

みんなくりポジトリ

国立民族学博物館学術情報リポジトリ National Museum of Ethnology

The Experimental Application of Raking Ultra Violet Ray to the Technical Investigation of Museum Collections

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2010-02-16 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 森田, 恒之 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.15021/00004490

文化遺物における製作技術調査法としての 紫外線側光の利用について

森 田 恒 之*

The Experimental Application of Raking Ultra-Violet Ray to the
Technical Investigation of Museum Collections

Tsunevuki MORITA

Ultra-Violet Ray (UV) and Raking Visible Light are valuable and widely used methods for examining the surface of objects in museum collections. But recording these images requires a high emission energy exposure 15–60 times longer than that demanded by ordinary photography. The use of high emission energy, especially in the case of UV, might be destructive to surface-forming materials. This is one of the greatest disadvantages of these methods. Introduction of the *Vidicon* camera, utilizing a television system, makes it possible to produce in a few seconds images using very weak lighting or low radiation emissions and thus permitting the experimental combination of the above two methods, termed here the “Raking Ultra-Violet Method”. It is possible, using this new technique, to distinguish minute differences of thickness such as are found in printing ink, oil stamp, or color layers, for example. It is known that UV radiation may cause particular fluorescences from some materials. Incorporating this effect with the raking UV technique should increase its potential usefulness in research on museum collections.

はじめに

1. 側光による調査法
2. 紫外線照射による調査法
3. 写真記録
4. 紫外線側光

5. ビディコンカメラ

6. 紫外側光下での映像——印刷インクの厚さ
7. 紫外側光下での映像——仏画
8. 今後の可能性と問題点

* 国立民族学博物館第5研究部

はじめに

1980年に国立民族学博物館の非破壊実験室に導入した、ビデオンカメラ¹⁾利用の広波長域画像処理装置を用いて、近紫外線による側光撮影を試みたところ、いくつかの新しい有用な利用法が見つかったので、概要を報告する。

ビデオンカメラを文化遺物の調査目的に利用する方法は、1960年代中頃に赤外線による映像を得る一手段として開発され、以来この目的を中心に進められている [VAN ASPEREN DE BOER 1966, 1968, 1969, 1974]。とくに写真的方法では得られない波長 1100 nm 以上 (今日の技術では 2200 nm 前後まで) の照明による映像捕獲に利するところが大きい。近年は我が国でもこの赤外線像を利用し、汚染の著しい古画の本来の姿を調べたり、暗黒化した漆型膜に包まれ肉眼ではほとんど読めないような墨書の解読などにかなり広く実用化されている。

紫外用ビデオンはこれまでも工業計測や軍用器機として利用されているが、人文科学の領域での利用法はまだあまり考えられていないのが実情である。

実験は浜松テレビ機製 C1000-13 (撮像管: N983) に画像処理装置を組みこんだものを用い、撮影レンズは旭光学機製紫外用単結晶レンズ UV タクマーを使用した。

1. 側光による調査法

調査しようとする「もの」の表面に対して 5~20° 程度の近いごく浅い角度で光束を照射すると、わずかな凹凸であっても光の当る側とその反対側で明暗の差が大きく拡大されて、通常の光線下では見落している表面状態の微視的な起伏が把握しやすくなる。調査の対象とするものは、表面が概観的に平面であるものに限られるが、箱のように複数の平面で構成されるものや曲率半径が大きく平面に近い曲面には十分に有効である。

この手法は、表面に微細な凹凸を持つ平面の表層状態を観察し、あるいは写真記録する場合に広く利用され、「側光法 raking light method」の名で文化遺物の非破壊調査を行う際の基本的方法の一つとして定着している [RÉUNION DES MUSÉES NATIONAUX (éd.) 1980: pp. 76-77]。側光法は平面に近いほど利が大きいので従来は

1) 半導体に光を当てたときに生ずる電気伝導度の差を利用した特殊な撮像管 (Vidicon) を内蔵したテレビカメラで、低照度でも撮影が可能のために実験用、監視用、工業計測用などに用いられる。

主に美術工芸品、とくに絵画の現状調査に広く利用されて来た。例えば、画家固有のタッチの形の識別、画面に生じた亀裂や剥落の確認、板や布に起る反りやひずみなどの状況確認などには頻繁に用いられる。また最近では考古遺物のうち、土器や石器に残る各種の削条痕や押型痕、刻線などの識別にもかつての拓本に代って用いられるようになりつつあり、また金属のさびの状況確認などにも用途が広がっている。本館の収蔵品の調査でも、既にこの方法によって外見的には損傷の少なかったミクロネシアの神像の彩色塗膜が内部で接着不良になって浮上りを起しているのを見出して処置をとった例をはじめとして、外観で見る彩色の下に古い彩色が残っている仮面の確認などいくつかの有用性を発揮している。

2. 紫外線照射による調査法

紫外線は概ね 200~400 nm の波長帯に属する電磁波からなる不可視光である。文化遺物の調査に使用するものは、主として 365 nm をピークとする近紫外域であるが、時には補助的に 270~280 nm をピークとする領域を使用することもある。近紫外域に属する光線を「もの」の表面に照射すると、油脂をはじめとするある種の物質はその分子構造に起因して特有のリン光を発生し、また表面を構成する物質によっては固有のケイ光を発生するものがある。この方法によって通常光の下では見えない異物の付着や汚染を簡単に識別が出来る。またケイ光の色は「もの」を構成する物質によって異なるから、材質的な差異を確かめたり、みかけ上オリジナルと酷似して仕上げた後補の跡を発見する手段としてもよく利用される。また各物質が発生する固有のケイ光色あるいはリン光色を知ると、ある程度の非破壊的手法による材質分析が視判によって可能になることもある [HOURS-MIEDAN, 1957]。

3. 写真記録

側光、紫外線ともに視判による識別は格別に問題は少ないが、記録として残すには写真によらねばならない。また写真像として画像を固定することにより、精度の高い解読ができることも少なくない。

側光は、通常の方法で正面から照明を与えた場合に較べて、光源までの距離と光源の光度が一定であっても、主たる反射光は、受光器のある正面方向へ進まないために、その照度は著しく小さくなる。照度 E は光源の光度 I と光源までの距離 D との間

に、 $E=I/D^2$ の関係を有する。側光効果は「もの」の面を光軸に平行に近づけるほど効果が大きくなる。「もの」の表面で最も光源に近い点を N 、遠い点を F として、 N 、 F の照度をそれぞれ E_N 、 E_F 、光源から N までの距離を d_1 、 NF 間の距離を d_2 とすれば、 $E_N/E_F=(d_1+d_2)^2/d_1^2=1+\frac{d_2^2}{d_1^2}+\frac{2d_2}{d_1}$ となる。「もの」の幅に相当する d_2 は一定だから、光源と「もの」の間の距離 d_1 を大きくするほど E_N 、 E_F の比は小さくなる。写真的方法で側光効果を映像記録するためには、映像の対象となる平面内の照度はなるべく一様に近い方が好ましく、とくに写真によるときは、照度差が大きいと高照度部か低照度部のいずれかを犠牲にせねばならない。従って、側光による撮影は光源をなるべく遠くし、露光を通常光による場合の15~60倍を与えるのが従来からの標準的方法である。

紫外線撮影もまたかなり低光量で行われる。一般に行われる方法は 30 w 以下のブラックランプを用い、照射距離にもよるが、10~90分の露光を必要とする。感光材は通常のパンクロフィルムを用いるが、感度を上げるためにかつてはガラス乾板を用いて膜面を硫酸で処理し、ゼラチン膜の一部を除去する方法も用いられたが、今日では乾板の入手が困難なうえにこの方法はフィルムの支持体をも損うので実施できない。

紫外線は識別手段としては有用であるが、同時に高いエネルギーを持つために、「もの」に衝突したとき大きな破壊力を「もの」の構成分子に及ぼす。このため分子間の結合力の弱い一部の色素を破壊して退色させたり、セルロースの劣化を促す効果があることが知られており、長時間に及ぶ紫外線照射は最終的には「もの」の破壊に連る。従って必要な紫外線撮影でも、最小光量、最短時間行うのが鉄則である。

4. 紫外線側光

紫外線による側光の利用はこれまでも考えられないものではなかったが、二つの手段とも低光量であり、加えて紫外線の長時間使用は「もの」の安全を損う制約があったために、視判のみによる調査でもあまり利用されてこなかった。

紫外線は可視光に較べて、波長が短く、従ってエネルギー量が大きい。光子エネルギー E は波長 λ に対して、 $E=hc/\lambda$ (ただし h , c は一定) の法則が成り立っているからである。このため、紫外線に照射したときの反射率は可視光の場合より大きくなる。従って照射が当る側と当らない側の明るさの比は紫外線の場合に可視光のそれより大きく、映像的にはコントラストが大となって現れる。つまり紫外線を側光として利用した場合は小さな凹凸でもより識別が行いやすくなる。逆に大きい凹凸は対比が

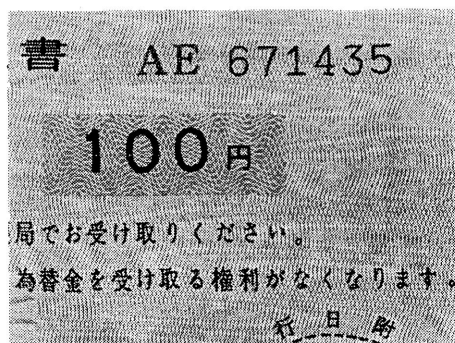
大きくなりすぎて、小さいものを見過したり、あるいは陰の中の変化が分りにくくなる欠陥はあるが、少なくとも可視光によるものと異なるものになることは十分に予想される。

5. ビディコンカメラ

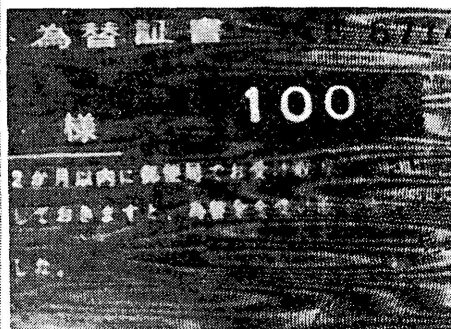
実験に用いたビディコンカメラは、この紫外線像を電氣的に増幅してブラウン管上に可視映像化する装置である。装置内にフレームメモリーおよび演算装置を組込んで、画像をそのまま記憶し、あるいは異なる画像を重ねたり、消去することを可能にしてある。写真的方法ではフィルム面に感光させるために長時間要したが、ビディコンカメラでは調整時間を入れても数十秒で適正な可視映像が得られる。このため紫外線の実照射時間を著しく短縮し、資料保全面での利は大きい。また光量が少なく映像が不鮮明な場合も、記憶された同一画像を数回にわたって装置内で重ね合わせれば、少し荒いが目的次第では十分に使用に耐える映像が得られる。ブラウン管像上の映像はその方法で複写し、またはビデオテープに録画し、もしくは電算機を通して他の演算処理やプリントすることができる。

6. 紫外側光下での映像—印刷インクの厚さ

写真 1a は郵便局が発行している定額小替為の一部である。照明は通常のタングスシテン灯 2 灯を 45° の角度であてている。**写真 1b** は同じものを、普通の紫外線灯で照射撮影したものである。地紋のインクが著しく光を吸収して、可視光のものと比較にならないほど鮮明な映像を見せている。また 100 円の文字は外観は黒の印刷インクを使用しているにもかかわらず、ここでは数字の 100 のみが白く映し出されているこのインクがかなり高い反射を示していることが分る。**写真 1c** は同じ部分を紫外線側光で撮影したものである。入射光の角度が浅いために 100 円の 100 は紫外線の正面光ほどに強い反射は見せないが、この部分にはっきりとレリーフ効果が認められる。すなわち、この数字はインクが厚く盛りあがっていることが分る。隣接する「円」の字には同じ効果が現れていない。この小為替は金額部分を除いた用紙をまず印刷しておき、そののちにややインクの盛りを良くした印刷方法で数字を加刷したものであろう。また発行番号 (AE 67……) は通常の紫外光で見ると黒く、標題や 100 の数字、その下



a.



b.



c.

写真1 郵政省発行定額小為替(部分)

- a. 通常可視光による
- b. 紫外線による
- c. 側光紫外線による

aは通常写真, b, cはビデオカメラによる TV 映像

2行の文字と印刷インクが異なるのが分る。しかし、紫外線側光では、ここにもレリーフ効果が認められる。また下方の「発行日付印」の文字にも同様のレリーフが見られるが、局が押した日付スタンプはほとんどレリーフ効果がない。印刷が樹脂を含む油性インクを使用し、かつインクに含まれる乾性油が固化するときの酸素吸収量に見合う体積膨張があるために、インクが盛り上って付着しているためだろう。一方、消印のスタンプは溶媒にとかした染料系のものを用いているか、乾性油がごく少ないものを用いていると考えられる。

紫外線を正面から照射すると、色の差（モノクロームでは明度差）として材質的な差異が得られるが、「日付印」の個所のように印刷とスタンプの色の差が少ないところでは、側光で厚みの差を求めると、両者の違いがよく分る。勿論この個所は自然光下の肉眼でも十分に識別できるので、通常はこのような手法は不要である。小切手・手形などの証券用紙類には発券番号を光電読取機にかけるために、特殊な形の数字を用いている例を最近多く見かける。字形以外は外観上の特色はないが、側光紫外線を用いると、この部分のみにかなり厚いインクの盛上げが見えるものが多い。

同様の効果は、真の朱肉を用いた押印などにも現われる。朱肉中に含まれる乾性油

の固化に伴う膨張によるものであるが、押印時のずれや朱肉のはみ出しなど、付着量の差を判別できるので、例えば押印後の朱筆による加筆訂正などは簡単に識別できる。逆に染料を用いた最近の印朱では、レリーフ効果はあまり強く現れない。

この微視立体的な形体識別法は、外観上からはほぼ同一平面と見られるものに応用できよう。例えば濃い墨書の修正跡、ごく薄い彩色層の重ね方、古印の識別、表層についた汚染異物の判定等々が考えられる。

7. 紫外側光下での映像—仏画

写真 2a は国立民族学博物館が所蔵する「西藏仏画像」(蔵品番号 H64689) の右中央部である。これは旧青木文教コレクションにあったチベット収集品の一つである。

写真 2b, 2c は同図の可視光側光と紫外線側光による写真である。

可視光側光では菩薩の顔面に走る二本の折線やさらに光輪(菩薩の左上後方)内にある折線がかなり鮮明である。通常光の写真では光輪内の折線以外はただの傷に見え、このような立体的形状は分らない。紫外線側光下では、光輪内の色が吸光性のために形状を捕えにくい。顔面の二本の折線はそれほど強いものではないが、かなり複雑な割れが額方向に入っているうえに、額を通る線と顎を通る線はともに同程度の損傷を受けているという程度差が分ってくる。また紫外線下では色彩の見え方が可視光下と異なるために、画面右上方の逆L字形のひきつれのような歪みが、色彩に邪魔されることなく見出すことが出来る。肌の色と円環状の後背、錫杖から垂れた帯、菩薩の持つ蓮華鉢などのみが特有の発光をし、他は吸光されている。こうした吸光特性に、可視光下での色彩と顔料粒子径の概略的な大きさを組合わせて考えると1回の撮影で顔料の成分推定を含むかなりの検討が可能となる。

2つの光源による側光効果を部分として拡大してみると、差はもっとはっきりして**写真 3a, 3b**。写真**3b**の紫外光では菩薩の頭布が吸光し、また墨の輪郭が見にくくなる、後背の円弧上にごく薄い層でのせた色が明瞭に現れるといった効果のほか、支持体の布地の織目が作るレリーフがほぼ全体にわたって見え、彩色層の厚さはどの色もあまり差がないことが分る。こうした情報はX線写真の解読精度を高めるのに役立つだろう²⁾。頭光に重なった錫杖は紫外、可視両光の側光でもレリーフを見せて

2) ある物体を透過したX線のエネルギー量 I は、線源における放射エネルギー量を I_0 とすると、 $I = I_0 e^{-\mu D}$ である。 e は自然対数の底、 D は透過した層の厚さ、 μ は物質の固有係数である。X線写真像の黒化度は I に比例する。複合した材質の物体を撮影すれば I_0 は同じであるから、それぞれ材質の D の差が無視できるくらい小さいなら、黒化度の差から μ を読みとり、材質の差を推測できる。



a.



b.

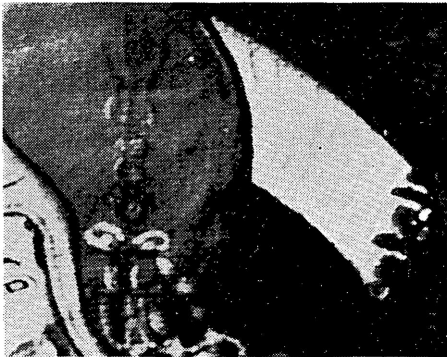


c.

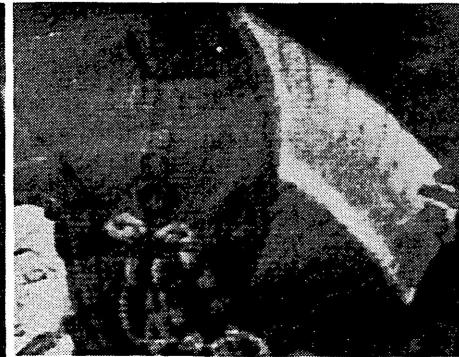
写真2 西藏仏画像（国立民族学博物館蔵品 H64689）の一部

- a. 通常可視光
- b. 側光可視光
- c. 側光紫外線

a, b, c のずれもビデオカメラによるテレビ映像を撮影



a. 側光可視光



b. 側光紫外線

写真3 写真2aの部分

いるが、層厚の関係は紫外による方がより明瞭である。つまりこの部分は重ね描きではあるが、ごく薄い重ねでしかない。また錫杖から垂れた飾帯の線の重なり方や厚さの関係も紫外の方が分り易い。

可視光側光は、大体2分の1ミリ程度以上の凹凸差があるときに有効なのに対し、紫外線側光はむしろそれ以下の差に対して有効である。凹凸差が大きくなると、波長が短いために障害物によって出来る陰が暗くなりすぎて解読が出来ない。

従って紫外線側光を用いるについては、対象とする「もの」の平面性が高いほど有効である。印刷物のインクの厚さ差が読みとれるのは紙の平面性が高いからであり、しわの多い紙ではこの程度の厚さ差を読むには相当に技術的な困難を伴う。

8. 今後の可能性と問題点

紫外線側光法の有効範囲は高い平面性を持つものに限られることから考えると、民族資料の調査にどこまで有用かはまだ検討の余地を残している。しかし、聖像類や文書、記録の技術研究には十分に使用できる。可視光側光はこれまでも仮面などのように近似平面に使用して来たが、凸曲面を持つものには接線方向で微小平面に分割すれば紫外線側光も使えよう。

なお識別される厚さと入射光の波長との間には当然一定の関係が成立しているはずであるが、この試行では光源が汎用の紫外線灯および白熱灯であり実験条件が不備なので、その点は検討していない。実験条件を整えた上で光学的検討をする必要はあろう。

文 献

HOURS-MIEDAN, M.

1957 *A la découverte de la peinture par les méthodes physiques*. Art et Métiers Graphiques.
三浦定俊・石川陸朗

1980 「最近の赤外テレビカメラの応用について」『保存科学』19: 21-28.

RÉUNION DES MUSÉES Nationaux (éd.)

1980 *La vie mystérieuse des chefs-d'oeuvre: la science au service d'art* (catalogue d'exposition).
Ministère de la Culture et de la Communication.

VAN ASPEREN DE BOER, J. R. J

1966 "Infrared reflectograms of panel paintings", *Studies in Conservation* 11(1): 45.

1968 "Infrared Reflectography: a method for the examination of paintings" *Applied Optics* 7(9): 1711-1714.

1969 "Reflectography of paintings using an infrared vidicon television system." *Studies in Conservation* 14(3): 96-118.

1974 "A note on the use of an improved infrared vidicon for reflectography of paintings". *Studies in Conservation* 19(2): 97-99.