

レントゲン線の新たな応用

Eine neue Anwendung der Röntgenstrahlen

Faber A. Umschau. 18:246-53, 1914

X線が発見されて以来18年、着実にその応用領域が拡大している。その多面的な応用力を考えると、絵画の領域に応用されていないことは驚くべきことである。X線は近寄りがたく実りの乏しいものと思われているか、あるいは既にこの領域に立ち入ったとしても絵画、特に油彩におけるX線応用の意義を知ることができないでいるのかも知れない。

油彩にX線を当てると何がわかるであろうか？適切なX線管球を使用すれば、被写体の素描のような像が得られる。X線像は絵画の写真に似ているが、似ているのは1点のみである。色彩の輝度は大きく変化し、輪郭も必ずしも同じではなく、汚い斑や線により全体の印象が大きく異なったものとなる。このような現象の原因については、いくつか説明が必要であろう。

人体のX線撮影で、筋肉に囲まれた骨、肺野の心臓、腎の結石などがうつるが、これは密度の差によって可能になるもので、X線乾板に到達するまでのX線の通過経路上の不透過性の差が輝度差として表現されるためである。この観点からいうと、X線透過性が異なる、すなわち異なる色を有しているという点で、油彩も人体と変わることろはない。人体における骨、筋肉、含気組織と同じく、絵画では高濃度、中濃度、低濃度の絵の具がX線写真のコントラストを作る。絵の具においても、X線不透過性を決定するものは、基本的に含有元素の原子量である（重い順に、鉛、水銀、亜鉛、鉄、アルミニウム）。しかし油絵の具の油脂含有量、すなわち色素の稀釀率は大きく異なる（12～240%）、この関係は複雑である。絵の具の比重も、必ずしもX線透過性を決定するとは限らない。例えば、絵の具の主成分の原子量が特に大きいと、X線透過性がその比重から予測されるよりも低下することがありうる。

このような状況を考え、油絵の具のX線不透過性と輝度の関係に多少の修正を加える必要がある。このために、ほぼ同一のメーカーの絵の具を、約1/2mm厚でできるだけ均等にチョークボード上のキャンバスに塗布した「標準絵の具」を用意した。図1は、色見本を乾燥させた後に撮影したX線ネガである。図2には比較のため、同じ色見本と同じ順番で写真に撮影したものである[1]。表には、色名と（著者が計測した）比重、含まれる重い元素の原子量を示した[2]。X線の濃度スケールをみると、なお多少の前後はあるものの、同じ厚さの大きく異なる色がX線では同じ濃度になること、

またしばしばX線濃度は写真の濃度と異なることがわかる。ここでは前述のように、X線ネガと写真のポジが、比較しやすいように並べられている。写真上の輝度には大きな差異があるにもかかわらず、X線では不均等に輝度が大きく低下することがある（特に色の再現性に問題がある明るい赤の4番、9番）。このX線と写真の類似性を予測できないことから、両者のカラースケールを比較できるという点は非常に重要である。図1のようにX線学的には、白、黄、赤（植物性のインディアンイエロー、アリザリンを除き）は最も明るく、緑、茶は中等度、全体に青、黒は透過性が暗い。

隣り合う色は、同じ厚さであっても、X線的には互いに大きく異なることが明らかである。しかし、色が上下に重なっている場合はどうなるであろうか。実験結果は、理論的な結果を裏付けるものであった。すなわち濃い色が薄い色の下にある場合、X線は（筋肉の中の骨と同様に）濃い方の陰影を示す。濃い色が薄い色の上を覆っている場合は、有意の陰影をつくらないため見えない。一般に、複数の色の不透過性は加算されてX線乾板に表現される。低（25～30）ないし中等度（15, 16）X線濃度を高X線濃度（1～5）にするには、4倍以上の層の厚さが必要で、2～3倍でも高濃度との差はなお大きいものとなる。この事実は油彩のX線写真の評価には非常に重要で、元の画像とX線写真を比較できる可能性を高めるものである。さもないと、絵の具の層の厚さの変化により、前述のような滑らかなX線濃度の段階が大きく変化するからである。最後に画家は、暗い部分を明るい部分よりも薄く塗り、特に光の部分を厚く塗るものであるが、これによって既に高濃度の白、黄色、白との混色の部分がより一層強調されるようになる。

以上の説明から、X線写真と通常の写真の違いは明らかであろう。通常の写真には、絵の表面しか写らないが、X線は全層を透過するので、各点における全断面の投影像を描出する。X線写真には、特にキャンバスの構造、木目なども絵の下地も写っているが、厚紙表面のニスは透過性である。

このような色彩、絵画のX線検査の意義は何であろうか。絵画そのものに答えを求める。著者が初めてX線検査した絵画は、17C初頭のイタリア作とされているルクレチアの絵であった（図3）。この方法によって未知の芸術家の名前を発見できるかもしれないと考え、絵をレントゲンで撮影した。名前は発見できなかったが、油彩のX線写真をより詳しく研究しようと思い立つきっかけとなった。しかしその前にこの絵の色彩

1. 黄色フィルター併用、赤黄色感受性の乾板を使用

2. Linke-Adam. Die Malerfarben, Mal- und Bindemittel. 3. A, 1913

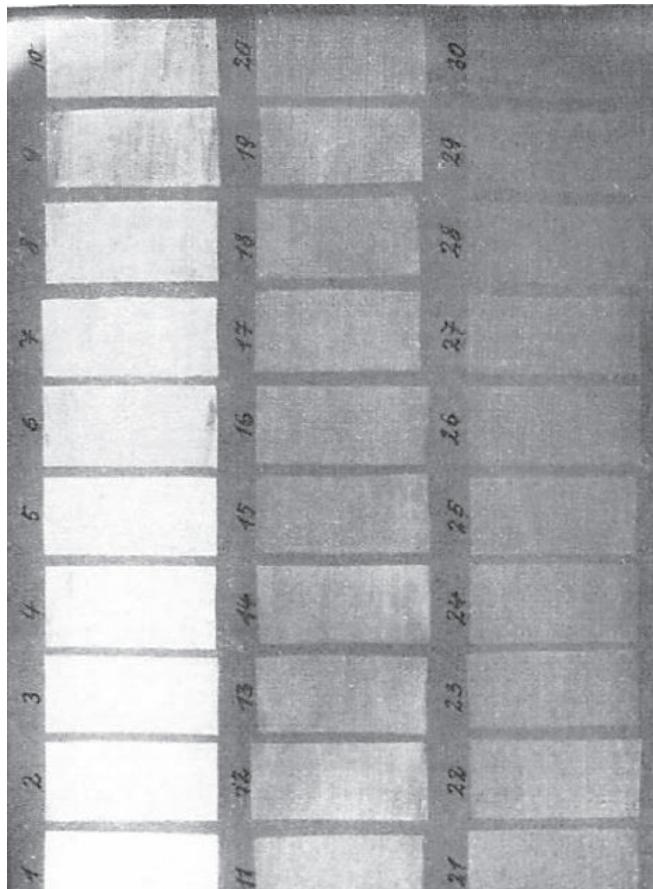


図1. 色見本(図2)のX線写真

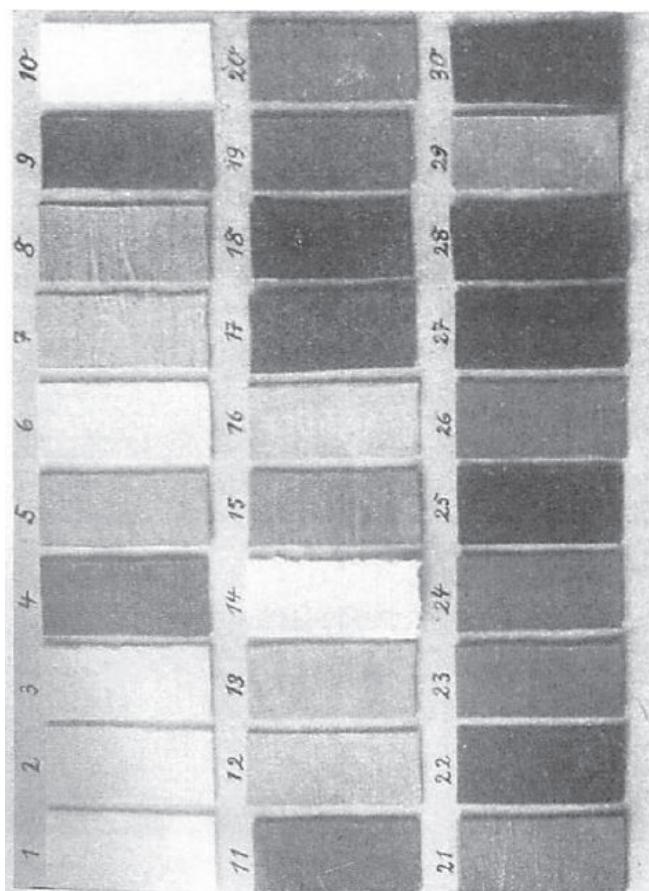


図2. 色見本

| | 油絵の具の色名 | 比重 | 含まれる重い元素の原子量 |
|----|-----------------|-----|-----------------------------------|
| 1 | 鉛白 | 3.9 | Pb 205.4 |
| 2 | ネーブルスイエロー(ディープ) | 3.5 | Pb 205.4, Sb 119.2 |
| 3 | ネーブルスイエロー(ライト) | 3.5 | Pb 205.4, Sb 119.2 |
| 4 | 辰砂 | 3.2 | Hg 199, S 31.8 |
| 5* | 鉛丹 | 3.0 | Pb 205.4 |
| 6* | クロムイエロー(ディープ) | 2.8 | Pb 205.4, Cr 51.6 |
| 7* | クロムイエロー(ライト) | 2.7 | Pb 205.4, Cr 51.6 |
| 8 | コバルトグリーン(ライト) | 3.1 | Zn 64.8, Co 58.5 |
| 9 | カドミウムレッド | 1.9 | Cd 111.5, Se 64.8 |
| 10 | 亜鉛華 | 2.1 | Zn 64.8 |
| 11 | カーディナルパープル(ライト) | 2.2 | Fe 55.4 |
| 12 | カドミウムオレンジ(ディープ) | 2.0 | Cd 111.5, S 31.8 |
| 13 | クロモキシドグリーン | 2.2 | Cr 51.6 |
| 14 | カドミウム(ライト) | 1.6 | Cd 111.5, S 31.8 |
| 15 | オーカー(ディープ) | 1.9 | Fe 55.4 |
| 16 | オーカー(ライト) | 1.9 | Fe 55.4 |
| 17 | バートアンバー | 1.8 | Fe 55.4, Mn 54.5 |
| 18 | バートグリーンアース | 1.6 | Fe 55.4, Si 28.1 |
| 19 | キプロスアンバー | 1.6 | Fe 55.4, Mn 54.5 |
| 20 | シエナ | 1.5 | Fe 55.4 |
| 21 | クロモキシドグリーン(ライト) | 1.5 | Cr 51.6 |
| 22 | バントシエナ | 1.5 | Fe 55.4 |
| 23 | コバルトブルー(ディープ) | 1.5 | Co 58.5, Al 26.9 |
| 24 | グリーンアース | 1.5 | Fe 55.4, Si 28.1 |
| 25 | パリブルー | 1.3 | Fe 55.4 |
| 26 | コバルトブルー(ライト) | 1.5 | Co 58.5, Al 26.9 |
| 27 | アイボリーブラック | 1.4 | Ca 39.7, P 30.8 |
| 28 | ウルトラマリン(ライト) | 1.5 | S 31.8, Si 28.1, Al 26.9, Na 22.8 |
| 29 | インディアンイエロー | 1.3 | Mg 24.1 |
| 30 | アリザリン | 1.1 | Al 26.9 |

* 標準色外



図3.「ルクレチア」。17世紀初頭のイタリア人画家の作とされる。原画の写真



訳注：本文中ではこの絵の作者は不明とされているが、イタリアのFrancesco del Cairo (1608-65) の工房の作 (<http://www.artnet.com/artists/francesco-del-cairo/>)。論文中の絵とは細部が微妙に異なるが、全体の色調を知る意味で参考に掲載した。

について簡単に述べておく。この絵は、特に胸、肩、頸、腕の肌色が生き生きと描かれている。指はより黄色が強く、垂れ下がる指はやや赤みがかっている。致命傷を受けた人物は皺のよった褐色のカーテンに倒れ込んでおり、亜麻色の髪と濃褐色の着物にはわずかなコントラストがある。挙上された左手は虚空（黒いもの？）をつかんでおり、右前腕は暗い黄色の覆いがかかったテーブルに支えられている。開いた着衣の黄色がかかった白いフリルの間、厳密に構成された絵の中心に、金青銅色の柄がついた暗い金属が刺さっている。皮膚と着衣にわずかな褐赤色の血痕が見える。この赤は深緑の下着と紐と強いコントラストを成しているが、写真では濃褐色の着衣とほとんど区別できない。右下の角には、さらに深緑の色調が見える。このような色彩の特徴をみた後で図4を図3と比較すれば、X線がいかに絵画を変化させ、歪めているかがわかる。光と影は似ているが、分布は異なり、全体の濃度のバランスが破壊されている。右胸の丸みは、一方から光が当たったような平坦なピラミッド型に縮んでおり、左胸の丸みは奇妙な光と陰のために完全に失われている。全体として著しく奇異な印象であるが、詳しく観察するとさらに個々の違いが明らかになる。ナイフの上の着衣のフリルを見てみよう。フリルは原画（図3）でのみわかり、X線では裂けたように見える。フリルのところにはその代わりに胴衣に線やギザギザが見え、原画で

は最も鮮やかなギザギザだけが見える。しかしX線では、胴衣はどこに行ってしまったのであろうか？そこから不規則な明るい面がひろがり、左側のほとんど変化がないフリルに向けて幅広い帯がのびているだけである。この明るい面はあきらかに、X線で濃い緑の胴衣の位置を占める着衣の一部でしかない。このことは、胴衣の間の白と同程度の明るさであること、また著者の知る限り重ね塗りしたとしても濃い緑色は白ほど明るくならないこと、さらにこの色面と上部の着衣の皺が密接につながっていること、そして胴衣と着衣の輪郭が一致しないことからも明らかである。おそらく、画家は（おそらく白が多すぎると考えて）後から胴衣を上衣の上から書き足したと考えるが、簡単に以下はもっぱら推測で述べる。ナイフ下縁、中ほどの白い線が、（後から塗り足して）ナイフの刃を逆転し、上側に柄をつけた修正か否かは不明である。ちなみに、ナイフの刃はX線写真（図5）の方がやや長くみえる。

次のX線像（図6）では、テーブルの左の角から斜めに走る明るい広い帯があきらかに見え、さらに下方に追うことができる。原画（図7）には、そのいずれも認められない。これが、後から加筆された着衣の皺なのか、あるいは（筆者が考えるよう）もともと描かれていたラフな腕と手の輪郭なのかは不明である。机の角に平行な上部の明るい帯は、原画にも淡く認められ

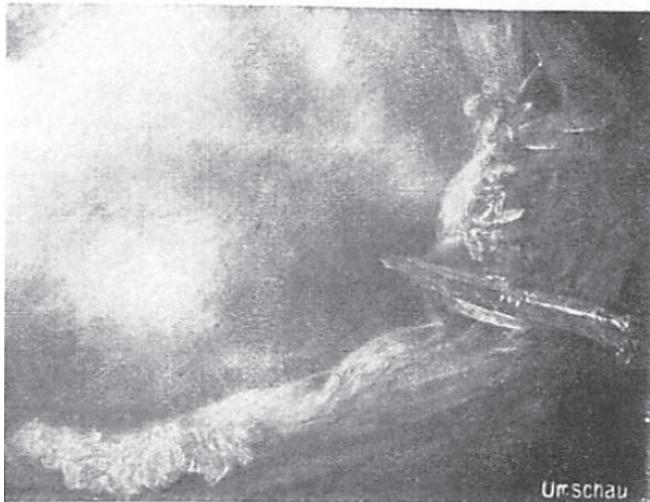
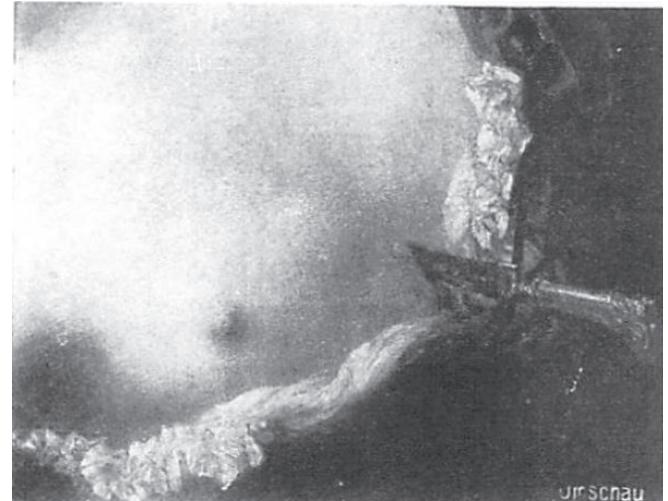


図4(左). X線写真. 図5(右). 原画の写真



原画の写真、図3の拡大像。光と影の分布の違いに注目。さらに暗い胴衣は、X線写真では不規則な明るい領域として見えている。ナイフの上の皺は、X線では不明瞭、不連続である。ナイフの刃は図4で図5よりも長い。

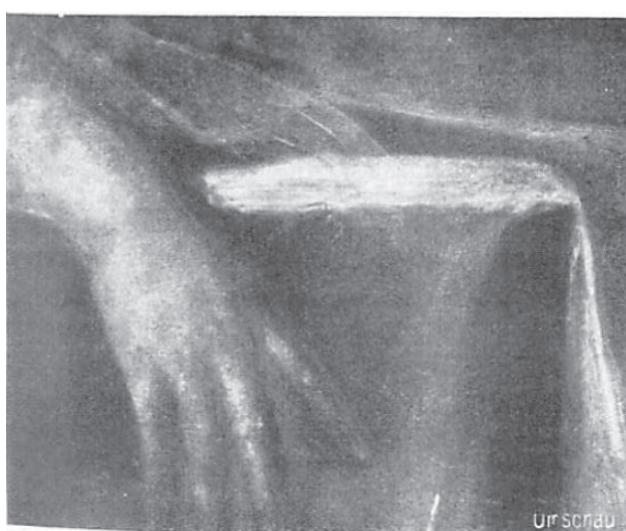


図6(左). X線写真. 図7(右). 原画の写真



図3の拡大像。図6で、左の角からテーブルに向けて斜めに差し込む幅広い明るい帯は、おそらく初めは腕と手の付け根であったものと思われる。さらに、X線写真では、はじめは指が非常に接近していたこともわかる。示指と中指の間に、初めは垂れ下がっていた示指が明瞭に認められる。



図8(左). X線写真. 図9(右). 原画の写真



図3の拡大像。X線写真では、修復前の損傷部分(鼻、口、頬、肩)が明瞭に認められる。

る。テーブルクロスの皺の細かい差異は置いておき、手の指を比べてみる。X線写真では、小指が隣接指により接近しており、指間の明るい斑のためにこれと中指の輪郭は遠位で不明瞭になっている。中指と示指の間には、もう1本別の指の痕跡が見える。X線写真では、明らかに指が互いに接近して、垂れ下がっており、後から間隔が広げられたものである。特に示指は、おそらく作画上の理由から、開いて描かれており、X線写真では初期の構図がより明瞭に見える。



図 10 (左) X 線写真、図 11(右) 原画の写真。C. Sell 作「盜賊」。X 線写真の下縁に、原画ではみえない C の字、右側にやや離れて S の字が見え、両者の間に文字の断片が見える。[訳注:C の字がみえるが、S については雑誌原本でも確認できない。C. Sell は Christian Sell (1831-83) と思われる]

ここで2枚の花瓶に生けたバラの絵をとりあげる(図 12, 13)。この近代絵画は、より強い色彩のため、X線でもコントラストがより良好である。

前掲のX線写真について特筆すべきことは、以前の下書きの詳細が可視化されることである。ここには示さないが、ルクレチアのその他の部分についても、X線写真であきらに原画と異なる部分があり、重要性には乏しいものの、この絵を30年も見ている自分にとっては非常に興味深いところである。100年を経て、画



図 12 (左) X 線写真、図 13(右) 原画の写真。最近の花の絵。濃い色が使われているため、X 線写真のコントラストはより明瞭である。



家の仕事を個人的な観点から、あたかも仕事をしているところを目前にしているかのように、絵画から新たな素材を得ることが可能となったのである。我々は夢想の領域を廃して、X線が浮かび上がらせた作品のこれまで未知であった部分、上塗りされた部分に新しい命を与えることができる。例えそれが表面に見える画像と相反するものであったとしても、画家が何らかの理由で永遠に隠蔽した（と自身は信じた）画像の全貌がベールに隠されたカーテンの暗闇の中から現れるのである。しかしこのような夢想がいかにどこまで実現するかは未来に託すこととして、今一度ルクレチアに戻ってみよう。図8、図9をみると、新たな視点に立つことになる。まずこの絵は、20年前に修復されていることを述べておく必要がある。改修の痕跡は、その後の変色の結果、特に頭部、肩に認められる（原画でも一部見える）。X線写真（図8）では、経年変化による劣化がルクレチアの顔（鼻、口、下顎）に明らかである。修復にもかかわらず、X線では驚くほど明瞭なのが塗りの剥げた部位である。原画との比較に使用した簡単な光源（32カンデラの金属フィラメントランプ）で、X線ほどはっきりしないまでも、多くの例でこのような部位が見えることがわかった。しかしX線では他と異ならず、この方法では可視化できない部位もあった。肩の長い裂け目は、修復によってX線で多少不明瞭になっており、通常光ではみえないことは、このことからほとんど自明の理である。X線写真で非常に良くわかるように、これを除去するために濃い色が重ねられているが、X線を欺くことはできなかった。おそらく画家は、修復に皮膚の色に重い鉛白を使用しなかつたか、少量しか混ぜなかつたものと思われる。さもなければ、X線でも裂け目が埋められて見えるはずだからである。ただし、耳の上有る2ヵ所のように、これが過剰にならないかは疑問である。いずれにせよ、X線は後世の修復を知ることができる優れた補助方法と考えられる。もちろん、これが本人によるものか後世の画家によるものかという点について、（今回の剥離についてはこれにあたらないが）個々のケースで議論のあるところであろう。X線写真の首の2本の線は、原画では1本しか見えないが、この修正は20年前の修復の際に行われたものと思う。（この体格の良いモデルでは、頭部を強く後屈した状態で、首の線と顎がほとんど重なるほどであった可能性が高い）。この点は、当時修復にあたった画家にしか分からぬものである。上唇は、以前はもっと長かったことがX線写真からわかる。その他の違い（目、腋窩）については、これ以上立ち入ることとする。

ルクレチアについては、画家の名前を探したが見つからなかった。手のX線写真を見て気付かれた方もあると思うが、小指の右側に特徴的な像があり、偶然の産物とは思えないことから、一見したところ文字を発見

できるかと期待した。しかしその後、解釈を変えることになり（もともと描かれていた筆筒の金属部品の類）、期待に沿うものではなかった。おそらくこの絵にはそもそも署名がされていなかったようで、この絵では名前を発見できなかったが、幸いなことに別の絵では、求めずして署名を発見することができた。右下の角に、小さな赤い字で画家の名前 C. Sell が既に描かれていたためである（原画の写真ではほとんど見えず、X線でもわずかに見える程度であるが、これも複写では失われている）。しかしこの署名の左側、かなり離れたところに、原画を比較しても何も見えないが、X線画像の下端に明らかな署名があることに気付いた。ここには C の字と、少し離れて S の字が見て取れ、画家の名前のイニシャルとわかった。この2文字の間に、3文字目あるいはその一部と思われるものがあったが、意味をなさなかった。画家は最初、この位置に大きな字で署名し、その後おそらく修正したものであろう。そして全体が気に入らず、文字も大き過ぎることから、文字の上に背景の褐緑色を塗り、角に小さな文字であらためて署名したのである。このように、上塗りされた署名もX線で復元できることがわかる。上塗りが薄く、隠れた文字が濃いほど、署名の発見は容易である。この1cm厚の古いオーク材に薄く明瞭に描かれた画像から、X線学的にはこれ以上の情報は得られなかった。しかし、穏やかな夕空は、X線では非常に落ち着きのない空にうつっている。その多くは、明らかにわかるように木目によるものである。おそらくまず初めに、右上に白い大きな雲があったと思われる。盗賊の首領（おそらく右手はもともと少し高い位置に描かれていたと思われる）の頭上にみえる2つの明るい部分は、X線撮影のときに付けたテープであることを述べておかなくてはならない。従って、絵画の裏面は慎重に清掃して、不純物が画像に写り込まないようにする必要がある。ここに示したX線写真から、X線がいかにユニークな油彩の同定方法であるかがわかる。貴重な絵画（あるいはその一部）のX線画像があれば、目に見えない層の細かい特徴、目に見えない大小の構図の変化がわかり、由来の証明は非常に容易であり、X線の知識をもってしても鑑別不可能な（X線学的にも）忠実な複製を作ることができるとする。

仮説として、もうひとつの結論をあげておく、詩歌や作曲で初稿で修正箇所が分かるように、絵画でもX線によって修正箇所が分かること多い。初稿が作家の仕事を示すように、絵画でも新たな可能性がある。あたかも、表面に絵画が最後の実現として君臨しているその内部から、スケッチあるいはスケッチの集合体が我々の眼前に示されているようである。模写画家は、複製家と同じように最終版にできるだけ忠実に描くが、絵画ではこれが唯一目に見えるものである。彼らも修正したりや誤りをおかすが、これはまた別の種類である。

絵画の模写では、修正以上の変化を加えることは稀であろうが、他の構図をとることはまずあり得ない。従って疑義のある場合は、X線学的により明瞭、特徴的な変化をオリジナルと考えるべきである。従って、数百年にわたって問題となっているオリジナルか模写かが問題とされている絵画も、X線によって解決される可能性がある。画家の名前をあきらかにするだけでなく、古いものか、特定の画家により最近描かれたものなど、いわゆる絵画の真正性についても、X線によって何らかの情報が得られるであろう。X線によって、画家の画風全般を展望することができ、色彩の特徴がX線でわかることがある。

以上のことから、絵画におけるX線利用は注目に値するものであり、さらに広範、詳細に研究し、発展させる意義のあるものであるといえる[1]。もちろんこの新しい方法は、X線が限られた疾患の診断にのみ利用されているのと同じく、充分検証されている歴史的研究方法との協働が必要であろう。しかし、X線研究が医学全体に刺激的な効果を及ぼしたように、この新しい分野にも豊か結果をもたらすことが期待される。

今後、絵画のX線透視の方法論について詳しい情報を提供してゆく所存である。

1. 筆者はこれまで実際に4枚の絵を撮影した。