

宇宙線による高層気温リモートセンシング

—— 甲府における鉛直宇宙線計 ——

小玉正弘 小宮恵美子

昭和59年2月より山梨医科大学において宇宙線全成分強度の試験観測が開始された。プラスチックシンチレータ粒子検出器4基を鉛直4層に配置し、異なる3つの立体角内に入射する全成分計数を、気圧デジタル値とともに1時間毎に紙テープ上に自動記録する。ミニコンピュータによるデータ処理により、宇宙線計自身の温度効果ならびに全成分の気圧効果について調べた。本報告は、宇宙線応用学の立場から高層大気温度変化を推定する研究の第1報である。

キーワード：宇宙線、大気効果

1. 序

一般に宇宙線強度連続測定用の宇宙線計は、ある程度の指向性を利用して銀河宇宙線の天球分布やその時間的変動を捉えようとするもので、固定式と掃天式の2種類に大別できる。前者は視野と視方向は固定されているが、地球自転を利用して順次天空の異なる領域を見ていくことになる。後者は光学あるいは電波望遠鏡のように積極的に視方向（あるいは視野）を変えて全天をくまなく探査する方式である。実際には両方式を併用してより効率化を図る方法もある。いずれにしても宇宙線計は本来宇宙物理学研究の一環として使用されているもので、世界的に広く固定式による観測網が張られている所以である。しかしながらここで対象としているのはたかだか0.1%程度の小さなゆらぎ現象なので、その有意な検出のためには高性能つまり大規模な装置を必要とする。日本では現在、地上、山上、地下それぞれに大型宇宙線計が稼動中であるので、更に一地方都市に同じ目的の宇宙線計を設置するのは学問的にも経済的にもあまり得策ではない。

そこで宇宙物理学よりはむしろ宇宙線応用学¹⁾の立場から、高層気温の推定とくに異なる視野観測によって気

団や前線の移動を求めることを試みる。従来高層気温の測定は主として気象用気球ゾンデに頼るしかなかったが、この方法の自動化は困難で従って測定回数に限界がある。また、最近では人工衛星によるリモートセンシング技術²⁾が開発されているが、これもゾンデ法と同じく連続的データの取得が困難である。これらに対し、もし宇宙線応用の技術が確立されれば、連続データが容易に得られるのでその利用価値は高いだろう。宇宙線中間子成分と高層気温との密接な関係は1950年代から研究され³⁾、最近では井上、小玉⁴⁾により宇宙線による気温推定法の具体的可能性についての検討がなされた。

山梨医科大学(138°32'E, 35°36'N, 海拔260 m)では、大きさ4 cm×100 cm×100 cmのプラスチックシンチレータを用いた粒子検出器4基を鉛直4層に配置し、2重、3重、4重の同時放電法による異なる3立体角成分の連続測定を計画した。宇宙線計を設置する室の床荷重制限のため、硬成分(muon)のみ検出するに必要なかつ十分な鉛吸収板が設置できないので、電子成分も含めた全成分を測定することにした。このため期待される大気効果は若干薄められることになるが、立体角を変えることによって宇宙線計の視野が異なるので、異なる温度層の水平移動が起これば、3成分間の比較からそれを推定できることが期待される。

連続測定は昭和59年2月より開始されたが、まだ整備段階にあり観測室の恒温化も完全ではない。本報告では

宇宙線計の概略と、装置自身の温度依存から求めた温度補正係数と必要な温度制御の精度について述べる。また、全成分の気圧効果からその補正係数を求め、測定が正しく行われているかどうかについて検討する。目的とする高層気温との関係については第2報以降に述べる。

2. 高層気温推定の原理

地上に到達する宇宙線硬成分 (muon) 強度への高層気温の影響は一般に次式で表される。

$$\Delta I (E, t) = \int \alpha (E, h) \cdot \Delta T (h, t) dh \quad (1)$$

ただし、Eはmuonのエネルギー、hは大気の高さ、tは時間を示す。温度変化 $\Delta T (h, t)$ に起因するmuon強度変化 $\Delta I (E, t)$ は、部分気温効果係数 $\alpha (E, h)$ の大きさによって決まる。即ち大気頂上から観測点まで $\alpha \Delta T$ を積分したものが、そこでのエネルギーEのmuonの気温効果である。 $\alpha (E, h)$ は理論的に計算でき、図1⁵⁾に示すように高エネルギー程プラス側に(正気温効果)、低エネルギー程マイナス側(負気温効果)に偏る。

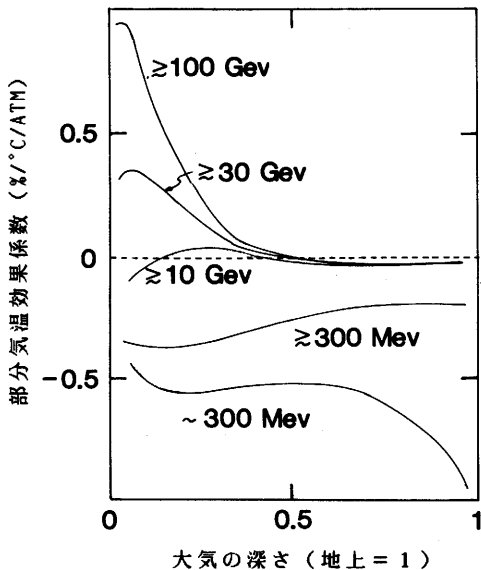


図1. 宇宙線muonの部分気温効果係数の高度変化。異なるエネルギー5成分について与えられる。

(1)式を逆に考えるとある高度での気温変化 $\Delta T (h, t)$ は次式で表せることになる。

$$\Delta T (h, t) = \int \beta (E, h) \cdot \Delta I (E, t) dE \quad (2)$$

ここで定数 $\beta (E, h)$ は別途に与えられるものとするれば、

muon強度観測から深さh、時間tの温度変化が求まる。問題は β の値で、もしmuon成分の種類(Eに依存)と異なる大気層(hに依存)の数が等しければ、 β は本来 α の逆行列の形で与えられる。しかし実際には宇宙線はあるエネルギースペクトルを持っておりEの実効値を決め難いこともあって、ある期間の既知の ΔT を使用して統計的に決める方がよいだろう。一旦決った β は式(2)で普遍的に使うことができる。ただし式(2)で決まるのは温度変化分であって温度の絶対値ではないことに注意を要する。絶対値を求めるには何らかの方法による規準化が必要である。

3. 鉛直宇宙線計の概要

宇宙線強度連続測定装置の製作上とくに要求されることは、

- 1) 長期安定と高信頼性
- 2) 完全自動化運転
- 3) データ処理の省力化と迅速性

の3点である。実際にはどの場合も製作コストとの兼ね合いから、それぞれの仕様、測定精度をきめるのが普通である。図1に示した気温効果係数の値から式(1)の宇宙線変動率は数%の桁と予想される。ということは、それ以外の原因による変動を測定の段階で1%以下に押えるか、あるいはデータ補正によって殆んど完全に除去できる必要がある。

宇宙線検出器としてはプラスチックシンチレータ(4×100×100 cm)を使用し、これを上面からでなく側

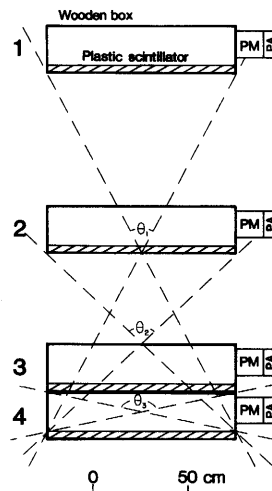


図2. 鉛直宇宙線計検出部の構造。PMは光電子増倍管、PAはプレアンプ。

面から覗くという南極方式⁹⁾を採用した。この方法はS/N比が若干悪くなる欠点がある反面、設置場所の鉛直方向スペースが限られる場合には便利である。図2に示すように、シンチレータを水平に収めた木製暗箱の側面にプレアンプ付の5"光電子増倍管 EMI 9530Bをとりつけた。同規格の暗箱4組を準備し図のように鉛直方向に配置した。装置は鉄筋3階建講義棟の3階床上に設置されたので、頭上には約60 g/cm²のコンクリート層が宇宙線に対する吸収材となる。

4つの検出器間の同時放電(1+2+3+4)、(2+3+4)、(3+4)によって、それぞれ立体角 $\theta_1 = \pm 27.3^\circ$ 、 $\theta_2 = \pm 46.2^\circ$ 、 $\theta_3 = \pm 77.3^\circ$ 内に入る宇宙線全成分を測定する。各立体角内に含まれる10 km高度での水平距離は $\sim \pm 5$ km、 $\sim \pm 10$ km、 $\sim \pm 44$ kmとなるので、例えば気団の移動速度が ~ 30 km/時以下ならば、宇宙線の1時間計数値の変動から十分追跡できることになる。

宇宙線計は前述の検出部の他に計数部と記録部からなる。前者のブロックダイアグラムを図3に示す。検出部からの4組のシングル計数と3組の同時放電計数に気圧

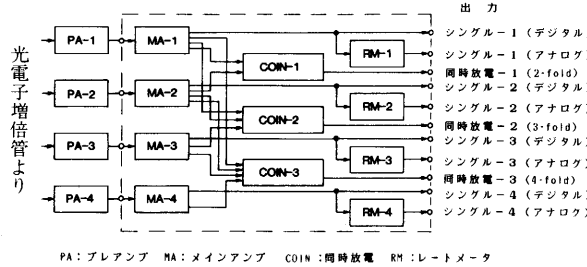


図3. 鉛直宇宙線計計数部のブロックダイアグラム。

値を含めた合計8チャンネルのパルス信号が記録部に送られる。そこでは1時間毎に計数が集計されさん孔紙テープ上に自動的に打ち出される。記録部のタイマー関係だけは蓄電池によって常時補償されているので、停電時でも時刻の狂いは生じない。ただし、停電中のデータは失われるが再通電すれば次の正時から正常記録に自動復帰する。

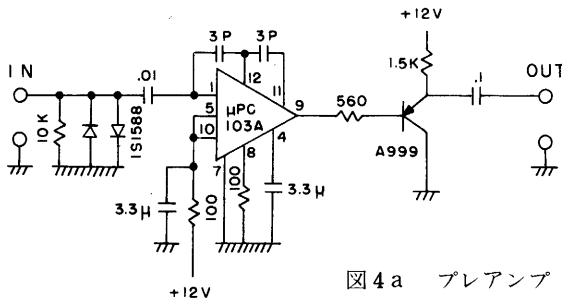


図4a プレアンプ

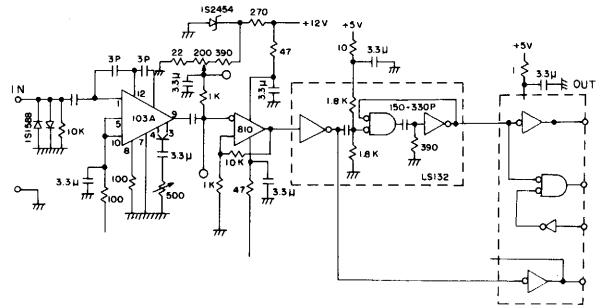


図4b メインアンプ

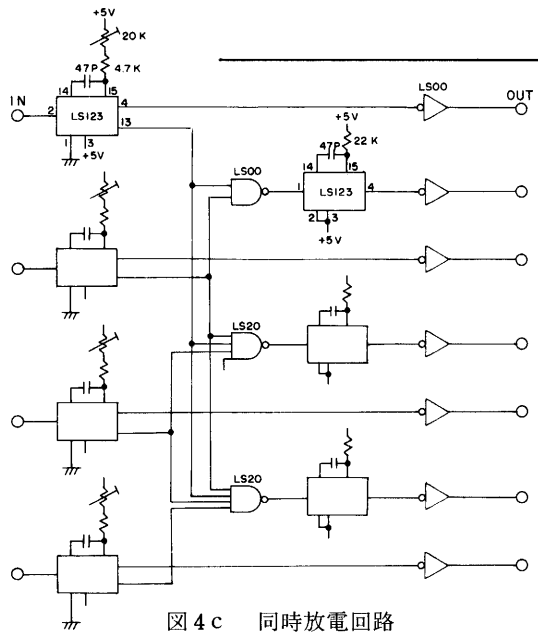


図4c 同時放電回路

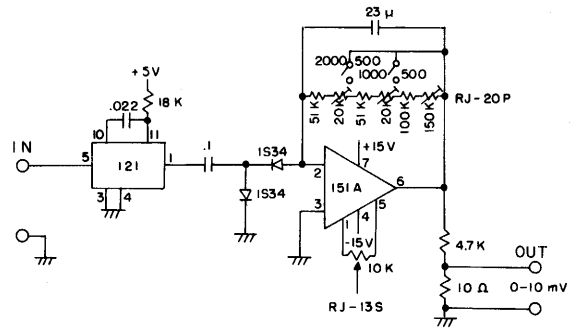


図4d レートメータ

他に、モニター用としてアナログ化されたシングル計数と気圧値が打点式自記記録計に出力されている。図4a、4b、4c、4dに計数部の各回路図を示した。

気圧は宇宙線測定に際して必須のデータなので、宇宙線雪量計⁷⁾用に開発された気圧計の出力信号をデジタル化して紙テープ上に出力した。これによって瞬時値でなく1時間平均値が得られるので、時間当りの積分強度である宇宙線データの気圧補正のためには最も適している。気圧計の構成は図5に示すように、市販の週き用気圧計のペローズの変位を差動トランスで検出し、それによっ

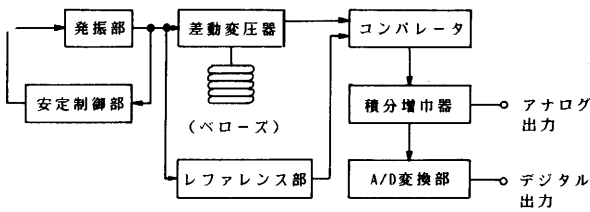


図5. 気圧計の構成ブロック図

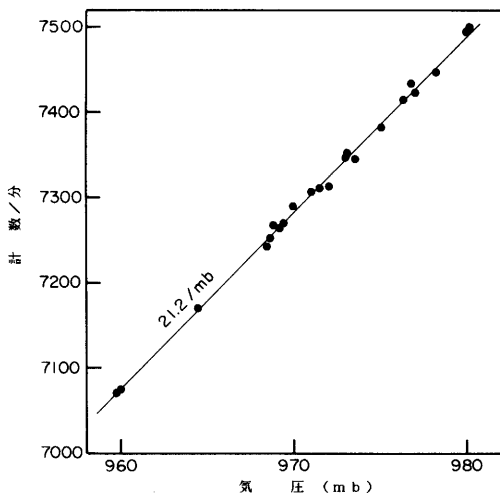


図6. 気圧計出力計数と気圧との相関図
各点は1時間値(計数)と1時間平均値(気圧)

て発振周波数を変調させる方式である。図6は出力周波数と気圧値との相関の1例で、実際には1/60に計数を落しているので1時間当りでは図示した計数値と同じになる。21.2カウント/mbの回帰直線からの各1時間値の分散は±5.5カウントなので、この気圧計の測定精度は±0.3mbになる。ただしこれは恒温下での測定ではないので、温度調節如何では0.1mb程度の精度は容易に得られる筈である。

4. 測定結果

宇宙線計が正常に動作しているかどうかの一つのチェ

ックとして、光電子増倍管への供給電圧に対する計数変化率つまり同時放電特性を測定した。結果は図7に示すように2-fold、3-fold、4-foldのそれぞれにプラトー領域がはっきり見られる。これから3者に共通した中心電圧+820Vに高压電源を固定した。この時の1時間当

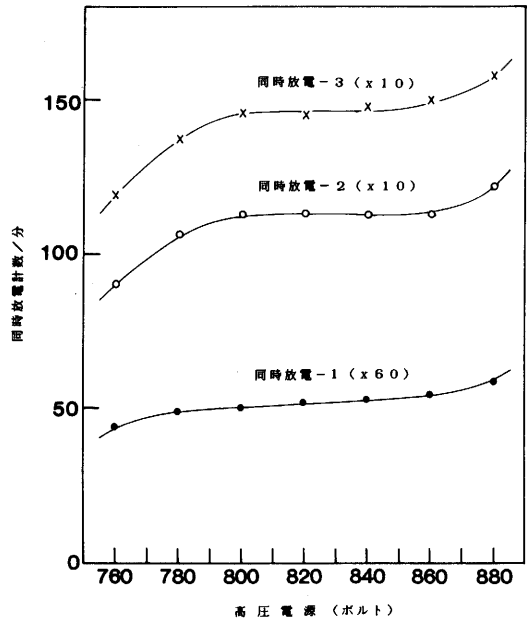


図7. 同時放電計数の光電子増倍管用電圧に対する変化

りの平均計数は〔2-fold〕=192,000、〔3-fold〕=88,000、〔4-fold〕=68,000で1:0.5:0.4の比率である。これは $\cos^2\theta$ (θ :天頂角)の天頂角分布を仮定したときの比率1:0.8:0.6に比べて、3-foldと4-foldの計数が低すぎる(2-foldの絶対値はほぼ期待値に近い)。回路的な数え落しかそれ以外の原因によるものか絶対値も含めて再検討を要する。例えば、頭上のコンクリートによる local showerの寄与の可能性もある。

別のチェックとして気圧および室温変化に伴う宇宙線計数のレスポンスを調べた。表1aには同時放電計数について3者間の重相関で求めた気圧効果係数を示した。2月~4月の平均で-0.13%/mbとなるが、muonの気圧効果係数-0.12%/mbに若干の電子成分の寄与が入っているものと考えれば定性的には説明がつく。定量的には電子成分の寄与分を正確に当たる必要がある。

次に、検出部はまだ完全に恒温化されていないので室温変化の影響を直接受ける。表1bにはシングル計数に

ついて3重相関で得られた温度効果係数を示した。3ヶ月間の平均は $-1.28\%/^{\circ}\text{C}$ で予想通り大きい値である。これ

表1(a) 同時放電係数の気圧効果

	2-fold		3-fold		4-fold	
	γ	β	γ	β	γ	β
1984 Feb	-0.76	-0.17	-0.81	-0.16	-0.86	-0.15
Mar	-0.55	-0.14	-0.52	-0.13	-0.53	-0.14
Apr	-0.90	-0.12	-0.89	-0.12	-0.87	-0.12

γ : 偏相関係数 β : 偏回帰係数(%/mb)

表1(b) シングル係数の温度(室温)効果

	1		2		3		4	
	γ	α	γ	α	γ	α	γ	α
1984 Feb	-0.84	-1.33	-0.35	-0.41	-0.54	-1.11	-0.71	-1.17
Mar	-0.87	-1.45	-0.95	-0.83	-0.99	-1.29	-0.94	-1.29
Apr	-0.99	-1.05	-0.99	-1.44	-0.98	-1.92	-0.96	-1.16

γ : 偏相関係数 α : 偏回帰係数(%/°C)

はシンチレータと光電子増倍管両者の温度効果の重なるの結果である。この値は温度調節を 0.1°C 以下の精度で行なう必要のあることを示唆している。このためには、観測室の第1次空調の他に第2次空調として検出部を恒温槽に格納する2段階調節方式を予定している。

本報告は連続測定の状態に入るための試験観測のまとめであって、高層気温との関連を議論する段階には至っていない。それについては次報以降に与えられよう。

本研究は昭和57~59年度文部省科学研究費一般研究(C)の補助を受けて行われた。

文 献

- 1) Kodama, M.- An introduction to applied cosmic ray physics. Jpn. J. Appl. Phys., 23, 726-728, 1984.
- 2) Tanaka, S. Yoshino, T., Yamanouchi, Y. and Kawaguchi, S.: On the satellite remote measurements of vertical temperature profile of the Antarctic atmosphere. Mem. Nat. Inst. polar Res., Special Issue No. 24, 94-100, 1982.
- 3) Dorman L. I.: Cosmic ray variation. State publ. House, Literature, Moscow, 1957.
- 4) Inoue A. and Kodama M.: Estimation of the vertical profile of atmospheric temperature from cosmic ray components. Proc. 18th Int. Cosmic Ray Conf., Bangalore, 1983.
- 5) 鷺坂修二: 高空における宇宙線への気温の影響、理研シンポジウム講演集、No. 15、61-68、1979.
- 6) 楠瀬昌彦、小玉正弘: 第11次南極地域観測隊宇宙線部門報告、南極資料、47、11-38、1973.
- 7) Kodama M.: Continuous monitoring of snow water equivalent using cosmic ray neutrons. Cold Region Sci. Tech., 3, 295-303. 1980.

Abstract

Remote sensing of upper atmospheric temperature using cosmic radiation — Cosmic-ray vertical telescope in Kōfu —

Mashiro KODAMA and Emiko KOMIYA

A vertical cosmic ray telescope consisting of four sets of plastic scintillation detectors was constructed in Yamanashi Medical College, for the aim of experimental search on remote sensing of upper atmospheric temperature using cosmic rays. Hourly counting rates of three total ionizing components with different solid angles are recorded on a punching paper tape, together with digitalized barometric pressure data. Basic investigations of barometric and room temperature effects on the cosmic ray telescope are described and discussed.