

大面積用比例計数管の性質

佐久山 博 史*・鈴木 昇**

The Property of Large Area Proportional Counter

by *Hiroshi SAKUYAMA & Noboru SUZUKI*

The large area proportional counter was constructed to measure the muonic and hadronic components in cosmic ray air shower.

The following results are obtained ;

- 1) The proportional counter is sensitive to natural radioactivity.
- 2) The temperature effect of the counter is negligible small between 15°C and 50°C.
- 3) Detecting the cosmic ray particles, we obtain two peaks showing better resolution in front of the single peak ; One is the characteristic X-ray from iron, and the other is from argon.
The characteristic X-ray peak is helpful to calibrate the cosmic ray particles.
- 4) The secular change of the counter is negligible small.

大面積用比例計数管の性質

宇宙線は現在までに、いろいろ検出器を用いて検出されてきた。

特に超高エネルギーの宇宙線による空気シャワー現象のような大規模なものを観測するためには、どうしても沢山の検出器が必要である。

電子成分は空気シャワー中の総粒子数の規模からいって沢山あるので、多少面積は小さくても、検出器の個数があればよい。しかし空気シャワー中の μ 中間子や高エネルギーハドロン及び γ 線はその全粒子数のわずかな部分を占めているにすぎない。これらが大規模に観測するにはどうしても大面積の検出器が多くいることになる。

この理由により現在まで大面積用検出器として大型比例計数管の開発研究を行ってきたわけである。

要 旨

10cm×10cm×600cmの比例計数管の特性及びシンチレーション検出器との比較については大変いい結果が得られている¹⁾。

* 理工学部物理学科助教授 原子核物理

** 理工学部物理学科助手 原子核物理

これをもとに、今回はさらに次のような詳細な結果を報告する。

- 1) この比例計数管を用い、波高分析するとヒンド的に宇宙線による波高分布より多い分布が測定された。
 - 2) 波高分布をみると宇宙線と思われるシングルピーク*の前に鋭いピークが1つ、さらに前方にもう1つの小さなピークが存在した。
 - 3) 宇宙線の出力波高が印加電圧と共にどの程度のばらつきを示すか、即ち印加電圧に対する分解能の変化を求めた。
 - 4) 温度変化による比例計数管の出力変化。
 - 5) 経年変化による出力波高値、分解能のゆらぎ。
- * 電荷 e の宇宙線が1コ測定器を通過した時に示すパルス波高値。

結果及び議論

1) 環境放射能

宇宙線を6mの鉄型比例計数管でカウント数を測定した場合、シンチレーション検出器と比較すると、カウント数が多く検出された。この比例計数管により宇宙線を波高分析器(Pulse height analyzer)で測定すると、全波高分布は図-1となった。

ここでシングルピーク以上のカウント数を積分すると約10,000c/min、あった。この比例計数管と同面積で厚さ5cmのシンチレーターを用いたシンチレーション検出器と積分カウント数を比較するとこの比例計数管の方が約2倍以上多い。このカウント数の増分を調べるため、次のような測定を行なった。図-2のように6mの比例計数管3本を横に並べ

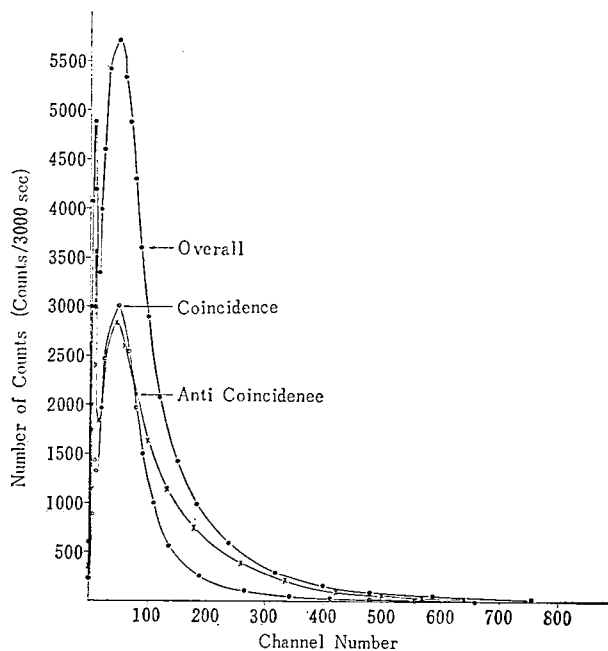


図-1 宇宙線の波高分布

比例計数管の諸特性測定回路ブロック図

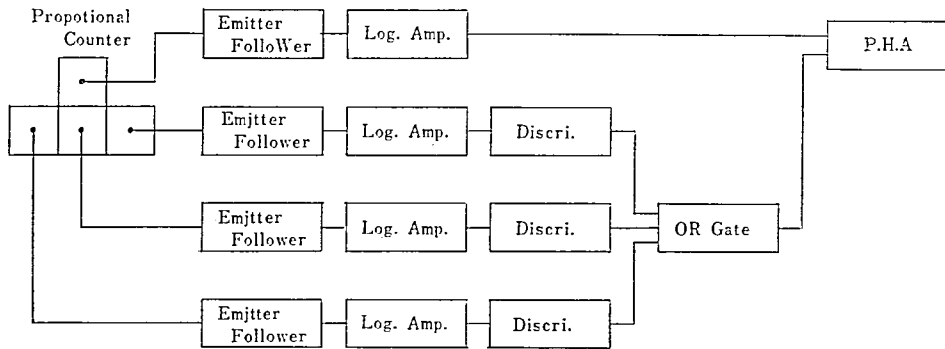


図-2

その上に1本を置き下部の3本からの出力信号をOR回路に入れ、出力を同時（又は非同時）計数用ゲート信号として測定した。測定条件は印加電圧3.25KV、ディスクリレベル10チャンネルとした。同時計数法により測定するとシングルピーク以上のカウント数は約4000c/min、非同時計数法では約6000c/minであった。同時計数は上下の検出器2本を同時に通過した粒子のみをカウントしているため、透過力の弱い低エネルギー荷電粒子等は測定されない。このため透過力の強いもの（宇宙線等）のみがカウントされる。一方非同時計数法では上の計数管がOnの时下のものがoffの時のみをカウントするため、エネルギーの低いガンマ線が検出器の内壁近くで相互作用してでてくる電子を計測していると考えられる。宇宙線以外のBackgroundとしては環境放射能が考えられる。この比例計数管と同面積のシンチレーション検出器による宇宙線観測ではシングルピーク以上の積分カウント数は約4000c/minあった。この数は比例計数管の同時計数法によるシングルピーク以上の積分カウントと一致している。シンチレーション検出器と比例計数管によるピーク以上のカウント数の比較から比例計数管の方が約2倍以上計数値が多いのは比例計数管においては宇宙線の他にシンチレーション検出器で検出できない粒子を倍以上カウントしているためである。又同時計数法、非同時計数法それぞれの分布の分解能を比較してみると、同時計数法の方が50%程度良い。前者は宇宙線荷電粒子によるアルゴンガス中での電離損失を観測している。一方後者は主に γ 線によるコンプトン効果によりでてくる電子のアルゴンガス中での電離損失を観測していると考えられる。比例計数管からのパルス波高は、荷電粒子が通過するカウンター内ガス中のPath lengthに比例している。前者の場合は同時計数のため比較的天頂角の小さいPath lengthのそろった粒子をdetectしているので、定性的にその分解能は後者よりよくなると考えられる。放射性同位元素のガンマ線源（ ^{203}Hg 279Kev）を使って比例計数管により前述の特性を調べた。（図-3）環境放射能としては地球上に多量に存在するカリウムの放射性同位体 K^{40} が考えられる。これは同位体存在比が高くレンガ、セメント、ガラスそれに建築材料中に含まれている為多くの環境放射能は K^{40} によるものと思われる。

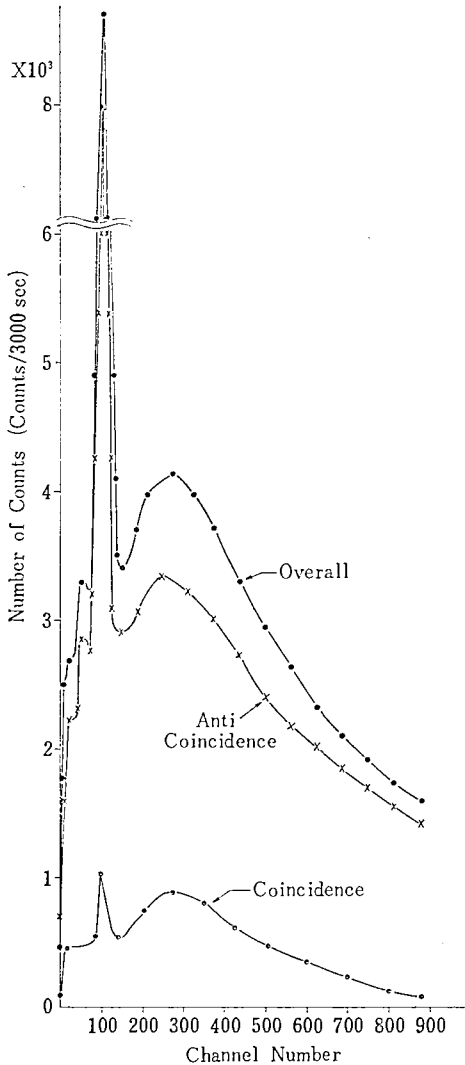


図-3 Hg^{203} (γ 線源)による比例計
数管の出力波高分布

2) 鉄からの特性X線

鉄型比例計数管からの宇宙線信号をP. H. A.で分析するとシングルピークの前に分解能の良いピーク(A), さらに前方に(A)より計数の少ないピーク(B)が測定されたことについて調べた。

測定装置は図-2に示すように斜めからの宇宙線の数え落しが無いように配置した。印加電圧は3.35KV, ディスクリレベルは40チャンネルにセットし測定した(図-4)。同時計数をとると2つのピークは検出されない。分解能を測定するとピーク(A)40%, ピーク(B)80%, (A)(B)の分解能は宇宙線によるシングルピークの分解能よりかなり良い。宇宙線の場合のシングルピークは荷電粒子がアルゴン10cmを通過した時の電離損失であり電離衝突の各々は独立現象であるので, エネルギー損失は一定ではなく Landau fluctuationをとる。一方これよりかなりいい分解能をもつということは, エネルギーのそろったもの(アルゴンガス中でその粒子のエネルギーを完全に失うもの)を観測していると考えられる。標準線源 ^{241}Am , γ 線源(60KeV)を用いて印加電圧3.1KVで実験的にピークエネルギーを測定した(図-5)。宇宙線シングルピークは約20KeV, ピーク(A)は約7KeV, そしてピーク(B)は約3KeVであった。放射線エネルギー表から2つのピークを推測するとArの $K_{\alpha 1}$ 線2,957KeV, Feの $K_{\alpha 1}$ 線6.403KeVがある。この値は実験値とほぼ一致している。又宇宙線のシングルピーク

のエネルギーをベータによって導き出された電離によるエネルギー損失の²⁾式から求めると

$$-\frac{dE}{dx} = \frac{2Cm_e c^2}{\beta^2} \left[\ln \frac{2m_e c^2 \beta^2 \eta}{(1-\beta^2)^2 I(Z)} - \beta^2 \right]$$

より宇宙線荷電粒子のアルゴンガス10cmによるエネルギー損失は約20KeVである。故に先の宇宙線のシングルピークとの値に一致している。

この鉄による特性X線のピークはヒンドもあり又宇宙線によるシングルピークよりも分解能がかなりよい。このため実際に使用する場合わざわざシングルピークを求めずとも, このX線ピークによって粒子数の Calibration がきわめて有効³⁾となる。

3) 印加電圧に対する分解能について

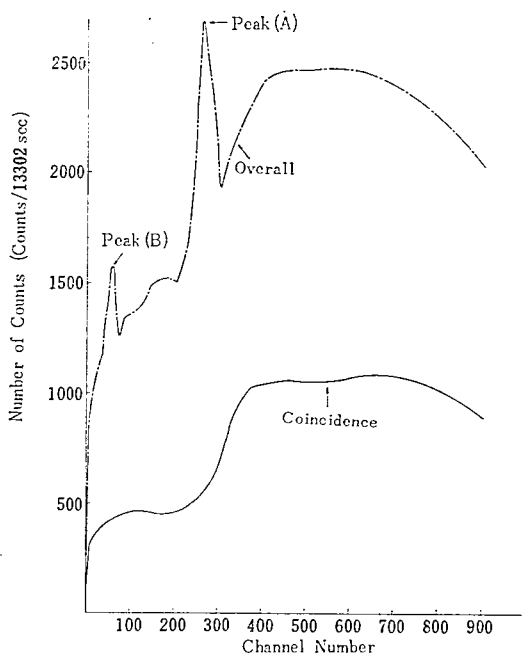


図-4 宇宙線より前にある2つのピーク分布

4

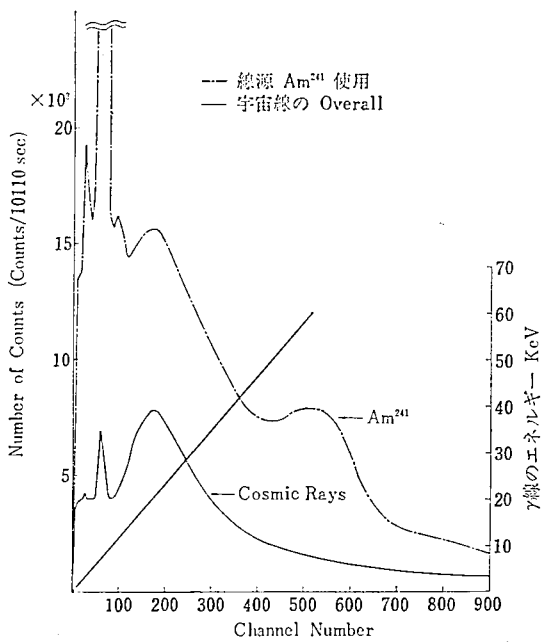


図-5 Am^{241} (γ 線源)と宇宙線による波高分布

5

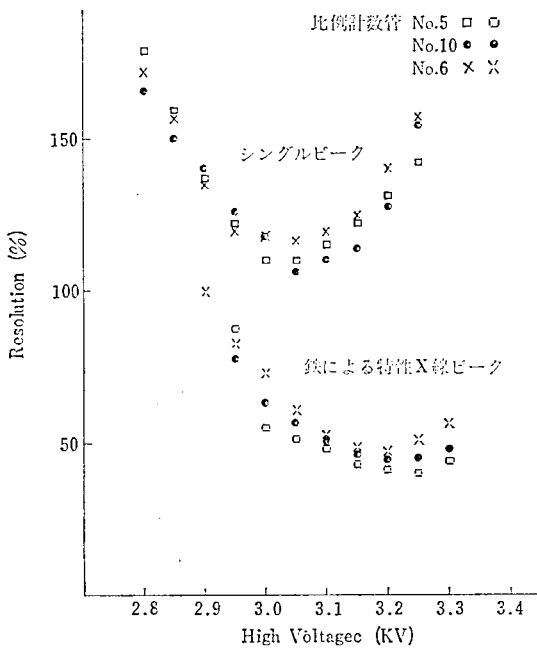


図-6 印加電圧に対する分解能の変化

G

印加電圧により出力波高のゆらぎの変化を見るため、分布の形すなわち分解能を調べた。計数がピークの1/2になる幅を平均パルス波高で割った値(分解能)を用い印加電圧による変化を宇宙線を用いて測定した(図-6)。電圧により分解能が変わるので注意を要する。

4) 温度変化による出力変動

検出器を屋外に置いた場合、真夏で40°C以上、真冬で-10°C程度の気温変化が考えられる。宇宙線による出力波高分布のピーク値、分解能と温度の関係を図-8に示す。

測定時の温度は管壁温度である。印加電圧は3.1KV、約10°Cから約50°C程度まではピーク値、分解能の変化は図-8から数%以内であるため、実際上問題にならない。計数管を直射日光に当たった場合、真夏で50°C以上になる

と波高値は下がり、分解能が低下するので注意を要する。比例計数管の15°Cから40°Cまでの間の温度変化による出力分布を図-9に示す。

5) 経年変化による出力波高値、分解能の変化

このガス封じ込め型比例計数管を使用した場合、不純物ガスの混入、ガスの劣化等によりガス増幅率の低下が起これと言われているので、出力波高値、分解能等に変動が生じるか調べた。

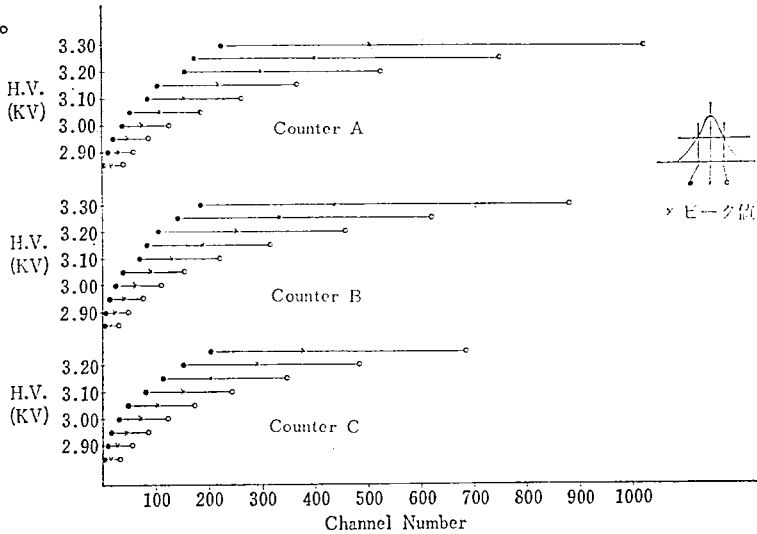


図-7 印加電圧によるピーク値とピークの1/2になる幅との関係

7

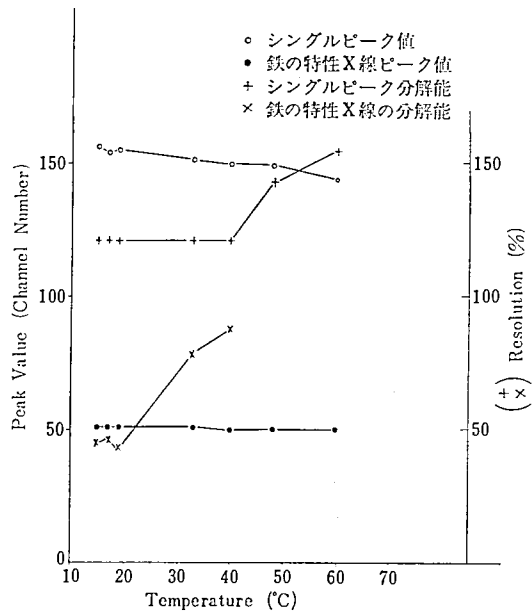


図-8 比例計数管の温度変化による分解能とピーク値

8

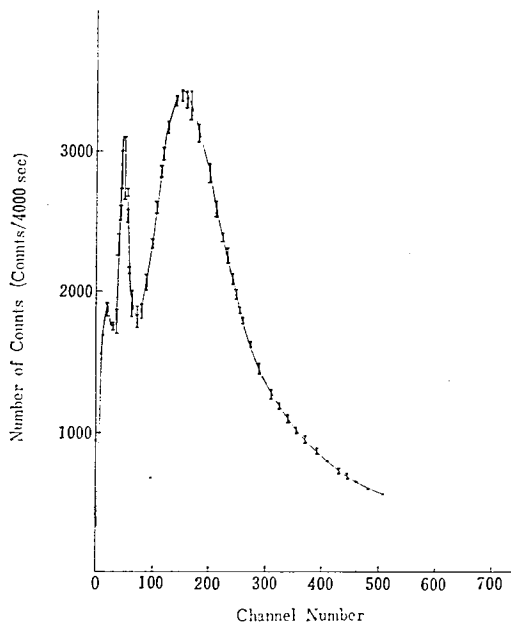


図-9

比例計数管の温度変化(15°C~40°C)による出力分布

9

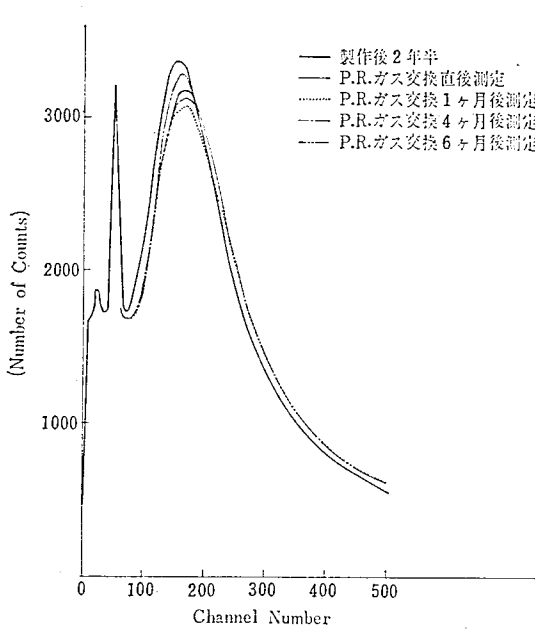


図-10 経年変化によるシングルピークの変動

である。しかしこの程度のヒンドでは実際の宇宙線実験には、殆ど影響をうけない。シングルピークの前に現われる2つのピークはアルゴンガスによる特性X線($K_{\alpha 1}$) 2.957KeVと、鉄からの特性X線($K_{\alpha 1}$) 6.403KeVである。温度変化による比例計数管の出力変化の変動は約50°C以下であれば測定上問題とならない。経年変化については製作後2年半経過した検出器のP.R.ガス交換をしたが、ガス交換の前後で変化はほとんど認められない。

以上のような鉄パイプガス封じ込め型比例計数管についての性質を報告した。

山岡教授には環境放射能についてのいろいろな資料をいただきましたことを感謝致します。この比例計数管は来年度から山梨県明野村で開始される超高エネルギー研究所空気シャワー計画において大量に製作される予定になっております。

参考文献

- 1) 佐久山博史; 明星大学工学部研究紀要 10号 1974年10月
- 2) Livingston and Bethe; Rev. Mod. Phys. 9 (1937) 263.
- 3) N. Ito; Private communication.

製作後2年半作動している比例計数管のP.R.ガス交換を行ない、6ヶ月間に渡り波高分析器でスペクトルを取り比較した(図-10)、ガス交換する前と後ではシングルピークの位置、分解能の変化はほとんど見られない。このことは鉄パイプからの不純物ガスの混入、アフターガス効果等はほとんどないことが分かった。

結論

宇宙線を比例計数管で検出し波高分析するとシンチレーション検出器に比べてピーク以上のカウント数が50%程度多い、これは環境放射能(主に K^{40})を検出している。この比例計数管では最小電離によるエネルギー損失がシンチレーション検出器(5cm厚)に比べて極めて小さいため、宇宙線以外の環境放射能に対する感度も非常に良いため

(昭和50年9月24日受理)