

紀 要

第 23 号

2010.3

財団法人 滋賀県文化財保護協会

赤外線デジタルカメラによる木簡調査法

中川正人

はじめに

木簡をはじめとする墨書資料の調査には、今や赤外線カメラの利用が必須である。アナログ方式の赤外線カメラはデジタル方式へと変わりつつあり、より鮮明な画像が映し出されるようになった。近年、滋賀県内において数多くの木簡が出土し、赤外線による観察の頻度が増している。本稿において、墨書資料の観察法を整理するとともに、従来のアナログ方式の赤外線カメラと赤外線デジタルカメラを比較し、その特徴や操作性、さらに有効利用するための活用法について考える。

1. 赤外線による文化財調査

赤外線が文化財の調査に利用されたのは、1939年に設置された「法隆寺金堂壁画保存調査会」における基礎的調査の一環として、赤外線ガラス乾板による写真撮影とともに始まったとされている。その後1947年に実施された法隆寺金堂の塔組子の解体時に、「奈尔波都尔佐久夜巳・・・」の文字が発見され、当時撮影された墨書の赤外線フィルムの存在が確認されている（山崎1986）。

以後、建造物や美術工芸品の調査に少しずつ利用され、建造物においては、解体修理時に赤外線による調査が実施され棟札や屋根裏の落書が発見されたり、美術工芸品においては、障壁画や板絵の下書きの調査例がある（三浦・石川1980）。

考古資料の分野においては、1978年宮城県多賀城跡から漆紙文書が出土し、その解読に赤外線カメラが活躍したことはよく知られている（多賀城跡調査研究所1979・石川1979）。さらに平城宮跡や藤原宮跡から膨大な木簡が出土することにより、赤外線写真の撮影とともに赤外線カメラの需要が増していった。さらに地方においては、役所跡や祭祀遺跡等の発掘調査により木簡の出土例も増加し、赤外線写真の撮影技術の向上とともに赤外線カメラの普及が急速に進んだ（松田1981・佃1990・勝田1990）。

最近では赤外線カメラにおいてもデジタル化に移行しつつあり、保管されていた墨書資料の再調査において、赤外線デジタルカメラの利用により新たに解釈が展開されるなど成果があがっている（竹内2004）。

2. 木簡の観察

木簡などの墨書資料は、河川跡や井戸跡など地下水の豊富な埋蔵環境で保護されてきた（写真1）。発掘調査により木簡が出土すると、空気中の酸素にふれることでたちまち木質の劣化が進む。木簡の表面を実体顕微鏡で観察する

と、劣化して柔軟になった木質にかりうじて墨の粒子が付着している様子がわかる（写真2・3・4）。保管が適切でない場合や不用意に表面を洗った場合、木質組織の崩壊とともに炭の粒子が流失し、最悪の場合墨痕の消失が危惧される。保管や取り扱いには充分注意したい。

肉眼による観察 木簡に限らずどのような資料であっても肉眼による観察が基本である。木質表面に墨が良好に残っている場合は肉眼で観察できる。当然、「見える」ことと「読解」は別であり、書かれた文字の解釈には見識と経験、そしていわゆる慣れが必要とされる。

斜光線による観察 特殊な木簡の例として、いわゆる「風蝕文字」あるいは「浮き上がり文字」とよばれている文字がある。これは神社などの境内に長年掲げられている絵馬や御札などで、文字が書かれたり絵が描かれた部分が盛り上がり残っているものがある（写真5・6・7）。この現象は、風蝕作用すなわち雨や風、光により木質部分が風化するのに対し、墨や彩色のある部分は墨や顔料で木質が保護されることにより浸食されず、結果的にその部分のみが浮かび上がり残る。さらに風化が進み、墨や彩色までもが流出した例も時折みられる。

出土木簡でこうした風蝕文字が残るものもあり、その観察方法として横から強い光を当てることで文字が浮かび上がり判読が可能となる。使用する器具は、実体顕微鏡で資料を観察する時に使用するファイバー照明装置と呼ばれるもので、光源から光をガラスファイバーを通して投影するしくみとなっている。この照明装置を風蝕文字の状態に応じて文字が読みやすい状態で入射角度を決める。こうした調査法は斜光線観察法と呼ばれている（写真8）。

3. 赤外線の性質と特徴

赤外線写真は、木簡などにみられる消えかかった文字の判読に威力を発揮する。これは赤外線が墨などの主成分である炭素とくに吸収されるためである。木簡の墨書が一見して消えたように見えていても、木質繊維内部に墨が残留している場合は赤外線が反応する。また、赤外線は薄い木や木簡の黒化の原因とされる酸化鉄などを透過する性質があり、内部に残った墨が光を吸収し画像として黒く写し出される。

赤外線の波長領域 人の目に見える光は可視光線と呼ばれ、約0.38~0.75 μm の波長領域でありその範囲は限られている。可視光より波長の短い側に紫外線やエックス線、波長の長い側に赤外線や電波の領域がある。赤外線は、赤色光よりも波長が長く、電波よりも波長の短い領域にあり、

波長では約 0.7 μm ～1000 μm に分布する（図1）。

赤外線の透過と吸収 赤外線の性質には透過と吸収がある。対象物の材質や種類により透過や吸収の度合いが異なる。たとえば、カーボンカートリッジを使用するコピー機や顔料系インクのプリンターで印刷されたものは、インクに炭化物が含まれることから赤外線の吸収がみられ、鮮明に映し出される。

いっぽう染料系インクのマーカーや色鉛筆で書いた文字は、赤外線が透過するためはっきりと見ることができない（写真9・10）。また、黒いポリエチレンシートなども、配合された色素や顔料の種類により赤外線を通す場合がある。こうした性質の応用例は、絵画の調査や修復における事前調査の手法として、赤外線を透過する絵の具や油で汚れた資料の下に隠された下書きなども観察できる可能性がある。

墨書の上に和紙を重ね合わせ赤外線でお観察した場合、和紙を通して下の墨書を見ることができる（写真11）。この調査法により、多数の反故紙を貼り合わせた襖の裏張りなどを観察する場合、上の紙を剥がすことなく下の紙の観察が可能となる。

また、漆紙文書の観察で知られるように、赤外線は漆を透過する性質がある。実験的に漆膜のプレパラートを作成し、下の墨書を観察したところ、はっきりと文字が確認できた（写真12・13）。

墨書土器の観察 墨書土器を赤外線でお観察する場合、その土器の胎土や焼成具合により見え方が異なる。土師質の墨書土器の方が、須恵質の墨書土器より見えやすく、これは墨の付着の度合いによるものと考えられる（写真14）。墨書土器の場合、軽く水で濡らすことでより鮮明に墨書を観察することができる場合がある。

木簡の観察 木簡の観察は、本稿のメインテーマである。出土直後の観察はもとより、保存処理を終えた資料の再調査にも威力を発揮する（写真15・16）。

4. 赤外線による観察

赤外線写真 墨書資料の記録方法として、赤外線フィルムを使用した赤外線写真法がある（写真17）。赤外線領域は可視光の赤色よりさらに外側にあり、そのため撮影には特殊なフィルムが必要である。赤外線フィルムの感度は、約0.7～0.95 μm と幅が狭いためその利用には制限がある。また、赤外線の性質として、可視光と赤外線の屈折率の違いによりカメラレンズの焦点位置が通常の可視光と異なる。さらに露光に敏感でありその取り扱いに注意が必要である。

赤外線写真は、フィルム現像と印画紙への焼き付けを経て画像として認識でき、かつ記録できる。その点迅速性に欠けるきらいがある。近年、赤外線フィルムにかわり赤外線カメラが普及することにより、赤外線フィルムの生産と

販売が相次いで中止された⁽¹⁾。

赤外線ビジコンカメラ 赤外線カメラは、1975年ごろに工業製品の検査等のために国内外で競って開発された。普及型の赤外線ビジコンカメラは、撮像管としてビジコンを使用している⁽²⁾。このカメラは、可視領域から約1.8 μm の範囲で感度が高い。赤外線フィルムで写せる赤外領域は0.75 μm 前後までであるのに対し、赤外線カメラはフィルムより幅広い波長域で情報を取得できる（写真18）。

コントラストの増強などは、映像利得（Gain）および白黒調整（Offset）で、また撮像管の感度調整には感度（Sensitivity）の調整つまみで制御する方式となっている。カメラ画像の記録法として、映し出されたディスプレイ画面を直接カメラで撮影する方法がある。走査線で画像を出力する方式であるため、水平方向に走査線が映し出され高品質の画像は得られない（写真19）。しかしながら、ビデオ画像としてビデオプリンターで出力できるとともに、ビデオフレームを媒体にコンピュータを経てデジタル化する方法があり、その用途は広がりを見せた（写真20）。最近、赤外線ビジコンカメラは、固体撮像素子（CCD）を使用したデジタル方式のカメラ（赤外線デジタルカメラ）に移行している⁽³⁾。

赤外線デジタルカメラ このカメラシステムは、赤外線カメラ、赤外線フィルター、赤外線投光器、電源アダプター、制御用パソコン、ディスプレイで構成されている（写真21、図2）。カメラヘッドは、ビジコンカメラと比べ約1/2に軽量化されている（写真22）。

赤外線デジタルカメラの特徴は、専用のコンピュータソフトにより制御する仕組みとなっており、画像は直接コンピュータに取り込まれることから操作性が向上している。また、従来のシステムにおいては、各設定値を上げ過ぎた場合や、高輝度の被写体などから強い赤外線がカメラに入った場合、画像にハレーションが起きるとともに、カメラの撮像管に焼き付きが発生し、場合によっては故障が危惧されたが、デジタルカメラでは構造上焼き付きを回避している⁽⁴⁾。

ビジコンカメラとデジタルカメラの比較 赤外線ビジコンカメラと赤外線デジタルカメラを比較するため、同一資料を同一条件で撮影した場合、一見して解像度に差がみられる（写真23・24）。双方のカメラの画像の取り込み方式の違いであるとともに、有効走査線数と有効画素数の違いによるものである⁽⁵⁾。

今回は画像の比較のため、ビジコンカメラの映像信号をビデオボードにより入力しパソコンでデジタル化することにより画像の比較が可能となった⁽⁶⁾。

5. 赤外線デジタルカメラの活用

デジタルカメラを有効に活用し良好な画像を得るためには、レンズの選択や赤外線投光器の設置法、そしてカメラ

コントロール用ソフトの取り扱いに習熟することが必要である。次に木簡の赤外線観察の作業に沿って、木簡を撮影するための注意点についてまとめる。

撮影の準備 水漬け木簡の場合、まず付着している砂や泥を柔らかい刷毛を使って取り除くとともに、撮影のさいに生じる乱反射を避けるため、表面の水をできる限り取り除き赤外線観察に備える。

使用レンズを選択するとともに赤外線透過フィルターを装着し⁽⁷⁾、カメラヘッドを撮影台に取り付ける。レンズは、赤外線カメラシステムで推奨している標準レンズに近い55mmを選択するのが望ましい。標準レンズは視野が狭く、長大な木簡などは撮影画像の分割数が多くなる傾向にあるが、28mmや35mmなどの広角レンズは、視野が広がるがレンズの歪みからくる精度の誤差が生じやすい。

赤外線投光器はできれば2台使用し、影の出ない配置とする。木簡の木目方向や墨書の残り具合により角度や照射距離を決める。視野に入る範囲で観察資料にできるだけ均一な赤外線を照射することが重要である。

木簡の撮影 木簡などの観察資料を撮影台に載せ、赤外線カメラのコントロール用ソフトを立ち上げる⁽⁸⁾。まずレンズの絞り値と赤外線投光器をチェックし、良好な状態に再度設置し直す。赤外線の波長は可視光より長く、その領域が広いことからピント合わせが難しい。

画像の調整 カメラ側の絞り値や赤外線投光器の設定を適切におこなったうえで、ソフト側で各種の画像調整が可能となる。画像は、白黒調整（Offset）、感度（Gain）そして、露出（Exposure）の設定が基本となる。資料の種類や状態により設定値は異なるが、観察しやすい標準値をあらかじめデフォルト値としておくことが望ましい⁽⁹⁾。

撮影画像は、1000×1000の画素数のビットマップ画像ファイルとして保存でき、得られたデジタル画像をつなぎ合わせることが可能でその利用範囲は広い。

取り扱いマニュアルの作成

カメラの取り扱いおよびカメラコントロール用ソフトの操作については、別途取り扱いマニュアル（pdf版）を作成し、本稿においてはその縮刷版を掲載した（図3・4）。

6. 画像の調整実験

カメラレンズおよびソフトの設定条件を変え墨書資料（襖の裏張り）を観察した。まず可視光による墨書資料は、通常のデジタルカメラによる撮影である（写真25）。前述したように、赤外線デジタルカメラの画像は、ソフトの始動のさいあらかじめ組み込まれた設定値（デフォルト値）で表示することができる（写真26）。

露光は、ソフト側でオーバーさせたり、アンダーぎみにすることが可能であるが、設定値によりコントラストが低下する場合がある（写真27・28）。なお、基本的な露光は装着したレンズ側の絞りで設定することが望ましい。レン

ズ絞りの値を8とした画像（写真29）と各設定値を調整した後の画像を示す（写真30）。

接写レンズを装着した場合、拡大画像の撮影が可能で、墨書の筆の走りや流れなど細部が観察できる（写真31）。マクロレンズを使用すれば段階的に拡大が可能で（写真32）、さらに接続アダプターを付け替え、実体顕微鏡に赤外線カメラヘッドを取り付けることで一層拡大した画像を得ることができる。

7. 木簡の保存対策

木簡の観察にさいして、赤外線デジタルカメラの有効性が確認できたが、必要な観察にそなえて現資料の保存状態がなにより重要である。冒頭で述べたように、木簡の劣化状態は出土環境に大きく影響され、墨自体の遺存状態は木質の劣化と関連している。

保管環境に関して、とくに保管中のカビ類の発生は、墨書資料に致命的なダメージを与えかねないため、定期的に水替えするとともに状態を点検するなど安全な保管を心がけ、早急に真空凍結乾燥法をはじめとした保存処理対策を講じる必要がある。

まとめ

近年、木簡に関する研究が進みあらゆる情報が蓄積されてきた。滋賀県においても、最近導入された赤外線デジタルカメラを有効的に活用し、新たな出土資料はもとより木簡の再調査の機会をつくりさらなる調査研究を進めていきたい。

註

1. 赤外線フィルムは、医学、生物の研究分野および文書鑑定用として、(株)コダックからコダックハイスピードインフラレッドや(株)コニカミノルタからコニカ赤外750（旧サクラカラー）などのフィルムが提供されていたが、現在はいずれも製造・販売を中止している。
2. ビジコン管（hivicon tube）とは、半導体の光伝導を利用した真空管を使った撮像管で、当初は軍事用に1950年前後に開発された。ビジコンは光導電面に電荷を蓄積するタイプで、光電面を低速の電子線で走査することにより放射される。
3. CCDカメラとは、固体撮像素子のことで、Charge Coupled Device Image Sensorの略称である。
4. 長時間の露光などにより、CCDのシリコンウエハに存在する製造上の欠陥が原因でホワイトスポット（白点）が発生することがある。しかしながら、CCDをダーク減算という一定時間暗状態にする処置によりこの現象を解消する対策がとられている。
5. 有効走査線数や有効画素数が解像度の指標とされることがあるが、ディスプレイやプリンターなど出力機器との関係もあり、その双方を数値で単純に比較し評価することはできない。

6. 比較した機種および赤外フィルター、使用レンズは次の通りである。

〔赤外線ビジコンカメラ〕C2741-03（浜松ホトニクス）、撮像管：赤外ビジコン、有効走査線数：487。

〔赤外線デジタルカメラ〕C8800-01C（浜松ホトニクス）、撮像素子：CCD固体撮像素子、有効画素数：1000×1000。

〔赤外フィルター〕カメラ側：D80A φ52mm（TOSHIBA）、赤外線投光器側：D80A φ133mm（TOSHIBA）。

〔赤外線投光器〕C1385-02（浜松ホトニクス）、光源：ネオハロゲンランプ（110V/100W）。

〔使用レンズ〕標準：AF Nikkor 50mm F1.4・AF Micro Nikkor 55mm F2.8。広角：AF Nikkor 28mm F2.8、AF Nikkor 35mm F2。ズーム：AF Nikkor 35-70mm F3.3-4.5。マクロ：AF Micro Nikkor 55mm F2.8、AF Micro Nikkor 105mm F2.8。

7. 赤外線透過フィルターの役割は、ほとんどの可視光を吸収し赤外域のみを透過するフィルターで、シャープカットフィルターは、波長0.350～0.8μmの範囲をできる限り遮断するタイプである。

8. ソフト名：HCImage（浜松・カメラ・イメージ）

9. 設定値は、白黒調整、感度、露出の各値で変化する様子をディスプレイで確認しながら、その値をデフォルト値として記憶さ

せることができる。

文献（著者名・刊行機関名50音順、刊行年順）

石川陸郎（1979）「古文化財に対する光学的鑑識」『MUSEUM』340

三浦定俊・石川陸郎（1980）「最近の赤外線テレビカメラの利用」『保存科学』第19号

松田隆嗣（1981）「特殊写真撮影の利用（2）－赤外線写真の利用を中心として－」『元興寺文化財研究所通信』No. 4

宮城県多賀城跡調査研究所（1979）「多賀城漆紙文書」『多賀城跡調査研究所資料I』

山崎一雄（1986）「法隆寺金堂壁画調査の回顧（続）」『古文化財の科学』31号

佃 幹雄（1990）「木簡の撮影」『埋文写真研究Vol. 1』

勝田 徹（1990）「文化財の赤外線写真」『埋文写真研究Vol. 1』

竹内 亮（2004）「赤外線デジタルカメラを用いた山田寺出土木簡の再読」『奈良文化財研究所紀要』

財団法人滋賀県文化財保護協会調査整理課（2009）『赤外線デジタルカメラ取扱マニュアル-pdf版-』

（なかがわ まさと：調査整理課 副主幹）

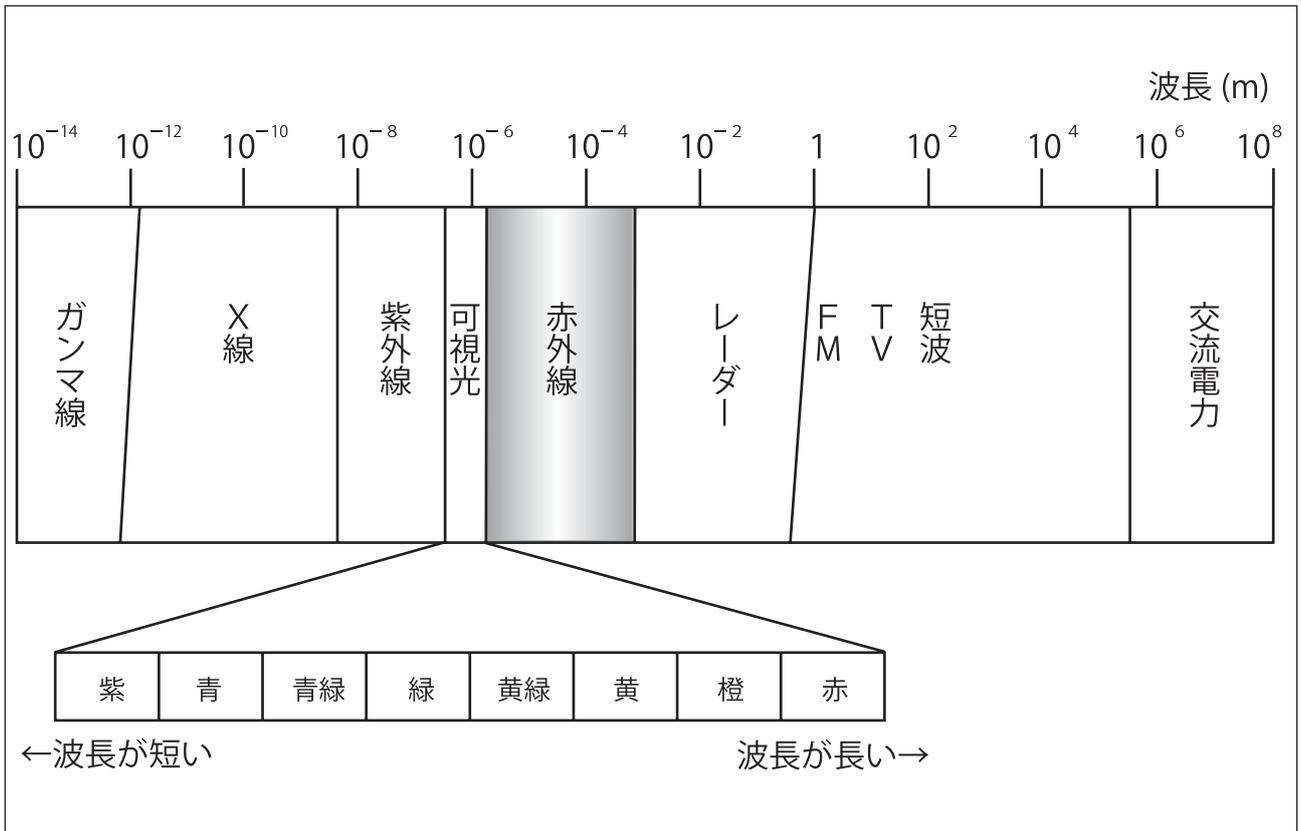


図1 電磁波の波長と赤外線領域

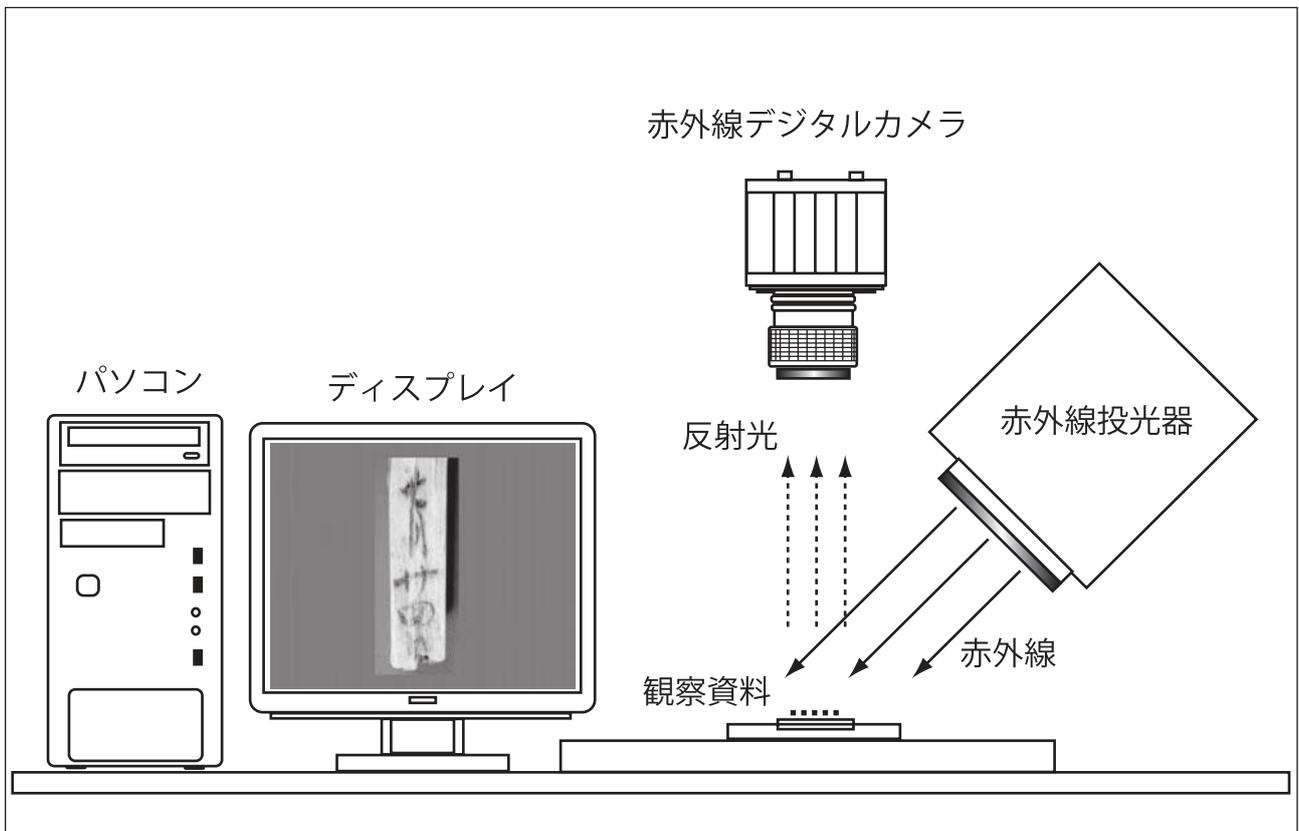


図2 赤外線デジタルカメラのシステム構成

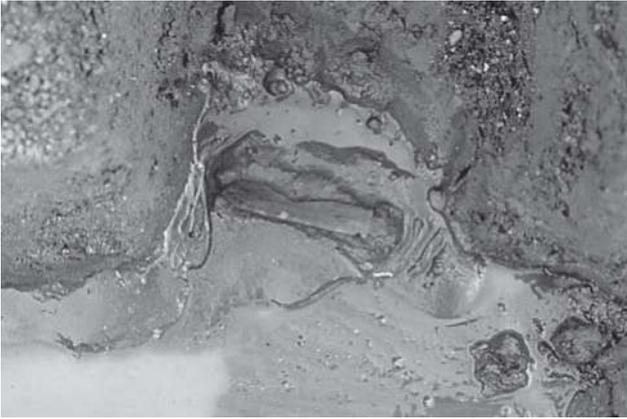


写真1 馬形代の出土状況（長浜市・尾上遺跡）

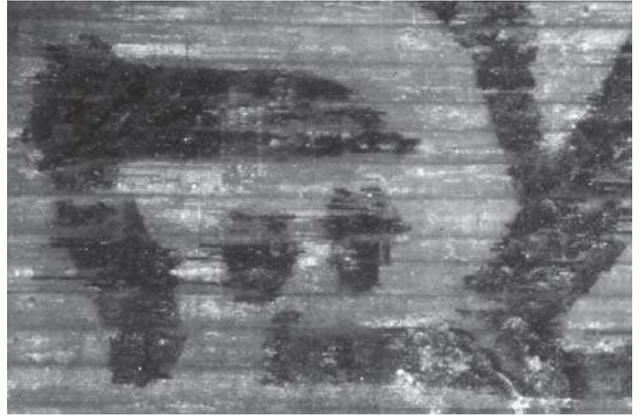


写真2 木簡の表面拡大（約×10）

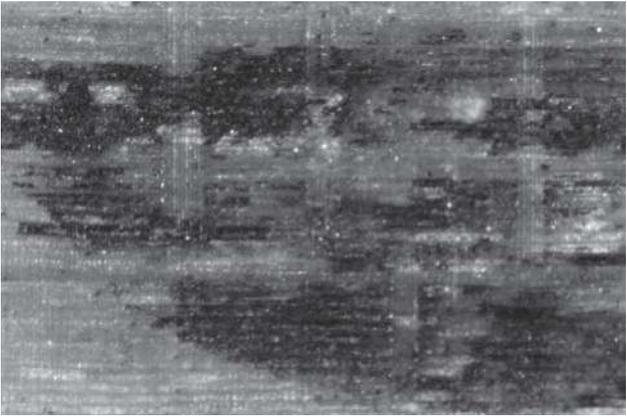


写真3 木簡の表面拡大（約×30）



写真4 木簡の表面拡大（約×200）



写真5 風蝕文字・部分拡大（長浜市・塩津港遺跡）



写真6 風蝕文字（浜市・川道神社）



写真7 風蝕文字（長浜市・川道神社）

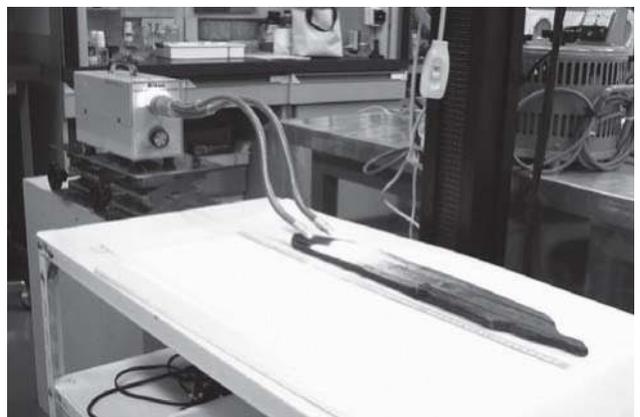


写真8 風蝕文字の観察（斜光線観察法）

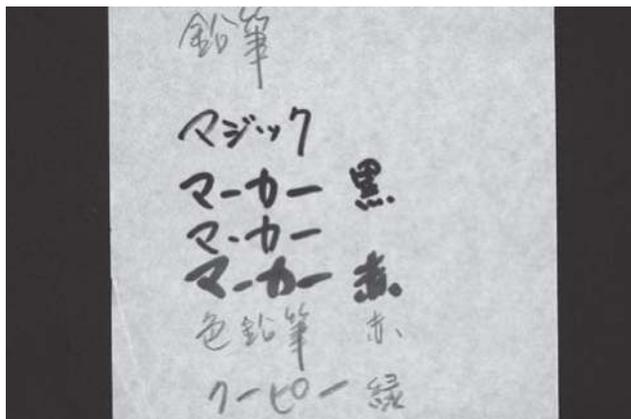


写真9 可視光による各筆記具の見え方

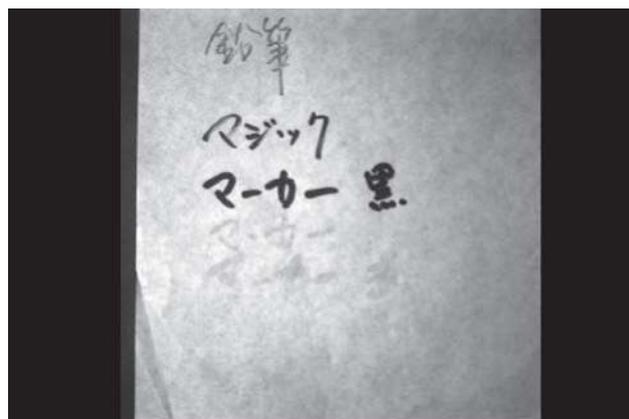


写真10 赤外線による各筆記具の見え方



写真11 赤外線の和紙透過実験（赤外線画像）



写真12 赤外線の漆膜透過実験（可視光で撮影）



写真13 赤外線の漆膜透過実験（赤外線画像）



写真14 墨書土器の赤外線画像



写真15 木簡の可視光写真（長浜市・鴨田遺跡）



写真16 木簡の赤外線画像（長浜市・鴨田遺跡）

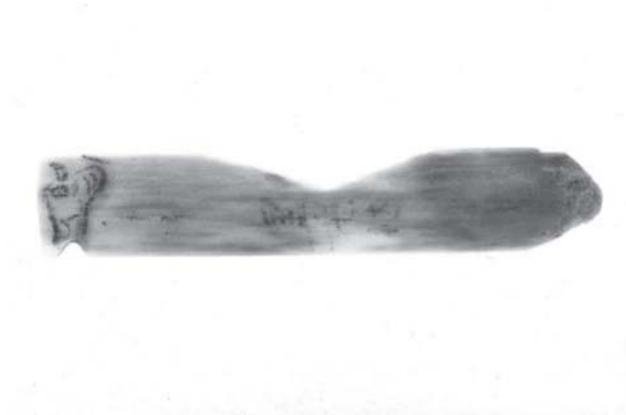


写真17 赤外線写真（赤外線フィルム）

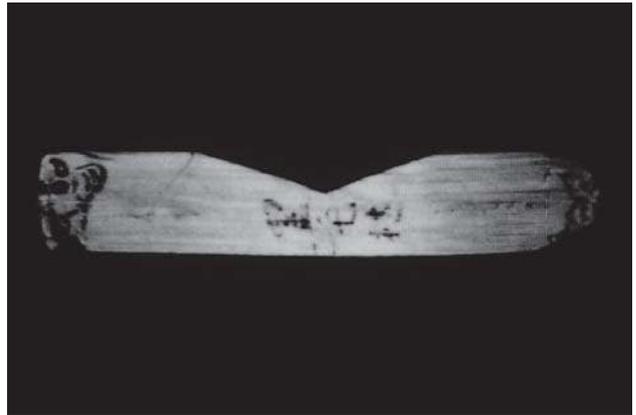


写真18 赤外線画像（赤外線ビジコンカメラ）



写真19 赤外線画像（拡大）



写真20 赤外線ビジコンカメラによる観察



写真21 赤外線デジタルカメラによる観察



写真22 赤外線カメラ（ビジコン／デジタル）



写真23 画像の比較（赤外線ビジコンカメラ）



写真24 画像の比較（赤外線デジタルカメラ）



写真25 可視光による墨書資料

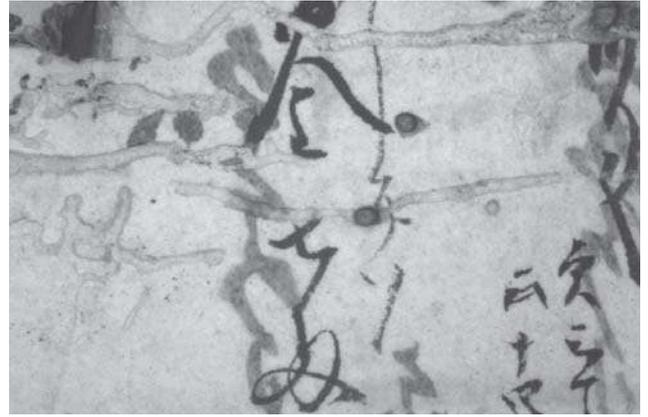


写真26 赤外線画像（デフォルト値）



写真27 赤外線画像（露光オーバー）



写真28 赤外線画像（露光アンダー）



写真29 赤外線画像（レンズ絞り8）

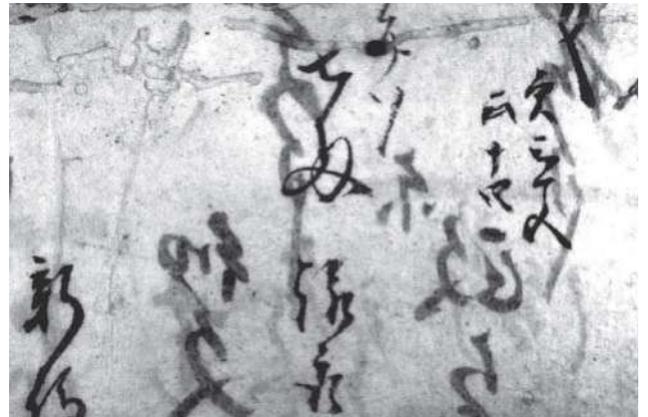


写真30 赤外線画像（調整後）



写真31 赤外線画像（接写レンズによる拡大）

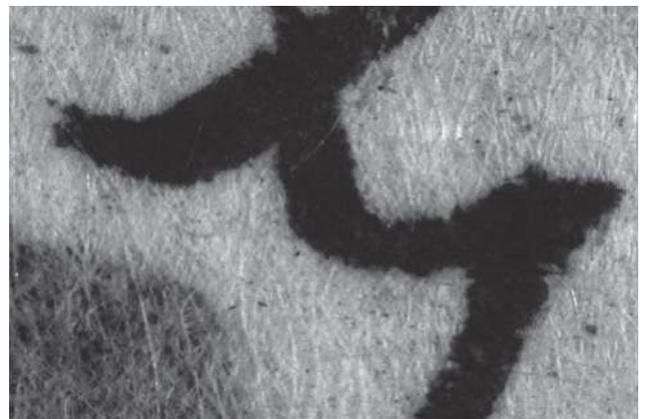


写真32 赤外線画像（マクロレンズによる拡大）

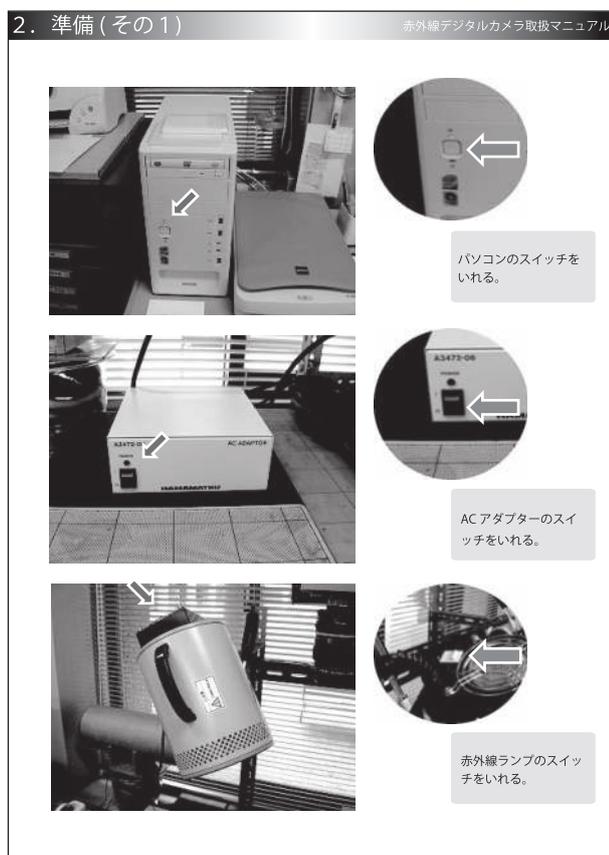
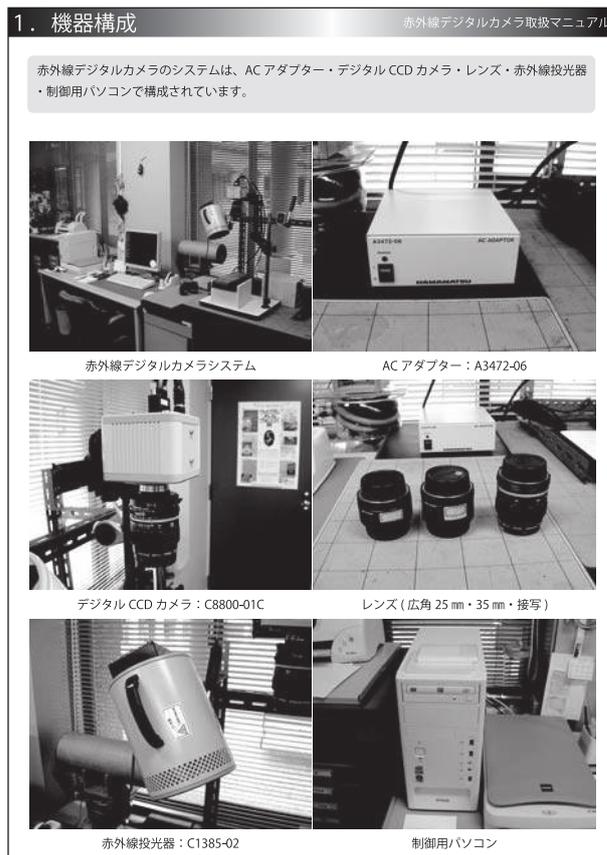
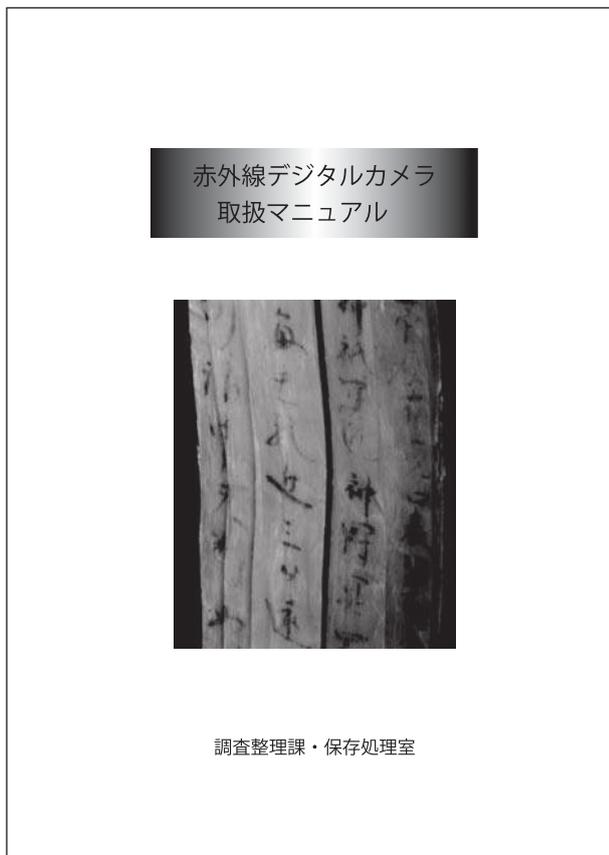
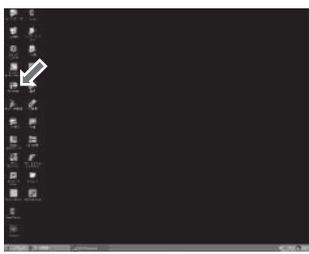


図3 赤外線デジタルカメラ取扱マニュアル（pdf版）

4. 準備 (その3)

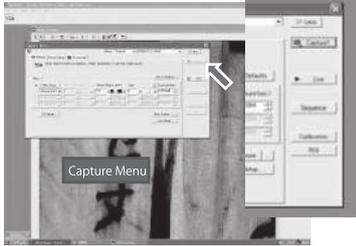
赤外線デジタルカメラ取扱マニュアル



赤外線 CCD カメラ制御ソフトを立ち上げる。
ソフト名: HClmage
(Hマフ・カマ・イマージュ)
注意! 前もって、コントローラのスイッチを入れておくこと。



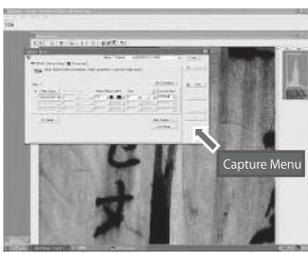
画面の左上のカメラアイコンをクリックする。
下の様な画面になり、Capture Menu が現れる。Menu が隠れているときは、上に出す。



Capture Menu のなかの右側のボタンにある Live ボタンをクリックし、撮影画像を画面に出す。

5. 条件の設定

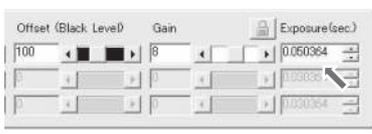
赤外線デジタルカメラ取扱マニュアル



撮影画像は、次の Capture Menu を操作することで、見やすい状態にすることができる。



Capture Menu のなかの次の3つのボタンを操作する。
左: Offset(白黒調整)
中: Gain(感度)
右: Exposure(露出)

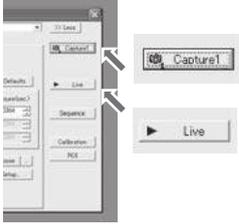


資料により設定値は異なるが、次の値が観察しやすい標準値。
Offset: 100
Gain: 8
Exposure: 約 0.050000

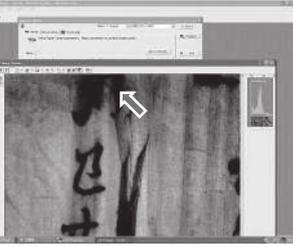
注意!
設定値を上げすぎないことハレーションが起きカメラの焼き付きが発生し、故障する。

6. 画像の保存 (その1)

赤外線デジタルカメラ取扱マニュアル



画面をファイルに保存するときは、Capture Menu の右側の2つのボタンを操作
Capture1: 画面の取り込み
のボタンをクリック



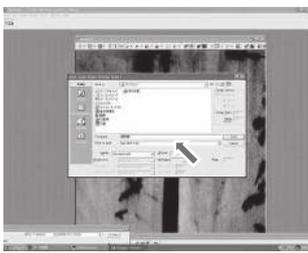
画面を取り込んだ画像が下に隠れている場合は、上に出す。
さらにファイルに保存するときは、画面上でマウスボタンの右をクリックして



上のメニューを出し、Display Image を選択する。
現在の撮影画像に戻る時は、Live ボタンをクリック

7. 画像の保存 (その2)

赤外線デジタルカメラ取扱マニュアル



ファイルに名前をつけて保存する。
なお、サーバーにも保存できます。

8. 終了

赤外線デジタルカメラ取扱マニュアル

作業終了の手順

1. 資料を収納する。
2. 赤外線ランプのスイッチを切る。
3. ACアダプターのスイッチを切る。
4. パソコンのソフトを閉じる
5. パソコンを終了する。

図4 赤外線デジタルカメラ取扱マニュアル (pdf版)