

上層の風 (II)

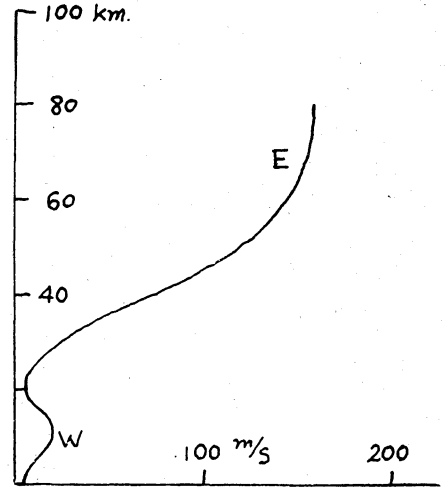
(ピキニの風)

大井 正一

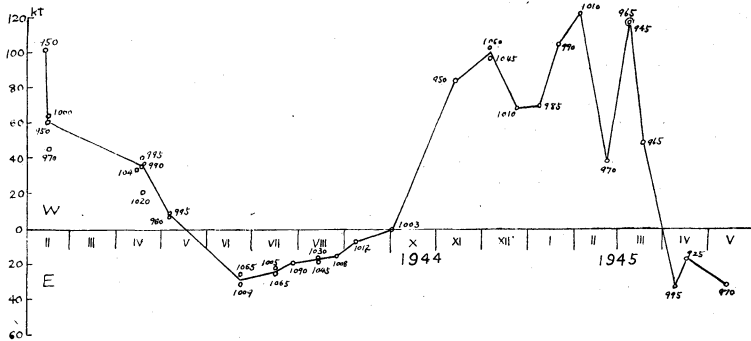
6. 高射砲、ロケットに依る成層圏の風

靖国神社の花火の烟を中央气象台から経緯儀追跡したのは明治 40 年のことである。[35] 1944 年 2 月~1945 年 5 月に Dover 附近 (51°N) で高射砲観測が行われた。高射砲弾は 10 万 ft で発煙し、煙は 3 分間位観測され、観測点は 10 mile 位の間隔で 4 カ所位設けられ、風向は $\pm 5^\circ$ 風速は ± 10 ノットの精度で測られた [17] 第 6.1 図 a は南北成分及び観測回数、第 6.1 図 b は東西成分及び破裂高度を示したものである。b 図を見ると夏は弱い東風、冬は強い西風で、その移り変りは 1944 年は 5 月と 10 月、1945 年は 4 月に見られる。周極渦な非常によく示されている。

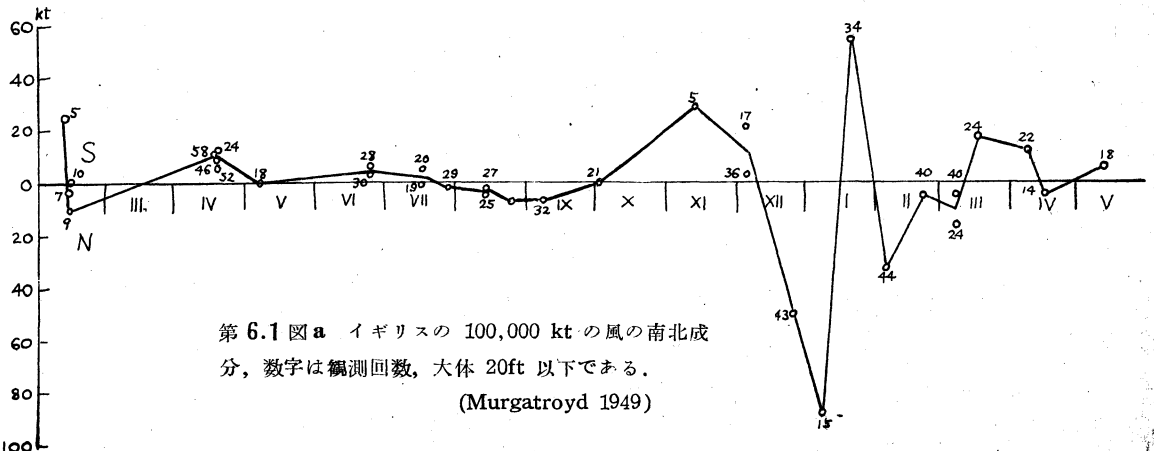
Gutenberg[16] は V2 ロケット観測結果の中に第 6.2 図のような図を入れている。ロケットの自己振動の週期が、上層風に依り変化することから、風向風速が求められるが、この図は 80 km の値は夜光雲、30~80 km の値は晝間の流星の痕跡、90~120 km の値は夜間の流星



第 6.2 図 100 km 迄の風、20 km 以上は東風で 50 km で既に 100 m/s を超える。(Gutenberg 1945)



第 6.1 図 b イギリスの 100,000ft 風の東西成分、数字は観測点の高さ、冬の強い西分、夏の弱い東分がよくわかる。替り目は 1944 年は 5 月と 10 月、1945 年は 4 月であった。(Murgatroyd 1949)

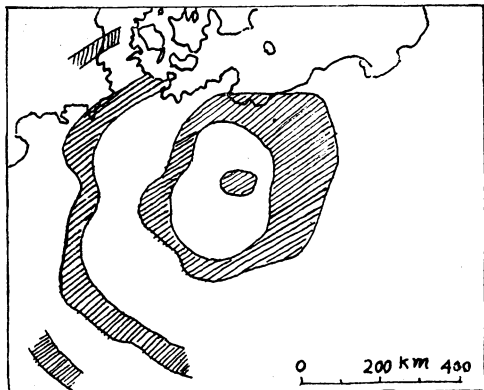


第 6.1 図 a イギリスの 100,000 kt の風の南北成分、数字は観測回数、大体 20ft 以下である。(Murgatroyd 1949)

の痕跡による値を参考にした、と書いている。第6.1図は周極渦の季節変化を示したものとして特に注目値するものである。

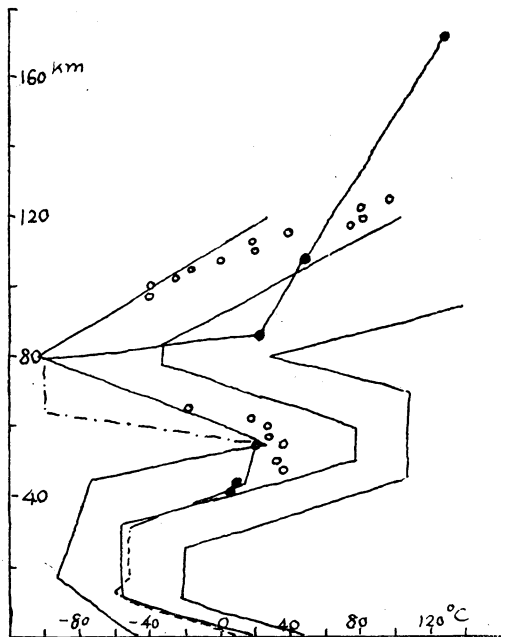
7. 音響探測による上層風

音波の速さは $c = \sqrt{\frac{\gamma RT}{m}}$ で与えられる c は音波の速さ、 γ は定圧比熱と定積比熱の比、 T は絶対温度、 m は分子量である。したがって気温が変るにつれて音波の



第7.1図 1925年12月18日に5000kgの火薬を爆発させて得られた外聴域の一例。斜線は音の聞こえた区域を示す。(Hergesell and Duckert 1927)

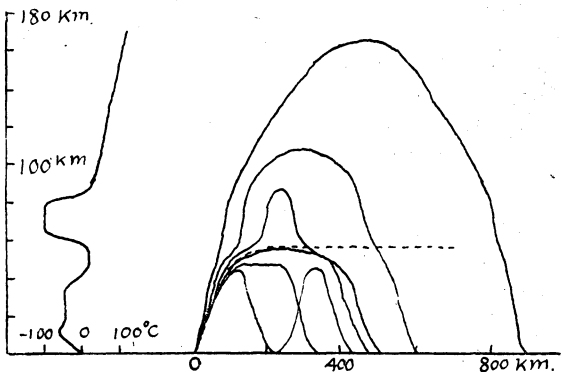
速さも変つて来る。このため光が密度の互いに違った媒質の間で屈折するように音もやはり屈折する。此の原理を応用して間接的に上層の気温を測るのが音響探測である。したがって直接的に測る高層観測程の精度は期待で



第7.2図 180km迄の気温、実線はN.A.C.A. 大気、白丸は1947年4月7日のV₂ロケット。破線はラジオゾンデ、黒丸は音響探測に依る値で、鎖線は計算上の推定。(Cox 1949)

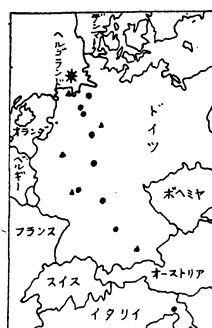
きないが、高層観測により気温分布が知れた場合、それ以上の高さの気温と風を計算して求めることができる。第7.2図はその一例である[33]

1900年12月7日の浅間山の爆発の際、藤原咲平氏は爆発音の聞こえる地域が、聞こえない地域で境されることを見出し、これを内聴域、外聴域と名づけ、これが東に延びることから、上層の西風を予想した。[4] 1901年に英国のヴィクトリア女王の甲砲がロンドンでも聞こえたと言われる[10] 1910年 Von dem Borne は上層30km以上に水素があつて音が屈折すると論じた[1] 1918年 Christy は第一次大戦の Chelmsford の砲声が夏にだけ聞こえ、冬には西部戦線の砲声が大陸で聞こえ

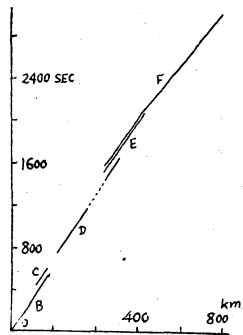


第7.3図 左側は気温分布。右は音波のいろいろな経路、最も高いものは180kmで反射する。(Cox 1949)

ることから、上層には冬には西風、夏には東風があるらしいことを予想した。[10] 1923年 Linderman と Dobson は60kmの高さに地上と同温度の気層があるとすると説明できるとし、Whipple もこの説を支持した[3] 1925年地震学者の Wiechert と Gutenberg は始めて音波の径路図を描き、上層の気温分布を計算した[8] Wegener は外聴域からの内側が多は100kmで夏は200km以上に拡がることを見出した[4] 第一次大戦終了後各地



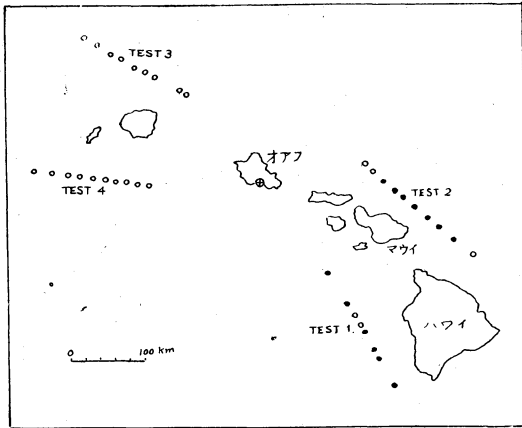
第7.4図 1947年4月18日のHelgoland 5,000 Ton TNT 爆発試験、三角はラジオゾンデ観測、丸は音波受信装置の置かれた地点 (Cox 1949)



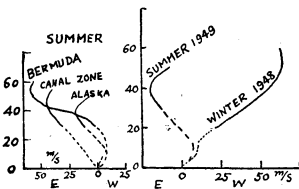
第7.5図 各波いろいろ径路の走時曲線、800kmでは2,800秒後に聞える (Cox 1949)

で爆発実験が行われ、音波傳播の研究が行われ、上層気温が測定され、20 km の上層では平均して、冬は 20 m/s の西風、夏は 20 m/s の東風が吹いていることが計算された[10]

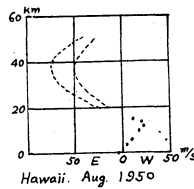
このような多くの経験から第二次大戦終了後の 1947 年 4 月 18 日に Helgoland で 5000 ton の TNT を爆発させる大実験が行われた。[19 a] ロケット観測により上層の気温分布は第 7.2 図のように或程度知られていたもので、上層風の計算も容易になった。このように温度分布を仮定して見ると第 7.3 図のように音波はいろいろの径路を探ることが考えられる。オゾン層を突き抜けた音波は実に 180 km の高空を通過して、1,000 km も離れた地点で地上に戻ってくるのである。そこで第 7.4 図のように音源から 66~1,000 km も離れた地点に受信記録装置が置かれた。又短い波長の音は吸収され易いので、4 サイクルよりも長い音に共鳴するような特別な受信装置が考案され、時刻は 0.1 秒まで正確に測定された。第 7.5 図のような各径路毎の走時曲線が描かれ、上層風が計算された。この時の結果を見ると 4 月 18 日には 4~12 km では各地で 12 m/s 以下の西寄りの風が吹いて居り、12~30 km では凡そ 10 m/s 以下の西風となっている。このような方法は非能率的であるの



第 7.6 図 1950 年 3 月オアフ島に於ける爆撃試験、丸は爆撃地点で、黒丸は音波の受信されなかった点 (Crary 1952)

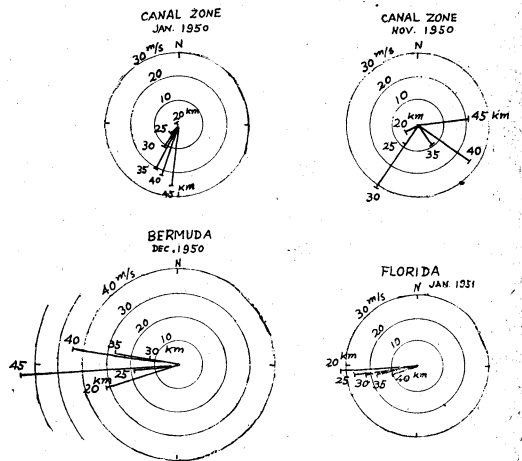


第 7.7 図 1950 年 Bermuda, Canal Zone, Alaska の夏と 1948 年 Alaska の冬。成層圏周極渦が低緯度から高緯度迄及んでいることがわかる。(Crary 1950)



第 7.8 図 1950 年 8 月のハワイの風、40 km で 50 m/s 位の東風となっている。黒丸はレーウィン (Crary 1952)

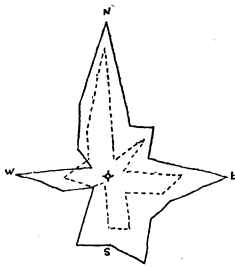
で、米空軍では受信機を 1 カ所に置き飛行機で 50 ポンド爆弾を 200 km の範囲に放射状に落とすと云う極めて能率的な爆撃試験 bombing test に発展させた[25] 第 7.6 図はその一例である。受信機は 300 m 間隔で 5 台置かれ、それにより音波の方位角と高度角を測定し、又飛行機の位置はローランで正確に測定された。実験は 1948 年から 49 年にアラスカ、カナルゾーン、バーミユダで行われた。第 7.7 図はその結果を示すもので、夏は成層圏の西風はアラスカでは 40 km で 20 m/s、カナルゾーンで 40 km で 45 m/s、バーミユダでは 55 km で 60 m/s と変化している。冬はアラスカでも 60 m/s の西風が見られる。すなわち成層圏周極渦がアラスカまで達していることがわかる。最大風速の高さは緯度と共に低くなる。1950 年にはカナルゾーン、ハワイ、フロリダ、バーミユダでさらに大規模な実験が行われた。[30] 第 7.6 図はその例である。第 7.8 図はハワイの夏でやはり 40 km に 50 m/s の東風が見られる。第 7.9 図でカナルゾーンで意外にも南風が強く、バーミユダの冬では 45 km で 70 m/s、フロリダの冬には 20 km に 30 m/s の西風が見られる。ただカナルゾーンの風が大分変つているようだ。



第 7.9 図 1950~51 年冬の平均風速、Bermuda, Florida は西風だが、Canal Zone では南風や東風が見られるのが珍しい (Crary 1952)

8. 夜光雲、真珠母雲、流星痕跡より見た上層雲

Olivier[33] によれば 50 ケの夜の流星痕跡は平均 80~104 km の高さで、薄明時の 26 ケは 45~77 km、晝の 14 ケは 27~45 km であつた。風速は 50 ケの良好な夜の結果からは 56.4 m/s、夜の結果からは 50.6 m/s、晝および薄明時の結果からは 48.1 m/s となった。風速は高さと共に増して居り、痕跡が次第に電光型になることは、風向風速が高さに依り色々に変つて居ることを示している。第 8.1 図は夜の風向別平均風速を示し、実験は 24 時以前、点線は 24 時以後のものである。必ずしも東西成分が大きくないことは面白い。今日



第 8.1 図 アメリカに於ける夜の流星痕跡より見た風向頻度図、実線は正子以前、点線は正子以後の値 (Olivier 1947)

では晝でも流星のレーダー観測が行われているから、もつと確かな資料もあるだろう。

夜光雲は Ceraski により 1885 年に発見された雲で当時は 1883 年のクラカトア大爆発と関連して考えられた。5 月中旬から 8 月中旬に 50°N 以北で見られる。高さは 82.2 km で、Dobson [7] の見たものはその速度は SSW に向つて 230 m/s であつたという。1934 年夏に南ノルウェーでも観測された [11] この時は三点写真測量により、41 ケの平均高度は 82.2 km で、速さは 80~93 m/s で西に動いた。1933 年 7 月にノルウェーに現われたものは 33 時間後にカナダに移り、その速さは 48~57 m/s に相当する。Störmer は此の雲を大シベリヤ流星 [9] によるものと考えた。

Dieterichs [22] は眞珠母雲と低気圧の位置との関係から、これが山脈の風下に出来るものであることを立証した。この高さは 22~29 km で、こんな高い所に迄強制上昇が起るとは意外である。その速さは求められて居ない。

9. あとがき

上層の風のご概念はこの説明で次第に皆さんに親しいものとなつたであらうと思う。水爆実験時の風はアメリカでも先頃調査報告を出しているし、日本でも調査されているのでいずれ発表されるであらう。成層圏の風が春分秋分に交替することは、気温の南北傾度が逆になるからで、明らかに太陽輻射と関連しているようだ。Haurwitz [5] は太陽紅暈がオゾン層の昇温を起し、それは対流圏の循環に影響する筈だと述べ、Palmer [32a] は、成層圏が突然昇温して、低緯度の上層に低気圧ができることを実証した。したがって成層圏の風も将来は下層との関連において考えられるかも知れない。死の灰は一種の浮遊ゾンデのような役目をしていると考えられる。しかしそれは又死の灰の危険性を測り知れず増大しているわけで、それが死の灰の谷間に住む我々にとってのみならず全人類にとって望ましくないものであることは云をまたない。いろいろの御助言を与えて下さった北岡龍海及び御閲讀を願つた和達清夫両先生に深き感謝の意を表わすものである。

(中央气象台)

引用文献

- [1] von dem Borne; Phys. Zeit. **11** 483 (1910)
- [2] Whipple; Quart. Journ. Roy. Met. Soc. **44** 281 (1918)
- [3] Lindermann and Dobson; Proc. Roy. Soc. London. (A) **102** 411 (1923)
- [4] Wegener; Met. Zeit. 261 (1925)
- [5] Wiechert; Nachricht. von d. Gesell. d. Wiss. zu Göttingen **1** 49 (1925)
- [6] Wiechert; Zeit. f. Geophys. **232** (1926)
- [7] Dobson; Natur **118** 14 (1926)
- [8] Gutenberg; Zeit. f. Geophys. **2** 101 (1926)
- [9] Whipple; Quart. Journ. Roy. Met. Soc. **56** 287 (1930)
- [10] Whipple; Quart. Journ. Roy. Met. Soc. **61** 285 (1935)
- [11] Störmer; Nature **135** (1935)
- [12] 上層気流統計報告 (1940)
- [13] 航空気象図 (1940)
- [14] Fletcher; Journ. of Met. Soc. **2** 167 (1945)
- [15] Haurwitz; Trans. Amer. Geoph. Union **27** 161 (1946)
- [15a] Brooks; Quart. Journ. of Roy. Met. Soc. **72** 55 (1946)
- [16] Gutenberg; Journ. of Met. **3** 27. (1946)
- [17] Murgatroyd; Geoph. Mem. **83** 1 (1949)
- [18] Mc. Dowell; Bull. Amer. Met. Soc. **30** 65 (1949)
- [19] Gutenberg; Bull. Amer. Met. Soc. **30** 62 (1949)
- [19a] Cox and others; Journ. of Met. **6** 300 (1949)
- [20] Scream; Met. Mag. **78** 284 (1949)
- [21] Flohn; Berichte d. Deutsch. Wetterdienstes in der US Zone **12** 156 (1950)
- [22] Dieterichs; ditto **12** 86 (1950)
- [23] Goldie; Centenary Symposium of the General Circulation (1950)
- [24] Brooks and others; Geophys. Mem **84** 1 (1950)
- [25] Crary; Journ of Met. **7** 233 (1950)
- [26] Brasefield; Journ. of Met. **7** 66 (1950)
- [27] 大井; 天文と気象 Vol. 17 No. 12 (1951) Vol. 18. No. 1, 2. (1952)
- [28] Normal Weather Charts for the Northern Hemisphere (1952)
- [29] Edwards; Bull. of Amer. Met. Soc. **33** 56 (1952)
- [30] Crary; Journ. of Met. **9** 93 (1952)
- [31] Historical Map of Northern Hemisphere (1953)
- [32] 気象要覧 (1953)
- [32a] Palmer; Journ of Met **10** 1 (1953)
- [33] Compendium of Meteorology (1953)
- [34] 高層気象台彙報 **5** (1954)
- [35] 大阪管区時報 **341** (1954)
- [36] 森住, 大井; 南太平洋の風 (1954)

訂正 [1] の p. 27 左 11 行目 $\frac{\partial Z}{\partial X}$ を $g \frac{\partial Z}{\partial X}$, p. 29 右 30 行目 v^2 を v^2/n , p. 30 左 4 行目の v を V と訂正