

携帯用放射線測定器について (I)

佐野 俊 一*

Résumé

Portable Instruments for Measurement of Radioactivity (1)

by

Shun'ichi Sano

A radiation counter (scaler) has higher accuracy than a rate meter for the measurement of radioactivity. However, there are some difficulties to design portable scalers. In this paper, several conditions for the design of these instruments are discussed. Moreover, the relations between its error and time constant on a rate meter are discussed.

1. 緒言

携帯用放射線測定器には非常に多くの形式があるが、ガイガー計数管によつて、野外における放射能を測定する方法を検討することを目的とする場合には、なるべく精度が高く、計数管の種数を交換できる測定器が必要である。この報告では上記のような携帯用測定器について考察した結果を述べ、現在地質調査所物理探査部において使用している、ガイガー計数管用測定器について説明する。

放射能測定において精度を挙げるためには、全測定計数 (total counts) を大きくすることが第1であつて、低い強度の測定には測定時間を長くすることが必要である。野外では γ 線の測定が行われることが多く、シンチレーション・カウンタはガイガー計数管より γ 線に対する効率が非常によいので、シンチレーション・カウンタが広く用いられるようになってきた。

しかし、現在のところ主要な部品 (結晶および増倍光電管) の作製に高度の技術を要するため価格が高く、シンチレーション・カウンタが普及するまでには、多少の期間があると思われる。また、ガイガー計数管を使った簡単な装置は、シンチレーション・カウンタよりずっと軽く小型にできるので、将来もこのようなものは広く用いられることが予想される。またウランの探査とは全く関係がないが、アイソトープを野外で利用する場合には β 線を測定する必要も多いはずである。このような用途にはガイガー計数管が使われる。

したがつて、ガイガー計数管を使う測定器について考

察することは無意味ではない。また、こゝに述べる事柄のうちでシンチレーション・カウンタについてもそのまゝ適用される部分も多い。

実際の回路の試作や測定については、おもに科学研究所の小田為広氏に協力していただいたことを厚く感謝する。

2. 携帯用スケaler

放射線測定器には普通スケalerとレートメーターとがあり、本質的に特に低強度ではスケalerが精度のよい測定方式である。したがつて、おもに携帯用スケalerについて考察する。

2.1 入力感度

ガイガー計数管に対する入力感度は、数 m の高周波ケーブルを付けたとき 0.2~0.3 V 程度が標準で、早い計数の測定の際には数え落しを少なくするために、この程度の感度をもつことが望ましいが、携帯用スケalerを使用する1つの目的は、レートメーターでは十分な精度が得られない遅い計数の測定にあるので、0.2 V 以上であつてもさしつかえない場合が多いと思われる。

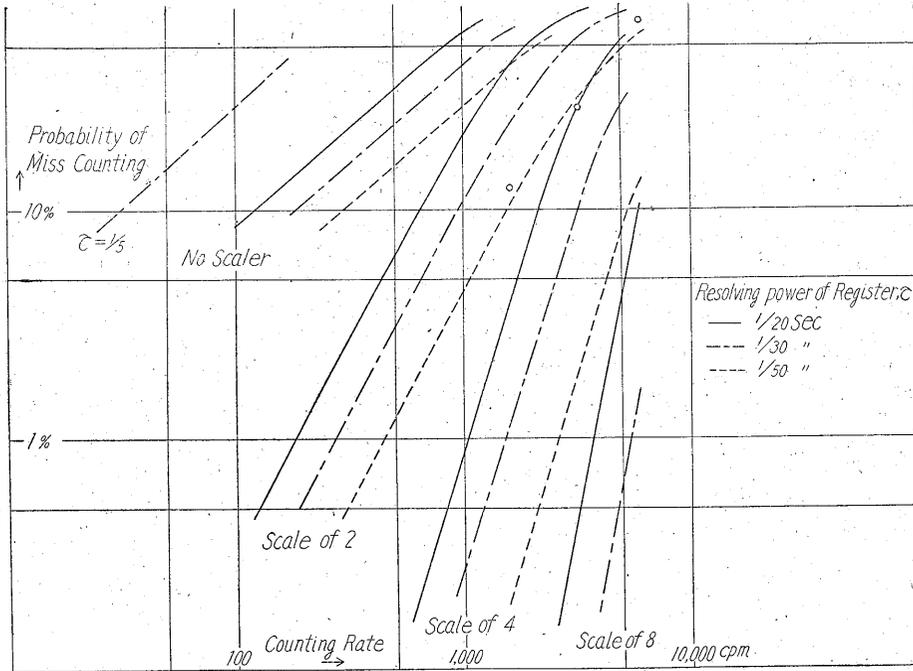
2.2 回路の時定数

ガイガー計数管を使う場合には、通常の電子管を使用するかぎり回路各部の時定数は、特に問題にならないと考えられる。

2.3 録数器の分解能と scaling factor

これは機械的録数器を使用する携帯用スケalerでは、最も重要な問題である。通常使用されている録数器では、適当な幅の短形波を用いれば、波高 400~70 V で分解能約 1/50 sec である。したがつて減数回路が必要

* 物理探査部



第 1 図

であるが、携帯用測定器では電源の制限を受けるので、scaling factor をあまり大きくできない。いま、録数器の分解能を τ sec, counting rate を Ncps, 入力回路の分解能を τ' sec とすると、scale of n のスケーラーで録数器によつて数え落しをする確率Pは

$$P = \sum_{m=n}^{\infty} (N\tau)^m / m! \times e^{-N\tau} \times (1 - n\tau'/\tau) \quad (1)$$

である¹⁾。n=1, 2, 4 および 8, $\tau'=100 \mu\text{sec}$, $\tau=1/20, 1/30$ および $1/50 \text{ sec}$ のときのPとNとの関係は第1図で示される。スケーラーの落しがガイガー計数管による落しと、一応同程度になるためには、scale of 8以上にする必要がある。scale of 2 では約 500 cpm で1%の落しがあり、大体 1,000 cpm まで実用になると考えられる。減数回路がないものは落しが大きく実用的でない。

2.4 スケーラー用電源

乾電池は器械の重量のかかりの部分占めるので、電力消費量を少なくする必要がある。A電池の消費率は電子管の種類と数とで決まるが、電池用電子管はヒーター電圧の変動を受けやすいので、A電圧の変化に対して安定な回路を使うべきであつて、設計によつては球数が多少増加しても、乾電池の持続時間が延びる可能性があると考えられる。乾電池では lipples は少ないが、長時間にわたる変動は大きいのでB電源についても同様である。

bistable multivibrator による減数回数は設計および

製作に注意すれば、B電圧の変動 $\pm 30\%$ 、A電圧の変動 $\pm 20\%$ に対して安定に動作するといわれている²⁾。スケーラーが電圧変動に対して安定であることは、レートメータに対して1つの優れた点であつて、時定数を短くするという要求がなければ、電力消費量が少なく、安定な減数回路を作ることはそれほど困難なことではないと考えられる。

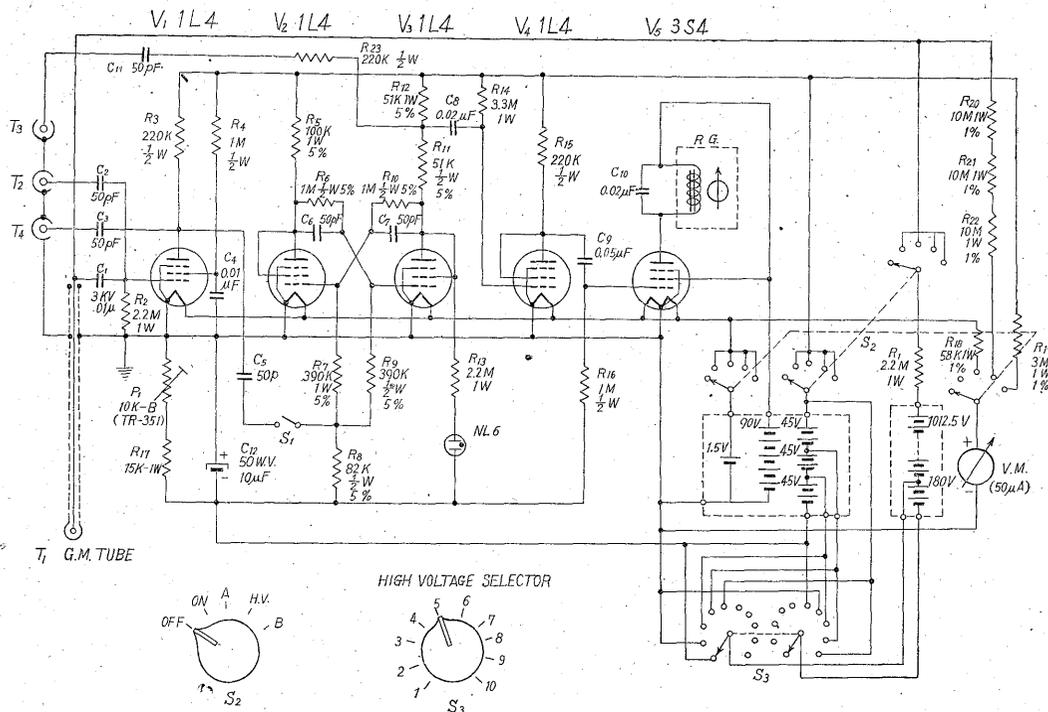
ステップ管を使う場合はそのためのA電池は不要であるが、B電池に高い電圧と大きい容量とが要求される。

2.5 計数管用高圧電源

現在普通に使用されている方式には (1) 乾電池、(2) blocking oscillator または relaxation oscillator および (3) パイプレーター³⁾の3つがある。ガイガー計数管で定量的測定を行うためには、lipples 1%以下にする必要があり、この程度の安定度をもつためには乾電池を使うのが一番便利である。

合衆国ではコロナ放電管と称する高電圧小電流の定電圧放電管が、パイプレーターによる電源と組合せて用いられる。これを使用する場合は電圧を可変にすることが困難で、交換できる計数管の種類が制限される。

また発振器やパイプレーターによるものは故障率が多い。したがつて、多少重量が増加しても乾電池を使用することが望ましいと考えられる。負荷による放電電流が自己放電電流と同程度であるから、長期間の電圧変動も少ない。しかし、将来は発振器を使うものを考慮すべき



第2図 科研2S-P1型2進式携帯用放射線計数器回路図

であらう。

2.6 容器の耐湿性

携帯用測定器としては重要な問題であるが、雨中ないし坑内で動作に支障のよいようにすることは、それほど困難なことではない。通常はゴムパッキングを施し、容器内に乾燥剤を入れる。

3. 実際の携帯用スケアラ

こゝでは実際の携帯用スケアラを挙げて検討し、前節で触れなかつた実際的な問題についても述べる。

3.1 科研2S-P1型携帯用計数器

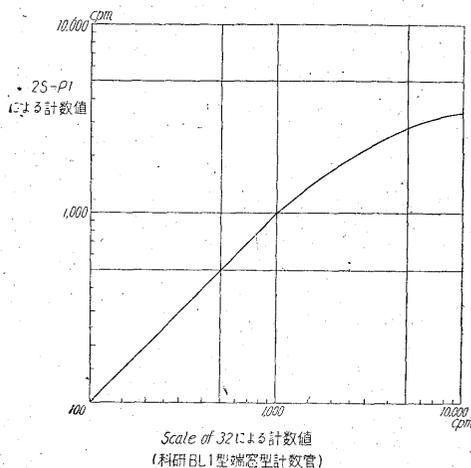
現所在地質調査所物理探査部で使用しているものであつて、回路は第2図に示してある。概略の様子は次の通りである。

- (1) 入力感度 0.7~1.0V
- (2) scaling factor 2
- (3) 録数器分解能 1/50~1/40 sec
- (4) Interporater ネオン管
- (5) Controls i) 主スイッチ, off-on-A 電圧—高電圧—B 電圧 ii) 高電圧調整器(10段切替) iii) カウントスイッチ
- (6) 高圧電源 BLO-135(202.5V) × 5
持続時間約1カ年
- (7) 低圧電源 持続時間断続約200時間

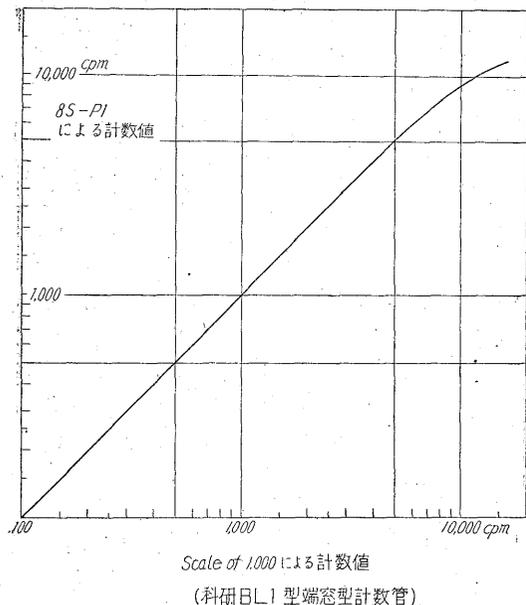
(8) 重量 約 11kg

この回路では計数管の出力はCR結合増幅器を経て減数回路にはいり、discriminator を使っていない。この回路はおもにβ線用端窓型計数管を使用するように作られてあるので、出力の大きい計数管を使うと減数回路が働かなくなることがある。したがつて計数管に対する互換性を完全にするためには、適当な discriminator を付ける必要がある。

この回路は B-C 電圧 140~110V, A電圧 1.6~1.1



第 3 図



第 6 図

によく一定して、このような現象は出力パルスの数に対して一定の割合で起り、実用的にはさしつかえない場合が多いと思われる。しかし、Schmidt Trigger Circuit を用いればなおよいわけである。

第6図は 8S-P1 による計数值と scale of 1,000 の scaler (入力感度 0.25 V) による計数值とを比較したものである。第1図に示した計算結果と比較すると、数え落しの割合は録数器の分解能を 1/30 sec とした場合に相当する。このように scale of 2 の場合より録数器の分解能が低下するよう見受けられることは、入力感度が高いことに原因があるようである。

電力消費量は 2S-P1 の約2倍になり、2S-P1 と同一規格の乾電池を用いて断続約100時間は持続する。重量は少し増加して約 12 kg になる。

現在筆者の知るかぎりでは、市販の全乾電池式携帯用スケーラーは 2S-P1 型、Berkley Model 2067 Portable Scaler (Beckman Instrument Co., U. S. A.) およびステップ管を用いたもの(後述)の3種類にすぎない。Model 2067 は輸入されていないが、型録によると仕様は次の通りである。

- (1) 入力感度 0.5 V
- (2) scaling factor scale of 8
- (3) 録数器分解能 1/30 sec
- (4) interporater 電流計
- (5) controls i) on-off スイッチ ii) カウントスイッチ iii) リセット iv) 録数器リセット

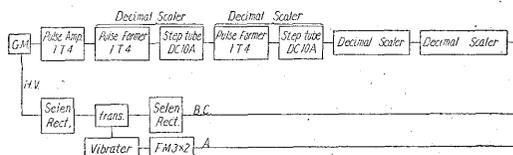
- (6) 電源乾電池持続時間 断続約 60時間
- (7) 高圧電源 vibrator-コロナ放電管(900 V)
- (8) 重量 7.3 kg

したがって 8S-P1 と大体同程度のものであることが推定される。ネオン管による interporater は日中野外では読取りが困難であつて、電流計による interporater が便利である。

2S-P1 および 8S-P1 ではミニチュア管を使用している。サブミニチュア管を使うことも考えられ、品種の選び方によつて電力消費量が 1/5 程度まで減少する見込みがある。この点ではトランジスターが最も注目される。トランジスターを使用した減数回路も発表されているが³⁾、未だ価格の点で実用化には難点がある。

3.3 ステップ管(デカトロン)を使用した携帯用スケーラー

日本無線から製品がでており、回路のブロックダイアグラムは第7図のようになつている。scale of 10,000 で機械的録数器を必要としない。電源は FM-3 (1.5 V)



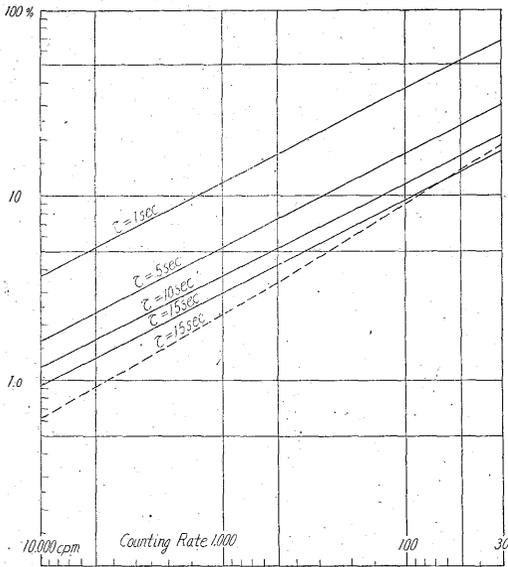
第 7 図

2個を用い、A電源以外は vibrator によつて供給される。乾電池は8時間以上持続するというのである。消費電力は 8S-P1 型とほぼ同程度(約 1.4 W)であるが、B電圧が異なるから、乾電池を電源とする場合には watt 数だけで比較するのは実際的でない。ステップ管を1個にして機械的録数器を使つた方が消費電力は少ない。

前述の考察にしたがえば、discriminator を付け高圧電源を改良する必要がある。ガイガー計数管を使う場合は、ステップ管(計数用放電管)では数え落しは理論的には問題にならないが、現在の製品は働きの安定性が充分でないようである。したがつて、ステップ管自身の改良が先決問題であろう。回路を工夫すれば現在のステップ管でも安定性のよい装置ができるかも知れない。いずれにしてもこの型式は将来発表する可能性がある。

4. レートメーター

精度の高い測定が要求される場合には、普通はレートメーターは使用されない。しかし、レートメーターは器械を小さく軽く使うことができ、counting rate を直接指示することは實際上便利なことが多い。こゝではおもに統計的変動によるレートメーターの誤差について考察



第8図 レートメーター-確率誤差

する。

4.1 時定数

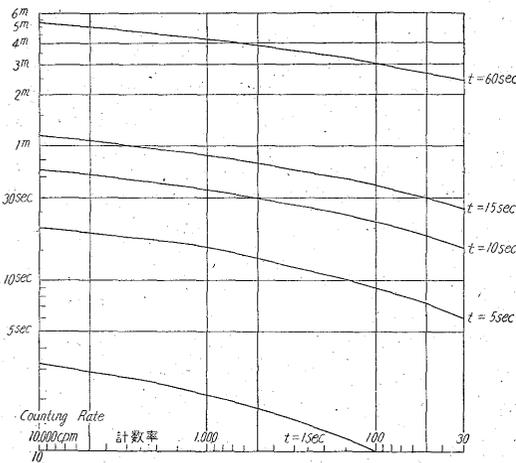
レートメーターに関する重要な問題は積分回路の時定数である。指針の瞬間値の確率誤差 R_p は、counting rate n cpm, 時定数を τ sec とすると、一般に指針が平衡に達するまでに 2τ sec を要するとして、

$$R_p = 3.69 \sqrt{n/\tau} \quad (2)$$

で与えられ、第8図は τ をパラメーターとした R_p/n と n との関係である。したがって時定数が長いほど測定精度がよいが、指針が平衡に達するまでに長い時間がかかる。その時間を T sec とすると、

$$T = \tau (1/2 \log 2n\tau + 0.394) \quad (3)$$

であつて、第9図は τ をパラメーターとした T と n と



第9図 レートメーターの平衡に要する時間

の関係である。 n が大きいときは T は 2τ よりもつと大きくなり、指針が平衡に達してからの誤差は、(2)式で与えられるものより小さくなる。第8図中の点線は(3)式で求めた T によつて、 $\tau = 15$ sec の場合の R_p を計算したものである。

計数値を比較するときは確率誤差よりも棄却限界を考えた方がよい。危険率5%および1%の棄却限界は、Gauss 分布によると

$$R_5 = 2.90 R_p \quad R_1 = 3.81 R_p$$

である。放射能強度 n_1 cpm および $n_2 = \alpha n_1$ cpm がレートメーターの瞬間値によつて区別できるためには、 n_1 cpm および n_2 cpm のときの棄却限界をそれぞれ R' および R'' とすると、

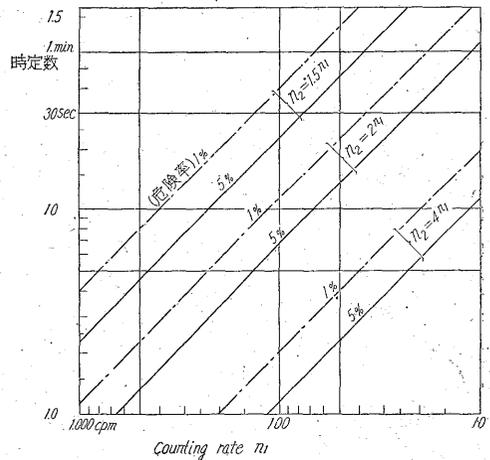
$$R_5' + R_5'' \text{ (あるいは } R_1' + R_1'') \leq n_2 - n_1$$

である。したがつて

$$114.5/(\sqrt{\alpha} - 1)^2 n_1 \leq \tau$$

$$\text{または } 198.2/(\sqrt{\alpha} - 1)^2 n_1 \leq \tau \quad (4)$$

となる。第10図は(4)式の等号の場合を示したもの



第10図

で、よく使われている Survey tube (background 約 30 cpm) によつて background の4倍の異常を識別するには、時定数 4~5 秒でよい。もつと小さな異常まで識別するには、時定数を長くすること、大きな計数管を使うことが必要である。

以上は瞬間値の誤差についての議論であつて、何回も指度を読取つて平均すれば誤差は小さくなる。いま平衡に達してから t 秒間の測定を行い、その間の平均値が正しく求められたとすれば、平均値の確率誤差 R_p は、

$$R_p = (1 + 2t/\tau)^{1/2} / (1 + t/\tau) \times R_{ip} \quad (5)$$

である、こゝで R_{ip} は瞬間値の誤差で、第1表は R_p/R_{ip} の値を示したものである。この結果によると、時定数の

第 1 表

測定時間	時定数			
	sec 15	10	5	1
1 min	0.60	0.49	0.38	0.180
2	0.46	0.38	0.28	0.129
5	0.31	0.20	0.180	0.081
10	0.22	0.180	0.129	0.057

比較的長いレートメーターで数分間測定すれば、スケアラで測定した場合の誤差と同じになる。

しかし実際には平均値の誤差があるので、スケアラの誤差よりも大きくなる。簡単にするために、レートメーターで t 分間に n 回測定して平均を求めた場合の確率誤差 Rv_p が、スケアラで t 分間測定した場合の誤差と、平均値の誤差との和であると考え、

$$Rv_p = 0.675\sqrt{n/t} + 3.69\sqrt{n/\tau v} \quad (6) \text{註1}$$

となる。第2項(平均値の誤差)が第1項より小さくなるためには、

$$0.675\sqrt{n/t} > 3.69\sqrt{n/\tau v}$$

であるから、

$$\tau v > 29.9 t \quad (7)$$

註1) $0.675\sqrt{n/(t+\tau/30)} = 0.675\sqrt{n/t}$ とした。

となる。野外の測定では $v=5\sim 10\sim 20$ 位であるから、 τ と t との関係は大体

$$v=5; \tau > 6.0 t$$

$$v=10; \tau > 3.0 t$$

$$\tau=20; \tau > 1.5 t$$

となる。ここで時定数 τ の単位は sec, 測定時間 t の単位は min であつて、例えば、5分間に10回読取るときは、少なくとも時定数15秒以上にするのが望ましいと考えられる。

以上に述べた考え方にしたがえば、携帯用スケアラの代用のできるようなレートメーターには 15~20 sec 程度の時定数が必要である。

4.2 指度の直線性ならびに指度および零点の移動

これらの問題は携帯用レートメーターとして重要であるが、ここでは問題を指摘するだけに留める。

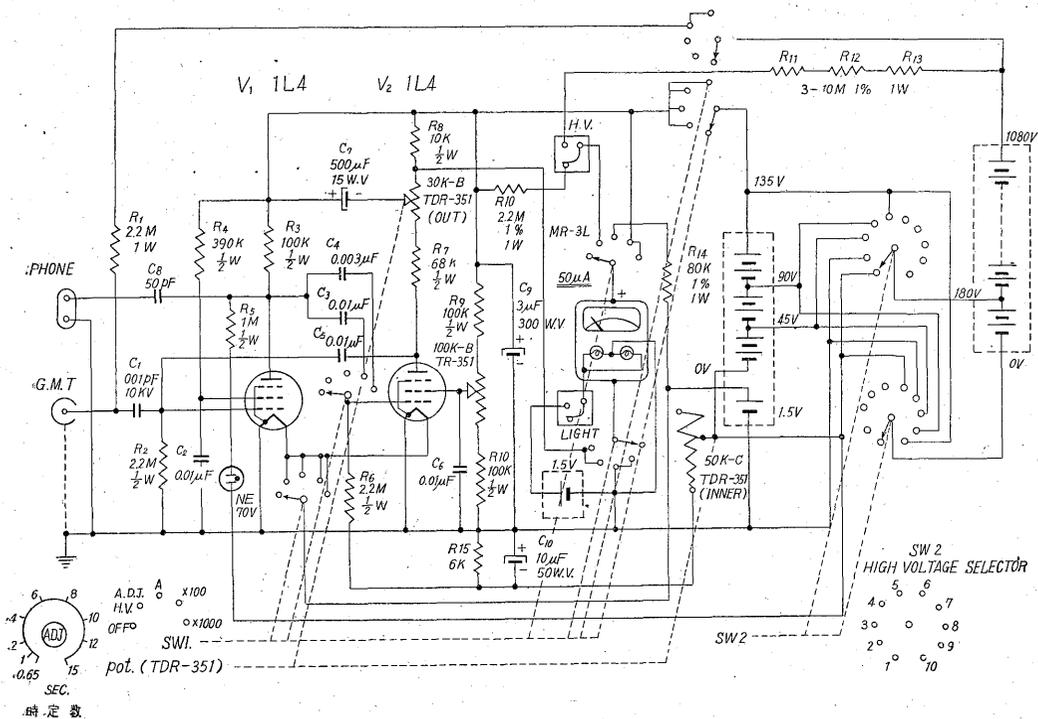
5. 実際の携帯用レートメーター

精度の高い測定を目的とした携帯用測定器としては次の製品があり、現在地質調査所物理探査部で使用している。

1 科研 SU-P 1 型サーベイメーター

仕様の概略は下記の通りで、回路は第11図に示してある。

(1) 入力感度 0.5 V



第 11 図 科研 SU-P 1 型携帯用計数率計回路図

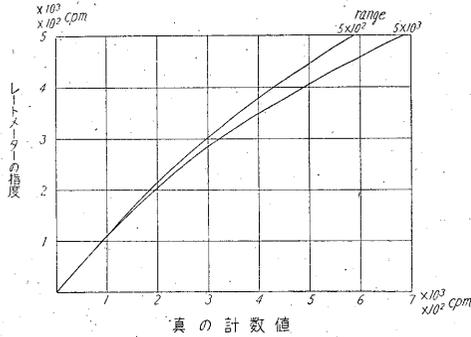
- (2) Controls i) 主スイッチ: off-B 電圧調整 (高圧測定) —A 電圧測定—0~500 cpm—0~5,000cpm
- ii) 時定数 (0.65~15 sec, 連続可変) iii) B電圧調整 (ii)と同軸 iv) 高圧測定およびメーター照明用押ボタン v) 高電圧調整 (10段切換, 容器内)
- (3) 指示電流計 目盛長 77 mm, 2.5 級
- (4) AB 電源 乾電池持続時間継続約 280 時間
- (5) 高圧電源 BL-0750 (1,125 V)
- (6) 重量 6.8 kg

回路は univibrator になつており, 零点の移動はなく, 指度の変動 (flow) も少ない。しかし第 12 図に示す

外で SU-P1 型および 2S-P1 型によつて同一の測点で測定した値の分布である。計数値の間隔は $2.57\sqrt{N}/t$ (N: total counts, t: 測定時間)であつて, ガウス分布にしたがうとすれば, $\pm 2.57\sqrt{N}/t$ は危険率 1% の誤差である。この結果からみても, レートメーターの方が誤差が大きい。特にスイッチを入れてから 10 分位の間の測定値は変動が大きいようである。

6. スケラーとレートメーターとをもつ携帯用測定器

以上述べたようにスケラーの方が精度がよく, 実際

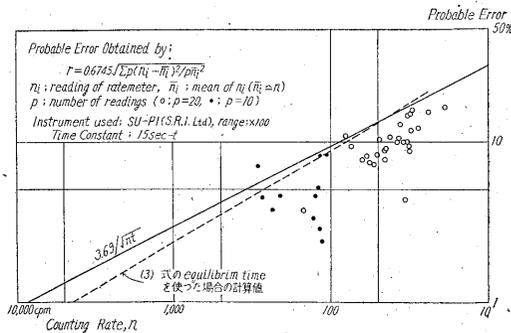


第 12 図

ように直線性がよくないので, 読取値に補正を加える必要がある。第 12 図の曲線はパルス発振器によつて得られたもので, 計数管を付けたときは高い強度では入力感度の不足によつてもつと非直線性が大きくなる。

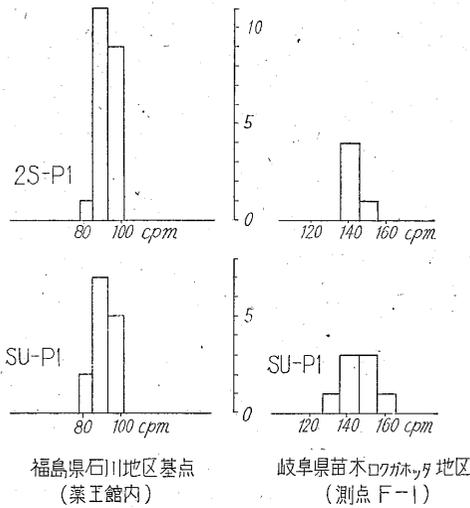
この器械で時定数 15 sec のときの実際の測定値から求めた指針の瞬間値の確率誤差を第 13 図に掲げた。当然のことであるが, 第 8 図と傾向はよく一致する。誤差の値は計算されたものより小さいようにみえる。しかしある時間何回か測定した場合の平均値は, 前節で述べたように平均値の誤差のために, スケラーで同一時間測定した値よりも誤差が大きくなる。第 14 図は実際に野

の測定も初めと終りに録数器を讀めばよいので, 他の種類の携帯用測定器より操作も簡単である。しかし, scale of 2 では 1,000 cpm 以上の測定には無理があり, scale of 8 以上では重量が多すぎる。一方レートメーターは低い強度の測定に適さないが, 1,000 cpm 以上になれば, 指針の安定度もよくなり, 瞬間値の誤差が一般に要求される誤差範囲の程度に近くなる。したがつて, scale of 2 とレートメーターとを組合せた器械が携帯用として適していると考えられる。このような回路を実現することは簡単であつて, univibrator 形式のレートメーター回路の出力を scale of 2 の減数回路と録数回路へつなげ

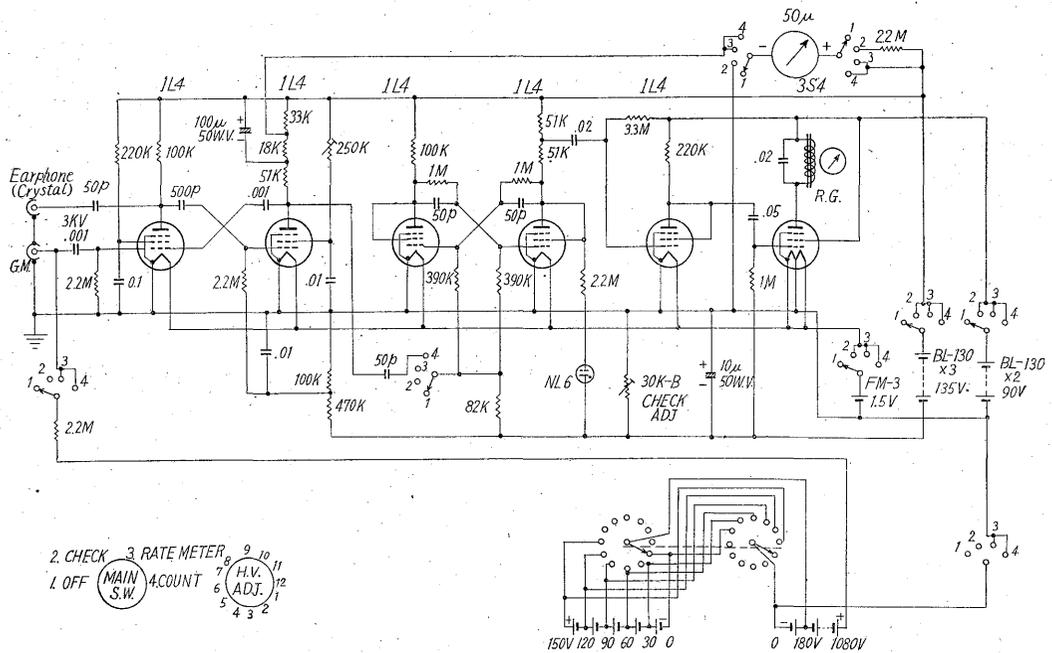


第 13 図

携帯用放射線測定器について(1) (佐野 俊一)



第 14 図



第 15 図 携帯用放射線測定器

ばよい。レートメーターは SU-P1 型と同様な形式にすれば、第 15 図のような回路が考えられる。レートメーターは高い counting rate の所だけを目標にして、レンジ切替をしないようにすれば、非直線性はそれほど問題にしないでよい。初めから指度に応じて目盛っておけばよいからである。低いレンジを測定できるようにすると、一般に減数回路に加わるパルスの幅が広くな

るので、この点から考えても付けない方がよいと思われる。

第 15 図の回路ではレートメーター部分の常数は充分検討を経たものでなく、仮のものである。電池の寿命ができるだけ長くなるような（電圧の変動に対してできるだけ安定な）回路常数を求めることが問題で、この点についてはまだ充分検討していない。

7. 結 語

携帯用放射線測定器についておもに誤差の問題を中心にして論じ、精度の高い測定を目的とした測定器の2,3の実例を示した。

小形・軽量を目的とした測定器は、すでに諸外国でいろいろ優れたものが製作されているが、最近では各国とも精度の高い安定のよい器械に対する要求が増大しているようである。シンチレーション・カウンターを用いることは、この要求を満たすために必要であるが、現在の

市販製品の多くは充分であるとはいえない。高精度・高安定度の携帯用シンチレーション・カウンターを製作することが今後の課題である。

(昭和30年6月稿)

文 献

- 1) 木村一治: 原子核物理学実験 [1]
- 2) Chance and others: Wave Form
- 3) Robert: Electronics, Vol. 25, No. 7, 1952
- 4) Sin: Isotopic Tracers and Nuclear Radiations