している。北陸や山陰から九州北部にかけての遭遇率が風速に比例して増大しないのは西風による地形の影響だけではなく、総じて雲中における遭遇率と考えて良いのではないかと。

(2) 関東地方の分布

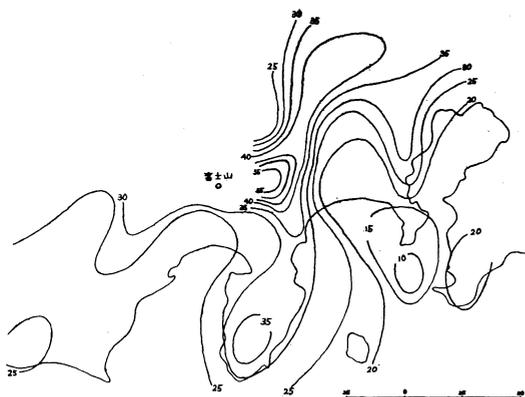
富士山の風が北西～南西風で50ノット以上継続し、自衛隊機の飛行時間帯即ち、0800 JST～1600 JST 頃に合致した日数は45日で約800機数となる。これによる関東周辺の遭遇率分布は、北西風の場合17日例、西北西～西風の場合16日例、及び西南西～南西風の場合12日例として夫々第12図, 第13図, 14第図に示す。



第11図 冬期季節風時における下層平均風速 30 kts 以上空域飛行の場合 (階級並以上)



第13図 第12図に同じ (西北西～西風)

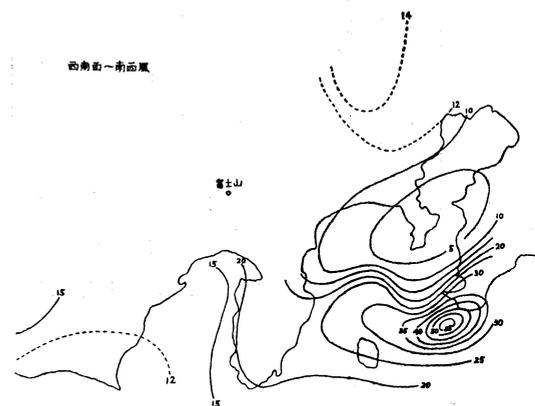


第12図 富士山の風が 50kts 以上吹いた時の乱気流分布 (北西風, 全階級)

この場合は緯度、経度 1 度を $\frac{1}{4}$ 度に細分した。冬型気圧配置日とは無関係に冬期 (12月～3月) の富士山の強風日なので、富士山の風が南西の成分を含み、関東南部では前線や低気圧の影響があって第14図のごとく遭遇率の高い空域は伊豆半島から房総半島にかけて存在することになる。

(3) 富士山頂の風

冬期季節風時において上層風の場によって予想される乱気流の分布は前項に述べたとおりだが、高層風観測が 6 時間毎に入電する以外に富士山の風も入手できるので、これの特性を知っておく必要がある。冬期 5 ヶ年 (1961年12月～1966年 3 月) の北西～南西の風について



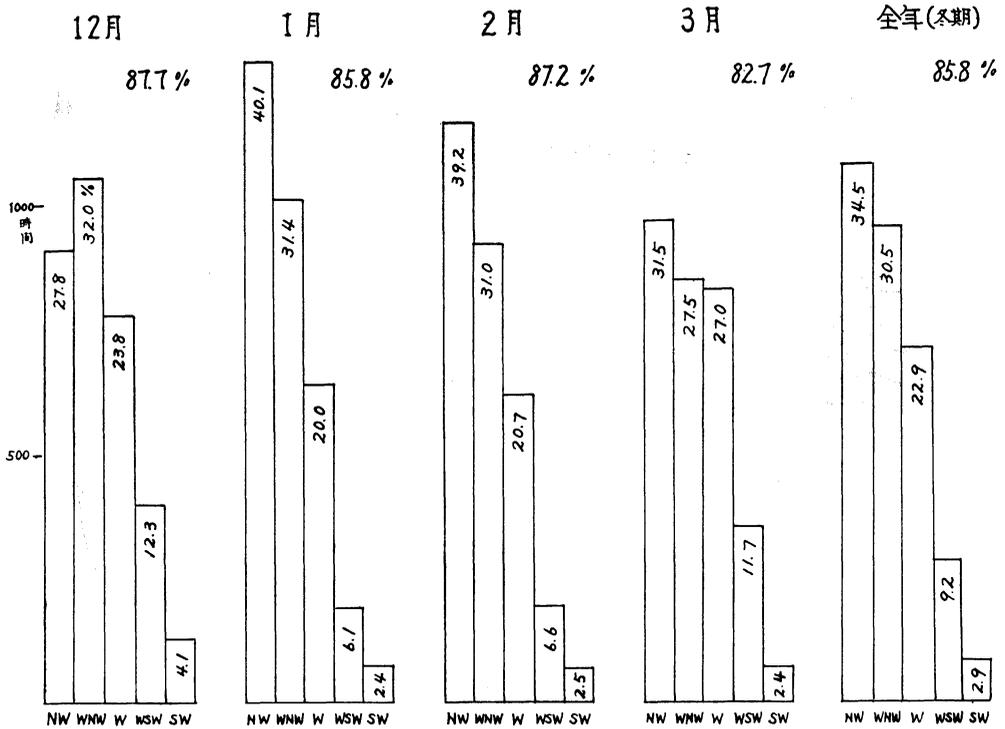
第14図 第12図に同じ (西南西～南西風)

風向別、風速別の頻度図を第15図、第16図に示す。又強風の継続時間と回数は第17図のとおりである。

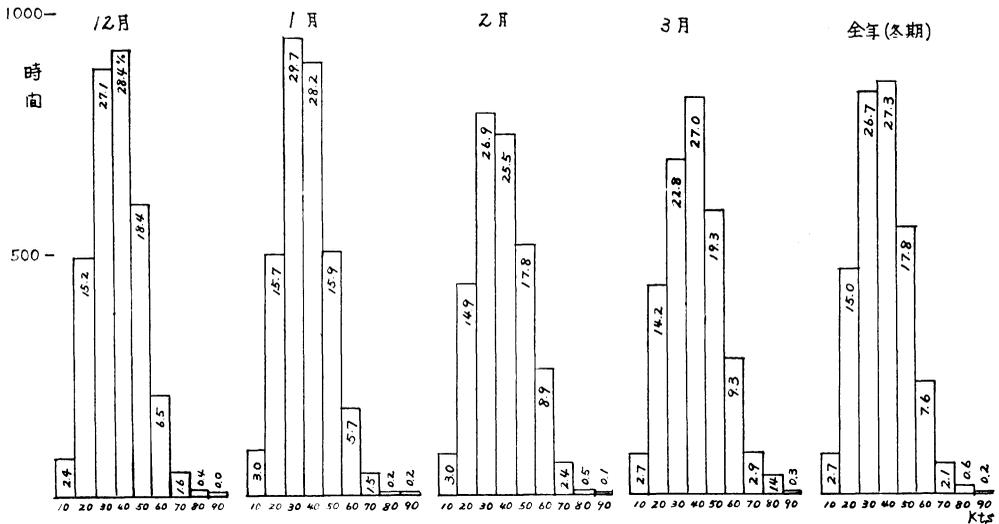
6. あとがき

激しい乱気流の発生は年間では冬期季節風時に一番多く、発達した低気圧或は台風のある場合がこれについて多いことから、季節風パターンで概して自由に飛行する航空自衛隊機を乱気流測定器とみなして本州の地形の影響による発生分布を遭遇率で求めた。西風が平均風速 30 ノット以上と 50 ノット以上の場合遭遇率は約 2 倍に増加する。特に山岳部の遭遇率は高い。これに反して日本海沿岸の遭遇率は風速の増大にも余り関係なく 40～50% で雲中におけるものと考えられる。

冬期富士山頂の風が 50 ノット以上になる時その風下側 30 km 以内の遭遇率も約 60% 位かそれ以上となるが、その様な時の飛行回数が少なく詳細な分布はなお資料の収集にまたねばならない。求めたものは航空自衛隊機の



第15図 冬期における富士山の風向別頻度 (北西～南西の風) 1961～1966年

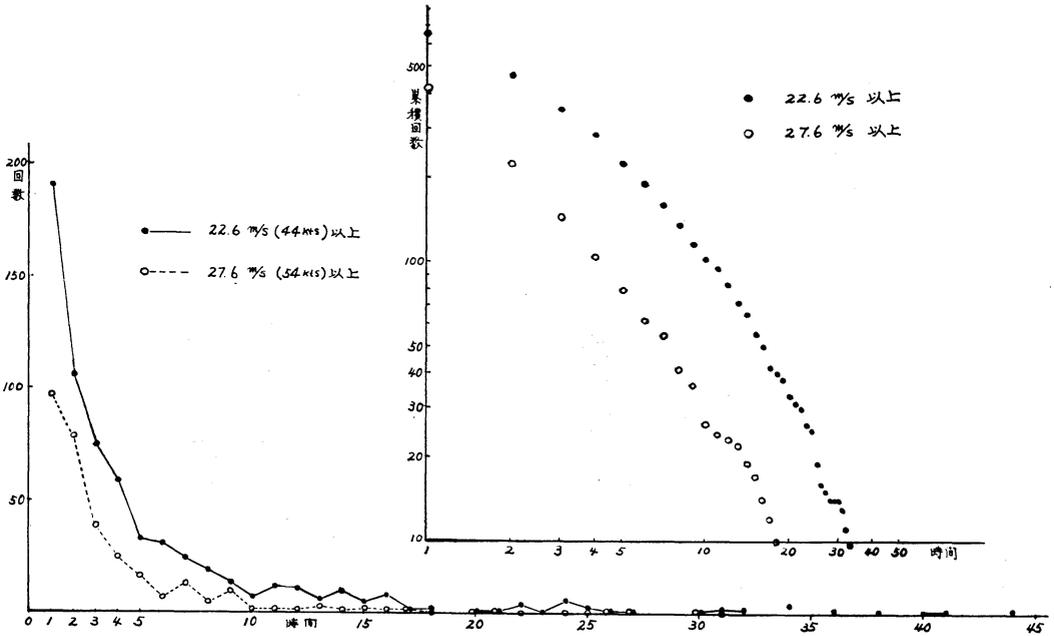


第16図 冬期における富士山の風速別頻度 (北西～南西) 1961～1966年

軽飛行機から大型輸送機又は速いジェット戦闘機など種々で、定期民間航空機との比較或は一定標準の機種によるものではないので機種別の遭遇率が望ましい。

低気圧が日本海や本州中部にある場合の発生も多いのでこれについても資料収集の計画がある。

この調査は山田直勝管制気象課長の指導のもとに山本



第17図 強風継続時間別回数(下図)および強風継続時間と累積回数(右上図)

予報官及び各位の協力、批判と忠告を得てなされた。

気象研究所・東京管区气象台から研究費を載いて資料の収集が出来たことを深く感謝する。又貴重な資料の貸し出を快諾くださった府中気象業務隊長及び入間気象隊長に感謝いたします。

航空機を破壊させる様な「富士山付近の乱気流」発生 of 生態は気象研究所で研究されつつあり、究明される日を期待してやまない。

参 考 文 献

(1) 上松清・山田直勝・宇津木政雄：航空気象学，地人書館

(2) 東京航空予報課：気象慣熟飛行調査報告，測候時報第24巻第9号
 (3) 東京航空予報課：気象慣熟飛行調査報告(第2報)，測候時報第26巻第4号
 (4) Masanao Abe: Mountain Clouds, Their Forms and Connected Air Current. Part II
 (5) ICAO CIRCULAR 1955, CIRCULAR 44-AN/39: Atmospheric Turbulence in Relation to Air Navigation.
 (6) R.M. Endlich: Empirical Relationships Between Gust Intensity in Clear-Air Turbulence and Certain Meteorological Quantities.