

赤外線 LED 搭載小型カメラを用いた顕微赤外線写真撮影法

大下 浩司^{1, 2}・下山 進^{2, 3}

ミリメートルサイズの文字や記号などの赤外線写真を顕微撮影する方法を検討した。レンズ周辺部に赤外線 LED 6 灯を搭載した小型カメラ（ブロードウォッチ製小型カメラ MCAMIR-WTF-HD、縦 58 mm × 横 26 mm × 高さ 20 mm、約 20 g）のレンズ部分にルーペ（東海産業製ピーク・ルーペ No.1961、拡大率 10 倍、直径 34.5 mm × 高さ 41.3 mm、重さ 28 g）を取り付けた。この状態で小型カメラに搭載された赤外線 LED から被写体に赤外線を照射しながら撮影すれば、鉛筆やボールペンで書かれた 2 mm サイズの被写体の赤外線写真を顕微撮影できた。本研究は、比較的安価な小型カメラとルーペを用いて、簡易な顕微赤外線写真撮影法を見出した。

1 はじめに

木炭で描かれた絵画の素描や紙に墨や黒鉛などで書かれた判読の難しい文字でも、赤外線写真を撮影すれば素描や文字を観察できる。これは、絵画や紙の白色下地が赤外線を反射しやすく、木炭や墨、黒鉛が赤外線を吸収しやすいためである。紙に書かれたミリメートルサイズの小さな文字や記号を観察するためには、高画素数の赤外線カメラで撮影し、その撮影した画像を拡大する必要がある。しかしながら、高画素数の赤外線カメラは高価なため普及しにくい。

既報において、著者らは、汎用なデジタル一眼レフカメラや赤外線 LED 搭載デジタルビデオカメラなどの数万円程度のカメラを用いた赤外線写真撮影法を検討した^{1)~3)}。これらの赤外線写真撮影法は、油彩画やアクリル画などの絵画に描かれた下絵（素描）の観察に適しているが、カメラの解像度が低いため、ミリメートルサイズの文字や記号の観察には不向きであった。本研究では、ミリメートルサイズの小さな文字や記号を顕微赤外線観察する方法を検討した。

顕微な赤外線写真の撮影には、レンズ周辺部に赤外線 LED 6 灯を搭載した小型カメラ（ブロードウォッチ製小型カメラ MCAMIR-WTF-HD、縦 58 mm × 横 26 mm × 高さ 20 mm、約 20 g）とルーペ（東海産業製ピーク・ルーペ No.1961、拡大率 10 倍、直径 34.5 mm × 高さ 41.3 mm、重さ 28 g）を用いた。この小型カメラのレンズ部にルーペを取り付け、小型カメラに搭載された赤外線 LED 6 灯から撮影試料に赤外線を照射し、顕微な赤外線写真を撮影する方法を検討した。この撮影は、鉛筆やボールペンで書かれた撮影試料（直径 2 mm、5 mm、8 mm サイズに書いた黒色の円）を用い検討した。

2 実験

2.1 撮影試料

赤外線写真の通常撮影には、既報と同じ油彩画（図 1 ②）を用いた^{1)~4)}。白色下地（シルバーホワイト、主成分顔料：塩基性炭酸鉛）のキャンバス（縦 16.1 cm × 横 22.6 cm）に、赤外線を吸収しやすい油絵具（プルシャンプルー、主成分顔料：フェロシアン化第二鉄）を用いて猫の姿を描いた後（図 1 ①）、有色の油絵具でこの猫の描写を塗り潰している（図 1 ②）。こ

れを赤外線写真の通常撮影に用いた。赤外線写真の顕微撮影には、図2の撮影試料①～⑥を用いた。これらの撮影試料には、上質紙(コクヨ製 KB 用紙 KB-38 N、坪量 64 g/m²、紙厚 0.09 mm、白色度 80 % 程度)に、表1に示す鉛筆またはボールペンを用いて、直径 2 mm、5 mm、8 mm の円の記号を書いている。これらを赤外線写真の顕微撮影に供した。

2.2 撮影機材と撮影方法

撮影に用いたカメラは、ブロードウォッチ製小型カメラ MCAMIR-WTF-HD (縦 58 mm × 横 26 mm × 高さ 20 mm、約 20 g)を用いた。撮像素子には CMOS(解像度:640 × 480 ピクセル、画素数:約 30 万画素)を備え、レンズ周辺部には赤外線 LED 6 灯が搭載されている。絞り値、露出時間、ISO 感度などの撮影条件はマニュアル設定できずオート撮影される。小型カメラとパソコンを USB ケーブルで接続し、SYSM Monitor ソフトウェアを使って赤外線 LED の点灯・消灯や撮影動作を操作した。撮影した写真は JPEG データとしてパソコンに自動保存される。この JPEG データを Microsoft Word 2007 に貼り付け、色をグレースケールに調整し必要に応じてトリミングして観察した。

赤外線写真を撮影する際には、三脚に小型カメラを固定し、カメラに搭載された赤外線 LED から撮影試料に向けて赤外線を照射し撮影した。

顕微撮影する際には、小型カメラのレンズ部にルーペ(東海産業製ピーク・ルーペ No.1961、拡大率 10 倍、直径 34.5 mm × 高さ 41.3 mm、重さ 28 g)を取り付け撮影した(図3①)。赤外線写真の顕微撮影時には、図3②のように小型カメラのレンズ部とルーペの間に富士フィルム製シャープカットフィルター(IR82、75 mm × 75 mm)を挟み撮影するか、あるいは図3③のように小型カメラのレンズ部を直接ルーペに取り付けルーペ下部の透明部分に黒色画用紙を巻き外光を遮光して撮影した。

2.3 分析機器と分析方法

小型カメラのレンズ周辺部に搭載された赤外線 LED 6 灯から照射される光のスペクトルを測定した(図4)。その測定には Ocean Optics 製分光器(USB2000+VIS-NIR-ES)を用いた。この分光器とパソコン(NEC 製 VersaPro)を USB ケーブルで接続し、Ocean Optics 製 SpectraSuite ソフトウェアを用いて分光器を操作した。分光器受光部を小型カメラの赤外線 LED に向け、その距離を 15 cm に固定し、積算時間(Integration Time) 1 ms、平均化(Scans to Average) 5、ボックスカー幅(Boxcar Width) 5 に設定し、波長 350 ~ 1000 nm のスペクトルを測定した。

3 結果と考察

小型カメラ(ブロードウォッチ製小型カメラ MCAMIR-WTF-HD)はレンズ周辺に赤外線 LED 6 灯を備え、この赤外線 LED から赤外線(極大波長 941 nm、最大強度 1477 カウント)を照射する。この小型カメラを用いて、蛍光灯照明のついた明るい室内で、油彩画の赤外線写真を撮影した。まず、油彩画をイーゼルに立て掛け、小型カメラを三脚に固定し、油彩画の可視光線写真を撮影した(図5①)。次に、小型カメラの赤外線 LED を点灯し油彩画に赤外線を照射した状態でシャッターを切り、赤外線写真を撮影(通常撮影)した(図5②)。しかしな

がら、下絵の猫の素描を撮影することはできなかった。これは、蛍光灯照明から照射された可視光線の光が、油彩画表面で反射し小型カメラのレンズを透過して撮像素子まで到達したためと考えられる。この可視光線の光が撮像素子まで到達するのを防ぐために、740 nm 以上の波長の光を透過しやすく 940 nm の光を約 90% 透過するシャープカットフィルター IR82 を小型カメラのレンズ前面に取り付け、赤外線写真を撮影した (図 6 ①)⁵⁾。これにより、蛍光灯照明の可視光線の光を遮光し、小型カメラの赤外線 LED から照射された赤外線のみが撮像素子に到達するようになったため、油彩画の猫の姿を赤外線写真に捉えることができた。小型カメラ (画素数: 約 30 万画素) で撮影した赤外線写真と汎用デジタル一眼レフカメラ (画素数: 1620 万画素) を用いて撮影した赤外線写真⁶⁾ を比べると、小型カメラの画素数は小さいため、赤外線写真の解像度は低かった。そのため、小型カメラを用いた赤外線写真の通常撮影は、その解像度の低さから実用には耐えられない。しかしながら、汎用デジタル一眼レフカメラ (ニコン製 D5100: サイズ 128 mm × 97 mm × 79 mm、重さ約 510 g) に比べて小型カメラ (プロードウォッチ製 MCAMIR-WTF-HD: サイズ 58 mm × 26 mm × 20 mm、重さ約 20 g) は極めて小さく軽いという利点がある。この利点を活かした赤外線写真の顕微撮影法を検討した。

まず、可視光線写真の顕微撮影をおこなうために、小型カメラのレンズ部にルーペ (東海産業製ピーク・ルーペ No.1961、拡大率 10 倍、直径 34.5 mm × 高さ 41.3 mm、重さ 28 g) を取り付けた (図 3 ①)。これを用いて撮影試料 (図 2) の可視光線写真を顕微撮影した (図 7)。この結果、表 1 に示した筆記具①~⑥の鉛筆またはボールペンで書いた直径 2 mm、5 mm、8 mm の円を顕微撮影することができた。最も小さな直径 2 mm の円にもオートフォーカスでピントが合った。

この可視光線写真の顕微撮影法を改良し、赤外線写真の顕微撮影について検討した。赤外線写真撮影と同様に、小型カメラのレンズ前面に富士フィルム製シャープカットフィルター (IR82、75 mm × 75 mm) を付け、これにルーペを取り付けた (図 3 ②)。この状態で直径 2 mm の円の赤外線写真を顕微撮影した (図 8 b))。図 3 ②のように小型カメラのレンズとルーペの間にシャープカットフィルターを挟み撮影したため、図 3 ①の状態に比べ小型カメラの赤外線 LED がルーペのレンズから離れた。そのため、赤外線 LED から照射された光がルーペのレンズ表面で反射し、この反射光が赤外線写真に写り込まれている。この反射光の写り込みを防ぐため、シャープカットフィルターを用いず小型カメラのレンズ部に直接ルーペを取り付けた状態 (図 3 ①に示した可視光線写真の顕微撮影と同じ状態) で、赤外線写真の顕微撮影を試みた (図 8 c))。前述のような反射光の写り込みはなく赤外線写真を顕微撮影することができた。これらの撮影は蛍光灯照明のついた明るい室内でおこなったため、ルーペ下部 (図 3 ①の透明部分) から蛍光灯照明の光が入り、赤外線写真の撮像に影響を与えると考え、蛍光灯照明の影響を検討した。ルーペ下部 (図 3 ①の透明部分) を黒色の画用紙で被覆し、蛍光灯照明の光を遮光した状態 (図 3 ③) で赤外線写真を顕微撮影した (図 8 d))。この結果、図 3 ③の状態での顕微撮影した赤外線写真 (図 8 d)) と図 3 ①の状態での顕微撮影した赤外線写真 (図 8 c)) の撮像に大きな違いは見られず、今回の実験条件では蛍光灯照明の影響はなかったことが判る。これは、小型カメラの赤外線 LED と被写体の距離が近いこと、被写体に赤外線が強く当たり、蛍光灯照明からの可視光線よりも被写体が反射した赤外線の方が、小型カメラの撮像素子まで多く取り込まれたためと考えられる。ただし、本顕微赤外線写真撮影法を今回とは異なる環境

下で実施する際には、蛍光灯照明の位置や強度によって撮影に影響を及ぼす恐れもある。そのため、顕微撮影した赤外線写真の撮像を確認するなどして、必要に応じ図3③の状態での顕微撮影する必要がある。

更に、図8 c) および図8 d) の顕微赤外線写真から、④パイロット製ゲルインキボールペン ジュース 黒色 (0.5 mm) および⑥パイロット製水性ボールペン マルチボール 黒色 (細字) で書いた円の撮像は濃く写り、①三菱鉛筆製鉛筆 ハイユニ 黒色 (HB) と②パイロット製油性ボールペン アクロボール 黒色 (0.5 mm) で書いた円の撮像は筆記具④や⑥よりも薄く、③パイロット製ゲルインキボールペン ハイテック C 黒色 (0.5 mm) で書いた円の撮像はさらに薄く、筆記具⑤パイロット製水性ボールペン V コーン 黒色 (0.5 mm) では円の筆跡を微かに確認できる程度であった。筆記具①の鉛筆は赤外線を吸収しやすい黒鉛を含むため、赤外線写真にその筆跡を捉えることができた。筆記具②～⑥は、表1に示すように、油性インク、ゲルインク、水性インクの区別はあるが、これらのインクに含まれる顔料や染料等の色材成分は公表されていない。そのため、この原因について言及できないものの、ボールペンの黒インクには、赤外線を吸収しやすいインクと赤外線を吸収しにくいインクがあることが示唆された。

4 おわりに

赤外線 LED 6 灯を搭載したブロードウォッチ製小型カメラ MCAMIR-WTF-HD (縦 58 mm × 横 26 mm × 高さ 20 mm、約 20 g、2016 年 2 月 3 日現在 9 千円程度) のレンズ部にルーペ (東海産業製ピーク・ルーペ No.1961、拡大率 10 倍、直径 34.5 mm × 高さ 41.3 mm、重さ 28 g、2016 年 2 月 3 日現在 2 千円程度) を取り付ければ、2 mm サイズの筆跡の赤外線写真を顕微撮影できることがわかった。本研究は、比較的安価かつ簡便な方法による顕微赤外線写真撮影法を見出した。

文献

- 1) 大下浩司, 下山進: 文化財情報学研究, 11, pp.1-8 (2014).
- 2) 大下浩司, 下山進: 文化財情報学研究, 12, pp.1-6 (2015).
- 3) 大下浩司, 下山進: 文化財情報学研究, 12, pp.7-14 (2015).
- 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).
- 5) 富士フイルム光学フィルター, pp.5-11, FUJIFILM.
- 6) 大下浩司, 下山進: 文化財情報学研究, 13, pp.11-20 (2016).

表1 撮影試料の作成に使用した鉛筆とボールペン

番号	筆記具
①	三菱鉛筆製鉛筆 ハイユニ 黒色 (HB)
②	パイロット製油性ボールペン アクロボール 黒色 (0.5mm)
③	パイロット製ゲルインキボールペン ハイテックC 黒色 (0.5mm)
④	パイロット製ゲルインキボールペン ジュース 黒色 (0.5mm)
⑤	パイロット製水性ボールペン Vコーン 黒色 (0.5mm)
⑥	パイロット製水性ボールペン マルチボール 黒色 (細字)

①下絵に描かれた猫の姿^a



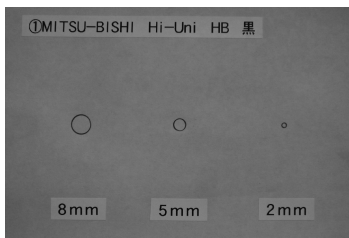
②猫を塗り潰した油彩画 (撮影試料)^a



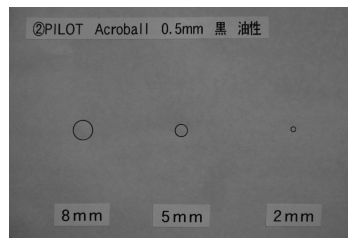
図1 小型カメラによる赤外線写真の通常撮影に用いた試料

^a 写真は参考文献2) から転載。

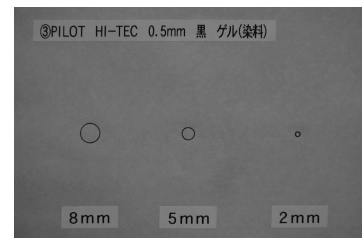
①三菱鉛筆製鉛筆
ハイユニ



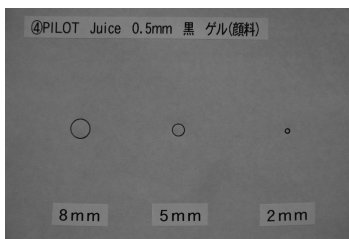
②パイロット製油性ボールペン
アクロボール



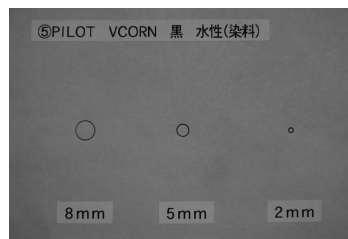
③パイロット製ゲルインキボールペン
ハイテックC



④パイロット製ゲルインキボールペン
ジュース



⑤パイロット製水性ボールペン
Vコーン



⑥パイロット製水性ボールペン
マルチボール

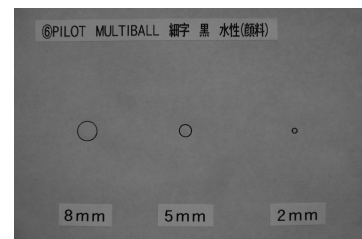
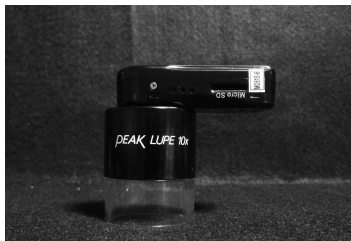


図2 小型カメラによる赤外線写真の顕微撮影に用いた試料

①小型カメラ + ルーペ



②小型カメラ + ルーペ + シャープカットフィルター



③小型カメラ + ルーペ + ルーペ下部 (透明部分) の遮光



図3 小型カメラを用いた顕微撮影法

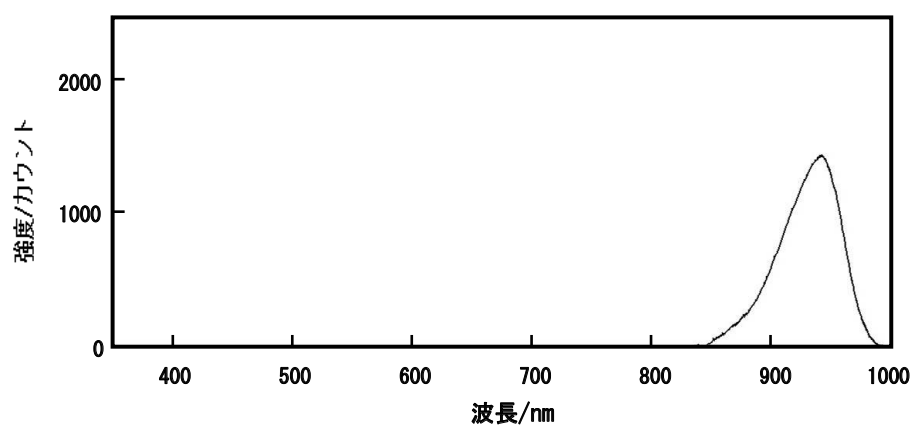
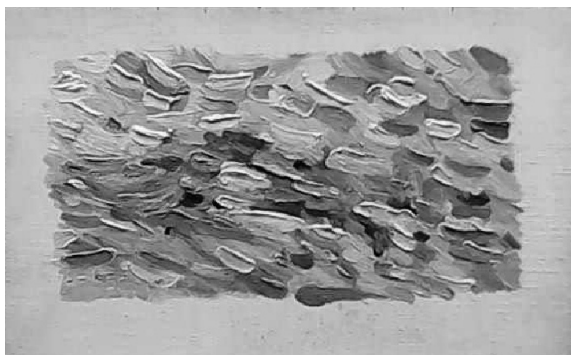


図4 小型カメラに搭載された赤外線LEDの発光スペクトル

①可視光線写真



②赤外線写真 (シャープカットフィルター無し)

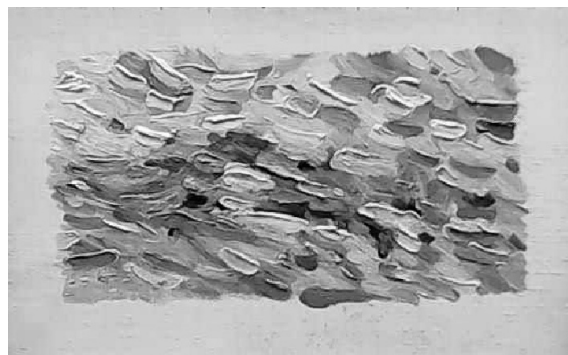


図5 小型カメラを用いて通常撮影した可視光線写真と赤外線写真 (シャープカット)

①小型カメラ
(シャープカットフィルター有り)



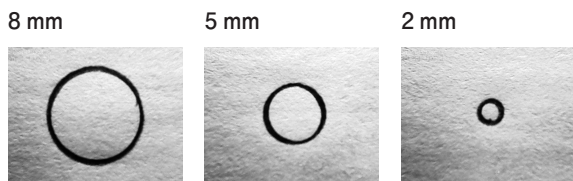
②汎用デジタル一眼レフカメラ¹
(シャープカットフィルター有り)



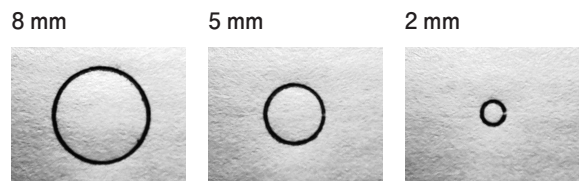
図6 小型カメラと汎用デジタル一眼レフカメラを用いて通常撮影した赤外線写真

¹ NightMaster 製 X3-IR 940 nm の赤外線ライトを用いて、ニコン製 AI AF Nikkor 50 mm f/1.8 D レンズを取り付けた汎用デジタル一眼レフカメラ（ニコン製 D5100）により撮影した。シャープカットフィルターは IR82 を使用し、絞り値 F1.8、露出時間 1 秒、ISO 感度 800 の条件で撮影した。⁶⁾

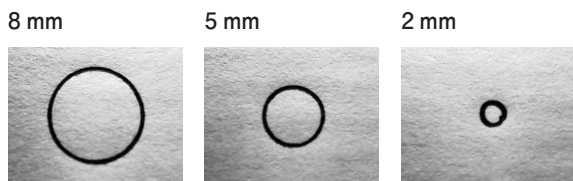
①三菱鉛筆製鉛筆
ハイユニ



②パイロット製油性ボールペン
アクロボール



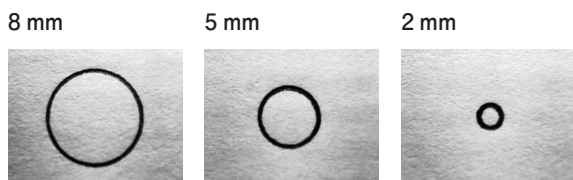
③パイロット製ゲルインキボールペン
ハイテック C



④パイロット製ゲルインキボールペン
ジュース



⑤パイロット製水性ボールペン
Vコーン



⑥パイロット製水性ボールペン
マルチボール



図7 小型カメラを用いて顕微撮影した可視光線写真

筆記具	顕微撮影 ¹			
	a) 可視光線写真	b) 赤外線写真	c) 赤外線写真	d) 赤外線写真
	小型カメラ + ルーペ	小型カメラ + ルーペ + シャープカットフィルター	小型カメラ + ルーペ	小型カメラ + ルーペ + ルーペ下部(透明部分)の遮光
①三菱鉛筆製 鉛筆 ハイユニ				
②パイロット製 油性ボールペン アクロボール				
③パイロット製 ゲルインキボールペン ハイテック G				
④パイロット製 ゲルインキボールペン ジュース				
⑤パイロット製 水性ボールペン Vコーン				
⑥パイロット製 水性ボールペン マルチボール				

図8 小型カメラを用いて顕微撮影した可視光線写真と赤外線写真

¹撮影試料：筆記具①～⑥で書いた直径2mmの円

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)