



Title	レントゲン撮影における管電圧とその影響
Author(s)	小柳, 孝巳
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1959, 18(11), p. 1548-1583
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/16434
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

レントゲン撮影における管電圧とその影響

新潟大学医学部放射線医学教室（主任 野崎秀英教授）

小柳 孝巳

（昭和33年12月8日受付）

目 次

I 緒 言

II 研究方法

III 実験結果及びその理論的考察

1. 管球及びフィルター

a) 線量、線質

b) 強度分布

c) 最大規格表

2. 遮光筒

3. 被写体

a) 直接線

i) 単色レ線に対する各種物質のレ線減弱係

数

ii) 減弱係数と直接線の減弱

iii) 連続レ線に対する各種物質のレ線減弱係

数

b) 散乱線

i) 散乱線の線質

ii) 散乱線含有率

iii) 散乱体が一様でない場合の散乱線含有率

iv) 外部への散乱

4. 散乱線の除去

a) プレンデ法

i) プレンデの構造

ii) プレンデの性能

iii) 各種プレンデの性能の比較

iv) プレンデの縞目とレ線写真的濃度及び

コントラスト

v) プレンデの縞目の消去

b) グレーデル法

5. 増感紙、螢光板

a) 測定方法の検討

i) 線質特性

ii) 方向依存性

b) 輝度とレ線強度

c) 一定の写真濃度を得るに要する mAs

i) 15~40 KVp における値

ii) 50~130 KVp における各種増感紙の比較

iii) 60~200 KVp における各種螢光板の比較

d) 鮮銳度

6. 光学系及びフィルム

a) 写真濃度

b) 対称度と特性曲線

c) 感度と解像力

IV. 実験結果の考察

1. 管電圧とディテール

a) 被写体の厚さが一様な場合のディテールの示現

b) 被写体の厚さが一様でない場合のディテールの示現

c) 被写体にレ線減弱の大きな物質が混在している場合のディテールの示現

2. 管電圧と鮮銳度

3. 管電圧と被曝線量

a) 最小のレ線量で撮影出来る管電圧

b) 使用し得る最低管電圧

V. 臨床上への用応用

1. 胸部直接撮影

a) 前後像

b) 侧面像

2. 胸部間接撮影

3. 胃の造影剤撮影

VI. 結 論

文 献

英文抄録

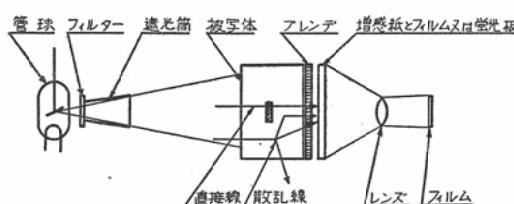
I 緒 言

現在レ線撮影に用いられている管電圧はミクロラジオグラフの数KVから³³⁾最近の実験的高圧撮影の数千KVに至る迄⁷⁹⁾⁸⁵⁾¹⁰⁴⁾、広い範囲にわたっている。管電圧の影響はレ線装置、被写体、増感紙等撮影に要する総ての要素に及び、レ線写真はそれらの総合された結果として最もられるものであるから、撮影目的により適当な管電圧を選ぶことは重要な問題である。これらの個々の要素に対する管電圧の影響は物理学において基礎的な研究が行われており²⁴⁾³⁵⁾、医学上の応用方面にもしばしば取上げられていたが⁴⁾⁶⁾、最近高圧撮影の研究と共に特に関心が拂われる様になつた。本論文においては15KVから200KVの範囲で、管電圧が個々の要素に及ぼす影響を求めるからレ線写真に対する管電圧の影響を総合的に求め、以て目的に応じた優れたレ線写真を得るために必要な理論的、実験的根拠を与える、さらに之を臨床的に応用してその実用性を検討した。

II 研究方法

管電圧の影響は広く云えば電源からフィルム迄総ての要素に及ぶが、こゝではレ線管球からフィルム迄について考察することにする。第1図はこれを模型的に示したもので、管球焦点において発生したレ線は管壁、絶縁油、管球容器窓等を透過して外界に出る。このレ線は必要に応じてフィル

第1図 研究方法の説明図



ターで濾過され、遮光筒により所要の大きさに絞られて被写体に照射される。被写体に入射したレ線は一部吸収されて熱となり、一部は散乱されて方向を変じ、残部は直進して被写体を透過する。方向を変じたものを散乱線、直進したものを直接線と云うこととする。直接線は透過する物質（被

写体）の物理的性質に従つて強弱を生じてレ線像を作るが、散乱線は一様にカブリを生じてレ線写真的ディテールを害するので必要に応じて除去しなければならない。そのため種々の散乱線除去の手段がとられる。このようにして被写体を透過したレ線は撮影目的に応じて直接フィルムに、又は増感紙と組合せたフィルムに感光せしめる。間接撮影においてはレ線像は螢光板上で可視光線となり、光学系によりフィルム上に像を結ばせる。これらのフィルムは現像処理をほどこしてレ線写真が得られるのである。

本文においてはこの過程における各個の要素について管電圧の及ぼす影響を理論的、実験的に検討し、それを総合してレ線写真に対する管電圧の影響を求めた。又これらの各個の条件を組合せた模型実験も行つて理論的に総合した結果と比較し、両者がどの程度の一一致を示すかをしらべ、さらに臨床的に応用してその値を検討した。

III 実験結果及びその理論的考察

1. 管球及びフィルター⁶⁷⁾⁷⁸⁾⁸⁶⁾¹⁰³⁾

この部分においては管電圧の変化によりレ線の発生量、線質、空間的分布の受ける影響及び管球の最大規格について述べる。

a) 線量、線質

物理学の成書によれば焦点の単位面積において単位時間に発生されるレ線量は下式により表されると云う^{5D)}。

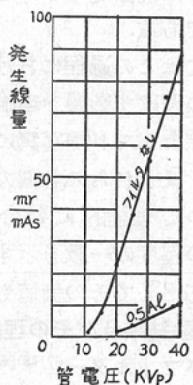
$$IB = KZV^2 i \quad \dots \dots \quad (1)$$

但し、IB：発生線量、K：常数、Z：焦点面の物質の原子電荷、V：管電圧、i：管電流。

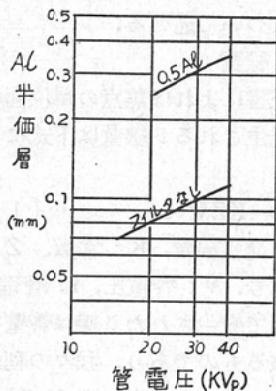
然し焦点面で発生されたレ線は管壁その他を透過して出て来るものであり、我々の利用するのはこの透過後のレ線である⁶⁾。例えは特に軟線を得る目的の管球では管壁に薄いマイカ、リンデマン硝子等を用いるが、普通の透視診断用装置の管球では数mmの硝子管壁を用い、さらに油浸管球では油層及び容器窓があり、又治療用管球ではベリウムフィルターが内蔵されているものもある¹⁵⁾⁴⁶⁾。従つて同一管電圧及び管電流においてもレ線装置が異れば管球容器外に放射されるレ線は線量、線

質共に非常に異なる値を示す場合が多い³⁾⁵²⁾⁸⁶⁾¹⁰³⁾。これらの値は治療装置については多くの発表があるがそれらの間には必ずしも一致した結果を見ない。レ線の線量、線質は基本的問題であるから実験に使用した3種類の装置について管電圧、フィルターを種々変えて測定した。測定器は総島津 Küstner 型線量計を用いた。

第2図 ソフテックスC型の焦点から1mの距離における線量



第3図 ソフテックスC型の線質

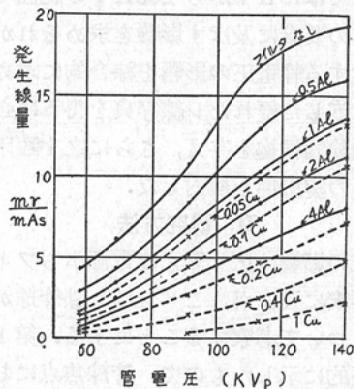


第2図は小泉X線工社製、ソフテックスC型の発生線量である。この装置は半波整流で、管球壁は薄いマイカ板を使用している。焦点と測定器間の距離1mで測定した。(1)式によれば発生線量は管電圧の自乗に比例するはずであるが、この場合ではむしろ両者は直線的関係にあると云える。第3図は同装置の線質、Al半価層の値である。

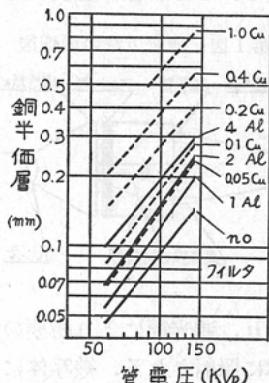
低電圧で管球壁の薄いものでは線質が非常に軟かく、従つてフィルターの影響が大きく、わずか0.5mmのAlフィルターでも線量、線質が大きく変化することがわかる。

第4図は東芝製、KXO-14診断用高圧レ線装置の発生線量である。この装置は單相全波整流、管球は油浸である。前のソフテックスと比較すると管電圧が高いにもかゝわらず線量ははるかに少く、管壁及び油層の吸収が多いことがわかる。この場合も発生線量は管電圧の自乗に比例しないが、フィルターが厚くなると次第に自乗に近くな

第4図 東芝KXO-14型診断用高圧装置の焦点より1mの距離における線量

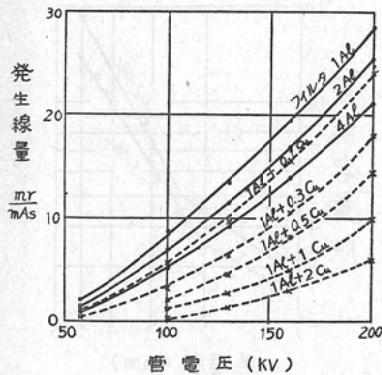


第5図 KXO-14型の線質

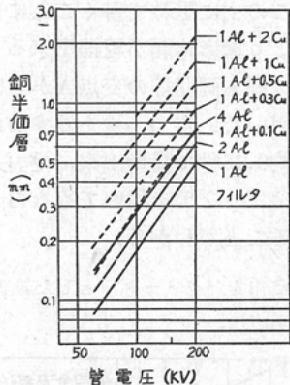


る。第5図は線質(銅半価層)である。フィルターの厚い程線質が硬いが、AlとCuフィルターを比較すると、Al 2mmと、Cu 0.05mmでは線質

第6図 東芝KXC-18型治療装置の焦点から1mの距離における線量



第7図 KXC-18型の線質



はほとんど差がないが、線量は後者が多いから高圧撮影にはCuフィルターの方がよいと思われる。

第6図は東芝製KXC-18、治療用定電圧装置の発生線量である¹⁵⁾。この装置はグライナッヘル整流の定電圧、管球は内部にベリリウムフィルターを持ち、油浸であり、管球容器窓に1mm Alフィルターを固定してある。発生線量はほど管電圧の自乗に比例して増加し(1)式が成立する。第7図は線質(銅半価層)である。前の全波整流の装置と比較すると同一管電圧では線質も硬く線量も多い。定電圧装置は一般にレ線撮影には用いないが、電源の波形の変化によって線質が変つたりしないのでレ線の吸収や散乱の研究にはよく用いられる。本研究においても基礎的研究には主と

してこの装置を用いた。

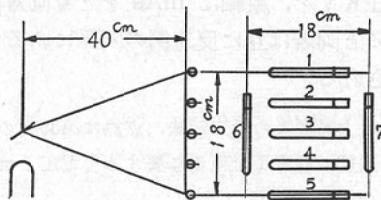
管電流と発生線量との関係は上記3つの装置においては連続定格の範囲内では正比例した。

b) 強度分布

撮影用レ線管球の焦点は利用線維方向に対して20°前後の角度で傾いているから方向によつて線強度が異なる。間接撮影や拡大撮影の場合などは焦点と螢光板の距離が近いから利用線錐の角度が大きく、ために中央部と周辺との強度差が大きく不都合を生ずるのでこの問題に対する研究も多いが^{4) 8) 20) 30) 43) 44)}、診断用レ線装置において管電圧及びフィルターによるレ線強度分布の変化はあまり研究されていないようである。

第8図はその実験方法で、ポケットチエンバーを図の位置に置いて測定した。測定結果を第1表

第8図 KXO-14型装置におけるレ線強度分布測定方法。測定器、東芝ポケットチエンバー・照射野22×22cm²



に示す。レ線装置は東芝KXO-14高圧診断用装置である。Kulenkampffが薄い陽極を用いて測定した結果では³⁵⁾、管電圧の上昇と共に最大強度方向は陽極側に移動すると云つているが本実験ではむしろ逆の傾向を示した^{4) 8)}。第8図の6, 7

第1表 管電圧、フィルターによるレ線強度分布の変化。中央を100%とした比率。

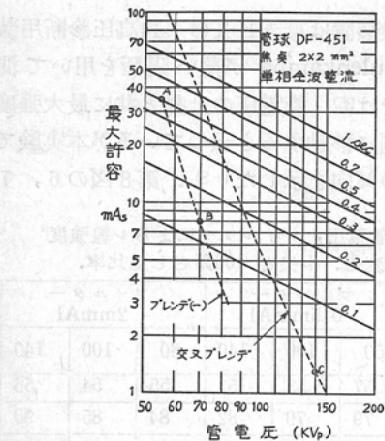
管電圧 KVp	フィルター 0.5mmAl			フィルター 2mmAl		
	60	100	140	60	100	140
1	57	53	51	55	54	56
2	79	79	82	84	85	90
3	100	100	100	100	100	100
4	100	106	110	98	100	106
5	97	100	106	90	96	104
6	85	88	89	82	83	88
7	85	88	89	82	87	88

の位置の強度も管電圧が上昇すると中心に対して増加しているから、管電圧が高くなると強度分布が平坦となり中央と周辺との差が少くなることがわかる。又フィルターが厚い方が強度分布が平坦となる。

c) 最大規格表

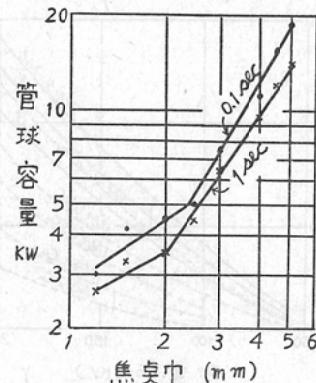
管球から発生されるレ線量は管電圧の上昇と共に増し、管電流に比例して増加するが、一方管球に流し得る最大の管電流は管電圧に逆比例して減少するし、又通電時間が長くなればある一定の割合で少くなる。その値は陽極の構造や焦点の大きさ、整流方式等によつて定まつてゐる。これらの関係を表すために最大規格表が用いられる。従来の最大規格表は横軸に負荷時間、縦軸に管電流をとり、管電圧をパラメーターとして表示してある⁴⁵⁾⁶⁰⁾。然しレ線写真的撮影条件としては管電圧 KV と、mAs とが与えられる場合が多いのでこの 2 つを変数として表すと便利である。即ち横軸に管電圧 KV を、縦軸に mAs をとり両対数表で表示すると両者は互に反比例の関係にあるから直線で表される。

第9図 最大規格表の新表示法。点線は第39図の D H 増感紙の濃度 1 を得るに要する管電圧と mAS との関係を示す。



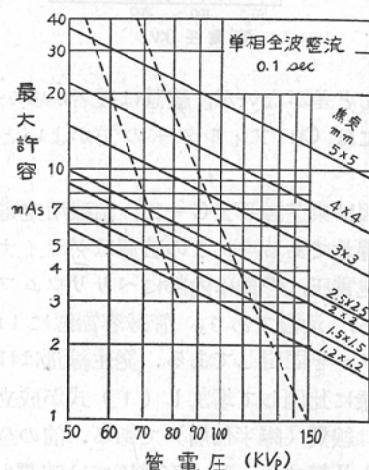
第9図はマツダ高圧撮影用 2重焦点管球 DE-451, 2 × 2 mm² 焦点の単相全波整流の場合の最大規格表を上記のようにかきかえたものである。従来よく発表されている、同一濃度を得るに要す

第10図 単相全波整流における焦点巾と管球容量との関係。東芝 X 線資料 No. 6 による。



る KV と mAs の関係を示さずグラフを同図の点線の如くこの上に重ねて書くことにより、管電圧の上昇により撮影時間が短縮出来ることが明瞭に示される。即ち両曲線の交点 A から 55 KV ではブレンデを用いない時 0.5 秒を要するが、B 点の 70 KV では約 0.15 秒で撮影出来、さらに C 点の 140 KV ではブレンデを用いてもなお 0.1 秒以下で充分であることがわかる。

第11図 焦点巾をパラメーターとした最大規格表の表示方法。



次に焦点の大きさ（面積）をパラメーターにとつて同様に最大規格表を製作出来る。

第10図は東芝 X 線資料 No. 6⁴⁵⁾から種々の大きさの焦点の管球について単相全波整流の場合の

$\frac{(KV \times mA)}{1000} = KW$ の値を求めたものである。

この関係から例えば0.1秒の負荷時間に対し第11図の如き図が得られる。これを第9図と同様に用いれば、撮影に必要なKVとmAsが与えられた場合0.1秒露出が出来るために必要な焦点の大きさが直ちに求められる。

2. 遮光筒⁶¹⁾

必要以外の方向～部位にレ線を放射しないために遮光筒を用いる。之はレ線写線のコントラストを良くするためにも、被写体や撮影技術者のレ線防禦上からも大切なことである。遮光筒の大きさについては細くて短かいものでも、太くて長いものでも、幾何学的に相似ならばその効果は同一の如く考えられるが、実際には焦点はある面積を持ち、さらに副焦点のためにレ線の発生する面積は相当広いものと考えられるし⁶²⁾、遮光筒の内面におけるレ線の散乱もあるので、細くて短かいものよりも、太くて長い方が有効と云われている。著者はこの問題については特に検討を加えなかつたが実験にさいしては努めて長い遮光筒を用いるよう心がけた。

3. 被写体

遮光筒によつて適當な大きさに絞られたレ線束は被写体に照射される。被写体に入射したレ線はこゝで入射方向と同一方向に被写体を透過する直接線と、方向を変えたもの即ち散乱線とに分けて検討するのが便利である。

a) 直接線

直接線は透過する物質の種類と厚さによつて透過量が変り透過面にフィルムを置くと、物体の吸収の差に従つて種々の強さのレ線がフィルムに達してレ線像が作られる。従つて第1に問題となるのは種々の物質によるレ線の減弱である。

物理学においては古くから物質の減弱係数について精しい研究が行われているが^{63) 64) 65) 66) 67)}、それは主として單色レ線に対する單純な元素の減弱係数についてであり、人体の如く種々の化合物が複雑に重疊している場合の連続レ線に対する減弱についてはあまり研究されていない。

著者は先ず物理学の成書に発表されている計算式及び表を用いて單色レ線に対する人体を構成する各種物質のレ線減弱係数を求め、又実験によつて連続レ線に対する各種物質の減弱係数及びこれが他の物体と重疊している場合のレ線減弱を求めた。両者を結びつける方法は種々であるが、Duane に従つて銅半価層を媒介として両者の関係を求めるこゝした⁶⁸⁾。即ちある銅半価層を示す單色レ線の有効波長は、それと同じ銅半価層を示す單色レ線の波長に等しいとするのである。又各種の物質が重疊している場合にはレ線の線質としては透過レ線の線質を用いると、我々が普通診療に用いる範囲で單色レ線に対する減弱と連続レ線に対する減弱とは正確に一致はしないが一定の関係にあり、それを用いれば人体の如く複雑な物体の場合でも、計算によつてある程度正確にレ線減弱を求め得ることがわかつた。次にその大要を述べる。

i) 単色レ線に対する各種物質のレ線減弱係数

透過によるレ線減弱は光電吸収、散乱及び物質化の3つの機構によつておこる。物質化は管電圧が、1.02MeV 以下ではおこらないからこゝでは考へないことにする。今減弱係数 μ (cm^{-1})、光電効果による減弱係数 τ (cm^{-1})、散乱による減弱係数 σ (cm^{-1}) とし、又物質の原子番号 Z 、レ線波長 λ (\AA)、物質の密度 ρ (g/cm^3)、で表すと次の如く表すことが出来る。

$$\frac{\mu}{\rho} = \frac{\tau}{\rho} + \frac{\sigma}{\rho} = cZ^m \lambda^n + \sigma(z, \lambda) \dots \dots (2)$$

但し、 c, m, n は常数、 $\sigma(z, \lambda)$ は Z と λ の函数。

常数 c, m, n の値及び $\sigma(z, \lambda)$ の形については多くの先人の研究があるが、著者は τ は Walter の式、 σ は Klein-仁科の式を用いることとした^{69) 70)}。

即ち

$$\frac{\tau}{\rho} = 2.64 \times 10^{-26} Z^{3.9} \lambda^3 N/A \text{ 但し } \lambda < \lambda_k \dots \dots (3)$$

$$\frac{\sigma}{\rho} = 0.3 \frac{Z}{A} \left[\frac{1 + \alpha}{\alpha^3} \left\{ \frac{2\alpha(1 + \alpha)}{1 + 2\alpha} - \ln(1 + 2\alpha) \right\} + \ln(1 - 2\alpha) - \frac{1 + 3\alpha^2}{(1 + 2\alpha)^2} \right] \dots \dots \dots (4)$$

但し $\alpha = \frac{h\nu}{mc^2}$ h : プランクの常数。

ν : 振動数, m : 電子の静質量, c : 光速度,
N: アボガドロの恒数, A: 原子量。

(3), (4) の式から任意の原素の質量減弱係数を計算することができる。人体を構成する原素即ち、酸素、水素、カルシウム、炭素その他についてこの式により計算して理科年表等に発表されている値と比較するとよく一致している。

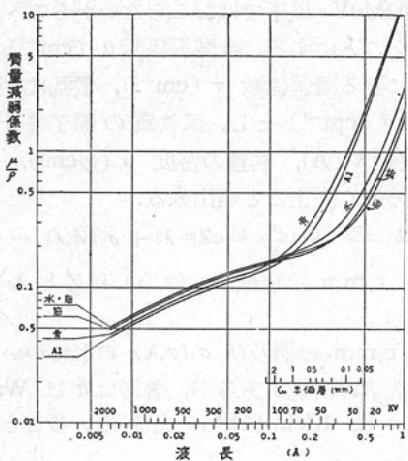
各原素の質量減弱係数がわかれば、その混合物又は化合物の質量減弱係数は次の式で求めることができます²⁰⁾。

$$\frac{\mu}{\rho} = \frac{\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_X \cdot X \cdot A_X + \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_Y \cdot Y \cdot A_Y + \dots}{X \cdot A_X + Y \cdot A_Y + \dots} \quad \dots \dots \dots (5)$$

但し $\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_X$, A_X , は各々原素 X の質量減弱係数、原子の数、及び原子量。

第12図は(5)式を用いて計算した値である。骨は $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ 90%, CaCO_3 10%の混合物、筋肉は Hammarsten²¹⁾ の著書に発表されている

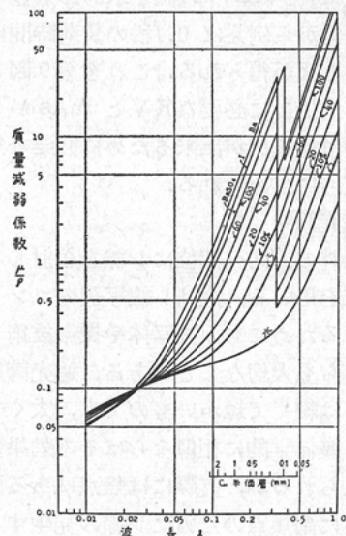
第12図 単色レ線に対する各種物質の質量減弱係数、Cu半価層値は Duane によつた。KV値は波長を限界波長とする管電圧



第2表 組織の組成重量比%

	Ca	P	O	N	C	H	計	比重 g/cc
骨	29	11	59		1		100	2.1
筋肉			23	17	53	7	100	1.08
脂肪			19		69	12	100	0.93

第13図 造影剤及びその水懸濁液の質量減弱係数



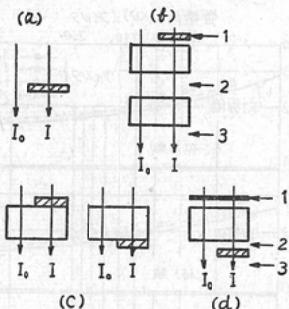
組成を用い、脂肪はパルミチン酸、オレイン酸、ステアリン酸の混合グリセリンエステルで、重量比、18%, 77%, 5%として計算した。各組織の原素の重量比を第2表に示す。

次に造影剤の質量減弱係数について少しく述べる。現在造影剤として主として用いられるヨード及びバリウム原素について、又その化合物の一例として Ba SO_4 及びその水懸濁液について質量減弱係数を求めた²²⁾。こゝでは原素の質量減弱係数として Handbook²³⁾ に発表されている値を用いて計算した。第13図はその計算結果である。第12図、第13図に於いて横軸の銅半価層値は単色レ線に対する銅半価層値を示す。

ii) 減弱係数と直接線の減弱

減弱係数 μ を知れば、第14図(a) の如くその物質が単独に存在する場合には透過によるレ線の減

第14図 減弱物質の位置及びフィルターの位置と直接線の減弱。吸収物体の厚さ x (cm), 減弱係数 μ (cm)



弱は次式で求められる。

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\mu x} \quad \dots\dots(6)$$

然し一般に人体の如く種々の物質が重畠している場合はそれらの層を透過する間に線質が変化するから、第14図(b)の1, 2, 3の位置で、同一の吸収物体でもレ線の減弱が異なることになる。けれども全部を透過した直接線 I_0 と I についてみると重畠物体と吸収物体とが同一物質の場合には第14図(c)の如く吸収物体がどこにあつても全体として透過する厚さは変りないから直接線の減弱は同一でなければならない。即ち吸収物体の位置の如何にかわらず透過側にすると同様な減弱を示すのである。従つて直接線の減弱を求めるには(6)式の減弱係数 μ の値としては入射レ線又は実際に吸収体を透過するレ線の線質に対する値ではなく全体を透過した直接線に対する値を用いなければならない。

吸収物体と重畠物体とが異なる物質の時はこのことは厳密には成立しないが、特性レ線の影響がな

ければ近似的に成立すると考えられる。精しい理由はのべないがこの事実は次の如く実験的にも確かめられた。精しい実験方法は次の項目でのべるが、第14図(d)の如くAl及びCuフィルターを1, 2, 3の位置に置いて直接線の減弱から、減弱係数を計算すると第3表の様になる。即ちCuフィルターの場合には第14図(d)の3の位置に置いた時少し減弱係数が多いが、1, 2の位置では変りがなかつた。又Alフィルターの場合は、その位置には全く無関係であつた。この事実から同時多層撮影において下層のフィルムのコントラストが悪いのは散乱線の影響ばかりでなく、上層の増感紙のフィルター作用によるものとして説明出来る。又被写体に厚いところと薄いところがある場合には厚い所の方が直接線が硬く、コントラスト低下の原因となる。

iii) 連続レ線に対する各種物質のレ線減弱係数⁽⁸³⁾¹⁰⁷⁾

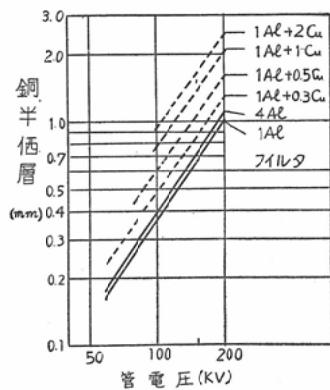
次に実験によって減弱係数を求めて理論値と比較してみる。胸部の模型として後述の第21図の如き水ファントームを用いることにする。減弱係数の理論値を求めるには先ず直接線の線質を求めなければならないがこれは実験によつて求めた。第15図はKXC-18治療装置を用い、水10cmを透過したレ線の銅半価層値である。この値を第12図、第13図の横軸の銅半価層値にあてはめれば、任意の管電圧及びフィルターに対する各種物質の単色レ線に対する減弱係数の理論値を求めることが出来る。

さて直接線減弱の測定は次の様にして行つた。

第3表 フィルターの位置による減弱係数の差異

フィルターの位置			1	2	3	なし
フィルター	吸収体	KV	質量減弱係数(cm^{-1})			
1mmCu	水	80	0.21	0.21	0.22	0.25
		200	0.165	0.17	0.185	0.21
0.5mmCu	骨	80	0.44	0.44	0.46	0.52
		200	0.26	0.25	0.28	0.32
4mmAl	骨	80	0.49	0.49	0.49	0.52
		200	0.27	0.27	0.27	0.29

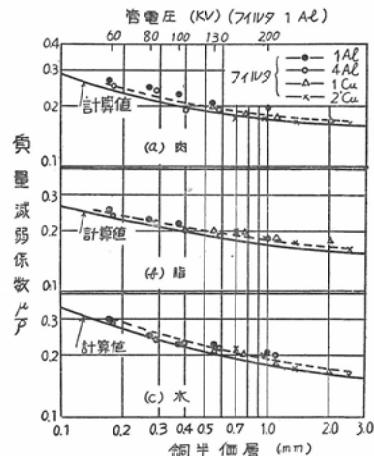
第15図 水10cmを透過したレ線の線質。装置
K X C-18.



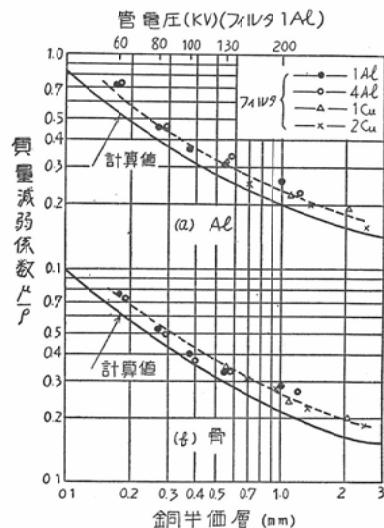
レ線装置は前述のK X C-18を用い、管球と測定器の間に直径3cm、長さ10cmの水柱を置く。水柱の次に被写体を置き、それを透過したレ線を螢光法で測定した。即ちレ線をD H A-フロント増感紙(直径4mm)に受け、その螢光を931-A増倍管で測定した。被写体たる吸収物質としては水、豚赤肉、及び脂肉、牛の脚骨から切り取った緻密な骨、アルミニウム、及びBa SO₄の重量20%の水懸濁液の6種類について実験した。吸収体の厚さはあまり厚すぎると減弱が多すぎて吸収体を入れた時の測定器の読みが少なくなり、逆に薄すぎると減弱が少なくて共に測定誤差が大きくなる。又螢光法で測定しているから線質依存性が大きく吸収体が厚い程、線質の変化による誤差が大きくなる。色々実験した結果、水、肉等軟部組織では厚さ2cm、骨は1cm、Alは4.5mm、Ba SO₄水懸濁液は2cm及び2mmを用いることにした。これらの物体が単独にある時は、低電圧で薄いフィルターの時に吸収体の厚さによって減弱係数の測定値が多少異なるが、長さ10cmの水柱が介在する場合、管電圧60KV以上では厚さの影響は問題とならなかつた。吸収体を置く位置も長さ10cmの水柱の入射側と透過側で実験したが、上記の6種類の吸収体ではどちらでも同じであつた。

管電圧とフィルターを種々変えてそれに対する直接線の減弱を測定し、(6)式によつて減弱係数を求めた。横軸に直接線の線質、(銅半価層)を

第16図 軟部組織の質量減弱係数、計算値と実測値との比較

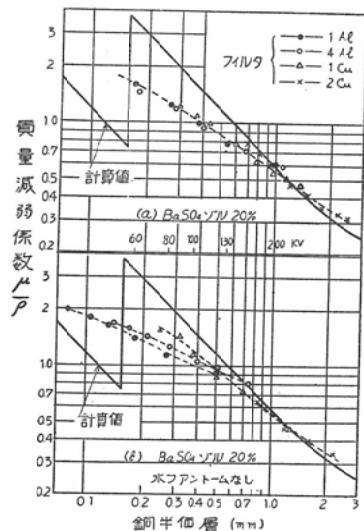


第17図 骨と Al の質量減弱係数、計算値と実測値との比較



とり縦軸に減弱係数をとつて図示する。第16図は軟部組織に対する値であるが管電圧、フィルターの如何にかわらず、同一の銅半価層のレ線に対してはほど同一の減弱係数を示し、実験値は計算値の約1.1倍である。第17図は骨とAlである。同様に実験値の約1.2~1.3倍である。両者は近い値を示し実験において骨の代りにAlを用いてもよいことがわかる。第18図(a)はBa SO₄の水懸濁液である。同図(a)は10cmの水柱を透過し

第18図 硫酸バリウムゾルの質量減弱係数、計算値と実測値との比較。



たレ線について、吸収体は2cmの厚さを用いた場合であるが、計算値では吸収飛躍があるが、実験値は吸収端の上端と下端の平均値に近い値を取り、特に山形を示さなかつた。第18図(b)は10cmの水柱のない場合で吸収体は2mmの厚さを用いた。この場合はフィルターの種類及び厚さによって同一半価層のレ線に対しても減弱係数値が異り、厚いフィルターを用いる程單色レ線の値に近くとなり、おそらく山形を示すのではないかと思われたが、装置の関係で実験出来なかつた。造影剤については更に検討の余地がある。

b) 散乱線

散乱線は三つに分類出来る³⁵⁾。その一つは、Thomson散乱によるもので、入射線と同一波長のもの、他の一つはcompton散乱によるもので方向によつて波長が異なる。残りはレ線の光電吸収により原子から放出される特性レ線である。これらは総称して二次線とも云われるが、入射レ線の方向と異つた方向に散乱されたレ線と云う意味で散乱線と云うことにした。

i) 散乱線の線質

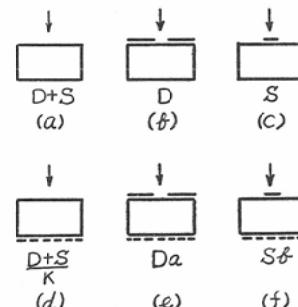
散乱線の波長は Thomson散乱以外は皆入射レ線より長波長であるから、散乱線は入射線より

も軟線のはずであるが、これは入射レ線が單色線の場合に云えることであつて、連続レ線においては長波長部分程減弱が大きいので物質を透過する間に次第に線質が硬くなる。従つて照射体が厚い場合には散乱線は照射体の内部から之を通過して出て來るので入射線より線質が硬いのが普通である。然し透過面における直接線と散乱線を比較すると散乱線の方が線質が軟かいことが知られている。この事実を利用して金属板のフィルターを用いて散乱線の除去が行われる。

ii) 散乱線含有率

散乱線はレ線写真に悪い影響を与える場合が多いので、その除去の研究と並んで含有率も精しく研究されているが^{4) 5) 11) 14) 18)}、著者も2~3実験を行つたのでその結果について述べる。

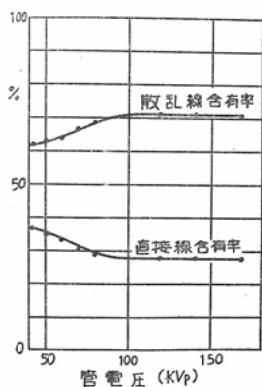
第19図 直接線、散乱線及び露出倍数等の測定方法。



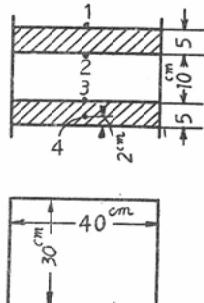
先ず測定法であるが、直径数mmの小さい部分のレ線強度を測定出来れば何を用いてもよいが、実際のレ線撮影に近い条件でしかも測定が容易で正確なものとして、減弱係数の測定にも用いた螢光法を用いた。その理由はこの測定法は方向依存性、線質依存性が増感紙とフィルムを組合せた場合のそれに近い値を示し、かつ取扱いが簡単で感度もよく正確であるからである。このことについては後の測定方法の検討の項で精しくのべる。

実験方法は第19図の如くファントームの透過側に螢光板を置けば、散乱線(S)+直接線(D)が求められ(a)、入射側に小さい(1×1 cm²)鉛板を置けばSが(c)、又小さい(1×1 cm²)孔を開いた鉛板で前面を覆えばDが求められる(b)⁴⁾。

第20図 散乱線及び直接線含有率を別々に測定した値。
0.5mmAl フィルター。



第21図 特殊診断法研究協議会ファントーム



第20図は $30 \times 30 \times 8 \text{ cm}^3$ の水槽に照射野 $30 \times 30 \text{ cm}^2$ 焦点測定器間距離 180cm でレ線を照射した場合の散乱線及び直接線の含有率である。レ線

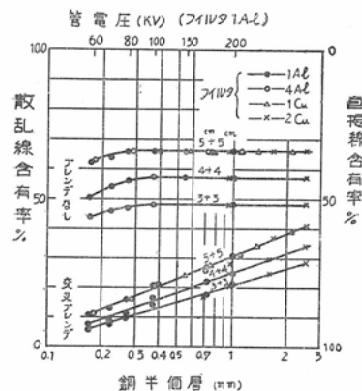
装置は、40~90KVは診断用單相全波整流装置、90~170KVは治療用定電圧装置を用いた。フィルターは共に 0.5Al である。管電圧の高い程散乱線含有率は多くなる。この様な実験結果は多数発表されており、測定法によって多少の差が見られるが、大体同様な数値を示している。第4表はその代表的な値を示す。たゞ本実験においてDとSとを別々に測定してその和を求める98%前後となり、100%とはならなかつたがその理由は明らかでない。然しそのくい違いは少いからDかSのどちらか一方を測定すれば、他の一方は計算によつて求めても大きな誤はない。実験としてはSとD+Sを測定するのが容易であるから以後の多くの場合この方法によつて実験した。

次に胸部に似たファントームとしては第21図に示すものについて実験した結果について述べる。レ線装置はKXC-18定電圧治療装置を用いた。照射野は水槽の面積一ぱい ($30 \times 40 \text{ cm}^2$)、焦点測定器間距離 140cm とし、直接線を遮る鉛板 ($1 \times 1 \text{ cm}^2$) は上槽の水面に置いた。上下の水槽の厚さを変えた場合の散乱線含有率を第22図に示す。横軸には管電圧の他に透過レ線の線質を銅半価層で表してある。実験の範囲では線質によつて散乱線含有率はあまり変わらないようであるが水の厚さの影響は大きく、厚い程含有率は大きい。又第20

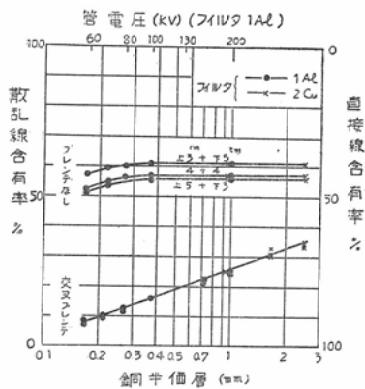
第4表 多くの発表者による散乱線含有率

発表者	測定法	ファントーム 縦×横×厚・物質	フィルター	管電圧 KVp	散乱線 含有率%
足立 ¹⁾	フィルム黒化法	27×27×10 水	0.5Al 0.5Cu+1Al	60 160	47 76
江藤 ⁴⁾	同上	25×25×10 フックス 18cm 成人胸部	0.5Al	40 60	50 22~26
神田 ²¹⁾	同上	10×10×10 フックス	1Al	40~160	17~40
駒井 ²⁷⁾	同上	30×40×(5+5) アクリル	0.5Al	60~140	27~68
草谷 ²⁹⁾	螢光法	45×45×8 水		60~150	48~62
野崎 ³⁷⁾	同上	30×30×8 水	0.5Al	40~160	62~72
吉村 ⁵⁹⁾	フィルム黒化法	32×40×(5+5) アクリル	0.5Al	60~200	28~78
Gajewski ⁷⁰⁾	同上	35×35×10 水		80~150	64~72
Mattsson ⁸⁴⁾	螢光法	直径20×15 水	2Al	100~200	64~68
Morgan ⁸⁸⁾	同上	30×30×10 プレスウッド		30~200	58~71
Nemet ⁹⁰⁾	同上	直径31×25 水		60~125	80~86

第22図 ファントームの水の厚さを変えた場合の散乱線含有率



第23図 ファントーム上下の水の厚さの割合を変えた場合の散乱線含有率

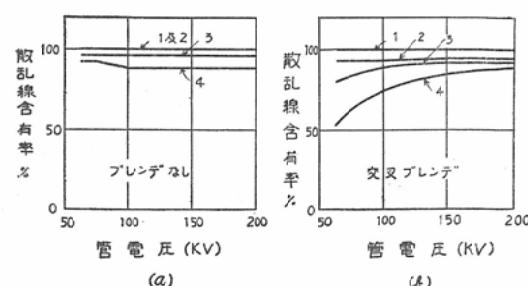


図の実験結果と比較すると全体の水厚は同じく8cmであっても上下二段に分けた方が散乱線含有率が少ないことがわかる。

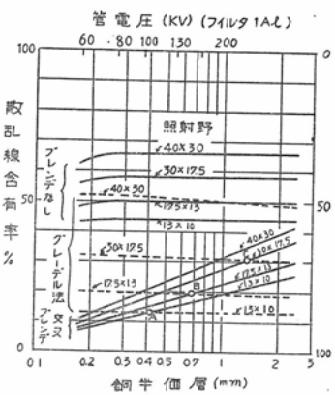
第23図は上下の合計は8cmであるが、上下の厚さの配分を変えた場合で下槽の厚い方が散乱線含有率が多い。これらの事実からファントームの全体の厚さのみならず、その構造によつても散乱線含有率は変ることがわかる。図中リストホルムブレンデを用いた場合の曲線が入っているが、これについて述べる。

直接線を遮るために鉛板の位置によつても散乱線含有率は変化する。第24図(a)はその実験結果である。第21図の1, 2, 3, 4の位置に鉛板を置いた場合を比較してみると、鉛板を螢光板に近

第24図 直接線をさえぎる鉛板の位置を変えた場合の散乱線含有率



第25図 照射野面積を変えた場合の散乱線含有率、及びブレンデ法とグレーデル法の比較



ずける程散乱線含有率が少くなつてゐる。これは鉛板の陰になつた直接線のあららない部分からも散乱線が出ているためと考えられる。即ち外周からの散乱線がこの部分で再び散乱されて螢光板に達するからである。ブレンデを用いて外周からの散乱線を除くとこの事実が一層はつきりし、第24図(b)の如く鉛板の位置による散乱線含有率の差が明瞭となる。この散乱線のためにフィルムから遠い物体の陰影程、コントラストが悪くなる。ブレンデ法ではこの散乱線は除去出来ないがグレーデル法によつて除くことが出来る。

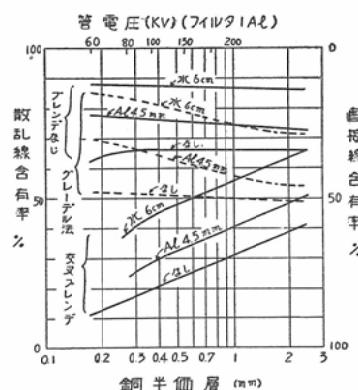
照射野の大きさも散乱線含有率に大きな影響を与える。この事実について多くの発表があるが第21図の2段に分れたファントームについて実験した結果を第25図に示す。水厚は5+5cm、直接線を遮る鉛板は1×1cm²とし下槽の水面に置いた。照射野を決定する鉛板はファントーム上面

に置き、フィルム面における照射面積が同図に示す値となるようにした。照射野の面積が大きい程散乱線含有率は大きいから不必要に大きな照射野を用いることは厳に戒めなければならない。

iii) 散乱体が一様でない場合の散乱線含有率

以上は散乱体の厚さが一様で全照射野にわたつてほぼ一定のレ線が照射されている場合であるが、實際には骨や心臓の如く特にレ線減弱の多い部分が混在している。このような部分の陰では直接線は特に少くなるが、散乱線は全面ほぼ一定の強さであるから直接線含有率が少く従つて散乱線含有率が多くなるわけである。第26図は第25図の照射野 $30 \times 40\text{cm}^2$ と同一の条件でたゞファントームの上下水槽の中央に厚さ4.5mm、巾1cm、長

第26図 ファントームの一部に厚い部分、又はレ線吸収の多い物質のある場合、その陰の散乱線含有率及びブレンデ法とグレーデル法の比較



さ8cmのAl板を置いた場合、及び厚さ6cm、巾6cm、長さ7.5cmのアクリル樹脂の容器に水を満したものを見た場合にその陰の散乱線含有率を示したものである。両者共にこれらの吸収体のない場合に比して散乱線含有率が多くなっている。線質が硬くなればAlのレ線減弱は少くなるのでその陰の散乱線含有率は少くなるが、水では線質の影響はあまり見られない。従来低圧撮影において示現のわるい心臓や骨に重なった微細な構造が、高圧撮影においてよく示現されるのはレ線透過度が大きくなりこれらの障害物を透過するようになるためであると漠然と考えられていたよう

ある^{4) 5) 31) 57) 87)}。然しこの考えからすると低圧を用いても肋間の濃度を犠牲にして充分な露出を与えて、骨や心臓に重なった部分の濃度を適当にすればその部分のディテールが現われるはずであるが、實際やつてみるとカブリが多くディテールはそれ程よく現われない。これは上の実験の示すようにその部分の直接線含有率が特に少いことがその原因の一つと考えられる。従つてこのような部分のディテールを示現するには先ず散乱線を除去することが必要である。高圧を用いるのは露出線量を少くし、且つ骨等の重疊しない部分との濃度差を少くして、全面にわたつて適正濃度を与えるのに有効なのである。

iv) 外部への散乱

被写体の側方及び後方に散乱されるレ線は撮影技術者、その他に障害を与える。特に間接撮影の如く多数の撮影を行う場合には大量となるからこの問題に関しても多数の発表がある^{1) 39) 75)}。然し散乱線量は一枚の撮影に要するレ線量の大小によつて変り、従つて増感紙やフィルムの感度、ブレンデの使用その他の撮影条件によつて左右されるから、後の総合的考察の章で検討することにする。

4. 散乱線の除法

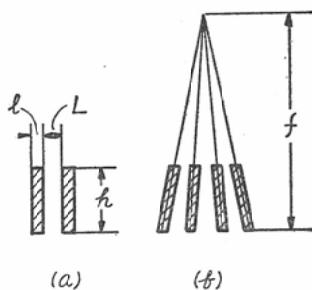
散乱線はレ線写真に対して有害な場合が多く、特に高圧撮影では悪影響を与えるのでその除去方法が種々考案されているが、中でも主なものは、ブレンデ法とグレーデル法である。次にこれらについて実験した結果について述べる。

a) ブレンデ法

i) ブレンデの構造

ブレンデは直接線と散乱線の方向のちがいを利用して散乱線を除去するもので、その構造は第27図の如く薄い金属箔が平行に並べてあり、これに平行なレ線はよく通過し、それ以外の方向のものは金属箔（主として鉛）によって減弱するものである。ブレンデの幾何学的構造を表すために次の因子が用いられる^{4) 10)}。箔の厚さ l、箔の間隙物質の厚さ L、箔の高さ h とすると、

第27図 リスホルムブレンデの構造



$$\text{格子比} = \frac{h}{L} \quad \text{間隙因子} = \frac{L}{1}$$

又焦点とブレンデとの距離が近い場合は周辺の金属箔は焦点の方向に向けて並べておかないと直接線の透過をさまたげるので、第27図(b)の如く、焦点に向つて集中するように製作されているが、この f をブレンデの焦点距離と云う。これらがブレンデの性能を左右する主な因子である。

ii) ブレンデの性能

ブレンデとしては直接線は出来るだけよく透過し、散乱線は成るべく透過しないものが性能がよいと云える。然し両者は両立しがたく散乱線を透過しにくいものは直接線も又透過しにくいのが普通である。ブレンデの性能は直接線の透過率(a で表す)と散乱線の透過率(b で表す)について検討すれば知ることが出来る。一般に b/a が小さい程、性能がよいと考えられており、

$$\eta = \left(1 - \frac{b}{a}\right) \times 100\% \text{ をブレンデの効率と云っている}^{10}.$$

レ線写真を撮影する場合に問題となるのは、ブレンデを用いた場合に、用いない場合に比して何倍の露出が必要かと云うことである。これを露出倍数 K で表している。ブレンデに入射する直接線を D 、散乱線を S とすればブレンデを透過した後は各々 aD 、 bS となるから、露出倍数 K は次の式から計算出来る。

$$K = \frac{D+S}{aD+bS}$$

又後で述べる様に、レ線写真に対するブレンデの効果、即ちコントラストの上昇は散乱線含有率の減少、換言すれば直接線含有率の上昇によつて

$$\begin{aligned} & \text{定まるのでブレンデの効果としてはどれだけ直接} \\ & \text{線含有率が多くなるかを以つて表すのも一方法で} \\ & \text{ある。即ちブレンデを通過する前の直接線含有率} \\ & \text{は } \frac{D}{D+S}, \text{ 通過後は } \frac{aD}{aD+bS} \text{ であるからその比は} \\ & \frac{aD}{aD+bS} / \frac{D}{D+S} = a \left(\frac{D+S}{aD+bS} \right) = aK \\ & \text{さらに変形すると} \\ & a \left(\frac{D+S}{aD+bS} \right) = \frac{D+S}{D + \frac{b}{a} S} = \frac{D+S}{D + (1-\eta) S} \end{aligned} \quad \cdots \cdots (7)$$

となる。従つてこの値もブレンデの効率 η によつて定まることになる。即ち $\eta=0$ の時はこの比の値は 1 となり直接線含有率はブレンデを透過後も変化しないことになる。 aK を直接線含有率増強倍数とよぶことにする。ブレンデの性能を定める根本的なものは、上述の如く直接線透過率 a と散乱線透過率 b であるから、この二つについて少しく考察を加える。 a 及び b はブレンデに固有なものではなく入射するレ線の線質及び入射方向の影響を受ける。先ず直接線透過率 a であるがこれは間隙因子 $\frac{L}{1}$ によつて変る。鉛箔の高さは普通 1.5~2 mm あるから高さ方向のレ線はほとんど通過しないと考えられる。従つて平行ブレンデの場合には直接線の通過し得る面積はブレンデの

$$\text{全面の } \frac{L}{L+1} \text{ 倍となる。変形すれば } \frac{\frac{L}{1}}{1 + \frac{L}{1}} \text{ と}$$

なり、間隙因子 $\frac{L}{1}$ が大きい程この値は大きくなる。即ち直接線は通り易くなる。又鉛箔の間隙には接合物質があり、ブレンデの両面にも薄い被服がかぶせてあるからこの部分により直接線は減弱される。レ線の減弱はレ線の線質の影響を受け、レ線が硬い程減弱は少いから管電圧の高い程直接線透過率 a は大きくなる。

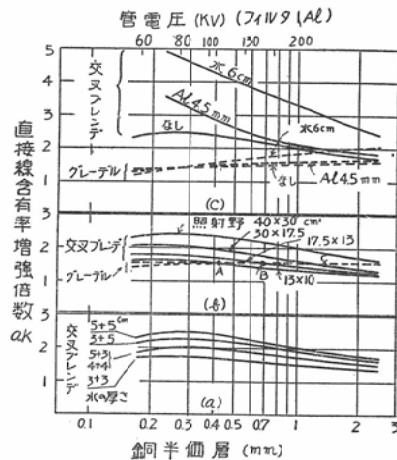
散乱線透過率 b は線質の影響ばかりでなく入射レ線の方向の影響も受けるからさらに問題は複雑となる。散乱線の方向強度分布が一様とし、鉛箔によつてレ線が完全に遮断されるとすれば計算に

よつて b を求めることも出来るが、実際は散乱線は方向により強度も線質も変るし、鉛箔の厚さは0.1mm以下で非常に薄いので斜方向に入射する線に対してはある程度透過すると考えなければならない等の理由により簡単な計算によつて b の値を求めるることは出来ない。たゞ一般的の傾向として散乱線の線質が硬い程、又散乱線の方向強度分布がブレンデに垂直なものゝ割合が多い程、散乱線透過率 b は大きくなると云える。次に実験によつて少しく検討する。

即ち同一のリスホルムブレンデでも管電圧、フィルター、ファントーム等によりブレンデの効率が変ることを示す。使用したブレンデの諸元は後述第5表に示すNo.6の国産交叉ブレンデである。第22図及び、第23図に示す様にブレンデを用いた場合の散乱線含有率の曲線は線質が硬くなるに従いブレンデによる散乱線除去能率が急激に悪くなり、散乱線含有率が多くなることを示している。これは線質が硬くなると直接透過率 a の増加に比して散乱線透過率 b の増加が大きいためである。第28図はブレンデ使用によつてコントラストがどれだけ增强されるかを示すために(7)式から直接線含有率增强倍数 aK の値を求めたものである。同図(a)は水槽の厚さの影響を知るために第22図と第23図から計算したものであるが aK の値はファントームの厚さにより相当変り、厚いもの程ブレンデの効果が著しいことを示している。

照射野の大きさも又散乱線の除去能に大きな影響を与える。それは照射野が小さくなるとブレンデの面に垂直な方向の散乱線の割合が多くなるために b が大きくなるからである。第28図(b)の実線は第25図から直接線含有率增强倍数 aK を求めたもので、照射野が大きい程 aK の値は大きくなる。即ちブレンデの効果は大きくなることが分る。又ファントームが一様な厚さでない場合にも著しい差があり、吸収の多い物体の陰の部分ではブレンデを用いても散乱線含有率はやはり多いが、直接線含有率增强倍数 aK を求めると第28図(C)の実線に示すように陰になつた部分では、低電圧において特にブレンデの効果が著しい。

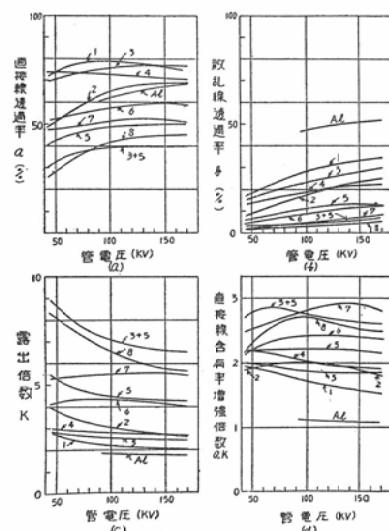
第28図 直接線含有率增强倍数の aK の比較、(a) 水の厚さを変えた場合、(b) 照射野面積を変えた場合、(c) 一部にレ線吸収の強い所のある場合。



iii) 各種ブレンデの性能の比較

上記の如くブレンデの散乱線除去能率は散乱体によつて変り、ブレンデ固有のものではないから異つたブレンデの性能を比較するには測定条件を一定にして実験しなければならない。次に市販されている数種類のブレンデについて性能を比較した結果について述べる。前に云つたようにブレン

第29図 各種リスホルムブレンデの性能の比較、ファントーム、水 $30 \times 30 \times 8 \text{ mm}^3$ フィルター 0.5 mm Al



第5表 リスホルムブレンデの諸元

ブレンデの種類 諸元	1	2	3	4	5	6	7	8
	国産	M S	ルシデ ックス	リーベル	ピッカー	国産	シーメンス	シェナ ンデル
箔の間隔 $L\text{mm}$	0.30	0.34	0.4	0.4	0.25	0.4	0.27	0.285
箔の厚さ $l\text{mm}$	0.04	0.064	0.07	0.05	0.16	0.07	0.087	0.10
箔の高さ $h\text{mm}$	2	1.5	1.5	2	2	2×2	2×2	2.3×2
1 cm中の本数	30	25	22	22	26	22	28	26
格子比 h/L	6.7	4.5	3.75	5	8	10	15	16
間隔因子 L/l	7.5	5.3	5.7	8	1.6	5.7	3.1	2.85
焦点距離 $f\text{cm}$	80	∞	91.5	75	∞	∞	110	∞

デ性能は直接線透過率 a と散乱線透過率 b を測定すれば知ることが出来る。又実際撮影するには露出倍数 K が重要である。従つて実験はこの三つを測定した。測定方法は第19図の如く、 $30 \times 30 \times 8 \text{ cm}^3$ の水槽の全面にレ線を照射し、透過側に直径 4 mm の増感紙を置き、その輝度を増倍管で測定した。焦点ブレンデ間距離は 180 cm にとつた。第19図(a) の如くブレンデのない場合の輝度と同図(d) の如くブレンデを増感紙と水槽の間に入れた場合の輝度との比が露出倍数 K である。同様に第19図(b) と (e) の如く水槽の入射側の中央に $1 \times 1 \text{ cm}^2$ の孔をあけた鉛板を置いて散乱線を除いた場合には両者を比較することにより直接線透過率 a が求められ、第19図(c) と (f) の如く水槽の入射側の中央に $1 \times 1 \text{ cm}^2$ の鉛板を置いて直接線をさえぎつた場合には散乱線透過率 b が求められる。実験したリスホルムブレンデの諸元を第5表に示す。第29図(a) は直接線透過率 a 、第29図(b) は散乱線透過率 b 、第29図(c) は露出倍数 K 、第29図(d) は直接線含有率增强倍数 aK の値を示す。一般に管電圧が高い程 a も b も大きくなり、 K と aK は小さくなるが特に M S 及び Schönanter, Picker 等は間隙物質が軽金属であるから管電圧の影響が大きく、低電圧において a が小さく、 K が大きくなっている。間隙物質に紙、プラスチックその他有機物を用いたものは管電圧の変化によつて a はあまり影響を受けない。又平行ブレンデに比して交叉ブレンデの方が厚さが厚く格子比が大きいから、 a も小さいが特に b が小さ

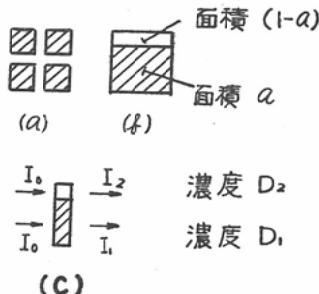
く従つて aK が大きくなる。平行格子では管電圧の上昇と共に aK の値が少なくなるが交叉格子では 100~130 KV の近辺で aK が大きくなりブレンデの効果が大きいのが特徴的である。Picker は平行ブレンデであるが比較的 a も小さく K も大きい。これは鉛箔が厚く間隙物質が薄いので間隙因子が特に小さいためと考えられる。

良いブレンデの備えるべき条件としては上に述べた散乱線の除去の性能と露出倍数の他に縞目、格子目が小さく細かく、かつむらのないことも重要である。縞目が大きく不揃いであるとレ線写真を汚くし、微細な像を見にくくなる。この点間隙物質に軽金属を用いたものはむらがなく優れていた。理想としては縞目が写真上に表れないような方法を用いるべきである。その一つの方法として散乱線の線質が直接線より軟かいこと及び斜に入射することを利用してブレンデの代りに金属板を用いることが試みられている。これは縞目の陰が出ない利益があるがブレンデの効率が悪く実用にならない。即ち第29図(a)~(b) の A1 は 6 mm の厚さのアルミニウム板をブレンデの代りに用いたものであるが直接線と散乱線の透過率の差が少く、従つて直接線含有率がわずか数%しか増加しない。

iv) ブレンデの縞目とレ線写真の濃度及びコントラスト

縞目が如何に美しく揃っていてもこれは写真の濃度及びディテールを本質的に低下するものであることが理論的に証明出来る。次にこのことについて述べる。

第30図 リスホルムブレンデの縞目と写真濃度との関係

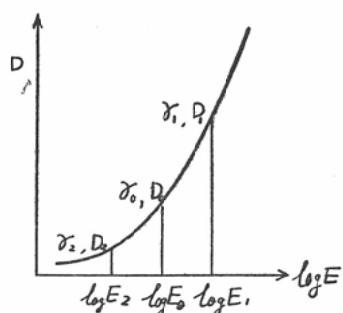


先ずブレンデの縞目の如く細かい濃淡の変化がある場合の写真の平均濃度を求める。今交叉ブレンデの縞目の陰の一部を拡大してみると第30図(a)のようになつてゐる。これを(b)図の如く単位面積について鉛箔の陰影の白い所と、間隙物質の陰影の黒い所とに分けて考える。その各々の中では濃度が一定と假定して計算によつて平均濃度を求める。即ち第30図(c)のように I_0 なる強度の入射光線がフィルムを透過後白い部分では I_2 、黒い部分では I_1 となるとする。白い部分の面積を $(1-a)$ 、黒い部分の面積を a 、濃度を各々 D_2 、 D_1 とすると平均の濃度 D は、入射光線と透過光線量の比の対数であるから次の式によつて求められる。

$$D = \frac{I_0}{I_1 a + I_2 (1-a)} = \log \frac{1}{ae^{-2 \cdot 3 D_1} + (1-a)e^{-2 \cdot 3 D_2}} \quad \dots \dots (8)$$

次にコントラストを求める。即ち微小な露出の差によつて生ずる平均濃度の差を求めればよい。

第31図 フィルムの特性曲線と、縞目を消した場合の写真濃度。



それにはフィルムの特性曲線を知らねばならない。今それを第31図のようにする。即ち露出 E_1 の時濃度 D_1 、その点でのグラジエント γ_1 、露出 E_2 では濃度 D_2 、グラジエント γ_2 とすると、

$$\gamma_1 = \frac{dD_1}{d(\log E_1)} \quad \gamma_2 = \frac{dD_2}{d(\log E_2)} \quad \dots \dots (9)$$

と表される。平均濃度 D は (8)式によつて与えられているから微小な露出の差 $d(\log E)$ によるグラジエントは (8)式を $\log E$ で微分することによつて得られる。今 $d(\log E_1) = d(\log E_2) = d(\log E)$ とし、(9)式の値を代入すると平均濃度のグラジエント γ は、

$$\gamma = \frac{dD}{d(\log E)} = \frac{a\gamma_1 e^{-2 \cdot 3 D_1} + (1-a)\gamma_2 e^{-2 \cdot 3 D_2}}{ae^{-2 \cdot 3 D_1} + (1-a)e^{-2 \cdot 3 D_2}} \quad \dots \dots (10)$$

と表される。

次にブレンデを動かす等して縞目を消した場合には、 E_1 と E_2 の露出が平均されるから平均露出 E_0 は、

$$E_0 = aE_1 + (1-a)E_2 \quad \dots \dots (11)$$

となる。 $\log E_0$ に対する濃度 D_0 及びグラジエント γ_0 を第31図フィルムの特性曲線から求めればこれが縞目を消した時の値となる。

特性曲線が直線であれば $\gamma_1 = \gamma_2 = \gamma_0$ であるから (10) 式より $\gamma = \gamma_1 = \gamma_0$ となり縞目を消すことによつてコントラストは変りないことが分る。然し濃度は縞目を消した方が高くなることが証明出来る。

実際の特性曲線は第31図の如く曲つているから濃度もコントラストも共に縞目を消した時に高くなる。次に実例について計算した結果を示す。交叉ブレンデ（第5表 No. 6）を用い、フィルムの特性曲線はさくらタイプYのカタログにのつてゐるもの用いる。 $a=0.73$ である。 E_1, E_2 の値は散乱線の状態や増感紙の鮮銳度等により異なるが、非常に鮮銳な場合として $E_1=10E_2$ と假定する。 $D_1=1.20$ とすると $D_2=0.17$ 、 $\gamma_1=2.2$ 、 $\gamma_2=0$ となるからこれらの値を (8)、(10)、(11) 式に代入して計算すると縞目を消さない時は、

$$D=0.64, \quad \gamma=0.44$$

となり、同一の露出に対して縞目を消すと、

$$D_0=0.9, \quad \gamma_0=2.2$$

となる。この場合は縞目を消すことにより濃度及びコントラスト共に非常に大となる。

次にあまり鮮鋭でない場合として、 $E_1 = 2E_2$ と假定する。 $D_1 = 1.20$ とすると $D_2 = 0.65$, $\gamma_1 = 2.2$, $\gamma_2 = 2.0$ となる。これらの値を用いて計算すると縞目を消さない時は、

$$D = 0.97, \quad \gamma = 2.08$$

となり縞目を消した時は同一の露出に対して、

$$D_0 = 1.05, \quad \gamma_0 = 2.2$$

となり濃度、コントラスト共に大した差はないが、多少とも大となることがわかる。

又平行ブレンデの如く鉛箔の部分の割合が少い時即ち a が大きい時に於て計算してみると、MS 平行ブレンデを用いると、 $a = 0.842$ である。交叉ブレンデの場合と同じ条件で計算すると、

$E_1 = 10E_2$ の時

$$\begin{cases} D = 0.82 \quad \gamma = 0.77 & \text{縞目あり} \\ D_0 = 1.1 \quad \gamma_0 = 2.2 & \text{縞目なし} \end{cases}$$

$E_1 = 2E_2$ の時

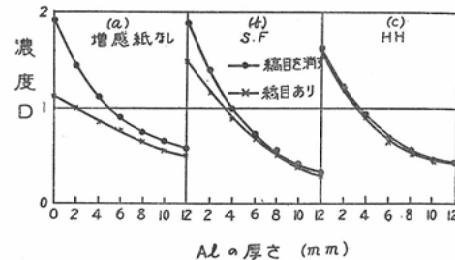
$$\begin{cases} D = 1.15 \quad \gamma = 2.12 & \text{縞目あり} \\ D_0 = 1.1 \quad \gamma_0 = 2.2 & \text{縞目なし} \end{cases}$$

即ち交叉ブレンデの時より程度は少いが同様に縞目を消した方が濃度、コントラスト共大きくなる。

以上の計算から、写真的鮮鋭度がよく縞目の白い所と黒い所の濃度差が大きい程、又白い所の面積の割合が大きい程、縞目の影は写真的濃度及びコントラストを小さくするものであることがわかる。

次に実験によつてこの事実を確かめた。ベノアの硬度計を増感紙なし及び SF, HH 増感紙使用の3種類で撮影した場合の濃度曲線を第32図(a) (b) (c) に示す。計算で得られた結果と同様に (a) の増感紙なしの場合には縞目を消した時と消さない時で同一露出でも濃度及びコントラストに大きな差が見られるが、鮮鋭度のわるい (c) の HH 増感紙使用の場合には両者にはほとんど差が認められず、SF 増感紙使用の場合はその中間の傾向を示した。平行ブレンデを用いた場合の実験も行つたが計算結果で見られると同様な傾向が認められ

第32図 リスホルムブレンデの縞目を消した時と消さない時の写真濃度の比較



た。

従つて鮮鋭な増感紙と交叉ブレンデを組合せて用いた場合には縞目を消すことが必要であるが、不鮮鋭な増感紙と平行リスホルムブレンデとの組合せでは必ずしも縞目を消す必要はないと言える。但し縞目のかけが目ざわりとなつて微細な像が見にくくなると云う問題はこれと別である。

v) ブレデの縞目の消去

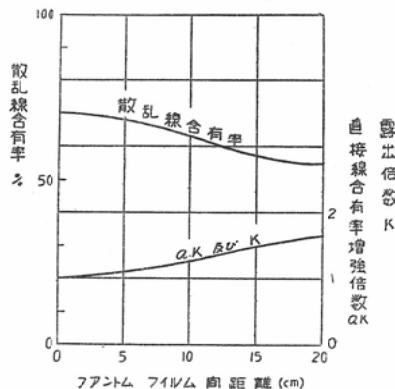
ブレンデの縞目のかけがレ線写真に有害であることは以上の如くであるからこれを消そうとする試みが多く行われている^{14) 22) 23)}。著者もブレンデをばねで釣つて露出時間中に振動させる方法について実験を行つたが、蓄放式レ線装置又は定電圧装置を用いると短時間露出でも縞目はよく消えるが、半波整流や單相余波整流では0.2秒以下では完全に消すことが出来なかつた。

b) グレーデル法²⁴⁾

これは取替棒を被写体から離して撮影することにより散乱線を除去するものである。この方法により散乱線が除去出来る第一の理由は、直接線は焦点フィルム間距離の2乗にほど反比例して減少するが、被写体から出る散乱線は被写体とフィルムの距離に關係して減少するからである。従つて焦点フィルム間距離が大きい程この方法の効果が著しい。他の一つの理由は散乱線は被写体の全面から放射されているからフィルム上的一点に対する散乱線の強度はその点から見た散乱体の視角度が小さい程少くなり従つてフィルムと被写体とが離れる程散乱線の強度が少くなるからである。

次に実験結果を示す。先ずファントーム、フィルム間距離と散乱線含有率との関係を求めた。フ

第33図 グレーデル法におけるファントームフィルム間距離と散乱線含有率



ファントームは、高さ×巾×厚さ=30×30×8 cm³の水槽で焦点フィルム間距離2 m、照射野は30×30 cm²、ファントーム一ぱいとした。第33図はその結果である。ファントーム、フィルム間距離が遠い程散乱線含有率は少くなるが、20 cm以上離れると減少率が少くなる。管電圧にはほとんど影響されない。

次に照射野面積を変えた場合の散乱線含有率の値を第25図に示す。この実験では他の条件はブレンデ法と同一としてファントーム上面を鉛板で覆い、フィルム面における照射野が図示の面積となるようにした。従つて同図のブレンデ法による時より入射面の面積は少し小さい。ファントーム、フィルム間は前の実験結果を参考にして20 cm離れた。

この結果を見ると照射野が小さいと散乱線含有率も少くなるが、ブレンデ法に比して特に著しい差は、管電圧の変化によって散乱線含有率が殆んど変化しないことである。直接線增强倍数 aK を求めるところの値は第28図(b)に点線で示す如くブレンデ法の場合と逆に管電圧の上昇と共に上昇する。又照射野の面積のちがいによつては殆んど差がない。従つて管電圧が高く照射野が狭い程グレーデル法はブレンデ法よりも効果が大きくなる。第25図において丸点A、B、Cに示すように照射野13×10 cm²では銅半価層0.42 mm、17.5×13 cm²では0.68 mm、30×17.5 cm²では1.35 mm以上の線

質ではグレーデル法の方が散乱線除去の効果が多い。

ファントームが一様な厚さでない場合には第26図に示すように吸収の多い物体に重なつた所では低圧における散乱線の除去が甚だわるい。然し管電圧が高くなると散乱線含有率がブレンデ法の場合と逆に減少することは興味あることである。直接線含有率增加倍数 aK は第28図(c)の点線に示す如く管電圧の上昇と共に増す。然し実験の範囲ではブレンデ法よりは散乱線除去の効果がわるかつた。

グレーデル法の利点は以上のように高い管電圧、狭い照射野の時に有効であることである。その上リスホルムブレンデの如く縞目の影響や、これを除去する手数が不要であるし、直接線が全く減弱されない等が数えられる。露出倍数Kの少いことも利点であるが、これは直接線含有率の倍数 aK と等しくなり(直接線透過率 a=1 であるから aK=K)，直接線含有率が増せば必然的に多くの性質のものでむしろ多い方が望ましい。然し反面、照射野が拡く低電圧においてはブレンデ法に比して甚だ効率がわるく、又フィルムを被写体から離すために、小焦点を用い、かつ焦点フィルム間距離を大きくしないと像の鮮銳度が害される等の欠点がある。焦点とフィルム間距離の特に近い場合については更に検討の必要がある。

5. 増感紙、螢光板⁴¹⁾⁽⁵⁰⁾⁵³⁾¹⁰⁸⁾

増感紙、螢光板に対するレ線の発光作用は線質によつて大きな影響を受ける。即ち同一のレ線強度でも線質によつて輝度が異り、ある一定の線質に対して最大の値を示す。又螢光物質の厚さや、増感紙においては前後の厚さの比率等により線質特性が変つて来る⁵¹⁾⁷⁶⁾。鮮銳度も亦線質の影響を受ける。これは一般に電圧が高い程悪くなると云われている。

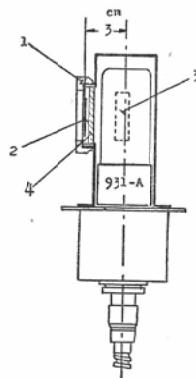
a) 測定方法の検討⁵⁴⁾

増感紙、螢光板の感度を測定するには主として写真黒化法と光電管による測定法が用いられる。前者は実際レ線撮影を行うと同一の条件で測定出来るから、レ線に対する線質特性、方向依存性が

撮影の場合と同一である利点はあるが、現像方法、フィルムの性質等の影響が大きく、写真濃度の測定も誤差が多く、又フィルムの乳剤番号がちがうと特性が異つたりして、時間的に隔つた実験、例えば今日行つた実験と数カ月後の実験値とを比較することは大きな誤差を生ずるおそれがある。これに反して光電管による方法は方向依存性及び螢光に対する感光特性がフィルムと異なる欠点が考えられるが、取扱い簡易なこと、感度が一定であること、写真法の如く相反不規の法則の影響を受けないこと等多くの利点がある。著者は本法が実用上の見地から線質特性、方向依存性、感光特性等についても写真黒化法に比して差のないことを実験的に確かめたので、大部分の実験は光電管による測定法(以下螢光法と云う)によつて行つた。

光電管は R C A, 931-A 増倍管を用い第34図に示すような鉛板製の容器におさめその感光面の前面に鉛ガラス板をへだてて測定しようとする螢光板、又は増感紙を置く、増倍管はレ線に対して

第34図 輝度測定用ブループ、1. 螢光板を取り付ける蓋
2. 螢光板、又は増感紙、3. 増倍管の感光面、4.
鉛ガラス

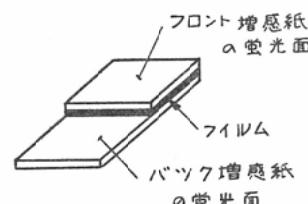


ある程度光電流が流れるので、レ線強度が大で、螢光板の面積を小さくした場合には鉛ガラスだけでは不充分で不要な部分を鉛板で被わねばならない。増倍管及び増感器の螢光に対する諸特性は本論文では述べない。

i) 線質特性

螢光法で一定の光電流を示す場合に、レ線の線質に無関係に同一露出時間に対してフィルムに一定の黒化度を与えるとすれば、両者の線管特性が等しいことになる。このことについて実験した。実験に使用したレ線装置は K X C-18 治療装置、フィルター 2 mm Al, 管電圧 58~200 KV, 実際の撮影と成るべく同じ条件とするため協議会

第35図 複増感紙の輝度測定法。



No. 1 ファントーム(第21図)を被写体として、交叉ブレンデを用い、焦点フィルム距離 140cmとした。黒化法では D H A 増感紙にフジ医療用 X レイフィルムを組合せて露出し、螢光法では第35図の如く増感紙のフロントとバックの間にレ線フィルムをはさんで半分ずつ並べたものを増倍管の感光面の前方に置いて輝度を測定した。第6表に両者の比較を示す。

この表を見るとフィルム黒化法と螢光法とは実用範囲においては一致すると云つてよい。螢光板についてはフォトタイマ等に同様な方法が用いられており⁵⁰⁾、同様の結果であることが知られてい

第6表 螢光法とフィルム黒化法との比較

管 電 圧 KV	58	81	99	144	183	
螢 光 法	一定輝度を得るに要する 管電流 mA	25	4.6	2.0	0.86	0.43
フィルム	露出時間 sec	8	8	8	8	8
黒 化 法	露出量 mAs	200	36	16	6.9	3.4
	フィルム黒化度	1.15	1.15	1.09	1.17	1.17

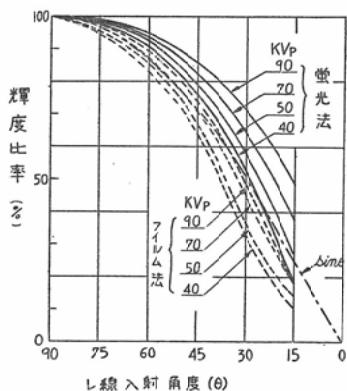
るが、著者の行つた実験でも同様であつた。

ii) 方向依存性

散乱線測定に用いる場合や、断層撮影の場合には増感紙面に斜に入射するレ線に対する感度を検討する必要がある。実験は螢光法と、フィルム黒化法について比較した。

レ線装置はK X O-5型診断用單相全波整流装置で、焦点増感紙間距離2m、増感紙はF Sを用い、管電圧40~90KV、フィルター0.5mm Alとした。先ず螢光法で増感紙のfrontとbackとを別々に測定したところbackの方が入射角度による感度の変化が多く、又両方共管電圧が高い程方向依存性が少いことがわかつた。次にフィルム黒化法による測定は、フィルムパッヂにより線量を測定すると同様に階段的に露出を与えたフィルムと、レ線束に対して種々の角度で傾けて同一露出を与えたフィルムとを同時に現像してその濃度を比較することにより傾斜角度による感度低下を

第36図 増感紙輝度の方向依存性。



求めた。両者の比較を第36図に示す。同図で実線で示したものは螢光法で測定した front と back の平均値である。フィルム黒化法の方が螢光法よりも方向依存性が強い。又同図で鎖線で示したものはレ線が斜に入るために、単位面積当りのレ線強度が少くなる割合を示したものでこの曲線は $\sin \theta$ の曲線となる。フィルム黒化法ではこの $\sin \theta$ の曲線よりもさらに減弱が甚だしいが、これは取扱の板やフィルム及びフロント増感紙等に

よるレ線吸収の影響と考えられる。試みに螢光法による測定においてレ線の入射面に Al 板を当てるかと方向依存性が強くなることが分った。

b) 輝度とレ線強度

螢光板、増感紙の輝度は、これに入射するレ線強度に広い範囲において比例することが知られている^{10, 13}。著者も管電圧 40~200 KVp、管電流 0~25mA、焦点螢光板間距離 30cm~2 m の間ににおいて、線量計とならべて比較したり、焦点螢光板間距離を変えて逆自乗の法則から計算した値と比較したりしたが、実験の範囲内においては両者はよく比例関係が保たれていた。蓄放式レ線装置で撮影する場合や、間接撮影で 0.1 秒以下で撮影しようとする場合のように非常に短時間で撮影するときには輝度もそれに逆比例して大きくなければならないが、その場合輝度が飽和現象を生じてレ線強度に比例しないと写真のコントラストがわるくなる。それで螢光板について F 1.5 のレンズと間接用高感度フィルムを用いて $1/100$ ~ $1/200$ 秒で適正濃度の写真を得られる輝度迄実験したが、やはり輝度とレ線強度は比例関係にあつた。

c) 一定の写真濃度を得るに要する mAs

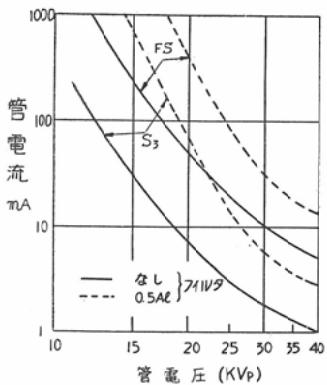
レ線写真のディテールを識別するに最も適当な写真濃度はおよそ 1 であると云われている^{12, 13}。従つてレ線撮影には先ず濃度 1 を得るに要する撮影条件を求めることが必要である。被写体が与えられて、之をレ線撮影するにあたり調節出来るものは、管電圧、管電流、露出時間、フィルター、焦点フィルム間距離、増感紙の感度、フィルムの感度、現像処理等多く数えられるが、普通管電圧 (KVp) と管電流 × 露出時間 = mAs とが最もコントロールしやすいので、この 2 者を調節して適正な写真濃度を得るように撮影している。従つて撮影条件に対する管電圧の影響を検討するには濃度 1 を得るに要する KVp と mAs との関係を種々のレ線装置、被写体、螢光板、増感紙、フィルム等の組合せに対して求めておくと便利である。一定の写真濃度を得るに要する KVp とレ線量 (r) との関係を求めるのも一方法であるが、

実際レ線撮影を行うにあたつて必要な焦点の大きいさや、露出時間等を検討するには(r)よりも(mAs)の方が直接的で便利である。次に数例を示す。

i) 15~40KVpにおける値

レ線装置はソフテックスC型を用い、15~40KVpで実験した。管電流を一定として管電圧を変えて螢光法により輝度を測定し、その値から逆算して一定輝度を得るに要する管電流を求めた。前に述べたように輝度とレ線強度とは比例し、レ線強度は多くのレ線装置においては管電流に比例するからこの計算は矛盾しないと考える。

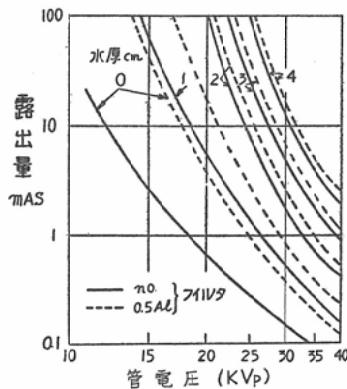
第37図 15~40KVpにおける同一輝度を得るに要する管電流と管電圧との関係。被写体なし。



第37図は被写体がない場合で、使用したのは増感紙FSフロント及び螢光板S₃である。焦点螢光板距離50cm, 管電流1, 2, 3mAについて実験してその平均値をとつた。図の縦軸には螢光板S₃の40KVp, 1mA, フィルターなしの時の輝度を基準とし、この輝度を得るに要するmAを表してある。螢光板の方が増感紙よりも必要とするmAが少い。両者とも管電圧が上昇すると必要とするmAは急激に少くなる。又0.5mm Alフィルターを用いると必要とするmAは2~3倍になるが、前に述べた第2図でわかるようにレ線量は1/8~1/10に減少するから被写体の被曝線量は少くなる。このことについては又後で述べる。

第38図は同じレ線装置で被写体に水を用い、増

第38図 15~40KVpにおける同一黒化度を得るに要するmAsと管電圧との関係。被写体、水、焦点フィルム間距離、50cm

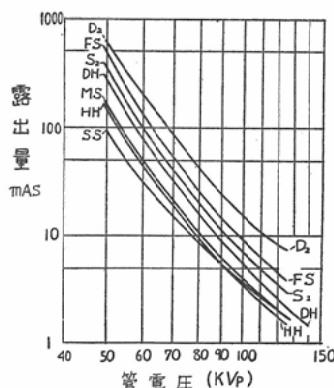


感紙はFSのフロントとバックを第35図の如く半分ずつ重ねて測定した。照射野はフィルム面において20×20cm²、焦点フィルム間距離50cmとして実験した。縦軸にはこの増感紙にフジ医療用X線フィルム(黒箱)を組合せて露出した場合濃度1を得るに要するmAsをとつてある。管電圧の上昇によるmAsの減少は水の厚い程著しい。又フィルターによるmAsの増加は水の厚い程少い。

ii) 50~130 KVpにおける各種増感紙の比較

最近高圧撮影の研究が行われるようになつたが、こゝでは実際の撮影にあたつて各種の増感紙

第39図 各種増感紙の同一黒化度を得るに要するmAsと管電圧との関係。フィルター2Al、被写体、水8cm、焦点フィルム間距離1.5m。

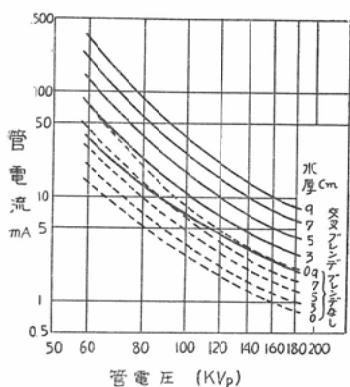


を比較して必要な撮影条件を見出す目的で実験した結果について述べる。使用したレ線装置はK X-80診断用単相全波整流、管球は試作高圧撮影用空冷管球、焦点 $4.5 \times 4.5 \text{ mm}^2$ 、フィルター 2 mm Al、被写体 $30 \times 30 \times 8 \text{ cm}^3$ の水ファントーム、照射野は $30 \times 30 \text{ cm}^2$ 一ぱいとし、リスホルムブレンデは第5表、No. 6 の交叉ブレンデを使用し、焦点フィルム間距離 1.5 m、フィルムはフジ医療用Xフィルムと云う組合せで実際に写真濃度 1 を得るに要する mAs を求めた。この実験は昭和28年に行つたのでフィルムの感度は現在のものより低い。実験結果を第39図に示す。90~100 KVp 以上では高圧撮影用として特に製作された HH, DH 等の mAs の減少が目立つ。前項の 15~40 KVp における程著しくはないが、管電圧の上昇につれて急激に mAs が減少している。このような実験結果は現在では他に多くの発表があるのでこゝでは精しく述べない。

iii) 60~200 KVp における各種螢光板の比較

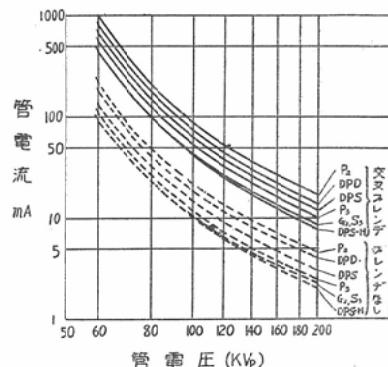
次に高圧間接撮影を研究する目的で実験した結果について述べる。使用したレ線装置は K X C-18治療用装置、フィルター 2 mm Al、被写体 $30 \times 30 \text{ cm}^2$ の水槽に水を 0~9 cm の厚さに満したもの、照射野 $30 \times 30 \text{ cm}^2$ 、リスホルムブレンデは前述の第5表 No. 6 の交叉ブレンデを使用した。

第40図 螢光板の同一輝度を得るに要する管電流と管電圧との関係。被写体、水、焦点の螢光板距離、80 cm



又ブレンデなしの場合も実験した。焦点螢光板距離 80 cm、輝度の測定は 931-A 増倍管で行つた。先ず P₃ 融光板について一定の輝度を得るに要する mAs と KV との関係をファントームの厚さを変えて測定した結果を第40図に示す。基準の輝度としては F 1.5 のレンズで間接用フィルム（例えばさくらタイプY）を用いて 0.2 秒の露出で濃度 1 を得るに要する輝度をとつた。管電圧の上昇と共に必要とする mA は減少し、且つファントームが厚い程この傾向は著しい。

第41図 各種螢光板の同一輝度を得るに要する管電流と管電圧との関係。フィルター 2 Al 被写体、水 10 cm、焦点・螢光板距離 80 cm.



次にファントームに第21図の協議会ファントームを用い、他の条件は前と同様として各種螢光板の感度の比較を行つた結果が第41図である。螢光板においては同一輝度を得るに要する mA の比率は増感紙の場合と異り、管電圧に無関係にはほぼ一定である。

d) 鮮銳度④ 53

増感紙、螢光板の鮮銳度はレ線写真的鮮銳度に重大な影響を与えるが、之を測定するに適当な装置を持たないのでレ線フィルムに写したリスホルムブレンデの縞目の影を引伸器にかけて 12~13 倍に引伸してボケの程度を比較した。増感紙には医療用 X 線フィルムを、螢光板には間接用フィルムを組合せ、両者を密着して管電圧を変えて露出し指定現像した。フィルムの濃度は成るべく 1 となるようにした。このような方法では鮮銳度を数値

第7表 増感紙、螢光板の鮮銳度の比較

	鮮銳度大←————→鮮銳度小
増感紙	D ₂ , DHA, SF, DH, FS, S ₂ , MS, SS, HH
螢光板	P ₂ , G ₂ , S ₃ , DPD, DPS, P ₃ , DPS-H

で表すことは出来ないが、相互に比較するには充分役立つた。実験結果は、増感紙も螢光板も管電圧の変化による鮮銳度の変化はこのような観察方法では認めることができなかつた。感度の高いもの程一般に鮮銳度がわるいが、製作所が異ると必ずしもそうでない場合もあつた。保護膜のないもの又は特に薄く作られたものは感度も高く、鮮銳度もよかつたが、耐久力がおとる。第7表にこれらの増感紙、螢光板の鮮銳度の比較を示した。

6. 光学系及びフィルム

光学系についての検討は本論文においては省略することにする。ノンスクリーン撮影ではフィルムは直接管電圧の影響を受けるがこれについては現在検討中である。この章では医療用X線フィルムの性質について検討し、レ線写真に対する管電圧の影響について理論的根拠を与えたとした。

a) 写真濃度

微細な濃度差即ちディテールを識別するに最も適当な写真濃度は0.8~1.2であると云われている^{5) 12) 13)}。又解像力もこのへんで最大となる。尤もこの値は照明の明るさ¹⁰⁾、色等によって変り⁸⁾、個人差もあるが、濃度1.5以上では明るい照明を用いてもディテールの識別が困難となるようである¹²⁾。又平均濃度が適当であつても、見ようとする陰影に重なつて不規則な淡い濃淡がある場合には非常に判別が困難となる。

被写体が水槽のように厚さが均一の物体の場合にはmAsとKVpを調節して写真濃度を適当にすることは比較的容易であるが、人体の如く種々の物質が複雑に重なつてある被写体では写真の全面にわたつて適正濃度を与えることは不可能な場合が多い。従つてこのような写真について検討するには従来の如くフィルムの特性曲線の直線部分についてのみならず、低濃度の部分についても研

究しなければならない。

b) 対称度と特性曲線

露光量と濃度との関係をグラフに表したものを持性曲線と云う。多くのレ線フィルムではこれを増感紙にはさんでレ線で露光した場合、特性曲線は濃度1の近傍で次式で表されることよく知られている^{6) 8)}。

$$D = \gamma \log E + C \quad \dots \dots \dots (12)$$

ここでD: 写真濃度, γ : グラデーション, E: 露光量, C: 常数。

このような特性曲線を持つフィルムで微小な厚さx(cm)の物体をレ線撮影する場合の周囲との濃度差即ちディテールをΔDとすると次式で表わされる。

$$\Delta D = 0.4343 \cdot \gamma (\mu_1 - \mu_2) x$$

但し, μ_1 : 被写体のレ線減弱係数(cm⁻¹).

μ_2 : 周囲の物質のレ線減弱係数(cm⁻¹).

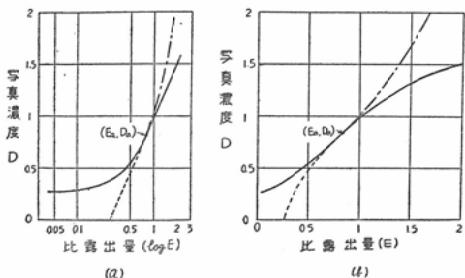
$$\Delta D = 0.4343 \cdot \gamma (\mu_1 - \mu_2) x \frac{ED}{ED+ES} \quad \dots \dots \dots (13)$$

但し, ED: 直接線による露出量, ES: 散乱線による露出量。

以上の事実はすでにMorgan等^{8) 9)}により精しく論じられている。然し特性曲線は低濃度部分、所謂脚の部分では甚だしく曲つてあるから上の理論は成立しない。著者はこの部分について考察した。

先ず実験的に増感紙に医療用レ線フィルムをはさんでレ線露出し特性曲線を求めるに第42図(a)のようになる。以降特性曲線の検討に便利なために濃度1を得るに要する露出量を1.0とし、横軸にはそれに對する露出量の比を用いることにする。特性曲線の脚の部分は直線部分と異なる式で表さねばならない。それを求めるために第42図(a)の横軸のlog Eの代りにEを用い、等分目盛で

第42図 医療用Xレイフィルムの特性曲線、点(Ea, Da)で互に切する2本の曲線よりなると考えられる



グラフを書くと第42図(b)となる。直線部分と脚の部分との分岐点の座標を(Ea, Da)とすると、濃度がDaより低い部分では、曲線の形から種々検討してみると次式で表すのが近似もよく取扱いも簡単である。

$$D = k E^n + C_1 \quad \dots \dots \dots (14)$$

ここでk, n, C₁は常数で(14)式で表される曲線が(Ea, Da)の点で(12)式の曲線に切し且つE=0の時カブリ濃度D₀の点を通るように定められる。即ち計算すると次のようになる。

$$\begin{aligned} n &= \frac{0.4343 \gamma}{D_a - D_0} \\ k &= \frac{D_a - D_0}{E_a^n} \\ C_1 &= D_0 \end{aligned} \quad \dots \dots \dots (15)$$

このような特性曲線のフィルムで微小な厚さx(cm)の被写体(減弱係数μ₁ cm⁻¹)をレ線撮影する場合の周囲(減弱係数μ₂ cm⁻¹)との濃度差ΔDは次のようにして求められる。今薄い被写体のある部分の直接線による露出量をEx、その周囲の部分の直接線による露出量をEDとする

$$Ex = ED e^{-(\mu_1 - \mu_2)x}$$

今散乱線により一様なカブリEsがあるとすると、両方の露出量は各々(ED+Es)、及び(Ex+Es)となる。従つてその濃度差は(14)式に上の値を代入して次のように求められる。

$$\begin{aligned} \Delta D &= k(ED + Es)^n + C_1 - [k(Ex + Es)^n + C_1] \\ &= k[(ED + Es)^n - (Ex + Es)^n] \end{aligned}$$

xが小さいと假定し、前の式を代入して近似計算をすると次の式を得る。

$$\Delta D = knx(\mu_1 - \mu_2)ED(ED + Es)^{n-1} \dots \dots \dots (16)$$

これが脚の部分におけるディテールを与える式

である。この式においてn=1ならば、ΔD=kx(μ₁-μ₂)EDとなりΔDは散乱線カブリには無関係となる。即ちカブリがあつてもディテールの示現は低下しない。もし n>1ならば散乱線カブリEsが増すとΔDが大きくなり、ディテールの示現がよくなる。又n<1ならば逆にEsが増すとディテールの示現がわるくなる。

次に(16)式によつてフィルムの低濃度におけるレ線写真的特性について2~3の考察を試みる。直接用レ線フィルムと増感紙とを組合せてレ線露出を行うとその特性曲線の脚の部分ではnの値は1.0~1.3の間にあるものが多い。従つてこの部分では散乱線が増加するとディテールが増加する。然しこれは1より大して大きくなれば、散乱線カブリEsが直接線EDに比べて小さい時はEsによるディテールの増加はわずかでほとんど認められない。然しEsがEDの数倍になるとその効果が明らかとなつて来る。そうかと云つてEsがあり大きくなつて(Ex+Es)の値が特性曲線の直線部分に入つてしまふと、ディテールは

(13)式で表されるようになり、散乱線Esの増加によつてディテールは減ずる。従つて直接線EDが変曲点Eaの数分の一ないし數十分の一のごく小さい値の時に初めて散乱線によるディテールの増加が認められる。兎に角直接用レ線フィルムの特性曲線の脚の部分では散乱線カブリによつてディテールが増加することは注目すべきことゝ考へる。

この事実からレ線写真に多小散乱線を残しておいた方がよいか否かと云う問題については次のように考えられる。即ち被写体に非常に厚い部分と薄い部分とが混在している場合には、低い管電圧で撮影し、散乱線を完全に除去すると厚い部分と薄い部分の写真濃度差が大きくなる。それで最大濃度を少くとも1.5以下におさえたとすると、最小濃度が非常に小さくなつてしまう。このような場合最大濃度の点の露出量の10~20%の散乱線を残しておくと低濃度部分ではかえつてディテールが増加し、且つ生理的にも見易い濃度となる。他方高濃度の部分では散乱線によつてディテールは

減少するが、10~20%程度ではその減少も大したことがない。

然し高い管電圧を用いる場合や、被写体にあまり厚い所と薄い所の差のない場合には最小濃度の点でも直接線 ED は相当多いから散乱線によるディテールの増加は望めない。従つてこのような場合には散乱線は出来るだけ除去する方が全体として都合がよい。

但し間接用フィルムでは¹⁴⁾n は 0.8 前後で 1 より小さいから散乱線が増加すればディテールは減少する。従つて散乱線は常に出来るだけ除去した方がディテールの示現がよい。

フィルムの解像力に対する管電圧の影響は増感紙を使用しない場合は特に問題となる。管電圧が高い程粒状性がわるくなると云われているが¹²⁾これについてはこゝではふれない。

IV 実験結果の考察

以上管球からフィルム迄の各要素に及ぼす管電圧の影響及びそれに関連するいくつかの問題について理論的、実験的に検討を和えて来た。さてレ線撮影に当つては、これらが互に関連し、相互に影響を及ぼすから、これを統一的に考按することはなかなか困難であるが、以下 2~3 の問題についての考察を述べることにする。但しこれ迄の実験は総てファントームを用いて行われており、この結果をそのまま人体の撮影に用いることは出来ないが、凡その傾向を知り、之を人体のレ線撮影における種々の問題に対する解決の端緒とすることは可能であると考える。

1. 管電圧とディテール

レ線写真は被写体のレ線減弱の強さに応じて透過レ線に強弱を生じ、それがフィルム上に濃淡として示現されたものである。写真上の微細な濃度差即ちディテールは前に述べたように理論的には特性曲線の直線部分では(13)式、脚の部分では(16)式で表される。従つて目で認め得る最小の濃度差を ΔD_{min} とすると、レ線写真上に示現し得る最小の厚さ x_{min} は各々次のように表される。

$$x_{min} = \frac{\Delta D_{min} (E_S + E_D)}{0.4343 \cdot \gamma (\mu_1 - \mu_2) E_D} \quad \dots\dots\dots (17)$$

$$x_{min} = \frac{\Delta D_{min}}{k n (\mu_1 - \mu_2) (E_D + E_S)^{n-1} E_D} \quad \dots\dots\dots (18)$$

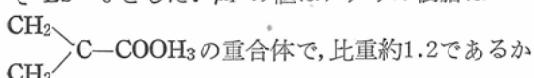
ΔD_{min} の値は写真の濃度や照明の明るさ等によつても変るが、0.02前後であると云われている。 γ, k, n の値はフィルムの特性曲線によつて定まるし、 E_D, E_S はファントームを用いた散乱線の実験によつて求められる。減弱係数 μ の値は前に精しく述べたように計算又は実験によつて求めることが出来る。これらの値を別個に求めて(17)、(18)式に代入して得られた x_{min} の値と、実際にファントーム中に薄いアクリルやアルミニウムの板を置いてレ線撮影を行い、フィルム上に示現し得た最小の厚さを実験的に求めた値とが一致すれば(17)、(18)式は誤りがないことになる。従つてディテールを示現する方法についてはこれらの式を検討することによつて解決の道が見出されるわけである。

従来、特性曲線の直線部分についてはディテールが(13)式で表されることを示し、一方管電圧と物質のレ線減弱係数との関係を計算又は測定によつて求め¹⁰⁾、この両者を結びつけて管電圧とディテールの関係を論じた論文⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾や、ファントームの表面や中間にパラフィン、アクリル、アルミその他を置いてレ線撮影し、写真上に示現し得る最小の厚さを実験的に求めた結果について既に多くの人々の発表があるが⁴⁾⁹⁾¹⁰⁾¹⁰⁶⁾、フィルムの特性曲線の脚の部分に関する(16)式について論じているものは全く見ない。著者は直接及び間接撮影用レ線フィルムを用いて実験成績と計算値との比較を行つてみた。

先ず特性曲線の脚の部分におけるディテールの示現についての実験成績を述べる。使用したレ線装置は KXC-18型治療装置、ファントームは用いず、被写体はアクリル板の面積約 $1 \times 1 \text{ cm}^2$ のもので厚さ 0.5mm から 2.3mm 迄の間のもの 6 枚、及び Al 板で面積約 $1 \times 1 \text{ cm}^2$ 、厚さ 0.1mm から 1.0mm 迄のもの 6 枚をカセッテ上に並べて撮影して示現し得る最小の厚さを求めた。増感紙はマツダ DH、フィルムはさくらタイプ Y、フィルムの

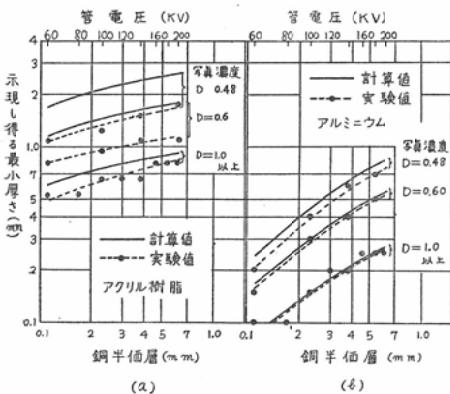
特性曲線の諸定数は、 $\gamma = 2.1$, $n = 1.17$, $k = 0.78$, $Da = 1.0$, $Ea = 1.0$, $D_0 = 0.22$ であつた。撮影条件はフィルム濃度 1.3, 1.0, 0.6, 0.48 の 4 種類となるように mAs を定めた。

計算はフィルム濃度 1.0 以上では(17)式、それ以下では(18)式を用いた。この場合、 $4D_{\min} = 0.02$ とし又ファントームなしだから散乱線なしで $Es = 0$ とした。 μ_1 の値はアクリル樹脂は



CH_2 らほとんど水と同一の減弱係数を持つことが証明出来るし、Al の減弱係数は第17図の実験値を用いる。又被写体は空気中に置いたから、 $\mu_2 = 0$ である。第43図は以上のようにして求めた実験値と計算値の比較である。Alにおいては両者はよく

第43図 低濃度におけるディテールの示現、計算値と実験値の比較。直接用フィルム。



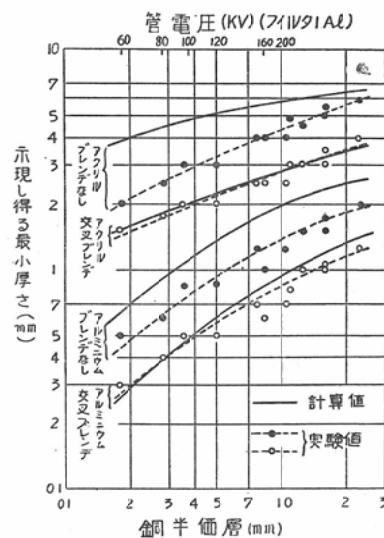
一致しているが、アクリルではあまりよく一致しない。然しフィルムの濃度が低くなると、示現し得る最小の厚さが大きくなり、ディテールの示現がわるくなる傾向はよく示されている。

次に特性曲線の直線部分におけるディテールの示現について、ファントームを置いて散乱線を附加した実験成績と計算値とを比較した。レ線装置は前と同様とし、ファントームは第21図の協議会ファントームを用い、その中間に被写体として前と同様アクリル及び Al の小板を並べ、ブレンデなし及び交叉ブレンデ（第5表、No. 6）を使用

した場合について示現し得る最小厚さを求めた。螢光板 D P S-H とフジ間接用フィルムを密着してカセッテに入れ、直接撮影と同様にして撮影した。フィルムの諸定数は $\gamma = 1.15$, $n = 0.793$, $k = 0.80$, $Da = 0.85$, $Ea = 0.74$, $D_0 = 0.22$ であつた。撮影条件は管電圧 60~200 KV フィルター 2 mm Al, 0.5 mm Cu 及び 1.5 mm Cu の 3 種を用い、フィルムの濃度約 1.2 となるように mAs を調節した。

計算は(17)式を用いるが、この場合 $4D_{\min} = 0.02$, $\mu_2 = 0$ とし、 μ_1 は水 10 cm を透過したレ線の線質に対する値を用いた。直接線含有率 $ED/ED+Es$ の値は第22図の値を用いた。さて第44図は実験値と計算値の比較である。この図によれば交叉ブレンデを用いて散乱線を除去した場合は両者は比較的よく一致するが、ブレンデを用いない場合には実験値が計算値よりも小さい。この理由は螢光法とフィルム黒化法との方向依存性の差によるものではないかと考えられる。

第44図 間接用フィルムにおける示現し得る最小厚さ、計算値と実験値の比較



以上の様に実験によって示現し得る最小の厚さが(17), (18)式で表わされるとしても大した誤りがないことが明かとなつた。従つてこれらの式を用いてレ線撮影においてディテールの示現をよ

くするにはどのようにしたらよいかと云う問題について例をあげて検討してみる。

a) 被写体の厚さが一様な場合のディテールの示現

示現し得る最小厚さ x_{min} を小さくするには先ず露出を充分与えてフィルム濃度が特性曲線の直線部分に来るようにしなければならない。そうすると x_{min} は(17)式で表される。この式で x_{min} を小さくするためには、 $E_D/(E_D+E_S)$ 、即ち直接線含有率を增强しなければならない。このことに関しては既に散乱線の除去の項で精しく述べたが、管電圧の低い方が散乱線除去が容易である。次にレ線減弱係数 μ_1 を大きくすることである。そのために低い管電圧で、フィルターも用いず、且つ被写体も圧迫する等して薄くし、透過レ線の直接線含有率を高くし、かつ線質を軟かくしなければならない。第3にはグラジエントの大きなフィルムを用いることである。さらにリスホルムブレンデを使用する場合には縞目の陰影も消さなければならない。このようにすることにより、ディテールの示現がよくなると云える。

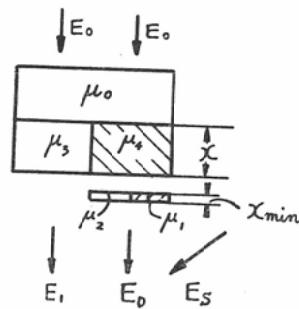
b) 被写体の厚さが一様でない場合のディテールの示現

被写体が一様の厚さでない場合、例えば胸部圧面像で心臓や乳房に重なつた部分とそうでない部分とを同時にディテールをよく示現しようするには前項に述べたように被写体のコントラストを強くすることばかり考えていては良い結果は得られない。何故かと云えば、写真のコントラストが強くなると最大濃度と最低濃度との差が大きくなるが、最大濃度は約1.5以下におさえないと非常に見にくくなる。そうすると結局低濃度部分が特性曲線の脚の部分に入り、ディテールの示現がわるくなってくる。従つてこの場合最高濃度と最低濃度の差をある程度少くしなければならない。そのためには前述した散乱線カブリを小量与える方法もあるが、高い管電圧即ち硬い線質を用いて被写体コントラストを少くする方法が用い得られる。これが所謂高圧撮影法である。この場合硬い線質を用いると被写体自身のレ線減弱が少くなり、

結局ディテールの示現はよくならないのではないか、又は反対に出来るだけ硬い線を用いて重なつた陰影（例えば心臓等に）を淡くする程そのかけのディテールがよく示現するのではないかと云つた問題が生ずる。これについて次に検討してみる。

実験上最高濃度を一定となるように露出を与えると、低電圧では被写体の厚い部分の写真濃度が大変低くなり、ディテールの示現がよくない。管電圧をあげるにつれて低濃度部分の濃度が上昇し、ディテールの示現もよくなつて来る。然しある程度以上に管電圧をあげると、反対に示現がわるくなつて来る。即ちこの移行間においてある一定

第45図 被写体の一部にレ線減弱の大きい物質のある場合、それに重なつたディテールの示現。



の最適の管電圧があることが推察される。この最適値はフィルムの特性曲線の形と、物質の減弱係数と管電圧との相関々係、及び被写体における厚さの差等によって定まるものである。厚さの差が大きい程高い管電圧が必要であろうことは常識的にも考えられる。著者は低濃度におけるフィルムの特性曲線と、管電圧と物質のレ線減弱係数との関係から理論的に最適の管電圧（線質）を求めた。即ち今被写体を第45図の様に表わし、レ線減弱の多い部分の厚さ x (cm)、その部分の減弱係数 μ_4 (cm^{-1})、それに相当する周囲の部分の減弱係数 μ_3 (cm^{-1})、減弱の多い部分の直接線による露出量 E_D 、少い部分での露出量 E_1 で表す。レ線減弱の理論から、

$$ED = E_1 e^{-(\mu_4 - \mu_3)x} \quad \dots \dots \dots (19)$$

一方示現し得る最小厚さ x_{min} は (18) 式より、

$$X_{min} = \frac{AD_{min}}{kn(\mu_1 - \mu_2)(ED + ES)^{n-1}ED} \quad \dots \dots \dots$$

これに (19) 式を代入して整理すると、

$$X_{min} = \frac{AD_{min}}{kn(\mu_1 - \mu_2)E_1^n e^{-n(\mu_4 - \mu_3)x} \left(1 + \frac{ES}{ED}\right)^{n-1}} \quad \dots \dots \dots$$

となる。この式において $AD_{min} \approx 0.02$ で一定値、 k, n はフィルムによって一定値を持つているし、 E_1 も最高濃度点の露出量で一定値である。又 $\left(1 + \frac{ES}{ED}\right)^{n-1}$ は線質の変化によって $\frac{ES}{ED}$ の値が変るから一定ではないが、 X レイフィルムでは $(n-1)$ の値が小さいからほど一定として差支えない。従つてこれらの定数をまとめて K で表わすと上の式は、

$$X_{min} = \frac{K}{(\mu_4 - \mu_3)nx} \quad \dots \dots \dots (20)$$

$$\text{但し } K = \frac{AD_{min}}{knE_1^n \left(1 + \frac{ES}{ED}\right)^{n-1}}$$

となる。 x_{min} を最小とするには (20) 式の分母を最大にする μ_1, μ_2 等の値を求めればよい。

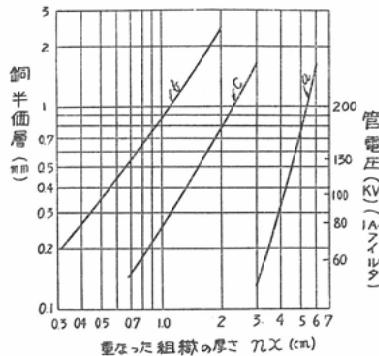
今、 $\mu_1 = \mu_3 =$ 水の減弱係数、 $\mu_2 = \mu_4 =$ 空気の減弱係数とすると $\mu_2 = \mu_4 \approx 0$ となるから微分法によって最大値 μ_1 を求めることが出来る。即ち計算すると、

$$\mu_1 = \frac{1}{nx} \quad \dots \dots \dots (21)$$

となる。減弱係数 μ_1 を与えるような管電圧又は線質が最適値である。第16図 (C) の曲線から最高値を求め、これを第46図の曲線 a に示した。即ち厚さの差 x が大きい程最適管電圧は高くなる。又厚さの差 x が少ないと最適管電圧が30KVp 以下と云うことも考えられ、この場合には実用管電圧 (40KVp 以上) では管電圧をあげる程示現がわるくなる。

以上の理論は低濃度部分が特性曲線の脚の部分にある場合であり、もし最高濃度が非常に高かつたり、散乱線によるカブリが多かつたりして、上記の最適管電圧以下で既に低濃度部分が直線部分に入つてしまう場合にはこの理論は成立しなくな

第46図 骨や厚い軟部組織に重なつたディテールを示現するに最適の線質。 (a) 軟部組織に重なつた軟部組織、 (b) 骨に重なつた軟部組織、 (c) 骨に重なつた石灰化巢



る。この場合は最低濃度が丁度直線部分に入る時の管電圧が最適となる。

又最高濃度部分のディテールの示現は、管電圧をあげる程わるくなる一方であることは云う迄もない。

c) 被写体にレ線減弱の大きな物質が混在している場合のディテールの示現

これは例えば胸部撮影において骨の陰影に重なつた軟部組織のディテールをよく示現しようとする問題である。これは第45図において、 $\mu_1 = \mu_3 =$ 水の減弱係数、 $\mu_2 =$ 空気の減弱係数 = 0, $\mu_4 =$ 骨の減弱係数、とおけば求められる。即ち (20) 式の分母は、

$$\mu_1 e^{-(\mu_4 - \mu_2)nx}$$

となる。この場合は μ_1 と μ_3 の 2 つの変数があるから前項のように微分法によって簡単に最大値を求めるわけにはゆかないから、実際の μ_1, μ_4 の値を代入して計算して求めた最大値は第46図の曲線のようになる。

この場合も骨の厚い程最適管電圧は高くなる。即ち胸部正面像について云えば、肋間の濃度が一定となるよう露出した場合、骨に重なつた部分の軟部組織のディテールを最もよく示現するには、骨の厚さに適合した管電圧を選ばなければならないのである。

又骨に重なつた石灰化巢のディテールをよく示現するには、

$$\mu_4 e^{-nx(\mu_4 - \mu_1)}$$

を最大とする線質を求めればよい。前と同様に計算すると第46図C曲線となる。

同様にして軟部組織に埋つた骨自身のディテール、骨の造影剤撮影において造影剤内部のディテール等を示現する場合の最適管電圧も求めることができると云う条件の下に以上の理論が成立していることに注意しなければならない。

以上は単純に理論的に考察してみた結果であるが、この実験的検討は別に報告したい。現在迄のところ実験的にこの推論に誤りない成績を得つゝある。

2. 管電圧と鮮銳度

レ線写真の鮮銳度を支配する主なものは、管球焦点の大きさによる幾何学的なもの、被写体の運動による影響、増感紙、螢光板及びフィルムそのものによるもの、間接撮影においては光学系に原因するもの等があげられる。運動しない被写体では露出時間の制限を受けないので、鮮銳度を向上させることは比較的容易である。何故かと云えばこれらの不鮮銳の原因となる要素は実際に総て時間的制約を受けるからである。

即ち鮮銳度を向上せしめんとして焦点を小さくすれば、発生するレ線量を減ぜざる得なくなり、従つて露出時間は増加する。焦点フィルム間距離を遠くすれば幾何学的不鮮銳は減少するが、露出時間はのびる。増感紙、フィルム等も感度の早いもの程一般に鮮銳度がわるい。レンズの明るさと解像力との関係も亦同様である。この様にこれらの要素に時間的制約がなければ、鮮銳度の高いものの製作は比較的容易に出来るのである。即ちお互に他との関連を考えずに最も鮮銳なものを製作すればよいわけである。

事実静物については数百倍に及ぶ拡大撮影³³⁾や、数10倍に引伸し得る鮮銳なレ線写真も得られている。然し人体を撮影する場合、特に胸部や消化管等、相当な速度で運動するものを撮影する場合には常に露出時間との関連の考慮なしには行いえない。そしてこれらの鮮銳度を支配する要素が、

露出時間を媒介として互に関連しているのである³²⁾。上述の各要素に対する管電圧の影響は夫々の項目において既に述べた。それ等結果によれば著者の実験範囲内では管球では管電圧の上昇と共に焦点におけるレ線発生率が増すから、小焦点を用いることが出来、被写体のレ線透過度が増し短い露出時間で同一フィルム濃度が得られる。又増感紙、フィルムに於ては管電圧の上昇は自体の鮮銳度を多少わるくするが、感度が増す結果低感度、高鮮銳度のものが用いられる。等の理由により管電圧の上昇は総ての要素において鮮銳度を増すように作用すると云える。従つて実験範囲内では鮮銳度に関しては最適管電圧と云うものはなく、高い程よいと云うことになった。

たゞ管電圧をあげた場合鮮銳度增加のために、小焦点を用いるか、撮影時間を短縮するか、低感度高解像力の増感紙を用いるか、又微粒子フィルムを使用するかと云うことは事情によつてちがつてくる問題である。結局これらの総合解像力を最大にするように各要素を定めればよい。総合解像力を求める式は、Morgan³⁵⁾、江藤³⁶⁾等により発表されているからそれらを用いて個々の場合に最適の焦点の大きさ、増感紙の種類等を決定することも出来る⁵⁰⁾⁵⁵⁾⁶²⁾⁶³⁾⁶⁸⁾。此處では之については省略する。

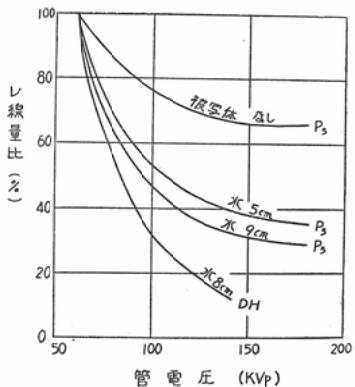
3. 管電圧と被曝線量

人体をレ線撮影する場合、照射されるレ線量は障害予防上重要な問題である³²⁾³⁷⁾³⁸⁾。又被写体から散乱されるレ線は撮影技術者その他に障害を与えるが、その量も被写体に照射されるレ線量におよそ比例すると考えられるから、レ線撮影にあたつて被写体の被曝線量は最小に止めるよう心がけねばならない。

a) 最小のレ線量で撮影出来る管電圧

管電圧以外の条件を総て一定とし、一定の写真濃度を得るに要するレ線量については多く発表がある³⁶⁾⁴²⁾⁵⁶⁾⁸²⁾⁸⁸⁾¹⁰⁶⁾。こゝでは前述実験成績から計算で求めた結果を示す。先ず直接撮影用増感紙について、第39図より同一濃度を得るに要するmAsを求め、又第4図から焦点1mの距離にお

第47図 同一写真濃度を得るに要するレ線量の比、60 KVp における値を 100% とする。



ける 1 mAs 当りのレ線量を求めれば同一濃度を得るに要するレ線量を知ることが出来る。第47図に DH 増感紙について求めた値を示した。60 KV におけるレ線量を 100% として比率の形で表してある。140 KV 近の実験では管電圧の上昇と共に被曝レ線量は減少すること他研究者の発表と一致している。

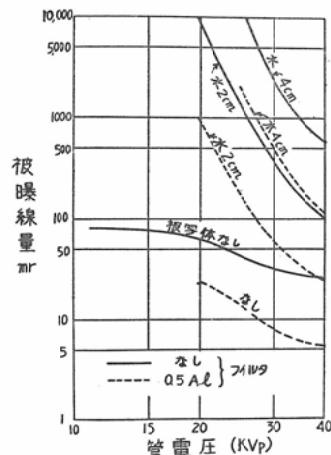
次に間接用螢光板 P₃ で、同様第40図と第6図から同一濃度を得るに要するレ線量を求めてみると第47図の如くである。ファントームのないときは 160 KV 前後に最小の点が認められるが、ファントームが厚くなると最小点は高電圧側に移動し、水 5 cm 及び 9 cm の厚さでは 180 KV 近の間に最小点を見出しえなかつた。

b) 使用し得る最低管電圧

被写体がおよそ一様な厚さの場合、細かい変化をレ線写真上に示現するには、出来るだけ低い管電圧を用いる必要があることは前述した。然し前項でのべたように増感紙、螢光板を用いた場合には管電圧の低下と共に撮影に必要なレ線量が急激に増加する。従つて被写体のレ線障害の面から制約を受け、あまり低い管電圧を用いるには考慮を要する。

第48図は焦点フィルム間距離 1 m でソフトックスを用いて撮影する場合、フィルムに濃度 1 を与えるに要するファントーム入射面における空中線量を第2図と第38図から計算で求めたものであ

第48図 一枚の写真撮影に対する被写体の被曝線量、ソフテックス C型、焦点 フィルム 間距離 1 m、F S 複増感紙、医療用 X レイフィルム使用



る。低管電圧においては被曝線量が非常に多くなることがわかる。一枚のレ線撮影に許容される被曝線量がいくらかと云うことが明確になれば、この図から水厚何 cm に相当する被写体に対しては、最低何 KV 近で使用出来るかが求められる。

V 臨床への応用

以上ファントームについて行つた実験的研究によれば、高い管電圧の使用により、管球負荷の減少、従つてレ線装置の小容量化、電力の節約、露出時間の短縮、小焦点の利用等が可能となり、又低感度高解像力の増感紙、フィルムの使用等により鮮銳度の向上が期待出来、之に加えて被写体が一様の構造でない場合に、全般的にそのレ線像のディテールをよくするためにも、現在慣用されている管電圧より、より高い電圧が適当であることがわかつた。その上被検者の被曝線量をも減じ得る。

さて正確に何 KV の管電圧がよいかと云うこととは被写体の性質、例えば胸部正面像か、側面像か、腹部造影撮影か、子供か、成人か等により、又示現しようとする対象の存在位置、例えば肋間か肋骨や心臓に重なつた部位か、或は肋間と心臓両者にまたがつてあるか等により、更に又示現しようとする物体が軟部組織か、石灰化巣か、それ

らの物が空気中にあるか、軟部組織に包まれているか等々幾多の条件によつて異なるわけである。従つてこの問題は多くの臨床例による成績を俟つて次第に明らかにする必要性も考えられるしこれらは所謂高圧撮影と題して多数の発表がなされている¹⁹⁾²¹⁾³⁰⁾³⁷⁾⁴⁰⁾⁴⁹⁾⁵⁸⁾⁵⁹⁾⁶⁴⁾⁶⁶⁾⁷⁰⁾¹⁰²⁾¹⁰³⁾。こゝでは最も一般的な数例について簡単に附言するに止める。

1. 胸部直接撮影¹⁰⁾¹⁸⁾²⁰⁾³²⁾⁴⁷⁾⁴⁸⁾⁷³⁾¹⁰⁴⁾¹⁰⁹⁾

a) 前後像¹⁷⁾

胸部前後像で往々写真判読の障害となるのは肋骨、鎖骨等に重なつた部分、心臓、横隔膜の後等である。骨に重なつた軟部組織のディテールの示現についての前述実験結果の総合的考察から適当な管電圧を求めてみると成人脊側肋骨の厚さを6mm, そのうち骨質部の厚さを4mmとし、フィルムの特性曲線の定数 $n=1.2$ とすると $nx=0.48\text{cm}$ となる。第46図から最適の線質を求めるとき銅半価層0.33mm, 管電圧にして定電圧90KV, 2mm Al フィルターとなる。骨が2本重なつた所では $nx \approx 1.0\text{cm}$ であるから最適の線質は、銅半価層0.85mm, 管電圧にして定電圧180KV, 2mm Al フィルターとなる。又逆に第46図から銅半価層0.33mm～0.85mmの線質に対して軟部組織に重なつた軟部組織のディテールの示現に最適の厚さの差を求めるとき、 $n=1.2$ に対して 3.5～4.5 cm となる。

骨に重なつた石灰化巣のディテール示現に適当な線質は第46図から $nx=0.48\sim1.0\text{cm}$ に対して銅半価層0.26mm以下、即ち管電圧にして定電圧80KV, 2mm Al フィルター以下となる。従つて骨に重なつた軟部組織のディテールの示現に適当な管電圧、定電圧90～180 KV (2mm Al フィルター) は骨に重なつた石灰化巣の示現には高すぎると云うことになる。

現在所謂高圧撮影においては、概観撮影としては單相全波整流 120～140 KVp, 1～2mm Al フィルターが適当とされている。即ち 100KVp 以下では骨陰影の消褪が不充分であり、200KVp では骨陰影は消褪するが軟部組織のディテールに

は不適、石灰化巣の陰影は益々薄くなる。これに対し 120～140 KVp では肋骨や厚い軟部組織陰影(胸筋、心臓、乳房、肋膜肺底等)に重なつた軟部組織のディテールの示現が良好となり、さらにある程度縦隔竇の様相をも示してくれるが、石灰化巣は石灰化巣として判別し難くなる。

以上の事実は前述理論的考察により充分説明可能であり、さらに肋骨に重なつた石灰化巣をよく示現するためには定電圧80KV以下を用いた方がよく、縦隔竇等の特に厚い部分に重なつた軟部組織のディテールを示現するには定電圧 180KV以上が必要であることをも推論出来た⁸⁾。結局管電圧を無暗にあげて、只骨陰影をうそくしても、それに重なつたものゝディテールの示現は決して必ずしもよくならないのである。

b) 側面像²⁰⁾

130KVp 前後の高圧撮影像では石灰化巣の示現がわるく、質的判別が困難となる欠点を伴うが、側面像においては病巣細部の検討よりも病巣の位置、拡がりの追及を主とする場合が多く、高圧レ線による陰影の質的差はあまり問題とならない。又側面像は心臓、脊柱等肺に重なる部分が多く、且つ肺尖部と下肺野部との筋肉層の厚さの差も大きい。従つてこれら全般を良好に示現するためには高管電圧が誠に適切で利益がより大きい。單相全波整流 130～140 KVp, 2mm Al フィルターでいう結果がえられた。

2. 胸部間接撮影

間接撮影でも骨に重なつた部分のディテール等に関しては直接撮影と同様であり、その上従来撮影に多くのレ線量を要し、直接撮影に比して鮮銳度が劣り、レ線装置も可搬性を必要とすることが多い等の理由から、高管電圧の有理性が考えられる。然し他方 Zn Cd S 系の螢光板は定電圧 160KV, 2mm Al フィルター位の線質で最大の発光能率を示すからそれ以上の管電圧は不利となり、又間接フィルムの特性曲線の定数 n も 1 より小さいから、骨に重なつたディテールの示現に適当な管電圧も直接撮影の場合より低くなる。この様に間接撮影の場合、直接撮影より高い管電圧

がいつか、低い方がよいかは軽率に定められないが、現在のところより鮮銳度の向上が望まれ又装置の小型化等の要求の点から管電圧も直接撮影より多少高くした方がよいのではないかと考えている。高圧間接撮影に関しては2~3中間発表を行つたが尙研究を進めつゝある。

3. 胃の造影剤撮影⁽³⁶⁾⁴⁶⁽⁷¹⁾⁸¹⁾¹⁰⁵⁾

高い管電圧の使用により鮮銳度の向上をみると他の場合と同様である。特にこの場合造影剤そのもの、陰影中に造影剤の厚さの差をも現すことが出来るのが特徴的である。従来用いられてきた70KVp 前後の管電圧では造影剤のレ線減弱が大きいために、この陰影中のディテールを示現するためには非常に多くのレ線量を必要とし、実際的でなかつた。

造影剤内部のディテールの示現に適當な管電圧を胸部と同様理論的に求めることも出来るが、この場合は造影剤のレ線減弱係数は骨の場合の如く一定でなく、濃度によつて変り、又造影剤の厚さも変化が大きいので胸部のように簡単には求められない。たゞ造影剤の濃度が高く厚さが厚い程高い管電圧が適當であるといえる。うすい濃度の造影剤と低い管電圧の組合せと、濃い造影剤と高い管電圧の組合せとどちらがよいのかと云つた問題は、散乱線の除去の問題と共に造影剤高圧撮影に重要である。これについてはこゝでは述べない。

VI 結 論

レ線管球からフィルム迄、レ線写真撮影に必要な諸要素について、管電圧の及ぼす影響を15KVから200KVの間において理論的、実験的に検討し、これらの総合考察からレ線写真に対する管電圧の影響を検討した結果凡そ次の結論を得た。

1. 管球における発生線量は管電圧と共に増す。その値はレ線装置、管球、使用フィルター等によつて可変で一定ではない。管電圧の上昇と共に線質は硬くなり、空間的強度分布は平坦となる。

2. 最大規格表の新表示方式を提案した。この方式によれば、撮影に必要な露出時間、焦点の大きさ等を容易に求めることが出来るし、図表の作

製も簡単である。

3. 被写体における連続レ線の減弱を單色レ線に対する減弱係数の理論的計算値から求めることが出来た。

4. 被写体における散乱線含有率を種々の構造のファンтом、特に厚さが一様でない場合について求めた。それは管電圧、ファンтомの物質、構造、レ線照射の幾何学的条件等によつて異なる。

5. 散乱線の除去について各種リスホルムブレンデの散乱線除去能力を比較した。又ブレンデの効率に対する管電圧、照射野等の影響を検討した。ブレンデ法とグレーデル法と比較すると、低管電圧、大照射野ではブレンデ法がよく、高管電圧小照射野ではグレーデル法が有効である。

6. リスホルムブレンデの綱目は消した方が写真の濃度コントラスト共に上る。然し綱目の消去は交叉ブレンデを用いた場合は蓄放式及び定電圧装置では容易であるが、單相全波整流や半波整流装置では特に短時間撮影では困難であった。

7. 増感紙、螢光板の輝度は非常に広い範囲にわたつてレ線強度に比例し、実用範囲では飽和現象を示さなかつた。

8. CaWO₄系の増感紙の発光能率は管電圧の上昇と共に増すが、Zn Cd S系の螢光板では定電圧 160KV, 2 mm Al フィルターの辺に最大値がみられた。

9. フィルムの特性曲線の脚の部分を表す式を与えた。それを用いて微小な厚さの被写体をレ線撮影する場合のディテールを表す式を求めた。

10. フィルム上に示現し得る最小の被写体の厚さを、特性曲線の直線部分及び脚の部分で計算式から求め、それと実験値とを比較し、両者が比較的よく一致することを確認した。

11. 上の理論式を用いて被写体の一部に厚い所又はレ線減弱の強い物質がある時に、その部分に重なつたディテールの示現に適當な管電圧を求めた。その結果被写体の状態に応じて一定の最適の管電圧が存在することを証明した。

12. レ線写真の鮮銳度に関しては高い管電圧程

有利である。

13. レ線撮影に要するレ線量（被写体の被曝線量）は増感紙、螢光板の発光能率に關係するが、さらに被写体によつても異り、厚い被写体程高い管電圧で最小値を示す。

14. 以上の基礎的研究の結果を人体胸部撮影に応用し、予想通りの良結果を得た。

15. 間接撮影法、造影剤撮影法においても同様な考察から方法改良の見通しを得た。

（本論文要旨は第15、16、17回日本医学放射線学会総会及び第9、10、11、13、16回日本医学放射線学会北海道東北新潟地方会、第119回新潟医学会例会等に発表した）。

（稿を終るにあたり、御指導御校閲を賜つた野崎秀英教授に深く感謝致します。又教室員諸兄の御協力に感謝する。）

（本研究は文部省科学研究費の補助による所が多い附記す。）

文献

- 1) 足立, 他: 日医放誌, 14(3): 216, 昭29. 14(4): 241, 昭29. 14(4): 244, 昭29. —2) 足立, 他3名: 日医放誌, 16(7): 742, 昭31. —3) 江藤, 御園生: 日医放誌, 2(6~7): 361, 昭16. —4) 江藤, 他: 日医放誌, 3(1): 125, 昭17. 3(1): 136, 昭17, 5(1): 28, 昭19. 5(3): 260, 昭19, 6(1): 5, 昭21. 7(1): 19, 昭23, 7(2): 1, 昭23. —5) 江藤, 他4名: 日医放誌, 8(1): 5, 昭23. 9(1): 4, 昭24, 9(1): 9, 昭24. —6) 江藤: 人体と放射線, 昭26. —7) 江藤: 日医放誌, 12(8): 50, 昭27. 12(9): 30, 昭27, 12(9): 34, 昭27. 13(1): 45, 昭28, 14(7): 455, 昭29. —8) 江藤, 土屋: 日医放誌, 14(7): 460, 昭29. —9) 江藤: 日医放誌, 15(7): 614, 昭30. —10) 江藤: 日医放誌, 16(3): 346, 昭31. —11) 橋詰: 日医放誌, 16(10): 994, 昭32. —12) 非破壊検査法研究会編, 木原, 他: 工業X線写真, 昭29. —13) 藤本, 桜林: 日医放誌, 5(3): 226, 昭19. —14) 藤本, 岡西: 日医放誌, 16(1): 4, 昭31, 17(1): 30, 昭32. —15) 深津, 滋賀: 東芝X線資料, 11輯, 昭30. —16) 飯塚, 他3名: 日医放誌, 13(2): 101, 昭32. —17) 入江: 日医放誌, 16(3): 341, 昭31. —18) 入江, 村上: 日医新報, 1726: 9, 昭32. —19) 神田: 日医放誌, 14(8): 502, 昭29. —20) 神田: 日医放誌, 14(10): 644, 昭30. —21) 神田: 日医放誌, 15(2): 100, 昭30. —22) 神田: 日医放誌, 15(3): 196, 昭30. 23) 神田: 日結, 15(3): 235, 昭31—24) 菊地: 原子物理学, 昭18. —25) 古賀, 他: 日本結核全書, X線学の診断, (2): 昭32. —26) 駒井, 唐沢: 日医放誌, 4(15): 468, 昭18. —27) 駒井, 他3名: 東芝X線資料, 11輯, 昭30. —28) 蔵原: 日医放誌, 17(9): 1084, 昭32. —29) 草谷: 日立評論, 38(6): 1, 昭31. —30) 松川, 他6名: 日医放誌, 16(5): 479, 昭31. —31) 村上: 日医放誌, 17(12): 1397, 昭33. —32) 長石: 臨床放射線, 1(4): 23, 昭31. —33) 中泉, 他2名: 日医放誌, 13(10): 587, 昭29. —34) 中村: 日医放誌, 13(10): 587, 昭29. —35) 中村: 日医放誌, 4(5): 464, 昭18. —36) 仁田: X線, 昭14. —37) 野辺地, 他2名: 日医放誌, 15(7): 561, 昭30. —38) 野崎: 新潟医誌, 70(7): 655, 昭31. —39) 野崎: 日医放誌, 16(3): 344, 昭31. —40) 野崎: 最新医学, 12(8): 1920, 昭32. —41) 大谷, 滝沢: 極光Xレイ, No. 5, 昭29. —42) 大谷, 滝沢: 日医放誌, 16(3): 352, 昭31. —43) 桜林: 日医放誌, 3(5~7): 590, 昭17. —44) 桜林: 日医放誌, 5(3): 235, 昭19. —45) 滋賀, 他2名: 東芝X線資料, 6輯, 昭28. —46) 滋賀: 東芝X線資料, 13輯, 昭30. —47) 志村: 日本臨床, 13(1): 29, 昭30. —48) 志村: 日本臨床, 13(11): 1475, 昭30. —49) 菅原, 中村: さくらXレイ研究, No. 10, 昭29, No. 11, 昭30. —50) 射和: 東芝X線資料, 4輯, 昭27. —51) 高橋: X線物理実験法, 昭16. —52) 滝内, 他: 放射線小事典, 昭29. —53) 滝沢: 極光Xレイ No. 6, 昭29. No. 7, 昭30. No. 8, 昭30, No. 9, 昭31. —54) 田沢, 他5名: 日医放誌, 14(11): 692, 昭30. —55) 植草: 日医放誌, 12(3): 35, 昭27. —56) 梅垣: 日医放誌, 14(4): 268, 昭29. —57) 内田: 日医放誌, 15(2): 112, 昭30. —58) 吉村, 他3名: 日結, 13(7): 530, 昭29. —59) 吉村, 他9名: 日医放誌, 16(6): 682, 昭31. —60) Atlee, Z.J., Morris, C.H.: Am. J.R., 55(5): 621, 1946. —61) Baily, N.A., Beyer, N.S.: Am. J.R., 77(5): 873, 1957. —62) Bouwers, A.: Oösterkamp, W.J.: Fort. Röntgen., 54(1): 87, 1936. —63) Bouweres, A.: Radiol., 33(3): 357, 1939. —64) Bucker, J.: Fort. Röntgen., 77(2): 153, 1939. —65) Cocchi, U.: Fort. Röntgen., 81(1): 24, 1954. —66) Cross, L.C.: X-Ray Technician, 27(3): 196, 1955. —67) Fenner, E.: Röntgen-Blätter, 7(5): 3, 1954. —68) Fenner, E.: Fort. Röntgen., 80(5): 649, 1954. —69) Formmhold, W.: Fort. Röntgen., 84(6): 719, 1956. —70) Gajewsky, H.: Fort. Röntgen., 80(5): 643, 1954. —71) Gjanturco, C., Miller, G.A.: Radiol., 60(4): 496, 1953. —72) Hammarskjöld, O.: Lehrbuch der Physiologischen Chemie., 1926. —73) Harris, J.H. et al: Radiol., 69(5): 748, 1957. —74) Kantzky, A.: Fort. Röntgen., 87(3): 405, 1957. —75) Keane, B.E., Spiegler, G.: Brit. J.R., 24(280): 198, 1951. —76) Klug, H.: Fort. Röntgen., 52: 91, Abst (61), 1953. —77) Klug, H.: Fort. Röntgen.,

- 55(2) : 191, 1937. — 78) Kuntke, A.H.G.: Fort. Röntgen., 87(3) : 397, 1957. — 79) Lella, D.D.: X-Ray Technician, 26(2) : 89, 1954. — 80) Levy, L.A. et al: Brit. J.R., 28 (328) : 206, 1955. — 81) Lindblom, K.: Acta Radiol., 36(2) : 162, 1951. — 82) Minder, W.: Röntgenphysik, 1955. — 83) Mattsson, O.: Practical Photographic Problems in Radiography, 1955. — 84) Mattsson, O.: Acta Radiol., 45(2) : 133, 1956. — 85) Mattsson, O.: Acta Radiol., 46(4) : 621, 1956. — 86) McDonnel, G.M., Berman, H.L.: Am. J. R., 79(2) : 306, 1958. — 87) Morgan, R.H.: Am. J.R., 54(2) : 128, 1945. 54(4) : 395, 1945. 55(1) : 67, 1946. 55(5) : 627, 1946. 62(6) : 870, 1949. — 88) Morgan, R.H.: Am. J.R., 58(2) : 211, 1947. — 89) Morgan, R.H.: Handbook of Radiology, 1955. — 90) Nemet, A., Cox, W.F., Hills, T.H.: Brit. J.R., 26 (304) : 185, 1953. — 91) Newell, R.R., Garneau, R.: Radiol., 56(3) : 409, 1951. — 92) Ott, P.: Fort. Röntgen., 84(6) : 747, 1956. — 93) Röhler, R.: Fort. Röntgen., 86(3) : 376, 1957. — 94) Schumann, G., Schier, H.: Fort. Röntgen., 85(2) : 238, 1956. — 95) Schleussner, C.A.: Fort. Röntgen., 85(5) : 623, 1956. — 96) Seemann, H.E., Splettstosser, H.R.: Radiol., 64(4) : 572, 1955. — 97) Sorrentino, J., Yallow, R.: Radiol., 55(5) : 748, 1950. — 98) Spieger, G.: Fort. Röntgen., 80(6) : 754, 1954. — 99) Spiegler, G., et al: Beit. J.R., 30 (357) : 481, 1957. — 100) Spiers, F.W.: Brit. J.R., 19 (218) : 52, 1946. — 101) Sturm, R.E., Morgan, R.H.: Am. J.R., 62(5) : 618, 1949. — 102) Trout, E.D., et al: Radiol., 52(5) : 669, 1949. — 103) Trout, E.D., et al: Am. J.R., 67(6), 946, 1952. — 104) Tuddenham, W.J., Gibbons, J.F. et al: Radiol., 63(2) : 184, 1954. — 105) Uhl, H.: Röntgenblätter, 9 : 342, 1954. — 106) Wachsmann, F. et al: Fort. Röntgen., 76(2) : 147, 1952. — 107) Wachsmann, F., et al: Strahlentherapie, 97(3) : 382, 1955. — 108) Widemann, L.: Fort. Röntgen., 87(3) : 386, 1957. — 109) Willbold, O.: Fort. Röntgen., 85(4) : 510, 1956.

Tube Voltage and its Influences on Radiography

By

Takami Koyanagi

(From the Department of Radiology, Niigata University School of Medicine)

(Director: Prof. Dr. S. Nozaki)

The influences of tube voltage on each factors controlling the quality of roentgen images are studied in a range of 15 to 200 KVp. individually, and in order to know its effects on the resultant roentgen images those results are used.

Namely, quality and quantity of X-ray radiations are obtained with several types of apparatus. And the X-ray absorption coefficients of body tissues are investigated theoretically and experimentally.

In respect of the scattered radiations received by film, the amounts are examined with such various types of phantom as is not only homogenous but also as having several parts where the X-ray absorption is larger than the other. Then using these phantoms, the eliminating efficiencies of scattered radiation are experimented and compared, with many types of grid and Groedel's method.

The relations between tube voltage and the brightness of the intensifying or fluorescent screen are investigated with various combinations of filters, objects and X-ray apparatuses. Farther, the characteristic curve of film is discussed in detail, as it has great influences on the radiographic images, and a new experimental equation for low density part of the curve is proposed.

From these results, it is concluded as follows. As to the sharpness of images, it is improved with an increase of tube voltage, but the details covered with an the image of bone or heart is best seen at a certain tube voltage. The voltage can be obtained theoretically, applying the new equation of characteristic curve and the relations between tube voltage and mass absorption coefficients of body tissues.

Moreover, many other facts which have been described by other authers in terms of high-voltage radiography can be clearly explained by the results of this investigation. Those experimental results must serve to improve radiography.
