

## 第2回宇宙線と気象に関するシンポジウム\*

昨年行われた第1回シンポジウムにつき、1966年12月17日第2回目の会をひらいた。内容は前回行われたものを発展させた結果の他、とくに宇宙線生成核種について三宅氏におねがいをした。以下に各著者の報文及びその時行なわれた討論をしるす。

なお、編者の都合で出版のおくれたことを各著者及び読者におわびする。

(シンポジウム世話人：和田雅美、須田友重)

### 宇宙線を用いた大気各層の気温の推定

和田雅美(理研)

3種の宇宙線成分の測定値を用い、3層の大気各層気温を推定する可能性について論じる。宇宙線成分としては、鉛10cm前後を貫通し得るいわゆる硬成分としての中間子、それより低エネルギーの緩中間子、及び50m程の厚さの水に相当する深さの地下に到達し得る高エネルギー中間子を考える。これらと30~300mbの主として成層圏、300~700mbつまり対流圏上層、及びそれ以下の対流圏下層における平均気温を対応させる。

推定の可能性の根拠は、高エネルギー中間子が主に成層圏気温と正相関にあること、緩中間子が地上に近い層の気温と大きな負の係数でむすばれていること、及び硬成分に対してはほぼ等しい係数で大気全層の気温が寄与していることにある。

#### 1. 大気中の宇宙線

大気外のいわゆる一次宇宙線は陽子、 $\alpha$ 粒子等である。大気に入射すると、空気の原子核との相互作用で $\pi$ 中間子等が発生させる。 $\pi$ 中間子は $10^{-8}$ secの平均寿命で崩壊し、 $\mu$ 中間子に変わる。 $\pi$ 中間子は、原子核との相互作用が崩壊と同程度におこりやすいので、崩壊いと相互作用のどちらかで消えることになる。

$\mu$ 中間子は、相互作用が弱いので、 $2 \times 10^{-6}$ secという比較的長い平均寿命にもかかわらず、ほとんどが崩壊する。崩壊いまでに走る距離も長いので、その間の電離作用等によるエネルギー損失を無視できない。地上ではかられる硬成分や、地下に達する荷電粒子の大部分が $\mu$ 中間子である。

$\pi$ 中間子の発生量は、大気頂からはかった空気柱の質量と共に指数関数的に減少する。約100mbが平均の大気深さである。 $\mu$ 中間子の発生量も同様であるが、地上で測定されるものに限ると、上層のものほど崩壊により

途中で消え去るので、結局100mb附近に極大をもつ高度分布になる。たゞしエネルギーが小さいほど極大高度は低高度にある。

#### 2. 気温効果

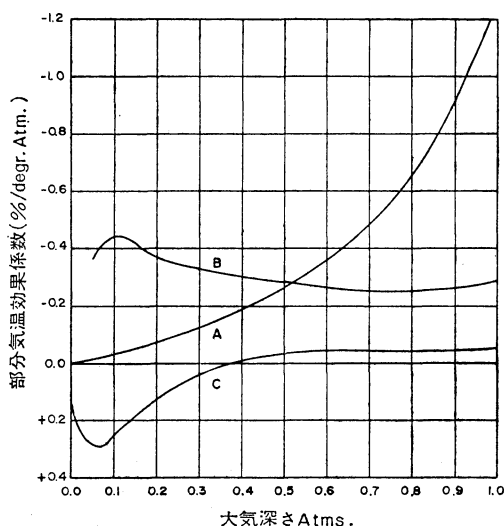
第1図に示すように、3種のエネルギー範囲の中間子に異なる部分気温効果係数が対応する。係数を $\Gamma_i(x)$ とすれば、宇宙線強度 $I$ は

$$\delta I_i = \int_0^{x_0} \Gamma_i(x) \delta T(x) dx \quad (1)$$

の割合で変化する。故に気温変化の垂直分布 $\delta T(x)$ を与えれば、図の $\Gamma(x)$ を介して、宇宙線の3成分の変化量がそれぞれ計算される。

逆に3種の宇宙線の変化量が与えられている時には、せいぜい3層ではあるが、それぞれの平均的な気温がわかるはずである。層の平均的な深さは

$$\bar{x}_i = \int_0^{x_0} x \Gamma_i(x) dx / \int_0^{x_0} \Gamma_i(x) dx \quad (2)$$



第1図 部分気温効果係数。本文(1)式の $\Gamma_i(x)$ 。  
 $x$ は大気深さ、 $i$ は次の各成分。

- A: 緩(低エネルギー)中間子
- B:  $\geq 0.4$  GeVの中間子(地上測定)
- C:  $\geq 14.4$  GeVの中間子(地下55mwe)

\* Symposium on Cosmic Rays and Meteorology  
—1967年8月2日受理—

で与えられる。この場合、第1図からもわかるように、地下中間子と緩中間子に対してはよいが、地上の中間子に対しては、 $I(x)$ がほとんど $x$ によらないことから、平均高度の意味が小さい。このことから見て、地下で成層圏、緩中間子で対流圏下層の気温を推定できるとしても、対流圏上層は地上の中間子が代表しているというのでは正確でない。しかし結局において、3種のデータから3層の平均気温を求めるのが目的である。

3. 地上の中間子強度と気温

気温と対応させる目的で中間子強度の解析をした例は非常に古いものしかない。この時は地上でのみ中間子を測っていたので、対応する気温としては、大気全層の単純な平均であった。第2図にその図を示す<sup>2)</sup>。この例に用いた中間子計は0.5m<sup>2</sup>の面積であった。館野で測定した1kmごとの等高度面10kmまでの気温の調和平均を用いているが、1944年頃の測定誤差はどの程度であったろうか。いずれにしても、宇宙線と気温の間の不一致の程度は標準偏差にして1~2度である。

4. ソンデではかった各層気温より求める宇宙線変化

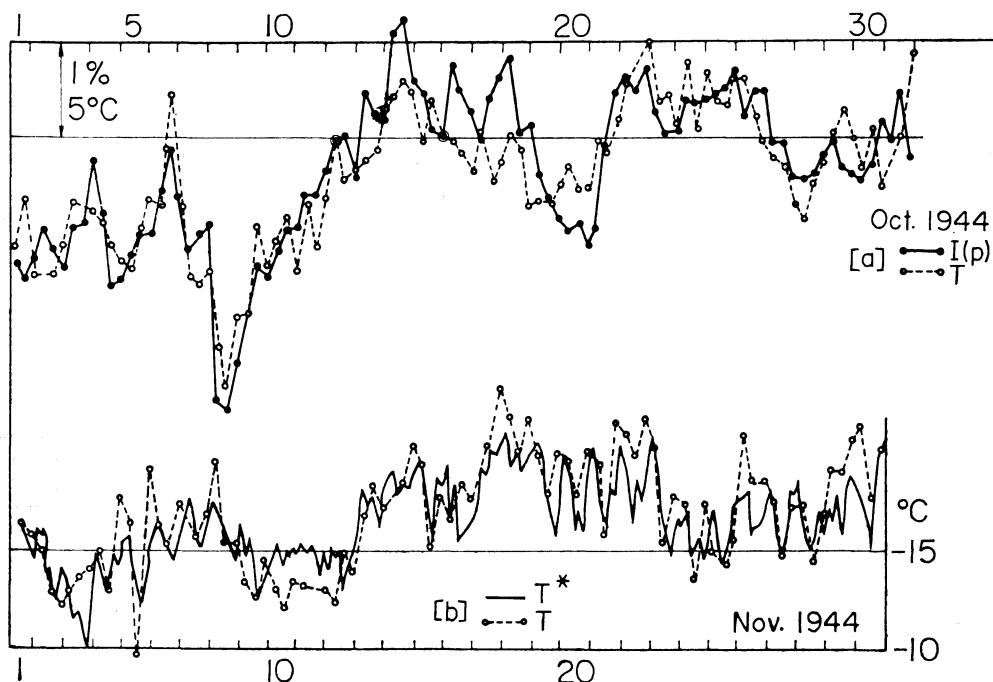
現在、宇宙線の3成分の測定値がそろってないので、次の方法により、気温推定の可能性を定量的にしらべるのがよからう。

つまり第1図で与えられる係数と、実際にはかられるゾンデのデータを用い、1式により期待される宇宙線の変化量を求める。3種の係数から3種の変化量が得られる。これは純粋に気温効果のみでおこされる宇宙線変化量であり、実際にはかかる場合には、さらに一次宇宙線の変化と、測定誤差が含まれる。

一方推定しようという気温は、第1図の係数で荷重された平均というより、単純にある層の平均とすべきであろう。層の切り方は平均気温ができるだけ互に独立になるようにするのが実用的である。たとえば300mb以上、300~700mb、700—地上というように、気温推定の効果を見るにも、この方がよい。こうしてえられた3層の平均を先に用いたのと全く同じゾンデのデータから求める。

次にある層の平均をひとつとり出し、これとすでに1式で計算しておいた3種の宇宙線と重相関の計算を行い、偏回帰係数を求める。この係数を用いれば、3種の宇宙線で或る層の平均気温の推定が出来る。統計によって得られる誤差から、推定の精度の見当をつけることができる。

以上の方法は未だ行われてないものであるが、宇宙線による気温推定の有効性についての定量的な答を与える



第2図 地上の中間子強度と気温。  
 実線は宇宙線から推定した気温、破線はゾンデによる地上~10kmの等高度気温の調和平均値。

はずであり、近い将来その結果を報告したい。

5. 結 語

宇宙線を用いて上層気温の推定をする試みは古くからあり、日本で特に考えられていると云ってよい。宇宙線に対する、各層気温に対する係数がちがうという、いわゆる部分気温効果係数の考え及びその計算は、日本においても行われた<sup>3)</sup>。第1図は独立に行なわれたDormanのものを借用したが、彼ののはちがう成分の宇宙線について計算しているの、今回の用途に適しているためである。

一方宇宙線の測定精度も年と共にあがってきている。宇宙線中性子成分の測定が行なわれるようになり、これが一次宇宙線の変化を代表することも知られている。このようにして、宇宙線による気温の推定をもう一度新しい眼でみなおす時期になってきている。§4で示した方法により、可能性を検討してみたい。もし、可能とすれば、宇宙線計の必要な精度についてもしらべる。さらに低エネルギーの宇宙線計については未だ連続測定の実験がないので、その方法も考える必要がある<sup>4)</sup>。

以上のような次第で、この項の最終目標である、推定のより具体的な報告に到らなかつたが、近い将来にもう一步解析をすすめるつもりである。

文 献

- 1) Dorman, L. I., 1957: Cosmic Ray Variations, State Publishing House for Technical and Theoretical Literature, Moscow.
- 2) Sekidoi Y., Miyazaki, Y. and Masuda, T., 1948: Communication to IATME Meeting at Oslo, 22.
- 3) Maeda, K. and Wada, M., 1954: Proc. Int. Conf. Theor. Phys. IUPAP at Kyoto. 65; J. Sci. Res. Inst., 1954, 48, 71.
- 4) 和田雅美, 須田友重: 日本物理学会誌 21巻 563 頁, 1966年.

討 論

高橋: 精度はどの位のもが期待できるか。

和田: 1°Cのオーダーと思う。

長島: 現在のゾンデ観測は1日2回であるが、これを4回にする事は考えているか。又予報の要請から多くする事が必要であるか。

松橋: 世界的に4回観測をやる時期がある。ゾンデの性質から云って回数を多くするのはあまり意味がなく、現在の2回で充分ではないか。

長島: 日本のゾンデの観測網は密と云えるか。

松橋: 400km位で密と云う程ではない。

件野: 宇宙線で気温の推定をする場合の実用性は、どう

か。

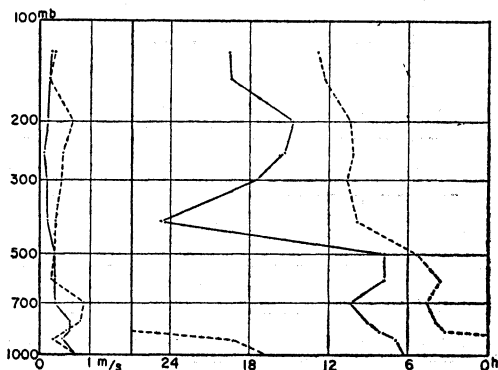
和田: 現在の高層観測の発達からみて、宇宙線の方がまさっているとは云えないが、テーマとしては、おもしろいのではないか。

館野上層の風と気温の日変化について

松橋 史郎 (高層気象台)

これまで日変化についてはかなり報告があるが、ゾンデの観測値そのものに日射誤差が含まれているため、自由大気の日変化については充分な知識が得られているとは言いがたい。しかし最近 M. F. Harris 等が行った一連の報告では、風の変化から気温の日変化を推定してよい結果を得ている。現在のところこの方法が最もよいと思われるので、この方法で計算してみた。IGY以後今年で丁度10年になるので、4回観測値でも1日週期の日変化についてはかなりよい値が得られるのではないかと期待した。しかし風の資料にお日変化以外の変動が残っていて満足すべき結果が得られたとは言えないが、とりあえずやった結果を報告する。

対流圏では夏の方が日変化は大きく、風速も弱いから相対的に風の日変化も冬よりは明瞭に現われると考えて、7, 8月の資料を用いた。気圧面は風の資料の充分ある対流圏の100~125mbを選んだ。まず各月毎に東西成分、南北成分の平均値を求め、さらにこれを時間毎に10年平均した。この資料から風の両成分についてそれぞれ1日週期の振幅と極大になる時間を求めた。これを第1図に示す。実線は東西成分で、破線は南北成分である。図の左は振幅で、右はその成分の極大になる時間を示す。振幅を見ると東西成分は250mbまで次第に減少して、そこから再び増大している。南北成分は600mb付近から200mbまで次第に増えそれより上では急に減少して



第1図 風の日変化

いるが、この200mb以上の急な変化は03時、15時の風の資料が減少したために現われた結果ではないかと思われる。南北成分の極大時間はきれいに変化しているが、東西成分の極大時間はこれと比較すると不規則な変動をしており、特に400mbの値はおかしい。しかしながら南風の極大が現われてから、5.6時間後に西風の極大が現われると云ってよさそうである。出現時間も上層次第にずれていて西風で言えば6時から18時の方へ傾斜している。

Harris等は擾乱の方程式から、風と等圧面高度の日変化がそれぞれフーリエ級数で表わされるとすると、 $\cos$ と  $\sin$ の係数の間に次の関係があることを導いた。

$$\begin{cases} P_{z,f} = -\frac{a\omega \cos\phi}{g} P_{u,f} - \frac{a\omega \sin\phi \cos\phi}{gf} Q_{v,f} \\ Q_{z,f} = -\frac{a\omega \cos\phi}{g} Q_{u,f} - \frac{a\omega \sin\phi \cos\phi}{gf} P_{v,f} \end{cases}$$

ここに  $P, Q$  はそれぞれフーリエ級数の  $\cos$  と  $\sin$  の係数である。  $f$  は地球の回転と擾乱の振動数の比の  $1/2$  を示す。  $u, v, z$  は風の東西成分、南北成分、等圧面高度の日変化量を表わす。なお  $a$  は地球の半径、  $\phi$  は緯度、  $g$  は重力の加速度である。これより1日週期の場合について等圧面高度の日変化の振幅と極大になる時間を求めると第2図のようになる。図によると点はかなりばらついているが、振幅は200mb付近までだいたい増大する傾向が認められる。極大時間はだいたい西風の極大時間にほぼ一致して、700mbで12時頃極大が現われ、上層では次第に遅れ18時の方へ傾斜しているようである。各気圧面について等圧面高度の振幅と位相が定まれば、これより層厚の日変化の振幅と位相を求めて、さらに気温に換算すれば、気温の日変化が推定出来る。実際に気層を細かく分けて計算すればよいのであるが、2図で明らかのように日変化の振幅および位相はかなり不規則に変

動しているから、各層で計算した結果はよくなかった。たゞ比較の値のよさそうな200~500mbで計算すると、極大は18時頃現われ、振幅は13mとなった。これを気温に換算すると0.5°Cとなり、値としては少し大きいように思われる。極大の現われる時間についてもかなり誤差がある筈であるし、気温の日変化を求めるにはさらに多くの資料が必要であると言うべきであろう。

参 考 文 献

F. G. Finger, M. F. Harris and S. Teweles, : 1965. Diurnal Variation of Wind, Pressure, and Temperature in the Stratosphere. J. App. Met, 4, 632~634.

討 論

北村: 観測数が充分でないと云うことだが、18時極大が云えるか。

松橋: 200~500mbでは資料の点であまり強く云えないが、max.の点はまちがっていないと考えている。

菅野: 内陸性、海洋性による相異はないか。

松橋: 200mb以上では考えなくてよい。高い所及び低い所はよく知られているが、中間の層ではまだ不明な所もある。

和田: 摩擦の影響はないか。

松橋: 700mb以上では考えなくてよい。

和田: どの高さから風からの推定がよいか。

松橋: はっきりえないが、20~500mb以上では風の資料の方がよい。

長島: 風の誤差はどの位か。又半日変化は求まらないか。

松橋: 誤差は10%位、半日変化は形式的には求まるが意味がない。

小玉: 第2図の位相の誤差はどの位か。

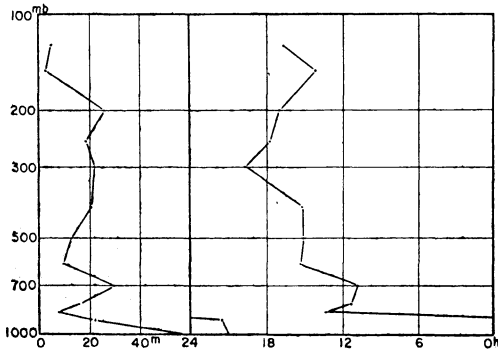
松橋: はっきり云えないが、上限は6時間位(90度)遊に云うと、誤差が分れば確答が出来る。

大気中における宇宙線生成  
核種とその気象学的応用

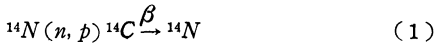
三宅 泰 雄 (気象研)

宇宙線およびその作用で、大気上層でつくられる二次中性子と、大気中の窒素、酸素およびアルゴンなどが作用して、中性子捕獲 (neutron capture) あるいは核破砕 (spallation) が起こり、第1表にしめすような種々の放射性核種ができる。

窒素について、核反応の一例をしめすと次のようである。



第2図 等圧面高度の日変化



(1) 式は  ${}^{14}\text{N}$  に中性子が入り、プロトン P を放出して  ${}^{14}\text{C}$  をつくる反応であり、(2) は  ${}^{14}\text{N}$  に中性子が入り、トリチウム T を放出して  ${}^{12}\text{C}$  をつくる核反応である。トリチウムについては(1)式の反応より、むしろ核破砕反応によって生成される方が多い。

第1表に宇宙線生成核種について、半減期、生成率および地球上における存在量などをしめす。

第1表 宇宙線生成核種

核種	半減期	生成率 (対流圏) cm <sup>-2</sup> , sec <sup>-1</sup>	生成率 (全大気) cm <sup>-2</sup> , sec <sup>-1</sup>	地球上の 存在量
<sup>3</sup> He	安定			
<sup>10</sup> Be	2.7 × 10 <sup>6</sup> y β <sup>-</sup>	3 × 10 <sup>-2</sup>	9 × 10 <sup>-2</sup>	930ton
<sup>36</sup> Cl	3.1 × 10 <sup>5</sup> y //	4 × 10 <sup>-4</sup>	1.1 × 10 <sup>-3</sup>	15 //
<sup>14</sup> C	5568y //	0.8	1.8	54 //
<sup>32</sup> Si	710y //	5.4 × 10 <sup>-5</sup>	1.6 × 10 <sup>-4</sup>	1.4kg
<sup>3</sup> H	12.5y //	8.4 × 10 <sup>-2</sup>	0.25	3.5 //
<sup>22</sup> Na	2.6y {β <sup>+</sup> γ}	1.8 × 10 <sup>-5</sup>	5.6 × 15 <sup>-5</sup>	1.2 //
<sup>35</sup> S	87d β <sup>-</sup>	4.9 × 10 <sup>-4</sup>	1.4 × 10 <sup>-3</sup>	4.5 g
<sup>7</sup> Be	53d γ	2.7 × 10 <sup>-2</sup>	8.1 × 10 <sup>-2</sup>	3.2 //
<sup>33</sup> P	25d β <sup>-</sup>	2.2 × 10 <sup>-4</sup>	6.8 × 10 <sup>-4</sup>	0.6 //
<sup>32</sup> P	14.3d β <sup>-</sup>	2.7 × 10 <sup>-4</sup>	8.1 × 10 <sup>-4</sup>	0.4 //
<sup>99</sup> Cl	55min β <sup>-</sup>	6.1 × 10 <sup>-4</sup>	1.4 × 10 <sup>-2</sup>	2.5mg

これらの核種を生成するに必要なエネルギーは、最低20~40 Mevである。

第1表にしめした核種の中、<sup>14</sup>Cおよび<sup>3</sup>H(T)は、水爆の爆発によっても、かなりの量が生成される。大気中で生成された<sup>14</sup>Cは、CO<sub>2</sub>ガスとなる。現在、大気中の炭酸ガスにふくまれる<sup>14</sup>Cは、水爆実験によって数十パーセントが増加した。

降水中のトリチウム濃度は、1954年3月ごろまでは、T/Hとして約8 × 10<sup>-18</sup>であった。(T/Hの比として10<sup>-18</sup>をトリチウム・ユニット(T.U.)とよんでいる。)この値は宇宙線によって生成される天然のトリチウム量と考えられる。水爆実験直後には、この値が数千から数万T.U.に増大した。

宇宙線生成核種の気象学的応用として、次のような研究項目をあげることができよう。

I <sup>14</sup>Cについて

1. CO<sub>2</sub>の大気—海洋間の交換に関する研究

20世紀に入ってから、石油、石炭などの化石燃料の消

費が急速にふえている。その結果、大気中のCO<sub>2</sub>ガスの増加が考えられている。しかし、放出されたガスがそのまま大気にとどまるか否かは、海洋へのCO<sub>2</sub>のとりこみ方に依存している。海洋中には、大気中のCO<sub>2</sub>の約60倍の炭酸物質がとけている。海洋中へのCO<sub>2</sub>ガスのとりこみ方がおそければ、放出されたCO<sub>2</sub>ガスは、長く大気にとどまる。またとりこみ方がはやければ、大気中のCO<sub>2</sub>ガス量はほとんど一定にたもたれるであろう。

<sup>14</sup>Cの供給源は大気上層のみであり、これをトレーサーとして、大気—海洋間のCO<sub>2</sub>ガスの交換のはやさを求めることができる。

2. 大気汚染の研究

化石燃料の消費の増加にともなって、大気中に放出されるCO<sub>2</sub>ガスの量はいちじるしく増大した。

<sup>14</sup>Cの半減期は第1表にしめしたように5568年であるから、化石燃料中には、<sup>14</sup>Cはほとんど存在しない。したがって、化石燃料の燃焼によって放出されるCO<sub>2</sub>ガス中にも<sup>14</sup>Cはほとんどふくまれない。その結果、化石燃料からのCO<sub>2</sub>は、大気中のCO<sub>2</sub>ガス中の<sup>14</sup>Cを希釈する効果をもつ。<sup>14</sup>Cの比放射能測定が、大気汚染の研究に有用な手段となるであろう。

3. 対流圏と成層圏の大気交換のはやさやメカニズムについても、<sup>14</sup>Cをトレーサーとして研究することができる。

4. 成層圏内の気象学

いままでの観測によると、水爆で生じた大気中の<sup>14</sup>Cの分布は、北半球の中緯度地帯にあつまっていることが報告されている。

<sup>14</sup>Cの成層圏における分布が、成層圏の気象学解明の有力な手段の一つを提供するであろう。

II Tについて

1. 水蒸気の供給源について

水蒸気を構成しているHの同位体であるトリチウムをトレーサーとして、水蒸気の供給源を追跡することができる。地球表面の2/3は海洋、1/3は大陸におおわれているが、大陸から蒸発した水蒸気と、海洋からの水蒸気とはトリチウム濃度がことなる。したがって、トリチウム濃度の測定から、水蒸気の循環、あるいは水蒸気のバランス・シートを考えてゆくことができる。

2. 地下水の循環の研究

地下水中のトリチウム濃度は、地下に潜入後は時間の経過とともに、半減期にしたがって減少してゆく。

トリチウムを指標核種として、地下水のゆくえを追跡

することができる。すでに、アメリカでは、地下水の循環の研究に、最も有効な手段の一つとして用いられている。

3. 成層圏内の水蒸気のごきの研究

成層圏内でつくられたトリチウムは、対流圏にかなりはやく落下してくる。空気については、成層圏、対流圏の交換のはやさは数年と考えられているが、トリチウムは数ヶ月の半減期でおちてくる。トリチウム自身の半減期は12.5年であり、成層圏の水蒸気のごき、および対流圏への落下速度を追跡するには適当である。

これらのほか、宇宙線生成核種としては、<sup>7</sup>Be、<sup>32</sup>Pなどが、対流圏内の気象学的研究に有効な手段を提供する。<sup>7</sup>Be、<sup>32</sup>Pの半減期はそれぞれ53日、25日であり、対流圏の空気の交換のはさを追跡するには適当な半減期をもっている。半減期のことなる二つの核種の濃度分布から、対流圏の病気のごきを知ることができる。

(猿橋勝子記)

討 論

須田: 地球上の存在量は、どのようにして求めるのか。

三宅: 測定に基づいて、計算により求める。<sup>7</sup>Beなどをみると、極の方に非常に多いが、これは極で生れたと云うよりは、大気の運動によって極にあつめられたと考えられる。

小玉: 宇宙線の変化と直接関係づけられるのは何か。

三宅: 天然に安定同位体が多く存在せず、しかも寿命の短い核種については結びつけられると思うが、天然に安定同位体が多量にあるものだと困難である。

乗鞍における気圧と風の関係

川崎信吉, 和田雅美 (理研)

昨年(1971)のシンポジウムにおいて、乗鞍の東大宇宙線観測所での気圧変化と風の関係を報告した際、気圧変化を示すものとして中性子強度の変化量をとった。風としては2時間平均を用いた。これで、

$$\Delta P = \frac{C}{2} \rho V^2 \tag{1}$$

は、必ずしもよくなりたなかつた。解析方法を改良し、次に<sup>2,3)</sup>

$$\Delta P = bV + cV^2 \tag{2}$$

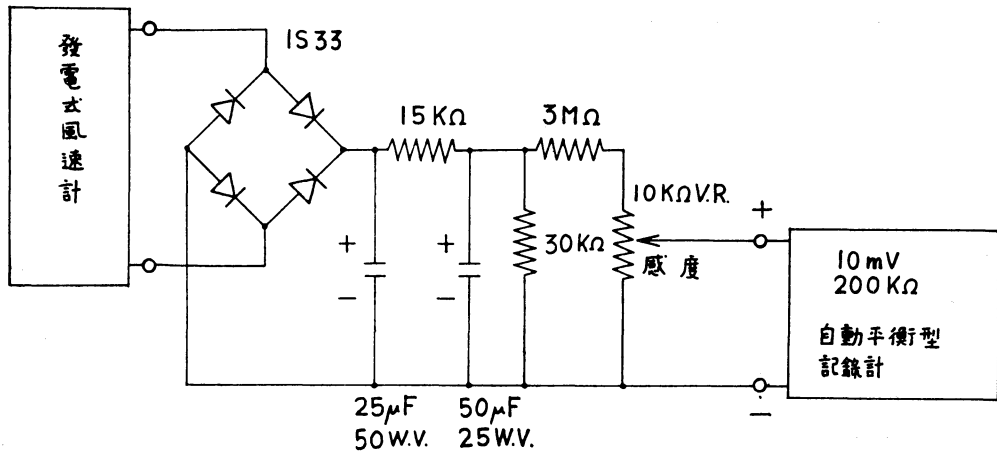
とした結果、 $b=0.1$ 、 $c=0.0022$ であった。cを動圧によるものとすれば(1)の $C=0.49$ となる。なお乗鞍は海拔2170mで平均720mbである。

その後、発電式指示風速計(風程接点付)を購入し、第1図の回路により整流し、記録した。この回路は2m/sまでハムもなく、指示計からのおくれも目立たず、直線性も実用にさつかえなかつた。さらに気圧を拡大して記録するため、上利式気圧計の1K $\Omega$ 以下の抵抗に一定電流(1mA)を流し、1V以下の電位を出し、これを下げて、10mVの記録計で記録した。第2図は記録の1例である。記録紙は3min/cmで走らせた。気圧は8cm/mbとし、下図に示す。風は25cm/20ms<sup>-1</sup>として上に示す。

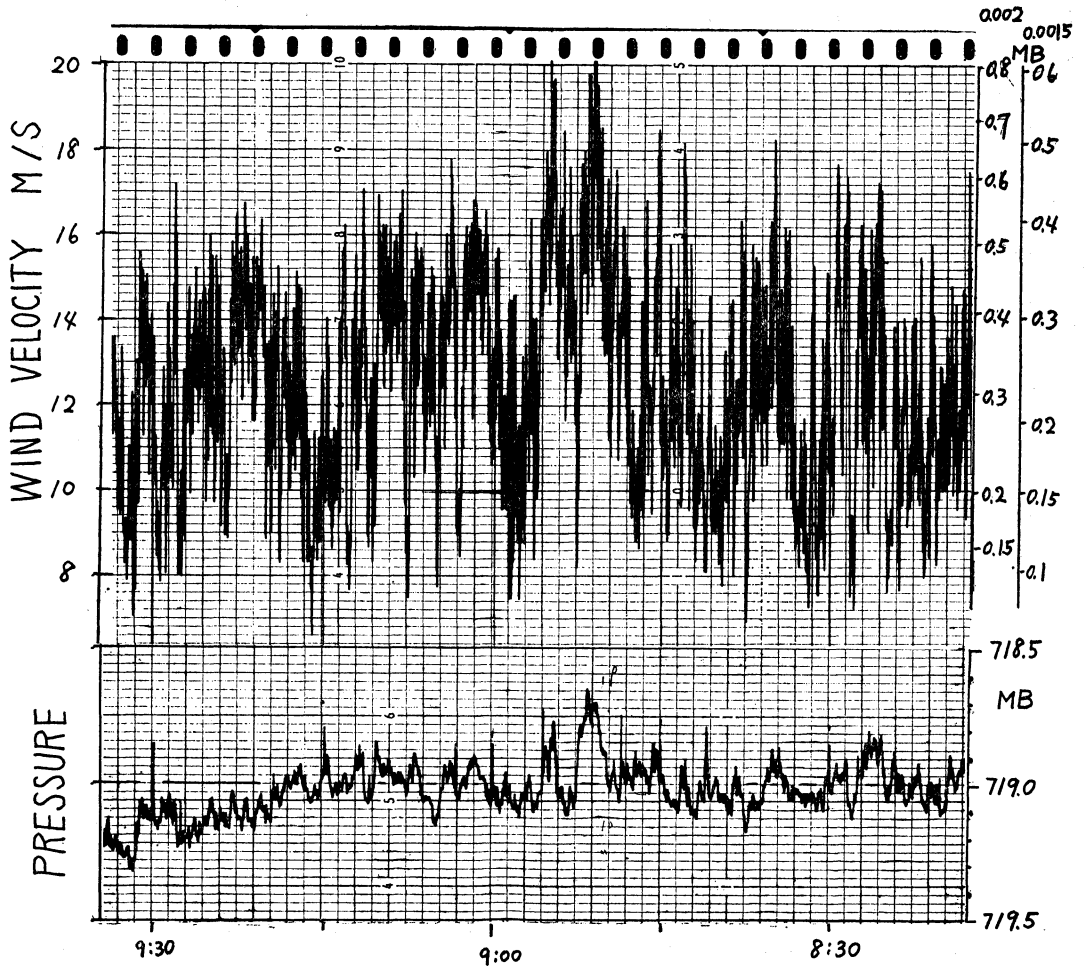
12月中の風速20m/s前後の時を用い、数分の風速変化と、気圧変化の似ている例を10例ほどとり出した。これを

$$P_1 - P_2 = c(v_1^2 - v_2^2) \tag{3}$$

に近似させた。こうして求めた係数は、 $c = -0.002 \sim$



第1図 発電式指示風速計用整流回路



DEC 5 1966

第2図 気圧と風速対照図. 右上の目盛は  $0.002v^2$  と  $0.0015v^2$  の場合の気圧変動分に対応する. 詳細は本文.

-0.0015である. これは(2)式で2時間値から求めたものと同程度である. 第2図の上図右にCの2例の目盛を入れた. 1分前後のうごままでよい対応を示しているが, 30秒位の風のうごきには気圧がともなわないように見られる.

なお, 清水氏<sup>4)</sup>の円板型気圧取入口からの場合と, 室内の気圧を見た場合の差がみられなかった. 円板は次のように用いた. テフロン材の径200mm, 厚さ10mmで, ふちは曲率をもたせてある. 穴は4mmで下向にした. 風向に対し曲率半径10mほどの屋根の, 頂上附近0.5m上に円板をおく, 支柱は上方垂直に0.5m上げ横に1mうでをのぼし, さらに下方へのぼし, 建物の屋根の

縁にとりつけた. 気圧は直空ゴム管5mほどつけ, まず20lのビンに入れ, さらに10mほど引いて上利式の水銀溜の口に直結した. 建物の屋根を用いたのは, そこに層流ができると考えたからでだが, 屋根の縁に近いし, よくなかったとみられる.

清水氏らの円板取入口による風洞実験での係数は(1)式のCにして, 現在の結果より1桁小さい. この値までなお改善する計画である. 乗鞍岳では雪や雨がほとんどま横から降るので, 気圧取入口の凍結, 水による管のつまりなどを防ぐ必要がある.

文 献

- 1) 川崎信吉. 天気, 13, 87 (1966)

- 2) 川崎信吉. 理研報告. 42. 60 (1966). (4) 式の  $0.22v^2$  は  $0.0022v^2$  とする.
- 3) 和田雅美, 須田友重. 日本物理学会誌 21, 563 (1966) 第9図の  $0.022v^2$  は  $0.0022v^2$  とする.
- 4) 清水逸郎, 矢島幸雄, 宇野義郎, 佐藤高, 松岡登志: 気象学会講演会1965年8月.

### 討 論

長島: 円板を屋根の上にとりつけたが, 屋根の先端の状態や, 円板と屋根の距離などの影響で乱流が作られる事はないか.

清水: 屋根の表面の状態や風の向きなどで, 風のない部分が出る事がある. 又屋根の端でおこるうずの中に入ってしまうと, 板の効果がなくなる. 又地形の影響で流線がみだれることがある.

菅野: 風洞実験で地形の影響を知る事は出来ないか.

清水: 地形の影響の場合には, 重力の影響も考えなければならないので, 小さな風洞で単にレイノルズ数をあわせても正確なものは得られない. 測定場所を条件がそろえるようにする方がよい.

和田: 雪がつもったりするので, パイプでのばしたりするが, その影響は.

清水: 測定がスタティックならば, パイプが著しく太くない限り影響はあまりないと思う.

和田: 風と気圧の関係は.

清水: 風のいきと, 気圧変化は, 位相の差はあるが必ず伴っている.

### デジタル記録式船舶用気圧計の試作

小 玉 正 弘 (理研)

#### 1. 序

宇宙線中性子強度が気圧によって大きく左右されることは既に前回のシンポジウムで述べた(天気13巻3号参照). 気圧を陸上で測る場合は, 無風状態である限り0.1mbの精度を得ることはさして困難ではない. しかし走っている船の上で同精度の気圧値を得ることは, 次の諸原因から極めてむずかしとされてきた.

- 船の傾き (前後左右)
- 船体の受けるショック即ち加速度
- 波による船位自身の上下変化
- 風

吾々の場合, 船上での宇宙線観測上から要求される気圧の誤差は, いかなる悪天候の下でも0.6mb以下であって欲しい. しかもその記録は連続であることが必要であ

る. 従来のフネロイド型指示気圧計では, 人が直接読みとる限り0.5mbの精度は得られる. しかし連続記録は望むべくもなく, 上のc及びdによる誤差はいかんともしがたい. 自記気圧計では連続記録は得られても, インク巾のぶれが2~3mbに達することは珍しくない. 勿論c, dによる誤差は避けられない. かくて吾々宇宙線屋の要求は, 従来の気圧計ではまづかなえられそうにないと思われる.

そこで吾々は宇宙線観測に適した新しい気圧計を試作したが, これは上のa, b, c, dに関係なく常に $\pm 0.4$ mb以内の精度で, 気圧値を10分毎に紙テープ上に印写記録する性能を持っている.

以下これについて簡単に報告する. 尚詳細については' M. Kodama, Y. Ishida and I. Shimizu.:

Development of a barometer sensor insensitive to high winds. 気象集誌 (印刷中)

M. Kodama, E. Gotoh and H. Nakatani:

On a digital recording shipborne barometer. 気象集誌 (印刷予定)

を参照頂きたい.

#### 2. 風による気圧変動への対策

風による気圧変動を除くには, 原理的には簡単なことで次の2つの方法である.

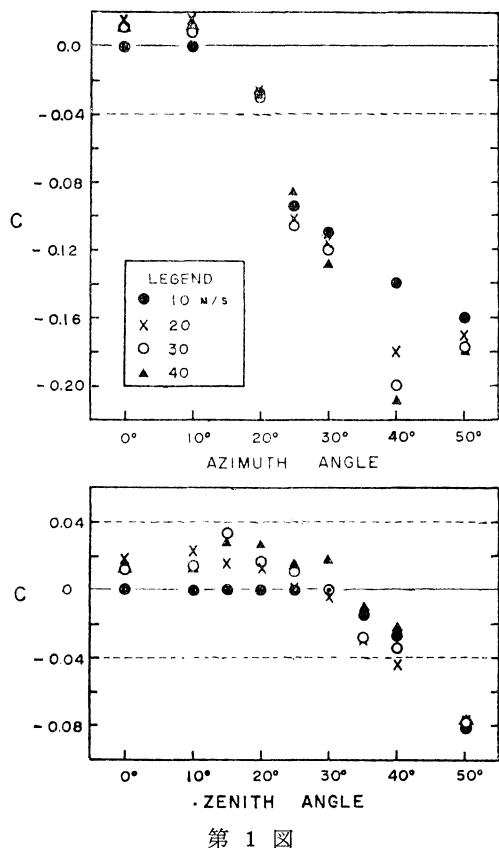
- 完全な層流を作って静圧をとり出す.
- 動圧と陰圧とを丁度 cancel させる

1. は風向が完全に一定ならば問題はない (例: ピトー管). また, 水平方向のみの風ならば, 清水氏の円板型気圧計sensorによって静圧を得ることができる. しかし風向は水平だけでなく鉛直方向にも変化するのが普通であるから, 1の方法には限界がある. そこで2の方法でどこまでcancelが可能であるかを風洞実験によって決めることを試みた. 3種類の形状の異なる6面体型sensorを用意し, 風上側の2辺と, 風下側の2辺に1ヶづつ合計4ヶの小孔をあけた. 孔の数, 位置, 大きさがcancel法にessentialに動く要素であるが, 簡単のため数だけは4ヶと固定した. 最終的に得られた結果を第1図に示した. 縦軸のCは,

$$C = \frac{\Delta p}{\frac{1}{2} \rho V^2} \quad (1)$$

で与えられる. 但し $\Delta p$ は静圧からの偏位分,  $\rho$ は空気密度, Vは風速である. これによると上下角度 $\pm 0.40^\circ$ , 方位角 $\pm 20^\circ$ , に対して, Cは0.04以下, 即ち40m/secの風速で $\Delta p$ は0.4mb以内に押えられる. 実際はこのsensor



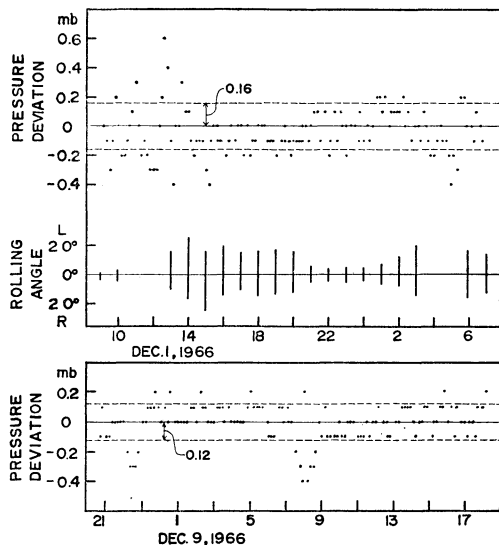


第 1 図

気圧の変動の 1 例である。上図には船のローリング角度が示してある。これから荒天時でも r. m. s. で  $\pm 0.2\text{mb}$  以内におさまることが分かる。宇宙線との相関も、従来の気圧計による値よりすぐれている。第 3 図はその 1 例で (A) が旧型、(B) が新型気圧計の場合である。

気圧測定 940~1040mb でその間の気圧  $p$  は、  

$$p = 940.0 + 0.111N \quad 0 \leq N \leq 990 \quad (2)$$
 で与えられる。  $N$  は印字される 3 桁の数字である。



第 2 図

に羽をつけて水平方向に回転できるようにし、 $0^\circ \sim 360^\circ$  の風に対して有効に働らくようにした。

3. 船の傾き、ショック、上下動による気圧変動の対策

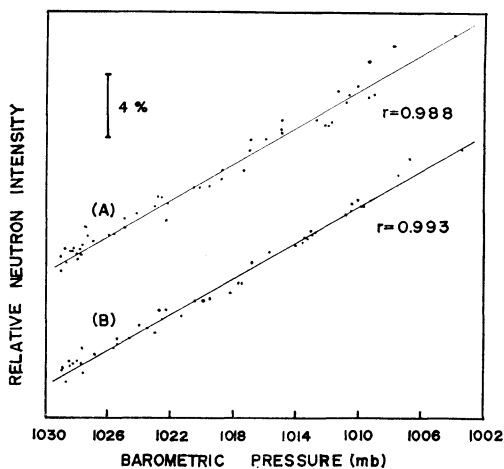
激しく動揺する船上ではアネロイド型に頼らざるを得ないが、これを次のように改良した。

1. ペローズの自重をできるだけ軽くし、ほぼ一気圧相当のバネと鈎合せる。(a, b への対策)
2. ペローズを油槽にひたす (b への対策)
3. ペローズの変位を電的に周波数変換し、10分毎に周波数の積算値を読み出す (a, b, c への対策)
4. 全体をジャイロ機構で吊し、 $\pm 40^\circ$  の傾きまで鉛直性を保たせる。(a, b への対策)

変化周波数は常時計数され、10分間積算するので、C の効果ならびに機械的改良のみではまだ除き切れない、a, b の効果の残りを完全に打ち消すことができる。

4. 性能

第 2 図は荒天時 (上) と静穏時 (下) における 10 分値



第 3 図

5. 今後の問題点

1. ペローズを使用する以上、長期に亘ってのヒステレシスは避けられないので、定期的な検定は必要である

- う.
- 2. 発振周波数を更に1割あげて(1)式を  

$$p=940.0+0.1N \quad 0 \leq N \leq 1000 \quad (3)$$
 であらわせるようにすればなお便利である。  
 次作からはこのように改善できるだろう。
- 3. 現 sensor は気密ジョイント使用のため4m/secの風に対して方向を変えられない。

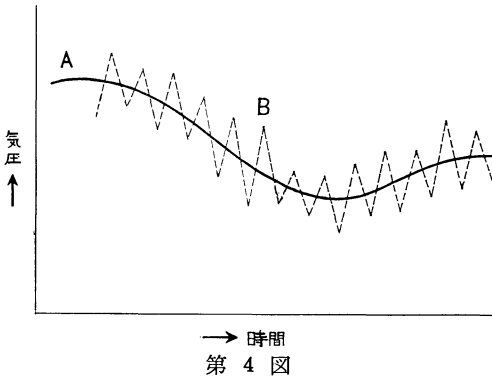
結局球形のものが全方向の風に対して理想的なので、これについての風洞実験を試みるつもりである。

6. 気圧測定法についてのコメント

最後に気圧の測り方について素人の意見をつけ加えた。一般に気圧変化はそう急に起こるものでなく、かなりその時定数は長い筈である。これに対し a, b, c による分は極めて時定数の短い現象である。

第4図でAを真の気圧変化とすれば、後者はBの点数で示されるようなものであろう。

現行の気圧計はあまりにも感度が良すぎるためにAもBも一緒に測ることになり、結果的には精度を損している。従つてAとBとを別々に測る方式にしたらどうか。



極端なことを云えば、時定数3時間の気圧計でも天気図作成には用が足りるのではなからうか。もしこまかい変動が知りたければ、Aには感せずBのみに感ずる微気圧計にしたらい。ここに報告した新気圧計もつまるどころ時定数10分の気圧計だと云える。しかもそれで現行以上の精度が得られることを強調しておきたい。風は時定数の割に長い現象だから、上の方式だけでAとの分離は無理で、専用のSensorの必要性は高いことになる。

7. おわりに

本気圧計の試作に当つては気象庁、清水逸郎氏をはじめ多くの方々から貴重なご指示やご協力を頂いた。ここに深く感謝したい。また、実際の製作には、東京鈴木製

作所のご協力に負うところが多大であった。

討 論

- 長島: アネロイドのヒステレシスはのぞけるか。
- 小玉: アネロイドの宿命と考える。
- 和田: チェックはどうするか。
- 小玉: 風のあるとき、ないときなどでチェックする。づれは、ヒステレシスによるものであればやむをえない。
- 和田: 場所によって異なる重力補正がいらぬか。
- 清水: アネロイドの場合はあまりきかない。水銀柱と異なる点である。
- 和田: 場所はどこのおいたか。
- 小玉: 場所としては、悪い所においた。マストの上の風速計は動かないのに、マストの反射で風が生じている。
- 長島: 穴のあけ方は算術的に考えてよいか。たとえば、球面にランダムに穴をあければ、どこから吹いてもよいものが出来るか。
- 清水: 算術的に考えてよい。球にたくさん穴をあけるとか、かごに入れるとよくなるかも知れない。

宇宙線強度と各等圧面高度との相関

須 田 友 重 (気象研)

宇宙線の大気効果をしらべるのに、統計的にいわゆる相関係数を求める方法が行なわれている。硬成分については、吸収過程としての気圧効果の他に崩かい過程を反映するものとして、気温効果が考えられている。すなわち、

$$\Delta I = \alpha_1 \Delta P + \beta_T \Delta T \quad (1)$$

[ I: 宇宙線硬成分強度 P: 観測点の気圧

T: 平均気温 (調和平均) α: 気圧効果係数

β: 気温効果係数 ]

または、硬成分が発生する高さを代表するものとして、成層圏附近の等圧面高度 (H) を用い

$$\Delta I = \alpha_2 \Delta P + \beta_H \Delta H \quad (2)$$

なる回帰方程式を用いた相関をとっている。

気象研究所の大型電離函で得られた約3ケ年の宇宙線の資料で、気圧、100, 200, 500, 700及び900mbの各等圧面高度を用い(2)式の統計をとった。その他

$$H'(100\text{mb}) = H(100\text{mb}) - H(1000\text{mb})$$

$$H'(200\text{mb}) = H(200\text{mb}) - H(1000\text{mb})$$

$$H'(300\text{mb}) = H(300\text{mb}) - H(1000\text{mb})$$

の各高度差も用いた。これは(2)式を書き直すと

表 1

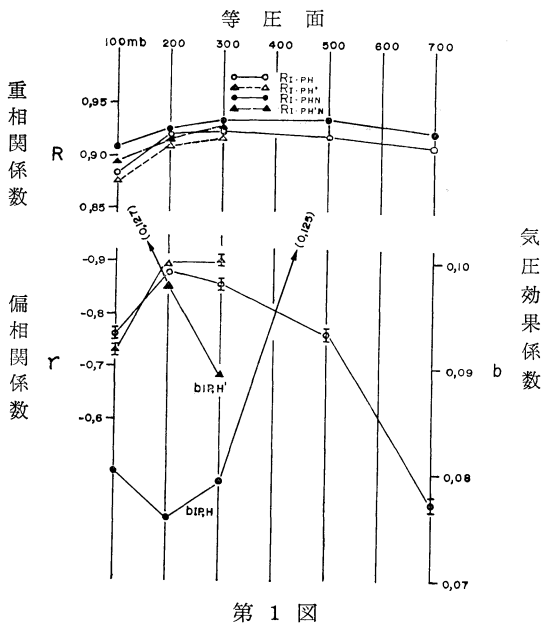
	期 間	日 数	RI・PH <sub>100</sub>	RI・PH <sub>200</sub>	RI・PH <sub>300</sub>	RI・PH <sub>500</sub>	RI・PH <sub>700</sub>
1	'63 1~2	52	0.909	0.932	0.940	0.925	0.910
2	3~5	67	0.957	0.969	0.962	0.947	0.918
3	6~8	65	0.894	0.898	0.896	0.994	0.894
4	9~11	53	0.942	0.934	0.945	0.947	0.901
5	12~'64	70	0.764	0.862	0.841	0.856	0.888
6	'64 3~5	84	0.915	0.963	0.965	0.959	0.954
7	6~8	80	0.944	0.941	0.938	0.922	0.900
8	9~11	66	0.942	0.953	0.968	0.976	0.967
9	12~'65	47	0.825	0.872	0.920	0.950	0.936
10	3~5	77	0.928	0.951	0.954	0.940	0.920
11	6~8	57	0.907	0.921	0.931	0.933	0.933
12	9~10	29	0.653	0.763	0.828	0.855	0.828
	平 均		0.881±0.087	0.913±0.056	0.924±0.045	0.925±0.037	0.912±0.035

$$\Delta I = \alpha_2 \Delta P + \beta_H \left( \frac{\partial H}{\partial T} \Delta T + \frac{\partial H}{\partial P} \Delta P \right)$$

$$= \left( \alpha_2 + \beta_H \frac{\partial H}{\partial P} \right) \Delta P + \beta_H \left( \frac{\partial H}{\partial T} \right) \Delta T \quad (3)$$

で示されるように、μ成分の発生層から観測点までの距離の変化を、気温による膨脹収縮と、気圧変化すなわち物質の増減によるものと分離することになる。このようにして統計量としてより独立なものをを用いる事になる。

表1に各期間と日数、及び3重相関係数を示した。

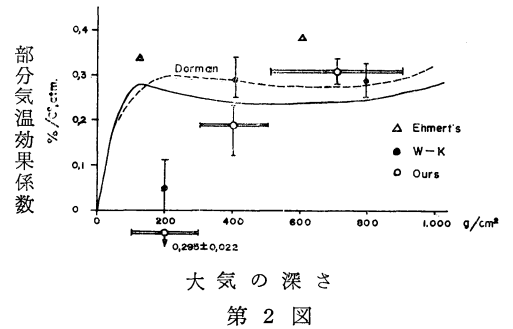


第 1 図

100mb, 200mbよりは低い所の重相関が大きくなっている。これは高緯度の解析<sup>2)3)</sup>と少しことなる点で、中緯度の特徴と考えてよいと思われる。図1に表1の結果と、さらに乗鞍ではかった核子成分強度(N)を入れ、大気外の宇宙線強度の変化を考慮<sup>3)</sup>した解析結果を一緒にして示した。

図1の下半の偏相関係数 r<sub>IP・H</sub>及び、r<sub>IP・H'</sub>をみるといづれも高度として、200~300mbをとった方がよい相関を示している。又前述したように、等圧面の高さそのものより、1000 mb 面との高度差をとった方がよい相関を示しているのは、統計的処理の問題として興味ある点である。

高度別の気温効果係数(部分気温効果係数)を図2に示した。図中の実線及び破線は夫々前田<sup>4)</sup>、Dorman<sup>5)</sup>が理論的に求めたもので、実験値は、Ehmer<sup>6)</sup>、Wada Kudo (W-K)<sup>7)</sup>及び我々のものである。高度の低いところでは、理論値と測定値が一致しているとみてよい。高



第 2 図

表 2

	$\gamma_{H300-1000, H100-300}$	$\gamma_{I, H100-300} : \rho$
1	-0.368	+0.340
2	-0.240	+0.244
3	-0.068	+0.282
4	+0.041	-0.191
5	-0.653	+0.555
6	-0.617	+0.586
7	-0.061	+0.051
8	-0.643	+0.677
9	-0.734	+0.825
10	-0.706	+0.702
11	-0.132	+0.289
12	+0.054	+0.115

い所では、Ehmert のもの以外はかなりづれている。これは統計的によく現れる現象で、始め Duperier<sup>8)</sup> が高い所での  $\pi$  中間子の崩壊いと結びつけて正気温効果として考えたものである。その後図に示されるように理論的にこのような値が期待されない事が分り、表2に示すように、大気の気温が成層圏(100mb~300mb)と対流圏(300mb~1000mb)で逆の相関をもつことからくるものと考えられている。

なお、この仕事は、従来我々の所で用いている気圧効果係数(-0.11%/mb)の値が大きすぎる傾向にあるのを

たしかめるのが目的の一つであり、結果(図2)として従来の値より約10%低い値をえた。これについては電離函の残留電離電流と併せて考えて行く。

## 文 献

- 1) M. Wada and S. Kudo: J. Sci. Res. Inst. **48** 245, 1954
- 2) A. Duperier: Terr. Mag. Atm. Elect. **49** 1, 1944
- 3) H. Carmichael, M. Beruovitch, and J. F. Steljes: Proc. Int. Conf. Cosmic Rays p.492, 1965
- 4) K. Maeda: J. A. T. P. **19** 184, 1960
- 5) L. I. Dorman: Cosmic Ray Variation 1957.  
Translated by U. S. A. F. O. S. R.
- 6) A. Ehmert: Proc. Moscow Conf. Cosmic Rays IV 25, 1951
- 7) M. Wada and S. Kudo: J. Sci. Res. Inst. **50** 1, 1956
- 8) A. Duperier: J. A. T. P. **1** 296, 1951

## 討 論

長島: 上層の気温との正の相関がいつもそんなに大きいか。

和田: いつもではないが、大きくでる事がある。従来から気圧補正値を統計的に求めて来たが、今後別の方法で求める事を考えたい。

## 小林寿太郎会員発明協会より地方発明表彰を受賞

さきに発明協会から日本気象学会に昭和42年度地方発明表彰受賞候補者の推せん依頼がありました。そこで気象学会では気象庁測器課長小平信彦氏に依頼し、昭和42年6月27日に小林寿太郎会員を気象学会として推せんすることになり、手続きをとりましたところ、上記のような表彰を受賞することになりました。ここに会員一同およろこび申し上げます。ここに会員一同およろこび申し上げます。今後さらに研究に励まれることを期待いたします。

なお受賞の対象となった業績は下記のとおりです。

発明考案の名称: 「特殊処理を施した毛髪による湿度計」

特許登録年月日: 昭和32年3月13日

この発明の新規性: 湿度計として用いる毛髪に従来行なっている処理方法に、圧延と硫化物その他の化学的処理を加えて、履歴現象、温度影響を大巾に減少させ、おくれを改善した。これによって湿度測定精度は、 $\pm 1\%$ まで改善され、 $0^{\circ}\text{C}$  以下 $-50^{\circ}\text{C}$  に至る低温においても精確にかつ急速に動作する。