

ニホンザルの個体群管理の適正化に資する低コスト・  
モニタリング技術「ボイストラップ法」の開発  
Developing “voice trapping method” as a novel low-cost  
technique to monitor macaque populations



江成 広斗  
Hiroto Enari

農業・生活被害をもたらすニホンザル (*Macaca fuscata*) の適正な個体群管理を目的に、本課題では、ニホンザルが発する鳴声を利用して群れの持つ加害性を効率的に評価する「ボイス・トラップ法」の開発を試みた。東北日本海側に分布する、様々な加害レベルをもつ24の群れが利用する集落・山域を対象に、録音機を春から秋にかけて設置した。加害性は、集落の持つ「恐れ of 景観」に対する警戒度から判断することとし、「集落への襲来頻度」と「襲来時の滞在時間」の2つをボイス・トラップ法により評価した。その結果、個体群への影響が大きい「群れ捕獲」が選択肢となる高い加害性をもつ群れは、週2回以上の襲来、滞在時間が2時間以上という基準をもとに、9割の確度で効率的に識別できることが明らかになった。

To achieve an efficient management scheme targeted at populations of Japanese macaque (*Macaca fuscata*), we developed a novel low-cost method, i.e., voice trapping, to evaluate troop addiction levels in human communities by using their calls. Then, we set autonomous recording units (ARUs) targeted at 24 troops with different addiction levels, distributed in the western Tohoku region, from spring through fall. We here assessed the addiction levels with reference to the troops' vigilance against “landscape of fear” inherent in human communities, judged by “the frequency of raiding events on settlements” and “the amount of time spent staying there.” As a result, troops with addiction level 4, which possibly require troop-wide culling based on the national guideline, could be distinguishable with a probability of 90% according to their behavioral patterns, i.e., raiding human communities >2 times per week and staying there for >2 hours per event.

## 研究の背景と目的

全国に約 3000 と推定されるニホンザル (*Macaca fuscata*, 以下サルと記す) の群れの 4 割以上が深刻な農業被害を発生させている。そこで、2014 年に環境省と農林水産省が共同で「ニホンザル被害対策強化の考え方」を発表し、悪質な群れ(加害群)を半減させるという国の方針が明確にされた。それ以降、各地で過去に例のない大規模な捕獲が進められ、多頭捕獲・群れ捕獲に利用できる「囲い罠」の全国的な普及が、これを後押ししている。個体群保全に十分配慮した計画的な事業(特定鳥獣管理計画)であれば、「捕獲」という行為そのものは問題ではなく、むしろ積極的に取り組むべき地域もある。しかし、十分な計画性を持たない対症療法としての捕獲も各地でみられはじめ、それが個体群保全にもたらす影響が懸念されている [1, 2, 3]。

このように、計画性をもった捕獲事業が各地に十分に浸透していない背景の一つとして、個体群管理に不可欠な「低コストの個体群モニタリング手法」が未開発であることが挙げられる。そこで、人とサルとの持続可能な共存に資する技術として、サルが自発的に発する鳴声を利用して、群れのもつ加害性(人馴れ度や農作物依存度)を判定する新たな個体群モニタリング手法「ボイス・トラップ法」の開発を本課題では試みた。

## 研究経過

本研究では、群れのもつ加害性を、集落が本来持っている「恐れ(捕殺されるリスクを伴う)の景観」に対する警戒度から評価することとし、群れによる「集落への襲来頻度」、さらには「襲来時の滞在時間」という 2 つのシンプルな指標から評価した。これら 2 つの指標を効率的に測定するために、本研究ではニホンジカ (*Cervus nippon*) を対象に筆者らが開発したボイス・トラップ法 [4, 5, 6] をサルに応用した。

ボイス・トラップ法は、海外では passive acoustic monitoring (PAM) と呼ばれ、自律型の高性能録音機 (autonomous recording unit, ARU) をモニタリング対象地に設置し、得られた録音データから対象種の鳴声を、機械学習や深層学習を用いて(半)自動検知する手法である。従来のボイス・トラップ法は、観察が難しい海生哺乳類、鳥類、コウモリ類などを主な対象として開発されてきたため、陸上で観察可能な野生動物への適応例は少ない。しかし、ボイス・トラップ法は、①検知範囲が極めて広いこと、②森林内の景観構造の影響を受けにくいこと、③比較的シンプルなアルゴリズムで録音データから対象とする鳴声を自動抽出できること、等のメリットがあり、サルを対象とした試験研究も筆者らが成功させている [5]。特にサルは、群れの集団維持のために高頻度でコンタクト・コール (coo call) と呼ばれる鳴声を発するため、群れの襲来を高確率で検知できる可能性がある。なお、コンタクト・コールの発声頻度は、比較的林内の見通しが良い落葉広葉樹林においても、2 分に 1 回程度は発せられることが知られており [7]、滞在時間を評価する有効な指標にもなるうると考えられる。

「集落への襲来頻度」・「襲来時の滞在時間」の 2 つをボイス・トラップ法により評価するために、高性能録音機 (SM2+, SM3, または SM4 [北米の Wildlife Acoustics Inc. 製]) を、白神山地(青森県西目屋村・弘前市)および朝日山地(山形県鶴岡市)に位置する 20 の集落と 4 つの山域(図 1)に、2020 年と 2021 年かけて設置した(図 2, 表 1)。サル(群れ)の加害性を客観的に判別するために、環境省がガイドラインに定めた加害レベル(行動様式をもとに、「0 [野生の群れ] - 5 [悪質性の高い群れ]」の 6 段階で評価される)を用いることができる。そこで、集落には加害レベル 1 ~ 4 (当該地域にレベル 5 は不在)、山域には加害レベル 0 を持つ、それぞれ異なる群れが利用している地域を選定した。なお、各地域には単一の群れのみが分布していることを事前に確認した。

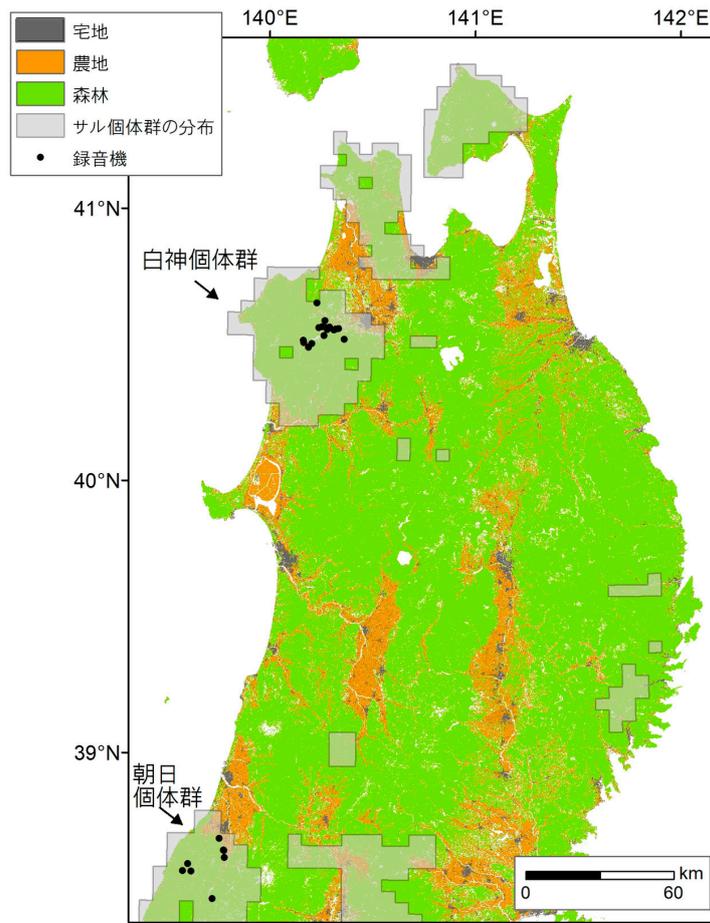


図1. 東北日本海側に設置した録音機の配置

Fig.1. Placement of autonomous recording units in the study area of western Tohoku region, Japan

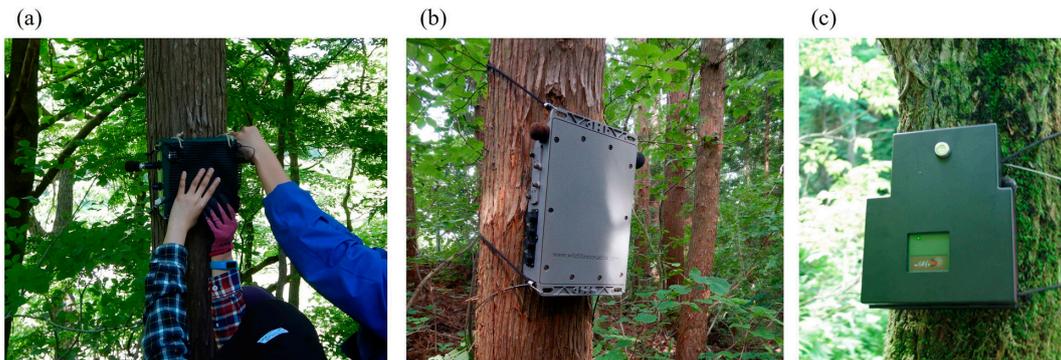


図2. ニホンザルの鳴声録音で使用した自律型の高性能録音機 (a: SM2+, b: SM3, c: SM4)

Fig.2. Autonomous recording units, ARUs, to record the calls of Japanese macaques (a: SM2+, b: SM3, c: SM4)

表1. 加害レベル別の録音対象の群れ数と合計録音日数

Table1. Sampling efforts to assess different addition levels of Japanese macaque troops by using recorders

加害レベル (0 [低] - 4 [高])	録音対象 の群れ数	合計録音日数		
		春 (4-6月)	夏 (7-8月)	秋 (9-11月)
0	4	173	118	174
1	2	83	44	60
2	7	110	249	208
3	4	114	137	195
4	7	75	232	363
合計	24	555	780	1,000

収集した録音データから、サルが高頻度に発する① aggression, ② alarm, ③ coo (コンタクトコール), ④ loud call, ⑤ scream の5つを抽出した。抽出作業の効率化・高速化のために、本課題では筆者らが事前に開発した機械学習モデル(隠れマルコフモデル)を採用し、Kaleidoscope Pro version 5.4.8 (Wildlife Acoustics Inc 製)をもちいて実行した。なお、当該モデルを用いた際のリコール率(抽出対象の鳴声を正しく検知できる割合)は、aggressionで0.73, alarmで0.50, cooで0.90, loud callで0.63, screamで0.52であることが分かっている[5]。

これらの抽出した鳴声データをもとに、本課題では「集落への襲来頻度」を「1週間のうちいずれかの鳴声が発知できた日数」, 「集落の滞在時間」を「襲来した際に連続的に発せられる鳴声の開始時刻と終了時刻の差分」で表現した。なお、滞在時間の評価時において、人の追い払い等の影響を排除するために、人の声、追い払い用ロケット花火の音、銃声が同時に録音されていたイベントは解析から除外した。

#### 研究成果及び考察

24台の録音機により、春から夏にかけて計2335日の録音に成功した。その中から機会学習により検知できた襲来イベント(一連の複数の鳴声で構成)は503回で、1日あたり平均で0.22回であった。ただし、この回数には加害レベルによって大きな差が確認され、加害度0(すなわち山域のみに分布する群れ)は0.05回/日、加害度1は0.02回/日、加害度2は0.06回/日、加害度3は0.11回/日、加害度4は0.59回/日であった。

週ごとの襲来頻度の比較を図3に示した。どの季節も加害レベル4のみが有意に高い値を示し(Tukey's posthoc test), 週に2~3回は同じ集落に襲来していることが特徴であった。続いて、加害度(順序スケール)を目的変数、集落滞在時間を説明変数、季節をランダム切片にして、Cumulative Link Mixed Model (CLMM)を構築した。その結果、オッズ比は1.71(95%信頼区間は1.09 - 2.70)であった。これは、滞在時間が1時間増えるたびに、対象群の加害レベルの期待値が71%増加することを意味する。ランダム切片は、春に-0.65, 夏に0.21, 秋に0.41となり、季節ごとに滞在時間が長くなることを意味していた。構築したCLMMは加害レベル4の群れのみが有意に識別可能であることを示し、滞在時間が2時間を超える場合、90%の確率で加害レベル4となることを示した。一方で、加害レベル3以下の滞在時間は際立って短く、概ね30分以内であった。

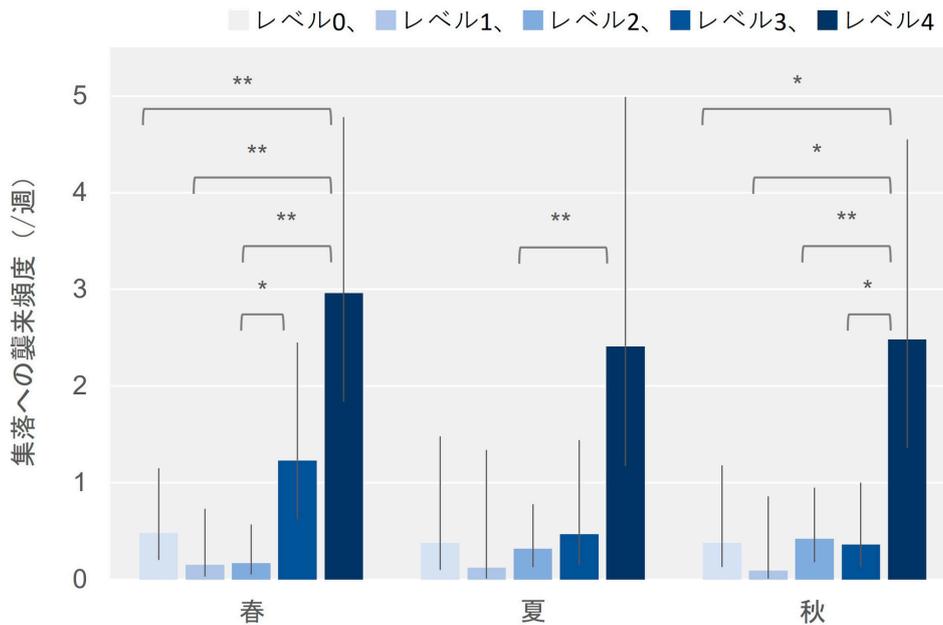


図3. 異なる加害レベルを持つニホンザル群れによる集落への襲来頻度 (週). バーは95%信頼区間  
\* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ .

Fig.3. Frequency of visits (/week) to human settlements by Japanese macaque troops with different addition levels. Bars shows 95% confidence intervals.  
\* $p < 0.05$ ; \*\* $p < 0.01$ .

上記の結果から、ボイス・トラップ法で効率的に検知可能な「集落への襲来頻度」・「襲来時の滞在時間」を指標とした場合、加害レベル4とそれ以下のレベルの間の境界は明瞭であり、高い確度で判別可能であることが示された。加害レベル4は、今後改訂が予定されている環境省ガイドラインにおいて、囲い罝をもちいた多頭捕獲が許可される水準の加害性をもつ群れを意味する。すなわち、個体群に対して影響力が大きいことが予想される囲い罝による「群れ捕獲」[1]の実施の有無について、当該手法によって客観的なエビデンスを効率的に与えることができると考えられる。

#### 今後の展望

野生動物のモニタリングにおいて、センサーカメラをもちいた手法が各地で採用される機会が増加している。しかし、センサーカメラの検知範囲に限られること（主な器材は15～300m<sup>2</sup>程度[8]）、さらにはサルのように樹上移動もする動物を効率的にとらえることには限界がある。一方で、鳴声は検知範囲も広く（たとえばcoo callで3.1ha[5]）樹上個体も検知できるというメリットがあり、ボイス・トラップ法の有効性は今後高まることが期待される。

本研究では、鳴声の種類を識別することなく、その発声頻度と一連の鳴声の継続時間のみを採用した。しかし、霊長類の鳴声様式（発声する種類、頻度、それらの組み合わせ）には、外部の刺激に対する行動学的・心理学的な解釈が可能な場合がある[9]。そのため、今後の展望として、そうした鳴声様式から、群れや個体の持つ警戒心や大胆さの評価の可能性を探索していきたい。

#### 謝辞

本研究に際して、津軽森林管理局、鶴岡市農政課から調査機材の設置に関する便宜を図っていただいた。また朝日山地の器材設置に際して、小林朋暉氏、およびNely Fibriana Rachman氏の両名には協力いただいた。

## 引用文献

- [1]H. Enari, 2021. *Mamm. Stud.*, 46:115-130.
- [2]H. Enari, H. Seino, T. Uno, Y. Morimitsu, M. Takiguchi, K. Suzuki, Y. Tsuji, N. Yamabata, M. Kiyono, H. Akaza, S. Izumiyama, T. Oi, H. Ebihara, K. Miki, M. Kuramoto, H. S. Enari, 2022. *Conserv. Sci. Pract.* 4:e12824.
- [3]江成, 渡邊, 常田, 2015. *哺乳類科学* 55:43-52.
- [4]H. Enari, H. Enari, K. Okuda, M. Yoshita, T. Kuno, K. Okuda, 2017. *Ecol. Indicat.* 79: 155-162.
- [5]H. Enari, H. S. Enari, K. Okuda, T. Maruyama, K. N. Okuda, 2019. *Ecol. Indicat.* 98:753-762.
- [6]江成, 江成, 2020. *哺乳類科学* 60:75-84
- [7]H. Koda, Y. Shimooka, H. Sugiura, 2008. *Am. J. Primatol.* 70:1055-1063.
- [8]P. D. Meek, G. Ballard, P. J. S. Fleming, 2012. *An introduction to camera trapping for wildlife surveys in Australia.* PestSmart Toolkit Publication.
- [9]D. Teixeira, M. Maron, B. J. van Rensburg, 2019. *Conserv. Sci. Pract.* 1:e72.

## 本助成研究にかかわる成果

### 〔口頭／ポスター発表〕

1. 江成, 江成. ボイス・トラップ法によってニホンザルの群れの加害レベルを評価する. 哺乳類学会. 琉球大学, 2023.9.8 (予定)