

〔報告〕文化財の透過X線撮影における 蛍光増感スクリーンの特性

松島 朝秀*・三浦 定俊

1. はじめに

我々の透過X線撮影を用いた調査にも、コンピューテッドラジオグラフィが利用されるようになったが¹⁻⁷⁾、調査の規模、条件によってはX線フィルムを用いて撮影しなければならないことも多い。しかし、フィルムを用いた撮影では、十分なコントラストを得るためにコンピューテッドラジオグラフィよりもX線の照射時間が長くなってしまう場合がある^{8,9)}。文化財の透過X線撮影では、X線が物質と相互作用して引き起こされる影響は報告されていないが、資料へ及ぼす影響が最小限に抑えられるよう、なるべく短時間での撮影が好ましいと考えられる。そのためこれまで使用してきたフィルムを、短時間の照射で良好なコントラストが得られるフィルムへ代替することができればより安全性が高まる。

保存科学46号¹⁰⁾では、文化財資料の中でも透過率の高い日本画を対象とした撮影条件で、マンモグラフィ用フィルムと、これまで我々が使用してきたフィルムを、特性曲線や日本画資料を撮影した画像で比較することで、従来よりも短い照射時間で視認性の高い画像が得られるか検討した。その結果、富士フィルム社製マンモグラフィ用フィルムのUM-MA HCが、これまで我々が使用してきた富士フィルム社製工業用フィルムのIX-FRよりも、照射時間を3分の1に短縮して高いコントラスト特性を得られることがわかった¹⁰⁾。

この研究¹⁰⁾では、X線の照射時間をさらに短縮できる蛍光増感スクリーンについて、解像度が低下してしまうことが懸念されるために使用しなかった。しかし、本来スクリーンを使用して撮影を行うUM-MA HCの特性を最大限に発揮させることが望ましいと考え、本研究では文化財の透過X線撮影において、マンモグラフィ用フィルムのUM-MA HCに専用の蛍光増感スクリーンを使用することによる画像の視認性の影響を検討した。

2. 実験方法

実験条件

マンモグラフィ用フィルムUM-MA HCに専用の蛍光増感スクリーンを使用する場合と、しない場合とで得られる画像の違いを定量的に評価するために、以下の実験を両方の条件で行った。フィルムとスクリーンは厚紙で製作した遮光袋に入れて使用した。

- ① アクリル樹脂の階段くさびを撮影し、特性曲線を作成する¹⁰⁾。
- ② X線テストチャートを撮影して画像の解像度を求める。
- ③ 模写で制作された日本画資料を撮影して画像を比較する。

上記の実験で用いたX線の管電圧、管電流、照射距離の設定は、我々が日本画の撮影に用いてきた条件で行った¹⁰⁾。

特性曲線の作成にはブーツストラップ法¹¹⁻¹⁴⁾を用い、アクリル樹脂くさびの一段の厚みを1mmにして使用した¹⁰⁾。特性曲線の作成に使用する濃度測定器は、写真フィルムの透過濃度を測定するISO規格に従った白黒透過濃度計^{15,16)}で、観察者の視覚に即した視覚拡散透過濃度を数値

*東京芸術大学大学院美術研究科文化財保存学専攻システム保存学教育研究助手

で示す測定器である。

画像の解像度の測定には、JIS規格で定義されているX線テストチャートを使用した方法と比較した¹⁷⁾。解像度は、どこまで細かいものが識別できるかを表す指標であり、X線写真やX線映像装置などの画像の解像度を表す場合には、解像力という数値が用いられる。解像力は撮影したX線テストチャート像を観察して、等しい幅を持つ明暗の線対（ラインペア：LPスリット部分と空間部分を1つと数え、それが1mmの間隔にどれだけあるか示した値）の像において、分解していると認められる最小線対の幅を2倍した逆数で表される（式1）。

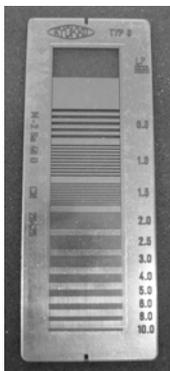


図1 X線テストチャート

$$u = \frac{1}{2d} \quad (\text{式1})$$

ここに、 u：解像力（LP/mm）

d：線幅および線間の寸法（mm）

図1に、X線フィルムの解像度を求める際に使用したX線テストチャートを示す。チャートには細かい線対がそれぞれ等間隔で刻まれており、各線対の右に表示されている値は解像力の数値であり単位はLP/mmである。よって、一番数値が大きい解像力である10.0（LP/mm）が識別できれば、上記の式から線幅及び線間dの値は50μmであり、50μmまで識別できる解像度があることがわかる。

得られたチャート像のコントラストや測定者の判断基準により差を生じる問題もあるが、測定者を2名にして、フィルムの現像条件を厳密に揃えることで実験に用いた。このチャートは、本実験で使用するX線フィルムや蛍光増感スクリーン、X線の照射条件に適している化成オプトニクス株式会社のチャートを使用した。

つづいて、模写で制作された日本画資料を撮影して画像を比較した。資料は「黒谷上人絵伝断簡」の模写作品である。注模写作品は当時の彩色技法、基底材の構成などを十分に考慮して制作された¹⁰⁾。模写で制作された作品は、制作者から使用した顔料や制作技法等を詳細に知ることができるのでX線画像を視認する際に誤認がない。

試料

特性曲線を求めた階段くさび：アクリル樹脂

（メタクリル酸エステル：日東樹脂工業製、15×33cm、厚み1mm刻みで30mm厚さまで）

画像の解像度の測定：X線テストチャート TYPE09（化成オプトニクス株式会社）

日本画資料の撮影：模写作品「黒谷上人絵伝断簡」

撮影条件

X線発生装置：フィリップスMG165

X線管球：フィリップスMCN165（最大定格100kV）

X線管電圧：20kV

X線管電流：3mA

照射距離：150cm

照射時間：蛍光増感紙あり 5秒 蛍光増感紙なし 60秒

X線フィルム

マンモグラフィ用フィルム：UM-MA HC（大きさ24×30cm）

蛍光増感スクリーンUM-MAMMO FINE：標準感度タイプ（比感度：100）

現像条件

現像液：富士レンドール（20℃）…現像時間5分間（富士フィルム）

定着液：富士フィックス…定着時間10分間（富士フィルム）

濃度測定条件

透過濃度測定：X-Rite331（測定スポット直径2mmφ，エックスライト社）

3. 結果と考察

はじめに、蛍光増感スクリーンを使用した場合の本実験で用いた日本画資料に適したX線の照射時間を求めた。30秒の照射時間から5秒間ずつ短くして撮影を繰り返した結果、5秒の照射で調査に適した画像が得られることがわかった。これまで使用してきたX線フィルムで撮影した場合、日本画資料に適した照射時間は60～180秒程であったので、大幅に照射時間の短縮ができた。よって、特性曲線や画像の解像度、日本画資料の撮影の比較は、蛍光増感スクリーンを用いる撮影では5秒の照射で行い、蛍光増感スクリーンを用いない撮影では、以前の実験から60秒の照射で行った¹⁰⁾。

図2、3に、蛍光増感スクリーンを使用した5秒の照射で求めた特性曲線と、蛍光増感スクリーンを使用しない60秒で求めた特性曲線を示す。以後、蛍光増感スクリーンを使用した5秒の照射を「増感紙あり」、蛍光増感スクリーンを用いない60秒の照射を「増感紙なし」とする。特性曲線の縦軸はフィルムの黒化度の値であり、濃度(D)で示す。透過濃度測定において照射された光量と透過された光量との比の常用対数である。照射された光量が100で透過した光が10であれば濃度(D)は1.0になる。横軸は、被写体である階段くさびを透過してきたX線のフィルム面に対する露光量を示している。露光量はフィルムの種類によって異なるため絶対値ではなく相対値で扱う。それぞれの特性曲線は、「増感紙あり」と「増感紙なし」の撮影条件において、X線が透過できた階段くさびの最大厚みの濃度Dが0.3であるくさびの厚みを、図の横軸で露光量0.3として示した。値が大きくなるほどフィルム面の露光量が増加する（階段くさびの段数が減少する）ことになる。濃度の値はフィルム上の各段数で5箇所を任意に選んで黒化度を測定し、その平均値を濃度の値とした。

図2の増感紙ありの特性曲線を、図3の増感紙なしの特性曲線と比較すると、直線部分の傾きが増感紙なしよりも大きく、実験に用いた階段くさびに対してはコントラストが高く撮影できることがわかる。露光量1.2での濃度Dは増感紙ありでは2.0、増感紙なしでは1.2であることから、同じ被写体を同じ条件で撮影をしても被写体の透過率の高い部分では画像の濃度に0.8

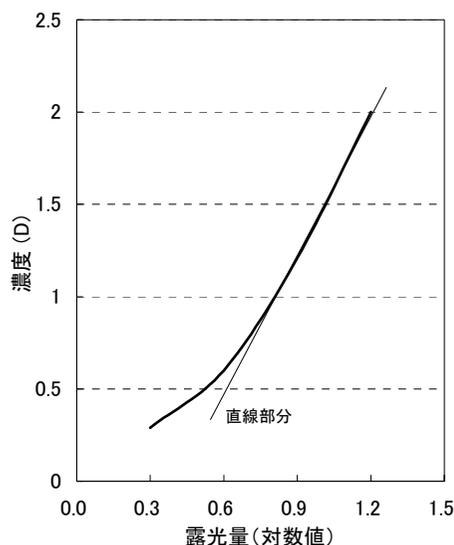


図2 「増感紙あり」で求めた特性曲線

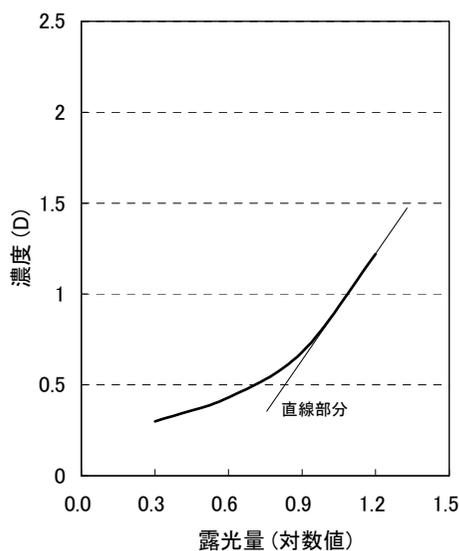


図3 「増感紙なし」で求めた特性曲線

の差が生じる。露光量0.3では、増感紙ありでは濃度0.27、増感紙なしは濃度0.3が得られた。以上の結果から、増感紙ありでは濃度差1.73、増感紙なしでは濃度差0.9のコントラストが得られ、両フィルムには倍ほどのコントラスト差があることから、今回の実験条件では、「増感紙あり」の照射が撮影に適していることがわかる。

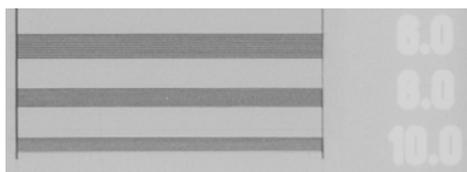


図4 「増感紙あり」によるX線テストチャート画像

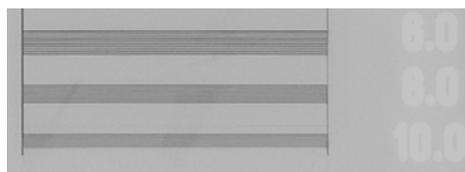


図5 「増感紙なし」によるX線テストチャート画像

図4、5に、X線テストチャートを撮影して解像力が高い6.0~10.0(LP/mm)までを拡大した画像を示す。紙面上、十分に示せないが、図4の増感紙ありの画像では、解像が6.0までが線対を識別できる限度であり、式1から約83 μ mまで識別できる解像力があることがわかる。増感紙なしの画像は、解像力は8.0まで識別できた。これは約63 μ mまで識別できる解像力があることがわかる。以上の結果から、蛍光増感スクリーンを用いた場合には、識別できる程度が63 μ mから83 μ mへ低下することがわかった。しかし、その低下はわずかであり、筆者らは実際の透過X線撮影によって求められる解像力は満たしていると考えられる。

つづいて、日本画資料を撮影した結果を示す。図6、図7の画像とも、朱や辰砂、金泥、緑青で描かれている輿、数珠、室内、刀などが画像上で輝度が最も高く、資料全体に薄く用いられている金泥の背景と、これらの輝度が高い部分とのコントラストの差もはっきりとわかる。輿部分をみると、増感紙ありの画像は裏彩色部分に多く用いられた辰砂による筆跡のコントラストが、増感紙なしの画像よりも高い。この結果は、特性曲線の結果で示したコントラストの

高さを裏付けることになり、蛍光増感スクリーンを使用した5秒の照射は、調査に適した画像が得られることがわかる。また、解像力の低下についてもやはり作品の調査に支障をきたすことはなかった。



図6 「増感紙あり」による資料の画像



図7 「増感紙なし」による資料の画像

4. まとめ

本研究では、マンモグラフィ用フィルムのUM-MA HCに、専用の蛍光増感スクリーンを使用することによる画像の視認性の影響を検討した。特性曲線、画像の解像度、資料作品の撮影を行い検討した結果、本実験で用いたX線の照射条件では、蛍光増感スクリーンを使用することにより、従来よりもX線の照射時間を大幅に短縮して視感性の高い画像を得ることができた。よってこの結果から、これまでよりもX線が資料へ及ぼす影響を少なくできることが期待できる。

筆者らは、この資料作品以外にも蛍光増感スクリーンを使用してX線の照射時間を大幅に短縮して撮影を行い、調査に適した良好な画像を得ている。しかし、蛍光増感スクリーンを使用しない撮影よりも被写体に合わせた照射時間の設定が難しく、照射時間が短いため使用する管球の性能が重要になる。今後は、撮影する文化財資料の形状に合わせた照射条件について検討していきたい。

謝辞

本研究を行うにあたり、X線フィルムの特性について助言をいただいた富士フィルム(株)の窪田聡氏、石井清一氏、模写資料を提供して頂いた東京芸術大学大学院の大河原典子氏に厚く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 三浦定俊：X線イメージングプレートを用いた近世科学技術資料の調査(1)，文化財保存修復学会第23回大会研究発表要旨集，52-53(2001)
- 2) 三浦定俊：X線イメージングプレートを用いた近世科学技術資料の調査(2)，文化財保存修復学会第24回大会研究発表要旨集，38-39(2002)
- 3) 三浦定俊，松島朝秀：FCRによるトヨタコレクションの調査，保存科学，44，25-34(2005)
- 4) 三浦定俊：トヨタコレクションの材料・技法の分析と保存に関する研究，特定領域研究(2)平成16年度年次成果報告書，111-190(2006)
- 5) 早川泰弘，松島朝秀，三浦定俊：根津美術館所蔵燕子花図屏風のX線分析，保存科学，45，157-166(2006)
- 6) 三浦定俊，松島朝秀：紅白梅図屏風透過X線調査，『国宝 紅白梅図屏風』，173-174，MOA美術館東京文化財研究所編(2005)
- 7) 三浦定俊，松島朝秀：燕子花図屏風の透過X線撮影，『国宝 燕子花図屏風』，146-151，根津美術館(2005)
- 8) 松島朝秀，三浦定俊：透過X線撮影におけるFCRとフィルムの濃度特性の比較，保存科学，43，17-23(2003)
- 9) 松島朝秀，三浦定俊：透過X線撮影におけるフィルムとIPの特性曲線の比較，保存科学，45，133-140(2005)
- 10) 三浦定俊，松島朝秀：文化財の透過X線におけるマンモグラフィ用フィルムの特性，保存科学，46，85-94(2006)
- 11) 田中仁(他)：医用放射線技術実験-基礎編 第3版，152-155 共立出版株式会社(2003)
- 12) 田中仁(他)：新・医用放射線技術実験-基礎編，183,184-187，共立出版株式会社(2004)
- 13) 長瀬産業(株)コダック製品事業部(訳)：エックス線フィルムのセンシトメトリー，p.27，日本コダック(株)(1965)
- 14) 内田勝監修：放射線画像工学，73-79 オーム社(1986)
- 15) ISO5-3：Photography-Density measurements-Part3：Spectral conditions(1995)
- 16) ISO5-2：Photography-Density measurements-Part2：Geometric conditions for transmission density(2001)
- 17) JIS Z4916：Test charts for resolution characteristics of X-ray equipment(1997)

キーワード：透過X線撮影(Radiography)；マンモグラフィ用X線フィルム(Orthochromatic film for mammography)；蛍光増感スクリーン(Intensifying Screen)；解像度(Resolution)

The Characteristic Curves of an Intensifying Screen in Radiography

Tomohide MATSUSHIMA* and Sadatoshi MIURA

A characteristic curve is the graph that represents the relation of light quantity irradiated to a film. Determination of the characteristic curve is essential for a quantitative evaluation of radiography as is X-ray film radiographic imaging process. Plotting the density measured against the log of exposure given makes a typical X-ray film characteristic curve. The shape of the curve represents the contrast response of the X-ray film to a wide range of exposures. When it is not practical to generate the entire curve through a variation of a single exposure parameter, bootstrap methods can be used.

By using a screen with a film, X-rays that pass through cultural properties are converted into light, thus permitting the film to be efficiently exposed to the light. Through the use of an intensifying screen, the quantity of X-rays is reduced. In this study the characteristic curves of a film with an intensifying screen were measured. As a result, fine density was obtained for the screen in irradiation time of 5 sec.

The authors conclude that a screen provides a wide range of characteristics in a short time. Usually, only films have so far been used for radiography, but when a screen is used, it not only shortens time drastically with precision but also produces radiographs of a higher contrast.

*Graduate School of Conservation for Cultural Properties, Tokyo National University of Fine Arts and Music

