

# 第 9 編 特 殊 撮 影

第 1 章	解 説	内 田 勝	1 頁
第 2 章	運動体の撮影法 (13-1)	佐 藤 長 三 郎	2
	I 運動量の解析	佐 々 木 稔	7
	II 運動効果のレスポンス関数による解析	平 城 実 夫 三 浦 典 夫	
第 3 章	拡大撮影のレスポンス関数と感度 (16-1)	佐 柳 和 男 土 井 邦 雄	13
第 4 章	<sup>193</sup> Ir ラジオグラフィにおける拡大撮影 (16-5)	前 田 頌	20
第 5 章	最大情報量撮影 第 21 報 (高速連続撮影系の空間周波数特性) (18-1)	内 田 勝 山 下 一 也 増 田 一 考 中 西 省 三 伊 藤 慎 弥	30
第 6 章	最大情報量撮影 第 23 報 ( <sup>60</sup> Co Radiography 系の空間周波数特性) (18-2)	内 田 勝 林 田 重 雄 山 本 義 憲	35
第 7 章	同時二方向撮影の検討 第 1 報 (側方散乱の様相) (18-4 a)	林 真 也 山 下 一 司 若 松 孝	39
	同時二方向撮影の検討 第 2 報 (側方散乱の解析) (18-4 b)	内 田 勝 若 山 林 孝 一 段 床 嘉 晴	46
第 8 章	<sup>192</sup> Ir $r$ 線撮影系のレスポンス関数 (15-6)	前 田 頌	55

## 第9編 特殊撮影

### 第1章 解 説

特殊撮影は一般撮影と対向で用いられる言葉である。その内容は一般撮影に含まれない、断層、立体、造影、拡大、近接、間接、動態、映画、同時2方向、連続、高エネルギー撮影等々診断学の進歩と共に増加の一途をたどっている。

本編であつかわれたものはこれらのうち極く一部分であり将来発展の希望がもてる分野である。

特殊撮影の目的は大きく分けて、1)情報源の状態をより判別しやすくする、2)情報源の状態をより正確に再現する、の2つになると思われる。前者には入るものは断層、造影、拡大など、後者に類するものは立体、動態、映画などであろう。

ここで注意すべきことは、この1)、2)の目的はそれぞれ相反する性質をもっているということである。すなわち、情報源の状態をより正確に表現することと、より判別しやすくするということは相入れない矛盾をもっている。より判別しやすくするために、情報源の忠実な再現をある程度犠牲にしていることに注意したい。たとえば、造影撮影では異物の導入による情報源の状態の変化を知っていなければならないだろうし、拡大撮影では拡大による幾何学的な位置の相対的变化を熟知していなければならないだろう。このように、情報源を異なった状態で観察している限り、出力側にとり出された情報量はかなり減少しているはずである。測定には、測定器の挿入によって被測定系の状態が変化しないことが大原則になっている。この場合にもこの原則は適用されるべきである。

最近、カラー写真の試みがなされつつある。これも特殊撮影の部類に属すると思われるが、これらの研究においても、単なる色付き写真の興味から早く脱して、情報源の状態をより正確に再現するという方向に進んでもらいたいものである。

(内田 記)

## 第 2 章 運動体の撮影法

### I 運動量の解析

横浜市大(放) 佐藤長三郎  
佐々木 稔

#### 1. 緒 言

X線写真上、鮮鋭度を低下せしめる因子のうち、撮影部位によって、運動によるボケが無視出来ない場合がある。特に運動速度がある限界以上になるとその影響は著しい。

被写体の動きには、固定不完全による全体的な動きと、体内臓器の生理的な動き(体外からの造影剤注入も含む)の2つに大別出来る。このうち全体的な動きは複雑多岐で再現性がなく、実際問題として、その瞬間速度は非常に大で、撮影時間以外の技術的問題との関連性が大きい。一方生理的な動きの場合、体内では複雑であるが、X線写真的には、再現性のある一平面上の比較的単純な動きとして把握される。

今回は各種撮影部位のうち、単純撮影で最も運動が問題となる乳幼児の胸部をとりあげ、その胸郭内臓器の運動量を測定し、理想的撮影時間について検討した。

#### 2. 運動速度の測定法について

X線写真的な体内臓器の運動量測定法には、映画による方法、直接連続撮影写真による方法、動態撮影写真による方法等考えられる。この中瞬間速度を出す場合は映画法、特に高速度シネにて、振巾とコマ数より割り出す方法が最も適していると思われる。乳幼児の肺野内の運動速度を測定する場合もこの例に洩れないが、各運動点の判読が困難な点で厳密な意味での瞬間速度を出すことはむずかしい。

従来、乳幼児の胸部撮影についての報告は数多くあるが、特に肺野の運動量から撮影時間を論じたものは非常に少ない。更にこれまでの報告では、その肺野内の運動速度について、心臓辺縁の振巾と一周期に要する時間との関係から単に平均速度を算出し、理想的撮影時間について述べられている。

しかし胸郭内臓器の運動は、一般に平均速度ではない。今回は出来るだけ瞬間速度に近い値を出す意味で16ミリシネ、心電図、左心室容積変化曲線等を利用した。

#### 3. 乳幼児胸郭内臓器の運動速度について

初めに5才の正常児について16ミリシネで撮影したものより胸郭内の各部位について運動量を検討した。その結果特に運動量の大きい部位は横隔膜と左心室辺縁で、方向はいつでも辺縁に対してほぼ垂直方向であった。横隔膜では吸気時に、左心室辺縁では左心室収縮時に各々最大速度を有し、左心室辺縁の収縮時の速度( $2.7\text{ mm/sec}$ )が横隔膜吸気時の速度( $1.235\text{ mm/sec}$ )より大きく、最も大であることを確認した。(表-1)

左心室辺縁の最大振巾は、これまで撮影された16ミリシネ及び連続写真より Motion analyzer (nac. No. 68511) 及びノギスを利用して測定した。

横隔膜と左心室辺縁の運動比較

方法：映画法（5才児）

部位	振巾	時間	速度 (mm/sec)
左心室辺縁	6.5 mm	収縮時 0.24 秒	$\frac{6.5}{0.24} = 27$
		拡張時 0.37 秒	$\frac{6.5}{0.37} = 18$
横隔膜	17.0 mm	吸気時 1.37 秒	$\frac{17}{1.37} = 12.4$
		呼気時 1.83 秒	$\frac{17}{1.83} = 9.3$

(表 - 1)

左心室辺縁最大振巾

方法	年齢	振巾
Cine Film (7例)	2才	2.5 mm
	3	3.4
	3	3.7
	4	4.5
	5	6.2
	5	6.5
	5	7.0
連続写真 (2例)	3	3.6
	5	6.8

(表 - 2)

2才で2.5 mm, 5才では最高7 mmであった。  
(表-2)

同年令のものを数多く測定すべきであるが、実際に5才以下で撮影したものの中、測定可能なものは非常に少なかった。

時間については、左心室収縮期に最大速度を有することから、左心室収縮期 (ST interval) を最大振巾に要する時間とした。(図-1)<sup>1)</sup>

$$ST\ intervals = QT - QRS = QT - 2QR$$

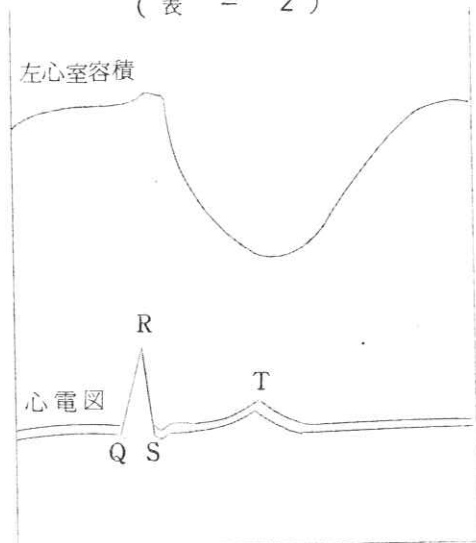
とし

- 5才の平均 Cycle lengths = 0.6 sec
- 3才の平均 " = 0.5 sec
- 6カ月の平均 " = 0.4 sec

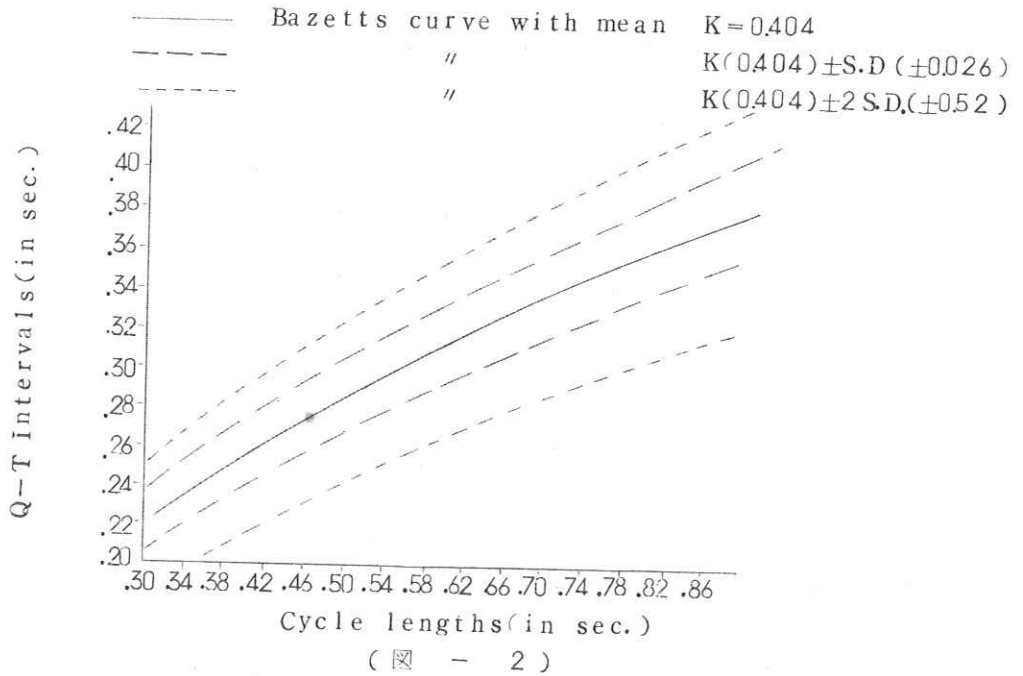
Cycle lengths - QT intervals 相関図(図-2)<sup>2)</sup> 及び QT intervals (表-3)<sup>3)</sup> より

Cycle lengths - ST intervals 相関図(図-3)を作成し、各 Cycle lengths に対する ST intervals を求めた。そこで左心室辺縁の運動速度は先に測定した最大振巾を ST intervals で除した値を最大運動速度とした。

最大運動速度は、2才で14.7 mm/sec,



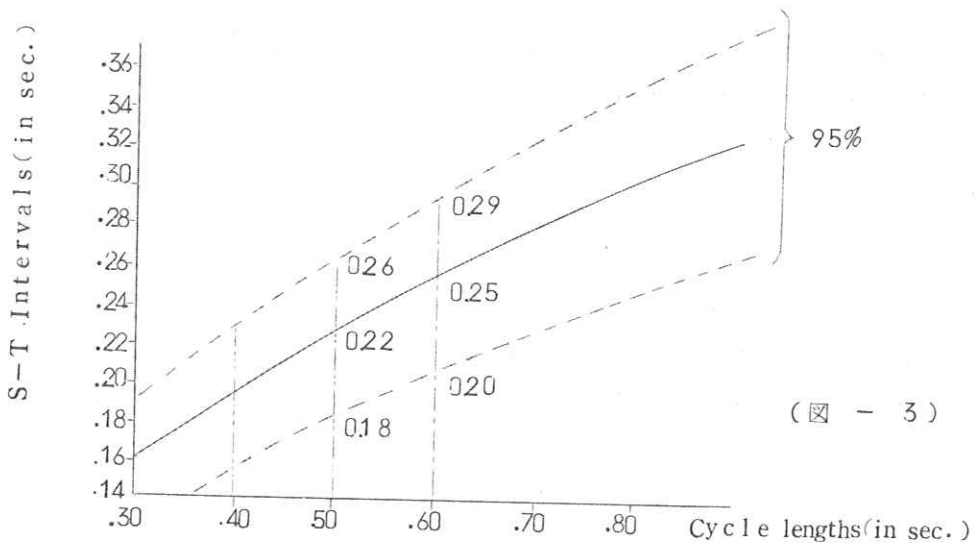
(図 - 1)



"Ventricular Activation Time" in Seconds Average (and Upper Limits of Normal)

LEAD	1/12 ~ 6/12 YEAR	6/12 ~ 1 YEAR	1 ~ 3 YEAR	3 ~ 8 YEAR
V <sub>1</sub>	0.02 (0.03)	0.02 (0.03)	0.015 (0.03)	0.015 (0.025)
V <sub>5~6</sub>	0.025 (0.035)	0.025 (0.04)	0.03 (0.04)	0.03 (0.04)

(表 - 3)



3才で  $20.5 \text{ mm/sec}$  , 5才で  $35 \text{ mm/sec}$  であった。(表-4)

又16ミリシネで求めた5才の正常児の収縮速度と平均ST intervalsより割り出された速度はほぼ一致している。

左心室辺縁最大移動速度

	速	度
最大振巾 ST interval	2才 2.5 mm	$2.5 / 0.21 = 11.9 \text{ mm/sec}$
		$2.5 / 0.17 = 14.7$
	3才 3.7 mm	$3.7 / 0.22 = 16.8$
		$3.7 / 0.18 = 20.5$
	5才 7.0 mm	$7.0 / 0.25 = 28.0$
		$7.0 / 0.20 = 35.0$
映 画 法	5才 6.5 mm	収縮時 = $27.0 \text{ mm/sec}$

(表 - 4)

4. 6才以上の運動速度について

6才以上では一応呼吸停止が可能という前提で呼吸停止時の左心室辺縁の運動速度を表に示す。(表-5)

その運動速度は5才児呼吸児の運動速度に比し小である。これは左心室辺縁の運動は、横隔膜運動が大きく影響していることが伺われる。成人では呼吸時左心室辺縁速度は呼吸停止時速度の約1.5倍である。

左心室辺縁最大移動速度

	年 令	速 度
呼 吸 停 止 時	6 才	$16.8 \text{ mm/sec}$
	7 才	18.2
	12 才	20.5
	26 才	22.5
呼 吸 時	26 才	30.5

(表 - 5)

5. 運動と撮影時間について

一般にX線写真上診断的にそのボケの限界は0.2ミリとされているので単に運動だけを考えた場合の撮影時間を出してみた。(表-6)

ここで運動によるボケを0.2ミリにおさえるためには、3才児で  $\frac{1}{100}$  秒以下、5才児では  $\frac{1}{175}$  秒以下で撮影しなければならないということになる。

運 動 と 撮 影 時 間

運 動 ( $\text{mm/sec}$ )	撮 影 時 間 (sec)	ボ ケ (mm)
14.7 (2才)	1/50	0.3
	1/75	0.2
20.5 (3才)	1/50	0.4
	1/100	0.2
35.0 (5才)	1/50	0.7
	1/175	0.2

(表 - 6)

6. 結 論

5才迄の乳幼児については年齢が増すに従ってその瞬間速度は大になる。それはST interval と相対的にその最大振巾も大きくなるからである。

6才以上については呼吸停止が可能となりそれ程問題にならない。

従来乳児肺野の最大運動速度は

20 mm/sec とし、その理想的撮影時間は  $\frac{1}{40} \sim \frac{1}{100}$  秒といわれていた。<sup>4),5)</sup>

今回の測定結果より乳幼児胸郭内臓器最大運動速度は、3才児で20 mm/sec, 5才児では35 mm/sec となり年齢によりその速度は大きく異なる。又「運動効果のOTFによる解析」の運動のレスポンスカーブよりこの程度の速度になると、他のボケ因子に比し運動効果が支配的に影響する。

心博運動撮影等を利用すればもっと長時間露出でもボケの少ない写真を得ることができる。しかし任意の機会に露出するとすれば、その理想的撮影時間は年齢別に考慮する必要があり、3才児で  $\frac{1}{100}$  秒以下、5才児では  $\frac{1}{175}$  秒以下とすべきである。

## 文 献

- 1) 本川 弘一 生理学(全), p. 274, 南山堂, 昭和32
- 2) Nadas, A. S Pediatric Cardiology, p. 69, Saunders Co., 1966
- 3) Guntheroth, W. G Pediatric Electrocardiography, p. 23, Saunders Co., 1966
- 4) 5) 岡本, 加藤 日本技誌 vol. 13 No. 1, p. 22~23 p. 30, 日本放射線技術学会, 昭和32.

## II 運動効果のレスポンス関数による解析

大日本塗料 平城 実 三浦 典夫

### 1. まえがき

X線撮影部位によっては、被写体の動きによるボケを無視することができない場合がある。しかし、実際に被写体の動き（生理的な臓器の動き、撮影中の体位の変化）については、一般に非常に複雑で捉えにくいものであり、詳細な統計的研究が必要であろう。

今回の報告は、第1段階として被写体の等速直線運動の写真効果についてレスポンス関数によって解析を試みた。

特に、被写体の運動の程度により、増感紙タイプ（FS, MS, HS）の選択言換れば、増感紙FS, MS, HSの感度比を露出時間の比におきかえ、その場合最も鮮鋭度の良くなる、それぞれの増感紙と運動速度および露出時間の関係について理論的計算によって求め、実験によって確かめた。

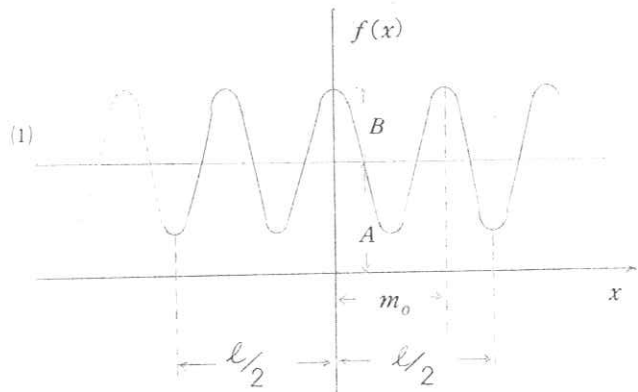
### 2. 被写体の運動のレスポンス関数

被写体の運動の写真効果を空間周波数特性で考えてみることにする。

まず、被写体の運動によりX線のパルスが、第1図に示す如く、次の(1)式で表わされるように、フィルム上に露出されたとすると、

$$f(x) = A + B \cos 2\pi\nu_0 x \quad |x| \leq \frac{l}{2}$$

$$= 0 \quad |x| > \frac{l}{2}$$



第1図 被写体の動きとX線パルス

ここで、 $\nu_0 = 1/m_0$ ,  $l = n \cdot m_0$   
 $n$ : 露出中のパルスの数、また、被写体の運動速度を  $v$ , 単位パルスの断続時間を  $\Delta t$  とすると

$$m_0 = v \cdot \Delta t$$

$$l = v \cdot n \cdot \Delta t \text{ となる。}$$

次に(1)式のフーリエ余弦変換は、

$$F(\nu) = \int_{-\frac{l}{2}}^{\frac{l}{2}} \{A + B \cos 2\pi\nu_0 x\} \cos 2\pi\nu x dx$$

$$= lA \frac{\sin 2\pi\nu(\frac{l}{2})}{2\pi\nu(\frac{l}{2})} + \frac{lB}{2} \cdot \frac{\sin 2\pi(\nu+\nu_0)\frac{l}{2}}{2\pi(\nu+\nu_0)\frac{l}{2}} + \frac{lB}{2} \cdot \frac{\sin 2\pi(\nu-\nu_0)\frac{l}{2}}{2\pi(\nu-\nu_0)\frac{l}{2}} \quad (2)$$



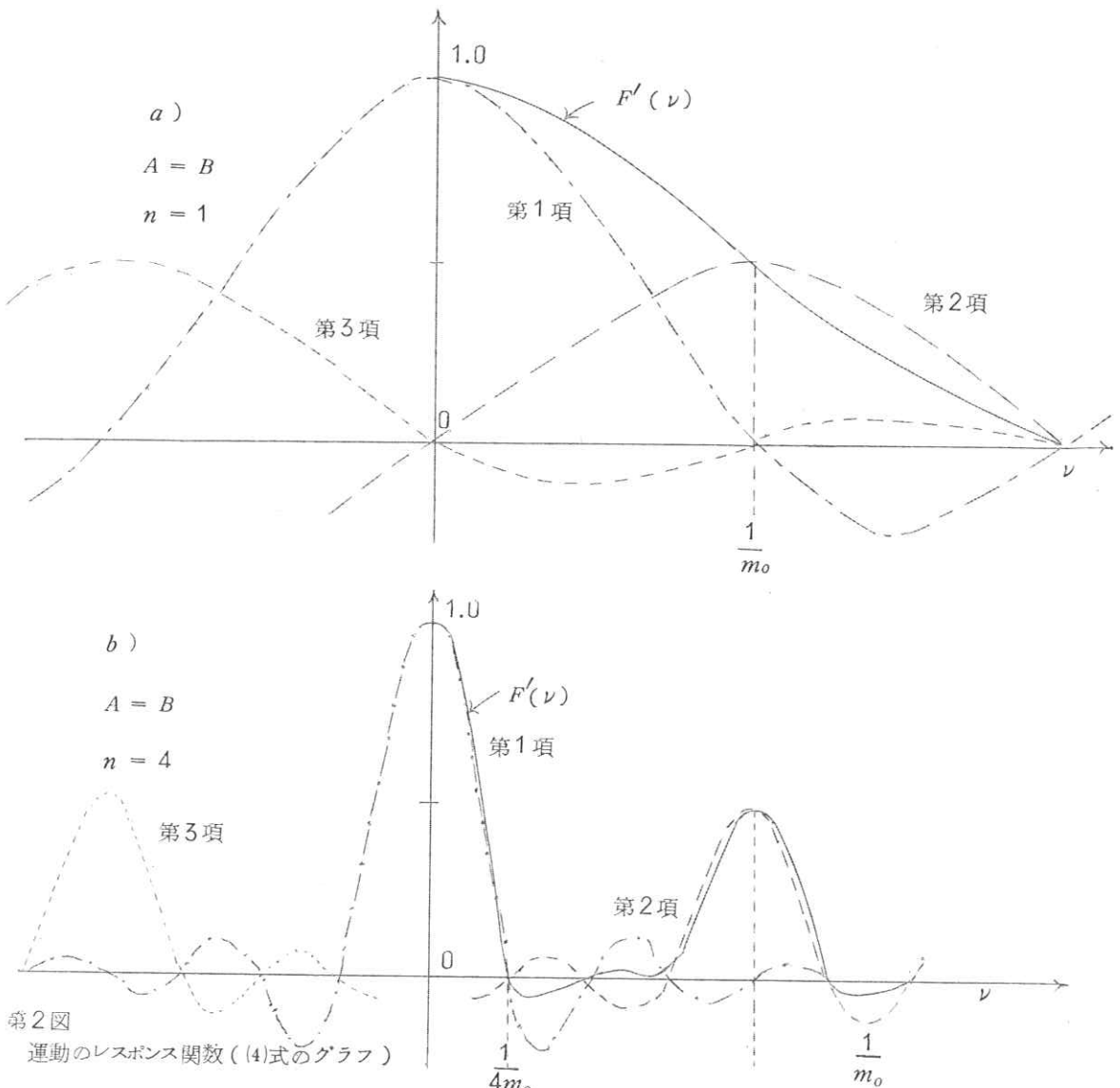
一方(2)式を(3)式で正規化すると

$$\int_{-\frac{\lambda}{2}}^{\frac{\lambda}{2}} \{A + B \cos 2\pi \nu_0 x\} dx = \ell A + \ell B \frac{\sin 2\pi \nu_0 (\frac{\ell}{2})}{2\pi \nu_0 (\frac{\ell}{2})} \quad (3)$$

$$F'(\nu) = \frac{A \sin c \pi \ell \nu + \frac{B}{2} \sin c \pi \ell (\nu + \nu_0) + \frac{B}{2} \sin c \pi \ell (\nu - \nu_0)}{A + B \sin c \pi \ell} \quad (4)$$

が得られる。但し、 $\sin c X = \frac{\sin X}{X}$

この(4)式が、運動のレスポンス関数である。この(4)式を  $A=B$  として、また、露出中の単位パルスの数  $n=1, 4$  についてグラフに示すと、第2-a, b 図の如くである。



この第2-a, b 図から,  $n$  が大きくなれば低空間周波数領域では, (4)式の第1項に十分近似できることが解る。

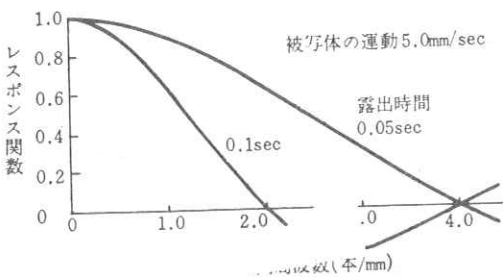
従って,  $n \gg 1$  であるならば ( $n$  は例えば 0.1 sec の露出では 10) (4)式は, 次の(5)式に近似できる。

$$F'(v) \doteq \text{sinc } \pi \ell v = \text{sinc } \pi v t v \quad (5)$$

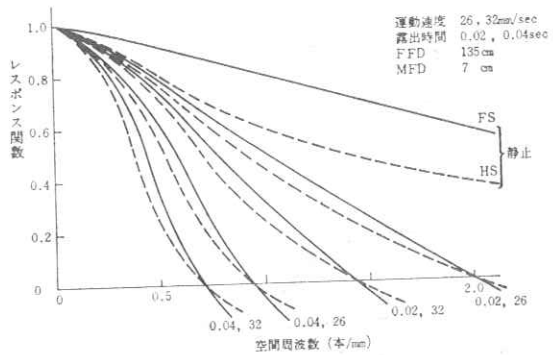
この(5)式に被写体の運動  $v = 5.0 \text{ mm/sec}$ , 露出時間  $t = 0.05, 0.1 \text{ sec}$  を代入して計算すると, 第3図のグラフに示す如くである。

このように等速運動の写真に与える効果は, (5)式のように簡単な関数として考えることができる。

一方, 実際に運動のレスポンス関数は, 鉛矩形波チャートをもーターで等速運動させて, 撮影した写真から測定することができる。この方法で乳幼児胸部撮影での左心室辺縁最大の動き,  $26 \sim 32 \text{ mm/sec}$  について,  $26, 32 \text{ mm/sec}$  で普通で使用される X線装置の最短露出時間 0.02, 0.04 sec で増感紙 FS, HS について実測すると, 第4図に示すごとくであり, 別に計算で求めたものとほぼ一致する。



第3図 撮影時間と鮮鋭度



第4図 運動のレスポンス関数

被写体の運動が大きい場合, (上記の  $26, 32 \text{ mm/sec}$  等),  $0.02 \text{ sec}$  で撮影してもかなり写真の鮮鋭度が著るしく低下することが解る。

### 3. 被写体の運動と増感紙

増感紙のレスポンス関数については, 指数関数によく近似し,

$$F(v)_s = e^{-Av} \quad (6)$$

ここで  $A (\text{mm})$  は増感紙固有の定数で, 増感紙 FS で 0.4, MS で 0.6, HS で 0.8 である。

増感紙および運動のレスポンス関数として(6)(5)式を用いると, これが組合わさった時のレスポンス関数は, 積の形で考えられる。

ここでレスポンス関数の単一評価として, レスポンス関数の面積  $Q$  を用いると

$$Q_{s+m} = \int_0^{\infty} e^{-1v} \operatorname{sinc} \pi v t v dv$$

$$= \frac{1}{\pi v t} \arctan \frac{\pi v t}{A} \tag{7}$$

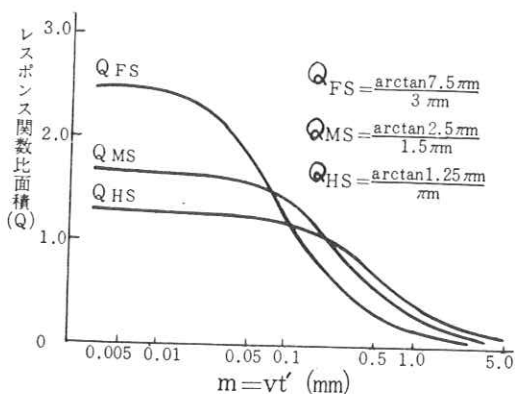
となる。ここで  $FS, MS, HS$  の露出時間は、 $t_{FS} = 3.0 t'$ 、 $t_{MS} = 1.5 t'$ 、 $t_{HS} = t'$  となる。また  $A$  については  $FS$  は  $0.4$ 、 $MS$  は  $0.6$ 、 $HS$  は  $0.8$  として (7) 式を計算すると第 5 図となる。この図の縦軸が大きい程鮮鋭度は良い。

$Q_{FS}, Q_{MS}, Q_{HS}$  と  $m (= v t')$  との関係は、

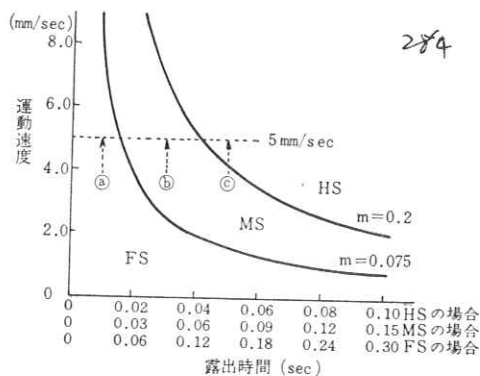
- (1)  $0.075 > m$  では  $Q_{FS} > Q_{MS} > Q_{HS}$
- (2)  $0.11 > m > 0.075$  では  $Q_{MS} > Q_{FS} > Q_{HS}$
- (3)  $0.2 > m > 0.11$  では  $Q_{MS} > Q_{HS} > Q_{FS}$
- (4)  $m > 0.2$  では  $Q_{HS} > Q_{MS} > Q_{FS}$

以上から、(1)の範囲では  $FS$ 、(2)、(3)の範囲では  $MS$ 、(4)の範囲では  $HS$  を使用すると最も鮮鋭度が良くなる。

この結果を図で示すと、第 6 図となる。縦軸に運動速度、横軸に露出時間をとり、 $FS, MS, HS$  のそれぞれの領域で鮮鋭度が他の増感紙より良くなることを示す。



第5図  $m = vt'$  と鮮鋭度



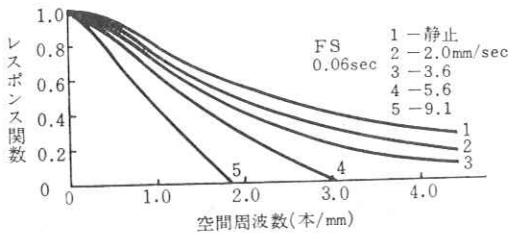
第6図 各増感紙の撮影領域

たとえば撮影しようとする被写体が  $5.0 \text{ mm/sec}$  で動いていることがわかっている時、装置が決まっていれば被写体、装置等の撮影条件から、最小露出時間が  $HS$  を使えば何秒、 $FS$  を使えば何秒と決まってしまう。そこで第 6 図に示す、(a)(b)(c) の 3 つの場合を考えると、(a) の場合は  $FS$  を使って  $0.03 \text{ sec}$  で撮影すると最も鮮鋭度のよい写真が得られる。(b) の場合には  $MS$  で  $0.045 \text{ sec}$ 、(c) の場合には  $HS$  を使って  $0.05 \text{ sec}$  で撮影するのが最も良いことになる。

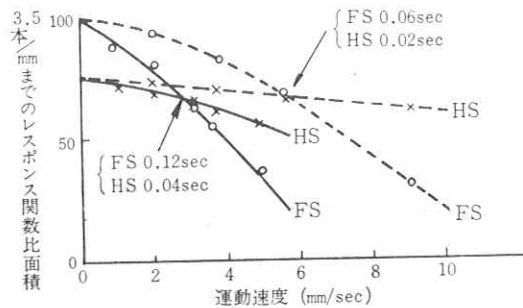
以上のことを、 $FS$  と  $HS$  が逆転する  $m = 0.11$  について実験で求めた。実験方法は第 4 図を求めた時と同じ方法により、チャート移動速度を  $0 \sim 9 \text{ mm/sec}$  で数点とり露出時間を ①  $FS 0.06 \text{ sec}$   $HS$

0.02 sec ② FS 0.12 sec HS 0.04 sec ③ FS 0.18 sec HS 0.06 sec  
 ④ FS 0.24 sec HS 0.08 sec ⑤ FS 0.30 sec HS 0.10 sec の組合せについてそれぞれの運動速度でレスポンス関数を測定した。① の条件について FS の場合を第 7 図に示す。ここでレスポンス関数の単一評価として、計算の場合と同様に面積で評価した。運動速度と鮮鋭度の関係を ①, ② の場合について第 8 図に示す。① の組合せでは、運動速度が  $5.7 \text{ mm/sec}$  までは FS が良く、それ以上の運動速度になると HS が良くなる。② の場合も同様に  $2.7 \text{ mm/sec}$  までは FS が良く、それ以上では HS が良くなる。① ~ ⑤ までについて計算値と実測はよく一致する。第 9 図に運動速度  $3.0 \text{ mm/sec}$  として ①, ⑤ の露出時間の組合せについてチャートの写真を示す。① (第 9-(a) 図) の組合せでは FS が良く、⑤ (第 9-(b) 図) では HS が良い。

このように、撮影の部位および装置容量などにより露出時間に制限がある場合、被写体の動きの程度により HS により露出時間を短縮した方が FS で撮影するより鮮鋭度が良くなる場合がある。高感度増感紙は患者の被曝線量が問題となる場合ばかりでなく以上に述べてきた点からも有効である。



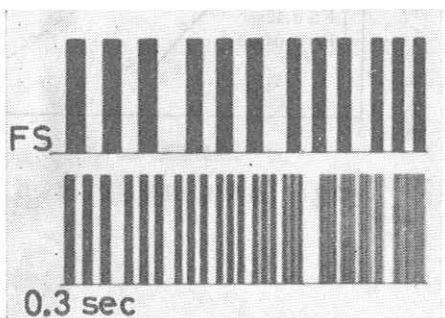
第 7 図 被写体の運動速度とレスポンス関数



第 8 図 被写体の運動速度と鮮鋭度



(a) 被写体の運動 3 mm/sec 露出時間 FS : 0.06sec, HS : 0.02sec



(b) 被写体の運動 3 mm/sec 露出時間 FS : 0.3sec, HS : 0.1sec

第9図 運動と露出時間による増感紙の不鋭

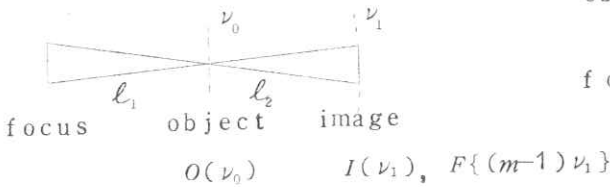
第3章 拡大撮影のレスポンス関数と感度

キャノンカメラ 佐柳和男  
大日本塗料 土井邦雄

§1 緒言

拡大撮影におけるレスポンス関数と感度の関係について、焦点と像変換系のOTFの近似関数を用いて、最適倍率の存在、全OTF曲線の変化などについて計算する。

§2 最適倍率の理論



object の拡大  $m = \frac{l_1 + l_2}{l_1} (\geq 1)$

focus の拡大  $m-1 = \frac{l_2}{l_1}$

第1図 拡大撮影における配置

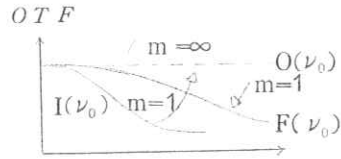
第1図の配置における像面の空間周波数軸上での全OTFは、次式で与えられる。

$$T(\nu_I) = I(\nu_I) \cdot F\{(m-1)\nu_I\} O(m\nu_I) \tag{1}$$

次に、被写体面における空間周波数軸で考えるために  $m\nu_I \Rightarrow \nu_0$  とおくと

$$T_0(\nu_0) = I\left(\frac{\nu_0}{m}\right) \cdot F\left\{\frac{m-1}{m}\nu_0\right\} \cdot O(\nu_0) \tag{2}$$

となる。(2)の結果の  $m$  による各OTFの変化を第2図に示す。



§2.1 Gaussian-Gaussian近似

焦点と像変換系の両者に対してガウス分布を用い

第2図 被写体面の空間周波数軸におけるOTFの変化

$$I_1(\nu) = e^{-2\pi^2\sigma_I^2\nu^2}, \quad F(\nu) = e^{-2\pi^2\sigma_f^2\nu^2} \quad \text{とおく、これを(2)に代入すると、} \tag{3}$$

$$T_{01}(\nu) = \exp\left[-2\pi^2\left\{\left(\frac{\sigma_I}{m}\right)^2 + \left(1 - \frac{1}{m}\right)^2\sigma_f^2\right\}\nu^2\right] \cdot O(\nu) \tag{4}$$

を得る。次に

$$Q_1 = 2\pi^2\left\{\left(\frac{\sigma_I}{m}\right)^2 + \left(1 - \frac{1}{m}\right)^2\sigma_f^2\right\}\nu^2 \tag{5}$$

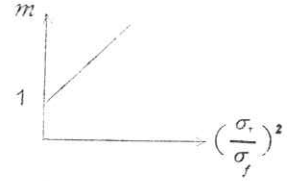
を極小にする  $m$  は,  $\partial Q_1 / \partial m = 0$  から

$$m = 1 + \left(\frac{\sigma_r}{\sigma_f}\right)^2 \quad (6)$$

となる。これを第3図に示す。(6)を(4)に代入すると

$$T_{opt}(v) = \exp[-2\pi^2 \sigma_0^2 v^2] \cdot O(v) \quad (7)$$

$$\frac{1}{\sigma_0^2} = \frac{1}{\sigma_r^2} + \frac{1}{\sigma_f^2} \quad (8)$$



第3図 Gaussian-Gaussian 近似における最適倍率

を得る。

### § 2.2 Gaussian-Exponential 近似

像変換系の要素に対して Exponential 分布を用い

$$I_2(v) = e^{-Av}, \quad F(v) = e^{-2\pi^2 \sigma_f^2 v^2} \quad \text{とおくと}$$

$$T_{02}(v) = \exp\left[-\frac{A}{m}v - 2\pi^2 \left(1 - \frac{1}{m}\right)^2 \sigma_f^2 v^2\right] \cdot O(v) \quad (9)$$

を得る。次に

$$Q_2 = \frac{A}{m}v + 2\pi^2 \left(1 - \frac{1}{m}\right)^2 \sigma_f^2 v^2 \quad (10)$$

を極小にする  $m$  は,  $\partial Q_2 / \partial m = 0$  から

$$\frac{v}{m^2} \left(m - \frac{4\pi^2 \sigma_f^2 v}{A}\right) = 0 \quad (11)$$

である。ここで,  $v_c = A/4\pi^2 \sigma_f^2$  とおくと(11)は

$$m = \infty \quad \text{or} \quad m = \frac{v}{v - v_c} \quad (12)$$

となる。

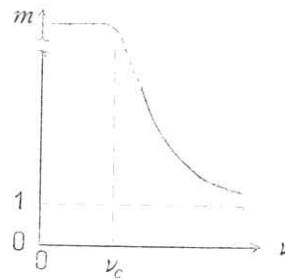
これは optimum が  $v$  に依存することを示している。

これを第4図に示す。

次に(12)を(9)に代入し,  $v = v_0$  ( $v_0 > v_c$ ) で optimum にすると

$$T_{opt}(v) = \exp\left[-\left(1 - \frac{v_c}{v_0}\right)Av - \left(\frac{v_c}{v_0}\right)^2 2\pi^2 \sigma_f^2 v^2\right] \cdot O(v) \quad v_0 > v_c \quad (13)$$

となり,  $v = v_0$  では



第4図 Gaussian-Exponential 近似における最適倍率

$$T_{opt}(\nu_0) = \exp\left[-A\left(\nu_0 - \frac{\nu_c}{2}\right)\right] \cdot O(\nu_0) \quad \nu_0 > \nu_c \quad (14)$$

となる。 $\nu_0 < \nu_c$  では、 $m \rightarrow \infty$  とし

$$T_{opt}(\nu) = \exp\left[-2\pi^2\sigma_f^2\nu^2\right] \cdot O(\nu) \quad \nu_0 < \nu_c \quad (15)$$

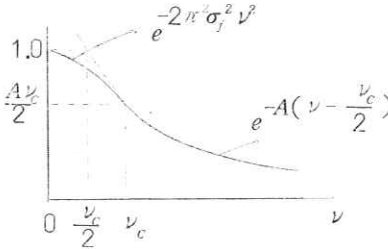
を得る。

$\nu = \nu_0 = \nu_c$  においては、(14) と (15) は、共に

$$T_{opt}(\nu_c) = \exp\left[-\frac{A\nu_c}{2}\right] \cdot O(\nu_c) \quad (16)$$

で一致する。

(14) と (15) を、第5図に示す。



第5図 最適倍率における全OTF値

### § 3. 感 度

感度は、被写体の単位面積あたりの被曝量の逆数に比例すると仮定する。拡大しない時の感度を  $S_0$ 、 $m$  倍拡大の感度を  $S_m$  とすると、

$$S_m = \frac{S_0}{m^2} \quad (17)$$

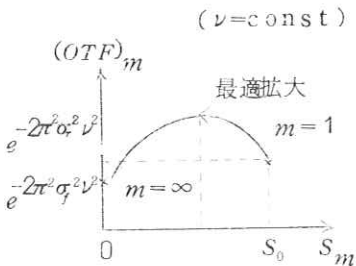
である。

#### § 3.1 Gaussian-Gaussian 近似

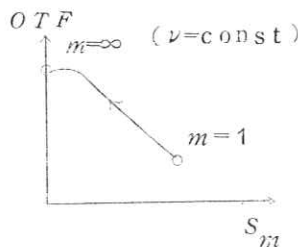
$m$  について、(17)を、§ 2.1の(4)のOTFに代入し、 $O(\nu) = 1$  とおくと

$$(OTF)_m = \exp\left[-2\pi^2\left\{\sigma_r^2 \frac{S_m}{S_0} + \left(1 - \sqrt{\frac{S_m}{S_0}}\right)^2 \sigma_f^2\right\} \nu^2\right] \quad (18)$$

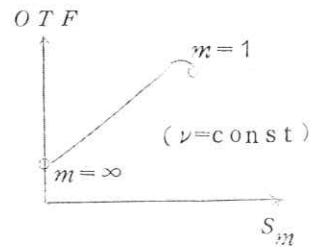
となる。(18)式をもとにして、倍率を変えた時のOTFと感度の関係を定性的に、第6図に示す。最高のOTFを与える $m$ が最適倍率である。第7図と第8図は、マクロラジオグラフィーとマイクロラジオグラフィーの場合を示す。



第6図 拡大率を変えた時のOTFと感度の関係



第7図 マクロラジオグラフィー ( $m$ は1より大きな値に選ばれる)



第8図 ミクロラジオグラフィー ( $m$ はほとんど1に近い値に選ばれる)

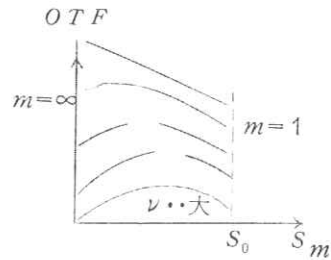


§ 3.2 Gaussian-Exponential 近似

(7)を(9)に代入すると  $O(\nu) = 1$  として

$$(OTF)_m = \exp \left[ -\sqrt{\frac{Sm}{Sm}} A \nu - 2 \pi^2 \left( 1 - \sqrt{\frac{Sm}{Sm}} \right)^2 \sigma_f^2 \nu^2 \right] \quad (19)$$

を得る  $\nu$  をパラメータとして、 $OTF$  と  $Sm$  の関係を、定性的に第9図に示す。



第9図 Gaussian-Exponential 近似における  $OTF$  と  $Sm$  の関係

§ 4. 実 例

§ 4.1 Gaussian-Gaussian 近似

焦点  $\sigma_f$  で、公称焦点  $n$  の時  $n = 3 \sigma_f$  とおく。

I. I. および I I - TV 系 についての概算結果

を下の表に示す。

(1) I. I.  $\sigma_r \sim 0.70 \text{ mm}$

$n(\text{mm})(\sigma_f)$	2(0.67)	1(0.33)	0.5(0.17)	0.2(0.067)	0.1(0.033)	0.05(0.017)
$m_{op}$	2.1	5.4	18	110	440	2200

(2) I. I. -TV 系  $\nu_R \sim 0.77 \text{ L/mm}$   $\sigma_r \sim 1.3 \text{ mm}$

$n(\text{mm})(\sigma_f)$	2(0.67)	1(0.33)	0.5(0.17)	0.2(0.067)
$m_{op}$	4.8	16	62	380

§ 4.2 Gaussian-Exponential 近似 (直接撮影)

次の3つの設問を作り、その返答のグラフを第10図から第14図に示す。

(1)  $m$  が変化すると、 $OTF$  curve は、どう変化するか?

$$\left\{ \begin{array}{l} FS \quad A = 0.4 \text{ mm} \\ 0.2 \times 0.2 \text{ mm}^2 \quad n = 0.2 \text{ mm} \quad m = 1, 1.4, 2, 3.2, \infty \end{array} \right.$$

上の条件における値を、(9)、(19)式から計算した結果を第10図と第11図に示す。

(2) 見たい被写体  $\nu$  が決った時、 $n$  と  $A$  の組み合わせで、 $OTF-Sm$  はどう変化するか?

$$\left\{ \begin{array}{l} FS \quad S_o = 1 \quad A = 0.4 \text{ mm} \quad n = 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3, 0.4, \\ MS \quad S_o = 2 \quad A = 0.6 \text{ mm} \quad 0.8 (\text{mm}) \\ HS \quad S_o = 3 \quad A = 0.8 \text{ mm} \end{array} \right.$$

上の条件における値を(19)式から計算した結果を第12図と第13図に示す。

(3)  $n$  と  $A$  を決めたら、最適の拡大によって、被写体はどこまで見えるか?

解像力  $\nu_R$  は  $0.01 = T_{0.95}(\nu_R)$  から定まると仮定する。

(14), (15) 式から解像力は

$$e^{-\frac{1}{2}A\nu_c} < 0.01 \text{ の時} \quad 0.01 = e^{-2.2n^2\nu_R^2} \quad \therefore n \doteq 1.45 / \nu_R \quad (20)$$

$$e^{-\frac{1}{2}A\nu_c} > 0.01 \text{ の時} \quad 0.01 = e^{-A(\nu - \frac{A}{8.8n^2})} \quad \therefore n \doteq \sqrt{\frac{A}{8.8\sqrt{A\nu_R} - 4.6}} \quad (21)$$

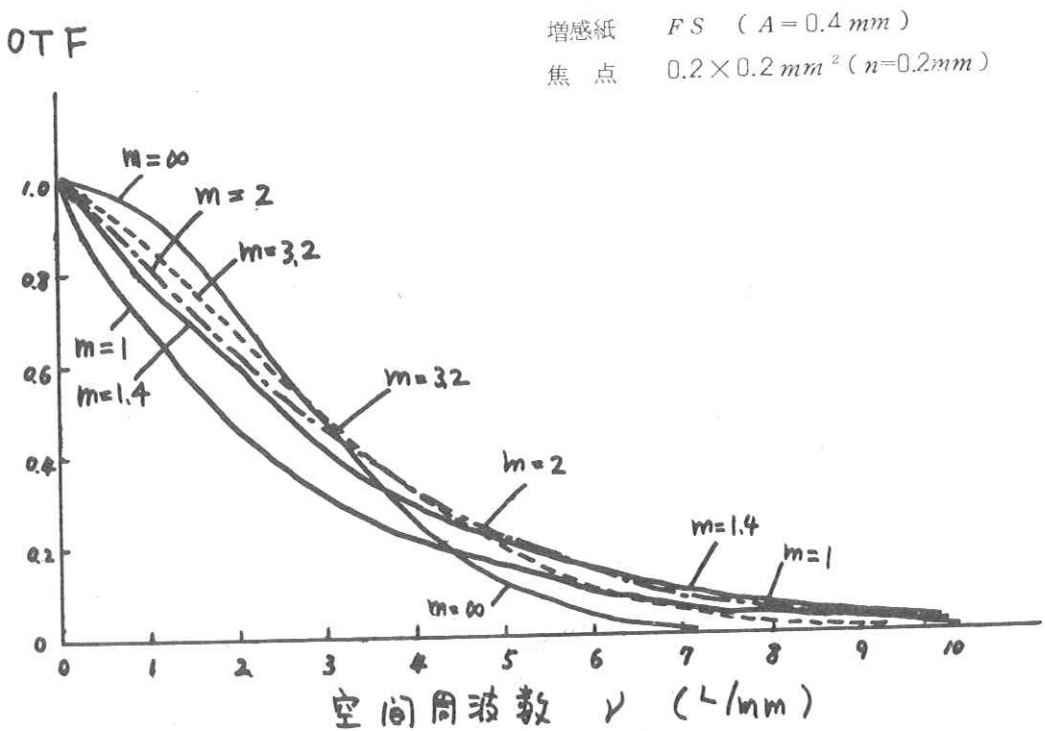
となる。

21)式で、 $\nu_R$  を与える  $n$  と  $A$  の optimum の  $m$  は、(2)式で与えられるから、

$$\nu_R = m \nu_c / m - 1 \text{ を (2) に代入すると、} A \doteq 2 \sqrt{\frac{m-1}{m+1}} n \text{ となる。} \quad (22)$$

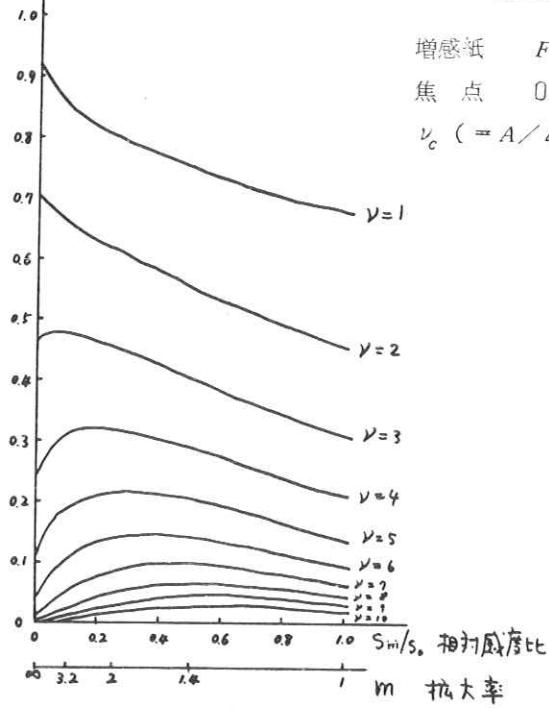
20)と21)式の関係を図14に示す。

第10図 拡大率 ( $m$ ) による OTF の変化



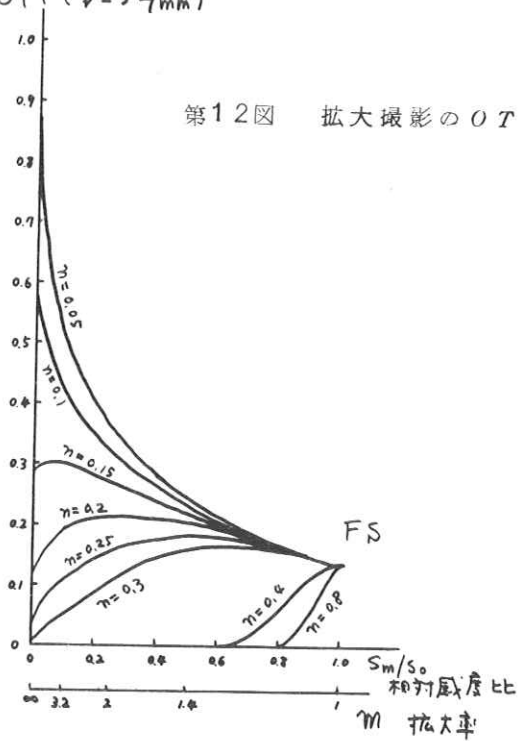
OTF

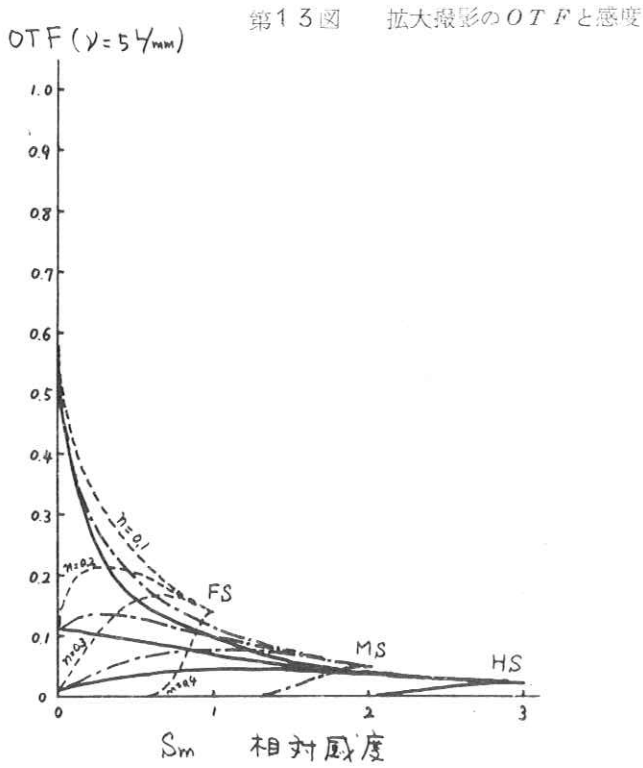
第11図 拡大撮影のOTFと感度



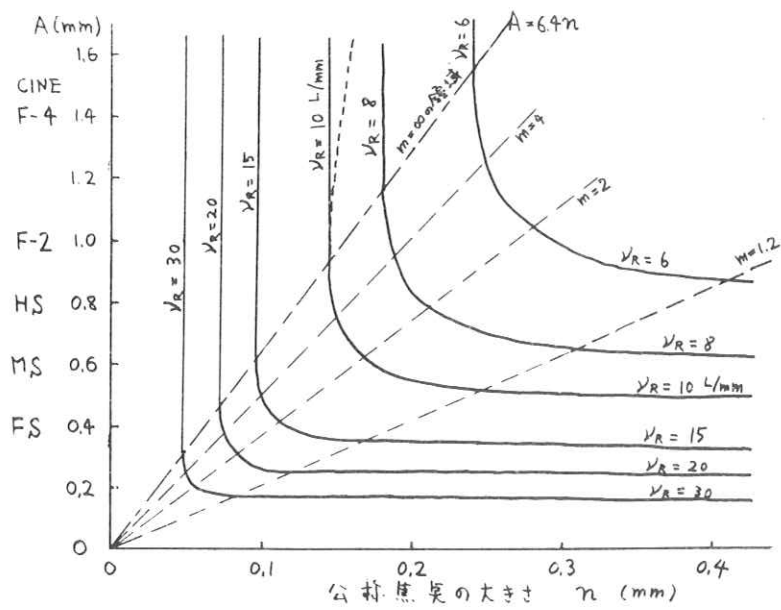
OTF ( $\nu=5\text{ L/mm}$ )

第12図 拡大撮影のOTFと感度





第14図 拡大撮影の解像力



## 1. はしがき

$\gamma$ 線ラジオグラフィの有利な特徴の1つは、X線装置が持ちこめないような箇所においても線源を設置できることであり、欠点としてはX線装置に比較して出力が低く、低出力をカバーするためにフィルム、線源間距離を短かくとる場合が多いことである。両方とも幾何学的撮影条件を悪くする場合であり、結果的に拡大撮影的な使用方法になることが多い。一方従来から識別能を向上させる目的での拡大撮影法に関する研究があり<sup>(1),(2)</sup>、その効果も認められている。しかしいづれもある一定条件における全体的な効果を識別能の点から検討したもので、拡大撮影のいくつかの効果、それぞれについての定量的な検討は不十分と思われる。また受光系およびX線焦点のボケをレスポンス関数で表示し、モデル化した系において理論的最適拡大率を検討した報告もある<sup>(3)</sup>。

フィルム上の微小欠陥像の識別能を決定する要因として、フィルムを観察する機能の特性を一定として考えると、 $a$ コントラスト、 $b$ 濃度分布の変化の様子、 $c$ 濃度変化分の全量、 $S = \int \Delta D(x) dx$ 、 $d$ 粒状性の4つがある。したがって任意の撮影系における微小欠陥像の識別の有無はこれらの特徴を知ることにより、あるていどの推定が可能である。拡大撮影の効果を検討することは、当然これらの因子が拡大撮影の場合いかに変化するかを識別能との関連において調べることである。

いまラジオグラフィにおける拡大撮影の効果をあけてみると、つぎの3つがおもなものとして考えられる。

1. 線源のボケが大きくなる
2. フィルム面に入射する被写体からの散乱線が減少する
3. 像が拡大される

この報告において、 $^{192}\text{Ir}$ ラジオグラフィの拡大撮影について、これら3つの効果が前述の  $a \sim d$  の4つの因子をいかに変化させ、識別能に影響を与えるかを検討したものである。

## 2. フィルム上の微小像の表示

いま簡単のため一次元で考えて微小被写体の空間的分布を  $f(x)$  とすると、ボケがない場合のフィルム上に得られる濃度変化の分布は

$$\Delta D(x) = 0.43 r \mu f(x) \quad (1)$$

となる。一般には各種ボケによる変形を受けて、(1)式は

$$\Delta D(x) = 0.43 r \mu \int f(x-x') h(x') dx' \quad (2)$$

となる。ここで  $h(x)$  はこの撮影系のボケの線像強度分布である。 $\Delta D(x)$ 、 $f(x)$  および  $h(x)$  はそれぞれフーリエ変換が可能な関数であるとし、それらのフーリエ変換を  $D(\nu)$ 、 $F(\nu)$  および  $H(\nu)$  とし、(2)式の関係を空間周波数領域で表わすと、

$$D(\nu) = 0.43 \gamma \mu F(\nu) H(\nu) \tag{3}$$

と右辺は簡単な積の結合の形になる。さらに(3)式をフーリエ逆変換して空間領域にもどすと

$$\Delta D(x) = 0.43 \gamma \mu \int F(\nu) H(\nu) e^{2\pi i x \nu} d\nu \tag{4}$$

となる。ここで $\gamma$ はフィルム・ガンマ、 $\mu$ は対象とする物体の $\gamma$ 線吸収係数  $F(\nu)$  は  $f(x)$  のフーリエ変換、 $H(\nu)$ は、この系のレスポンス関数である。(4)式において系全体のボケを示すレスポンス関数、 $H(\nu)$  をさらに線源のレスポンス関数、 $R_s(\nu)$  とフィルム — 鉛増感紙組合せのレスポンス関数、 $R_f(\nu)$  の積すなわち

$$H(\nu) = R_s(\nu) R_f(\nu) \tag{5}$$

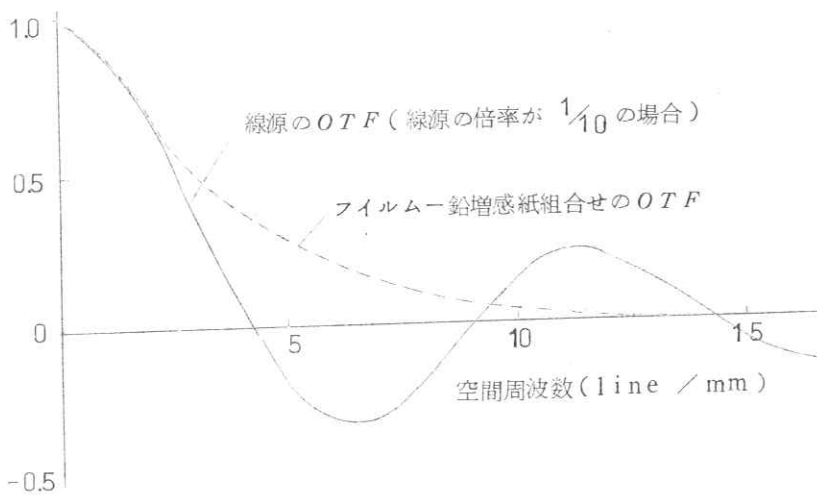
とし、像の拡大率 $M$ の影響を含めると(4)式は

$$\Delta D(x) = 0.43 \gamma \mu \int F(M\nu) R_s\{(M-1)\nu\} R_f(\nu) e^{2\pi i x \nu} d\nu \tag{6}$$

となる。(6)式は拡大撮影の3つの効果をすべて含んでおり、線源のボケは  $R_s\{(M-1)\nu\}$  が、像の拡大効果は  $(M\nu)$  が、また散乱線減少の効果は $\gamma$ が示している。なおこの場合の散乱線は像の形成に寄与しない成分すなわちカブリ成分のことである。

### 3. 線源のボケの効果

被写体(対象としている部分)のフィルム面における拡大率を $M$ とおくと、被写体をとって線源のフィルム面における拡大率は $M-1$ となる。この場合の線源のレスポンス関数は、拡大率1の場合のそれを  $R_s(\nu)$  とすると、これは第1図に示す  $R_s(\nu)$  を $M-1$ の増加にしたがって横軸をちぢめたかたちになる。このことは拡大撮影は線源のボケからだけみるとコントラストを著しく低下させ、識別能を悪くする。



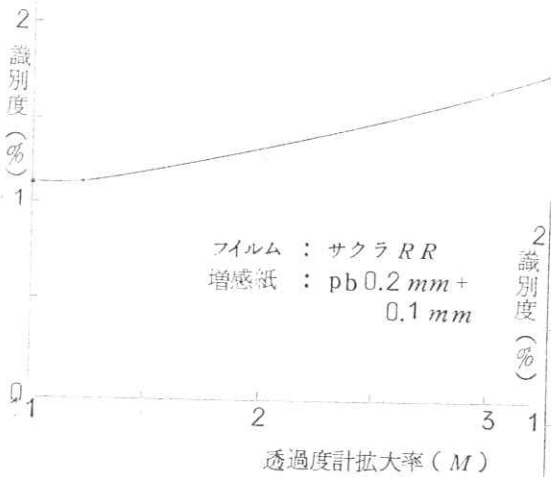
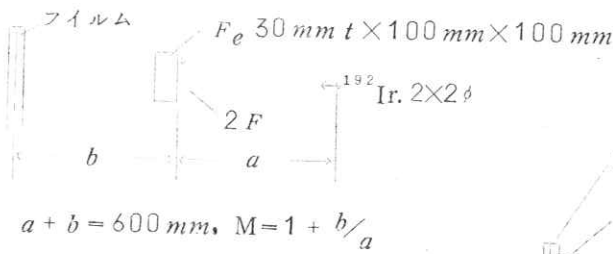
第1図  $^{192}\text{Ir}$ 線源およびフィルム — 鉛増感紙組合せのレスポンス関数

4. 像の拡大効果

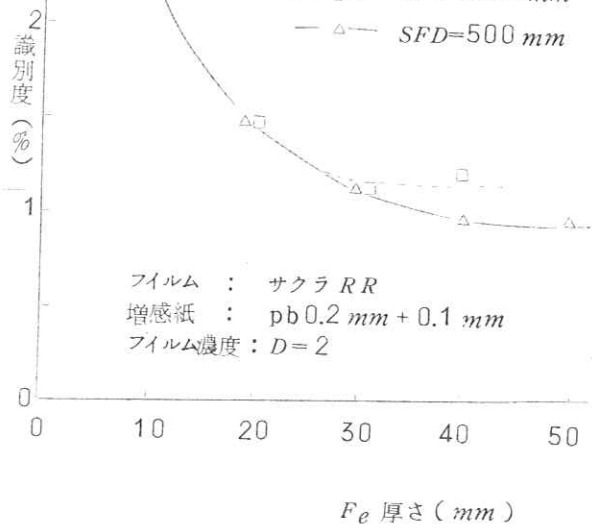
像の拡大効果としては、被写体の空間分布  $f(x)$  を  $x$  方向に  $M$  倍だけ拡大したと同様な結果になる。すなわちその像の分布はボケの増大を無視すると拡大率 1 の場合の像を横に  $M$  倍拡大したかたちになる。

第2図および第3図はそれぞれことなつた撮影条件における識別能を示したものであるが、これらの撮影条件における識別可能な最小直径の針金像について、コントラスト、 $\Delta D_0$  および濃度変化分の全量  $S$  を求め、両者の関係を示したのが第4図である。またこの関係は近似的に

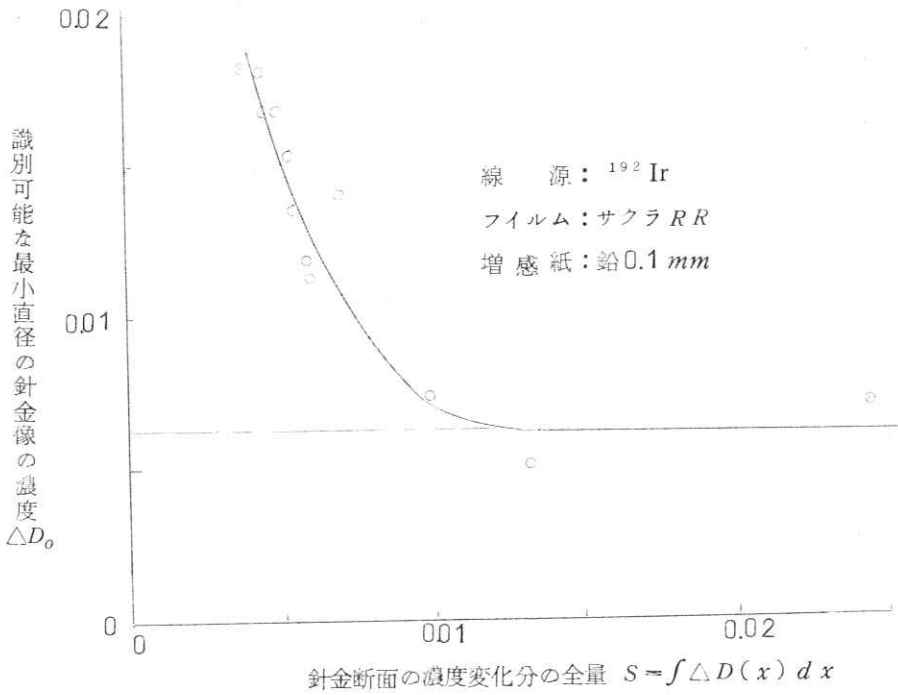
$$\left. \begin{aligned} \Delta D_0 &= \frac{0.000075}{S} & 0.003 \leq S \leq 0.01 \\ &= 0.006 & 0.01 \leq S \end{aligned} \right\} \quad (7)$$



第2図 2 mm × 2 mm φ線源による拡大撮影の識別度



第3図 2 mm × 2 mm φ線源による識別度



第4図 種々の撮影条件における  $\Delta D_0$  と  $\int \Delta D(x) dx$  の関係

と表わせる。ここで  $S = l\Delta D_0$  が成り立つように像の中、 $l$ をきめて、この  $S$ を(7)式に代入すると

$$\left. \begin{aligned} \Delta D_0 &= \sqrt{\frac{0.000075}{l}} & 0.003 \leq l\Delta D_0 \leq 0.01 \\ &= 0.006 & 0.01 \leq l\Delta D_0 \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

が得られる。(8)式は針金像の識別可能な最小のコントラスト、 $\Delta D_0$ はその像の中  $l$ の平方根に逆比例することを示している。したがってコントラストを一定に保って像の大きさを大きくする場合は識別能は向上する。ただし第4図にもみられるように、あるていど以上の大きさになると、識別可能な最小のコントラスト  $\Delta D_0$ は像の大きさと無関係になり、像の拡大は識別能の向上に寄与しなくなる。もちろんこの結果は、長さ(5)(6)が直径の変化にかかわらず一定である針金の識別能に関するものであり、孔型透過度計の場合のように三次元的なとりあつかいを要する場合はまたことになってくる。

### 5. 散乱線減少の効果

第1表は第2図の配置の撮影において、照射線量一定の場合の被写体の位置の変化にともなうフィルム濃度の変化を示している。直接線量は拡大率の変化にかかわらず一定と考えると、濃度の変化分は散乱線の変化分を示していることになる。直接線量の割合はそれから差引して求めたものである。散乱線は直接線にく



第1表 拡大撮影における散乱線減少の効果  
(第2図の撮影の場合)

拡大率 $M$	フィルム濃度 <sup>*</sup> $D$	直接線成分 <sup>**</sup> $D$	散乱線成分 $D$	直接線含有率 %
1.0	2.00	0.74	1.26	37
1.2	1.52	0.74	0.78	49
1.5	1.35	0.74	0.61	55
2.0	1.27	0.74	0.53	58
3.0	1.27	0.74	0.53	58

\* 露出はすべて一定とした

\*\*  $M=1$  の場合の直接線含有率は第5図より求めた

微小欠陥 $\Delta f$ に対応するフィルム濃度変化分 $\Delta D$ と露光量の変化分 $\Delta E$ の関係は、フィルム特性曲線のガンマ、 $r$ を用いて表わすと、

$$r = \frac{\Delta D}{\log(E+\Delta E) - \log E} = \frac{\Delta D}{\log\left(1 + \frac{\Delta E}{E}\right)} \quad (9)$$

となる。 $E$ はその場合の露光量である。ここで  $\Delta E/E$  が十分小さいとき近似的に(9)式は

$$\Delta D = 0.43 r \frac{\Delta E}{E} \quad (10)$$

と書き変えられる。いま $r$ が $D$ の変化によらず一定値をとる場合を考えると、(10)式は $\Delta D$ と $\Delta E/E$ が比例関係にあることを示している。また(9)式は露光量 $E$ がカブリを含んでいても成立するから(10)式において $E = E' + s$ とおくと(10)式は

$$\Delta D = 0.43 r \frac{\Delta E'}{E' + s} \quad (11)$$

となる。ここで $E'$ は直接線、 $s$ はカブリ成分である(11)式の関係は全透過線中にカブリ成分が含まれる割合

らべて方向性が極端に悪く、発光源である被写体がフィルムから離れるにしたがって、フィルム面に達する散乱線量は減少する。ここで散乱線の寄与を含むフィルム濃度を一定にする露光の場合には当然散乱線が減少する分だけ直接線の増加を可能にする。

<sup>192</sup>Ir ラジオグラフィにおいては、フィルム濃度と露光量の関係は濃度3程度まではほぼ直線とみなすことができる。したがって微小被写体の場合、 $\Delta f \leftrightarrow \Delta E \leftrightarrow \Delta D$ の関係は直線的に変換可能であり、これらの相互変換が容易となる利点がある。このことからコントラスト $\Delta D$ は露光量の変化分 $\Delta E$ に比例し、したがってカブリなどの像の形成に役立たない成分は含まない濃度を大きくするほど $\Delta D$ は大きくなる。またカブリを与えることは $\Delta D$ の変化をもたらさない。すなわちカブリとなるような散乱線の有無はコントラストに影響を与えない。

だけ $\Delta D$ が低下することを示している。

一方フィルム濃度 $D$ と露光量 $E$ の関係が直線関係を示す場合、その関係は

$$D = m E + D' \tag{12}$$

となる。ここで $m$ は $D-E$ 曲線の公配であり  $D' = \text{const.}$ である。(12)式から

$$\Delta D = m \Delta E \tag{13}$$

が得られる。

すなわちコントラスト、 $\Delta D$ は露光量変化分 $\Delta E$ に比例して増大する。 $\Delta E$ はカブリ成分の変化に無関係であるから $\Delta D$ もカブリ成分の有無に無関係となる。また $\Delta E$ は露光量(カブリ成分を含まない) $E$ に比例して増大するので、露光量をできるだけ大きくすることが $\Delta D$ を大きくするために必要である。しかし  $D=3\sim 3.5$  が観察可能な濃度限界であるので、そのなかにカブリ成分が存在する場合、直接線成分は減少し、 $\Delta E$ の低下すなわち $\Delta D$ の低下をもたらす。この場合もフィルム特性を従来の $\gamma$ で表わす場合、(10)式および(13)式から  $\gamma = \frac{m}{0.43} \cdot E$  となる。すなわち $\gamma$ は露光量あるいは濃度に比例する。このようにフィルム濃度が露光量に比例する場合と、フィルム濃度が露光量の対数に比例する場合では、コントラスト $\Delta D$ に与えるカブリの影響が全くことになってくる。

識別能はコントラスト $\Delta D$ だけではなく $\Delta D$ のバラツキすなわち粒状性にも依存する。したがってカブリを与えることは粒状性の絶対値を大きくすることであり、カブリがコントラストに変化を与えなくても識別能に無関係ということはない。第2表は透過度計に一定の直接線を露光した後、それにカブリとして適当な露光を行なった場合の線型透過度計識別能を示している。直接線量を一定とした場合  $D=3\sim 3.5$  以内ならば、カブリは識別能に大きな影響を与えないがわずかの効果はあることを示している。また第3表は直接線露出量を種々変えた場合の透過度計識別能であるが、識別能は直接線露出量に大きく依存することを示している。

第2表 カブリ量と識別能の関係

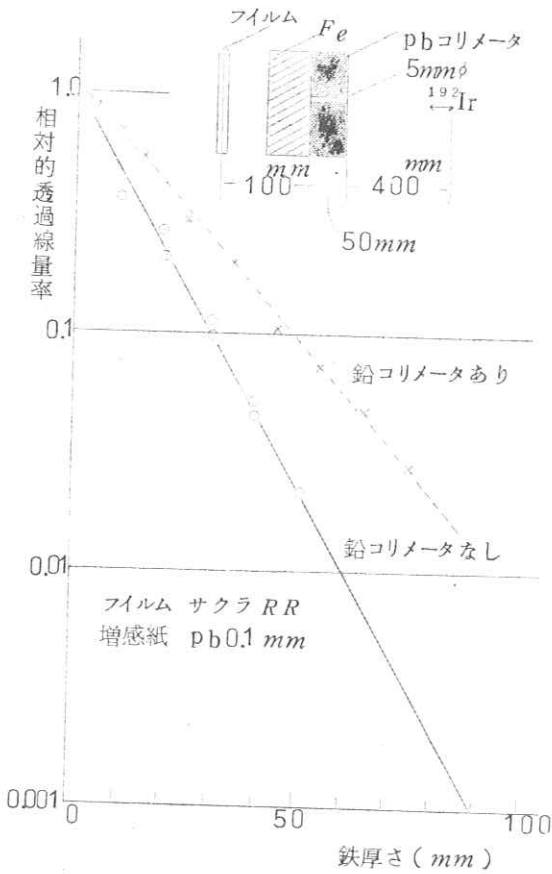
直接線露出量 $E$ ( $R$ )	カブリ露出量 $E_s$ ( $R$ )	$\frac{E}{E + E_s}$	フィルム濃度	識別可能な最小針金直径 ( $mm$ )
0.43	0	1	1.25	0.20
0.43	0.43	0.5	1.80	0.20
0.43	0.86	0.33	2.45	0.25
0.43	1.50	0.22	3.10	0.25
撮影条件	線源： $^{192}\text{Ir}$ , $2\text{mm} \times 2\text{mm} \phi$ 線源-フィルム距離： $300\text{mm}$ フィルム：サクラRR 増感紙： $pb\ 0.1\text{mm}$ 現像：ユニドールX, $20i$ , $5mi$ 透過度計： $1F$ , および $2F$			

第3表 露出量と識別能の関係

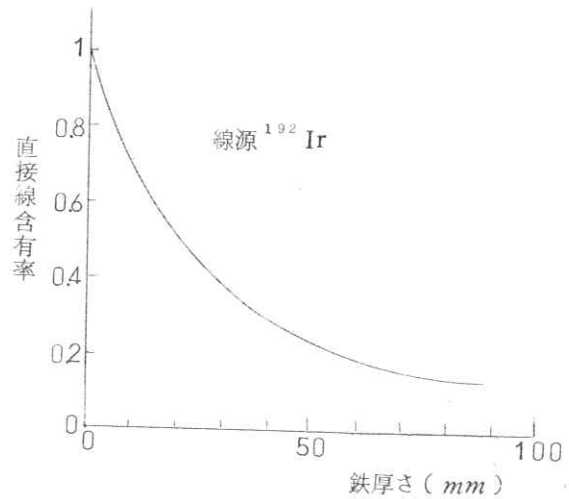
露出量 ( $R$ )	フィルム濃度	識別可能な最小針金直径 ( $mm$ )
0.037	0.26	0.6
0.073	0.30	0.4
0.11	0.40	0.35
0.22	0.60	0.25
0.43	1.00	0.20
0.86	1.75	0.15
1.28	2.17	0.15
1.72	2.70	0.15

(撮影条件は第2表と同じ)

一般の撮影におけるフィルムの黒化は散乱線によるカブリも含まれているので、黒化度から直接線成分を求めるには全露光量を散乱線成分と直接線成分に分ける必要がある。第5図は  $^{192}\text{Ir}$  線の鉄中での減弱曲線であって、実線はコリメータを用いた場合で近似的に直接線だけの減弱曲線とみてもよい。点線はコリメータなしの場合で散乱線を含む全透過線の減弱曲線を示している。測定はフィルムを露光し現像後黒化度を求めてフィルム特性曲線から露光量に変換した。第6図はそれぞれの鉄厚さに対応する直接線含有率を第5図から求めたものである。



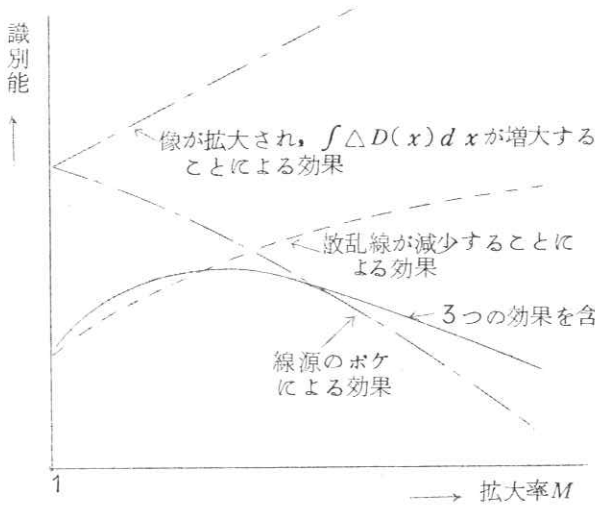
第5図  $^{192}\text{Ir}$  線の鉄中の減弱曲線



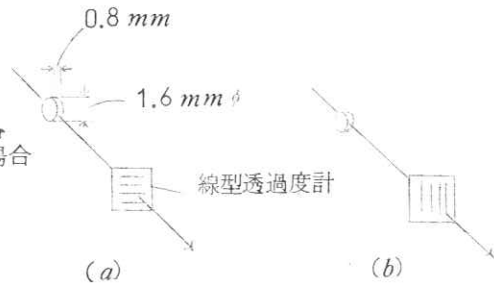
第6図 被写体(鉄)の厚さに対応する直接線含有率の変化、第5図より求めたもの

### 6. 拡大撮影の総合的效果

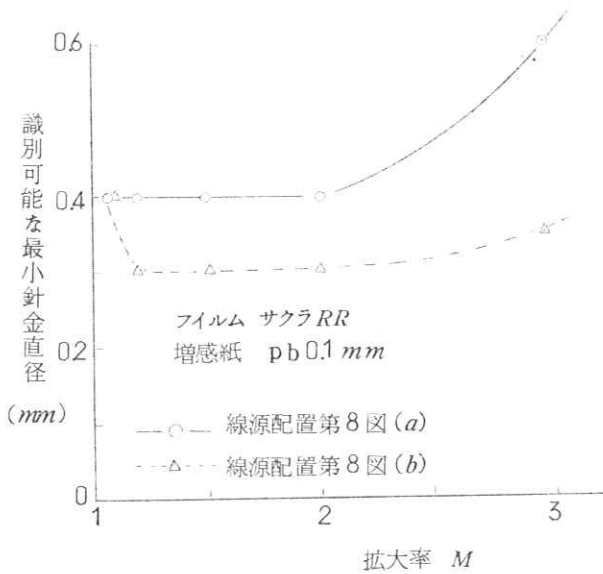
第7図は識別能に与える拡大撮影の3つの効果を定性的に示したものである。実線で示す総合的效果がどのような変化をするかは、それぞれの因子たとえば線源形状、被写体の形状および材質、あるいは幾何学的撮影配置等によってきまることである。一般的にいうならば線源のボケが比較的小さい微小線源の場合は拡大撮影は有効である。また被写体の大きさがあるていど以上の場合、像の拡大効果が有利になることは期



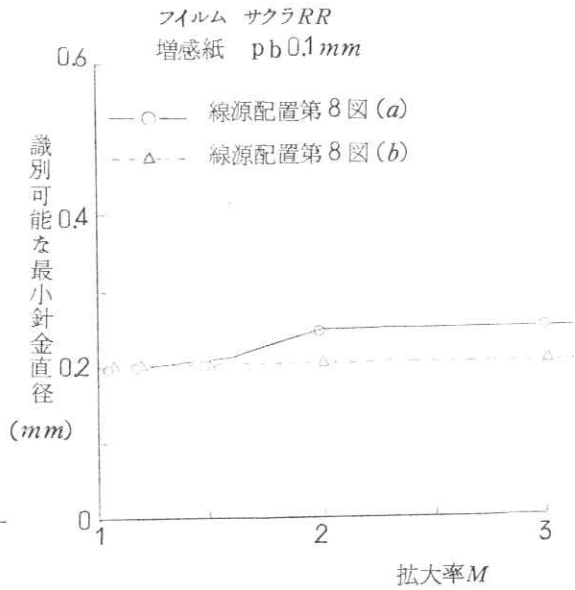
第7図 拡大撮影における各種効果と識別能の関係



第8図 線源と透過度計の配置



第10図 拡大撮影の識別能の変化  
 吸収体,  $F_e 30mm t \times 100mm$   
 $\times 100mm$  を透過度計後部  
 においた場合

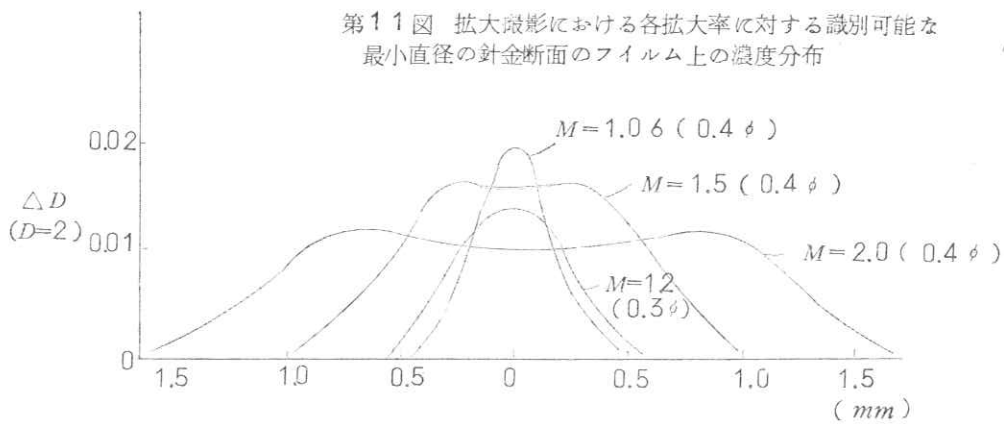


第9図 拡大撮影の識別能の変化, 吸収体なし  
 の場合

待できない。さらに散乱比が大きくなる物体の場合は散乱線減少の効果が大きく、識別能の向上をもたらす。

第9図および第10図は $0.8\text{ mm} \times 1.6\text{ mm} \phi$ の線源を用いて第8図の2種類の撮影配置の場合における線型透過度計の拡大撮影について、識別可能な針金の最小直径を示したものであり、そのうち第10図は $30\text{ mm}$ 厚さの鉄板を吸収体として透過度計後部に設置した場合である。第9図および第10図において、点線および実線の場合の線源形状は透過度計識別能に関してはそれぞれ $0.8\text{ mm}$ 、 $1.6\text{ mm}$ とみてもよく、その差が拡大撮影の識別能の差となってあらわれている。また吸収体をおいた場合は散乱線減少の効果が識別能向上に寄与している。

第11図は厚さ $30\text{ mm}$ の鉄を被写体とした拡大撮影において、散乱線の寄与を含む濃度を一定としたときの、各拡大率の識別可能な針



金直径断面のフィルム上における濃度分布を(6)式によって計算したものである。線源およびフィルム—鉛増感紙組合せのレスポンス関数は第1図に示した値を用いた。フィルム・ガンマとしては濃度2として計算した。また $\mu$ は第5図実線から求めた値 $0.075\text{ mm}^{-1}$ とした。針金断面は半径を $a$ とし、 $f(x) = 2\sqrt{a^2 - x^2}$ とあらわした。

拡大率を大きくする場合、線源のレスポンス関数は著しく低下するが、第11図に示す $\Delta D(x)$ 分布のコントラストは比較的低下していない。これは像の拡大効果がコントラストの低下を防いでいるからである。いま(6)式において、欠陥部が線源に比較して小さく拡大率が大きい場合、 $F(M\nu)$  および  $R_s(\nu)$  は  $R_s\{(M-1)\nu\}h$  に対して無視できる。すなわち

$$F_s(M\nu) R_s\{(M-1)\nu\} R_f(\nu) \doteq R_s\{(M-1)\nu\} \quad (14)$$

が成立する。したがって(6)式は

$$\Delta D(x) = 0.43 r \mu h' \left\{ \frac{x}{(M-1)} \right\}$$

となる。いかえると線源にくらべてずっと小さな欠陥の場合、拡大率があるていど以上の撮影における像の分布は、コントラストは一定で、その撮影系の線源の線像強度分布を横に拡大率 $M$ にしたがって大きくした分布となる。第11図において拡大率が2の場合はほぼこの様子を示している。

識別能をはかるのに何を尺度とするかということは重要な問題であるが、ここでは線型透過度計のみえ方、すなわちいかに細い針金がみえるかということをもとにした。このような尺度を用いると、像の再現性の良いことが必ずしも識別能の良好なことにはならなくなる場合も生ずる。この場合は単独に存在する小物体（針金）の像のあるかないかがわかればよいので、もとの小物体の形状に関する情報は特に必要でない。ただし連続したパターンを有している被写体であればこの事情は大いにことなり、像の再現性が識別能に大きく関係してくる。

## 7. 総 括

以上 <sup>192</sup>Ir ラジオグラフィにおける拡大撮影について、識別能との関連で各種効果の検討を行なったが、まとめると

1. 線源のボケによる効果はすでにいわれているように大きく、拡大撮影のためにはできるだけ小さな線源が望ましい。
2. 像の拡大効果についてレスポンス関数もちいて定量的な検討を行ない、コントラストおよび識別能との関係を明らかにした。
3. 散乱線減少の識別能に寄与する効果について理論的かつ定量的な検討を行なった。
4. 総合的にみると、識別能にそれほどの低下はもたらさない。線源が小さい場合あるいは被写体が厚い場合（散乱線が多い）は識別能の向上がみられる。

拡大撮影が有利となるか不利となるかはその場合の撮影条件（線源、フィルム、被写体、幾何学的配置等）によってことなり一般的にはいえないが、条件の選び方によっては識別能を向上させる場合もある。

この報告においては粒状性の効果についてはふれてないが、ラジオグラフィにおける各種因子と識別能との関係は最終的には粒状性の効果を無視して求めることはできない。また粒状性自身も識別能との関連においてどのように表示するのが合理的であるのかということも問題のあるところである。いづれにしてもこれは今後の重要な問題である。

## 8. 参考文献

- (1) Fujimoto, K., Sano H.: 非破壊検査 4 33 (1955)
- (2) 榎本茂正, 堀部信義, 和田延夫: 名古屋工業技術試験所報告, 13 112 (1964)
- (3) 佐柳和男: 応用物理 26 134 (1957)
- (4) 日本非破壊検査協会編: 非破壊検査便覧
- (5) Hillery S. deBen: J. Photographic Science 12 148 (1964)
- (6) 神尾 昭: 非破壊検査 17 227 (1968)

第5章 最大情報量撮影 第21報  
(高速連続撮影系の空間周波数特性)

大阪大学医療技術短期大学部

内田 勝

大阪大学医学部附属病院放射線科

山下一也 若松孝司

増田一考 伊藤慎弥

中西省三

1. 連続撮影装置は大別して、カセット・チェンジャー方式、フィルム・チェンジャー方式の二つの方式がある。カセット・チェンジャー方式(C・C)は、フィルムに装てんしたカセットがチェーンと歯車機構によって短時間で交換・撮影を繰り返えし行なう方式で、カセットの収容量に制限があり、一般には12枚が最高である。また機構的に短時間多数回撮影ができない。フィルム・チェンジャー方式(F・C)は、カット・フィルムまたはロールフィルムを遮光した装置のなかで撮影時だけ増感紙に圧着させ変換させる方式で、短時間での撮影回数も比較的多くできる。

最近、撮影系において空間周波数領域でのボケの取扱いが試みられ、レスポンス関数表示によるX線撮影系の定量化が可能となってきている。この報告では連続撮影装置のC・C方式と、カット・フィルムによるF・C方式における連続撮影系全体のボケをフーリエ解析の方法で空間周波数特性を測定し、各方式の画質の客観的な評価を比較した。

なお、本報告は第24回、日本放射線技術学会総会で報告し、日放技法、24巻、2号に「高速連続撮影系の空間周波数特性」と題して山下が発表している。

2. 実験はスリット法で行ない、プログラムの設定は、C・Cでは、 $1 \text{ exp/sec}$ 、 $2 \text{ exp/sec}$ 、F・Cでは、 $1 \text{ exp/sec}$ 、 $2 \text{ exp/sec}$ 、 $4 \text{ exp/sec}$ 、 $6 \text{ exp/sec}$ で、 $4 \text{ exp/sec}$ は1枚目と4枚目、 $6 \text{ exp/sec}$ は1枚目、2枚目、6枚目をそれぞれ測定の対象としている。実験の方法は第2図(a)で示す。また、カセット、フィルムの移動方向と鉛スリットの間隙の方向との関係、そして、各分布のとり出し方は、第2図(b)で示す。

### 3. X線強度分布

第3図はX線強度分布の一例で、これは、各方向、各プログラムごとに得られた線像濃度分布をフィルムの特性曲線によってX線強度分布に変換させたものである。

### 4. 結果と考察

第4図は、F・Cの空間周波数特性で、(a)はx軸方向、(b)はy軸方向のものである。

第5図は、C・Cの空間周波数特性で、(a)はx軸方向、(b)はy軸方向のものである。

第6図は、(F. C), (C. C), 両方式の比較を示すもので、(a)は、 $1 \text{ exp/sec}$  のもの、(b)は  $2 \text{ exp/sec}$  の1枚目、(c)は  $2 \text{ exp/sec}$  の2枚目の場合のそれぞれの特性の比較である。

連続撮影系において、画像の性質を良くする第1の条件は、フィルムの移動が撮影の瞬間には完全に停止していることと、連続撮影装置自体の動揺がないことである。特性の測定結果からみて、実験に用いた (F. C), (C. C) はこの限りにおいて勝れていることがわかる。実際には装置自体、フィルム(カセット)の移動とともに動きをもつものであるが、それと曝射時間との組合わせにおいて影響はみられなかった。人体を盤面上にのせたとき、その共振、あるいは時間のずれによる動きは、また別個の問題となる。

F. Cでは短時間でフィルム交換による残像、増感紙の圧着不良等の影響は特性の結果からみてほとんどない。また、C. Cにおける機械的な動揺も無視できると思われる。しかし、全実験の結果からみていえることは、動作時の特性が、わずかであるが、静止時に比べ劣っていることで、これは、構造上からくる、運動のレスポンス関数、残光、圧着不良のレスポンス関数などによるものと考えられる。運動のレスポンス関数は断層撮影系において、すでに解析されているが、高速連続撮影系にも同様に適用できる。

循環系においては、短時間曝射が要求されることはいうまでもない。このことは、血流の変化追求のためだけでなく、(F. C), (C. C)の動作時(交換時)に生じる動揺の時間の幅が、その時の曝射時間内であることの必要性をも意味するものである。

以上、ここでは、連続撮影装置の二つの方式の各プログラムのもとで系全体のボケを測定し、空間周波数領域での特性を定量的に表現した。上述した運動、その他のレスポンス関数については、これからの課題にしたい。



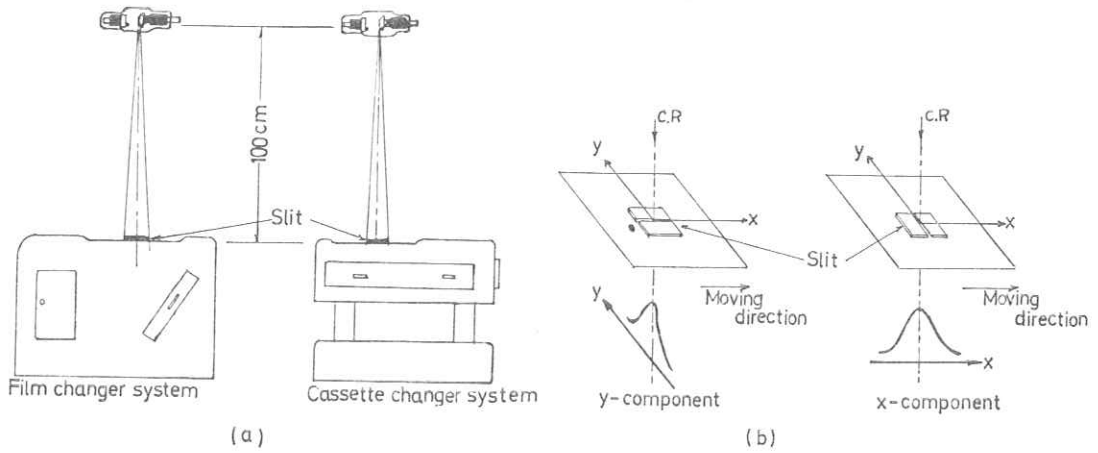


Fig. 2. Illustration of the arrangement used for the determination of Line spread-functions.  
 (a) : Schematic diagram of Film changer system (F.C.) (Left side), and Cassette changer system (C.C.) (right side).

Width of a slit : 0.1mm  
 Thickness of a slit : 2mm  
 Distance between focus and film or cassette : 100cm

(b) : Schematic diagram of the arrangement of the slit for measurements.

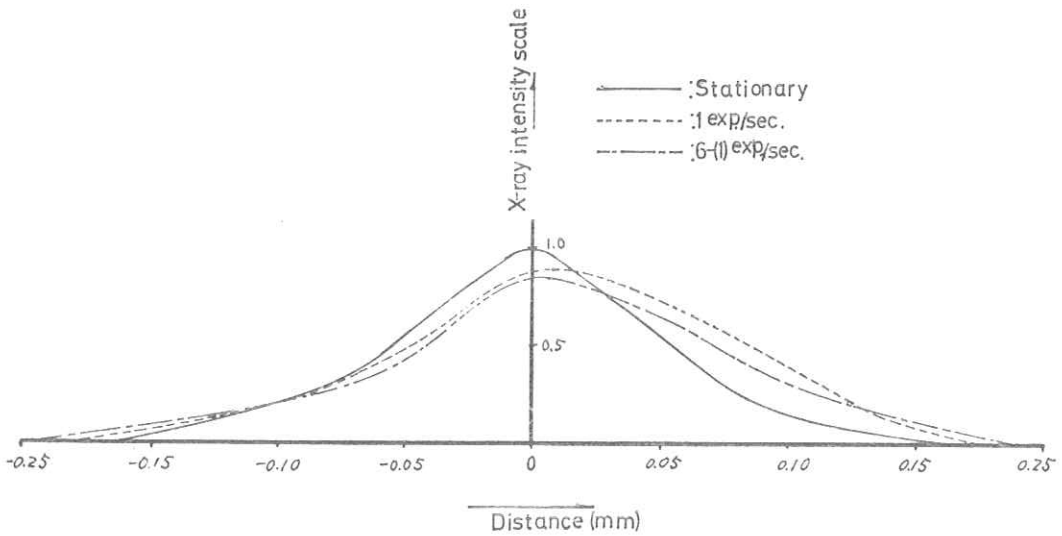


Fig. 3. X-ray intensity distributions in X-component. (the Film changer system)

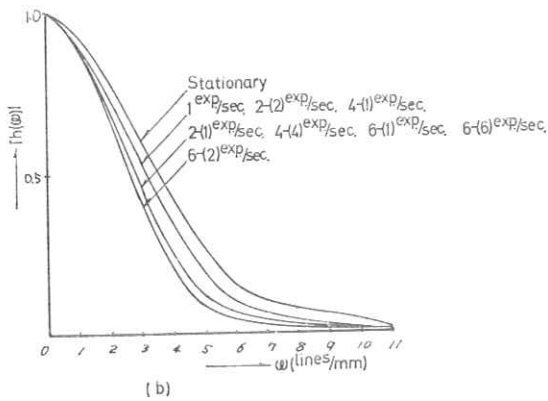
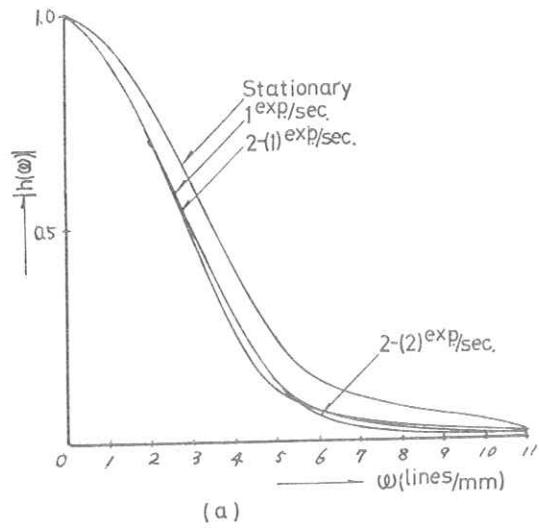
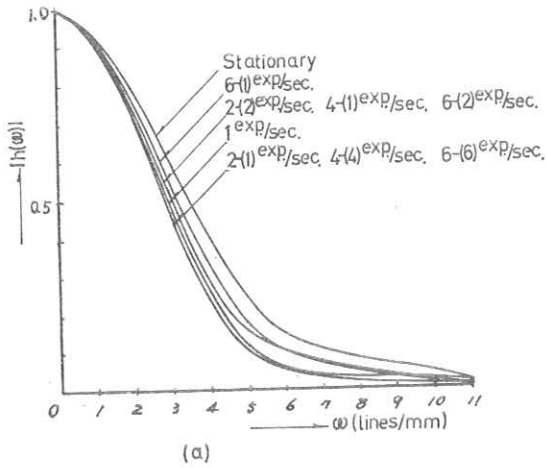


Fig. 4. Spatial Frequency characteristic in X-component (a) and X-component (b). (the Film changer system)

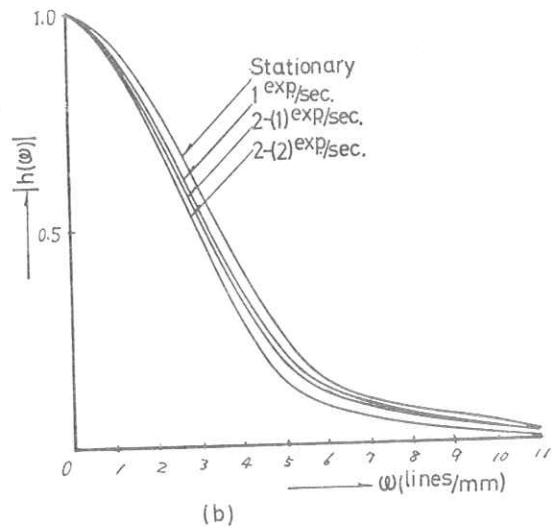


Fig. 5. Spatial frequency characteristic in x-component (a) and y-component (b). (the Cassette changer system)

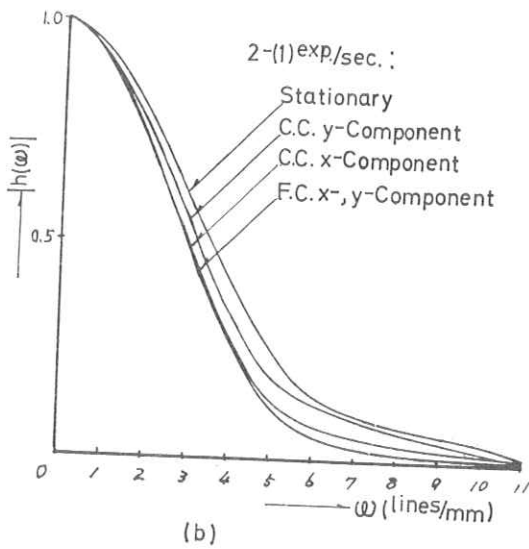
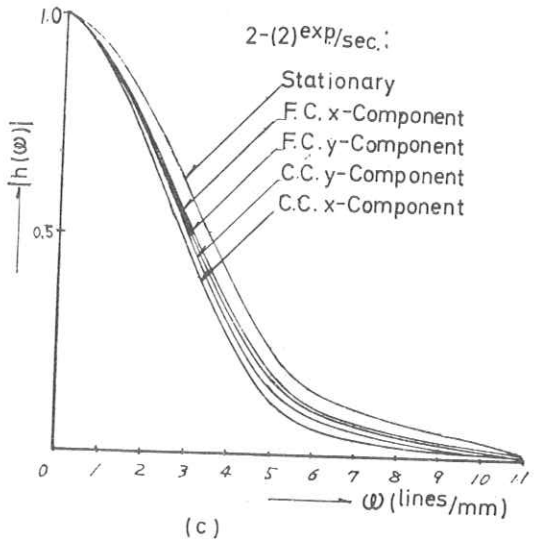
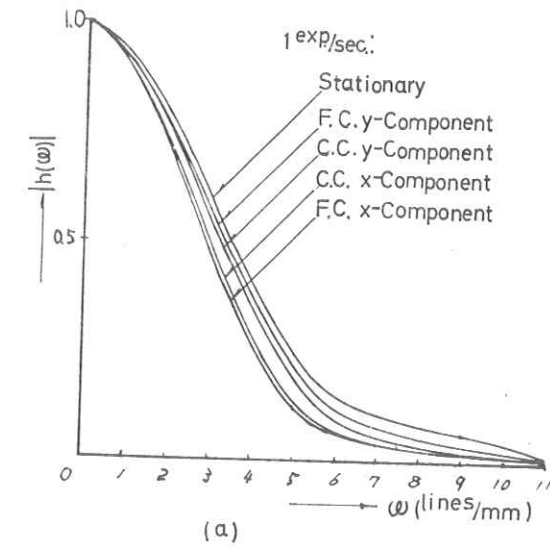


Fig. 6. Comparison of spatial frequency characteristic between the Film changer system and the Cassette changer system, according to the frequency of exposure per second.

第6章 最大情報量撮影 第23報  
 ( $^{60}\text{Co}$  Radiography 系の空間周波数特性)

大阪大学医療技術短期大学部 内田 勝  
 市立池田病院放射線科 林田 重雄  
 大阪大学医学部附属病院放射線科 山本 義憲

$^{60}\text{Co}$  Radiography は治療のための照準および診断面に応用され、いままで数多くの報告がある。本研究はこれを積極的に診断面に利用するため、従来線源の size による不可避的なボケをコリメーターによって減少し、将来この改良によって十分診断に適する像を得ようとするものである。これらを定量的に解析する手段としてフーリエ解析を適用した。すなわち、空間周波数領域において、この系に存在するおのこのボケを解析し、ボケ各部分のバランスのとれた合理的な撮影系をレスポンス関数の立場から求めようとするものである。ここでは主としてコリメーターのレスポンス関数を中心に解析を行なった。方法は鉛レンガのスリットによるフーリエ変換法である。線源のレスポンス関数を改良するための鉛コリメーターを作り、これによってどの程度撮影系の空間周波数特性を向上できるか、種々実験を行なった。装置は $^{60}\text{Co}$  同位元素治療装置、線源は直径20mm、高さ11mmの直円柱500ci、フィルムは工業用フィルム、増感紙は鉛箔増感紙である。

図1は実験の方法を示すもので、線源・スリット間800mm、スリット・フィルム間800mmにする。コリメーターを挿入したものと、しないものにおいて実験を行なう。フィルム上に得られた線像濃度分布はフィルム特性曲線によって線像強度分布にもどす。そしてこれらをそれぞれフーリエ変換して空間周波数特性を求めた。図2はスリットの寸法図で鉛レンガによって作る。スリット寸法は巾1.3mm、厚さ100mm、高さ200mmである。図3は試作したコリメーターの寸法図である。実験には入射口5mm正方形、射出口15mm正方形のNo.1コリメーターを使用した。材質は鉛である。このコリメーターを線源容器の外側に密着して実験を行なった。図4はこのようにして得られた空間周波数特性である。点線はコリメーターなし、実線はコリメーターを付けて実験したときの $^{60}\text{Co}$  Radiography 系全体の空間周波数特性である。図から明らかなように全空間周波数領域において特性はコリメーターを付けた方がよくなっている。横軸の空間周波数はフィルムに得られた線像濃度分布の size から計算を行なったものである。図5は図4の二つの空間周波数特性から逆に計算によって、コリメーターの空間周波数特性を計算したものである。図で判かるように特性は1より大となり、このような特性のものを撮影系に直列に挿入することによって、この撮影系の空間周波数特性を向上することが可能となる。また、この方法によってコリメーターの定量的な性能表示が可能となり、相互の比較および、改良の基準とすることができる。

つぎに、上70mm、下60mmのギブス棟瓦、中間に厚さ100mmのパラフィンを使ってその中央に直径30mmのピンポン球を挿入した空気層とみなしたファントムを作り、像改良の効果を調べた(写真略)。この結果、直接撮影および1, 2倍拡大撮影におけるコリメーター挿入とコリメーターなしの両者の比較は明らかに挿入時において像の改良がみとめられた(写真略)。

本実験においては、線源容器の外側にコリメーターを装着したために十分な照射野を得ることができな

った。したがって、今後の改良としては、コリメーターを十分線源に密着することによって、診断に十分な照射野と十分に診断に適する放射線像を得ることが残された課題である。

図 1

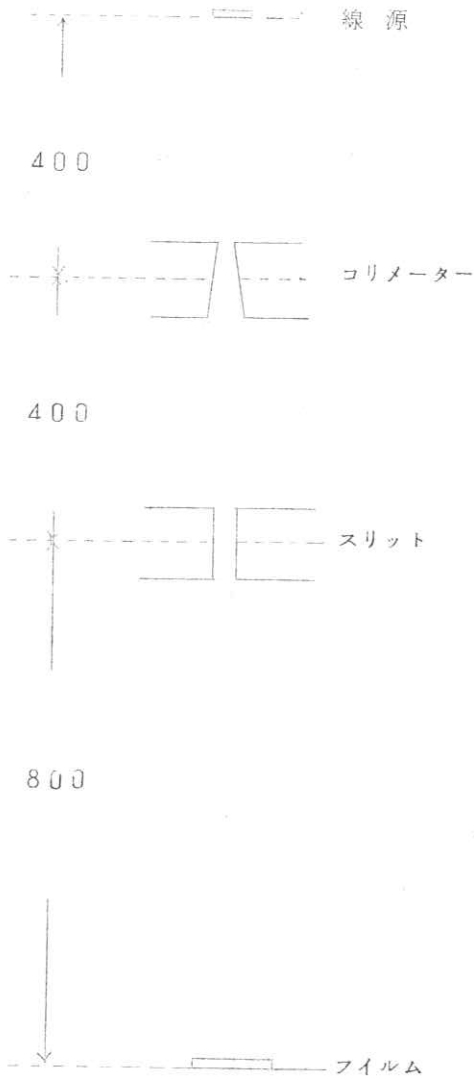
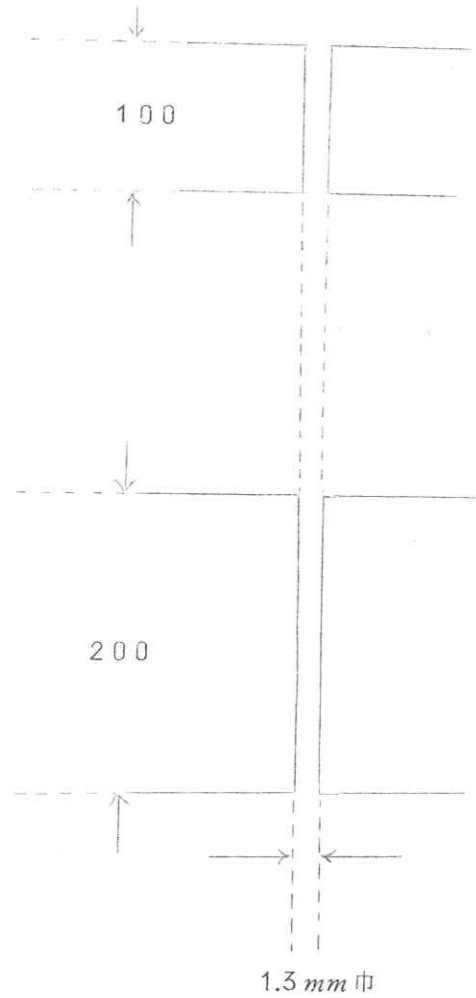


図 2



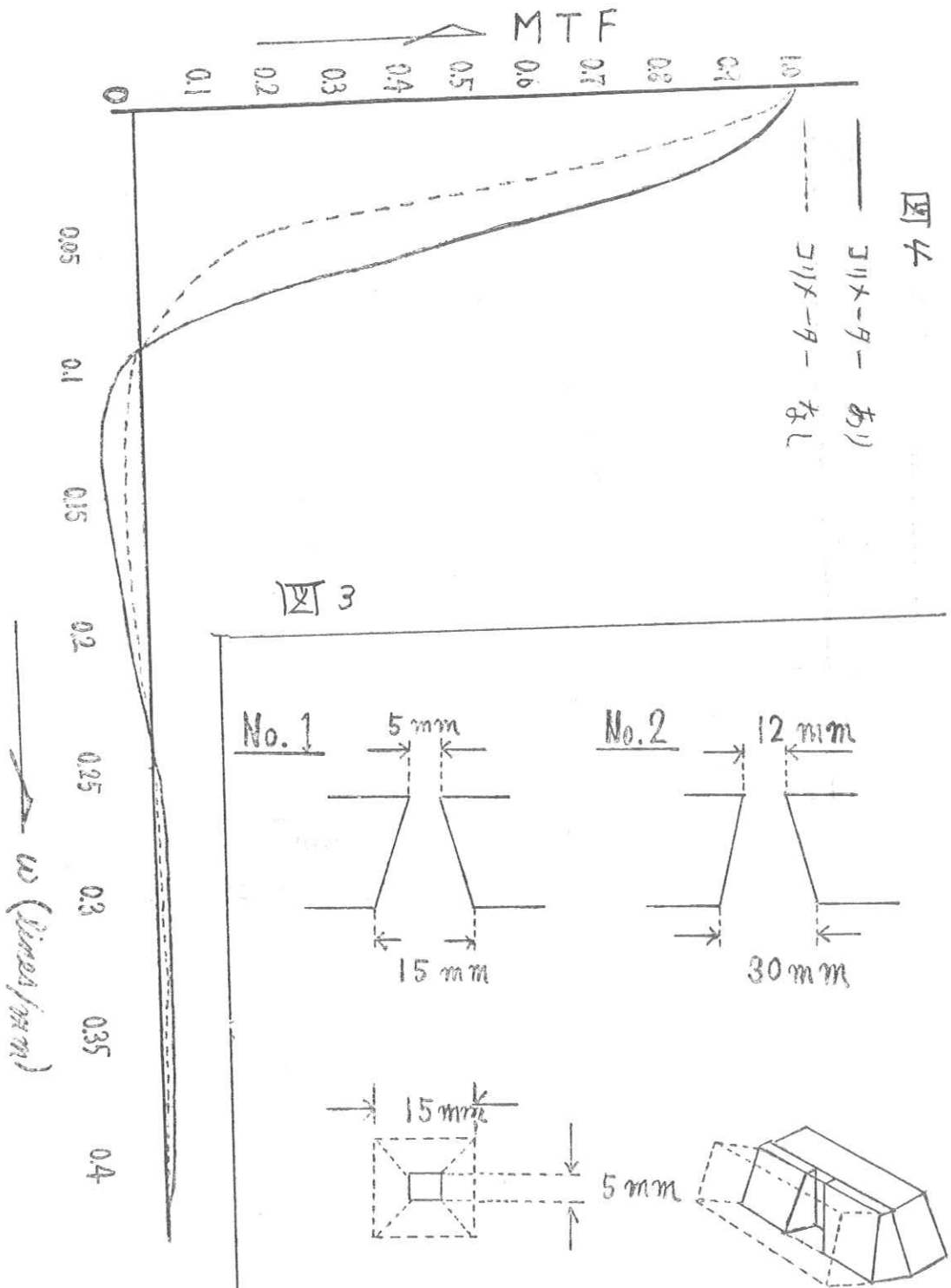
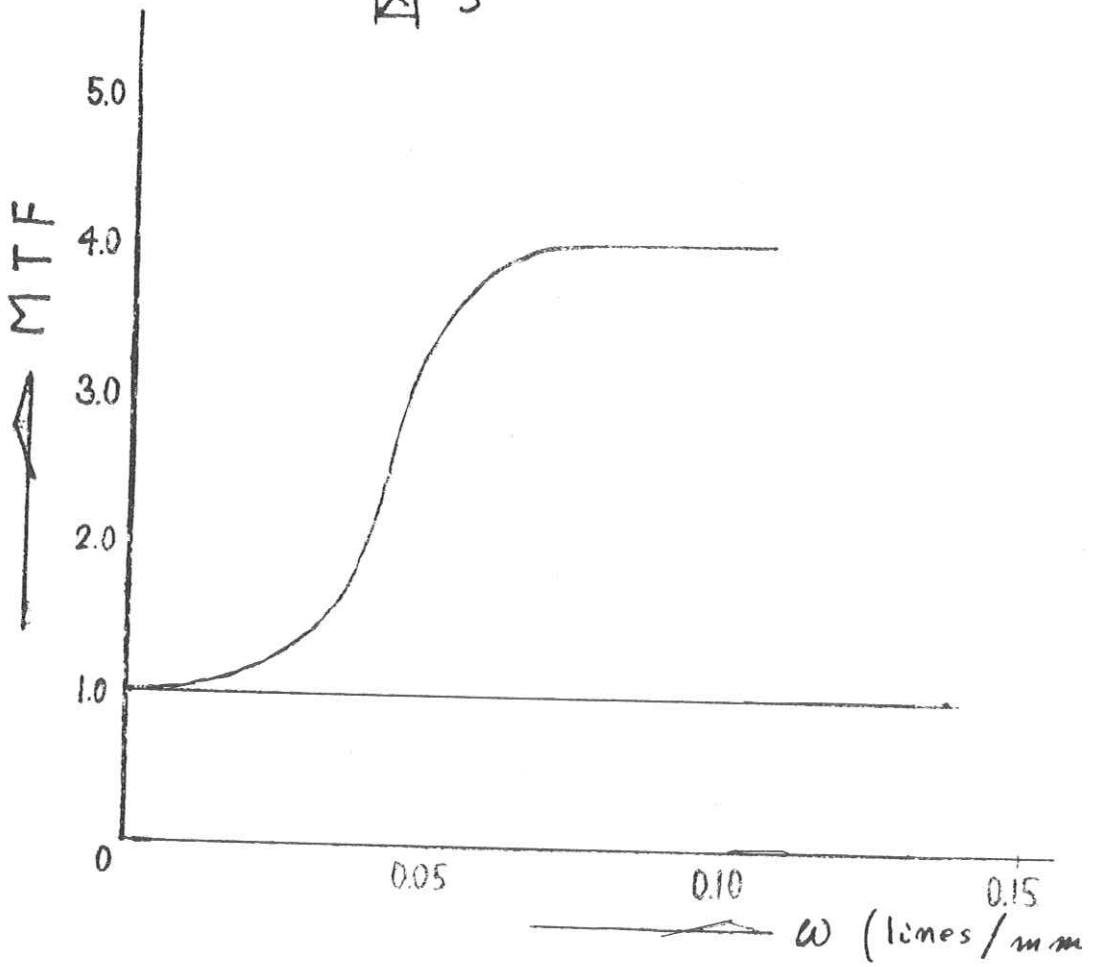


图 5



## 第7章 同時二方向撮影の検討 第一報 (側方散乱の様相)

大阪大学医学部附属病院放射線科

林 真, 山下一也, 若松孝司

### 1. 緒 言

同時二方向撮影は、特に血管造影法のように、時間的に変化する血管像を、同時に二方向から撮影し、その同位相像を得ることにより、患者への負担を軽減し、診断能を高めようとするものである。最近、高速連続撮影との併用が日常的に取り入れられてきている。しかし、同時二方向撮影においては、被写体からの側方散乱のため、他方向のフィルムに散乱黒化の影響をおよぼす。これは、他方向のX線像の画質を低下させる要因となる。

側方散乱については、すでに、2, 3の報告がみられるが、ここでは、同時二方向撮影の諸条件のもとでの側方散乱の様相、伏落をフィルムで測定する。その黒化の様相を、線量分布解析装置により黒化度百分比(%)で表現し、比較検討した。

### 2. 実験装置および器具

X線発生装置：診断用150kVp三相全波整流12パルス発生装置

X線管：回転陽極型、焦点 $2 \times 2$ mm

現像機：自動現像機(90秒用)

線量分布解析装置：

Automatic Isodose plotter MRA-201

線量計：ビクトリーン・コンデンサ型Rメーター

フィルム：医療用X線フィルム

増感紙：高感度用

ファントーム：アクリルライト( $30 \times 40 \times 15$ cm)

グリッド：格子比5:1, 8:1

アルミ板：厚さ1mm, 3mm

### 3. 実験方法

Fig. 1 実験方法図

Fig. 1 は実験の方法を示す。図のように、アクリルライト厚さ15cmをファントームとして用い、その下にフィルムを装填したカセットを置く。焦点-ファントーム間距離を100cmとして、側方向からX線を照射した。そのとき発生する側方散乱を、X線入射方向から順に背後側方散乱部、体側方散乱部、前方



側方散乱部の三つに区分する。また、焦点外X線がフィルムにおよぼす影響を除くため多重絞りをを用いて、線束が直接に他方向のフィルムに接しないような照射野にした。

Fig. 2 (a)(b)(c)

散乱黒化の様相とその黒化度百分比

Fig. 2 (a)(b)(c)は、散乱黒化フィルムを線量分布解析装置によって、10%の黒化の差の割合で打点区分したものである。その方法は、各場合の中で全体的に最高の黒化を示すフィルム(管電圧120 kVp, 照射野 $24 \times 24$  cmの条件で撮影したもの)の側方散乱部の中央の黒化度を100%として、フィルムベース濃度を0%とし、その間の黒化度を10%ずつに区分する。

Fig. 3 最高濃度-mAs曲線

Fig. 3はmAsをかえて得られたフィルム特性曲線で、実験の各電圧ごとにつくり、図より、ほぼ直線とみなすことができた。また、各場合の露出条件は、空中線量を一定にして選んだ。

Fig. 4 (a)(b)(c)

入射点からの黒化度百分比

Fig. 4(a)は、管電圧を80 kVp, 100 kVp, 120 kVpに、照射野を $14 \times 14$  cm,  $24 \times 24$  cmにしたときの入射点からの黒化度百分比(%)である。

Fig. 4(b)は、管電圧を100 kVpに一定して、照射野を $14 \times 14$  cm,  $24 \times 24$  cmの各場合に、アルミ板/mm, または3 mmをフロントームとフィルム間に挿入したものの黒化度百分比である。

Fig. 4(c)は、管電圧を100 kVp, 照射野を $24 \times 24$  cmに一定して、グリッドをフロントームとフィルム間に挿入したものの黒化度百分比である。

#### 4. 結果および考察

- 1) 側方散乱の黒化の様相は、滑らかな楕円状をなし、入射軸に対して左右対称を示す。しかし、照射野が広がるにつれて矩形状に近くなる。また、グリッドの格子方向によっては、この矩形状は変わる。たとえば、入射方向と格子の方向とを平行にすれば、楕円状でなく丸みをもつ矩形状を示すようになる。
- 2) 側方散乱による黒化度百分比は、各場合とも、管電圧よりも照射野の大小およびグリッドの有無に大きく左右される。
- 3) アルミ板を挿入しても、その効果にあまり期待できない。電圧が高いためと思う。
- 4) 最高黒化度を示す点は、フロントーム厚の中央部より入射点側にある。管電圧が高くなるとともに、出射点側に移動する傾向がある。このことは、同時二方向撮影をする場合、被写体の部位によっては、入射方向を考えねばならない。

5) 側方散乱による黒化の影響は背後散乱部の方が、前方散乱部より影響が大である。

ところで私たちは、日常の撮影においては、管電圧110kVp、管電流正面では200mA、側面では320mA、時間0.02secで同時二方向撮影をしている。そして患者は、厚さ7cmの発泡スチロールにて、正面像では8:1と5:1のグリッドをクロスさせた上に厚さ3mmのアルミ板を重ね、側面像では8:1のグリッドで厚さ3mmのアルミ板を重ねて用いている。

以上、本報告は側方散乱の様相のみをフィルムで測定し、その黒化度を比較検討したものである。なお、散乱線の定量化および正面散乱との散乱量比較等は今後の課題として、さらに実験を重ね、次に報告したい。

Fig 1 実験方法図

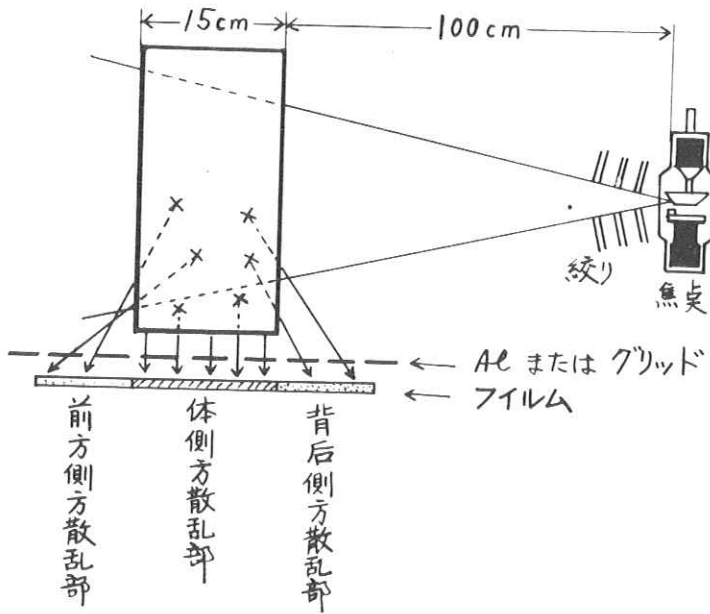
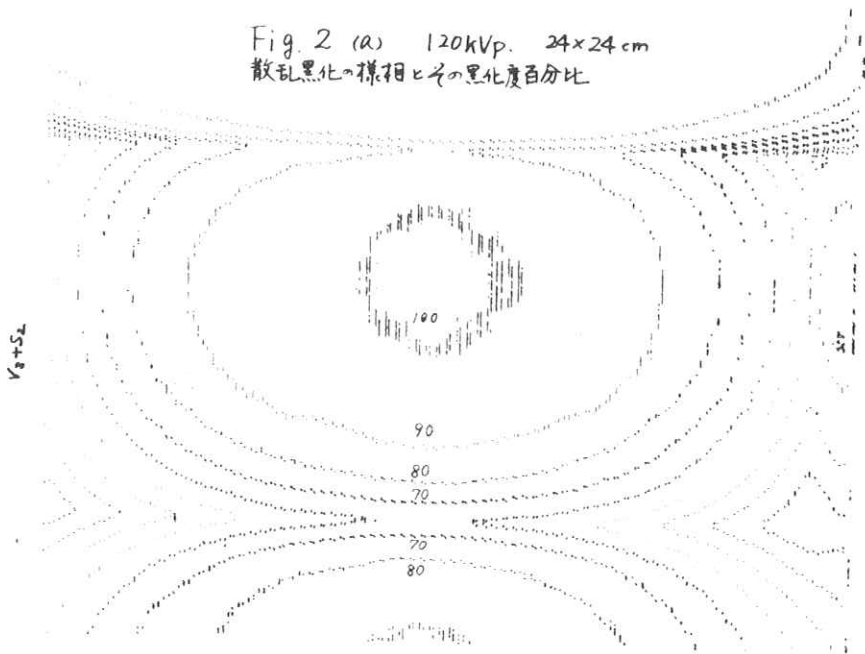


Fig. 2 (a) 120kVp. 24x24cm  
散乱黒化の様相とその黒化度百分比



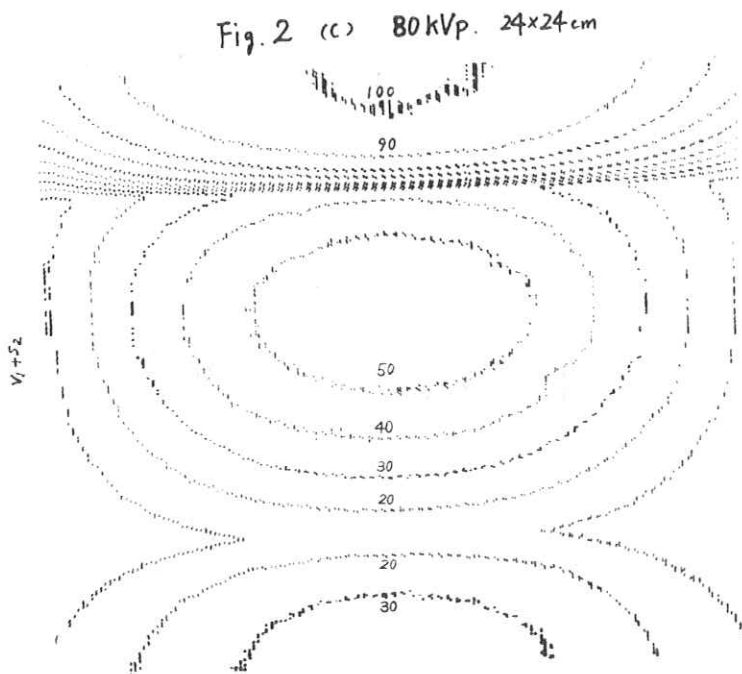
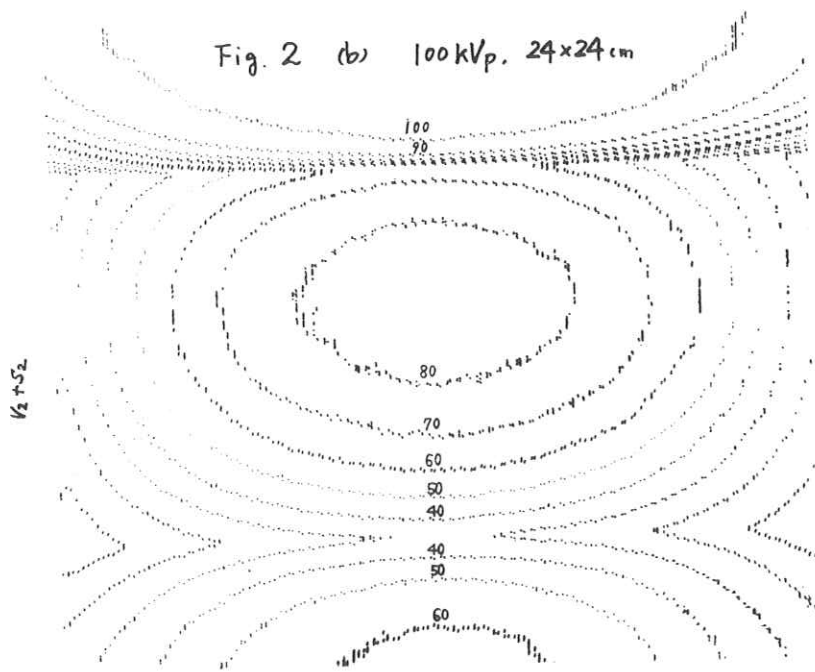


Fig. 3 最高密度 - mAs 曲線

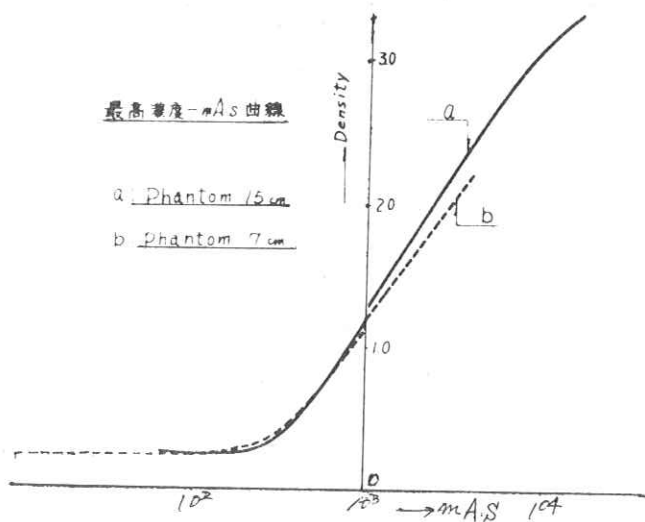
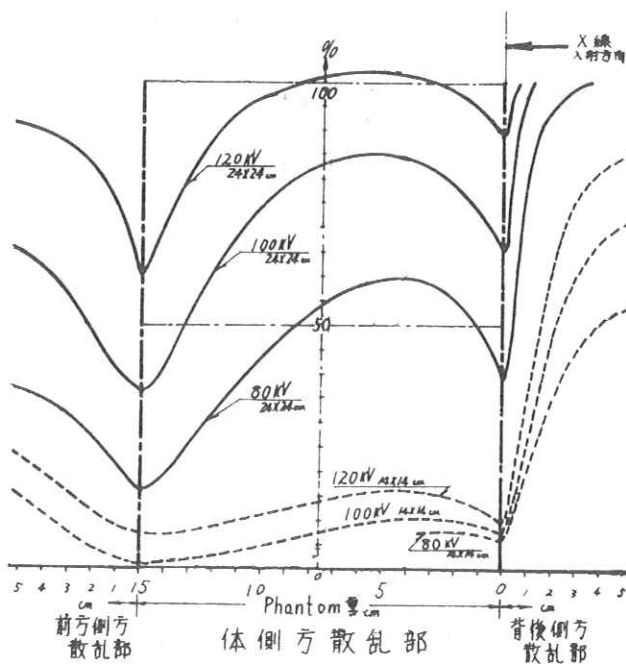


Fig. 4 (A)  
入射点からの硬化率百分比





同時二方向撮影の検討 第二報  
(側方散乱の解析)

大阪大学医療技術短期大学部 内田 勝  
大阪大学医学部附属病院放射線科

若松孝司、山下一也、林 真、段床嘉晴

## 1. 緒 言

第1報で明らかになったように、側方散乱線は、大きく背後側方散乱部、体側方散乱部、前方側方散乱部にわけられる。

本報では、実測値の傾向を考察することによって簡易な実験式を求めることを目的とした。

## 2. 実 験

### 2.1 実験装置および器具

第1報と同じものを使用した。

### 2.2 実験方法

第1図は実験の方法を示すもので、X線を直径3mmのビーム状平行光としてアクリルフアントームに射入させフアントーム下におかれたフィルムによって第2図に示す各側方散乱部出力を得る。

2図(a)は、15cm厚さのアクリルによる側方散乱線像、(b)は7cm厚のアクリルによるものである。

### 2.3 黒化度の線量化

フィルム法により線量分布を求めるには、散乱線の散乱方向による線質変化、フィルムおよび増感紙の線質依存性、X線の斜入の影響等が考慮されなければならないが、照射野およびフアントームの厚さ、そして管電圧が一定であるならば体側方散乱部の最高濃度の位置が一定であること、側方散乱量は、射入X線量すなわち、mA s値に比例するものとみなされるから、最高濃度部が上記の影響を平均的に受けているものと仮定し、最高濃度・mA s曲線(第3図)を射入X線管電圧 10kVp、における黒化度特性曲線に代値した。この最高濃度、mA s曲線を線量分布解析装置に記憶させ、線量分布を得た。

4図(a)は、15cm厚のアクリルによる側方散乱の線量分布であり、4図(b)は、7cm厚のアクリルによるものである。

各図中央の環線を100%として10%間隔で打点されており、最高濃度部は中央の環線内にある。

### 2.4 線量分布のグラフ化

線量分布の様相の一端を伺うために、X線射入方向直下(4図では、Y軸)にそって最高濃度部を100%としグラフ化したものが第5図である。

実線(a)は、15cmアクリルのもの、破線(b)は、7cmアクリルによるものである。

背後側方散乱部、体側方散乱部、前方側方散乱部と大きく3つの山に分かれ、各々の移行部に不連続点が存在することがわかる。

### 3. 実験式

#### 3.1 実験式の定義(A)

実測値を数式化するに当り、散乱線場を右手系座標によって図式化したものが第6図である。

今回は、7 cm厚さのアクリルによる散乱線分布についてだけを考える。

図において、強さ  $I_0$  のビーム状のX線がファントームに入射したとき、ファントーム内にY軸にそって強さ  $\xi I_0 e^{-\mu y}$  のような散乱線源が分布しているものと考え、散乱線源から距離の逆2乗に比例して散乱エネルギーが伝播するものと仮定して、点B(XYZ)に伝播する散乱エネルギーの総括  $E_B$  を

$$E_B = \int_0^A \frac{\xi I_0 e^{-\mu y}}{r^2} dy \quad \text{(A)}$$

ここで、 $\xi$  は係数、 $\mu$  はアクリルの線吸収係数でX線波長の関数であるが管電圧110 kVpのX線を実効電圧80 kVpとみて $\mu$ の値もこれに準じた。Aはファントームの厚さ。

第7図は、(A)式を30等分のシンプソンの公式で数値計算したものである。

実線(a)がY軸上の実測値である

破線(a')がその計算値である。

実線(b)は、 $X=2.5$  (cm) (Y軸より2.5 cm右にそれた直線上)における実測値で、破線(b')は、その計算値である。

A式による計算値は、全体としての傾向は実測値と合うようだが、不連続点をもっていない。

3.2 実験式の定義(B) 第8図において強さ  $I_0$  のX線がファントームに射入した場合Y軸にそって  $\xi I_0 e^{-\mu y}$  の強さの散乱線源が存在し散乱線源から距離の逆2乗に比例して散乱線エネルギーが伝播するものとすると同時に散乱線エネルギーがファントーム内で吸収され指数関数的にも減弱するものとして、点Bに達する散乱エネルギーの総和  $E_B$  を

$$E_B = \int_0^A \frac{\xi I_0 e^{-\mu y}}{r^2} \cdot e^{-\mu y} dy \quad \text{(B)}$$

の形で表わしてみた。ここで、 $r_1$  は散乱線がファントーム内を走る距離。

第9図は、実測値、(A)式による計算値、(B)式による計算値を比較したものである。

9図でわかるように (B)式によるものには、不連続点と3つのピークが表われている。

### 4. 結 言

散乱線の分布を1つの数式にまとめることは、困難なことであるが、散乱線の様相を立体的にとらえて行く一つの手がかりとするために実験を試みた。

(A)式でY軸上の散乱線分布の全体の傾向をとらえ、(B)式で3つの散乱線部のピーク値を表わすようにしたが、背後側方散乱部のピーク部において、実測値と異なるようである。



質疑応答

第 1 報

質問：同時2方撮影において正面および側面のO、T、Fはだしていないか。

答：だしていません。感覚的には、単純撮影に比較して、相当の画質低下をもたらす。

質問：背後側方散乱部、体側方散乱部、前方側方散乱部と3つの部分にわかれるそうだが、それぞれのピーク部の割合はどうなっているか。

答：体側方散乱部の最高濃度の位置を100%として背後側方散乱部で130%、前方側方散乱部で60%の値を示している。

質問：散乱線を欠くために具体的にどのようなようにしているか。

答：クロスグリッドを使用しグレーデル法をとり入れ、特に照射野を絞ることに注意している。

第 2 報

質問：ファントームに四角なものを使用しているので不連続部と3つの山ができるのではないか。

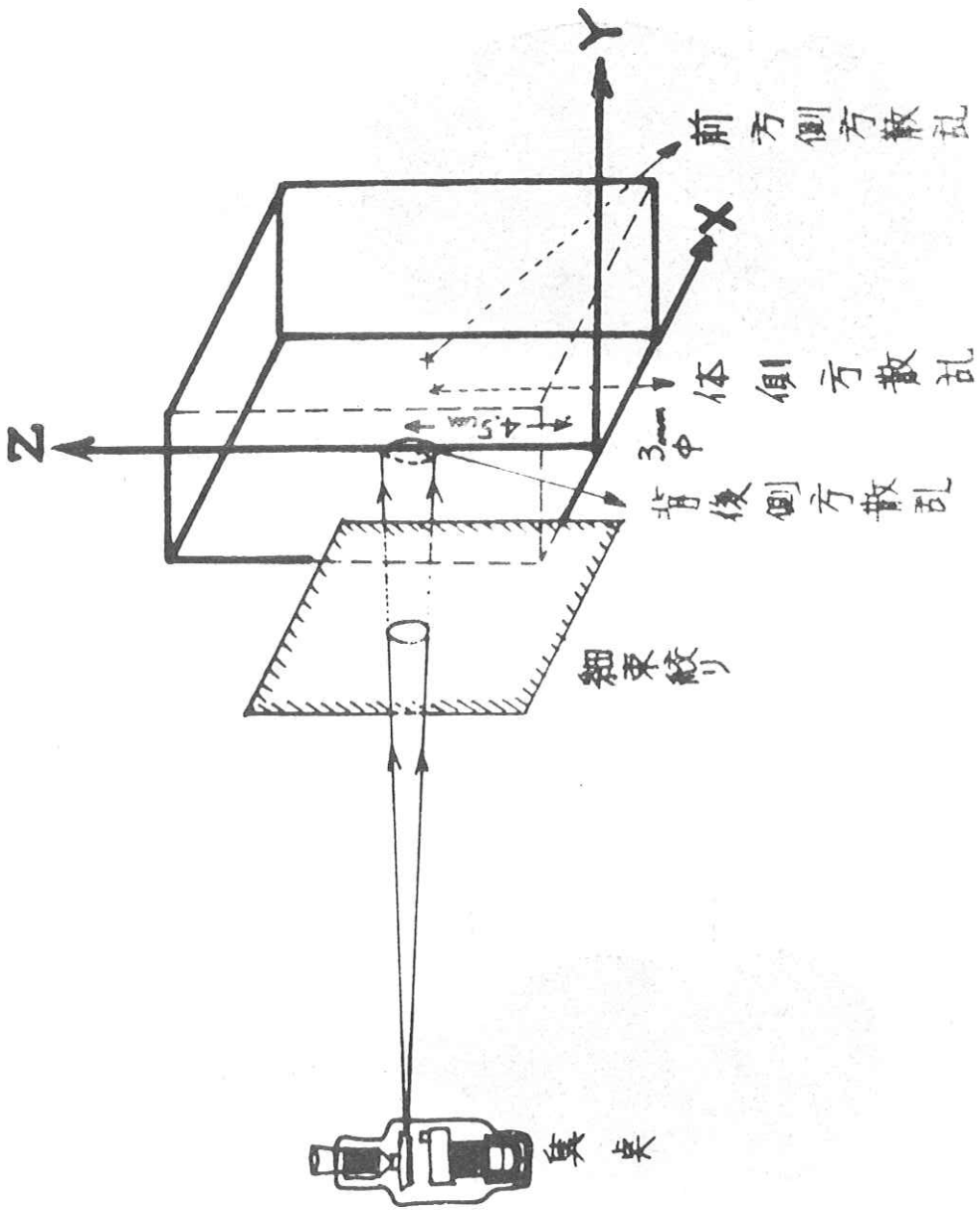
答：その様に思える。ファントームについては、四角なものが一番シンプルであると考え使用した。

質問：ファントームが無限の広がりをもっているなら山は一つできるのではないか。

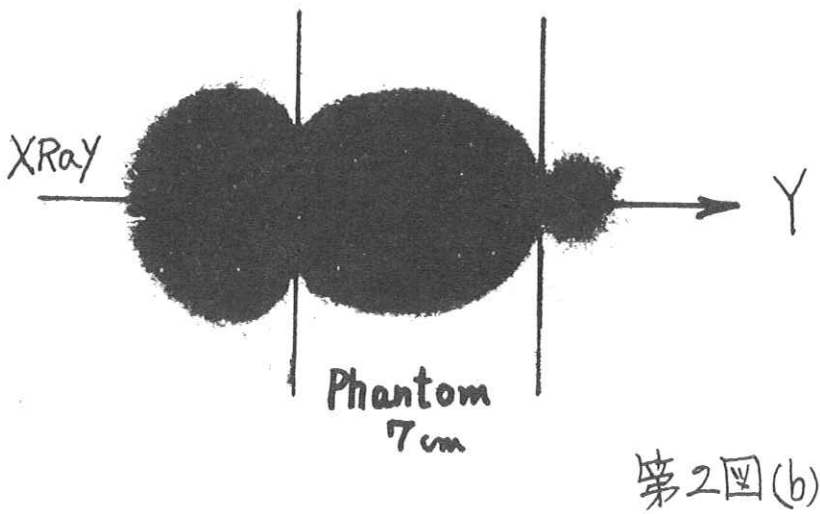
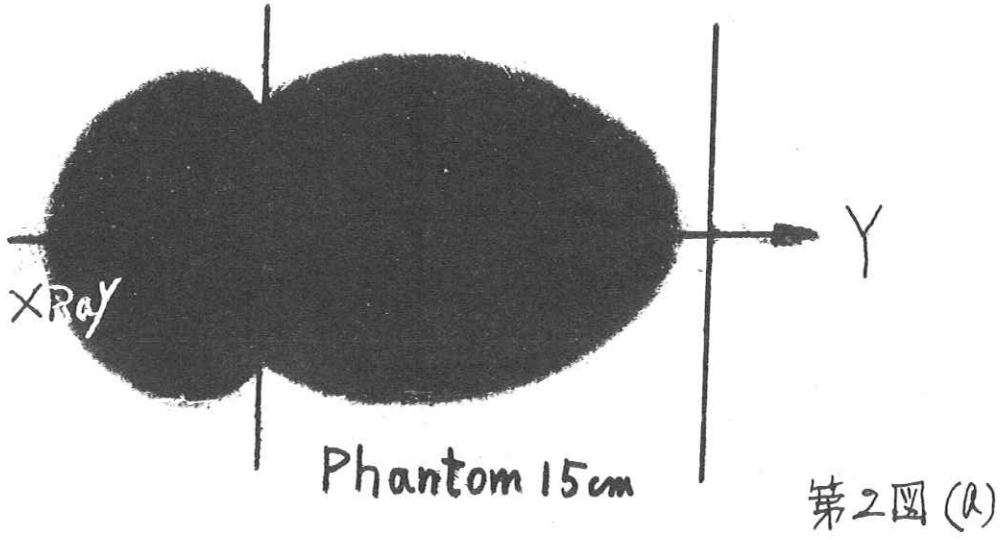
答：(司会者より)

ファントームについては、実験である程度照射野を絞っているもので、無限の状態に近いものと思われる。

尚実験式の中で距離の逆2乗の法則と指数減弱の法則との項が含まれている。これは、明らかに無理なところがあると思われるが、実験式なのである程度の成功を思わせる。背後側方散乱部の異なりは、散乱線のエネルギーの問題が関係しているのではないか。



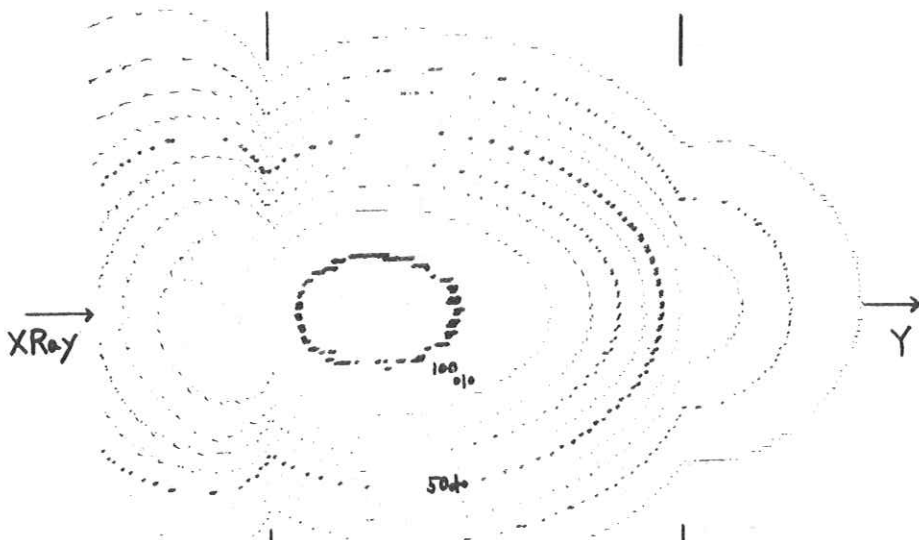
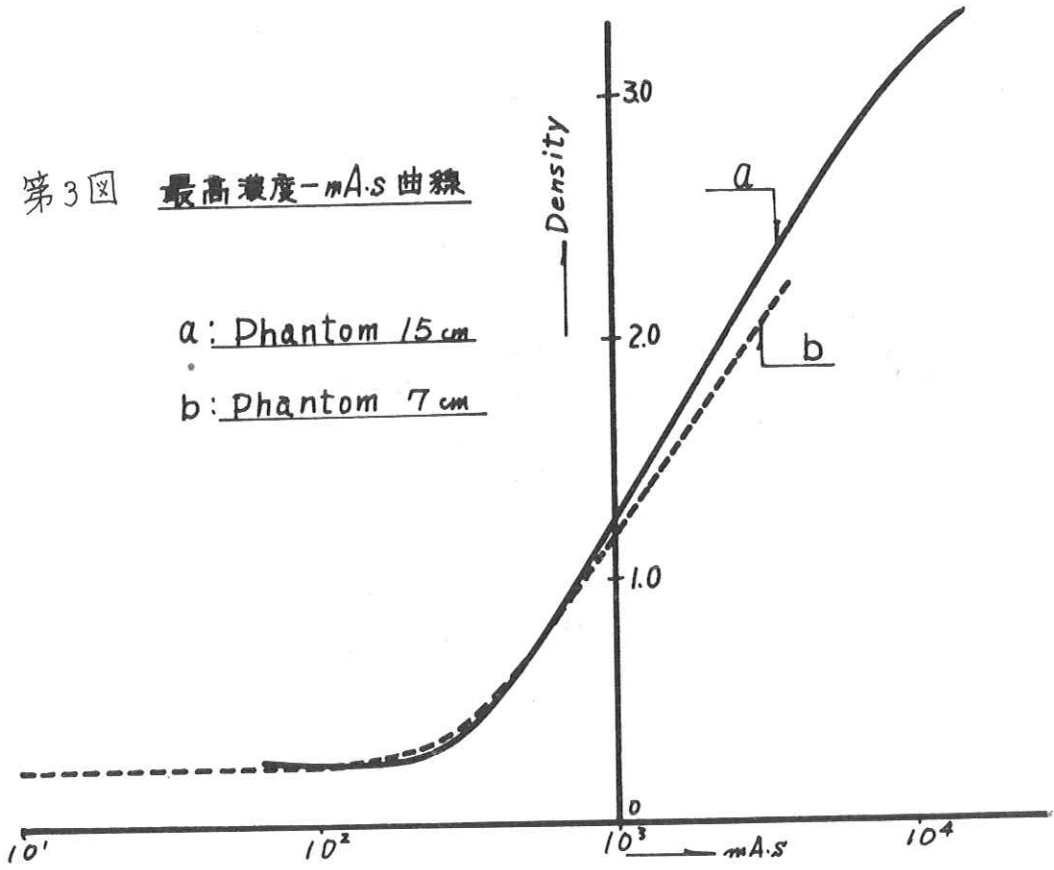
第1図 実験方法



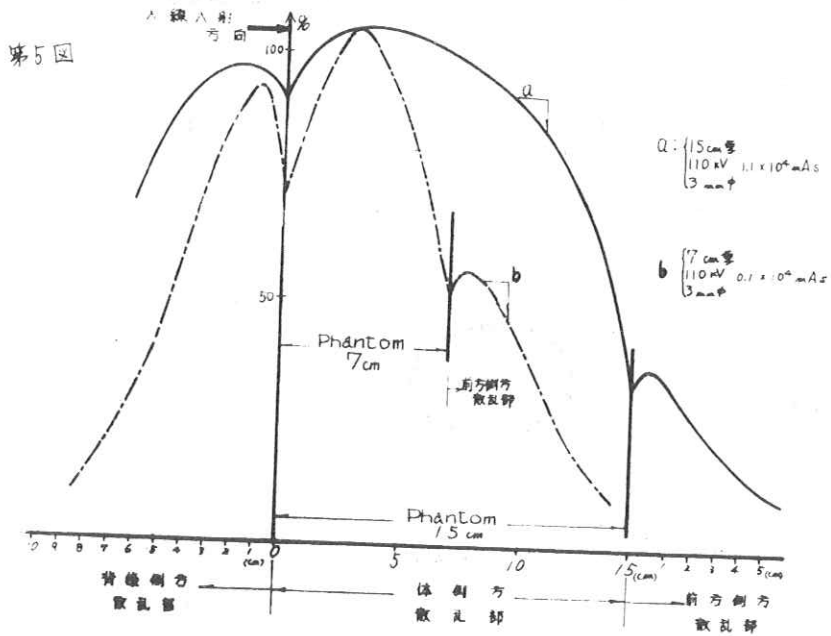
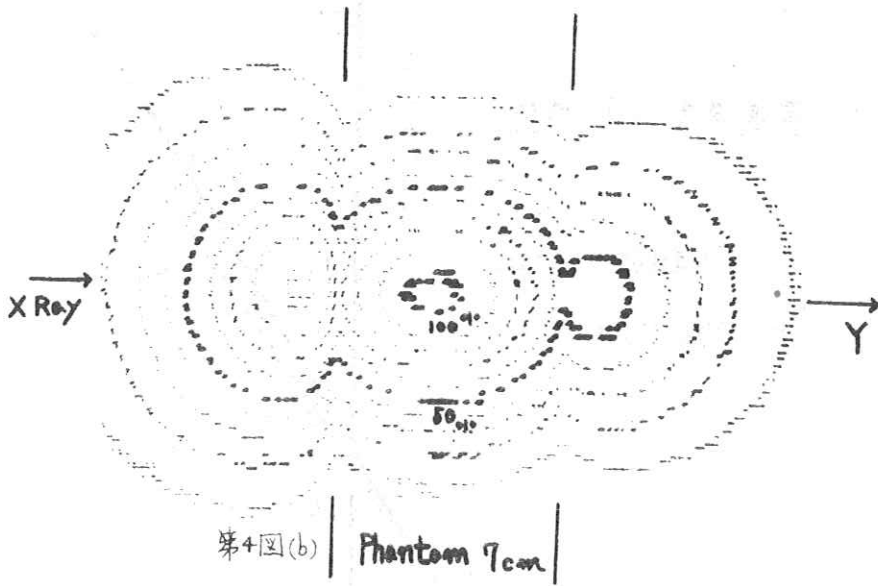
第3图 最高濃度-mA.s 曲線

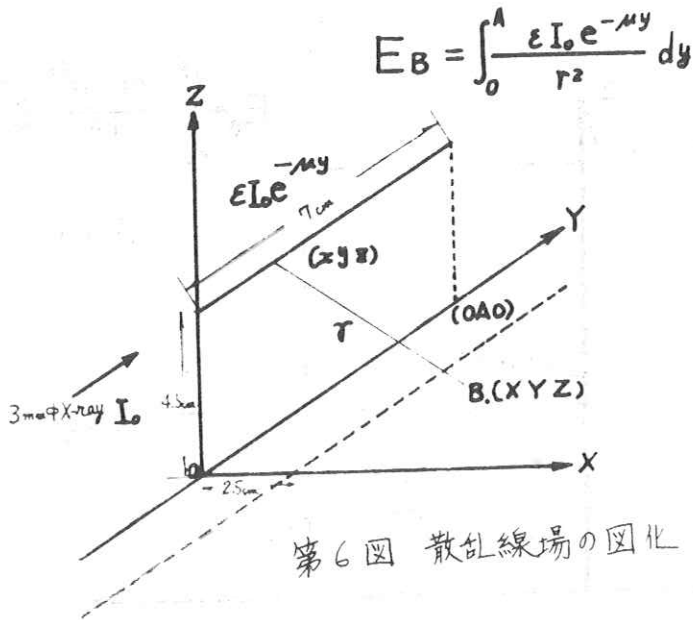
a: Phantom 15 cm

b: Phantom 7 cm

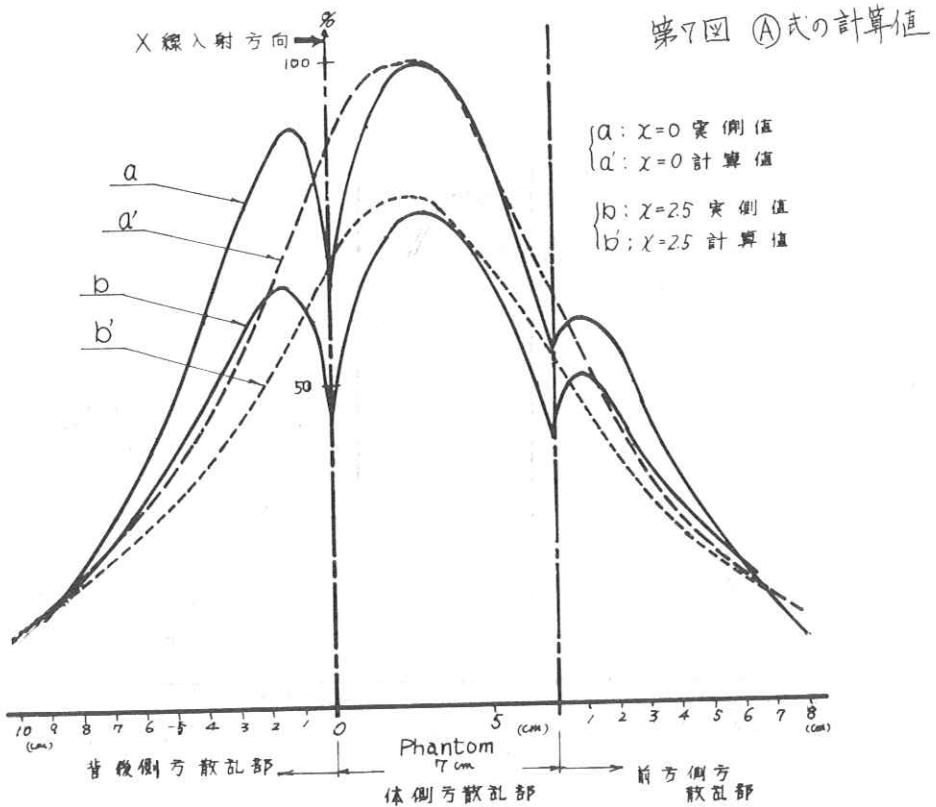


第4图 (a) Phantom 15 cm

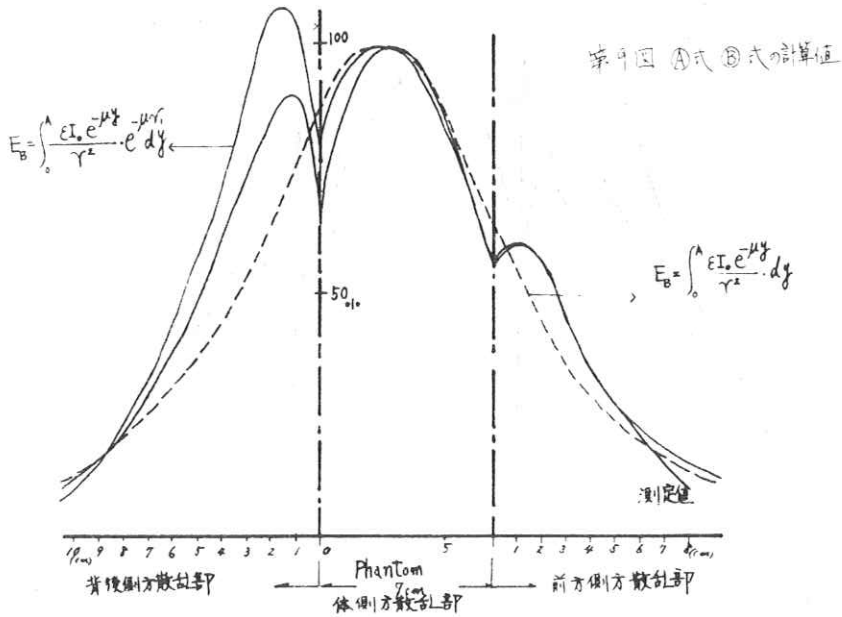
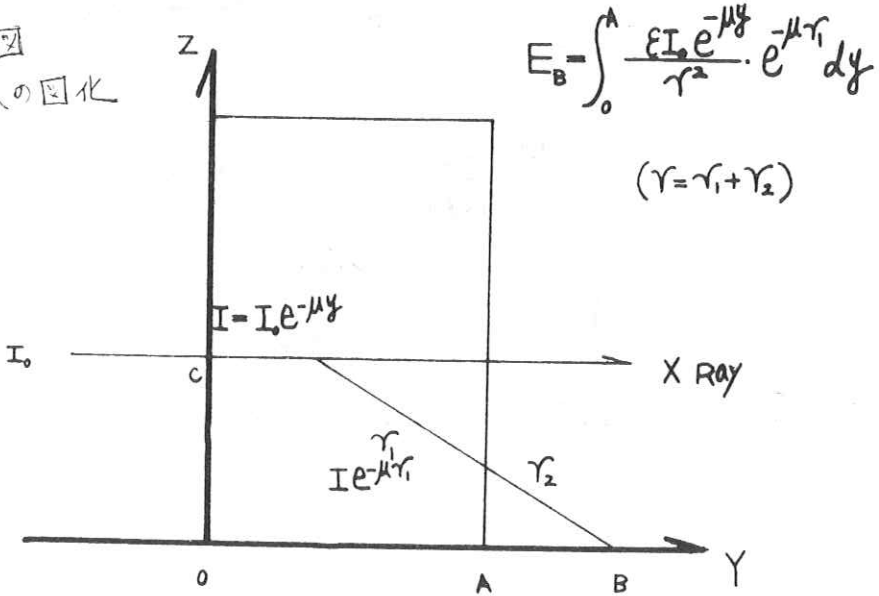




第6図 散乱線場の図化



第8図  
B式の図化



第 8 章  $^{192}\text{Ir}$   $\gamma$ 線 撮影系のレスポンス関数

日本原子力研究所 前 田 頌

## 1. はしがき

フーリエ解析の手法を用いてX線ラジオグラフィの画像特性を検討することは、最近さかんに行なわれており、その報告も数多くなされている。しかし $\gamma$ 線ラジオグラフィに関するこの種の研究はほとんどなされていない。

$\gamma$ 線ラジオグラフィにおける線源は、一般にX線撮影装置に比較して出力が小さいので、撮影距離を近づけるとか、線源サイズを多少大きくして出力の増大をはかるとかする場合が多く、線源によるボケがX線ラジオグラフィにくらべて大きい。また $\gamma$ 線は一般にエネルギーが高いので、フィルムおよび増感紙によるボケも大きく、さらに $\gamma$ 線源の利用は元来X線装置を持ちこめないような幾何学的撮影条件の悪い現場における場合が多い。ラジオグラフィの特性としては大きく分けて、階調度、ボケ、粒状性の3種があり、それぞれが重要な意味をもっている。特にボケが大きい撮影系における識別能の検討には、ボケの特性の検討が不可欠である。

この報告は $^{192}\text{Ir}$ ラジオグラフィにおいて、線源、散乱線およびフィルム—鉛増感紙組合せのレスポンス関数を求め、さらに散乱線のレスポンス関数について検討したものである。

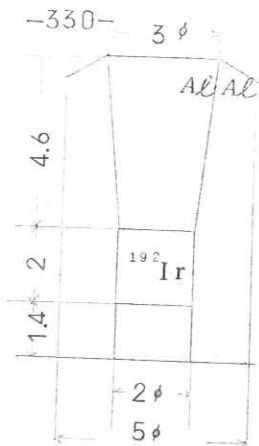
ラジオグラフィにおけるレスポンス関数の測定にはいろいろな方法<sup>(1)</sup>が考えられるが、ここではスリットを用いて線像強度分布を測定し、それをフーリエ変換する方法を用いた。使用した $^{192}\text{Ir}$ 線源は日本原子力研究所においてラジオグラフィ用線源として製造した $2\text{mm}t \times 2\text{mm}\phi$ の円筒形線源で第1図に示すようにアルミニウムカプセルに封入されたものである。第2図および第1表に $^{192}\text{Ir}$   $\gamma$ 線のエネルギースペクトルおよび諸特性を示す。

## 2. フィルム—鉛増感紙組合せのレスポンス関数

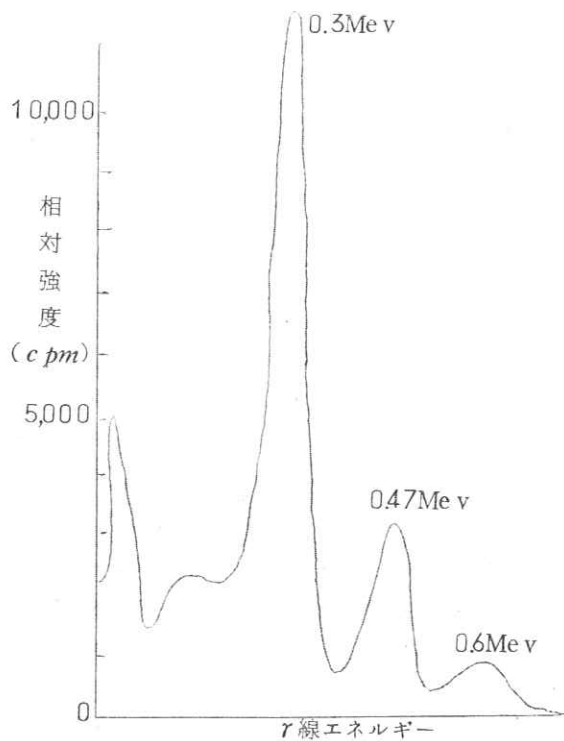
工業利用面における $\gamma$ 線ラジオグラフィにおいては、普通工業用X線フィルムを鉛増感紙との組合せで使用するが、厚さ $0.1\text{mm}$ 程度のものが適当<sup>(2)</sup>とされて一般に用いられているのでこの実験には $0.1\text{mm}$ 厚さの鉛増感紙を用いた。なお $^{192}\text{Ir}$   $\gamma$ 線の場合、フィルムだけの線像強度分布を直接測定することはきわめてむずかしい。それはフィルムを黒紙程度の遮光物に入れ、スリットに密着して露光した場合、スリット壁より発生する二次電子による黒化が大きく、その二次電子を阻止できる厚さのカセットを用いる場合はその物質からの二次電子によって黒化される。したがって直接 $\gamma$ 線による真のフィルムの線像強度分布を求めることができない。また $^{192}\text{Ir}$ ラジオグラフィにおいては、サクラR(フジ#80相当)、およびサクラRR(フジ#100相当)などの実用的に広く用いられている工業用X線フィルムを鉛増感紙との組合せで用いる場合、それらのフィルム濃度と露光量の関係は第3図にみられるように、濃度3程度まではよい近似で直線関係を示す。

このことはフィルム濃度分布から露光量分布を求めるためにはきわめて有利な条件となっている。蛍光増感紙との組合せの場合にはこの関係はもちろん直線とはならないが、この差はカプリのコントラストに与える影響を検討する場合特に重要である。

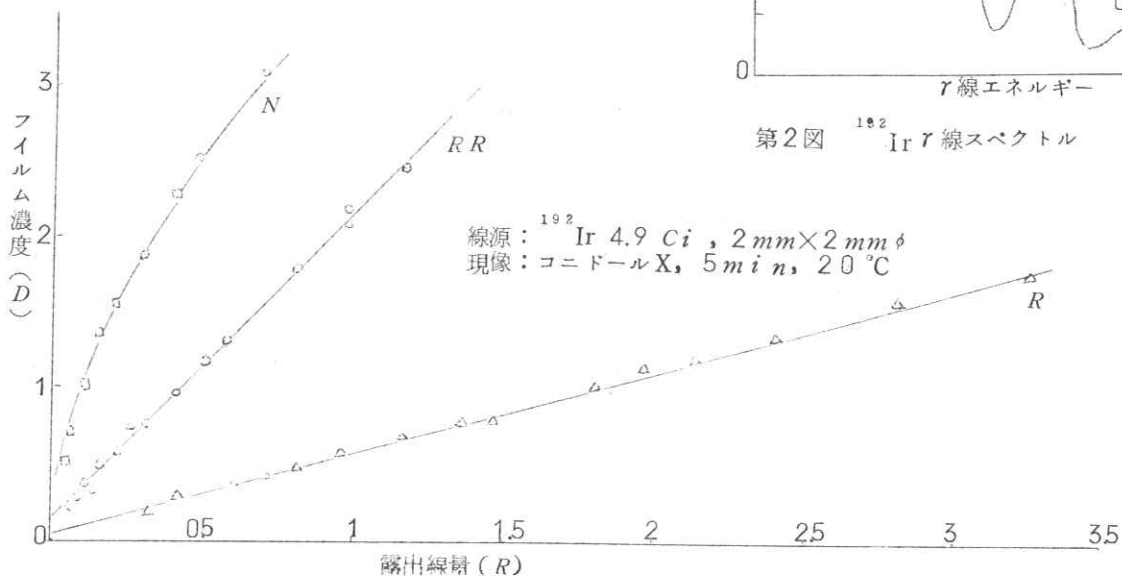




第1図 ラジオグラフィ用  $^{192}\text{Ir}$   $\gamma$ 線源



第2図  $^{192}\text{Ir}$   $\gamma$ 線スペクトル



第3図  $^{192}\text{Ir}$   $\gamma$ 線を用いた場合のフィルム特性曲線

第1表  $^{192}\text{Ir}$  ラジオグラフィ線源の諸特性

線源形状	2 mm t $\times$ 2 mm $\phi$	化学的形状	金属
線源強度	10 ci	密度	22.4 g/cm <sup>3</sup>
半減期	74.4日	鉄に対する線吸収係数	0.0704 mm <sup>-1</sup>
$\gamma$ 線エネルギー	0.3~0.61 Mev	1 ci当りの $\gamma$ 線線量率	0.50 R at 1m
$\beta$ 線エネルギー	0.6, 0.5 Mev		

2-1. 実験方法および結果

フィルム — 鉛増感紙組合せのレスポンス関数,  $O(\nu)$  はその線像強度分布  $h_f(x)$  のフーリエ変換で定義される。

第4図は  $h_f(x)$  を求めるための実験配置であって、巾0.03mm, 長さ50mmの鉛スリット後面にフィルム — 鉛増感紙をセットしたカセットをおいてある。この配置で露出後現像したフィルムを、別に測定しておいたフィルム特性曲線(第3図)を用いて露光量分布に変換したのが第5図に示す線像強度分布である。ただしこの場合の露光量とはフィルムを黒化するのに有効な線量であって必ずしも入射光子あるいは電子の数ではない。第5図の分布はスリットの影響も含んでおり、そのフーリエ変換を  $O'(\nu)$  とすると

$$O'(\nu) = O(\nu) S(\nu) \quad (1)$$

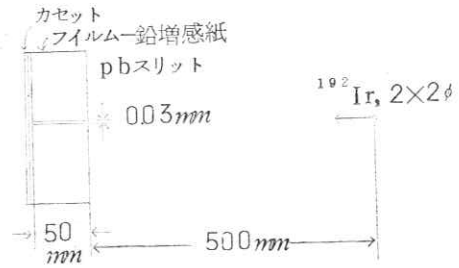
と表わされる。ここで  $S(\nu)$  はスリットのレスポンス関数である。第6図は(1)式によりスリットの補正をして求めたフィルム — 鉛増感紙組合せのレスポンス関数である。この結果は3回の測定値の平均であるが、それぞれの値は平均から約5%以内の誤差範囲に入っている。

2-2. 結果の検討

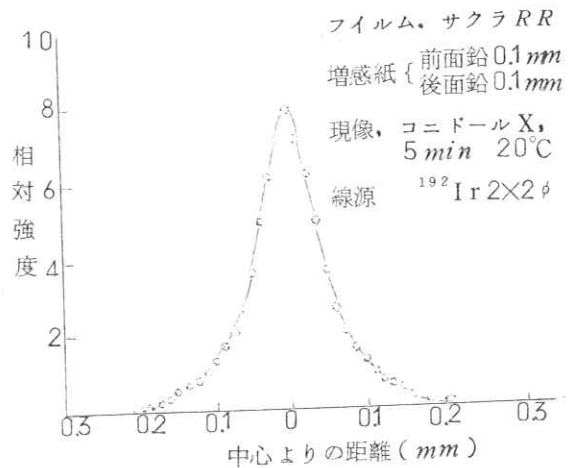
(1) スリットの影響

フィルム — 鉛増感紙組合せのレスポンス関数を第5図の分布から(1)式を用いて求める場合、スリットの線像強度分布を測定する必要がある。とくにフィルム — 鉛増感紙組合せの線像強度分布のようにそれ自身の中がかなりせまい場合は、スリットの影響は当然大きくなる。したがって結果に与える影響を無視できる程度にスリット巾を小さくし、スリット厚さを大きくするかあるいは正確にスリットの線像強度分布を求めてその補正をする必要がある。

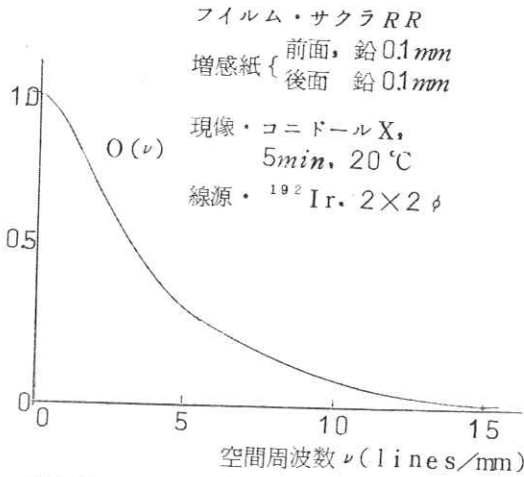
可視光線あるいは低エネルギーX線領域においては、スリット部分以外の透過線は無視できるのでスリット



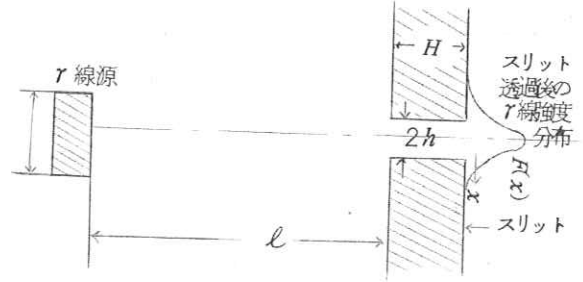
第4図 フィルム — 鉛増感紙の線像強度分布を求める実験配置



第5図 フィルム — 鉛増感紙組合せの線像強度分布



第6図 フィルム—鉛増感紙組合せのレスポンス関数



第7図 スリット撮影のための配置図

は単に巾だけが問題であり、巾  $2h$  が知ればスリットのレスポンス関数は  $S(\nu) = \sin 2\pi h\nu / (2\pi h\nu)$  と求まる。しかし <sup>192</sup>Ir r線のようにある程度エネルギーが高くなると、必要なスリットの厚さが大きくなり、幾何学的にみてもその巾は線源の各位置に対してこととなる。またスリット物質の透過の影響も無視できなくなる。いま第7図に示すような配置を考えてみると、線源によるスリット透過後のスリット後面におけるr線強度分布、 $F(x)$  は、 $x$ の範囲をスリット近くに限定し、さらにスリット厚さ $H$ に比較してスリット—線源距離 $\ell$ が十分大きく、またスリット巾 $2h$ は $H$ に対して十分小さい等の条件をおくと次式で示される。

$$F(x) = F'(x) + F'(-x) \tag{2}$$

ただし、

$$F'(x) = \int_0^s \{ f_1(x, s) + f_2(x, s) + f_3(x, s) + f_4(x, s) + f_5(x, s) \} ds \tag{3}$$

$$f_1(x, s) = e^{-\mu H} \quad x \leq -\left[ \frac{H}{\ell}(s+h) + h \right] \quad x \geq h$$

$$f_2(x, s) = e^{-\frac{\ell(x+h)\mu}{s+h}} \left\{ \begin{array}{ll} -\left[ \frac{H}{\ell}(s+h) + h \right] \leq x \leq -h & 0 \leq s \leq \frac{2\ell h}{H} + h \\ -\left[ \frac{H}{\ell}(s+h) + h \right] \leq x \leq -\left[ \frac{H}{\ell}(s-h) - h \right] & s \geq \frac{2\ell h}{H} + h \end{array} \right. \tag{4}$$

$$f_3(x, s) = e^{-\left\{ \frac{\ell h(2s-x)}{s^2 - h^2} - H \right\} \mu} \quad -\left[ \frac{H}{\ell}(s-h) - h \right] \leq x \leq -h \quad s \geq \frac{2\ell h}{H} + h$$

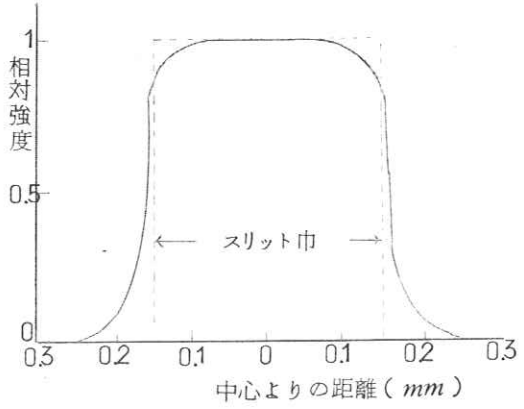
$$f_4(x, s) = \left\{ \begin{array}{ll} \frac{\ell}{H}(h-x) + h & s \geq \frac{\ell}{H}(h-x) + h \\ s & s \leq \frac{\ell}{H}(h-x) + h \end{array} \right\} \quad -h \leq x \leq h$$

$$f_5(x, s) = e^{-\left[ \frac{\ell(x-h)}{s-h} + H \right] \mu} \quad s > h \quad -h \leq x \leq h$$

ここで $\mu$ はスリット物質の $r$ 線吸収係であり、 $2S$ は線源巾である。

第4図の実験配置においてスリット透過直後の線量分布を(2)式、(3)式および(4)式を用いて求めてみると第8図に示すように巾 $2h$ のクエイ波に近く、さらにこの

場合線源の位置が中心から第7図に示すスリット面と平行な方向に対して多少ずれても、その一部がスリット開口を見込む位置にある限り、ほとんどその分布は変わらない、このようなスリットにおいてはその影響は巾 $2h$ のクエイ波すなわち  $S(\nu) = (\text{Sin } 2\pi h\nu) / (2\pi h\nu)$  として(1)式の補正をしてもさしつかえない。第6図のフィルム—鉛増感紙組合せのレスポンス関数はこのようにしてスリットの補正をしたものである。しかしたとえば鉄製の厚さ $20\text{ mm}$ 、 $0.1\text{ mm}$ 巾程度のスリットの場合にはその線像強度分布はクエイ波からかなりずれてくる。特に重要なことは線源の位置の誤差がスリットの線像強度分布を大きく変化させることである。このような場合は正確にスリットの補正を行なうことはむづかしい。

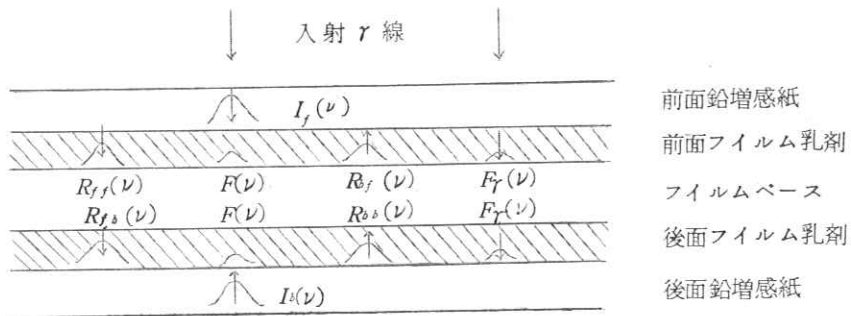


第8図 第4図の配置におけるスリット透過後の $r$ 線強度分布

なんとすれば $r$ 線源を所定の位置に設置するには $1\text{ mm} \sim 2\text{ mm}$ 程度の誤差は避けられないからである。したがってこのようなスリットで、フィルム—鉛増感紙組合せの線像強度分布を求める場合は誤差は大きく、再現性は著しく低下する。

(2) フィルム—鉛増感紙組合せのレスポンス関数の解析

両面乳剤フィルムであるX線フィルムと2枚の鉛増感紙との組合せで露光する場合、像の形成される過程は複雑であり、したがってこの系における線像強度分布はさらにいくつかの線像強度分布の合成されたものになる。いまこの系において、土井がX線撮影系のフィルム—蛍光増感紙組合せにおいてボケの形成の解析を行なっているように、その手法にならってこの系の解析を行なってみる(第9図)。



第9図 フィルム—鉛増感紙組合せ系における像伝達の様子

前面フィルム乳剤および後面フィルム乳剤のレスポンス関数をそれぞれ  $O_f(\nu)$  および  $O_b(\nu)$  とすると全体のレスポンス関数は

$$O(\nu) = O_f(\nu) + O_b(\nu) \tag{5}$$

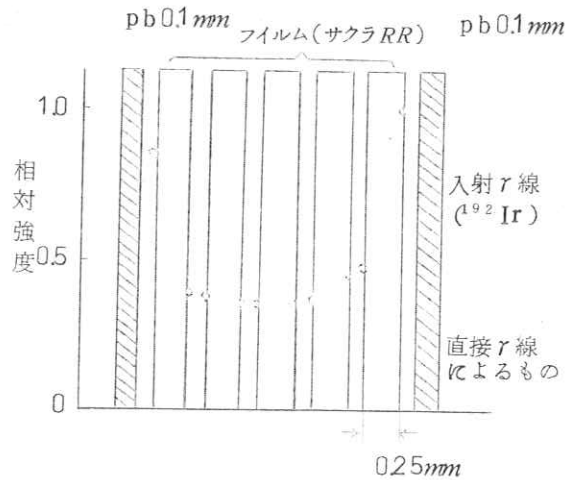
となる。ここで前面鉛増感紙および後面鉛増感紙のレスポンス関数を  $I_f(\nu)$  および  $I_b(\nu)$  , 前面および後面鉛増感紙より放出される二次電子の前面フィルム乳剤における拡散過程のレスポンス関数を  $R_{ff}(\nu)$  および  $R_{bf}(\nu)$  , 前面および後面鉛増感紙より放出される二次電子の後面フィルム乳剤における拡散過程のレスポンス関数を  $R_{fb}(\nu)$  および  $R_{bb}(\nu)$  , 鉛増感紙より放出される二次電子に対するフィルム乳剤のレスポンス関数を  $F(\nu)$  , 直接  $\gamma$  線に対するフィルム乳剤のレスポンス関数を  $F_\gamma(\nu)$  とすると, 前面フィルム乳剤および後面フィルム乳剤のレスポンス関数は次式で示される。

$$O_f(\nu) = r_1 I_f(\nu) R_{ff}(\nu) F(\nu) + r_2 I_b(\nu) R_{bf}(\nu) F(\nu) + r_3 F_\gamma(\nu) \tag{6}$$

$$O_b(\nu) = r_2' I_f(\nu) R_{fb}(\nu) F(\nu) + r_1' I_b(\nu) R_{bb}(\nu) F(\nu) + r_3' F_\gamma(\nu) \tag{7}$$

ここで  $r_1 \dots r_3'$  は各項の重みであり,  $\sum r = 1$  である。(6)式および(7)式の右辺の第1項は前面鉛増感紙に原因する部分であり, 同じく右辺の第2項は後面鉛増感紙による部分である。また第3項は直接  $\gamma$  線による部分である。

つぎに  $r_1 \dots r_3'$  を求めるため第10図に示すように鉛増感紙の間に密着して5枚のフィルムをはさみ,  $^{192}\text{Ir}$   $\gamma$  線による照射を行なってそれぞれのフィルムの片面乳剤のみのフィルム濃度を求め, それぞれの乳剤が受けた線量比を求めた。図中点線は両側の鉛増感紙の影響の無視できる範囲すなわち直接  $\gamma$  線によるものと考えられる。X線フィルムはベースの厚さが  $0.25\text{mm}$  であるが,  $^{192}\text{Ir}$  の  $\gamma$  線の場合, そのエネルギースペクトルからみると, 鉛増感紙中で光電効果あるいはコンプトン効果によって  $\gamma$  線から変換された二次電子がフィルムベース1枚を透過する割合はわずかであろうことが予想されるが, 第10図よりみてそのことが確認される。すなわち  $^{192}\text{Ir}$  ラジオグラフィの場合, 鉛増感紙の黒化の寄与はフィルム後面乳剤に対しては少ない。このようにして全黒化度のうち直接  $\gamma$  線による割合, 前面および後面鉛



第10図  $^{192}\text{Ir}$   $\gamma$  線の鉛箔中より発生する二次電子のフィルムベース中の吸収の様子

増感紙による黒化の割合、前面および後面鉛増感紙より放出される二次電子がそれぞれのフィルムベースを透過して反対側乳剤を黒化する割合等、すなわち  $r_1 \cdots r_3'$  を求めるとつぎのようになる。 $r_1 = 0.31$ ,  $r_2 = 0.03$ ,  $r_3 = 0.17$ ,  $r_1' = 0.25$ ,  $r_2' = 0.07$ ,  $r_3' = 0.17$ , これらを (6) 式および (7) 式に代入し (6) 式を考慮すると

$$O(\nu) = [I_f(\nu) \{0.31 R_{ff}(\nu) + 0.07 R_{fb}(\nu)\} + I_b(\nu) \{0.25 R_{bb}(\nu) + 0.03 R_{bf}(\nu)\}] F(\nu) + 0.34 F_r(\nu) \quad (8)$$

が得られる。土井<sup>(3)</sup>によれば医療用 X 線撮影に用いられる蛍光増感紙は、前面と後面では質的にことなり、結果として複雑な現象が生じるとのことであるが、<sup>192</sup>Ir ラジオグラフィにおいては前面および後面の鉛増感紙は質的には同じであるが、正確には  $r$  線の入射方向に対して前方と反対方向では発生する二次電子のエネルギー分布が同じではなく、したがってそれらのレスポンス関数もことになってくる。しかしこのことは実験的にフィルムの露光によって確かめることは不可能に近い程度の差であり、実用的には同じみでも十分である。すなわち  $I_f(\nu) = I_b(\nu)$ ,  $R_{ff}(\nu) = R_{bb}(\nu)$ ,  $R_{fb}(\nu) = R_{bf}(\nu)$  としてもよい。また  $F(\nu)$  は他のレスポンス関数に対して 1 とみてもよいと思われる。その場合 (8) 式は

$$O(\nu) = I_f(\nu) \{0.56 R_{ff}(\nu) + 0.1 R_{fb}(\nu)\} + 0.34 F_r(\nu) \quad (9)$$

となる。(9) 式において直接測定可能なのは  $O(\nu)$  だけであり、<sup>192</sup>Ir ラジオグラフィにおいては実験精度の点から  $I_f(\nu)$ ,  $R_{ff}(\nu)$ ,  $R_{fb}(\nu)$  および  $F_r(\nu)$  をそれぞれ有意差が認められる程度に正確に求めることは困難であり、実用上あまり意味がない。むしろフィルム—鉛増感紙組合せを 1 つの受光系として扱おうことで十分であるように思われる。

電離放射線による写真乳剤の黒化は、乳剤中のハロゲン化銀粒子を構成している原子との反応により生じた二次電子によってなされる。またその放射線エネルギーによって、発生する二次電子の個数およびエネルギーがことなり乳剤につくられる潜像の大きさに相違を生ずる。70 kVp 程度の X 線ではフィルムの線像強度分布は 10  $\mu$  程度の巾であるとの報告もあるが、<sup>(5)</sup><sup>192</sup>Ir  $r$  線では光電効果およびコンプトン効果によって発生する二次電子の方向性およびエネルギー等からみてそのように巾のせまい線像強度分布にはならないと思われる。したがって (7) 式において  $F_r(\nu)$  を無視することはできない。

### 3. 線源のレスポンス関数

$r$  線ラジオグラフィにおける線源のレスポンス関数は X 線ラジオグラフィにおける X 線管焦点の場合と同様に、その線像強度分布のフーリエ変換で定義される。<sup>(6)~(9)</sup> また  $r$  線の直進性から光学的に考えると、線源の線像強度分布はフィルム面よりみた線源の  $r$  線強度分布に等しい。

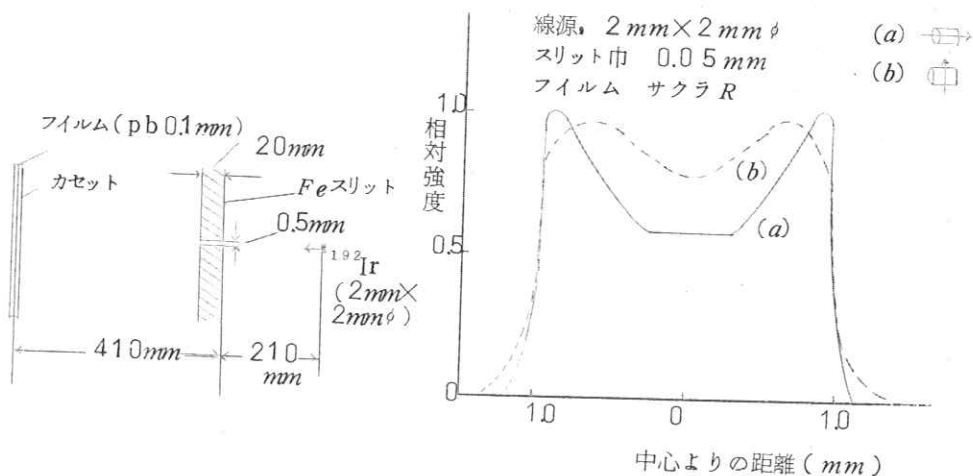
#### 3-1. 実験方法および結果

第 11 図は線源の  $r$  線強度分布を求めるためのスリット撮影の配置図である。第 12 図はこの配置によって線源のスリット写真をとリ、マイクロホメータでフィルム濃度分布を測定し、拡大率の補正をして、さらにフィルム特性曲線 (第 3 図) を用いて線量強度分布に変換したものである。第 13 図の実線はこの分布

(第12図(a))をフーリエ変換したもので、これを  $H_{D+f+S}(v)$  とすると

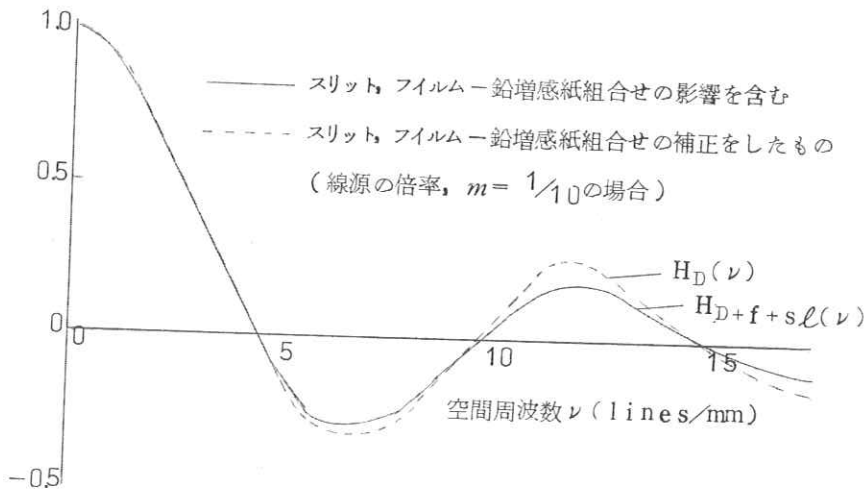
$$H_{D+f+S}(v) = H_D(v) O(v) S(v) \tag{10}$$

となる。ここで  $H_D(v)$ ,  $O(v)$  および  $S(v)$  はそれぞれ線源、フィルム—鉛増感紙組合せおよびスリットのレスポンス関数である。第13図点線は(12)式によってスリットおよびフィルムの影響を補正して求めた線源のレスポンス関数である。フィルム—鉛増感紙組合せのレスポンス関数は第6図に示したものを、スリットのレスポンス関数はスリットの線像強度分布を巾  $0.1\text{ mm}$  のクエイ波として、 $S(v) = (\text{Sin } 0.1\pi v) / (0.1\pi v)$  を用いた。



第11図 線源の  $r$  線強度分布を測定するためのスリット撮影配置

第12図  $^{192}\text{Ir}$  線源の線像強度分布

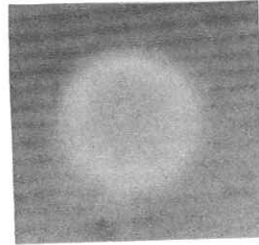
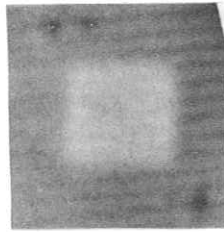


第13図  $^{192}\text{Ir}$  線源 ( $2\text{ mm} \times 2\text{ mm} \phi$ ) のレスポンス関数(第12図(a)方向の場合)

### 3-2. 結果の検討

第11図の線源のスリット撮影配置におけるスリットの線像強度分布は、線源の線像強度分布に比較してはるかにせまく、したがってスリットの線像強度分布自身の誤差が結果に与える影響は小さい。この場合はスリットのレスポンス関数を  $S(\nu) = (\text{Sin } 0.1\pi\nu) / (0.1\pi\nu)$  として(10)式の補正を行なえば十分である。

なお第12図にみられるように  $^{192}\text{Ir}$  線源は外側の部分の放射能強度が大きくなっているが、これは  $2\text{mm } t \times 2\text{mm } \phi$  の Irペレットを原子炉中で熱中性子放射化する場合、Ir自身による熱中性子の遮へい効果のため、中に入るほど放射化されにくくなるためである。第14図は  $2\text{mm } t \times 2\text{mm } \phi$  の  $^{192}\text{Ir}$  線源の2方向からのピンホール写真であってこの様子がよくみられる。また第13図によるとこの線源を用いる場合、特定の周波数において偽解像が生じることを示しているが、第15図のシーメンススターのラジオグラフは偽解像が生じていることを示している。



第14図 ラジオグラフィ用  $^{192}\text{Ir}$  線源のピンホール写真(ピンホール,  $0.3\text{mm } \phi$ )



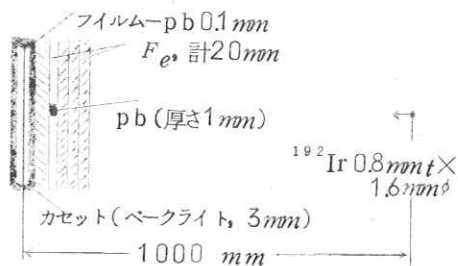
第15図  $^{192}\text{Ir}$  線源 ( $2\text{mm } t \times 2\text{mm } \phi$ ) によるシーメンススターのラジオグラフ

## 4. 散乱線のレスポンス関数

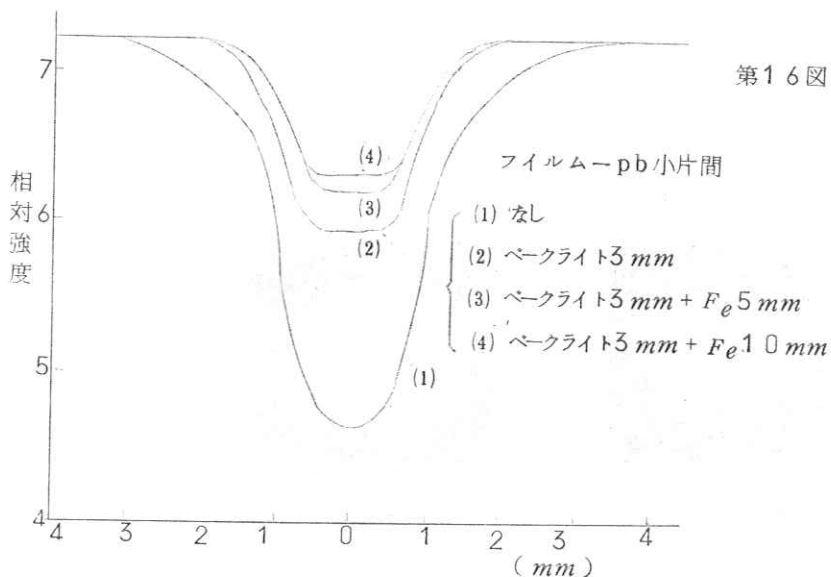
### 4-1. 微小欠陥が物体中に存在する場合

散乱線もまた線源、フィルムおよび増感紙等のように一般に像の変形をもたらし、識別能を低下させる原因となる。第17図は第16図の配置において鉛小試片とフィルム間の物体の厚さを変えた場合のフィルムが受けた露光量分布である。この場合フィルム — 鉛小試片間の距離の変化にとまらぬ線源のボケの影響は無視できる程度に、フィルム — 線源間距離を十分長くとってあるので、第17図の各分布曲線の相違は散乱線の影響によるものとみなしてもよい。フィルム — 鉛小試片間がベークライト  $3\text{mm}$  (カセットの厚さ) + 鉄  $10\text{mm}$  以上ではその分布は一定となる。すなわちそれ以上では散乱線の影響は鉛小試片の像を形成するには無関係に単なるカブリを与えるだけとなる。第17図より散乱線分布だけをとり出したのが第18図である。この様子を第19図にモデル化して示したが、欠陥部がフィルムに近接して存在する場合は散乱線といえども直接線と同様に像を形成する。

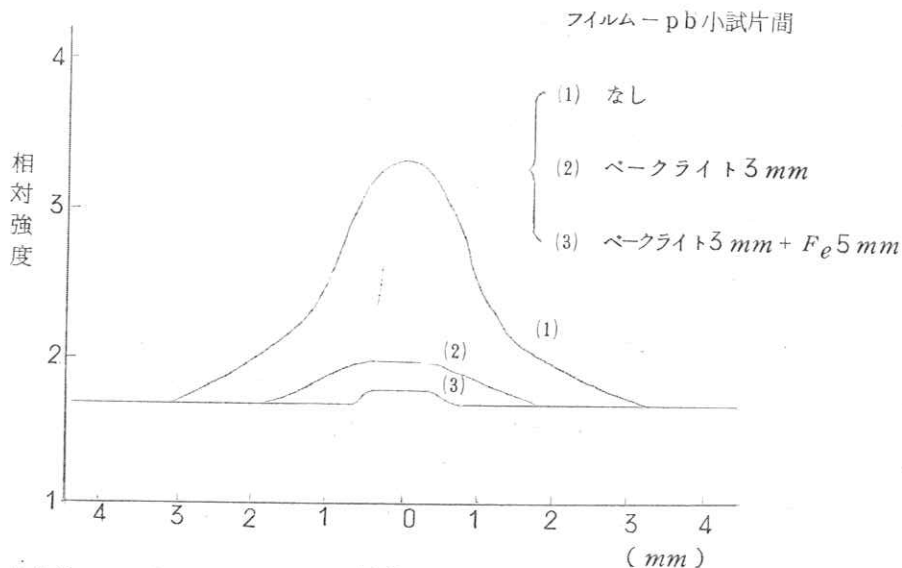




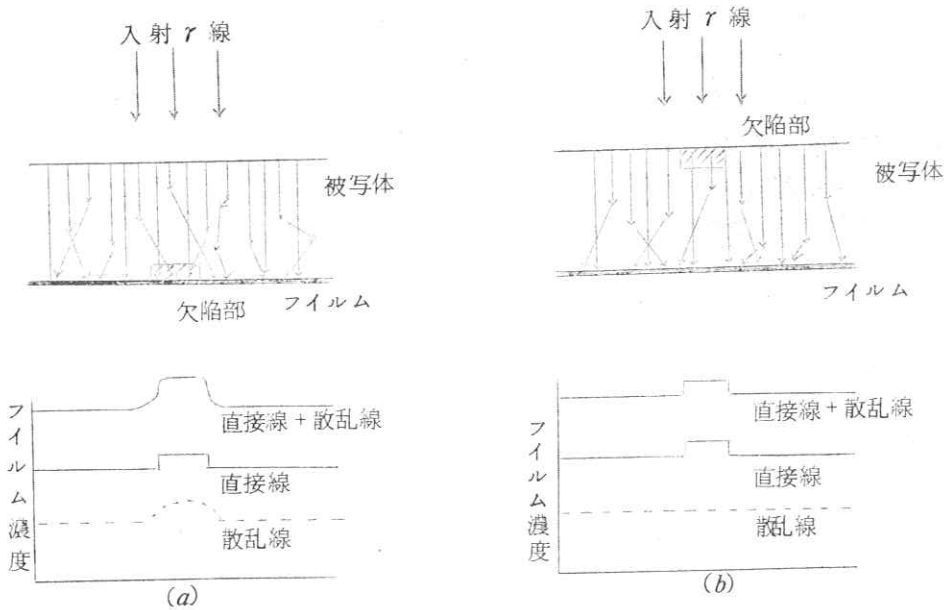
第16図 散乱線の線像強度分布を求めるための撮影配置



第17図 第16図の配置によって撮影された被写体透過後の線量分布



第18図 第17図の分布のうち散乱線の影響だけを取り出した場合の分布



第19図 物体中に小欠陥が存在する場合の全露光量分布におよぼす散乱線の影響  
 (a) , 欠陥がフィルム側に近接して存在する場合  
 (b) , 欠陥がフィルム側より離れて存在する場合  
 (露光量とフィルム濃度が直線関係にある場合, 第3図参照)

これに対して欠陥部がフィルムから離れて存在する場合は, 第19図(b)に示すように散乱線が像の形成に寄与することはほとんどなくなり全体にカブリを与えるだけになる。

いま直接線および散乱線の線像強度分布をそれぞれ  $h_D(x)$  および  $h_S(x)$  とすると両者を含む線像強度分布は

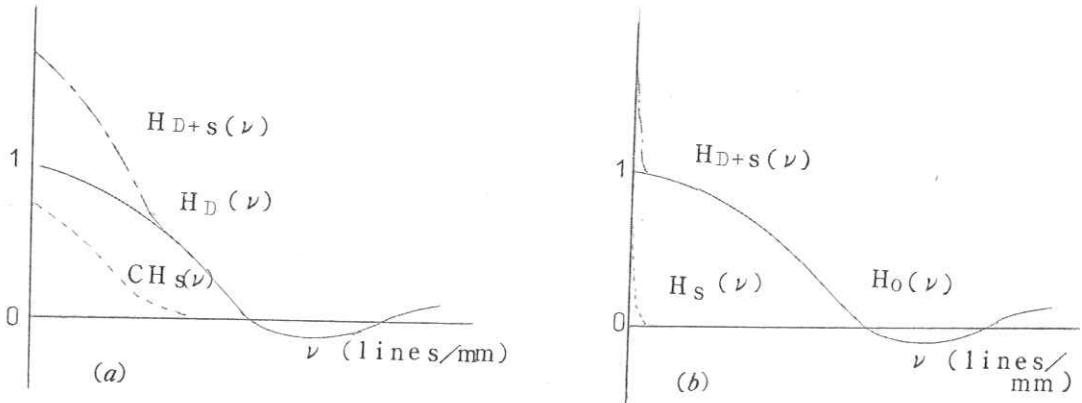
$$h_{D+S}(x) = h_D(x) + C h_S(x) \tag{11}$$

と定義される。ここで  $\int h_D(x) dx = 1, \int h_S(x) dx = 1$  とし,  $C$ は直接線に対する散乱線の比である。全体のレスポンス関数は(11)式のフーリエ変換として

$$H_{D+S}(v) = H_D(v) + C H_S(v) \tag{12}$$

によって与えられる。 $H_D(v)$  および  $H_S(v)$  は  $v=0$  において1となるように正規化した線源および散乱線レスポンス関数である。(12)式は散乱線が全体のレスポンス関数を低下させないことを示している。この結果は土井<sup>(1)</sup>の導いた散乱線を含む全透過線のレスポンス関数とはことなるが, その場合は蛍光増感紙を用いた医療用の撮影系のように, カブリがコントラスト $\Delta D$ を低下させる場合についてであり, 鉛増感紙と低感度フィルムを使用する $r$ 線ラジオグラフィにおけるように, 露光量と黒化度が比例関係にありしたがってカ

ブリがコントラストに無関係である場合とはことなる。第20図は(12)式の関係を図示したものである。対象とする被写体がフィルムに近くあり、散乱線が像の形成に寄与する場合は全透過線のレスポンス関数は1よりも大きくなる。この場合全透過線に対する散乱線の寄与はフィルム、欠陥部間の位置によって大きく変化し一般的にその影響すなわち散乱線のレスポンス関数を表わすことはできない。フィルムより欠陥部が離れて存在し、像の形成に寄与しない場合は、原点附近をのぞくと全透過線のレスポンス関数は変らない。すなわち散乱線によるボケは生じないことになる。



第20図 第19図(a)および(b)に対応する直接線、散乱線および全透過線分布のレスポンス関数

#### 4-2. 微小物体が単独に存在する場合

この場合の透過線分布は第21図に示すようになり、全透過線の線像強度分布は

$$h_{D+s}(\nu) = h_D(x) - c h_s(x) \quad (13)$$

となる。したがってそのレスポンス関数は

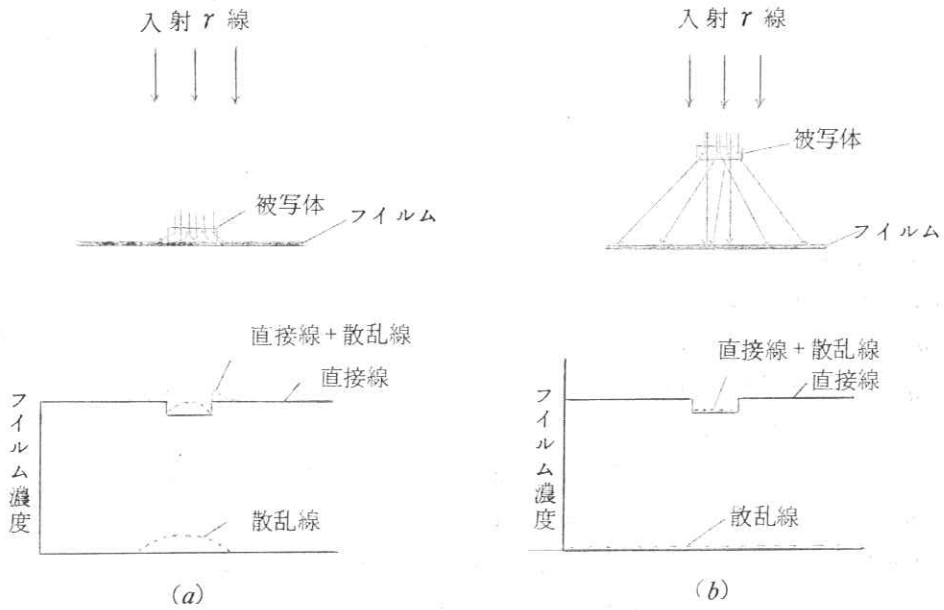
$$H_{D+s}(\nu) = H_D(\nu) - CH_s(\nu) \quad (14)$$

となる。第22図に(14)式の関係を示す。

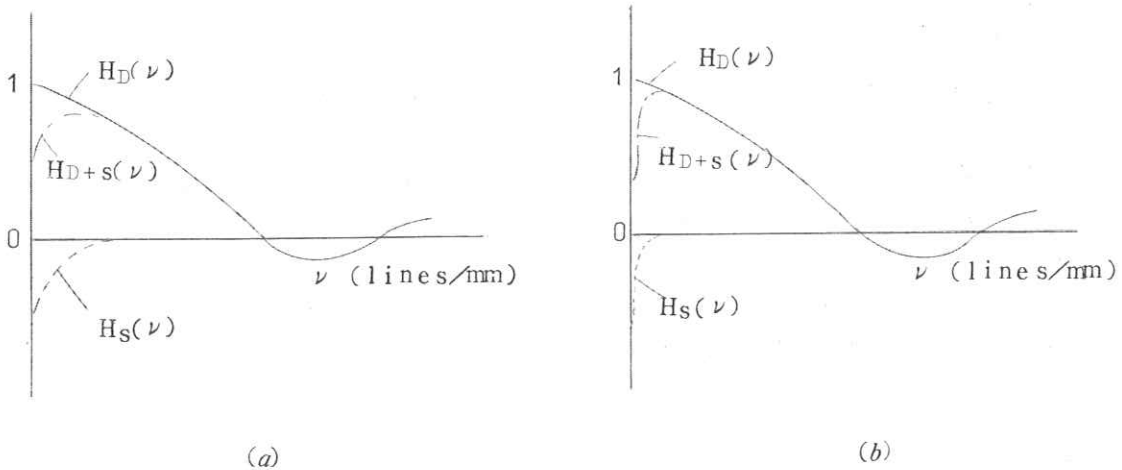
一般的な工業利用におけるラジオグラフィは第19図の場合であり、そのなかでも(b)の場合が普通である。したがって散乱線の影響を単なるカブリとして扱ってもよい場合が多い。しかし第19図(a)のように散乱線といえども像を形成する場合もある。

#### 5. 撮影系全体のレスポンス関数

$^{192}\text{I}_\gamma$ ラジオグラフィのボケの原因を線源、散乱線およびフィルム — 鉛増感紙組合せの3とし、それぞれのレスポンス関数を  $H_o(\nu)$ 、 $H_s(\nu)$  および  $O(\nu)$  とすると、系全体のレスポンス関数は



第21図 小物体が単独に存在する場合の全露光量分布におよぼす散乱線の影響  
 (a)、小物体がフィルムに近接して存在する場合  
 (b)、小物体がフィルムより離れて存在する場合  
 (露光量とフィルム濃度が直線関係にある場合、第3図参照)



第22図 第21図(a)および(b)に対応する直接線、散乱線および全透過線分布のレスポンス関数

$$H(\nu) = \{ H_b(\nu) \pm C H_s(\nu) \} O(\nu) \quad (15)$$

と表わされる。

従来ラジオグラフィにおいては系全体のボケを不鮮鋭度で定義し次式で示すことが多い。<sup>(10)</sup>

$$U^2 = U_g^2 + U_i^2 + U_{gr}^2 + U_m^2 + U_s^2 \quad (16)$$

ここで

$U$  : 系全体の不鮮鋭度

$U_g$  : 幾何学的不鮮鋭度

$U_i$  : 固有の不鮮鋭度

$U_{gr}$  : 粒状性による不鮮鋭度

$U_m$  : 位置の移動による不鮮鋭度

$U_s$  : 散乱線による不鮮鋭度

しかし(16)式は各種ボケの線像強度分布が誤差分布をなし、かつ系全体のレスポンス関数が各レスポンス関数の積となる場合に成立するが、<sup>192</sup>Irラジオグラフィにおいては線源の線像強度分布は第12図に示すように誤差分布とは全くことなり、また線源のレスポンス関数に対する散乱線のレスポンス関数の寄与の仕方は(12)式あるいは(14)式のように、和あるいは差の結合となる。したがってこの場合は(16)式から大きくはずれる。

なお識別能におよぼす粒状性の影響は他のボケの影響と本質的にことなり、単に(16)式のような関係で結ばれることではない。

## 7. 総 括

以上工業利用面における<sup>192</sup>Irラジオグラフィのレスポンス関数について述べてきたが、要約すると以下のとおりである。

1. <sup>192</sup>Ir線源のレスポンス関数を求めた。
2. フィルム — 鉛増感紙組合せのレスポンス関数を求め、かつ前面および後面増感紙あるいは直接 $\gamma$ 線の黒化の寄与を検討した。
3. 散乱線のレスポンス関数について、微小欠陥がフィルムに近接して存在する場合と、離れて存在する場合にわけて、全系のレスポンス関数に与える影響を検討した。結果として被写体に鉄をもちいフィルム面に密着してそれを設置した場合、欠陥部がフィルム面より5~8 mm程度以内に存在するときは、散乱線のレスポンス関数は系全体のレスポンス関数の向上に役立ち、それ以上離れて欠陥部が存在する場合は系全体のレスポンス関数に影響を与えないことがわかった。

- (1) 土井邦雄, 非破壊検査, 14 245 (1965)
- (2) 古田純一郎, 平岡英一, 辻井幸雄, 非破壊検査, 17 3 (1968)
- (3) 土井邦雄, 応用物理, 35 559 (1966)
- (4) 日本非破壊検査協会編, 非破壊検査便覧
- (5) Rossmann, K., Lubberts G., Radiology, 86 235 (1966)
- (6) 金森仁志, 田中義宗, 日本医学放射線学会雑誌 24 935 (1964)
- (7) Kanamori H., Jap. J. App. Phy. 4 227 (1965)
- (8) 内田 勝, 応用物理, 34 97 (1965)
- (9) 土井邦雄, 応用物理, 34 190 (1965)
- (10) 日本放射性同位元素協会, ガンマ線透過撮影法