

応用研究論文

コンパクトデジタルカメラ等を用いた近赤外画像撮影

近赤外画像の簡易撮影

鶴田俊¹¹ 秋田県立大学 システム科学技術学部

成長期の葉を背景から抽出する目的で近赤外領域の画像が用いられているが、従来の赤外線フィルムでは肉眼で画像を確認しながら撮影することと露光量を適切に設定することが困難であった。近赤外域に高い感度を有するデジタル画像センサーの普及により近赤外画像を見ながら機器の調整が可能となっている。近赤外線に高い感度を有するカメラは、学術用などの業務用に限られるため高価である。一方、近赤外線光を選択的に透過する光学フィルターは、入手しやすい。夜景を鮮明に撮影するためデジタル画像センサーの感度は著しく向上している。通常のデジタルカメラは、カラーバランスを保つ目的で近赤外線領域の感度を低下させている。そのため、撮影された画像の近赤外線は、認識できない。このようなデジタルカメラに近赤外線を選択的に透過する光学フィルターを装着すると自動的にデジタル画像センサーの感度が上昇し、近赤外線を認識することが可能となる。ところが、フォーカスを可視画像の鮮明度を基に行うカメラでは、可視画像が遮断されるために鮮明な画像を得ることが困難となる。この困難を取り除くことが出来れば簡易近赤外撮影が可能となる。

キーワード： 近赤外線画像, 光学フィルター, 葉, デジタルカメラ

はじめに

近赤外線を用い、不可視画像を記録することは、1934年には考古学分野で報告されている [5]。写真技術の進歩 [3] に伴い用途が拡大した [6]。近赤外線は、植物の葉が明るく写ることから植物の状態を調べることも行われる [7]。赤外線フィルムは供給されているが、フィルム処理に時間を要するようになっている [1]。

一方、デジタルカメラの普及により撮影画像を見ながら露光調整、フォーカス調整が可能となっている。赤外線フィルムの場合、製造段階で感度が決まっているが、近赤外線の量を計測することが容易でなかったために適正な露出量を可視画像のように設定できなかった。広く普及しているデジタルカメラにより近赤外線画像を記録できると計測が容易となる。

身の回りには近赤外線を利用した機器が多数ある。家電製品のリモコンには近赤外線 LED が組み込まれている。スマートフォンのカメラで近赤外線 LED の作動状況を確認する方法が知られている [4]。しかし、近赤外線を記録する目的で機能するわけではなく製造上の都合で近赤外線カットフィルターが省略されているようである。

近赤外線は、可視光線に比べ波長が長く、繊維の微細構造

による散乱を受けにくいために深部の構造を記録できると近赤外線では肉眼で暗黒と感じられることから防犯や研究に利用が限られている。そのため近赤外線画像を記録出来る機材は、入手が難しい。

近赤外線は、燃焼時の炭素表面反応のみが起きていとされる 1000 °C 以下の表面から放射されることから火の粉による飛び火や燃焼気体温度を間接的に知ることが出来る [2]。従来は、赤外線フィルムとして供給されていたが、ムービーフィルムカメラで使用する場合、フィルムを装填するときに、赤外線が黒布、木材、プラスチックを透過しやすいことから赤外線に対して暗室とすることが難しく、取り扱いが困難であった。

デジタルカメラが動画記録可能であることを考えると近赤外線を簡便に記録できればその強度変化を追跡できることになる。

一方、コスト削減の目的やカメラ感度の向上を目的に近赤外線遮断フィルターを装備しないカメラあることやカメラ感度を著しく上昇可能なことから微弱な近赤外線画像を記録できる機材も存在する。

近赤外線を透過し、可視光を遮断する IR760 フィルターを用い、コンパクトデジタルカメラ等を用いた近赤外画像撮影を試みた。

実験

カメラは、スマートフォンカメラ (iPhone SE), 完全自動コンパクトデジタルカメラ (NIKON COOLPIX L12), 手動フォーカシング機能付きコンパクトデジタルカメラ (CASIO EXILIM 12.5x) を用いた。画像は、画像処理ソフトウェア GIMP と動画処理ソフトウェア VLC で処理した。



図1 スマートフォン可視画像

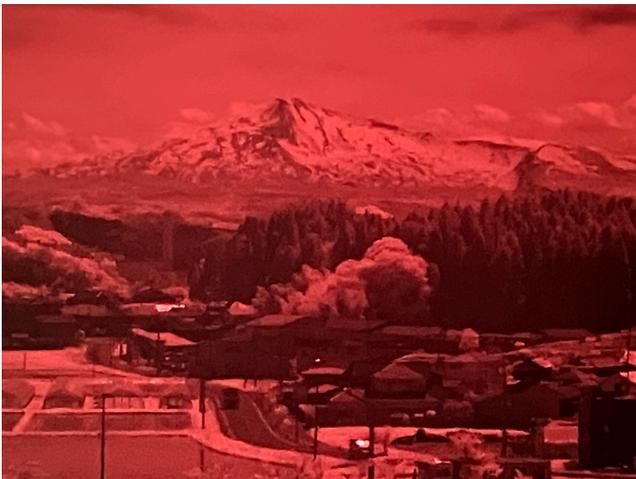


図2 スマートフォン近赤外線画像

スマートフォンカメラの画像

スマートフォンカメラは、2台のカメラが背中合わせで取り付けられている。画面側のカメラで家電リモコンの近赤外線 LED を明瞭に確認できたが画面背面側のカメラでは近赤外線 LED を明瞭に確認できなかった [4]。しかし、画面背面側のカメラに IR760 フィルターを密着させ撮影すると明瞭な近赤外線画像を撮影することが出来た。

図 1 に可視画像を示す。撮影日時は、2022 年 5 月 11 日 12:57:10, シャッタースピード 1/3247 秒, 絞り F1.8, ISO 32 であった。

図 2 に近赤外線画像を示す。撮影日時は、2022 年 5 月 11 日 12:57:21, シャッタースピード 1/20 秒, 絞り F1.8, ISO 640 であった。カメラは、南を向いている。

可視画像と比べシャッタースピードが、162 倍, ISO 感度が、20 倍であることから 3200 分の 1 の信号を画像とした計算となる。

シャッタースピードが 1/20 秒であるため従来のフィルムカメラであれば露光時のカメラ内部機構の振動で画像が不鮮明となるが、スマートフォンに加速度計を組み込まれ、カメラに加わる加速度から画像のブレを取り除いていると推定される。

どの様にフォーカスを調整しているかは分からないが、極めて暗い画像に対してもフォーカス調整が行われている。

可視画像と比べると鳥海山の山肌が鮮明に記録されていることがわかる。画面中央の新緑が背景の杉林と明瞭に分離されている。画面中央下部の舗装道路の路肩の野草が明るく記録されている。新緑を対象とするのであれば、スマートフォンとフィルターで検出できることが分かる。

完全自動コンパクトデジタルカメラの画像

完全自動コンパクトデジタルカメラは、静止画と動画を記録する機能がある。静止画では、画像コントラストを最大にすることでフォーカシングを行うようである。

IR760 フィルターを装着した画像が、想定した条件と大きく異なるようで明瞭な画像は得られなかった。動画では、事前に一定位置にフォーカシングされ、IR760 フィルターを装着しても明瞭な画像が得られた。

撮影日時は、2022 年 5 月 20 日 9:02 で自動動画撮影である。カメラは、南東を向いている。図 3 に可視画像を示す。薄曇りの空、森、道路路肩、水田、舗装道路、芝生が見える。森は、逆光となり森は一様に写っている。

図 4 に近赤外線画像を示す。森の中に種類の異なる木があることが分かる。可視画像では、不明瞭な木の存在も明確になっている。

図 2 と比べると画像の色が異なっている。本来近赤外線は見る事が出来ないために正しい色再現は存在しない。近赤外線のみであれば明暗のみのグレースケールとなる。

それぞれのカメラと画像の後処理の過程でこのような色になっている。動画記録のため画素数が限られることと露光時間が 1/30 秒以下に限定されていることが制約となり画質は高くないが、森の中の植物を識別できている。スマートフォンの近赤外線画像に比べると雲や芝生の部分にノイズが見える。後処理によりコントラストを強くするとノイズも強調される。

手動フォーカシング機能付きコンパクトデジタルカメラ

手動フォーカシング機能付きコンパクトデジタルカメラは、手動で ISO 感度、フォーカシング、絞り値、シャッタースピードを設定できる。

図 5 に近赤外線画像を示す。撮影日時は、2022 年 5 月 18 日

12:20, シャッタースピード 1/60 秒, 絞り F3.0, ISO 3200 であった。気象条件が同一ではないが, スマートフォンカメラとほぼ同じ露光量で画像を作成している。

カメラは, 南東を向いている。雲がないために空は, 暗くなっている。コンクリートの建物, 砂利道は暗くなっている。木の葉と芝生が明るく見える。

北向きで撮影を行った場合, フィルターに太陽光が映り込む。太陽高度が高い条件では, 地表面の植物の葉も木の葉も明るく記録できている。

撮影方向と近赤外線画像

完全自動コンパクトデジタルカメラを三脚に固定し, 朝太陽が東の空にあるとき大学構内の芝生をカメラの方向を変えて可視画像と近赤外線画像を撮影した。

太陽の方向に向けた南東方向の可視画像を図 6, 近赤外線画像を図 7 に示す。

可視画像では, 芝生の中に存在するロゼット葉が緑のムラとして見える。近赤外線画像では, 濃淡のムラとして見えるがあまり明瞭ではない。

地表面の植物の場合, 太陽の方向と撮影方向によって葉の見え方が異なっている。

西方向の可視画像を図 8, 近赤外線画像を図 9 に示す。可視画像では, 芝生の中のロゼット葉の緑のムラは薄い, 近赤外線画像では, 芝生の中に生えた植物の葉の形が明瞭になっている。

葉の表面の様子を詳しく判読するためには, 画像の解像度を高くする必要がある。今回は, 動画記録となったために解像度が低く, ノイズが目立つために判読は難しい。図 8 よりも遠方を撮影した可視画像を図 10 に示す。対象物との距離が大きくなり, 細かな部分が判読しにくくなっている。斜めから見ることになりロゼット葉は芝生の葉を通して見ることになり判別が難しくなっている。可視光では色合いが異なることからロゼット葉の存在は確認できる。図 11 に近赤外線画像を示す。ロゼット葉と芝生の近赤外線画像が平均化され, 境界が不明確である。

定量的にロゼット葉と芝生の分離を検討するためには, 撮影距離を決めて, 正確なフォーカス調整を行うことが必要である。現在の簡易的な近赤外線画像撮影では, 絞りは開放に近い状態に設定されることから被写体深度が浅くなっている。簡易的な近赤外線撮影では, 定量性を高めることは難しい。しかしながら簡便性を活かす使用方法には有効である。

近赤外線で撮影する場合, 木の葉や背の高い植物の葉は, 太陽光で照らされていれば近赤外線画像では明瞭に観察することができる。

植物の葉を太陽の方向から撮影できれば明瞭に観察できる。背の高い植物の下部にロゼット葉を広げている場合には, 斜め方向から観察することは困難であった。

近接して植物の葉を識別する場合, 芝生の中のロゼット葉を簡易的な近赤外線撮影でも明瞭に確認できた。



図3 完全自動コンパクトデジタルカメラ可視画像



図4 完全自動コンパクトデジタルカメラ近赤外線画像



図5 手動フォーカシング機能付きコンパクトデジタルカメラ近赤外線画像



図6 南東方向植物検出



図9 西方向近赤外線画像 1



図7 南東方向近赤外線画像



図10 西方向植物検出 2



図8 西方向植物検出 1



図11 西方向近赤外線画像 2

コントラスト強調によるロゼッタ葉検出

おわりに

近赤外線画像をグレースケールに変換し、輝度階調を伸長、コントラストを高くした画像を図 12 と図 13 に示す。

画像処理によりロゼッタ葉は、明るくなり、視認しやすい。図 12 では、カメラから近い位置のロゼッタ葉の存在が白く芝生の灰色の中に浮かび上がるが、遠方の芝生は一様に見える。カメラに近い位置の芝生に明るい線がいくつか見える。可視画像では、この線の存在はわからない。

更に遠方を水平に近い角度から撮影している図 13 では、芝生の中は一様に見える。

近赤外線画像をコンパクトカメラ等で動画撮影により記録し、画像を処理することにより近赤外線強度の高いところを抽出できることが分かった。

今回は、屋外の定常状態の撮影を行ったが、動画記録から静止画像を連続的に追跡できることが分かった。

森林や草原で植物の様子を調べるとき、スマートフォンやコンパクトカメラと近赤外線透過フィルターを組み合わせることにより簡易的な近赤外線画像を得ることができることがわかった。

しかしながら最も有効に植物の葉の様子を撮影できる太陽の方向からの撮影を行うためには、カメラとフィルターの接続を確実にして近赤外線に対して遮光する必要があることがわかった。

業務用の近赤外線カメラが利用できない場合でも簡易的な近赤外線画像を利用することができることがわかった。

参考文献

- [1] 林一男, 宮本五郎, 穂積英次, 写真のポケットブック, 共立出版 (1961)
- [2] 平野敏右, 燃焼学-燃焼現象とその制御-, pp.160-161, 海文堂 (1986)
- [3] 國産赤外線寫真乾板の製作に成功, 機械學會誌 38-217, p. 349, 日本機械学会 (1935), <https://doi.org/10.1299/jsmemagazine.38.217.349.2>.
- [4] SHARP, リモコン動作確認 簡易判定方法 (スマートフォンを使った場合), https://jp.sharp/support/air_con/doc/judg_infra_red.html.
- [5] 高山定雄, 古文書の赤外線寫真, 史学 13-2, p.146(324), 三田史学会 (1934), https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN00100104-19340800-0146.
- [6] 高山定雄, 不可視光線に依る古文書古書畫の鑑識方法, 史学 16-2, pp.33-67(197-231), 三田史学会 (1937), https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN00100104-19370600-0033.
- [7] 渡辺 苞, 偽カラー写真, テレビジョン 21-2, pp. 76-80 (1967), <https://doi.org/10.3169/itej1954.21.76>.

〔 令和 4 年 6 月 30 日受付
令和 4 年 8 月 22 日受理 〕

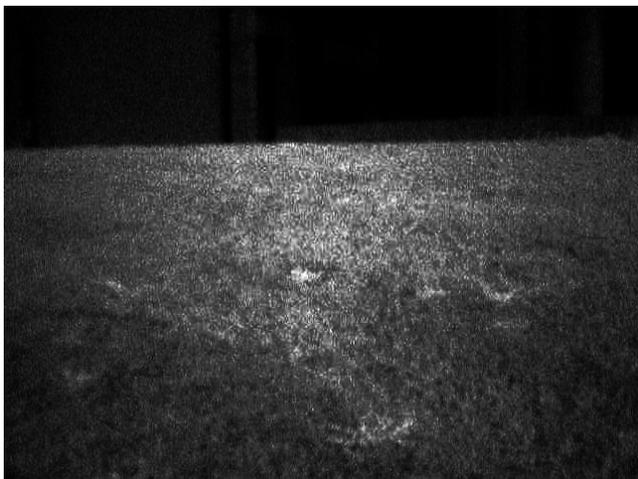


図12 西方向近赤外線強調画像 1



図13 西方向近赤外線強調画像 2

Near-infrared Image Recording using Compact Digital Cameras

Takashi Tsuruda¹

¹ *Department of Mechanical Engineering, Faculty of Systems Science and Technology, Akita Prefectural University*

The existence of a leaf is indicated by near-infrared light. Infrared film development is required after conventional near-infrared image recording. Adjustment of exposure is difficult for invisible near-infrared light. The sensitive image sensor enables recording images and previewing. Although near-infrared cameras for research and surveillance applications are expensive, their filters are readily available. Interestingly, recent cameras can capture quality images under dark conditions. Additionally, digital cameras use an infrared cut filter to capture natural images. These cameras are infrared insensitive. Furthermore, the cameras record infrared images if they are sensitive enough through the infrared cut filter. Moreover, when the camera adjusts focus based on the sharpness of a visible image, it becomes difficult to locate the visible image through the near-infrared filter and hence fails to adjust focus. Therefore, compact digital cameras record near-infrared images if some process solves this issue.

Keywords: digital camera, leaf, near-infrared, optical filter