

富士山頂における気象電気の観測*

関 川 俊 男**

上層大気中の気象電気の観測の一方法として富士山頂において空中電位傾度の連続観測を1957年より実施した。その日変化は夏期には double periodical となる。これは下層の大気の影響を受けている為に起る現象と考えられる。これに対して冬期は single periodical な change をし海洋上で観測した data に酷似している。これは交換層が冬期は山頂よりはるか下に降り完全な自由大気中の電場を観測しているものと考えられる。

このほか、山頂では、大気の電気伝導度の観測も実施した。これらの結果につき報告する。

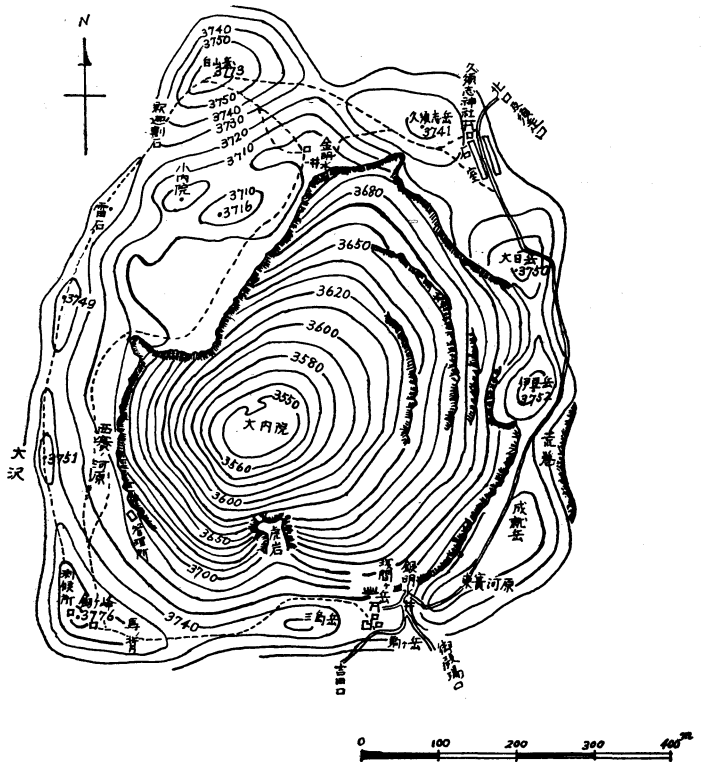
まえがき

山岳地帯での気象電気の観測は交換層の上側で気象電気を観測するという意味では極めて有意義なものであると思う。欧州山岳地帯での観測は相当大規模に実施せられているが本邦では富士山における鳥山、内川¹⁾による電場の観測、大田²⁾による凝結核の観測が報告されているのみである。筆者等*** は1957年8月より1958年11月まで約1ヶ年間富士山頂に於る大気電場の日変化の連続観測を行い、更に1959年には設備を増加し大気の電気伝導度をも同時に測定した。その結果について既にその一部を発表しているが³⁾、本稿はそれらを取りまとめたものであ

る。

また、それと共に Israel 等によって行われた Alps での観測結果⁴⁾と比較しながら山岳地帯での気象電気の観測につき検討を加えてみたいと思う。

1. 観測点の地形



第1図 富士山頂の地図

本観測の観測点としては富士山頂劔ヶ峯にある測候所一号舎日照計室を使用した。まず付近の地形から説明すると、富士山は東経 138°44' 北緯 35°21' に位置し高度 3,776 m の独立した円錐形の休火山で付近には高山は皆無の全くの独立峰であり、又山麓はなだらかな斜面を有

* Observation of Atmospheric Electricity at Summit of Mt. Fuji.

** Toshio Sekigawa 東京理科大学物理学教室 (Department of Physics, Tokyo College of Science.) —1960年1月21日受理—

*** 東京理科大学地球物理学研究室及び富士山測候所の共同観測として実施した。

しており付近の都市としては御殿場、三島、富士吉田等があるすべて観測点より 20km 以上離れている。又観測点付近の地形は第 1 図のとおりである。測候所付近の建物の略図は第 2 図、第 3 図に示す。此の観測点は電場観測の為には幾何学的条件は悪いが冬期観測の場合、管理の点特に風当り、着氷、飛雪等が比較的少い所として此の点を選んだものである。測定装置としては collector に Ra-foil を用い、記録装置は Benndorf electrometer を用いた。

2. 電位傾度観測結果

観測は1957年8月より1958年11月まで行われたがその内、data として採用したものは1957年10月より1958年9月までの1ヶ年間のものである。採用した値は calm day のみであるがその内には calm day でも一時的に擾乱を受ける場合がしばしばある。例えば夏は雷雲の発生、降水、山雲、ガス等の影響、冬は飛雪、着氷等の影響があると、電場は一時的に攪乱される。此のような場合は攪乱される。此のような場合は擾乱を受けた時間のみを除外する事とした*。その結果、data 採用日数は第 1 表の通りである。

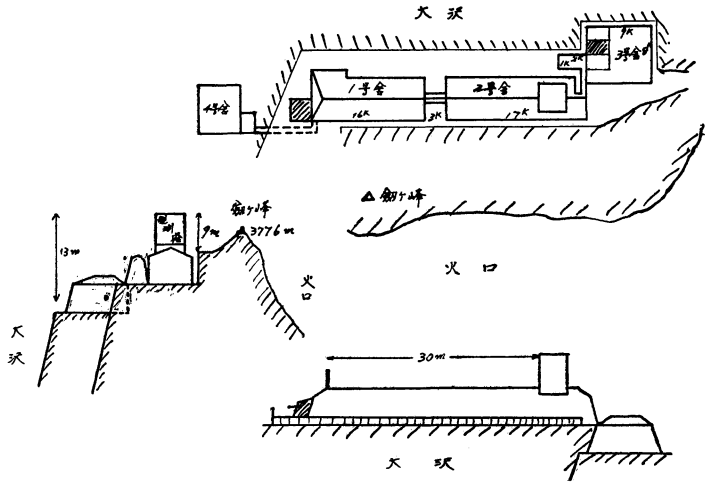
第 1 表 電位傾度観測日数 (富士山頂)
1957. Oct.—1958. Sep.

	観測日数	24h 連続観測 実施日数
Jan.	12	2
Feb.	4	2
Mar.	3	0
Apr.	12	4
May.	18	9
Jun.	13	6
Jul.	8	4
Aug.	9	6
Sep.	16	10
Oct.	14	3
Nov.	17	7
Dec.	5	2
Spring	32	13
Summer	30	16
Autumn	47	20
Winter	21	6
Total	130	55

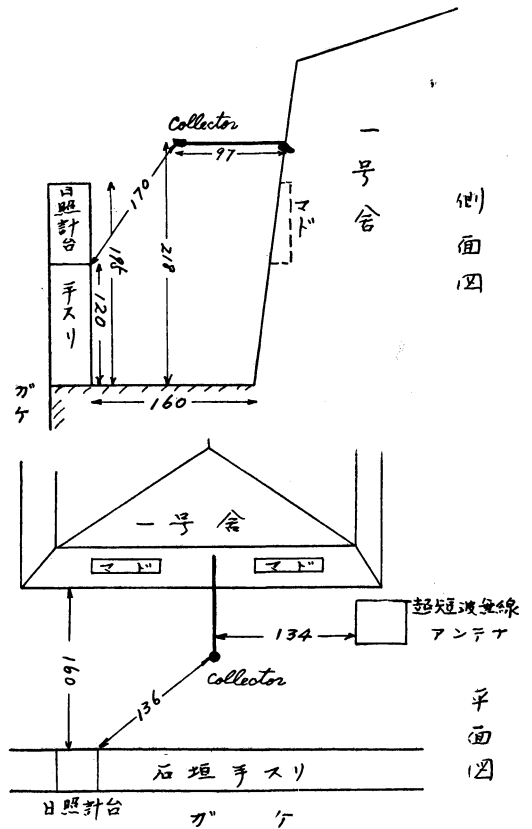
* 此の採用方法については後で詳述する。

** 下土狩は富士山麓傾斜面上にあり山頂観測点との距離 29km。富士山麓の僻地にあり、三島市郊外の農村地帯にある。付近には民家が点在し、1 km 以内に工場が一つある。

山頂での観測に並行して山麓下土狩**でも電場の観測を行った。これは山頂と山麓で電場の日変化の有様が如何に相違するかを至近距離で観測する為で、その結果は第 2 表のとおりである。ただし山頂は平面較正ができた



第 2 図 富士山頂測候所見取図

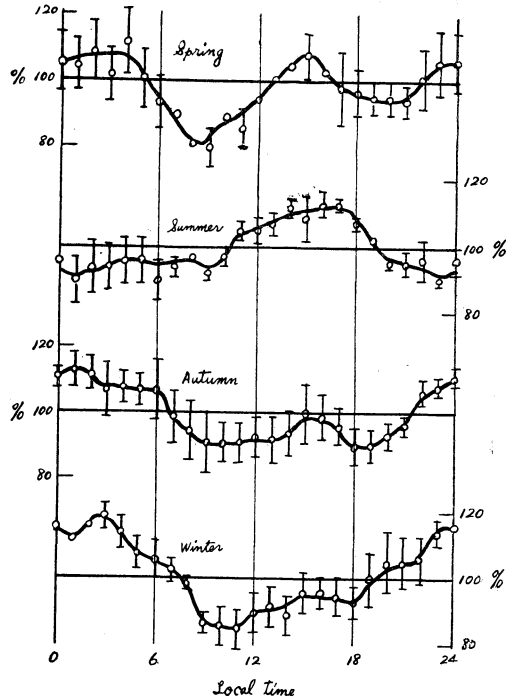


第 3 図 一号舎日照計室 collector 設置図

かった為、観測点の電位をそのまま記入した*。

第2表 富士山頂及び下土狩の毎月の平均電位傾度
1959. Oct.—1958. Sep.

	富士山頂 (Volt)	下土狩 (Volt/m)
Jan.	292	143
Feb.	260	119
Mar.	235	46
Apr.	240	64
May.	216	88
Jun.	309	87
Jul.	351	—
Aug.	340	66
Sep.	367	60
Oct.	355	116
Nov.	297	119
Dec.	261	71
Spring	230	66
Summer	333	77
Autumn	340	98
Winter	271	111
Mean	294	89

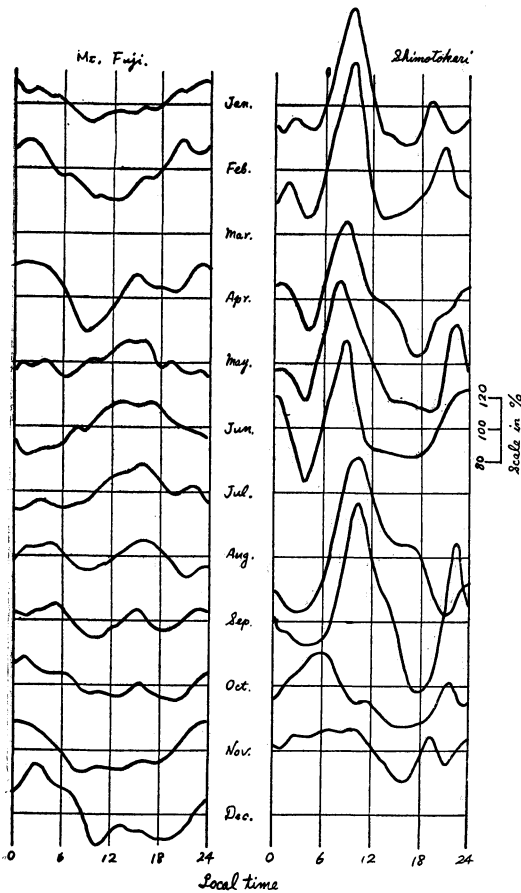


第5図 富士山頂の季節別電位傾度日変化

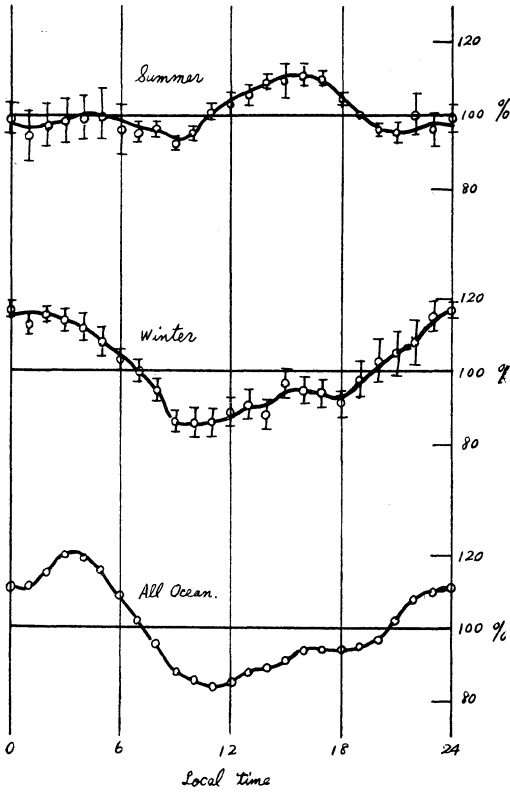
ところで、山頂は夏と冬ではその形状が全く相違する。すなわち峰雪があると雪氷が家屋その他に付着し collector 付近の形状は無雪時の状態と全く相違してしまう。したがって一般の場合と違って季節別の日変化を取るのに便宜上無雪期 (Jun. Jul. Aug. Sep.)、積雪期 (Jan. Feb. Nov. Dec.) に分類したものを第6図に示す。此の場合も平面較正ができなかったので変化は百分率で示してある。なお図中の各時に示してある縦の線は観測精度を probable error で表わしたものである。

第6図に示す如く無雪期は double periodical になり、いわゆる日変化は local change を示している。これは柿岡⁵⁾、田無⁶⁾の日変化と同様な mode を示してい

* 電場が付近の地物により distortion を受けるのは高さの40倍の距離で約5%、200倍で1%位である。したがって1mの高さで平面較正を行う場合約6000m²の平地を使用しても5%位の誤差を見込まなければならない。その上、山頂は特殊事情により事実上面較正は不可能な為実験的に較正值を決定する事ができなかった。但し大略の値を知る為測候所の屋根に1mの高さの差をつけて2ヶの collector を吊し測定した結果電位傾度 $E = (2.01 \pm 0.01) \times 10^3 \text{ V/m}$ の値を得た。(観測は1958年8月)



第4図 富士山頂及下土狩の毎月の日変化



第6図 夏と冬の電位傾度日変化及び海洋上 (Carnegie 号に依り観測されたもの) の電位傾度日変化

る。但し柿岡, 田無の場合は午前 maximum が大きいのに対し富士山は午后の maximum の方が高い値を示している。積雪期になると変化は single periodical に変化しいわゆる ocean type となり, Carnegie 号の測定した洋上での変化のみに酷似してくる。これは夏期は下層大気の影響を受けており, 特に午后の maximum の方が高い値になるのは午后に下層大気の影響を強く受けるのではないかと考えられる。これに対し冬期は, 山頂か Austausch の上に完全に出てしまい, free air の中で観測していると考えられる。これを Alps の Jungfrauoch (3454 m) での観測結果⁴⁾と比較することは非常に興味のあることである。これについては文献 (8) を参照されたい。

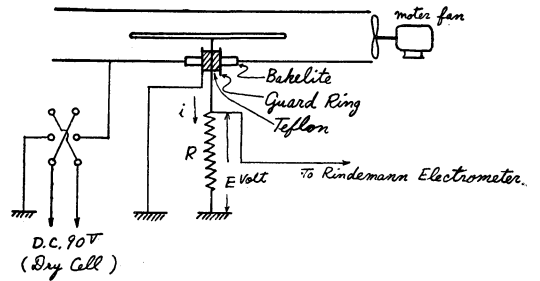
3. Sunrise effect.

次に山岳地帯特有の現象として sunrise effect について説明する。これは日出, 日没時に急激な電場の擾乱を観測する場合がある。これについては種々の報告が

ある⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾。その内, Kasemir の説明によれば山岳地帯では electrode effect が平地より大きく, したがって地表付近には positive space charge がより多く存在する。これが日出により地表面が熱せられ地表付近の大気はその輻射を吸収し膨張し vertical exchange が増加する。これにともなって space charge もまた, 高さの方向に拡散して行く。その為地表ま近の電場は急激な擾乱を受ける。この効果は冬には観測することはできない。また夏でも擾乱を受けている日は観測されない。富士山頂では夏の上空が晴れ, しかも無風に近い状態の時にこの現象が観測されている。その結果を平均すると日出により 36% の電場の増加を記録している。この sunrise effect は Jungfrauoch でも観測されていることが報告されている⁴⁾。

4. 大気の電気伝導度の測定

sunrise effect が起る時に大気の電気伝導度が増変するか否かを調べる為1959年8月に山頂で伝導度の測定を行なった。測定装置は第7図に示す如く Gerdien's Method を用いた¹³⁾。記録は Rindemann electrometer を



第7図 大気の電気伝導度測定装置の概略

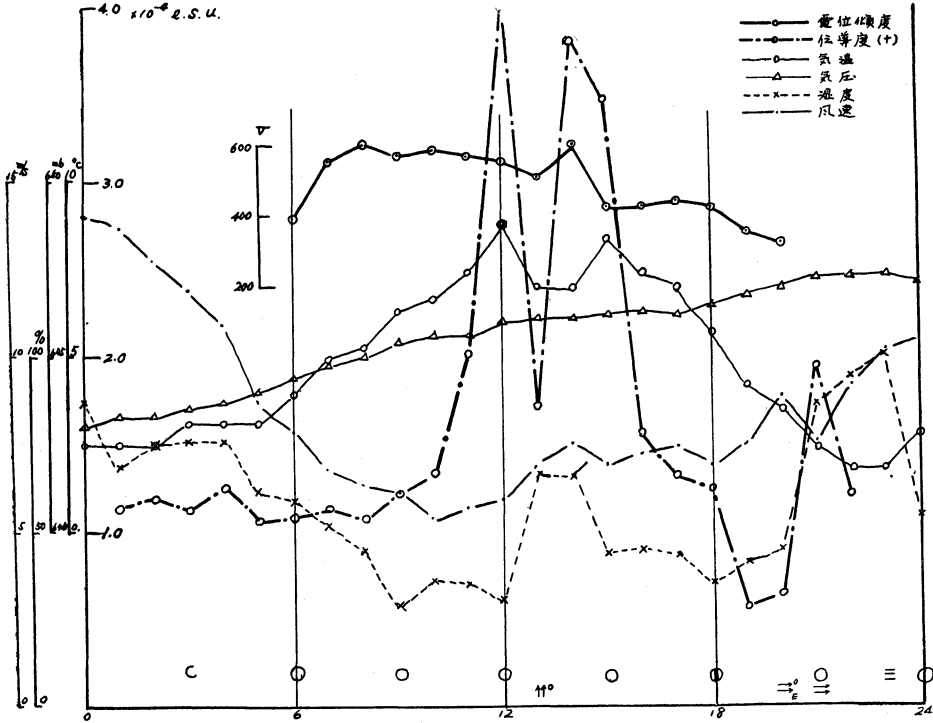
用い目視で行なった。観測は1959年7月30日~8月12日であるがその内台風等の影響があり data は10日である。観測結果の代表例を示すと第8図 (positive conductivity Aug. 10 /59) 第9図 (negative conductivity Aug. 11 /59) である。

図中に示されているのは伝導度, 電位傾度, 温度, 湿度, 気圧, 風速の各要素である。約2週間の観測結果を総合すると次の通りである。

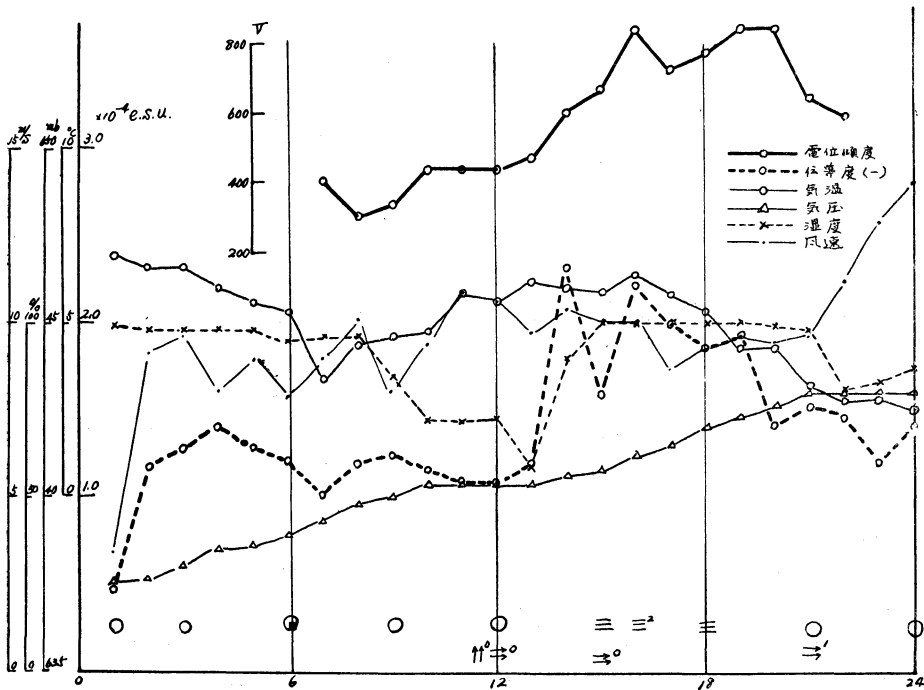
(1) 日出, 日没時に伝導度の急激な変化を観測する事はないが日出と共に伝導度は増加して日没と共に減少する傾向にある。特に上空が晴れている場合 (静穏な日) に此の傾向が激しい。

(2) 上昇気流が近づくと伝導度は急激に増加する。

(3) λ_+ , λ_- の値は同じ order で共に $1.18 \times 10^4 \text{ e.s.u.}$



第8図 富士山頂の大気の電気伝導度 (Positive conductivity Aug. 10 '59)

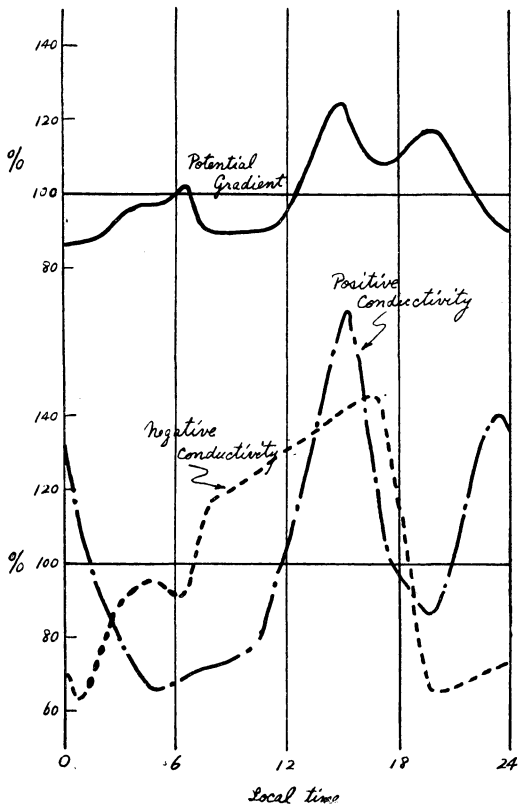


第9図 同上 (Negative conductivity Aug. 11 '59)

の値を有する。これは柿岡の値の約2倍に相当している⁵⁾。

なお観測期間中の日変化の平均は第9図に示す。

なお、伝導度の観測と同時に α -radioactivity の観測を行なったが上昇気流に伴う air-mass 中には常時の activity ($0.5 \sim 1.0 \times 10^{-16}$ curie/cc) の 10~100 倍の activity を観測している¹⁴⁾。



第10図 大気電気伝導度の日変化と他の要素との比較 (Aug '59 富士山頂)

5. 結論

近年、高層大気気象電気観測は航空機あるいは sounding balloon で相当精密な結果が得られている。たとえば Rossmann¹⁵⁾, Sagalyn, Faucher¹⁶⁾ による観測等によれば交換層の上限において電位傾度は急激に減少し伝導度は増加すると報告されている。此の結論を用いると山頂は夏期は交換層の影響を幾分受けていると考えられる。特に夏期の日中に高い電位を示すのは下層の pollution の影響を受けているものと考えられる。ただこの場合上昇気流の気団の伝導度が大きくなっていることが観測されているのでこの点はさらに検討を要するであ

る。冬期は交換層の上側に全く出ている為 universal change をしていると見て良い。

なおわれわれが実施した過去3ケ年の連続観測において種々検討すべき点があった。その二三を述べると、

(1) この様な独立高山における特殊の山岳気象に起因する calmday の決定法である。前述の如く柿岡で採用しているような擾乱を受けた日全部の data を除外した場合かゝる高山では calmday は無くなってしまふ。換言すれば非常に静穏な日でも24時間の間には何等かの原因により一時的な擾乱を受ける事が多い、しかも此の擾乱はその原因が除去されれば直ちに復元するのであるからこのような場所では擾乱を受けた時間のみ除外するのが妥当であろう。

(2) 冬期は着氷、飛雪等の影響を受けて静穏な日でも擾乱を受け又 collector が集電しない場合も多い。富士山の場合は着氷はその都度除去し、飛雪の場合はその data を除外した。

(3) 平面較正は前述の如く不可能であったのでこれに關しては他に方法を考慮する必要がある。

(4) conductivity は今回は夏期の data のみであるが、11月も測定は実施したが種々の点で失敗している。これは Gerdien method を使用する場合の問題でたとえば洞内に生ずる着水の処理、強風時の風速の調節等の問題がある。

以上の如く種々の点で未解決の問題を残しているが富士山頂の電位傾度の日変化につき一応報告する。もし機会があればこれらの問題点にさらに検討を加えて新しい角度より実験を行いたいと思う。

謝 辞

最後に本観測実施に際し終始指導を頂いた本学教授今道周一博士、種々の便宜とご教示を頂いた東京管区気象台長島山久尚博士、電気試験所川野実博士、気象研究所三崎方郎支官に深甚なる謝意を表する次第である。

又、観測遂行にあたっては富士山測候所長藤村郁雄技官同所技術課長石田泰治技官を初め所員一同の協力によって行われた事を申し添えその労に対し厚く感謝の意を表する。

なほ、本観測は東京理科大学より特別研究費の支給を受け I. G. Y. 気象電気観測に協力して実施せられたものである。

参考文献

- 1) 島山久尚, 内川規一, 1951: 富士山頂, 中腹及び山麓における空中電位傾度の日変化, 気象集誌,

29. p. 28~33.
- 2) 大田正次, 1950: 凝結核の垂直分布, 気象集誌, 28, p. 188~199.
- 3) たとえば気象学会昭和33年秋季大会, 昭和34年秋季大会に発表.
- 4) Israël, H. 1958: Atmospheric electric and meteorological investigation in high mountain ranges. G.R.D. Air-Force Cambridge Research Center, Tech. Note No. 6. Contract No. AF-61.
- 5) Report of Kakioka Magnetic Observatory, (1941-1945) Geoelectricity.
- 6) Aoki, T. 1948: Researches of atmospheric electricity. Researches of Electrotechnical Laboratory, No. 494.
- 7) Chalmers, J.A. 1957: Atmospheric Electricity, p. 111. Pergamon Press. New York.
- 8) 関川俊男, 1960: 高山における気象電気, 日本気象学会機関紙, 天気 (印刷中)
- 9) Chalmers, J.A. 1957: The effects of condensation nuclei in atmospheric electricity. Geophys. Pur. Appl., 36, p. 211~217.
- 10) Aikсна, R. 1957: On the condensation nuclei about the time of sunrise. Geofis. Pur. Appl., 36, p. 104~109.
- 11) Mühleisen, R. 1956: On the deviations of the elements of atmospheric electricity on continents from the worldwide course. J. Atm. Terr. Phys., 8, p. 146~157.
- 12) 畠山久尚, 川野実, 1955: 気象電気学, p. 39~43, 岩波書店.
- 13) 大場正昭, 成田清, 石井千尋, 1960: 大気中における自然放射能の分布, 日本気象学会機関紙, 天気 (印刷中)
- 14) Rossman, F. 1950: Luftelektrische Messungsmittels Segelflugzeugen. Ber. Deutsh. Wetterdienstes U.S. Zone., No. 15.
- 15) Sagalyn, R.C. and Faucher, G.A. 1954: Aircraft investigation of the large ion content and conductivity of the atmosphere and their relation to meteorological factor. J. Atm. Terr. Phys., 5, p. 253~272.

前線説をおくらせた高層観測

極気団と熱帯気団の間に極前線 (polar front) を考え、一連の低気圧活動を体系的に考えることは、今より40年以上も前に、ノルウェーのビヤルクネス親子を中心とするノルウェー学派によって立ち立てられた気象学上の大きな進歩であることはよく知られたことだろう。

ところで、これよりも13年ほど早く、この考え方の門口まで来ていた人達があった。それはイギリスのショウとレンプフェルト (W.N. Shaw & R.G.K. Lempfert) である。彼等は1906年に“地上気流の生活史”という論文を書いたが、これは非常に多くの天気図を使って、低気圧のまわりの地表気流をしらべ、低気圧中の降雨はその中にみられる二つの不連続な線にそって集中していることを見出したものである。彼等は低気圧は暖気と寒気の斗争の場として考えたのである。

これは全く前線説の一部とみてもさしつかえないことなのだが、ショウがこの考えをさらにおしすすめ、体系的な前線説にまで持ってゆけなかったのは、実は高層観測の成果がジャマをしたのである。

ちょうどそのころイギリスのダインス (W.H. Dines)

は沢山の高層観測の資料を整理した結果、9 km における気圧の平均からの偏差と、1—9 km の平均気温が非常に高い相関があるという有名な関係を見出した(1912)。この相関は他の高度にくらべてとくに9 km の高さで高い相関を示したので、このことからダインスは低気圧の起原は9 km の高さにあることを推論した。

週末の休みをベンソン (Benson) でダインスと共にすごしたショウは、このことをダインスからきかされ、あまりにも相関がよいので、低気圧9 km 起原説を信ずるようになってしまった。

このことがあってからのちショウは低気圧の地表構造について興味を失い、自分の論文の成果を日々の天気図に適用してみるということもしなかった。このようにして前線説の門口にまで来ていたショウはさらに一步をすすめることをせず、極前線説の輝かしい成果をノルウェー学派にゆづってしまったのである。

(D. ブラント (1956): イギリス気象局の100年, Science Progress Vol. XLIV p. 193~207 より根本順吉氏抄訳)