

富士山頂の気象観測施設

里 見 穂*

1. はじめに

富士山に関する気象学的な調査研究は非常に多くなされている。富士山は高さ3776mの独立峰であるため他の山岳とは違った気象学上の興味があるためであろう。このため気象観測は明治の初期からおこなわれたが本格的に観測がおこなわれるようになったのは昭和に入ってからである。当時は観測機器、設備とも貧弱であったが現在では一新され、とくに居住区は近代建築の粋を集めて最近改築された。

富士山の気象観測結果は天気予報などに広く利用されているばかりでなく、年間のべ数万人におよぶ登山者への気象サービスとして大いに役立っている。山頂には世界一といわれる大型気象レーダーがあり台風、集中豪雨などの監視にはこれまで大きな成果を上げているのは周知のことであろう。

ここでは富士山頂の気象観測の方法を述べ、さらに一部生活上の問題点にもふれてみたい。

2. 富士山頂の気象観測概要

富士山の気象観測の歴史については多く紹介されているので詳しくは記述しないがその概略を述べる。

明治13年8月、3～5日までの3日間、東京帝国大学講師 T.C. Mendenhall が富士山頂で重力測定をした際、後の中央気象台第3代台長になった中村精男らが気象観測をおこなったのが最初の記録である(第1図)。このときは気圧、気温、湿度、天気を観測している。

その後、明治28年から同36年まで毎年7、8月のみ気象観測をしていた。このとき、明治28年野中到が剣ヶ峰に私設の観測所を設立して越冬をしようとしたが果し得なかった。しかし10月から12月まで、苦難の多い冬期観測をしたのは有名である。明治39年から同43年までは夏

期のみ観測がおこなわれたが、佐藤順一が昭和2年に山頂東安河原に観測所を設立するまで気象観測が中断されている。

第2極年がはじまる昭和7年7月に中央気象台の富士山観測所が山頂東安河原(現在の電々公社小屋)に設立され、年中無休の通年観測が開始された。しかし、東安河原では天気図上では当然西風であるべきときでも地形の影響により東風となることが多いことがわかり、昭和11年7月、西風に直面する剣ヶ峰へ観測所を移設した。この辺の事情は藤村(1974)が詳しく述べている。その後観測の方法は大きく変ることなく経過した。昭和10年代の観測種目は第1表のとおりである。また当時富士山頂の現象観測として特設したものを第2表にあげた。このうちで現在使用しているのは山雲、吊雲、笠雲、上昇気流による雲である。

昭和39年富士山レーダーの設置と同時に観測法も大きく変わり、観測はすべて自動化され、テレメーターにより毎時のデータが観測されるようになった。

3. 地上観測(テレメーターシステム)

昭和39年、富士山レーダーの設置に伴って1日8回の地上観測はテレメーター化され目視による観測以外はすべて自動化された。そのシステムは広く紹介されている。

設置されてから10年以上経過しているが当時としては電子技術の先端をゆく自動測器として注目された。しかしその後の目ざましい電子技術、データ処理技術の発展により今となってはやや旧式となってしまったところもあるが自動観測装置としての基本的な考え方はあまり大差ないと思われる。その概要を述べる。

観測される気象要素(気圧、気温、露点温度、風向風速、水平面日射量)の出力はアナログ式の記録計で連続記録されると同時にすべての値はA/D変換されてデジタル化される。このデジタル化された値は毎正時にレーダーリレー回線により約100km離れた気象庁へデータ伝送されて全国で利用されている。

全装置の系統図を第3図(1965)に示す。

System of Meteorological Observation at the Top of Mt. Fuji

* M. SATOMI (富士山測候所)

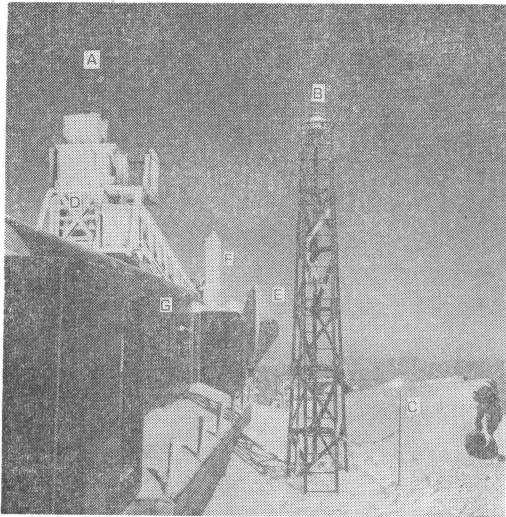
—1975年12月27日受領—

—1976年1月受理—

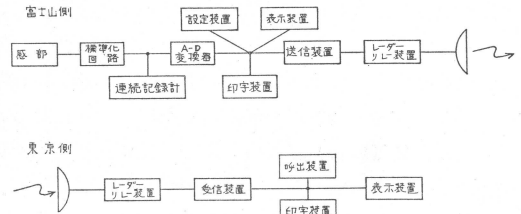
*Observations météorologiques faites à l'Alta-stan Mount Fuji.
par M. H. A. Nakamura et J. Madai.
Août 1880.*

Date Août 1880.		Pression atmosphérique						Température de l'air avec humidité.									
		Hauteur du baromètre		Humidité attachée		Hauteur sèche		Thermomètre -60		Thermomètre mouillé		Point de rosée		Température adoubeant		Humidité relative	
Hour	Hour	Mer.	Fair.	Mer.	Fair.	Mer.	Fair.	Mer.	Fair.	Mer.	Fair.	Mer.	Fair.	Mer.	Fair.	Mer.	Fair.
1	AM	10.05	10.3	10.00	10.3	10.00	10.3	10.00	10.3	10.00	10.3	10.00	10.3	10.00	10.3	10.00	10.3

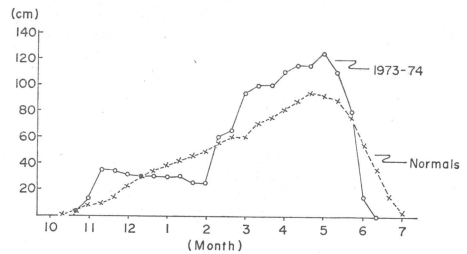
第1図 富士山頂最初の気象表
明治13年8月3日ー5日, 中村精男, 和田雄治が観測したもの。



第2図 富士山頂付近 (昭和49年12月)
A: 風車型風向風速計, B: 日射計, C: 雪尺,
D: 百葉箱, E: レーダーリレーアンテナ, F: V
HFアンテナ, G: 2号庁舎。



第3図 富士山気象テレメーター系統図



第4図 富士山頂剣ヶ峰の積雪の深さ

第1表 観測事項、測器及时刻一覧表

観測事項	測器	摘要
気圧	フォルタン型水銀晴雨計 自記空盒晴雨計 (日巻) 同 (週巻)	毎日6, 9, 10, 12, 14, 18, 22時の7回水銀晴雨計を実測し自記々録から毎時の値を読みとり最大, 最小値を求める
気温	フース型アルコール寒暖計 (水銀寒暖計併用) 通風寒暖計 ブルドン管自記寒暖計 (日巻) 同 (週巻) (双金属自記寒暖計併用)	同上
湿度	乾湿計 (アルコール寒暖計) 通風乾湿計 毛髪自記湿度計 (日巻) 同 (週巻)	前二事項と同じく一日7回の実測値と自記々録から毎時の値を読みとり最小値を求める
水蒸気張力	乾湿計 (アルコール寒暖計) 通風乾湿計	1日7回の乾湿計の実測から算出し, 他は気温と湿度の自記々録から算出し, 毎時の値を出し最大最小値を求める
風	腕型風力計 菅原式防水風力計 電接回数自記器 風信器 風信自記器	自記々録により10分間または1時間の平均速度を求めて毎時の値とする。この値から日最大風速度を求める。着氷等により一定時間の風程を求めることができないときは別の方法による*。
雲	(目測)	6-22時の毎時, 一日7回の実測。雲形, 雲向および雲速を目測。
日照	筒型日照計	
雑象	(目測)	

[注] 測器の名称は当時のものである。

* 着氷時の風速は次のようにして求める。凍結した風力計の氷を全部落して後, その電接間かくの時間を逐次測りその次第に増大する状況により風速の遙減を知り, これにより着氷しはじめのまだその影響の及ばない時の風速を推定する。

第2表 現象記号表 (富士山頂気象観測上特設のもの)

山雲	吊雲	笠雲	雲海	上昇気流による雲	山の御光	先端放電
影富士	影富士にできる山の御光	上方煙霧	下方煙霧	下界の煙霧		

4. 観測要素とその方法

(1) 気圧の測定

フォルタン型水銀気圧計の水銀柱に白金抵抗線をはったものを使用し, 水銀柱の上下による電気抵抗の変化を直流電圧 (0~10mV) に変換させて測定している。本

体は外温の影響を少なくするため20°Cの恒温槽に収納されている。風が非常に強いときには正または負の動圧が加わって記録計の指示値は大きな振動を示すことがある。

(2) 気温の測定

白金抵抗線を用いた温度計で測定する。温度による白金の電気抵抗の変化を直流電圧に変換させる。白金抵抗線の変化は温度に対して直線的でないのでリニアライザーで補正している。

(3) 露点温度の測定

Dewcell 露点計で測定。これも出力をリニアライザーで補正して直線性をよくしている。

(4) 風の測定

一般気象官署で使用されている風車型風向風速計 (エロペン) を用いているが着氷を防ぐため内部の各所に

第3表 富士山頂の天気符号表

符 号	000	001	002	003	004	005	006	007	008	009
天 気	快晴	晴	薄曇	曇	霧	霧と雨	雨	雪	霧と雪	雷雨

ヒーターを埋め込んである。

。 風向

風向、すなわちエエロベン胴体の方向をシンクロ発信器（セルシン）で電気信号としてとりだし、この信号の出力をシンクロ制御変圧器で受けてサーボ系を形成させる。このときアナログ信号としてコイルで出力をとりだして記録計へ、また平均風向を求めるため36方位に区分したコード板を用いこれに光をあて1分間に通過する光の量を各方向ごとに計数する。1分間に最も多く計数した方位を平均風向としている最多風向方式である。なお平均風向の測定は正時の2分前から1分前までの1分間平均である。

。 風速

エエロベンのプロペラ回転軸に発電機をとりつ AC 電圧として出力し瞬間最大風速を連続記録する。平均風速は設置当時エエロベン内に風程パルス発生器をとりつけてパルスをカウントすることにより10分間平均風速を測定したいが、本体内に防水用のヒーターを入れてあるため接点不良の故障が多く発生した。このため設置してから1年後に直接エエロベン発電機の AC 電圧をパルスに変換して平均風速を求める方式にした。

平均風速は正時の10分前から正時までのものであり毎正時に算出される。

(5) 水平面日射量の測定

エプレー日射計を使用している。この DC 出力(熱電対の出力)を積算パルス発生器で時間積算量を毎正時に算出している。着氷防止として内部にヒーターを入れ、さらにヒーターによる熱対流、温度のかたよりを防ぐためファンにより内部の空気をかくはんしている。

(6) 目視による観測

天気(晴、くもりなど)は1日3回(09, 12, 15, 時), ただし夏山期間中(7, 8月)は11, 16時が追加され1日5回観測している。データを伝送する場合は第3表のように符号化する。また主な現象記事(降水現象、雷など)は昼間のみ観測している。

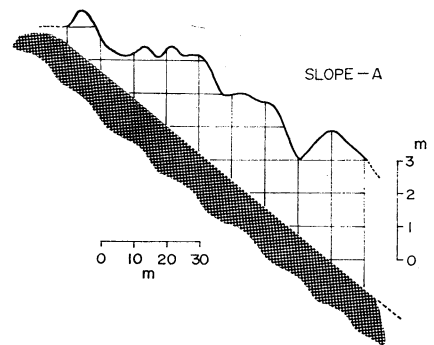
(7) 積雪深の観測

富士山頂での冬期間は風が強い(平均の平均風は17m/s くらい)、平地のような雪の積り方はしない。地

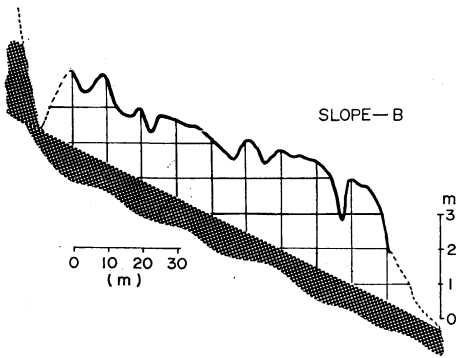
形の凸部ではほとんど積雪がなく、凹部では数メートル以上になり、いわゆる雪の吹き溜りが出来る。富士山頂のような場所で積雪の観測することに問題があるが山頂での積雪の目やすとして毎日積雪の深さを観測している。観測地点は剣ヶ峰三角点付近(第2図のC)で2号庁舎の東側である。西寄りの風が卓越するので雪の吹き溜りが出来やすいところである。第4図は1973~1974年にかけての積雪の深さを示したものである。破線は平年値(統計期間1951~1970年)である。1973~74年の積雪は山頂付近からの状況からみて寡雪年であったにもかかわらず平年値よりも多くなっているのは新庁舎のため雪の吹き溜りが出来やすくなったためと思われる。

山頂付近での積雪の深さを斜面に沿って測定したのが第5~7図である。各々の測定場所は第8図の斜面A, B, C であり山頂付近で最も積雪の多いところである。第5~7図では積雪の深さを地面に対して10倍に拡大してあるので凹凸が大きく表現されている。これによると剣ヶ峰三角点付近での観測値より2~3倍の積雪の深さとなっているところもある。

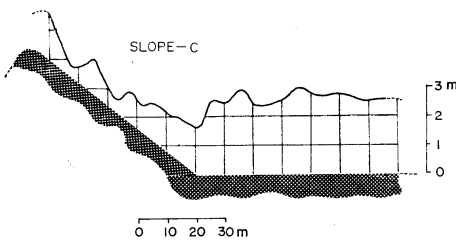
三角点付近と火口斜面(第8図の斜面A)での積雪断面観測をしたものを第9, 10図に示す。5月頃の最も積雪が深いときのものである。各積雪断面とも氷の層が数多くみられ、その厚さは0.5~3cm はある。積雪の密度は0.5~0.6g/cm³ である。また2~3層に砂じんが混入した層も観測される。また三角点付近の積雪断面と積雪の深さの変化を比較すると氷板層と降雪の少ない時期とがよく対応していることがわかる。山頂付近では降雪が少ないときに雪面が凍結してクラスト状の氷板が出来る。クラスト状になった雪面では少量の降雪は風で飛ばされてしまうことが多く、また積雪となるためには短期



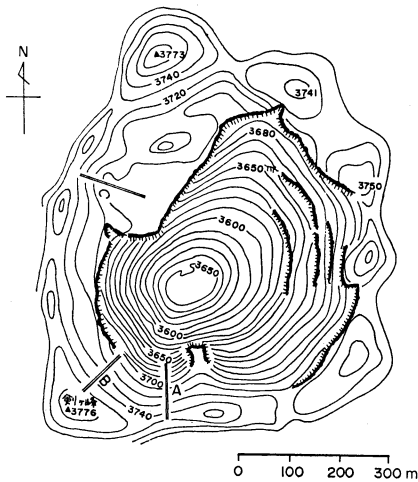
第5図 富士山頂付近の斜面(A)に沿う積雪の深さ、積雪の深さは地面に対して10倍に拡大してある。



第6図 斜面(B)に沿う積雪の深さ



第7図 斜面(C)に沿う積雪の深さ



第8図 富士山頂付近の地形図
等高線はm単位

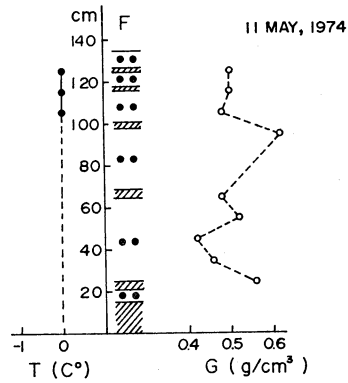
間に多量の降雪がなければならぬ。

5. 風の観測に関する問題点

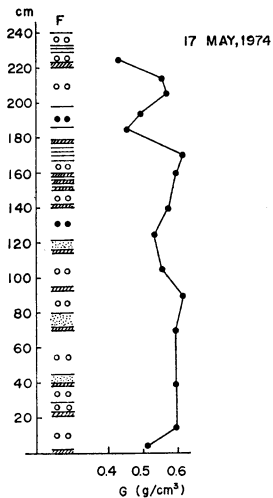
(1) 自由大気との比較

天気予報などで富士山頂の風を利用する場合はたしてこれは自由大気の流れを代表するかどうか問題になっ

1976年2月



第9図 富士山頂剣ヶ峰の積雪断面
Fは雪質(黒丸はざらめ雪, 斜線は氷板を示す). Gは雪の密度.



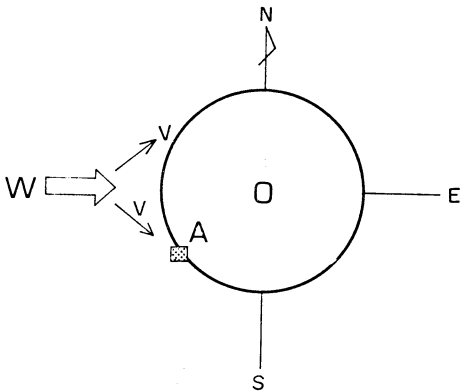
第10図 斜面(A)の積雪断面
Fは雪質(白丸はしまり雪, 黒丸はざらめ雪, 斑点は砂じん混入, 斜線は氷板, 実線は境界層を示す). Gは密度.

てくる。藤村(1971)は高層観測資料を用いてその比較をおこなった。それによると風向は富士山頂では自由大気より約20°北に偏奇しており、風速は2 m/sec 富士山頂のそれが大きくなっている(いずれも年平均)。その理由として第11図に示すように富士山頂での風の主方向は西寄りであり、山体の影響により主風向に対して北の成分をもった支流が加算されるためであるとしてい

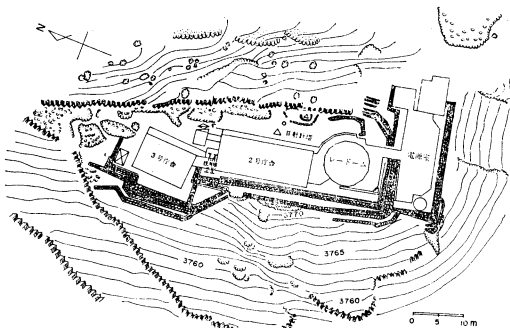
第4表 高層観測による風と富士山頂の風の比較 (藤村)

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年平均
3地点平均風向	272	278	276	265	259	253	268	251	253	260	264	268	264
山頂の平均風向	299	300	297	285	278	272	296	289	276	280	281	291	286
差(山頂)-(3点平均)	27	22	21	20	19	19	28	38	23	20	17	23	22
3地点平均風速	19.5	20.7	17.4	12.4	10.3	9.6	8.2	4.7	10.1	9.1	16.8	19.2	13.2
山頂の平均風速	19.0	19.9	19.5	15.6	14.4	12.4	12.7	9.0	13.4	12.7	16.6	18.3	15.3
差(山頂)-(3点平均)	-0.5	-0.8	2.1	3.2	4.1	2.8	4.5	4.3	3.3	3.6	-0.2	-0.9	2.1

(注) 3地点=館野, 輪島, 潮岬高層観測所



第11図 富士山平面の模型図
Aは測候所, Wは一般流, Vは支流, Oは火口.



第12図 富士山測候所の平面図

る。一方、風速は山体に風が当たって上昇する分が一般流に加算されるためであるとしている。このことは佐藤(1974)の富士山をモデルにした風洞実験でも示されている。また最近の調査(1972)でも富士山頂の風(F)と館野の700mbの風(T)との間に

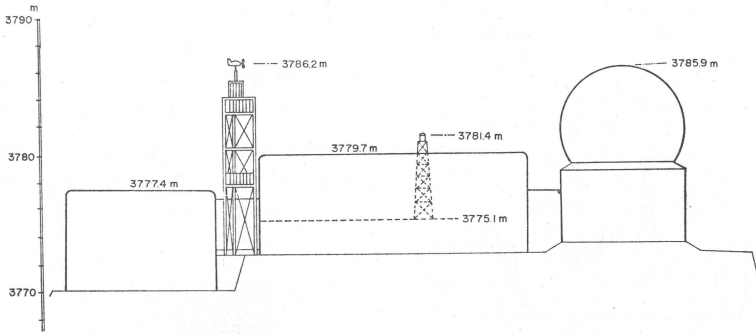
$$F=1.14T$$

の関係があるとしている。

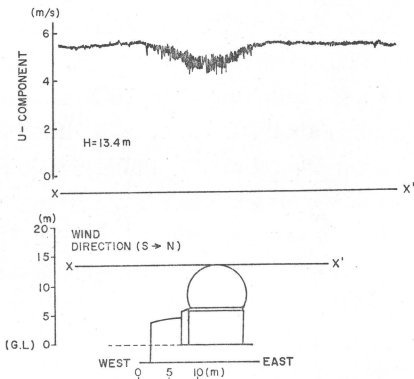
(2) 風の乱れについて

富士山頂には庁舎などの諸施設がありこのため風の乱れが生じやすい。このことについては村木(1974)が詳しく調査している。その後新庁舎が完成し観測塔も新しくなったが依然として風の乱れが生じている。観測塔と諸施設の位置関係を第12図(平面図)と第13図(立面図)に示した。現在、風の乱れに最も大きく影響をおよぼすものはレドームである。庁舎改築のとき風に乱れが生じないようにするには観測塔の高さをどのくらいにすればよいかという実験が気象研究所で模型を用いてなされた(1971)。これによると観測塔の高さは2号庁舎の屋根より約5メートル、レドームより3メートル高くする必要があるが、レドームと同じ高さ(3785.9m)では風下センターラインの位置で平均15%の風速の減少が生ずる(第14図)と報告している。現在のエエロベンの高さは3786.2メートルでありレドームより0.3メートルだけ高い。このため実際の風の観測ではS~SSEにかけて激しい風の乱れが生ずる。第15図はその実例であり風向がSSEになったとき、エエロベンは激しく右左に振れるため記録紙からは全く風向の判別ができない。このため風速は実際より少なく記録される。1975年2月7日の例(第15図)では、9時前は着氷のためわからないが13時17分頃まではSSEの風向であるため風の息が大きく、平均風速としては実際のものより相当少なく記録されていると思われる。13時17分すぎからは風向が西寄りになったためレドームの影響から外れて風の乱れがなくなっている。

修多羅(1971)は山頂の風の観測で椀型4杯風速計から風車型風向速計(エエロベン)への切換によって約67%の風速の減少があるとして、その理由の一つに風向の乱れによるエエロベン本体の激しい振れによるものであると報告している。現在の観測塔の高さは庁舎改築前の



第 13 図 富士山測候所の立面図（南北断面）



第 14 図 観測塔の風におよぼすレードームの影響，風洞内の風速は 5 m/sec，実風速に換算すると 23m/sec に相当する。（風向南）

それ（3782.5m）より 3.7m 高いので以前より風の乱れる範囲は狭くなった。

(3) 着氷の問題

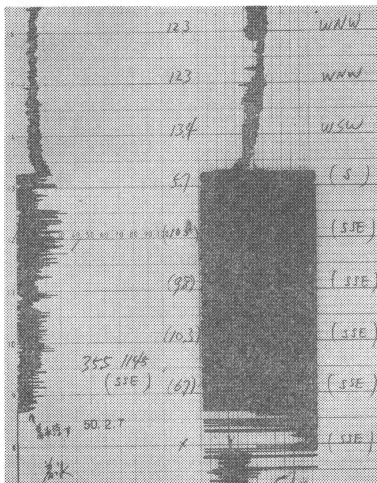
富士山頂では冬期間低気圧などの接近で湿った気流が入り気温が上昇（ $-10 \sim -5^{\circ}\text{C}$ ）すると建物，屋外にある測器等に多量の着氷がつく。これは過冷却した霧が建物等に付着すると凍結し遂次風上側に成長するものである。

屋外に設置されているエネロペンは着氷の被害を受けやすい。とくに回転部分があるため多量の着氷が付くと風向風速計の役には全くたたなくなる（第15図の着氷部分）。着氷の問題は富士山頂の風の観測史上多くの苦勞を与えてきた。前述したように現在はヒーターを入れてあるが着氷を完全に防ぐことは技術的に困難である。最近、可動部分をなくした新しい型の風向風速計を気象研究所で試作実験中である。

6. その他の特殊観測

富士山は特殊な気象条件にあるので今まで種々な観測がなされてきた。着氷の観測⁽¹⁾，雪の結晶の観測⁽²⁾，永久凍土の観測⁽³⁾，自然氷晶核の観測などがある。

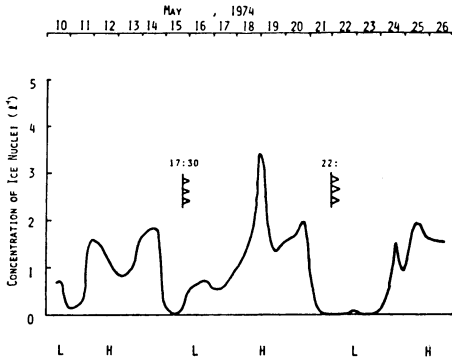
松原，田中（1975）は直径0.45ミクロン以上の自然氷晶核粒子を捕捉できるミリポアフィルターを用いて観測



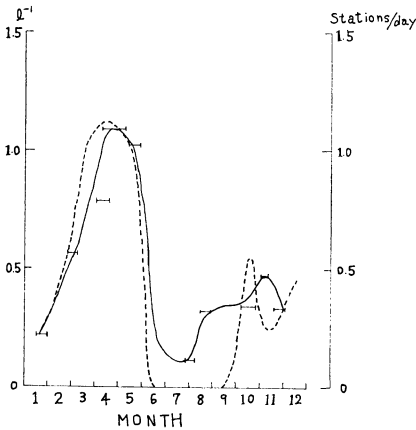
第 15 図 風車型風向風速計の記録例

【脚注】 主なものに

- (1) 大田正次，1944：着氷による物体の温度上昇に就いて，気象集誌，22巻4号
- (2) 今井一郎，1944：着氷の初期に就いて，気象集誌，22巻5号
- (3) 今井一郎，1949：雪の初期結晶について，気象集誌，27巻3号
- (4) 藤井理行・樋口敬二，1972：富士山の永久凍土，雪氷，第34巻第4号



第 16 図 富士山頂における1974年5月の氷晶核の濃度変化 (松原, 田中). Hは高気圧場をLは低気圧をあらわし ▲▲▲▲ は前線が山頂を通過したことを示す.



第 17 図 各季節の氷晶核濃度と中国大陸における砂じん発生頻度 (松原田中) 実線は氷晶核濃度, 破線は中国大陸における砂じん発生頻度を表わし, 細い横線は観測期間

した。観測結果によると自然氷晶核の濃度は、短期間の変動では高気圧場で高い値を示し、低気圧場では低い値を示す (第16図)。季節変動では春 (3~5月) には高い濃度を示し、夏 (6~8月) には低い濃度を示す。これは中国大陸における砂じんの発生頻度と非常によい対応を示している (第17図) ことから富士山頂で捕捉された自然氷晶核は中国大陸からきたものであると推論している。

7. 富士山頂での生活条件

山頂の特殊な条件下での勤務は平地では考えられないいろいろな問題が起こる。神山 (1974) は山岳生気象について詳しく報告している。その中で、酸素分圧の減少は直接肺胞気、血液中の酸素分圧の減少につながり、これを平地と同じように補給するには過呼吸、脈はく数の増加となる。第5表に神山が求めた東京と富士山における外気圧と肺胞気圧を示してあり、酸素分圧は平地の約半分くらいしかないことになる。山頂勤務者が低酸素、低圧に順化するまでは軽い作業をしただけでもすぐ息切れをしたり、激しい動悸をおぼえたりすることがある。山頂の生活に馴れるまでの時間は個人差と経験にもよるがほぼ4~5日間かかる。長期間にわたる酸素の欠乏は思考力の低下、注意力の散漫、根気力の低下など精神的障害を引き起こすことがある。このため山頂の諸施設には危険な高電圧 (高圧受電設備) を取扱うものもあるので安全性には十分注意を払う必要があるし、また取扱いには十分熟知していなければならない。

山頂での生活を維持するための一つとして水を確保するという生活作業がある。現在、山頂新庁舎には約30トンの水槽があり、夏期は雪融け水や天水を集めて使用するが、冬期は第18図のように霧氷を採集して水槽に貯蔵する。年間の水使用量は第6表のようになる。

庁舎の暖房は全て電熱によっているので冬期間、外の乾燥した空気 (相対湿度は30%台) を加熱すると湿度は

第5表 富士山と東京における月別外気圧と胞気圧 (mm-Hg) 神山)

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
富士山	外気	468.3	469.2	472.0	476.4	478.9	482.1	486.9	486.8	484.6	482.5	478.4	473.0
	肺胞気	59	59	60	60	61	61	62	62	61	61	60	60
東京	外気	761.0	761.4	760.9	760.9	759.0	757.0	756.9	769.7	759.0	762.4	763.4	760.2
	肺胞気	100	100	100	100	100	99	99	99	100	100	100	100



第 18 図 霧氷とりをする職員（伊藤技官撮影）

第 6 表 富士山頂の使用水量

	1日の使用量	使用日数	年間使用量
	トン	日	トン
調理洗面	0.2	365	73.0
入浴	0.5	75	36.5
加湿	0.2	300	60.0
便所使用	0.04	365	14.6
便所清掃	—	—	8.0
エンジン冷却水	—	—	0.4
計			192.5

非常に低くなる。実測によると加湿しないときの庁舎内は相対湿度 10 数%に低下し、加湿することにより約 30 数%まで上げることができる。

8. おわりに

富士山頂での観測施設としてこのほかに富士山レーダーがあるが、これは多くの報告があるのでここでは記述しないことにした。山頂の庁舎は1973年10月完成して居

住性が一段とよくなり、また同時に送電線も更新されて 3.3KV (1944年布設) から 6.6KV になった。近い将来、レーダー、テレメーター等の観測施設も更新される計画になっている。今日までの先輩諸氏の貴重な観測を礎にしてよりよい観測をするよう努力しなければならぬ。

最後に本文を作成するにあたり富士山測候所増設技官ならびにテレメーター担当者の御言助をいただき、また富士山測候所中川所長、東京管区気象台宮坂技術課長に御理解をいただいたことを感謝いたします。

文 献

中央気象台, 1949: 富士山頂の気象, 富士山頂観測所気象報告 第1号。
 藤村郁雄, 1971: 富士山の気象, 富士山(富士山総合学術調査報告書), 215-304。
 —, 1974: 富士山における気象観測の周辺, 気象研究ノート, 第118号, 1-21。
 神山恵三, 1974: 富士山頂観測所員の健康管理, 気象研究ノート, 第118号, 107-112。
 気象研究所, 1971: 富士山測候所の風速計設置高度に関する風洞実験報告。
 松原広司・田中豊顕, 1975: 富士山頂における自然氷晶核の変動特性(V) —まとめ1975年度春季大会講演予稿集(27), 82。
 丸浜徹郎他, 1965: 気象テレメーター装置, 三菱電機技報, 第39巻第4号, 24-28。
 村木彦磨, 1974: 富士山頂の風の観測, 気象研究ノート, 第118号, 65-73。
 佐藤浩・恩田善雄, 1974: 富士山周辺の流れと風洞実験, 気象研究ノート, 第118号, 55-61。
 修多羅英一, 1971: 富士山気象テレメーターについて(4), 東管技術ニュース, No.21, 28-32。
 東京管区気象台調査課, 1972: 風速計の移転に伴う富士山頂の風速の変化。