

上層の風 (I)



(ビキニの風)

大井正一

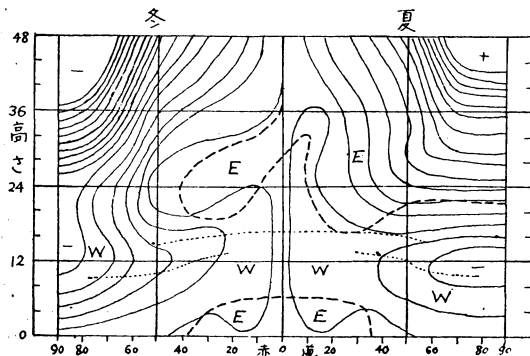
1. まえがき

水爆に関連して上層の風が気になるような状態なので、私も執筆を依頼された。上層風は毎日止むことなく変化するものであるから、平均状態のみを論じても完全な解決とは云えない。又死の灰は拡散し、落下する粒子であるから、上層風のみを調べても解決にはならない。然し上層風は重要な因子であるから、それについて正確な資料から正しい概念を持つことは科学者の任務であり、それを説明しろと云うのが依頼の目的である。そこで私は死の灰が成層圏深く入ることを考慮して、日本附近の風の平均状態、及び全地球上の成層圏の風の状態を正しい概念として説明することに努めた。太陽活動コロナの時に集めた資料と、日本航空の調査の時に集めた資料を大急ぎで組み変えたが、不手際から精粗ままちになったことを残念に思う。読者が上層気流の概念を得られる際の一つの参考として頂けたら、此の上もない幸せである。超高層の風は全く省いた。

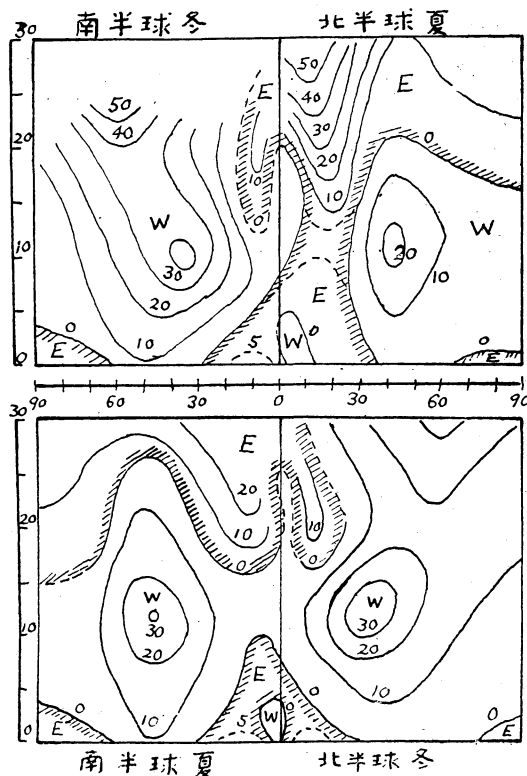
2. 上層風の緯度分布

先ず緯度分布について考えて見ると、ここに掲げる二つの図が頭に浮んで来る。第2.1図はアビスコ、イギリス、インド、バタヴィアのゾンデ及び音響探測を用いて $T \Delta p/p$ を描いたものである。 Δp は赤道の同一高度の気圧からの気圧差を示している。図の線の水平方向の間隔は風速に逆比例している。低緯度の東風は貿易風、

(Trade wind, Passat) で 0~7 km 0°~35° の範囲にある。その上に高緯度迄広く行き亘っている西風が偏西風 (polar westerly), で下部成層圏に達している。赤道地帯では特に 30 km 近く迄達して居り、これを昔は反対貿易風、(anti trade wind, Antipassat) と呼んで居たが、近頃では偏西風と呼ぶ人が多い。亜熱帯地方では 20~35 km に夏にも冬にも東風が吹いて居り、これをクラカトア風 (Krakatoa wind) と呼ぶ。それ以上は夏は東風、冬は強い西風でこれを Brasesfield (13) は成層圏周極渦 (stratospheric circumpolar vortex) と呼んだ。風速は 20 km 附近で極小となり、60 km 附近で極大となるらしい。100 km になると気圧は 10^{-3} mm で真空管の中と同じになり、300 km では 10^{-6} mm



第2.1図 北半球夏及冬の地上 48 km 迄の風の緯度分布。実線は $T \Delta p/p$ の等値線、E は東風、W は西風、破線はその境、点線は成層圏を示す。貿易風、偏西風、クラカトア風、成層圏周極渦が表わされている。(Goldie 1950)



第2.2図 南北半球夏冬の地上 30 km 迄の風の緯度分布。実線は 10 m/s 毎の等風速線、E は東風、W は西風。赤道の西風帯、周極東風、両半球のジェットストリームも表わされている。(Flohn 1950)

で地上では得難い高真空となる。空気分子の平均自由路程も 15 km で 10^{-4} cm であるのが、100 km で 10^2 cm, 300 km では 10^6 cm となる。従つて 100 km 以上の風は普通の風とは意味が違つて来る。[33] のようなところでは、地球磁場の影響により、南北成分が非常に大きくなつて来る。Flohn [2] の第 2.2 図は低緯度の夏を東風としている点、クラカトア風が 20° 迄しかないこと、Fletcher [14] に依る赤道西風帯 äquatorische Westwindzone と、周極東風を加えた点等が違つてゐる。

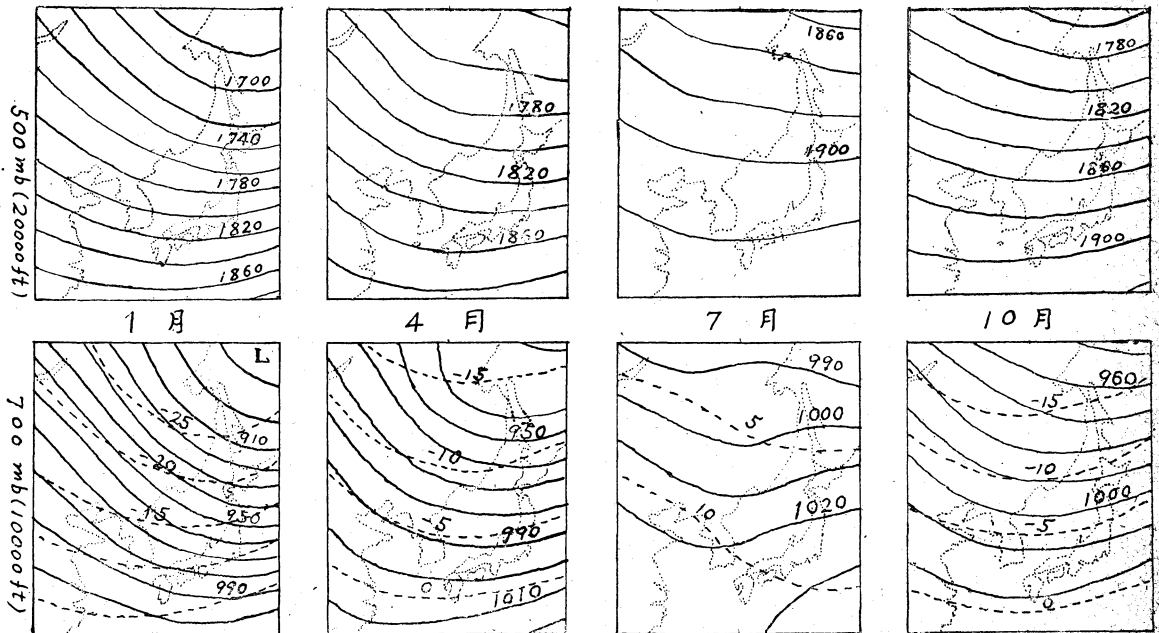
さてこれは最も大掴みな表現であるが、この各々の地域分布はどうなつてゐるだろうか、此の模型に矛盾した事実はないだろうか。以下この点について考察しよう。

3. 世界の上層風の平均状態

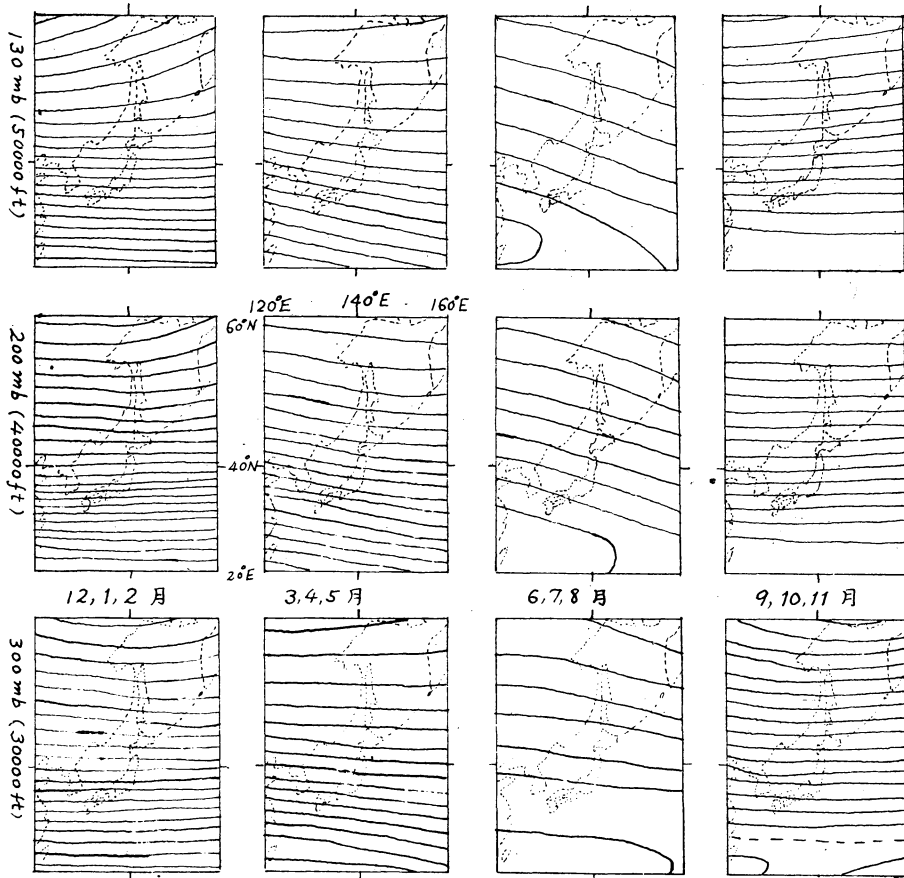
上層に西風が強いことは富士山、浅間山の火山灰層の拡がり、雲の動き、音響の傳わり方、等いろいろの事で古くからよく知られてゐた。緯度 20° 以上の地域では地衡風近似が成り立つので、各定圧面高度図の等高度線間隔から風速を読みとることが出来る。風向は等高度線の走向と同じと見做される。地衡風の式は $v = \frac{1}{2\omega \sin \varphi} \frac{\partial z}{\partial x}$ であるから、同じ緯度では等高度線のこゝていところ程風が強い。この式を地衡風尺としておけばよい。世界に亘つた各定圧面等高度線図は、いろいろな気象の教科書に出ているが、今日最も信頼出来るのは Normal Chart [28] である。これは 5 年間の平均値に依り第 3.1 図の如く、冬は西風は強く、下層は北よりで、オホーツク海が気圧の谷となつてゐる。夏は西風は弱く、下層は南

よりで、満州が谷になつてゐる。これより高い所の状態を見るには、Upper Wind of the World [24] がよい。これは 74 種の資料を参照して、1941~43 年の平均値を用い、四季別の図を載せ、又同じ面の風の標準ヴェクトル偏差の図をも載せてゐる。第 3.2 図の如く 300 mb 以上は夏を除いて常に強い西風である。特に密なところが今日ジェットストリームと呼ばれるもので九州と南樺太にある。冬の 5 万呎では満州が谷になつてゐる。夏には下層の満州の谷は消失し、意外にも北よりの西風となつてゐる。特にジェットストリームのみについては [27] を参照されたい。日本のみについては [13] に 5000 m 迄の流線が示されている。毎月の断面図は [32] に示されている。

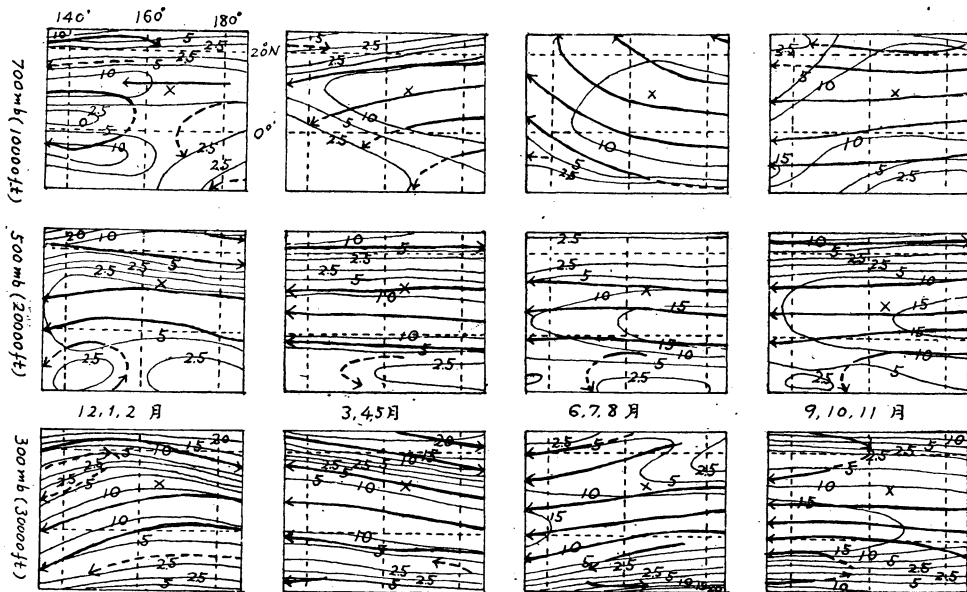
低緯度については $\sin \varphi$ が小さくなり、地衡風近似が使えないので、流線図と等風速線で表すのが常である。第 3.3 図は赤道地帯の流線図で風速 2.5~5 m/s の区域では風向が区々で定まらないのが常であるから、流線は太い点線で示し、2.5 m/s 以下の所では全く示してない。北側には偏西風帯の南端が出ていて、偏東風との間に無風帯を作つてゐる。上層では南半球の偏西風帯との間の無風帯が見られる。此の無風帯でも勿論風が無いわけではなく、西風と東風が平均的に相殺してゐるのであるが、一般に風が弱いことは事実らしい。上層には平均 15 m/s 以上の東風も見られる。これだと東風は四季とも 10 km 迄達して居るから第 2.1, 2.2 図とは全く矛盾してゐる。Palmer [33] によれば太平洋赤道地帯の東風は $130^\circ W$ より東では安定な貿易風が吹いて居り、ハワイからミッドウェイにかけて安定な弱い波動をなし、



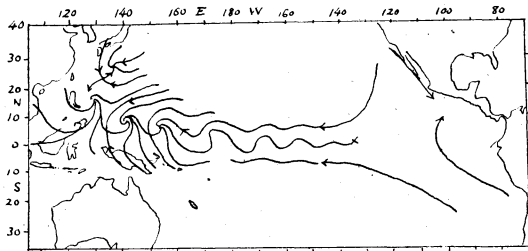
第 3.1 図 1, 4, 7, 10 月の 700 mb (10000 ft) 500 mb (20000 ft) の 100 呎おきの平均等高度線、風は等高度線に沿つて東に向い、風速は線の間隔に大体逆比例する。点線は等温線 (Normal Chart 1952)



第3.2図 四季の300 mb (30000 ft) 200 mb (40000 ft) 130 mb (50000 ft) の200 ft おきの等高度線, 上層は夏以外は西風が強い。



第3.3図 赤道附近四季の700 mb (10000 ft) の流線. 細い実線は2.5, 5, 10, 15 m/s の等風速線, ×印はビキニ環礁の位置, 貿易風帯の両側に偏西風帯との境の無風帯が見える. (Brooks 1950)

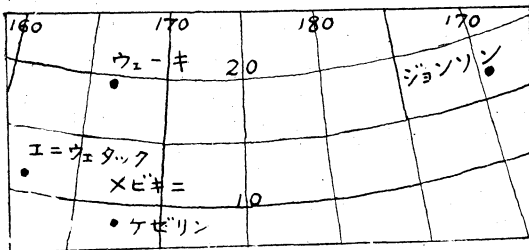


第3.4図 太平洋の偏東風波動の模型図。東は静かで、×印附近より波動が起り、西側が台風発生地帯なることを示す。(Palmer 1953)

マーシャル辺から不安定な偏東風波動となり、パラオ附近よりこの波が不安定化して台風を発生するようになるというから、大太平洋でも東部と西部では大分様子が違うらしい。第3.4図は其の模型図である。

4. 南方の風配図

以上は平均状態であるが、個々の地点の風を正確に把握

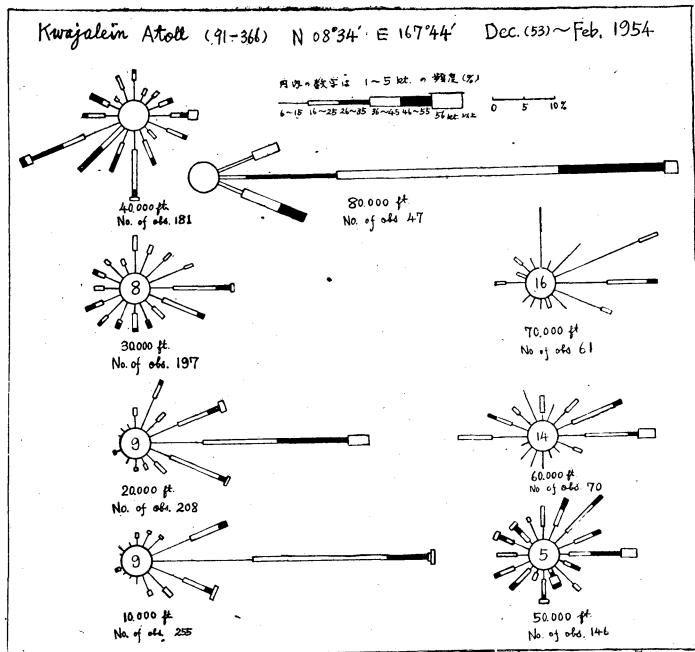


第4.1図

握するには風配図が必要である。此の英国流の書き方は巾で風速の範囲、長さで頻度を示すものである。例えば第4.2図で20000 ftの風配図は208個の資料から作ったもので、9%は6 kt(ノット)以下である(1 kt=0.514 m/s) 東風のみを見ると、6~15 ktが8%, 16~25 ktが12%, 26~35 ktが11%, 36~45 ktが3% あつたことになる。これは一冬のみについての図であり、同じ冬季でも年による差もあり得る。第4.1図の四地点について見ると、ケゼリンでは(第4.2図)20000 ft以下と70000 ft以上に東風が多い、其の間はいろいろな風向がある。これは第2.1, 2.2図とよく合っている。エニウエトク(第4.3図)は全体に東風が多く、ところが少し北寄りのウエーク(第4.4図)ではもう、偏西風帯となつて東風が少なくなつてゐる。又南が少く北が多い。ジョンソン(第4.5図)では風速が大きく、東と西は同程度だが、北が多く、南は少い。これは非常に面白いことであつて、恐らく、この辺では気流が赤道東風に向つて収斂してゐるのではないだろうか。

も一つ注意すべきは2月末の実験当時には一週間に亘り30000 ftでは殆ど西風であつたことである。これは第2.1, 2.2図と比べて有り得ないことではないが、珍らしく思われる。恐らく季節の違いと、当時強い偏西風の谷があつたためであらうと思われる。

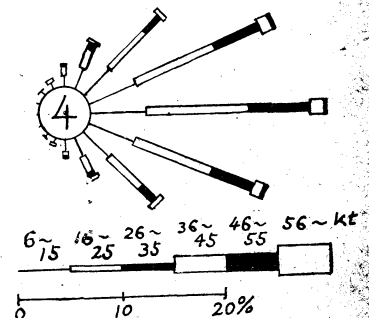
ベクトル平均風 V_R 、スカラー平均風 V_s 、とすると、 $q=100 V_R/V_s$ を安定度と呼ぶ。風向が全く一定ならば $q=100$ で、全く不定ならば $q=0$ である。普通は



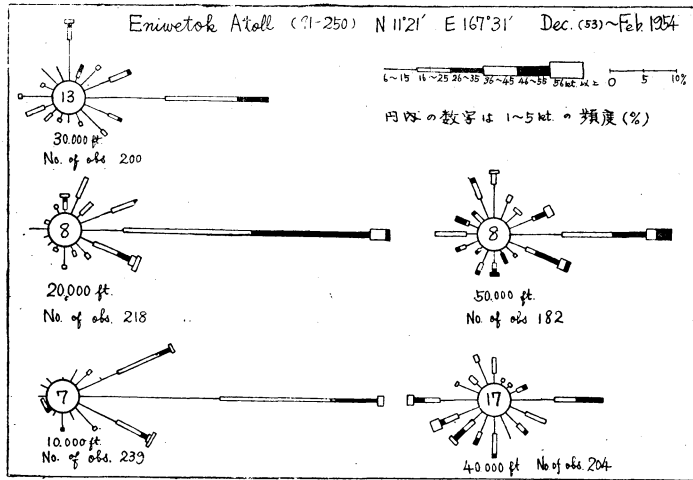
第4.2図 ケゼリン環礁今冬の風配図。20000 ft 迄は東風、40000 ft 迄は風向不定、70000 ft 以上は東風が多い、風速は36 kt以上が時々あり、80000 ft には56 kt以上も見られる。(森住)

70%以下であるがジェットストリーム等では90%迄になることもある。個々の風 V と V_R とのベクトル差を v とすると、 $\sigma = \sqrt{\sum v^2}$ を標準ベクトル偏差と云う。 q, σ, V_R, V_s の間には一義的な関係が存在する。[24] 正規分布を

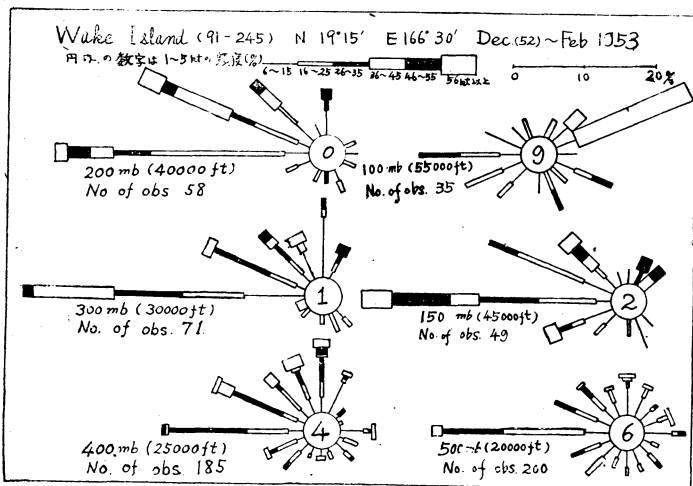
Eniwetok Atoll Dec~Feb
Estimated 20000ft
 $V_s = 19.2$ $V_R = 15.2$



第4.6図 理論的に描いた、エニウエトク 20000 ftの風配図(森住)



第 4.3 図 エニトック環礁今冬の風配図 30000 ft 迄は東風 40000 ft は不定, 50000 ft は東風が多い (森住)



第 4.4 図 ウェーク島昨冬の風配図, 20000 ft は西風, 45000 ft 迄は北よりの西風が多い (森住)

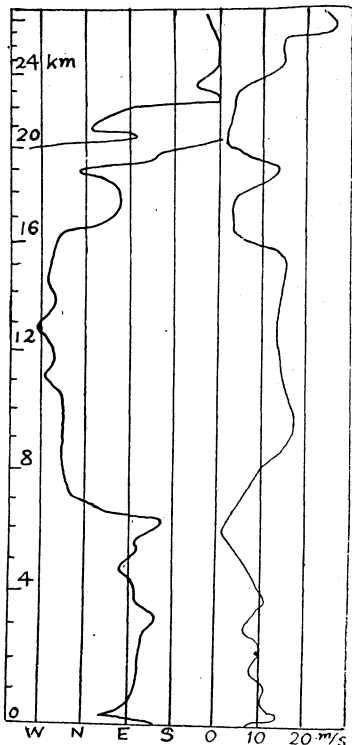
仮定すると, 風速が $V_1 \sim V_2$, 風向が $\phi_1 \sim \phi_2$ の風の起る確率は

$$\frac{1}{\pi \sigma^2} \int_{V_2}^{V_1} \int_{\phi_1}^{\phi_2} e^{-v^2/\sigma^2} V dV d\phi$$

従つて $\frac{1}{\pi} \cdot \frac{V_R^2}{\sigma^2} \cdot \frac{V'}{V_R} \cdot e^{-v^2/\sigma^2} \cdot \frac{\delta V}{V_R} \delta \phi$ なる値を,

いろいろな $\frac{V_R}{\sigma}$ の場合について, 各 $\delta V, \delta \phi$ の値につき

計算した表を作つて置けば, $\frac{V_R}{\sigma}$ が知れば理論的に風配図を作ることが出来る. この表は [24] に出ている. 第 4.6 図は Eniwetok の 2 万呎について, 第 4.3 図の資料に基づいて計算したものである. 安定度は $q=79\%$ である. Brooks [24] は全世界の σ の分布図を与えているから, これから全世界の風配図が求められる筈である. 然し吾々の検討の結果, 日本附近については修正の必要



第 5.1 図 ペルトリコの冬の風, 6 km 以下は 10 m/s の貿易風, 9~16 km で 15 m/s 位の偏西風, 16~19 km でクラカトア風が見られる. (Mc Dowell 1949)

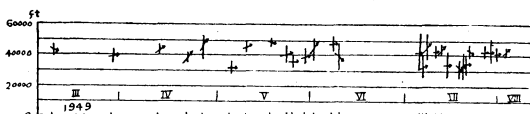
を認めた.

5. 高層観測による成層圏の風

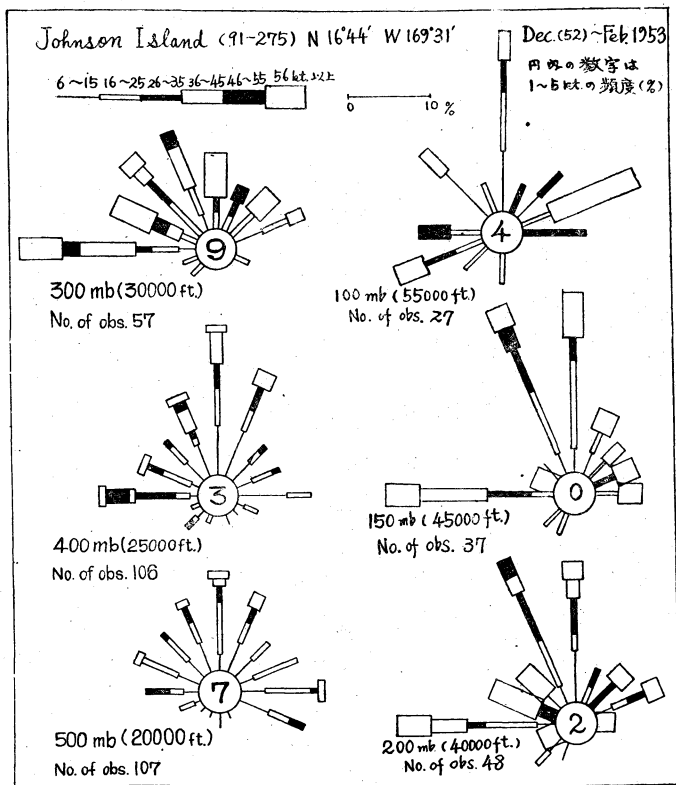
測風気球観測は明治 43 年からあるにはあつた [35] 然し超高層の風が実測され出したのは近頃である. 雲のある時でも

測れるためにはレーウィン, トランスポーター, レーダーゾンデ等無線測風装置が発達し, 高度を上げるためには気球の改良が行われ, 高度角が下がることによる誤差を除くためには超短波の使用, トランスポンダー, 中継観測等が発達した.

1947 年 4 月より New Mexico (32°N) の White Sand で 2 kg 気球により, 30 km 迄のレーウィンゾンデ観測が行われた [19] 西風は 12 km で極大となり, 極



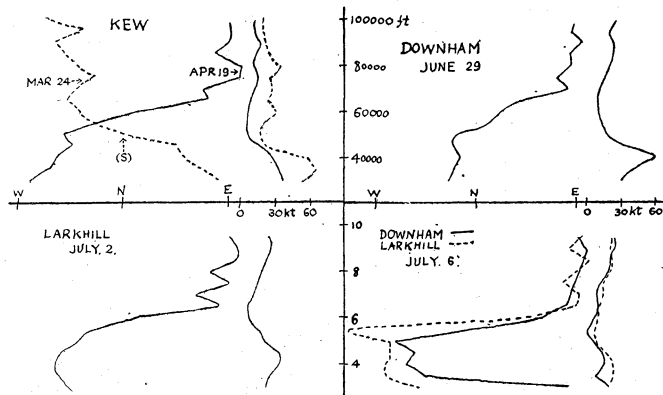
第 5.1 図 シドニーの風, 縦線は最強風速の 90% の風速の範囲. 矢は風向を示す. 南半球のジェットストリームを示すものである. (Edwards 1949)



第 4.5 図 ジョンソン島昨冬の風配図、南よりの風が極めて少く、西風が稍多い、風速は甚だ強い (森住)

大値は 100 m/s に達し、50 m/s 以上の日は少なくなかつた。冬季は時々東風があるほかは常に西風であつた。5~10 月には 18 km 以上は東風となり、極大値は 50 m/s に達し、普通は 25 m/s 以下であつた。

1948 年 1 月 29 日 Puerto Rico (19°N) で Balloon Cluster (葡萄戻状気球) により宇宙線ゾンデ観測が行われた[18] 28480 m 迄上昇し、第 5.1 図のように 6 km 迄は 10 m/s 位の貿易風、9~16 km で 15 m/s 位の偏西風、16~19 km でクラカトア風となつている。1883 年クラカトア大爆発の灰がこの風に乗つて世界を一周したと



第 5.3 図 イギリスの風、3 月以外は 80000 ft 以上は東の成層圏周極渦で、40000 ft で風速が弱い (Screase 1949)

云われる。

1948 年 6 月~1949 年 4 月に New Jersey の Belmar (42°N) で 10 万呎以上のレーウイン観測が 20 回行われた。[26] 気球はネオプレンの 10 kg と云う重いもので、35000 呎で直径 20 呎の球型になり、これを経緯儀で見たらしい。6 万呎以下では偏西風で 4 万呎に極大がある。6~12 万呎では夏は東風、冬は西風である。この東風は春分三週間後に始まり、秋分三週間前迄続く。風速は 12 万呎で猶増しつつあり、最大風速は冬の西風は 122 哩/時 (55 m/s) 夏の東風は 61 哩/時 (27 m/s) に達した。Brasefield はこれを成層圏周極渦 Stratospheric Circumpolar Vortex と呼んだ。

1949 年 4~8 月に Sydney (34°S) でレーダー観測が行われた[29] 2 kg 気球中に 30 gr の銀鍍金気球を入れて反射体とした。第 4.2 図の縦線は最強風速の 90% 以上の風速の範囲を示し、矢印は風向を示す。これは南半球のジェットストリームを示すものであろうが、NNW から SSW 迄変動しているが、E は見られない。平均風

速は第 4.3 図の如く 4 万呎で 70 哩/時 (32 m/s) である。

1949 年 3 月 24 日~7 月 6 日迄にイギリスの Kew, Downham Market, Larkhill 等でレーダー観測が行われた。[20] ナイロンの網に鍍銀したコーナリフレクターを反射体とした。第 4.4 図で 3 月 24 日以外は 8 万呎以上は皆東風で、下の西風との境である 4 万呎辺で風速が最も弱い。

日本独特の方法として、銚田、館野、本庄、鹿児島、都城、米子、鳥取等で中継観測が臨時的に行われ、25 km 以

上の上層風も多数の資料が得られつつある。[34] 殊に面白いのは冬にも月に数日東風が見られることで、これがクラカトア風が北上したものかどうかは興味ある問題である。

以上六つの結果は第 2 節や、Brasefield の説と著るしい矛盾は示していないようである。

(つづく)
(高層課長補佐官)