



Title	RaおよびCo60 $\gamma$ 線の遮蔽に関する基礎的研究 第4報 二次電子に関する実験的研究
Author(s)	尾内, 能夫
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1956, 16(2), p. 97-106
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/20598">https://hdl.handle.net/11094/20598</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

# Ra および $Co^{60}$ $\gamma$ 線の遮蔽に関する基礎的研究

## 第4報 二次電子に関する実験的研究

癌研究会附属病院放射線科(部長 塚本憲甫)

尾 内 能 夫

### I 緒言

Ra および  $Co^{60}$   $\gamma$  線の一次線および二次  $\gamma$  線の遮蔽について前報<sup>1-3)</sup> に述べたのであるが、これらの  $\gamma$  線の場合には通常治療用に用いられる X 線と異り、遮蔽物質から相当高いエネルギーの二次電子が放出される。そのためにこの二次電子の多寡が治療の場合の皮膚線量の大小を左右する原因となり得る。特に大量照射治療の場合には可成大量の二次電子が放出されるのであるから、適当な濾過板を用いてこの二次電子の遮蔽方法を検討しておく必要がある。この二次電子は Compton 効果および光電効果等によって放出されるものであつて、二次電子の線量は照射される物質の種類と散乱方向によって異なる。即ち前方散乱線量は原子番号の中位の物質に於て最も少く、後方散乱線量は電子番号の増加と共に増大することが知られている。<sup>4-13)</sup>

従来行われた実験では前方散乱線量或は後方散乱線量の全量について測定されているが、こゝでは特定の方向に散乱された二次電子および空気によって散乱された二次電子の数と、散乱方向による最大エネルギーの変化とをしらべて、二次電子の皮膚に及ぼす影響を最小にする方法を再検討した。

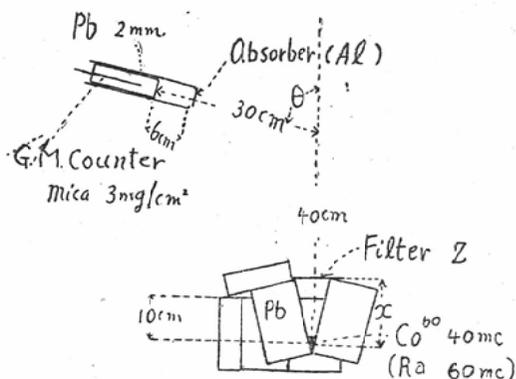
### II. 実験 I

#### 研究目的および方法

大量照射装置から放出される二次電子を最小にするために必要な濾過板 (Filter) の種類および厚さとその位置を如何にすべきかについてしらべた。

照射された物質 (Filter) から放出される二次電子を直接測定器に入射させて測定する方法は従

Fig. 1 Arrangement of the G.M. counter and the secondary electron emitter in the measurement of scattered electrons in air.



来行われているので、著者は種々の物質から放出される二次電子を空気中で散乱させて、その散乱二次電子の数およびそのアルミニウム中に於ける最大飛程が、空気による散乱方向によって如何に変わるかを G.M. Counter でしらべた。第 1 圖にその測定配置圖を示す。線源として Ra60mg および  $Co^{60}$  40mc を用い、その周りを厚さ 20cm 近くの鉛で囲んで大量照射装置の模型を作つた。G.M. Counter は鉛で遮蔽された位置に置き、Counter に  $\gamma$  線が入射するのを極力減少させて、二次電子の測定を容易ならしめた。G.M. Counter の窓は厚さ 3 mg/cm<sup>2</sup> の雲母箔を用い、照射装置からの直接の二次電子が入射しないように窓の前方 6 cm に二次電子の入射窓を作つた。散乱二次電子の最大飛程は、その入射窓にアルミニウムの吸収體 (Absorber) を置いて吸収曲線から求めた。二次電子の数は G.M. Counter の窓に吸収體のない場合の計數値から、吸収體を置いて吸収曲線が平になるところの計數値を減じた値をとつた。

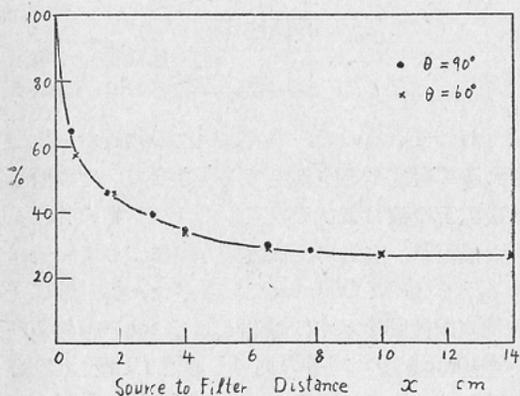
實驗結果

(1) 二次電子の数

(a) Filter の位置による變化

照射装置から放出される二次電子は、 $\gamma$ 線の遮蔽に用いた鉛から放出される二次電子が主であるから Filter の位置は遮蔽に用いた鉛の最尖端に置くのが最も効果的であることが想像される。この點を $Co^{60}$ についてしらべてみた。Filter として厚さ  $280mg/cm^2$  のアルミニウムを用い、その位置即ち第2圖の  $x$  を變えて二次電子の数を測定した。その結果は第2圖に示した通りである。空氣による散亂角90度および60度について測定したが、Filter の位置による二次電子数の變化の割合は殆んど同じであつた。このことから直接の二次電子の数も第2圖に示す割合で減少していると考えられる。

Fig. 2. Variation of secondary electron emission with the position of electron filter.



(b) 散亂方向 ( $\theta$ ) による變化

Filter の無い場合および種々の物質の Filter (厚さ Ra の場合  $600mg/cm^2$ ,  $Co^{60}$  の場合  $400mg/cm^2$ ) を置いた場合、散亂方向  $\theta$  による二次電子数の變化は散亂角  $\theta$  の小さい程大きい。(第3圖)

(c) Filter の種類による變化

(b) の結果を原子番號 ( $Z+1$ ) の對數を横軸にとけ、縦軸に相對強度をとつて示すと第4圖のようになる。この結果は Hine<sup>9), 10)</sup> が直接二次電子を測定した結果よりも、空氣で散亂された二次電子

Fig. 3 Variation of the number of secondary electrons emitted from a teletherapy unit and scattered in air with scattering angle

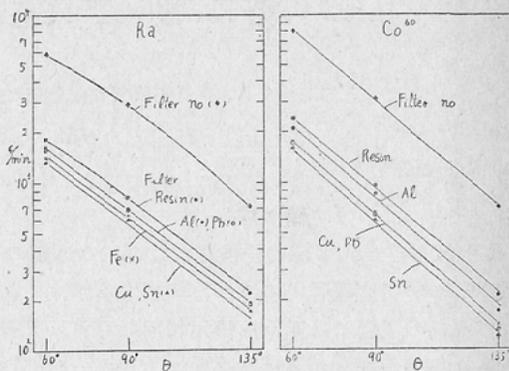
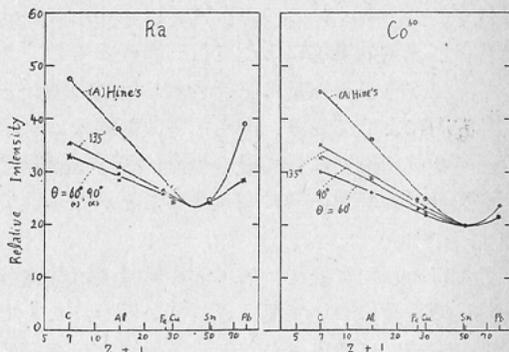


Fig. 4 Relative intensity of secondary electron emission in the forward direction as a function of  $\log(Z+1)$  of the electron filter.  $\theta$ : Scattering angle in air. Curve A: Experimental data for total electrons emitted in the forward direction by Hine.



でもやはり原子番號の中位の物質が最も小さいことがわかる。

(2) 二次電子の最大飛程

(a) 散亂方向 ( $\theta$ ) による差

第5圖および第6圖に夫々 Ra および  $Co^{60}\gamma$ 線によつて放出される二次電子のアルミニウムによる吸收曲線を、Filter の無い場合と Filter として錫 (厚さ Ra の場合  $630mg/cm^2$ ,  $Co^{60}$  の場合  $330mg/cm^2$ ) を用いた場合について示す。Ra および  $Co^{60}$  いずれの場合にも、散亂角が大きい程最大飛程は小さくなる。散亂角60度の場合には、二次電子の最大飛程は Ra で  $700mg/cm^2$  位、 $Co^{60}$

Fig. 5 Absorption curves in Al of secondary electrons, emitted from a teletherapy unit by Ra $\gamma$ -rays and scattered by air in the direction  $\theta$ .

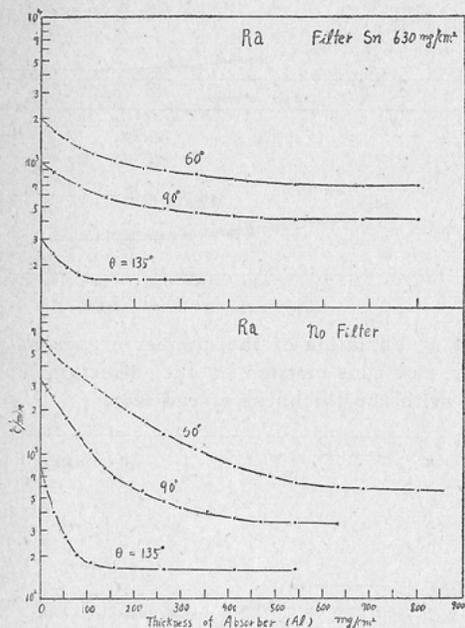


Fig. 6 Absorption curves in Al of secondary electrons, emitted from a teletherapy unit by Co<sup>60</sup> $\gamma$ -rays and scattered by air in the direction  $\theta$ .

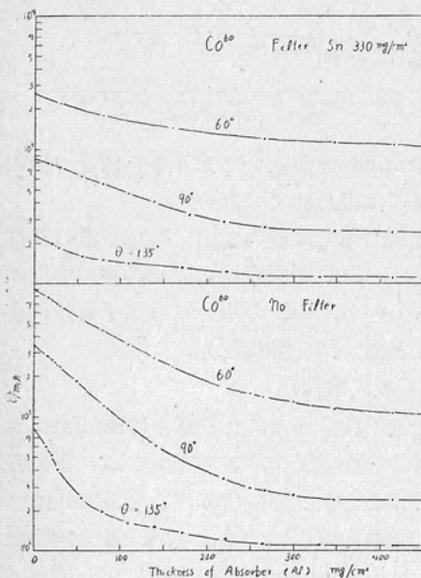
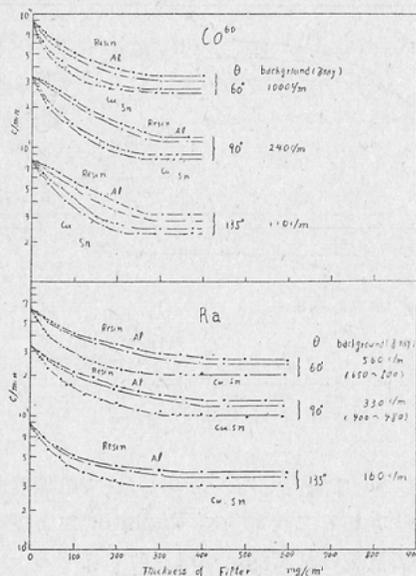


Fig. 7 Variation of the number of secondary electrons emitted from a teletherapy unit with the thickness of electron filter.



では 500mg/cm<sup>2</sup> 位でCo<sup>60</sup>の方が大きいですが、散乱角 135度では Ra で 150mg/cm<sup>2</sup>, Co<sup>60</sup> では 250 mg/cm<sup>2</sup> となつて Ra の方が大きい。

(b) Filter の種類による差

Filter の種類によつて最大飛程に差は殆んど認められなかつた。

(3) 二次電子数を最低にする Filterの厚さ

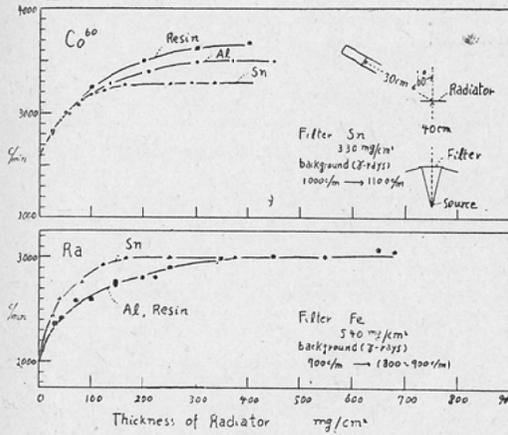
Filter の種類と散乱方向  $\theta$  によつて、二次電子数を最低にする Filterの厚さは多少異なる。即ち厚さを面積質量 (mg/cm<sup>2</sup>) で表わすと、原子番号の大なる物質程薄く、又散乱方向  $\theta$  が大きい程薄くなる。(第7圖) Ra と Co<sup>60</sup> とでは、二次電子数を最低にする Filterの厚さは Ra の方がCo<sup>60</sup> より僅か大きい。

III. 實驗II

研究目的および方法

$\gamma$  線を照射された物質から後方に放出される二次電子の性質をしらべることは實驗 I の方法では困難である。そこで第8圖および第10圖に示す配置で、 $\gamma$  線束内に物質 (Radiator) を置いて、これから放出される二次電子を放出角60度および

Fig. 8 Variation of the number of secondary electrons emitted in the direction of 60° with the thickness of radiator.



135度について測定した。この方法では照射装置から放出される二次電子が Radiator および空気によつて散亂されて測定器に入射してくる一方、Radiator からの二次電子の一部は測定器に入射するまでに空気で散亂および吸収されるわけであるから、これは嚴密な意味では Radiator からの二次電子を測定してはいないのである。しかし二次電子の皮膚に対する影響を問題にする場合には、このような条件で照射が行われる場合が少くないから、このような配置で測定し、Radiator から放出又は散亂される二次電子の遮蔽方法を検討することにした。

實驗結果

- (1) 前方放出 (60度)
- (a) 二次電子の數

照射装置の最尖端に錫又は鐵の Filter を置き、Radiator に入射する二次電子を最小にした状態で、Radiator の厚さを増加すると第8圖に示すように二次電子數が増大し、ある厚さで最大となる。最大となる厚さは原子番號が大なる物質程小さい。この場合 Radiator からの散亂γ線も厚さと共に増大する<sup>2)</sup>。background が Co<sup>60</sup> の場合で 100cpm から 1100cpm となり、Ra の場合で 700cpm から 800cpm に増加しているのはこのことを示している。しかし二次電子數は實驗 I と同様

Fig. 9 Absorption curves in Al of secondary electrons emitted in the direction of 60°

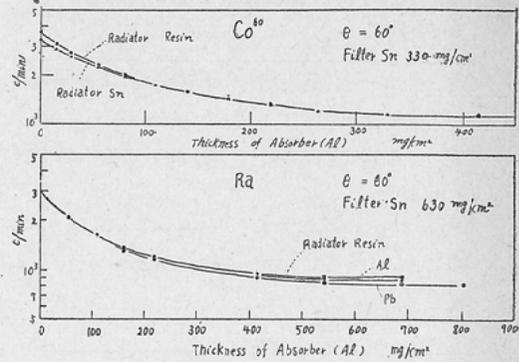
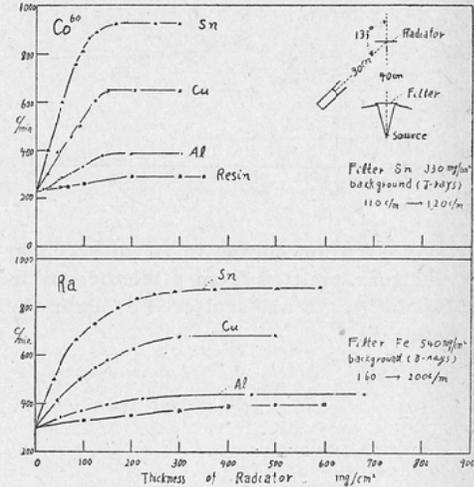


Fig. 10 Variation of the number of secondary electrons emitted in the direction of 135° with the thickness of radiator.



background を差引いてあるから散亂γ線の増加は曲線には表われていない。

この放出角では最大放出二次電子數の物質による變化は、Co<sup>60</sup> の場合には原子番號の中位の物質が最も少いが、Ra の場合には原子番號による差は殆んどない。(第12圖)

(b) 最大飛程

二次電子數が最大になる厚さの Radiator から放出される二次電子の、アルミニウムによる吸収曲線を求めると第9圖のようになり、Radiator の種類により最大飛程には差はない。最大飛程は Ra の場合は 400mg/cm<sup>2</sup> 位、Co<sup>60</sup> では 300mg/cm<sup>2</sup>

位である。

(2) 後方放出 (135度)

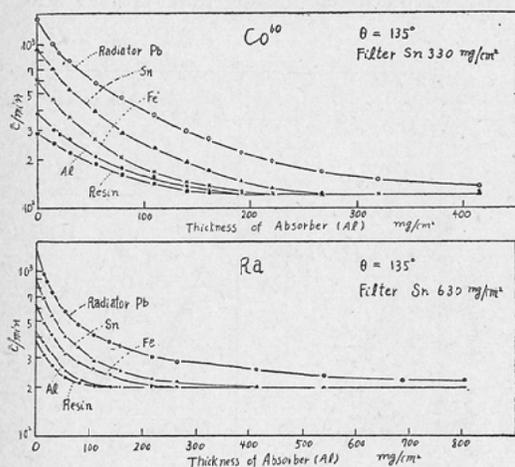
(a) 二次電子数

(1)と同様な Filter を置いた状態で, Radiator から 135度方向に放出される二次電子数を測定すると第10図のようになる。二次電子数は Radiatorの厚さの増加と共に増大し, ある厚さで最大となる。最大となる厚さは Ra では 350mg/cm<sup>2</sup>, Co<sup>60</sup>では 150mg/cm<sup>2</sup> 前後である。最大放出電子数の物質による変化は第12圖に示すように原子番号の増大と共に著しく増加する。

(b) 最大飛程

Radiator から放出又は散乱されてくる二次電子のアルミニウムによる吸収を測定すると第11圖

Fig. 11 Absorption curves in Al of secondary electrons emitted in the direction of 135°



のようになる。前方放出の場合と異り, Radiatorの種類により最大飛程に差がある。即ち原子番号が大なる物質から放出される二次電子ほど, 最大飛程が大きい。このことは後方に散乱される二次電子は原子番号の小さい物質で, 原子番号大なる物質を蔽うことによつて放出二次電子数を減少することができる以外に最大飛程も小となるから, 次段の遮蔽が容易になることを示している。

#### IV. 実験III

研究目的および方法

実験 II に於て, Ra の場合に Radiator から60

Fig. 12 Intensity of secondary electrons emitted in the direction of 60° and 135° as a function of log (Z+1) of radiator.

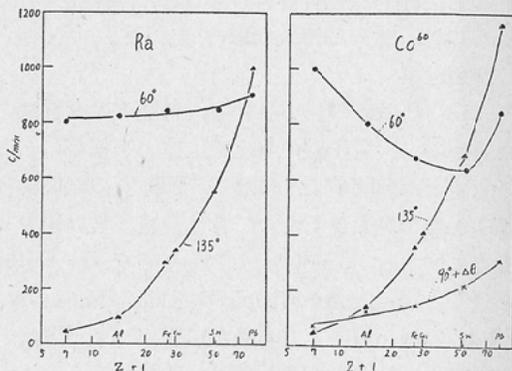
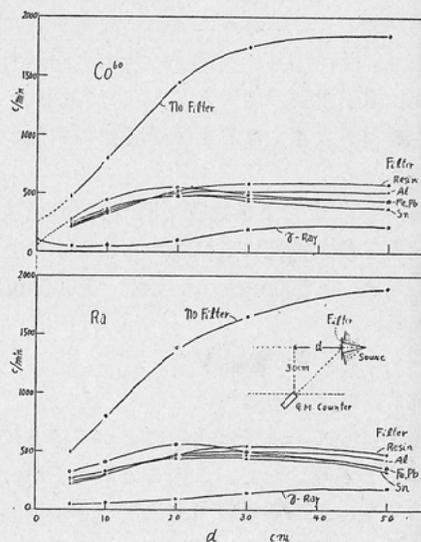


Fig. 13 Angular distribution of secondary electrons emitted from various filters.



度方向に放出される最大二次電子数は Radiatorの種類によつて殆んど變らなかつた。このことは前方放出でも放出角が90度に近くなると, 放出二次電子数は原子番号の中位の物質では最小とはならず, 次第に後方放出の場合に近づいて, 原子番号の大なる物質からの放出二次電子数が原子番号の小なる物質からの放出二次電子数より大きくなることを暗示している。この點を確めるために, γ線束の中心線から30cmの距離に G.M. Counter を置き, その窓を Filter の方向に向けて, 距離

d を種々變えて測定した。第13圖にその配置圖を示した。距離 d が大きくなると Filter から放出される二次電子の放出角が小さくなる。線源として Ra 3mg および Co<sup>60</sup> 2mc を用いた。

實驗結果

(1) Filter の無い場合と、各種 Filter を置いた場合の二次電子數の變化を距離 d を横軸にとつて示すと第13圖のようになる。Filter の無い場合には距離 d が大きくなつても二次電子數は減少せず益々増大し、d=50cm 位で最大となる。Filter を置くと d=20cm から30cm の間で最大となり、Filter の無い場合よりも遙かに少い。又 Filter の種類により最大となる距離 d が異なってくる。

(2) 横軸に原子番號 Z+1 の對數をとつて、距離 d をパラメーターとして二次電子數の變化を示すと第14圖のようになる。放出二次電子數は距離 d が小さい間、即ち二次電子の放出方向が90度に近い間は原子番號の増大と共に二次電子も増大し、距離 d が大きくなると原子番號の中位の物質が最小となる。

(3) 距離 d および物質 (Filter) の種類によつて殆んど最大飛程に差は認められなかつた。最大飛程は Ra で 600mg/cm<sup>2</sup>、Co<sup>60</sup> で 300mg/cm<sup>2</sup> 位である。

V. 實驗IV

研究目的および方法

實驗 I に於て、電子は空氣によつて相當に散亂されることが判つたが、このことから Filter の無い場合でも、又ある場合でも二次電子放出源から距離を離すと距離の逆自乗以上に二次電子の到達數が減少することが考えられる。第15圖に示す測定配置によつてこの點を確かめてみた。線源は Rn-Seed の 1mc 以下の種々の強さのものを 1mm の鉛で包んで、計數値が距離に應じて適當になるようにした。

實驗結果

第15圖 A および B に測定値を相對強度で示す。第15圖 A は Filter の無い場合に、G.M. Counter の窓にアルミニウムの吸収體 (厚さ 690mg/cm<sup>2</sup>) を置いた場合とおかない場合の結果を示した。

Fig. 14 Angular distribution of secondary electrons emitted from various filters in the forward direction.

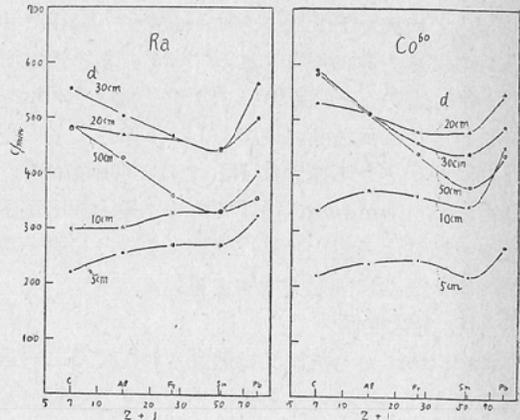
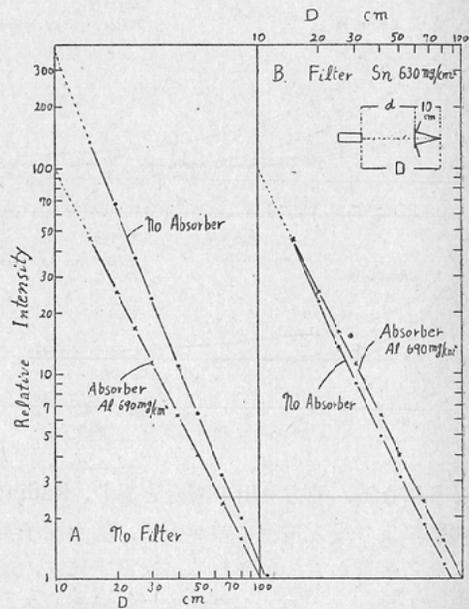


Fig. 15 Variation of secondary electrons emitted from a teletherapy unit with distance.



吸収體の無い時の方がある時よりも計數値が多いが、これは装置からの二次電子數の方が吸収體からの二次電子數よりも多いことを示している。線源からの距離が 1m に於ても、装置からの二次電子數が吸収體からの二次電子數よりも多い。しかしその比は次第に減少してくる。

第15圖 B は Filter のある場合の測定結果を示し

た。Filter がある場合には、Filter からの距離が近いと吸収體のある場合とない場合で計數値に差はないが、距離を離すと吸収體のない場合の方がある場合より計數値が少ない。即ち Filter からの二次電子數より吸収體からの二次電子數の方が多くなる。Filter からの距離が10cmから20cmの間で二つの曲線が平行となるが、これはこの位の距離で Filter からの二次電子數の影響が最小となることを示している。

## VI. 考按

Co<sup>60</sup>およびRay線によつて放出される二次電子は原子番號の小なる物質では大部分が Compton 電子であるが、原子番號が大きくなると光電子も混入してくる。Compton 電子はあるエネルギー分布をもつていて、 $\gamma$ 線の方向に放出されるもの程エネルギーが大きく、その最大エネルギーは照射した $\gamma$ 線のエネルギーより僅かに低い。光電子の方は物質により多少異なるが殆んど $\gamma$ 線のエネルギーと等しい均一のエネルギーである。又その放出される方向は $\gamma$ 線のエネルギーが高い程前方に向うようになる。従つて原子番號の大なる物質から放出される二次電子程エネルギーの高い二次電子が多く、又 $\gamma$ 線のエネルギーが高い程、前方に放出される二次電子が多くなるという結果になる。しかしこれらのことは電子が放出される最初の過程のことであつて、物質が厚くなると、その中を通過する間に衝突によつてエネルギーを失い、又散亂されて方向を変えるために、實際にその物質から放出されてくる二次電子の數とエネルギーの方向分布は著しく異つてくる。これについて定量的に計算することは相當困難であつて、現在その文獻は見當らない。しかし定性的にはある程度説明されている<sup>9),10)</sup>。即ち電子は原子番號の大なる物質によつてよりよく散亂され、同じ物質では電子のエネルギーが低い程散亂され易いことおよび衝突による電子のエネルギー損失はその物質の單位體積當りに存在する電子數にほぼ比例するという理論的<sup>14)</sup>ならびに實驗的事實によつて説明される。

以下これらの點を基礎にして實驗結果を定性的

に考察する。

(1) 實驗 I に於て空氣による散亂角の大きい程二次電子の最大飛程が小になるのは、低エネルギーの電子程散亂され易いことに起因し、又散亂角の小さい程電子數が多いのは空氣によつては散亂される角度が小さいことを示している。各種物質 (Filter) から $\gamma$ 線の方向に放出される二次電子を空氣で散亂させて測定しても、原子番號の中位の物質からの二次電子が最小であり、又散亂二次電子の最大飛程が Filter の種類によつては殆んど變らないことは、Filter から前方に放出される二次電子數が原子番號の中位の物質に於て最小であることおよびそのエネルギー分布が物質によつて著しくは異らないことによると考えられる。このことは實驗 II に於て、60度散亂の場合 Radiator の種類により最大飛程に殆んど差のないことと一致する。

尚各種物質から前方に放出される二次電子が原子番號の中位の物質に於て最小となるのは、Hine<sup>9),10)</sup>が説明しているように、Compton 電子のみならば原子番號が大きくなるに従つて散亂が増加するので、同じ厚さ (mg/cm<sup>2</sup>) の物質から前方に放出される二次電子は減少するが、原子番號が大きくなると光電子が増加してくるためにある原子番號のところでは最低となるのである。

(2) 次に後方散亂について考察する。原子番號の小なる物質では Compton 電子が大部分であつて、最初に放出される二次電子は前方のもの程多く、又エネルギーも前方程高い。物質が厚くなつても原子番號の小なる物質では散亂が少いから後方散亂量よりも前方散亂量が多い。又そのエネルギーも前方に散亂される電子程大きくなると考えられる。原子番號の大なる物質では非常に散亂され易く、高いエネルギーの電子も相當に散亂されるから、何回か散亂が繰返される間に前方散亂電子と後方散亂電子の數が殆んど等しくなり、又そのエネルギー分布も等しくなつてくる。實驗 II の 135度散亂の場合に、最大エネルギーが原子番號の大なる物質程大きくなつて居るのはこのためである。

(3) 原子番号が大きくなるにつれて、すべての方向に放出される二次電子の数が等しくなつてくるとすると、同じ前方散亂でも散亂角が90度に近いところでは原子番号の大なる物質から放出される二次電子が小なる原子番号の物質から放出される二次電子より少なくなつてよいわけで、實驗Ⅲはこのことを示している。

この實驗Ⅲの事實によつて、鉛等のように原子番号の大なる物質から放出される二次電子量を、その鉛の前方に原子番号の小なる物質(樹脂)を薄く(約0.25mm)密着させることによつて減少させることができるという Richardson<sup>11)</sup>等および Bewley<sup>5)</sup>の實驗結果を説明することができる。即ち、鉛等の原子番号大なる物質から散亂角90度に近い方向に放出される二次電子は密着した原子番号の小なる物質を斜めに通過するため、その通過距離が長くなり殆んどそこで吸収されること、および原子番号の小なる薄い物質から新たに放出される二次電子は少量であることによる。

(4) 實驗Ⅳの二次電子放射體からの距離を離すと二次電子の到達量が距離の逆自乗以上に減少することは空氣によつて低いエネルギーの電子が強く散亂されることによるのであつて、これは實驗Ⅰの結果からも明らかである。

(5) Raは何本もの $\gamma$ 線を放出していて、 $\text{Co}^{60}$   $\gamma$ 線よりも低いエネルギーの $\gamma$ 線もあるし、高いエネルギーの $\gamma$ 線もある。従つてRay線によつて放出される二次電子の最大エネルギーは $\text{Co}^{60}$   $\gamma$ 線によるそれよりも大きい、Raの方が $\text{Co}^{60}$ の場合より低エネルギーの二次電子もまたより多く放出していると考えられる。實驗Ⅰおよび實驗Ⅱに於て、135度散亂以外の二次電子ではその最大飛程はRaの方が $\text{Co}^{60}$ より大きい、135度散亂ではその逆になつて居るのはこのためであろう。

(6) Ray線によつて、鉛から放出される二次電子の最大エネルギーは、理論的に計算すると、2.198MeVの $\gamma$ 線による2.11MeVの光電子であつて、そのアルミニウム中の最大飛程は1000mg/cm<sup>2</sup>である。<sup>15)</sup>しかし2.198MeVの $\gamma$ 線はRaの一崩壊に放出される平均光子数が僅かであるか

ら<sup>16)</sup>、その次に高いエネルギーの1.761MeVの $\gamma$ 線による1.67MeVの光電子の最大飛程をRaの場合の二次電子の最大飛程と考える方が實際的である。1.67MeVの電子のアルミニウム中の最大飛程は750mg/cm<sup>2</sup>である。實驗で得られた最大飛程は700mg/cm<sup>2</sup>であつた。

$\text{Co}^{60}$ の場合には1.33MeVの $\gamma$ 線による1.24MeVの光電子で、その最大飛程はアルミニウムで550mg/cm<sup>2</sup>である。實驗では500mg/cm<sup>2</sup>の最大飛程が得られた。

何れの場合も實驗値が理論値より小さいが、この實驗のような吸収曲線から求めた最大エネルギーは $\gamma$ 線の影響があるので誤差が大きくなる。しかし醫學的には、特に二次電子の遮蔽の觀點からみれば十分な結果であると考えられる。

(7) 二次電子を最低にするFilterの厚さはこの實驗で得られた最大飛程より更に小さいが、これはFilterの厚さを増加すると照射装置からの二次電子は減少するが、Filter自身からの二次電子が増大するためである。Filter自身から放出される二次電子が最大となる厚さ(mg/cm<sup>2</sup>)は原子番号の大なる物質程薄いから(實驗Ⅰの(1))、二次電子を最低にするFilterの厚さは原子番号の大なる物質程薄くなる。(實驗Ⅰの(3))

## Ⅶ. 總括ならびに結語

以上の實驗結果を總括すると：

(1) 大量照射の場合には二次電子濾過板が必要であつて、その位置はCollimating coneの最尖端が最も効果的である。

(2) その濾過板は原子番号中位( $Z=40\sim 50$ )の物質が最も優れており、その厚さはRaで400mg/cm<sup>2</sup>位、 $\text{Co}^{60}$ で300mg/cm<sup>2</sup>位で十分である。

(3) 濾過板と皮膚の距離はできるだけ離す方がよいが、10cmから20cm離せば十分である。

(4) 原子番号の大なる物質程、後方散亂線量が多く、その最大エネルギーも増大する。前方散亂線量は原子番号中位の物質が最低であつて、その最大エネルギーは物質によつて殆んど差はない。しかし同じ前方散亂でも散亂角が90度に近す

くと、原子番号の大なる物質程散乱線量が多くなる。

(5) 照射装置から放出される二次電子の最大飛程は Ra で  $700\text{mg}/\text{cm}^2$ ,  $\text{Co}^{60}$  で  $500\text{mg}/\text{cm}^2$  位である。

この実験では G.M. Counter によつて二次電子の數と最大飛程とを測定して、二次電子の影響を最低にする方法を検討したが、実際には個々の照射装置について Extrapolation Chamber 或は電子を測定しうるように設計された薄い型の電離槽を用いて皮膚線量を測定することが望ましい。

終りに臨み、指導、校閲を賜つた部長塚本憲甫博士ならびに東京教育大學物理學教室の三輪光雄教授、影山誠三郎博士に深甚なる謝意を表す。

尙本論文の要旨は第 74 回日本醫學放射線學會關東部會(1955. 11. 16)に於て發表した。

## 文 獻

1) 尾内能夫: Ra および  $\text{Co}^{60}\gamma$  線の遮蔽に関する基礎的研究, 第 1 報 直接線の遮蔽, 日醫放誌. 16, 8, 1956. —2) 尾内能夫: Ra および  $\text{Co}^{60}\gamma$  線の遮蔽に関する基礎的研究, 第 2 報, 日醫放誌. 16, 15, 1956. —3) 尾内能夫: Ra および  $\text{Co}^{60}\gamma$  線の遮蔽に関する基礎的研究, 第 3 報, 日醫放誌. 16, 26, 1956. —4) W. H. Bragg and J.P. V. Madsen: An Experimental Investigation of the Nature of  $\gamma$ -Rays. Phil. Mag. 16, 918~939(1908). —5) D.K. Bewley: Photographs

of the Secondary Electronic Emission due to the Gamma Rays of Radium. Brit. J. Rad. 24, 521~522. 1951. —6) S.T. Wyard: Secondary Electron Emission Produced by Cobalt Gamma Rays. Brit. J. Rad. 24, 411~412, 1951. —7) C. W. Wilson and B. J. Perry: Secondary Electron Emission Generated by 1 MeV and 2 MeV X-Rays. Brit. J. Rad. 24, 293, 1951. —8) C.W. Wilson: Observations Concerning the Secondary Electronic Emission from Certain Materials by Means of its Photographic Action. Brit. J. Rad. 23, 478~484, 1950. —9) G. J. Hine: Scattering of Secondary Electrons Produced by  $\gamma$ -Rays in Materials of Various Atomic Numbers. Phys. Rev. 82, 755~756, 1951. —10) G.J. Hine: Secondary Electron Emission and Effective Atomic Numbers, Nucleonics 10 No. 1, 9~15, 1952. —11) J.E. Richardson, H. D. Kerman and M. Brucher: Skin Dose from a Cobalt 60 Teletherapy Unit. Radiology 63, 25~36, 1954. —12) J.E. Richardson and M. Brucher: Modification of Electron Filter to improve Light Localization of a Cobalt 60 Beam Radiology 64, 399~403, 1955. —13) 塚本, 梅垣, 尾内:  $\text{Co}^{60}$  大量照射装置(III 型)について(その2) フィルム法による二次電子の實驗的考察, 第 60 回日本醫學放射線學會關東部會 29. 6. 25. 發表. —14) E. Fermi: Nuclear Physics, (1951), p. 30. —15) W. E. Siri: Isotopic Tracers and Nuclear Radiations with Applications to Biology and Medicine, (1949), p. 57. —16) 山崎文男: 放射能の單位, 科學 20, 224, 1950.

## Fundamental Studies on Ray- and $\text{Co}^{60}$ $\gamma$ -Ray Protection Report 4. Experimental Studies on Secondary Electrons

BY

Yoshio ONAI, Physicist.

Radium Center of Cancer Institute, Tokyo, Japan.

(Director: Kempo Tsukamoto, M.D., Chief Radiologist.)

The methods of protection against the direct and scattered beam of Ray- and  $\text{Co}^{60}$   $\gamma$ -rays were considered in the preceding reports. The experimental studies on secondary electron emission and scattering have been made in the present report. Secondary electrons emitted from the teletherapy unit, the container of  $\gamma$ -ray source, and air surrounding the unit contaminate the gamma ray beam and result in an appreciable skin dose.

Measurements were made of secondary electrons with a G.M. counter of end-window type on its number and the maximum range in aluminum.

The results obtained were as follows:

(1) Measurements of the secondary electrons deflected in passing through air indicated that the secondary electron emission in the forward direction decreased with increasing  $Z$  of radiator until  $z \sim 40$ , and rose again towards the high- $Z$  elements (Fig. 4). This indicates that the materials of intermediate atomic number are the best as a filter to remove secondary electrons.

(2) From the measurements of secondary electrons from various radiators placed in the useful beam of  $\gamma$ -rays, it was found that both the number and the maximum range of secondary electrons emitted in backward direction increased with increasing atomic numbers (Figs. 11 and 12), and that the maximum range of secondary electrons emitted in forward direction, however, was approximately the same for all the elements examined (Fig.9).

(3) It was verified that due to the differences in the angular distribution of electrons from different materials irradiated, even the forward emission at large angles of emission, in contrast to the small angle emission, increased with increasing atomic number of the materials (Figs. 13 and 14).

(4) It was confirmed that as the distance from the collimating cone to skin increased the electrons originating in the collimating system were scattered in air and their contribution to the skin dose decreased rapidly (Fig. 15).