

光学調査の目的とその手法について

東京文化財研究所 城野 誠治

日本では文化財保護の見地から情報の取得は非破壊、非接触で行うという原則がある。構造的にも繊細な絵画作品は、取り扱いにも細心の注意を払わねば現状の維持も容易ではない。作品の調査は様々な情報を捉える為に重要であるが、調査手法がたとえ非破壊によるものであっても、作品の保護、保存という見地では相反する問題を孕んでいることは否めない。文化財の保護を前提としない調査は妄りに行うことを避けるべきである。

本書に掲載した共同研究による情報の取得は、X線透過撮影（奈良国立博物館による）を除きすべてデジタル記録によって行った。調査によって捉えた成果は単に過去の資料を補完する為ではなく、作品の有り様をさらに理解を深めるための基本情報の取得と公開を目的としたものである。

情報公開の手段も印刷に限定する事を避け、電子媒体での提供も時代に即応するべき事柄である。しかし、現状ではモニターの色彩表示（カラーマネジメントやカラーワークスペースの違いなど）についても、ようやく印刷の色が再現できるモニターが市販されるようになったばかりで、価格的にも高価でありとても身近なものとは言い難い。業務レベルで利用出来る広色域表示ディスプレイについても、開発や規格の制定が行われ始めたばかりである。

先頃制定された xvYCC (IEC61966-2-4) では可視領域のすべてが表示できるところにまで色域が拡大されたが、誰もが印刷に置き換わる色を画面からみられるようになるまでには、なお時間を要するであろう。

この調査で捉えているデジタル情報は、演算処理を加える事で新しい規格にも十分に対応出来るので、近い将来電子媒体による画像情報の公開が為されるであろう。

以下に記した簡略な手法の解説は図版に付した解説と共に、画像として捉えた情報を読み解く手掛かりとして参照して頂きたい。

手法の解説

カラー画像〔挿図1参照〕

物質が、光の波長により反射率、屈折率、透過率の違いを有する特性に注目し、色料などの微細な粒子に的確に光を照射することで、情報として見逃してしまいがちな微量な透過色をも反映させ、豊かな色彩を視覚的に再現し、表現手法の解釈に寄与する画像の形成を行っている。

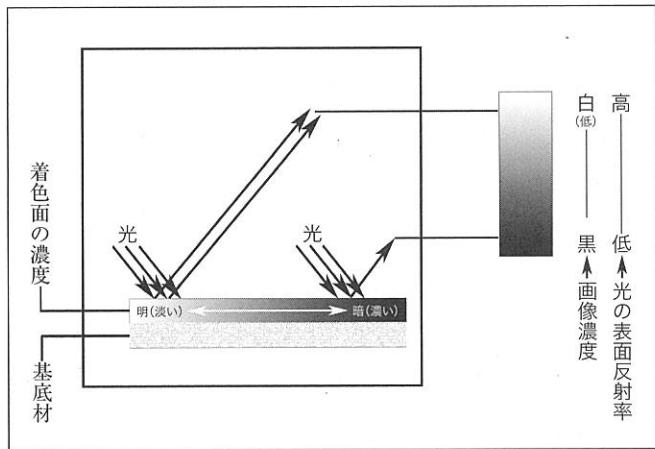
照射する光の方向や角度は、作品の状態や表現に関わる色料の粒度や成分構成など様々な要因を解釈して決めなければならない。絵画の場合は状態の有り様が一樣ではない為、作品に応じた捉え方をしなければ色彩などに見られる特徴も正確に把握できない。

絵画表面の反射率は、媒体の素材や付着する色料等の持つ屈折率など様々な要因の影響を受けるため、記録された画像には物質の反射率に比例した濃淡として光の分量が反映されるのである。挿図1では色の情報を廃して濃淡の差によってどのようなことが検証されるかを示している。

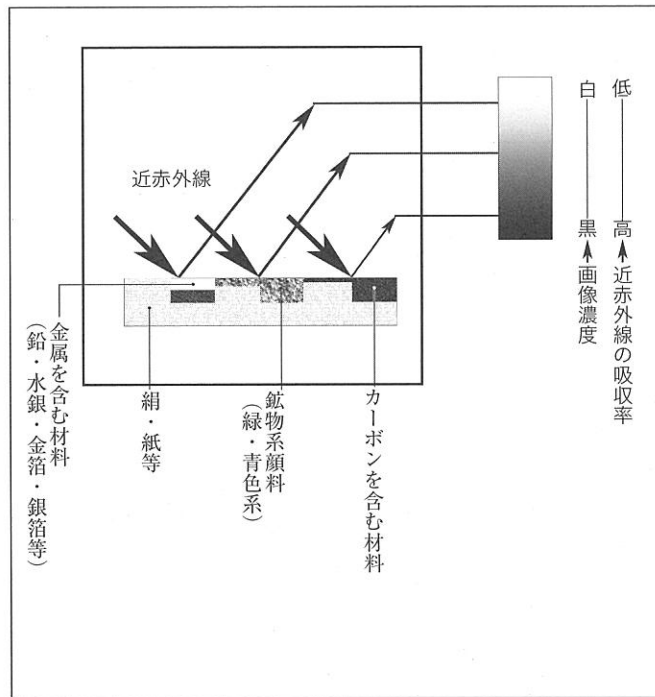
透過X線画像〔挿図2参照〕

X線は電磁波であり、軟X線(0.1nm～10nm)硬X線(0.001nm～0.1nm)に区分される。本書に掲載した透過X線画像は、奈良国立博物館が軟X線発生装置を用いて行った結果である。X線は物質に対する透過性が高いという性質を利用して、立体作品の構造調査などに多く利用されている。絵画のような平面作品でも、色料やその厚みによって吸収されるX線の量に違いが生じる為、捉えられる画像濃度にも差が生まれる。この差を感光体で記録し、使用されている色料やその厚みの差異を検証する資料として用いられている。

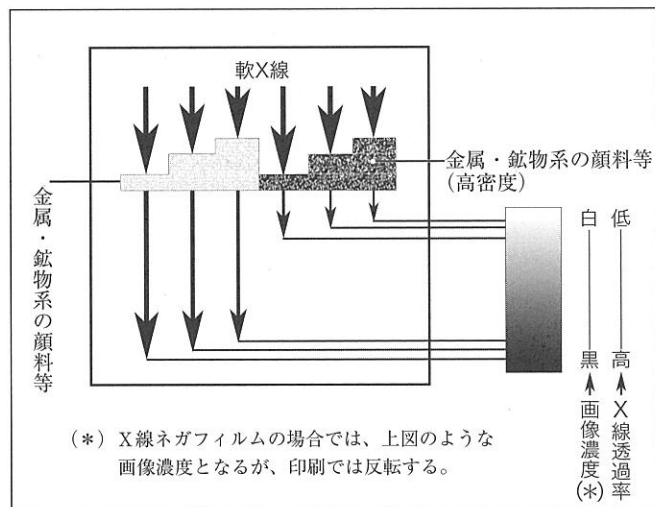
透過X線画像は対象物の背後にX線感光体を置き(本図ではX線で感光するフィルムを使用)、物質の前方



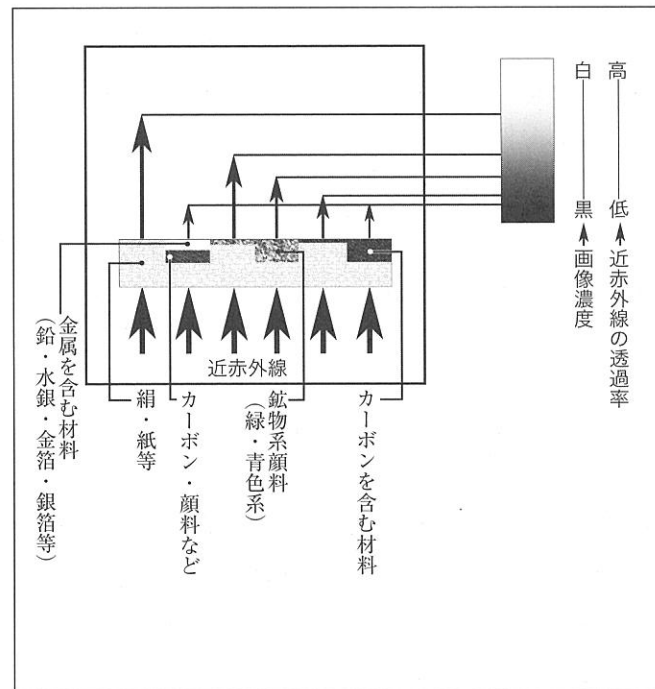
挿図1 通常の撮影



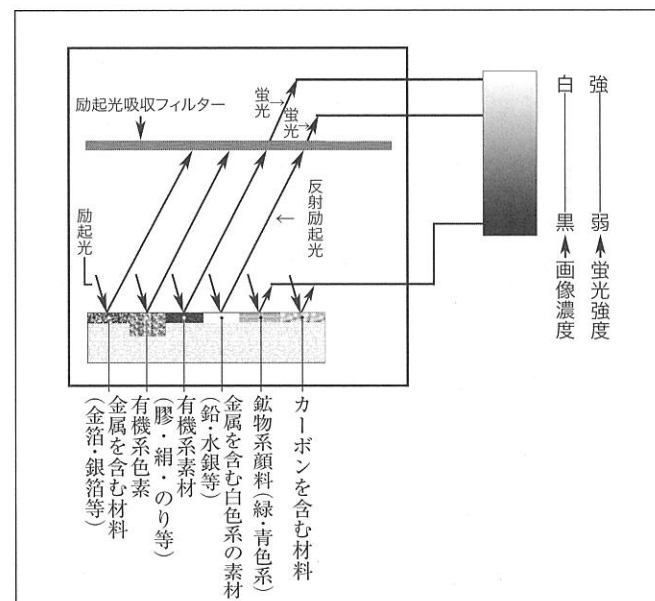
挿図3 反射近赤外線撮影法



挿図2 X線透過撮影法



挿図4 透過近赤外線撮影法



挿図5 蛍光撮影法

より軟X線を照射することによって情報を記録している。軟X線は軽い元素から成る物質を容易に透過し、その為感光体に捉えられるエネルギー量は多くなり画像濃度は高く（画像では黒く）なる。反対に重い元素の物質ではエネルギーが透過しにくく吸収されてしまうため、画像濃度は低く（画像では白く）なる。

軟X線の画像濃度の差異は、先にも述べたように、材料の厚みや濃度の違いだけではなく、材料の違いによっても変化するので、一意の判断ではなく蛍光X線分析など多くの情報を用いて、総合的に評価し慎重に結果を導き出す事を視野に入れるべきである。

近赤外線画像〔挿図3、4参照〕

近赤外線画像は、近赤外線の反射と吸収を、画像濃度の差異として記録する手法である。赤外線は、波長によって近赤外線、中赤外線、遠赤外線の三領域に区分される。本図の撮影では、近赤外線領域（780nm～2500nm）のうち、800nmから1100nmの領域で画像形成を行っている。

近赤外線領域は、ごく限定された波長帯が水分に吸収されるという現象を除き、物質への吸収が極めて少ないという性質があり、文化財ではその波長が示す特性を情報の取得に利点として応用できる。

ここでは、反射近赤外線画像と透過近赤外線画像という二種類の方法により、近赤外線が像を捉えているが、反射近赤外線画像では吸収率が低いという性質を利用し、表面反射率の違いを画像濃度の差異として捉えている。挿図3に示したように、反射近赤外線画像は対象物の表側から近赤外線を照射し、反射されるエネルギー量と吸収されるエネルギー量の比を画像濃度の差として捉えている。これによって目視による観察やカラー画像では同様の色に見える場合でも、材料の持つ固有の反射特性が反射量として反映するため、結果として画像濃度の顕著な差として記録できるのである。

なお、近赤外線画像は、彩色された絵画の下描き

線を可視化するために利用されることも多いが、鉱物系の顔料が下描き線の上に重ねて塗られている場合、エネルギーが吸収されてしまいその情報を捉えることは出来ない。例えば、金属元素を含む白色の色料が表面を覆う場合も、その厚みにも影響を受けることがあるが、近赤外線の反射率は非常に高く、下部に存在する情報はとても捉えづらいものである。一方、有機系色料が上部に塗られている場合は、特定の色素や波長領域にもよるが、有機系色料の大半は近赤外線を透過するため、その下部の情報を捉えられる可能性が高い。

次に、透過近赤外線画像は、対象物の背後に光源を設置し、近赤外線の透過量と吸収量の比を画像濃度の差として捉えたものである。絵画の場合、色料が基底材に対し緊密に塗られているように見えるが、その密度は総じて高くはない。従って、透過する近赤外線の分量は多くなり、遮蔽される吸収体との差が開く為、画像濃度にも顕著な差が見られる。反射近赤外線では捉えることが難しい下描き線やその他の情報も可視化できる。

蛍光画像〔挿図5参照〕

限定された波長領域の光を当てると、蛍光と呼ばれる光を放つ物質の性質を利用して画像の形成を行っている。

物質の中には、ある光の波長に特異的に光を発するものがある。紫外線を励起源とした従来の手法では、定着材である膠などが蛍光反応を示し色料の蛍光反応が得にくい。そのため、可視域内励起光と呼ばれる可視光領域内の波長領域を選択して蛍光反応を捉える方法が有効である。

この手法で得られた画像情報によって、様々な要因により変退色した有機系色料の情報を得ることもできる。無機系色料の場合、励起光の吸収が起こり、結果的に画像では黒く沈んで記録される。一方、有機系色料の場合は、蛍光反応を捉えることが可能であり、得られた画像から材料の視覚的な区別ができる。