特集 カメラおよび画像処理技術を活用した生態系モニタリング

レポート REPORT

UAV を活用した可視光と赤外線画像の同時撮影によるシロチドリの営巣分布調査

山川 将徑^{1)*}・片桐 寿通¹⁾・田屋 祐樹¹⁾・前 正人¹⁾・上野 裕介²⁾

1) 株式会社国土開発センター環境1部 〒924-0838 石川県白山市八束穂3丁目7番地

2) 石川県立大学生物資源環境学部環境科学科 〒921-8836 石川県野々市市末松1丁目308

Masamichi YAMAKAWA^{1)*}, Toshimichi KATAGIRI¹⁾, Yuki TAYA¹⁾, Masato MAE¹⁾, Yusuke UENO²⁾: Investigation of nesting distribution of Kentish plover by simultaneous shooting of visible and infrared images using UAV. *Ecol. Civil Eng.* 23(2), 405-408, 2021

1) National Land Development Center Co., Ltd., 3-7 Yatsukaho, Hakusan, Ishikawa 924-0838, Japan

2) Faculty of Bio-resources and Environmental Sciences, Ishikawa Prefectural University, 1-308 Suematsu, Nonoichi, Ishikawa 921-8836, Japan

Key words: 赤外線サーマルカメラ, ドローン, UAV, シロチドリ

報告の目的

日本に飛来するシギ・チドリ類は、海岸や干潟生態系などの環境指標種であり、環境省のモニタリングサイト1000の干潟調査「シギ・チドリ類」や全国での鳥類一斉個体数調査（天野 2006）の対象となっている。また河川水辺の国勢調査や海辺の生物国勢調査（国土交通省 2003）においても、シギ・チドリ類の生息や営巣状況の把握が定期的に実施されている。このため国や地方自治体が実施する各種の開発や整備事業では、これら海岸や河川の砂地や礫地に生息・営巣するシギ・チドリ類に配慮しながら工事を進めていく必要がある。

一方で、これまでシギ・チドリ類の営巣状況把握に用いられてきたラインセンサス法やスポットセンサス法での調査には、いくつかの課題がある。第1に、シギ・チドリ類の巣や卵は砂浜の砂とよく似た色（保護色）をしており、発見が容易ではない。特に、遠方からの観察では熟練者でも発見が困難であり、不用意に巣に近づいてしまう危険がある。第2に、調査努力量の問題がある。

広大な海浜を全て観察するには、膨大な時間を要する。これらの課題の解決法の一つとして、小型 UAV (Unmanned Aerial Vehicle, ドローン) による空撮により、その営巣場所を簡易に把握することができるかもしれない。

小型 UAV を用いた鳥類の調査は、ガンカモ類のモニタリングをはじめ、様々な調査で使用されている（例えば Nowak et al. 2018；小川ほか 2019）。それらの調査では、小型 UAV に搭載されている可視光カメラを用いて撮影を行うことで、対象生物の位置や個体数を把握してきた。一方で本研究が対象とするシロチドリ *Charadrius alexandrinus* は、営巣場所となる砂浜では保護色をしており、可視光カメラだけでは広大な砂浜の上空を飛行させながら、個体を発見することは容易ではない。これに対し、熱赤外線によって表面温度を計測可能な赤外線サーマルカメラを使用することで、表面温度の違いから砂浜などの無生物とシロチドリなどの恒温動物を識別できる可能性がある（上野・栗原 2016）。しかしながら、砂浜にはシロチドリの他にも多くの鳥類や哺乳類などが生息しており、赤外線サーマルカメラだけでは種の判別は不可能である。

2019 年 12 月 25 日受付, 2020 年 4 月 12 日受理

*e-mail: kankyoucyouusa@kokudonet.co.jp

そこで本研究では、可視光カメラと赤外線サーマルカメラを併用することで、シロチドリの営巣状況を簡易に調査することが可能かどうかを検証することを目的とした。具体的には、可視光と赤外線 of 2つのセンサーを同時に搭載したカメラを UAV に取付け、営巣中のシロチドリ個体の上空から撮影することで、個体の表面温度と周囲の砂浜の温度差を検出可能であるのか、また撮影する際の高度や時間帯はどのくらいが適切かを知るために調査を実施した。

調査地と方法

調査は、石川県白山市竹松町の松任海岸において、2019年7月26日の早朝（4：20～4：40）、8月6日の夕方（18：50～19：10）、夜間（21：30～21：50）、8月9日の昼間（15：30～15：50）に行った。

使用した UAV の機体は、DJI 社 Matrice 200 であり、重量 3.80 kg、寸法 887×880×378 mm（プロペラを展開した状態）、最大ペイロード 2.34 kg、運行可能風速 12 m/s、最大飛行時間はペイロードなしで 27 分である。

カメラは、可視光用と赤外線用の 2 種類のセンサーとレンズを備えた DJI 社 Zenmuse XT2 を用いた（ここでの赤外線は熱赤外を指す）。この Zenmuse XT2 は、1 回の撮影で同時に赤外線画像（R-JPEG ファイル）と 4K 画質の可視光画像（JPEG ファイル）の 2 枚を記録することができる。カメラの重量は 588 g、寸法 118.02×111.6×125.5 mm であり、ジンバルの操作可能範囲はチルト +30°～-90°、パン ±320° である。赤外線サーマルカメラの諸元は、画素ピッチ 17 μ m、解像度 72 dpi、スペクトル帯 7.5～13.5 μ m、温度分解能 <50 mk@f/1.0、シーン範囲 -25℃～100℃（温度感度を高めた高利得モード時）である。可視光カメラの諸元は、有効画素数 12 MP、解像度 72 dpi、レンズ FOV 57.12°×42.44° である。赤外線サーマルカメラの撮影画像は、カラー表示が可能であり、温度が高いほど赤色に、低いほど緑色に表示される。

調査では、砂浜に営巣するシロチドリを対象とした。シロチドリは、全長約 17 cm の鳥類（中野ほか 2016）で、環境省により絶滅危惧Ⅱ類（環境省 2014）、石川県により絶滅危惧Ⅱ類（石川県野生動物保護対策調査会 2009）に指定されている。予め調査員による観察で発見しておいたシロチドリの営巣場所 1 か所を対象とし、営巣地点から南南西方向に約 80 m 離れた場所に UAV の離着陸場所を設定した。撮影では、はじめに UAV を離

発着場所から営巣地点の上空 50 m の位置まで飛行させ、赤外線サーマルカメラの温度レンジを砂浜の温度 ±10℃ の範囲に設定した。その後、飛行高度を徐々に下げながら撮影を行い（高度 50 m、40 m、30 m、20 m、10 m、5 m）、高度毎に撮影した可視光画像から個体がシロチドリであると識別可能かを調べ（最適な高度の確認）、シロチドリが識別可能な高度で最適な撮影時間帯を調べた。なお高度は、Matrice200 で得られた対地高度である。

撮影した赤外線画像は、PC に取り込み、フリーソフトである FLIR Tools を使用して、砂地とシロチドリの表面温度差がモニター上で明確に判別できるように、表示する温度レンジを調整した。あわせて、赤外線画像と同時に撮影した可視光画像を確認し、撮影した個体がシロチドリかどうかを検証した。

結果と考察

はじめに、最適な撮影高度を調べるために、日中に高度を 50 m、40 m、30 m、20 m、10 m、5 m と徐々に下げながら撮影を行った結果、可視光画像では 20～50 m の高度ではシロチドリが判別できなかったものの、高度 10 m と 5 m で撮影した可視光画像では、容易にシロチドリが判別できた（Fig. 1）。さらに高度 20 m 以上の画像についても、PC モニター上で写真を拡大し、判別を試みたものの、撮影した鳥類がシロチドリであるかどうかの識別は困難であった。この原因として、本研究で用いた可視光カメラの分解能は、高度毎に 5 m で 457.5 画素、10 m で 9.0 画素、20 m で 0.7 画素、30 m で 0.04 画素、40 m で 0.002 画素、50 m で 0.0001 画素であり、全長約 17 cm（中野ほか 2016）であるシロチドリの判別には 20 m 以上の高高度画像では画素数が不十分であったと考えられる。

次に、最適な撮影時間帯を調べるために、高度 5 m で時間帯を早朝、昼間、夕方、夜間と変えて撮影を行った結果、可視光画像では夜間を除く、早朝から夕方にかけてシロチドリを視認することができた（Fig. 2）。一方で夜間は、暗闇となるために可視光での撮影ができず、夕方や早朝は、光量が不足するために画像を用いたチドリ類の種の判別が昼間に比べて難しかった（Fig. 2-d）。また、光量が最も多い昼間であっても、シロチドリは砂浜の色によく似た保護色をしており、多くの撮影画像の中から、素早く効率的にシロチドリを発見することは困難であった。

同様に、高度 5 m で時間帯を早朝、昼間、夕方、夜

Fig. 1. 早朝における高度別の可視光画像 (a. 高度 50 m, b. 40 m, c. 30 m, d. 20 m, e. 10 m, f. 5 m).

Fig. 2. 高度 5 m から撮影した各時間帯における可視光画像 (a-1. 早朝, b-1. 昼間, c-1. 夕方, d-1. 夜間) 及び赤外線画像 (a-2. 早朝, b-2. 昼間, c-2. 夕方, d-2. 夜間).

間と変えて赤外線画像を撮影した結果、赤外線画像は、早朝と夕方、夜間にシロチドリが発する熱赤外線を検知することができた (Fig. 2)。一方で昼間は、シロチドリの個体と付近にあった漂着物（発泡スチロール箱の破片）との判別ができなかった (Fig. 2-b)。この原因は、昼間は砂浜の表面温度が大幅に高くなったため、赤外線サーマルカメラで撮影したシロチドリと漂着物の相対的な表面温度の差が小さくなり、これら 2 つの違いを検出しづらくなったためである (Fig. 3)。これらのことから、赤外線画像と可視光画像には一長一短があり、両者を併

用することで、より効率的にシロチドリの調査が可能になると考えられる。すなわち赤外線画像は、可視光画像に比べて画像の中からシロチドリ（恒温動物）の位置を容易に識別できる一方で、赤外線画像では撮影された物体がシロチドリかどうかを判別することはできず、可視光画像により確認が必要となる (Fig. 2-d)。また、可視光画像と赤外線画像では撮影に最適な時間帯が異なっており、可視光画像を昼間に、赤外線画像を夜間もしくは薄暮時にそれぞれ撮影を行うか、あるいは可視光画像による判別のしやすさはやや低下するものの早朝もしくは

Fig. 3. 赤外線サーマルカメラで計測した各時間帯における砂浜、シロチドリの個体、漂着物の表面温度。

夕方に赤外線画像と同時に撮影を行うことで、シロチドリと砂浜、漂着物を判別ができることが示唆された (Fig. 2)。なお早朝と夕方の比較では、赤外線サーマルカメラで計測したシロチドリと砂浜の表面温度差は、夕方が2.4℃に対し、早朝が4.8℃であり、いずれもシロチドリの温度が高かった (Fig. 3)。この早朝の方が夕方よりも表面温度差が大きいという結果は、一般に夜間に気温が低下することによって砂浜と恒温動物であるシロチドリの温度差が大きくなることを示しているのかもしれない。しかしながら、その温度差はわずかであり、撮影当日の気象条件（気温や天候、日中の日射量など）の影響も受けるため、一概に早朝と夕方のいずれが最適であるかを決定することは困難であるだろう。

今後の活用の可能性

本研究の結果、シロチドリの判別には高度10 m以下の撮影が適していることが明らかとなったが、この高度では営巣しているシロチドリ個体に対する影響が懸念されるだろう。シロチドリを対象としたものではないものの、UAVを用いた既往の鳥類調査では、小川ほか (2019) は経験的に望ましい撮影高度としてカモ類で最低30 m以上やハクチョウ類で最低20 m以上といった高度が示されている。本調査の場合、UAVを50 mから5 mまで徐々に高度を下げる過程で、シロチドリが巣から逃避する行動は確認されなかったものの、個体との十分な隔離（撮影高度）を確保しつつ効果的にモニタリングできる技術が課題であるだろう。この課題を解決する

ための技術として、高解像度のカメラを使用することが考えられる。これにより、高い高度で撮影した場合でも、画像を拡大することによって対象個体を確認することが可能になる。本研究では、画素ピッチ17 μm 、解像度72 dpiの赤外線サーマルカメラと、有効画素数12 MP、解像度72 dpiの可視光カメラを用いたが、2倍の高度で同程度の画質を得るためには、解像度が4倍必要になる。このようなカメラ機材は高額・大型であるため、可視光カメラと赤外線サーマルカメラの2つを1つのUAVに搭載することは、現時点では難しいかもしれない。このため、フライト回数は増えるものの、高解像度の可視光カメラを搭載したUAVと高解像度の赤外線サーマルカメラを搭載したUAVを併用することで、解像度の高い画像を撮影できると考える。また、昨今の技術の進歩は早いため、将来的に1つのUAVに搭載可能な安価で且つ小型の高解像度の可視光カメラと赤外線サーマルカメラが開発されることに期待したい。

今後、赤外線サーマルカメラ搭載UAVの活用が進み、自然環境調査の手法がより効率的で高精度なものとなることを願っている。

謝辞

本研究を行うにあたり、国土交通省金沢河川国道事務所海岸課の皆様には、調査地の選定にご協力頂いた。これらの方々に謝意を表する。

引用文献

- 天野一葉 (2006) 干潟を利用する渡り鳥の現状. 地球環境 11 (2): 215-226.
- 石川県野生動物保護対策調査会 (2009) 改訂・石川県の絶滅のおそれのある野生生物 いしかわレッドデータブック〈動物編〉2009 (https://www.pref.ishikawa.lg.jp/sizen/red_data/rdb_2009/index.html, 2020年3月27日確認)
- 環境省 (2014) レッドデータブック 2014 2 鳥類. ぎょうせい, 東京.
- 国土交通省 (2003) 海辺の生物国勢調査マニュアル (案). 国土交通省河川局海岸室, 東京.
- Maciej M. Nowak M.M., Dzi K., & Bogawski P. (2018) Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) in environmental biology: a review. European Journal of Ecology 4(2): 56-74.
- 中野泰敬・叶内拓哉・永井凱巳 (2016) 知りたい野鳥が早見チャートですぐわかる日本の野鳥識別図鑑. 誠文堂新光社, 東京.
- 小川健太・鈴木透・高橋佑亮・神山和夫・牛山克己・嶋田哲郎 (2019) ドローンを活用したガンカモ類調査ガイドライン. 公益財団法人宮城県伊豆沼・内沼環境保全財団, 宮城.
- 上野裕介・栗原正夫 (2016) 赤外線サーマルカメラを用いた猛禽類の林内踏査手法. 応用生態工学 19(1): 107-110.