

GM サーベイメータを使った μ 粒子測定を試み

投稿

前多 信博*¹
Maeda Nobuhiro蜷川 清隆*²
Ninagawa Kiyotaka米田 知晃*³
Yoneda Tomoaki

1. 測定方法

2 台の GM サーベイメータ（以下、GM-A、GM-B とする）に、「外部電源接続端子」と「放射線検出信号（波高 4 V、パルス幅 100 μ sec）取り出し端子」を付けた。これによって放射線検出パルスの長時間計数実験が可能になった。

図 1 に示すように、発砲スチロールの箱に GM プローブを挿し込む穴をあけた。GM-A のプローブ用の穴 A を中心に半径 10 cm の円周上に、GM-B のプローブ穴 B をあけた（箱 1 では天頂角 0 度、30 度、60 度の位置、箱 2 では 15 度、45 度、75 度の位置）。GM-A のプローブを穴 A に固定し、GM-B のプローブを移動させ、GM-A の計数値、GM-B の計数値、両者の同時計数値を測った。各天頂角で、1 時間の測定を 3 回繰り返した。図 2 に計数回路の写真を示した。パルス計数には 2 進 12 ビットカウンタ IC（74HC4040）と Quad 2 Input AND-IC（7408）を使い、「電子回路で数を数える」基礎も学べるようにした。

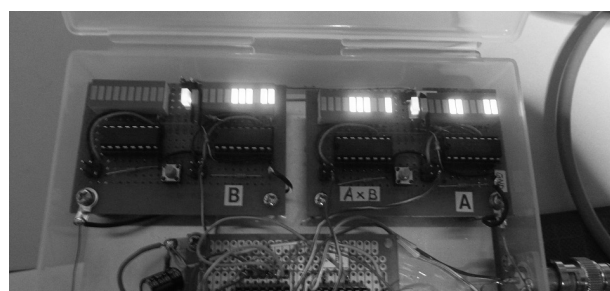


図 2 2 進 12 ビットカウンタの写真

カウンタ IC の出力ピンに発光ダイオード（LED）を接続し、LED の点灯で 2 進の計数値を示した。GM-A、GM-B の計数値表示には 12 個の LED を使い、数の少ない同時計数値の表示には 10 個の LED を使った。最近の学生は写真撮影のできるスマホを持っているので、測定時間終了時に LED の点灯状況を撮影し 2 進数→10 進数変換した。（LED の点灯写真をスマホ画面上で拡大し、各ビットを指示しながら正確に読み取ると同時に、測定値の記録写真も残せる。）

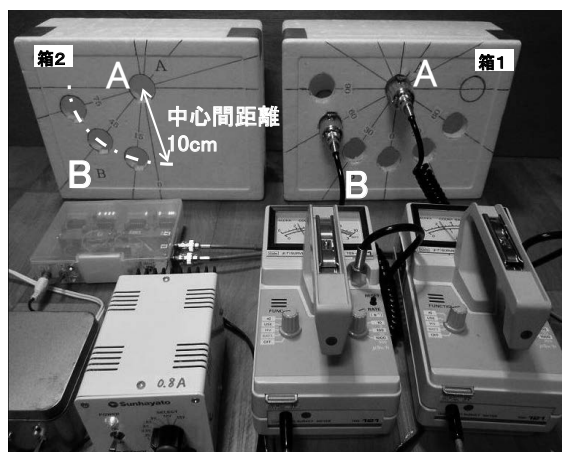


図 1 測定系の全体写真

2. 測定結果

表 1 に測定結果を示す。GM-A、GM-B の 1 時間あたりの計数値は 3,400~3,600 の範囲に分布しており、天頂角が変わってもほとんど変化がないが、同時計数値は天頂角に大きく依存し、地表での宇宙線（その多くは μ 粒子）の特徴を示している。地表面での μ 粒子の角度分布は式(1)で近似されることが知られている¹⁾。

天頂角 θ で測定される μ 粒子数を $N(\theta)$ とすると

$$N(\theta) = (\text{天頂角 } 0 \text{ 度の測定値}) \times \cos^2(\theta) \cdots \cdots (1)$$
 式(1)は以下 a), b) のような考え方で導かれる。

表1 測定結果 (A×B は同時計数値を示す)

天頂角	測定値 A	測定値 B	A×B	天頂角	測定値 A	測定値 B	A×B
0°	3,501	3,454	120	45°	3,630	3,552	55
0°	3,554	3,441	124	45°	3,597	3,517	65
0°	3,570	3,688	123	45°	3,564	3,581	57
平均	3,542	3,528	122	平均	3,597	3,550	59
15°	3,576	3,503	115	60°	3,460	3,418	26
15°	3,559	3,581	104	60°	3,533	3,629	35
15°	3,600	3,542	111	60°	3,618	3,505	37
平均	3,578	3,542	110	平均	3,537	3,517	33
30°	3,467	3,518	81	75°	3,488	3,596	14
30°	3,534	3,522	103	75°	3,536	3,595	10
30°	3,572	3,472	90	75°	3,624	3,490	11
平均	3,524	3,504	91	平均	3,549	3,560	12

表2 同時計数測定値 (平均) と μ 粒子計算値の比較

天頂角 (θ)	同時計数値 (平均)	計算値
0°	122	122
15°	110	114
30°	91	92
45°	59	61
60°	33	31
75°	12	8

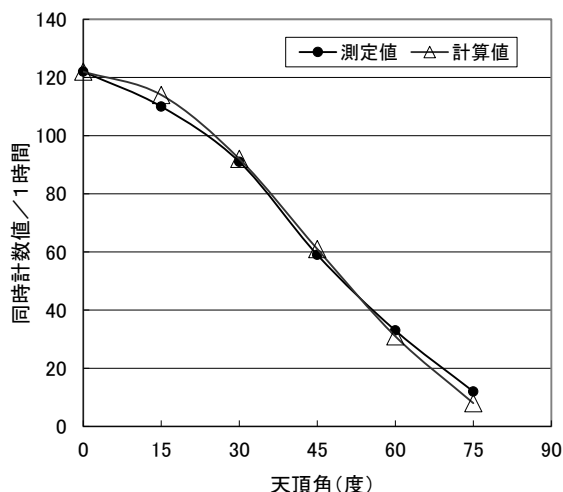


図3 同時計数測定値 (平均) と μ 粒子計算値のグラフ

- 地上 X の高度で生じた μ 粒子が直下の検出器に入れば移動距離は X で天頂角は 0 度。天頂角 θ 方向の検出器に入れば移動距離は $X/\cos(\theta)$ になるが、これを高度 $X/\cos(\theta)$ で生じた粒子が直下の検出器に入るのと同等と考え、天頂角依存 → 移動距離依存とする。(検出器は地表に設置)
- 放射線が物質 (大気) 中を距離 L 進む場合、平均自由行程を λ とすると、 $\exp(-L/\lambda)$ の形で指数関数的に減少する。この L に $X/\cos(\theta)$ を代入し、指数関数の近似式も使い $N(\theta) \propto \cos^n(\theta)$ を導き、 μ 粒子では $n = 2$ が実験的に示されている。

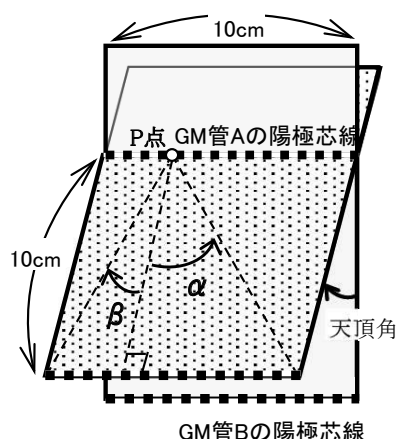


図4 2つの GM 管を通過する μ 粒子の軌道について

簡略化のため、GM 管の有効長≒陽極芯線の長さ≒芯線間≒10 cm とする。2本の GM 管の芯線を太い点線で表示し、天頂角 0 度の平面は半透明、天頂角 20 度の平面を点描面とする。検出器が細長い円筒形なので、同時計数される粒子の軌跡は図の平面上で左右に広がる。点描面で考え、P 点から粒子が入射したとすると、同時計数される粒子の軌跡は、右に α 、左に β の角度内で分布する。P 点が左に移動すると、 β は小さくなり α は最大 45 度まで大きくなる。P 点が右にずれると $\alpha \rightarrow 0$ 度、 $\beta \rightarrow 45$ 度になる。この広がり天頂角が変わっても (例 天頂角 0 度の半透明面) 同じである。なお、実際の軌跡は平面上ではなく、縦 10 cm、横 10 cm、奥行き 2 cm (GM 管の直径) の立体中に分布する。

表1の同時計数値は μ 粒子によるものとして、式 (1)と比較した結果を表2と図3に示す。両者はよく合っている。

3. まとめ

既存のサーベイメータと、2進12ビットカウンタ IC を使った簡単な方法で、 μ 粒子と推定できる粒子を検出できた。宇宙線起源で透過力の強い荷電粒子の測定は、地上の放射性物質の増減とは無関係な環境放射線の存在を理解 (納得) するのにも役立つ。

今回の測定では「直径 2 cm、有効長 10 cm 程」の GM 管を使っているので、2 個の GM 管双方を通過する粒子の軌跡には図4に示すような、天頂角方向とは直交する面内での開きが生じる。軌跡が左右に広がっても、同じ天頂角面内に入っているの、天頂角分布への影響は小さいとみなした。

参考文献

- 小田実, 宇宙線 (改訂版), 6 章, 225-228, 232-234 (1972)
- (^{*}1 元福井高専, ^{*}2 元岡山理科大学理学部応用物理学科, ^{*}3 福井高専電気電子工学科)