

Title	X線従業員のX線被曝(第3報)X線診療室に於ける散亂線, その線質並びに人體内分布
Author(s)	岡島, 俊三; 大橋, 一雄; 飯田, 博美
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1958, 18(2), p. 196-202
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/18024">https://hdl.handle.net/11094/18024</a>
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

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

Osaka University

## X線従業員のX線被曝(第3報)

### X線診療室に於ける散亂線, その線質並びに人體内分布

名古屋大学医学部放射線医学教室(主任 高橋信次教授)

岡島 俊三, 大橋 一雄

名古屋大学医学部附属診療エックス線技師学校(校長 高橋信次教授)

飯田 博美

(昭和32年10月29日受付)

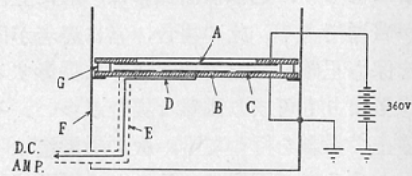
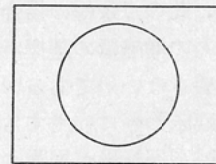
#### 緒言

X線従業員の放射線障害の問題を論ずる場合に、X線の散亂線は如何なる線質を持っているか、又これに被曝した場合体内に如何に分布するかを知ることは重要な事柄である。これに関して今回次の如き4つの実験を行ったので報告する。

実験I 直接線及び側方(90°方向)散亂線の線質測定

X線発生装置には100kVP以上は東芝200kVP, 20mA深部治療装置を、100kVP以下は島津200kVP, 6mA信号号を用い、線量測定器には試作のextrapolation chamberを使用した。その構造は第1図に示すように、2枚の平行板電極からなっていて、上の極板は3mm厚さのベークライト板で、中央に直径98mmφの穴をあけ、下面は厚さ25μのマイラー(体積固有抵抗:25°Cに於て $10^{11}\Omega\text{cm}$ , 表面漏洩抵抗:100%RHに於て $4.8 \times 10^{11}\Omega\text{cm}$ )膜で穴を塞ぎ、アカダックを一面に塗布した(A)。下の極板は3mm厚さの亚克力板で、上面の中央に直径60mmφの円をアカダックで書き、これを集電極(B)にし、その外側に1mmの間隙(絶縁のため)をあけてアカダックで同心円を書き、これを保護電極(C)とした。集電極のリード線は亚克力板の下表面にアカダックの線を書き(D)、側方に導き、それよりシールド線(E)で外部に取出した。電気的遮蔽のため、下方電極板の下面は集電極からのリード線(D)の部分を更にマイラーで覆って絶縁した上、一面に

第1図  
小型 extrapolation chamber

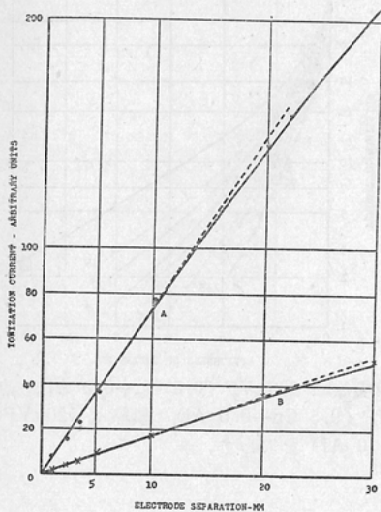


A: 電極, B: 集電極, C: 保護電極, D: リード線, E: シールド線, F: アルミシールドケース, G: スペース

アカダックを塗り接地し、側方はアルミニウムのシールドケース(F)で遮蔽した。両極板間の間隔は両端に積み重ねられたベークライトのスペーサー(G)で種々変化させることが出来、その可変範囲は1mm~数10mmの間を1mmおきに変化させることが可能である。両極板間には360Vを印加し、集電極の端子は直流増幅器に導かれる。増幅器には東芝深部線量計(M1-102型)のプロープ先端の電離槽を外し、その中心電極に集電極からのリード線を接続して使用した。

先づ予備実験として、両極板間の間隔を変化させた場合の電離電流の変化がどうなるかを調べ

第 2 図  
両極板間隔と電離電流との関係



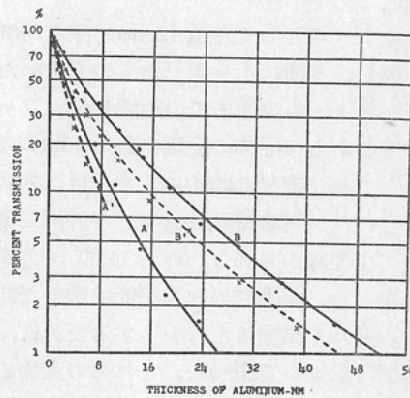
A : 200kVP (0.5 Cu+0.5 Al), B : 120 kVP (0.3 Cu+1.0 Al)

た。焦点と下方電極間の距離を50cmに保ち、上方電極を動かした。この場合の両極板の間隔と電離電流との関係は第2図に示す。図中の曲線の勾配が、空気単位体積当りの電離電流に対応する。極板間隔を次第に狭めていった時の各測定点を結び、間隔零まで曲線を延長し、そこでの切線 (initial slope 図中の点線)の勾配を測れば、容積無限小の時の単位体積当りの電離電流を知ることが出来る。図から明らかなように、曲線は僅かに上方に凸に変曲しているが、略く直線で所期の結果が得られた。

次にこの装置を用いて各種管電圧のX線の直接線及び側方散乱線の線質を知るために、銅及びアルミニウムによる減弱曲線を求めた。測定条件は、直接線では焦点と下方電極までの距離60cm、照射野25mmφで、側方散乱線の場合は15×10×10cm<sup>3</sup>の密蠟ファントムに40cmの距離にて10×10cm<sup>2</sup>の照射野で照射し、主放射線と直角方向に50mmφの鉛絞りを置き、こゝを通過して来る散乱線を測定した。X線の管電圧は60kVP (1.0Al), 90kVP (1.0Al), 120kVP (0.3Cu+1.0Al), 160kVP (0.5 Cu+0.5 Al), 200kVP (0.5 Cu+0.5Al) で90kVP 以下はアルミニウム吸収

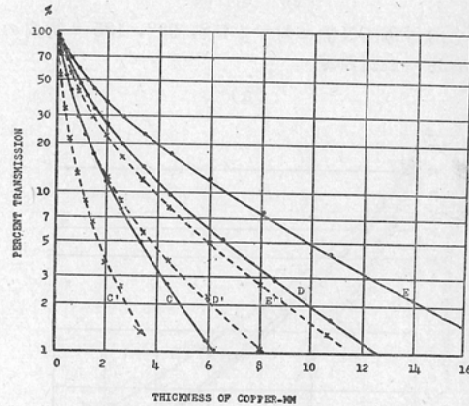
板を、120kVP 以上は銅の吸収板を用いた。尙測定に当つては3mm厚さの鉛板で、絞りを閉じた時の電離電流を無視出来る程度に少くするために必要な遮蔽を施した。又特に60kVP, 90kVP に於ては電源電圧の変動のためX線出力が不安定であつたので、Radocon (Victoreen 社製) をモニターとして入射線の照射線の照射野中に挿入し

第3図 (a)  
アルミニウムによる減弱曲線



A : 60kVP (1.0 Al) 直接線, A' : 60kVP (1.0 Al) の側方散乱線, B : 90kVP (1.0 Al) 直接線, B' : 90kVP (1.0 Al) の側方散乱線

(b)  
銅による減弱曲線



C : 120kVP (0.3 Cu+1.0 Al) 直接線, C' : 120kVP (0.3 Cu+1.0 Al) の側方散乱線, D : 160kVP (0.5 Cu+0.5 Al) 直接線, D' : 160kVP (0.5 Cu+0.5 Al) の側方散乱線, E : 200kVP (0.5 Cu+0.5 Al) 直接線, E' : 200kVP (0.5 Cu+0.5 Al) の側方散乱線

て、その目盛が常に一定になるように管電流、管電圧の微調整を行い乍ら測定をした。測定結果は第3図(a), (b)に示す。

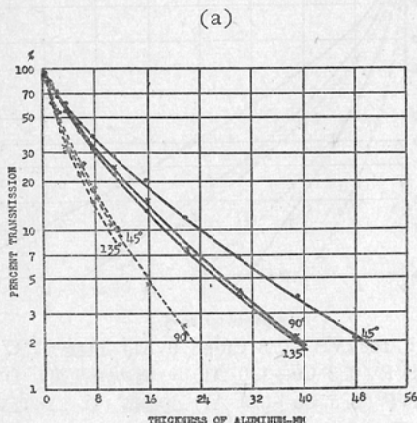
この測定結果から散乱線は、いずれも直接線に較べて線質が軟くなっていることがわかる。然も線質の変化の度合は、高い管電圧のX線程顯著で、管電圧の低くなるに従つて直線接と散乱線の線質の相違は僅少であることが認められる。

実験Ⅱ 45°, 90° 及び 135° 方向の散乱線の線質測定

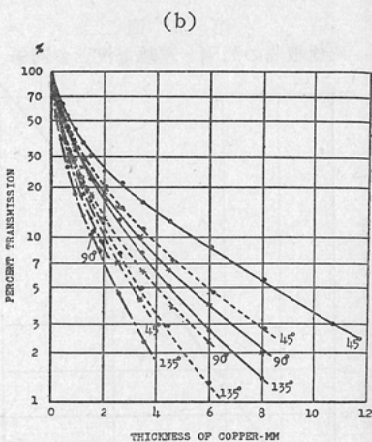
ファントームとして内径 12cmφ、深さ20cmの薄肉(6mm)の木桶に水を満したものを用いた。線源とファントーム表面までの距離40cm、ファントームの中心から 100cmの距離に鉛(4mm)の衝立をおき、これに直径5cmφの穴をあけ、穴に密着するようにテラ電離槽型線量率計(神戸工業製)を用いて主X線から45°, 90°, 135°の方向の線質を測定した。衝立の穴を鉛板で塞いだ時、線量率計の振れを出来るだけ少くするために、電離槽の側面は鉛ゴムで覆つた。これらの実験の測定結果は第4図(a), (b)に示す。これらの図から45°, 90°, 135°と散乱角の増大に伴つて線質は軟くなつており、しかも管電圧の高いX線程、散乱角による線質の変化が著しいことが認められ

第4図

各種管電圧X線に対する45°, 90°, 135°方向の散乱線の減弱曲線



図中実線は90kVP (1.0Al)、点線は60kVP (1.0 Al)を表わす。



図中実線は 200kVP (0.5 Cu+0.5 Al)、点線は 160kVP (0.5 Cu+0.5 Al)、鎖線は 120kVP (0.3 Cu+1.0 Al)を表わす。

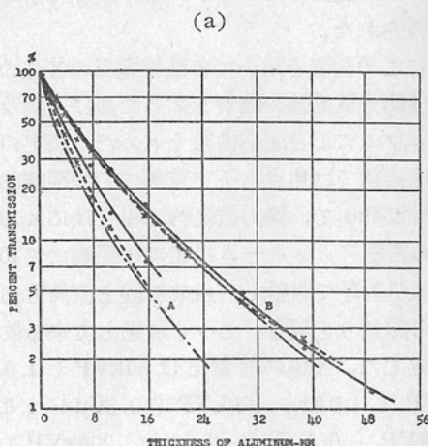
る。

実験Ⅲ ファントームの形状及び照射野の変化による散乱線の線質の変化の測定

X線は連続X線を用いているので、X線がファントームの中を通過することによつて線質に変化の起ることが予想される。そこでファントームの形状及び照射野を変化させて側方散乱線の線質を

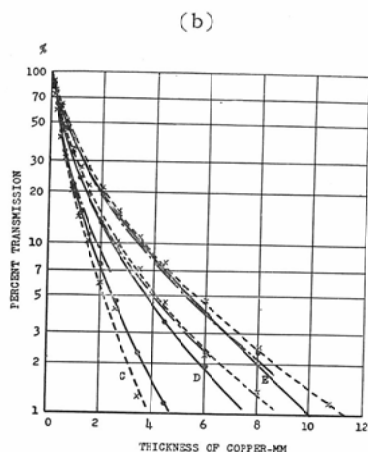
第5図

27.5×27.0×8.6 cm<sup>3</sup> 水ファントームによる直角方向散乱線の減弱曲線、実線：全面照射、点線：照射野10×10cm<sup>2</sup>、鎖線：実験Ⅱの直径12cmφの水ファントームによる90°方向の散乱線の減弱曲線(第4図参照)。



A : 60kVP (1.0 Al), B : 90kVP (1.0 Al)





C : 120kVP (0.3 Cu+1.0 Al)  
 D : 160kVP (0.5 Cu+0.5 Al)  
 E : 200kVP (0.5 Cu+0.5 Al)

調べた。27.5×27.0×8.6cm<sup>3</sup>の水ファントーム（両面の壁は4mm厚さの亚克力）の27.5×27.5面における中心部を10×10cm<sup>2</sup>の照射野で照射した場合及び全面照射した時の直角方向の散乱線をテン線量率計で測定し、実験Ⅱの12cmφ直径水桶ファントームの直角方向散乱線と比較した。その結果は第5図(a), (b)に示す。これらの結果からこの実験に採用したようなファントームの形状の変化、並びに照射野の変化に対しては90°方向の散乱線の線質はそれ程顕著な変化を示していない。

実験Ⅳ 深部量の測定

ファントームを用いて、直接に散乱線の深部量が測定出来れば好都合であるが、散乱線の強度は微弱のために満足すべき測定は困難である。そこで実験Ⅰの結果から各種管電圧の直角方向の散乱線の減弱曲線に最も近い減弱曲線を示す直接線を選出し、これを用いて深部量を測定し、散乱線の深部量を推定した。すなわち、

60kVPの直角方向散乱線に等価なものとして55kVP (1.0Al)

90kVPの直角方向散乱線に等価なものとして80kVP (1.0Al)

120kVPの直角方向散乱線に等価なものとして100kVP (0.3 Cu+1.0 Al)

160kVPの直角方向散乱線に等価なものとし

て120kVP (0.3 Cu+1.0 Al)

200kVPの直角方向散乱線に等価なものとして150kVP (0.5 Cu+0.5 Al)

上記の如く各管電圧X線の直角方向散乱線に対し、線質が同等とみなされる直接線を選出した。

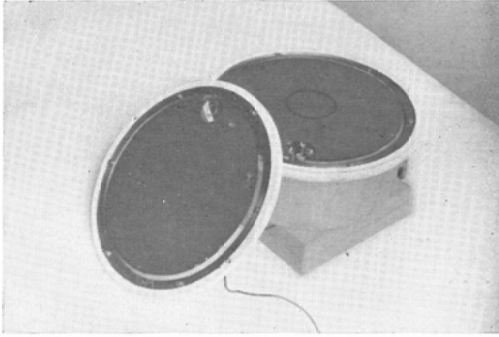
深部量測定のために特に大型の extrapolation chamber を製作した。その構造は第1図に似ている。上下2枚の電極は共に亚克力板で、直径27.7cmφの鉄枠にはめこまれ、特に上の極板は実験Ⅰに用いた小型の extrapolation chamber と同様に中央に直径8cmφの穴を明け、この部分にはマイラーを貼り、表面線量或は非常に浅部の線量測定を可能にした。電極表面に導電物質としてアカダックが用いられている。下方電極板の下面に接して直22.6cmφ、高さ10cmφのパラフィンの円筒形ファントームが置かれ、電気的遮蔽を完全にするために側方はアルミニウムの環がはめられ、接地されている。極板間の間隔を変えるには円周上3カ所にベークライト製スペーサーを挿み、1mm～数10mmの範囲で任意の間隔にすることが可能である。1mm以下にすることは間隔の測定が正確に出来ないので、単位体積当りの電離電流の値を求めた時の誤差が大きくなって好ましくない。

測定条件は線源からファントーム表面までの距離を100cmに一定に保ち乍ら、ツープスなしの状態、すなわちファントームを全面照射する状態で、上方の極板の上にファントームを次第に積み重ねて測定した。この場合4mm厚さまでは上の極板の中央にあけられた穴に60mmφの亚克力板を入れ穴を塞ぎ、次に11mm厚さまでは直径23.7cmφの亚克力板を重ね、縁の鉄枠の高さに達した後は20×20cm<sup>2</sup>のパラフィン板を鉄枠の上に積み重ねて測定した。

第6図は大型 extrapolation chamber の写真を示す。即ち両電極板がよく見える。測定の結果は第7図に示されている。横軸の深さはパラフィン及び亚克力の比重をそれぞれ0.9, 1.2として実際のそれらの厚さに比重をそれだけ乗じ、すなわち、比重1の厚さに換算した値がとつ

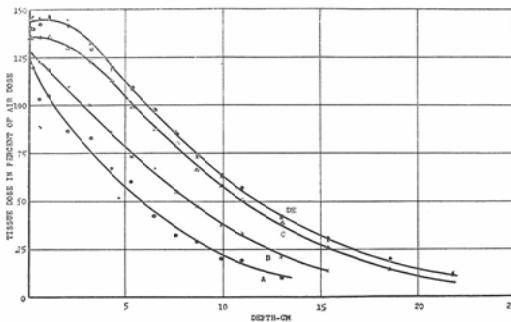
第 6 図

大型 extrapolation chamber の 2 枚の極板を示す。



第 7 図

深部線量曲線（下記電圧 X 線の 側方散乱線に対応する）



F.S.D= 100cm, A : 60kVP (1.0 Al), B : 90kVP (1.0 Al), C : 120kVP (0.3 Cu+1.0 Al), D : 160kVP (0.5 Cu+0.5 Al), E : 200kVP (0.5 Cu+0.5 Al)

である。縦軸はファントム表面での空中線量を 100%とした深部量であつて、使用した X 線の線質及び照射野に於ける表面線量と空中線量の比 (back scatter factor) は Johns<sup>1)</sup> の結果を使用した。図中 A.B.C.D.E の曲線はそれぞれ 60kVP (0.1 Al), 90kVP (1.0 Al), 120kVP (0.3 Cu+1.0 Al), 160kVP (0.5 Cu+0.5 Al), 200kVP (0.5 Cu+0.5 Al) なる管電圧の X 線がファントムによつて 90° 方向に散乱され、その散乱線を散乱体から 100cm の距離で受けた時の深部量に相当する。散乱体から 100cm の距離での直角方向の散乱線の空中線量を何等かの方法で測定することが出来れば、第 7 図を用いて、

そこに人がいた場合の散乱線は体内に如何なる分布をするか推定することが可能である。

### 考 按

深部量の測定を正確にするには、測定器のプロープの大きさはなるべく小さいことが必要で、理想的には無限小であることが望ましい。然し電離槽型の測定器を用いるとすると、電離槽の大きさを小さくすれば、電離電流も亦体積に比して減少してゆくから、測定器としての感度は低下して、電離槽の大きさを無制限に小さくすることは出来ない。extrapolation chamber<sup>2)</sup>はこの困難を解決出来る測定器である。何となれば電離槽の体積を大きいところから小さくするように変化させて測定を行い、これら測定結果から体積無限小の時の単位体積当りの電離電流を外挿して求めることが出来るのである (extrapolation chamber の名のある所以である)。

本実験には小型と大型の 2 種類の extrapolation chamber を試作して用いた。前者は簡単に自作出来て、取扱いも簡便なものであり、後者は人体に対応するような大型のファントムを用いてその深部量を測定するのに必要である。いずれも上方の電極には 25 $\mu$  厚さのマイラー膜を用いた。これは表面線量或いは浅部の線量測定に必要なのであると、このように薄い電極を用いれば、この膜による X 線の吸収は殆んど問題にならないので、非常に軟線までの測定が可能だからである。

実験 I の直接線と側方散乱線の測定に小型の extrapolation chamber を用いたのは、キュスター型標準線量計と比較測定をして、測定値が充分信用出来ることと、感度も充分で比較的操作が簡便であるために使用した。

予備実験として行つた極板間の間隔と電離電流との関係は、第 2 図にみられるように略と直線関係にあり、満足すべきものであつた。電極物質にはアカダックを塗布したマイラー膜及びアクリライト板を用いたが、空気とは等価原子量 (equivalent atomic number) は近似しており、壁面からの二次電子の影響で異常を示すということは認められなかつた。尙曲線は稍と上方に凸になつて

いるが、これは下方電極にアクリライト板を用いているので、ここからの後方散乱線があつて、電極板の間隔の充分狭い時にはX線に照射された集電極の部分（本実験では照射野は集電極の面積より小さい）からの後方散乱線によつて両電極間に生じたイオンは殆んど全部集電極に集められ測定されるが、極板間の間隔を大きくした場合には、散乱線によつて両極板間に発生したイオンの全部は集電極に集まらないためと思われる。然し initial slope だけが必要なことから、直線からずれていることは勿論問題にはならない。

両電極間には 360 V を印加したが、この電圧では電離電流の飽和の条件を充分満足していることが確かめられた。

側方散乱線の線質はいずれも直接線に比較して軟く、しかもその線質の変化の程度は高い管電圧のX線に対して顯著である。このことは散乱線の Compton 散乱が寄与しているためと思われる。

実験Ⅱは散乱線に Compton 散乱が寄与しているとすれば、一次線との波長のずれは  $2\lambda_0 \sin^2(\theta/2)$  ( $\lambda_0$  は Compton 波長、 $\theta$  は散乱角) で表される故、散乱角度によつて線質が異なる筈であり、このことを確かめるために行つた実験である。そこで散乱体には方向性のない直径12cmφの水桶に水を満したファントームを用いた。散乱角度を正確にするために、散乱体からの距離も可成り遠く 100cm を選んだ。そのため散乱線の強度は可成り弱くなるので測定器は電離槽の容積の大きいテ線量率計 (25mr/hr, 250mr/hr, 2500mr/hr) を用いた。

実験Ⅱは連続X線を使用しているため、ファントームの形状、照射野の大きさを変えた場合に線質が如何に変化するかを調べるのが目的である。人体の胸部を代表する  $27.5 \times 27 \times 8.6 \text{ cm}^3$  の水ファントームを  $10 \times 10 \text{ cm}^2$  の照射野及び全面照射の場合の側方散乱線の減弱曲線と実験Ⅱの直径12mmφの水桶ファントームの  $90^\circ$  方向散乱線に対する減弱曲線とを比較した。これらの結果はいずれの場合も線質の変化はそれ程顯著なものではなかつた。これは水のX線吸収率<sup>3)</sup>が波長によつてあま

りひどく変化しないこと、実験に用いた一次X線はフィルターで可成り均等化されているためと思われる。

さてこれら散乱線に人体が被曝した場合に体内に如何に分布するであろうかということが重要な問題である。実際最も起る可能性の多い直角方向の散乱線で、全身が被曝する場合を想定して、それに近い条件で実験をした。散乱線で直接ファントームの深部量を測定することが望ましいが、散乱体から 100cm 以上離れた距離では試作の extrapolation chamber は感度不足のため、深部量の正確な測定は期待されないので、実験Ⅰのデータを参考にして各種管電圧のX線の側方散乱線に対し、それらと等しい減弱曲線を示す直接線を選出して、これらによる 100cm の距離で、照射野  $445 \text{ cm}^2$  の時の深部率曲線を作つた。実際の散乱線との相違は、実際の場合は散乱体の大きな体積の部分から発する散乱線であるのに反し、この実験の場合線源は点状であることである。然し散乱体への一次X線の照射野が極端に大きくない限り、100cm の距離では線源を点状とみなした場合と深部量の相違がそれ程大きいとは考えられない。第8図に示されているのは上の様な条件での深部量曲線である。又普通散乱線は空中線量で測定されているので、縦軸にはファントームの表面での空中線量を 100 とした深部量百分率がとつてある。この図は各種管電圧のX線の直角方向散乱線を受けた場合体内分布を知るのに役立つものと考えられる。

## 結 論

散乱線の線質の測定及び体内分布を知るために試作の extrapolation chamber を用いて測定をした。

一次X線に比して散乱線はいずれも線質の軟くなつていくことが認められ、しかも高い管電圧のX線に対して線質の変化が顯著であり、低い管電圧のX線では線質の変化は僅少である。

散乱角を変化した場合の散乱線の線質は、散乱角の大きくなるに従い、次第に線質は軟くなり、しかも管電圧の高いX線では散乱角による線質の

変化の度合が低電圧のX線に比して著しい。

ファントムの形状及び照射野を変化した場合の直角方向の散乱線の線質の変化は、それ程大きいものではない。

散乱体から 100cmの距離で直角方向の散乱線を受けた場合の体内分布を知る模型実験を行い、深部量百分率曲線を作製した。

本実験に用いた extrapolation chamber の試作は東

芝富士工場牧野純夫氏の援助に負う所が多く、測定では前越久君の助力を感謝する。

#### 文 献

- 1) Radiation Dosimetry, Academic Press Inc., 550, (1956). — 2) Failla, G.: Radiology, 29, 202, (1937). Quimby, E.H and Focht, E.F., Amer. J. Roentgnol. 50, 653, (1943). — 3) Victoreen, J.A., J. Appl. Phys., 20, 1141, (1949).

### Quality of Scattered Rays in X-Ray Room in the Aspects of the Tissue Dose

By

Shunzo Okajima and Kazuo Ohashi

(From the Department of Radiology, Nagoya University Hospital,

Director: Prof. S. Takahashi)

Hiroyoshi Iida

(From the School for X-Ray Technicians attached to Nagoya University Hospital)

The quality and tissue dose of scattered x-rays were measured by means of the homemade extrapolation chambers. Results obtained are as follows:

(1) The scattered x-rays become softer in quality as compared with that of the primary x-rays. This fact becomes remarkable when the primary x-rays are driven at high tube voltage.

(2) The greater is the angle between scattered ray and the primary ray, the softer becomes the quality of the scattered ray.

(3) The side scattered x-rays were not changed in quality even if the phantoms and fields were varied in size.

(4) The depth-dose data were obtained experimentally with model which was exposed to side scattered x-rays at 1 meter from the scatterer.