



Title	複数マイクロフォン・ドローンリモートセンシング手法による尾瀬ヶ原湿原のニホンジカ個体数の推定
Author(s)	沖, 一雄; Oki, Kazuo; 牧, 雅康 他
Citation	低温科学, 80, 477-482
Issue Date	2022-03-31
DOI	<a href="https://doi.org/10.14943/lowtemsci.80.477">https://doi.org/10.14943/lowtemsci.80.477</a>
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/84944">https://hdl.handle.net/2115/84944</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	35_p477-482_LT80.pdf



# 複数マイクロフォン・ドローンリモートセンシング手法による 尾瀬ヶ原湿原のニホンジカ個体数の推定

沖 一雄<sup>1), 4)</sup>, 牧 雅康<sup>2)</sup>, 奥村 忠誠<sup>3)</sup>, サレム イブラヒム サレム<sup>4)</sup>

2021年9月30日受付, 2021年12月31日受理

本研究は、マイクロフォン地上センサとドローンリモートセンシングによるニホンジカ個体数推定手法の開発をおこない、それらの精度を比較検討し、最終的に人のアプローチによる調査が難しい湿原域におけるシカ個体数推定手法の提案をおこなった。

最終的な研究成果として、マイクロフォンによるシカ個体数推定では、尾瀬ヶ原西部地域のシカの個体数は、およそ539.9～667.4頭と推定され、ドローンによる個体数は、およそ470～696頭と推定された。マイクロフォンとドローンによるシカの個体数の推定原理は全く違うにも関わらずほぼ同じ推定結果が得られ、それぞれの手法の有効性が示された。今後、尾瀬においてこれらの手法の活用が期待される。

## Development of methods for estimating deer population size with ground and remote sensing techniques

Kazuo Oki<sup>1, 4)</sup>, Masayasu Maki<sup>2)</sup>, Tadanobu Okumura<sup>3)</sup>, Salem Ibrahim Salem<sup>4)</sup>

In the present study, we developed a method for evaluating the deer population in western Ozegahara using microphone ground sensors and an unmanned aerial vehicle (UAV). Specifically, we first developed a deer population estimation method using a microphone, followed by a deer population estimation method using the UAV. We then carried out a comparative examination of the accuracy of these deer population estimation methods. We propose these new methods for estimating deer populations in wetlands, which are difficult for humans to enter.

Our research results showed that the deer population estimated by the microphone was 539.9 to 667.4 in the western Oze area, and the drone estimated it to be 470 to 696. Although the two methods for estimating the deer population are completely different, almost the same results were obtained, indicating that these methods are effective. It is expected that these methods will be utilized in Oze in the future.

キーワード：尾瀬ヶ原, シカの鳴き声, マイクロフォン, UAV, リモートセンシング  
Ozegahara mire, deer cry, sound recordings, UAV, remote sensing

### 責任著者

沖 一雄

〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1

東京大学生産技術研究所

Tel:03-5452-6128

e-mail:kazu@iis.u-tokyo.ac.jp

1) 東京大学生産技術研究所

2) 福島大学農学群食農学類

3) 株式会社野生動物保護管理事務所

4) 京都先端科学大学工学部

1 Institute of Industrial Science, The University of Tokyo, Tokyo, Japan.

2 Faculty of Food and Agricultural Sciences, Fukushima University, Fukushima, Japan.

3 Wildlife Management Office Inc., Hachioji, Tokyo, Japan.

4 Faculty of Engineering, Kyoto University of Advanced Science, Kyoto, Japan.

## 1. はじめに

尾瀬ヶ原は東西6 km, 南北2 km, 面積約8 km<sup>2</sup>の本州最大の泥炭地の高層湿原である(野原 2012). その形成は6,000年前頃であると考えられており(阪口ら1999), 貴重な植物群落が生育していることから2005年にはラムサール条約登録湿地に登録されている. また, 5~7月の湿原植物の開花時期をピークに年間30~40万人の観光客が訪れるなど, 人々に幅広くその自然環境・植生の価値が認められている. 一方で, 1990年代半ばからニホンジカ(*Cervus nippon* Temminck, 1838, 以下シカ)が確認されるようになり, 自然植生へのシカによる影響が顕在化し生態系への不可逆的な影響が懸念されている(吉川ほか 2021).

これまで尾瀬のシカの生息数に関する指標として, 主にはライトセンサス調査による目撃数の変化が使われてきた. しかし, ライトセンサス調査はその日の気象条件やシカの動きに強く影響を受けるため, データの観測誤差が大きくなる問題がある(岸元ほか 2010). その他, シカの生息密度の指標として, 自動撮影カメラの撮影頻度とGPS首輪から得られた移動速度を元に推定する手法があるが労力がかかる. また, 糞塊調査, 糞粒調査, 区画法などもあるが, これらの手法は尾根や山の中を歩き回りシカやその痕跡を探すという手法であり, 人による踏査が難しい湿地帯である尾瀬のような湿原には適さない.

現在, 尾瀬の湿原内外において, シカの捕獲が実施されているが, 尾瀬の植生被害を低減させるために必要な捕獲数は設定されずに捕獲が行われている(尾瀬・日光国立公園ニホンジカ対策広域協議会尾瀬・日光国立公園ニホンジカ対策方針 2020). このことから, 尾瀬のような人のアプローチが難しい場所で行える密度調査手法が求められている.

これまでに著者らは, 尾瀬ヶ原湿原において繁殖期(9月中旬から11月)のオスジカの“フィーヨフィーヨ”という鳴声を複数マイクロフォンにより観測し, そのデータから数理的手法により, 複数の雄ジカの鳴いた場所を即時的に特定する手法を開発した(Salem et al., 2021). また, 尾瀬ヶ原のような上空が開けた場所でのシカの発見を念頭に, 熱赤外カメラ搭載ドローンによる夜間の空撮画像の取得方法と処理方法の提案と開発を目標に, それぞれについて検討した. その結果, 従来法であるライトセンサスでは発見困難な場所にいるシカが発見されたこと, さらに, 移動に制限がある場所でも広域の観測が可能であることが確認され, 効果的なシカのモニタリ

ング方法の一つであることが示唆された(牧ほか, 2020).

本研究では, 日本最大の山岳湿原として知られている尾瀬ヶ原湿原において, いままでに著者らによって開発されたマイクロフォン地上センサ(Salem et al., 2021)とドローンリモートセンシング(牧ほか, 2020)による尾瀬ヶ原西部地域におけるシカ個体数の推定を試みた. 具体的には, (1)複数マイクロフォンによるシカ個体数の推定, (2)ドローンリモートセンシングによるシカ個体数の推定, を実施し, 複数マイクロフォンとドローンリモートセンシングによるシカ個体数の推定精度を比較検討し, 最終的に人のアプローチによる調査が難しい尾瀬ヶ原湿原域および周辺森林域におけるシカ個体数の推定を試みた.

## 2. 複数マイクロフォンによるシカ個体数の推定

### 2.1 複数マイクロフォンによる雄ジカの空間的・時間的位置の把握

本研究の対象地域である図1に示した尾瀬国立公園の特別保護地区に位置する尾瀬ヶ原湿原(図1(d))に適用するために, 7本のマイクロフォンを取り付けた. 尾瀬国立公園は本州の中央に位置し(図1(a)), 図1(b)に示す通り4つの県(新潟県, 福島県, 群馬県, 栃木県)にまたがっており, 尾瀬国立公園は372km<sup>2</sup>の面積を持つ.

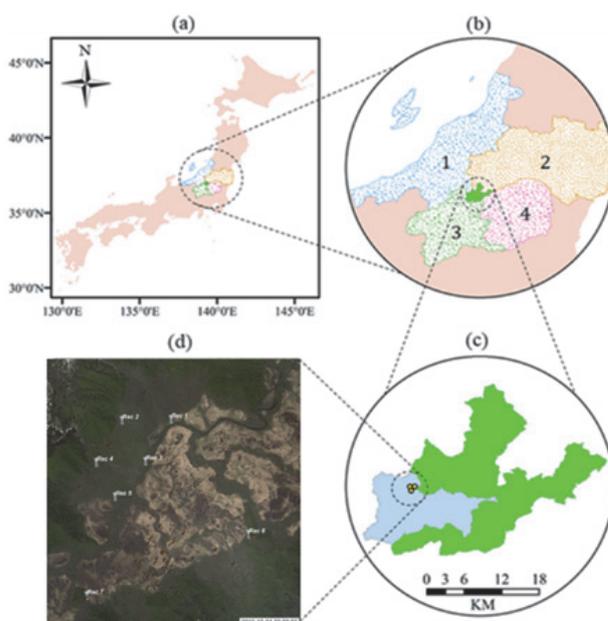


図1: 尾瀬湿地にて取り付けられたマイクロフォンの位置. (a) 尾瀬国立公園の位置, (b) (a)の拡大(4つの県(1-新潟, 2-福島, 3-群馬, 4-栃木)にまたがっている), (c) 特別保護地区(青色箇所), (d) 7本のマイクロフォンの位置(Rec1~Rec7).

著者らは、複数のマイクロフォンに届く雄ジカの鳴き声の時間差を利用し、その位置を推定する手法 (Salem et al., 2021) を尾瀬ヶ原で開発した。2019年9月26日～28日 (26日・27日は午後6時から午前6時まで観測、28日は午後6時から午前0時まで観測) に、尾瀬ヶ原の北側にあるヨシッポリ田代から泉水池にかけての範囲と、尾瀬ヶ原の南側の伝之丞沢から山ノ鼻にかけての範囲に合計7本のマイクロフォンを設置した。ここで記録された音声データを元に、雄ジカの鳴き声の位置を推定した。なお、本研究での湿原域は湿原に隣接する森林も含めている。3日分の推定位置を加算的に表示して、その分布を可視化した。図2にその結果を示す。

図2より、おおよそ3つ程度の一定範囲に分布が集中しているように見られる。また、この期間の1時間ごとの雄ジカの鳴き声頻度をグラフ化したものを図3に示す。図3より1時間ごとの雄ジカの鳴き声の頻度は平均値141回、中央値110回であり、この山中ではこの季節、

頻繁に雄ジカが鳴きあっていることが分かる。

## 2.2 雄ジカの鳴声による尾瀬ヶ原西部地域 (湿原+周辺森林域) のシカの生息数評価

ここでは、開発された雄ジカの位置推定手法と自動撮影カメラの観測範囲で得られた雄ジカの頭数および雄ジカに対する雌ジカと当歳の数の比率を用いて尾瀬ヶ原西部地域のシカの生息数を推定した。なお、図4の自動撮影カメラは観測範囲に400 mメッシュを作成し、そのメッシュごとに1台設置し、全体で33台設置した。使用した自動撮影カメラは、Ltl-Acorn6310W MARIF セレクトであり、センサに動物が反応すると静止画を3枚撮影しその後動画を20秒撮影するように設定した。これを1回のイベントとしてカウントし、1回のイベントが終わると次にセンサが反応するまでに1分間のインターバルをおくように設定した。稼働は24時間稼働するように設定した。

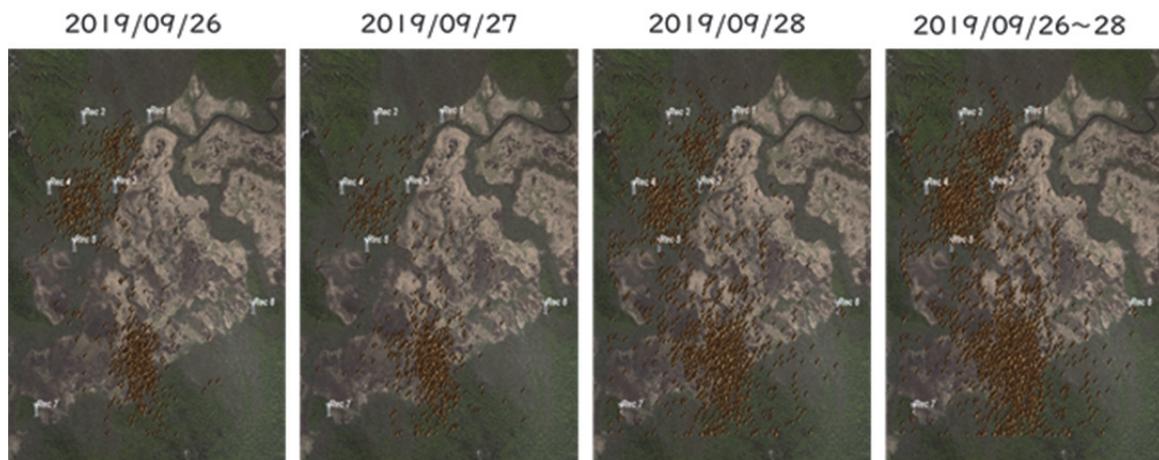


図2：シカの鳴き声の位置を推定した結果。白抜ききの記号はマイクロフォンの設置位置を示し、茶色の印はシカ個体が確認された位置を示す。

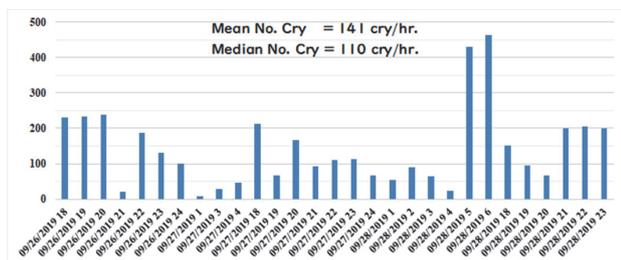


図3：2019年9月26～28日の1時間ごとの雄ジカの鳴き声頻度

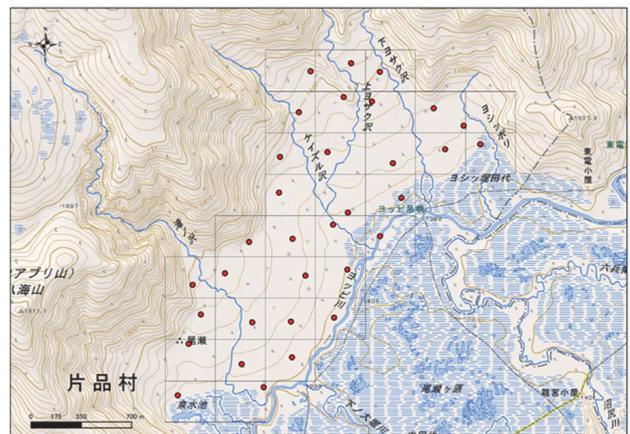


図4：自動撮影カメラ設置位置

図5より1日の雄ジカの鳴声の頻度は平均値 396 回であった。ここで、本調査で実施した自動撮影カメラにより 2019 年 9 月 26 日～28 日において観測されたデータからこの範囲内の雄ジカの頭数は 12.69 頭と推定しており、1頭の雄ジカが1日に鳴く回数はおおよそ 29.1 回と推測できる。一方、図6に湿原域における 2019 年 9 月 26 日～28 日の雄ジカの鳴き声位置の推定結果とマイクロフォン地上センサ手法によるこの期間の1日ごとのシカの鳴き声頻度の結果を示した。

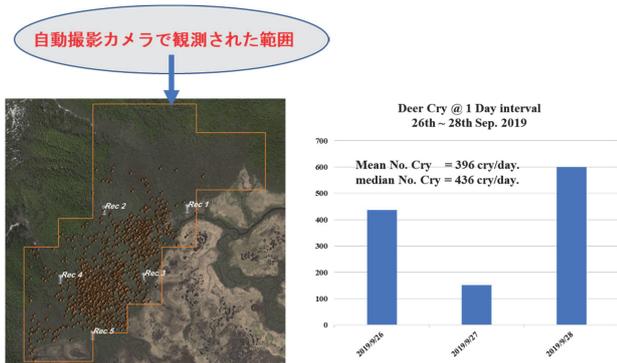


図5：自動撮影カメラで観測された範囲内で、2019年9月26日～28日における本手法による雄ジカの鳴き声位置の推定結果とこの期間の1日ごとのシカの鳴き声頻度（1時間ごとの鳴き声頻度から算出）の結果

図6より湿原域において、1日の雄ジカの鳴声の頻度は平均値 1365 回であり、1頭の雄ジカが1日に鳴く回数はおおよそ 29.1 回であるとする、湿原域での雄ジカの頭数は 46.9 頭と推定できる。ここで、自動撮影カメラの観測範囲で得られた雄ジカに対する雌ジカと当歳の数の比率は、3.0 である。従って、湿原域のシカの頭数はおおよそ 188 頭と推測できる。また、1日ごとのシカの鳴き声頻度の最大と最小を考慮して計算すると、湿原域のシカの頭数は 177.6 ~ 305.1 頭と推定された。

ここで、図7の尾瀬ヶ原西部地域（湿原+周辺森林域）を考えると、自動撮影カメラ観測により森林内に生息している個体数は森林面積を考慮し、362.3 頭と推定した。

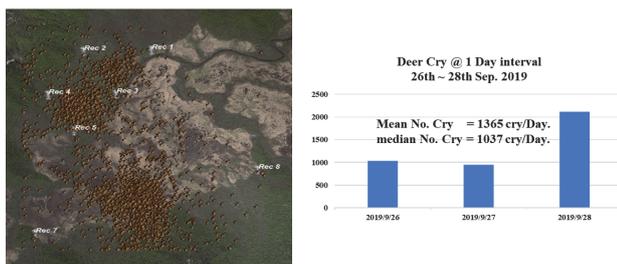


図6：湿原域における 2019 年 9 月 26 日～28 日の雄ジカの鳴き声位置の推定結果と本手法によるこの期間の1日ごとのシカの鳴き声頻度（1時間ごとの鳴き声頻度から算出）の結果



図7：尾瀬ヶ原西部地域（湿原+周辺森林域）。尾瀬ヶ原西部地域の面積は 35.46 km<sup>2</sup>、自動撮影カメラの調査面積は 2.66 km<sup>2</sup> である。

マイクロフォンによる推定結果と合算すると尾瀬ヶ原西部地域（湿原+周辺森林域）のシカの頭数は 539.9 ~ 667.4 頭と推定された。ここで、推定された尾瀬ヶ原西部地域（湿原+周辺森林域）のシカの頭数は、自動撮影カメラによる結果と多少重複して観測している箇所があるため多少過大評価している可能性があるが、全体の面積に対して小さいため、この数値で大きな問題はないと判断した。なお、尾瀬ヶ原西部地域の面積は 35.46 km<sup>2</sup> で、自動撮影カメラの調査面積は 2.66 km<sup>2</sup> である。

### 3. ドローンリモートセンシングによるシカ個体数の推定

#### 3.1 ライトセンサス（従来法）との調査結果の比較

環境省によりライトセンサスが実施された 2019 年 8 月 5 日に、ドローンによる夜間の空撮を実施した。ドローンによる空撮は、ライトセンサスに影響を与えないようにライトセンサスの状況を確認しながら実施した（牧ほか、2020）。具体的には、空撮時のカメラ方向は鉛直下向き、地上空間分解能 10 cm 程度として 19 mm レンズカメラを搭載したドローンは上空約 100 m から、9 mm レンズカメラを搭載したドローンは上空約 50 m から撮影した。シカの移動による重複カウントの可能性をできるだけ排除するため、飛行経路間のラップ率（左右の画像の重なりを程度）を 10% として短時間で広域の撮影を行った。ライトセンサスの観測者およびドローンの操縦者は、図8に示す湿原内の木道を移動してそれぞれの調査を実施した。

また、図8はドローンにより観測された熱画像から目視によって確認できたシカの位置情報を、ライトセンサスによる結果と重ねている。図中の数字は、それぞれの調査法で確認できたシカの頭数を示す。なお、ドローン

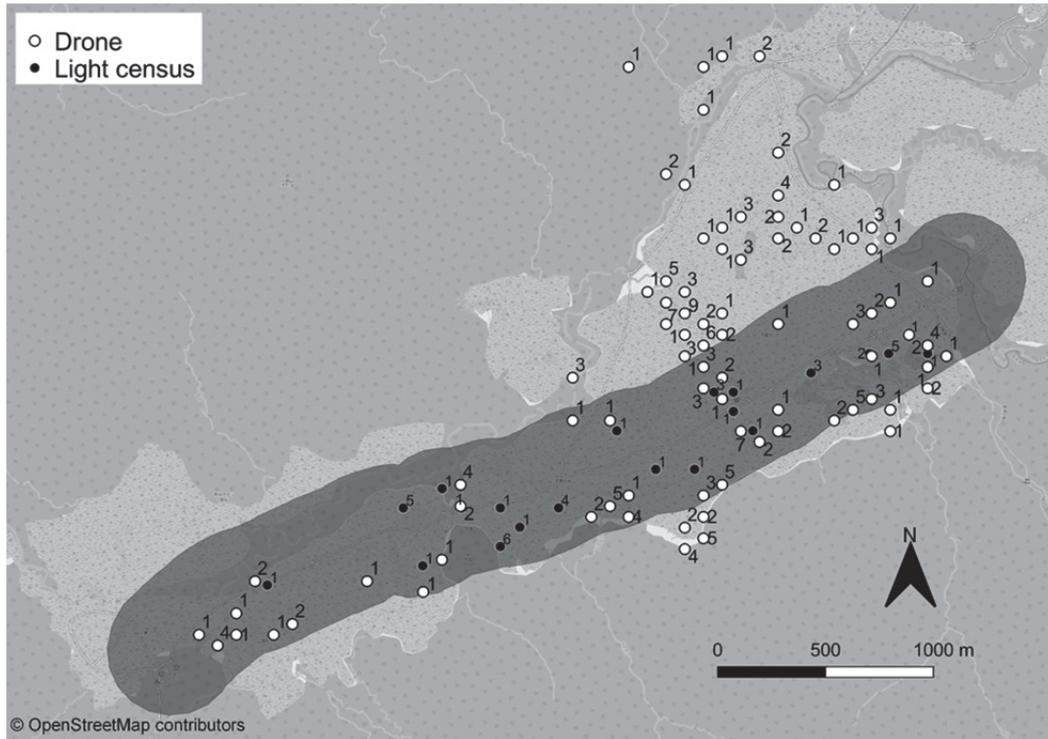


図8：ライトセンサスで発見したシカとドローンによる空撮で発見したシカの位置とライトセンサスの観測範囲（牧ほか，2020）

で把握できた頭数は、牧ほか（2020）で得られたものであり、ライトセンサスで把握できた頭数は環境省関東地方環境事務所から提供されたものである。

シカの総数はライトセンサス（図中の黒丸）では42頭で、ドローンによる空撮（図中の白丸）では191頭であり、対象地域全域においてドローンによる空撮はライトセンサスの約4倍の頭数を発見できた。また、両手法で発見したシカの分布も大きく異なっていた。これらの発見できた頭数に差が生じる理由として、当然ではあるがドローンによる空撮は湿原全域が調査対象であるのに対して、ライトセンサスでは木道に沿った一定の範囲しか調査対象となっていないことが第一に挙げられる。なお、ライトセンサスで最も離れた位置で確認できたシカまでの距離は約300mであった。この距離は、木道からそれぞれのシカまでの最短距離を算出し、その中で最も長かった距離である。このことから、ライトセンサスでは図8の灰色で示す範囲（2.8 km<sup>2</sup>）には光が届いていたと考えられる。図8の灰色のライトセンサスの調査範囲において、ドローンで発見できたシカの頭数は91頭である。この頭数は、ライトセンサスの約2.2倍である。空撮時の重複の可能性や調査時刻が異なることを考慮しても、ドローンによる空撮時に対象領域内のシカが移動したため発見できた場所が変わることは考えられるが、シカの頭数がライトセンサス時の約2倍になるとは考え

にくい。よって、これは、用いる手法により頭数管理に必要な個体密度が大きく変わることを意味する。ライトセンサスは、ライトを照射してシカの目の反射の有無を観察することでシカの頭数と位置を特定する。このことから、ライト照射時のシカの顔の向きや姿勢によっては、目の反射を確認できない場合がある。これに対してドローンによる空撮は、湿原内の熱源を上空から観測しているため、ドローンとシカの間には遮蔽物がほとんどない尾瀬ヶ原では熱源を見落とすことはない。よって、この点が発見できた頭数に差が生じる主な理由であると考えられる。この結果から、尾瀬ヶ原で行われているライトセンサスの調査ルートからでは発見が不可能な場所にシカが多く出現していたこと、さらに調査時のシカの向きや姿勢によって、多くのシカがライトセンサスでは発見されなかった可能性があることが分かった。

### 3.2 ドローンリモートセンシングによる尾瀬ヶ原西部地域（湿原+周辺森林域）のシカの生息数評価

ドローンによる空撮で発見数が増える傾向は、過去のライトセンサスとの比較においても見られた。表1には過去10年間のライトセンサスと2018年と2019年に実施したドローンによる空撮で発見された個体数の比較結果を示した。

表1よりドローンによる空撮は、ライトセンサスの2.5倍から3.7倍（平均2.9倍）の個体数を発見できたことが分かる。図9は、ライトセンサスで発見できた個体数の過去10年間の月別のバラツキを示したものであり、図中の頭数は10年間の平均値である。この図から、尾瀬ヶ原では5月に最も多くのシカが湿原に現れることが分かる。そこで、上述のライトセンサスとドローンによる空撮の関係をもとに、2019年の5月のライトセンサスによって発見された188頭から湿原内の総個体数を推定した結果、470頭（188頭×2.5）から696頭（188頭×3.7）のシカが生息していたと考えられる。ライトセンサスでは、初夏の個体数が最大となり、マイクロフォンによる個体数推定が行われた秋にかけて個体数は少なくなる。これは、この間に尾瀬ヶ原のシカの個体数が減少したと考えるよりも、時期によって餌場が変わった（初夏：草花の多い湿原、秋：木の実が多い林内）と考えるほうが自然である。

#### 4. おわりに

本研究は、尾瀬ヶ原において、マイクロフォン地上センサとドローンによりシカの個体数を評価する手法開発をした。

複数マイクロフォンによる雄ジカの位置推定手法の結果をもとに、自動撮影カメラの観測範囲で得られた雄ジカの頭数および雄ジカに対する雌ジカと当歳の数の比率

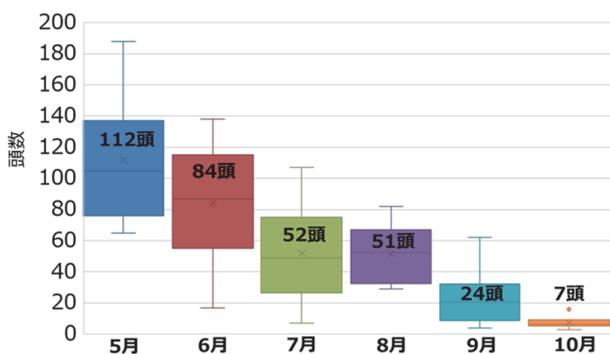


図9：ライトセンサスによって発見されたシカ個体数の過去10年間の月別平均値

表1：ドローン空撮とライトセンサスによって発見された頭数の各月の比較

ドローン空撮 (牧ほか (2020))	ライトセンサス (環境省関東地方環境事務所)
131頭 (2018年7月11日)	52頭 (2010年～2019年の7月の平均値)
191頭 (2019年8月5日)	51頭 (2010年～2019年の8月の平均値)
63頭 (2019年9月26日)	24頭 (2010年～2019年の9月の平均値)

を用いて、尾瀬ヶ原西部地域（湿原+周辺森林域）のシカの頭数はおよそ539.9～667.4頭と推定された。一方、シカの発見数が多い5月の湿原全体の個体数をドローンの空撮をもとに推定した結果、尾瀬ヶ原西部地域には470～696頭のシカが生息していると推定された。これら二つの異なる手法による推定で比較的近い生息数を算出し、尾瀬ヶ原西部地域で初めてシカの頭数を明らかにした。

#### 謝辞

本研究は、(独)環境再生保全機構の環境研究総合推進費(JPMEERF20174006)によって実施された。また、ライトセンサスデータは、環境省関東地方環境事務所からご提供頂いた。ここに謝意を表す。

#### 引用文献

- 岸元良輔, 逢沢浩明, 吉岡麻美, 石田康之, 三井健一, 須賀 聡 (2010) 霧ヶ峰におけるニホンジカ *Cervus nippon* のライトセンサス調査による個体数変動. 長野県環境保全研究所研究報告, 6,13-16.
- 牧 雅康, 奥村忠誠, 沖 一雄 (2020) ライトセンサスとドローン空撮によるシカ個体分布特定結果の比較. 日本リモートセンシング学会誌, 40 (4), 207-213.
- 野原精一 (2012) 尾瀬の自然環境の概要. 低温科学, 70, 9-20.
- 尾瀬・日光国立公園ニホンジカ対策広域協議会 (2020) 尾瀬・日光国立公園ニホンジカ対策方針, P28.
- 阪口 豊, 相馬秀廣 (1999) 尾瀬ヶ原の地学的諸問題. 尾瀬の総合研究, (尾瀬総合学術調査団 編): 85-106, 尾瀬総合学術調査団, 前橋.
- Salem, Salem I., K. Fujisao, M. Maki, T. Okumura, and K. Oki (2021) Detecting and tracking the positions of wild ungulates using sound recordings, *Sensors*, 21 (3), 866. <https://doi.org/10.3390/s21030866>
- 吉川正人, 星野義延, 大志万菜々子, 大橋春香 (2021) 尾瀬ヶ原の湿原植物群落に生じたシカ増加前後50年間の種組成変化. 植生学会誌, 38, 95-117.