

汎用デジタル一眼レフカメラを用いた赤外線写真撮影法

大下 浩司^{1, 2, 3}・下山 進^{1, 2, 3}

比較的安価で汎用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検討した。一般的なデジタルカメラは、その撮像素子(CCDやCMOS)前面に赤外線カットフィルター(主に可視光線領域の光を透過するバンドパスフィルター)を備え赤外線に対する感度が低く、通常の撮影条件では赤外線写真を撮影できない。本研究では、その感度を補うために、カメラの絞り値、露出(露光)時間、ISO感度を調整して、赤外線写真を撮影する方法を検討した。すなわち、通常のカメラでは、そのまま撮影すれば可視光線領域の光が撮像素子に到達するため、赤外線の光のみを撮像素子で捉え赤外線写真を撮影することができない。赤外線の光のみを撮像素子で捉えられるようにするために、レンズの前に可視光線をカットする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。その結果、FUJIFILM SC フィルター SC72(720 nmの光の透過率は45%程度)をレンズ前に取り付けた状態で、絞り値3.5、露出時間30秒、ISO感度800程度に調整すれば、汎用なデジタル一眼レフカメラ(本研究ではニコン D5100)で赤外線写真が撮影できた。本法では、木炭で下絵をデッサンしたアクリル画の赤外線写真について報告する。

1 はじめに

文化財の光学調査では赤外線写真を撮影し観察調査することがある。例えば、油彩画では、赤外線写真をもとにその下絵(素描)を観察する。一般的な油彩画は、木枠に張った麻布に油絵具の油が吸い込まないように膠液を塗布して支持体表面の目止め(滲み止め)を行い、色調とキャンバス(支持体)の凹凸を整えるため白色の下地絵具が塗られ、その上に木炭などで素描を描いてデッサンしたのち油絵具で彩色され描かれる場合がある。

木炭は赤外線を吸収する材料であり、木炭で素描が描かれた油彩画表面に赤外線を照射し、専用の赤外線カメラを用いて赤外線写真を撮影すれば、油彩画の下層に描かれた素描が観察できる。この原理は、油彩画に照射した赤外線が油彩画表面の絵具層を透過し、赤外線を吸収しやすい物質がなければ地塗り層で反射し、赤外線写真には白く写り、赤外線を吸収しやすい木炭のような物質があれば赤外線は吸収され反射せず黒く写る。その赤外線写真の撮影には、百万円から数百万円程度の高価な専用の赤外線カメラが用いられるが、そのような高価な赤外線カメラを購入するのは容易ではない。しかしながら、そのような赤外線写真による画像観察法を文化財などの科学調査のために容易に導入できるようになれば、絵画研究や修復研究には有用と言える。

そこで本研究では、数万円程度の汎用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検討した。我々が一般に入手できる汎用なデジタル一眼レフカメラには、CCDやCMOSなどの撮像素子の前面に紫外線や赤外線をカットするバンドパスフィルターが取り付けられており、通常の撮影条件で赤外線写真を撮影することはできない。しかし、カメラの機種によっては微弱ながら赤外線がバンドパスフィルター内を透過し

て撮像素子に届く。そのため、カメラの絞り値、露出時間、ISO 感度を適切に調整すれば、微弱な赤外線でも撮像素子が捉え、赤外線写真を撮影できると考え、そのための撮影条件を詳細に検討した。

2 実験

2.1 撮影機材と画像補正用ソフトウェア

赤外線写真の撮影には、デジタル一眼レフカメラ“ニコン D5100(CMOS 1620 万画素)”にレンズ“ニコン AF-S DX NIKKOR 18-55mm f/3.5-5.6G VR”を取り付け使用した。赤外線の照射には、浜松ホトニクス(株)赤外線ライト“IR LIGHT SOURCE C1385-02”を用いた。そして、撮影した画像は、Microsoft PowerPoint 2007、Adobe Photoshop Elements 5.0、Adobe Photoshop CS3 の各ソフトウェアを用いて補正し調整した。

2.2 撮影手順

デジタル一眼レフカメラを用いた撮影条件の検討には、木炭を用いて下絵をデッサンし、それを隠すようにアクリル絵具を用いて二羽の鳩が描かれているアクリル画を使用した。そして、それをイーゼルに立て掛け、赤外線ライトを用いてその絵画表面に赤外線を照射し赤外線写真を撮影した。まず、オートフォーカスの状態でシャッターを半押し、絵画表面にピントを合わせ、その状態のままマニュアルフォーカスに切り替えた。続いて、可視光線領域の光がレンズを通過して撮像素子まで届かないようにするため、レンズの前にFUJIFILM SC フィルター SC72(720 nm の光の透過率が 45%で、それよりも波長の長い光は透過率が上昇し、赤外線領域の光を 90%程度透過するシャープカットフィルター)を取り付け¹⁾、露出時間、絞り値(F 値)、ISO 感度をそれぞれ変えながら撮影した。また、この撮影では、露出時間が長く画像ブレが起こるため、三脚にカメラを固定し、ニコン ワイヤレスリモコン ML-L3 を用いてシャッターを切った。撮影条件は、まず、露出時間を 30 秒に、ISO 感度を 800 に固定して、絞り値を 3.5 から 22 まで段階的に変えながら撮影し、最適な絞り値を検討した。次に、絞り値を 3.5 に、また ISO 感度を 800 に固定して、露出時間のみを 1 秒から 30 秒まで数秒ずつ変えながら撮影し、最適な露出時間を検討した。そして更に、絞り値を 3.5 に、露出時間を 30 秒に固定して、ISO 感度のみを 100 から 6400 まで 100~400 の指数単位で増加させながら撮影し、適切な ISO 感度を求めた。

2.3 画像の補正方法

本研究で使用した一眼レフデジタルカメラで撮影した写真は JPEG データとして保存した。そして、その JPEG データ画像を Microsoft PowerPoint 2007、Adobe Photoshop Elements 5.0、および Adobe Photoshop CS3 などの画像処理ソフトを用いてそれぞれ補正した。まず、Microsoft PowerPoint 2007 の図ツールを用いて画像サイズを 50%に縮小し、色調をグレースケールに変更し、トリミングして、コントラスト 40%、明るさ 20%に調整した。次に、Adobe Photoshop Elements 5.0 のクイック補正によりライティングのレベルとコントラストおよびシャープを自動補正した。続いて、Adobe Photoshop CS3 を用いて画像のスマートシャープを 500%(量)、半径 20.0 pixel、ぼかし(ガウス)に設定

して補正した。最後に、再び Adobe Photoshop Elements 5.0 を用いて、シャープを自動補正し、それぞれの画像を比較評価した。

3 結果と考察

汎用なデジタル一眼レフカメラは、紫外線および赤外線をカットするためのバンドパスフィルターが撮像素子の前面に装着されているため、赤外線写真撮影用のカメラに比べて赤外線に対する感度が低く、通常の方法では赤外線写真を撮影することはできない。しかしながら、微弱ながらも赤外線は撮像素子まで到達するため、絞り値を小さくして（絞りを開けて）被写体深度を狭めて感光量を増やし、あるいは露出時間を長くして感光量を増やし、撮影に十分な赤外線の光量を取り込めば、赤外線写真を撮影することができると考えた。そこで本研究は、汎用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ための条件（絞り値、露出時間、ISO 感度）を詳細に検討した。

まず絞り値を検討した。カメラの露出時間を 30 秒、ISO 感度を 800 に固定した状態で、絞り値を 3.5～22 まで順次変えて撮影し検討した。この条件で撮影した赤外線写真を図 1 に示す。絞り値が小さくなるにつれて木炭で描かれた下絵を観察できるようになった。予想通り、絞り値を小さくすれば撮像素子まで到達する赤外線の光量が増えたことによるものと考えられる。このことから、絞り値は本レンズで設定できる最小値の 3.5 が最適と考えた。一方、画像の周辺部分が黒くなっているが、これは赤外線ライトの照射範囲と画像補正が関係している。撮影時、赤外線ライトを下絵の描かれている絵画面の中心部分にあてたため、絵画の周辺部分は中心部分に比べて赤外線の照射量が少なく黒く写ることになる。また、撮影画像の赤外線感度を補うため、画像処理においてコントラストや明るさを補正したために生じたものと思われる。

続いて露出時間について検討した。絞り値を 3.5、ISO 感度を 800 に固定した状態で、露出時間を 1 秒から 30 秒まで順次変えて撮影し検討した。その結果を図 2 に示す。露出時間が 10 秒以上で下絵の素描を捉えることができた。露出時間が 30 秒であれば、明瞭に下絵を観察することができる。このことから露出時間は 30 秒が最適であることがわかった。

次に ISO 感度を検討した。絞り値を 3.5、露出時間を 30 秒に固定して、ISO 感度を 100 から 6400 まで順次変えて撮影し検討した。その結果を図 3 に示す。ISO 感度が低ければ下絵を捉えることができず、ISO 感度が高ければ下絵を捉えられるようになるものの、感度が高すぎるとハレーションが強くなり目立つようになる。このことから、ISO 感度は 800 前後で十分であると考えた。しかし、撮影対象物が替われば、その対象物に応じて、最適な ISO 感度を探る必要がある。

以上の通り、ニコン D5100 (CMOS 1620 万画素) のカメラボディに標準レンズニコン AF-S DX NIKKOR 18-55mm f/3.5-5.6G VR を取り付けたカメラでは、被写体に赤外線を照射し、シャープカットフィルター SC72 を使い、絞り値を 3.5、露出時間を 30 秒、ISO 感度を 800 に設定して撮影すれば十分に赤外線写真が撮影できる。この条件で撮影した赤外線写真と通常光写真（モノクロ画像として掲載）を図 4 に示した。この図 4 に示した両者の画像を比較すれば明らかなように、絵具層の下に木炭で描かれている少女の素描等が赤外線写真にはっきりと映し出されていることがわかる。

今後の課題として、本研究では FUJIFILM シャープカットフィルター SC72 をレンズに取り付け使用したが、そのシャープカットフィルターの種類については選択の余地が残されている。また、レンズについては、撮像素子まで赤外線が到達しやすいように、内部レンズの少ない単焦点レンズを用い、絞り値を小さくするなどの工夫の余地が残されている。更には、微細な素描をシャープな画像として捉えるために、赤外指標が表記されたレンズを用い結像点のズレを補正する必要もある。なお、本法を他の汎用なデジタル一眼レフカメラに適用する際には、個々のカメラによって撮像素子や撮像素子の前面に取り付けられている紫外線および赤外線をカットするバンドパスフィルターの透過スペクトル特性が異なるため、その都度、最適な撮影条件を選定する必要がある。

4 おわりに

本研究では、被写体に赤外線を照射し、カメラの絞り値、露出時間、ISO 感度を使用する一眼レフカメラに最適化して、可視光線領域の光を遮断し赤外線のみを透過するシャープカットフィルターをレンズの前面に取り付けて撮影することによって、汎用なデジタル一眼レフカメラであっても赤外線写真撮影に成功した。本研究で使用したニコン D5100(1620 万画素)のカメラボディに標準付属されるニコン AF-S DX NIKKOR 18-55mm f/3.5-5.6G VR のレンズを付けたカメラでは、オートフォーカスでピントを合わせた後、720 nm以下の波長をもつ可視光をカットするためのシャープカットフィルターSC72をレンズの前面に取り付け、絞り値を 3.5、露出時間を 30 秒、ISO 感度を 800 に設定して撮影すれば赤外線写真を撮影できることがわかった。



F3.5 30s ISO800



F4 30s ISO800



F4.5 30s ISO800



F5 30s ISO800



F5.6 30s ISO800



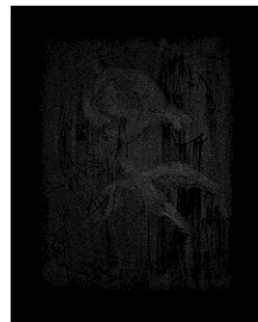
F6.3 30s ISO800



F7.1 30s ISO800



F8 30s ISO800



F9 30s ISO800



F10 30s ISO800



F16 30s ISO800



F22 30s ISO800

図1 露出時間30秒、ISO感度800のときの絞り値の検討結果

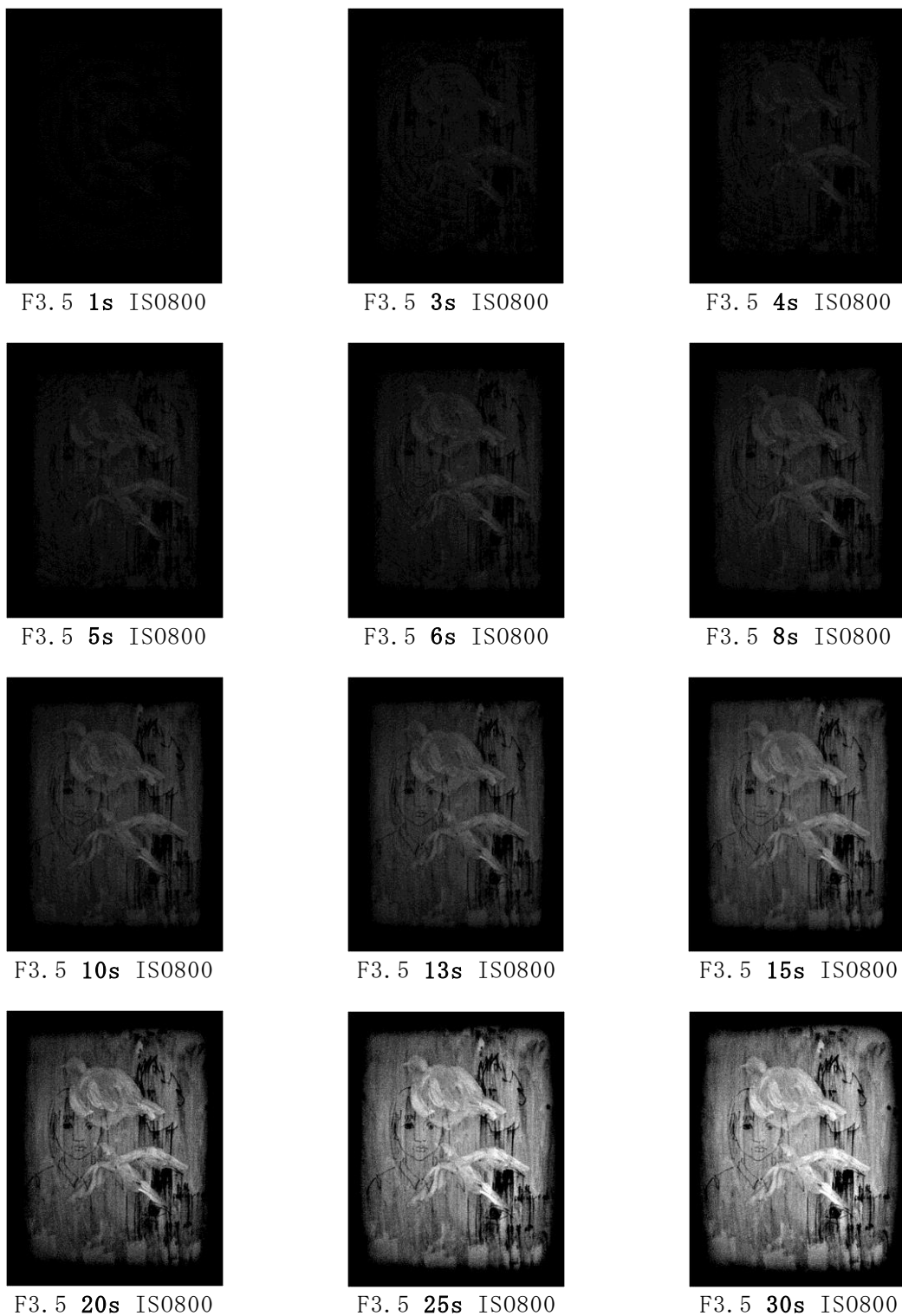
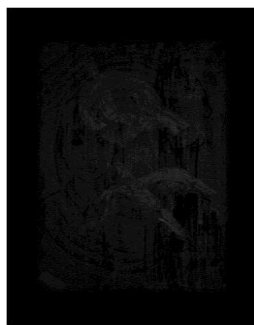


図2 絞り値 3.5、ISO 感度 800 のときの露出時間の検討結果



F3.5 30s ISO100



F3.5 30s ISO200



F3.5 30s ISO400



F3.5 30s ISO500



F3.5 30s ISO640



F3.5 30s ISO800



F3.5 30s ISO1000



F3.5 30s ISO1250



F3.5 30s ISO1600



F3.5 30s ISO2000



F3.5 30s ISO2500



F3.5 30s ISO6400

図3 絞り値 3.5、露出時間 30 秒のときの ISO 感度の検討結果



通常光写真(モノクロ写真)¹



赤外線写真²

図4 デジタル一眼レフカメラにより撮影した通常光写真(左)と赤外線写真(右)

¹ 撮影条件:絞り値 4.8、露出時間 1/30 秒、ISO 感度 1100、シャープカットフィルター無し

² 撮影条件:絞り値 3.5、露出時間 30 秒、ISO 感度 800、シャープカットフィルター有り

文献

1) 富士フイルム光学フィルター, (FUJIFILM).

所属:

¹ 吉備国際大学文化財学部文化財修復国際協力学科(〒716-8508 岡山県高梁市伊賀町 8)

² 吉備国際大学文化財総合研究センター(同上)

³ 吉備国際大学大学院文化財保存修復学研究科(同上)