

IR LED ライト搭載デジタルビデオカメラを用いた赤外線写真撮影

大下 浩司^{1, 2}・下山 進^{2, 3}

本研究に用いたデジタルビデオカメラ(有効画素数:約 503 万画素/寸法:約 56(W)×62(H)×122(D)mm/重量:約 367 g)には暗所撮影するための IR LED ライト(照射波長 750 nm～900 nm、最大強度波長 約 855 nm)を本体前面に内蔵している。その IR LED ライトを点灯すれば暗所でも対象物の動画や静止画を撮影できる。本研究はこのビデオカメラのレンズ前面に可視光線を吸収し赤外線を透過するシャープカットフィルターを取り付け、赤外線写真を撮影する方法を検討した。FUJIFILM シャープカットフィルター SC72(855 nm の光透過率は約 90%)～IR96(855 nm の光透過率は約 0%)の計 13 種を検討した結果、SC72 から IR90(855 nm の光透過率は約 2%)までのフィルターを用いれば油彩画の下絵を赤外線写真に撮影することができた。

1 はじめに

古文書や出土した木簡に墨で書かれた目視では判読できない文字や、木炭で描かれた絵画の下絵を赤外線写真に撮影し観察することがある。このような場合に赤外線写真撮影は便利な方法の一つと言える。しかし市販の赤外線カメラは百万円から二百万円程度と高価なためその入手は容易ではない。そのため外部の専門機関に依頼して赤外線写真を撮影することがある。

既報では比較的安価で誰でも入手可能なデジタル一眼レフカメラを用いて赤外線写真を撮影する方法を報告した¹⁾。FUJIFILM シャープカットフィルター SC72 をレンズ前に取り付け可視光線の光がなるべく撮像素子まで到達しないようにし、絞り値(F 値)を小さく(絞りを開いて)露出時間を長くし赤外線の光ができるだけ多く撮像素子まで到達するように撮影条件を設定して、ハレーションやノイズが生じないように ISO 感度を調整すれば、汎用なデジタル一眼レフカメラを用いて木炭で描かれたアクリル画の下絵を赤外線写真に撮影できると報告した。しかしながら赤外線ライトを準備し被写体に向けて固定し、さらにはカメラの ISO 感度、絞り値、露出時間の調整を要し、瞬時に赤外線写真を画像として確認することができなかった。

このような課題を解決するために、本研究では防犯や夜間撮影に使用されるデジタルビデオカメラを用いた赤外線写真の撮影方法を検討した。本ビデオカメラは二万円弱で購入でき、本体前面には IR LED ライトを標準装備しているため、赤外線ライトを別途用意する必要がない。本ビデオカメラのレンズ前に 1 枚数千円で市販されているシャープカットフィルター(可視光線から赤外線領域の波長透過率が異なるフィルター)13 種を順次付け替えながら赤外線写真を撮影し最適な条件を検討した。その結果、本ビデオカメラを用いて油彩画の下絵を赤外線写真に撮影することができたので報告する。

2 実験

2.1 撮影機材と撮影試料

ケンコー フルハイビジョン デジタルムービーカメラ DVS A10 FHDIR（有効画素数：約503万画素／寸法：約56（W）×62（H）×122（D）mm／重量：約367g）にはIR LEDライト（赤外線照射の有効範囲：約1～3m）が本体前面に内蔵されており、IR LEDライト撮影モードで夜間や暗闇でも赤外線照射の有効範囲にある被写体を動画や静止画として撮影することができる。このIR LEDライト撮影モードでは可視光線から赤外線領域の光がレンズを透過し撮像素子まで到達する仕組みになっているため、そのままの状態では赤外線のみを取り込んで撮影できない。可視光線の光が撮像素子まで到達しないようにするために、FUJIFILM シャープカットフィルター 75 mm × 75 mm（SC72、SC74、IR76、IR78、IR80、IR82、IR84、IR86、IR88、IR90、IR92、IR94、IR96 の計13種）をレンズ前面に順次付け換え撮影し検討した。シャープカットフィルターにはアルファベット（SCやIR）と二桁の数値（閾値）が併記されている²⁾。その閾値は透過率が約50%の光の波長を示している。閾値が80と表記されていれば800 nmの光透過率は約50%ということになる。シャープカットフィルターはその閾値より波長の短い光の透過率は低く、その閾値より波長の長い光の透過率は高い。シャープカットフィルターには閾値（二桁の数値）が記載されているが、透過率50%の目安の波長であり、それぞれSC72：725 nm、SC74：740 nm、IR76：770 nm、IR78：785 nm、IR80：805 nm、IR82：835 nm、IR84：860 nm、IR86：880 nm、IR88：895 nm、IR90：915 nm、IR92：930 nm、IR94：950 nm、そしてIR96：970 nmである³⁾。赤外線写真撮影に用いた試料は、麻布を木枠に張り付け白色油絵具のシルバーホワイト（主成分顔料：塩基性炭酸鉛）を下地として塗ったキャンバスに、赤外線が吸収される青色油絵具のプルシャンブルー（主成分顔料：フェロシアン化第二鉄）を用いて猫の姿を下絵として描き、その猫の姿を塗り潰すように、プルシャンブルー以外の赤外線を透過しやすい有彩色の油絵具を塗って隠してしまった油彩画（縦16.1 cm × 横22.6 cm）を用いた（図1）⁴⁾。

2.2 撮影手順と画像補正

油彩画をイーゼルに立て掛け、ビデオカメラ前面に内蔵されたIR LEDライトから油彩画に向けて赤外線を照射し、赤外線写真を静止画として撮影した。撮影は室内で行ない、ビデオカメラは三脚に固定し行なった。赤外線写真の撮影条件の検討は、(1) 室内天上の蛍光灯照明を点灯し明るくした状態で、レンズ前面にシャープカットフィルターを取り付けずにISO感度をAuto、100～1600に順次設定して撮影、(2) 室内の蛍光灯照明を点灯せず、室内を暗くした状態で、レンズ前にシャープカットフィルターを付けずにISO感度をAuto、100～1600に順次設定して撮影、(3) 蛍光灯照明を点灯し明るくした状態でISO感度をAutoに設定して固定し、レンズ前面にはシャープカットフィルターSC72～IR96を順次付け替えて撮影した。また、可視光線写真は、レンズ前にシャープカットフィルターを取り付けず、蛍光灯照明を点灯して室内を明るくし、ISO感度をAutoに設定して撮影した（図1）。赤外線写真も可視光線写真もすべてオートフォーカス（AF）で撮影した。撮影した赤外線写真は、いずれもJPEG形式で保存し、Microsoft Word 2007に貼り付け、画像の色をグレースケール、明るさを50%、コントラスト85%に調整した。その調整した画像をもとに撮影条件を比較した。

2.3 蛍光灯照明と IR LED ライトから照射される光のスペクトル測定

撮影を行った部屋の蛍光灯照明が放出している光の波長とビデオカメラに内蔵された IR LED ライトから放出される光のスペクトルを測定した。その測定には Ocean Optics 製のマルチチャンネル型分光器 USB2000-VIS-NIR、二分岐型光ファイバー R400-7-VIS-NIR、遮光ホルダー RPH-1 を用い、二分岐型光ファイバーの先端を蛍光灯および IR LED ライトに向けて固定し、それぞれスペクトルを測定した。また、スペクトルの解析には OOIBase32 ソフトを用いた。

3 結果と考察

油彩画の赤外線写真撮影方法の検討は、まず蛍光灯照明を点灯した明るい室内で行なった。ビデオカメラの設定を IR LED ライト撮影モードに切り替え、レンズ前にはシャープカットフィルターを取り付けず、ISO 感度は Auto、100、200、400、800、1600 の順に変えながらオートフォーカスで油彩画を撮影した（図 2）。ISO 感度によらず下絵の猫の姿を撮影することはできなかった。その原因を探るため蛍光灯照明と IR LED ライトから照射される光のスペクトルを測定した（図 3、図 4）。蛍光灯はおよそ 400 ～ 800 nm の光を発生し、IR LED ライトは概ね 750 nm ～ 900 nm の光を照射している。このことから、IR LED ライトから照射された赤外線が上層の油絵具を透過し白色下地で反射して撮像素子まで到達する光と蛍光灯照明から照射された可視光線が上層の油絵具表面で反射し撮像素子まで到達する光の両者が同時に取り込まれてしまうため、下絵の猫の姿が分別できず撮影できなかったと考えられる。

次に蛍光灯照明から油彩画に照射される可視光線の光の影響を検討するために、蛍光灯を点灯せず室内を暗くした状態で前述と同じ条件で油彩画を撮影した。その結果を図 5 に示す。下層に描いた猫の姿を撮影することができた。ビデオカメラ本体前面に内蔵された IR LED ライトから油彩画に照射された 750 nm ～ 900 nm の赤外線が上層の油絵具を透過し、猫の姿を描いたプルシャンブルーに吸収され、猫の描写がない部分では白色下地面で反射され、その反射された赤外線が再び上層の絵具層を透過してレンズに取り込まれ撮像素子まで到達し、吸収されてしまった部分が猫の姿となって撮影できたと考えられる。このことから撮影時に可視光線の光を撮像素子まで到達しないようにすれば赤外線写真を撮影できることがわかった。ISO 感度は Auto 設定にすれば撮影には十分であった。ISO 感度を Auto に設定し撮影した際、撮影した写真の ISO 感度は 200 または 400 に自動設定されていた。

以上の通り室内を暗くした状態であれば赤外線写真を撮影できるが、暗闇の中で文化財を撮影する行為は、撮影者やその周りの人が周囲にある物を倒し文化財を傷つけるなどの危険を伴う。また屋外では暗室の環境を整えることは難しく大がかりな作業を要する。そのような課題を解決するために、レンズ前にシャープカットフィルターを取り付け撮影する方法を検討した。シャープカットフィルターはその閾値以下の波長の光を吸収しやすく、閾値以上の波長の光を透過しやすい。そのため適切な閾値のシャープカットフィルターをレンズ前面に取り付ければ、蛍光灯や周囲の光はシャープカットフィルターで吸収され撮像素子に到達せず、IR LED ライトから照射される光（750 nm ～ 900 nm の光）のみシャープカットフィルターを透過しレンズを通過して撮像素子まで到達できると考えた。

そこで蛍光灯を点灯し室内を明るくした環境で、レンズ前面に SC72 ～ IR96 の計 13 種類

のシャープカットフィルターを順次付け換え、ISO 感度を Auto に設定して油彩画の赤外線写真を撮影するための条件を検討した。その結果を図6に示す。SC72（855 nm の光透過率は約 90 %）～ IR90（855 nm の光透過率は約 2 %）を用いた際には猫の姿を赤外線写真で撮影することができた³⁾。しかし IR92～IR96 では一様に黒色の画像となり、猫の姿を捉えることはできなかった。IR LED ライトからは照射波長 750 nm～900 nm、最大強度の波長 約 855 nm の光が照射されている。R92～IR96 は 855 nm の透過率がいずれも約 0 % であり、IR LED ライトから照射された光が撮像素子に到達せず、猫の撮像を捉えることができなかったと思われる³⁾。これらのことから本ビデオカメラの IR LED ライト撮影モードでは、レンズ前にシャープカットフィルター SC72～IR90 を取り付ければ、ISO 感度 Auto、オートフォーカスの条件で赤外線写真を撮影できることがわかった。

4 おわりに

IR LED ライトが本体前面に内蔵された市販のフルハイビジョン デジタルビデオカメラのレンズにシャープカットフィルター SC72～IR90 を取り付ければ、赤外線写真を撮影できることがわかった。本研究で用いたビデオカメラには IR LED ライトが標準で内蔵されており、別途赤外線ライトを用意することなく、そしてビデオカメラを改造することもなく赤外線写真を撮影できる。本ビデオカメラの解像度は既報のデジタル一眼レフカメラや市販の赤外線カメラに比べると約 503 万画素と低いものの、赤外線動画も撮影できるため、ビデオカメラ本体の液晶モニターを見ながら瞬時に文化財の赤外線照射画像を観察することができ便利である。

文献

- 1) 大下浩司, 下山進: 文化財情報学研究, 11, pp.1-8 (2014).
- 2) FUJIFILM FILTER GUIDE, pp.42-47, FUJIFILM.
- 3) 富士フイルム光学フィルター, pp.5-11, FUJIFILM.
- 4) 下山進, 大原秀之, 吉田寛志, 大下浩司, 古谷可由: “ゴッホ《ドービニーの庭》のすべて”, p.38, (2008), (財団法人 ひろしま美術館, 学校法人 高梁学園 吉備国際大学).

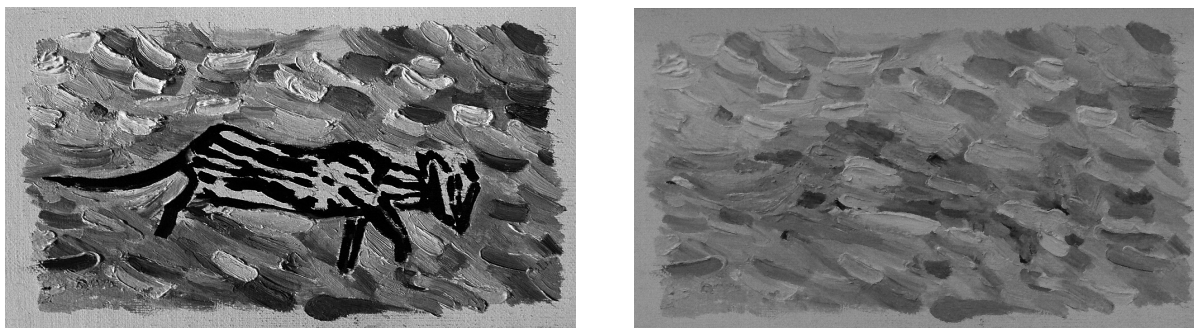


図1 塗り潰された猫 (左)⁴⁾ と猫の姿を塗りつぶした絵画表面をケンコー IR ビデオカメラにより撮影した可視光線写真 (右)^{a)}

^{a)} 撮影条件: 蛍光灯照明を点灯した明室にてシャープカットフィルター無、オートフォーカス、ISO 感度 Auto の条件で撮影。色をグレースケールに修正。

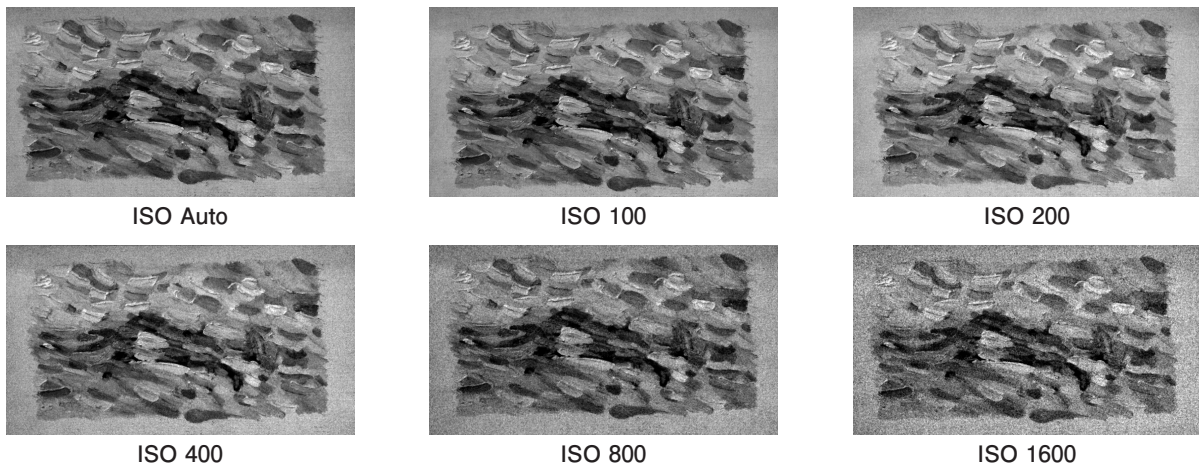


図2 明室・シャープカットフィルター無のときの ISO 感度の検討^a

^a 撮影条件：蛍光灯照明を点灯した明室にてシャープカットフィルター無、オートフォーカス、ISO 感度 Auto、100～1600 の条件で順次撮影。色をグレースケールに修正。

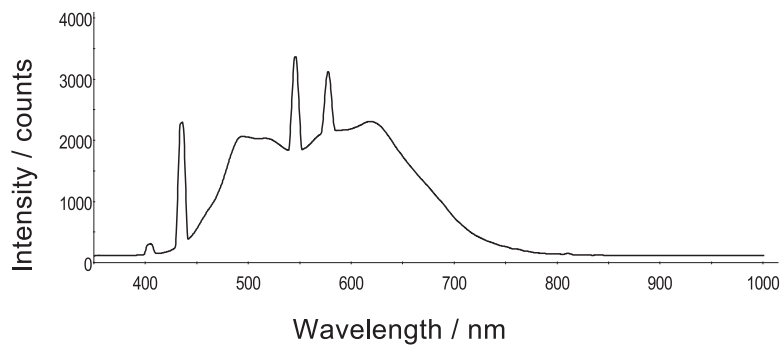


図3 蛍光灯のスペクトル

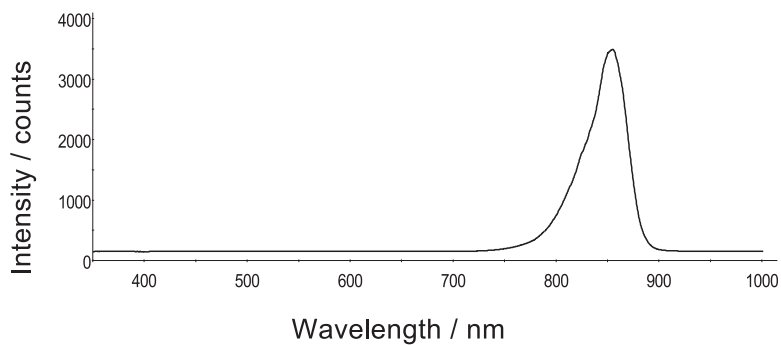


図4 IR LED ライトのスペクトル

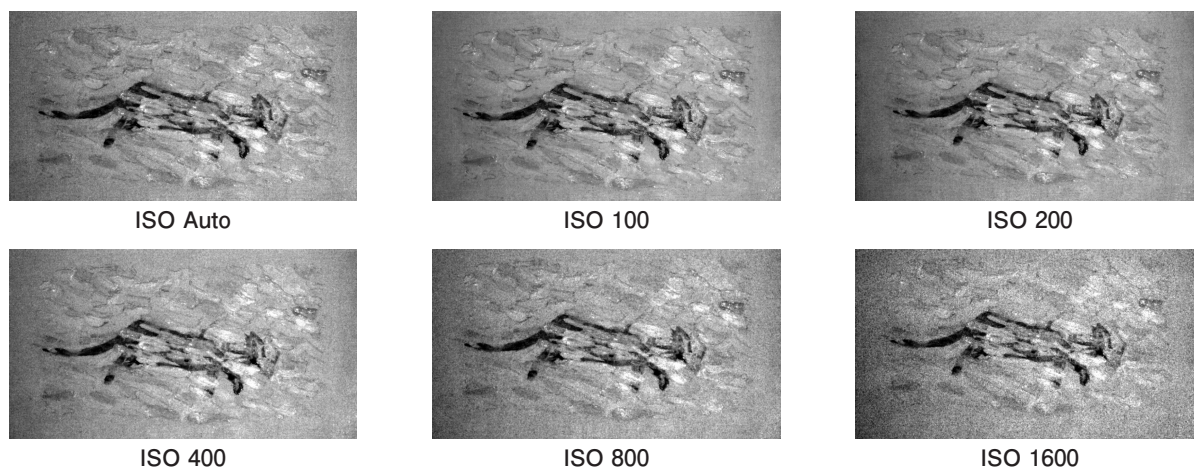


図5 暗室・シャープカットフィルター無のときの ISO 感度の検討^a

^a 撮影条件：蛍光灯照明を点灯していない暗室にてシャープカットフィルター無、オートフォーカス、ISO 感度 Auto、100～1600 の条件で順次撮影。色をグレースケールに修正。

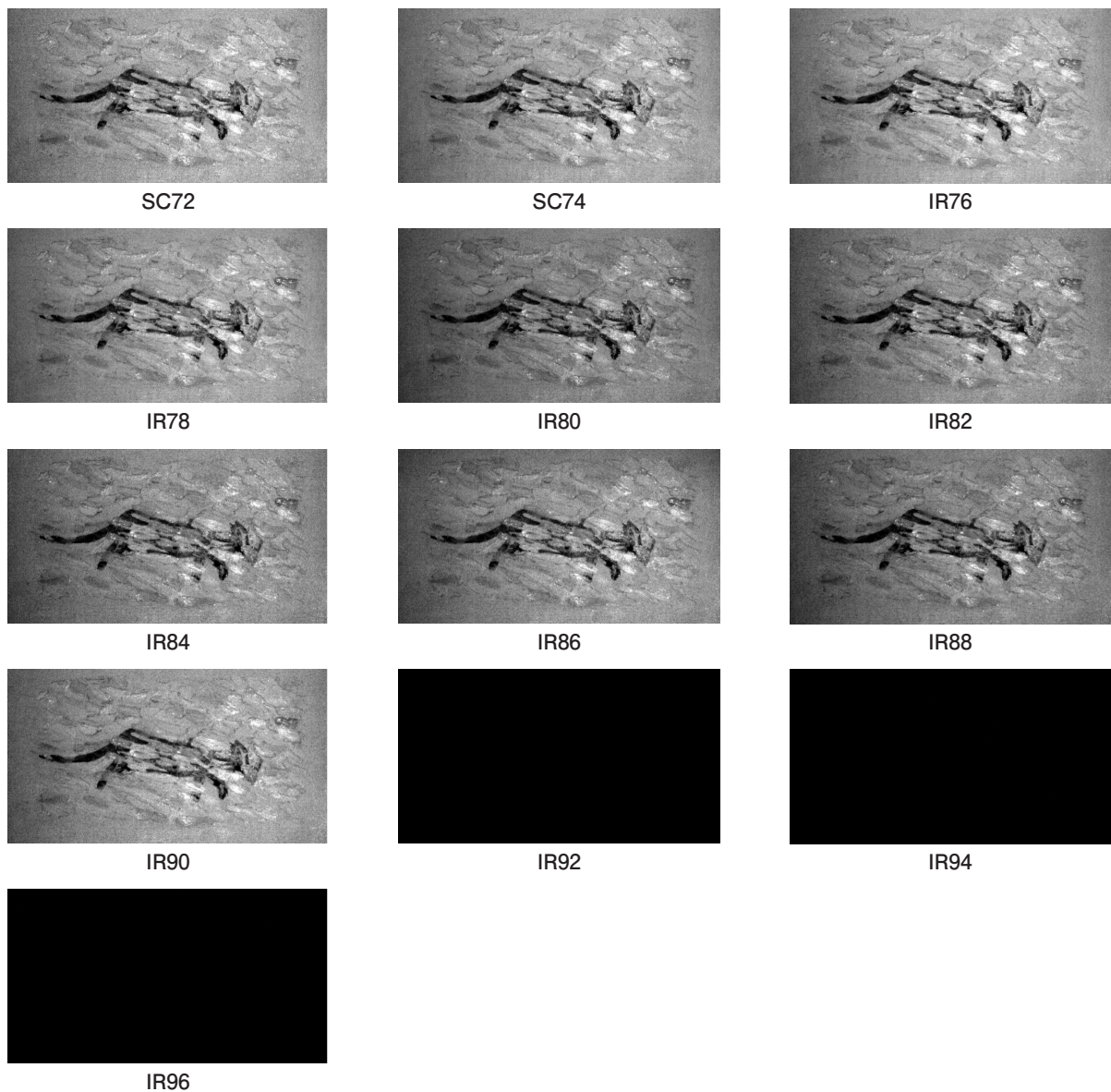


図6 明室・ISO感度 Auto のときのシャープカットフィルターの検討^a

^a 撮影条件：蛍光灯照明を点灯した明室にてシャープカットフィルター有、オートフォーカス、ISO感度 Auto の条件で撮影。色をグレースケールに修正。

所属：

¹ 吉備国際大学 外国語学部 外国学科（〒700-0931 岡山県岡山市北区奥田西町5-5）

² 吉備国際大学 文化財総合研究センター（〒716-8508 岡山県高梁市伊賀町8）

³ 吉備国際大学 文化財学部 文化財修復国際協力学科（同上）

