

参加型痕跡センシングと地理情報を用いた害獣出没地域推定手法の提案

Proposal for estimating nuisance wildlife infestation areas using participatory trace sensing and geographic information

由田 翔吾[†] 松田 裕貴[‡] 諏訪 博彦[‡] 安本 慶一[‡]
Shogo Yoshida Yuki Matsuda Hirohiko Suwa Keiichi Yasumoto

1. はじめに

令和3年度の害獣による農作物被害額は図1に示す通り、155億円となっている。前年度に比べ減少はしているが、何年もの間、高水準のまま推移している状況である。また、被害総額の約6割がシカ、イノシシ、サルによるものである。これに加えて、害獣の推定生息個体数も上昇しており、図2に示すように1989年から2020年の31年でイノシシは約68万頭、ニホンジカは約193万頭増加している。害獣による農作物への被害は地域の経済的損失だけでなく、農業従事者の農地管理への意識の低下、営農意欲の低下にも繋がっている。これらが原因で、農地や里山の荒廃など地域農業を維持する上での重大な問題となっている。また営農意欲低下により、耕作放棄や離農[1]、森林の下層植生の消失等による土壌流出などの問題も発生している[2]。耕作放棄地は害獣にとって餌場や隠れ家となり生活がしやすいため、個体数の増加に繋がってしまう。その結果、害獣による農作物被害が増加するといった悪循環に陥っており、これらの被害への対策が急務となっている。そこで環境省と農林水産省では、ニホンジカ、イノシシの生息頭数を令和5年度までに半減させることを目標とした「抜本的な鳥獣捕獲強化対策」を平成25年に策定している[3]。

害獣による農作物被害への対策として、捕獲活動や防護柵の設置などが挙げられる。効率的な対策・駆除を行うためには対象獣種の詳細な生息地や生息数を把握することが重要となる。野生動物の生息域推定の手法として、区画法、ラインセンサス法、糞粒法、カメラトラップ法、生息適地モデリングによる手法などが存在する。専門的な知識を持っていない場合、野生動物の痕跡を発見し、見分けることが困難である。そのため、これらの手法では猟師など専門知識を持つ人間から提供された情報を元に生息域を推定しており、専門的な知識を持たない住民は参加することが困難である。しかし、専門知識を持たない住民も痕跡の収集に参加することができれば、より多くの痕跡を集め正確な推定を行うことができると考えられる。また、痕跡の収集活動を通じて害獣による被害

の啓蒙活動としての側面も期待できる。

本研究ではユーザ参加型センシングを用いて痕跡の情報を収集し、収集した情報を元にイノシシ・ニホンジカの生息域を推定する手法を提案する。痕跡の収集に専門的な知識をもたない住民が参加できるようになれば、猟師単独で痕跡を収集するよりも、効率的に痕跡を収集し、より高い精度で生息域を推定することが可能になると考えられる。

ユーザ参加型センシングとはコミュニティがセンシング情報を提供し、知識体系を形成するという概念である[4]。ユーザ参加型センシングは、都市に点在する一般ユーザがセンシングに参加することから、様々な事象を対象とする都市センシング(例:町の騒音状況[5]、夜間の道の明るさ[6]、サクラの開花状況[7])において網羅的なデータ収集が可能となる。

本稿では、ユーザ参加型センシングのための痕跡収集アプリケーション、収集対象とする痕跡、使用する環境変数、生息域推定手法について提案する。痕跡収集アプリケーションでは、ユーザ間で痕跡の発見数を競うランキング機能、発見した痕跡の数や各地域での貢献度に応じて、アプリ上で各ユーザにバッジやトロフィーといった報酬を付与する機能を実装する。これにより、ユーザの競争心や射幸性を刺激し、センシングへの参加率の向上が見込まれる。また生息域推定においては生息適地モデルを用いて痕跡の発見地点、対象地意識の地理情報を用いて害獣の出没地域を推定する。

本稿の構成は以下の通りである。2章では、生息域推定手法に関する関連研究について述べる。3章では、提案システムの概要と提案手法について述べる。4章では、本稿のまとめと今後の展望について述べる。

2. 関連研究

本研究では、参加型センシングにより、ユーザが発見した痕跡情報と地理情報を元に生息域の推定を行う。そこで、本章では、まず野生動物の生息域推定手法、生息適地モデリング(ハビタットモデル)手法について、生息適地モデリングに関する研究、従来手法における課題について述べる。

[†] 奈良先端科学技術大学院大学, Nara Institute of Science and Technology

[‡] 理化学研究所 革新知能統合研究センター, RIKEN AIP

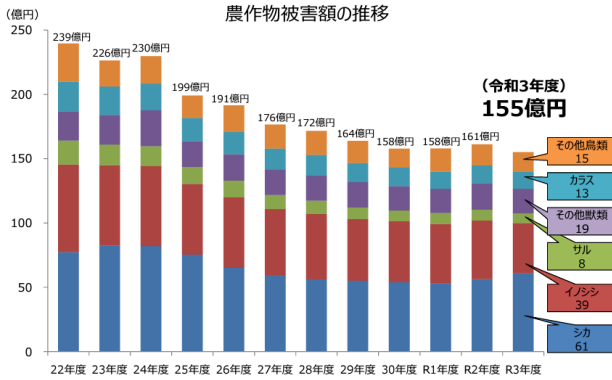


図 1: 農作物被害額の推移 (文献 [8] より引用)

2.1 野生動物の生息域推定手法

野生動物の生息域推定の手法として、区画法、ラインセンサス法、糞粒法、カメラトラップ法、生息適地モデリングによる手法などが存在する。区画法は、調査地域をいくつかの区画に区分し、各区画に調査員を配置し、一定時間内にそれぞれの担当区画内で一斉に調査を行い、直接観察された個体数を記録することで生息頭数を推定する手法である [10]。

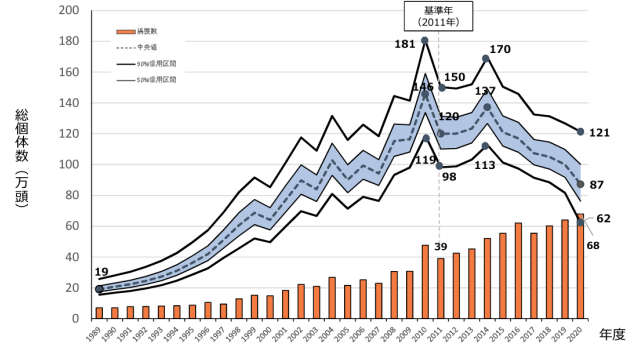
ラインセンサス法は、あらかじめ決められた調査ラインを調査し、観測範囲内で直接観測された個体数、もしくは鳴き声等を用いて確認する手法である [11]。これら2つの手法は対象を直接観察する必要があり、調査員の経験によっては過小・過大評価される恐れがあり、また調査範囲が広いほど調査に掛かるコストが増大するという問題がある。

糞粒法は、糞の数から生息密度を推定する、区画法やラインセンサス法と違い対象を直接観察する必要が無いという利点があるが、調査によるばらつきが大きく、誤差幅が大きいという問題がある [12]。カメラトラップ法は、山間部に設置された自動撮影カメラを用いて対象獣種を撮影し、撮影された画像を用いて生息数を推定する手法であり、高精度に個体識別等を行えるという利点があるが、生息域全体に設置するにはコストがかかるという欠点がある [13]。

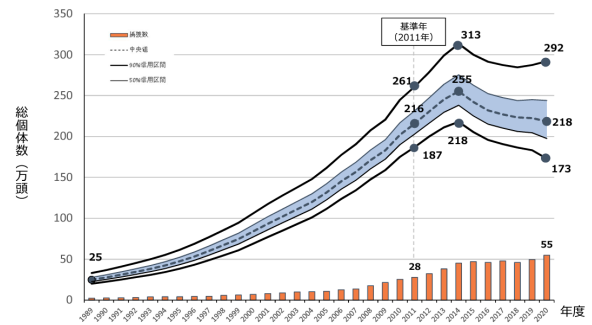
生息適地モデリングには様々な手法があり、これらの手法は主に、痕跡や野生動物の発見位置や地理情報を用いて、分布を推定・予測する。近年では、最大エントロピー法やロジスティック回帰といった手法が主流になりつつある。

2.2 生息適地モデル (ハビタットモデル) 手法

生物の地理的な分布に影響を与えている環境要因の関係をj用いて地理的分布を推定・予測するモデルを、生息適地モデル (ハビタットモデル) と呼ぶ。生息適地モデ



(a) イノシシ



(b) ニホンジカ

図 2: 全国の害獣個体数推定 (文献 [9] より引用)

ルは、回帰型、プロフィール型、機械学習型の3型に大別することができる。

回帰型は、一般線型モデルに代表されるように、説明変数を使って応答変数を回帰的に推定する。応答変数には基本的に、分布有/無データを用いる。GLM (Generalized Linear Model) や GAM (Generalized Additive Model) は回帰型に分類される。

プロフィール型は、分布有データに基づき動物の分布した環境状態を特徴づけるモデルであり、BIOCLIM (Bioclimatic Analysis and Prediction System) [14], ENFA (Ecological Niche Factor Analysis) [15] などがある。

機械学習型は、応答変数と関係する説明変数をルールに従って分類し、それに基づいて分布の有無を推定するモデルである。説明変数には分布有/無データを用いる。Random Forest [16] や BRT (Boosted regression tree) [17], ニューラルネットワークや SVM などがある。最大エントロピーモデル (MaxEnt) は、分布有データのみでもモデリングできる機械学習型のモデルである。

2.3 生息適地モデリングに関する研究

橋本らは、大阪市において、環境変数 (地理情報) を地理情報システム (GIS) で解析し、ロジスティック回帰によってモデル化することでシジユウカラの生息する都市緑地の形態を推定した [18]。岡久らは、ライトセンサスによって得られる在データのみを用いて、ヤマシギの

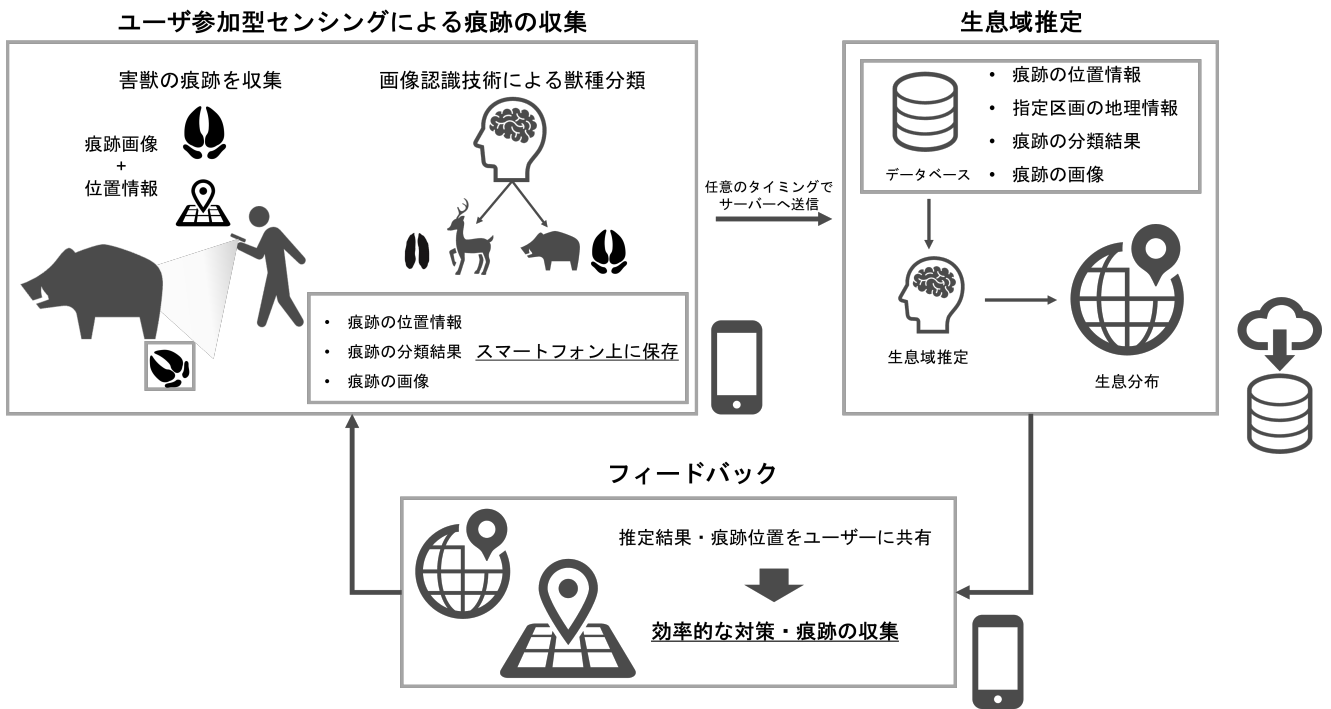


図 3: 本システムの概要図

越冬分布を調査し、観察位置の在データと環境変数（地理情報）をもとに MaxEnt を用いてヤマシギの環境選択性と分布を推定した [19]. 小川らは、日本海側多雪地の石川県南加賀地域において、狩猟者からの生息確認地点情報と環境変数（地理情報）を元にニホンジカの越冬環境を調べ、MaxEnt による越冬地の推定を行った [20].

これらの研究では、環境変数として標高や、斜面の傾斜、最大積雪深、市街地・耕作地率、河川からの距離、道路からの距離、市街地・耕作地からの距離等が用いられている。また、これらの研究で用いられているモデルは在データのみを用いて生息域の推定が可能である。そのため、不在データが不明であるような一般の住民から提供されたデータを用いる事が可能なほか、サンプルサイズが少ない場合にも比較的高精度の予測が可能であり、発見率が低い生物の分布推定に用いられている。

2.4 従来手法における課題

先述したような研究では主に猟師といった専門家が収集したデータのみを用いている。そのため、データ収集に参加できる人数が少なく、より多くのデータを収集しようとする参加人数を増やそうとした際に専門知識の有無が障害となる。

そこで、本研究では画像認識技術を用いて痕跡を分類することで、一般の住民でもデータ収集に参加可能にする。これにより、専門知識を持たない人でもデータ収集に参加可能になるため、より多くのユーザに参加型セ

ンシングを用いて痕跡収集を行うことができる。本研究では、これらによって収集した痕跡の位置情報と地理情報を用いて害獣の生息・出没地域を推定する手法を提案する。

3. 提案手法

本章では、提案システムの概要について述べる。その後、提案手法実現のために、ユーザ参加型痕跡センシング、画像認識技術を用いた痕跡の分類、生息域推定、ユーザへのフィードバックについて述べる。

3.1 提案システムの概要

提案するシステムの概要図を図 3 に示す。提案システムは、1) ユーザ参加型センシングによる痕跡収集、2) 画像認識技術による痕跡分類、3) 生息域の推定、4) ユーザへのフィードバックの 4 項目からなる。

3.2 ユーザ参加型痕跡センシング

本研究では、生息域推定に用いる痕跡情報をユーザ参加型センシングを用いて、野生動物の痕跡を収集する。痕跡を収集する為には電波の届かない山間部でも活動を行うことが想定される。そのため、ユーザが撮影した痕跡の処理はスマートフォンで行うことが望ましい。そこで本研究では、痕跡収集用のスマートフォンアプリケーションを提案する。図 4 にユーザ参加型センシングで用いる痕跡収集用アプリケーションの UI を示す。

本アプリは、痕跡の撮影及び写真のアップロード・撮影



図 4: 本システムの UI

位置表示画面，全ユーザが撮影した痕跡の位置情報表示画面の2つからなる。ユーザが痕跡を発見し，撮影するとスマートフォン上で分類を行い，痕跡の分類結果と撮影位置をユーザに通知する。また，通信状況が安定していない状況でもデータを収集できるように，分類結果と位置情報をスマートフォン上に保存する。その後通信状況が安定している環境にユーザが移動した際に任意のタイミングでサーバに送信する。また，参加ユーザは自身が撮影した痕跡の位置情報だけではなく，他の参加者の撮影した痕跡の獣種・位置情報も確認可能となっている。

3.3 画像認識技術による痕跡分類

本研究では，指定管理鳥獣に指定されているイノシシ・ニホンジカを対象としている。イノシシ・ニホンジカが出没する地域で確認される痕跡である，足跡・糞・ぬた場・泥こすり跡・角こすり跡・掘り返し跡の6種類を用いる [21, 22]。これら以外の痕跡として獣道等が挙げられるが，画像のみではどちらの獣種か判断することが難しく，またイノシシ・ニホンジカ以外の獣種でも生成されるため，本研究では除外する。参加型センシングで収集する痕跡を図5，6に示す。

痕跡の分類においては3.2節で述べたように各ユーザのスマートフォンアプリ上で行う。そのため，スマートフォン上でも動作するような軽量の画像認識モデルを用いる必要がある。そこで本研究では，MobileNet [23] や GhostNet [24]，mobileViT [25] といった軽量の畳み込みニューラルネットワーク，Vision Transformer といった画像認識モデルを使用して，痕跡の画像から獣種の分類を行う。

3.4 生息域推定

本研究では，収集した痕跡の位置情報と，地理情報の2つの情報を組み合わせることで害獣の生息域推定を行う。生息域推定に使用する環境変数（地理情報）を先行研究 [26, 20] を参考に表1に示す。これらの環境変数を

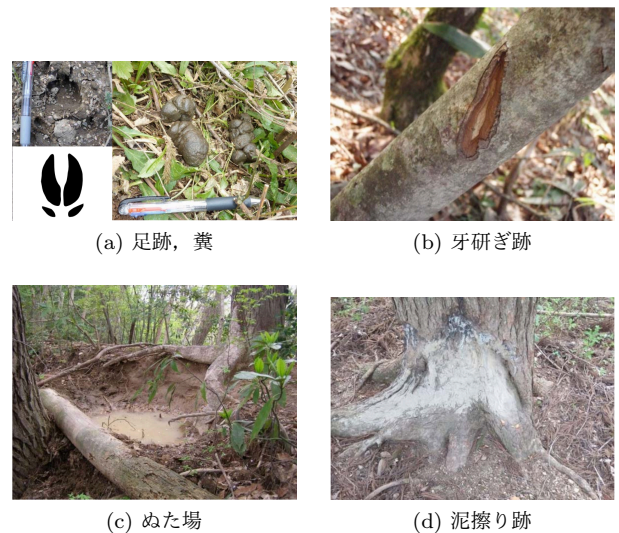


図 5: イノシシの痕跡 ([21, 22] より引用)



図 6: ニホンジカの痕跡 ([21, 22] より引用)

用いて生息域推定を行うことが有効だと考えられる。これらの環境変数と今後収集される痕跡情報を組み合わせることで，イノシシ・ニホンジカの生息域推定について比較・検討を行う。

生息適地モデルに使用する統計解析手法には，従来，重回帰分析や判別分析が多用されていた。しかし，近年，データの確率分布を考慮した一般化線型モデルや非線型モデル，ベイズ推定，機械学習等がとり入れられている。本研究においては，痕跡による特定獣種の在情報しか得ることができないため，対象の不在情報が必要となる手法は適さない。そこで本研究では，機械学習手法の一種である MaxEnt（最大エントロピー法）を用いて生息域推定を行う予定である。MaxEnt を用いた先行研究として，藪原らのオジロワシの営巣適地推定 [27] や，大西らのホクリクサンショウウオの生息環境と生息適地の予測 [28] がある。本手法は，在情報のみで比較的頑健かつ，サンプルサイズが少ない場合にも比較的高精度の予測が可能のため，本研究における生息域推定に適していると考えられる。本研究では，参加型センシングにより発見された痕跡の位置情報を用いて MaxEnt による生息域推定を行う。加えて，参加型センシングによる痕跡収集時にユーザが痕跡を見つけれなかった場合，それを不在データとして扱い，在/不在データを用いて生息域

表 1: 使用する地理情報

環境変数	単位
標高	(m)
積雪	(m)
斜面方位	(度)
斜面傾斜	(度)
落葉広葉樹林率	(面積,%)
針葉樹林率	(面積,%)
草地率	(面積,%)
市街地・耕作地率	(面積,%)
河川からの距離	(m)
道路からの距離	(m)
市街地・耕作地からの距離	(m)

の推定を行う手法を提案する。本手法では、不在データに対してユーザの知識レベル（猟師、住民）によって痕跡未発見時の不在データに重みをつけることでより詳細な生息域を推定できると考えられる。

3.5 ユーザへのフィードバック

本研究では、参加型センシングで収集した痕跡の情報を元にイノシシ・ニホンジカの生息域を推定する。推定した生息域や3.2節で述べたように、各ユーザが収集した痕跡の位置情報をマッピングすることで全てのユーザがイノシシ・ニホンジカの生息状況を把握できるようにフィードバックを行う。また、各ユーザが発見した痕跡ごとにポイントを割り振り、各ユーザ間でポイントの取得数を競うランキング機能を実装する。痕跡ごとのポイントは、生息域推定を行う際に有効度が高いと考えられる痕跡ほど高いポイントを設定する予定である。また発見した痕跡の数や各地域での貢献度に応じて、アプリ上で各ユーザにバッジやトロフィーといった報酬を付与することで、ユーザの競争心や射幸性を刺激し、センシングへの参加率の向上が見込まれる。これにより各ユーザの痕跡収集の補助を行い更に多くの痕跡を収集することが可能となると共に、より高精度な生息域推定が行えると考えられる。より高い精度で生息域を推定することで、本研究の目的である効率的な狩猟の補助を行うことができ、生息数の抑制につなげることができる。また、参加型センシングの参加者や猟師の方に調査を行い、より有効なフィードバック手法の検討も行う。

4. まとめ

本稿では、ユーザ参加型センシングによる痕跡収集と地理情報を用いたイノシシ・ニホンジカの生息域推定手法の提案を行なった。ユーザ参加型センシングのための痕跡収集アプリケーション、収集対象とする痕跡、使用

する環境変数、生息域推定手法についての提案を行った。今後の研究では、痕跡収集用アプリケーションを開発し、実際の山中でユーザ参加型センシングの実験を行い、痕跡を収集する。その後、収集した痕跡の情報と実験したエリアの地理情報を用いてイノシシ・ニホンジカの生息域を推定し、精度評価を行う予定である。

参考文献

- [1] 山端直人. 獣害対策の進展が農家の農地管理意識に及ぼす効果-三重県における集落の調査事例. 農村計画学会誌, Vol. 29, No. Special Issue, pp. 245-250, 2010.
- [2] 古澤仁美. ニホンジカが森林土壌に及ぼす影響. 水利科学, Vol. 58, No. 6, pp. 78-96, 2015.
- [3] 環境省, 農林水産省. 抜本的な鳥獣捕獲強化対策. <https://www.maff.go.jp/j/seisan/tyozyu/higai/pdf/kyouka.pdf>. (Accessed on 07/19/2023).
- [4] Jeffrey A Burke, Deborah Estrin, Mark Hansen, Andrew Parker, Nithya Ramanathan, Sasank Reddy, and Mani B Srivastava. Participatory sensing. 2006.
- [5] Eiman Kanjo. NoiseSPY: A Real-Time Mobile Phone Platform for Urban Noise Monitoring and Mapping. *Mobile Networks and Applications*, Vol. 15, pp. 562-574, 2010.
- [6] 松田裕貴, 新井イスマイル. スマートフォン搭載照度センサの集合知による網羅的な街灯情報収集システムの開発. 情報処理学会論文誌, Vol. 55, No. 2, pp. 750-760, 2014.
- [7] Shigeya Morishita, Shogo Maenaka, Daichi Nagata, Morihiko Tamai, Keiichi Yasumoto, Toshinobu Fukukura, and Keita Sato. SakuraSensor: quasi-realtime cherry-lined roads detection through participatory video sensing by cars. In *Proceedings of the 2015 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing*, pp. 695-705, 2015.
- [8] 農林水産省農村復興局. 鳥獣被害の現状と対策. <https://www.maff.go.jp/j/seisan/tyozyu/higai/attach/pdf/index-27.pdf>, 2023. (Accessed on 07/19/2023).

- [9] 環境省. 全国のニホンジカ及びイノシシの個体数推定等について. <https://www.env.go.jp/content/000124721.pdf>, 2023. (Accessed on 07/19/2023).
- [10] 濱崎伸一郎, 岸本真弓, 坂田宏志. ニホンジカの個体数管理にむけた密度指標 (区画法, 糞塊密度および目撃効率) の評価. 哺乳類科学, Vol. 47, No. 1, pp. 65–71, 2007.
- [11] 濱尾章二. 鳥類の多様性を把握するための調査方法の検討: ラインセンサス法と捕獲法の比較. 自然教育園報告, Vol. 42, pp. 1–12, 2011.
- [12] 岩本俊孝, 坂田拓司, 中園敏之, 歌岡宏信, 池田浩一, 西下勇樹, 常田邦彦, 土肥昭夫. 糞粒法によるシカ密度推定式の改良. 哺乳類科学, Vol. 40, No. 1, pp. 1–17, 2000.
- [13] 福田秀志, 高山元, 井口雅史, 柴田叡弑. カメラトラップ法で明らかにされた大台ヶ原の哺乳類相とその特徴. 保全生態学研究, Vol. 13, No. 2, pp. 265–274, 2008.
- [14] Trevor H Booth. Why understanding the pioneering and continuing contributions of bioclim to species distribution modelling is important. *Australian ecology*, Vol. 43, No. 8, pp. 852–860, 2018.
- [15] Alexandre H Hirzel, Jacques Hausser, Daniel Chessel, and Nicolas Perrin. Ecological-niche factor analysis: how to compute habitat-suitability maps without absence data? *Ecology*, Vol. 83, No. 7, pp. 2027–2036, 2002.
- [16] Anantha M Prasad, Louis R Iversen, and Andy Liaw. Newer classification and regression tree techniques: bagging and random forests for ecological prediction. *Ecosystems*, Vol. 9, pp. 181–199, 2006.
- [17] Owen F Anderson, John M Guinotte, Ashley A Rowden, Dianne M Tracey, Kevin A Mackay, and Malcolm R Clark. Habitat suitability models for predicting the occurrence of vulnerable marine ecosystems in the seas around new zealand. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, Vol. 115, pp. 265–292, 2016.
- [18] 橋本啓史, 夏原由博. ロジスティック回帰をもちいた都市におけるシジュウカラの生息環境適合度モデル. ランドスケープ研究, Vol. 65, No. 5, pp. 539–542, 2001.
- [19] 岡久雄二, 岡久佳奈, 小田谷嘉弥. ライトセンサスと Maximum Entropy Model による佐渡島におけるヤマシギ *Scolopax rusticola* の越冬分布推定. 日本鳥学会誌, Vol. 68, No. 2, pp. 307–315, 2019.
- [20] 小川弘司, オガワヒロシ, 柳井清治, ヤナイセイジ. 石川県南加賀地域におけるニホンジカの越冬環境評価. 石川県立大学研究紀要, Vol. 6, pp. 15–26, 2023.
- [21] 農林水産省. いま各地でおきている鳥獣被害を考える. https://www.maff.go.jp/j/pr/aff/2201/spe1_01.html#main_content, 1 2022. (Accessed on 07/19/2023).
- [22] 復興庁. 福島県避難 12 市町村 イノシシ被害対策技術マニュアル. https://www.reconstruction.go.jp/topics/main-cat1/sub-cat1-4/wildlife/material/20190123_00_zentai.pdf, 3 月 平成 30 年. (Accessed on 07/20/2023).
- [23] Mark Sandler, Andrew Howard, Menglong Zhu, Andrey Zhmoginov, and Liang-Chieh Chen. MobileNetV2: Inverted residuals and linear bottlenecks. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, pp. 4510–4520, 2018.
- [24] Kai Han, Yunhe Wang, Qi Tian, Jianyuan Guo, Chunjing Xu, and Chang Xu. Ghostnet: More features from cheap operations. In *Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition*, pp. 1580–1589, 2020.
- [25] Sachin Mehta and Mohammad Rastegari. Mobilevit: light-weight, general-purpose, and mobile-friendly vision transformer. *arXiv preprint arXiv:2110.02178*, 2021.
- [26] 大西尚樹, 今田日菜子, 一ノ澤友香. 岩手県におけるイノシシ *sus scrofa* の分布拡大の変遷と出没確率の予測. 哺乳類科学, Vol. 62, No. 1, pp. 21–30, 2022.
- [27] 藪原佑樹, 赤坂卓美, 山田芳樹, 原拓史, 奥田篤志, 河口洋一. 北海道北部地域を対象としたオジロワシの営巣適地推定. 保全生態学研究, p. 2012, 2022.
- [28] 大西泰歩, オオニシヤスホ, 柳井清治, ヤナイセイジ. 石川県における絶滅危惧種ホクリクサンショウウオ (*hynobius takedai*) の生息環境と生息適地の予測. 石川県立大学研究紀要, Vol. 4, pp. 23–31, 2021.