



Title	X線フィルムの低濃度部におけるデイテールの示現について(第2報)カブリ露出の影響
Author(s)	小柳, 孝己
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1960, 20(7), p. 1481-1486
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/16691
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

X線フィルムの低濃度部におけるデテール の示現について

(第2報) カブリ露出の影響

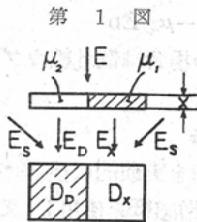
新潟大学工学部精密工学教室

小柳孝巳

(昭和35年7月16日受付)

1 緒言

第1報ではX線フィルムの特性曲線の脚部について検討し、その部分を表わす数式を与えたが、本報ではこれらの式を用いてデテール示現に対するカブリ露出の影響及びかつて試みられた前露出、後露出の効果等について理論的実験的検討を行う。



2. 理論的検討

第1図は厚さ x cmの被写体をX線撮影する場合のフィルムに達するX線量とフィルムの濃度(黒化度)との関係を示す。図において μ_1 は被写体のX線減弱係数、 μ_2 は被写体の周囲の物質のX線減弱係数である。入射X線量を E とし、それが被写体を通過した後に E_x となり、被写体の周囲では E_D となるとする。又これらのX線の他に散乱線によるカブリの露出が一樣にあるとし、これを E_s とする。前露出、後露出も、時間的には異なるが、散乱線カブリと同一の写真効果を示すからこれらを区別して論ずる必要はない。これらのX線露出を与えた後フィルムを現像し、被写体の像の部分の濃度を D_x 、その周囲の部分の濃度を D_D

とする。このようにするとX線減弱の理論から

$$\frac{E_D}{E_x} = e^{-(\mu_1 - \mu_2)x}$$

である。又被写体の像の部分の露出量は $(E_x + E_s)$ 、その周囲の部分の露出量は $(E_D + E_s)$ であるからその差を ΔE とすると

$$\begin{aligned} \Delta E &= (E_D + E_s) - (E_x + E_s) = E_D - E_x \\ &= E_D \{ 1 - e^{-(\mu_1 - \mu_2)x} \} \end{aligned}$$

となる。ところでここで問題にしているのは微小なデテールであるから被写体の厚さ x は微小である。実例を示すと空気中に置かれたアルミニウム (Al) の像が示現するか否かを問題にする場合は後の実験でのべるように $\mu_1 = 4.4 \text{ cm}^{-1}$ 、 $\mu_2 = 0$ 、 $x = 0.01 \sim 0.07 \text{ cm}$ であるから $(\mu_1 - \mu_2)x = 0.04 \sim 0.3$ の程度である。従って上式は近似的に次のように書いても誤差は最大14%であることが計算される。

$$\Delta E = E_D (\mu_1 - \mu_2) x \dots \dots \dots (1)$$

さてこれだけの露出の差により、どれだけの濃度差がフィルムに生ずるかは、フィルムの特性曲線の式から次のようにして求められる。

第1報でのべたように特性曲線の所謂直線部分では特性曲線は次式で表わされる。

$$D = \gamma \log E + C \dots \dots \dots (2)$$

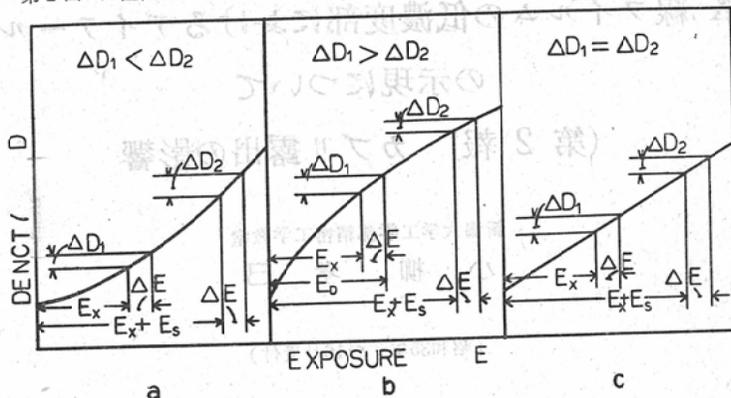
従つてこれを E で微分し

$$\frac{\Delta D}{\Delta E} = 0.4343 \frac{\gamma}{E}$$

故に

$$\Delta D = 0.4343 \frac{\gamma}{E} \Delta E$$

第2図 特性曲線の形と散乱線カブリのデイトールに及ぼす影響との関係



となる。この式でEは全露出量であるから $E = ED + Es$ であり又 ΔE は(1)式で与えられるから ΔD は次式のようになる。

$$\Delta D = 0.4343 \cdot \gamma (\mu_1 - \mu_2) x \frac{Ed}{ED + Es} \dots (3)$$

これはよく知られている式で、デイトール ΔD は散乱線 Es が多くなる程小さくなることを示している。

低濃度部では特性曲線は(2)式と異なることが第1報にのべられている。即ち増感紙を用いた場合は次式で表わされる

$$D = kE^n + C \dots (4)$$

この式をEで微分すると

$$\frac{\Delta D}{\Delta E} = knE^{n-1}$$

これに $E = ED + Es$ 及び(1)式の関係代入すると

$$\Delta D = knx(\mu_1 - \mu_2)Ed(ED + Es)^{n-1} \dots (5)$$

となる。この式ではnの値によつて散乱線カブリ Es の写真効果が異なる。即ち $n > 1$ ならば第2図aに示すように曲線は上向に曲り、従つて Es が増加すれば同一の ΔE に対しても ΔD が増加する。又 $n < 1$ ならば第2図bに示すように曲線は下向に曲り、従つて同一の ΔE に対しても散乱線 Es が増すとデイトール ΔD は減少する。又 $n = 1$ ならば図cに示すように Es の量に無関係に ΔD は一定となる。

増感紙を用いない場合は特性曲線は次式で与えられる

$$D = k(1 - e^{-\epsilon E}) + C \dots (6)$$

従つてこれから前と同様にして ΔD を求めると

$$\Delta D = \frac{k\epsilon(\mu_1 - \mu_2)x \cdot Ed}{e^{\epsilon(ED + Es)}} \dots (7)$$

$$= \frac{k\epsilon x(\mu_1 - \mu_2)Ed}{1 + \epsilon(ED + Es) + 1/2\epsilon^2(ED + Es)^2 + \dots}$$

$\epsilon(ED + Es)$ が1に比して小さい時は上式は

$$\Delta D = k\epsilon x(\mu_1 - \mu_2)Ed$$

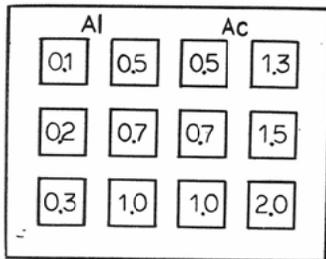
となり、この場合は散乱線カブリの影響がなくなる。

3. 実験方法

以上の計算値を実験的に検討するには、薄い厚さの被写体を、増感紙を使用し、又増感紙なしの条件でX線撮影し、その露出量及びカブリの露出量と、被写体のX線像の濃度との関係を求めて実験値と計算値がどの程度一致するかを見ればよい。その目的で第3図のような被写体を作りこれをカセットに密着してX線露出を与え、そのフィルム上の像の部分と周囲との濃度差を測定した。

X線撮影に使用した装置はユニバーサルプラグラフ、台を水平にしてその上に四つ切りカセットを置き、さらにその上に第3図の被写体を密着し、被写体以外の部分は厚さ2mmの鉛板で被つてX線露出を与えた。露出方法を第1表に示す。先づ被写体をのせて大きい数字の回数だけ露出を与える。次に被写体を取り除き、カブリの露出を小さい数字で示す回数だけ与える。このように露出すると散乱線カブリの含有率は第1表のカッコの

第3図 被写体、Al及びアクリルの種々の厚さの板がならべてある。数字は板厚mm



第1表 直接線及びカブリの露出回数，カッコ内はカブリの%

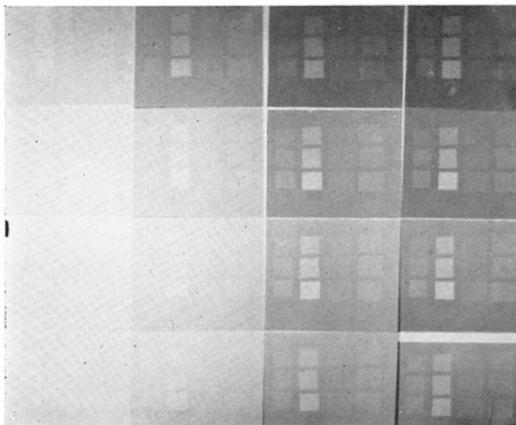
1 3 (75)	2 3 (60)	3 3 (50)	4 3 (43)
1 2 (67)	2 2 (50)	3 2 (40)	4 2 (33)
1 1 (50)	2 1 (33)	3 1 (25)	4 1 (20)
1 0 (0)	2 0 (0)	3 0 (0)	4 0 (0)

内に入れた数字(%)となる。一回の露出量はフィルムが濃度が適当になるように定める、その値は後述する。

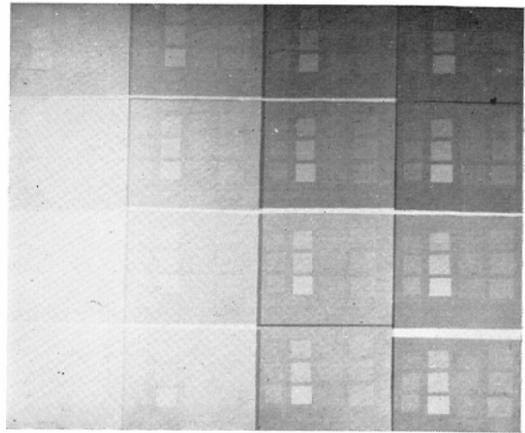
4. 実験結果

第4図 a, b, c に撮影した結果を示す。同図aは Kodak Blue brand 医療用X線フィルム、極光F S増感紙使用、管電圧40KVp, 0.5mm Alフィルター使用、1回の露出時間0.12秒、管電流は右上端の最大濃度部の濃度が約 0.6となるよう

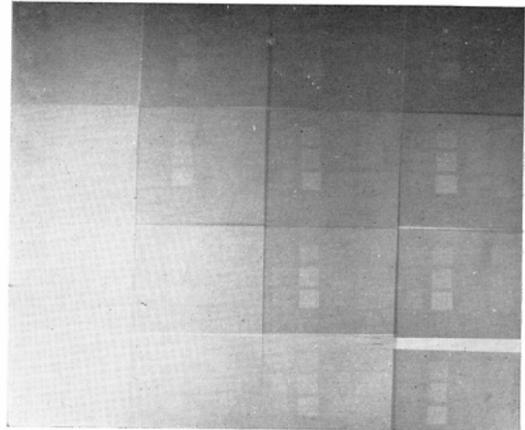
第4図 a. Kodak フィルム4 + F S 増感紙



b. さくらタイプY + F S 増感紙



c. さくらタイプY, ノンスクリーン撮影



定めた。現像はコニドール20°C 4.5分である。

第4図bはさくらタイプY医療用X線フィルムと増感紙F Sを組合せて40KVp, 0.5mm Alフィルター1回0.16秒の露出を与え、コニドール20°C 5分間現像した。

同図cはさくらタイプYフィルムを無増感紙で用い、80KVp, 0.5mm Alフィルター、1回0.12秒を与え、コニドール20°C 5分間現像したものである。これらを見ると増感紙使用の場合はカブリの露出が多い程、即ち下のコマより上のコマの方が示現がよいこと、又増感紙なしの場合にはカブリの露出の量によつて示現が変りないことが明らかである。

さらに精しく検討するために第4図のフィルム

第2表 第4図のフィルムの濃度測定結果, 大きい字は地の濃度, 小さい字は厚さ1mmAl板の像と地との濃度差測定値, カッコ内はその計算値

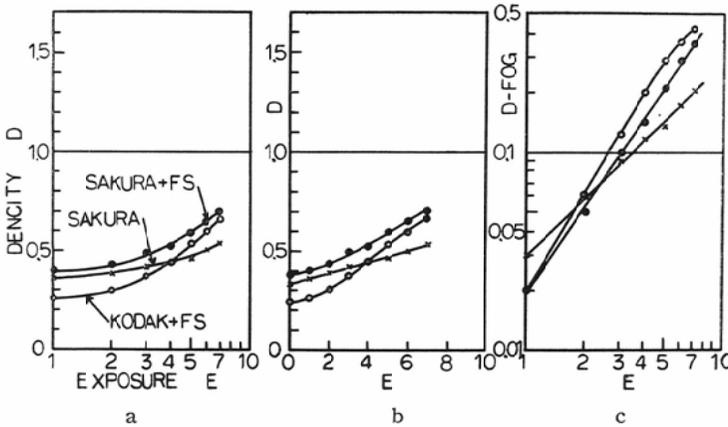
0.43 — (0.035)	0.53 0.07 (0.08)	0.59 0.11 (0.13)	0.65 0.14 (0.19)	0.53 — (0.024)	0.57 0.05 (0.05)	0.63 0.07 (0.09)	0.70 0.10 (0.13)	0.47 — (0.01)	0.48 — (0.015)	0.50 0.02 (0.02)	0.54 0.03 (0.03)
0.36 — (0.03)	0.42 0.05 (0.07)	0.54 0.12 (0.12)	0.59 0.14 (0.17)	0.49 — (0.02)	0.52 0.05 (0.05)	0.60 0.07 (0.08)	0.67 0.10 (0.12)	0.43 — (0.01)	0.44 — (0.015)	0.46 0.02 (0.02)	0.50 0.03 (0.03)
0.29 — (0.02)	0.37 0.05 (0.06)	0.46 0.09 (0.10)	0.53 0.13 (0.16)	0.43 — (0.02)	0.48 0.04 (0.04)	0.52 0.06 (0.07)	0.60 0.08 (0.11)	0.39 — (0.01)	0.41 — (0.015)	0.44 0.02 (0.02)	0.46 0.03 (0.03)
0.26 — (0.015)	0.30 0.04 (0.045)	0.38 0.07 (0.09)	0.44 0.10 (0.14)	0.40 — (0.01)	0.43 0.02 (0.04)	0.49 0.05 (0.06)	0.55 0.08 (0.10)	0.36 — (0.01)	0.39 — (0.015)	0.42 0.02 (0.02)	0.44 0.03 (0.03)

a fog=0.24

b fog=0.38

c fog=0.33

第5図 第4図から求めた特性曲線



の地の濃度及び1mm厚さのAl板の像の部分の濃度を測定した。第2表にその結果を示す。大きい数字は地の濃度, 小さい数字は地の濃度と1mm Al板の像の濃度との差の測定値, カッコ内に入れた数字は(5)(7)式で計算した濃度差の値である。

像の濃度を計算で求めるにはフィルムの特性曲線を求めなければならない。それには第2表から露出回数0から7迄に対する地の濃度がわかるから, 横軸に露出回数を対数目盛りでとり, 縦軸に濃度を等分目盛でとると従来用いられている特性曲線が得られる。これを第5図aに示す。a図ではその性質を比較することが出来ないのので, 横軸に露出回数を等分目盛でとって表わすと同図bとなる。これを見ると増感紙を用いた場合は曲線は

上向に曲っており, 無増感紙ではほぼ直線となることがわかる。さらに縦軸にfog濃度を差引いた地の濃度を対数目盛りでとり, 横軸には露出回数をこれも又対数目盛りでとると同図cとなり, 全部がほぼ直線となる。この直線から特性曲線の式が求められる。即ち

$$D = 0.0213 E^{1.60} + 0.24 \quad \text{Kodak+FS}$$

$$D = 0.0204 E^{1.45} + 0.38 \quad \text{さくら+FS}$$

$$D = 0.030 E + 0.33 \quad \text{さくら}$$

但しEは露出の回数である。

次に厚さ1mmのAl板の像と地との濃度差を(5), (7)式から求める。それには被写体の減弱係数 μ_1, μ_2 を求めなければならない。これは1mmのAl板のX線減弱の実験から求めた。40KVp, 0.5mm Alフィルターでは空気中で $\mu_1 - \mu_2 =$

4.4cm⁻¹, 80KVp 0.5mm Al フィルターでは $\mu_1 - \mu_2 = 2.6\text{cm}^{-1}$ であつた. この値を用いると厚さ1mmのAlの像と周囲との濃度差は次式で求められる.

$$\Delta D = 0.015 E_D (E_D + E_s)^{0.6} \quad \text{Kodak + F S}$$

$$\Delta D = 0.013 E_D (E_D + E_s)^{0.45} \quad \text{さくら + F S}$$

$$\Delta D = 0.0078 E_D \quad \text{さくら}$$

但しこれらの式で E_D は被写体を置いて撮影したX線露出回数即ち第1表の大きい字の値, E_s は被写体を取り除いて与えたカブリの露出回数である.

第2表を見ると実験値と計算値は実験誤差内でよく一致していることがわかる. なお濃度測定は島津製読取式測微光度計で行つた. この測定器は測定面積がせまく1平方mm以下であるためわずかの測定場所のちがいで濃度が異なるので, 測定中にフィルムを振動させて平均値をとるようにした. そんな関係で濃度0.02位の誤差はさけることが出来なかつた.

なお厚さ0.7及び0.5mmのAl板の像の部分と周囲の地との濃度差も測定したが, これは理論的には(5), (7)式で明らかのように被写体の厚さ x に比例するのであるが, 測定値も大体その通りであつた. たゞ濃度差が1mmの厚さの部分より少いので測定誤差が大きくなり不正確となつた.

0.3mm以下のAl板, 及びアクリル板の全部は濃度差が少くて測定不能であつた.

フィルムを目で見てどれだけ厚さ迄示現しているかを求める方が測定器で濃度差を求めるより細かい所迄わかる. それは第4図を見れば明瞭のわけであるが, 印刷と原板とで異なるかも知れないので目安を示すと, 濃度差0.01迄認められるとして計算すればよい. 即ち例えばAl 1mmの部分の濃度差が0.05のコマでは $1\text{mm} \times \frac{0.01}{0.05} = 0.2\text{mm}$ 迄示現している. 従つて濃度差0.10以上のコマでは0.1mm迄全部の像が示現している.

なおアクリルの像の部分については測定値が得られないので計算値も示さなかつたが, これを求めるために空気中におけるアクリルの減弱係数の実験値を次に示す.

$$40\text{KVp } 0.5\text{mm Al フィルター } \mu_1 - \mu_2 = 0.52 \text{ cm}^{-1}$$

$$80\text{KVp } 0.5\text{mm Al フィルター } \mu_1 - \mu_2 = 0.36 \text{ cm}^{-1}$$

即ち40KVp ではアクリルはAlの約8.5倍, 80KVp では約7倍の厚さ迄しか示現しないことになる. 実際のフィルムでもこの関係は満足されていた.

5. 結 論

第1報で求めたX線フィルムの低濃度部における特性曲線の式を用いて薄い被写体をX線撮影した場合の被写体の像と周囲の地との濃度差(即ちデテール)を求める式を導いた. その結果は次のようである.

$$\Delta D = knx(\mu_1 - \mu_2) E_D (E_D + E_s)^{n-1} \text{ 増感紙あり}$$

$$\Delta D = \frac{k \varepsilon x (\mu_1 - \mu_2) E_D}{1 + \varepsilon (E_D + E_s) + \dots} \text{ 増感紙なし}$$

次に医療用X線フィルム二種について増感紙ありとなしとで, アルミニウム及びアクリルの種々の厚さの薄い板をX線撮影して, その像の濃度を測定して上式で求めた計算値と比較した. 実験値は計算値とよく一致した. 即ち増感紙を用いた場合は低濃度部では散乱線カブリがあつた方がデテールの示現がよいことが理論的にも実験的にも確かめられた.

本研究は昭和33年7月, 第17回日本医学放射線学会東北北海道新潟地方会にその要旨を発表した. なお実験は本論文の第1報に引き続いて昭和34年2月に行つた. 種々の事情により第2報の発表がおくれたが, その間に我国内において新しいタイプの医療用X線フィルムが発表され, 感度, コントラストの上昇と共に, 低濃度部における細部抽出性とカブリに改良が加えられたことが述べられている. 新タイプのフィルムについては未だ実験の機会がない.

(稿を終るにあたり, 御指導を賜つた医学部野崎秀英教授に感謝の意を表す).

文 献

- 1) 小柳: 日医放誌, 18 (11): 1548, 昭34. —2)
- 小柳, 堀: 日医放誌, 19 (6): 1191, 昭34.
- 3) 小柳: 日医放誌, 19 (4), 学会抄録.

Visibility of Radiographic Details on the Portion of Low Decity.

Part 2. The Effects of Fog Exposure.

By

Takami Koyanagi.

(Faculty of Engineering, Niigata University)

From the conclusion of Part 1. of this report, the equations which describe the values of detail (ΔD) are obtained as follows.

$$\Delta D = knx(\mu_1 - \mu_2) E_D (E_D + E_s)^{n-1} \quad (\text{With screen})$$

$$\Delta D = \frac{k\epsilon x (\mu_1 - \mu_2) E_D}{1 + \epsilon (E_D + E_s) + \dots} \quad (\text{Without screen})$$

So the correctness of these equations are chequed and verified experimentally. In the real cose of radiography with screen, the value of n is always larger than 1, and the visibility of detail becomes plain as the increase of the amount of fog exposure E_s . This fact is opposite to the old common sense that the increase of fog exposure diminishes the detail, but this increase of detail is exactly true on the portion of low dencity.