

JAERI-M

4 8 8 6

γ 線電離箱による線量測定

1 9 7 2 年 7 月

岡 田 實

日 本 原 子 力 研 究 所
Japan Atomic Energy Research Institute

γ線電離箱による線量測定

日本原子力研究所東海研究所原子炉研修所

岡田 実

(1972年6月23日受理)

このマニュアルは当所の基礎課程用に作成したもので次の項目から成っている。
測定原理, γ線電離箱の構造, 電離電流の測定法, 電離箱の飽和特性を調べる実験, 電荷蓄積法による電離電流の測定, 照射線量率と電離電流との関係を調べる実験, ^{60}Co と ^{137}Cs の放射能の測定, GMサーベイメーターの較正。

Manual of Gamma-Ray Dosimetry Using an Ionization Chamber

Minoru OKADA

(Received June 23, 1972)

This manual is for use at Fundamental Course of Nuclear Engineering School, JAERI. Included in the manual are the following items:—— principle in the method of measurement, structure of a spherical ion chamber, method of ion-current measurement, experiment on the saturation characteristics in an ion chamber, measurement of ion current by means of charge accumulation, experiment on relation between dose rate and ion current, activity measurement of a ^{60}Co source and a ^{137}Cs source, and calibration of a GM-type survey meter.

目 次

1	まえがき	1
2	測定原理	1
3	γ 線電離箱の構造	1
4	電離電流の測定法	2
5	電離箱の飽和特性を調べる実験	4
6	電荷蓄積法による電離電流の測定	6
7	照射線量率と電離電流との関係を調べる実験	7
8	^{60}Co と ^{137}Cs の放射能の測定	9
9	GMサーベイメーターの較正	10
10	参考資料	11

Contents

1	Introduction	1
2	Principle in the method of measurement	1
3	Structure of a spherical ion chamber	1
4	Method of ion-current measurement	2
5	Experiment on the saturation characteristic in an ion chamber	4
6	Measurement of ion current by means of charge accumulation	6
7	Experiment on relation between dose rate and ion current	7
8	Activity measurement of a ^{60}Co source and a ^{137}Cs source	9
9	Calibration of a GM-type survey meter	10
10	Reference materials	11

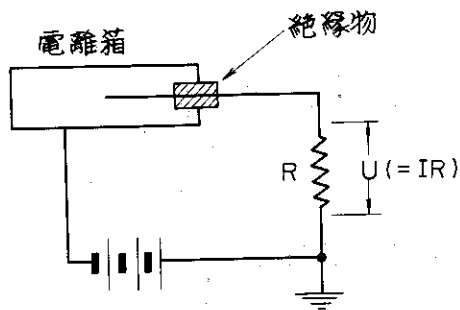
1 まえがき

X線およびγ線の照射線量の単位に使われているレントゲンの定義は「標準状態の乾燥空気1cc(1.293mg)の中に『1静電単位の正負いずれかのイオン』を発生させるようなX線の量(またはγ線の量)」である。γ線電離箱は、この定義に近い形で照射線量を測定できる検出器であり、その中に発生したイオンを集めて電流に変える。この電離電流を抵抗に通して電位差を発生させ、それを電位計で測るわけである。

この実験では照射による電離電流の測定の原理と方法を習得し、さらに、放射能が未知であるような線源の定量、サーベイメーターの較正、などの応用も行なえるようにしてある。

2 測定原理

放射線が物質中を通過すると、その飛跡のまわりの物質を構成する原子や分子を電離し、イオン対(ついでに)を発生させる。気体もその例外ではなく、電離されて電子や陽イオンが発生する。



第1図 電離箱の電離電流の測定の原理図

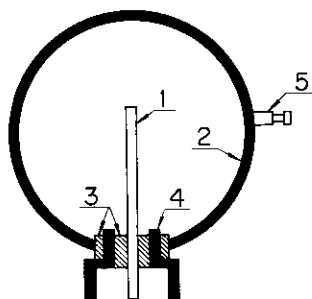
これらの荷電粒子を第1図のような正負の二つの電極に集めれば電流 I が流れることになる。負荷抵抗 R にこの電流を流すと、その抵抗の両端に電位差 U が発生する。オームの法則によって U は IR に等しい。 R は既知であるから、 U を電位計で測定すれば電離電流 I を知ることができる。流れた電気の量は照射線量に比例するから照射線量を求めることができる。

γ線は直接的な電離能力は持たないけれども、γ線との相互作用によって原子からたた

き出された二次電子が気体を電離する。

3 γ線電離箱の構造

この実験に使用するγ線電離箱は、第2図のように空洞のある球形のものである。



第2図 球形γ線電離箱の構造

- 1 中心電極, 2 壁, 3 絶縁物,
- 4 ガードリング, 5 壁電極用ターミナル

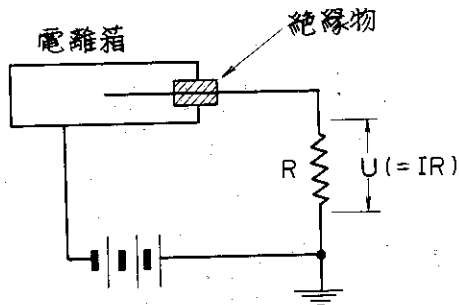
1 まえがき

X線およびγ線の照射線量の単位に使われているレントゲンの定義は「標準状態の乾燥空気1cc(1.293mg)の中に『1静電単位の正負いずれかのイオン』を発生させるようなX線の量(またはγ線の量)」である。γ線電離箱は、この定義に近い形で照射線量を測定できる検出器であり、その中に発生したイオンを集めて電流に変える。この電離電流を抵抗を通して電位差を発生させ、それを電位計で測るわけである。

この実験では照射による電離電流の測定の原理と方法を習得し、さらに、放射能が未知であるような線源の定量、サーベイメーターの較正、などの応用も行なえるようにしてある。

2 測定原理

放射線が物質中を通過すると、その飛跡のまわりの物質を構成する原子や分子を電離し、イオン対(ついでに)を発生させる。気体もその例外ではなく、電離されて電子や陽イオンが発生する。



第1図 電離箱の電離電流の測定の原理図

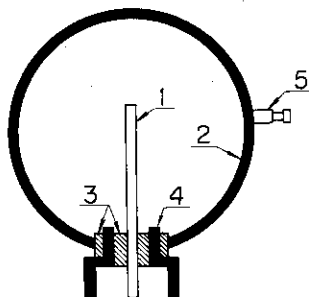
これらの荷電粒子を第1図のような正負の二つの電極に集めれば電流 I が流れることになる。負荷抵抗 R にこの電流を流すと、その抵抗の両端に電位差 U が発生する。オームの法則によって U は IR に等しい。 R は既知であるから、 U を電位計で測定すれば電離電流 I を知ることができる。流れた電気の量は照射線量に比例するから照射線量を求めることができる。

γ線は直接的な電離能力は持たないけれども、γ線との相互作用によって原子からたた

き出された二次電子が気体を電離する。

3 γ線電離箱の構造

この実験に使用するγ線電離箱は、第2図のように空洞のある球形のものである。



第2図 球形γ線電離箱の構造

- 1 中心電極, 2 壁, 3 絶縁物,
- 4 ガードリング, 5 壁電極用ターミナル

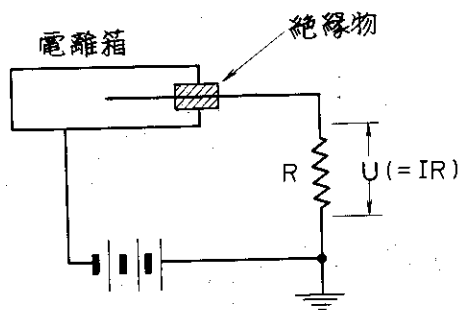
1 まえがき

X線およびγ線の照射線量の単位に使われているレントゲンの定義は「標準状態の乾燥空気1cc(1.293mg)の中に『1静電単位の正負いずれかのイオン』を発生させるようなX線の量(またはγ線の量)」である。γ線電離箱は、この定義に近い形で照射線量を測定できる検出器であり、その中に発生したイオンを集めて電流に変える。この電離電流を抵抗に通して電位差を発生させ、それを電位計で測るわけである。

この実験では照射による電離電流の測定の原理と方法を習得し、さらに、放射能が未知であるような線源の定量、サーベイメーターの較正、などの応用も行なえるようにしてある。

2 測定原理

放射線が物質中を通過すると、その飛跡のまわりの物質を構成する原子や分子を電離し、イオン対(ついでに)を発生させる。気体もその例外ではなく、電離されて電子や陽イオンが発生する。



第1図 電離箱の電離電流の測定の原理図

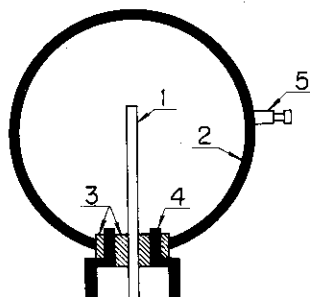
これらの荷電粒子を第1図のような正負の二つの電極に集めれば電流 I が流れることになる。負荷抵抗 R にこの電流を流すと、その抵抗の両端に電位差 U が発生する。オームの法則によって U は IR に等しい。 R は既知であるから、 U を電位計で測定すれば電離電流 I を知ることができる。流れた電気の量は照射線量に比例するから照射線量を求めることができる。

γ線は直接的な電離能力は持たないけれども、γ線との相互作用によって原子からたた

き出された二次電子が気体を電離する。

3 γ線電離箱の構造

この実験に使用するγ線電離箱は、第2図のように空洞のある球形のものである。



第2図 球形γ線電離箱の構造

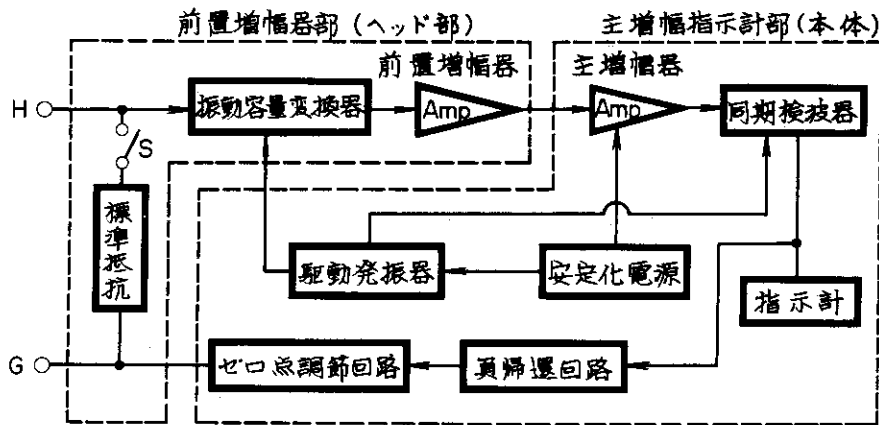
- 1 中心電極, 2 壁, 3 絶縁物,
- 4 ガードリング, 5 壁電極用ターミナル

電離される気体は空洞内の空気である。球形の壁は樹脂製で、その内面に電導性の塗料が塗ってあり、それが陰極の役目をする。中心電極は負電荷の集まるところで、ここから取り出される電流出力は小さいため、中心電極を支える絶縁物には高度の絶縁性が必要で、埃や湿気による絶縁性低下を防ぐことが大切である。

4 電離電流の測定法

4.1 装置・器材

第1図の負荷抵抗 R の両端に発生した U を測定するため振動容量形電位計 vibrating reed electrometer を使う。これは第3図のような構成になっている。ヘッド部は電離箱



第3図 振動容量形電位計の構成

の支持台を兼ねており、内部にはターレットスイッチ、標準抵抗、振動容量変換器 (D.C. ~ A.C. コンバーター)、前置増幅器が内蔵されている。本体には主増幅器、同期検波器、400 c/sec 駆動発振器、電源、指示計などが内蔵されている。

この電位計の特徴は、直流電圧を交流に変換し、交流増幅を行なう点にある。増幅後、必要な成分を整流して直流に戻し、これが指示計を動作させる。

球形γ線電離箱と振動容量形電位計のほか下記の記事を使う。

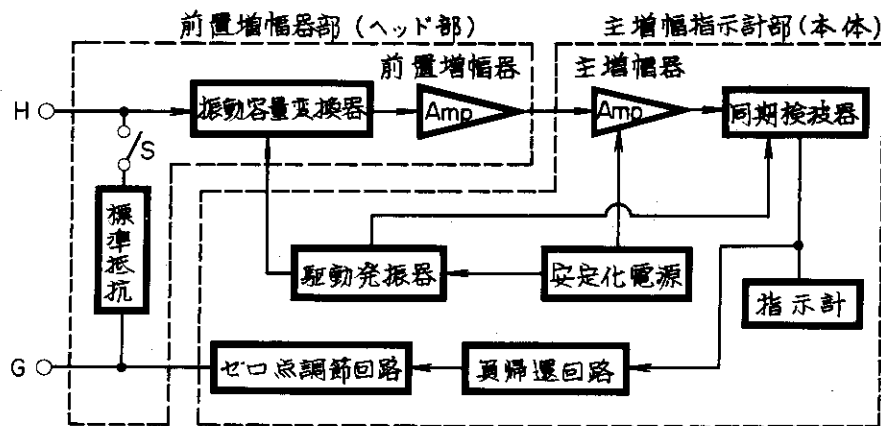
- a) 乾電池 電離箱に電圧を印加するための電源として使う。
- b) 可変抵抗器 電離箱の印加電圧を調節するのに使う。
- c) 電圧計 (真空管電位計) 電離箱の印加電圧を測定するのに使う。
- d) 放射線源 ^{226}Ra , ^{60}Co , ^{137}Cs 。いずれも 4 ~ 10 mCi 程度。

電離される気体は空洞内の空気である。球形の壁は樹脂製で、その内面に電導性の塗料が塗ってあり、それが陰極の役目をする。中心電極は負電荷の集まるところで、ここから取り出される電流出力は小さいため、中心電極を支える絶縁物には高度の絶縁性が必要で、埃や湿気による絶縁性低下を防ぐことが大切である。

4 電離電流の測定法

4.1 装置・器材

第1図の負荷抵抗 R の両端に発生した U を測定するため振動容量形電位計 vibrating reed electrometer を使う。これは第3図のような構成になっている。ヘッド部は電離箱



第3図 振動容量形電位計の構成

の支持台を兼ねており、内部にはターレットスイッチ、標準抵抗、振動容量変換器 (D C ~ A C コンバーター)、前置増幅器が内蔵されている。本体には主増幅器、同期検波器、400 c/sec 駆動発振器、電源、指示計などが内蔵されている。

この電位計の特徴は、直流電圧を交流に変換し、交流増幅を行なう点にある。増幅後、必要な成分を整流して直流に戻し、これが指示計を動作させる。

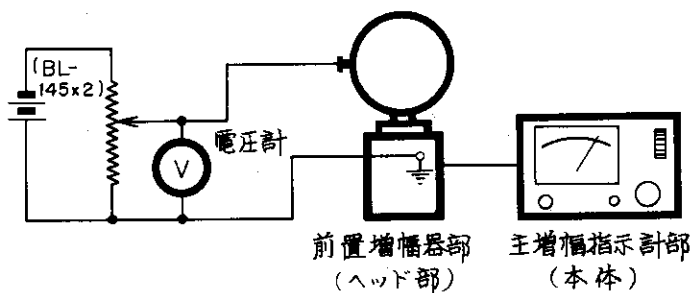
球形7線電離箱と振動容量形電位計のほか下記の記事を使う。

- a) 乾電池 電離箱に電圧を印加するための電源として使う。
- b) 可変抵抗器 電離箱の印加電圧を調節するのに使う。
- c) 電圧計 (真空管電位計) 電離箱の印加電圧を測定するのに使う。
- d) 放射線源 ^{226}Ra , ^{60}Co , ^{137}Cs 。いずれも 4 ~ 10 mCi程度。

- e) 放射線源の台 高さの調節が可能。
- f) 記録計 電離電流がとくに小さいときに電荷蓄積量と時間との関係を記録するのに使う。
- g) 時計 電荷蓄積時間の測定に使う。

4.2 手順

- a) 電離箱のガードリングを含めた中心電極部をデシケーターから取出し、球形の電離箱壁にネジで取付ける。デシケーターに保管するのは絶縁性の劣化を防ぐためである。
- b) 電位計のヘッド部には絶縁性保持のためダストキャップがかぶせてある。これを取りはずし、その場所に電離箱を置き、所定のネジで固定する。これによって中心電極は第5図左端のH点に接続される。この操作を行なうとき、ヘッド部のターレットスイッチは Short の位置にしておく。
- c) 電源（乾電池）、可変抵抗、電圧計（真空管電位計、振動容量形電位計のヘッド部、その電位計の本体を、付属のケーブルを使って第4図のように接続する。このとき電離箱の印加電圧は0Vになるようにしておく。



第4図 電離電流の測定のための機器の接続

- d) 本体の Short-Measure スイッチ（または Short-Open スイッチ）は Measure (Open) にしておく。Function スイッチは Current 側にしておく。
- e) 各機器の電源を入れる。本体の電源スイッチは極性切換えスイッチを兼ねており、この実験では一の位置にする。このとき指示計の電圧レンジは、計器の破損を防ぐため最大にしておく。
- f) 指示計のゼロ点調整が各電圧レンジで行なえることを確認する。このとき電圧レンジは低感度（レンジが大）から高感度の方向に切換えることが大切である。
- g) ヘッド部の標準抵抗を $10^{10} \Omega$ （必要なら $10^{12} \Omega$ ）に設定し、電圧計で電離箱印加電圧を測定しながらそれを調節し、本体の指示計で電位差 U を読み、オームの法則 ($I = U/R$) から電離電流 I を求める。

h) 測定中、必要に応じてゼロ点調整をする(ヘッド部 Short, 本体 Measure (Open) の状態で行なう)。

5 電離箱の飽和特性を調べる実験

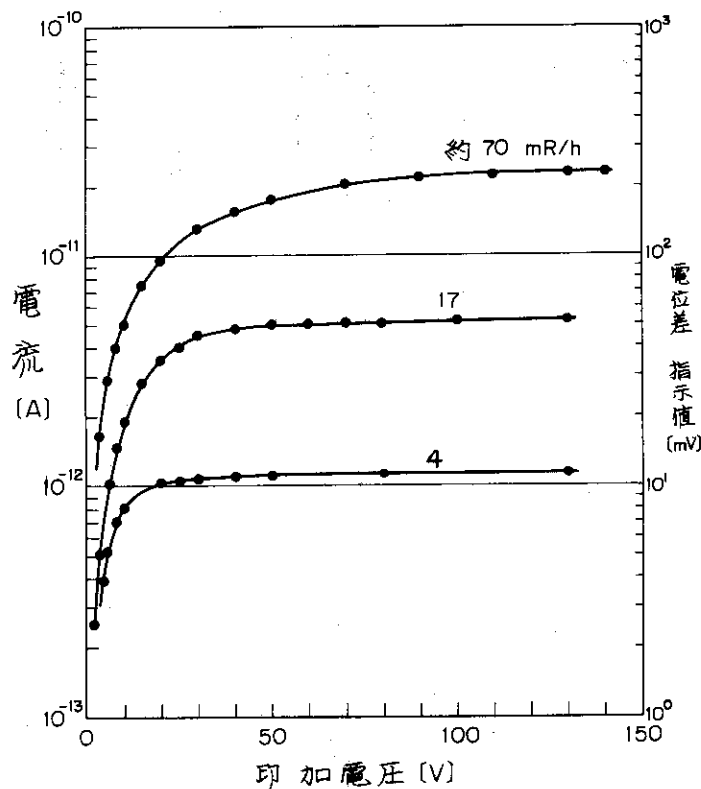
5.1 目的と原理

一定の強さの放射線が入射している場合の電離電流を、電離箱に印加した電圧を変えながら測定すると、電圧の増加に伴って電離電流も増加し、ある電圧以上では電離電流はほぼ一定になる。この特性は、電離によって生じたイオン対が再結合するため電荷が減少することに原因がある。もう少し詳しく言うと、電離箱の両極に印加した電圧が低いうちは、電極に引寄せられるイオンの速度が小さく、そのためイオンが再結合して中和する機会が多く、再結合した分だけ電荷が減るので電離電流はそれだけ少なくなる。印加電圧を高めると電離電流も増加し、ついには全部のイオンが電極に到達するようになり、その結果、電離電流は飽和する。

電離電流が飽和するまでの領域を再結合領域と言い、飽和している領域を電離箱領域と言う。

電離箱領域をつくるのに必要な印加電圧(以後、飽和電圧値と言う)は電場の強さによる(したがって電離箱の大きさによる)だけでなく、イオン対の密度によっても異なる(したがって、照射線量率、線質、気体の圧力によっても異なる)。飽和電圧値を見つけることがこの実験の目的である。

照射線量率を3段階に変えて電離電流の飽和特性を調べた例を第5図に示す。



第5図 電離箱の電離電流飽和特性

n) 測定中、必要に応じてゼロ点調整をする(ヘッド部 Short, 本体 Measure (Open) の状態で行なう)。

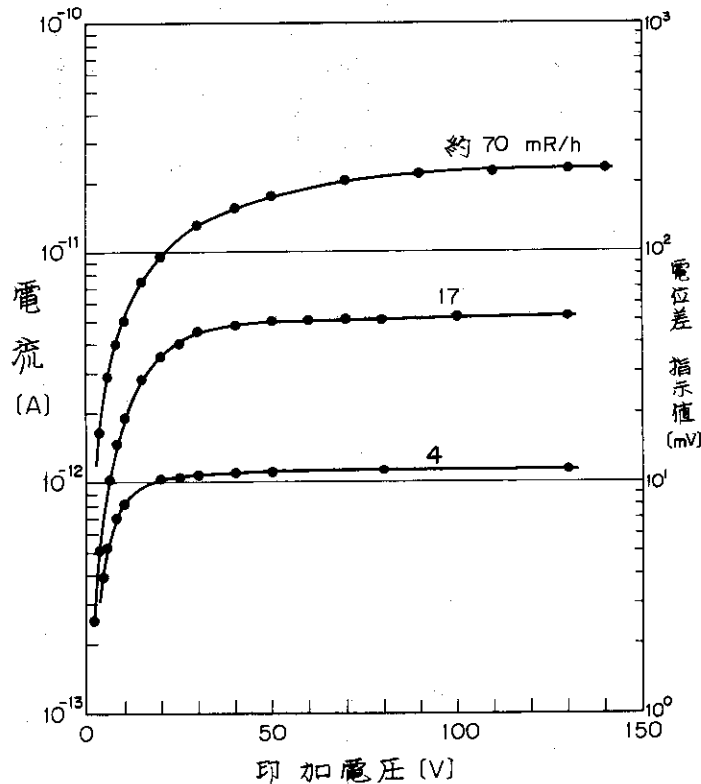
5 電離箱の飽和特性を調べる実験

5.1 目的と原理

一定の強さの放射線が入射している場合の電離電流を、電離箱に印加した電圧を変えながら測定すると、電圧の増加に伴って電離電流も増加し、ある電圧以上では電離電流はほぼ一定になる。この特性は、電離によって生じたイオン対が再結合するため電荷が減少することによる原因がある。もう少し詳しく言うと、電離箱の両極に印加した電圧が低いときは、電極に引寄せられるイオンの速度が小さく、そのためイオンが再結合して中和する機会が多く、再結合した分だけ電荷が減るので電離電流はそれだけ少なくなる。印加電圧を高めると電離電流も増加し、ついには全部のイオンが電極に到達するようになり、その結果、電離電流は飽和する。

電離電流が飽和するまでの領域を再結合領域と言ひ、飽和している領域を電離箱領域と言ひ。電離箱領域をつくるのに必要な印加電圧(以後、飽和電圧値と言ひ)は電場の強さによる(したがって電離箱の大きさによる)だけでなく、イオン対の密度によっても異なる(したがって、照射線量率、線質、気体の圧力によっても異なる)。飽和電圧値を見つけることがこの実験の目的である。

照射線量率を5段階に変えて電離電流の飽和特性を調べた例を第5図に示す。



第5図 電離箱の電離電流飽和特性

5.2 手 順

- a) 前記 4.2 の a) から e) まで行ない、ヘッド部のターレットスイッチを Short にし本体の指示計のレンジを最高値に設定する。
- b) 検定済みの約 4 mCi の ^{226}Ra を、後記 10 の「参考資料」の第 5 表を参照しながら適当な線量率（たとえば 5 mR/hr, 20mR/hr, 80 mR/hr）になるように電離箱の前方に置き、それぞれの線量率における電離電流を、印加電圧を変えながら測定し、第 5 図のような曲線をつくる。そのさい、照射線量率と線源・電離箱間の距離（電離箱中心までの距離）を記録しておく。このほかに記録すべきことは電離箱の種類・寸法、線源の種類・放射能、使用した機器の名前・規格である。記録様式の例を第 1 表に示す。

第 1 表 データ整理様式の例

題 目 _____					
日 時 _____		場 所 _____		実験班名 _____ 実験者名 _____	
線源の種類・放射能 _____					
電離箱の種類・寸法 _____					
振動容量電位計の名前 _____					
電圧計の名前 _____					
照射線量率 〔mR/hr〕	線源・電離箱 間距離〔m〕	印加電圧 〔V〕	標準抵抗 〔Ω〕	指示値 〔mV〕	電離電流 〔A〕
○	○	○ ○ ○	○	○ ○ ○	○ ○ ○
		○		○	○
△	△	△ △ △	△	△ △ △	△ △ △
□	□	□ □ □	□	□ □ □	□ □ □
		□		□	□

指示値を読取るとき、指針が静止したことを確認することが必要である。ふつう数分以内に静止する。

6 電荷蓄積法による電離電流の測定

6.1 目的と原理

小さい照射線量率を測定する場合には微小な電離電流を測定することが必要となる。この場合、前記の5のように電離電流を高抵抗に通しながら高抵抗の両端の電位差を測る電位降下法は適さないので、電荷蓄積法を使う。この方法は電離電流が 10^{-15} A 以下の場合に一般的に使われる。

第3図で標準抵抗を使わないようにスイッチSを開くと、電離箱の中心電極に集まった電荷は全部電位計の入力容量 C_{in} に蓄えられる。蓄積された電荷から平均電流 I が次式で計算される。

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{\Delta U}{\Delta t} C_{in} \quad (1)$$

ΔQ は Δt だけの時間がたつ間に入力容量に蓄えられた電荷であり、 ΔU はその間の電位変化である。

たとえば、10分間に電位計の指示値が15 mV増加した場合、平均電流 I は次のとおりになる。ただし C_{in} を10 pFとする。

$$I = \frac{0.015 \text{ [V]}}{600 \text{ [sec]}} \times (10 \times 10^{-12}) \text{ [F]} = 2.5 \times 10^{-16} \text{ [A]} \quad (2)$$

6.2 手順

- a) 線源をじゅうぶん遠ざける。
- b) 本体の Short-Measure (Short-Open) スイッチを Short にし、ヘッド部のターゲットスイッチを Open にする。
- c) 前記の5の実験で得た特性曲線のどれにも共通な飽和電圧値を一つ選び、それだけの電圧を電離箱に印加する。(第5図の例では100~130 Vの間の一点を選ぶ。)
- d) 記録計をケーブルで本体につなぐ。記録計を始動させる。
- e) 本体の Short-Measure (Short-Open) スイッチを Measure (Open) に切替える。記録紙に記録され始めた線が一定の傾きを示すようになったら、その線上の一点について、そこが記録された時刻を記入する(または、ストップウォッチを始動させ線にしるしを付ける)。(スイッチ切換え直後、針が0から負のほうに振れることもあるが、10~20秒放置すれば上昇に転ずる。)
記録終了の前にも時刻または時間を同様に記入する。
- f) 指示計のレンジは、10~20分かかって針が振切れるようなレンジであることが望ましい。見当はずれのレンジを使っていたなら、上記のe)をやり直す。

指示値を読取るとき、指針が静止したことを確認することが必要である。ふつう数分以内に静止する。

6 電荷蓄積法による電離電流の測定

6.1 目的と原理

小さい照射線量率を測定する場合には微小な電離電流を測定することが必要となる。この場合、前記の5のように電離電流を高抵抗に通しながら高抵抗の両端の電位差を測る電位降下法は適さないので、電荷蓄積法を使う。この方法は電離電流が 10^{-16} A 以下の場合に一般的に使われる。

第3図で標準抵抗を使わないようにスイッチSを開くと、電離箱の中心電極に集まった電荷は全部電位計の入力容量 C_{in} に蓄えられる。蓄積された電荷から平均電流 I が次式で計算される。

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{\Delta U}{\Delta t} C_{in} \quad (1)$$

ΔQ は Δt だけの時間がたつ間に入力容量に蓄えられた電荷であり、 ΔU はその間の電位変化である。

たとえば、10分間に電位計の指示値が15 mV増加した場合、平均電流 I は次のとおりになる。ただし C_{in} を10 pFとする。

$$I = \frac{0.015 \text{ [V]}}{600 \text{ [sec]}} \times (10 \times 10^{-12}) \text{ [F]} = 2.5 \times 10^{-16} \text{ [A]} \quad (2)$$

6.2 手順

- a) 線源をじゅうぶん遠ざける。
- b) 本体の Short-Measure (Short-Open) スイッチを Short にし、ヘッド部のターゲットスイッチを Open にする。
- c) 前記の5の実験で得た特性曲線のどれにも共通な飽和電圧値を一つ選び、それだけの電圧を電離箱に印加する。(第5図の例では100~130 Vの間の一点を選ぶ。)
- d) 記録計をケーブルで本体につなぐ。記録計を始動させる。
- e) 本体の Short-Measure (Short-Open) スイッチを Measure (Open) に切替える。記録紙に記録され始めた線が一定の傾きを示すようになったら、その線上の一点について、そこが記録された時刻を記入する(または、ストップウォッチを始動させ線にしるしを付ける)。(スイッチ切換え直後、針が0から負のほうに振れることもあるが、10~20秒放置すれば上昇に転ずる。)記録終了の前にも時刻または時間を同様に記入する。
- f) 指示計のレンジは、10~20分かって針が振切れるようなレンジであることが望ましい。見当はずれのレンジを使っていたなら、上記のe)をやり直す。

g) 記録計による記録が時間とともに直線的に増加せず局所的な増加がある場合には、その所で一時的な雑音がはいったことを意味する。雑音の影響を作図的に排除したのちの直線から、時間と電位変化を読み取り、(1)式を使って平均電流を計算する。そのとき入力容量 C_{in} は 10 pF とする。

この電離電流は線源をしまった容器から漏れる γ 線とバックグラウンドとによるものである。(厳密には計器自身の雑音電流も含まれている。)

7 照射線量率と電離電流との関係を調べる実験

7.1 目的と原理

照射線量率と電離電流が比例関係にあることを確認するために、放射能のわかっている線源を使って既知の線量率の場を作り、そこに電離箱を置いて電離電流を測定する。線量率を変えるには線源・電離箱間の距離を変える。

電離箱は飽和電圧値で動作させることが必要である。

線源の放射能 A (Ci) と線源・電離箱間の距離 d (m) から照射線量率 X (R/hr) を計算するには次の式を使う。

$$X = \Gamma \frac{A}{d^2} \quad (3)$$

この式からわかるとおり線量率は距離の2乗に逆比例する。そこでこの関係は逆二乗法則と言われている。式の中の Γ (ガンマ) は個々の核種に固有な定数で、特性ガンマ線定数または Γ 値と呼ばれ、 $[m^2 \cdot R / (hr \cdot Ci)]$ の次元を持っている。

この実験で使う ^{226}Ra は厚さ 0.5mm の白金の容器に入れてあり、容器による遮蔽効果を含めた Γ 値は 0.84 である。逆二乗法則が実際にどの程度成立しているかを確かめることもこの実験の目的である。

7.2 手順

- 前記の 6.2 c) で選んだ印加電圧を引続き使う。
- 前記 5 の「飽和特性を調べる実験」で使った線量率とは別の線量率を幾通りか選び、それに対応する線源位置をきめる。(5 の実験で使った線量率の最大のものよりも大きい線量率は使わないほうが無難である。)
- 本体の指示計のレンジを最大にする。
- 5 の実験で使った ^{226}Ra を上記 b) できめた位置に置き、電離電流を測定する。
- データは第 2 表のような表にしておくと便利である。

7.3 検討

- 前記 5 の実験で使った線量率、その時の飽和電流、上記 7.2 で使った線量率、その時の電離電流、以上のデータを使って照射線量率と電離電流の関係を表わすグラフを第 6 図のように作って、直線関係になることを確かめる。

- g) 記録計による記録が時間とともに直線的に増加せず局所的な増加がある場合には、その所で一時的な雑音はいったことを意味する。雑音の影響を作図的に排除したのちの直線から、時間と電位変化を読み取り、(1)式を使って平均電流を計算する。そのとき入力容量 C_{in} は 10 pF とする。

この電離電流は線源をしまった容器から漏れる γ 線とバックグラウンドとによるものである。(厳密には計器自身の雑音電流も含まれている。)

7 照射線量率と電離電流との関係を調べる実験

7.1 目的と原理

照射線量率と電離電流が比例関係にあることを確認するために、放射能のわかっている線源を使って既知の線量率の場を作り、そこに電離箱を置いて電離電流を測定する。線量率を変えるには線源・電離箱間の距離を変える。

電離箱は飽和電圧値で動作させることが必要である。

線源の放射能 A [Ci] と線源・電離箱間の距離 d [m] から照射線量率 X [R/hr] を計算するには次の式を使う。

$$X = \Gamma \frac{A}{d^2} \quad (3)$$

この式からわかるとおり線量率は距離の2乗に逆比例する。そこでこの関係は逆二乗法則と言われている。式の中の Γ (ガンマ) は個々の核種に固有な定数で、特性ガンマ線定数または Γ 値と呼ばれ、[$m^2 \cdot R / (hr \cdot Ci)$] の次元を持っている。

この実験で使う ^{226}Ra は厚さ 0.5mm の白金の容器に入れてあり、容器による遮蔽効果を含めた Γ 値は 0.84 である。逆二乗法則が実際にどの程度成立しているかを確かめることもこの実験の目的である。

7.2 手順

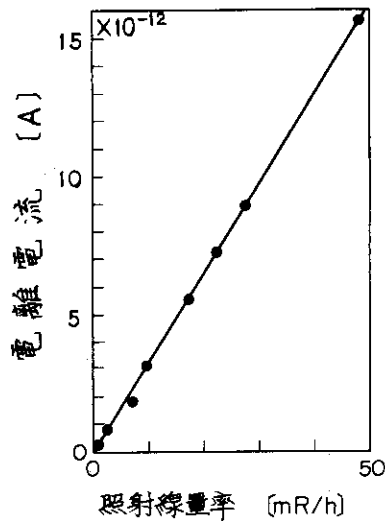
- 前記の 6.2 c) で選んだ印加電圧を引続き使う。
- 前記 5 の「飽和特性を調べる実験」で使った線量率とは別の線量率を幾通りか選び、それに対応する線源位置をきめる。(5 の実験で使った線量率の最大のものよりも大きい線量率は使わないほうが無難である。)
- 本体の指示計のレンジを最大にする。
- 5 の実験で使った ^{226}Ra を上記 b) できめた位置に置き、電離電流を測定する。
- データは第 2 表のような表にしておくと便利である。

7.3 検討

- 前記 5 の実験で使った線量率、その時の飽和電流、上記 7.2 で使った線量率、その時の電離電流、以上のデータを使って照射線量率と電離電流の関係を表わすグラフを第 6 図のように作って、直線関係になることを確かめる。

第 2 表 データ整理様式の例

題 目 _____ 日 時 _____ 場 所 _____ 実験班名 _____ 実験者名 _____ 線源の種類・放射能 _____ 電離箱, 振動容量電位計, 電圧計は第 1 表のとおり。 電離箱印加電圧 _____							
照射線量率 [mR/hr]	線源・電離箱 間距離 d [m]	標準抵抗 [Ω]	指示値 [mV]	電離電流 I [A]	d^2 [m^2]	d^{-2} [m^{-2}]	$I \times d^2$



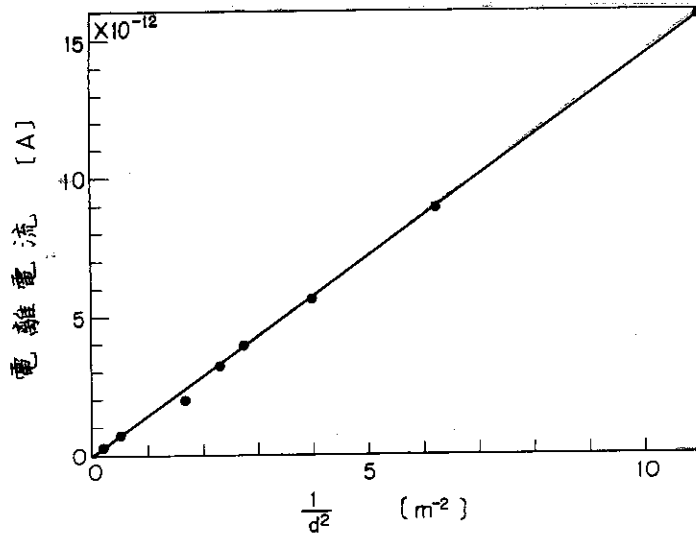
第 6 図 照射線量率と電離電流の関係

b) 逆二乗法則が成立しているかどうかを測定結果によって調べる。

もしこの法則が成立していれば電離電流 I と距離 d の間に, $I \times d^2$ が一定になるという関係があり, $1/d^2$ に対して I をプロットすると第 7 図のように直線になるはずである。この 2 点を確認する。

c) 電離電流の測定値と計算値を比較検討する。計算値は次の方法で求める。

1 R の照射線量は 0 °C 7 6 0 mmHg の乾燥空気 1 c c (1 . 2 9 3 mg) 中に 1 esu の電気を発生させる。また $1 C (\text{クーロン}) = 3 \times 10^9 \text{ esu}$ という関係があり, $1 A = 1 C / \text{sec}$ という関係があることから, 照射線量率が $X [R / \text{hr}]$ のとき有効体積 $V [c c]$ の電離箱に流れる電離電流 I は



第7図 線源・電離箱間距離の2乗の逆数と電離電流の関係

$$I = \frac{X V}{(3.6 \times 10^3) (3 \times 10^9)}$$

$$= 9.3 \times 10^{-14} X V \text{ [A]} \quad (4)$$

(注) 実験に使う空気は温度、圧力、湿度のいずれも、レントゲン単位で定義に使われている空気のものとは一致しない点に留意する必要がある。

8. ^{60}Co と ^{137}Cs の放射能の測定

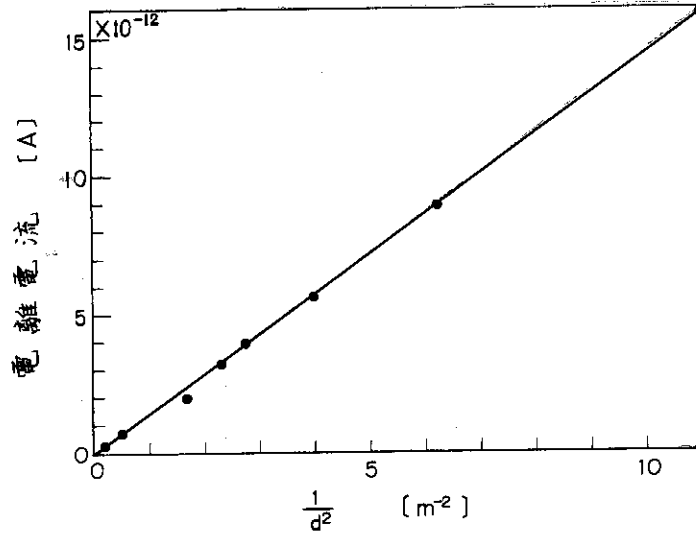
8.1 目的と原理

核種わかっている線源について照射線量率と線源・電離箱間距離とを測定することによって線源の放射能を(3)式で計算する。

この方法は線源の放射能が比較的大きい場合に一般的に使われる。

8.2 手順

a) 放射能が未知であるような ^{60}Co を電離箱から約1m離れた所に置き、線源・電離箱間距離と電離電流を測定する。



第7図 線源・電離箱間距離の2乗の逆数と電離電流の関係

$$I = \frac{X V}{(3.6 \times 10^3) (3 \times 10^9)}$$

$$= 9.3 \times 10^{-14} X V \text{ [A]} \quad (4)$$

(注) 実験に使う空気は温度、圧力、湿度のいずれも、レントゲン単位の定義に使われている空気のものとは一致しない点に留意する必要がある。

8. ^{60}Co と ^{137}Cs の放射能の測定

8.1 目的と原理

核種わかっている線源について照射線量率と線源・電離箱間距離とを測定することによって線源の放射能を(3)式で計算する。

この方法は線源の放射能が比較的大きい場合に一般的に使われる。

8.2 手順

- a) 放射能が未知であるような ^{60}Co を電離箱から約1m離れた所に置き、線源・電離箱間距離と電離電流を測定する。

線源を置くとき、逆二乗法則が成立つ範囲の距離を選ぶ。それには7.3 b)で作った図(1対 $1/d^2$)を使う。

- b) 容器による遮蔽効果を含めた Γ 値を $1.30 \text{ m}^2 \cdot \text{R} / (\text{hr} \cdot \text{Ci})$ とし、(3)式を使って放射能を計算する。(遮蔽効果がない場合の Γ 値は 1.32)
- c) ^{137}Cs についてもa)と同様な測定をする。容器による遮蔽効果を含めた Γ 値を $0.31 \text{ m}^2 \cdot \text{R} / (\text{hr} \cdot \text{Ci})$ とする。(遮蔽効果がなければ 0.356)

9 GMサーベイメーターの較正

9.1 目的

検定値のついでに ^{226}Ra と、8で放射能を測定した2つの線源を使って、GMサーベイメーターの計数率(cpm)目盛を各線源について照射線量率目盛に較正する。

(3)式からわかるように照射線量率と放射能との関係はすべての核種について一定ではない。それは「1壊変当りの γ 光子の数」も γ 線エネルギーも核種によって違うからである。

したがって、GMサーベイメーターの計数率目盛から照射線量率を知るためには種々の放射性核種を使って線量率と計数率の関係を調べなければならない。

9.2 手順

- a) 放射能のわかっている3種の線源(^{226}Ra , ^{60}Co , ^{137}Cs)を1つずつ使って線源・検出器間距離を幾通りにも変えて計数率を讀取る。
- b) 照射線量率が大き過ぎるとGM管の中心電極の電位が下がり、線源をさらに近づけると計数率は減り、ついには計数しなくなる。線源をGMサーベイメーターにゆっくり近づけて、この現象を観察する。

このような現象のあることを知っておくことは、実際の作業の安全を図るために重要である。

9.3 検討

線源・検出器間距離を(3)式に入れて照射線量率を計算する。計数率に対して照射線量率を各線源についてそれぞれプロットする。

各線源について $1 \text{ mR} / \text{hr}$ 当りの計数率を求め、相互間の違いについて、 γ 線存在度(abundance)や γ 線エネルギーの値と照らし合わせて検討する。

一般に、核種のわからない線源に対して照射線量率を表わすのに ^{226}Ra 換算値が使われる。

(注意) 実験が終わったら電離箱の中心電極部と、振動容量形電位計のヘッド部をデシケターに入れる。

線源を置くとき、逆二乗法則が成立する範囲の距離を選ぶ。それには7.3 b)で作った図 (I 対 $1/d^2$) を使う。

- b) 容器による遮蔽効果を含めた Γ 値を $1.30 \text{ m}^2 \cdot \text{R} / (\text{hr} \cdot \text{Ci})$ とし、(3)式を使って放射能を計算する。(遮蔽効果がない場合の Γ 値は 1.32)
- c) ^{137}Cs についても a) と同様な測定をする。容器による遮蔽効果を含めた Γ 値を $0.31 \text{ m}^2 \cdot \text{R} / (\text{hr} \cdot \text{Ci})$ とする。(遮蔽効果がなければ 0.356)

9 GMサーベイメーターの較正

9.1 目的

検定値のついている ^{226}Ra と、8で放射能を測定した2つの線源を使って、GMサーベイメーターの計数率 (cpm) 目盛を各線源について照射線量率目盛に較正する。

(3)式からわかるように照射線量率と放射能との関係はすべての核種について一定ではない。それは「1壊変当りの γ 光子の数」も γ 線エネルギーも核種によって違うからである。

したがって、GMサーベイメーターの計数率目盛から照射線量率を知るためには種々の放射性核種を使って線量率と計数率の関係を調べなければならない。

9.2 手順

- a) 放射能のわかっている3種の線源 (^{226}Ra , ^{60}Co , ^{137}Cs) を1つずつ使って線源・検出器間距離を幾通りにも変えて計数率を讀取る。
- b) 照射線量率が大き過ぎるとGM管の中心電極の電位が下がり、線源をさらに近づけると計数率は減り、ついには計数しなくなる。線源をGMサーベイメーターにゆっくり近づけて、この現象を観察する。

このような現象のあることを知っておくことは、実際の作業の安全を図るために重要である。

9.3 検討

線源・検出器間距離を(3)式に入れて照射線量率を計算する。計数率に対して照射線量率を各線源についてそれぞれプロットする。

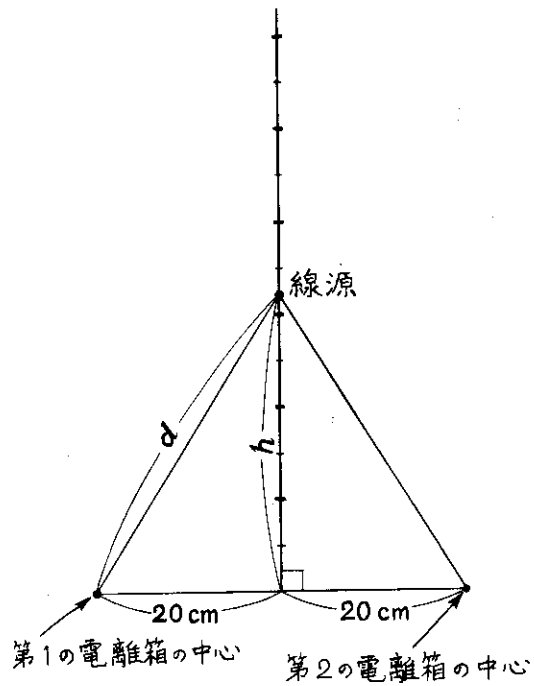
各線源について $1 \text{ mR} / \text{hr}$ 当りの計数率を求め、相互間の違いについて、 γ 線存在度 (abundance) や γ 線エネルギーの値と照らし合わせて検討する。

一般に、核種のわからない線源に対して照射線量率を表わすのに ^{226}Ra 換算値が使われる。

(注意) 実験が終わったら電離箱の中心電極部と、振動容量形電位計のヘッド部をデシケターに入れる。

10 参考資料

γ 線電離箱を第8図のように二つ置いて同時に使う場合に距離 h を測定すれば距離 d がわかる早見表を作った。



第8図 2つの電離箱を同時に使うための配置

また、線源として 4.0 mCi の ^{226}Ra を使う場合の照射線量率と距離 d の関係もその表に盛り込んだ(第3表・第4表)。

線量率から距離を求めるには第3表が便利であり、その逆のときは第4表が便利である。

第3表 照射線量率から距離を求めるための表

線量率*	h	d	d^2	$1/d^2$
[R/hr]	[m]	[m]	[m ²]	[m ⁻²]
0.25×10^{-3}	367×10^{-2}	368×10^{-2}	13.54	0.0739
0.30	335	336	11.29	0.0886
0.40	290	291	8.47	0.118
0.50	259	260	6.76	0.148
0.60	236.7	237.5	5.64	0.177
0.80	204.5	205.5	4.22	0.237
1.0	182.2	183.3	3.36	0.298
1.2	166.3	167.5	2.80	0.357
1.5	148.3	149.6	2.238	0.447
2.0	128.1	129.6	1.680	0.595
2.5	114.3	116.0	1.346	0.743
3.0	103.9	105.8	1.119	0.894
4.0	89.5	91.7	0.841	1.19
5.0	79.5	82.0	0.672	1.49
6.0	72.2	74.9	0.561	1.78
8.0	61.7	64.9	0.421	2.38
10	54.4	58.0	0.336	2.98
12	49.1	53.0	0.281	3.56
15	42.9	47.3	0.2237	4.47
20	35.8	41.0	0.1681	5.95
25	30.7	36.7	0.1347	7.42
30	26.8	33.5	0.1122	8.91
40	21.0	29.0	0.0841	11.9
50	16.5	25.9	0.0671	14.9
60	12.6	23.7	0.0562	17.8
80	4.5	20.5	0.0420	23.8
84	0.0	20.0	0.0400	25.0

* 線源は 4.0 mCi ²²⁶Ra

第4表 距離 d から距離 h と照射線量率を求めるための表

d [m]	h [m]	線量率* [R/hr]	d^2 [m ²]	$1/d^2$ [m ⁻²]
20×10^{-2}	0×10^{-2}	84.0×10^{-3}	0.0400	25.0
25	15.1	53.8	0.0625	16.0
30	22.3	37.3	0.0900	11.1
35	28.7	27.4	0.1225	8.16
40	34.6	21.0	0.1600	6.25
45	40.3	16.6	0.2025	4.94
50	45.8	13.4	0.2500	4.00
60	56.5	9.3	0.360	2.78
70	67.1	6.9	0.490	2.04
80	77.5	5.3	0.640	1.56
90	87.8	4.15	0.810	1.23
100	98.0	3.36	1.000	1.00
110	108.2	2.78	1.210	0.826
120	118.3	2.33	1.440	0.694
130	128.5	1.99	1.690	0.592
140	138.6	1.71	1.960	0.510
160	158.8	1.31	2.560	0.391
180	178.9	1.04	3.24	0.309
200	199.0	0.84	4.00	0.250
220	219.1	0.70	4.84	0.207
240	239.2	0.59	5.76	0.174
260	259.2	0.50	6.76	0.148
280	279.3	0.43	7.84	0.128
300	299.3	0.377	9.00	0.111
330	329.4	0.312	10.89	0.0918
360	359.4	0.262	12.96	0.0772

* 線源は $4.0 \text{ mCi } ^{226} \text{ Ra}$

本稿の内容は東條隆夫氏らの「 γ 線電離箱による線量の測定」(JAERI 6018「原子炉研修所一般課程前期実験マニュアル」(1968)第8章)によるところが多い。さきごろ筆者は東條氏の助言を得て研修生の電離箱実験の指導に当たり、平易な指導書の必要を感じたので、経験を生かして上記の資料を初歩者向けに編成したのがこれである。同氏に感謝の意を表します。また、参考資料は白石忠男氏の御協力によって作った。