

ガンマ線用ガイガー計数管による野外における放射能強度の測定について (I)

佐野 俊一*

Résumé

On the Measurement of Radioactive Intensity in the Field

measured by Gamma Ray G. M. Counter (I)

by

Shun'ichi Sano

In this paper, the relations between the radioactive intensity measured by Gamma Ray G. M. Counter and the distribution of radioactive sources are discussed.

1) The counter shows more sensible (character) when the axis of the tube is settled in horizontal, than (when) it is in vertical (in the case of cosmic ray origin).

2) The directional character of the counter by an Gamma Ray origin is expressed by a mathematical formula. However, the directional character observed by experiments is not so remarkable as that calculated from theory.

It is derived also from geometrical factor that the relation between the intensity measured by Gamma Ray tube and the distance from the source.

3) The intensity of Gamma Ray tube by a point source origin is expressed approximately by an absorption exponential law.

4) The relation derived from the above may be applied to the case that the radioactive source distributed homogeniously in a half-infinite body. The result shows that the intensity measured on a plain circular outcrop of rock, having in radius 1 meter, nearly equals to that of a infinite plain outcrop.

5) In the field survey generally, the counter shows more sensible (character) when the axis of the tube is settled in vertical, than this phenomenon is the contrary of the case by cosmic ray origin.

6) The values obtained by a counter also depend on the size of the tube, that is proportional to the surface area of effective cylinder, if physical efficiency of tube is the same. This result was, in general, ascertained by measurement in the field. Judging from the above effect, using N unit is rather reasonable so far as G. M. tube is used, because the differences of tubes are eliminated generally.

7) It is considered that time variation of radioactive intensity is generally neglected.

1. 緒 言

野外における放射能強度の測定にはいろいろな方法が行われているが、現在最も広く用いられているものは、

* 物理探査部

ガイガー計数管による γ 線ないし β 線強度の測定およびシンチレーション・カウンターによる γ 線強度の測定である。本報告ではおもにガイガー計数管による γ 線強度の測定に関する基礎的な問題について考察する。

ガイガー計数管によつて野外において放射能強度を測

定する場合に、 γ 線用計数管をおもに使用しているのは下記の理由による。

1) ガイガー計数管の γ 線に対する効率 β 線に対する効率より遙かに悪いけれども、 β 線は γ 線より吸収されやすいので、測定される範囲が γ 線の場合よりずっと小さくなること、端窓型 β 線用計数管では管壁にあたる γ 線による計数が大部分を占めていることなどによつて、実際に野外では β 線用計数管によつても、 γ 線用計数管によつても、同様な計数値の変化が観測される。しかし円筒型 β 線用計数管による測定においては、 γ 線用計数管によつて測定された変化よりも、大きな変化を示す場合がある。

2) 前にも述べたように、 β 線測定では被測定範囲が狭くなるために、非常に局所的な放射能強度の異常によつて、測定値が左右される可能性が考えられる。

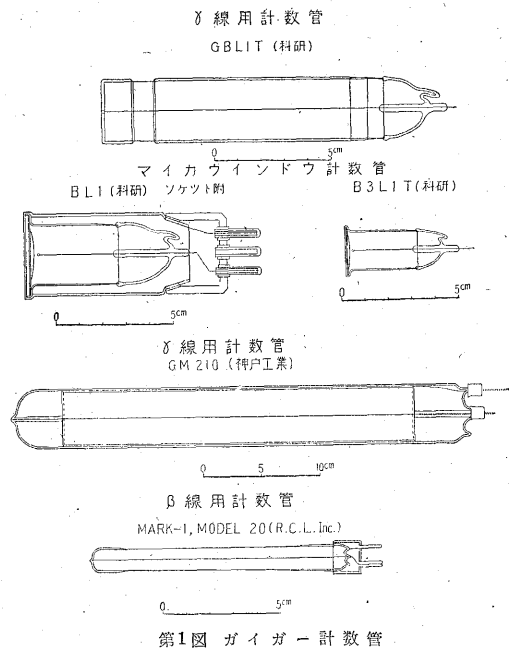
3) 放射能測定の精度を上げるためには、第1に全測定計数を大きくすることが必要であるから、同一測定時間で精度をよくするためには、計数管を大きくする必要がある。 γ 線用計数管では大形のものを製作することは容易であるが、 β 線用計数管では困難である。

4) γ 線用計数管は β 線用計数管に比べて機械的に堅牢であるから、野外での使用に適している。また一般に価格も低廉である。

ところが、 γ 線の検出器としてはシンチレーション・カウンターが遙かに優れているので、野外における測定にも携帯用シンチレーション・カウンターの使用が拡まつている。しかし、少なくとも当分の間ガイガー計数管

も広範に使用されると思われるので、この報告では単一の γ 線用ガイガー計数管で測定された強度が、野外における放射線源のいろいろな分布と、どのような関係があるかという問題についておもに考察する。

γ 線用ガイガー計数管の多くは細長い円柱形であるから、方向によつて感度が違う。すなわち指向性をもつものと考えられる。したがつて指向性を中心として検討してみよう。



第1図 ガイガー計数管

第 1 表

型 名	型 式	陰 極			使用電圧**	専用プローブ***			備 考
		長さ	直径	材質		長さ	直径	材 質	
C-25	γ 線 用	mm	mm		V	mm	mm		
G-25-Cu	"	180	25	Fe	1200	—	—	—	
GBLIT	"	300	25	Cu	1000	—	—	—	
GM-210	"	120	25	Fe	900	173	40	軽合金	
BLI	端 窓 型 (マイカ3~4mg/cm ²)	300	44	Cu	1200-1400	—	—	—	
B3LIT	端 窓 型 (マイカ2~3mg/cm ²)	40	25	Fe	900-1100	126	40	軽合金	} 窓部分保護蓋 130mg/cm ²
RCL Model 20	円 筒 型 (ガラス3~2mg/cm ²)	30	17	Fe	900	126	40	—	
18502	円 筒 型 (鉄75mg/cm ²)	90*	12	?	900	190	25	真 鍮	****
		45*	15	Fe	350	—	—	ベーク ライト	PW4010組込 total 150mg/cm ²

* 推定

** 電圧範囲は個々の計数管の差を示す (水平域電圧範囲ではない)。

*** 専用プローブのない場合はベークライト円筒または木箱に入れて使用。

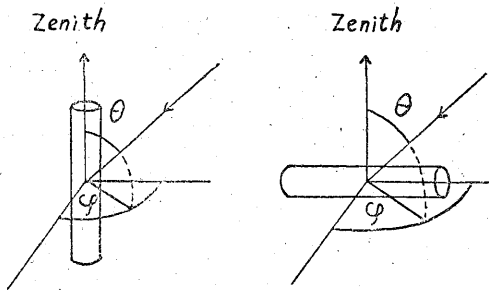
**** Berkley Model 2750 Survey Meter 用プローブ、 β 線測定も可能。

ここでこの報告に引用されている計数管の種類を第1表に示しておく。第1図はこれらの計数管の構造である。このうち、C-25 および G-25-Cu は現在使用していないが、別に理由があるわけではない。

2. 宇宙線に対する円筒型計数管の指向性

ガイガー計数管は宇宙線によつても放電し、放射能強度の強くない場所では計数値の約 $2/3 \sim 1/2$ が宇宙線によると考えられる。したがつて宇宙線に対する円筒型計数管の指向性を調べてみると次のようになる。

計数管の有効部分を半径 r , 長さ l の円柱と考え、第2図のような座標および記号をとる。地表付近で2次的



第 2 図

に発生する成分を無視すると、宇宙線は無窮遠から計数管に入射する。計数管を鉛直に置いた場合の強度を I_V とし、宇宙線の天頂角および方位角に対する分布を $f(\theta, \varphi)$ とすれば、

$$I_V = N \int_0^\pi \int_0^{2\pi} f(\theta, \varphi) (\pi r^2 \cos\theta + 2rl \sin\theta) d\theta d\varphi \quad (1)$$

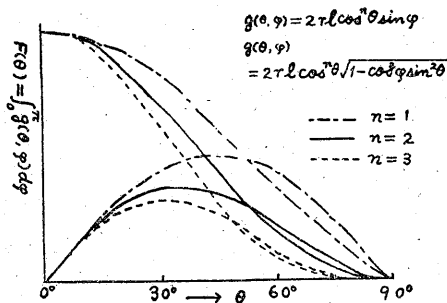
となる。また計数管を水平においた場合の強度 I_H は、

$$I_H = N \int_0^\pi \int_0^{2\pi} f(\theta, \varphi) (\pi r^2 \sin\theta \cos\varphi + 2rl \sqrt{1 - \cos^2\varphi \sin^2\theta}) d\theta d\varphi \quad (2)$$

となる。ここで N は計数管の大きさによらない常数で単位面積に人射する宇宙線の平均計数である。

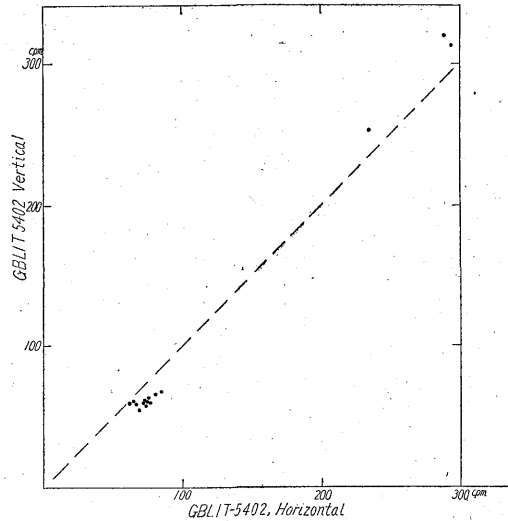
宇宙線の強度分布は

$$f(\theta, \varphi) = \cos^n\theta \quad n = 2 \sim 3$$



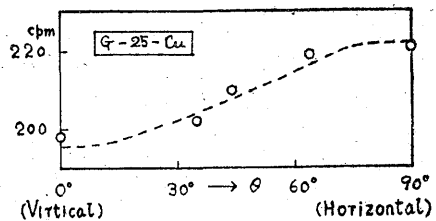
第 3 図

で表わされる。 n の値は成分や高さによつて異なるが、全強度について1つの n の値で表わすことができると考えて、 $n=1, 2$ および 3 として、(1) および (2) を方位角 φ について積分すると第3図のようになる。 I_V および I_H はこれらの曲線と座標軸との間の面積の2倍であつて計数管を水平に置いたときの方が、鉛直に置いたときより宇宙線の入射量が多い。第4図は野外で計数



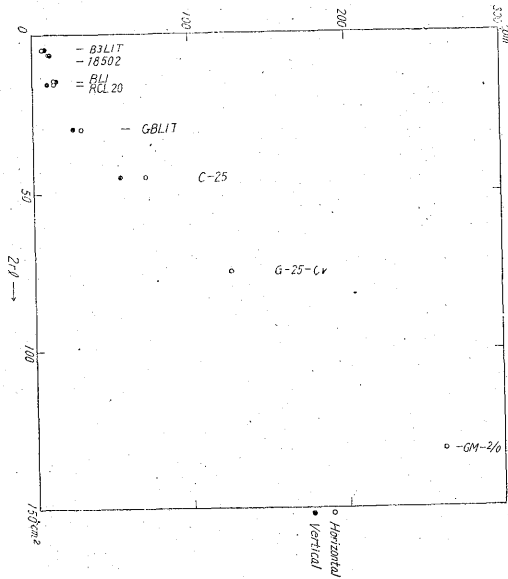
第 4 図 計数管の位置による計数の関係

管を鉛直および水平にした場合の測定値を比較したものであつて、強度が低い所では宇宙線の占める割合が大きいため、水平にした場合の方が大きな計数が測定される。また、第5図は計数管の鉛直線に対する角度をかえて測定した結果である。



第 5 図

野外の測定では宇宙線以外の放射線の影響があるので、計数管を厚さ 5cm の鉛で覆つて測定した結果が第6図に示してある。この場合は宇宙線の軟成分の大部分も吸収されるけれども、地表では硬成分が卓越しており天頂角分布はいずれも定性的には同様である。このようにして観測された I_V および I_H と、計算によつて求められた I_V および I_H との比から、(1) および (2) の常数 N が求められ、第2表に示すような結果が得られた。この値は宇宙線の絶対強度の測定値りと比べて妥当であると思われる。



第6図 鉛遮蔽を施した場合の計数

第 2 表

	n=1	n=2	n=3
$N(I_V, H, exp) / I_V, H, cat; cpm/cm^2$	2.2	1.7	1.4

註) この値を求めるにあつては第4節の後半に指摘した事実を考慮した。

3. 円筒型計数管の幾何学的効率

一般に放射線検出器によつて測定された強度 I と放射線源の分布 σ との関係は

$$I = \int idVde = \int E \cdot G \cdot f \cdot \sigma dVde \quad (3)$$

で表わされると考えられる。こゝで、

- E : 検出器の効率
- G : 検出器に対する立体角
- f : 吸収散乱による factor
- x : 検出器に固定した座標
- e : 放射線のエネルギー
- V : 放射線源の分布している体積

であつて、 E , f および σ は x および e の函数、 G および V は x の函数である。 G は一般に幾何学的効率 (geometrical factor) と呼ばれている。

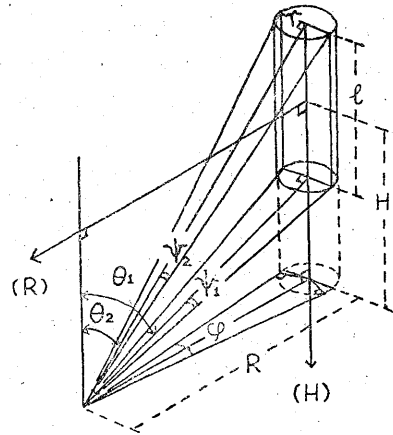
γ 線は β 線と比べて吸収や散乱の影響が少なく、 γ 線計数管による測定では幾何学的効率が I と σ とを結びつけるうに、重要な要素であると考えられる。ところが野外における放射能強度を解説するために Rohthe³⁾ や J.C. Cook⁴⁾ が呈出した理論は

$$I = \int_V \sigma(\rho) \exp\left(-\sum_i \mu_i \rho_i\right) \rho^{-2} d\rho \quad (4)$$

$$\sum_i \rho_i = \rho$$

という関係に基づいている。 ρ は検出器と放射線源との距離、 V は線源の分布している体積、 μ_i は吸収係数である。この式では検出器を点と考えているので、Air Borné survey のように放射線源から離れている場合や、シンチレーション・カウンターのように入射部分と比較的小さい場合はよいとしても、 γ 線用計数管のように細長い円柱形をした検出器によつて地表で測定する場合には、(4) 式が成り立つかどうかを検討する必要がある。そこで、まず G を計算してみよう。

γ 線用計数管の有効部分を代表する円柱の長さを l 、半径を r とし、第7図に示したような円柱の中心に固定



第 7 図

した座標および記号を用いる。 G は円柱の対称性によつて $1/4$ 平面の上で表現される。

G を側面に対する部分と端面に対する部分とに分けて

$$\left. \begin{aligned} G &= G_1 + G_2 + G_3 & \rho \cos \vartheta > r \\ G &= 2G_3 & \rho \cos \vartheta \leq r \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

とおくと、

$$\left. \begin{aligned} G_1 &= \varphi (\cos \theta_1 - \cos \theta_2) \\ G_2 &= \pi \cos \theta_1 (1 - \cos \psi_1) \\ G_3 &= \pi \cos \theta_2 (1 - \cos \psi_2) \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

で表わされる。 G は $\rho \cos \vartheta = r$ で不連続であるがその差は無視する。これらは近似式であつて、 l/r が小さくなると近似性は悪くなるはずである。 φ , $\theta_{1,2}$ および $\psi_{1,2}$ と座標との関係は

$$\left. \begin{aligned} \sin \varphi / 2 &= r / R \\ \tan \theta_{1,2} &= \rho \cos \vartheta / (\rho \sin \vartheta \pm l / 2) \\ \tan \psi_{1,2} &= r / \sqrt{\rho^2 \cos^2 \vartheta + (\rho^2 \sin^2 \vartheta \pm l / 2)^2} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

で与えられ、(4), (5) および (6) によつて G を座

標の函数で表わすことができる。

数値的に結果を出すならばこのまゝの形で計算してもよいが、一般的な結論を導くために、 G の座標による式の展開を試みよう。まず G_1 を計算すると

$$G_1 = 2\sin^{-1}(r/\rho\cos\vartheta) \times \{(\rho\sin\vartheta + l/2)\sqrt{\rho^2 + l\rho\sin\vartheta + l^2/4} - (\rho\sin\vartheta - l/2)\sqrt{\rho^2 - l\rho\sin\vartheta + l^2/4}\}$$

であつて、 $\rho\cos\vartheta > r$ のとき

$$\sin^{-1}(r/\rho\cos\vartheta) = r/\rho\cos\vartheta + r^2/6\rho^3\cos^3\vartheta \dots\dots$$

となる。また、 $\rho/l > \sin\vartheta + \sqrt{1 + \sin^2\vartheta}/2$ のとき

$$(\rho\sin\vartheta + l/2)\sqrt{\rho^2 + l\rho\sin\vartheta + l^2/4} - (\rho\sin\vartheta - l/2)\sqrt{\rho^2 - l\rho\sin\vartheta + l^2/4} = l\cos^2\vartheta/\rho + l^3\cos^2\vartheta(5\sin^2\vartheta - 1)/8\rho^3 \dots\dots$$

となる。したがつて ρ^{-4} までとると、

$$G_1 = 2rl\cos\vartheta/\rho^2 + r^2\cos\vartheta(5\sin^2\vartheta - 1)/4\rho^4 + r^3l\operatorname{cosec}\vartheta/3\rho^4 \quad (8)$$

である。同様に $\rho/l > (\sin\vartheta + \sqrt{1 + \sin^2\vartheta} + 4(r/l)^2)/2$ のとき ρ^{-4} までとると、

$$G_2 + G_3 = \pi r^2 l / 2\rho^3 + 3\pi(r^2 l^2 + 2r^4)\sin\vartheta / 8\rho^4 \quad (9)$$

$$2G^3 = \pi r^2 \sin\vartheta / 2\rho^2 - \pi r^2 l(1 + 3\sin^2\vartheta) / 4\rho^3 + r^2 \sin\vartheta(3l^2 - 5l^2 \sin\vartheta + 6r^2) / 16\rho^4 \quad (10)$$

である。もし ρ^{-2} まで考慮すれば、

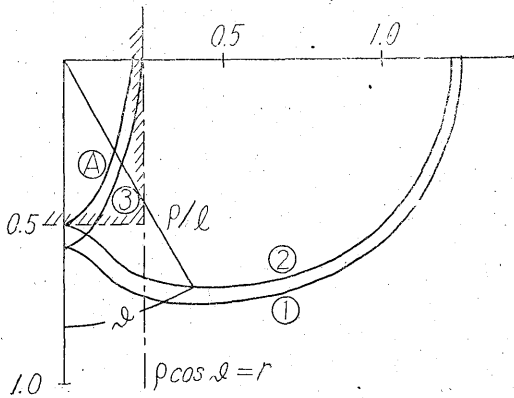
$$G_{\text{approx.}} = 2rl\cos\vartheta/\rho^2, \quad \rho\cos\vartheta > r$$

$$G_{\text{approx.}} = \pi r^2 \sin\vartheta / 2\rho^2, \quad \rho\cos\vartheta \leq r$$

となる。一般に l は r に比べて大きいので、 $\rho\cos\vartheta \leq r$ の場合の式を無視するとすべての方向で

$$G_{\text{approx.}} = 2rl\cos\vartheta/\rho^2 \quad (11)$$

$$(2r/l = 1/2)$$



$$\textcircled{1} \quad \rho/l = \sqrt{1 + \sin^2\vartheta + (2r/l)^2} + \sin\vartheta \quad (2r/l = 1/2)$$

$$\textcircled{2} \quad \rho/l = \sqrt{1 + \sin^2\vartheta} + \sin\vartheta$$

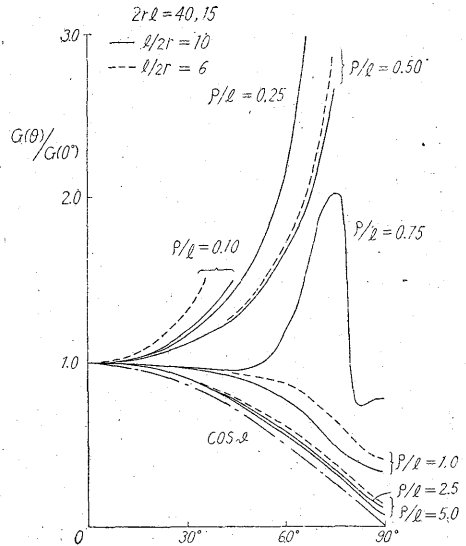
$$\textcircled{3} \quad \rho/l = \sqrt{1 + \sin^2\vartheta + (2r/l)^2} - \sin\vartheta \quad (2r/l = 1/2)$$

$$\textcircled{4} \quad \rho/l = \sqrt{1 + \sin^2\vartheta} - \sin\vartheta$$

第8図 $\sigma(\vartheta)$ の展開

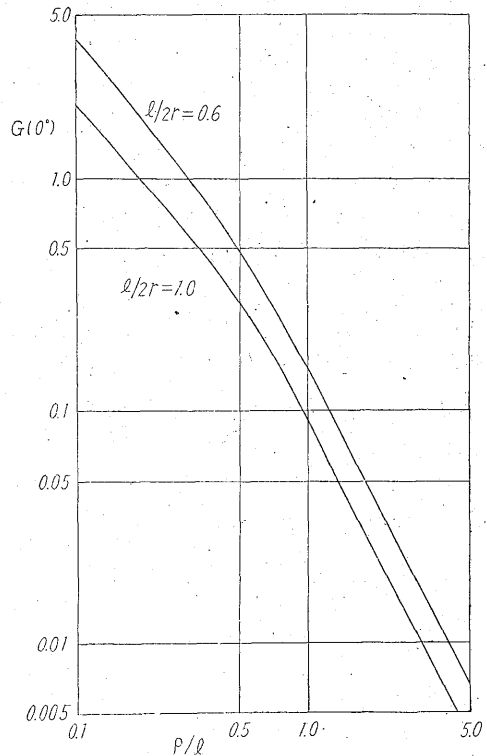
で表わされる。すなわち、計数管から離れた所では、指向性は l/r によらないで $\cos\vartheta$ で表わされる。(10)は

$$G_{\text{approx.}} = (1/2)(2r/l)(l^2/\rho^2)\cos\vartheta$$



r : radius of Counter, l : length of Counter
 ρ : distance from the center of Counter

第9図 円筒型計数管の立体角 1



r : radius of Counter, l : length of Counter
 ρ : distance from the center of Counter

第10図 円筒型計数管の立体角 2

と書直することができる。すなわち、相似形の円柱に対する立体角は l/ρ が等しい所で同じ値をとる。

上記の展開の成り立つ範囲は第8図の曲線①の外側であつて、その内側では ρ/l の値によつていくつかの場合がある(第9図では $l/r=4$ の場合の範囲が示してある)。しかし、この範囲では ρ/l ないし l/ρ の形の展開では収斂が悪いはずである。

(10) を用いなくて初めの G の式から直接数値計算を行つてみると、第9図および第10図に掲げたようになる。 $2rl=40\text{cm}^2$ および 15cm^2 , $l/r=20$ および 12 とし、 $\rho/l=0.1\sim 5.0$ の間について計算した。第9図は $G(\vartheta)/G(\vartheta=0^\circ)$ と ϑ との関係、第10図は $G(\vartheta=0^\circ)$ と ρ/l との関係であつて、(11) は $\rho/l=2$ 位から (5) をかなりよく近似することがわかる。

さて、 G の近似式 (11) を使い、exponential law にしたがう吸収だけを考え、エネルギー分布を無視すると (3) は次のようになる。

$$i=2rl \cdot E \cdot \cos\vartheta \cdot \exp\left(-\sum_i \mu_i \rho_i\right) \cdot \sigma(\rho) \cdot \rho^{-2} \quad (12)$$

$$\sum_i \rho_i = \rho$$

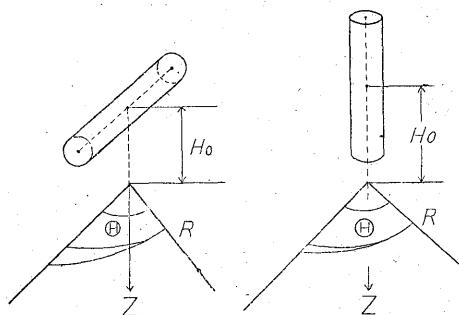
この式は (4) に方位角の函数がはいつた形になつてゐる。すなわち、(4) は計数管を指向性のない点と考えた場合であり、(12) は指向性をもつ点と考えた場合である。また (12) で E は計数管の大きさには関係しないので、計数管の大きさに関係のある項は G から導かれた $2rl$ であつて、計数管の大きさによる計数値の変化は計数管の表面積に比例する。

(12) では γ 線の吸収に対して exponential law が仮定してある。colimated ray に対してこの法則はよく成り立つが、その他の場合にはあまりよく成り立つとは考えられない。しかし (12) の近似の程度ではこれ以上の過程(吸収の機構)を考える必要はないと思われる。吸収の問題を立入つて調べるためには、エネルギー分布を問題にしなければならない。したがつてこの問題については、シンチレーション・カウンターと比較しながら取扱つて行きたいと考えている。

4. 平面上に一様に分布する放射線源

前節では計数管を点とみなした場合の放射線源の強度と、計数管による計数との関係を示し、一方、円柱形に対する幾何学的効率から指向性を考えに入れた関係を導いた。

これらの関係が実際にどの程度成り立つかを調べるために平面上に計数管を置き、同じ平面上のいろいろな位置に放射線源を置いて、測定された強度の変化を求めた。このような実験に対応する場合として、平面上の点



第11図 無限平面に対する座標

に対する幾何学的効率を求めてみる。

計数管が平面に対して垂直または水平になつてゐるとして、計数管の中心からこの平面に下した垂線の足を原点とする柱座標 (R, Θ, Z) をとる(第11図)。 (R, Θ) 面は平面と一致させ、計数管の中心から座標原点までの長さを H_0 とすると、立体角の分布は前節で求められた G によつて次のように表わされる。

(i) 計数管が平面に対して垂直である場合
 $G_V(R, \Theta) = G(\rho = R \cos \Theta, \vartheta = \tan^{-1}(H_0/R)) \quad (13)$

(ii) 計数管が平面に対して水平である場合

$$G_H(R, \Theta) = G(\rho = \sqrt{R^2 + H_0^2}, \vartheta = \tan^{-1}(R \sin \Theta / \sqrt{R^2 \cos^2 \Theta + H_0^2})) \quad (14)$$

計数管から離れた所では (11) を使つて、

$$G_V = 2rl \cdot R / (R^2 + H_0^2)^{3/2} \quad (15)$$

$$G_H = 2rl \cdot \sqrt{R^2 \cos^2 \Theta + H_0^2} / (R^2 + H_0^2)^{3/2} \quad (16)$$

となる。指向性を無視した場合は

$$G_V = G_H = C / (R^2 + H_0^2) \quad (17)$$

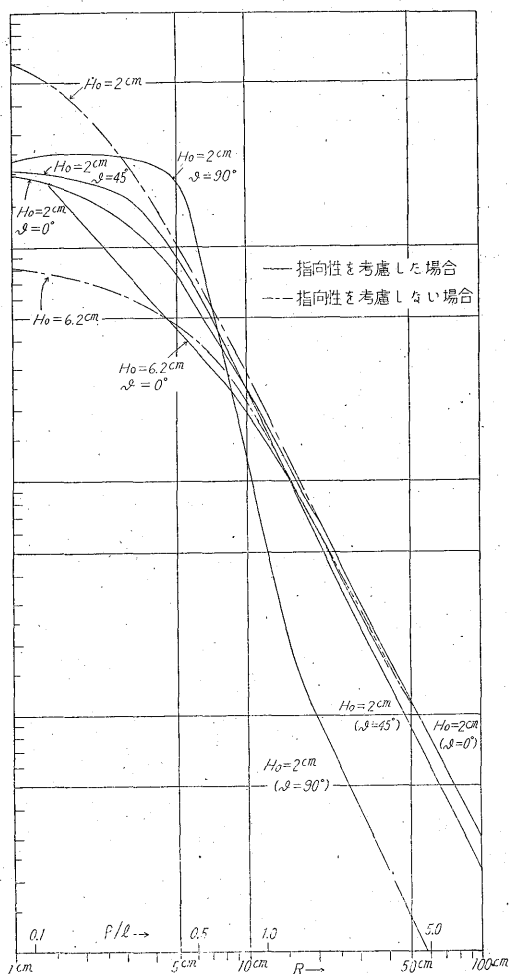
である。さらに $R \gg H_0$ のときは、指向性を考慮した場合には $G_V = 2rl/R^2$, $G_H = 2rl \cos \Theta / R^2$ であり、無指向性の場合 $G_V = G_H = C/R^2$ であつて、計数管を垂直に置いた場合はこれと同じ結果になる。

実験に用いた計数管は GBLIT 型 (プローブに収容) で、陰極で囲まれた部分を有効成分とすれば、 $l=12\text{cm}$, $r=1.25\text{cm}$ である。プローブを直接平面上に水平に置いたとき $H_0=2\text{cm}$, 垂直に置いたとき $H_0=6.2\text{cm}$ である。実験に用いた放射線源は約 $10 \times 2\text{mm}$ の箔状の Ra 塩である。今回の実験では計数管と線源との距離は最高 1m であるから、 γ 線は空気中ではほとんど吸収されないとする。

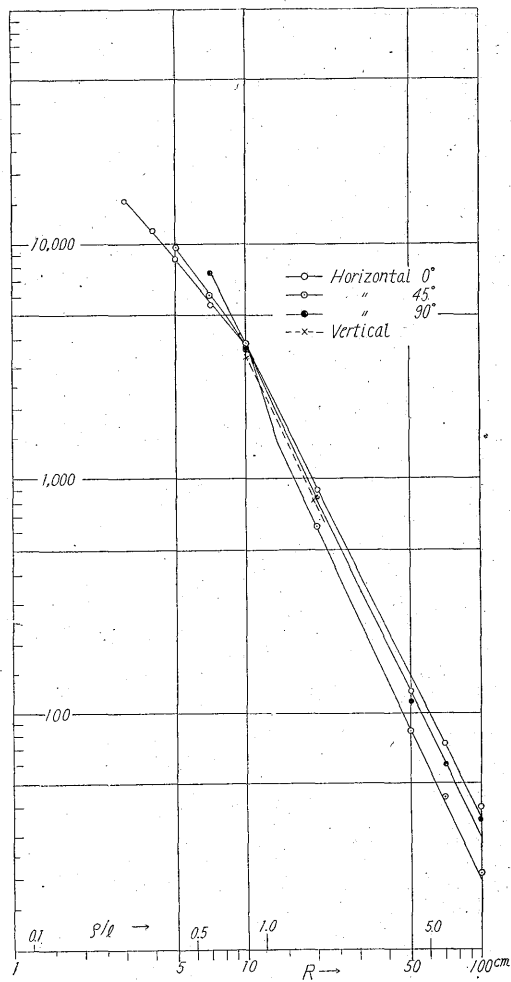
$$i = 2rlE \cdot G_{\text{noir}}$$

となる。前記の数値を用いて計算した値と実験によつて測定した結果とを第12図および第13図に示した。

第12図は測定された強度および計算された強度の距離に対する関係である。 ρ が l より大きい所では実験値とすべての計算値とはかなりよく一致し、距離の自乗で



第12図 a 平面上の立体角分布 (計数值)



第12図 b 平面上の立体角分布 (実験値1)

減衰する。ρがlに等しいかそれよりも小さい所では実験が充分でないので、実験値がいずれの計算値と最もよくあうかはつきりしないが、やはり幾何学的効率から導かれた指向性を考えた計算値の方がよくあうように思われる。指向性については第13図に示すように、計算された指向性に比べて実験によつて認められる指向性は小さい。この原因はおもに散乱によるのではないかと考えられる。この実験ではコンクリートの床の上に放射線源を置いているので、後方散乱の影響が相当あるということも考えられるのであつて、計数管にごく近い部分の実験を進めて行く際に、検討したいと考えている。このような現象を追求して行くうえには、γ線のエネルギー分布、したがつて放射線源を構成する放射性元素を無視するわけには行かない。

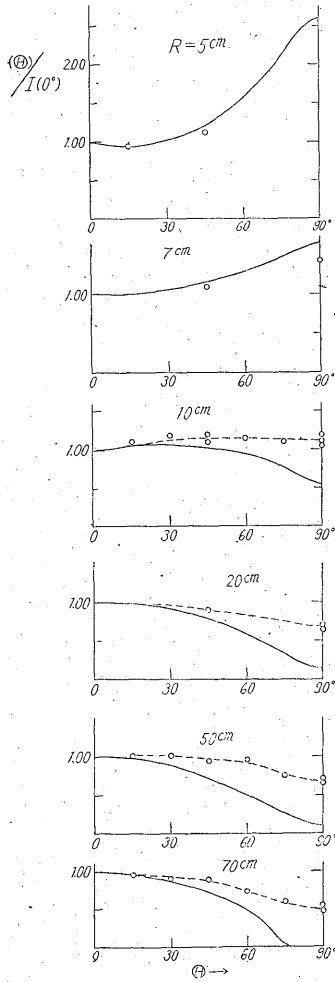
しかし、あまり定量的でない取扱いで満足するならば(4)で示される関係で充分であると考えられる。すな

わち野外における測定では一般に放射線源は相当の拡がりをもつか、相当広い範囲についての平均強度が要求されるから、逆2乗の法則が成り立たなくなるような計数管の近傍からの計数值(入射線量)に対する寄与は、それほど大きくないと考えられる。したがつて、逆2乗法則で計算される入射強度との差は大きくはないはずであり、自然における地形や放射性元素の分布の不規則性は原則的に厳密な理論を用いても正確な強度計算を行うことを不可能にするからである。指向性についてもそれほど著しいものでないから、距離に対する関係を調べることをおもな目的にする場合には、特に考慮する必要がないと思われる。

次に、前節で導かれた結果によれば、大きさの異なる計数管による測定値の比は、効率と同じならば計数管の陰極の面積の比になるはずである。測定される計数值には宇宙線による部分も含まれているが、宇宙線に対し

でも同様な関係が成り立つ。野外における多くの測定値を整理してみると第14図のようになり、上記の関係が成り立つたと考えてよいと思われる。逆にこれらの計数管は封入気体の種類や圧力が異なっているが、効率はほとんど同じであるといえることができる。

第3表は野外における測定値から求められた計数値の比の平均と陰極表面積の比を示している。大型の計数管 (GM-210) では実験による計数の比が $2rl$ の比の約2倍であり、第4図でも大型計数管 (C-25, G-25-Cu, GM-210) では同様なことが



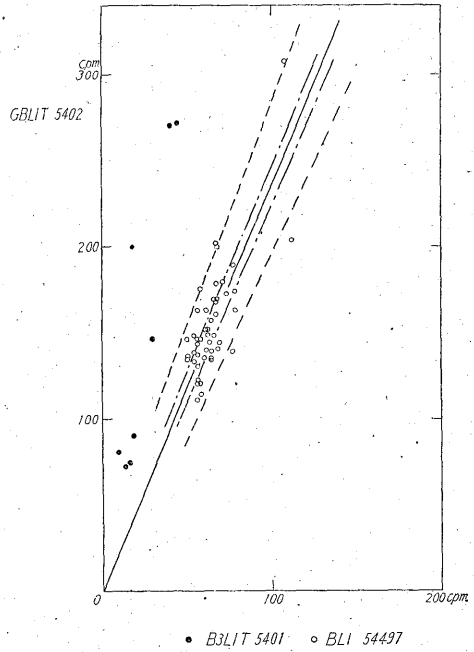
第13図 平面上の立体角分布 (実験値2)

第 3 表

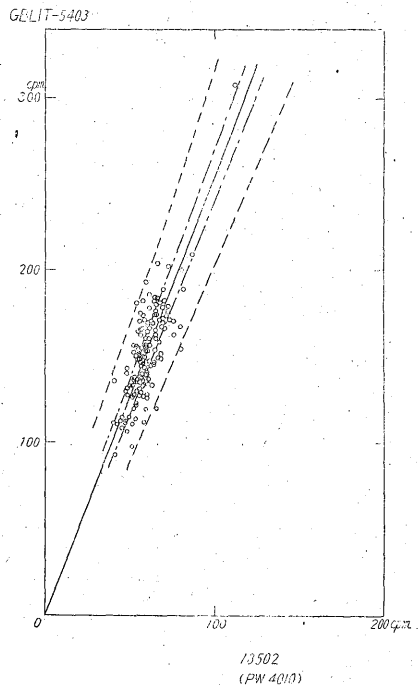
型 名	実験による計数の比	$2rl$ の 比
GBLIT	1.0 (基準)	1.0 (基準)
BLI	0.4	0.33
B3LIT	0.2	0.17
GM-210	8	4.4
18502	0.4	0.23

認められる。これは出力が大きいため入力回路で1つのパルスを2つに分割するためか、後続放電を計数するためであろうと思われる。実用的にはこのような状態で使用してもさしつかえないようであるが、誤差を計算するときは注意を要する。

またβ-γ線用円筒計数管 (18502) でも実際には $2rl$ の比より大きな計数値の比が求められる。この理由としてはβ線に対する効率がよいことと、有効面積として外



第14図 a 異種計数管の計数値の関係 (1)



第14図 b 異種計数管の計数値の関係 (2)

函ないしプローブの表面積をとる方がよいことが考えられる。

いずれにしても、異なった型の計数管による測定値を相互に換算することができる。同じ型の計数管でも個々の計数管によつて多少の相異があり、動作電圧によつて

ガンマ線用ガイガー計数管による野外における放射能強度の測定について (I) (佐野俊一)

も測定値が異なるから、換算に使う比率は個々の場合について実験的に定めなければならない。また、第14図において、各計数管相互の関係を示す(測定された計数比の平均から定められた)直線を中心とする測定値の分散は、統計的変動による誤差から期待される分散よりも大きい。すなわち同じ型の異なった計数管による測定値を比較した場合に比べて大きいように思われる。したがって、このようにして換算された測定値の誤差は換算率の誤差を除いても統計的変動による誤差よりも大きいと考へなければならない。

5. 半無限体に一樣に分布する放射線源

これまでの考察によつて、地表で測定された放射能強度を解析する場合に、(4)の関係を用いても大体さしつかえないことが認められた。

そこで、この関係を平面で区切られている半無限体に一樣に放射線源が分布しているとき、境界面上に計数管を置いた場合に適用してみよう。第11図と同様な座標をとると、

$$i/c = \exp\left\{-\sum_i \mu_i \alpha_i (R^2 + Z^2 + H_0^2)^{1/2}\right\} \times (R^2 + Z^2 + H_0^2) \quad (i=1, 2) \quad (18)$$

$$\alpha_1 = H_0/H_0 + Z, \quad \alpha_2 = Z/H_0 + Z$$

$$I/C = \int_{R_1}^{R_2} \int_{\theta_1}^{\theta_2} \int_{Z_1}^{Z_2} (i/C) R dR d\theta dZ \quad (19)$$

であつて、 H_0 は計数管の中心の境界面上の高さであり、 C は計数管の効率・極陰面積および半無限体内の放射線源の密度(濃度)が含まれている常数である。GBLIT型やBLI型を水平に置いた場合を考へて $H_0=2\text{cm}$ とする。吸収係数としてどのような値を用いるかは重大な問題であるが、J. C. Cook⁴⁾ にしたがつて

$$1/\mu_1 = 2.4 \times 10^4 \text{cm}$$

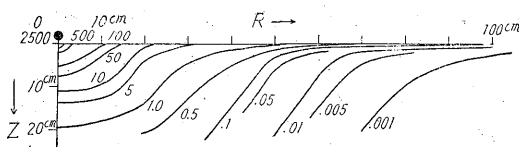
$$1/\mu_2 = 8.9 \text{ cm}$$

とする。

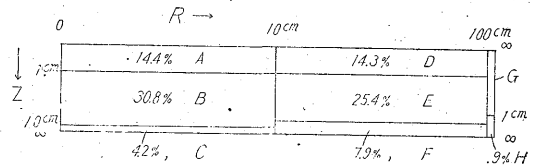
このような数値を用いて i/C を計算した結果が第15図である。実際に興味のある問題は測定される強度、すなわち

$$I_\infty/C = \int_0^\infty \int_0^{2\pi} \int_0^\infty (i/C) R dR d\theta dZ$$

に対して、半無限体内のある部分がどの程度の寄与をするかということであつて、第16図はこの問題に対する解



第15図 半無限体内の立体角分布



第16図 半無限体内の立体角分布

答である。すなわち、第4表に示すような円柱状ないし円環柱状の部分からの入射線量 I/C の全入射線量 I_∞/C に対する比を示している。

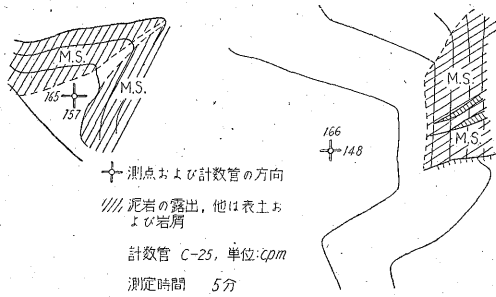
第 4 表

	R_1-R_2	$\theta_1-\theta_2$	Z_1-Z_2
A	0—10cm	0— 2π	0—1cm
B	"	"	1—10cm
C	"	"	10— ∞
D	10—100cm	"	0—1cm
E	"	"	1—10cm
F	"	"	10— ∞
G	100— ∞	"	0—1cm
H	"	"	"

岩石の大きな露出では、鉱床の場合と異なり半無限体に一樣に線源が分布しているという条件に近いと考えられるので、この結果は岩石の露出の上で測定する場合にあてはめることができる。ガイガー計数管での測定は確率誤差2,3%に達するのが普通であり、岩石から入射する放射線による計数は測定される計数の $1/3 \sim 1/2$ 位にすぎない場合が多いから、計数管から離れた部分はほとんど測定値に影響しない。すなわち、半径1m位の平らな岩石の露出の上で計つた値は、その岩石に固有な放射能強度(その岩石が無限に拡がっている場合の強度)を示すと考へてよい。このことは実際に野外の測定で確かめられた⁵⁾。近くに放射性の強い物質がないときには、計数管の数倍位の表面積があれば岩石に固有な放射能強度を示すようである。

しかし指向性を考へなければならない現象もある。実際に野外で計数管を水平に置いて方向をかえて測定してみると、放射能強度の異なった岩石や地層が分布している所では、僅かではあるが方向によつて違つた値が得られることが多い。第17図はその1例である。

計数管を鉛直に置いたときと水平に置いたときとの差は、強度の低いときは宇宙線の影響が支配的であるが、強度の高い所では第4図に示されているように、宇宙線の場合とは逆に鉛直に置いたときの方が大きな値が測定される。これは地表からの γ 線に対しては、鉛直に置いた方が入射線量が多いことを示しており、指向性をもつ



第17図 計数管の指向性

幾何学的効率を考えなければならない。

6. その他の問題

野外において放射能強度を測定する際に問題になることは、宇宙線や空気中のラドンなどによる計数の時間的変化である。これについては充分検討したわけではないが、一定の測点で何回も測定した値はいずれも統計的変動による誤差を越えないので、確率誤差2,3%以上の程度の測定では一般に時間的変化はないものとみてきしかえないものと思われる。ラドンが比較的少量にでているような所では時間的変化が認められるかもしれない。また、雨が降り始めたときに、強度の異常増加が認められたことがあるということである⁶⁾。原子爆発の影響については、その影響が特に著しかった頃測定を行っていないので、放射能強度の測定に影響があるかどうか明らかでない。

宇宙線強度の変化のうち、高度変化と緯度効果とは、場合によつては放射能強度の比較をする際に無視できないと考えられる。これらの問題は今後検討して行きたいと考えている。

7. 総括

前節までに述べた野外におけるγ線強度の測定に関する事項を纏めると次のようになる。

(1) γ線用ガイガー計数管はたいてい円柱形であるので、方向によつて放射線の入射量が異なる。すなわち指向性をもつ。

宇宙線に対しては計数管を鉛直に置いたときと水平に置いたときとを比べると、鉛直に置いたときの入射量の方が水平のときのそれより少ない。

(2) 同様にγ線源に対しても指向性をもつ。幾何学的効率(立体角)から期待される指向性は、線源と計数管の軸とのなす角の余角の \cos で表わされる。実験によれば軸方向にある放射線源からの入射量もかなり

あつて、計算で求められる指向性ほど著しくない。

(3) したがつて、距離に対する関係だけを問題にするなら、点状の放射線源から計数管に入射する強度は、放射線源の強度と、計数管と線源との距離の逆自乗と、吸収によつて決まると考えてよい。γ線の吸収は一応距離に対する指数関数で表わされると考え、γ線のエネルギー分布は無視する。

(4) 前項の考え方を岩石の露出上で放射能強度を測定する場合に適用すると、半径1m程度の平らな露出があれば、それ以上の拡がりをもつ露出上で測定した値と実際的に等しい測定値が得られることになる。

(5) 計数管の置き方によつて測定値が変わることは実際に野外で認められる。計数管を鉛直に置いたときには、一般に宇宙線の場合と逆に、水平に置いたときよりも地表からのγ線の入射量が多い。

指向性が実際に認められるかどうかという問題は測定精度によるのであつて、普通の携帯用測定器についている小型の計数管で数分間測定する場合には、はつきりとは認められないことが多い。

(6) 計数管の大きさによる計数値の相違はそれらの表面積に比例するので、異なつた種類の計数管による測定値は簡単な比例関係で換算できる。実際に換算は個々の場合について実験的に換算率を定めるべきである。β線用ないしβ-γ線用計数管とγ線用計数管とについても、換算率は表面積の比よりも多少異なるが大体成り立つようである。円筒型β線用計数管を用いる場合はプローブの表面積を有効面積と考える方がよい。

このことはN単位による表示法(バックグランドで測定値を割つて強度を表現する方式)によつて計数管の違いを無視することができることを示しており、ガイガー計数管を使用する限りN単位は合理的であると考えられる。

(7) 放射能強度の時間的変化は一般的に無視できるとしてきしかえない。(昭和30年5月稿)

文 献

- 1) 早川幸男: 宇宙線, 現代物理学, III. C. 1955
- 2) Rothé: Prospection Geophysique, Tom. 1, 1950
- 3) Cook J. C.: Geophysics, XVII, No. 4, p.—687—706, 1952
- 5) 岩崎章二: 阿武隈地域放射能探査報告, 未刊
- 6) 岩崎技官談話