



Title	X間接撮影の実験的研究 間接撮影法に於ける解像力の問題に就て
Author(s)	江藤, 秀雄; 足立, 忠; 篠, 弘毅 他
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1946, 6(1), p. 5-10
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/16240
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

X間接撮影の實驗的研究

間接撮影法に於ける解像力の問題に就て

江藤秀雄 足立忠寛 弘毅

氣駕正己 村井竹雄

(東京帝國大學醫學部放射線科教室 主任 中泉教授)

"Die experimentelle Studien der indirekten Röntgenaufnahme.

Über die Probleme der Auflösungsvermögen
bei der Indirekten Aufnahme.,,

Von.

H. Eto, T. Adati, H. Kakehi, M. Kiga u. T. Murai

Aus der Abteilung für Radiologie der medizinischen Fakultät
der kaiserlichen Universität zu Tokio.

(Vorstand: Prof. Dr. Nakaidzumi)

1. 緒言

間接撮影の原理はエツクス線像を螢光像に變へ更に之をレンズにより縮小するにあるから光学系の解像力が重要な役割を演することは論を俟ない。従つて光学系の各因子の解像力並びに系全體の綜合解像力に及ぼす影響等に就いては各専門的立場より充分検討さるゝ必要があらう。

本文はもとより専門家ならざる著者の考察であるから誤りをおかした點も少くないと思ふ。この點大方の御教示を得れば幸いである。

2. 総合解像力の問題

此處で光学系とは螢光板、レンズ、フィルム、観察箱(通常の意味の観察筒及び肉眼)を含むものであるが、之等の各々の解像力に就ては或る程度詳しく調べられてゐる。但し解像力とは寫真學上普通行はれる定義に従ひ被寫體とし線の幅 d_1 と線間隔 d_2 の相等しい(即ち $d_1=d_2=d$)平行線群を用ひその像の識別可能な最小の d (単位 mm)より $R=\frac{1}{2d}$ を以つて定めるものとする⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。斯る意味に於いて光学系の解像力は螢光板を除き大體表1に示す如き値を有する。螢光板は其性質上一般に解像力を増すときは明るさは減する。通

表1 解像力

	B
肉 眼	5-10
間接用フィルム	20-30
レンズ	20-30

常間接撮影用螢光板は明るさを第一の條件とするがさりとて餘り解像力の劣るものは良しくない。然らばどの程度の解像力を必要とするか或はどの程度で満足すべきかの問題が起るが之を異論なく解決することはもとより困難である。多少ともこの問題に近付く爲め先づ表1を参考にし次の如く考へてみよう。表に依ればレンズもフィルムも共にその解像力は肉眼のそれに比して遙かに大きく一應之を考慮する必要はないとする。螢光板の解像力を a とし假りに螢光板を $\frac{1}{10}$ に縮小するとせば像の解像力は $10a$ となる。寫真觀察の際像を2倍に擴大し肉眼の解像力を5とすればフィルム上の像は少くも10の解像力で撮影されて居ねばならぬ。従つて $10a=10$ 、之より $a=1$ 。即ち螢光板の解像力は少くも1を要すると云ふ結論に達する。現在市販螢光板の解像力は1以上は充分あ

ると思はれる故此例に於いては螢光板の解像力は既に満足なものと云はれよう。上記の結果はレンズ及びフィルムの解像力は充分大にして特に考慮する要はないと云ふ前提の下に得られたものである。即ち $R = \infty$ とした場合である。然るに實際上有限な値を持つ以上螢光板は之等により幾分でも悪くなる筈である。換言すれば（甚だ明瞭を缺く表現ではあるが）像の鮮銳度は低下する筈である。定性的には解像力 R の小となる程不鮮銳度 Q は大となることを意味する ($Q \propto \frac{1}{R}$ と云ふことは勿論其儘では承認されないが)。従つて個々の不鮮銳度 Q_i の合成不鮮銳度 $Q = \sum Q_i$ に對應して綜合解像力は $\frac{1}{R} = \sum \frac{k_i}{R_i}$ (k_i は或る係數) となる。依つて螢光板の解像力を R_1 とし、ある解像力試験體の螢光板を無限大の解像力を持つレンズ ($R_2 = \infty$) 及びフィルム ($R_3 = \infty$) を用ひ撮影せりとし像の解像力が R ならば $\frac{1}{R} = \frac{k_1}{mR_1}$ (假りに $k_1 = 1$ と置く) 之より $R_1 = \frac{R}{m}$ を得る。即ち此際の試験は螢光板の解像力自身に就いて行つてゐることを意味する (但し m は螢光板縮小率)。今 $k_1 = 1$ としてレンズ及びフィルムの解像力を各々 R_2, R_3 とすれば

$$\frac{1}{mR_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{R} \quad (R \text{ は像の解像力})$$

像を n 倍に擴大し R_4 なる解像力の人が観察するときは (観察器の解像力を考へぬこととして) $\frac{R}{n} = R_4$ 、即ち $\frac{1}{mR_1} = \frac{1}{nR_4} - \frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_3}$

$$R_1 = \frac{1}{m(\frac{1}{nR_4} - \frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_3})}$$

例として $R_4 = 5, R_2 = 30, R_3 = 20, m = 10, n = 2$ をとれば $R = 6$ となる。即ち此例では螢光板の解像力として 6 を要求されることとなる。上述の方法が果してどの程度意味があるかは問題であるが元來綜合解像力は複雑した性質を有し理論的な取扱いが行はれ難い。第一螢光板、レンズ又はフィルムによるボケは何れも同一の原因により生ずるものではなく從つてボケの原因に就いて検討し最も妥當と思はれる假定の下に出發しなければならないがレンズとフィルムの組合の解像力すら理論的に取扱つた例も餘り無いようであるし更に之に

螢光板の影響を加へて論することは到底著者のようするところではない。解像力そのものが定量的取扱ひを受けてはいるが決して (實驗的にも) 一義的に決せられるものではなく上式により算出された結果は恐らく最も條件を悪くとつた場合で寧ろ上限を與へるものと解してよいと思ふが斷定は出來ない。兎も角も此の概算法によれば螢光板の解像力は 1~6 の範囲に極限されることとなる。

3. 光學系の解像力

(1) 螢光板

螢光板解像力試験法は從來一定して居らず又其結果の判断も區々である。増感紙の鮮銳度に對する實驗も同様で或る實驗方法で付けた甲乙の順序が他の方法により付けた順序と殆ど變りないと云ふ程度に過ぎず實驗値の相互の比較が困難である。多數の方法の中比較的解像力に關係あると思はれるのは金網を螢光板 (又は増感紙) の背後にをき之を透視又は撮影する方法である。周知の如く種々の金網を試験體としその構造の識別されぬ網目の太さ及び間隔に依つて解像力の程度を示すのである。圖 1 の如き網目による實測値を表 2 (4) に

圖 1



表 2 解像力値の實驗例

	a(mm)	b(mm)	$p = \frac{a}{b}$	Rp
Super Astral	0.28	0.15	1.86	1.85
Neossal	0.21	0.12	1.75	2.48
(増感紙) Exaktfolie	0.085	0.05	1.7	6.28
Ultarapid-folie	0.12	0.065	1.846	4.33

に掲げてあるが $a = b$ である爲め先に定義した解像力に其儘結び付ける譯には行かぬ。透視觀察の際 a は明線として b は暗線として認められる故 $p = \frac{a}{b}$ とし $a = b$ に於ける解像力を R_p p に於

ける解像力を R_p とし次式()を適用し得ると假定し算出してみると表2の終行に示す如き數値が得られる。

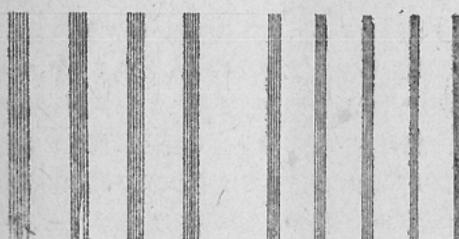
$$R_p = 0.74 R_i (1.35 - \log p)$$

増感紙に對してはフィルムを用ひ同じ基地の黒化及び寫眞的條件の下に行ふべきであるがフィルムの性質現像條件の差等の影響を受けることは當然である。フィルムによるときは前と逆に b が明線に、 a が暗線となる。例へば實驗値(表3)より

表3 解像力値

	a	b	R
Ultrarapid	0.15	0.08	5.23
Exkta	0.12	0.07	6.17

圖 2



同様の計算を行つて得た結果は表3の終行に記してある。即ち之を表2と比較するときは解像力は測定條件、方法等によつて異つてくることが分る。結局あるものゝ解像力の測定を他の因子の影響を受けずに行ふことが出來ない以上解像力試験に不定な點が伴ふことは當然である。次に述べる著者の實驗も斯様な點を示す例とならう。

解像力試験板として銅製(圖2)の表4に示す如き間隔及び解像力をもつものを利用し(東芝、射和三郎氏に特に製作を頼つたものである)、次の如き組合せで直接撮影を行つてみた。

螢光紙も勿論前面増感紙の如く使用した。

(A) 増感紙+(密着)/直接用フィルム(a)
(B) 增感紙+(密着)/間接用フィルム(b)

(C) 螢光紙+(密着)/直接用フィルム(c)
(D) 螢光紙+(密着)/間接用フィルム(d)

其の結果の例を表5に記してある。實際の寫真

表4 螢光板解像力試験用銅平行線

No	1	2	3	4	5	6	7	8	9
直徑 mm	0.10	0.115	0.136	0.14	0.157	0.17	0.18	0.19	0.2
解像力	5	4.35	3.65	3.57	3.19	2.94	2.75	2.63	2.5

表5 實驗結果の1例

	直接用フィルム解像力	間接用フィルム	ライカ用フィルム
國 產	A 5 No 1	2.94 No 3	3.57 No 4
,,	B 5+ No 1+	2.94 No 6-	
,,	C ₁ 5+ No 1+		
,,	C ₂ 4.35 No 2		
,,	D 5+ No 1		
ネオツツール	5 No 1	2.63 No 8-	
增 感 紙	5++ No 1++	5++ No 1++	No 1++

No は解像力試験板 No

++ 非常に明瞭

+ 明瞭

- 餘り明瞭でない

によると(A)(b)は(B)(d)に比して非常に解像力が大きくなる。之よりすれば螢光紙は増感紙に比して遙かに解像力に於いて劣り間接撮影は直接撮影に及ばざること遠い感が深い(但し縮小による解像力の増大は別として)。螢光板に明るさを要求する以上解像力の劣るは止むを得ぬとしても上述の實驗が何にを意味するかを一應検討すべきであらう。先づ螢光板にフィルムを密着すると螢光物質塗布層内で生ずる散乱螢光は大きい立體角で效くがレンズを通じ撮影すればレンズを通過し得る光線束が細くなるため不鮮銳の度合を減するであらうと考へられる。換言すれば螢光板で密着撮影して驚く程にはレンズを通して撮影すれば悪くはならぬと云ふことである。若し此點が或る程度效いてゐるならば螢光板に對してはレンズを通して撮影することに相當の意味を持たせねばなるまい。又螢光層に厚みがある故螢光像は決して單なる平面像ではなく空間像である。斯様な空間像も短焦点レンズで撮影すれば鮮銳に寫る理であるから此點よりもレンズを通した撮影と密着撮影の間には多い相違のあることが察せられよう。然しながら以上の説明だけでは問題の核心に觸れたと

は言ひ難い。第一(A)(a)と(B)(c)の差違は(A)(b), (B)(d)の差違程甚だしくないと云ふ事實である。

(一) 密着度合

間接用フィルムはロール・フィルムであり直接用フィルムに比して密着させるに困難である。又螢光紙面は増感紙面に比して一般に粗なるため兩者の組合の密着度合よりすると(増+直), (螢+直, 増+間), (螢+間)の順序とならう(但し, 増=増感紙, 螢=螢光紙, 直=直接用フィルム, 間=間接用フィルムの略)。よつてボケも大體この順序になると了想される。

(二) 乳劑其他

解像力が螢光の波長, 乳劑の性質(ガンマ, 混濁度, 乳劑の色, 粒子の大きさ)其他に關係する。よつて(直)と(間)とでは解像の仕方に差違を生ずる。

(三) 直接エツクス線による像の重疊

(増)+(直)により生ずる像は勿論増感紙の螢光によるものが壓倒的であると考へられる。それは(増)の螢光線の波長を(直)の感度に適するようにしてある爲めである。之に反して(螢)+(直)の場合はエツクス線の影響は上記の組合の場合より大きいと考へねばならぬ故(螢)の螢光像にエツクス線の鮮銳な像が加はり全體の像を生ずる爲解像程度がそれ程悪くならぬようにみへる。(増)+(間)では(直)の場合と異なりエツクス線に對する(間)の感度は螢光板の螢光に比して極めて小なる爲めエツクス線による鮮銳な像が重疊するとしてもその影響は極めて僅かで全體として解像力の劣る螢光板による像を生ずる。

(4) 螢光板の有效層の波長依存性

螢光板の發する螢光線の波長の短いもの程之に對する有效螢光層は薄く從つて短い波長を利用して像を作る程鮮銳となる。

さて以上の考へられる諸點の中(一)(二)(三)に對しては今猶實驗中であり著者の一人により更めて報告する豫定があるので極めて大體のところを述べることゝし主として(四)に就いて考察する。

(一) ロールフィルムが密着具合の良くない點に大きな原因があるとすれば増感紙との組合の場合

にも相當ボケねばならぬことは當然である。上記の實驗に使用せる螢光板の大きさはキヤビネ大で比較に使用せる増感紙とは同じ取扱を用ひ充分密着させた積りで増感紙に對して密着の悪い爲のボケを特に認めないので螢光板に對してもさして重大な原因とは考へられない。密着を可及的良くする爲めプロセス(無整色)とパンクロ・プロセスを用ひ實驗を行つてゐるが其結果は解像力に對し(直)及び(間)を使用せる場合と大體同様である。密着と云ふ機械的な原因は大なる原因とは考へられない。

(二) 之に關しては未だ明らかでない。唯一一つの試みとして螢光板の螢光及び増感紙の螢光を光源として(間), (直)及びプロセスパンクロ・プロセスの解像力の程度を比較してみた。試験標は前記の銅線製解像力試験體のエツクス線寫眞を片面塗布エツクス線フィルム(粒子の細い特別製のもの)を用ひて撮影した。之を比較せんとするフィルム及び乾板に密着し背後より螢光により照射したのである。何れも鮮銳な像を生じ實驗に使用せる程度の解像力試験標に對しては色光及び乳劑相當の關係を問題にする程のことは無なからうかと考へられる。但し目下實驗中であるので之以上の事は申されない。

(三) 之に對しては(増)+(直)に於いて例へば螢光及びエツクス線による像の黒化0.67及び1.06に對しエツクス線のみによる黒化は0.24及び0.28の程度で餘り問題にならぬ。(螢)+(直)に於いては例へば螢光及びエツクス線による黒化1.00に對しエツクス線のみによる黒化は0.42となり幾分大となる。(直)は兩面塗布であるのでエツクス線による黒化も大きいと考へられる。よつて前述の片面塗布のフィルムを使用してみたがエツクス線に依る黒化は遙かに小となり此問題も餘り重要な原因とはなり得ぬようである。

(四) 今螢光紙の明るさHと螢光層の厚さDとの關係は理論的に次の如くなる⁽⁴⁾⁽⁵⁾

$$H = \frac{E_0 k}{\mu - \pi} (e^{-\pi D} - e^{-\mu D}) \dots \text{(螢光紙を前面に)} \\ H' = \frac{E_0 k}{\mu + \pi} (1 - e^{-(\mu + \pi) D}) \dots \text{(螢光紙を後面に)}$$

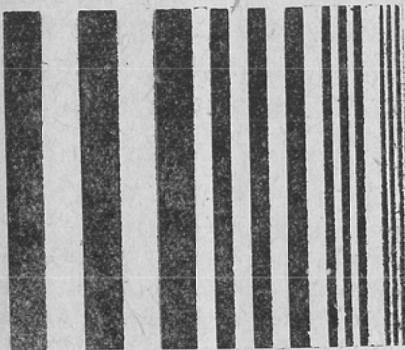
μ =螢光粒子層に依るエツクス線の減弱係数
 π =螢光粒子層に依る光線の減弱係数
 $E_0=\lambda$ 射エツクス線強度
 D =螢光物質層の厚さ
 k =比例常数

$$\frac{dH}{dD} = 0 \text{ より } D_{\max} = \frac{\log \mu - \log \pi}{\mu - \pi}$$

$$\left| \frac{dH'}{dD} \right| = E_0 K e^{-(\mu + \pi)D} > 0$$

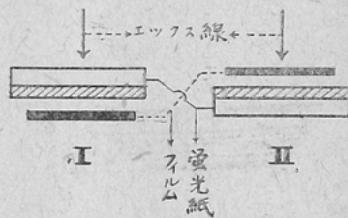
即ち後者の場合 H' は D の増すと共に明るくなるが其割合は D の大なるに従ひ急激に減ずる。 D_{\max} の式より明らかな如く線質一定のエツクス線に對しても有效層の厚みは螢光線の波長により異なることが知られる。 D_{\max} の大なる程螢光は擴散して像がボケるとすればこれも重要な原因となり得る。

図 3



同一度處理を終た螢光物質材料に就き塗布層の厚さ(単位面積に對するg/cm²)と明さの關係を調べた報告は多數あるが著者は圖3の如き方法に依つて(直)の黒化を以つて明さを比較する方法を試みた。著者の實驗範囲では塗布層の厚さの薄い程明い結果が得られた。従つて實驗に使用せる一番塗布層の薄いものに於て實驗範囲(50~80kVp)の線質に對して層厚が既に飽和に達して居りそれ以上厚いと反つてエツクス線の吸收が増すのみで明さは減少するものと解せられる。本實驗では螢光板背後に鉛硝子を置きエツクス線を遮断したが螢光はフィルム面に達する迄に擴散するので略中央部の黒化を以つて比較したがエツクス線のフィルムに生ずる黒化は極めて僅かである故螢光の擴散を避ける爲螢光紙を前面又は後面増感紙の如く

図 4

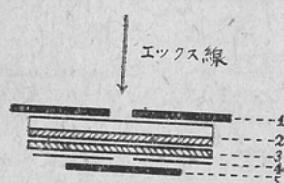


使用し取枠内にフィルムと密接せしめた。圖4Ⅰの場合には矢張り塗布層の最も薄いものがフィルムに對しては最も明くⅡに於ては何れの厚さも同じ明さを示した。斯る事實は塗布層の最も薄いもので既に飽和に達して居ると考へれば當然のことである。即ち以上の實驗よりフィルムに感する有效螢光の到達距離則ち有效塗布層の厚みは實驗に使用せる最も薄い螢光紙に於てすでに満足されて居るのである。然るに之等厚みの異なる螢光紙を並列し透視觀察すれば厚いもの程明く又(間)を用ひレンズを通して間接撮影すれば其結果は透視と同じく厚いもの程明い。即ち此際は有效層は最も厚いものより更に厚いのかも知れない。以上の實驗的事実より無整色(直)(感光域2200~5000ÅE特に3700~4500ÅE即ち紫一藍)に適する短い波長の然も割合に限られた範囲の光に對する有效層の厚みは(間)(4000~6200ÅE特に5200~5600ÅE青線)に適する波長の長い範囲の廣い光の有效層の厚みより薄いことが知られる故之がボケの原因として重要な因子となることが考へられる。以上の結果は螢光板自身の解像力を測定するに感光膜を用ひた場合その種類により異なる値の得らるべき例とみてよからう。

(ii) レンズ

レンズの解像力は専門的研究が多數あるので著者の論すべき筋合ではないが極く初步的な方法を試み間接撮影の場合の参考としてみた。解像力試験標として圖5の如きものを作り之をプロセス乾板上に縮小したものを用ひた。原標より試験標を作るにはテツサー、f=4.5を9に絞りピント・グラスはプロセス乾板を黒化0.6位としたものを

圖 5



1. 鉛板 2. 融光紙
3. 鉛硝子 4. 黒紙
5. フィルム

漂白して用ひ、ピントはルーペで合せた。試験標と試験レンズ間距離を色々に變へ最も鮮銳に寫る所を見出した。勿論フィルム(間接用)との綜合解像力が得られる譯でレンズ自身の解像力を示すものではないがレンズの相互比較の意味からは参考になると思ふ。得られたフィルムを肉眼でみれば當然5位迄しか見分られぬが顯微鏡で観察すれば解像力20位迄兎角である。(ゾーナ及び國產品2種)。同じく解像してゐるようでも顯微鏡寫真に撮れば解像程度を詳しく比較することが出来る。但し以上の實驗は畫光を光源としてゐるので螢光板の螢光を光源とした場合とは異なる筈である。此點は猶吟味してみる必要があらう。事實 Bouwersによれば例へばゾーナでは青色に於ける方が畫光に對するよりも最小錯亂圓の直徑が2倍も大きくなると云ふ⁽⁶⁾。

(iii) フィルム

之に對しては文獻⁽⁷⁾に詳しく報告されてゐる。被寫體の對照度の低い時は解像力は低下し、高くなると共に増す。又フィルム濃度に依つても解像力は影響され0.8附近で最高となる。其他現像操作の之に影響することは勿論のことである。

(iv) 観察箱

フィルムの擴大観察は種々の點よりして1.5—2倍が適當とされてゐる。所謂觀察箱には相當種類があらうが問題は其處に使用されてゐる光學系で

ある。折角他のものの解像力を吟味してみても觀察器のレンズ等が不良であれば使用せぬ方がましである。著者はレンズの收差がひどく方向により解像力の著しく異なるものを經驗したので此處に一言附け加へておきたい。觀察箱に關しては特に實驗らしいものを行つて居らぬので詳しいことは申されない。

4. 結語

本文は間接撮影装置に於ける光學系の解像力に就いて主として基礎的方面を考察したもので具體的な數値に重きを置いてゐるものではない。此方面の研究には多くの餘地が残されており未だ定説の如きものは無いところであるから甚だ未熟なる著者の考察でも多少参考となれば幸である。終りに屢々御教示を賜つた藤澤信氏、射和三郎氏に對し感謝の意を表すると共に當教室に實習中の赤羽六郎君の多大の助力に深謝する次第である。此の研究は文部省科學研究費によりて行はれたものである。

文 獻

- 1) 藤澤信: 寫眞(岩波全書)。
- 2) H. Frieser u. H. Linke: Zur Theorie und Messung des Auflösungsvermögens photographischer Schichten; Zeitschr. f. wiss. Photo 37., 1938, 19.
- 3) H. Frieser: Die photographische Auflösung von Strichrastern in Abhängigkeit von der Beschaffenheit, der Raster; Zeitschre. f. wiss. Photo; 37, 1938, 231.
- 4) H. Klug: Vergleichende Untersuchung der gebräuchlichen Durchleuchtungsseim und Verstärkungsfoien, Fortschr. Röntgenstr 55, 1937, 191.
- 5) Kaupp u. Widmann: Erregung von Fluoreszenzlicht mit Röntgenstrahlen. Ann. Phys 85, 1928, 313.
- 6) Bouwers: The Indirect Radiograph; Radiology; 33, 1939, 357.
- 7) 寫眞と技術: 第10卷, 第2號, エックス線フィルム特輯。エックス線間接撮影用フィルムの解像力試験法。