

## 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

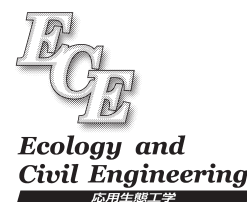
## 短報 SHORT COMMUNICATION

## 伊豆沼の湖沼を利用するサギ類のモニタリングにおける UAV の利用可能性

鈴木 透<sup>1)\*</sup>・高橋 佑亮<sup>2)\*\*</sup>・嶋田 哲郎<sup>2)</sup>

1) 酪農学園大学農食環境学群環境共生学類保全生物学研究室 〒069-8501 北海道江別市文京台緑町 582

2) 宮城県伊豆沼・内沼環境保全財団 〒989-5504 宮城県栗原市若柳字上畑岡敷味 17-2

Toru SUZUKI<sup>1)\*</sup>, Yusuke TAKAHASHI<sup>2)\*\*</sup>, Tetsuo SHIMADA<sup>2)</sup>: Feasibility study of monitoring using UAV for egrets in Lake Izunuma. *Ecol. Civil Eng.* 23(2), 377-382, 20211) *Rakuno Gakuen University, 582 Bunkyo-dai midorimachi, Ebetsu, Hokkaido, 069-8501, Japan*2) *The Miyagi Prefectural Izunuma-Uchinuma Environmental Foundation, 17-2 Shikimi, Wakayanagi, Kurihara-shi, Miyagi, 989-5504, Japan*

**Abstract:** In Lake Izunuma, Miyagi Prefecture, there is concern that the feeding habitats in the lakes of egrets is affected by the decrease of open water and the change of fish composition. In this study, we examined the availability of UAV-based monitoring for egrets. The survey was conducted in Lake Izunuma (369 ha), and a total of 7,852 images were obtained using UAV in September 2018. Using the UAV imagery, the ability to discriminate egrets was examined. As a result, egrets were confirmed in 855 images, and UAV was considered available for monitoring egrets in lakes. To improve the efficiency of UAV monitoring, the availability of image analysis methods using binarization processing was evaluated. As a result, it was found that the binarization process is useful for screening UAV images. However it is difficult to extract only egrets, and further consideration of the method is necessary. UAV and image processing technologies were able to gather new insights of egrets. It is recommended that consider better protocols for UAV ecosystem monitoring.

**Key words:** image processing, egrets, monitoring, UAV

## はじめに

宮城県伊豆沼・内沼では、近年ハス (*Nelumbo nucifera*) の増加 (鹿野ほか 2008) やオオクチバス (*Micropterus salmoides*) など外来種の影響 (高橋 2002) など複合的な要因が関連して、湖沼内の生物相の単純化や種の減少が顕著である。これら湖沼内の生物相の単純化・種

の減少は、生物間相互作用を介して伊豆沼・内沼の湖沼生態系へ様々な影響が波及することも懸念される (芦澤ほか 2015)。

ダイサギ (*Ardea alba*) やチュウサギ (*Egretta intermedia*)、コサギ (*Egretta garzetta*) は、水田などの農耕地や湖沼において主に魚類や両生類を採餌しているサギ類である。伊豆沼・内沼においても、7月下旬から9月

2019年9月22日受付, 2020年6月4日受理

\*e-mail: [tsuzuki@rakuno.ac.jp](mailto:tsuzuki@rakuno.ac.jp)

\*\*現所属: 自然環境研究センター 〒130-8606 東京都墨田区江東橋3丁目3番7号

\*\*Present Address: *Japan Wildlife Research Center, 3-7 Kotobashi 3-chome, Sumida-ku, Tokyo, 130-8606, Japan*

にかけて、周辺の農耕地や湖沼内で魚類を採餌するサギ類が多く観察される。サギ類の湖沼内の採餌環境は、伊豆沼・内沼におけるハスの過剰な増加による魚類を採餌できる開放水面の減少や外来種による魚類相の変化より影響を受けていることが懸念されるが、その実態は明らかになっていない。そのため、湖沼におけるサギ類の利用実態を明らかにすることがまず必要であるが、湖沼内にはハスが繁茂しているため湖岸から人が目視でサギ類の正確な利用実態を把握することは困難である。

近年測量、災害調査や農業散布など様々な分野で利用されている無人飛行機 (Unmanned Aerial Vehicle, 以下 UAV) は、カメラを搭載することで人では視認できない上空からの画像を撮影することができる。生態系の重要な構成要素である生物群集のモニタリングにおいても、鳥類 (Chabot & Bird 2012)、哺乳類 (Linchant et al. 2015) など UAV が利用され始めており、複数時期の精度の良い画像が容易に取得できることなど (Xiang & Tian 2011)、調査の効率化、多時期のデータ取得など既存の調査手法を補完できる手法として期待されている (Watts et al. 2012)。また、UAV を用いた野生動物の個体群のモニタリングは永続的なデータとして保管可能であり、現地調査と異なり、精度の検証や新たな検知方法を提供する可能性がある (Hodgson et al. 2018)。一方、UAV より撮影した画像を生物群集のモニタリングに利用する際には、野生動物へのかく乱を最小限にすることや、生物を検知できる画像精度の検討 (Hodgson et al. 2018) などよりよい調査のプロトコルを検討する必要がある (Hodgson & Koh 2016)。伊豆沼・内沼のような植生が繁茂する湖沼内に生息し、目視による調査が困難であるサギ類についても UAV を用いた調査により湖沼内のサギ類に関する新たな知見を収集できる可能性はあるが、UAV による画像からサギ類を判別できる可能性や効率化するための画像処理手法の検討など調査のプロトコルを検討した事例はない。

そこで本研究では、宮城県伊豆沼の湖沼内を利用するサギ類を対象として、UAV を用いたモニタリングの利用可能性を検討することを目的とした。具体的には、まず UAV により伊豆沼の湖沼内を撮影した画像を用いて、目視によるサギ類の判別の可否を検討し、UAV による画像で湖沼内のサギ類がモニタリングできるのかを検証した。また、UAV により得られた画像に対して画像処理を行うことにより、UAV による画像からサギ類を判別する作業の効率化について検討した。

## 方法

調査は宮城県伊豆沼 (面積: 369 ha, 38° 43'N 141° 06'E) を対象とし、2018 年 9 月に実施した。2018 年 8 月 19 日、9 月 26 日に伊豆沼で実施された鳥類相の調査によると、確認されたほぼ全身が白いサギ類はダイサギ、チュウサギ、コサギ (8 月 19 日のみ確認) の 3 種である (公益財団法人 宮城県伊豆沼・内沼環境保全財団 [http://izunuma.org/pdf/bird\\_H30.pdf](http://izunuma.org/pdf/bird_H30.pdf), 2020 年 2 月 7 日確認)。これらの種は体長、くちばしや脚などの形態的特徴により判別可能であるが、対象種への影響を少なくするため比較的高い高度から撮影する UAV を用いたモニタリングにおいては、画像からこれらの種を判別することは現状の機器では困難であると考えられる。そのため、本研究ではダイサギ、チュウサギ、コサギをサギ類としてまとめて調査対象種として扱った。

調査は、伊豆沼は非常に広域であり、UAV の飛行時間に制限もあるため、伊豆沼内のサギ類が湖沼内で採餌する際に利用しているハスやヒシ (*Trapa natans*) が生育している箇所において、南北に 500 m 置きに設定した 8 本のラインを調査箇所として設定し実施した (Fig. 1)。UAV による撮影は、各調査箇所について、ラインの両サイド約 25 m の位置に平行に 2 本 (計 16 本) の UAV の飛行ラインを設定し、2018 年 9 月 8 日・12 日・16 日・23 日の計 4 回実施した。使用したドローンは Phantom 4 Pro (DJI 社製) であり、カメラは 1 インチ CMOS イメージセンサを搭載しており、有効画素数は 2,000 万画素、視野角は約 84° である。本研究では、画像の地上サンプリング距離 (Ground Sampling Distance, 以下 GSD) と UAV の飛行が鳥類へ与える影響を考慮して、高度 45 m からの撮影とした。GSD とは、画像の画素 (ピクセル) 間の中心距離であり、1 ピクセル当たりの画像サイズを示しており、画像の地上分解能や解像度を同義である。高度 45 m から Phantom 4 Pro で撮影した画像の GSD は約 1.2 cm である。GSD 約 1.2 cm は、マガモ (*Anas platyrhynchos*) を判別できる画像の解像度であり (小川ほか 2019)、マガモと同様もしくは大きい体長であるサギ類の判別には十分な GSD であると考えた。また、水面にいる鳥類への影響が少ない UAV の飛行高度の目安として、マガン (*Anser albifrons*) では 50 m 以上、カモ類では 30 m 以上が推奨されている (小川ほか 2019)。サギ類での検証された事例ではないが、高度 30 m から 50 m では UAV による飛行の影響が少ないと考え、本研究では高度 45 m と設定した。

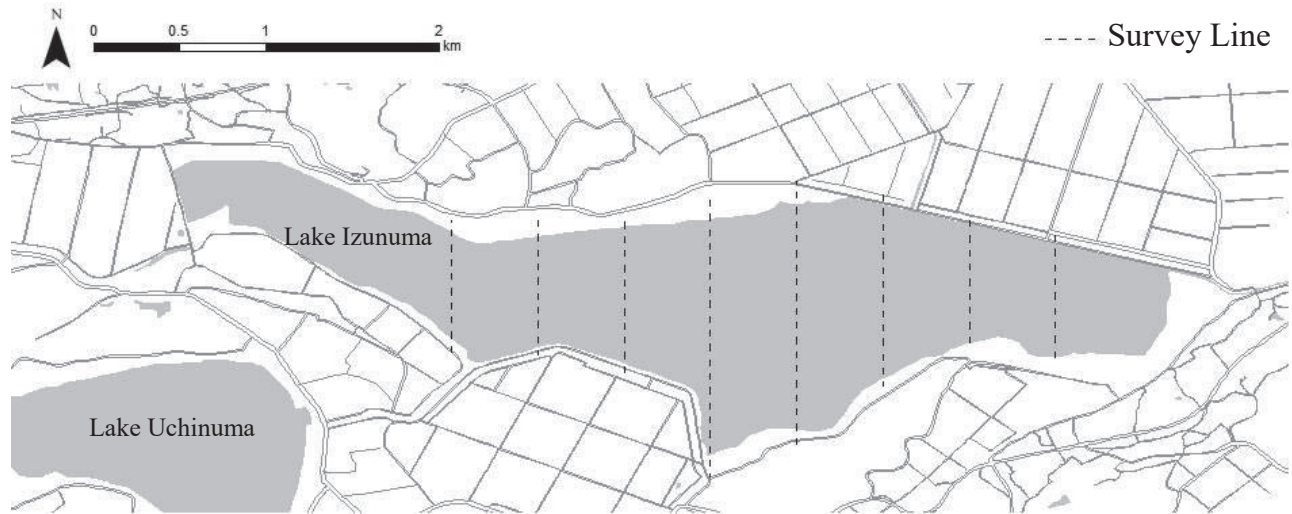


Fig. 1. Survey lines for monitoring of egrets in Lake Izunuma.  
伊豆沼内に設定したサギ類をモニタリングするための調査箇所。

UAV の画像は、カメラの撮影角度が直下とした場合でも、画像内で被写体が写る角度は異なる。例えば、画像中央では真上からの撮影となるが、画像の中央から離れた場所では斜めからの撮影となる。本研究では、サギ類を様々な方向から撮影した画像を収集するために、画像間の進行方向での重なりを示すオーバーラップは約 80%、飛行ライン間の重なりを示すサイドラップは約 60%を満たす撮影を設定し、撮影場所や撮影されたサギ類の個体について重複がある画像を利用することとした。

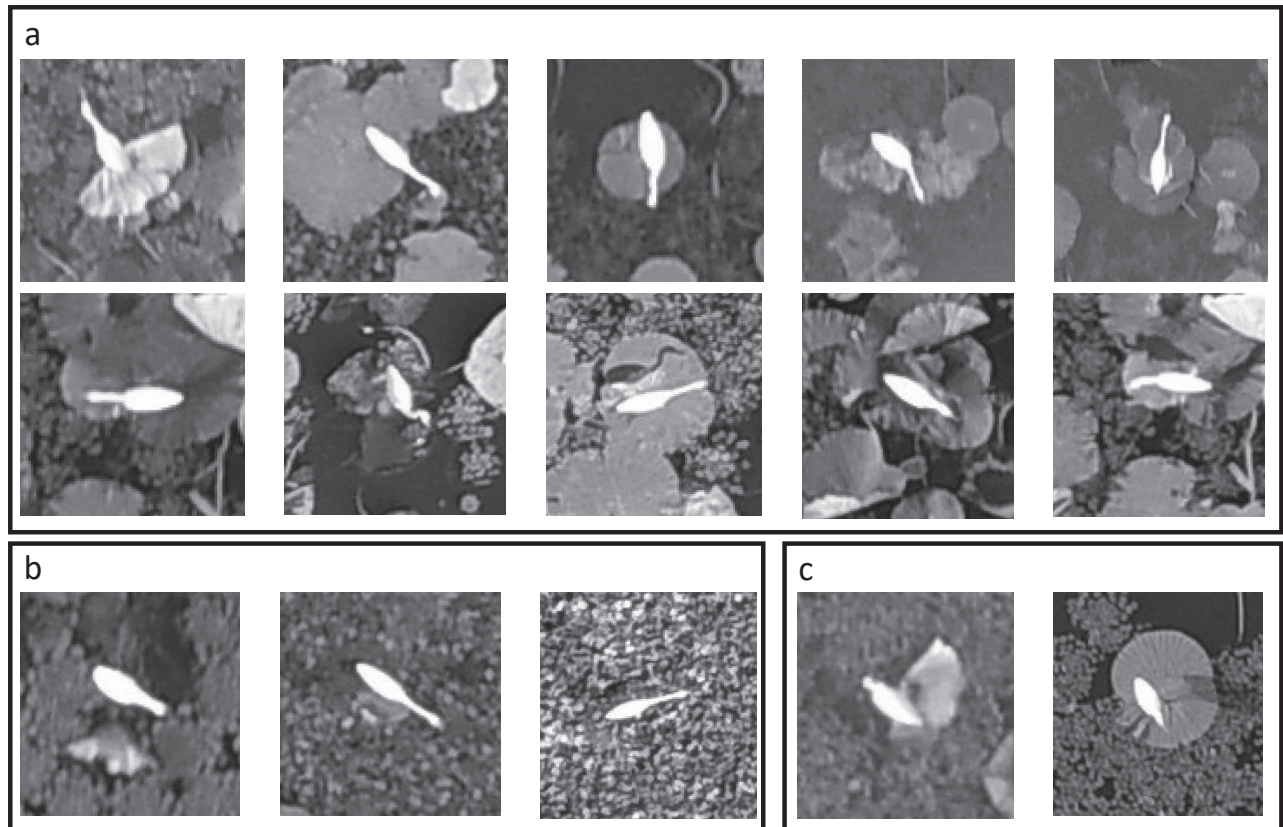
UAV により撮影した画像全てについて、目視によりサギ類が判別できるかを確認した。サギ類の判別基準は、体色が白いこと、くちばしや首が長いことなどの形態的な特徴から判断した。なお、似たような形態的特徴を有するオオハクチョウ (*Cygnus cygnus*) やコハクチョウ (*Cygnus columbianus*) などのハクチョウ類は調査時には確認されていない。

次に、UAV による画像について画像処理を行うことにより、サギ類の判別を効率化する手法について検討した。画像処理には、サギ類は特徴的な白色の羽色をしているため、画像中の抽出する対象の物体と背景に関して領域の色や輝度値の違いから判別する処理である二値化処理を用いた。まず二値化処理を行うために、画像を 8 bit の 256 階調 (0~255 の値) のモノクロ画像に変換し、サギ類が抽出可能な閾値を検討した。閾値は、目視にて判別した画像からランダムに画像を 50 枚選定し、撮影されたサギ類の色の領域から判断した。次に、二値化処理し抽出した画像内の物体は、ノイズとなる微小な

物体も含まれるため、抽出した物体について面積を算出し、微小な物体は除外した。除外するための面積は、サギ類の体長 (約 60~90 cm) を考慮し、半径 15, 30, 45 ピクセル (1 ピクセル 1.2 cm) 以下の 3 つの基準を検討した。手法の検討は、目視にてサギ類が確認された画像については、目視にて確認されたサギ類のみを完全に抽出できた画像の割合を示す正答率、目視で確認されたサギ類も含むが他の物体も抽出された画像の割合を示す抽出率、目視で確認されたサギ類が抽出されなかった画像の割合を示す非抽出率を算出し、目視にてサギ類が確認されなかった画像については、物体が検出されなかった画像の割合を示す非検出率を算出し指標とした。画像処理にはオープンソースの画像解析ソフト ImageJ の拡張版である Fiji (<https://imagej.net/Fiji>) を用いた。

## 結果と考察

UAV を用いた撮影は 2018 年 9 月に計 4 回実施し、計 7,852 枚の画像を取得した。UAV により撮影された画像全てについて、目視にてサギ類の有無を確認した結果、7,852 枚の内、855 枚の画像でサギ類が確認された。伊豆沼では、サギ類の多くはハス上で確認され (Fig. 2a)、9 月後半にはヒシの上でも少数確認された (Fig. 2b)。今回の撮影では水面でサギ類が撮影されている画像は見られなかった。今回使用した UAV の画像は、多くの場合サギ類の特徴である長い首などの形態が明瞭に撮影されており (Fig. 2a, b)、容易にサギ類と判別することが



**Fig. 2.** Examples of egrets photographed in UAV imagery. a; egrets on lotuses b; egrets on *Trapa japonica* c; egrets that are difficult to distinguish from their shape.

UAV 画像に撮影されたサギ類の例. a; ハス上のサギ類 b; ヒシ上のサギ類 c; 形態から判断しづらいサギ類.

できた. これはハスやヒシ上でカメラに対して完全に垂直に直立しているサギ類が撮影されるケースが少ないためであると考えられた. また, 長い首などサギ類の形態的特徴が明瞭でない個体もごくわずか確認されたが (Fig. 2c), 同時期に調査で確認された水鳥には, 羽色が白色の種がないためサギ類であると判別することができた. サギ類と他の種を判別できない画像は認められなかった.

今回使用した画像は Phantom 4 Pro を用いて高度 45 m から撮影した画像であり, GSD は約 1.2 cm である. サギ類の体長は約 60~90 cm 弱であるが, 上空からでは半分以下のサイズで撮影される可能性もある. 小川ほか (2019) は, UAV による画像において GSD はマガン (体長約 72 cm) では約 1.7 cm, マガモ (体長約 59 cm) では約 1.2 cm が判別が必要であると報告しているが, 今回撮影した画像の GSD 約 1.2 cm は, サギ類の形態的な特徴を捉えることが可能である画像の精度であると考えられた. また, 市場に流通している汎用的な UAV を用

いて対象種へ影響の少ないと考えられる高度から撮影された画像であることも考慮すると, 伊豆沼の湖沼を利用するサギ類のモニタリングに UAV は利用可能であると考えられる. しかし, 地域や調査時期が異なる場合, 画像から種や分類群を判別する基準が異なることが想定される. 例えば, 今回の撮影においても長い首などサギ類の形態的特徴が撮影できていない個体はごくわずか確認されており (Fig. 2c), ハクチョウ類が同時期に確認される場合は判別が困難になるかもしれない. そのため, よりよい UAV による調査のプロトコルは, 今回示した GSD の目安だけでなく, 地域ごとに特性や調査時期を合わせた UAV による調査計画を検討する必要があると考えられた.

続いて, UAV により得られた画像に対して二値化処理を行うことにより, UAV による画像からサギ類を判別する作業の効率化の可能性について検討した. まず, 画像内におけるサギ類の領域から確実に抽出できる閾値を検討した結果, 変換した 256 階調 (0~255 の値) の

モノクロ画像において 250 以上の値を閾値として設定した場合にサギ類が抽出可能であることが明らかになった。今回複数の時期・場所で撮影した画像からランダムに抽出した画像から全体に適用可能であると考えられる閾値を設定したが、使用した UAV に搭載しているカメラは RGB カメラであり、画像内・画像間での画像の明度の違いがある。そのため、異なる時期や場所で撮影した画像を用いる場合は閾値を使用する画像から検討する必要がある。

次に、全ての画像について設定した閾値により二値化処理を一括して行い、抽出された物体について面積を算出し、半径 15, 30, 45 ピクセル (1 ピクセル 1.2 cm) 以下の 3 つの基準で微小な物体を除外した。その結果、目視にてサギ類が確認された画像 855 枚の内、サギ類のみを抽出できた画像の割合である正答率は半径 15, 30, 45 ピクセル以下の 3 つの基準でそれぞれ 37.8%, 54.7%, 62.2% であった (Table 1)。サギ類も含むが他の物体も抽出された画像の割合を示す抽出率は半径 15, 30, 45 ピクセル以下の 3 つの基準でそれぞれ 98.4%, 95.1%, 90.6% であった (Table 1)。目視で確認されたサギ類が抽出されなかった画像の割合を示す非抽出率は半径 15, 30, 45 ピクセル以下の 3 つの基準でそれぞれ 1.6%, 4.9%, 9.4% であった (Table 1)。目視にてサギ類が確認されなかった画像 6997 枚の内、物体が検出されなかった画像の割合を示す非検出率は半径 15, 30, 45 ピクセル以下の 3 つの基準でそれぞれ 40.3%, 55.0%, 63.3% であった (Table 1)。

目視でサギ類が確認された画像の内、確認されたサギ類のみが抽出できた割合である正答率は平均 51.6% であり、目視でサギ類が確認されなかった画像の内、物体が検出されなかった割合である非検出率は平均 52.9% であった。これより、今回検討した二値化処理は UAV

により得られた画像からサギ類のみを正確に抽出するには精度が不足していると考えられた。この原因として、サギ類の体毛は白色であり非常に判別しやすい一方、ハスの花や裏返った葉などは上空からはサギ類と同様な白色で撮影されていたことや水面での強い光の反射などのハレーションが画像に認められたため、二値化処理ではサギ類と他の白い物体の分離が困難であるためであると考えられた。

一方、目視で確認されたサギ類も含むが他の物体も抽出された画像の割合を示す抽出率は平均 94.7% と高く、確認されたサギ類を見落とした割合を示す非抽出率は平均 5.3% と低い値を示した。特に、半径 15 ピクセル (約 18 cm) とした場合、抽出率は 98.4%、非抽出率は 1.6% を示した。これより、画像を用いたサギ類の抽出は、15 ピクセル以下のノイズを除去することで非常に高い精度で行うことが可能であり、本手法は UAV により得られた大量の画像からサギ類が撮影されている可能性がある画像を選別するスクリーニングとしては利用可能であることを考えられた。サギ類が目視で確認されながらも二値化処理により抽出できなかった画像について、撮影した画像と二値化処理した画像を比較したところ、撮影した画像に水面での強い光の反射などのハレーションが認められた。ハレーションとは強い光線が当たる部分が白くぼやける現象であり、UAV による上空から撮影では特に太陽光線の影響を強く受ける。その結果、ハレーションのある画像では白色が強く発色した画像では相対的にサギ類が暗くなり、二値化処理の前処理であるモノクロ画像への変換においてサギ類が暗く表示されたためサギ類が抽出できなかった可能性が示唆された。そのため UAV により撮影の際に、光量を抑えるフィルターをカメラに装着することやシャッター速度を早くするなど撮影方法を改善することで、画像処理に適した画像を

**Table 1.** Summary of indices used to evaluate the binarization processing.  
二値化処理の評価に用いた指標要約.

Radias <sup>1</sup> (pixel)	Correct rate <sup>2</sup> (%)	Detection rate <sup>3</sup> (%)	Error-detection rate <sup>4</sup> (%)	Error-recognition Rate <sup>5</sup> (%)
15	37.8	98.4	1.6	40.3
30	54.7	95.1	4.9	55.0
45	62.2	90.6	9.4	63.3

<sup>1</sup> Max radius of excluded area

<sup>2</sup> Percentage of detected images of only egrets 正答率

<sup>3</sup> Percentage of detected images of objects including egrets 抽出率

<sup>4</sup> Percentage of images in which egrets could not be detected 非抽出率

<sup>5</sup> Percentage of images in which egrets could not be detected 非検出率

取得することができ、結果として抽出できない画像を少なくすることが可能であると考えられた。

本研究ではこれまで利用実態を把握することが困難であった伊豆沼の湖沼内のサギ類について、UAVを用いたモニタリングの利用可能性や効率化の手法を検討した。その結果、汎用的なUAVを用いて伊豆沼の湖沼内におけるサギ類をモニタリングすることは可能であることが明らかになった。一方、今回使用した二値化処理はUAVにより得られた画像からサギ類が撮影されている可能性がある画像を選別するスクリーニングには有用であるが、サギ類のみを抽出することは困難であり、手法のさらなる検討が必要であることが明らかになった。生物種を含む生態系のモニタリングでは非常に多岐にわたる情報を定期的に収集する必要がある。UAVや画像処理技術は本研究で示したように新たな知見を得ることも可能である。今後、UAVによる生態系のモニタリングに関して、異なる環境や種への適用方法などよりよいプロトコルを検討していくことが望まれる。

## 謝 辞

本研究は、2016年度酪農学園大学共同研究、及び環境研究総合推進費(1-1602)「フィールド調査とロボット・センサ・通信技術をシームレスに連結する水域生態系モニタリングシステムの開発」(研究代表者:海津裕)の一環として実施した。また、原稿について適切な助言を頂いたことに対して、二人の匿名査読者及び編集委員に感謝する。

## 摘 要

宮城県伊豆沼において、サギ類の湖沼内の採餌環境は、ハスの過剰な増加による開放水面の減少や外来種による魚類相の変化より悪影響を受けていることが懸念されるが、その実態は明らかになっていない。そこで本研究では、サギ類を対象として、UAVを用いたモニタリングの利用可能性を検討した。調査は宮城県伊豆沼(面積:369 ha)で行い、2018年9月に計4回、UAVを用いて上空から撮影を行い、計7,852枚の画像を取得した。撮

影した画像を用いてサギ類の判別の可否を検討した。その結果、855枚の画像についてサギ類を確認することができ、UAVは湖沼内のサギ類のモニタリングに利用可能であると考えられた。また、UAVによるモニタリングを効率化するために、二値化処理による画像分析手法の利用可能性を検討した。その結果、今回使用した二値化処理は画像のスクリーニングには有用であるが、サギ類のみを抽出することは困難であり、手法のさらなる検討が必要であることが明らかになった。UAVや画像処理技術は、サギ類のモニタリングに関する新たな知見を収集することが可能であった。今後、UAVによる生態系のモニタリングに関して、異なる環境や種への適用方法などよりよいプロトコルを検討していくことが望まれる。

## 引用文献

- 芦澤淳・星雅俊・藤本泰文・嶋田哲郎(2015) 湖沼における刈払い装置を用いたハス群落の抑制方法に関する試験。伊豆沼・内沼研究報告9号:61-70.
- Chabot D. & Bird D.M. (2012) Evaluation of an off-the-shelf unmanned aircraft system for surveying flocks of geese. *Waterbirds* **35**: 170-174.
- Hodgson J.C. & Koh L.P. (2016) Best practice for minimising unmanned aerial vehicle disturbance to wildlife in biological field research. *Current Biology* **26**(10): 404-405.
- Hodgson J.C., Mott R., Baylis S.M., Pham T.T., Wotherspoon S., Kilpatrick A.D., Segaran R.R., Reid I., Terauds A., & Koh L.P. (2018) Drones count wildlife more accurately and precisely than humans. *Methods in Ecology and Evolution* **9**: 1160-1167.
- Linchant J., Lisein J., Semeki J., Lejeune P. & Vermeulen C. (2015) Are unmanned aircraft systems (UASs) the future of wildlife monitoring? A review of accomplishments and challenges. *Mammal Review* **45**: 239-252.
- 小川健太・鈴木透・高橋佑亮・神山和夫・牛山克巳・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
- 鹿野秀一・菊地永祐・嶋田哲郎・進東健太郎(2008) 伊豆沼・内沼のハス群集の生育拡大状況。日本陸水学会第73回大会講演要旨集。
- 高橋清孝(2002) オオクチバスによる魚類群衆への影響 - 伊豆沼・内沼を例に。日本魚類学会自然保護委員会(編)。川と湖沼の侵略者ブラックバス。pp. 47-59. 恒星社厚生閣, 東京。
- Xiang H. & Tian L. (2011) Development of a low-cost agricultural remote sensing system based on an autonomous unmanned aerial vehicle (UAV). *Biosystems Engineering* **108**: 174-190.