

資料調査における近赤外線撮影の活用

—考古資料に用いられた赤色顔料判別の試み—

小澤美和子

-
- | | |
|-------------------------|------------------|
| 1. はじめに | 3.1 近赤外線撮影の原理と方法 |
| 2. これまでの研究 | 3.2 試料から得られる特性 |
| 2.1 考古資料にみられる赤色顔料とその分析法 | 3.3 考古資料の調査 |
| 2.2 文化財における赤外線撮影の利用 | 3.4 結論 |
| 3. 近赤外線撮影による赤色顔料判別の試み | 4. おわりに |
-

1 はじめに

文化財（ここで言う文化財は有形文化財）を構成する材料を知ることとはとても重要である。その構成材料を知ること、どのように保管管理すべきか、どのように修復すべきか、あるいはどこでつくられたのか、いつごろつくられたのかなどいくつかの情報を得ることができるからである。文化財を構成するものの1つに顔料が挙げられるが、これを判別することも以上のような理由から非常に重要である。

顔料の判別にあたっては分析機器を用いて調査することでかなりの成果を得ることができるが、文化財を所有する全ての機関が分析機器を所有しているわけではなく、また大量に資料がある場合それらすべてを分析機器で調査するのは大変なことである。

このような理由から、筆者は分析機器に頼らず顔料を客観的にある程度科学的根拠を伴う調査法として、近赤外線撮影による判別を提案する。近赤外線は可視光線よりすこし波長が長い領域でおよそ800nmから2500nmの領域の波長である。一昔前は技術を要した赤外線撮影も、現在は赤外線撮影が可能なデジタルカメラを用いれば簡単に撮影を行うことができる。既にこの手法による成果はいくつも報告されており（城野2002、2004など）、筆者も近赤外線や特定領域の可視光線のもとデジタルカメラで撮影することで顔料、染料の判別を試み、いくつか有効な結果を得ている（小澤、松井、Morgos、沢田2007）。

この方法の他の利点としては、非破壊非接触であることはもちろんのこと、主に赤外線を撮影時のみ用いるので対象物に与える影響が少ないこと、情報を画面全体で捉えることができることなどが挙げられる。

分析機器のような高精度の情報が得られる可能性は低い、そもそも顔料の判別はまずは肉眼や光学顕微鏡による十分な観察をしたうえで、光学的手法や分析機器を組み合わせで行うものである。判別する手段は多いほうがよいであろうし、場合によっては近赤外線

撮影法が有効な調査法となることもありうる。本研究は文化財の顔料の判別において肉眼観察よりは客観的な基礎調査法として近赤外線撮影法の有効性を検討し活用を目指すものである。そのために、今回は考古資料に見られる赤色顔料の判別を試みた。

2. これまでの研究

2.1 考古資料にみられる赤色顔料とその分析法

縄文時代から古代にかけて一番多く用いられている顔料は赤色だろう。現代でも赤色は重要な印として使用されることが多いが、特に縄文時代から古墳時代には埋葬施設や遺骸に赤色を施すという施朱の風習などからも当時の人々にとって赤が特別なものであったことがうかがわれる。

赤色についてはその原料や地域による使用のあり方など多くの研究がなされている。

これまでに赤色顔料について判明していることとして、まず、赤には硫化水銀を主成分とするものと酸化鉄を主成分とするものに大別されるということは一般的に知られている。また鉛を主成分とする丹と呼ばれる赤色もあるが、これは奈良時代ごろからよく用いられるようになるので、それまでは赤といえは硫化水銀か酸化鉄の2種類が使用されていた。

水銀を主成分とするものは辰砂という鉱物を細かく粉碎したもので、人工的に作られたものも古くから存在するが、多くは辰砂を使用していたと考えられる。

酸化鉄を主成分とするものは総じてベンガラとよばれるが、原料が違うものが何種類あることが判明しており、その形態の違いからパイプ状ベンガラという鉄バクテリアに由来するもの、非パイプ状のもの、例は少ないが赤鉄鉱に由来するものなどがある。

赤色顔料の用途としては、身の回りの道具類を彩色する以外に、弥生、古墳時代においては埋葬施設にはベンガラを、遺骸には辰砂を施す使い分けがあることもよく知られている。

こうした事実の解明に欠かせないのが科学的な分析であり、顔料の判別に利用される分析方法はいろいろあるが、特によく利用されるものとしては、顔料の主成分である元素を同定し顔料の推測を可能とする蛍光X線分析、顔料の結晶構造や化合物を同定するX線回折分析、顔料の形態を光学顕微鏡よりも詳細に観察できる電子顕微鏡観察などがある。先に述べたベンガラの状態の違いは電子顕微鏡観察による成果である。しかし、科学的分析の結果が全てというわけではなく、肉眼や光学顕微鏡による観察、そしてその資料の時代背景や環境といったあらゆることを総合して顔料の判別を行うことが重要である。

ところで、考古学上では赤色を一概に朱と表現することが多いが、本稿では硫化水銀＝朱、酸化鉄に由来するもの＝ベンガラという意味で表記する。

2.2 文化財における赤外線撮影の利用

文化財の調査において赤外線撮影はその特性から主に絵画における下絵の検出、考古学においては特に木簡や漆紙文書の墨書検出などによく利用されるが、それ以外に顔料、染料の判別にも利用されることがある。次の章でももう少し詳しく述べるが、物の光の吸収、反射の度合いは固有であり、赤外線撮影をすると、同じ系統の色でもその度合いが異なれば撮影結果の画像にも違いがあらわれるのである。

例えば、日本において1950年代には顔料11試料を赤外線の下で調査した結果、「丹と朱は赤外線を反射するため白く、ベンガラは吸収するため黒く写り、判別が出来る」（東京国立文化財研究所光学研究班、1955）といった報告が既になされている。また近年の研究では近赤外線領域での反射撮影、透過撮影、励起光照射による蛍光撮影¹⁾による顔料判別の成果が発表されており、近赤外線領域での蛍光撮影法では顔料だけではなく有機物である染料に関しても大きな成果が挙げられていて、例えば退色し肉眼では見えない染料を捉えることができる（城野2004など）。

このように赤外線撮影による調査からは下絵や墨書以外の検出以外にもかなり有益な情報を引き出せるのである。

3. 近赤外線撮影による赤色顔料判別の試み

3.1 近赤外線撮影の原理と方法

一般に光といわれているものは電磁波の一種で、波長の長さによって性質に差があり、それにより、X線、紫外線、可視光線、赤外線と呼ぶ（図1）。人間の眼に見える波長の領域を可視光線といいそれ以外の波長領域は目に見えない。光が物の表面に当たると、吸収、透過、反射、散乱、蛍光発生などが起こるが、その度合いは物の性質と光の種類により異なり、可視光線とそれ以外の光のもとで見た様子は異なるので、様々な情報を得られることが多い。

赤外線は可視光線よりも波長が長いので、散乱光が少ない。そのため薄いものならば透過し、可視光線のもと肉眼では見えない下絵や汚れなどで覆われた図柄、文字などを見ることが出来る。また、赤外線が物にあたった時の反射、吸収の様子は可視光線と異なり、例えば炭素は赤外線をよく吸収するので、墨で書かれた薄れた文字が赤外線撮影でよく写る。このような原理から、可視光線のもとでは同じようにみえる色も、別の物質である場合、赤外線のもとでは白黒の濃度の差となってあらわれるのである。

先にも述べたが、既存研究で赤外線のもとで撮影した場合朱は明るくベンガラは暗く映ると報告されている。これは両者の赤外線の反射、吸収の程度の違いに起因する。

図2、図3は朱とベンガラの近赤外線領域におけるそれぞれの分光反射率である²⁾。

ふたつのグラフからわかるように朱は近赤外線領域において反射率が約80%と一様に高く、一方ベンガラは35%程度の低い値がある。この反射率が画像に反映されるので、肉眼では類似した赤色に見える場合でも、近赤外線撮影をすることで朱とベンガラは容易に判別ができる。またベンガラに関しては、撮影時に用いる専用の光学フィルターの選択により、分光反射率の一番低い数値を含む860nm以上とその部分を含まない960nm以上で画像の濃度に違いがあらわれるという特性がある。

では、この理論に基づき実際の撮影方法を説明する。撮影に使用した機器は表1のとおりである。今回使用したデジタルカメラの赤外線受光感度については情報を得ることができず定かではないが、これより前の型で赤外線撮影が可能な「Cyber-shot DSC-F282」がおよそ700から1000nmの受光感度であることから同程度と想定した。

表1 使用機器

デジタルカメラ	SONY「Cyber-shot DSC-H50」
光学フィルター	富士フィルム IRフィルター（IR86、IR96）
赤外線ランプ	東芝赤外線照射用電球 IR100/110V100WR 2個

調査によく用いられる撮影法は大まかに分けて、反射撮影法、透過撮影法、蛍光撮影法の3つがあるが、今回は近赤外線反射撮影という対象物に赤外線を照射しそれから反射してくる光を撮影する方法を用いる。図4のようにIR（Infrared）フィルターをカメラのレンズ前部に取り付け、可視光線から短波長側の波長を除去し、赤外線の光のみカメラレンズに入るようにする。この時顔料の分光反射率から一番適当と思われるIRフィルターを選択することでカメラレンズに入る

光の量を調整することができる（図5、図6）。

朱は近赤外線領域においてほぼ一様の反射率なので、どれを選択してもよいだろう。ベンガラは反射率が一番低い値を含む場合とそうでない場合を撮影するため今回はIR86とIR96を使用する。

3.2 試料から得られる特性

理論上の画像の表れ方は把握できているが、実際に資料を調査する前に試料を用意し、劣化等しておらず、朱、ベンガラそれぞれ単一で単純に塗布されている場合の画像を認識しておくことにした。今回調査する資料に合わせ、土器、水晶、石に朱、ベンガラを塗布し試料とした。塗布するにあたっては、それぞれにかわで溶いたものを本体の地が見えなくなる程度に適量塗布し近赤外線反射撮影を行なった。用いた朱とベンガラは日本画の画材として市販されているものである³⁾。

撮影結果は図7～図15である。

土器、水晶、石の3試料とも、理論どおりの画像撮影結果が得られた。朱は明るくあらわれ、ベンガラは暗く、さらにIRフィルターを換えることで濃度の違いが画像上にあらわれている。ベンガラについて顕著にそれがみられるのが土器である。IR86のフィルターを用いて撮影した場合に比べ、IR96のフィルターを用いて撮影すると分光反射率の高さが反映され画像上に明るくあらわれ見えにくくなっている（図8、図9）。水晶と石については土器ほどベンガラの濃度差が画像上に顕著にあらわれないが、IRフィルターを換えるとやはりベンガラが明るくあらわれている。ベンガラについてはそれが付着している本体の材質によって濃度差が顕著な場合とそうでない場合があるが、それは本体の赤外線の反射あるいは吸収の度合いが影響していると考えられる。

以上の結果を参考にしうえて、実際に考古資料の調査を行った。

3.3 考古資料の調査

調査の対象とした資料は山梨県内の遺跡から出土し、現在山梨県立考古博物館に収蔵されているものである（表2）。既に分析され顔料の種類が明らかにされているものもある。本来の順序とすれば、近赤外線撮影法により顔料の種類をおおよそ推定し、必要に応

じて分析機器で裏づけをとるわけだが、逆に、既に結果がでているものと今回の調査の結果が矛盾しなければ、本研究の手法の有効性を示せるといえる。

3.3.1 資料1 石杵（図16）

平安時代の竪穴住居跡から出土した石杵で、分析報告によると実体顕微鏡観察の結果から石杵の一方側の側面部と先端の平滑部に赤色の物質が、先端の平滑部のみに金色の物質が石材表面の微細凹部に入り込んでいることが確認されている。これらの物質について、蛍光X線分析装置を装備した走査型電子顕微鏡による分析の結果、金色物質は純度の高い金であり、赤色物質は朱であるという結果が得られている。

既に朱ということが判明しているので、近赤外線反射撮影においては赤色の部分が白く明るく画像にあらわれるはずである。撮影結果画像を観察すると、石材を構成している鉱物の影響もあり分かりづらい部分もあるが、赤色顔料が多く付着している部分を拡大して観察するとその部分が画像に明るくあらわれている（図17、18）。従って、赤色顔料が付着した石製品を近赤外線撮影した時に、このような結果が得られれば朱であるといえる。

3.3.2 資料2 水晶製勾玉（図19）

昭和3年の発掘時に出土したと伝えられており地元の方が平成7年に山梨県立考古博物館へ寄贈したものである。石室内に施された赤色顔料が付着したのではないかと考えられているが、表裏ともべっとり顔料が付着している。肉眼で見るとすこし黒色化し赤茶色ともみえるが、実体顕微鏡で観察したところ赤茶色の少し内部に鮮やかな赤色が見られる部分がある。

近赤外線撮影の結果は図20、図21である。

試料2を撮影した場合の画像と比べると赤茶色の部分がさほど明るく表れないので、ベンガラの可能性を考えIRフィルターを交換して撮影したが、ベンガラの特性は得られなかった。従って朱の可能性が考えられるが、推測の部分が多い。

ところで、同じところから出土した碧玉製管玉を同様に撮影してみたところ（図22、図23）、こちらは朱の特性があらわれているので、勾玉もおそらく朱と推定できる。

勾玉に関して、なぜ近赤外線反射撮影を行なった

表2 調査対象の考古資料（山梨県立考古博物館所蔵）

	資料1	資料2	資料3	資料4	資料5
資料名	石杵	勾玉	耳飾	浅鉢型土器	壺
材質	石	水晶	土	土	土
時代	平安時代	古墳時代	縄文時代後期～晩期	縄文時代前期	古墳時代前期
遺跡	御所遺跡	伝銚子塚古墳	金生遺跡	酒呑場遺跡	下西畑遺跡
分析	分析済み	無し	無し	分析済み	無し

際に本来の朱の特性すなわち画像に非常に明るくあらわれるという特性をさほど示さなかったのかについては、水晶自体の赤外線反射率（あるいは吸収率）が画像に影響したためかあるいは朱の色のくすみ（黒色化）に起因しているのかもしれない。これについては今後の検討課題である。

3.3.3 資料3 土製耳飾（図24）

縄文時代後期から晩期の遺構外から出土したもので、赤色顔料と思われるものが付着している。図24の線部分で示したところが、赤色顔料がよく残っている部分である。この耳飾については特に分析等はされておらず、肉眼観察ではその色の鮮やかさから朱ではないかと思われるが断定はできない。

近赤外線撮影の結果図25の画像が得られた。これを観察すると赤色顔料が付着した部分が非常に明るく写っている。これまでの研究から朱が縄文時代後期ごろから使用され始めるという時代的なことと併せて考えても、朱である可能性が高い。

3.3.4 資料4 浅鉢型土器（図26）

縄文時代前期末の土器で土坑から出土したものである。漆に赤色や黒色の顔料をまぜて彩色されたと考えられる。

これについては蛍光X線分析によって酸化鉄を原材料とした顔料を使用しているとの報告がされているので、赤色部分はベンガラである。よって、近赤外線反射撮影においては赤色の部分が暗くあらわれ、さらにIRフィルターの交換により濃度の変化が認められるはずである。撮影結果は図28、図29であるが、特に赤色の文様線に注目して観察してみたが、予想に反し試料1にみられるような特性を示さず文様線は肉眼でみるよりも不明確である。またIRフィルターを交換した撮影結果では、ベンガラの特性である画像濃度の変化もはっきりと得られなかった。この原因としては、土器の内面全体に顔料が塗布されていること、また漆が固着剤として使用されていることなど、ベンガラそのものが単純に土器面に塗布されているわけではないことが考えられる。現段階ではこれ以上の言及はできず今後の課題としたい。

3.3.5 資料5 壺（図30）

古墳時代の方形周溝墓の周溝から出土した土器である。資料4の浅鉢型土器は土器焼成後に顔料で彩色されたものだが、こちらは土器表面が磨かれているので焼成前に酸化鉄を成分に含むもの、つまり土器にベンガラを塗りつけてから焼成し赤色に発色させたと考えられる。撮影結果は図32、33のとおりである。顔料が剥げて土器の胎土と顔料塗布部分が見える箇所を拡大して観察してみたが、ベンガラが塗布してある部分は画像上にあらわれず、IRフィルターを交換しても

濃度の変化はあらわれない。

試料1では土器に塗布したベンガラは画像に暗くあらわれ分かりやすかったが、この壺の場合、焼成して赤く発色させるという塗布の仕方のためか、塗布してあるベンガラの厚さによるのか、画像上にあらわれない原因はいろいろ考えられるが、これについても今後の課題としたい。

3.4 結論

考古資料に付着している赤色顔料の判別を試みるべく石製品、土器、土製品についてそれぞれ近赤外線反射撮影を行ったが、朱に関しては、石杵、水晶製勾玉、土製耳飾の近赤外線反射撮影において、ほぼ理論どおり近赤外線領域での分光反射率が反映され画像に明るくあらわれる性質を示す結果が得られた。おそらく木製品や他の材質でも同様の結果が得られるであろう。縄文時代の木胎漆器の赤外線撮影において朱が使用されている部分が明るくあらわれている実例もある⁴⁾。朱の黒色化や材質の赤外線反射、吸収率の影響なども考慮しなければならないが、概して朱の判別には近赤外線撮影は有効といえるだろう。

ベンガラに関しては、それが使用されていると判明している浅鉢型土器と製作技法からベンガラを使用しているはずの壺を撮影したが、どちらも近赤外線反射撮影においてあらわれるはずの特性が得られなかった。それは、画像上に暗くあらわれ、かつIRフィルターを換えることで濃度に変化があらわれるという特性であるが、2つの資料とも画像上に何もあらわれてこない。その原因はさまざまなことが考えられるが、ひとつにはベンガラが土器の表面に単一に単純に塗布されているわけではないことに起因するかもしれない。

近赤外線撮影による朱とベンガラの判別はこれまでの研究成果からも容易であることはわかっていた。今回の調査においてもそれを期待したが、両者の違いは一応認められたものの、特にベンガラについては近赤外線撮影のもとあらわれる特性が十分認められなかったので、この調査法の有効性を十分示せたとは言いがたい。

近赤外線撮影による顔料の判別の活用を目指すためにはいくつかの課題を検討する必要性を今回の調査において認識した。それは次のとおりである。

- ・塗布されている顔料の厚さ
- ・固着剤の種類、混色、焼成して発色させるなどの塗布の方法
- ・劣化や変色した顔料
- ・例えばパイプ状ベンガラとそれ以外のベンガラといった顔料の原材料の違い
- ・塗布する本体の材質による顔料の画像上のあらわれ方

これらのことが近赤外線撮影法においてどのように

影響するのか検討し、そして、この手法ではどの程度までの顔料の判別が可能となるのか明らかにし、どのような場合に有効なのかを示していく必要がある。

4. おわりに

本研究は、顔料の判別の際に、分析機器などを使用する前の基礎的調査法として近赤外線撮影の利用を提案するもので、今回は考古資料における赤色顔料の判別を試みたが、特にベンガラにおいては有効性をあまり示すことができず、いくつもの課題が浮かび上がった。また、朱に関しては有効性を示せたと考えるが、蛍光X線分析などの科学的な裏づけも示せればよかったがそこまで至れなかった。課題が多く残る結果となったものの、今後それらを順次検討し解決していくことで本手法の有効性を高めたいと考える。そのためには、文化財に用いられている顔料の分光反射率データの蓄積、資料の撮影画像データの蓄積、分析機器による裏づけなどが必要となってくる。これらのデータの蓄積から、近赤外線撮影による顔料判別の基準となるべきものを提示し、この手法が文化財の顔料の判別を簡便にできる基礎的調査法として活用されることを展望とする。

註

1) 調査における写真撮影法はおおまかに3種類ある。

反射撮影法は対象物に光を当てた場合、その対象物から反射される光をカメラで撮影する方法。

透過撮影法は対象物に光をあててそれを透過した光を撮影する方法。

蛍光撮影法は対象物に励起光を照射すると、対象物から反射される光とは全く異なる光が生じることがあり、この新たに生じた光(＝蛍光)を撮影する方法。

2) この分光反射率は、筆者が本研究に先立ち近赤外線撮影調査をした際に、株式会社日本分光西東京サービスセンターに依頼測定したデータをもとに作成したグラフである。使用機器は同社製「紫外可視近赤外分光光度計V-670」。

分光とは光を波長成分(＝スペクトル)にわけたものであり、可視光線を分光した場合は7色の色の帯としてスペクトルを見ることができる。

測定した朱とベンガラは日本画画材用の市販品だが、文化財に用いられているものと化学的組成は同じなので、さほど問題ないと考えている。

3) 化学的組成が朱は硫化水銀、ベンガラは酸化鉄であるものを使用している。

4) 参考文献の「特別企画 歴史を探るサイエンス」P31に掲載。

参考文献

- 出雲弥生の森博物館：平成22年度夏季開館特別展図録 弥生人の彩エンスー出雲王が愛した色(2010)
- 市毛勲：新版 朱の考古学，雄山閣出版(1998)
- 小澤美和子、松井敏也、Morgos Andras、沢田正昭：可視光線、近赤外線下でのデジタルカメラ撮影を利用した浮世絵版画に使用される顔料、染料同定の試み，文化財保存修復学会第29回大会研究発表要旨集 pp.218-219 (2007)
- 上條朝宏：縄文時代から古墳時代の赤色顔料について，色材 第77巻第2号pp.86-90 (2004)
- 城野誠治：近赤外線画像の形成と利用，美術研究376号 pp.372-386 (2002)
- 城野誠治：可視域内励起光を用いた蛍光反応による物質の識別法，月刊文化財No487 pp.9-12 (2004)
- 鈴木稔：大月市御所遺跡第8号住居跡出土石柁付着の金色と赤色の物質について，山梨県埋蔵文化財センター調査報告書第154集 大月市御所遺跡大月バイパス建設に伴う発掘調査報告書p.64 (1998)
- 東京国立文化財研究所光学班：光学的方法による古美術品の研究，吉川弘文館(1955)
- 永嶋正春：漆技術の起源，特別企画 歴史を探るサイエンス，国立歴史民俗博物館pp.28-32 (2003)
- 成瀬正和：顔料，文化財のための保存科学入門pp.138-152，角川書店(2002)
- 本田光子：比恵遺跡57次調査出土の辰砂について，福岡市埋蔵文化財調査報告第530集 比恵遺跡群24—第57次調査報告pp.101-104，福岡市教育委員会(1997)
- 山梨県教育委員会：山梨県埋蔵文化財センター調査報告書第41集 金生遺跡Ⅱ(縄文時代編)(1989)
- 山梨県教育委員会：山梨県埋蔵文化財センター調査報告書第114集 甲ッ原遺跡Ⅱ第3次・4次調査(1996)
- 山梨県教育委員会：山梨県埋蔵文化財センター調査報告書第135集 酒呑場遺跡(第1・2次)(1997)
- 山梨県教育委員会：山梨県埋蔵文化財センター調査報告書第196集 下西畑遺跡・西畑遺跡・影井遺跡・保坂家屋敷墓(2002)
- 山梨県教育委員会：山梨県埋蔵文化財センター調査報告書第216集 酒呑場遺跡(第1～3次)(2005)

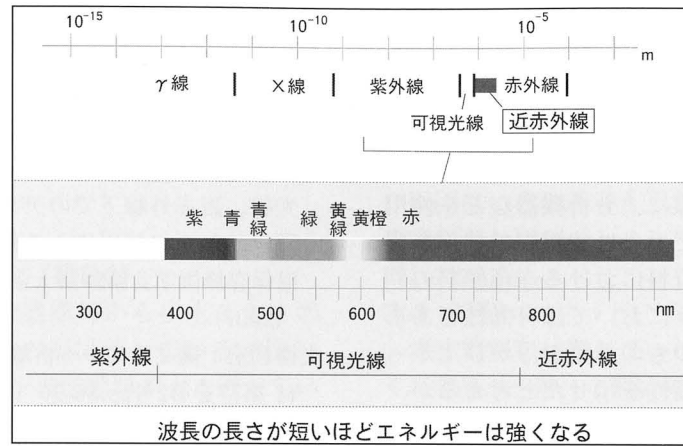


図1 波長の大きさによる光（電磁波）の種類

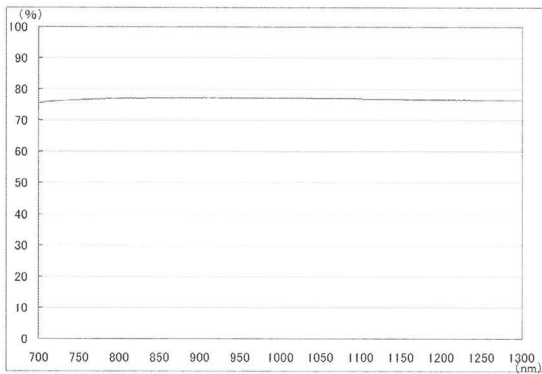


図2 朱の分光反射率

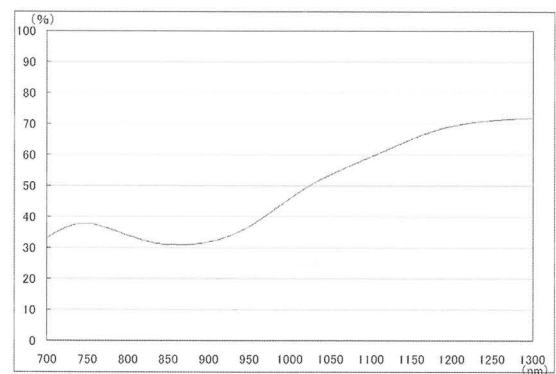


図3 ベンガラの分光反射率

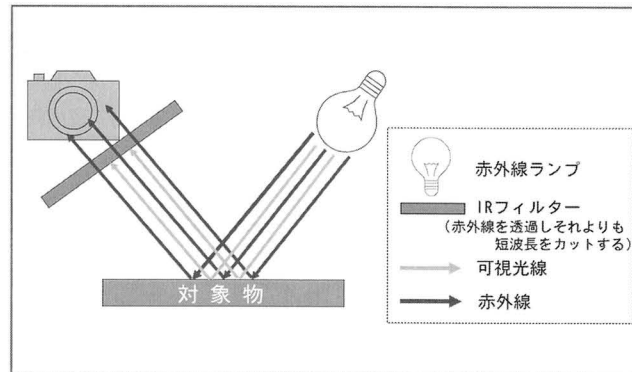


図4 近赤外線反射撮影法

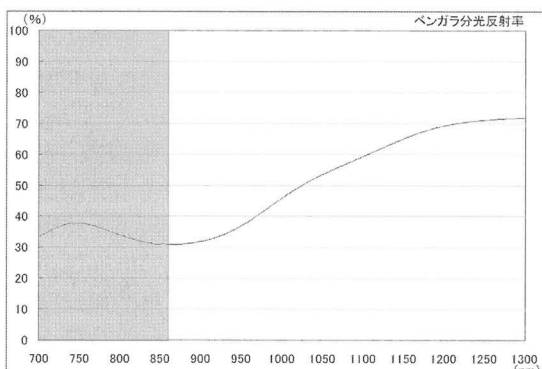


図5 IR86 を使用した光の量の調整

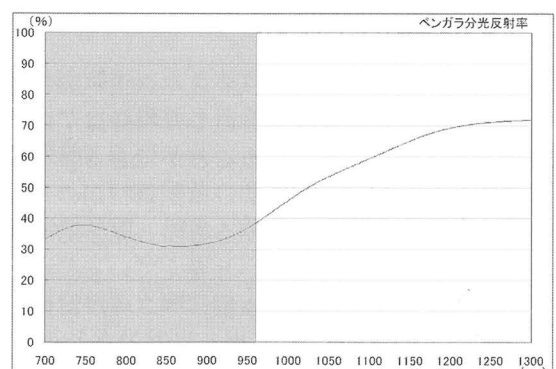
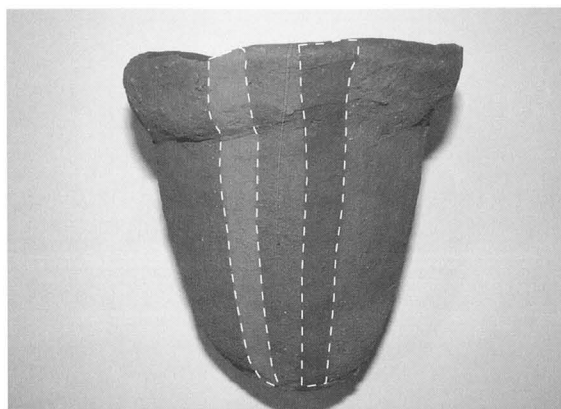


図6 IR96 を使用した光の量の調整

グレーの領域の光はIR フィルターによってカットされカメラのレンズには入らず、白色の領域の光が白黒の濃度として画像にあらわれる。



左側に朱
右側にベンガラ
(点線の内側)

図7 試料1 土器



図8 IR86 を使用した近赤外線撮影結果



図9 IR96 を使用した近赤外線撮影結果
ベンガラ塗布部分が IR86 撮影時より明るくあらわれている



左側：朱
右側：ベンガラ

図10 試料2 水晶

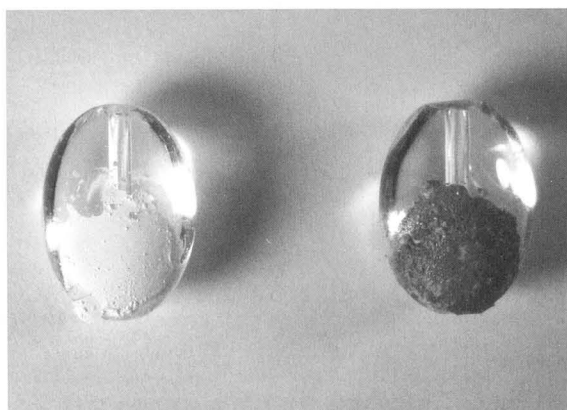


図11 IR86 を使用した近赤外線撮影結果

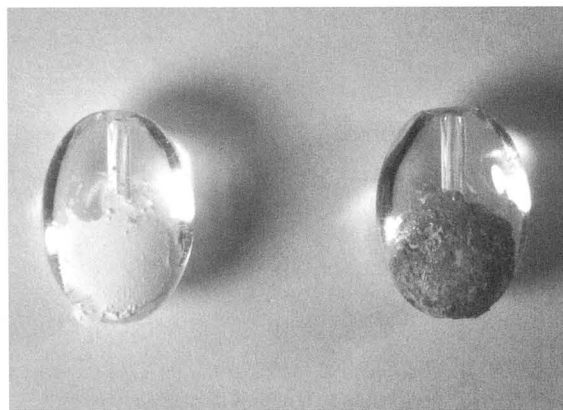
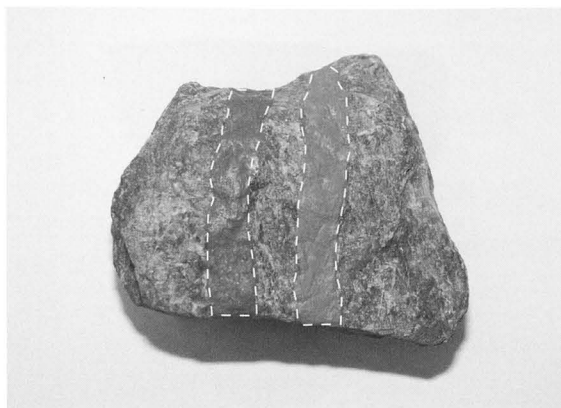


図12 IR96 を使用した近赤外線撮影結果



左側：ベンガラ
右側：朱
(点線の内側)

図 13 試料 3 石



図 14 IR86 を使用した近赤外線撮影結果

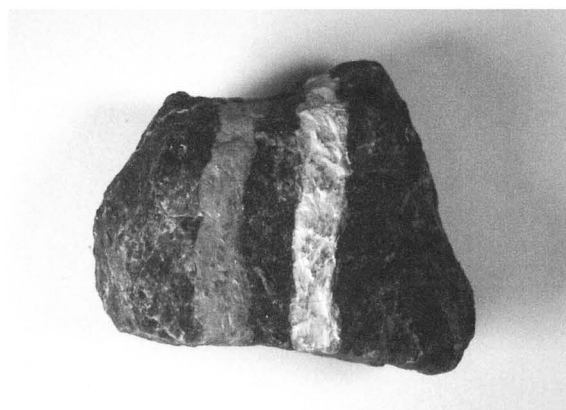


図 15 IR96 を使用した近赤外線撮影結果



図 16 資料 1 石杵



図 17 資料 1 石杵 一部拡大
線内部：赤色顔料（朱）がよく残っている箇所



図 18 IR86 を使用した近赤外線撮影結果
朱の付着部分があかるくあらわれている



図 19 資料2 水晶製勾玉

勾玉付着の赤色顔料は、近赤外線撮影においてさほど明るくあらわれないが、ベンガラの特徴はみられない。



図 20 IR86 を使用した近赤外線撮影結果



図 21 IR96 を使用した近赤外線撮影結果



図 22 資料2- 2 碧玉製管玉



図 23 IR86 を使用した近赤外線撮影結果



図 24 資料3 土製耳飾
線内部：赤色顔料がよく残っている箇所



図 25 IR86 を使用した近赤外線撮影結果
赤色顔料の部分か明るくあらわれている



図 26 資料 4 浅鉢型土器

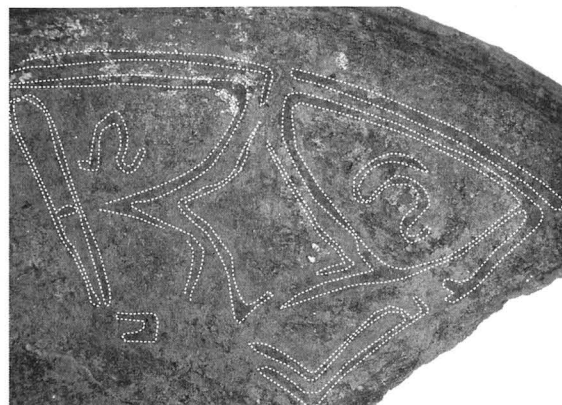


図 27 浅鉢型土器 一部拡大
点線部分は赤色（ベンガラ）で文様が描かれている箇所



図 28 IR86 を使用した近赤外線撮影結果
撮影画像からベンガラの特徴はあまりみられない



図 29 IR96 を使用した近赤外線撮影結果



図 30 資料 5 壺

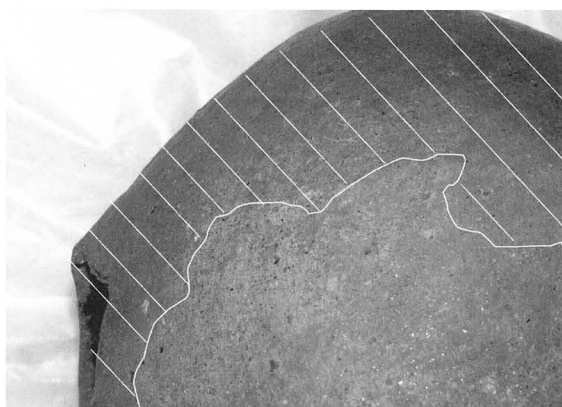


図 31 壺 一部拡大
斜線部は赤色顔料がよく残っている部分

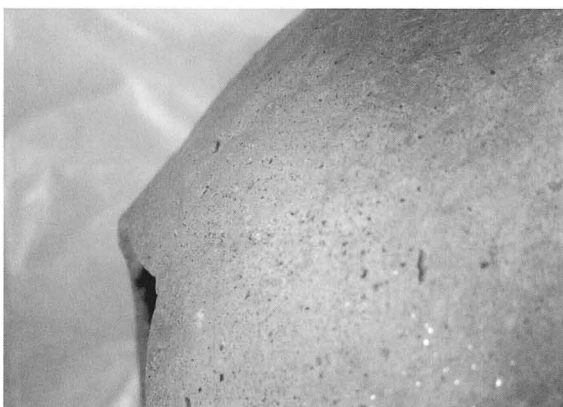


図 32 IR86 を使用した近赤外線撮影結果
赤色顔料の部分は IR86、IR96 どちらも画像にあらわれない

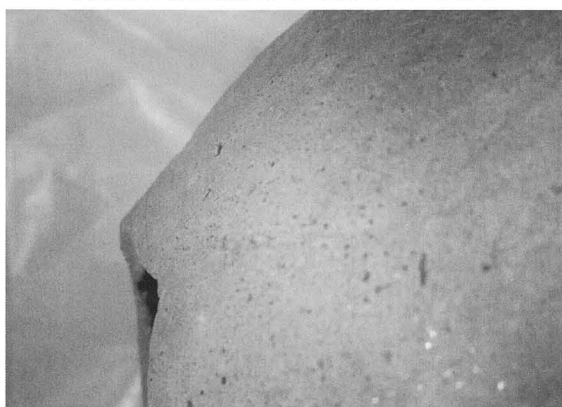


図 33 IR96 を使用した近赤外線撮影結果