

エミシオグラフィ撮影用代替フィルムとしてのRO-100の特性

三浦 定俊・松島 朝秀

1. はじめに

エミシオグラフィ（光電子撮影法）は、X線を照射したときに物質から発生する二次電子（光電子）をとらえて画像とする手法で^{1,2)}、壁画や板絵のように厚みのある支持体に描かれた絵画³⁾や刀の峰にある象嵌⁴⁾などのように、通常の透過X線撮影を適用することが困難な場合でも撮影できることから、それらの調査に利用されてきた。エミシオグラフィでは透過X線のように対象内部の構造すべての情報が得られるわけではなく、ごく表面近くの情報しか得られないが、かえってそれによって表面のみの彩色や絵筆の動きなど知ることができるので、近年修復の現場でも従来の透過X線撮影に加えて利用されるようになり、エミシオグラフィによる新しい発見が報告されている⁵⁾。

エミシオグラフィの撮影には現在PB-100と呼ばれるフィルムを用いているが、このフィルムが市販されなくなったので、それに代わるフィルムを選定することを目的としてこの研究を行った。

2. エミシオグラフィ用フィルムの条件

エミシオグラフィの撮影方法は、被写体の前面にフィルムをおいてX線を照射し、被写体から発生する二次電子でフィルムを感光させる。この時、フィルムの感光体である臭化銀は30keV前後のX線によっても感光するので、低エネルギーのX線を除去するために錫などでできたX線フィルターを用いる（図1）。

使用するフィルムは次のような性質を持っている必要がある。

- 発生する二次電子の量はごくわずかなので、光電子に対する感度が高いこと
- 照射する管電圧200kV前後のX線によってフィルムがかぶることがないように、高エネルギーのX線に対しては感度が低いこと
- 可視光線によってフィルムが感光しないように撮影は暗室中で行われるが、資料取り扱いのために暗室光が利用できること
- 被写体の凹凸があっても密着できるよう、フィルムは薄くしなやかなこと

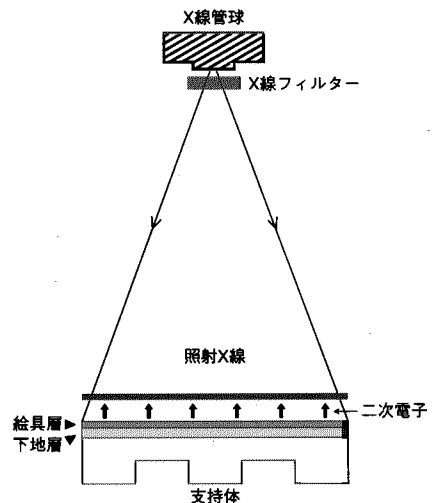


図1 エミシオグラフィ撮影の概念図

最初の二つの条件から考えて、一般に用いられているX線撮影用のフィルムはエミシオグラフィには適していない。特に工業用X線フィルムは、高いエネルギーのX線に対する感度を高くするために臭化銀を増量した乳剤を両面に塗っているのので、エミシオグラフィの撮影には不向きである。ただし現在販売されていない軟X線用フィルムFGは、片面乳剤で厚みが薄く、高

いエネルギーのX線に対する感度も低かったので、エミシオグラフィ用フィルムとして初期に使用された。

FGフィルムが発売中止になり、その後使用されるようになったフィルムがPB-100である。これは電子写植用フィルムで赤色光には感じないので、暗室用のセーフティライトを用いて撮影ができる。またフィルムの厚みが0.1mmで、FGの厚み0.15mmに比べて薄くしなやかで、被写体に凹凸があってもその形になじんで密着させられるなどの利点があった。

PB-100の販売停止に伴い、それに代わるフィルムで上の4つの条件にかなうものとして、印刷用のリスオルソフィルムRO-100を選定し、その性能を従来使用していたフィルムと比較した。

3. 実験方法

RO-100で顔料試料を撮影し、同じ試料を同じ条件で撮影した以前のデータと比較した。撮影した顔料試料は二種類で、黄土 ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, SiO_2 , Al_2O_3 など)、岱緒 (Fe_2O_3 , SiO_2 , MnO_2 など)、岩緑青および白緑 ($\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$)、岩群青および白群 ($2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$)、丹 (Pb_3O_4)、朱 (HgS)、金箔 (Au)を膠で溶いて和紙に塗り、 $2 \times 5 \text{ cm}$ ほどの短冊形に切って、杉板に張り付けまたは金箔の場合は直接膠で杉板に貼って試料としたものである(写真1)。試料の絵具層の厚みは岩緑青や岩群青では粒度が粗いために大きくなるが、おおよそ0.01～0.04mmである。顔料層にX線があたることによって発生する二次電子は、表面にでる前に顔料層による自己吸収を受ける⁶⁾。このため顔料層がある一定の厚さを超えると、顔料層から放射される二次電子の量は変わらなくなり、そのためフィルムの黒化度は元素の種類だけによって、厚みに依存しない^{注1)}。この厚みは元素によって変わるがここで用いた試料の顔料層の厚みは、その飽和厚みを超えている。

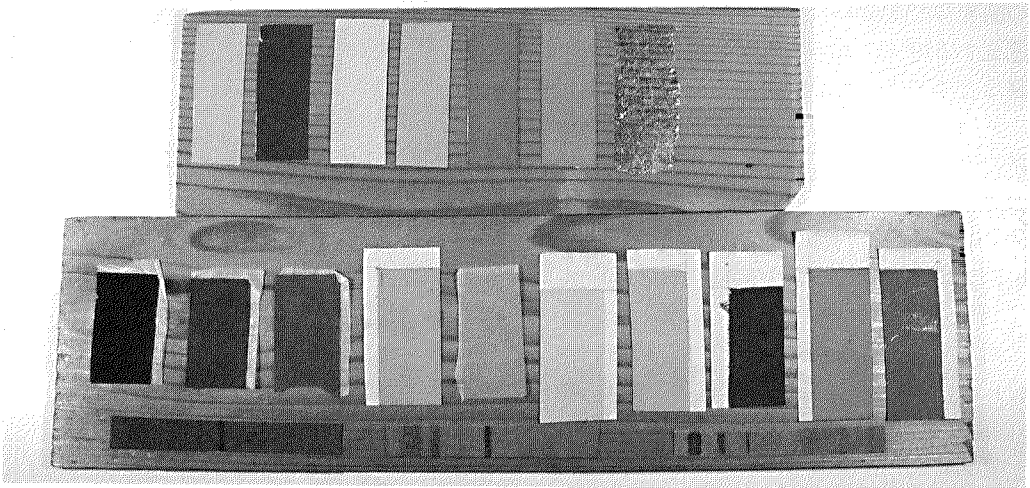


写真1 撮影に用いた顔料試料
 (上, 左から右へ)黄土, 岱緒, 白緑, 白群, 朱, 丹, 金箔
 (下, 左から右へ)酸化第二銅, 酸化第一銅, 群青, 白群,
 緑青, 白緑, 黄土, 岱緒, 丹, 朱(酸化銅は参考試料)

撮影したフィルムの黒化度は、透過濃度計で各顔料に対応する部分の濃度を読みとった。撮影と測定の内容は次の通りである。

注1) 実際の黒化度には、顔料の密度および顔料とフィルムの接触の良否も関係するので読み取りにはその点も考慮する必要がある。

撮影条件

- X線装置：フィリップス MG325
- X線管球：フィリップス MCN322 (定格 320kV)
- X線管電圧：200kV, 220kV, 240kV
- X線管電流：5 mA
- 照射距離：1 m
- 照射時間：10分または5分
- X線フィルター：錫板 3 mm厚み

現像条件

- 現像液：X線フィルム用現像液レンドール (20℃) 5分
- 定着液：フジフィックス 10分

測定条件

- 透過濃度計：X-Rite331 白黒透過濃度計
- 測定スポット径：2 mm φ

4. 結果と考察

RO-100の今回の測定結果と、以前に測定したPB-100および軟X線用フィルムFGの測定結果をあわせて図2に示す。評価の方法は、黄土、岱緒、緑青、群青のように比較的軽い元素を含む顔料と、朱、丹のように重い元素を含む顔料との間に、どれだけ大きな黒化度の違いがあるかを見ることによって行った。

図2で比較すると、代替フィルムとして選定したRO-100はPB-100、FGとほぼ同じ結果が得られている。朱や丹と比べて金箔の黒化度が低い理由は、金箔の厚みが約1 μm程度と他の絵具層に比べて十分の一以下と薄く、先に述べた金の飽和厚みに達していないために、発生す

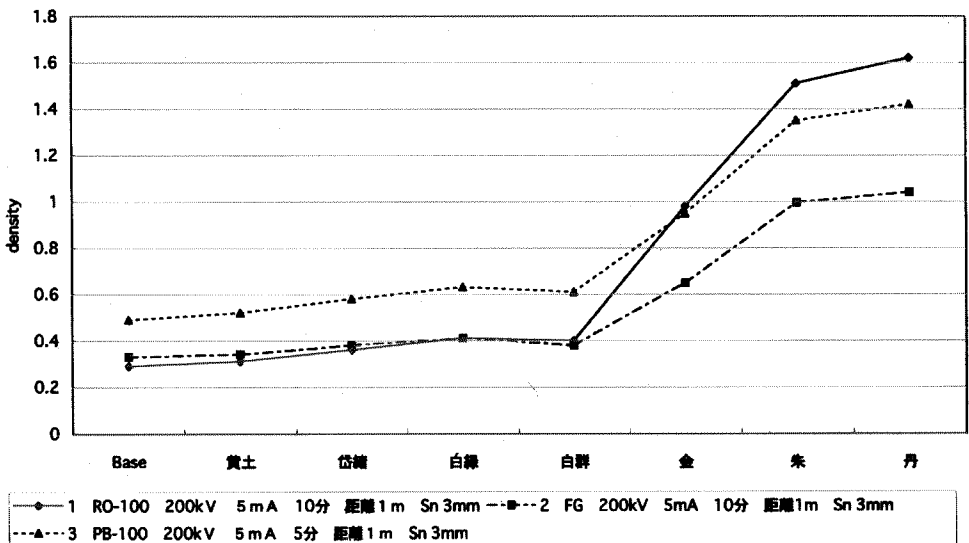


図2 フィルムによる黒化度の違い

る二次電子の量が少ないからである。

さらにRO-100について管電圧を変えて測定した結果が図3である。先の研究⁶⁾で明らかにしたように、二次電子は原子核に束縛されている束縛エネルギーを超えるエネルギーを与えられたときに放出されるが、照射するX線のエネルギーと束縛エネルギーとの差が小さい内は、発生した二次電子が顔料層で自己吸収されて表面にでてくる量は少ない。逆に照射するX線のエネルギーが大きすぎても二次電子を発生する効率（光電効果）が小さくなるので、二次電子の量は少なくなる。このため二次電子を発生させるために最適なX線のエネルギーが存在して、鉛の場合180～190keVのX線を照射したときに表面で検出される二次電子の量はもっとも大

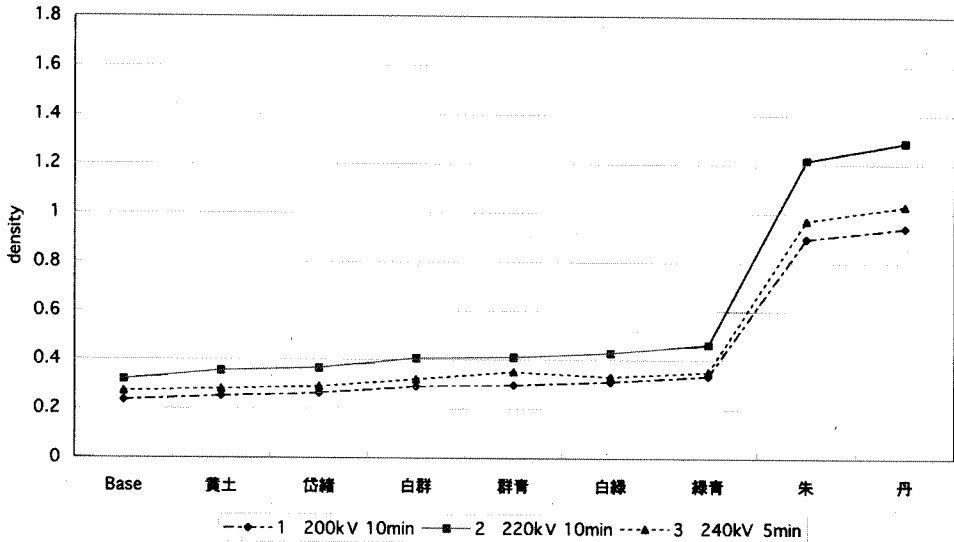


図3 X線管電圧による黒化度の違い

きくなる。

X線管球からは管電圧以下の連続したエネルギーのX線が放射されていて、190kVよりも高い電圧をかけなければ180～190keVのX線を効率よく発生させることができないので、200～240kVの管電圧を用いて撮影する。図3を見ると200kV、220kV、240kVでほぼ同等の結果が得られているが、詳細に見ると220kVの管電圧を用いたときに、軽い元素と重い元素の間に最も大きな濃度差がでる傾向がこの実験では得られている。

5. ま と め

従来エミシオグラフィ撮影に用いてきたPB-100フィルムに代わるものとして、印刷用のリスオルソフィルムRO-100を選定し、その性能をPB-100および当初使用していた軟X線用FGフィルムと比較した。結果はこれまでのフィルムとほぼ同等の結果が得られた。また撮影条件として今回の実験条件では、220kVのX線を用いたときにもっとも良い結果が得られた。RO-100は四つ切りだけでなく半切に相当する大きさのシートフィルムも市販されているので、大きな画面の絵画に対して少ない回数で撮影できる点が利点である。今後の課題としては、印刷はフィルムを用いなくてコンピュータから直接印刷する方式に移行しつつあって、フィルムに対する需要が少なくなっているために、今回選定したRO-100も将来また生産が停止される可能

性がある。そのためフィルムに変わるエミシオグラフィのための画像検出方式を検討していく必要がある。

本研究は平成14年度文部科学省科学研究費補助金特定領域研究「江戸のモノづくり」によるものである。

引用文献

- 1) C.F.Bridgeman,S.Keck,H.F.Sherwood: The Radiography of Panel Paintings by Electron Emission,Studies in Conservation,3,175-182(1958)
- 2) 三浦定俊:エミシオグラフィの黒田清輝画油絵調査への応用,古文化財の科学, 30, 21-27 (1985)
- 3) 秋山光和, 柳沢孝, 山崎一雄, 三浦定俊:『平等院大観』, 第3巻(絵画), 岩波書店, (1992)
- 4) Miura, S., Sano, C., and Tanaka, C., : Scanning a Silver Sword, Museum International, 46 (39) , 13-15 (1994)
- 5) 大山昭子:修理報告 一遍上人絵伝, 『修復 7』, 岡墨光堂, pp.6-28 (2002)
- 6) 三浦定俊:X線による二次電子放射を利用した壁画技法の調査, 第6回センシングフォーラム予稿集, pp.25-30 (1989)

キーワード:X線 (X-ray) ;エミシオグラフィー (emissiography) ;フィルム (film) ;顔料 (pigment)

RO-100 as an Alternative Film to PB-100 for Emissiography

Sadatoshi MIURA and Tomohide MATSUSHIMA

A film of PB-100 has been used for the emissiography because it is highly sensitive to the second electron emitted from a pigment layer although it is low in sensitivity to high energy X-ray. The film is also useful as it is thin enough to fit the surface of an object. Since the company that used to make the film stopped its production, the authors tried to find an alternative film. The orthochromatic film of RO-100 used for printing was examined. Color strips painted with various pigments like *ohdo* (yellow ochre), *taisha* (burnt sienna), *rokusho* (malachite), *gunjo* (azurite), *shu* (vermillion), *tan* (minium) and gold foil were photographed by emissiography with different films (PB-100, RO-100 and FG) and with different X-ray volcages (200kV, 220kV and 240kV). The RO-100 film discriminated pigments composed of heavy elements such as lead, mercury and gold, from those of light elements by the large differences in film density. In this experiment the X-ray of 220kV gave slightly better results than those of 200kV and 240kV. The authors conclude that the film RO-100 can be used an alternative to PB-100 for emissiography.