

Title	X線フィルムの低濃度部におけるディテールの示現について 第1報 フィルムの特性曲線
Author(s)	小柳, 孝巳; 堀, 慶久
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1959, 19(6), p. 1191-1197
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/14834
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

X線フィルムの低濃度部におけるデイトールの示現について

第1報 フィルムの特性曲線

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 堀慶久

(昭和34年6月23日受付)

I. 緒言

レ線写真のデイトールは被写体のレ線対称度とフィルムのグラデーションによつて定まる。フィルムの特性曲線の直線部分ではグラデーション γ は一定であるからこの関係は簡単な式で表され、理論的、実験的に充分検討されているように思う。然し低濃度部においては特性曲線は所謂脚部をなし、甚だしく曲つていて直線部分とは異つた特性を持っている。著者は先に低濃度部分のレ線フィルムの特性曲線の式を与え、それをを用いて従来充分な説明を与えることが出来なかつたレ線撮影における散乱線含有率の問題、及び高圧撮影における骨や心臓に重なつたデイトールの示現の問題等に関して一つの解決を与えたが、⁶⁾本論文においてはこれらの問題についてさらに詳しく検討を試みた。

第1報には各種のレ線フィルムを種々の現像液で現像時間を変えて現像した場合の特性曲線を求め、第2報以下において散乱線カブリ及び高圧撮影の至適管電圧等の問題を取扱つてゆきたいと思う。

フィルムの特性曲線については1920年代にすでに精しい研究がなされている。即ちX線による黒化については Busé, A.J., Busse, W., Bouwers 等⁹⁾によつて特性曲線の式が与えられており、又 Blau, Alenburger, Silberstein¹³⁾¹⁶⁾等は量子論を用いて理論的に特性曲線の式を求めている。光線による黒化については特性曲線の形がX線の場合と異なることが知られており、Ross, Silberstein, 竹中治夫⁴⁾等により種々の表示式が与

えられている。これらの表示式は感光理論上からは優れたものであろうが、レ線撮影における被写体のレ線減弱と組合せて考察する場合には取扱いが不便であるし、増感紙を用いる場合にはフィルムはレ線及び増感紙からの光線による感光を同時に受けるから、取扱いの便利な実験式を求め、又特に最近のフィルムの低濃度部における特性曲線の形を詳しく検討するために実験を行つた。

II. 実験方法

実験に使用したフィルムは直接撮影用はフジ、さくら及び Kodak Blue brand の医療用X線フィルム、間接用はフジ、さくらの6×6版である。現像液はレンドール、コニドールX、J I S X線標準測定用現像液及び Kodak 指定現像液の4種である。レンドール、コニドールXは市販の罐入りを用い、他は処方により調査して用いた。使用したX線装置はユニバーサルプラングラフ、焦点フィルム間距離 140cmとし、照射野は中央と周辺とでX線強度分布が実験誤差内に入る範囲に限定した。即ち四ツ切りフィルムを実験と同一の状態に置いてX線露出を与えて現像し、中心部との濃度差0.02以内範囲のみを用いた。カセットはX線入射側はベークライト板、後蓋は薄い鉛板を張つたアルミ板で出来ているものを用いた。

直接用フィルムは増感紙(極光FS)と組合せて、40KVp、フィルター 0.5mmAl とし、管電流は適当な濃度を得るように定め、0.1秒づつ14段階の露出を与えた。又無増感紙撮影では80KVp、0.5mmAl フィルターとし、管電流は適当に定め、0.1秒づつ14段階の露出を与えた。間接フィ

フィルムは螢光板(極光 P₃)と密着してカセットに入れ、管電流を適当に定めて直接用フィルムの増感紙撮影と同様にして露出した。特性曲線を求めるには露出時間を一定とし、X線強度を段階的に変えて露出を与えるべきであるが、無増感紙X線撮影では相反則が成立することが知られており、又増感紙使用の場合にも飯塚等²⁾によれば露出時間1秒以下ではほぼ相反則が成立すると云われているので、実験の容易さ、及び正確さの点から時間スケール法を用いたのである。現像は3', 4', 5', 7', の4種類とし、比較すべきフィルムは勿論同時露出、同時現像を行つた。現像温度は20°Cに保つた。現像液フィルムは停止浴の後、コニフィックスで定着し、濃度は島津製、山部式濃度計で測定した。

III. 実験成績

1) 直接用フィルム, 増感紙使用,

a) 感度. 各フィルムのガンマが異なるので、一定の濃度を得るに要する露出量の比を求めた。なお以下濃度は総てベース濃度を含んだ実際のフィルム濃度を云う。フィルムの使用期限迄の期間はフジ10カ月、さくら12カ月、Kodak 7カ月、実験は昭和34年2月中旬に行つた。実験値は同一実験を2回行い、その平均をとつた。

第1表に5'現像で濃度1を得るに要する露出

第1表 濃度1を得るに要する露出量の比

現像液 フィルム	レンドール	コニドールX	J I S	Kodak
フジ	2.1	1.8	2.1	1.8
サクラ	1.7	1.3	1.5	1.7
Kodak	1	1	1	1

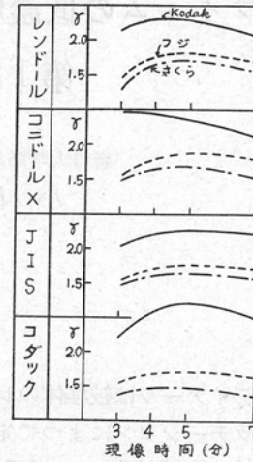
量の比を示す。Kodak が最も露出が少く、さくら、フジの順に露出が多い。

b) グラジエント, γ . 特性曲線の直線部分は次式で表されることはよく知られている。

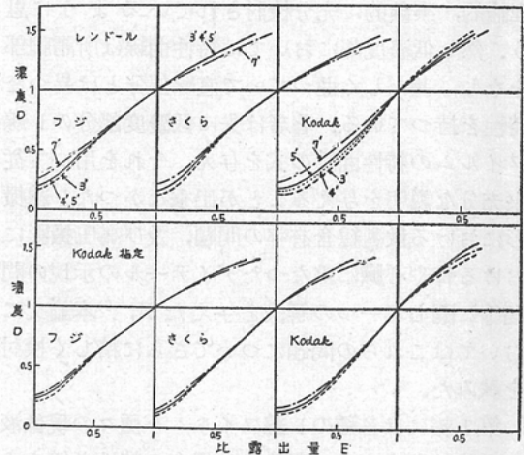
$$D = \gamma \log E + C \quad (1)$$

γ の値を第1図に示す。5'現像で最大 γ に達するものが大部分であるが、Kodak フィルムをフ

第1図 γ の値



第2図 低濃度部の特性曲線

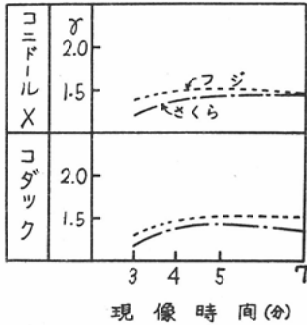


第2表 濃度1を得るに要する露出量の比

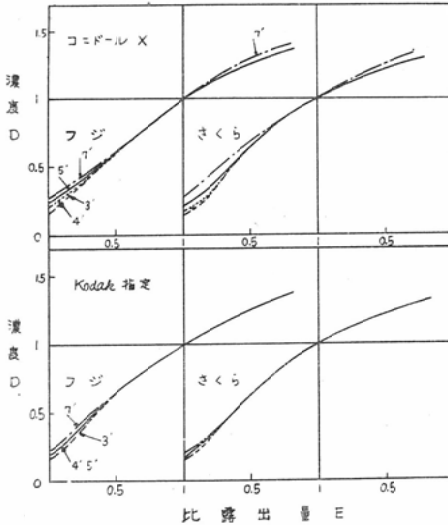
現像液 フィルム	コニドールX	Kodak
フジ	1	1
サクラ	1.1	1.2

エニドン系現像液で現像した場合は3'~4'で最大 γ に達し、それ以上では減少する。国産二社のうちでフジが多少 γ が大きい。然し Kodak フィルムは特に γ が大きい点が目立つ。現像液による差は少ないが、Kodak フィルムに指定現像を行つた場合は特に γ の値が大きい。

第3図 γ の値



第4図 低濃度部の特性曲線



c) 低濃度部の特性曲線. 先に発表した如く⁶⁾低濃度部の特性曲線をわかりやすく表すために縦軸に濃度, 横軸に比露出量を共に等分目盛でとり, 且つ濃度1を得るに要する露出量を1として表す. その実例を第2図に示した. レンドール, コンドールX及びJIS現像液では同様な傾向を示したので, 図ではレンドールとKodak指定現像液の2種類だけを示した. 両者共現像時間の延長につれて露出零の点の濃度(カブリ)が増し, 且つ下向きの曲り度合が少くなるが, Kodak指定現像液の方がカブリの増加が少い. これはこの現像液がブロムカリを多く含むからではないかと考えられる.

2) 間接用フィルム, 螢光板使用

a) 感度. フジ, さくら共6×6版ロールフィルム, 使用期限迄の期間13カ月, 実験は4月中旬である. 第2表に, 5'現像で濃度1を得るに要する露出の比を示す. 即ち両者間に大差はない.

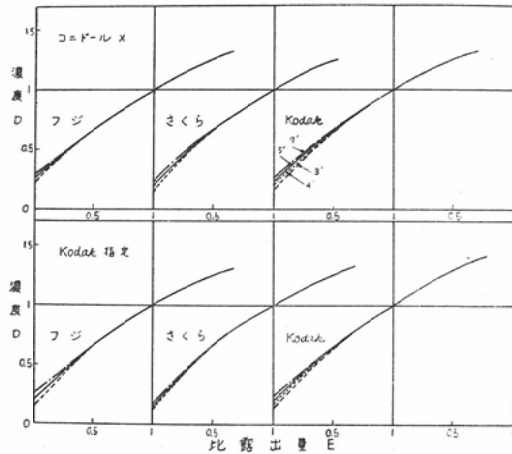
b) グラジエント γ . 直線部分の γ の値を第3図に示す. 5'現像で最大 γ に達する, フィルム相互間, 現像液の種類によつて大差はない.

c) 低濃度部の特性曲線. 第4図はコンドールX及びKodak指定現像液の場合の特性曲線である. 直接用フィルムと大体同様な傾向を示すが, 下向の曲りの度合は少く, 直線に近い.

第3表 濃度1を得るに要する露出量の比

現像液 フィルム	コンドールX	Kodak
フジ	1.4	1.3
さくら	1.5	1.4
Kodak	1	1

第5図 低濃度部の特性曲線

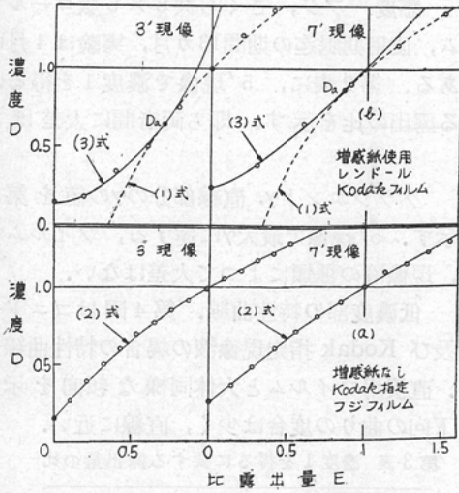


3) 直接用フィルム, 増感紙なし

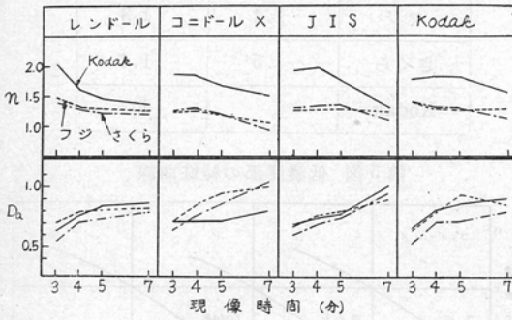
a) 感度. 5'現像で濃度1を得るに要する露出量の比を第3表に示す. Kodakフィルムが一番露出量が少く, フジ, さくらの順であるが, 国産2社の差は微少である.

増感紙なし撮影で特に目立つた点は, 現像時間

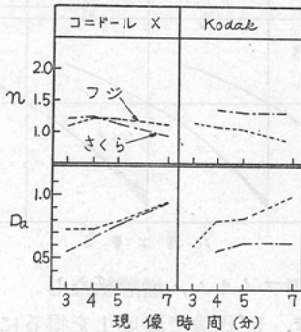
第6図 実験値と計算値の比較



第7図 直接フィルム用の n 及び Da の値



第8図 間接フィルム用の n 及び Da の値



の延長による濃度の増加が、増感紙使用の場合に比して少いことであつた。即ち3'現像と7'現像との濃度1を得るに要する露出量の比を求めると、増感紙使用の場合は2倍前後であつたが、増

感紙なしの場合は1.2~1.3倍であつた。従つて露出の過不足を現像時間で調整することが、増感紙なしの場合はむづかしいことがわかつた。

b) グラジエントγ. 今回の実験では主として低濃度部における特性曲線を検討するため、濃度1.5以下を実験範囲としたが、この範囲ではまだ直線部分に達しなかつた。従つて直線部分のγの値を求めることが出来なかつた。

c) 低濃度部の特性曲線. 第5図にコニコードX及びKodak指定現像液で現像した場合の値を示す。これらの曲線は増感紙や蛍光板を使用して光線によつて感光せしめた場合と異り、指数曲線で表される。即ち上向に曲つている。

IV 低濃度部の特性曲線の数式的表示

本文の緒言でも述べたようにフィルムの特性曲線については1920年代に精しい研究が行われており、その数式的表示も種々試みられている。然しその後30年間にフィルムも現像剤も幾多の改良を加えられていると考えられるので、今回改めて実験的に検討してみたのであるが、特性曲線の形には特別に変化がないことが分つた。即ち特性曲線を正確に数式的に表示するには、諸先人の式をそのまま用いて差支えないわけである。然しこれらの式はX線撮影の場合のデテールの示現を検討する場合には複雑で取扱いにくい欠点がある。以下X線による感光の場合と、増感紙又は蛍光板を使用した場合に分けて検討してゆく。

1) 増感紙なしの場合

この場合はBlau等¹⁶⁾によれば黒化度Dは

$$D = KN(1 - e^{-\epsilon E})$$

と表せると云う。この式において、K: 常数, N: 単位面積中の粒子の全数, ε: 光量子の命中した時現像可能となる確率, E: 露出量, である。Nは特定のフィルムについては常数であるから $KN = k$ とおき、又カブリを含んだフィルムの濃度をDとし、カブリの値をCとすれば、

$$D = k(1 - e^{-\epsilon E}) + C \quad (2)$$

と表すことが出来る。この式は簡単であるし、又後で述べる(3)式では近似し得ないので、増感紙なしの場合はこの式を用いることにする。第6

図(a)に実験値と、(2)式で求めた計算値との比較の1例を示す。濃度1以下においては非常によく一致する。

2) 増感紙使用の場合

この場合の表示式は Silberstein その他⁴⁾が光による感光の場合に与えている式で近似することが出来るが、これらの式は取扱いが不便であるから著者は先に次式を近似式として与えた。

$$D = kE^n + C \quad (3)$$

但し k, n は実験とよく合うように定められた常数、 C はカブリ濃度である。この式の近似がどの程度であるか、その一例を第6図(b)に示す。これらの実験値は特に近似のよい場合を選んだわけではないが、この程度なら実用上充分満足出来ると考える。何となれば濃度0.02以下の差は人間の目には識別されないとされているが、実験値と計算値とは大体±0.02の濃度差範囲内で一致しているからである。

(3)式において n の値は特性曲線の曲りの度合を表す指数で、 $n=1$ であれば特性曲線は直線となり、 $n<1$ ならば上向に凸、 $n>1$ ならば下向に凸となる。 n が1より離れる程曲り度合は大きい。 n の値は特性曲線の性質を表すに重要であるからその値を求めた結果を第7図及び第8図に示した。即ち国産フィルム間では大差を認めないが、Kodakフィルムは格段に n の値が大きい。現像液による差はあまり認められない。現像時間が長い程、 n は小さくなる傾向がある。又間接用フィルムは直接用より多少 n が小さい。

特性曲線の脚部から直線部へ移行する点、即ち(3)式で表される曲線と(1)式で表される曲線との切点におけるフィルム濃度 D_a も又重要であるからこの値を求めて第7図、第8図に示した。国産、Kodak 共大した差がなく、現像液による差も認められないようである。現像時間が長い程 D_a は大きくなる傾向が認められる。又間接フィルムと直接フィルムで大差ない。

V. 考按

X線フィルムの感度については、感度測定方法が未だ決定されていないので便宜上5'現像で濃

度1を得るに要する露出量で比較してみた。然しこのような方法では同時に実験したフィルム相互間の比較は出来るが、他に発表されている実験値と比較することが出来ない。即ち例えば同一のX線管を用いても管球が古くなれば発生するX線量、線質も変るし、増感紙の輝度も一定とはかぎらないから、1カ年の期間を隔てた実験値の比較でさえ容易でない。まして他の人の実験値と比較することは無意味である。X線フィルムの感度測定規格が決定されることが望ましい。

之に反し γ の値は比較的正確に求められる、何となれば特性曲線の形は増感紙の感度やX線の線質、強度等の影響をほとんど受けないし、²⁾¹¹⁾¹⁷⁾現像液の新しさとか現像中のフィルムの動かし方等の微少な影響はあるとしても、これらは注意すれば比較的一定に保つことが出来るからである。従つて γ の値は他に発表されている値と比較することも無意味でないと考えられる。

さて今回の実験値で目立つことは国産フィルムに比して Kodak フィルムの γ が大きいことであるが、Frey¹²⁾も5種のフィルム、7種の現像液について実験し、 γ の値は最低2.4、最高3.8を得ている。これを以てみても外国のフィルムは一般に高 γ のようである。然し国産フィルムの γ も発表者によつて相当のバラツキがあり、著者の調査した範囲でも、¹⁾³⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾⁸⁾¹⁰⁾直接フィルム、増感紙使用の場合では、1.8から3.0迄、間接フィルムでは0.85から1.8迄の値があつた。 γ の値はフィルムの製造期日(乳剤番号)や、使用期限迄の期間、その他で相当な変動があるものと考えられる。

低濃度部における特性曲線の形については他に発表された実験結果を見ないが、著者の前の論文⁶⁾では間接フィルムでは5'現像で、 $n<1$ であるとしているが今回は、 $n>1$ であつた。これは先回の実験に用いたフィルムのが γ 特に小さかつたためではないかと考えている。又無増感紙撮影では同論文で、 $n=1$ としてあるが、これは本論文の(2)式において E が小さい所で近似的に成立するのである。

VI. 結論

直接用フィルム3種, 間接用フィルム2種, 現像液はPQ系2種, MQ系2種を用いて各種の組合せで感度, グラジエント γ , 及び低濃度部における特性曲線の形を比較して次の結論を得た.

1. 直接用フィルムに増感紙を組合せてX線露出を与えた場合, 5'現像で濃度1を得るに要する露出量は国産フィルムに比し, Kodakフィルムが特に少なかった. 又 γ の値もKodakが大きい.

2. 間接用フィルムを蛍光板に密着してX線露出を与えた場合, 国産品の間では感度, γ 共に大差を認めない.

3. 直接フィルム, 増感紙なし撮影で, 5'現像で濃度1を得るに要する露出量もKodakフィルムが特に少ない.

4. 低濃度部における特性曲線の形は直接フィルム増感紙なしの場合は次式で表される.

$$D=k(1-e^{-\alpha E})+C \quad (2)$$

又増感紙, 蛍光板と組合せてX線露出した場合は直接用, 間接用共に次式で表される.

$$D=kE^n+C \quad (3)$$

5. (3)式の n の値は現像時間の長い程小さくなる傾向が認められた. 国産フィルムでは直接用間接用共に0.9~1.4の範囲にあつたが, Kodak

フィルムは1.3~2.1の範囲で国産フィルムに比し大きかつた.

6. 特性曲線の直線部分と脚部との分岐点の濃度 D_a の値は現像時間の長い程大きくなる傾向が認められた. フィルムの種類, 現像液の種類で大差なく0.5~1.0の間にあつた.

(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感謝致します)

(本研究は文部省科学研究費の補助を受けた附記す)

文 献

- 1) 合田: さくらXレイ写真研究, No. 19, 昭33.
- 2) 飯塚他3名: 日放技誌, 13(2): 101, 昭32.
- 3) 泉, 田島: 写真と技術, No. 41, 昭33.
- 4) 菊地: 写真化学, 共立全書, 昭34.
- 5) 小西, 岩崎: さくらXレイ研究, No. 13, 昭31.
- 6) 小柳: 日医放誌, 18(11): 1548, 昭34.
- 7) 村山: 日医放誌, 18(10): 1339, 昭34.
- 8) 菅原, 中村: さくらXレイ研究, No. 10, 昭29, No. 11, 昭30.
- 9) 高橋: X線物理実験法, 昭16.
- 10) 武内, 稲葉: 写真と技術, No. 41, 昭33.
- 11) 滝沢: 極光Xレイ, No. 9, 昭31.
- 12) Frey, K. W.: Fort. Röntgen.: 87(3): 378, 1957.
- 13) Hine, G. J., Brownell, G. L.: Radiation Dosimetry, 1956.
- 14) Juris, K.: Fort. Röntgen.: 50(1): 94, 1934, 55(4): 398, 1937.
- 15) Mauderli, W.: Fort. Röntgen.: 86(5): 634, 1957.
- 16) Russ, S., Clark, L. H., Pelc, S. R.: Physics in Medical Radiology, 1950.
- 17) Widenmann, L.: Fort. Röntgen.: 87(3): 386, 1957.

Visibility of Radiographic Details on the Portion of Low Density.

By

Takami Koyanagi

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

(Director: Prof. Dr. S. Nozaki.)

It has been investigated completely on the Visibility of radiographic details on the straight portion of the characteristic curve of X-ray film, but the curve is bent on the portion of low density, so the visibility in this part is not the same as on the straight portion.

In this series of reports, it will be discussed on the visibility on this bent portion. In the 1st report, speed, gradient and the shape of the toe of the characteristic curve

are obtained and compared experimentally, with five different X-ray films which are developed by four X-ray developers at various developing times. The shapes of the toe can be described as follows,

$$D = k(1 - e^{-\alpha E}) + C \quad (\text{without screen})$$

$$D = kE^n + C \quad (\text{with screen})$$

where D is the film density, E is the X-ray exposure, k , α are constants and C is the density of fog.
