

富士山こぼれ話*

志 崎 大 策**

1. 富士山の高さ

富士山で最初に気象観測が行われたのは明治13年である。東大教授メンデンホール等一行は8月3日から6日の間富士山頂に滞在し、重力の測定のほか、気象と天体の観測を行ったとある。実際に気象観測を担当したのは生徒の隈本有尚といわれ、中村精男のほか、和田雄治の名が見えることから、この二人の指導のもとに観測が行われたものと思える。この際、富士山の標高は3778 mと算出されている。

三角測量以外で高山の高さを知るには山頂に登山し、気圧と気温を測り、ふもとの高さの分つている場所の気圧と気温を基準にして測高公式により高さを計算する。測高公式は理科年表によると次のとおりである。

$$h = h_0 + 0.0036610 \text{ tv} \cdot h_0 \quad (1)$$

$$h_0 = 18410.0 \log (P_0/P) \quad (2)$$

ここで、h は高さ (m)、tv は高さ h の気柱の平均仮温度 (°C)、P₀ と P は低所と高所の気圧 (mb) である。h₀ は (2) 式で計算する。

メンデンホール一行が気圧観測に用いた測器は山岳用のフォルトン型水銀気圧計である。現在の富士山頂の三角点の高さは3776 mであり、一行の計算値は3778 mで2 mの誤差である。観測点から現在の三角点の位置まで補正があったかは不明ながら気圧による標高測定は可成りの信頼がおけることが分る。

標高を知るため気圧を測定するが、気圧計のみが使用されるわけではない。水の沸点を測定することによっても得られる。万延元年(1860年)英国公使オルコックは水の沸点を華氏ではかり、標高を14177 feet (4321 m)と算出している。水銀を用いた気圧計は取扱いが難かしいの比へ、水の沸点を測定するのは手軽であるが、誤差が大きいのは止むを得ない。

富士山の高さを最初に測量したのは、日本の実測図で

* Review of some meteorological studies at the summit of Mt. Fuji.

** Daisaku Shizaki, 三島市谷田塚の台 1601 の3.

有名な伊能忠敬ではなからうか。彼は日本の最高峰富士山に関心をもち実測したものであろうが、当時の不完全な測量器械でよくも測ったものである。測定値は3982 mとしてシーボルトの資料にのせられている。

シーボルトは文政6年(1823)26歳でオランダ商館付医師として来日、全国から長崎に集ってきた医学研究者に西洋医学を伝えた。6年の後、帰国、在日中の研究資料をもとに、日本植物志、日本動物志などの著述とともに日本の風俗、地理をヨーロッパに紹介した。帰国の折、日本地図を持ち出そうとして、いわゆるシーボルト事件を起こしたが、安政6年(1859)許されて再び来日した。

彼はトリチェリー真空用の硝子管、温度計、気圧計や六分儀など科学器械をとりよせていた。人目を避けて積雪期の富士登山を考えたらしく、日本各地から、かんじき、防寒具等登山用具を集めた。このようにして富士山頂の標高測定を熱心に計画したが幕府の目がきびしく果たせなかった。そこで弟子の二宮敬作を実行に当たらせた。文政10年春、二宮は第一回の登山を企てたが失敗、翌11年5月に登頂に成功した。このときの算定値は3794.5 mと実に現在の値と、20 m弱の差であった。

第1表に代表的な富士山標高の測量をあげる。これを見ると気圧の測定が標高測量にいかにも有効か分かる。アネロイド型気圧計を利用した高度計は航空機にも実用されており、ラジオゾンデによる基準面高度もこれによって観測する気圧によって算出されている。

第1表の最近のところで富士山の標高が低くなっている。これは再測量したわけでもなく、富士山頂が低くなったのでもない。富士山の登山者は毎年10万人を超える。その何分の1かは剣ヶ峰に登り、三角点で万才を叫び、写真をとる。そのためか、びくともしないとされた三角点の石柱は周りの岩が壊れ、倒れてしまった。石を積んでみたりしたが基盤がゆるまないうちに修復をお願いしたところ昭和37年に新しい三角点に改修された。しかし旧三角点に比較して0.7 m低くなってしまった。地図上の訂正はずっと後の昭和53年版からである。

このような説明は、海陸風や山谷風の説明によく使われる。注意することは、山頂の下は山体であり、山頂の直下には、のびちじみする大気の柱はないことである。また、気柱ののびる量は(1)式の気温補正項で表される。

3. 富士山頂の気圧

風が強い場合、气象台や測候所等の気圧は、建物の吸出しや地形の影響により、実際の気圧より低く観測されることがある。この影響を富士山の風速と気圧の自記記録から示したのが第3図である。0°C, 760 mmHg の場

合、風の効果による気圧低下は、風速 15 m/s で、約 0.8 mmHg, 20 m/s で 1.4 mmHg といわれていた (Fujita et al, 1952).

一方、ラジオゾンデにおける自由大気中と富士山頂における気圧を 700 mb 等圧面高度によって比較したところ、山頂の気圧は自由大気中のそれより低く、風速に比例していた。

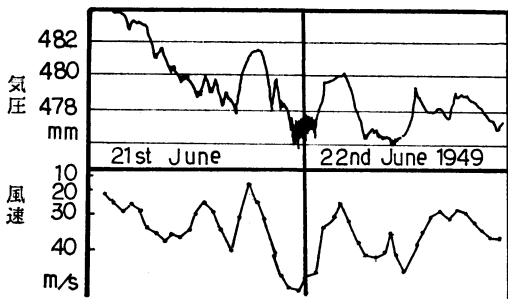
気圧低下の原因について検討した結果では、富士山頂において建物の吸出しや地形による直接の影響は少なく、気流上昇によって山腹に生ずる断熱冷却層が気圧偏差の大きい原因となっていると考えられた (立平, 1956).

3.1 700 mb 等圧面高度の比較

富士山頂の気圧と気温から算出した 700 mb 高度と、ラジオゾンデの 700 mb 基準面高度を富士山の位置に内挿したものと差が第 2 表中の偏差 D である。

富士山では山体に沿う気流は強制上昇するので断熱冷却をする。したがって富士山頂の気温が同高度の自由大気中の気温より低く、その差は風速に比例するといえる (沢田, 1950).

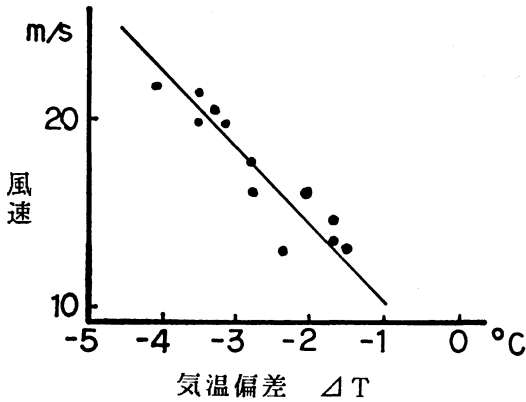
ラジオゾンデの観測値を富士山の位置に内挿し、富士山頂の気温との差をとったのが、第 2 表の Δt である。 Δt と風速との関係は第 4 図に示され、 Δt が風速に比例していることがよく分る。



第3図 気圧(上図)と風速(下図、スケールは $1/2 pV^2$) の対応の例 (Fujita et al, 1952).

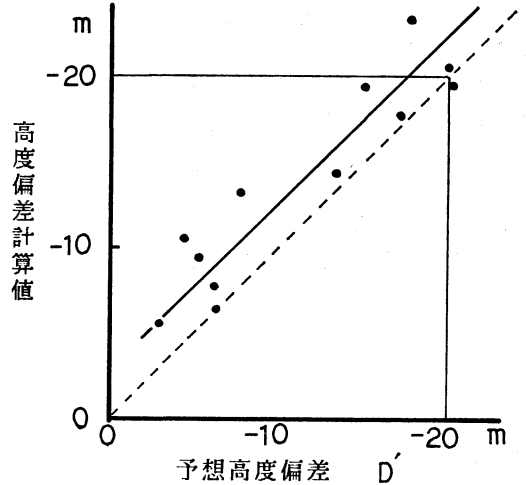
第2表 富士山頂の月平均風速, 700 mb 高度偏差, 山頂気温偏差と山頂気圧高度の予想偏差 (立平, 1956).

月	富士山頂の月平均風速 (m/s)	700 mb 高度からの偏差 D(m)	気流上昇による冷却 $\Delta t(^{\circ}C)$	Δt による高度偏差 $H_{\Delta t}(m)$	山頂気圧の高度偏差予想値 $D'(m)$
1953 8	13.2	1	-1.6	3.9	-3
9	16.0	0	-2.1	5.1	-5
10	13.0	2	-2.4	6.3	-4
11	21.9	-6	-4.1	11.9	-18
12	21.4	-5	-3.5	10.2	-15
1954 1	19.7	-7	-3.2	10.2	-17
2	20.0	-9	-3.5	11.0	-20
3	20.5	-10	-3.3	10.2	-20
4	16.1	0	-2.8	7.5	-8
5	17.9	-6	-2.8	7.4	-13
6	14.7	-2	-1.7	7.4	-6
7	13.5	-2	-1.7	4.1	-6
mean	17.3	-3.7 (1)	-2.7	+7.7 (2)	-11.3 (1)~(2)

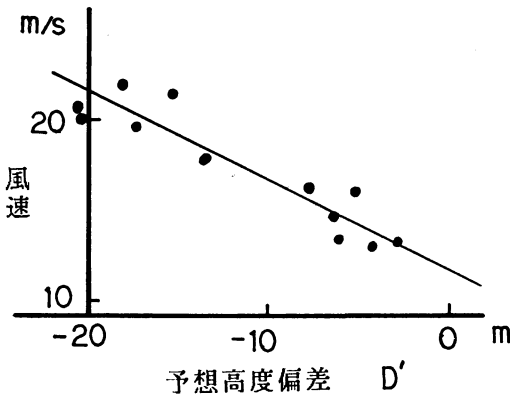


第4図 富士山頂の気温偏差 ΔT と風速.

$\Delta T = T_F - T_z$, T_F は富士山頂の月平均気温, T_z はラジオゾンデの観測から内挿した富士山位置の気温, 時刻は0000 JST (立平, 1956).



第6図 富士山頂気圧における予想高度偏差 D' と計算による高度偏差 (本文参照) (立平, 1956).



第5図 富士山頂気圧高度の予想偏差 D' と風速.
 D' は第2表及び本文を参照, 風速は月平均, 時刻は0000 JST (立平, 1956).

いま, 山頂の気温より Δt だけ高い温度で再び計算すると 700 mb 高度はより低くなる. このことを逆にいえば, 山頂の気温そのままですら計算した 700 mb 高度は Δt の分だけ高く出ていることであるから, Δt による高度差を計算して $H_{\Delta t}$ とし, $D' = D - H_{\Delta t}$ とすれば, D' がとりもなおさず, 山頂気圧高度の自由大気中の偏差と見なして差支えない.

D' と山頂風速との関係は第5図であるが山頂の気圧低下の量は風速に比例し, 平均風速 22 m/s の時, 気圧高度偏差は約 20 m, 気圧の偏差は約 1.6 mb である.

3.2 富士山頂の気圧が低くなる原因

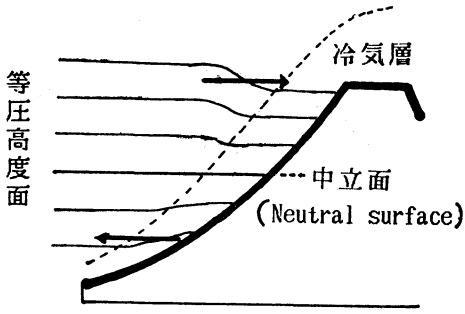
この第3章のはじめに述べた事柄について実験と考察がなされているので簡単に紹介する.

富士山の風上では気流が上向きの垂直加速度をもつので気圧がプラスになり, 風下ではこの反対でマイナスとなる. 測候所は頂上噴火口の西端にあり, 気流の上昇域と下降域の境となる. したがって地形の影響はないと考える.

建物の吸い出し効果については実験を行った. 吹き込み, 吸い出しのある部屋と気圧計室の3ヶ所に自記気圧計を置いて観測を行った. 前に述べた第3図にあるような気圧の変動は認められたが, これは吹きこみが明らかな部屋でも同じ傾向の気圧低下であるので, 建物の吸い出し効果によるとは思えない. この実験の結果, 22 m/s に対しての吸い出し効果は高度偏差にして, せいぜい 2 m 以下, 気圧にして大きく見ても 0.2 mb 以下と考えられた.

以上のことから地形による影響と建物の吸い出し効果は富士山頂の気圧の偏差の原因として無視してもよいと考える. したがって, 山体に沿った冷気層の存在が山頂の気圧偏差を生ずる大きな原因である.

そこで山腹各所の冷却量はその場所の高度に比例すると仮定し, 800 m から 3775 m まで7層に分けて各層の収縮量を各月の山頂の気温偏差 Δt によって計算した. 各層の収縮量の総和を計算値とし, 第2表中の D' と比



第7図 上昇気流による富士山腹断熱冷却層と等圧面高度断面の説明模図(立平, 1956)

較したのが第6図である。図で見られるとおり、計算値は D' の傾向を満足しているが、必ず計算値が大きい。これはある高度以上の層が冷却を受けていると考えればよい。

富士山では、強制上昇の断熱冷却によって山腹に沿った気層は周囲より低温となり収縮して山頂は周囲より低い気圧となる。この結果、上部では収束状態となり、空気が流入するので下部は高圧となり、発散となって安定する。中層には気圧の偏差のない中立の高度があり、この中立高度以上の冷却層が山頂の気圧低下に寄与することになる。これで計算値が D' より大きいことが理解できる(第7図参照)。

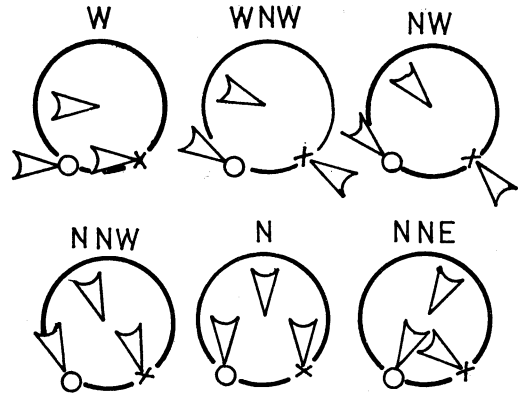
4. 富士山の風

昭和7年7月、富士山頂観測所は東安河原に開設された。第1図の山頂図で見られるとおり、東安河原は噴火口の南東に位置し、現在の測候所のある剣ヶ峰が西側に見える。

昭和11年、剣ヶ峰に移転したが、庁舎床下からの噴気のため観測に支障を生ずるにいたった、というのがその理由であった。

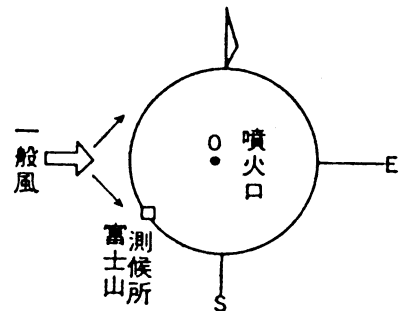
私が富士山頂に勤務しはじめた昭和25年頃、東安河原では地面を掘って風呂を埋め、水を入れておくと湯になったなどと先輩から聞いて上述の移転の理由をすっかり信じていた。ところが、これは表向きで理由と気付いたのは、ずっと後年のことであった。

冬季日本の上空に偏西風が卓越することはよく知られていた。しかし、東安河原の観測所では冬季でも東風が多く観測された。剣ヶ峰や白山岳に風向計を設置しての観測や気球観測などにより、富士山頂付近の気流が確か



○は剣ヶ峰、×は東安河原、中央は主風向

第8図 富士山頂付近の風向
(菅原, 久塚, 1935?)



第9図 富士山頂の気流偏向の平面模図
(藤村, 1975)

められた(第8図参照)。東安河原では風の観測に極めて不具合であったのが一番の移転の理由であった。

建設の困難を克服して日本最高峰の剣ヶ峰は昭和11年に移転したが風の観測の困難さは高峯の故に解消したわけではなかった。

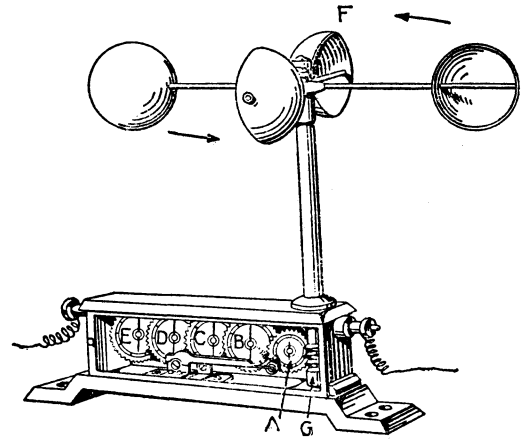
風力塔に登り、風速計のところから下を見るとほとんど30度位の角度で、ふもとが見える。絶好の観測場所であるが風は約30度の角度で吹き上がってくる。測定すべきは水平の風だが疑問が残る。

噴火口の直径は約800m、測候所はその西端に位置し、半径方向は外側に西南西を向く。だから西及至西南西以外の風は噴火口外縁の方向に偏向する(第9図参照)。

風速の年平均は12.0m/sであるが最大風速15m/s以

第3表 着氷の観測回数 (1884~1892)
Mt. Ben Nevis, 1445 m ASL, Scotland
(今井, 1943)

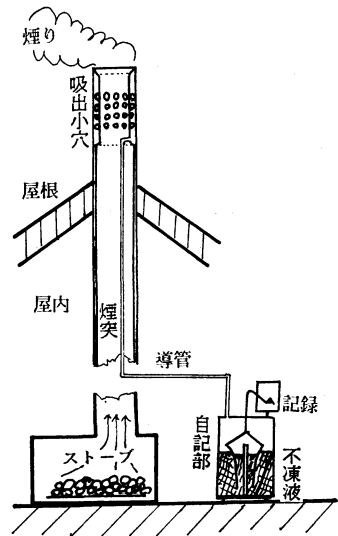
気温 (°C)	回数			
	着氷あり	粗氷	不透明氷	不明
>0	—	—	—	—
0~- 2.8	52	25	22	5
- 2.8~- 5.6	54	8	33	13
- 5.6~- 8.3	30	1	24	5
- 8.3~-11.1	19	—	18	1
-11.1~-13.9	2	—	—	—
-13.9>	—	—	—	—



第10図 ロビンソン式風力計

第4表 着氷の観測回数 (富士山頂 1938~1940)
(今井, 1943)

気温 (°C)	樹氷回数	粗氷回数	計
0~- 5	17	22	39
- 6~-10	34	9	43
-11~-15	45	4	49
-16~-20	11	0	11
-21~-25	9	0	9
-26~-30	4	0	4



第11図 富士山頂のダインス式風力計

上の日数は年間 225 日をこえ、毎月の累年最大風速は全月 50 m/s をこえている。

4.1 着氷

富士山頂での気象観測は雪と氷との斗いであり、なかでも風の観測は着氷に苦しんだ。着氷の現象は過冷却の雪粒が物体に衝突して起こる。風速と雲霧の含水量によるが -7~-10°C 以下の低温の場合、衝突した水滴は瞬間的に凍りつくので、次々に凍りついた氷の間に空気を含んで白色の樹氷となる。

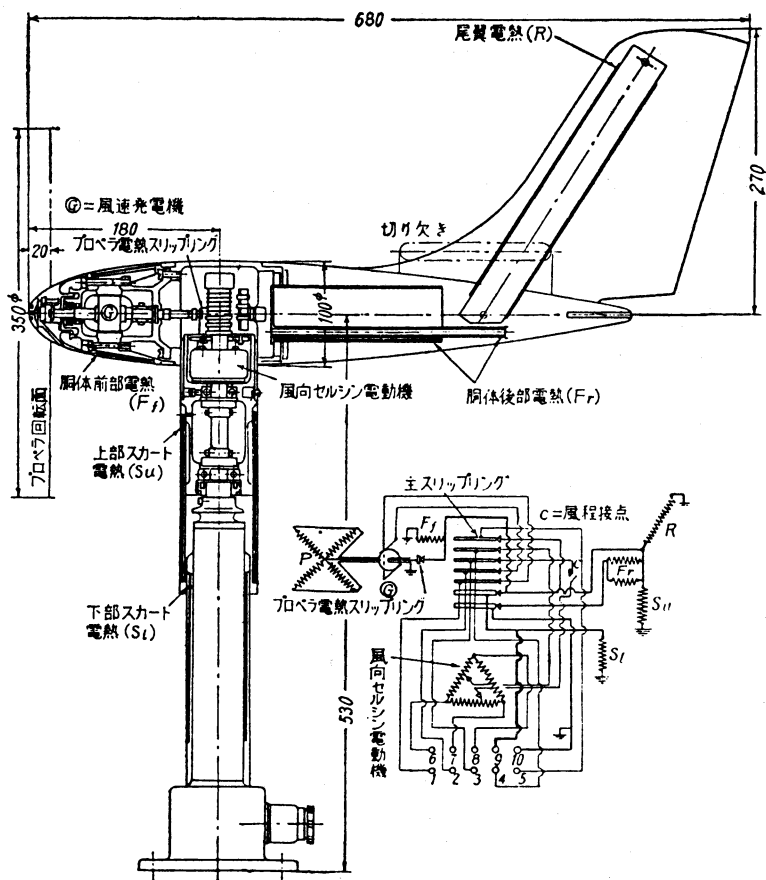
気温が高い場合、水滴は氷結のため潜熱を放出するので、衝突した後、一部分から凍りはじめ温度は 0°C まで昇り、熱を放散して氷結が完了するまで時間がかかる。雲霧が濃密だと、氷結が完了しないうちに次の水滴が衝突して液体の水が氷の間を埋めて凍り空気を含むことが少ないので、密度の高い、半透明ないし透明に近い粗氷となる。気温が 0°C に近いと凍りきれない水が流れて凍り、雨氷となる。

古い資料であるが着氷の観測回数を第3, 4表に示す。着氷があることは雲中に過冷却水滴が存在すること

になる。第4表では富士山頂において -30°C まで着氷が観測されているが、第3表のベン・ネビス山では -13.9°C までである。筆者は過冷却水滴が雲粒中の何%を占めるか気温別の測定を試みた。-10°C で約 70%、-28°C で約 8% であったと記憶している。富士山頂でこんなに低温まで着氷があることは、独立孤峰の故に富士山頂が強制上昇の気流で雲発生の場所であるからと考える。

4.2 着氷時の風の観測

着氷は強い時で1時間 5 cm 以上も風上に向かって成



第12図 防水風向風速計 (佐貫, 1955)

長する。春の低気圧が発達しながら通過するとき、風向は南西に変わり、温度が上がり湿った空気が強い風となって富士山頂を襲う。着氷はすさまじいばかりで、一夜にして風力塔は巨大な氷に包まれてしまう。

このような着氷時に風速計の氷を落し、3時間おきの定時観測を続けることは想像を絶する苦勞であった。

開設初期から戦後しばらくまで四杯型の風速計、いわゆるロビンソン式風力計(第10図)が使用された。その後、三杯式の風速計もあったが平地の官署の風速計が三杯式に制式化されるにつれ四杯式が余剰化したので、それをもって使用した。

着氷と強風のため風速計の消耗は大きく、事情を知らない人からは白い眼で見られることが多かった。着氷の時は木槌を使って風速計とそのまわりの氷を取り除き、風力塔の西側の氷を落して定時の観測を行う。エチレン

グリコールの防水剤もその効果は疑問であったが、次の除氷が容易になるので使用した。

風の強い場合、突然風向が逆になって外に出て見ると、羽根が飛んで頭の方が後を向いていたことも再三経験した。

このような風速の観測に大変役に立ったのは煙突の先端と部屋の中の気圧の差を利用したダインス式風圧計であった(第11図参照)。これはストーブの煙突の先端に、外側に多数の小穴を持つ二重壁の銅製円筒をとりつけ、その静圧をダインス式風圧計の負圧側に導き、正圧側は部屋側に開放してあった。風向が東になったりすると部屋側が吸い出しになることもあったが、大半の時は西風であり、ストーブは常に燃えているので防水効果も絶大であった。

蛇足ではあるが、多少使い古した風速計を気象庁の風

洞で測定して貰ったことがあった。予想に反したものであるが新しい風速計よりも凸凹のある風速計の回転速度が大であった。ただし、軸受けの摩擦したものは出足も悪く、成績も不良であった。

富士山頂に勤務しはじめた頃、スイス・センチス山岳観測所からの防水風向風速計についてのレポートを見たことがあった。

「設置以来、着氷の時期は観測のたびにピッケルを持って風の塔に登り、除氷をする労苦も危険もなくなった。それにもまして嬉しいのは正確で連続的な風の観測が実現できたことだった」と書いてあったのを今でも思い出す。

その後、富士山や測器課でセンチスの風速計に似たもの、赤色電球による外側からの加熱、球形のものなど、防水型風速計の試作実験がなされた。最終的には気象研究所によって電熱ヒータを封入したプロペラ型の防水風向風速計が開発され、昭和39年、富士山頂に設置され、改良工夫を加えながら現在にいたっている(第12図参照)。

5. 富士山の気流

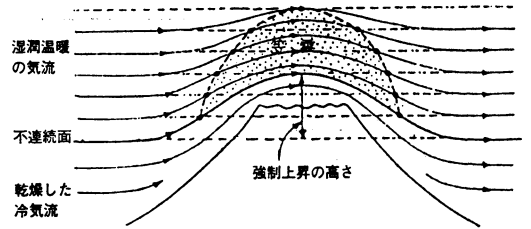
最近であるが、静岡のTVを見ながら朝食をとっていた。天気の良い朝には静岡からの富士山遠望の画面を見せながら、今朝の富士山は良く見えて……、とアナウンスするのだが、その朝は違った。富士山に笠雲がかかり、静かな良い天気です、といていたのが大変奇妙に聞こえた。

笠雲がかかると悪天候の兆しといわれており、富士山勤務の交代でも、登山を中止したことが度々あった。河口湖測候所の調査によると悪天候になる確率は60~70%と高い。

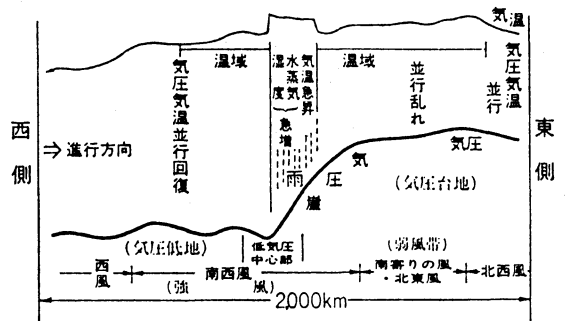
富士山の笠雲は湿った気流の強制上昇によって起こる(第13図)。第3章に述べたとおり、強制上昇による断熱冷却は山頂の風速に大体比例する。だから、風が相当に強くないと、断熱冷却も弱く、笠雲も発生にいたらない。山頂で笠雲の発生を見ていると、くらげのような雲が測候所のところでパッパッと発生し、噴火口の上でひろがり、噴火口の対岸の向うに下降しながら消えて行くが、そのスピードは大変に早く、30~40秒で噴火口(直径約800m)を通過する。

上空の風がある程度強くなると気流に波動が生じ、定常波を発生して風下側に吊し雲が発生することがある。

吊し雲が見える場合は、定常波の存在を知ることがで



第13図 笠雲の構造とでき方 (NHK ブックス、富士山から)



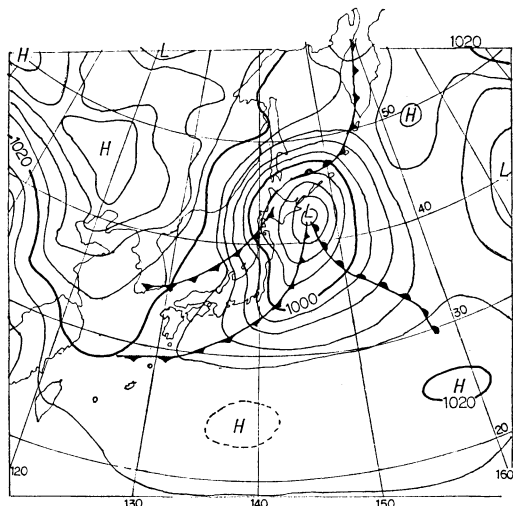
第14図 気圧の段丘状変化と気象推移 (藤村, 1974)

きる。しかし、山頂で風が吹き荒れているときは、たとえ晴天であっても富士山の風下側には、強い乱気流が起こり、山腹には渦を伴った吹き下し、強い反流などが起こっていることが多い。

今まで富士山で観測された最大風速は72.5 m/sで勿論台風の際の記録である。しかし、長時間にわたって50 m/s以上の風が吹き続けることがある。それは低気圧が東方に去り、季節風の吹き出しがある場合である。この状況を第14図に示す。

季節風の吹き出しの強風によって富士山で起こった3例の事故について簡単に述べる。

昭和31年3月5日、10時頃、山頂付近を東に通過した米軍C47輸送機が山頂勤務員の手を振ったのに応えたのか、Uターンした途端、東側御殿場口九合目に墜落した。幸い、機首を頂上方向にしてほとんど斜面に平行に着陸したので、そのまま滑落、八合目付近で停った。乗員は生命に別状なく、機長は徒歩で山頂に救助を求めた。この日は快晴で9時の気温は-15°C、風は北西24.1 m/s、10時は20.6 m/sでたいした風ではなかった。これは全く富士山風下側の下降流と山腹に沿っての上昇反流による事故であったと考える。以後、米軍機は富士山頂に立寄ることがなくなった。



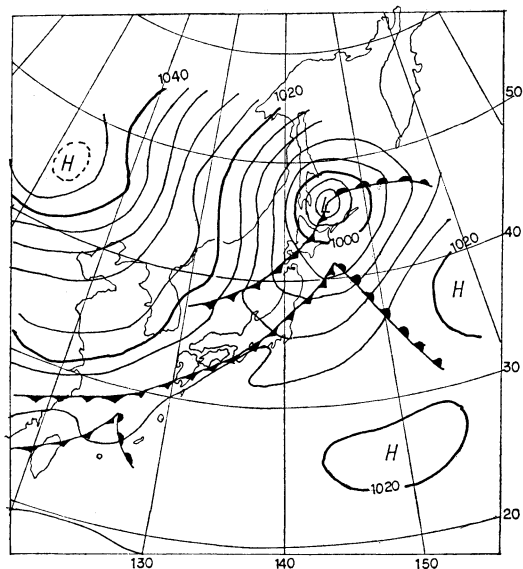
第15図 昭和41年3月5日09時の地上天気図

悲惨なのは昭和41年3月5日の BOAC 機の墜落であった。機は13時57分、羽田を出発一路西に向かって御殿場上空に達した時は高度約4900 mであった。風は強く富士山は雪煙を上げていたが、くっきりとした青空を背にしていた。しかしその数秒後、大きな衝撃とともに機体が破壊、御殿場口太郎坊付近（標高1300 m）にバラバラになって墜落した。山頂14時の風は北西 30.9 m/s、15時の気温 -9.1°C 、風速 37.6 m/s であった。これは富士山風下側の乱気流と考えられる。そして天気図は低気圧後面の季節風の吹き出しである（第15図参照）。

富士山の後流は山体に沿って渦を巻きながら2000 m位の標高まで一気に吹きおろしていることがある。昭和33年2月26日、長田輝雄氏が山頂勤務交代登山中、七合目で突風で滑落遭難したのは、このような日だった。山頂の気温は12時に -14.9°C 、風は西北西の 41.8 m/s、15時の風速は 32.6 m/s と少し収まったが全くひどい気象条件であった。天気図を見ると強烈な季節風の吹き出し型で、山頂の風は18時になって漸く 21.5 m/s と平常にかえった（第16図参照）。

6. 謝辞

資料の提供をいただいた富士山測所の皆さん、第3章



第16図 昭和33年2月26日09時の地上天気図

についてご指導をいただいた立平予報部長に深く感謝します。

文献

- 藤村郁雄, 1974: 富士山 第1部 富士山の気象, 富士山総合学術調査報告書, 富士急行 KK., 223, 249.
- Fujita, T. and K. Otani, 1952: Pressure Oscillation due to High Wind: The report of Met. Lab. Kyushu Inst. of Technology, 2, 1, 50-63.
- 今井一郎, 1943: 着氷を起こす気象学的条件に就いて, 雪氷, 5-8, 24.
- 佐貫亦男, 1955: 気象器械 (その1), 気象学講座, 地人書館, 6, 5.
- Sawada, R., 1950: Temperature Difference between Mountain Top and Free Air, Geoph. Mag., 21, 2, 190.
- 菅原芳生, 久塚清隆, 1935: 富士山頂付近の気流, 天気と気候, 2, 493-495.
- 立平良三, 1956: 富士山頂の観測値から求めた 700 mb 推算高度について, 研究時報, 8-12, 751-758.