



Title	X線のエネルギー分析 第2報 散乱X線
Author(s)	竹井, 力
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1959, 19(6), p. 1272-1277
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/15936
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

特別掲載

X線のエネルギー分析

第2報 散乱X線

長崎大学医学部放射線医学教室（主任 玉木正男教授）

竹井 力

(昭和34年7月31日受付)

緒言

放射線障害防止の見地から、従来散乱X線の測定がしばしば行われてきたが、その殆んどすべては電離法或はフィルムバッヂ法でX線量のみを測っているにすぎない。著者は scintillation spectrometer によつて種々物質による散乱X線の線質を検し、更に得られた spectrum から散乱線量の概略算出を試みた。

電離箱による散乱線の線量及び線質測定については、橋爪¹⁾²⁾³⁾、Lorentzon⁴⁾ Walstam⁵⁾ 等の多くの重要な研究がある。線質は一般に Al, Pb, Cu による半価層で表わすが、松沢⁶⁾、Wang 等⁷⁾は混合X線の線質線量（X線波長—線量）を強度減弱曲線から数学的解析を行つて求めている。

scintillation spectrometry による散乱X線の測定については、Lindell⁸⁾、Cormack 等⁹⁾¹⁰⁾の発表がある。Lindell は X線束を物質の面に 45° に照射し X線束に 90° の方向に散乱した X線の energy spectrum を測つている。又 Cormack 等は水ファントームにおいて照射野の大きさを変えたときの spectrum の変化を調べ、更に 280kVp の X線について水ファントーム中での散乱線が角度によつてどのように変るかを調べている。

著者は Lindell の測定法と同様に scintillation spectrometer を用いて、散乱体面に X線束を 45° の方向から照射して X線束に 90° となる方向で散乱線測定を行つた。散乱物質には鉄、鉛、コンクリート、ベニア板及びマウスを用い、管電圧 100,

160, 180kVp, 管電流 3 mA において治療用濾過板を用いた場合の散乱X線の energy 分布を調べた。

実験方法

X線発生装置及び scintillation spectrometer は第一報と同一である。実験装置の配置の概略を Fig. 1 に図示した。管電流は 3 mA とし、管電圧は 100, 160, 180kVp, X 線管のターゲットはタンクスチンである。X線管焦点—散乱体間距離は 73cm で、こゝにおける空中線量測定値は

Fig. 1. Experimental arrangement of the scintillation spectrometry

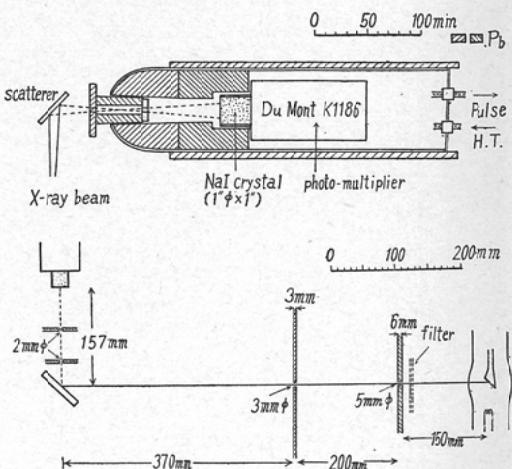


Table 1 の如くである。散乱体表面での X 線束の大きさは 10mmφ, NaI 結晶と散乱体の距離は 15.7cm である。結晶の前方 9.8cm と 12.0cm に夫々

厚さ4mmの鉛のスリットをおいた、このスリットの大きさは2mmφである。NaI結晶は1''φ, 1''長さであり、光電子増倍管はDu Mont K 1186を使用した。

散乱体は鉄(厚さ: 5mm), 鉛(3mm), コンクリート(7mm), ベニア(10mm)及びマウス(腹部厚: 約30mm)である。用いた鉄と鉛は飽和の厚さのものであるが、ベニア板、マウスは飽和の厚さよりも薄いものである。即ち鉄、鉛では飽和の厚さが薄いのでその表面附近からの散乱線が大部分であるが、コンクリート、ベニア板及びマウスでは飽和の厚さが非常に厚いので散乱線はその表面からものだけでなく深部からのものも多く含まれることになる。しかしFig. 1から判るようにこの実験では深部からの散乱線は結晶には入らず、(前に設けた細いスリットのため)散乱体表面附近からの散乱線だけが入るようにした。〔何とな

Fig. 2. Primary X-rays

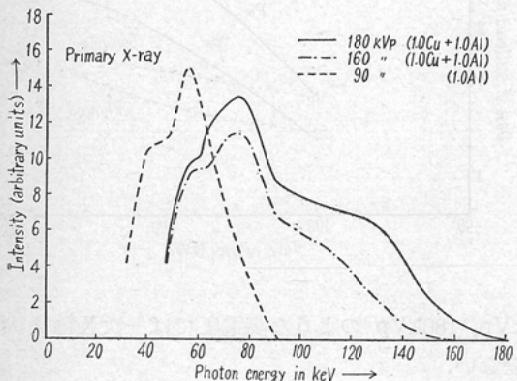


Fig. 3. Scattered X-rays from Fe

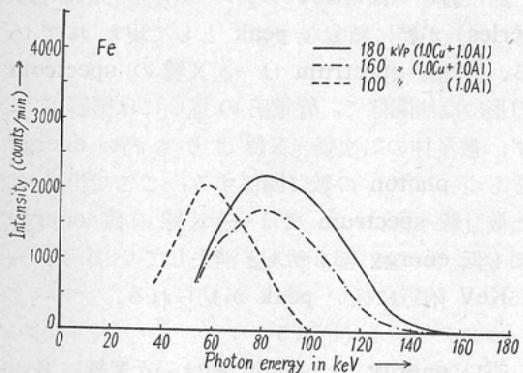


Fig. 4. Scattered X-rays from Pb

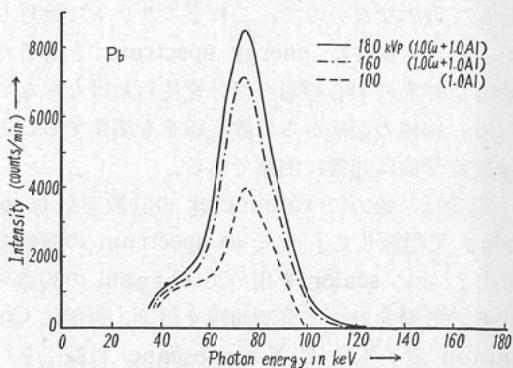


Fig. 5. Scattered X-rays from Concrete

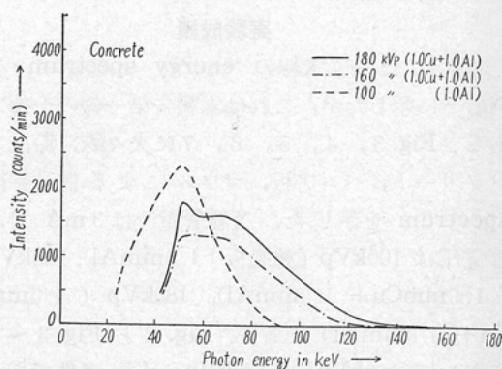
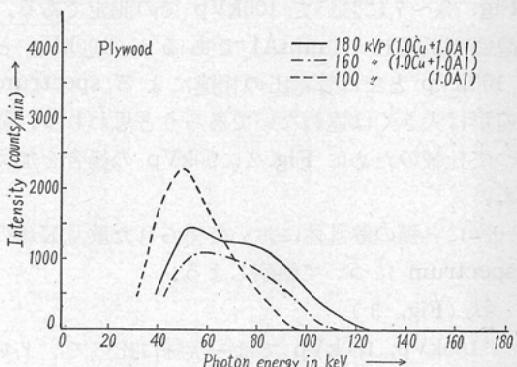


Fig. 6. Scattered X-rays from Plywood



れば、結晶の中心線附近に入射する photon は充分にその energy に比例する pulse を生ずるが、散乱体深部から散乱する photon は若しスリットがないとすれば結晶の端の部分に斜めに入射することになりそれでは充分にその energy

を結晶に与えることはできないため忠実に pulse として取出せないので、これをスリットで除外した。即ち良好な energy spectrum を得るためにには結晶の中心線附近だけを使わねばならないので、物体の深部からの散乱線をも測定することは幾何学的に非常に困難である。

測定は、始めに rate-meter の計数率を recorder で記録して予めその spectrum の概略を知り、次に scaler を用いて channel の 30点～40点の計数を計つて実測曲線を書き、最後に Compton 電子及び K X-ray escape の補正を行つて spectrum を求めた。補正については第一報に報告した。

実験成績

照射した一次X線の energy spectrum を Fig. 2 に示したが、これは本報告第一報の一部である。Fig. 3, 4, 5, 6, 7 に夫々鉄、鉛、コンクリート、ベニア板、マウスによる散乱線の spectrum を示した。X線管電流は 3mA で、管電圧は 100kVp (濾過板 : 1.0mmAl), 160kVp (1.0mmCu + 1.0mmAl), 180kVp (1.0mmCu + 1.0mmAl) である。Fig. 2 と Fig. 3～7 において 160kVp と 180kVp は同一条件であるが、比較的低い電圧では Fig. 2 において 90kVp Fig. 3～7 において 100kVp での測定である。濾過板が同じ 1.0mmAl であるから 90kVp と 100kVp とでは管電圧の相違による spectrum の形は大きくは違わないであろうと思われる。従つて比較のために Fig. 2 に 90kVp の場合を加えた。

次に各種の散乱体において得られた散乱X線の spectrum について観察しよう。

鉄 (Fig. 3) :

160kVp, 180kVp では一次線に比べて、タンクステン target の特性X線の peak (59keV) は見分けられない。100kVp では target の特性X線が明瞭に現われている。鉄の散乱X線の「平均 energy」(energy が \bar{E} keV 以下の photon の数とそれ以上の photon の数とが等しいとして \bar{E} を「平均 energy」と定義する) は 160

Fig. 7. Scattered X-rays from Mouse

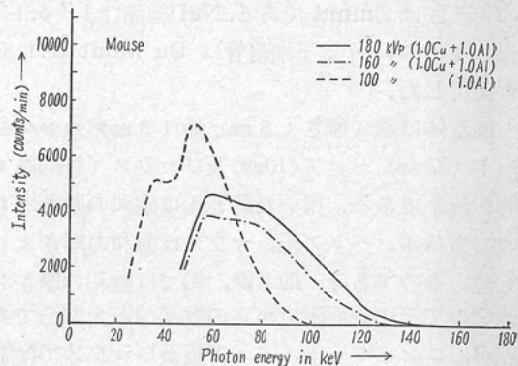
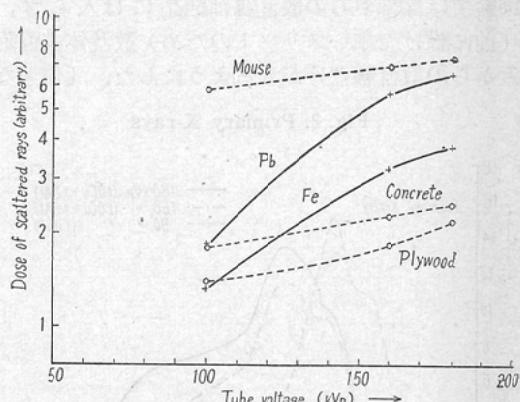


Fig. 8. Dose of scattered X-rays plotted against tube voltage of primary X-rays, the dose of which is identical in each experiment.



kVp, 180kVp のような高電圧では一次X線と大差ない。

鉛 (Fig. 4) :

鉛においては 74KeV の鉛の二次螢光X線 (K-series) が特に顕著な peak として現われている。散乱線 spectrum は一次X線の spectrum の形には無関係で、管電圧の違いには影響されず、散乱体の二次螢光X線よりも高い energy をもつ photon の数に関係する。ここで得られた散乱線 spectrum では一次X線の高 energy 部も低 energy 部も殆んど消失しているが、~45KeV 附近に低い peak が見られる。

コンクリート (Fig. 5) :

高い energy の photon 数は一次X線に比べ

て減少して、低い energy の X線が逆に増加している。

ペニア板 (Fig. 6) :

高い energy 部の photon の数は減少して、低い energy 部は現われていない。

マウス (Fig. 7) :

この測定は特に人体からの散乱線を調べるための予備実験的なものであるが、厳密には人体とマウスとは同じでないので恐らく両者の spectrum は若干違うであろう。しかし或る程度の相似性は期待できると思われる。

マウスからの散乱X線の spectrum は低い電圧 (100kVp) においては一次X線のそれと非常によく似ているが、電圧が高くなると高 energy 部での強度は減少している。

散乱 X 線量の算出

供試の散乱体に対して、得られた曲線より散乱 X 線量 (r 量) を算出する方法について述べる。

或る一定の energy をもつた photon によって或る線量を得るに要する photon 数が分つて、energy spectrum が測定で得られれば次のようにして線量を計算することができる。

いま、photon energy を E, spectrum の intensity を I, 1r に相当する photon 数を N⁽¹⁾ とすれば、I 及び N は E の函数であるから形式的に次のように書ける。

$$\left. \begin{aligned} I &= I(E) \\ N &= N(E) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

energy の中心値を E とし、その energy の微少巾 dE に対する微少線量を dD とすれば

$$dD = \frac{I(E)}{N(E)} dE$$

$$D = \int dD = \int_{E_{\min}}^{E_{\max}} \frac{I}{N} dE \quad (2)$$

線量 D は形式的には (2) 式で求められる。しかし、数式的に I (E) が表現できないから、前に求めた energy spectrum より energy 巾を ΔE = (E + 1/2 ΔE) - (E - 1/2 ΔE) とし、E における巾 ΔE 中の photon 数を I (E) とすれば線量 D は下式のように近似的に書ける。

$$D = \sum \Delta D = \sum \frac{I}{N} \Delta E \quad (3)$$

Table 1. Dose-rate of the primary X-rays*

tube voltage kVp	180	160	100
filter mm	1.0Cu + 1.0 Al	1.0Cu + 1.0 Al	1.0Al
dose-rate r/min	0.788	0.624	1.343

* Air-dose at focus-scatterer distance measured by means of r-meter.

Table 2 a. Dose of scattered X-rays calculated from energy spectrum

(arbitrary units)

kVp	180	160	100
Fe	205	137	120
Pb	354	304	167
Concrete	132	95	162
Plywood	115	76	152
Mouse	396	292	518

Table 2 b Dose of scattered X-rays (calculated from Table 1 and 2a, assuming the dose of primary rays to be identical in each measurement)

(arbitrary units)

kVp scatterer	180	160	100
Fe	260	10	220
Pb	449	1.7	387
Concrete	167	0.6	152
Plywood	146	0.6	122
Mouse	502	1.9	468

(3)式において E = 5, 10, 15, 20KeV, …… とおき、ΔE = 5 KeV とした計算結果を Table 2a, 2b に示した。

Table 2a は Table 1 の条件で照射したときの計算線量であり、一次X線の照射線量を同一として上記の計算線量を換算したものが Table 2b である。又 Table 2b を図示すると Fig. 8 となる。

Table 2b について散乱線量をみると、いま各散乱体に対して 100kVp での散乱線量を 1 とすれば 160kVp, 180kVp で夫々鉄は 2.5, 2.9倍、

鉛は 3.1, 3.6倍, コンクリートは 1.3, 1.4倍, ベニア板は 1.3, 1.6倍, マウスは 1.2, 1.3倍の散乱線を発する。即ち一次X線の管電圧が高くなるほど各散乱体の散乱するX線量は多くなる。次に鉄の散乱線量を基準にとれば 100kVp では鉛は鉄の 1.4倍, コンクリートは 1.3倍, ベニア板は 1.1倍, マウスは 4.3倍の散乱線を出し, 160kVp では鉛は 1.8倍, コンクリートは 0.7倍, ベニア板は 0.6倍, マウスは 2.1倍であり, 180kVp では鉛は 1.7倍, コンクリートは 0.6倍, ベニア板は 0.6倍, マウスは 1.9倍の散乱線を発することになる。即ち鉄の散乱線量を基準にとれば鉛のX線散乱は各電圧で多いが, 100kVp では 1.4倍, 160, 180kVp の高電圧では約 1.8倍となり, 又マウスは 100, 160, 180kVp で夫々鉄の 4.3倍, 2.1倍, 1.9倍と非常に高い散乱線量をしめしている。コンクリート, ベニア板では散乱線量は 100kVp では鉄の 1.3倍～1.1倍と多く, 160, 180kVp では 0.7～0.6倍と少くなっているが, その比率はマウスと同様に電圧が高くなるほど減少する傾向がある。

総括及び考察

1) scintillation spectrometer を用いて, 治療条件— 100kVp (濾過板: 1.0mmAl), 160kVp (1.0mmCu + 1.0mmAl), 180kVp (1.0mmCu + 1.0mmAl) —でのX線を照射された鉄, 鉛, コンクリート, ベニア板及びマウスの表面からの散乱X線について energy 分析を行つた。又得られた energy spectrum からそれらの散乱線量を概略計算した。

2) 上記の条件で得られた散乱X線の energy spectrum をみると, 鉛の場合はその二次螢光X線 (K-series) を強く散乱するのが特徴である。螢光X線の energy は Moseley の法則によつて被照射体の原子番号が大きくなるとともに大きくなるので, 従つて散乱体の螢光X線よりも高いenergy の一次X線を照射すれば散乱される二次螢光X線の energy は原子番号とともに大きくなる。

鉄とコンクリート, ベニア板並びにマウスの表

面からの散乱線については, 一次X線に比べて高 energy 部の減少が著しい。このことは Compton 散乱によるX線は散乱のためにその energy を失うことから理解できる。しかし物体の表面からの散乱X線の平均 energy (\bar{E}) は一次X線の平均 energy と殆んど変わらないので, 従つてこれらの物質からの散乱線の透過力は一次X線と余り変わらないと言える。

3) energy spectrum から算出した散乱線量は各物質について電圧が上るほど増加する。この結果は Lorentzon, Walstam 等の成績と一致する。

照射一次X線量を同一とした場合に, 各散乱体において 100kVp の場合を基準にとると, マウス, コンクリート, ベニア板, 鉄及び鉛の順に管電圧上昇に伴う散乱線增加率は多くなるが, 特に鉄及び鉛は夫々 180kVp では 100kVp のときの 2.9及び 3.6倍になつておる, その他の物質では 180kVp で 1.3～1.6倍の範囲にある。又鉄からの散乱線量を基準にとると, 100kVp では特にマウスは鉄の 4.3倍と多い。又 160, 180kVp ではコンクリート, ベニア板は鉄よりも少く, 鉛は鉄の約 1.8倍, マウスは約 2.0倍である。

即ちX線室の内壁などの施工に用いるべき散乱線防護物としては約 100kVp 以上の治療条件では鉛よりも鉄の方が有利である。コンクリート, ベニア板に関しては本実験ではその表面附近からの散乱線だけを測定しているので, それらの防護効果の大小は論ぜられない。

マウスからの散乱線量は非常に多いが, 恐らく人体からの散乱線もマウスと同様に多いであろうと推定される。

結論

1) 100, 160, 180kVp の治療条件でのX線照射に伴う諸種物質の散乱X線を scintillation spectrometer で測定した。

2) 鉛の散乱線 spectrum は二次螢光X線が主体である。

3) 鉄及びコンクリート, ベニア板並びにマウスの表面からの散乱線は Compton 散乱を主体

とする。この場合の散乱線 spectrum の平均 energy (\bar{E} KeV) は一次X線のそれと大差ないのは散乱X線の防護上注目すべきである。

4) 得られた spectrum から散乱X線量を概略算出した。

5) 算出した散乱線量は供試散乱体のいずれについても電圧とともに増加する。

6) 鉄に比べてマウスからのX線散乱は明らかに多い。

7) 鉛に比べて鉄の散乱線量は少い。

終りに臨み、当教室前主任立入教授並びに玉木教授に深く感謝の意を表わす。

尚、本報告の要旨は第15回日本医学会総会（放射線

医学分科学）において発表した。

文 献

- 1) 橋詰：日医放誌，14；744（昭和30年）。—2) 橋詰：日医放誌，14；780（昭和30年）。—3) 橋詰：日医放誌，15；50（昭和30年）。—4) L. Lorentzon: Acta Radiol., 41; 201, 1954. —5) R. Walstam: Acta Radiol., 41; 348, 1954. —6) 松沢：日医放誌，13；492（昭和28年）。—7) P.K.S. Wang, R.J. Raridon and R.C. Crawford: Brit. J. Radiol., 30; 151, 1957. —8) B. Lindell: Acta Radiol., 41; 353, 1954. —9) D.V. Cormack, T.J. Griffith and H.E. Johns: Brit. J. Radiol., 30; 130, 1957. —10) D.V. Cormack, W.E. Davitt, D.G. Burke and E.G. Rawson: Brit. J. Radiol., 31; 565, 1958. —11) Radiological Health Handbook. (PB report), p 140, 1957.

Measurement of the X-ray Spectrum with Scintillation Spectrometry (II. Scattered X-rays)

By

Chikara Takei

Department of Radiology, Nagasaki School of Medicine
(Director: Prof. M. Tamaki)

By means of a scintillation spectrometer described in the report I, the author has measured the energy spectra of x-rays scattered from the surfaces of lead, iron, concrete, plywood and mouse which were irradiated with 100, 160, 180 kVp x-rays from tungsten target. Corrections of the measured distributions have been made as in the report I and corrected spectra are shown in Figs. 3-7.

The scattered rays from lead consist principally of secondary fluorescent radiation and those from iron, concrete, plywood and mouse are mainly due to Compton effect, the average energy of x-rays scattered from the surfaces of iron, concrete, plywood and mouse is about the same as that of primary radiation.

From the obtained spectra the author has calculated the scattered x-rays doses, which increase as the tube voltage of primary radiation increases. Scattering from iron is smaller than that from lead or mouse.