

Title	写真フィルムによる高エネルギーX線の線量分布測定法の再検討
Author(s)	尾内, 能夫; 都丸, 禎三; 入船, 寅二 他
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1972, 31(11), p. 1224-1235
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/18850">https://hdl.handle.net/11094/18850</a>
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

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

Osaka University

# 写真フィルムによる高エネルギー X 線の 線量分布測定法の再検討

癌研究会癌研究所第 6 研究室 (物理)

尾 内 能 夫 都 丸 禎 三  
入 船 寅 二 内 田 勲

(昭和46年10月23日受付)

Reconsideration on photographic method for measuring dose distribution  
of high energy x-rays

by

Yoshio Onai, Teizo Tomaru, Toraji Irifune and Isao Uchida

Department of Physics, Cancer Institute, Tokyo

---

Research Code No.: 203

---

Key Words: Film Dosimetry,  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$  rays, Linac X-rays

---

It is well known that photographic films can be used for dosimetry of high-energy x-rays, but fail for depth dose measurements due to high sensitivity of the film to the low-energy scattered radiation. However, the quantitative difference in the relative response between the film and ionization chamber in a phantom is not well known. Quantitative comparison was made on the chamber and film for the depth dose measurement of  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$ -rays, and 4.3 and 10 MV x-rays using Kodak Industrial Type M film (double emulsion) and Fujilith Contact film (single emulsion). The results obtained are as follows:

(1) The energy dependence of Fujilith Contact film is smaller than that of Kodak Type M film.  
 (2) For Kodak Type M film, the photographic percentage depth doses obtained with film parallel to the incident beam are higher than those with the film perpendicular to it, since there is a difference in the angular dependence of the film between shallow and deep depth in the phantom (as shown in Fig. 3). However, Fujilith Contact film did not show such a difference.

(3) As compared with ionization chamber measurements, photographic films indicate somewhat higher depth dose at considerably greater depths in the phantom, particularly for a large field (as shown in Fig. 5).

(4) When the field size is less than  $5 \times 5$ ,  $10 \times 10$ , and  $15 \times 15$  cm for  $^{60}\text{Co}$ , and 4.3 and 10 MV x-rays, respectively, the difference in the relative doses measured with film and chamber is less than 10% and/or the difference in the distance between isodose curves with film and chamber is less than 5 mm in the region of greater than 15% of the dose at the peak.

(5) In the case of multiple field or moving field of high-energy x-rays, the photographic method is suitable for the region of greater than 50% of maximum dose (as shown in Table 2). However, it is necessary to use the ionization chamber method besides the film method for the single field and the lower dose level of multiple field.

I. 緒 言

高エネルギーX線では散乱線量が少ないことから、エネルギー依存性の大きい写真フィルムを深部線量の測定に用いても誤差は少ないといわれている。しかし、その程度を明らかにした報告は少ない。

Hine<sup>7)</sup>はエネルギー依存性の原因となる乳剤中で生じた光電子の量がコンプトン効果による反跳電子に比べて著しく減少する400kVから2,000kVのX線では、写真フィルムを用いて正確な線量測定ができると述べている。しかし、高エネルギーX線でも散乱体内ではコンプトン効果によりエネルギーの低い散乱線が混在しているから、写真フィルムのエネルギー依存性が問題となる。

Mauderliら<sup>12)</sup>およびStanton<sup>18)</sup>は同じ種類の写真フィルム(Kodak M)を用いて、<sup>60</sup>Co γ線の深部線量を測定し、結果を電離箱による値と比較している。それらによると、照射野の内外共に電離箱による値とかなり大きな相違が認められる。しかし、定量的には両研究者の結果は一致していないので、その理由を明らかにしたい。

最近、等黒化度曲線自動描画装置<sup>2)10)18)17)19)21)</sup>の開発により、フィルムによる線量分布の測定が容易になり、その利用度も高くなってきたが、測定精度を過信すると危険である。<sup>60</sup>Co γ線、4.3MV X線および10MV X線についてフィルム法と電離箱法による線量分布測定値を比較して、フィルム法の適用範囲を定量的に検討した。

II. 実験方法及び結果

フィルムは両面乳剤のKodak Mと片面乳剤のFujilith Contactフィルムを用いた。線量—黒化度曲線作成用の標準フィルムは250kV(HVL 2.0mmCu) X線では黒紙に包み、<sup>60</sup>Co γ線、4.3MV X線および10MV X線ではそれぞれ0.5cm、1cmおよび2.5cmの2枚のアクリル樹脂板の間に黒紙に包んだものをはさみ、線束に垂直に照射した。

深部線量測定の場合にはフィルムを2枚の黒紙の間にはさみ、MixDPファントム<sup>14)</sup>中に挿入して、線束に対し平行(以下平行フィルム)および

垂直(以下垂直フィルム)の2方法で照射した。

フィルムの現像は実験2以外は自動現像機(Kodak M III型の改良型)を用い、深部線量測定フィルムの現像の前後に標準フィルムの現像を行なつて比較処理した。現像条件はKodak Mでは全処理時間16分、現像時間4分52秒、現像温度25°Cであり、Fujilith Contactでは全処理時間4分10秒、現像時間1分16秒、現像温度31°Cである。現像液は富士自現用RDを使用した。

黒化度はJoyce-Loebl社製のMicrodensitometer MK III Cにより直径0.45mmの光束を用いて測定した。

出力線量はBaldwin-Ionexの6mmφ×24mmの電離箱で測定した。これの水に対するrad/R換算係数(高エネルギーでは<sup>60</sup>Coで校正)として、250kV X線0.95<sup>9)</sup>、<sup>60</sup>Co γ線0.95、4.3MV X線0.94、10MV X線0.93を採用した<sup>9)</sup>。曝射線量はこれらの値から求めた水中での吸収線量で表わす。電離箱による深部線量測定にはIonexの6mmφ×6mmの電離箱を用いた。

その他の条件については各実験の項で述べる。

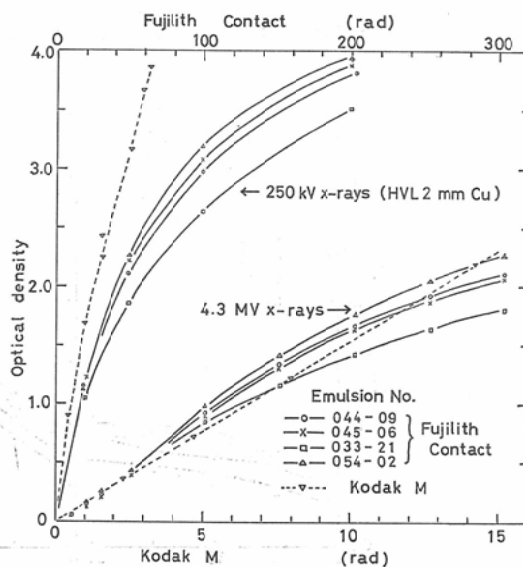


Fig. 1. Comparison of dose-density curves of Kodak Type M and Fujilith Contact film obtained with 250 kv and 4.3 MV x-rays

### 1. 写真フィルムのエネルギー依存性

Fig. 1に、乳剤番号の異なる4種類の Fujilith Contact および Kodak M の 250kV X線と 4.3 MV X線に対する線量—黒化度曲線を示した。Fujilith Contact の同一乳剤番号のフィルムでは同一黒化度となる線量に5%以上の相違はみられなかつたが、乳剤番号が異なると同時現像しても±20%以上の相違が認められる。Kodak M については実験していない。

4.3MV X線に対する感度は黒化度1.5のあたりで、Kodak M は Fujilith Contact の約20倍である。250kV X線の4.3MV X線に対する感度の比は、黒化度1.5のあたりで Fujilith Contact では約6、Kodak M では約11で、Fujilith Contactの方が Kodak M よりエネルギー依存性が少ない。 $^{60}\text{Co}$   $\gamma$  線および10MV X線に対する感度と4.3MV X線のそれとは5%の誤差範囲で一致した。

### 2. 現像時間の深部線量測定値への影響

Dudley<sup>4)</sup> は低エネルギー電子線で感光したフィルムの現像の進行度は高エネルギーよりやや遅いことを報告している。この事実から、深さにより電子のエネルギースペクトル<sup>5)</sup> が異なる深部線量

を写真フィルムを用いて測定する場合に、現像時間を変えるとエネルギー依存性が変化することが考えられる。Kodak M を用いてこの影響をしらべた。

$^{60}\text{Co}$   $\gamma$  線、SSD 50cmを用い、照射野5×5、10×10、および20×20cmに対して平行フィルムについて測定した。新鮮な Konidol X 現像液を用いて、皿現像を行なつた。現像時間は1分15秒、2分30秒、5分、10分および20分で、標準曝射フィルムと同時現像をした。

Fig. 2に各現像時間で求められた深部線量を電離箱との比を縦軸に、深さを横軸にとつて示した。現像時間が5分以下ではすべての照射野の各深部について現像時間による相違は5%以下である。10分以上では照射野が大きくなるほど、また深さが大きくなるほど現像時間による相違が大きくなり、20×20cmの20cm深部では5分現像と20分現像とで12%の相違である。

尚、同一線量与えた場合の黒化度と現像時間の関係は現像時間5分までは現像時間の対数に比例して黒化度が大きくなり、それ以上の現像時間ではその傾きが急となる。

### 3. 中心軸上の深部線量

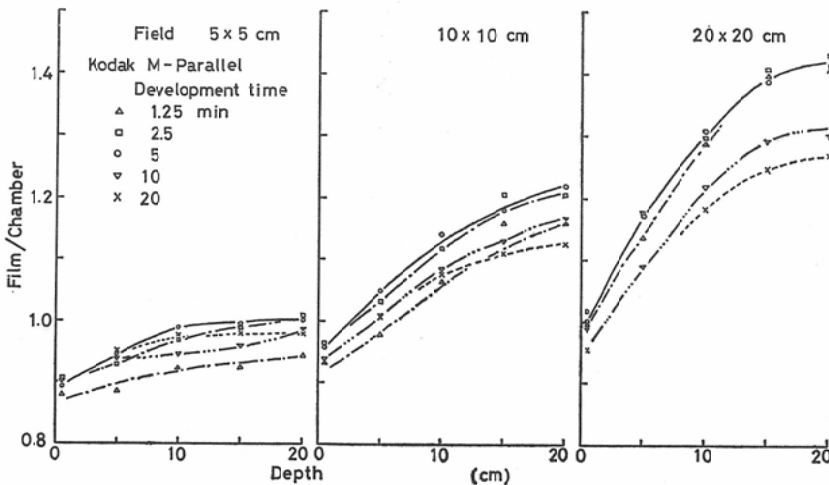


Fig. 2. Ratio of central axis depth doses measured with Kodak Type M Film to those with ionization chamber for  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$ -rays at SSD 50 cm

(a)  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$  線

東芝R I 140型  $^{60}\text{Co}$  遠隔照射装置を用い、S S D 50cm, 表面での照射野  $5 \times 5$ ,  $10 \times 10$ ,  $15 \times 15$  および  $20 \times 20$  cmの深部線量を Kodak M および Fujilith Contact を用いて測定した。次の項で述べる照射野外の線量分布も同じフィルムで得られたものである。

Kodak M の垂直および平行フィルムより得た中心軸深部線量を比較すると、10cmより深い部分ではいずれの照射野でも両者は5%の誤差範囲で一致している。しかし、それより浅い部分では平行フィルムによる測定値が垂直フィルムのそれより低い。この相違は浅いほど大きく、また小照射野ほど大きい。  $5 \times 5$  cmの0.5cm深部では10%以上である。

Fujilith Contact の垂直および平行フィルムによる測定値はいずれの照射野でも5%以内の相違である。平行フィルムの方が僅か低い値を示すが、Kodak M のように浅いところで大きな方向依存性を示すことはなかつた。Fig. 3に結果を示す。

Fig. 4に電離箱による測定値に対するフィルムによる値の比を示した。0.5cm深部の測定値はKodak M の平行フィルムの値を除けば、フィル

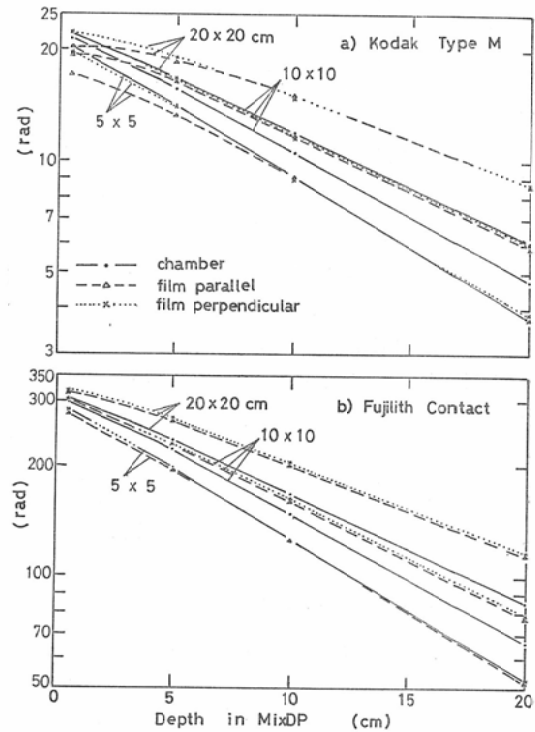


Fig. 3. Comparison of depth dose curves obtained with ionization chamber and photographic films for  $5 \times 5$ ,  $10 \times 10$ , and  $20 \times 20$  cm  $^{60}\text{Co}$ -fields at SSD 50 cm

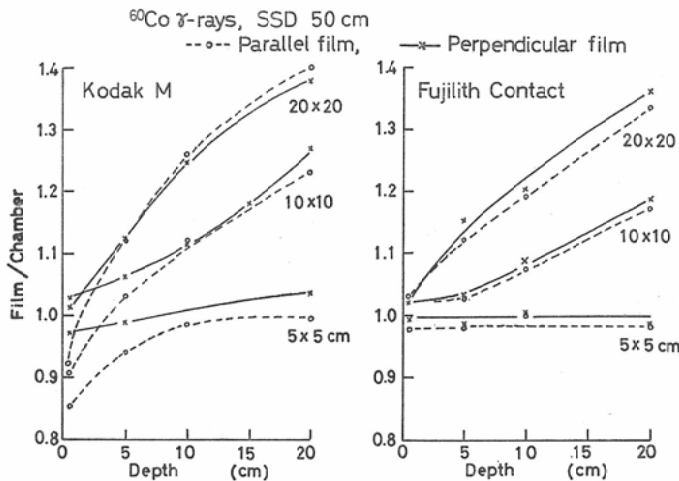


Fig. 4. Ratio of central axis depth doses measured with photographic films to those with ionization chamber for  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$ -rays at SSD 50 cm

ムと電離箱との相違は3%以内であるが、深くなるとその相違が次第に大きくなる。また、小照射野より大照射野が、Fujilith Contact より Kodak Mが大きい相違を示している。

測定値を0.5cm深部を100とした深部量百分率で表わして電離箱との「比」とすると、0.5cm深部の線量評価が低いKodak Mの平行フィルムの誤差はFig. 4に示す値より更に10%程度大きくなる。

#### (b) 4.3MVおよび10MV X線

Mullard 社製 Linac による4.3MV X線および東芝製 Linac による10MV X線を用いた。いずれもSSD85cm, 照射野は線源から100cmの点の大きさで、5×5, 10×10, 15×15および20×20cmである。フィルムはFujilith Contactの平行フィルムのみを用いた。4.3MV X線を用いて、4種の乳剤番号のフィルムについて測定したが、1cm深部を100とした深部量百分率で比較すると、中心軸上も照射野外も±5%以内の誤差であった。

最大値を100とした深部量百分率の測定結果を電離箱による値に対する「比」でFig. 5に示した。4.3MV X線と10MV X線では、10MV X線の方がこの「比」が僅か小さい。15cm深部までは深さと共に「比」が大きくなるが、それを超えると増加の割合がゆるやかとなり、25cm以上の深部ではかえって小さな値を示す。<sup>60</sup>Coによる結果も示してあるが、この傾向はLinac X線より小さく、深いところではLinac X線より「比」が大きい。<sup>60</sup>CoとLinac X線では照射野がそれぞれ表面と15cm深部をとつてあるので、対等な比較にならないが、同じ深さで同じ照射野に換算すると<sup>60</sup>Coの方が「比」が僅か大きい。

#### 4. 照射野外の深部線量

##### (a) <sup>60</sup>Co γ線

照射野外では平行と垂直フィルムの線量測定値は、Kodak MおよびFujilith Contact共によく一致している。Fig. 6に照射野10×10cmの空气中、5cmおよび20cm深部の測定結果を示した。低線量域ではエネルギー依存性の大きいKodak M

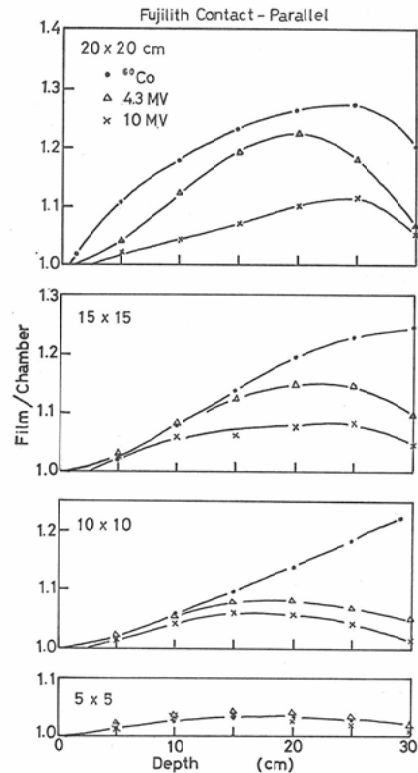


Fig. 5. Ratio of central axis percentage depth doses measured with photographic film (Fujilith Contact-parallel film) to those with ionization chamber for <sup>60</sup>Co γ-rays, and 4.3 MV and 10 MV x-rays. <sup>60</sup>Co: SSD 50 cm, field at surface, 4.3 MV: SSD 85 cm, field at 100 cm, 10 MV: SSD 85 cm, field at 100 cm.

の方がFujilith Contactより僅か多い線量を示している。電離箱と比較すると、空気中では殆んど相違がないのに、ファントム内では散乱線のために深いところほど相違が大きくなっている。

0.5cm深部を100とした深部量百分率で電離箱と比較すると、Fujilith Contactでは照射野10×10cmの20%領域までは等線量点で4mm以内の相違である。しかし、Kodak Mの平行フィルムでは、0.5cm深部において電離箱より低い線量が得られるので、深部量百分率で等線量点を見ると、20%領域が10mm以上の相違となる。Fig. 7に10×10cmについてのFujilith ContactおよびKodak Mの平行フィルムによる等線量曲線を電離箱による結

<sup>60</sup>Co SSD 50 cm, Field 10 X 10 cm

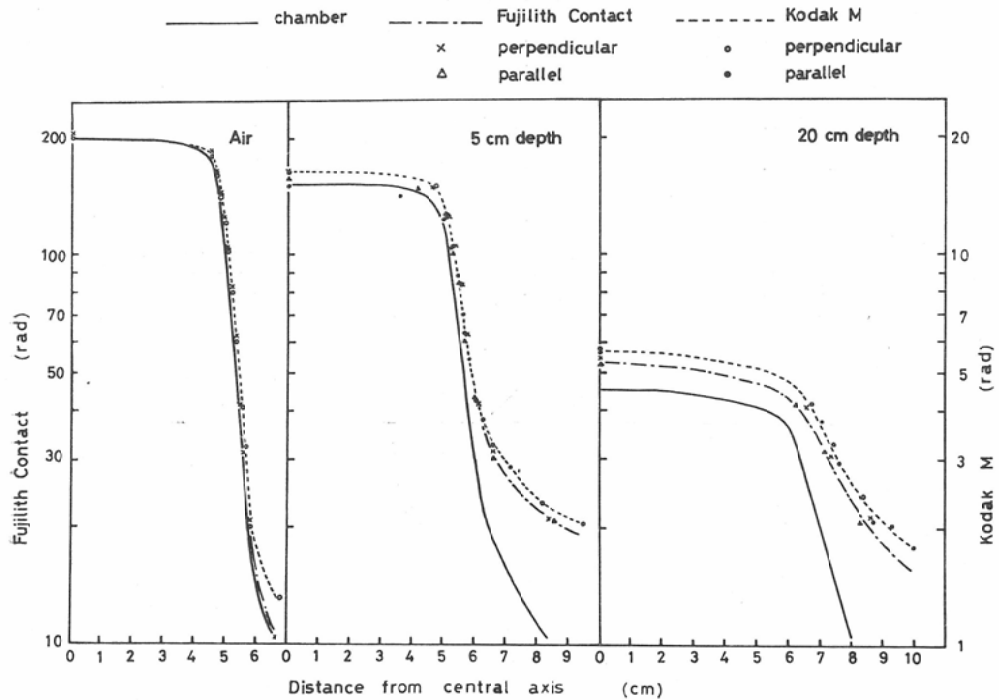


Fig. 6. Comparison of dose distributions obtained with ionization chamber and photographic films for 10x10cm <sup>60</sup>Co-field at SSD 50 cm

<sup>60</sup>Co source 2 cmΦ, SSD 50 cm, SDD 35 cm, Field 10 X 10 cm

Fujilith Contact, parallel

chamber

Kodak Type M, parallel

chamber

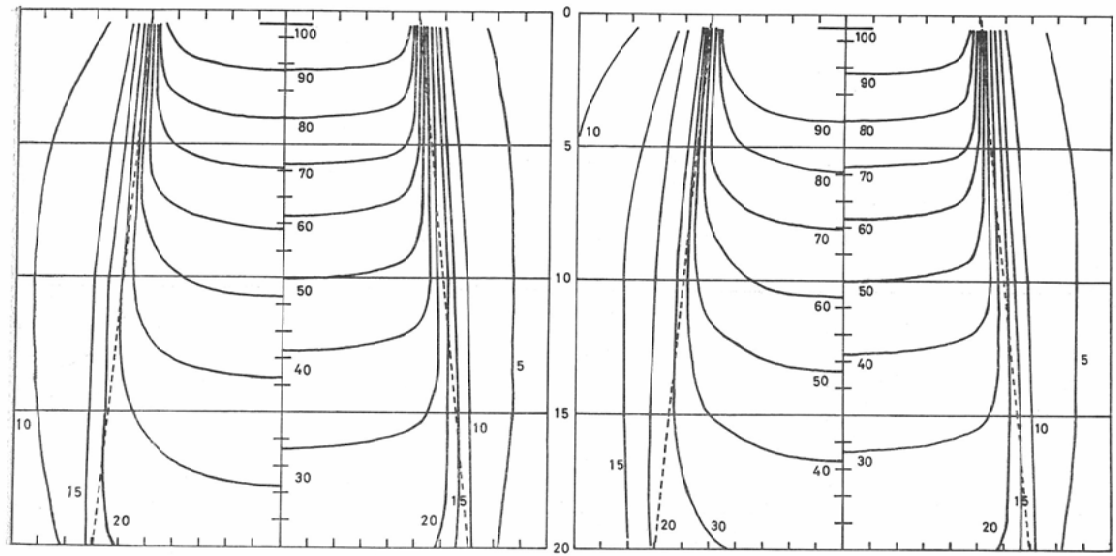


Fig. 7. Comparison of isodose curves obtained with ionization chamber and photographic films for 10x10 cm <sup>60</sup>Co-field at SSD 50 cm

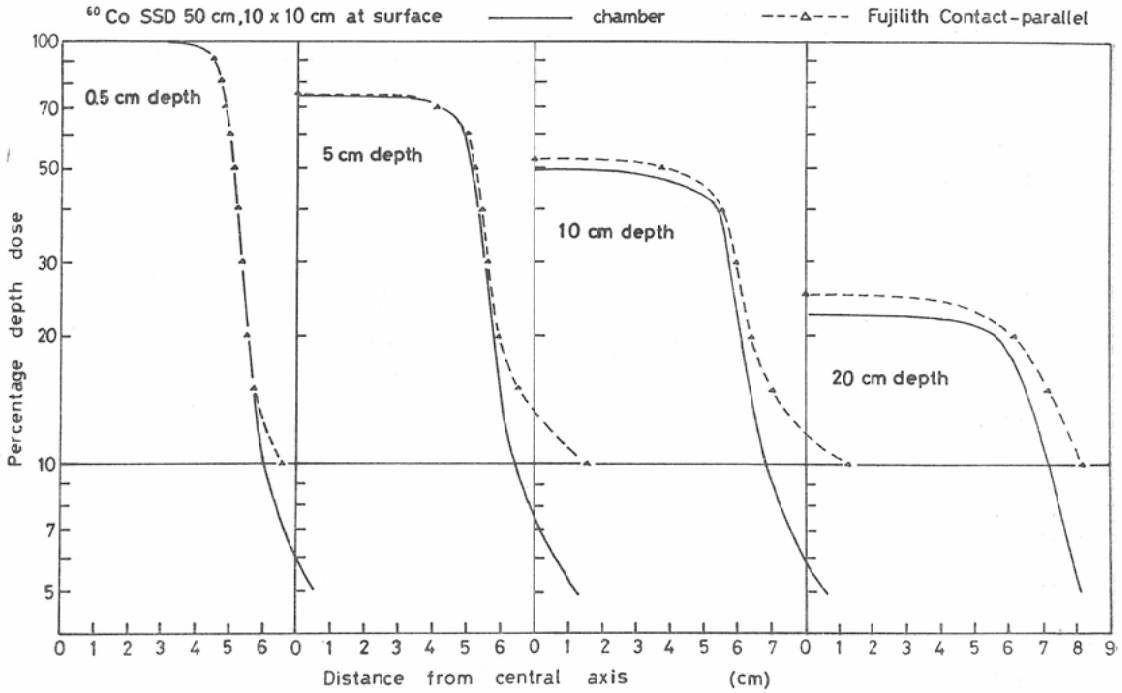


Fig. 8. Comparison of dose distributions obtained with ionization chamber and photographic film for  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$ -rays 4.3 MV x-rays SSD 85 cm, 10 x 10 cm at 100 cm

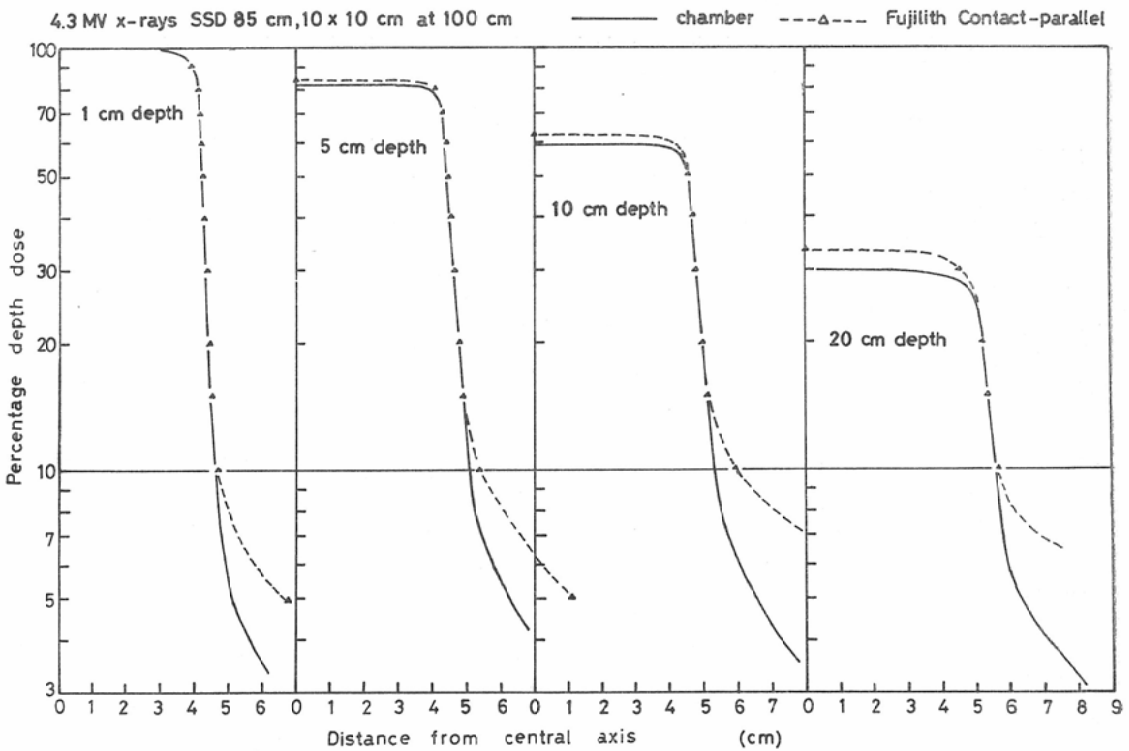


Fig. 9. Comparison of dose distributions obtained with ionization chamber and photographic film for 4.3 MV x-rays



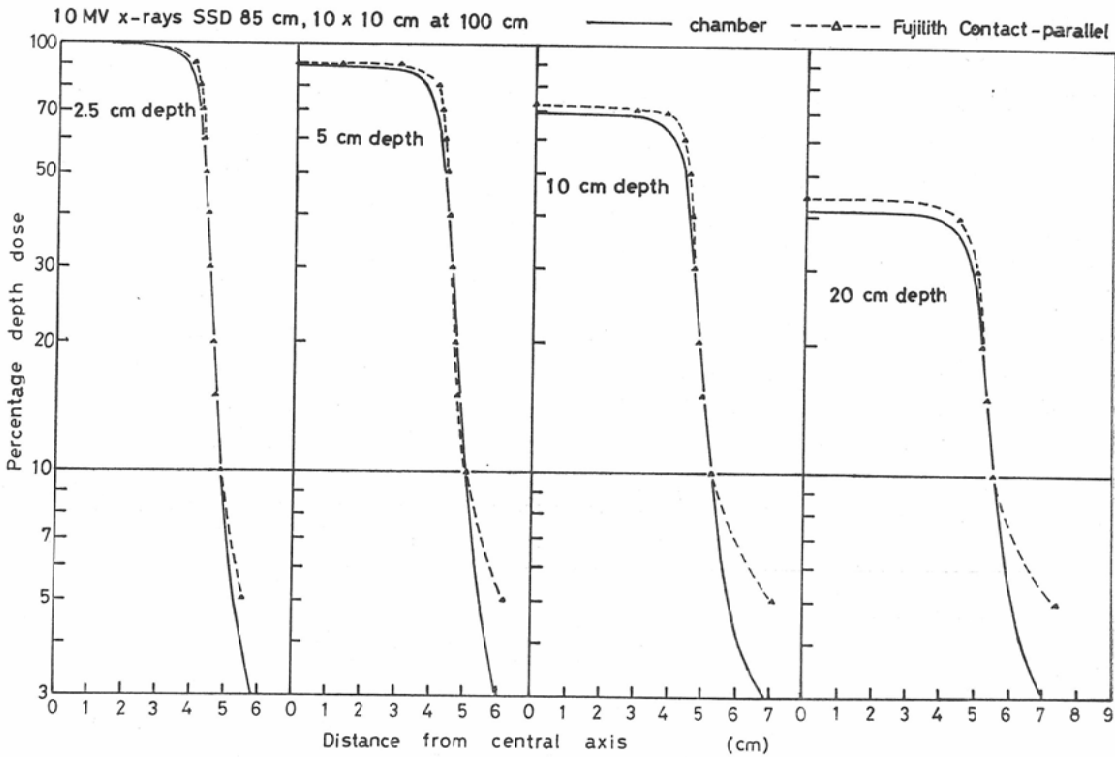


Fig. 10. Comparison of dose distributions obtained with ionization chamber and photographic film for 10 MV x-rays

Table 1. Displacement error of isodose curves outside geometrical field for single fields obtained with Fujilith Contact film relative to those with ionization chamber (in mm)

Percentage depth dose	<sup>60</sup> Co		4.3 MV						10 MV																	
	Field at surface		Field at 15 cm depth						Field at 15 cm depth																	
	5 × 5	10 × 10	5 × 5	10 × 10	15 × 15	5 × 5	10 × 10	15 × 15	5 × 5	10 × 10	15 × 15															
	Depth (cm)		Depth (cm)						Depth (cm)																	
	5	10	20	5	10	20	30	5	10	20	30	5	10	20	30											
50	0	—	—	1	—	—	0	0	—	—	0	0	—	—	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	—	—
30	0	0	—	1	3	—	0	0	—	—	0	0	—	—	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	—
20	0	0	—	2	4	4	0	0	0	—	0	0	—	—	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2
15	0	1	0	4	8	6	0	0	0	—	0	0	0	—	3	8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	2	0	20	25	10	0	0	0	0	2	6	0	0	20	30	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	13	18	3	>30	>30	>30	3	5	0	0	25	>30	>30	7	>30	>30	>30	25	0	0	0	0	7	12	14	3

<sup>60</sup>Co : S S D 50 cm, S D D 35 cm, source 2 cmφ ; 4.3 MV : S S D 51 cm, S S D 85 cm, source 0.5 cm ; 10 MV : S S D 85 cm, S D D 50 cm, source 0.4 cm

果と比較して示した。

(b) 4.3MVおよび10MV X線

Fujilith Contact の平行フィルムのみを用いた。Fig. 9 および10にそれぞれ 4.3MV および10MV X線の結果を電離箱による値と比較して示した。照射野は10×10cmで、最大値を 100とした深部量百分率で比較してある。照射野外の線量を比較すると、4.3MV X線では最大値の線量の15%まで、10MV X線では10%まで電離箱による値と一致している。Fig. 8に <sup>60</sup>Co による結果を示したが、<sup>60</sup>Co では5 cm深部より浅いところでは20%領域まで電離箱による値と一致しているが、それ

より深いところではいずれの線量域でも電離箱による値と相違している。これは、<sup>60</sup>Co の方が Linac X 線より散乱線が多いことと、<sup>60</sup>Co では半影が大きいので曲線の傾きがゆるやかであるために、散乱線の感度が高いフィルムの曲線とそれより低い感度の電離箱の曲線の分離がよいことに原因している。

Table 1 に、最大値を 100として表わした等線量曲線のフィルムによる値と電離箱による値の等線量点の位置の相違を示した。5 mm以内の誤差で測定できる範囲は、4.3MV X線では照射野5×5 cmで5%、10×10cmで15%、15×15cmで20%の

Table 2. Error of dose distributions for multiple fields obtained with Fujilith Contact film relative to those with ionization chamber

	Fixed field								Moving field							
	Field at reference point	Percentage depth dose	2-fields in opposition		2-fields at 90°		3-fields at 120°		120°		180°		240°		360°	
			A %	B mm	A %	B mm	A %	B mm	A %	B mm	A %	B mm	A %	B mm	A %	B mm
<sup>60</sup> Co γ-rays	6×6	100~80	< 5		< 5		< 5		< 5		< 5		< 5		< 5	
		50	< 5		< 5		< 5		< 5		< 5		< 5		< 5	
		30	< 5		6	4	10	1	7	2	5	3	5	2	< 5	
		10	60	20	50	15	40	15	40	12	—	—	—	—	—	—
	12×12	100~80	< 5		< 5		< 5		- 6		- 6		- 5		< 5	
		50	20	2	10	3	10	2	8	3	6	3	6	2	—	—
		30	50	5	20		20		20		20		25		—	—
		10	100		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4.3 MV X-rays	5×5	100~80	< 5		< 5		< 5		< 5		< 5		< 5		< 5	
		50	< 5		< 5		< 5		< 5		5	3	5	3	< 5	
		30	< 5		< 5		7	2	10	15	10	20	10	15	10	11
		10	35	10	15	10	25	5	40	15	20	15	25	15	—	—
	10×10	100~80	< 5		< 5		< 5		< 5		< 5		< 5		< 5	
		50	- 5	1	10	3	7	2	< 5		8	7	5	8	< 5	
		30	6	2	20	30	10	10	12	12	12	12	12	6	—	—
		10	80		80	40	70		150		—	—	—	—	—	—
	15×15	100~80	- 7		< 5		< 5		- 8		- 5		< 5		< 5	
		50	-10	2	10	3	10	2	6	5	10	5	7	3	< 5	
		30	10	4	30	35	25	20	8		17	10	20	15	—	—
		10	150		150		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

A: dose error, B: displacement error

Reference point: 10 cm depth at SSD 50 cm for <sup>60</sup>Co and 15 cm depth at SSD 85 cm for 4.3 MV x-rays.

線量域までである。10MV X線では、5×5cmで5%、10×10cmで10%、15×15cmで10%の線量域までである。<sup>60</sup>Coの結果もTable 1に示してあるが、<sup>60</sup>Coでは5×5cmで10%、10×10cmで20%の線量域までである。

5. 多門照射の線量分布

フィルムによる線量分布の解析は多門照射の場合に効果的であるが、その精度が問題である。多門照射では病巣部を100として線量分布を表わすから、線束内の病巣に近い部分の線量はフィルムを用いても電離箱の値とあまり相違しなくなる。特に回転照射では一門の線量分布が少し相違しても合成の線量分布は相違しなくなるから<sup>15)</sup>、フィルム法による誤差も少ないであろう。しかし、低線量域では当然誤差は大きくなる筈で、この点を定量的に検討する。<sup>60</sup>Coと4.3MV X線についてしらべた。

フィルムおよび電離箱で測定した一門照射の等線量曲線を基にして、計算によつて多門照射および回転照射(5度間隔の多門照射)の線量分布を求めて比較した。<sup>60</sup>Co  $\gamma$ 線ではSSD50cmの10cm深部(SSAD60cm)を、4.3MV X線ではSSD85cmの15cm深部(SSAD100cm)を基準点とし、最高線量から80%まで、50%、30%および10%の線量域について線量の最大誤差および等線量点の位置のずれを求めた。多門照射は対向2門、90度2門、120度3門、回転照射は振り角120度、180度、240度および360度である。Fujilith Contactの結果をTable 2に示す。

臨床的に許容できる誤差を少し大きいとは思いますが、線量誤差で10%、等線量点の位置のずれで5mm以内とすると、Fujilith Contactでは50%以上の線量域でこの条件を満足する。照射野が5×5cm以下の場合には一門照射の分布が電離箱と殆んど変りないから、多門照射でも両者の一致はよく、30%線量域までは上記の許容条件を満足する。360度回転では照射野が15×15cmでも50%以上の線量域では5%以内の線量誤差である。

III. 考 察

写真フィルムのエネルギー依存性の主因はX線

と乳剤中の銀およびハロゲンとの相互作用により生じた光電子が乳剤中にそのエネルギーを付与することにある。したがつて、フィルムのエネルギー依存性の大小は、乳剤中のハロゲン化銀の割合および乳剤の厚さに関係する。Kodak Mはベースの厚さ24.5mg/cm<sup>2</sup>、乳剤の厚さは片面3.1mg/cm<sup>2</sup>の両面塗布であり、Fujilith Contactはベース14.5mg/cm<sup>2</sup>、乳剤の厚さは1.2mg/cm<sup>2</sup>で片面塗布であつて、Kodak Mの方が約5倍厚い乳剤が塗布されている。また、ハロゲン化銀はKodak Mは1.65mg/cm<sup>2</sup>、Fujilith Contactは0.6mg/cm<sup>2</sup>である。これらがKodak Mの方がエネルギー依存性の大きい原因である。

フィルムは一般に方向依存性をもつていて、平行フィルムの方が垂直フィルムより感度が低い<sup>17)</sup><sup>20)</sup><sup>21)</sup>。Kodak Mでは表面近くの方が深部より大きな差の方向依存性を示したが、高エネルギー電子線によつても同様の現象が認められる<sup>11)</sup><sup>16)</sup>。この原因は明らかでないが、Fujilith Contactでは認められないことよりフィルムの厚さが関係しているように思われる。

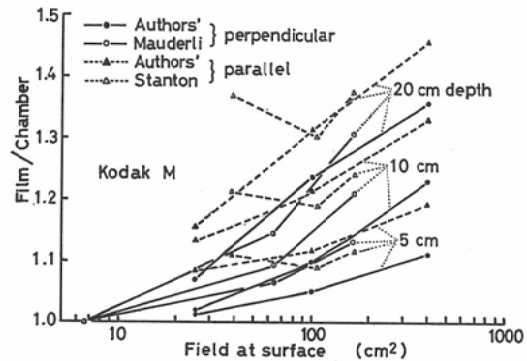


Fig. 11. Comparison of ratios of depth doses by film to ionization chamber for <sup>60</sup>Co  $\gamma$ -rays

Kodak MをKonidol Xを用いて20°Cで現像する場合に、現像時間が5分以上になると大照射野の深いところの現像の進行度が、同程度の線量を照射した標準フィルムよりやや遅れる。Dudley<sup>4)</sup>は低エネルギー電子線で同じ効果を認めている。これらはLETの相違が乳剤中の感光銀粒子の状

態に差異を生ぜしめるものと考えられるが明らかでない。

Kodak M を用いて  $^{60}\text{Co}$  の S S D50cm の中心軸深部量百分率を垂直フィルムで測定した Mauderli ら<sup>12)</sup> の結果を本実験と比較すると Fig. 11 に示したように、最大 6% の相違である。また、S S D70cm の深部線量を平行フィルムで測定した Stanton<sup>18)</sup> の結果と比較すると、照射野 10.2×10.2cm と 12.8×12.8cm ではその相違は 5% 以内でフィルムによる測定誤差の範囲である。6.2×6.2cm の 10cm 深部より深いところでは、Stanton の方が 10% 以上高い値を示しているが、Stanton の値は照射野の小さい方が電離箱との相違が大きくなっているので実験精度に疑問がある。Stanton と Mauderli の結果の相違は平行フィルムと垂直フィルムの相違と考えてよいであろう。

フィルム法でファントム中の深部線量を測定すると電離箱による値より大きくでるのは、散乱線に対する感度がフィルムの方が大きいことによることは明らかであるが、Mauderli ら<sup>12)</sup> は背後散乱によるものが大部分であることを実験的に確めている。著者らも背後のファントムを除いた垂直フィルムで測定すれば、中心軸上の深部線量は 5% 以内で電離箱による値と一致することを再確認した。

Granke ら<sup>5)</sup> は平行フィルムによる中心軸上の黒化度を電離箱による中心軸上の線量によつて校正すれば、精度のよい等線量曲線を得ることができると報告している。フィルム法と電離箱法とで等線量曲線の位置が大きくずれるのは照射野内であつて、照射野外では 20% 線量域までを問題とすれば、5mm 以内でそれほど大きくない。したがつて、中心軸上を電離箱による測定値で補正すれば、精度が著しく向上するのは当然であろう。

Fujilith Contact にこの補正をすると、照射野 10×10cm の  $^{60}\text{Co}$  で 20% 線量域までの等線量点のずれは 2mm 以内となる。

Stanton<sup>18)</sup> は平行フィルムによる測定値の誤差を減少させる方法として、フィルムの両側のファントムの厚さを照射野の幅より薄くして、深部線

量に寄与する散乱線量を減少させる方法を報告している。この方法は測定しようとする照射野の一边の長さを実際の長さと同しくし、他の辺を小さくして散乱線量を減少させているのと同等であるから、原理的に全くの近似法である。したがつて、フィルムの種類と X 線の線質についてファントムの厚さを決める必要がある。 $^{60}\text{Co}$  の場合、Stanton<sup>18)</sup> は Kodak M に対して 1.1cm、恒元ら<sup>21)</sup> はさくら工業用 Type R に対して 2.5cm、重松ら<sup>17)</sup> は Sakura Konilitho Contact Film PA に対し 2.5cm から 5cm を選んでいる。著者らは Fujilith Contact に対し、4.3MV X 線で 6cm を選んだ。

Mauderli, Granke および Stanton の 3 種の散乱線に対する補正法の精度は同程度で、電離箱との一致は 5% が限度であり、10% の誤差を生ずることもある。特に標準曝射フィルムと測定フィルムの現像条件の相違は線量決定に大きな誤差を生ずるから注意が必要である。

多門照射では最大値の 50% 線量域までは電離箱による値と線量で 10%、等線量曲線の位置で 5mm 以内の誤差であることを計算によつて求めたが、実際に X 線を照射した結果についても同様の誤差である。特に 360 度回転照射では電離箱との相違が小さい。これは恒元ら<sup>21)</sup> も認めているところであつて、この理由は「低エネルギーの 2 次電子の影響が、回転中心を中心として、多数の照射野を組み合わせることにより、互に打消し合つたためと考えられる」と述べているが、回転照射では一門の等線量曲線の形が少し相違しても幾何学的照射野の幅が同じであれば、分布に大きく影響しないという事実によるものであつて、低エネルギー 2 次電子とは無関係であろう。

#### IV. 総括および結論

フィルム法では細かい部分の線量分布を容易に知ることができるので、多門照射の分布の解析に有効であるが、エネルギー依存性のために散乱体内の測定値の精度はよくない。 $^{60}\text{Co}$   $\gamma$  線、4.3MV および 10MV X 線についてその精度を検討した。

(1) Kodak M のエネルギー依存性は Fujilith Contact より大きい。

(2) Kodak M では平行フィルムを用いると、浅いところと深いところで方向依存性に差があるので、深部量百分率で表わすと電離箱との相違が垂直フィルムより大きくなる。

(3) 電離箱と比較すると、フィルムの方が深いところで大きな線量を示す。特に大照射野でその相違が大きくなる。

(4) Fujilith Contact を用いて、一門照射の線量分布を最大吸収線量の15%線量域まで、線量誤差で10%以内、または等線量曲線の位置のずれで5mm以内で測定できる照射野は、 $^{60}\text{Co}$   $\gamma$  線で  $5 \times 5$  cm以下、4.3MV X線で  $10 \times 10$  cm以下、10 MV X線で  $15 \times 15$  cm以下である。

(5) 多門照射の50%線量域までを問題にするのであれば、散乱線の補正をしなくても誤差はそれほど大きくない。

(6) しかし、低線量域を問題にすると、どの補正法でも誤差が入るから、電離箱による方法を併用することが必要である。

(7) 特に一門照射の標準の線量分布をフィルム法のみで得ることは絶対にさけるべきである。

この研究は文部省科学研究費の援助により行なわれた。

#### 文 献

- 1) Becker, K.: Fortschr. a.d. Geb. d. Röntgenstrahlen u.d. Nuklearmedizin 95 (1961), 839—847.
- 2) Bogardus, C.R., White, W., and Powers, W.E.:

- Radiology 84 (1965), 735—744.
- 3) Bruce, W.R., and Johns, H.E.: Brit. J. Radiol. 28 (1955), 443—445.
- 4) Dudley, R.A.: Nucleonics 12 (1954), 24—31.
- 5) Granke, R.C., Wright, A.B., Evans, W.W., Nelson, J.E., and Trump, J.G.: Amer. J. Roentgenol. 72 (1954), 302—307.
- 6) Greening, J.R.: Proc. Phys. Soc. (London) B64 (1951), 977—992.
- 7) Hine, G.J.: Amer. J. Roentgenol. 72 (1954), 294—301.
- 8) ICRU Report 14 (1969), p. 9.
- 9) ICRU Report 10b (1962), NBS Handbook 85 (1964), p. 5.
- 10) 小西, 仙貫, 浦橋: 29回日本医学放射線学会抄録集 (1970), 366—367.
- 11) Loevinger, R., Karzmark, C.J., and Weissbluth, M.: Radiology 77 (1961), 906—927.
- 12) Mauderli, W., Gould, D.M., and Lane, J.W.: Amer. J. Roentgenol. 83 (1960), 520—524.
- 13) 野田, 小野, 梅崎: 日本医放会誌, 30 (1971), 1—5.
- 14) 尾内, 楠本: 日本医放会誌, 19 (1959), 1012—1015.
- 15) 尾内, 都丸, 入船: 日本医放会誌, 28 (1968), 178—201.
- 16) 尾内, 都丸, 入船, 内田, 梅垣, 松川: 日本医放会誌, 29 (1970), 10—19.
- 17) Shigematsu, Y., Masaki, N., Hayami, A., Mori, Y., Makino, S., Kurihara, S., and Sano, T.: Nipp. Act. Radiol. 28 (1968), 125—133.
- 18) Stanton, L.: Radiology 78 (1962), 445—460.
- 19) Tatcher, M., Barnea, I., and Loevinger, E.: Brit. J. Radiol. 43 (1970), 664.
- 20) Tochilin, E.: Amer. J. Roentgenol. 73 (1955), 265—271.
- 20) 恒元, 小池, 古川, 楠本, 栗原: 日本医放会誌, 26 (1966), 876—881.