

大気中における自然放射能の分布*

大場 正昭** 成田 清** 石井 千尋***

自然放射能が地表から出てどの位まで分布しているのか、今までにあまり資料がない。これを確める必要があるので、飛行機および富士山頂で集塵した試料をアルファ線シンチレーターで測った。その結果から雲に予想外に多く捕捉されていることがわかったのでとりあえず報告する。

1. ま え が き

現在、各地で放射能ゾンデや飛行機などによって、大気中における人工放射能について研究がなされている。この人工放射能を観測する場合、 γ 線の検出をもって行われることがあるが、この際観測された放射能には人工放射性物質によるものの外、自然放射性物質（ラドン、トロンとそれらの崩壊生成物）によるものも含まれていることは明らかである。そこで大気中における人工放射能について論ずる場合には、自然放射能の大気中における分布を調べてみる必要がある。

さて、自然放射能の大気中におけるありさまについては、古来限られた時期に限られた地域において研究されてはいるが、その数は非常に微々たるものである。そこでこれを究明するために、人工放射性物質にはほとんど見受けられない α 線を、シンチレーション・カウンターによって測定し、大気中における自然放射能を今年、東京、東北上空および富士山頂において調べたものの一部を報告する。

2. 装 置

この観測に使用した測定器は、Canadian Aviation Electronics Ltd. において製作されたもので Model 1001 A と Model 1020 D Alpha Air-Samplerである。この測定器は携帯用に設計され、軽量、小型で増中回路はすべてトランジスターを使用したものである。また測定器は二つの機構から成り、集塵ポンプと放射能測定用のシンチレーション・カウンターから構成されている。電源はポンプの方が 6 volt Battery で、シンチレーション・カウンターの方は単一乾電池 4 個の 6 volts の電圧を内蔵している。ポンプは吸引能力が 0~25 l/min ま

でバルブによって自由に調整出来る様になっていて、口径は 1 inch である。こゝに filter をつけて集塵する。カウンターの方のシンチレーターには硫化亜鉛 ZnS が使われている。集塵した filter をカバー（これは数 mm の鉛で遮蔽され、外部からの影響を少なくしている）に入れ、シンチレーターに接近させて、放射能の大小に応じて telephon receiver あるいは rate meter で読む。この場合、各々の測定の精度はもちろん異なるが、これは後で検討することにする。

こゝで使用する filter は Millipore filter である。測定器は測定の都度 27,000DPM の標準 α -source で調整する。

filter の効率と filter 自体の種類と、塵埃の粒度分布等できまるが、算出が困難なので電気試験所の川野実氏のところで校正された ionization chamber と同時観測によって決定した。その結果は 17% である。

空気 1 cc 中に含まれる放射性物質の activity を求める計算式を次に示す。

$$A = \frac{C_m \cdot \frac{1}{60} \cdot \frac{1}{\eta_1 \eta_2}}{3.70 \times 10^{10} \times 10^3 Q t} = 0.982 \times 10^{-14} \frac{C_m}{Q t} \dots \dots \dots (1)$$

但し A: α 放射能の濃度 curies/cc

C_m : パルスの読み counts/min

η_1 : シンチレーターの効率=27%

η_2 : filter の効率=17%

Q: 空気の流量 liters/min

t: 集塵時間 minutes

3. 測定上の吟味

i) filter の抵抗増加による流量の減少

まず、集塵の際問題になるのは filter に塵埃が集積されることによって生ずる抵抗の増加である。このことはモーターの回転の変動と共に、集塵量を直接左右するのであるが、流量計の読みの平均値を取ることによって

* Distribution of Radioactive Dust due to Natural Origin in the Atmosphere

** Masaaki Oba, Kiyoshi Narita; 東京理科大学

*** Chihiro Ishii, 気象研究所

--1960年1月6日受理--

解決されるはずであり、また、前にも述べたように、集塵効率にはかなり誤差もあるので、それ程考慮することはないだろう。

ii) 大気の状態変化による集塵効率の変化

湿度のみでなく、大気中のあらゆる状態の変化により filter の集塵効率は変化するであろうが、i) と同様の理由により解決されるものとし、また塵埃の粒子の大きさや吸引の速さによっても、集積される割合が異なるはずであろうが、こゝでは無視できる程度と仮定する。

iii) C. P. M. の算出について

Filter 上の放射能の強さは、ある一種類だけの放射性物質について考えると (daughters については高橋寿郎氏の考察がある¹⁾)、

$$\frac{dN}{dt} = \eta_2 n Q - \lambda N \dots \dots \dots (2)$$

ただし N : filter 上の放射性物質の原子の数
 λ : " " 崩壊定数
 n : 空気単位体積中に含まれる放射性物質の原子の数

となる。これを解いて

$$N = \frac{\eta_2 n Q}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t}) \dots \dots \dots (3)$$

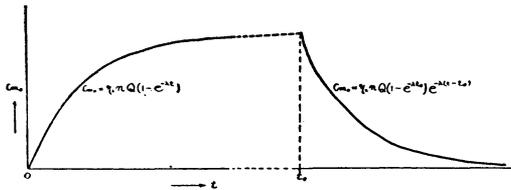
decay の割合 C_{m0} を求めれば

$$C_{m0} = \lambda N = \eta_2 n Q (1 - e^{-\lambda t}) \dots \dots \dots (4)$$

$t = t_0$ にて集塵を終了したものとするれば

$$C_{m0} = \eta_2 n Q (1 - e^{-\lambda t_0}) e^{-\lambda (t - t_0)} \quad t \geq t_0 \dots \dots (5)$$

となるから集塵された放射能を測定するには、集塵終了直後に行われるのが望ましいが、技術的に困難であるので、次の数種の方法により decay の割合 C. P. M. を算出した。



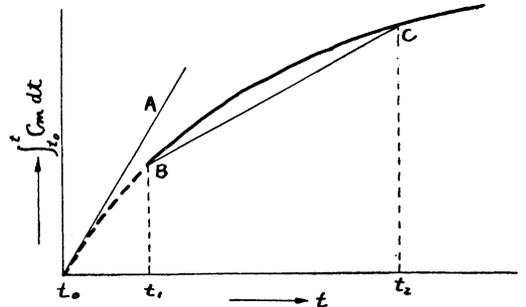
第1図 filter 上の放射能の強さ

(a) receiver で数える場合: filter 上で実際に起る decay の割合 C_{m0} と、シンチレーターによって観測される decay の割合 C_m との間には $C_m = \eta_1 C_{m0}$ なる関係があるから、(5) 式から

$$\int_{t_0}^t C_m dt = \int_{t_0}^t \eta_1 \eta_2 n Q (1 - e^{-\lambda t_0}) e^{-\lambda (t - t_0)} dt$$

$$= \frac{\eta_1 \eta_2 n Q}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t_0}) (1 - e^{-\lambda (t - t_0)}) \dots \dots \dots (6)$$

を得る。 α -粒子の数が少いとき (約80C. P. M. 以下) は decay の割合を rate meter で読むことはむづかしいので、receiver により時刻 t_1 から t_2 までパルスを数えて decay 数-time 曲線を描く。(2) 式の仮定に近い場合には、第2図BCを延長して $t = t_0$ における曲線の接線



第2図 Count されたパルスの数

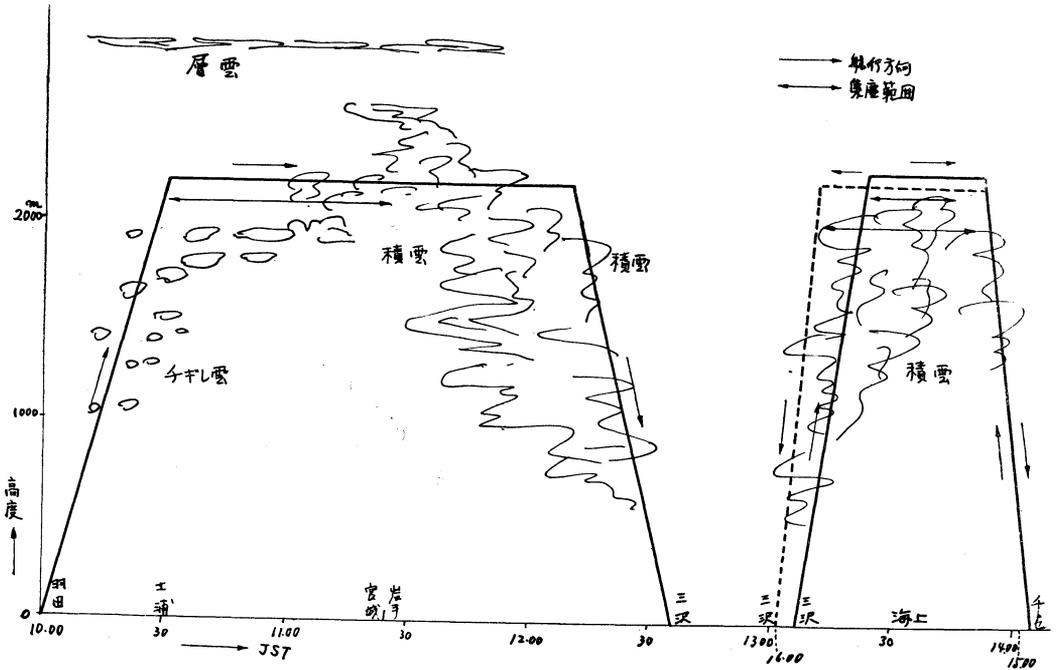
の勾配から decay の割合を計算できる。しかし一般の場合には、 t_1 から t_2 までの平均の勾配をとることによって decay の割合とする。すなわち

$$C_m = \frac{\int_{t_0}^t C_m dt}{t_2 - t_1} \dots \dots \dots (7)$$

実際には集塵終了 (t_0) から数え始める (t_1) までに数分を要した。また、この場合の decay の割合は (7) 式において10分間の平均をとった。

(b) rate meter による場合 I: パルスが約 100CPM 以上になると rate meter で decay の割合を読みとることができる。この際、変動が少ないと (5) 式を応用して、 t_1 から t_2 までの C_m -time 曲線を描き、これを延長して t_0 のときの値を読みとる。

(c) rate meter による場合 II: パルスが約100CPM 以上の場合でも、meter の指示に大きな変動があるときは(b)の方法を適用することが困難である。この時は C_m -time 曲線を描き (7) 式を応用するのであるが、右辺分子の $\int_{t_1}^{t_2} C_m dt$ は C_m -time 曲線の t_1 から t_2 に至る間の曲線の下の部分の面積を適当な方法で読みとって decay の割合を算出した。



第3図 飛行機の航行略図

iv) 気圧および気温による流量計指示の相違
 集塵ポンプの流量計はその機構上、気圧および気温により異なった値を示す。今、流量計の指示を Q' とし、真の空気の流量を Q とすると $Q = \alpha Q'$ なる関係がある。この流量補正係数 α の気圧および気温に対する値は第1表のようになる。

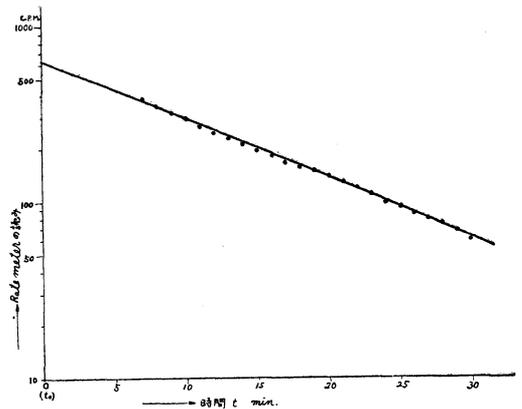
第1表 流量補正係数 α
 (a)

$T^{\circ}\text{C}$							
P mmHg	0	5	10	15	20	25	30
740	0.97	0.99	1.01	1.03	1.05	1.06	1.08
750	0.96	0.98	1.00	1.01	1.03	1.05	1.07
760	0.95	0.97	0.98	1.00	1.02	1.04	1.05
770	0.94	0.95	0.97	0.99	1.00	1.02	1.04

(b)

$T^{\circ}\text{C}$					
P mmHg	-10	-5	0	5	10
460	15.1	1.54	1.57	1.59	1.62
480	1.45	1.47	1.50	1.53	1.56
500	1.39	1.41	1.44	1.47	1.50

この表から解るように α の値は気圧および気温がそれ
 1960年2月



第4図 羽田→三沢間の Sample の Decay

程変らない場合には一定とみてよいから、それぞれの地点における代表値として、次の値を用いた。

地点	α
東京	1.00
飛行機上	1.24
富士山頂 (8月)	1.53
富士山頂 (10月)	1.47

v) 総流量 V について

流量 Q で時間 t だけ集塵すると filter を通過した空

気の体積 V は Qt となるが、このとき filter に集った放射能は時と共に崩壊するために、測定された値 C_m から放射能の濃度 A を算出するときに (1) 式を使うと問題が生ずる。すなわち、filter を通る空気の量は $V=Qt$ であるが、filter 上の放射能は (3) 式で表現されるため、 V は $Q(1-e^{-\lambda t})$ に比例する形で表さなくてはならない。しかし、実際上 λ がはつきりきまらないし、

両者の差がそれ程大きくないと考えられるので Qt を使うことにした。

vi) 誤差について

放射能の濃度の値に伴う誤差は、直接測定される C_m , Q , t および η_1 , η_2 によってきまるが、iii) の各方法によってそれぞれ異なるが、(a)約7%, (b)約7%, (c)約20% と見積られる。また Q については約5%, t , η_1 および

第2表 東京(気象研究所)における自然放射能

Filter number	Date	採取時間 始 終	C_m C. P. M.	濃度 A curies/cc	T °C	U %	P mmHg	記 事
1	6 3	時 分 時 分 09.40—11.25	(a) 8.2	$\times 10^{-16}$ 0.7	23.2	70		雲量 3
2	6 4	10.38—13.17	(a) 4.9	0.3	20.8			曇
3	6 10	10.41—11.01	(a) 2.8	1.2	19.0			//
4	6 11	16.36—16.56	(a) 5.2	2.7	19.1			// 雨上り
5	6 12	15.21—16.46	(a) 21.6	2.9				晴
6	6 13	09.20—10.00	(a) 13.6	4.0	21.0			//
7	6 16	09.39—11.09	(a) 22.9	3.1				//
8	6 17	09.50—11.00	(a) 70.2	12.6				曇
9	6 18	09.49—10.49	(a) 25.9	5.4	7.8			//
10	6 18	10.57—14.27	(a) 28.5	1.7	8.0			//

[注] C_m の欄の (a)(b)(c) は本文 3—iii) による (以下同)

第3表 飛行機上より観測した上空の自然放射能

Filter number	Date	採取時間 始 終	C_m C. P. M.	濃度 A curies/cc	T °C	U %	P mmHg	記 事
1	8 27	時 分 時 分 10.30—11.25	(b) 630	$\times 10^{-16}$ 1.65				積雲の頂および中
2	8 27	13.23—13.45 15.12—15.50	(b) 1100	2.52				//

第4表 富士山頂(剣峯)に於ける自然放射能

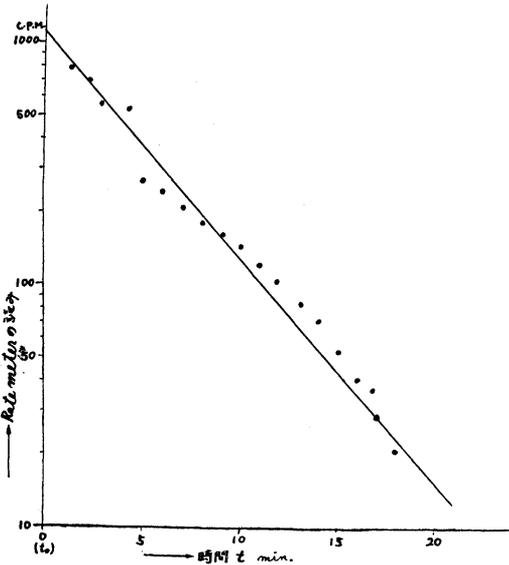
Filter number	Date	採取時間 始 終	C_m C. P. M.	濃度 A curies/cc	T °C	U %	P mmHg	記 事
1	8 10	時 分 時 分 02.25—03.25	—	$\times 10^{-16}$ —	6.6	98	638.0	○
2	8 10	04.20—05.20	(c) 620	74	5.6	98	638.6	○ sunrise
3	8 10	05.57—06.57	(c) 690	84	4.4	95	639.1	○ 北より水平にガス
4	8 10	08.57—09.57	—	—	4.7	78	640.2	○ 東よりガス上昇
5	8 10	21.56—22.56	(a) 8.8	1.05	2.8	82	643.0	○
6	8 10	23.35—00.35	(a) 7.6	0.90	2.5	87	643.0	○
7	8 11	03.45—04.45	(a) 6.3	0.71	3.1	76	644.0	○
8	8 11	04.55—05.55	—	—	3.5	61	644.6	○
9	8 11	06.01—07.01	(a) 5.6	0.70	4.4	56	644.9	○
10	10 30	08.40—09.40	—	—	— 5.7	39	646.2	⊕
11	10 30	17.54—18.54	(a) 8.4	1.11	— 5.8	95	643.0	≡*
12	10 30	20.33—21.33	(a) 2.1	0.24	— 8.4	54	643.5	○
13	10 30	23.32—00.32	(a) 1.0	0.11	— 8.7	19	642.9	○ 南東に雷光
14	10 31	02.30—03.30	(a) 2.1	0.22	— 8.9	16	643.8	○ 東に雷光
15	10 31	05.30—06.30	(a) 2.0	0.22	— 7.9	34	645.0	○ フォト煙霧
16	10 31	08.30—09.30	(a) 0.7	0.07	— 6.5	13	646.2	○
17	10 31	11.30—12.30	(a) 0.5	0.06	— 4.9	10	646.2	○
18	10 31	15.00—16.00	(a) 0.4	0.04	— 4.3	12	646.8	○
19	10 31	17.30—18.30	(a) 1.3	0.17	— 6.1	8	647.5	○

大気中の α -粒子による自然放射能の観測結果を第 2 3, 4 表に場所別に示した。

東京における観測は、梅雨時にかかっている上に集塵時刻および時間が一定でなく、気象要素との関連や放射能の性格について調べることは困難であるので、一応結果だけを報告することにした。

第 3 表は、8 月 27 日羽田発 10 時 00 分の全日空機で羽田—三沢—千歳間における sample で、高度約 2200m の羽田→三沢間（土浦→宮城・岩手県境上空）および三沢→千歳→三沢（太平洋上往復）のものである。この結果 decay の様子から前者には RaA 約 19%，RaC 約 81%，後者にはほとんど RaA があるものとみられる。その放射能濃度は東京における数百倍の値を示しているが、これは採集中機が雲の直上および雲中を飛んだためによるものと考えられる。

第 4 表は富士山頂剣峯の 8 月 10 日～11 日（第 1 次）と 10 月 30 日～31 日（第 2 次）にそれぞれ観測した結果である。第 1 次では種々の事情で観測は不規則であったが、8 月 10 日の日の出前後に雲に被われ、東京の数倍ないし数百倍の強い放射能を記録した。しかし静穏時には予想のように、東京より小さい値を示した。また 10 月の記録では放射能はさらに小さい値を示し、わずかに小雪の舞った 30 日夕方に上昇している程度である。三時間おきの丸 1 日の変化を第 6 図に示す。



第 5 図 三沢—千歳間 sample の decay

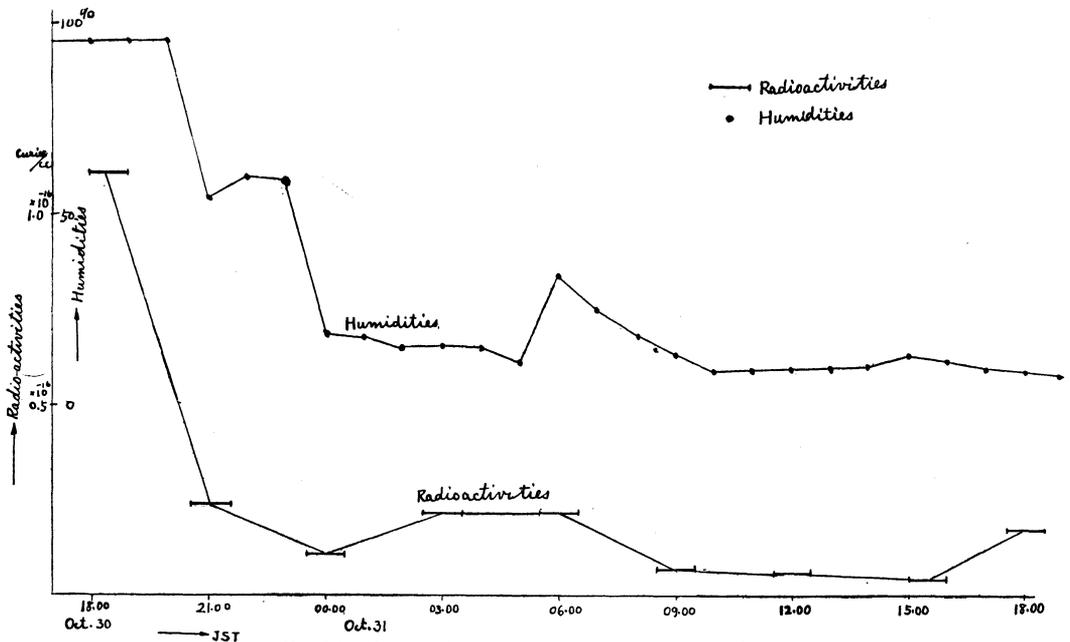
η_2 についてはほとんど無視できる程度と仮定する。

これらの値により求めた各方法による濃度 A の誤差は

- (a) 約 9%
- (b) 約 9%
- (c) 約 26%

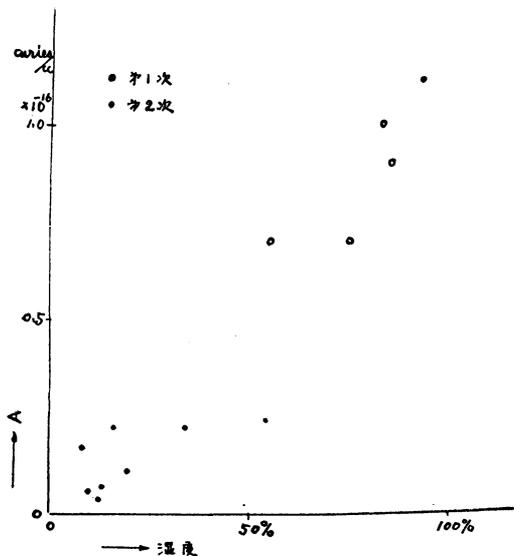
となる。

4. 観測結果およびその吟味



第 6 図 富士山頂における放射能と湿度の時間変化

湿度の増加に伴い、放射能の増加の傾向がみられるという報告²⁾もあるが、ここにもそのような傾向がみられる。すなわち、雲、霧などの中で異常に大きな値を示しているところから、水滴が放射能を多く捕獲しているものと考えられ、したがって放射能が湿度に依存するのではないかという予想のもとに、静穏時における放射能と湿度との関係を富士山の記録により示したものが第7図



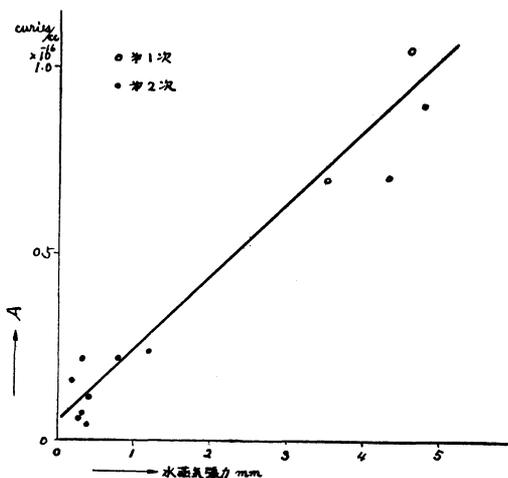
第7図 放射能と相対湿度との関係

である。横軸には相対湿度をとってあるが、定性的に大気中の水滴が放射性物質を多く捕獲する可能性が考えられる。そこで放射能と水蒸気張力との関係を示すと第8図のようになり、直線近似をすることは無理でなからう。そこで絶対湿度を w として、静穏時における放射能の強さ A を近似的に次式をもって与えてみた。

$$A = aw + b \dots\dots\dots (8)$$

ここで a , b は場所と季節によって定まる定数である。もちろん、大気中の放射能は湿度のみによって定まるものではなく、種々の条件があるはずであるが、気象要素のうちでは湿度が一番顕著に響いてくるものと思われる。

また、雲、霧に被われ、放射能が増加したときわれわ



第8図 放射能と水蒸気張力との関係

れと同時に観測した関川敏男氏とその協力者たちによる大気中の potential と電気伝導度の記録にも異常な変化がみられた³⁾。

5. あとがき

以上のことから次のようなことが云える。すなわち

- 1) 自然放射性塵埃は、相当高いところまで昇っている。
- 2) 雲の中では非常に多く集積されていることがわかる。
- 3) 自然放射性塵埃の濃度と湿度との間には、直線関係がありそうである。

また、山頂の結果からみて、静穏時における高所の自然放射能は小さい(東京の約1/10)ことがわかった。

測定器が小型で、集塵量が少なく、したがって集められた放射能について十分な吟味はできなかつたが、今後さらに研究を続ける予定である。

文 献

- 1), 2) 高橋寿郎, 1959: 濾紙法による大気中のラドン崩壊生成物の濃度の連続観測について, 日本気象学会機関紙, 天気 6, pp 314-318.
- 2) 関川敏男氏とその協力者からの Private communication.

気 象 の 英 語 (17)

19. “それ故に”の英語

therefore と wherefore は理論が正確なことを暗示するので、理くつ張ったもの、とくに論理学、数学、自然科学で使われる。accordingly と consequently は上

の言葉よりくだけたもので、so と then はさらにくだけて口語で多く使われ、文章に使ったときは口語的調子となる。

(有 住 直 介)