

Environment Research and Technology Development Fund

環境研究総合推進費 終了研究成果報告書

4G-2001 イノシシの個体数密度およびCSF感染状況の

簡易モニタリング手法の開発

(JPMEERF20204G01)

令和2年度～令和4年度

Development of simple monitoring methods for population density and CSF
infection status of wild boar

〈研究代表機関〉

兵庫県立大学

〈研究分担機関〉

岐阜大学

国立研究開発法人国立環境研究所

愛媛大学

〈研究協力機関〉

広島大学

○図表番号の付番方法について

「Ⅰ. 成果の概要」の図表番号は「0. 通し番号」としております。なお、「Ⅱ. 成果の詳細」にて使用した図表を転用する場合には、転用元と同じ番号を付番しております。

「Ⅱ. 成果の詳細」の図表番号は「サブテーマ番号. 通し番号」としております。なお、異なるサブテーマから図表を転用する場合は、転用元と同じ図表番号としております。

令和5年5月

目次

| | |
|---|----|
| I. 成果の概要 | 1 |
| 1. はじめに（研究背景等） | |
| 2. 研究開発目的 | |
| 3. 研究目標 | |
| 4. 研究開発内容 | |
| 5. 研究成果 | |
| 5-1. 成果の概要 | |
| 5-2. 環境政策等への貢献 | |
| 5-3. 研究目標の達成状況 | |
| 6. 研究成果の発表状況 | |
| 6-1. 査読付き論文 | |
| 6-2. 知的財産権 | |
| 6-3. その他発表件数 | |
| 7. 国際共同研究等の状況 | |
| 8. 研究者略歴 | |
| II. 成果の詳細 | 18 |
| II-1 イノシシの個体数変動の簡易モニタリング手法の開発 （兵庫県立大学） | 18 |
| 要旨 | |
| 1. 研究開発目的 | |
| 2. 研究目標 | |
| 3. 研究開発内容 | |
| 4. 結果及び考察 | |
| 5. 研究目標の達成状況 | |
| 6. 引用文献 | |
| II-2 環境DNA技術を用いたCSFの簡易サーベイランスシステムの開発 （国立研究開発法人国立環境研究所） | 34 |
| 要旨 | |
| 1. 研究開発目的 | |
| 2. 研究目標 | |
| 3. 研究開発内容 | |
| 4. 結果及び考察 | |
| 5. 研究目標の達成状況 | |
| 6. 引用文献 | |
| II-3 CSF発生地域を想定したイノシシ個体群の管理・モニタリングの手法開発 （岐阜大学） | 49 |
| 要旨 | |

1. 研究開発目的
2. 研究目標
3. 研究開発内容
4. 結果及び考察
5. 研究目標の達成状況
6. 引用文献

II-4 新規分布拡大地域における捕獲対策の効果検証
(愛媛大学) 64

要旨

1. 研究開発目的
2. 研究目標
3. 研究開発内容
4. 結果及び考察
5. 結果目標の達成状況
6. 引用文献

III. 研究成果の発表状況の詳細 75

IV. 英文Abstract 80

I. 成果の概要

課題名 4G-2001 イノシシの個体数密度およびCSF感染状況の簡易モニタリング手法の開発

課題代表者名 横山 真弓 (兵庫県立大学 自然・環境科学研究所 森林動物系 教授)

重点課題 主：【重点課題⑬】生物多様性の保全に資する科学的知見の充実や対策手法の技術開発に向けた研究

副：【重点課題⑬】同上

行政要請研究テーマ (行政ニーズ) (4-1) 特定鳥獣の生態特性に応じた効果的・効率的な管理手法に関わる技術開発に関する研究

研究実施期間 令和2年度～令和4年度

研究経費

111,570千円

(令和2年度：39,988千円、令和3年度35,987千円、令和4年度：35,595千円)

研究体制

(サブテーマ1) イノシシの個体数変動の簡易モニタリング手法の開発

(兵庫県立大学)

(サブテーマ2) 環境DNA技術を用いたCSFの簡易サーベイランスシステムの開発

(国立環境研究所)

(サブテーマ3) CSF発生地域を想定したイノシシ個体群の管理・モニタリングの手法開発

(岐阜大学)

(サブテーマ4) 新規分布拡大地域における捕獲対策の効果検証

(愛媛大学)

研究協力機関

広島大学

本研究のキーワード 密度指標、環境DNA、自動撮影カメラ、個体数管理、行動特性、経口ワクチン、誘引狙撃、深層学習、地域主体、OODAループ

1. はじめに (研究背景等)

イノシシ (*Sus scrofa leucomystax*) は、西日本を中心に深刻な農業被害が続いており、被害管理を軸とした施策が進められてきた。しかし、この数年間で分布が確認されていなかった東北地方や瀬戸内海の島嶼へと侵入し、爆発的な個体数増加がみられている。定着地域においても農業地域から都市近郊、大都市への分布拡大がみられ、突発的の出没が相次いでいる。加えて、2017年に岐阜県で発生した豚熱CSF (Classical swine fever, 以下、CSF) は、獣畜共通感染症対策の難しさを改めて浮き彫りにした。多胎性であるイノシシの個体数増加を制御するには、現状の捕獲体制では対応できないことは、急激な分布拡大を見ると明らかである (1978年から2020年の分布拡大は1.9倍：環境省発表*)。生息状況や行動特性を踏まえた捕獲戦略と捕獲手法、防除の最優先地域の選定等を通して、低密度化を急ぐべき場所を的確に判断し、戦略的な捕獲体制を構築しなければ、増加力の高い本種の個体群制御、疾病の制御は困難である。さらに問題を難しくしているのは、対策戦略策定の礎となるイノ

シシの個体数密度、移動と行動の特性、疾病の伝播を広域で把握するための手法が欠落していることである。

*環境省資料 https://www.env.go.jp/nature/choju/conf/conf_wp/conf03-05/ref01.pdf

2. 研究開発目的

本研究では、個体数の急増とCSF発生というイノシシをめぐる緊急の課題に対して、イノシシの生息密度とCSFの浸潤状況を広域で把握するための簡易モニタリング手法の開発すること、緊急対応が必要な課題地域においてエビデンスのある捕獲戦略とCSF蔓延防止戦略を構築すること、簡易モニタリング手法を実装し管理体制を新たに構築するための社会的要件を明らかにすることを目的とする。地域への実装と効果検証にあたっては、各参画機関が調査フィールドとして取り組んできた重要課題地域、岐阜県、福島県、兵庫県、愛媛県を対象とし、開発する2つの簡易手法の実装とそれらに基づく具体的管理手法を開発する。

3. 研究目標

| | |
|------|---|
| 全体目標 | <ul style="list-style-type: none"> ①低コストで広域的なイノシシの生息密度・個体数推定手法の確立 ②水等環境資料の採取によるCSFの広域・低コスト型のサーベイランスシステムの確立 ③CSF発生地における対策優先地域の効率的抽出方法の確立と捕獲と防護柵設置戦略の構築 ④地域主体型のモニタリングと効率的捕獲を社会実装するための方法論の構築 |
|------|---|

| | |
|--------------------|--|
| サブテーマ1 | イノシシの個体数変動の簡易モニタリング手法の開発 |
| サブテーマリーダー/ 所属機関 | 横山真弓/兵庫県立大学 |
| 目標 | <ul style="list-style-type: none"> ・ニホンジカ調査と同時に実行可能なイノシシ個体数変動の簡易手法を開発し、精度を既存手法で検証する。 ・空間的な密度推定モデルの開発と捕獲効率を評価し、県の策定する特定計画に反映させる。 ・特定鳥獣保護管理計画への反映を容易にするため、都道府県が実施可能な簡易モニタリングマニュアルを作成する。 |
| 令和2年度 | <p>(研究内容)</p> <p>①兵庫県実施のシカ糞塊密度調査と同時にイノシシの簡易痕跡調査を県内100地点で実施、②痕跡調査地点の内、15～20地点で自動撮影カメラを用いた密度推定法を実施、簡易調査の精度検証とする。③カメラによる推定密度と簡易痕跡の発見率の関係性から、密度指標としての有効性を検証する。</p> |
| 令和3年度 | <p>(研究内容)</p> <p>2020年の調査結果を用いて、①痕跡発見率とカメラによる密度推定を統合した空間統計モデルを構築、空間的な密度推定を実施、②カメラ地点における2020年度の捕獲情報から捕獲効率を評価、③特定鳥獣保護管理計画へ推定結果を反映（実装）させる。</p> |
| 令和4年度 | (研究内容) |

| | |
|--|--|
| | 簡易で有効なモニタリング手法をマニュアル化し、他の実装地域（岐阜県、福島県、愛媛県）に導入する。複数の地域で、低コスト化、データ取得の効率化、得られる推定値の精度について検討し、サンプリングデザインの方針を確立、マニュアルに反映させる。 |
|--|--|

| | |
|--------------------|---|
| サブテーマ2 | 環境DNA技術を用いたCSFの簡易サーベイランスシステムの開発 |
| サブテーマリーダー/ 所属機関 | 大沼学/国立環境研究所 |
| 目標 | <ul style="list-style-type: none"> ・環境中から効率的にウイルスを検出するための手法を開発する。 ・イノシシの密度に応じた環境試料採取計画法を開発する。 ・環境試料を活用したCSFサーベイランスシステムを構築し、各自治体の家畜衛生部局に技術移転する。 |
| 令和2年度 | <p>（研究内容）</p> <p>イノシシのCSFウイルス陽性地域において、環境試料（河川水、雨水、イノシシの糞便等）を採取する。環境試料からのウイルス濃縮、RNA抽出について、各種のカラム吸着・凝縮法等を比較・検討し、最も効率の良い方法を選択する。ウイルスRNAの検出は、リアルタイムPCR法と次世代シーケンサーの2つの手法で実施する。これらの中から最も効率的なウイルス濃縮、RNA抽出法および検出法を組み合わせ、検出プロトコルとする。</p> |
| 令和3年度 | <p>（研究内容）</p> <p>CSF陽性地と未発生地から複数のモデル地区を設定し、環境試料を採取し、前年に得られた効率的な検出方法を実施する。密度情報と環境試料の陽性率を統合し、密度に応じたサンプリング方法（試料の種類、数、頻度等）を検討する。</p> |
| 令和4年度 | <p>（研究内容）</p> <p>2021年度に開発したサンプリング法を実装地域（岐阜県、福島県、愛媛県、兵庫県）に導入する。これにより、各地のイノシシ個体群密度や環境に応じたCSFサーベイランスシステムを構築し、感染拡大警戒体制を完成させる。</p> |

| | |
|--------------------|---|
| サブテーマ3 | CSF発生地域を想定したイノシシ個体群の管理・モニタリングの手法開発 |
| サブテーマリーダー/ 所属機関 | 鈴木正嗣/岐阜大学 |
| 目標 | <ul style="list-style-type: none"> ・イノシシの生態学的情報収集し、効率的な捕獲体制を構築、民間への技術移転を目指す。 ・自動撮影カメラ画像・動画の迅速かつ効率的な分析を行うための深層学習の判別モデルを開発し、現状の分析時間の半減を目指す。 ・CSF発生時の地域主体型の個体群管理とモニタリングの社会実装をマニュアル化し、発生時のイノシシ対策を提言する。 |
| 令和2年度 | <p>（研究内容）</p> <p>CSF発生地域において、対策優先地選定に必要となる情報を効率的に収集するため、イノシシを対象に①衛星GPS首輪による行動追跡、②移動障壁柵の</p> |

| | |
|-------|--|
| | 設置状況を踏査、③給餌による誘引試験と銃器による誘引捕獲の可能性の検証、④大量に収集されるカメラ画像・動画の判別のための画像管理システムの構築を実施し、CSF発生時における効率的モニタリングと管理手法の検討を行う。 |
| 令和3年度 | (研究内容) ①イノシシの拡散リスクを減らすための誘引狙撃試験捕獲を実施し、手法論的な改善と検証を行う。②衛星GPS首輪調査を継続し、行動圏や土地利用パターンを解析する。③カメラ画像の深層学習による動物種判別システムの精度を検証する。 |
| 令和4年度 | (研究内容) ①サブテーマ1, 2で開発された簡易密度指標の広域の実装、②捕獲後の生息密度から捕獲効果を検証し、捕獲手法や体制、防疫措置を含めたマニュアルを作成、③行動解析から適切な移動障壁柵設置の設置手法を提言、④データ管理システムと深層学習による判別モデルからなる「深層学習による画像判別の効率化」を行う。 |

| | |
|--------------------|--|
| サブテーマ4 | 新規分布拡大地域における捕獲対策の効果検証 |
| サブテーマリーダー/ 所属機関 | 武山絵美/愛媛大学 |
| 目標 | ・対策者主体の捕獲効果のモニタリングと密度指標調査の手法を確立する。 ・島嶼・都市環境への分布拡大防止のための捕獲戦略を構築し、マニュアル化する。 |
| 令和2年度 | (研究内容) 松山市中島地区協議会(イノシシ侵入を受けて農家が新たに狩猟免許を取得し設立)を対象に、①自動撮影カメラによる生息密度調査(既存手法)と捕獲者自らが取り組む捕獲努力量調査、②全捕獲個体調査を実施、③対策者主体の捕獲効果モニタリング体制を整備する。協議会と協働することによりアクションリサーチ(参与型研究)を行い、新規侵入地の体制確立のために必要な社会条件(組織や支援制度等)や調査方法(あらゆる参画者が正確にデータを取得できる調査器具・方法のユニバーサル・デザイン化等)を明らかにする。多面的かつ迅速に適切な生息密度を維持するために必要な捕獲量を提示する手法を確立する。 |
| 令和3年度 | (研究内容) 前年度に確立した対策者主体の捕獲効果モニタリング体制を実働させる。すなわち適切な捕獲およびモニタリングを行うための地域計画を策定し、2021年度の研究成果より得られた最低必要捕獲数の達成を試みるため、既存の捕獲手法以外の手法を地域に導入する。 |
| 令和4年度 | (研究内容) 再モニタリングにより計画の適切性を検証して必要な改善を行い、計画の順応的管理手法を確立する。 |

4. 研究開発内容

サブテーマ1では、イノシシの広域的な生息状況調査を行う際に必要となる痕跡密度指標について、低コスト、低労力、汎用性を考慮した簡易調査手法を開発した（図-1.1）。指標の評価は自動撮影カメラ（以下、カメラ）を用いたRESTモデル（局所的な密度推定法）による局所密度データを用いて分析した。また、他のサブテーマと連携し、調査手法を各サブテーマに実装しながら、開発手法の簡素化を繰り返し、マニュアルを作成した。実装した地域は、環境の異なる兵庫県島嶼部、ニホンジカの生息していない愛媛県島嶼部、CSF侵入地である岐阜県である。マニュアルが確定した段階で、環境省の協力を得て、ニホンジカ調査に付加する形で簡易痕跡調査を民間事業者が試行した。得られたデータから空間的な生息密度推定手法を開発し、兵庫県をモデルに県域レベルで密度推定を行った。研究中にCSFが兵庫県内に侵入したことにより、侵入前後の密度の比較を行うことができた。さらに調査データの省力化により、密度推定精度がどの程度維持されるかを検証した。サブテーマ3, 4の実装地では、得られた生息密度情報を活用し、CSF侵入後のイノシシの個体数変動と捕獲の効果、捕獲の効果検証を行った。兵庫県のデータでは、CSF侵入時の密度データを取得していたため、拡散速度の評価を行った。

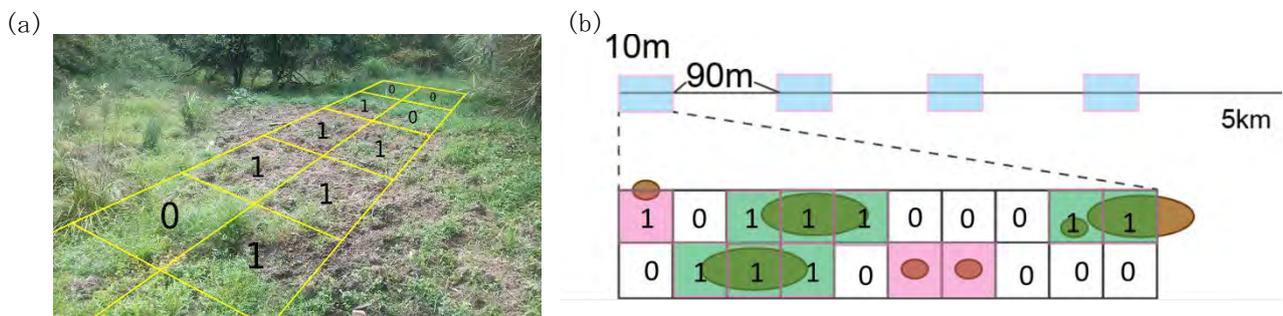


図-1.1 (a) 調査区画内に痕跡が「ある・なし (1・0)」で記録、(b) 調査ルートの様式図。100mごとに10mと90mの調査区画に分け、掘返しの大と小を区別して記録

サブテーマ2では、環境試料水からCSFウイルス遺伝子を効率的に検出する手法を開発することである。そのため、最初に、ウイルス遺伝子の増幅の妨げになる夾雑物の除去、低濃度のウイルスの濃縮、といった試料の前処理に関する条件検討を行った。次に、CSFウイルスの遺伝子の増幅効率を最大化する増幅プロトコルの検討を行った。また、モデル地区を設定し、環境水を利用したCSFサーベイランスの実施に適切な環境水採取計画を策定するためのデータを収集した。さらに、CSFウイルスは毛根部分にも分布していることが報告されたことから、開発したCSFウイルスの高感度検出法を用いて、皮膚表面をぬぐったスワブがCSF検査用の検体として利用できるのか評価した。評価には、捕獲個体から収集した切断尾を使用した。その結果、スワブサンプルを使用して検査した際の陽性率と組織を利用した際の陽性率に差が無かった。これにより、CSF陽性イノシシは皮膚組織中に大量のウイルスを含み、ウイルスは体表にも排出されていることが確認できた。このように、皮膚表面をぬぐったスワブがCSF検査に使用できることが明らかになったため、この方法を、捕獲証拠品として収集され切断尾420検体に応用し、兵庫県淡路島におけるCSFの蔓延状況を調査した。

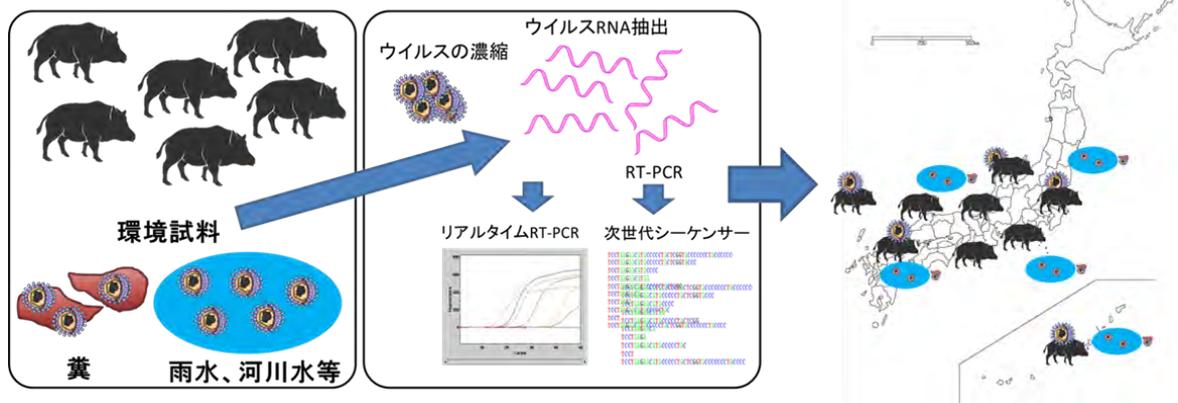


図-2.1 サブテーマ2の研究概要

サブテーマ3の目標は、「イノシシの生態学的・行動学的特徴を解明し、それらを基盤に据えた効率的かつ実践的なCSF感染拡大防止策や個体数管理策を提言し、社会に浸透させること」ならびに「カメラの画像を迅速かつ効率的に分析するための深層学習技術を開発し、社会に実装させること」の2点に大別される。

前者については、衛星GPS首輪ならびにカメラを活用し、行動圏・生息地選択の特徴、経口ワクチンの摂食に及ぼす要因、拡散防止柵の横断状況、誘引狙撃地点への安定的出沒に至るまでの過程を明らかにした。そして、それらの情報にもとづき、経口ワクチンの散布、誘引狙撃による捕獲の実施と運用、イノシシ拡散防止柵の設計とメンテナンスに係る提言・提案を行った。誘引狙撃については、CSF発生時には、生息密度の低下が予測されるため、個体数管理の手法の一つとして誘引狙撃法の導入が適切と考えられる。そこで、イノシシを対象とする誘引狙撃の効率的な実施・運用に資することを目的に、誘引に適した餌の選択、給餌地点での定常的な出沒に至るまでのプロセスの精査、餌付けされたイノシシを対象とする狙撃シミュレーション等を行った。成果として「イノシシの誘引狙撃における計画立案・運用のためのガイドライン」も作成した(図-0.1)。

後者については、MegaDetector(静止画から人、自動車、動物を検出する深層学習モデル)とカメラの画像から構築した種判別モデルとを組み合わせたパイプライン(複数の処理を連続して実施する一連の解析プロセス)を構築し、その効率性と有用性を明らかにした。そして、このパイプラインを実行するためのプログラムおよびドキュメントを公開した(図-0.1)。

サブテーマ4では、対策者主体の捕獲効果のモニタリングと密度指標調査の手法を確立するとともに、島嶼・都市環境への分布拡大防止のための捕獲戦略を構築してマニュアル化することを目標とした。具体的には、愛媛県松山市中島地区イノシシ被害対策連絡協議会が取り組むイノシシの捕獲体制を再構築し、新たな捕獲体制モデル「地域協働型野生動物管理OODAループ」を構築するとともに、そのマニュアル化を完了させた。また、OODAループの実効性を高めるため、「捕獲データ管理システムEconnect(イーコネクト)」を開発してその運用を基軸とした「イノシシの捕獲に係る包括的ワンストップ情報管理システム」の開発に成功した。さらに、新規生息拡大地域に特有の捕獲体制の脆弱性に対し、「イノシシの新規生息拡大地域における地域主導の捕獲体制構築手法」を開発し、マニュアルを作成するに至った。Econnectにより収集した捕獲個体データおよび出生ピーク月の簡便推定結果を用いて、地域個体群に応じた捕獲戦略を立案する手法を開発した。



図-0.1 アウトプットとして公表するガイドラインとプログラムの表紙

5. 研究成果

5-1. 成果の概要

サブテーマ1において、得られた成果は主に5点である。(1)簡易痕跡調査手法の開発：約5kmの調査ルート上に、方形枠を想定して掘返し痕跡のあり・なしという簡易な測定結果と、RESTモデルの密度推定値と有意な相関関係が得られたことから、これを指標とした(図-1.3)。開発した指標を兵庫県内や岐阜県内に広域展開し、

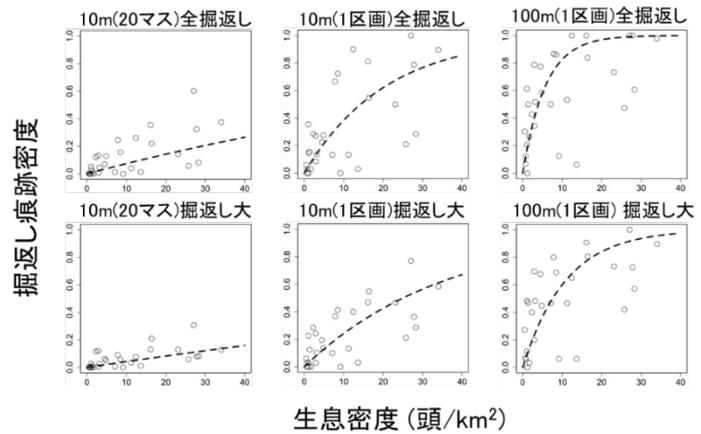


図-1.3 掘返し痕跡密度と生息密度の関係

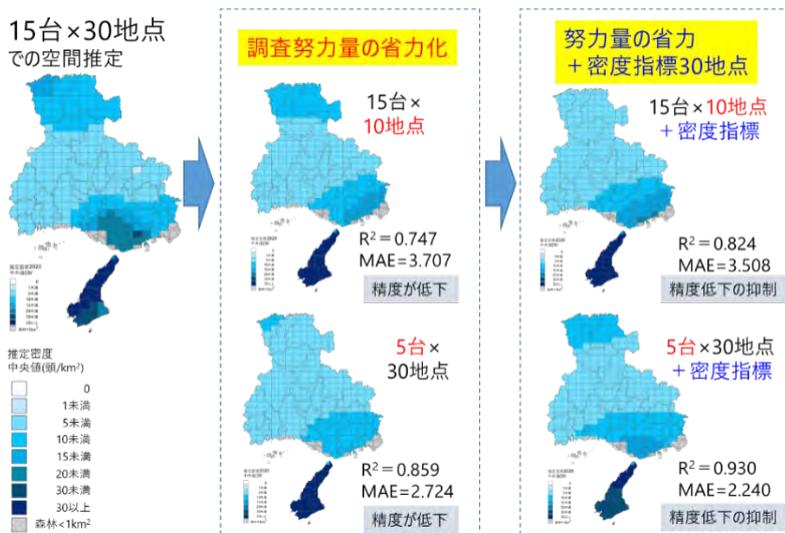


図-1.11 調査努力量の省力化および密度指標の考慮がイノシシ生息密度の推定精度に与える影響

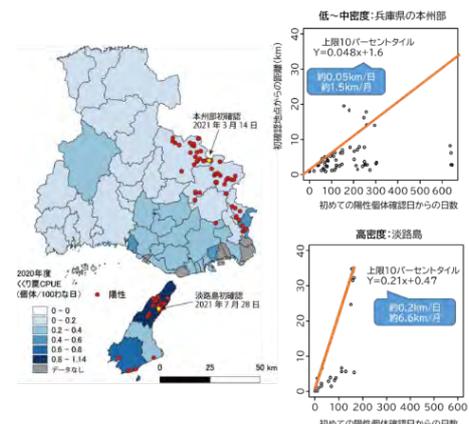


図-1.15 イノシシ生息密度の異なる地域におけるCSF感染拡大

いずれの地域でも密度推定値と正の相関関係があった。岐阜県、愛媛県では狭域スケールではあるが、密度の経年変化のデータを得ることに成功した。また、ニホンジカ調査と同時に実行可能であることを実証した。(2)空間的な密度推定手法の開発：取得したRESTモデルによる局所密度データと広域的な簡易痕跡を用いて、広域密度推定的手法を確立した。得られたデータからカメラ台数を減少させるなどして精度検証をしたところ、RESTモデルを用いた推定は高コストであるが、1地点あたりの設置台数を減らしても、今回開発した簡易痕跡指標を組み合わせることで省力化が可能であることを明らかにした(図-1.11)。

また、捕獲効率の密度指標としての有効性が明らかとなった。

(4)マニュアル化：特定鳥獣保護管理計画への反映を容易にするため、都道府県が実施可能な簡易モニタリングマニュアル(掘り返し痕跡調査分析編と自動撮影カメラ調査分析編)を作成しWEB公開した。調査未経験者であっても掘返し痕跡調査・カメラ調査が遂行できるよう、調査方法だけでなく、調査時の注意点、調査記録用の様式、様式への記入例、データ解析やアウトプットの事例などを含めたマニュアルを作成した(図-1.14)。

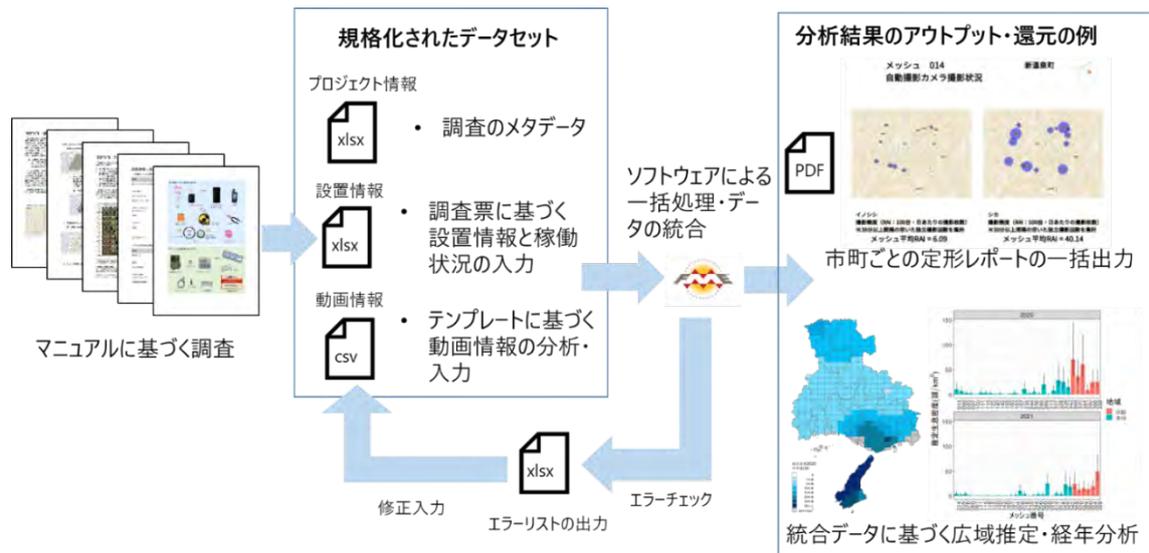


図-1.14 マニュアルに基づくデータ収集・整理・分析・還元のフロー

(5) 経年 的に得られた密度データを用いて、イノシシとCSF管理に必要な分析を試みたところ、密度によってCSFの拡散速度が異なっていたこと（図-1.15）、岐阜県では侵入2年後イノシシの生息密度が激減していたが、さらに2年後には回復傾向がみられたことが明らかとなった。また、愛媛県では、現状の捕獲数では、毎年の増加分を捕獲しているにすぎないことなどが示され、サブテーマ3で示されような誘引狙撃などの新たな捕獲の導入が必要であることなどが示された。

以上のようにイノシシ管理に求められる密度推定調査及び解析方法の確立し、他のサブテーマにおいて実装し、捕獲やCSF対策に活用することにも成功した。

サブテーマ2において、環境水からの最も効率的なCSFの検出方法を検討したところ、フィルターによる夾雑物の除去や限外ろ過膜によるウイルス粒子の濃縮といった前処理は特に必要ないことが分かった。前処理を実施するよりも磁気ビーズ処理を作業工程に組み込むことで、ウイルス遺伝子の検出感度が大幅に上昇することが分かった。以上の結果から、One-step RT-PCRとリアルタイムPCR キット（IDEXX RealPCR CSFV）を組み合わせたnestedPCRに磁気ビーズ処理を作業工程に組み込むことで、作業工程の簡略化とコストの抑制を実現しつつ、環境水中に低濃度で存在すると考えられるCSFを高感度で検出することが可能となると総合的に判断した。推奨される作業手順は、以下のとおりとなる（図-2.12）。

- ① 採取した環境水からRNAを抽出する（多検体に対応するためには自動核酸抽出装置の使用が望ましいが、遠心機を使用する方法でも検査に使用できる十分量のRNAが抽出可能）。
- ② 抽出したRNAを使用したOne-step RT-PCR（Vileek S, et al. (1994)）を実施。
- ③ 磁気ビーズ（AMPure XP（Beckman社））によりPCR産物を濃縮する。
- ④ 濃縮したPCR産物を使用してリアルタイムPCR（IDEXX RealPCR CSFV）を実施する。

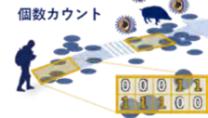


図-2.12 環境水からのCSF検出プロトコル

環境水採取計画策定のためのデータを収集するモデル地区に設定した兵庫県淡路島において、2021年度に106検体の環境水を収集した。この106検体を対象にnestedPCRに磁気ビーズ処理を作業工程に組み込む方法（図-2.12）で、CSFの検出を試みたところ、4検体が陽性となり、陽性率は3.8%となった。環境水を収集した時点における、自治体が発表した当該地域のイノシシのCSF陽性率は約2.4%であった（84個体中2個体陽性）。また、環境水を収集した範囲に生息するイノシシの個体数は、約200個体と推定された（この推定個体数のデータはサブテーマ1より提供された）。以上の結果から、環境水を活用し、CSFの蔓延状況を把握するためには、以下の手順で調査することが推奨される（図-2.14）。

サーベイランスを実施したい地域の個体群密度を推定する

200個体が生息する面積を計算する
（調査プロットの設定）



調査プロット内のヌタ場の水や糞便を最低100サンプル集める



図-2.14 環境水を活用し、CSFの蔓延状況を把握するための手順

- ①調査地域におけるイノシシの個体群密度を推定する。
- ②200個体が生息すると面積を計算し、調査プロットを設定する。
- ③調査プロット内のヌタ場の水、河川水および糞便を最低100検体収集する。
- ④収集した環境水を対象に、図-2.12で示した方法で、CSFの検出を試験する。

切断尾の皮膚表面を拭ったスワブから抽出したRNA420検体中36検体でCSFが検出された（図-2.15）。淡路島島内の地域別に陽性率を比較すると、地域ごとの陽性率は8.1から14.8%となり、地域ごとの偏りは確認されなかった。このことから、淡路島島内のイノシシにはCSFが広く蔓延していることが示唆された。この方法は、短期間に試料が収集でき、また、捕獲時に血液や扁桃を採取するよりも採材方法が簡便で狩猟者の負担とならないことから、イノシシにおけるCSFサーベイランスを行うには極めて有用な手法であると考えられる。

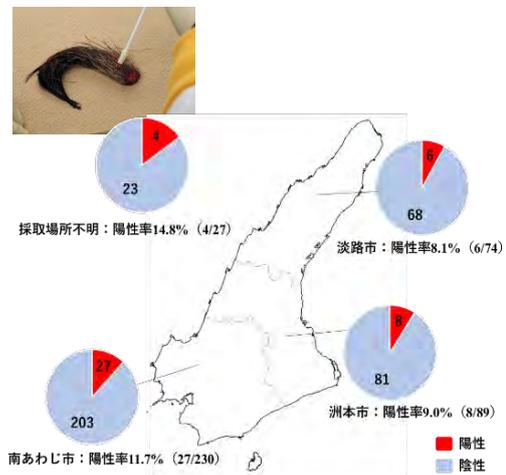


図-2.15 淡路島島内における豚熱陽性イノシシの分布

サブテーマ3において得られた成果は以下の3点である。

- (1) イノシシの行動特性分析：衛星GPS首輪の情報からは行動圏や生息地選択の特徴を、経口ワクチン散布データからはワクチンの摂食に及ぼす諸要因を、カメラの画像からは拡散防止柵の横断・突破状況を解析した。拡散防止柵については、柵の設置・管理に関わった関係機関等へのヒアリングも実施した。その結果、イノシシの生態学的・行動学的特徴ならびに拡散防止柵の設置・管理上の課題として、下記の4点が明らかとなった。
 - ① イノシシは比較的狭い範囲（図-3.2）を集中的に利用し、休息地としては人間がアクセスしにくい急斜面を選択していた。
 - ② 経口ワクチンの摂食には、環境要因や地形的要因よりも、事前給餌や繰り返しの散布の方が強く影響していた。
 - ③ 拡散防止柵に対する様式は動物種によって異なり、イノシシの場合は柵沿いを巡回し、隙間がある地点での横断・突破が多いと考えられた。
 - ④ 拡散防止柵の設置・管理の現場では、資材や予算の不足によりメンテナンス等の作業が遅延する場面があった。

これらの結果を踏まえ、効果的な豚熱の感染拡大防止策に必要なイノシシの管理は以下の通りとなった。

- 陽性個体発見地点や養豚場から半径4km圏内での集中的な捕獲やワクチン散布が効果的である。
- ワクチン散布地点に餌があることをイノシシに認識させた後で経口ワクチンを散布することにより、効果的な散布を行うことができる。
- イノシシの通過・突破地点となる隙間を減らすためには、行政的な課題が多い状況であったことから、「関係者間の調整・連携により、補修等の体制を整えること」、「感染拡大により柵の設置規模の拡大が予想される場合は、メーカーとの相談など資材を早目かつ十分に確保すること」、「設置した柵の耐用年数を考慮し、十分な額の管理費用を確保すること」が必要と判断された。

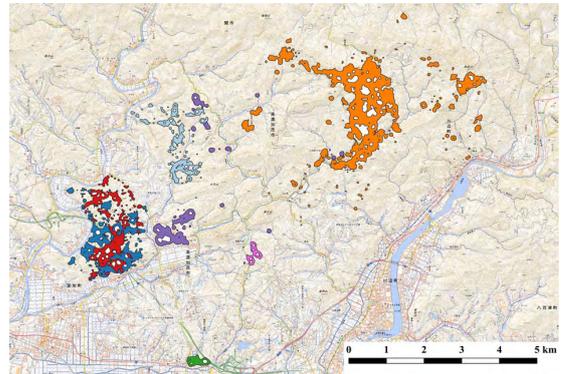


図-3.2 Brownian Bridge Movement Modelによる95%行動圏

(2) 低密度下における誘引狙撃法：誘引に適した餌の選択、給餌地点での定常的な出没に至るまでのプロセスの精査、餌付けされたイノシシを対象とする狙撃シミュレーション等から下記の4点が明らかとなった。

- ① 地域差の存在は想定されるが、誘引餌としては圧片コーンが適している。
- ② 餌の認識や摂食、安定的な給餌場への出没までには一定の期間が必要であり、誘引狙撃が可能となるまでには20日以上給餌が必要となる場合がある。
- ③ 安定的な出没が達成できれば、55m離れたブラインド内にも人がいてもイノシシは警戒することなく摂食を続ける（図-3.9）ため、余裕をもった精密な狙撃が可能となる。
- ④ 夜間の誘引狙撃を想定したスポットライトの照射を行っても、イノシシは特段の反応を示すことはなかった。

これらの確認事項を踏まえ、前述の「イノシシの誘引狙撃における計画立案・運用のためのガイドライン」には、日中ならびに夜間の誘引狙撃に関し、以下の項目ごとに方法や指針等を記載した。

- 給餌場の選定と給餌の方法
- 給餌の開始から狙撃までのプロセス
- 狙撃のために準備する器材類
- ブラインドへの潜入から発砲までの手順
- 従事者（射手）の要件



図-3.9 日没前に出没した個体に狙いを定めた状況。

(3) カメラ画像の種判別モデルによる自動化：既存の判別器の精度を検証したところ、当該の判別器は新規期間・新規地点で取得された画像の判別には不十分であることが判明した。一方、MegaDetectorは、動物の在不在において既存の判別器よりも非常に高い精度を示すことが明らかとなった。これらの結果を踏まえ、MegaDetectorと国内のカメラ画像から構築した種判別モデルとを組み合わせたパイプラインを構築した(図-3.16)。さらに、これを実際のカメラデータに適用したところ、不要な動画の約75%が除外されることにより、全体の作業量を1/4に圧縮できることも確認した。前述のとおり、このパイプラインを実行するためのプログラムとドキュメントはウェブサイト上で公開され、岐阜大学応用生物科学部附属野生動物管理学研究センターおよび兵庫県森林動物研究センターでの導入を行った。

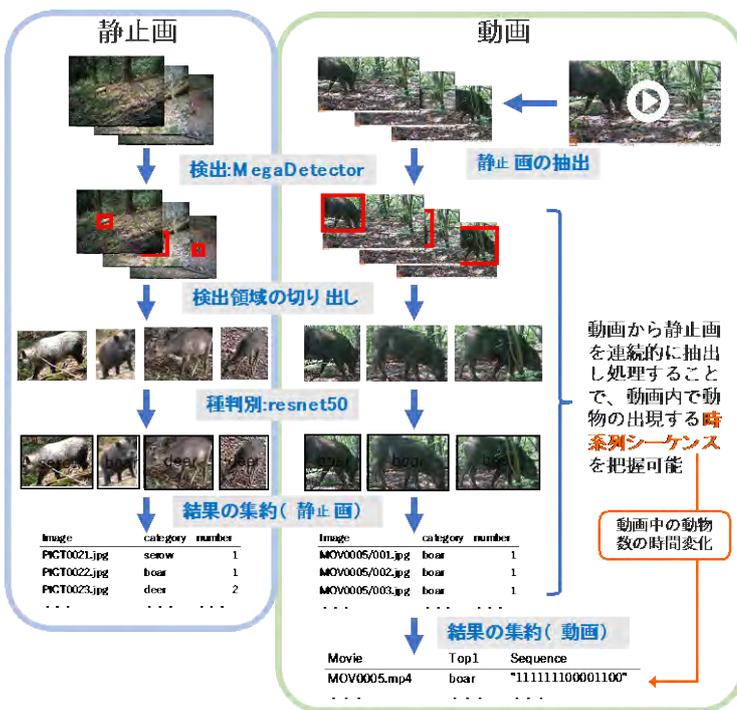


図-3.16 新規に構築した深層学習技術によるカメラトラップ映像判別パイプラインの概要

サブテーマ4で得られた成果は以下の2点に大別される。

(1) 対策者主体の捕獲効果モニタリング・密度指標調査手法「地域協働型野生動物管理OODAループ」の開発：イノシシの侵入を受けて地域住民が新たに狩猟免許を取得して設立した中島地区イノシシ被害対策防止連絡協議会（以下、イノシシ協議会）を対象に、研究者自らが地域のステークホルダーと協働して地域を調査し、研究者が科学的分析から課題の抽出を行って解決手段を検討し、その結果を再度地域に還元・実装して問題解決を図る「アクションリサーチ（参与型研究）」を行い、既存の捕獲体制を改良して新たに捕獲効果を検査する体制を構築した。具体的には第一に、新規侵入地の体制確立のために必要な社会条件（組織や支援制度等）を明らかにし、これを各地域の特性に応じて実装可能な汎用性のある手法にまとめ、「イノシシの新規生息拡大地域における地域主導の捕獲体制構築手法」としてマニュアル化した。第二に、島内の全捕獲個体を集めて計測するための「捕獲ステーション」を整備し、地域組織（捕獲者を中心とした住民組織）により捕獲個体の計測・写真撮影等のデータ収集を行った後、デー



タを電子タブレットに入力して情報管理および行政への報告を行う「イノシシの捕獲に係る包括的ワンストップ情報管理システム」を開発した。ここで、データを電子タブレットに入力する端末として、「捕獲データ管理システムEconnect（イーコネクト）」を開発した。Econnectは、あらゆる参画者が正確にデータを取得・入力できるようユニバーサル・デザイン化を行った。第三に、地域主導の捕獲体制および包括的ワンストップ情報管理システムを基盤に、対策者が主体となって捕獲効果のモニタリングを行うための「地域協働型野生動物管理OODAループ」を構築し（図-4.6）、マニュアル化した。OODAループ（ウーダーループ）とは、「O：Observe（観察）」「O：Orient（方向付け）」「D：Decide（意思決定）」「A：Action（実行）」の繰り返しにより、状況観察から未来を予測し、行動を決定・実行するという、米国の軍事研究家ジョン・ボイドにより提唱された一連の意思決定理論である。構築したOODAループに基づき、自動撮影カメラによる生息密度調査、捕獲個体からのサンプリング調査（年齢査定、胎児分析）、CSFサーベイランス、および全捕獲個体の捕獲情報収集を実施し、対策者主体の捕獲効果のモニタリングを行った。また、捕獲個体の頭胴長データから、地域個体群の出生ピーク月を簡便に推定する手法を開発した。

(2) 島嶼・都市環境への分布拡大防止のための捕獲戦略の構築：Econnectにより収集した捕獲個体データおよび出生ピーク月の簡便推定結果を用いて、地域個体群に応じた捕獲戦略を立案する手法を示した。この手法を用いて、中島個体群を対象に捕獲戦略を立案し、2021年度に、出生ピーク月の前後に箱ワナを用いたメス成獣の捕獲、囲いワナの導入など、新たな捕獲に取り組んだ。またその結果を検証するため、2022年度に再度、生息密度調査を実施した。その結果、0歳個体の出産および秋出産が個体数の増加に強く寄与していることが明らかとなったため、2023年度には夏期における0歳個体の捕獲強化や冬期の柑橘類管理によるエサ資源削減を新たな捕獲戦略に位置づけることとなった。このように、OODAループによる捕獲者主体のモニタリングとその結果を用いた捕獲戦略の

図-4.6：地域協働型野生動物管理OODAループ

立案が、順応的管理手法として継続的な捕獲の改善に資することを明らかにした。また、超過疎・高齢化島嶼において、イノシシの生息個体数が人口を上回り、イノシシによる被害が生活の安全を脅かす現状を明らかにし、職能的捕獲者派遣の必要性を明示した。

5-2. 環境政策等への貢献

<行政等が既に活用した成果>

生息密度調査：岐阜県における2021年度のイノシシ捕獲目標頭数の策定にあたり、本研究費において実施した生息密度推定調査の成果が活用され、捕獲目標設定に貢献した。兵庫県においては、令和3年度以降、今回開発した簡易痕跡密度指標が広域的に実施され、その成果の一部は、イノシシ特定鳥獣管理計画に反映された。そのほか兵庫県南あわじ市、京都府福知山市の事業において、サブテーマ1で開発マニュアル化された生息密度調査が実施されている。また、本成果の一部は、環境省の「第二種特定鳥獣管理計画作成のためのガイドライン（イノシシ編）」において紹介されている。

切断尾部によるCSFサーベイランス：兵庫県淡路島におけるCSFサーベイランスにおいて、2023年12月に兵庫県森林動物研究センター事業として、切断尾によるCSF検査方法が試験的に導入された。

誘引狙撃：沖縄県の慶良間諸島では、移入されたイノシシの根絶を目的とする指定管理鳥獣捕獲等事業が展開され、誘引狙撃も導入されている。研究分担者（鈴木正嗣）は、同事業に係る検討委員を委嘱され、本研究の成果にもとづき、誘引狙撃の運用や手法に係る助言を行っている。また、同事業の一環として行われた「捕獲者育成のための研修会（2022年3月12～13日）」においては、射撃場での講義と実技指導も担当した。

捕獲データ管理システム「Econnect」：愛媛県松山市における2022年度事業において、本研究成果である「捕獲データ管理システムEconnect」が採用され、2023年度には松山市の鳥獣行政システムに実装

されることとなった。また、兵庫県丹波市、京都府福知山市において、「Econnect」が令和5年度より試験的に採用され実装が目指されることとなった。

<行政等が活用することが見込まれる成果>

生息密度調査：本研究によりイノシシの個体数密度の推定方法として、実施すべき最低限の内容を網羅することができた内容であり、2023年2月に環境省が都道府県担当者向けに開催した次年度事業説明会において、本成果が紹介された。都道府県では、イノシシの生息密度情報は鳥獣保護管理法に基づく特定鳥獣保護管理計画において、イノシシの生息情報は必須となるため、本研究で策定したマニュアルに基づき、環境省もしくは都道府県レベルでの調査への活用が見込まれる。特にニホンジカの糞塊密度調査を実施している地域では、既存の調査に付加することで容易にデータが取得できる。

CSFの環境サンプルによる検査：全国サーベイランスにおける検査用サンプルの収集効率化の一環で、環境水および切断尾を検査用サンプルとして収集する体制整備がすすむ可能性がある。特に、切断尾を検査用サンプルとして活用することは、有害捕獲の捕獲報奨金の証拠品制度を利用できるため、収集体制の構築が可能であるため、今後、実装される可能性が高い。CSFが侵入していない九州地域での実装が検討されている。

経口ワクチン散布の基準：本成果から陽性イノシシの発生場所もしくは養豚場から関係4kmを基準としたワクチン散布やイノシシの行動特性からワクチン散布前の給餌などを盛り込んだワクチン散布を農水省等へ提案する予定である。

誘引狙撃：沖縄県では、慶良間諸島に移入されたイノシシの根絶を目的に実施されている「指定管理鳥獣捕獲等事業」を念頭に、認定鳥獣捕獲等事業者（夜間銃猟を含む）の認定に係る制度の整備を進めている。これにより認定を受けた事業者が上記事業の従事者となった場合には、本研究により提示された手法やノウハウ等の活用が見込まれる。また、「生物多様性国家戦略2023-2030」の行動目標2-5-12（次世代の鳥獣保護管理の担い手の確保・育成）では、夜間銃猟等の認定を受けている認定鳥獣捕獲等事業者の増加に係る数値目標が掲げられた。サブテーマ3では、イノシシの誘引狙撃の要件として「夜間銃猟等の認定」を提案し、夜間銃猟がイノシシの個体数管理に適用可能であることを明示することができた。本研究で作成・公表した「イノシシの誘引狙撃における計画立案・運用のためのガイドライン」においても、関連情報が盛り込まれている。これらの成果は、生物多様性国家戦略の行動目標のひとつである「夜間銃猟の浸透を通じての捕獲の効率化」を促進するための論拠ならびに研修等の素材として、行政等による活用が見込まれる。

捕獲体制構築：愛媛県が策定する第二種特定鳥獣管理計画（イノシシ）（サブリーダー：武山が愛媛県特定鳥獣適正管理検討委員会副委員長として計画策定に参画中）および松山市鳥獣被害防止計画（同：武山が計画立案に参画中）の立案において、本研究成果を活用する。

本成果全般：行政に本成果を普及するため、成果を平易にまとめた成果集を作成、全国の関係機関に配布した。さらに2023年3月2日に一般向け公開シンポジウムをWeb配信にて実施しており、行政関係者や調査業者などの関係者を中心に約200名の参加者があり、イノシシの調査及び管理の新たな手法が開発されたことを周知した。

5-3. 研究目標の達成状況

| 全体目標 | 目標の達成状況 |
|--|--|
| ①低コストで広域的なイノシシの生息密度・個体数推定手法の確立 | <u>目標を上回る成果をあげた。</u> ①ニホンジカと同時に調査可能な簡易痕跡指標の開発に成功し、自治体の実装可能な調査手法等のマニュアルを作成した。空間的な生息密度推定手法を確立し、その調査の省力化について具体的な手法を確立した。さらに、密度データが得られる |
| ②水等環境資料の採取によるCSFの広域・低コスト型のサーベイランスシステムの確立 | |
| ③CSF発生地における対策優先地域の効率的抽出 | |

| | |
|---|--|
| <p>方法の確立と捕獲と防護柵設置戦略の構築</p> <p>④地域主体型のモニタリングと効率的捕獲を社会実装するための方法論の構築</p> | <p>ことにより、イノシシの捕獲やCSF対策に必要なデータ解析を行うことができた。</p> <p>②環境水から効率的にCSFウイルスを検出する方法として、「nestedPCR法」の開発に成功し、生息密度と関連させた検査数を示すことができた。この手法を応用し、既存の行政の捕獲の証拠確認体制を活かし、提出される切断尾からCSFウイルスを検出する手法を確立することができた。</p> <p>③イノシシの行動特性から対策優先地の基準を示し、さらに「経口ワクチンの散布方法に係る提案」、「イノシシ拡散防止柵の設計とメンテナンスに係る提言・提案」を示した。また、CSFによる低密度下において必要となる「誘引狙撃のガイドライン」を策定した。調査の効率化を図るため、深層学習によるカメラ画像の種判別を自動化した。</p> <p>④イノシシ管理の基本となる捕獲体制として「地域協働型野生動物管理OODAループ」の構築とこの実効性を高めるためのデジタルツール「捕獲データ管理システムEconnect（イーコネクト）」を開発してその運用を基軸とした「イノシシの捕獲に係る包括的ワンストップ情報管理システム」の開発に成功した。</p> <p>以上、具体的な手法論について、4種のマニュアル、1種のガイドライン、1種のオープンソースプログラムを策定し、公開することができた。</p> <p>実装をより具体化するため、一般向けシンポジウムを開催するとともに、普及版の報告書を作成し、印刷し全国の関係機関、自治体に配布した。またPDFをWEB公開した。</p> |
|---|--|

| サブテーマ1目標 | 目標の達成状況 |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ・ニホンジカ調査と同時に実行可能なイノシシ個体数変動の簡易手法を開発し、精度を既存手法で検証する。 ・空間的な密度推定モデルの開発と捕獲効率を評価し、県の策定する特定計画に反映させる。 ・特定鳥獣保護管理計画への反映を容易にするため、都道府県が実施可能な簡易モニタリングマニュアルを作成する。 | <p><u>目標を上回る成果をあげた。</u></p> <p>イノシシの痕跡の有無のみを記録することで、密度指標となることを明らかにし、ニホンジカと同時に密度指標を収集する手法開発に成功した。自動撮影カメラによる局所密度と簡易痕跡指標、行政的に収集されている捕獲効率データを用いて、県域レベルの空間的な密度を推定し、捕獲目標や捕獲効果を検証することができた。特定計画に求められる生息密度調査を自治体が発行するために求められるマニュアルについて、簡易密度指標だけでなく、自動撮影カメラによる調査方法や解析手法に関しても作成し公開した。また、サブテーマ2, 3, 4に手法を実装し、イノシシ管理に応用した。計画設定にはないが、生息密度と捕獲やCSFによる影響、CSFの拡散速度について分析し、密度情報が得られることによるイノシシの広域的な状況把握の事例も示すことができた。</p> |

| サブテーマ2 目標 | 目標の達成状況 |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ・環境中から効率的にウイルスを検出するための手法を開発する。 ・イノシシの密度に応じた環境試料採取計画法を開発する。 ・環境試料を活用したCSFサーベイランスシステムを構築し、各自治体の家畜衛生部局に技術移転する。 | <p><u>目標を上回る成果をあげた。</u></p> <p>環境水から効率的にCSFウイルスを検出する方法として、「PCR産物を濃縮する過程を導入したnestedPCR法」を開発し、研究目標を達成した。最初に生息密度からイノシシ200頭が分布する範囲を確定し、その範囲から環境水100検体を採取することで、捕獲個体から得られる検出率と同等の検出率が得られることが分かった。この基準を示すことにより、イノシシ密度に応じた環境試料採取計画を立案することが可能となったため、研究目標を達成した。環境水からのCSFウイルス検出法については、追加の設備投資を最小限に抑えた「PCR産物を濃縮する過程を導入したnestedPCR法」を開発した。追加の設備投資が最小限に抑えられるため、本手法の各自治体の家畜衛生部局への導入は容易であると考えられる。また、より効率的なCSFウイルスの検査体制構築を提案するため、捕獲の証拠として各地方自治体に提出される切断尾からCSFウイルスが検出可能か検討した。その結果、切断尾からCSFウイルスが検出可能であることが分かった。この成果は当初の研究計画にはないもので、設定した研究目標以上の成果となった。</p> |

| サブテーマ3 目標 | 目標の達成状況 |
|--|--|
| <p>イノシシの生態学的情報収集し、効率的な捕獲体制を構築、民間への技術移転を目指す。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・自動撮影カメラ画像・動画の迅速かつ効率的な分析を行うための深層学習の判別モデルを開発し、現状の分析時間の半減を目指す。 ・CSF発生時の地域主体型の個体群管理とモニタリングの社会実装をマニュアル化し、発生時のイノシシ対策を提言する。 | <p><u>目標を上回る成果をあげた。</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・本研究により、「経口ワクチンの散布方法に係る提案」、「イノシシ拡散防止柵の設計とメンテナンスに係る提言・提案」、「誘引狙撃のガイドライン」、「深層学習によるカメラ情報の解析に係る作業量の低減」、「動画処理の新パイプラインの岐阜県・兵庫県での実務への導入」の5点の成果が以下の通り得られたため、目標以上の成果を上げることができたと判断する。 ・CSF発生地域におけるイノシシの生態学的・行動学的情報（行動圏・生息地選択の特徴、経口ワクチンの摂食に及ぼす要因の特定、拡散防止柵の横断状況）を収集することができた。これらの結果にもとづき、経口ワクチンの散布方法ならびにイノシシ拡散防止柵の設計・設置・管理に係る具体的提言を行うことができた。 ・誘引狙撃に係る体制や手法、装備の提言等の目標は達成された。ガイドラインというスタイルを採ったが、マニュアルに替わる普及啓発文書も作成した。加えて、餌付け方法から経口ワクチンの散布方法に係わる方針も示すことができたため、目標を上回る提案を行うこともできた。 ・本研究で構築したパイプラインを岐阜市内で取得されたカメラデータに適用したところ、動画の約75%を除外することで作業量を1/4に圧縮することができた。また、本パイプラインを実行するためのプログラムおよびドキュメントを公開することができた。さらに、本パイプラインの岐阜大学 |

| | 応用生物科学部附属野生動物管理学研究センター および兵庫県森林動物研究センターへ導入した。 |
|--|---|
| サブテーマ4目標 | 目標の達成状況 |
| <ul style="list-style-type: none"> ・対策者主体の捕獲効果のモニタリングと密度指標調査の手法を確立する。 ・島嶼・都市環境への分布拡大防止のための捕獲戦略を構築し、マニュアル化する。 | <p>目標を上回る成果をあげた。</p> <p>松山市中島地区イノシシ被害対策連絡協議会が取り組むイノシシの捕獲体制を再構築し、新たな捕獲体制モデル「地域協働型野生動物管理OODAループ」の構築に成功するとともに、そのマニュアル化を完了させた。また、目標を上回る成果として、OODAループの実効性を高めるため、「捕獲データ管理システムEconnect（イーコネクト）」を開発してその運用を基軸とした「イノシシの捕獲に係る包括的ワンストップ情報管理システム」の開発に成功した。</p> <p>さらに、新規生息拡大地域に特有の捕獲体制の脆弱性に対し、「イノシシの新規生息拡大地域における地域主導の捕獲体制構築手法」を開発し、マニュアルを作成するに至った。また、Econnectにより収集した捕獲個体データおよび出生ピーク月の簡便推定結果を用いて、地域個体群に応じた捕獲戦略を立案する手法を開発した。</p> |

6. 研究成果の発表状況

6-1. 査読付き論文

<件数>

9件

<主な査読付き論文>

- 1) D. HIGASHIDE, T. KURIYAMA, S. TAKAGI, Y. NAKASHIMA, K. FUKASAWA, G. YAJIMA, M. KASADA and M. YOKOYAMA: Wildl. Biol, 2021, 4 (2021) Effectiveness of signs of activity as relative abundance indices for wild boar.
- 2) 高木 俊、栗山武夫、杉本太郎、横山真弓、東出大志：兵庫ワイルドライフモノグラフ、15巻、15-27 (2023)、イノシシの生息状況把握における出猟カレンダーに基づく密度指標の有効性
- 3) 杉本太郎、高木 俊、栗山武夫、鴻村 創、横山真弓：兵庫ワイルドライフモノグラフ、15巻、39-50 (2023)、イノシシ掘返し痕跡の生成から消失までの追跡調査
- 4) 栗山武夫、大田康之：兵庫ワイルドライフモノグラフ、15巻、60-71 (2023)、兵庫県における2022年末までの豚熱の拡大の概要
- 5) 栗山武夫、大田康之、高木 俊、杉本太郎、横山真弓：兵庫ワイルドライフモノグラフ、15巻、72-83 (2023)、兵庫県における経口ワクチン散布による豚熱対策の効果検証と摂食率に影響する要因の解明
- 6) 吉村真由、横山真弓、栗山武夫：兵庫ワイルドライフモノグラフ、15巻、84-93 (2023)、兵庫県の島嶼部で捕獲されたイノシシの胃内容
- 7) T. IKEDA, D. HIGASHIDE, T. SUZUKI, M. ASANO: Preventive Veterinary Medicine, 205, 105700 (2022) (IF:3.372), Efficient oral vaccination program against classical swine fever in wild boar population
- 8) T. IKEDA, D. HIGASHIDE, T. SUZUKI, M. ASANO: Mammal Study (in press) (IF:0.723), Home range and habitat selection of wild boar (*Sus scrofa*) in rural landscape

- 9) 久保田彩水, 武山絵美, 東出大志, 濱野博幸, 政本泰幸, 笹山新生, 高木俊, 横山真弓, 小林範之: 農村計画学会論文集, 3(1), 9-18 (2023), 移入後 10 年が経過した島嶼におけるイノシシの生息実態—愛媛県松山市二神島を対象として—

6-2. 知的財産権

特に記載する事項はない。

6-3. その他発表件数

| | |
|------------------|------|
| 査読付き論文に準ずる成果発表 | 9 件 |
| その他誌上発表 (査読なし) | 3 件 |
| 口頭発表 (学会等) | 32 件 |
| 「国民との科学・技術対話」の実施 | 16 件 |
| マスコミ等への公表・報道等 | 19 件 |
| 本研究費の研究成果による受賞 | 0 件 |
| その他の成果発表 | 8 件 |

7. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

8. 研究者略歴

研究代表者

横山 真弓

北海道大学農学部卒業、兵庫県立人と自然の博物館主任研究員、現在、兵庫県立大学自然・環境科学研究所教授

研究分担者

1) 高木 俊

東京大学農学部卒業、兵庫県立人と自然の博物館任期付研究員、現在、兵庫県立大学自然・環境科学研究所准教授

2) 栗山 武夫

東邦大学理学部卒業、東京大学大学院特任研究員、現在、兵庫県立大学自然・環境科学研究所准教授

3) 東出 大志

新潟大学大学院自然科学研究科修了、早稲田大学人間科学学術員助手、兵庫県立大学自然・環境科学研究所特任助教、現在、岐阜大学応用生物科学部附属野生動物管理学研究センター特任助教

4) 大沼 学

酪農学園大学酪農学部卒業、北海道大学大学院獣医学研究科修了、現在、国立研究開発法人国立環境研究所生物多様性領域主幹研究員

5) 鈴木 正嗣

帯広畜産大学畜産学部獣医学科卒業、北海道大学歯学部助手、同講師、同助教授、北海道大学大学院獣医学研究科助教授、現在、岐阜大学応用生物科学部教授

6) 安藤 正規

名古屋大学農学部卒業、京都府林業試験場技師、現在、岐阜大学応用生物科学部 准教授

7) 池田 敬

東京農工大学農学部卒業、国土交通省国土技術政策総合研究所研究官、現在、岐阜大学応用生物科学部附属野生動物管理学研究センター特任准教授

8) 武山絵美

京都大学大学院農学研究科博士後期課程・指導認定退学、現在、愛媛大学大学院農学研究科教授

II. 成果の詳細

II-1 イノシシの個体数変動の簡易モニタリング手法の開発

| | |
|---|----------------|
| 兵庫県立大学自然・環境科学研究所 | 横山 真弓 |
| 兵庫県立大学自然・環境科学研究所 | 高木 俊 |
| 兵庫県立大学自然・環境科学研究所 | 栗山 武夫 |
| 岐阜大学応用生物科学部附属野生動物管理学研究センター 〈研究協力者〉兵庫県立大学自然・環境科学研究所 | 東出 大志 杉本 太郎 |

[要旨]

イノシシの個体数密度の推定方法として、精度の高い密度指標（前回推進費開発済み）と組み合わせ運用可能な、低コスト、低労力、汎用性を考慮した簡易調査手法に基づく密度指標により、広域的な生息密度の推定手法の開発をおこない、以下の結果が得られた。

（１）方形枠中の掘返し痕跡のあり・なしという痕跡密度の簡易な測定手法を開発し、自動撮影カメラRESTモデルの密度推定値と有意な相関関係が得られた。開発した指標を兵庫県内や岐阜県内に広域展開し、いずれの地域でも密度推定値と正の相関関係が得られた。また、ニホンジカ調査と同時に実行可能であることを実証した。（２）RESTモデルと痕跡密度に基づく広域密度推定の手法を確立した。得られたデータからカメラ台数を減少させた場合の精度検証を行ったところ、RESTモデルを用いた推定は高コストであるが、1地点あたりの設置台数を減らしても、今回開発した密度指標を組み合わせることで省力化が可能となった。（３）捕獲効率の指標としての有効性が明らかとなった。（４）サブテーマ連携により、岐阜県、愛媛県の調査地域において実装し管理に活用した。（５）特定鳥獣保護管理計画へ反映させるため、都道府県が実施可能な簡易モニタリングマニュアルを作成しWEB公開した。調査未経験者であっても掘返し痕跡・カメラ調査が遂行できるよう、調査方法だけでなく、調査時の注意点、調査記録用の様式、様式への記入例、データ解析事例などを含めた。以上のようにイノシシ管理に求められる密度推定調査及び解析方法の確立し、他のサブテーマにおいて実装し、捕獲やCSF対策の活用することにも成功した。

1. 研究開発目的

イノシシは世界的にも生息状況の把握が最も難しい種として知られており、ヨーロッパでもアフリカ豚熱の発生を受けて、各国が連携したモニタリング手法の情報交換データベースの構築

(ENETWILD*)を進めている段階である。国内においては、個体数推定のためのデータが欠落しており、国もしくは都道府県レベルあるいは対策に役立つレベルの個体数推定が行われていない。2019年には、兵庫県立大学が中心となって取り組んだ環境研究総合推進費【4-1704】（以下、前回推進費）により信頼性の高いイノシシの密度指標が開発された。しかし、密度指標を広域で把握するには、コストが高く調査員の能力や個人差によるばらつきが大きいという課題があった。

そこで、本課題では簡易密度指標として、調査者に依存しないイノシシの痕跡調査の簡便法を開発することを目的とした。また、低コスト化と調査の効率化のため、既存のニホンジカ糞塊密度調査に付加する方法を検討する。精度の検証は、自動撮影カメラ（以下、カメラ）によるRESTモデル推定密度との関係性により明らかにする。さらにこれらのデータを統合した空間統計モデルを構築し、イノシシの空間的な密度推定手法を検討する。本課題を遂行する上で、調査地域の生息密度が明らかになることにより、イノシシの個体群動態の特徴やCSFとの関係性の解明にも取り組んだ。最終的に、これらの調査と分析手法は、都道府県レベルが実装可能な手法とするため、マニュアル化とその公開を目標とした。

*ENETWILD (<https://enetwild.com/>)

2. 研究目標

- ・ニホンジカ調査と同時に実行可能なイノシシ個体数変動の簡易モニタリング手法を開発し、精度を既

存手法で検証する。

- ・空間的な密度推定モデルの開発と捕獲効率を評価し、県の策定する特定計画にも反映させる。
- ・特定鳥獣保護管理計画への反映を容易にするため、都道府県が実施可能な簡易モニタリングマニュアルを作成する。

3. 研究開発内容

サブテーマ1では、簡易密度指標の開発とその実装により都道府県レベルで実行可能なマニュアルを作成した。また、調査期間中に生息密度データが明らかになることで、イノシシの個体群動態の特徴やCSFとの関係性などの解析が可能となったため、計画を超えてこれらの分析も実施した。イノシシの生息密度指標について、前回推進費と本研究との関係を表-1.1に整理した。

表-1.1 イノシシの密度指標の開発状況と本研究における位置づけ

| イノシシの密度指標 | 開発の経緯 | 本研究の位置づけ |
|--------------------------------|------------------------------------|-------------------------|
| 掘返し痕跡指標 | 【4-1704】により密度の指標性を確認 | 簡易化を開発する指標 |
| くくりわな CPUE | 【4-1704】により密度の指標性を確認 | 密度推定・捕獲効果の分析に使用 |
| 自動撮影カメラによる REST モデル（局所密度の推定方法） | 局所密度データ 【4-1704】によりイノシシへの適応性を確認 | 指標性の検証用データとして収集，密度推定に使用 |

3.1 掘返し痕跡を用いた簡易モニタリング手法の開発

3.1.1 掘返し痕跡調査の簡易化と密度指標性の検証

兵庫県立大学が中心となって取り組んだ前回推進費により、密度指標として「掘返し密度」が生息密度と正の相関があることが明らかになっている。この手法では、約5kmの調査ルートに左右1mの範囲の掘返しを全てカウントするため、個別の掘返しの判別の困難さと、調査労力がかかるという課題があった。そこでより簡便な手法として、1×1mマスでの掘返しの「ある・なし（1・0）」で評価する手法を開発した（図-1.1a）。掘返しは、長径50cm高低差5cm以上のものを大として、それより規模の小さいものを小として、2種類のサイズに分けて記録した。100mごとに1回10m区画（20個の1×1mマス）で掘返しの有無を記録し、残りの90mでは1×1mのマスは設置せず、掘返しが1つでもあれば、「ある（1）」として記録した（図-1.1b）。

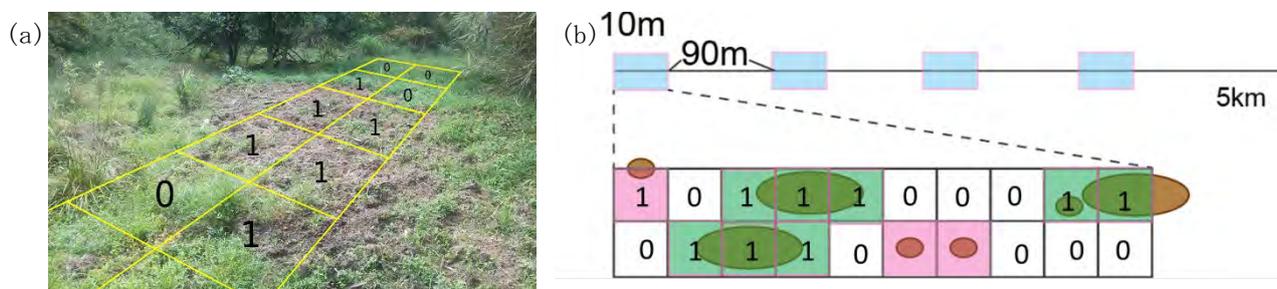


図-1.1 (a) 調査区画内に痕跡が「ある・なし（1・0）」で記録、(b) 調査ルートの模式図。100mごとに10mと90mの調査区画に分け、掘返しの大と小を区別して記録

この簡易痕跡調査で得られた掘返し痕跡密度の密度指標性を検証するため、同時期に実施したREST

モデル¹⁾により推定したイノシシ生息密度との比較を行った。簡易痕跡調査による掘返し痕跡密度を目的変数、生息密度を説明変数とし、ランダム効果には約5km四方メッシュ、調査者を指定し一般化線形混合モデル（二項分布・clog-logリンク）による解析を行った。

3.1.2 掘返し痕跡に与える季節、環境の影響

掘返しはイノシシの探餌行動であるため、簡易痕跡調査から得られる痕跡密度は、季節や環境の影響を受けると考えられる。2018年～2019年にかけて1年間実施した簡易痕跡調査のデータから季節による痕跡密度の変化を検証した。また2020年秋に実施した簡易痕跡調査及びカメラ調査のデータから環境による影響を検証した。季節と痕跡密度の関係は、兵庫県内淡路島の4つの5kmメッシュにおいて2018年8月から2019年7月までの1年間実施した簡易痕跡データ（前回推進費で取得したデータ）を活用し分析した。簡易痕跡調査は、各メッシュに約3～5kmの調査ルートを設置し、計7回実施したものである。得られた痕跡データは各メッシュで季節ごとに整理した。環境要因が痕跡密度に与える影響を調べるため、痕跡密度（10×2mを1区画とした場合の全掘返し及び掘返し大）を目的変数、痕跡調査区画の環境要因を説明変数とし、ランダム効果にはメッシュ、調査者を指定し一般化線形混合モデル（二項分布・logitリンク）で解析を行った。解析に用いた環境要因は、標高、傾斜、TWI（土壌湿潤度）、調査区画開始点から半径50mの植生割合（常緑樹林、落葉広葉樹林、植林、竹林）、林縁部からの距離、イノシシ生息密度（RESTモデルによる推定の中央値）とした。AICに基づきベストモデルを選択した。

3.1.3 掘返し痕跡の生成から消失までの追跡調査

ニホンジカ糞塊密度調査では、糞の分解率や排糞率が一定であるという仮定を置くことで、糞塊を密度指標として用いることが可能である。一方、イノシシの掘返し痕跡の消失過程や、生成から消失までの期間などは不明な点が多い。掘返し痕跡をイノシシの密度指標として用いるためには、生成及び消失についての理解は不可欠である。掘返し痕跡の消失過程を知ることで、痕跡密度の観測に影響を与える可能性のある要因を把握し、痕跡調査のタイミングや調査間隔の設定など、適切な調査デザインの立案が可能になる。そこでイノシシによる掘返し痕跡を定期的に観察し、消失が進行する過程や、生成から消失までの時間スケールを明らかにすることを目的として調査を行った。

2022年5月30日から12月9日までの期間に、兵庫県小野市の栄町と山田町の森林内で調査を行った。谷沿いや斜面、平地を含むように調査ルートを設定し（栄町：約150m、山田町：約400m）、週1回踏査した。目視可能な範囲で新しい痕跡を発見した場合は、その位置を目印テープでマーキングし、位置を記録した。掘り返しはその長径と深さを計測し、サイズに応じて掘返し大と小に分類した。痕跡の変化を観察し、消失に至るまで毎週定位置から写真で記録した。消失の判断は、落葉の堆積や風雨による地表の侵食により、周囲の地表面との境界が不明瞭になり、調査員が掘返し痕跡と明確に認識できない程度に風化が進んだ場合とした。観察途中の痕跡が再び掘返され改変した場合は追跡調査から除外した。また、2022年9月19日に台風の接近により、調査地全域で落葉や落枝が増加し地表の大幅な攪乱が生じたため、その直後の観察（2022年9月22日）で影響を受けているとみられた痕跡については、通常の消失イベントとは別に扱った。

3.1.4 簡易モニタリング手法のマニュアル化

開発したイノシシ簡易痕跡調査を他地域で実施し、広域のイノシシ生息状況を把握するため、調査方法を解説したマニュアルを作成し公開した。

3.2 密度調査の実装とマニュアルへの反映

開発したイノシシ簡易痕跡調査を他地域で実施しながら調査手法をより洗練させた。なお、調査期間中、新型コロナウイルス感染症の拡大とCSFの拡大の影響を受け調査が制限されたため、実装地を変更した。当初、福島県、岐阜県、愛媛県を想定していたが、兵庫県島嶼部（試験地とは異なる環境）、岐阜県、愛媛県、環境省事業（ニホンジカ糞塊密度調査：岐阜県）とした。

3.2.1 密度が異なる閉鎖個体群（島嶼）を対象とした簡易痕跡調査の精度検証

3.1で開発した簡便な痕跡調査の他地域での実装試験を行った。また、3.1の簡易痕跡調査では痕跡の有無のみを取得したが、より調査者ごとの判別誤差を小さくする目的で痕跡の大きさと新鮮さを3区分に分け開発を行った。つまり、A) イノシシの掘返し痕跡、B) Aの内、長径50cm、深さ5cm以上のもの、C) Bの内、掘返し内に落葉などが見られない新しいもの、である。痕跡密度と生息密度の関係を明らかにするため、兵庫県姫路市の家島諸島の4つの有人島（西島・坊勢島・家島・男鹿島）と6つの無人島（院下島・松島・加島・太島・クラ掛島・上島）と南あわじ市の沼島の計11島で調査を実施した。これらの島嶼部には2010年以降にイノシシが海を泳いで分散定着したとされており、侵入年代や島嶼の面積・本土からの距離が異なるため、イノシシの生息密度が異なると期待される。掘返し痕跡は、尾根上に設定した約1-3kmルートの左右1m四方の範囲で有無を記録した。10m（20区画）を1つのユニットとし、それぞれのユニットで痕跡密度を算出した。算出した痕跡密度が有効な密度指標であるかを、RESTモデルで推定したイノシシ生息密度と比較した。生息密度推定のためのカメラは掘返し調査ラインに左右10mのバッファゾーンを発生させ、有人島では15地点をランダムに、無人島では島内を均一に3台（松島のみ5台）設置した。

3.2.2 岐阜県におけるイノシシの空間密度分布推定

CSFの発生地であり、サブテーマ2、3の研究対象地域でもある岐阜県において、3.1と3.3で開発した痕跡調査・RESTモデルによる広域密度推定を実装し、年変動の把握や指標の検証に活用した。2020年6月から7月にかけて、10個の5kmメッシュ（うち5メッシュは岐阜県が委託事業で実施）に各20台のカメラを設置し、RESTモデルを用いた密度推定を行った。また、同時に60メッシュにおいて痕跡調査を実施し（実施主体は岐阜県）、イノシシの相対的な密度を把握することで、空間的な外挿による県全域の密度分布を推定した。

3.2.3 愛媛県島嶼部におけるイノシシ生息密度の実態と捕獲の効果

サブテーマ4の研究対象地域の愛媛県松山市の島嶼においても2000年頃からイノシシの目撃が相次ぎ、2010年頃には各島で農作物等への被害が拡大した²⁾。そこで、イノシシが新規に移入した島嶼地域における生息密度の現状と、捕獲に伴う密度変化を検証することを目的として、サブテーマ1と4で連携し、RESTモデルによる推定生息密度調査を実施した。調査地は愛媛県松山市の中島と二神島で、面積はそれぞれ約21km²および約2km²である。2020年6月から11月にかけて、中島では33地点、二神島では19地点にカメラを設置した。また、中島においては2022年にも同様の調査を実施し、2020年の推定生息密度との比較を行った。さらに、簡易痕跡調査を4km行い、ニホンジカが生息していない地域における実装とした。なお、本報告では安定してデータを得ることのできた8月のデータをもとに検討を実施した。

3.2.4 ニホンジカ糞塊密度調査と同時調査への実装（環境省事業）

簡易痕跡調査のマニュアル初版ができた2022年に、環境省が実施したニホンジカ糞塊密度調査において、岐阜県で行われた5メッシュで糞塊密度調査と簡易痕跡調査の同時実装を試みた。環境省の事業仕様書にマニュアルに基づいた調査手法を盛り込み、民間事業者が調査を実施した。実施後、民間事業者から聞き取りを行い、その内容をマニュアルに反映させた。

3.3 イノシシの広域的な密度推定と捕獲効率の評価

3.3.1 RESTモデルと簡易痕跡調査に基づく広域密度推定

RESTモデルによるイノシシの密度推定は、生息状況把握のための有効な手段であるが、広域での生息密度を把握するには、多地点での調査が必要となり、毎年の実施には大きなコストがかかる。RESTモデルによる密度推定と3.1で開発した簡易痕跡調査に基づく密度指標の広域的な収集を組み合わせることで、コストを抑えつつ広域での生息密度を推定するための手法の開発および精度の検証を行った。まず、2020年度・2021年度に兵庫県内の30（2021年度は32）調査地において、1調査地あたり約15台のカ

メラを設置し、得られた動画情報から5kmメッシュ解像度での空間的な密度推定を行った。推定では、メッシュの隣接関係に基づく空間自己相関を考慮した条件付き自己回帰モデルにより、生息密度分布を記述した。カメラでの撮影頻度の期待値は、生息密度、動画から得られるカメラ前での滞在時間の期待値（打ち切りのある指数分布で近似）、活動時間割合、カメラの稼働日数に従うとするRESTモデルによる推定を行った。パラメータの推定はJAGS4.3.0により行った。次に2020年度の推定を対象に、調査努力量が推定精度に与える影響を評価するため、調査地あたりのカメラ台数（10または5台/調査地）または調査地点数（20または10調査地）を減らした場合の推定精度を検証した。最後に、密度指標を組み合わせた推定の有効性を評価するため、カメラの調査努力量を減らした場合における、密度指標（簡易痕跡調査で得られた掘返し痕跡密度）を加味した場合の推定精度を検証した。生息密度と掘返し痕跡密度の間には、密度が高くなると飽和する形の、 $P(\text{掘返しあり区画率}) = 1 - (1 - \text{ilogit}(\text{観測係数} + \text{メッシュ観測誤差}))^{\text{メッシュ生息密度}}$ の関係性を想定し、二項分布に基づく掘返しの観測モデルを前述の空間密度推定モデルに組み込んだ。推定精度は15台・30地点での推定密度に対する誤差で評価し、各条件での推定結果における決定係数 R^2 および平均絶対誤差MAEを算出した。

3.3.2 捕獲効率の密度指標としての有効性評価

イノシシの捕獲情報から得られる指標である、努力量あたりの目撃効率（SPUE＝目撃数/出猟人日数）、努力量あたりのわな捕獲効率（CPUE＝捕獲数/100わな台日数）について、RESTモデルによる推定密度との関係性を分析した。くくりわなCPUEについては前回推進費での分析で密度指標性が見られたが、単年度かつ少数調査地での関係性しか分析されていなかったため、地点数・年数を増やした形での再解析を行った。SPUE・CPUE（くくりわなおよび箱わな）については2020年度および2021年度の兵庫県の狩猟データをもとに5kmメッシュ単位で算出した。イノシシの推定密度については、兵庫県で2020年度（30調査地）・2021年度（32調査地）にて実施したカメラ調査に基づき、RESTモデルによる推定結果の中央値を用いた。推定密度が得られたメッシュのうち十分な努力量のSPUE・CPUEが算出できたメッシュ（2年間で約43メッシュ）を対象とし、目的変数を「目撃数または捕獲数」、説明変数を「対数変換した推定生息密度」、「地域（本州部または淡路島）」、「調査年」、オフセット項として対数変換した調査努力量を加えた、一般化線形モデル（負の二項分布・対数リンク）による解析を行った。各指標について予測力の高い変数の組み合わせを、AICcを基準としたモデル選択により抽出した。RESTモデルによる生息密度の推定はJAGS4.3.0により行い、一般化線形モデルによる推定およびモデル選択はRのパッケージであるMASS及びMuMInにより行った。

3.3.3 カメラを用いた調査・データ分析のマニュアル化

自治体が毎年のモニタリング事業として実施する場合、カメラ調査およびその後のデータの分析には、複数の事業者が関わるために、データの規格化を行う必要がある。2020年度に複数事業で実施したカメラ調査の結果から、既存のデータ収集・分析体制における問題点を整理し、現地調査、動画分析、データの処理加工の作業フローの整理を行い、調査・分析マニュアルを作成した。2021年度、2022年度の県、市の事業においてマニュアルの試験運用と改良を行い、調査記録のフォーマット、動画分析のためのテンプレートとともにマニュアルを公開した。

3.4 生息密度情報を活用したイノシシの個体数変動とCSF拡散状況の分析事例

3.4.1 野生イノシシの密度とCSF拡散速度の関係性

本推進費の実施期間中の2021年3月に兵庫県内で野生イノシシのCSF感染が確認された。イノシシの生息密度（前回推進費で生息密度の指標性がみられたくくりわなCPUEで評価）の異なる地域間でCSFの感染拡大速度を比較した。

兵庫県の本州部と淡路島での陽性個体の広がり度合いを比較した(図-1.2)。対象とした本州部(丹波市、丹波篠山市、猪名川町、川西市、宝塚市、神戸市北区)の2020年度出猟カレンダーによる市区町単位で集約したくりわなCPUEの平均値は0.23(最小-最大、0.10-0.44)であるが、淡路島(淡路市、洲本市、南あわじ市の平均値は0.65(0.33-1.0)と約2.8倍高く、生息密度が高いと想定される。使用した野生イノシシにおけるCSF陽性個体のデータは、本州部で初めて確認された2021年3月14日から2022年1月13日、淡路島で初めて確認された2021年7月28日から島の南端に達した2022年1月13日までである。本州部と淡路島でそれぞれ初めて確認された場所を起点として、各陽性個体確認地点までの距離をQGIS(ver. 3.22.8)により算出し、それぞれの初確認日からの日数との関係性を比較した。この時、すでに陽性個体が発見された距離の地域では、あとからも陽性個体を確認されるため、すべての陽性個体を含めて初確認地点からの距離と日数を回帰した場合、感染拡大速度を過小に推定する可能性が考えられた。そのため、分位点回帰法を用いて、同じ日数中の上位10%のみを使用した回帰を行い、感染拡大速度の推定を行った(Rパッケージquantreg)。

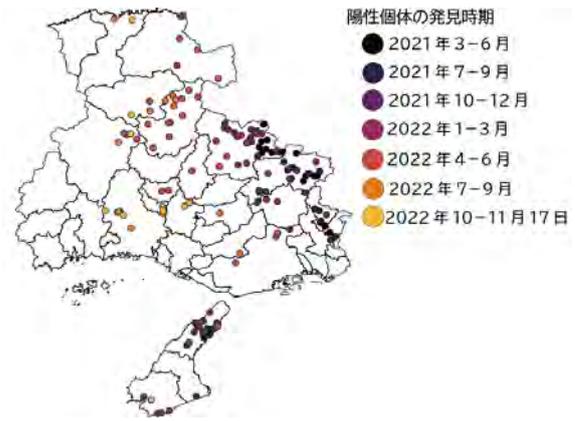


図-1.2 兵庫県での約3か月ごとの野生イノシシにおけるCSF陽性個体の確認場所

3.4.2 CSFの沈静化とイノシシ生息密度の変化

岐阜県では2018年9月にCSFが発生し、県内全域に感染が拡大したことで、イノシシの生息密度が大きく低下したと考えられている³⁾。一方で2020年7月以降、岐阜県では野生イノシシにおけるCSFの陽性率は数%程度と低い値で推移している。そこで、このようなCSF沈静化による死亡率低下が、繁殖力の高いイノシシの生息密度に及ぼす影響を調査した。調査地は3.4において2020年7月にRESTモデルによる密度推定を実施した10メッシュのうち、空間配置とイノシシの撮影状況を考慮して、5メッシュを選定した。2022年7月に、これら5メッシュにそれぞれ20台のカメラを設置し、RESTモデルによる密度推定を実施、2020年の推定生息密度との比較を行った。

4. 結果及び考察

4.1 掘返し痕跡を用いた簡易モニタリング手法の開発

4.1.1 掘返し痕跡調査の簡易化と密度指標性の検証

簡易痕跡調査で得られたデータは、10×2mを1×1m区画の20マスとした場合、10×2mを一つの区画とした場合、100×2mを一つの区画とした場合の3通りで集計し、それぞれにおいて掘返しの大小を含む全掘返しと、掘返し大のみの2通りで集計した(合計6通り)。いずれの集計方法においても、掘返し痕跡密度とイノシシ生息密度との間には正の関係がみられた(図-1.3)。このことから簡易痕跡調査で得られる掘返し痕跡密度が密度指標として有

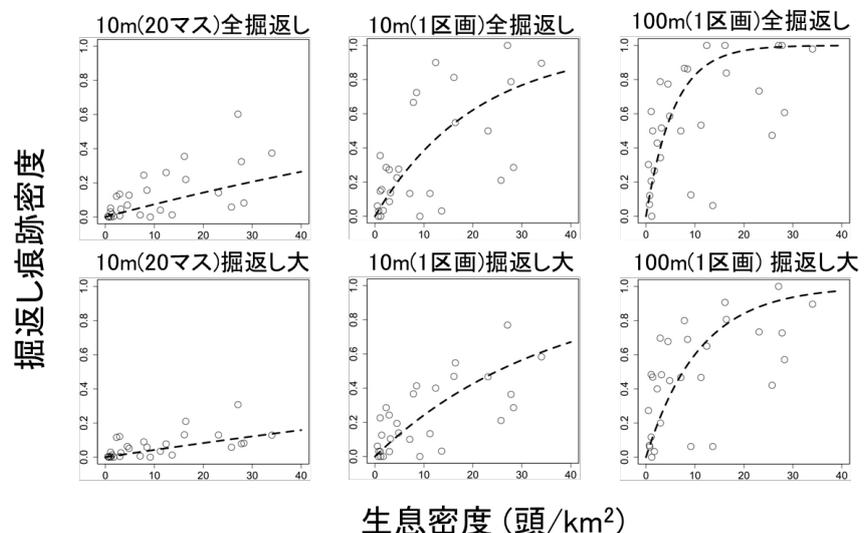


図-1.3 掘返し痕跡密度と生息密度の関係

効であることが示唆された。ただし、100mを1区画とした全掘返しでは高密度地域で指標が飽和するおそれがあり、一方10mで集計した場合（20マスとした場合と1区画とした場合）の掘返し大は飽和しにくい。低密度地域での感度は低いという結果であった。このような指標の特徴を把握した上で、地域の状況に応じて用いる集計方法を決める必要がある。

痕跡の全てを数え上げる従来の方法では、イノシシ高密度地域の調査を1名で遂行することは労力が大きく、また他の調査と併用することが困難であったが、本結果により、高密度地域でも1名の調査員により遂行可能で、シカの糞塊密度調査と並行して実施が可能であることが確認された。異なる環境及び調査体制の場合については、4.2で検討し、マニュアルに反映させた。

4.1.2 掘返し痕跡に与える季節、環境の影響

季節ごとに掘返し痕跡密度をまとめた結果、春から冬に向かって痕跡が増えるメッシュ、夏と秋で高いメッシュ、年間通じて変化の少ないメッシュがあり、全てのメッシュで共通する傾向はみられなかった（図-1.4）。4メッシュ全体では、春が少なく冬が高い傾向がみられ、季節により痕跡の密度が異なることが示唆された。季節により餌資源が変化し掘返し行動が変化することや、生息地利用の季節変化などが要因として考えられる。掘返し痕跡密度の経年変化や、異なる地域との比較を行う場合は、調査時期を統一するなどの工夫が必要である。

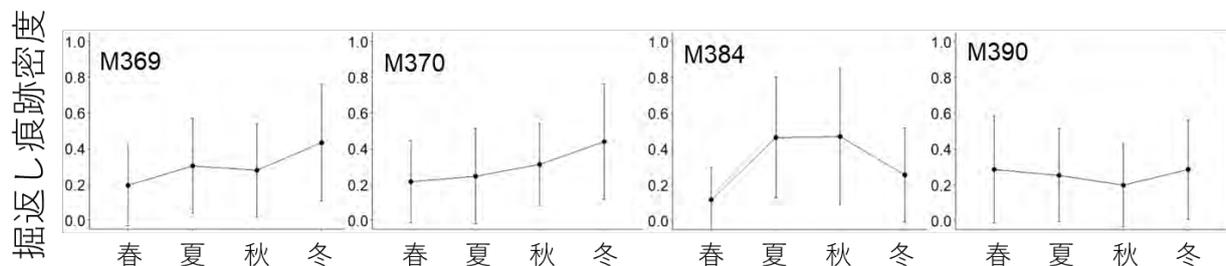


図-1.4 季節ごとの痕跡密度の平均と標準偏差。図内の番号はメッシュ番号を表す。

環境の影響を調べた結果、全掘返しでは、低標高で、林縁部から遠く、落葉広葉樹林の面積割合が高いところで多い傾向が示唆された。掘返し大は、落葉広葉樹林の面積割合でのみ正の関係が見られた（表-1.2）。特定の環境要因が強く痕跡に影響を与えている関係は見られなかったが、落ち葉が堆積した場所では、掘返し跡が分かりやすい、もしくは残りやすいと考えられる。簡易痕跡調査では、地域の環境を反映できるよう距離を確保し、特定の環境が優占する狭い場所での調査は避けるような調査ルート設定が必要である。ニホンジカの糞塊密度調査はおおむね5kmの調査ルートが設定されており、イノシシの簡易痕跡調査においても同程度の距離の設定が妥当と言える。

表-1.2 9つの環境要因を説明変数、簡易痕跡調査による掘返し痕跡密度を目的変数とした一般化線形混合モデルの解析結果（* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$ ）

| | | 説明変数 | | | | | | | | | |
|---------|---------|------|----|-----|-----|-------|----|----|----------|-------------|-----|
| | | 標高 | 傾斜 | TWI | 常緑樹 | 落葉広葉樹 | 植林 | 竹林 | 林縁部までの距離 | 生息密度 (REST) | |
| 掘返し痕跡密度 | 10m全掘返し | — * | | | | + | * | | | + | *** |
| | 10m掘返し大 | — . | | | | + | * | | | + | *** |

4.1.3 掘返し痕跡の生成から消失までの追跡調査

掘返し痕跡の生成から消失までの過程を観察したところ、掘返した部分に徐々に落ち葉や枝などが堆積したり、掘返しで盛り上がった部分が徐々に崩れることによって、周囲の地表面との境界が不明瞭になり、痕跡が消失することが分かった（図-1.5）。



図-1.5 掘返し痕跡の生成から消失までの変化の様子。掘返し大（長径54 cm・深さ10 cm）が約2週間で消失した例

調査期間中に生成から消失まで追跡できた痕跡は、合計29個であった（掘返し小=17個、掘返し大=12個）。消失までの時間は、掘返し小で平均2.9週間（最小1週間、最大6週間）、掘返し大で平均3.9週間（最小1週間、最大8週間）であった。大小を区別しない全掘返し痕跡の平均サイズは、長径47cm・深さ12cmで、消失までの時間は平均3.3週間であった。この結果から、季節を超えて痕跡が残り続けることは考えにくいと、季節ごとに痕跡のデータをまとめて経時変化を調べる調査デザインは有効である。また痕跡の追跡調査では、台風による負の影響がみられた。9月19日に大型の台風14号が兵庫県に接近したが、この台風の暴風雨より、9月15日に確認した新しい痕跡11個（掘返し小=5個、掘返し大=6個）のうち、掘返し大の1個を除く10個が9月22日には消失した。調査のタイミングに関しては、台風などの強風を伴う気象現象があった場合、地域一帯の痕跡が消失する可能性が示唆され、注意が必要である。大きい掘返しであっても1週間で消失しており、台風直後の痕跡調査はイノシシの生息状況を過小評価するリスクがある。1週間から3週間ほど時間を空けて調査を実施することが必要である。

4.1.4 簡易モニタリング手法のマニュアル化

③ 発射の90mでは、90mと左右1mの90m×2mの範囲で、痕跡の有無を調査する。そして10mの結果と合わせて、100m区画での痕跡の有無として、記録票の「100m区画(範囲)痕跡有無」の当該箇所にチェックを入れる。
例えば発射の10mの20箇所のマウス内で大きい掘返し痕跡が見つかった場合、その10mを含む100m区画では「掘返し」と「掘返し(大)」の二つにチェックが入る。



イノシシ掘返し調査票

シカ糞塊・イノシシ掘返し調査票

イノシシ掘返し調査票

シカ糞塊調査と同時記録様式

イノシシの糞塊やスタンプ、掘り跡を発見、個体を目撃した場合はチェックを入れるが、これらは左右1mの範囲内ではなく、目撃可能な範囲とする。「シカ糞塊・イノシシ掘返し調査票」にはこれらのチェック箇所がないため、備考に記録する。
また兵庫県でのシカの糞塊調査は200m区画で行われるため、イノシシの掘返し痕跡調査を同時に実施する場合は、シカ糞塊調査の開始地点と中間である100m地点の2か所を掘返し痕跡調査の開始地点とする。

調査マニュアル

イノシシ掘返し調査票

| 調査日 | 調査員 | 調査区画 | 調査時間 | 調査結果 | 備考 |
|-----|-----|------|------|------|-----|
| 1 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 2 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 3 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 4 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 5 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 6 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 7 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 8 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 9 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 10 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 11 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 12 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 13 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 14 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 15 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 16 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 17 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 18 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 19 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 20 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 21 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 22 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 23 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 24 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 25 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 26 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 27 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 28 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 29 | ... | ... | ... | ... | ... |

イノシシ掘返し調査記録様式

シカ糞塊・イノシシ掘返し調査票 (B)

| 調査日 | 調査員 | 調査区画 | 調査時間 | 調査結果 | 備考 |
|-----|-----|------|------|------|-----|
| 1 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 2 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 3 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 4 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 5 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 6 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 7 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 8 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 9 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 10 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 11 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 12 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 13 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 14 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 15 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 16 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 17 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 18 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 19 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 20 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 21 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 22 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 23 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 24 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 25 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 26 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 27 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 28 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 29 | ... | ... | ... | ... | ... |

シカ糞塊調査と同時記録様式

| 調査日 | 調査員 | 調査区画 | 調査時間 | 調査結果 | 備考 |
|-----|-----|------|------|------|-----|
| 1 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 2 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 3 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 4 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 5 | ... | ... | ... | ... | ... |

データ入力のためのExcelフォーマット

図-1.6 イノシシ掘返し痕跡調査のためのマニュアル

調査未経験者であっても掘返し痕跡調査が遂行できるよう、調査方法だけでなく、調査時の注意

点、調査記録用の様式、様式への記入例、データ解析事例などを含めたマニュアルを作成した。4.2以降に実施した実装調査により改定を繰り返し、最終版を掘返し痕跡調査用マニュアル（図-1.6）はWEBサイトにて公開した（URL：<https://sites.google.com/view/hyogowildlife/suishin4g2001>）。

4.2 密度調査の実装とマニュアルへの反映

4.2.1 密度が異なる閉鎖個体群（島嶼）を対象とした簡易痕跡調査の精度検証

4.1で開発した簡易モニタリング手法を生息密度の異なる島嶼部で実装した結果、全堀返し（A）、堀返し大（B）、堀返し大のうち新しいもの（C）の密度はいずれも推定生息密度と正の関係が見られた（図-1.7）。生息密度と掘返し密度の関係はカテゴリごとに異なり、A・B痕跡では生息密度約40頭/km²以上で掘返し頻度が上昇するが、C痕跡はカウント数が少なく高密度でなければ検出されない可能性がある。したがって掘返しは大小のみのカテゴリで調査することとし、4.1.4のマニュアルに反映させた。

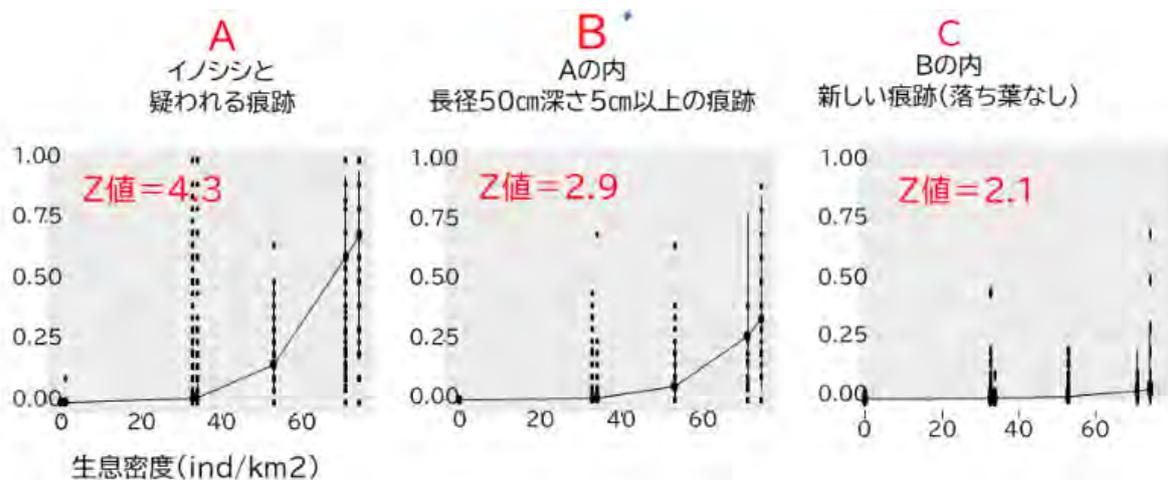


図-1.7 イノシシの掘返し痕跡密度と生息密度の関係

4.2.2 岐阜県におけるイノシシの空間密度分布推定

イノシシの撮影回数は調査メッシュごとに大きく異なっており、約1か月間の調査において1頭もイノシシが撮影されないメッシュもあった。推定生息密度の中央値は、最も高いメッシュで約8.7頭/km²となった。推定生息密度は県南部で比較的高く、県中央部では低い結果となり、岐阜県におけるイノシシの空間密度分布は地域的に偏っていることが明らかとなった（図-1.8）。岐阜県でこのような調査が実施されたのは初であり、過去の生息密度と直接比較することはできないが、岐阜県ではCSFの感染拡大によって、2017年から2019年にかけて岐阜県内のイノシシ生息密度が低下した可能性が示唆されている³⁾。また、岐阜県におけるイノシシ捕獲個体のCSF陽性率は2019年4月をピークに低下、2020年5月以降は1%以下と沈静化している。生息密度の経年変化については、4.4.2で分析した。

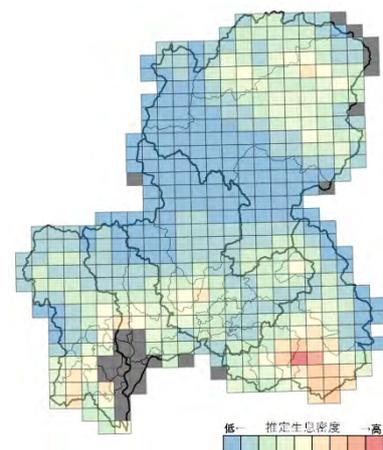


図-1.8 岐阜県におけるイノシシの推定生息密度の空間分布

4.2.3 島嶼におけるイノシシ生息密度の実態と捕獲の効果

中島と二神島におけるRESTモデルによる2020年のイノシシ推定生息密度の中央値（95%信用区間）は、それぞれ43.1（25.5-63.2）頭/km²、89.1（51.2-134.8）頭/km²となり、イノシシが高密度に生息している現状が明らかとなった。2020年の国勢調査によれば二神島の人口は85人（生息密度に変換すると約40人/km²）であり、人口よりも高い密度でイノシシが生息しているものと考えられる。中島におい

ては、2013年以降、島民が協力してイノシシの捕獲を継続しており、毎年500頭以上が捕獲されている（図-1.9）。約25頭/km²という高い捕獲圧をかけ続けているにもかかわらず、2022年の推定生息密度の中央値は51.4（28.5-81.3）頭/km²であり、2020年と比較してほとんど変化はみられなかった（図-1.9）。イノシシの繁殖力は高く、中島の場合、推定生息密度に対して半分程度の密度の捕獲圧では、密度の低減に至らない可能性が示唆された。これは、イノシシ本来の繁殖力の高さに加え、松山市の島嶼にはイノシシ（特に幼獣）の潜在的捕食者となりえる、キツネやテンなどの食肉目や、イヌワシやクマタカなどの大型の猛禽類が存在しないことや、冬季も柑橘類などの餌資源が豊富であることによる死亡率の低下も一因となった可能性が考えられる。

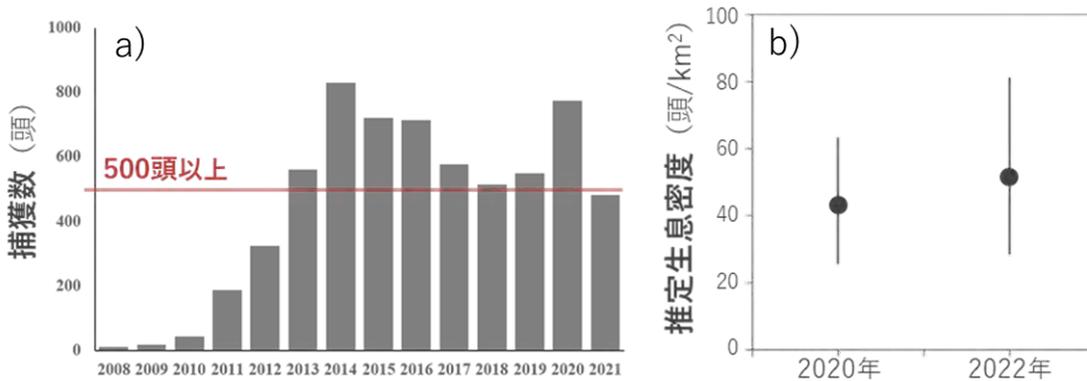


図-1.9 愛媛県中島におけるa)捕獲数の経年変化とb)RESTモデルによる推定生息密度（中央値および95%信用区間）

4.2.4 ニホンジカ糞塊密度調査との同時実施事業への実装（環境省事業）

簡易痕跡調査のマニュアル初版が完成した時点で、環境省と仕様書作成について協議を行い、事業者が決定したのち、2022年9月下旬に岐阜県において5メッシュ分について民間事業者が調査を実施した。調査者からのヒアリング結果は以下の通りである。

- ① 調査手法については、おおむね問題なし。
- ② 5kmの調査距離であれば問題ないが、6、7kmの調査ルートで、下山が例年より1時間ほど遅れた。前年と調査員が異なるため単純比較はできないが、長いルートの時の対応方法があると良い。
- ③ 6-7月に岐阜県から委託を受けたイノシシの痕跡調査の結果と非常に良い相関が得られたので、良い指標だと思った。
- ④ 高密度地域である鳥取県で実施したらどのような結果になるのか興味がある。
- ⑤ この手法にたどり着いた経緯など詳細に聞きたい。またマニュアルが公開されるのであれば、ありがたい。

以上の結果を受けて、②に対応するため、調査ルートを短くする、もしくは区画数が30を超える場合、50回程度に減らす方法などについて、検討しマニュアルに反映させた。

4.3 イノシシの広域的な密度推定と捕獲効率の評価

4.3.1 RESTモデルと痕跡密度に基づく広域密度推定

2020年度・2021年度のデータから兵庫県におけるイノシシの空間的な生息密度が推定された（図-1.10）。兵庫県は2020年の段階では、隣接地域（京都府）におけるCSFの発生が確認されており、今後CSFの侵入・拡大が懸念される状況下での地域ごとの対策の検討がなされていた。2020年度の生息密度の推定結果から、侵入が想定される京都府との府県境部では生息密度が低く、まずは経口ワクチンの散布による対応を進めることが有効であると考えられた。また、生息密度が中程度である県南部の六甲地域は、特に北側からの拡散を警戒すべき地域と考えられた。最も生息密度の高い地域は淡路島であり、CSFの発生地点である本州部からは隔離されているため、侵入リスクは小さいと評価された。2021年3月

に、京都府との府県境部において野生イノシシにおけるCSFの発生が確認され、その後2021年7月には淡路島でもCSFが確認された。2021年度の生息密度の推定結果からは、顕著な傾向ではないもののCSF侵入地域での生息密度低下が見られた。低密度地域に侵入した府県境部と、高密度地域に侵入した淡路島では、CSFの拡散やその後のイノシシ個体群に与える影響も異なることが予想され（4.4.1で分析）、特に高密度の淡路地域でのCSFの沈静化にむけては、低密度化のための対策の必要性が高いと考えられた。推定結果は県の特定計画にも還元されており、CSF侵入前（あるいは侵入初期）・侵入後の段階における地域ごとの対策を検討する上で、広域での生息密度推定の有効性が示された。今後、同様の推定を継続的に行った場合、CSFがイノシシ個体群に与える影響についても評価可能になると考えられる。

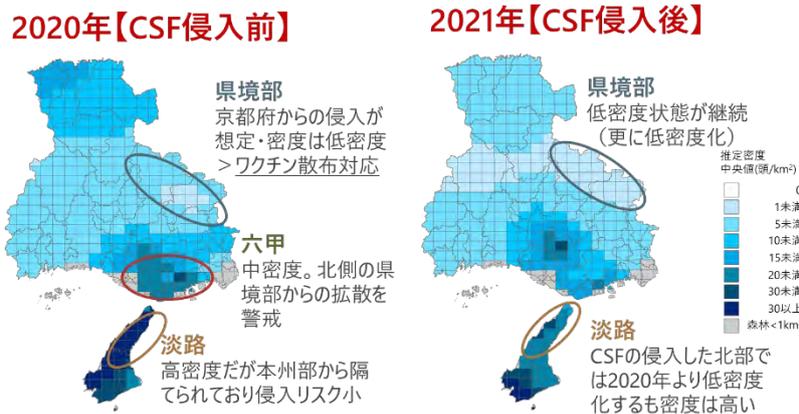


図-1.10 2020・2021年度の兵庫県におけるイノシシの推定生息密度の空間分布

2020年度調査において、カメラの調査努力量が推定精度に与える影響を評価した（図-1.11）。調査地点数を30地点から20地点にした場合、15%程度の誤差（ $R^2=0.844$, $MAE=2.474$ ）、10地点にした場合、25%程度の誤差（ $R^2=0.747$, $MAE=3.707$ ）が生じた。調査地点あたりのカメラ台数を15台から10台にした場合、5%程度の誤差（ $R^2=0.960$, $MAE=1.349$ ）、5台にした場合、15%程度の誤差（ $R^2=0.859$, $MAE=2.724$ ）が生じた。推定生息密度が高いほど掘返し密度も高くなる関係性が検出されたため、掘返し密度を相対的な生息密度の指標とした密度推定を行った。生息密度指標の組み合わせにより推定した場合、10地点にした場合でも17%程度の誤差（ $R^2=0.824$, $MAE=3.508$ ）、5台/地点にした場合でも7%程度の誤差（ $R^2=0.930$, $MAE=2.240$ ）に留まり、推定精度の向上が確認された。カメラを用いた推定は高コストであるが、省力化した調査設計としては、1地点あたりの設置台数を減らしつつ、補間的に簡易痕跡のような密度指標観測を組み合わせることが有効と考えられた。

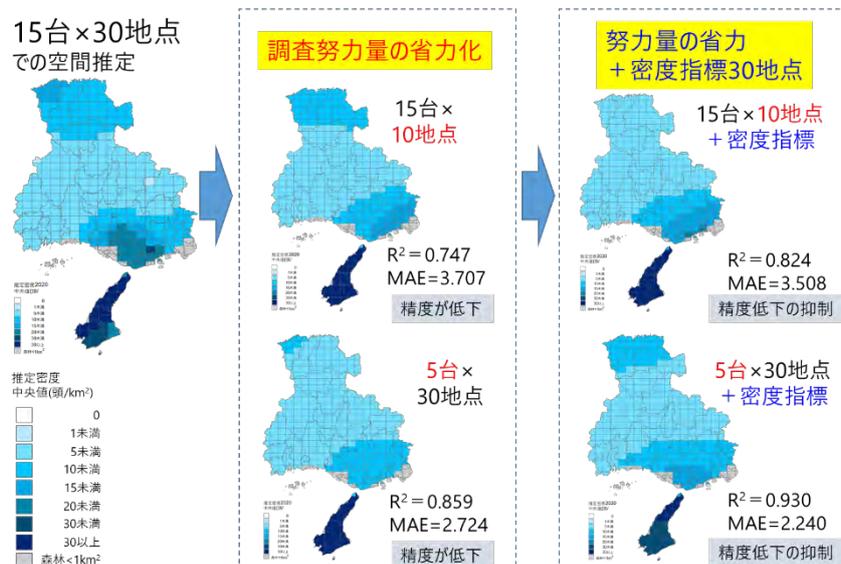


図-1.11 調査努力量の省力化および密度指標の考慮がイノシシ生息密度の推定精度に与える影響

4.3.2 捕獲効率の密度指標としての有効性評価

努力量あたりの目撃効率（SPUE）および努力量あたりの捕獲効率（箱わなCPUEおよびくくりわなCPUE）はいずれも推定生息密度が高い地点ほど指標値も高くなる関係性が見られた（図-1.12）。いずれの指標においても、生息密度との回帰曲線からのずれが大きい観測値が含まれていたが、SPUEおよび箱わなCPUEについては、推定生息密度に加えて地域差を考慮したほうが、わずかに予測力が高くなる結果となった。兵庫県ではくくりわなCPUEを指標とした個体数管理の目標設定を行っており、捕獲効率の高い（生息密度の高い）市町を捕獲重点化市町として設定している。他地域においても、捕獲情報をもとに努力量あたりの捕獲効率を集計・地図化することで、大まかな生息状況を把握し、捕獲やCSF対策の重点的対策地域の選定に活用可能と考えられる。ただしSPUEあるいは箱わなCPUEの分析で見られたように、捕獲効率と生息密度の関係性には地域差があることが想定されるため、それぞれの地域においてRESTモデルによる生息密度推定を実施するなど、指標の有効性を独自に検証する必要がある。

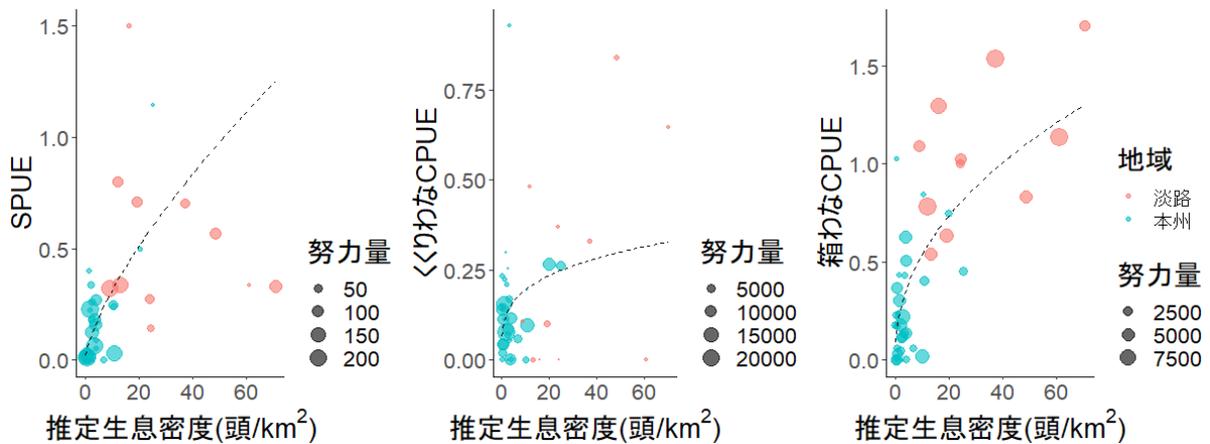


図-1.12 イノシシの推定生息密度と捕獲に基づく密度指標の関係性

4.3.3 カメラを用いた調査・データ分析のマニュアル化

RESTモデルによる推定を行うためのカメラ調査を実施するに当たり、現地調査・データ分析の各段階における課題の抽出・整理を、2020年度調査事業のデータをもとに行った。調査時の課題として、カメラの画角の設定の段階で調査者により誤差が生じており、事後の解析の精度に影響をもたらす可能性が見られた。解決策として、現在広く入手可能な機種のカメラに合わせて設置画角の設定方法を改良し、カメラの設置手順について動画マニュアルを整備するとともに、現地作業用の確認カードを作成した。また、カメラの時刻設定などの現地確認の不備を避けるために、各事業で統一の作業記録票を用いることとした。データ分析の段階では、動画ファイルの整理のための統一テンプレートを整備し、複数事業で得られたデータを統合して解析することが可能な様式とした。また、事業において非技術者が担当することも多い、動画データ分析の作業については、詳細な作業手順を整理したマニュアルを用意した。これらの様式を含む調査・分析マニュアル（図-1.13）はWEBサイトにて公開した（URL：<https://docs.google.com/document/d/1tIRVw028Xk31w84uQUHrR0ocd1GTHP63coKL05foCTU/>）。



図-1.13 カメラによるイノシシの生息状況把握のためのマニュアル

兵庫県本州部・淡路島以外の調査サイト（兵庫県島嶼部・岐阜県・愛媛県）での調査においても、サブテーマ間連携として、課題の共有やマニュアルの運用試験を実施した。2021年度・2022年度には、マニュアルに基づく調査を自治体事業（兵庫県「カメラによるシカ・イノシシ生息密度推定精度向上調査業務」、兵庫県南あわじ市「有害鳥獣生息密度調査業務」等）に実装した。マニュアルの整備と仕様化により、大学の研究補助員が実施した場合と同等の精度で、事業を受注した民間の事業者によるデータ収集が可能な体制が構築できた。得られたデータを規格化された形で整理することで、ソフトウェアによる入力エラーの一括チェックや、自治体への分析結果の還元までの流れを一元的に実施するフローが構築できた（図-1.14）。

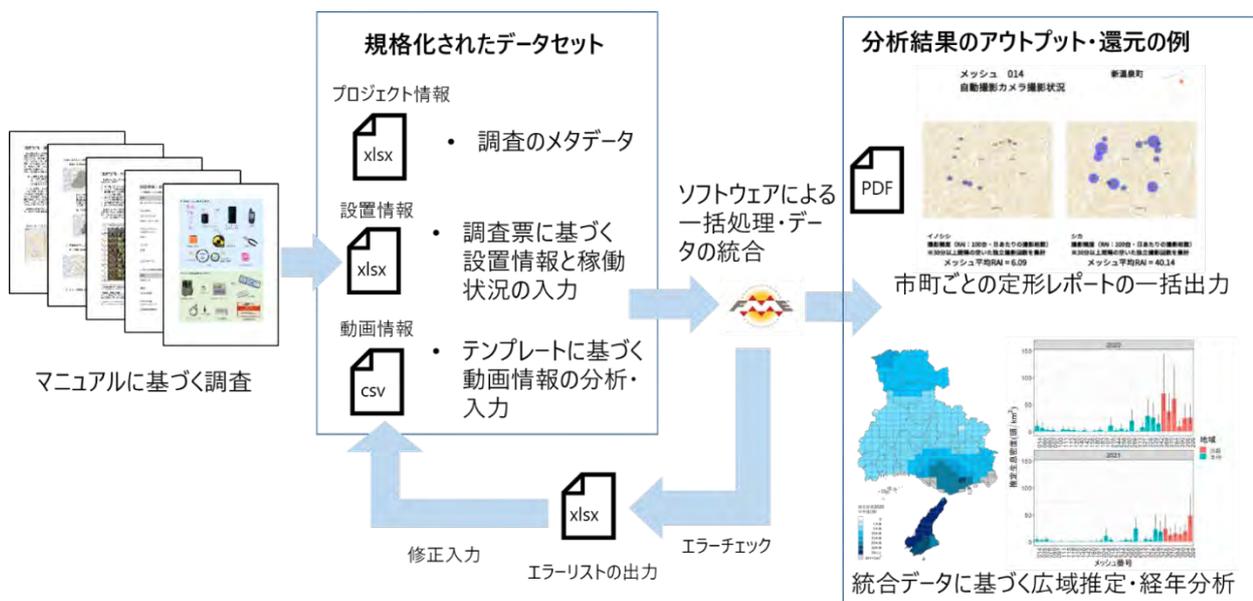


図-1.14 マニュアルに基づくデータ収集・整理・分析・還元のフロー

4.4 生息密度情報を活用したイノシシの個体数変動とCSF拡散拡散状況の分析事例

4.4.1 野生イノシシの密度とCSF拡散速度の関係性

兵庫県でのCSF感染拡大速度（初確認地点からの距離/初確認日からの日数）は、本州部では約0.05km/日（約1.5km/月）、淡路島は約0.2km/日（約6.6km/月）となった（図-1.15）。つまり生息密度の高い淡路島では、約4倍感染拡大の速度が速いことが明らかになった。岐阜県のデータでは方位毎に感染拡大速度が算出されているが（北10.9km、東10.9km、南4.8km、西5.0km/月）⁴⁾、兵庫県の本州部の速度は岐阜県のいずれの方位の速度よりも低く、淡路島では同程度の値であった。

この結果からイノシシの生息密度が高い地域ほどCSF感染が拡大しやすいことが示唆されたため、感染拡大に至るまでに生息密度の空間分布を把握すること、把握した生息密度に応じて捕獲などの対策を優先する地域を選別することが重要である。

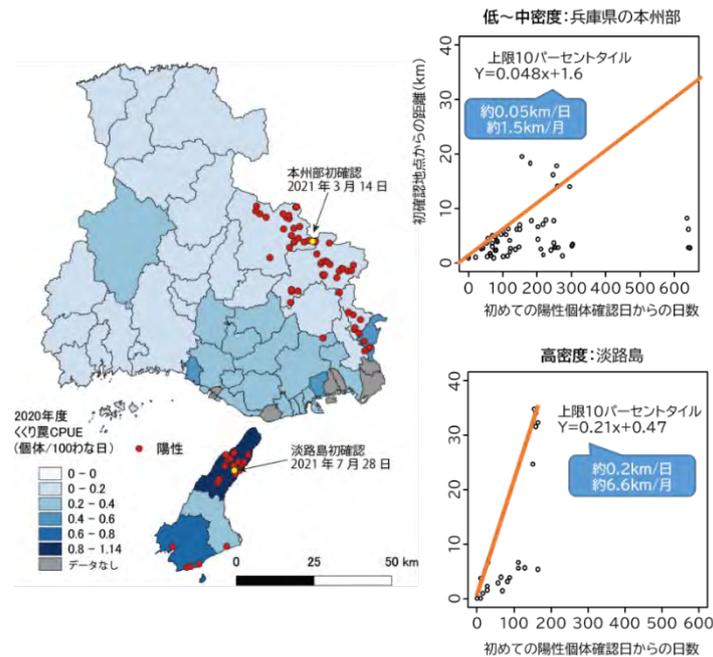


図-1.15 イノシシ生息密度の異なる地域におけるCSF感染拡大速度の比較

4.4.2 CSFの沈静化とイノシシ生息密度の変化

2020年7月と2022年7月に、延べ3,192および2,903日の有効稼働日数のカメラトラップ調査において、それぞれ92および232回のイノシシの独立した範囲内での滞在記録を得た。RESTモデルで推定されたイノシシ生息密度は、ほとんどイノシシが生息していないメッシュ③を除き、2020年より2022年が高い結果となった（図-1.16）。じゃれあう幼獣が頻繁に撮影範囲に入出入りを繰り返すなどしたため、メッシュ④の2022年の推定値は過大評価となっている可能性もあるが、成獣だけの推定においてもその推定値は2020年のおよそ2倍となっていることが明らかとなった。このような生息密度の回復は、CSF陽性率の低下に加え、捕獲圧の低下も一因となった可能性もある。いずれにせよ、イノシシの生息密度を低下させる（そしてそれを維持する）ことで感染症の拡散や農業被害を防止することは、現状の捕獲努力量では困難であると考えられる。

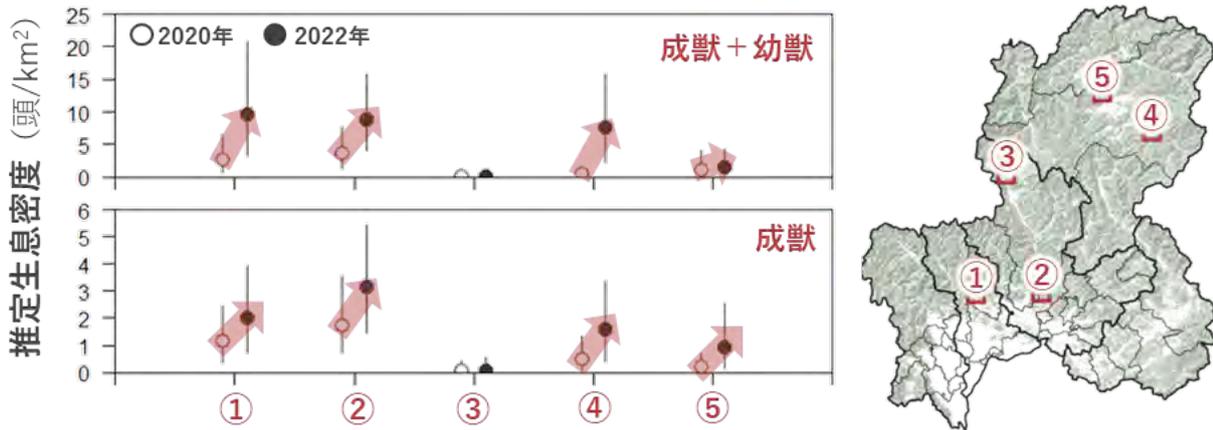


図-1.16 岐阜県におけるCSF沈静化後のイノシシ推定生息密度の変化

4.5. 総括

イノシシ管理において、これまで適切な手法を用いて、生息状況を求めることができなかったが、本研究により、自治体単位でイノシシの生息密度調査が可能となる。特にニホンジカが生息している地域では、環境省や自治体により糞塊密度調査が行われているため、新たなイノシシの密度調査を設定するのではなく、糞塊調査に少しの労力を付加することで、データが得られる手法となった。密度情報は、疾病発生時に高密度地域を速やかに抽出することに役立ち、侵入リスク評価が可能となる。高密度地域が抽出できれば、養豚場との関係やサブテーマ3で得られた経口ワクチン散布や柵の設置・捕獲場所の選定など平時に様々な検討が可能となる。また、密度と疾病のリスクを明らかにすることで、サブテーマ4で得られたような人間側の社会的な組織づくりの優先地も明確となる。疾病が侵入してきたからの調査では、あらゆる環境に適応し生息しているイノシシの疾病対策に間に合わないため、平時に調査をしっかりと実施し、疾病発生時の対応を協議しておくことが必要である。近年は、アフリカ豚熱

(ASF) 侵入の脅威が高まっており、イノシシをめぐる疾病対策は都道府県単位で必須となるため、平時と疾病発生時（緊急時）の管理目標、実施内容、対策優先地を生息密度情報に基づき明確にしておくことが重要である。

5. 研究目標の達成状況

目標を上回る成果をあげた。

目標として掲げた3点はいずれも達成した。すなわち、1) ニホンジカ調査と同時に実行可能なイノシシ個体数変動の簡易手法の開発に成功し、指標として十分な精度があることを他の手法（RESTモデル）により確認できた。2) 空間的な密度推定モデルの開発と捕獲効率を評価し、兵庫県の策定する特定計画にも反映させた。岐阜県においては捕獲目標算出の根拠となった。3) 特定鳥獣保護管理計画への反映を容易にするため、都道府県が実施可能な簡易モニタリングマニュアルを作成し、WEB公開し、すでに兵庫県南あわじ市、京都府福知山市で調査に活用された。また、生息密度データを活用してイノシシの個体数変動と捕獲の関係性、CSF拡散速度、CSF発生後から現在までのイノシシの個体数変動に関する分析など目標を超える内容の研究も実施することができた。

6. 引用文献

- 1) Nakashima, Y., Fukasawa, K. & Samejima, H.: (2018) Estimating animal density without individual recognition using information derivable exclusively from camera traps. *Journal of Applied Ecology*, 55: 735-744.
- 2) 武山絵美: (2016) 瀬戸内海における海を越えたイノシシの生息拡大プロセス-愛媛県松山市全有人

島を対象とした聞き取り調査に基づく考察. 農村計画学会誌, 35(1), 33-42.

- 3) Ikeda, T., Asano, M. & Suzuki, M. : (2021) The potential negative impacts of the classical swine fever virus on wild boar population in Gifu prefecture, Japan. *Journal of Veterinary Medical Science*, 83(5), 846-849.
- 4) Shimizu, Y., Hayama, Y., Murato, Y., Sawai, K., Yamaguchi, E. & Yamamoto, T: (2021) Epidemiological analysis of classical swine fever in wild boars in Japan. *BMC Veterinary Research*, 17, 188.

II-2 環境DNA技術を用いたCSFの簡易サーベイランスシステムの開発

国立研究開発法人国立環境研究所

生物多様性領域 生態リスク評価・対策研究室

大沼 学

<研究協力者> 国立研究開発法人国立環境研究所

浅倉 真吾 (令和2年度)

<研究協力者> 国立研究開発法人国立環境研究所

鍋島 圭 (令和3年～令和4年度)

[要旨]

環境試料、特に環境水を利用してCSFの蔓延状況を把握するために、環境水から効率的にCSFを検出する方法を開発した。また、どのような試料採取計画がCSFの蔓延状況を把握するために有効なのかを検討した。環境水中のCSFを効率的に検出するための、ウイルス濃縮方法について市販ワクチンを活用して比較、検討した結果、限外ろ過を使用する方法が最も効率的なウイルス濃縮方法であることが分かった。また、市販ワクチンを活用して、自動核酸抽出装置と核酸抽出用試薬（遠心機を使用）とで、ウイルスRNAを抽出する方法としてどちらが効率的か比較した。その結果、自動核酸抽出装置がより効率的にウイルスRNAを抽出可能であることが分かった。しかしながら、核酸抽出用試薬（遠心機を使用）を使用しても、検査結果に大きな影響を与えないウイルスRNA濃度を確保できることも同時に判明した。CSFのウイルス遺伝子を確認する方法としては、リアルタイムPCRの検出感度と次世代シーケンサーの検出感度を比較した。現場への実装を考慮すると、従来のリアルタイムPCRの手順を一部変更したnestedリアルタイムPCRによるCSFの検出が現実的な選択肢となる。この方法を導入する利点は、前処理として実施していた環境水の濾過と限外ろ過膜によるウイルス濃縮作業を作業工程から除外することが可能で、作業の効率化と検査コストを低減させることが可能となった。どのような試料採取計画がCSFの蔓延状況を把握するために有効なのかを検討したところ、調査プロットを設定（イノシシ個体群密度を推定し200頭が生息すると面積を計算し決定）し、その調査プロット内のヌタ場の水、河川水および糞便を最低100検体収集することで、捕獲個体における陽性率と同等の陽性率を示す可能性が高いことが示唆された。その他に、CSF陽性となった死亡個体周辺から採取した土壌、捕獲個体から採取された切断尾、腐敗が進んだ皮膚組織がCSFの検査用試料として活用できるのか評価したところ、すべての試料がCSFの検査用試料として活用できることを確認した。

1. 研究開発目的

本課題では、効率的にCSFの浸潤状況を把握するために、環境DNA技術を応用した豚熱ウイルスの検出方法を開発する。河川水などから、ウイルスのRNA濃縮を複数種試験し、効率的な検出方法を明らかにする。各地のイノシシ個体群密度や環境に応じたサンプリング方法を検討しCSFサーベイランスシステムを構築する。

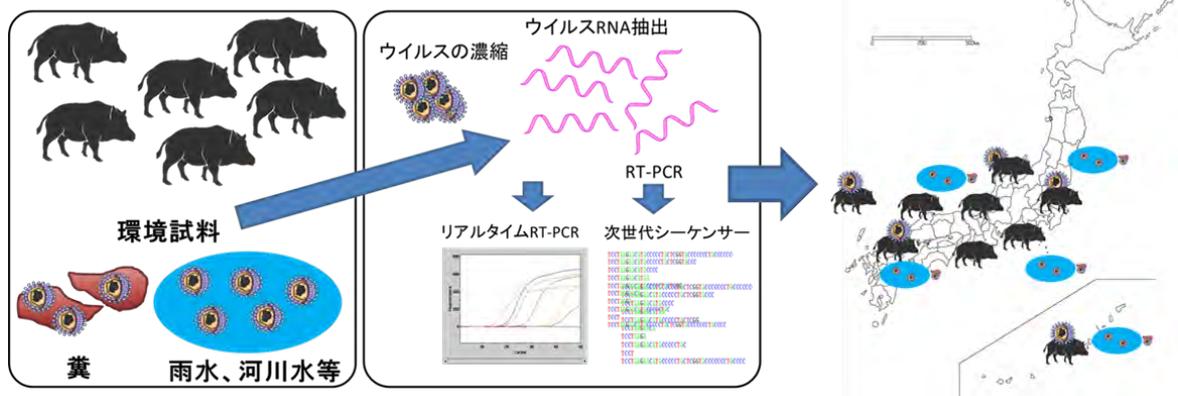


図-2.1 サブテーマ2の研究概要

2. 研究目標

- ・環境中から効率的にウイルスを検出するための手法を開発する。
- ・イノシシの密度に応じた環境試料採取計画法を開発する。
- ・環境試料を活用したCSFサーベイランスシステムを構築し、各自治体の家畜衛生部局に技術移転する。

3. 研究開発内容

3.1 環境水中における CSF ウイルス残存期間の検討

環境水中で CSF ウイルスがどの程度安定して残存するのか確認するため、市販されている生ワクチン株（商品名：スワイバック C（共立））を用いて検証した。

乾燥状態の生ワクチン株を添付されているワクチン溶解液 20ml で溶解した（ウイルス力価 $10^{4.3}$ TCID₅₀以上）。このワクチン溶解液を 2 分割し、10ml に環境水（国立環境研所内で採水）40ml を混合し、検証用ウイルス溶液（50ml）とし、また、ワクチン溶解液 10ml にリン酸緩衝生理食塩水 40ml を混合し、コントロール用ウイルス溶液（50ml）とした。検証用ウイルス溶液とコントロール用ウイルス溶液を実験室内に室温で 30 日間静置した。静置を開始してから、1 日後、2 日後、4 日後、7 日後、14 日後、30 日後にそれぞれのウイルス溶液から 250 μ l を採取した。採取したウイルス溶液から ISOGEN-LS（ニッポン・ジーン社）を用いて RNA を抽出し、IDEXX RealPCR CSFV（IDEXX 社）によるリアルタイム RT-PCR（使用機器：7500 Real-Time PCR System（applied biosystems））で CSF の検出を試みた。

3.2 環境水からの効率的な RNA 抽出方法の検討

環境水中に含まれる CSF ウイルスを検出するプロトコルを確立するため、環境水から効率的にウイルス RNA を抽出する方法を生ワクチン株（商品名：スワイバック C（共立））を用いて検討した。

添付されているワクチン溶解液 20ml で乾燥状態の生ワクチン株を溶解した。このワクチン溶解液 20ml に環境水（国立環境研所内で採水）80ml を混合した。これを 0.8 μ m および 0.45 μ m のフィルターで濾過し、検証用ウイルス溶液（約 100ml）を準備した。この検証用ウイルス溶液を対象に、①ISOGEN-LS による RNA 抽出、②自動核酸抽出装置による RNA 抽出、をそれぞれ 6 回試行し、抽出される RNA 濃度を比較した。

3.2.1 ISOGEN-LS による RNA 抽出

検証用ウイルス溶液 400 μ l に ISOGEN-LS を 1200 μ l、クロロホルムを 320 μ l 添加した。その後は、説明書にある手順に沿って抽出作業を行った。沈殿した RNA ペレットは 60 μ l の TE Buffer で溶解した。濃度の測定には Nanodrop（Thermo Scientific 社）を使用した。

3.2.2 自動核酸抽出装置による RNA 抽出

自動核酸抽出装置には EZ1 Advanced XL（QIAGEN 社）を使用した。本装置に EZ1 Virus Mini Kit v2.0（QIAGEN 社）を装着し、ウイルス溶液 400 μ l から RNA を抽出した。その際、最終溶出量は 60 μ l とした。濃度の測定には Nanodrop を使用した。

3.3 環境水からの効率的なウイルス濃縮方法の検討

環境水中に含まれる CSF ウイルスを検出するプロトコルを確立するため、環境水から効率的にウイルス粒子を濃縮する方法を生ワクチン株で検討した。

乾燥状態の生ワクチン株を添付されているワクチン溶解液 20ml で溶解した。このワクチン溶解液 20ml に環境水（国立環境研所内で採水）180ml を混合した。これを 0.8 μ m および 0.45 μ m のフィルターで濾過し、検証用ウイルス溶液（約 200ml）を準備した。この検証用ウイルス溶液を対象に、①ポリエチレングリコール（PEG）沈殿法、②限外濾過法、をそれぞれ 4 回試行し CSF ウイルスの濃縮効率を検討した。

3.3.1 PEG 沈殿法

検証用ウイルス溶液 15m l を 50m l のチューブに分注し、PEG が 8% (w/v) および塩化ナトリウムが 2.1% (w/v) になるよう添加した。PEG と塩化ナトリウムが溶解したことを確認し、このウイルス溶液を 4°C で一晩静置した。その後、12,000rpm、4°C、20 分で遠心し上清を除去した。その後、滅菌蒸留水 400μl をチューブに加えボルテックスした。その後、滅菌蒸留水 400μl 回収し、EZ1 Virus Mini Kit v2.0 を使用して RNA の抽出を行った。その際、最終溶出量は 60μl とした。抽出した RNA をテンプレートに IDEXX RealPCR CSFV (IDEXX 社) によるリアルタイム RT-PCR を行い、Ct 値を測定した (閾値は 0.01 と設定)。

3.3.2 限外ろ過法

アミコンウルトラ-15 遠心式フィルターユニット分画分子量 30K (メルクミリポア) に検証用ウイルス溶液 15m l を分注し、4,000g、4°C、10 分で遠心した。ユニット内に残った濃縮溶液から 400μl を回収し、EZ1 Virus Mini Kit v2.0 を使用して RNA の抽出を行った。その際、最終溶出量は 60μl とした。抽出した RNA をテンプレートに IDEXX RealPCR CSFV (IDEXX 社) によるリアルタイム RT-PCR を行い、増殖曲線が閾値を超過するサイクル数 (Threshold Cycle、以下 Ct 値) を測定した (閾値は 0.01 と設定)。

3.4 CSFウイルス検出方法の高感度化に関する検討

3.4.1 次世代シーケンサーによるCSFウイルスの検出

次世代シーケンサーによるCSFウイルスの検出感度を評価するため、以下の二つの手順で得られるデータ量 (シーケンスのリード数) を比較、検討した。検討用の試料としては、野生イノシシの血液から抽出したRNA溶液の中で、CSFウイルス陽性を示したものをリアルタイムPCRで陰性と判定されるまで希釈し使用した (最終希釈倍数は 10^6 倍)。次世代シーケンサーは、IonPGM (Thermo Fisher Scientific) で実施した。

手順1 : 希釈液を対象にPrimeScript™ High Fidelity RT-PCR Kit (タカラ) のランダムプライマーで逆転写反応を行い、すぐに次世代シーケンサーで解析する。

手順2 : 希釈液を対象にPrimeScript™ High Fidelity RT-PCR Kit (タカラ) のランダムプライマーで逆転写反応を行い、次いで、その反応液をテンプレートにCSFウイルス特異的PCRを行う。その反応液を次世代シーケンサーで解析する

3.4.2 nestedリアルタイム PCR法によるCSFウイルスの検出

CSFウイルスの検出方法としてすでに現場に導入されているOne-step RT-PCR (Vileek S, et al. (1994)) とリアルタイムPCR キット (IDEXX RealPCR CSFV) を組み合わせるnestedリアルタイムPCR で、CSFウイルスの検出感度が上昇するのか、以下の二つの手順の結果を比較した。検討用の試料としては、市販の生ワクチンから調整したRNA溶液を使用した。調整方法は以下のとおりである。ワクチン溶解液20mlで乾燥状態の生ワクチン株を溶解した。このワクチン溶解液20mlに環境水 (国立環境研所内で採水) 80ml を混合した。これを0.8μmおよび0.45μmのフィルターで濾過し、その濾過液から自動核酸抽出装置でRNAを抽出した (IDEXX RealPCR CSFVではCt値約30で陽性となる)。検出感度の上昇は、Ct 値を指標として評価した。

手順1 : One-step RT-PCR (Vileek S, et al. (1994)) →リアルタイムPCR キット (IDEXX RealPCR CSFV)

手順2 : One-step RT-PCR (Vileek S, et al. (1994)) →磁気ビーズ (AMPure XP (Beckman社)) によるPCR産物の濃縮→リアルタイムPCR キット (IDEXX RealPCR CSFV)

3.5 野外試料（CSF陽性イノシシ周辺で採取した環境水）を利用した条件検討

市販ワクチンを利用して確立したCSFウイルス検出方法が、実際の野外試料に応用可能か評価した。使用した環境水は、兵庫県内で発見された、野生イノシシの死亡個体（CSF陽性）周辺で採取した。同時に、現場への導入を念頭に、市販ワクチンを利用して確立した方法の一部に変更を加えた簡略方法についても、野外試料に適用可能か検討を行った。野外試料に対して検討したCSFウイルス検出方法は以下のとおりである。

3.5.1 市販ワクチンを用いて確立した検出方法

3.2～3.4の結果をもとに確立した検出方法。

3.5.2 前処理として実施していたウイルスの濃縮過程を除外した方法（簡略法1）

3.5.1の手順からウイルスの濃縮過程を除外した検出方法。

3.5.3 前処理として実施していたろ過とウイルスの濃縮過程を除外した方法（簡略法2）

3.5.1の手順からろ過とウイルスの濃縮過程を除外した検出方法。



図-2.2 CSF陽性イノシシ周辺で採取した環境水

3.6 モデル地域における環境水からのCSF検出

サブテーマ1, 3, および4の協力により、愛媛県、兵庫県、京都府、愛知県、岐阜県、福島県のイノシシ生息地域において環境水を採取した。この中で、兵庫県淡路島は、イノシシの個体数密度に関する情報がある、地域内のCSF陽性率のデータがある等の理由により、集中的な環境水採取を行い適切な環境水採取計画策定のためのデータを収集するモデル地区とした。環境水の採取は、ヌタ場、水田等の溜水、河川等から行った。CSFの検出は、3.5の条件検討で有効性が確認された手順に沿って行うこととした。

3.7 捕獲個体から収集した切断尾を拭ったスワブからのCSF検出

感染実験の結果からCSFウイルスは毛根部分にも分布していることが報告された²⁾。そのため、皮膚表面を拭ったスワブがCSF検査用の検体として利用できるのか評価した。評価には、捕獲個体から収集した切断尾200検体を使用した。切断尾はサブテーマ1の協力で、CSFの侵入後の兵庫県淡路島で捕獲報奨金支払いのために兵庫県が収集済みのものを活用した。この切断尾の組織からRNAを抽出するとともに、同一サンプルからスワブを採取し、そのスワブからもRNAを抽出した（図-2.3）。切断尾の組織から抽出したRNAからのCSF検出はOne-step RT PCRで実施した。スワブから抽出したRNAからのCSF検出は、nestedリアルタイムPCRで実施した。これらの検出結果を比較することで、スワブを用いた方法と

従来の組織を用いた方法とで感度と特異度に差異があるのかを検証した。



図-2.3 スwabによる切断尾からのCSF検査用試料の採取方法

3.8 その他の試料からのCSF検出の試み

土壌サンプルからCSFが検出可能か検討を行った。2021年1月に兵庫県内で発見されたイノシシの死亡個体（CSF陽性）が接触していた土壌を検査用試料とした。採取した土壌とほぼ等量の超純水あるいはPBSを混合し、それぞれの懸濁液を作製し静置した（図-2.4）。静置後、翌日、3日後、7日後、14日後、21日後、28日後に、超純水で作製した懸濁液、PBSで作製した懸濁液、それぞれから上清を採取し、CSF検出用サンプルとした。CSFの検出は、3.5の条件検討で有効性が確認された手順に沿って行うこととした。

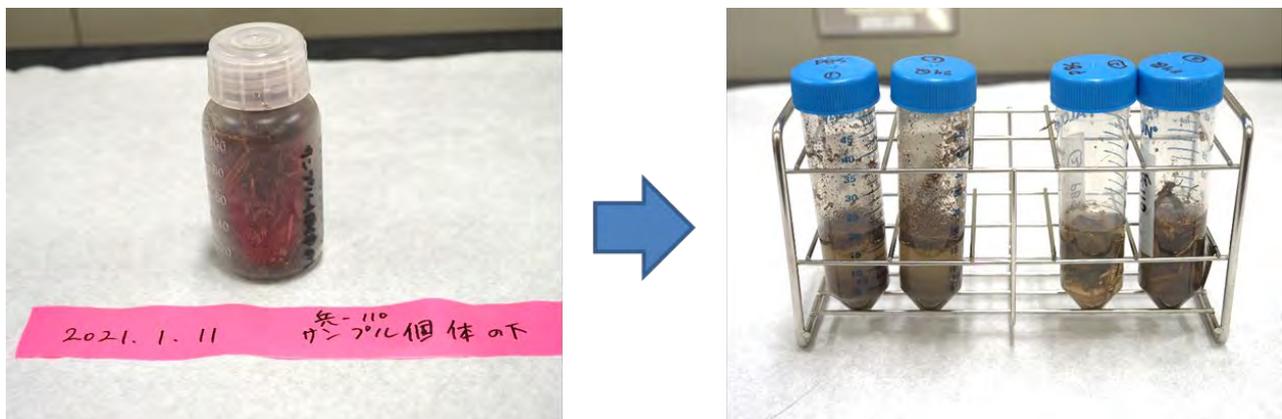


図-2.4 土壌からのCSF検査用試料の調整方法

加えて、腐敗した皮膚組織がCSF検査用試料として利用できるのか評価した。CSFが検出されたイノシシの個体から採取した皮膚組織をガラス瓶に入れ、室温で放置した（図-2.5）。その後、1、2、3、4、8、12週後に放置した皮膚組織の一部を回収した。回収した皮膚組織からEZ1 Advanced XL（QIAGEN社）でウイルスRNAを抽出し、CSF検査用試料とした。CSFの検出には、IDEXX RealPCR CSFV（IDEXX社）キットを使用した。

4. 結果及び考察

4.1 環境水中におけるCSFウイルス残存期間の検討

1日、2日、4日、7日、14日、30日^後に検証用ウイルス溶液とコントロール用ウイルス溶液、それぞれ

から250 μ lを採取し、リアルタイムRT-PCRによってCSFウイルスの検出を試みた結果、全てのウイルス



図-2.5 腐敗した皮膚からのCSFウイルス検出検討用試料の準備状況

溶液がCSFウイルス陽性となった。従って、リアルタイムPCRによって検出できるCSFウイルス量が環境水中で30日間残存していたことになる。今回は実験室内に放置したもので、野外における紫外線や乾燥といった環境からの影響を考慮していない条件下での結果ではあるものの、環境水を使用したCSFウイルスのモニタリングが可能であることを示唆する結果である。

4.2 環境水からの効率的なRNA抽出方法の検討

ISOGEN-LSによってRNAを抽出した場合の濃度は $14.1 \pm 2.6 \text{ ng}/\mu\text{l}$ であった。一方、自動核酸抽出装置で抽出した場合の濃度は $28.5 \pm 0.7 \text{ ng}/\mu\text{l}$ であった。自動核酸抽出装置で抽出したRNAの濃度が約2倍という結果となったが、リアルタイムPCRを実施した際のCt値の差は1サイクル程度であると予想される。したがって、どちらの方法を採用しても、リアルタイムPCRの結果には大きな影響がないと考えられるため、実施機関の予算や設備状況に応じて抽出方法を選択することが可能である。本研究課題では多検体からの抽出に対応できることが重要であるため、自動核酸抽出装置によって環境水からRNAを抽出することとした。

4.3 環境水からの効率的なウイルス濃縮方法の検討

PEG沈殿法および限外ろ過法で濃縮した検証用ウイルス溶液を対象に実施したリアルタイムPCRの結果を図-2.6に示した。PEG沈殿法と限外ろ過法のCt値を比較すると、限外ろ過法のCt値はPEG沈殿法のCt値より小さい、つまり、PEG沈殿法で濃縮した場合より限外ろ過法で濃縮したサンプルに含まれるウイルス量が多いという結果となった。濃縮の程度確認するため、未濃縮の検証用ウイルス溶液が示すCt値と限外ろ過法で濃縮したサンプルが示したCt値を比較したところ、その差は4.3サイクルであった。これは、限外ろ過法を適用することで、ウイルス溶液を約20倍($2^{4.3} = 19.4$)に濃縮できたことを示す結果である。

一方で、PEG沈殿法で濃縮した場合のCt値を、未濃縮の検証用ウイルス溶液が示すCt値と比較すると改善が見られなかった。これは、PEG沈殿法によるCSFウイルスの濃縮効果が低いことを示す結果である。ただし、今回適用したPEG沈殿法の条件は、ノロウイルスを濃縮するものである。そのため、CSFウイルス用に条件検討を実施することで濃縮効率は改善する可能性がある。しかしながら、PEG沈殿法では通常一昼夜の静置が必要である点が作業時間という点では不利である。PEG沈殿法の濃縮効果は条件検討で改善する可能性はあるものの、作業時間という観点から、環境水中に含まれるCSFウイルスを濃縮する方法としては、限外ろ過法を採用することとした。

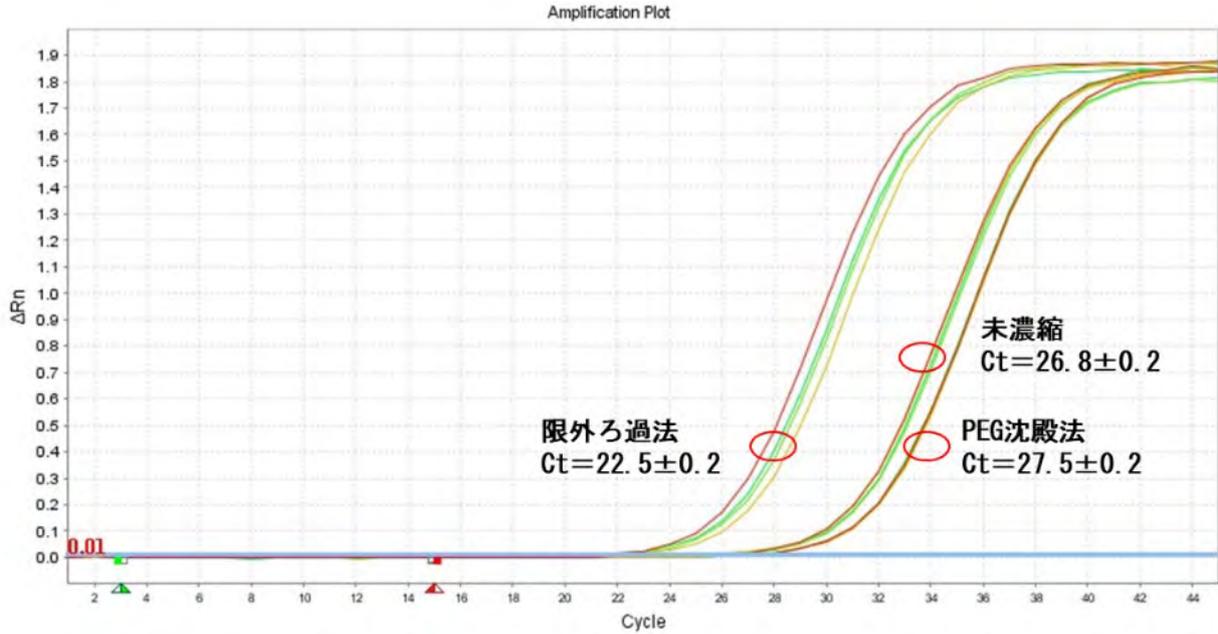


図-2.6 各濃縮方法の増幅曲線および Ct 値の比較

4.4 CSF ウイルス検出方法の高感度化の検討

4.4.1 次世代シーケンサーによるCSFウイルスの検出

リアルタイムPCR陰性になるまで希釈（ 10^6 倍希釈）した検体に対して、ランダムプライマーで逆転写した検体（手順1）と、逆転写後に豚熱ウイルス特異的なプライマーでPCRを行った検体（手順2）を IonPGMを用いて次世代シーケンスを実施したところ、両検体からCSFが検出された。この結果から、次世代シーケンスはリアルタイムPCRよりも感度が高いことが示された。また、検出された豚熱ウイルスの配列の数を手順1と手順2で比較すると、手順2で得られる豚熱ウイルスのリード数が手順1で得られたリード数よりも大幅に多いことが確認された。したがって、手順2が高感度にCSFを検出する方法として推奨される。しかしながら、次世代シーケンサーを現場に導入する際には、初期の導入コストや試薬コストが問題となる可能性が高い。

表-2.1 次世代シーケンサーによるCSF検出結果

| サンプル | 総リード数 | ウイルス由来のリード数 | ウイルス由来リードの割合 |
|--------------------------|----------|-------------|--------------|
| 手順1：ランダムプライマーによるRT-PCRのみ | 703, 820 | 21 | 0.003% |
| 手順2：RT-PCR+特異的PCR | 582, 688 | 51596 | 8.8% |

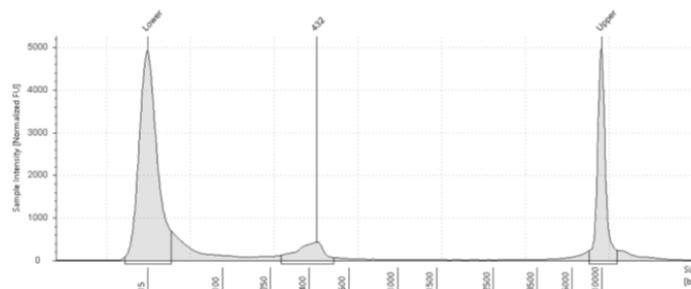


図-2.7 ランダムプライマーで逆転写した後に豚熱ウイルス特異的なプライマーでPCRを行った検体の電気泳動結果。430bp付近にCSFのウイルス遺伝子が増幅していることを示すピークが観察されている。

4.4.2 nestedリアルタイム PCR法によるCSFの検出

手順1と手順2の結果を図-2.8に示した。手順1を実施した結果、元のウイルス溶液と比較すると、Ct値が約20減少した（約100万倍の感度上昇）。手順2を実施した結果、Ct値が約22減少した（約400万倍の感度上昇）。

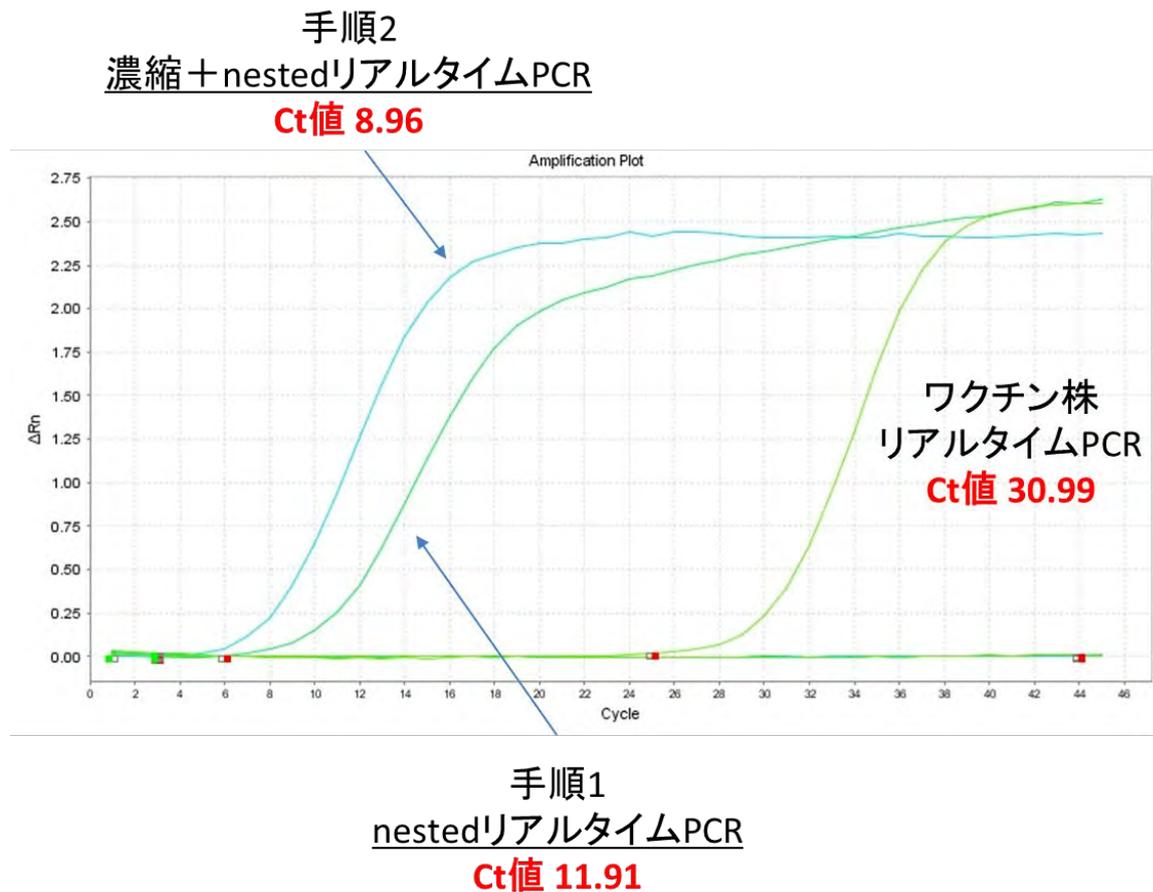


図-2.8 nestedリアルタイムPCRを導入した場合のCSFの検出感度の変化。

以上の結果は、すでに現場に導入されている、One-step RT-PCR やリアルタイム PCR キット（IDEXX RealPCR CSFV）を活用しつつ、低コスト導入できる磁気ビーズ処理を作業工程に組み込むことで、ウイルスの検出感度を約 400 万倍まで上昇させることが可能となることを示している。したがって、現場ですでに導入されている機器を活用しつつ、低コストで環境水からの CSF 検出を高感度で実施する方法としては、以下の手順 2 の導入が推奨される。

手順 2 : One-step RT-PCR (Vileek S, et al. (1994)) →磁気ビーズ (AMPure XP (Beckman 社)) による PCR 産物の濃縮→リアルタイム PCR キット (IDEXX RealPCR CSFV)

4.5 野外試料 (CSF陽性イノシシ周辺で採取した環境水) を利用した条件検討

CSF陽性と判定された野生イノシシの死亡個体周辺で採取した環境水を試料として3.5.1~3.5.3に示した3手法を実施した。その結果、3つの反応条件すべてで、CSF陽性と判定された野生イノシシの死亡個体周辺で採取した環境水からCSFの検出に成功した (図-2.9、図-2.10、図-2.11)。この結果は、濾過や濃縮工程を除外しても環境水中からCSFを検出可能であることを示している。濾過や濃縮工程を除外することで、検査手順の簡略化と検査費用の抑えることが可能となる。

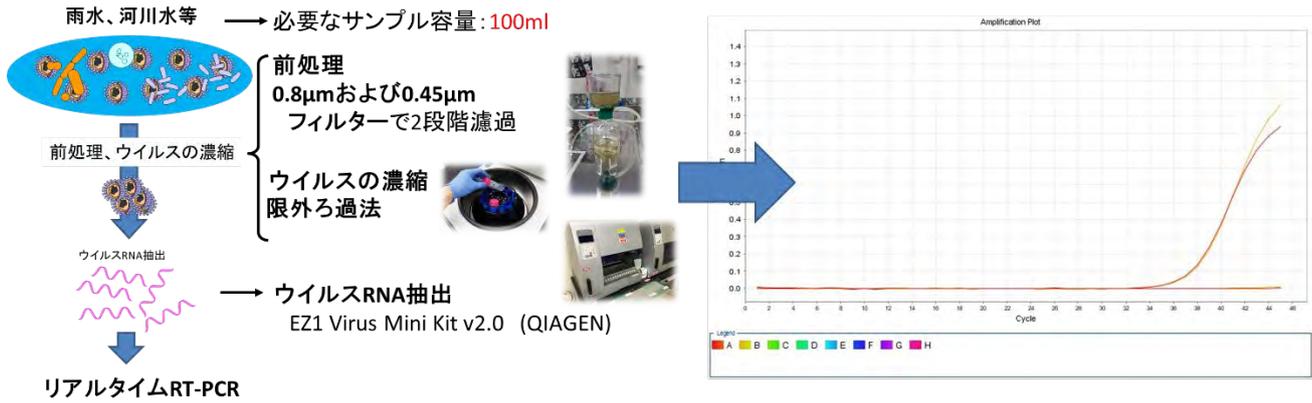


図-2.9 市販ワクチンを用いて確立した検出方法。前処理として2段階濾過と限外ろ過膜による濃縮を実施。リアルタイムPCRの結果は陽性。

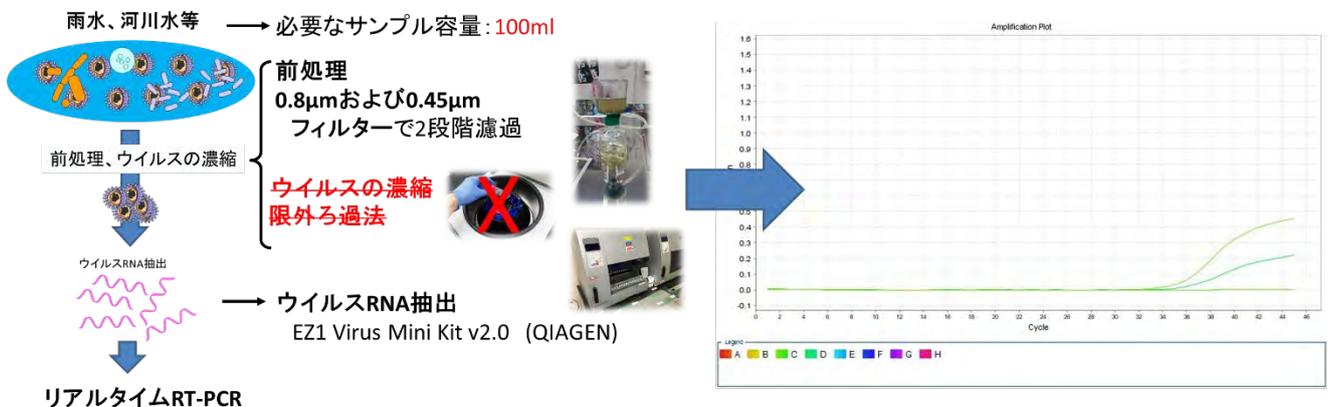


図-2.10 前処理として実施していた限外ろ過膜による濃縮を除外した方法（簡略法1）。リアルタイムPCRの結果は陽性。

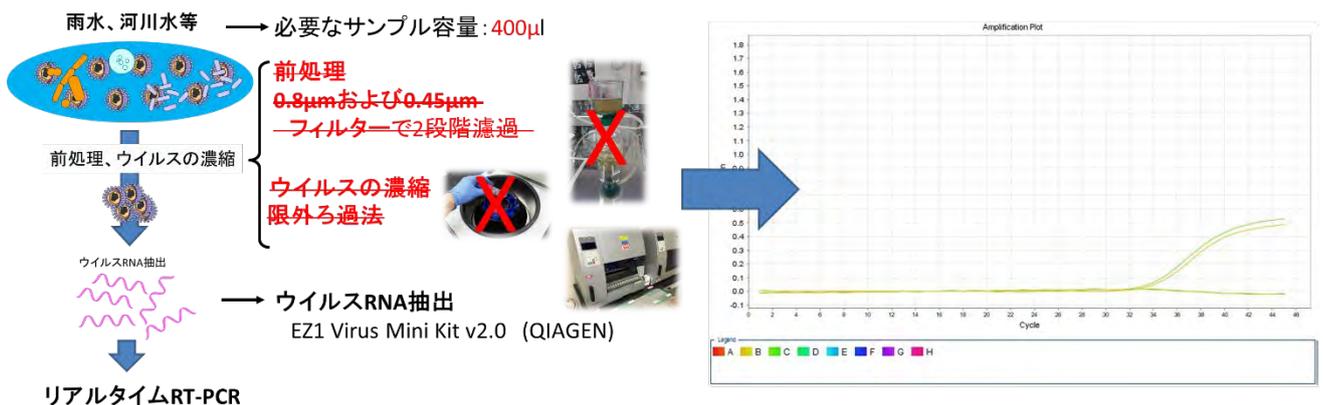


図-2.11 前処理の工程をすべて除外した方法（簡略法2）。リアルタイムPCRの結果は陽性。

4.4の結果から、One-step RT-PCRとリアルタイムPCR キット（IDEXX Rea1PCR CSFV）を組み合わせたnestedリアルタイムPCRに磁気ビーズ処理を作業工程に組み込むことで、ウイルスの検出感度を約400万倍まで上昇させることが可能となることが示されている。したがって、4.4と4.5の結果から総合的に判断すると、作業工程の簡略化とコストの抑制を実現しつつ、環境水中に低濃度で存在すると考えられるCSFを高感度で検出する作業手順としては、以下の方法が推奨される（図-2.12）。

- ① 採取した環境水から RNA を抽出する（多検体に対応するためには自動核酸抽出装置の使用が望ましいが、遠心機を使用する方法でも検査に使用できる十分量の RNA が抽出可能）。
- ② 抽出した RNA を使用した One-step RT-PCR²⁾ を実施。
- ③ 磁気ビーズ (AMPure XP (Beckman 社)) により PCR 産物を濃縮する。
- ④ 濃縮した PCR 産物を使用してリアルタイム PCR (IDEXX RealPCR CSFV) を実施する。

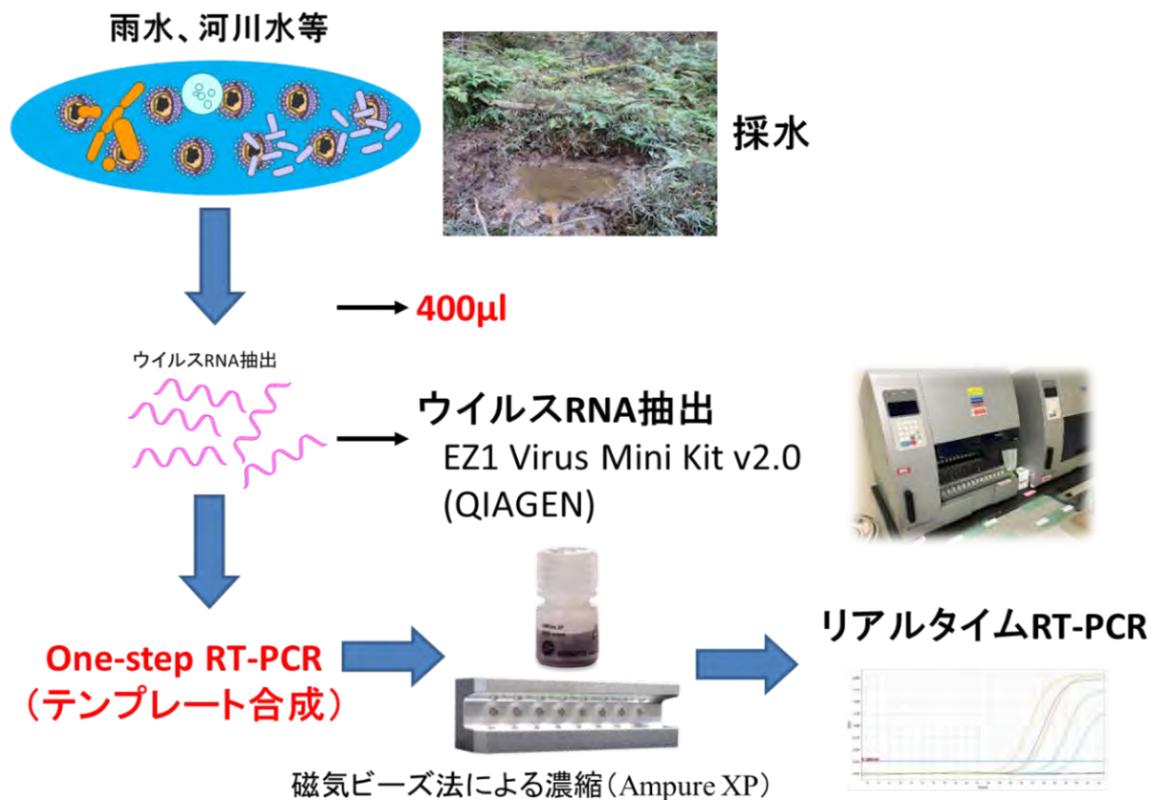


図-2.12 環境水からのCSFウイルス検出プロトコル

4.6 モデル地域における環境水からのCSF検出

2020年度は、兵庫県では136検体、京都府では91検体、愛知県では14検体、岐阜県では30検体の環境水を収集した。2021年度は、愛媛県では34検体、兵庫県では133検体の環境水を収集した。2023年度は、兵庫県では162検体、福島県では20検体の環境水を収集した。これらの環境水から4.5で示した方法で、CSFの検出を試みたところ、すべて陰性であった。

上記のサンプルとは別に環境水採取計画策定のためのデータを収集するモデル地区に設定した兵庫県淡路島において、2021年度に106検体の環境水を収集した（図-2.13）。淡路島で収集された106検体について4.5で示した方法（図-2.12）で、CSFの検出を試みたところ、4検体が陽性となり、陽性率は3.8%となった。環境水を収集した時点における、自治体が発表した当該地域のイノシシのCSF陽性率は約2.4%であった（84個体中2個体陽性）。また、環境水を収集した範囲に生息するイノシシの個体数は、約200個体と推定された（この推定個体数のデータはサブテーマ1より提供された）。以上の結果から、環境水を活用し、CSFの蔓延状況を把握するためには、以下の手順で調査することが推奨される（図-2.14）。

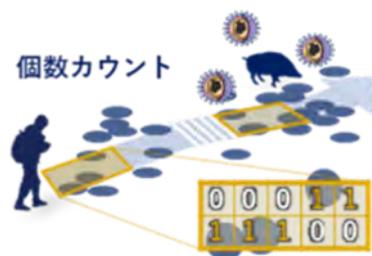
- ① 調査地域におけるイノシシの個体群密度を推定する。
- ② 200個体が生息すると面積を計算し、調査プロットを設定する。
- ③ 調査プロット内のヌタ場の水、河川水および糞便を最低100検体収集する。
- ④ 収集した環境水を対象に、4.5で示した方法で、CSFの検出を試み。



図-2.13 環境水採取計画策定のためのデータを収集するモデル地区に設定した兵庫県淡路島。合計で環境水106検体を収集した。

サーベイランスを実施したい地域の個体群密度を推定する

200個体が生息する面積を計算する
(調査プロットの設定)



調査プロット内のヌタ場の水や糞便を最低100サンプル集める

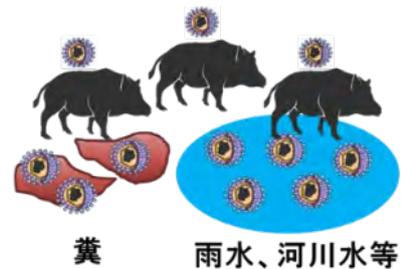


図-2.14 環境水を活用し、CSFの蔓延状況を把握するための手順

4.7 捕獲個体から収集した切断尾を活用したCSF検出の試み

切断尾の組織から抽出したRNA200検体中24検体がCSF陽性と判定された（表-2.2）。一方、スワブから抽出したRNA200検体中26検体がCSF陽性と判定された（表-2.2）。組織とスワブの検査結果は、99%が一致していた。また、組織を用いた方法と比較して、スワブを用いた方法の感度は100%、特異度は98.9%となった。これらの結果から、CSF陽性イノシシは皮膚組織中に大量のウイルスを含み、体表にも排出されているために、皮膚表面を拭ったスワブを用いてもウイルスを検出可能であることが確認された。スワブを用いた方法では、採材が容易で大量にサンプリングできることから、サンプル間のクロスコンタミネーションに留意して作業を行う必要があるものの、切断尾の表面を拭ったスワブをCSFの検査に使用しても高い信頼性の検査結果が得られることを確認できた。

表-2.2 イノシシの組織と皮膚サンプルの結果の一致率

| | | 組織におけるウイルス検査結果 | |
|---------------------|-----|----------------|-----|
| | | (+) | (-) |
| スワブにおける ウイルス検査結果 | (+) | 24 | 2 |
| | (-) | 0 | 174 |

この200検体を利用した検証結果を受けて、スワブサンプルをさらに220検体追加して、合計420検体を用いて、兵庫県淡路島のCSFの蔓延状況を調査した。その結果、420検体中36検体でCSFが検出された（図-2.15）。淡路島島内の地域別に陽性率を比較すると、地域ごとの陽性率は8.1から14.8%となり、地域ごとの偏りは確認されなかった。このことから、淡路島島内のイノシシにはCSFが広く蔓延していることが示唆された。

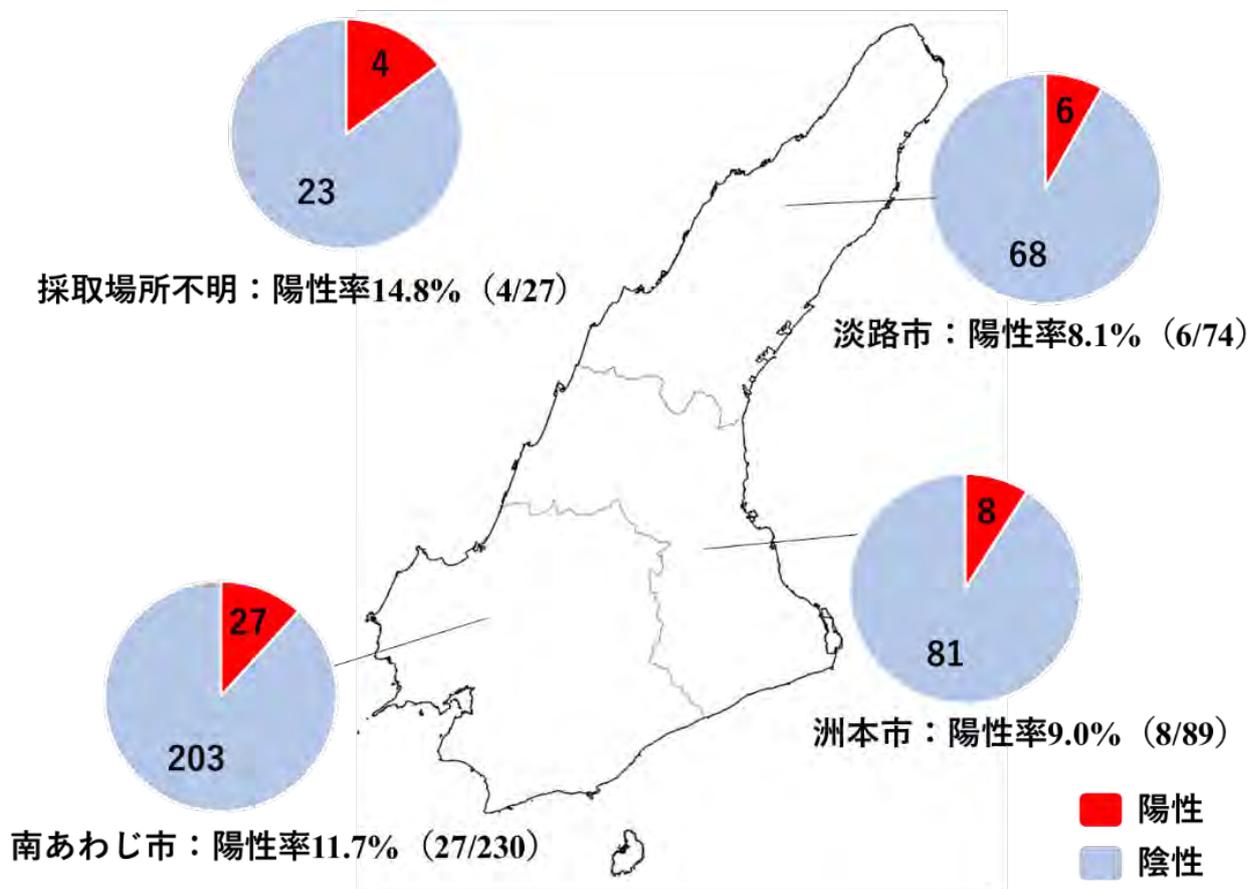


図-2.15 淡路島島内における豚熱陽性イノシシの分布

このように、淡路島において切断尾の収集を試みたところ、一カ月間という短期間で農水省が通知した年間の検査数を上回る検体を収集可能であった。また、この方法は、捕獲時に血液や扁桃を採取するよりも採材方法が簡便で狩猟者の負担とならないことから、イノシシにおけるCSFサーベイランスを行うには極めて有用な手法であると考えられる。行政的に実施されている有害鳥獣捕獲事業において、すでに捕獲報奨金の支払いのための証拠品として、尾部が提出されており、既存の体制を活用することが可能である。この結果を踏まえて、切断尾からCSF検査用サンプルを採取する方法について資料を作成し、普及版成果報告集に掲載した（図-2.16）。

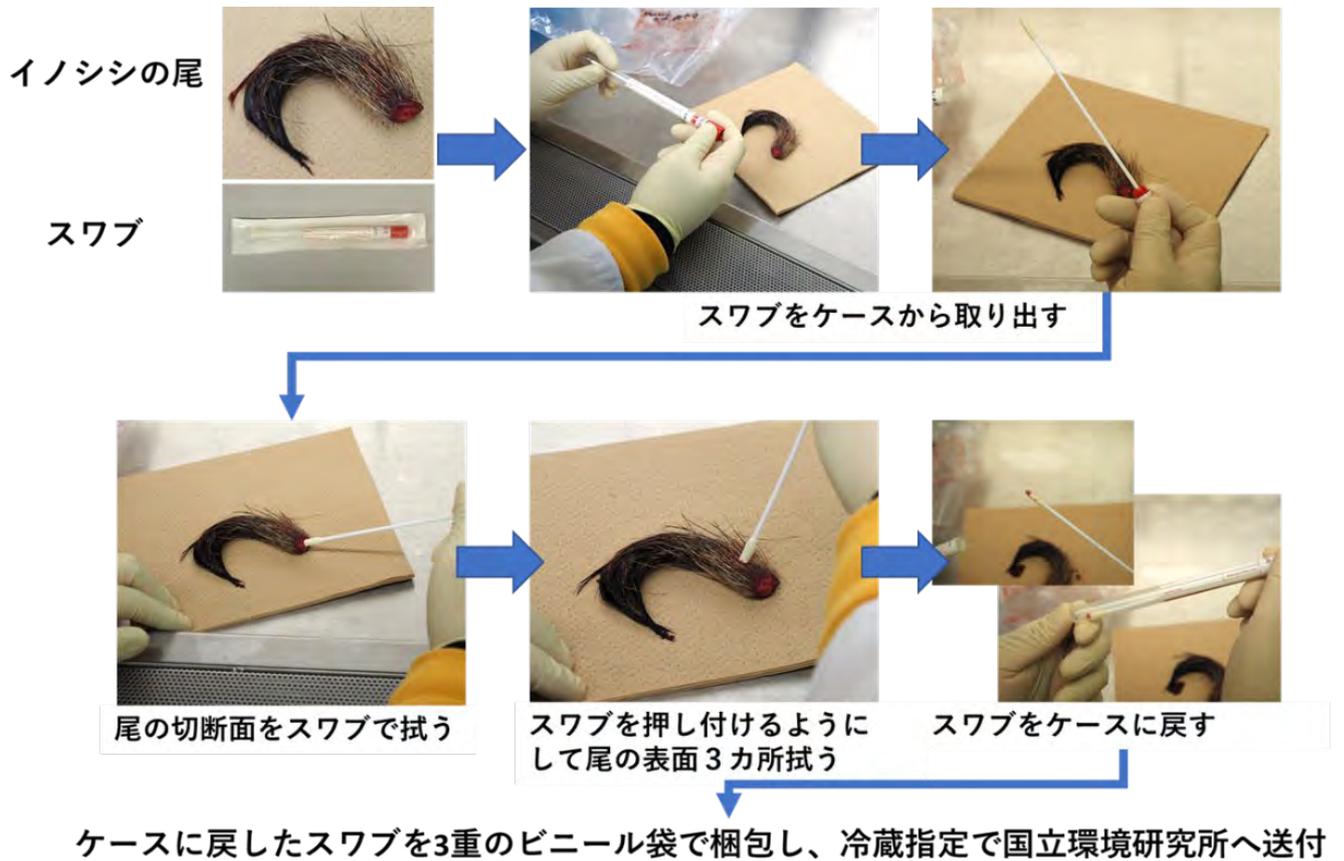


図-2.16 切断尾からCSF検査用サンプルを採取する方法

4.8 その他の試料からのCSF検出の試み

超純水で作製した土壌懸濁液、PBSで作製した土壌懸濁液、それぞれを静置し、翌日、3日後、7日後、14日後、21日後、28日後に、上清400 μ lを採取し、ウイルスRNAをEZ1 Virus Mini Kit v2.0

(QIAGEN)で抽出した。抽出したRNAを対象にIDEXX RealPCR CSFVキットでCSFの検出を試みたところ、PBSで作製した土壌懸濁液からは静置後21日まで、超純水で作製した土壌懸濁液からは静置後28日まで、CSF陽性という結果となった。この結果は、CSF陽性となったイノシシが接触した土壌にもCSFのウイルスが残存していることを示すものである。そのため、掘り起こし痕や寝床周辺から採取した土壌もCSF検査用の環境試料として活用できると考えられる。

腐敗した皮膚組織がCSF検査用試料として利用できるのか評価するために、放置した皮膚組織から抽出したRNAを対象にリアルタイムPCRで評価したところ、放置後4週目まではウイルスRNAの分解はほとんど進んでおらず、8週目以降からウイルスRNAの分解が始まる傾向が示された。最終的には、12週間室温で放置した場合でもCSF陽性を示したことから、腐敗が進んだ死亡個体もCSFの検査対象に利用できる可能性が高いことが示された（図-2.17）。

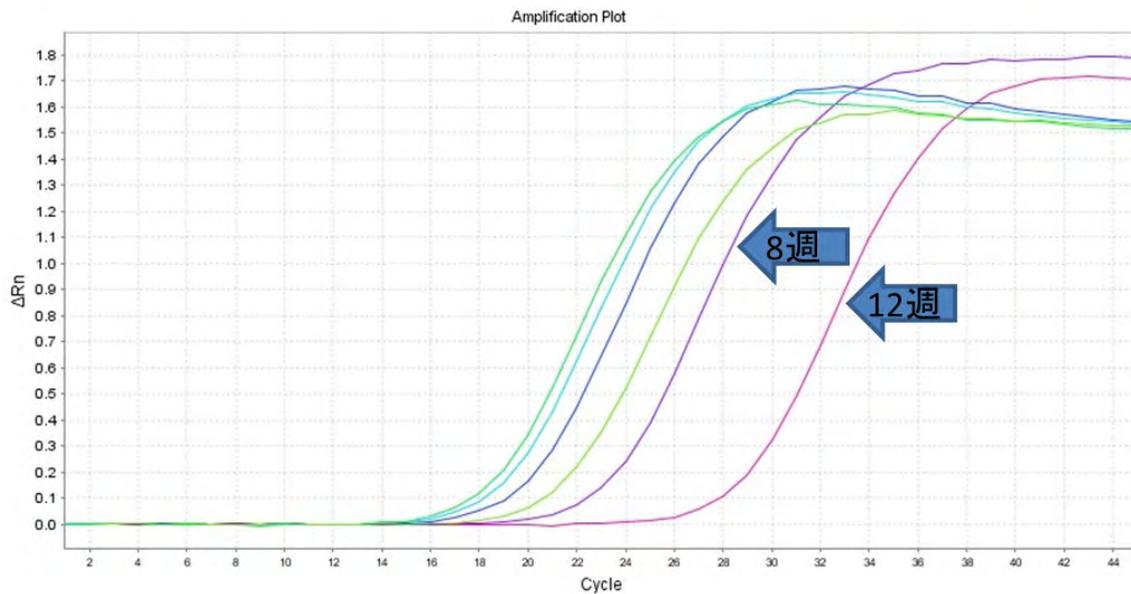


図-2.17 腐敗した皮膚組織から抽出したRNAを用いたリアルタイムPCRの結果。放置後12週間経過してもCSF陽性を示した。

実際に、福島県の帰還困難区域内で発見された腐敗の進んだ死亡個体から皮膚サンプルを採取し、CSFの検査を実施したところ陽性を示す検体が確認された（図-2.18）。現状では、多くの自治体において、腐敗の進んだ死亡個体を検査対象から除外していると考えられる。今後、腐敗の進んだ死亡個体も積極的に検査対象とすることで、CSFの蔓延状況を正確に把握することができると考えられる。



図-2.18 福島県の帰還困難区域内で発見された腐敗の進んだ死亡個体。CSF検査を実施したところ陽性を示した（写真提供：自然環境研究センター）。

5. 研究目標の達成状況

・環境中から効率的にウイルスを検出するための手法を開発する。

環境水から効率的に豚熱ウイルスを検出する方法として、「PCR産物を濃縮する過程を導入した nestedPCR法」を開発し、研究目標を達成した。

・イノシシの密度に応じた環境試料採取計画法を開発する。

最初に密度データからイノシシ200個体が分布する範囲を確定し、その範囲から環境水100検体を採取することで、捕獲個体から得られる検出率と同等の検出率が得られることが分かった。この基準を示す

ことにより、イノシン密度に応じた環境試料採取計画を立案することが可能となったため、研究目標を達成した。

・環境試料を活用したCSFサーベイランスシステムを構築し、各自治体の家畜衛生部局に技術移転する。

環境水からの豚熱ウイルス検出法については、追加の設備投資を最小限に抑えた「PCR産物を濃縮する過程を導入したnestedPCR法」を開発した。追加の設備投資が最小限に抑えられているため、本手法の各自治体の家畜衛生部局への導入は容易であると考えられる。本手法は普及版成果報告集においても紹介済みである。

また、より効率的な豚熱ウイルスの検査体制構築を提案するため、捕獲の証拠として各地方自治体に提出される切断尾から豚熱ウイルスが検出可能か検討した。その結果、切断尾から豚熱ウイルスが検出可能であることが分かった。この手法この成果は当初の研究計画にはないもので、設定した研究目標以上の成果となった。

6. 引用文献

- 1) Oki M, Ikezawa M, Nishi T, Fukai K, Yamada M. 2022. Immunohistochemical analysis of the distribution of classical swine fever (CSF) viral antigen in boar-pig hybrids and pigs four weeks after infection. J Vet Med Sci. Jan 7;84(1):48-52.
- 2) Vilcek S, Herring AJ, Herring JA, Nettleton PF, Lowings JP, Paton DJ. 1994. Pestiviruses isolated from pigs, cattle and sheep can be allocated into at least three genogroups using polymerase chain reaction and restriction endonuclease analysis. Arch Virol. 136(3-4):309-23.

II-3 CSF発生地域を想定したイノシシ個体群の管理・モニタリングの手法開発

| | |
|-----------------------|-------------------|
| 岐阜大学応用生物科学部 | 鈴木 正嗣 |
| 岐阜大学応用生物科学部 | 安藤 正規 |
| 岐阜大学応用生物科学部 | 池田 敬 |
| <研究協力者>岐阜大学応用生物科学部 | 東出 大志 |
| <研究協力者>広島大学先進理工系科学研究科 | 相澤 宏旭 (令和2～令和4年度) |
| <研究協力者>岐阜大学応用生物科学部 | 鈴木 嵩彬 (令和3～令和4年度) |

[要旨]

CSF対策を検討する上では、イノシシの行動圏や分散距離を考慮した上で、経ロワクチン散布や捕獲を実施し、拡散を防止するための柵を設置する必要がある。そこで、GPS首輪から行動圏や生息地選択の把握、経ロワクチン散布データから摂食に及ぼす要因の特定、自動撮影カメラから柵の横断状況の収集を実施した。その結果、イノシシは比較的狭い範囲を集中的に利用し、休息地として人間がアクセスしにくい急斜面を選択していた。また、経ロワクチンへの摂食は、環境要因や地形的要因ではなく、事前給餌や繰り返しの散布が重要であった。さらに、イノシシは柵沿いを巡回し、隙間がある地点を横断していることが示唆された。

CSF発生時には、生息密度の低下が予測されるため、個体群管理の手法の一つとして誘引狙撃法の導入が適切と考えられる。そこで、誘引に適した餌の選択ならびに給餌地点で餌付けされたイノシシを対象とする狙撃シミュレーションを行った。イノシシの嗜好性は、国内で広く使われている米糠に比べ圧片コーンの方が有意に高く、誘引餌として圧片コーンを用いる効果が示された。狙撃シミュレーションの結果、給餌地点から55m離れたブラインド内に人がいても、イノシシは通常どおりの摂食を続けることが確認された。また、夜間の誘引狙撃を想定したスポットライト照射に対しても、イノシシは特に反応を示すことはなかった。そのため、イノシシの誘引狙撃は、日中と夜間の両方で実施可能と確認された。

自動撮影カメラを用いたモニタリングはイノシシをはじめとする野生動物の保護管理において非常に重要な調査手法の一つとなっているが、多くのカメラを運用することによって取得される膨大な静止画・動画データの判別・管理に大きな人的労力が必要となってしまうことが問題となっている。そこで、近年急速に技術発展した深層学習の技術を活用し、カメラ画像を判別するためのパイプライン（注釈：複数の処理を連続して実施する一連のプロセス）を構築することを目指した。既存の判別器の精度検証を実施したところ、既存の判別器は新規期間・新規地点で取得された画像の判別において十分な精度を担保できないことが明らかとなった。一方、MegaDetector（注釈：静止画から人、自動車、動物を検出する深層学習モデル）は動物の在不在において既存の判別器よりも非常に高い精度を示すことが明らかとなった。これらの結果を踏まえ、MegaDetectorと国内のカメラ画像から構築した種判別モデルを組み合わせたパイプラインを構築し、プログラムおよびドキュメントを公開した。

1. 研究開発目的

簡易手法を実装し、具体的なイノシシの課題解決手法を開発するため、サブテーマ3では、CSF発生地において、密度分布やCSFのデータに加えて、イノシシの移動・行動様式を調べ、柵による移動の制御や、拡散防止を防ぐための誘引捕獲の効果検証を行い、CSF発生後のイノシシの管理手法の構築を行う。迅速な分析が必要になることを想定して、自動撮影カメラ（以下、カメラ）画像分析を効率化するための深層学習の手法開発も実施する。

2. 研究目標

- ・イノシシの生態学的情報収集し、効率的な捕獲体制を構築、民間への技術移転を目指す。
- ・自動撮影カメラ画像・動画の迅速かつ効率的な分析を行うための深層学習の判別モデルを開発し、現状の分析時間の半減を目指す。
- ・CSF発生時の地域主体型の個体群管理とモニタリングの社会実装をマニュアル化し、活性時のイノシシ

対策を提言する。

3. 研究開発内容

3.1 衛星 GPS 首輪による行動追跡ならびに移動障壁柵の設置状況踏査

3.1.1 衛星 GPS 首輪による行動追跡

哺乳類の正確な行動圏や生息地選択などを把握することは、対象種の保全計画や管理計画を策定するためには重要な情報である。特に、CSF対策を検討する上では、行動圏や分散距離は効率的なワクチン散布や捕獲、CSFウイルスの拡散予測に必要な情報である。日本におけるイノシシの行動圏は、島根県で0.80～1.32km²、兵庫県で0.39～9.47km²と報告されている^{1,2)}。しかし、これまでのGPS機器の測位誤差が大きく、長期かつ詳細な追跡が困難であるという課題があり、より正確な情報を収集する必要がある。また、イノシシの分散距離は、スペインでは平均45.8km移動する³⁾ことが報告されている一方で、イタリアではメスが捕獲地点から約1km圏内、オスが約9km圏内に留まる⁴⁾ことが報告されている。イノシシは日本で再発生したCSFにおいてウイルス拡散の一因であるとされているが、このような分散距離は報告されておらず、日本におけるイノシシの分散距離を正確に把握する必要がある。

さらに、CSFの拡散を抑制するための対策として経口ワクチン散布が実施されている。イノシシのワクチン摂食率を高めるためには、散布地点における環境を考慮した上で、適切な地点にワクチンを散布する必要がある。しかし、日本における経口ワクチン散布の情報は限られており、散布の効率性は不明である。さらに、日本におけるイノシシの生息地利用は、痕跡を利用しているため、イノシシの活動時に選択する生息地を抽出している可能性が高い。GPS首輪を利用し、活動時と休息時を区分することが可能であり、活動レベルに応じた生息地選択を把握することができる。そこで、本サブテーマでは、衛星GPS首輪を利用し、行動圏や分散距離、活動時と休息時における生息地選択を把握した。さらに、岐阜県で実施した経口ワクチン散布のデータを利用し、イノシシのワクチン摂食に及ぼす要因を特定した。

衛星GPS首輪は、Vectronic Aerospace社のVERTEX Lite Collar-3Dを利用し、測位間隔は20分に1点に設定した。捕獲は岐阜県美濃加茂市において、2020年10月から2022年3月に実施し、合計7頭に首輪を装着した。行動圏は、まず初めに過去の行動圏と比較するために最外郭法を用いて算出し、その後、利用場所の情報を考慮するBrownian Bridge Movement Modelを用いて算出した。また、行動圏の距離的な広がりを知るために、最外郭法で算出した行動圏の重心から各測位点までの距離を算出した。生息地選択においては、測位点を日中（休息時）と夜間（活動時）に区分し、実際の測位点とランダム点における周辺環境要因（人工構造物、水田、耕作地、広葉樹、竹林）や地形要因（標高、斜度）を比較した。

経口ワクチン散布は、岐阜県全域で実施した2019年夏季、2019年から2020年にかけての冬季、2020年春季における合計6回（各季節2回）、10,314地点のデータを利用した。イノシシがワクチンを摂食した地点の特徴を把握するために、ワクチンを散布した全地点における散布情報（事前給餌の有無、散布機会）、環境要因（広葉樹、竹林、市街地から散布地点までの最短距離）や地形的要因（斜度）、散布地点の含まれるグリッド（4.6×5.5km）のイノシシ密度を評価した。

3.1.2 移動障壁柵の設置状況踏査

岐阜県では2019年3月までに、野生イノシシの移動抑制を意図したイノシシ拡散防止柵を県西部から東部にかけて約144km設置した。本サブテーマでは、このイノシシ拡散防止柵（以下、柵）の設置管理の状況、ならびに柵に対する動物種の利用状況を把握するため、柵の隙間に焦点を当て、柵を横断した動物種を調査した。柵の設置管理の状況については、2021年10月に岐阜県、2022年8月に1つの農林事務所に対して、設置管理にかかわる利害関係者とその役割、実施事項等について、当時の状況を把握している担当者に対して聞き取り調査を行った。柵を横断した動物種については、カメラ（ハイクカムSP2）による調査を行った。柵と柵の切れ目、地面との間、擁壁と柵の間などの隙間を対象とし、柵の隙間に8地点、隙間周辺の柵沿いに6地点、カメラを設置し、2020年10月から2022年5月までの動画を一般化線形混合モデル（GLMM）を用いて解析した。撮影された動画は、動物種と通過の有無を記録し、glmmTMBパッケージを用いて柵の隙間および柵沿いでの哺乳類の撮影頻度・横断率を評価した。撮影頻度については、各月各地点における撮影回数を目的変数、隙間か柵沿いかを説明変数とし、ランダム効果を月および地点、

オフセット項をカメラの稼働日数とした。横断率については、各月各地点における横断率を目的変数、隙間か柵沿いかを説明変数とし、ランダム効果を月および地点とした。

3.2 CSFを念頭に置く個体群管理の体制・手法の明示および社会実装に向けてのガイドライン作成

有害鳥獣捕獲や指定管理鳥獣捕獲等事業の導入等の捕獲強化策により、イノシシの警戒心は全国的に高まっている状況にある。加えて、CSFのまん延は、イノシシの生息密度の低下をもたらすことが示されている⁵⁾。そのため、CSF発生下での高効率捕獲の達成には、「警戒心の昂進」と「生息密度の低下」という2つの悪条件の克服が求められることになり、わなの増設などの「数量的な捕獲強化策」だけでは対応は困難と考えられる。そのため、次に挙げる3点の実現を目指した「質的な捕獲強化策」にも注力しなければならない。

- ①警戒心が高く生息密度も低下した地域のイノシシを、捕獲の場へと効率的に誘引すること。
- ②誘引した個体を、繁殖能力を持つ成獣を優先しつつ確実に捕獲すること。
- ③決して人の生命や財産に損害を与えないよう、安全第一で捕獲作業を遂行すること。

そこで、これら3点の実現を目的に、1km²あたりの生息密度が2～3頭と推定されている岐阜県美濃加茂市内の山林において、以下の研究を行った。

①の「捕獲の場への高率的な誘引」のためには、嗜好性の強い餌を選択し、可能な限り低コストを抑えた給餌作業が必要となる。そのため、国内でも入手が容易な複数の餌の嗜好性の比較を行った。あわせて、嗜好性が高いとして選択した餌（圧片コーン）を用い、実際の捕獲作業を想定した誘引作業を行い、安定的な出没が達成されるまでの経過やコストを明らかにした。

②の「誘引した個体の確実な捕獲」については、国内における法規制ならびに新規性を考慮し、ニホンジカでの高効率捕獲の実績がある誘引狙撃法に着眼し、イノシシを対象とする場合の実施可能性と有効性の検証を行った。その結果を踏まえ、夜間銃猟での実施も想定に含めた「イノシシの誘引狙撃における計画立案・運用のためのガイドライン」を作成した。

③の「安全第一での遂行」に関しては、夜間を含む誘引狙撃の実施を念頭に、必要な装備のスペックならびに捕獲従事者に求められる要件を実証的に明確化し、上記の「イノシシの誘引狙撃における計画立案・運用のためのガイドライン」に盛り込んだ。

3.3 自動撮影カメラ映像分析の効率化にむけた深層学習技術の適用

近年の野生動物の保護管理において、赤外線センサーをトリガーとしたカメラを用いたモニタリングは、野生動物の生息状況を把握するうえで非常に重要な手法の一つとなっている。一方で、近年のカメラの低価格化および高性能化に伴い、多くのカメラを運用することによって取得される膨大な静止画・動画データの判別・管理に大きな人的労力が必要となってしまうことが問題となっている。このような状況の中、近年では機械学習の一種である深層学習(Deep Learning)によるカメラ画像の判別モデル構築に関する研究が世界中で進められている^{6,7,8,9)}。この技術を確立することができれば、カメラトラップ画像判別の作業労力が大幅に軽減されることが予想されるため、カメラトラップ画像のデータ分析効率化を目指した深層学習による画像判別技術の開発には世界中で大きな期待が寄せられている。

一方、先行研究において、既存の野生動物判別のための学習済み深層学習モデル（以下、既存の判別器）を用いて新たに得られた画像を判別させることには課題があることが知られている。具体的には、既存の判別器の構築に用いられた学習用の教師付き画像セットが得られた地点とは異なる新規地点で得られた画像を判別させた場合、得られる判別精度が低下することが報告されている¹⁰⁾。これは、既存の判別器が学習で用いた教師付きデータに関して、カメラ設置地点の画角・背景等を含めた学習を進めているため、異なる背景の地点の画像にうまく対応できないことが原因であると推察されている。このため、既存の判別器を実際の調査に適用する場合は、事前に既存の判別器が新しい調査地点で得られた画像に対してどれくらい精度が低下するかを把握しておく必要がある。

また、既存の判別器における上記の問題を踏まえた上で、Beeryら¹¹⁾はカメラ映像への深層学習モデルの適用において、新しいパイプライン（注釈：複数の処理を連続して実施する一連のプロセスをいう。）を提案している。これは、カメラの画像に対し、まずは物体検出モデルを用いて動物が写っている領域をバウンディングボックスで検出（図-3.1）した上でこの領域を抽出し、背景の影響を極力減らした上で、抽出された動物領域に対して調査地域の動物相にローカライズした種判別モデルを適用する、という2段階の処理で構成されており、Beeryら¹¹⁾は静止画から人、動物、自動車を検出する深層学習モデルであるMegaDetectorを公開している。



図-3.1 MegaDetectorにより動物（イノシシ）をバウンディングボックスで検出した例。

さらには、近年ではイノシシをはじめとした野生動物の個体数推定において、カメラで取得された動画データから個体数を推定するRESTモデル¹²⁾が適用されることが多い。RESTモデルでは動画データの解析において非常に大きな人的労力が要求されるが、深層学習モデルによって動画内の動物の在不在やその種を適切に判別することができれば、RESTモデルにおける人的労力を大幅に削減することが可能となる。

本課題では、日本国内でカメラ映像分析の効率化にむけた深層学習技術の適用を進めることを目的とし、(1)安藤ら⁹⁾の構築した既存の判別器を新規期間・地点で取得された画像に適用した際の精度低下の評価、(2)MegaDetectorを日本国内で取得された画像に適用した際の精度の評価、(3)Beeryら¹¹⁾が提案するパイプラインを動画に対して適用するためのプログラムの構築、の3点を実施した。

(1)について、安藤ら⁹⁾の構築した既存の判別器に対して、教師付き学習データと同一の地点（岐阜大学附属位山演習林、岐阜県下呂市萩原町）において新規期間に20台のカメラから得られた静止画4,444枚（以下静止画セットA）、教師付き学習データとは異なる地点（山中峠湿原、岐阜県高山市荘川町）において7台のカメラから得られた静止画10,906枚（以下静止画セットB）および4台のカメラから得られた静止画4,915枚（以下静止画セットC）を用い、画像中の野生動物の在不在の判別に係る精度を検証した。なお、既存の判別器はニホンジカ、イノシシ、ツキノワグマ、カモシカをはじめとした18クラスの動物種全てに対して画像内に含まれる推定頭数を出力する⁹⁾。今回は18クラスのうち推定頭数が最大であったクラスの推定頭数の値を採用し、この値が設定した閾値を超えた場合を在、下回った場合を不在として扱った。閾値を0~1まで0.001ごとに設定し、各閾値における検出率（真の値が在である画像に対して判別器が在と推定した割合）および過検出率（真の値が不在である画像に対して判別器が在と推定した割合）を算出し、この値からReceiver Operating Characteristic曲線（注釈：検出率を縦軸に、過検出率を横軸に取り、在不在の判別に用いる閾値を変化させた時にこれらの値が変化することで描かれる曲線。以下ROC曲線と呼ぶ。）を作成することで精度を評価した。

(2)について、MegaDetectorを静止画セットAに対して適用し、野生動物の在不在判別に関する精度を既存の判別器と比較した。また岐阜県岐阜市内の金華山においてイノシシの個体数推定（RESTモデル）のためにカメラで取得された動画2,812本（以下動画セット）を用い、動画から1秒間隔で静止画を抽出した上で、同様にMegaDetectorと既存の判別器とで生動物の在不在判別に関する精度を比較した。この場合、1本の動画から抽出された静止画群のうち1枚以上で動物が検出された場合、その動画に対して野生動物を在と判別することとした。精度評価手法については(1)に準じた。

(3)について、Beeryら¹¹⁾が提案したパイプラインを動画用に拡張し、日本国内でカメラによって取得された動画における野生動物の在不在および種判別を行うことのできるパイプラインを構築し、プログラムおよびドキュメントを公開した。

4. 結果及び考察

4.1 衛星 GPS 首輪による行動追跡ならびに移動障壁柵の設置状況踏査

4.1.1 衛星 GPS 首輪による行動追跡

最外郭法による行動圏サイズは、0.32～28.51km²であった。国内外の事例と比較すると、イノシシの行動圏は生息環境に大きく変動することが考えられる。一方で、Brownian Bridge Movement Modelによる95%行動圏サイズ(図-3.2)は、0.12～3.92km²であり、最外郭法と比べると、明らかに狭かった。上述の通り、後者の方法はイノシシの実際の利用場所を考慮するため、より正確な行動圏を算出していると考えられる。本研究は、岐阜県内でのCSF

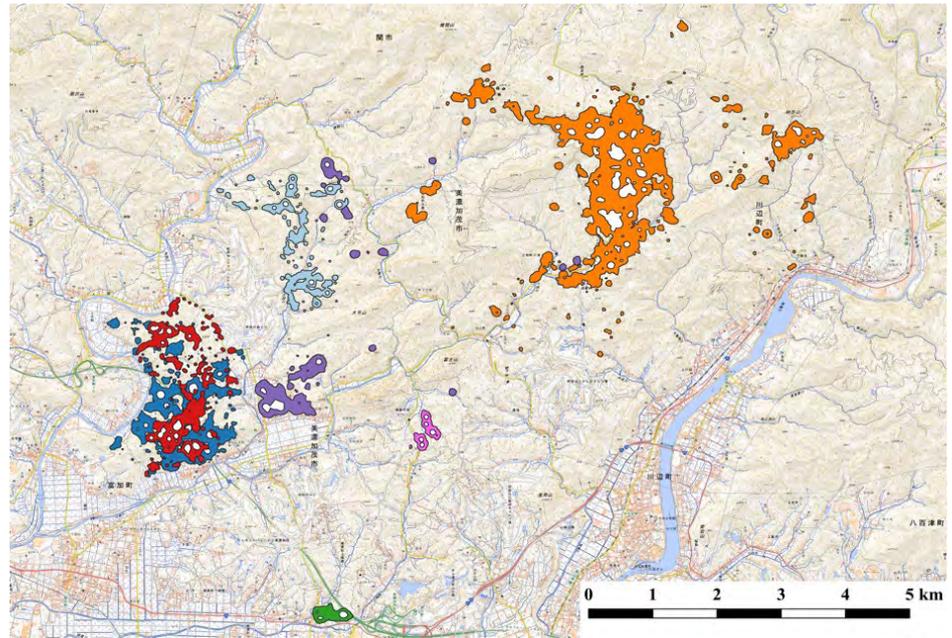


図-3.2 Brownian Bridge Movement Modelによる95%行動圏

発生約2年後に開始しており、イノシシの個体数が減少している段階であった。このため、餌資源を巡る競争も少ないため、各個体の行動圏サイズが小さい可能性がある。

各測位点と重心との距離の中央値は、0.26～2.55kmであった(図-3.3)。アフリカ豚熱(以下、ASF)ウイルスの場合、イノシシの空間生態(行動圏や分散距離)と陽性個体の位置から感染地域を決定していることが報告されており、イノシシ個体群におけるウイルスの感染は、個体同士の接触が要因であると考えられ、個体間の接触率は群れ内における0～1kmの距離が最も高く、群れ間における1～3kmの距離では低頻度、4km以上の距離では散発的である¹³⁾。さらに、イノシシの分散距離は比較的短いので、ASFウイルスの中・長距離の拡散は、イノシシ以外が要因だと報告されている。本研究においても、イノシシは比較的狭い範囲を利用しており、CSF陽性個体の発見エリア周辺からの拡散を防ぐ対策が極めて重要であることが改めて示された。

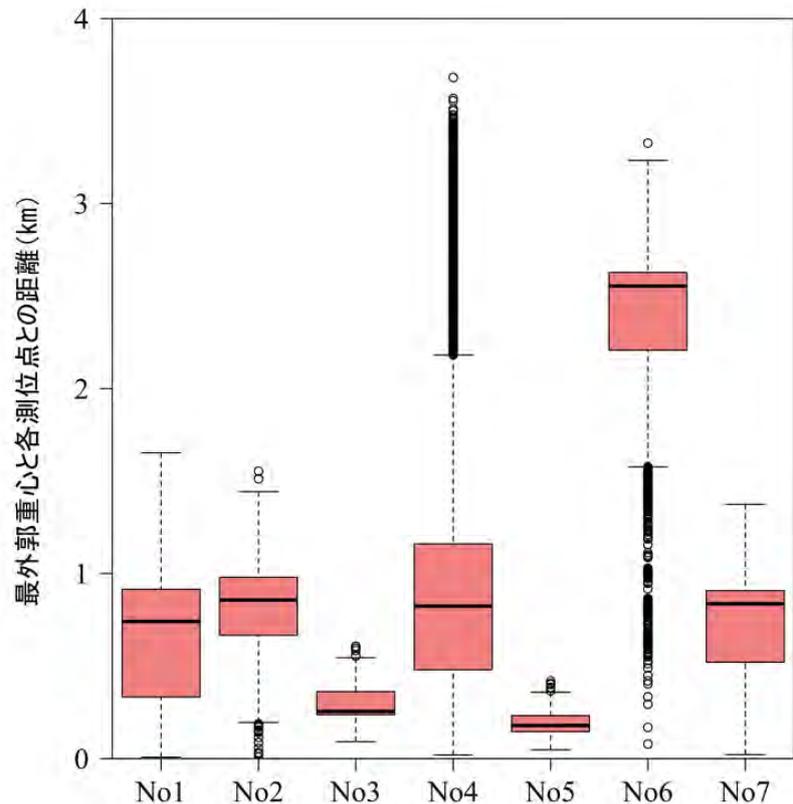


図-3.3 各個体における最外郭法を用いた行動圏の重心から各測位点までの距離

また、イノシシは休息時の日中においては、人為的環境を避けた一方で、活動時の夜間では、耕作地を選択的に利用していた（表-3.1）。イノシシは人為的攪乱を忌避することが知られており、耕作地に対するイノシシの選好性は利用可能量や時間帯に応じて選択することが報告されている。イノシシは耕作放棄地を利用することが知られており、柵で防除された水田ではなく、柵の外側に位置する耕作放棄地を利用していた可能性がある。イノシシは日中には斜面が急な地点を選好した一方で、夜間には平坦な地点を利用していた。本調査におけるイノシシは、上述の通り、夜間に耕作地に依存しており、その結果日中には人間がアクセスしにくい急斜面を休息場として利用している可能性が高い。

その一方で、本研究は、事前給餌や繰り返しの散布機会がイノシシによる経口ワクチンの摂食を高める要因であることを示した（表-3.2）。イノシシによる経口ワクチンの摂食は、環境要因や地理的要因より、事前給餌や繰り返しの散布の給餌による学習効果が強く働いており、経口ワクチンを餌として学習するだけではなく、散布地点に餌があることを学習している可能性がある。また、GPS首輪を用いた生息地利用の解析結果、イノシシは日中に急斜面を利用しているため、休息場近くで事前給餌や繰り返しの散布をすることで、経口ワクチンの摂食率が高まる可能性が示された。

4.1.2 移動障壁柵の設置状況踏査

岐阜県に設置されたイノシシ拡散防止柵（以下、柵）は、野生イノシシの拡散防止を意図したものであった。まず、CSF感染イノシシが集中して発見されている区域（岐阜市北部、各務原市、山県市、関市、坂祝町）からの拡散を防止するため、柵の設置および草刈りなどによる緩衝帯の整備等が行われた。その後、上記区域外へ感染地域が拡大したこと（特に東部への感染拡大）により柵の設置地域も拡大され、濃尾平野北部の辺縁（山麓）部を囲うように約144kmとなる柵となった。

柵の設置は、県や市町村の複数の部署と、民間の業者によって行われた。施工は、家畜伝染病等を管轄する農政部局が道路整備や治水等を管轄する建設部局に作業依頼をし、民間の土木・建設団体に発注する流れで行われた。また、県および各農林事務所が設置場所の設定を行ったうえで、関係市町村が地権者等の確認と調整を、県土木事務所が施工を行った。設置現場では、CSFの感染拡大に対応するため、迅速な柵の設置が求められた。これには既存の農作物被害防止柵と接続すること、地権者の確認が不要な県道や高速道路を優先して利用することで対応した。同時に、大量の資材が必要となる大規模な柵設置であったことや、イノシシ対策だけでなく、養豚場の防護にも使用される資材であったことから、

表-3.1 生息地利用に関する解析結果

| 変数 | 日中 | | 夜間 | |
|-------|----------|-----|----------|-----|
| | Estimate | P | Estimate | P |
| 標高 | -0.72 | *** | -0.41 | *** |
| 斜度 | 0.03 | * | -0.03 | * |
| 人工構造物 | -0.05 | *** | 0.05 | ** |
| 水田 | -0.42 | *** | -0.2 | *** |
| 耕作地 | -0.19 | *** | 0.25 | *** |
| 広葉樹林 | 0.06 | *** | 0.25 | *** |
| 竹林 | 0.44 | *** | 0.45 | *** |

*** : $P < 0.001$ 、** : $P < 0.01$ 、* : $P < 0.05$

表-3.2 経口ワクチンの摂食に関する統計結果

| 季節 | 変数 | 平均 | 2.5% | 97.5% |
|----|----------|-------|-------|-------|
| 夏季 | 事前給餌 | 0.86 | 0.65 | 1.06 |
| | 広葉樹 | -0.08 | -0.25 | 0.1 |
| | 竹林 | -0.12 | -0.43 | 0.19 |
| | 斜度 | -0.01 | -0.02 | 0 |
| | イノシシ密度 | 0.01 | -0.08 | 0.09 |
| | 散布機会 | 0.83 | 0.67 | 0.97 |
| 冬季 | 市街地からの距離 | -0.3 | -0.54 | -0.05 |
| | 事前給餌 | 0.2 | -0.05 | 0.44 |
| | 広葉樹 | -0.21 | -0.42 | 0.01 |
| | 竹林 | -0.52 | -0.87 | -0.17 |
| | 斜度 | 0 | -0.01 | 0.01 |
| | イノシシ密度 | 0.08 | -0.03 | 0.18 |
| 春季 | 散布機会 | -0.08 | -0.26 | 0.11 |
| | 市街地からの距離 | -0.28 | -0.72 | 0.15 |
| | 事前給餌 | 0.61 | 0.43 | 0.78 |
| | 広葉樹 | -0.07 | -0.22 | 0.07 |
| | 竹林 | 0.11 | -0.17 | 0.38 |
| | 斜度 | 0 | -0.01 | 0.01 |
| | イノシシ密度 | 0.09 | 0.01 | 0.17 |
| | 散布機会 | 0.66 | 0.53 | 0.79 |
| | 市街地からの距離 | 0.16 | -0.06 | 0.38 |

0 が 95%信用区間に含まれない場合、有意な効果を示す。

効果は限定的である可能性が示された。一方、他地域では米糠に対する嗜好性の報告されている²¹⁾ことから、地域差が存在している可能性がある。そのため、実施に先立つ予備試験として、今回と同様の嗜好性試験を行っておくことが望ましい。

次いで、米糠を上回る嗜好性が確認された圧片コーンを餌に誘引試験を行い、誘引狙撃等が可能となるまでの経過を、カメラを用いて観察した。圧片コーンは、米国で推奨されている量（1頭あたり5ポンド以下）を参考に、「1頭あたり2kg×3頭分」の計算で1回につき約6kgを置くこととした。その結果から、狙撃を実施できるようになるまでには、次に記す4つのプロセスを経ること明らかとなった。

- 認識期（10日間）：餌の摂食ならびに定常的な出沒が確認されるようになる期間。ただし、この期間は餌への執着が不十分であり、警戒心も残っている（図-3.6）ことから、出沒は夜間に限られていた。餌も完食されることなく、翌朝になっても食べ残しがあった。なお、最初に観察された出沒と餌の摂食は、それぞれ給餌開始後4日目と9日目であった。一方、タヌキは給餌開始翌日から出沒し餌を食べ始めていた。
- 馴化期前期（4日間）：安定的な出沒が達成され、給餌の翌朝までに餌が完食されるようになるまでの期間。ただし、この段階に至っても出沒は夜間に限られていた。
- 馴化期後期（10日間）：複数成獣の夜間出沒ならびに給餌日当夜の完食が固定化する時期。
- 安定期（給餌開始から25日以降）：日没時刻前の出沒が始まり、その定常化が進む時期。なお、この期間中、約3kgの餌を隔日で置く「給餌量・給餌頻度の半減期間」を設けても、誘引狙撃の実施に支障を来すような出沒状況の変化は観察されなかった。

誘引狙撃は「給餌場を、安心して飽食できる場所と認識し、そこに定常的に現れるようになった個体を撃つ」方法であり、後述する夜間銃撃を導入しない限り発砲は日没時刻前に限定される。したがって、誘引狙撃の実施には、少なくとも24日間の事前給餌が必要であることが示された。ただし、この結果は「有害鳥獣捕獲が継続的に行われている生息密度が2～3頭/km²の地域」で行われた誘引試験により得られたものであり、異なる生息状況のもとでは、異なるプロセスと日数で進行する可能性がある。

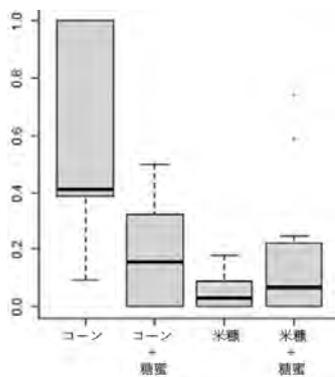


図-3.5 圧片コーンの利用頻度は、他の3種類の餌に比べ有意に高かった。



図-3.6 箱わな入口部での警戒姿勢と共通する「頭部のみを突き出す姿勢」での採食が続いた。

今回の誘引試験で用いた圧片コーンは20kgで1,845円（税込み）であったことから、1日の餌代は約554円となった。給餌を毎日行うとすると、誘引狙撃開始前の予備給餌に13,296円の餌代がかかることになる。ただし、安定期以降に前述の給餌量・給餌頻度を半減させる方式を導入すれば、1日あたりの餌代を約139円にまで減じることができる。

この誘引試験により、CSFの経口ワクチンの散布についても重要な示唆が得ることができた。農林水産省は「豚熱経口ワクチンの野外散布実施に係る指針 (<https://www.maff.go.jp/j/syouan/douei/csf/wildboar/attach/pdf/inosisitaisaku-19.pdf>)」を提示し、その中で「あらかじめ選定した経口ワクチン散布地点において、餌付けによる野生イノシシの誘引を行う」と記している。しかし、その際の留意点については、使用する餌の種類や形状、誘引される他の動物種の把握等に留まり、給餌地点への出現や餌の摂食開始に日数がかかる場合があることは明記されていない。そのため、経口ワクチンの散布を

行う場合には、「給餌地点への出現や餌の摂食には日数がかかる場合があり、生息状況によっては複数回の餌付けを数日間かけて行う必要がある」ことを認識しつつ計画を立てるべきと考えられた。

4.2.2 「誘引した個体の確実な捕獲」の実現に向けて

誘引狙撃の有効性検証にあたっては、ニホンジカで示されている距離条件²²⁾を参考に給餌地点から55m離れた地点にブラインド（図-3.7）を設置し、そこからの発砲を想定したシミュレーションを行った。実施日は給餌開始から43日後、48日後、51日後の3回である。

シミュレーションにあたり最も留意し対応の工夫をこらしたのは、「射手がブラインドに入る際に、付近もしくは給餌地点にいるイノシシを追い払わないようにすること」である。そのため、次の2点を考案・試行した。

- ① カメラの画像からイノシシが給餌地点にいる確率の低い時間帯を割り出す（図-3.8）。
- ② 通信式のカメラ（中部電気パワーユニットのサービス「らくモニ Camera（https://powergrid.chuden.co.jp/rakumoni_camera/）」）の導入によりリアルタイムでイノシシの在不在を確認できるシステムを整え、①で割り出した時間帯にイノシシの不在を確認した上でブラインドに接近し潜入する。

上記の①ならび②の実施により、イノシシは3回とも通常どおり給餌地点に出没し、特段の警戒行動を示すことなく餌の採食を続けていた。そのため、図-3.9に示すとおりライフルスコープ（銃には装着しない状態で、適法に運搬・使用した）の視野に入れることができ、時間的な余裕をもって狙撃できることが確認された。

さらに、給餌開始から73日後、76日後、85日後には、夜間銃撃を想定した日没後の時間帯を含む同様のシミュレーションを行った。暗くなってからのイノシシの視認を目的に、小型のスポットライト（Olight社Odin 2,000ルーメンフラッシュライト）を照射したところ、照射中もイノシシは逃走することなく採食を続けた。そのため、日没前のシミュレーションと同じく、日没後においても時間的な余裕をもって狙撃を実施できることが確認された（図-3.10）。



図-3.7 給餌地点から55m離れた位置に設置した使用したブラインド。

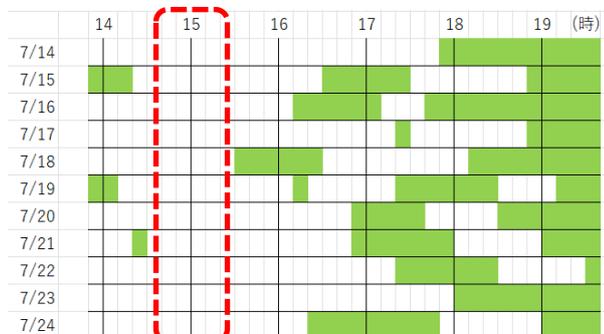


図-3.8 7月14日～24日のイノシシの出没状況。緑色部分はイノシシが出没していた時間帯。赤枠部分の15時前後にはイノシシが不在となる可能性が高いことが示されている。

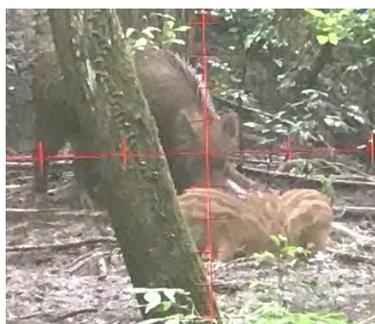


図-3.9 日没前に出没した個体に狙いを定めた状況。



図-3.10 夜間銃撃を想定し、スポットライト照射下で狙いを定めた状況。

4.2.3 「安全第一での遂行」の実現に向けて

4.2.2で触れたスポットライト（Olight社Oodin 2,000ルーメンフラッシュライト）および赤外線サーモグラフィー（HIKMICRO社LYNX Pro LE15）でイノシシを観察したところ、イノシシと人や他の動物の区別は容易であった（図-3.11、図-3.12）。したがって、これらの機種と同等のスペックを持つライトと赤外線サーモグラフィーを併用すれば、日没後でも安全に誘引狙撃を実施できることが確認できた。

なお、誘引狙撃を効果的に実施するためには、銃弾を脳・脊髄に命中させる必要がある²³⁾。そのため、誘引狙撃を確実に遂行するには、環境省が定める「夜間銃猟をする際の安全確保に関する技能の要件」を満たす者を射手とすることが望ましいと考えられる。夜間銃猟の技能要件の確認には、「50mの距離での銃の実射」を含む考査が行われ、この考査を通った者であれば「50m程度離れた場所にいるイノシシの頭部に銃弾を命中させ得る」技能を持つ（<https://www.env.go.jp/nature/choju/capture/event.html>）ことが確かめられているためである。

以上の誘引試験の結果ならびに誘引狙撃に係る実施可能性と有効性の検証を踏まえ、「イノシシの誘引狙撃における計画立案・運用のためのガイドライン（初版）」を作成した。



図-3.11. 赤外線サーモグラフィーでとらえたイノシシの画像。右側に成獣、左側に2頭の幼獣が写っている。



図-3.12. スポットライト照射下で見た人とシカのデコイ（距離は50m）。

4.3 自動撮影カメラ映像分析の効率化にむけた深層学習技術の適用

4.3.1 既存の判別器を新規期間・地点で取得された画像に適用した際の精度低下の評価

図-3.13に静止画セットA～Cを既存の判別器を用いて判別した場合のROC曲線を示した。縦軸に検出率、横軸に過検出率をとるROC曲線は、左上に位置するほど検出率が高く過検出率が低い、すなわち精度が高いことを示す。いずれの静止画セットにおける画像内の野生動物の在不在判別結果でも、安藤ら⁹⁾が報告した精度と比較して精度が低下したことが確認された。既存の判別器の学習に用いた教師付き画像と同じ地点で取得された静止画セットAでさえ、異なる期間に取得したデータでは判別精度が低下することが確認され、異なる地点で取得された静止画セットB、Cでは判別精度はさらに低下した。

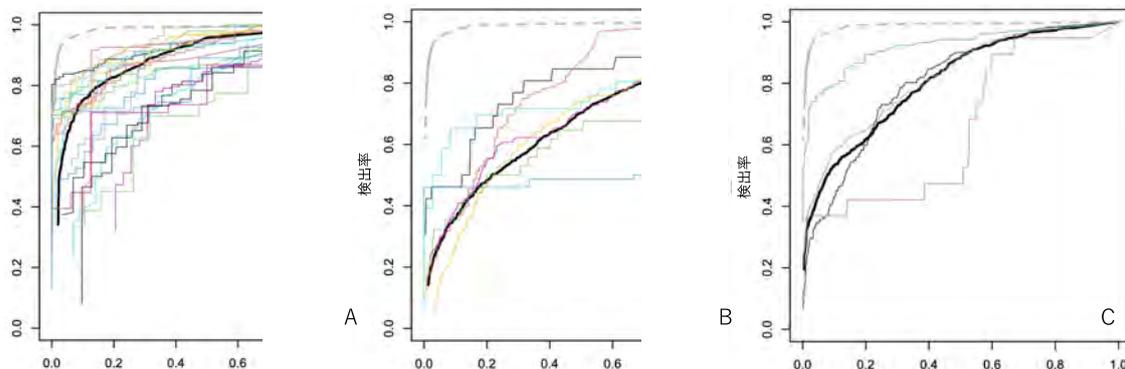


図-3.13 静止画セットA、BおよびCに対する既存の判別器安藤ら⁹⁾が報告した時点での既存の判別器の在不在判別精度。灰色点線は安藤ら⁹⁾が報告内で使用した評価データセットにおけるROC曲線、黒太線はそれぞれの新規静止画データセット全体でのROC曲線、カラー細線はデータセットに含まれる撮影地点毎のROC曲線を示す。横軸は過検出率、縦軸は検出率を示し、ROC曲線がグラフ左上の角に近づくほど判別精度が高いことを示す。

以上の結果から、先行研究で示されていた通り、既存の判別器を同一地点の新規期間、あるいは新規地点にて取得された画像に適用した場合、判別器を構築した時点での精度を担保することが困難であることが確認された。また、同一地点の新規期間にて取得された画像よりも新規地点にて取得された画像でより大きな精度低下が確認されたことから、既存の判別器を任意の地点で取得された画像に対してそのまま汎用することは困難であることが明らかとなった。Beeryら¹⁰⁾はこの精度低下の原因として背景が変わることによる影響を挙げている。また、今回用いた安藤ら⁹⁾の既存の判別器は野生動物の在不在、種判別および頭数推定といった複数のタスクを同一処理で実行しており、それぞれのタスク単位では最適な深層学習モデルとなっていない可能性がある。Beeryら¹¹⁾は野生動物の検出と種判別とを別のタスクとしてパイプラインを構築することを提案しており、高度に汎化した検出モデルであるMegaDetectorを公開している。日本国内のカメラ解析においてMegaDetectorの適用が可能であれば、背景の影響を除いた種判別モデルの構築が可能となることから、MegaDetectorが日本国内のカメラ画像において高精度で野生動物を検出できるかを検討することが望ましいと考えられた。

4.3.2 MegaDetectorを日本国内で取得された画像に適用した際の精度の評価

MegaDetectorを静止画セットAに対して適用し、野生動物の在不在判別に関する精度を既存の判別器と比較した結果を図-3.14に示した。静止画セットAに対するMegaDetectorの在不在判別の精度は、異なる期間とはいえ静止画セットAと同じ場地で取得された教師付き画像で学習した既存の判別器の精度を大きく上回ることが明らかとなった。この結果から、MegaDetectorが日本国内でカメラにより取得された画像から野生動物を検出するのに十分な程度まで汎化していることが示唆された。また、動画セットに含まれる全ての動画から抽出した静止画に対してMegaDetectorと既存の判別器とで野生動物の在不在を判別し、その精度を比較した結果を図-3.15に示した。既存の判別器においては新規地点で取得された画像となったこともあり、その判別精度は安藤ら⁹⁾で示された判別精度よりも大幅に低下した。一方MegaDetectorは動画セットに対しても高い判別精度を示した。以上より、MegaDetectorは日本国内でカメラによって取得された静止画・動画において野生動物を検出するのに十分汎化しており、かつ十分な精度を担保していることが示唆された。

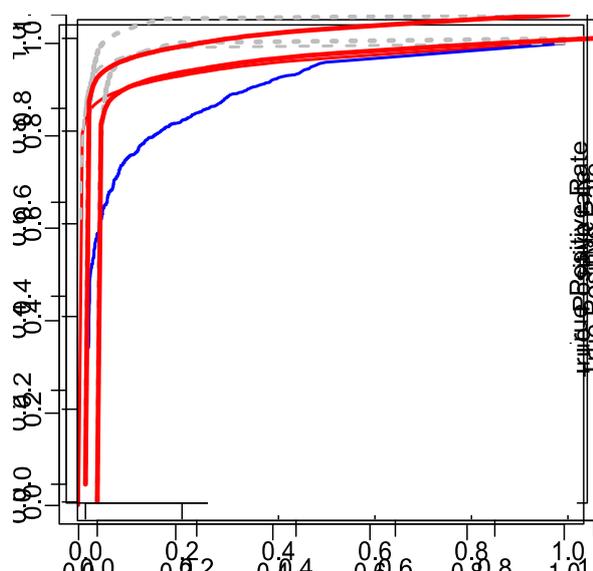


図-3.14 静止画セットAに対するMegaDetectorおよび既存の判別器⁹⁾の在不在判別精度。灰色点線は安藤ら⁹⁾が報告内で使用した評価データセットにおけるROC曲線、赤太線はMegaDetectorにおけるROC曲線、青太線は既存の判別器におけるROC曲線を示す。

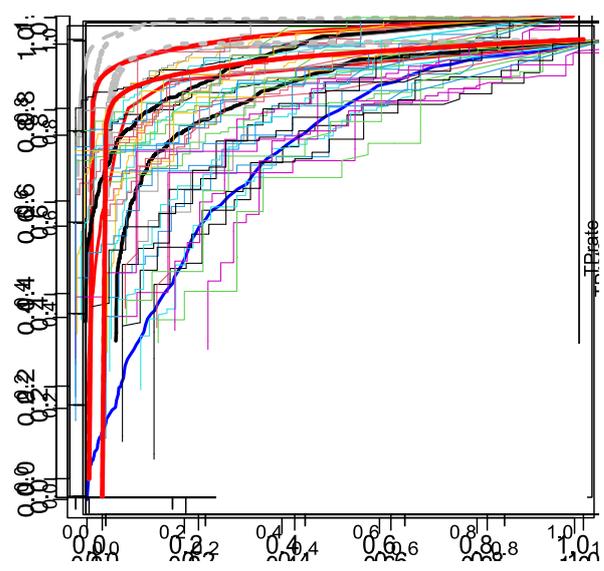


図-3.15 動画セットに対するMegaDetectorおよび既存の判別器⁹⁾の在不在判別精度。灰色点線は安藤ら⁹⁾が報告内で使用した評価データセットにおけるROC曲線、赤太線はMegaDetectorにおけるROC曲線、青太線は既存の判別器におけるROC曲線を示す。

4.3.3 Beeryら¹¹⁾が提案したパイプラインを動画に対して適用するためのプログラムの構築

MegaDetectorの判別精度が既存の判別器よりも高かったとの結果をうけ、主にRESTモデルにおいてカメラで取得された動画を深層学習によって処理することを想定し、Beeryら¹¹⁾の提案を拡張し、以下の①～⑤を一連の作業として処理するパイプラインを構築した(図-3.16)。

- ① 動画から任意の間隔でフレーム（静止画）を抽出する（今回は1秒間隔）
- ② 抽出された静止画をMegaDetectorで在不在判別し、在の場合は画像内で野生動物が写っている領域のバウンディングボックスの情報を取得する。
- ③ 静止画からバウンディングボックスを切り出す。
- ④ 日本国内の動物相を種判別する種判別モデルでバウンディングボックス内の動物種を判別する。
- ⑤ 種判別された結果を動画単位で集約し、動画に写っていた野生動物の種および滞在フレームの時間系列シーケンスデータを取得する。

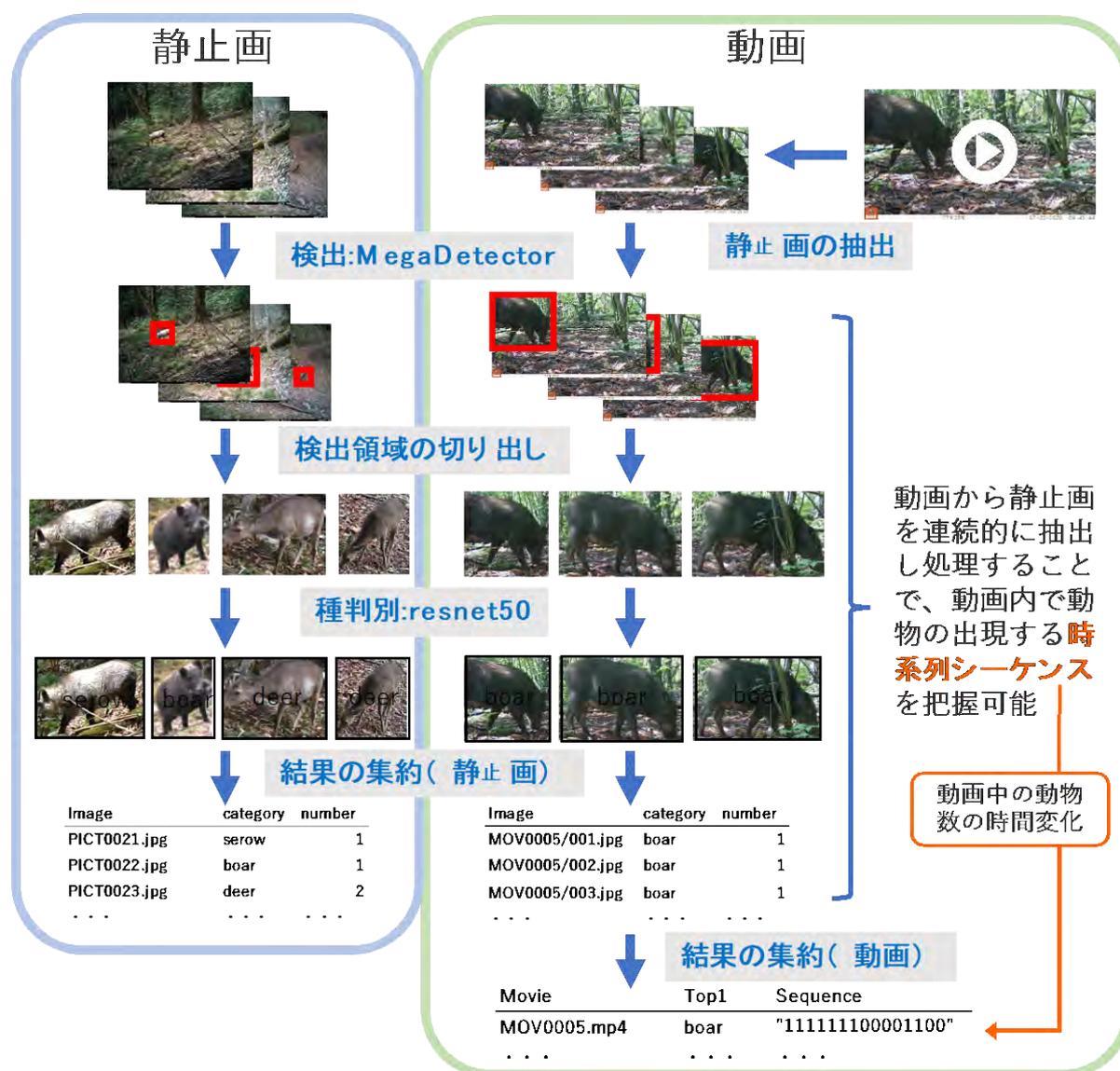


図-3.16 新規に構築した深層学習技術によるカメラトラップ映像判別パイプラインの概要

なお、このパイプラインは②～④の処理によって静止画にも対応することが可能である。また、④で用いた種判別モデルは、安藤ら⁹⁾が既存の判別器を構築する際に使用した約12万枚の静止画から

MegaDetectorによって検出された約3.7万枚の野生動物のバウンディングボックス領域を教師付きデータとして学習した深層学習モデル(resnet50)を用いた。

動画セットを用いてこのパイプラインの精度を評価したところ、全2,812本の動画に対してパイプラインでイノシシ在と判別された動画数が746本、このうち、実際にイノシシが写っていたものが176本、他の動物をイノシシと誤検出したものが570本であった。またパイプラインでイノシシ不在と判別された動画数が2,066本、このうち、実際にはイノシシが写っていたもの（＝見落とし）が36本、イノシシが写っていなかったものが2,030本であった。パイプラインで在と判別された動画を調査者が確認する場合、確認の対象となる動画は26.5%(746/2,812)まで削減できることが示された。また、今回見落としとなった36本の動画を個別に確認したところ、カメラからの距離が遠い、カメラに近すぎて動物の姿を確認できない、画角の端を短時間で通過するなど、全てがRESTモデルにおいて解析対象とならない動画であった。これらの結果から、本研究課題で開発された動画処理のためのパイプラインはRESTモデルによるイノシシの個体数推定において十分活用可能な判別精度を担保していることが示唆された。一連のプログラムおよびドキュメントはgithub (<https://github.com/gifu-wildlife/MDetToolsForJCameraTraps>) において公開した。

今後の課題として、種判別モデルの汎化が挙げられる。今回の種判別モデルは安藤ら⁹⁾が既存の判別器を構築する際に使用した教師付きデータセットで学習したが、このデータセットは野生動物の画像としてニホンジカのデータが全体の半数近くを占めるなど、動物種毎の画像枚数が非常にアンバランスとなっている。また、ニホンザル、ノイヌ、ノネコのようにデータセットにほとんど含まれない動物種の判別精度は非常に低いことが想定される。さらには、アライグマ、ヌートリア、キョンなど、データセットに全く含まれない種は判別カテゴリ自体が存在しない。今後日本国内の広い地域でこのパイプラインを活用していくためには、広く国内に生息する野生動物の画像データを集積した上で、各動物種の学習データ数のバランスを整え、日本国内の野生動物の種を判別するにあたって十分に汎化した判別器を構築していくことが望ましい。

5. 研究目標の達成状況

目標を上回る成果をあげた。

イノシシの実際の捕獲をとまなう試験は、CSFの感染拡大による生息密度の低下や分布域の縮小により実施には至らなかったが、CSF発生による密度低下時に「従来型捕獲での対応が困難になる際に求められる誘引狙撃の条件」を明らかにすることができた。また、「経口ワクチンの散布方法に係る提案」、「カメラ情報の解析に係る作業量の目標以上の低減」、「カメラで得られた動画を処理するためのパイプラインの岐阜県・兵庫県での実務への導入」の3点で目標以上の成果と判断される。そのため、サブテーマ3全体としては、「目標を上回る成果をあげた」と自己評価する。

- ・目標1：CSF発生地域におけるイノシシの生態学的・行動学的情報（行動圏・生息地選択の特徴、経口ワクチンの摂食に及ぼす要因の特定、拡散防止柵の横断状況）を収集することができた。これらの結果にもとづき、経口ワクチンの散布方法ならびにイノシシ拡散防止柵の設計・設置・管理に係る具体的提言を行うことができた。

- ・目標2：CSFの感染拡大による生息密度の低下や分布域の縮小により、誘引狙撃の実施には至らなかった。しかし、誘引狙撃に係る体制や手法、装備の提言等の目標は達成された。ガイドラインというスタイルを採ったが、マニュアルに替わる普及啓発文書も作成した。加えて、経口ワクチンの散布方法に係わる目標を上回る提案を行うこともできた。

- ・目標3：本研究で構築したパイプラインを岐阜市内（金華山周辺）で取得されたカメラデータに適用したところ、動画の約75%を除外することで作業量を1/4に圧縮することができた。また、本パイプラインを実行するためのプログラムおよびドキュメントを公開することができた。さらに、本パイプラインの岐阜大学応用生物科学部附属野生動物管理学研究センターおよび兵庫県森林動物研究センターへの導入を進めることができた。

6. 引用文献

- 1) 小寺祐二, 長妻武宏, 澤田誠吾, 藤原悟, 金森弘樹: 哺乳類科学, 50, 2, 137-144 (2010), 森林内での給餌はイノシシ (*Sus scrofa*) の活動にどのような影響を及ぼすのか.
- 2) 横山真弓, 江藤公俊, 木下裕美子: 兵庫ワイルドライフモノグラフ, 6, 43-58 (2014), 農地に隣接して生息するニホンイノシシの加害行動の解析.
- 3) E. CASAS-DÍAZ, F. CLOSA-SEBASTIÀ, A. PERIS, A. MIÑO, J. TORRENTÓ, R. CASANOVAS, I. MARCOL, S. LAVÍN, P. FERNÁNDEZ-LLARIO and E. SERRANO: Wildl. Biol. Pract, 9, 3, 19-26 (2013), Dispersal record of Wild boar (*Sus scrofa*) in northeast Spain: Implications for implementing disease-monitoring programs.
- 4) J. BOSCH, J. A. BARASONA, E. CADENAS-FERNÁNDEZ, C. JURADO, A. PINTORE, D. DENURRA, M. CHERCHI, J. VICENTE and J. M. SÁNCHEZ-VIZCAÍNO: PLoS One, 15, 5, e0233473 (2020), Retrospective spatial analysis for African swine fever in endemic areas to assess interactions between susceptible host populations.
- 5) T. IKEDA, M. ASANO, M. SUZUKI: Journal of Veterinary Medical Science, 83, 846-849. (2021), The potential negative impacts of the classical swine fever virus on wild boar population in Gifu prefecture, Japan. (Note) .
- 6) A. G. VILLA, A. SALAZAR and F. VARGAS: Ecological informatics, 41, 24-32 (2017), Towards automatic wild animal monitoring: Identification of animal species in camera-trap images using very deep convolutional neural networks.
- 7) M. S. NOROUZZADEH, A. NGUYEN, M. KOSMALA, A. SWANSON, M. S. PALMER, C. PACKER and J. CLUNE: Proceedings of the National Academy of Sciences, 115, 25, E5716-E5725 (2018). Automatically identifying, counting, and describing wild animals in camera-trap images with deep learning.
- 8) M. A. TABAK, M. S. NOROUZZADEH, D. W. WOLFSON, S. J. SWEENEY, K. C. VERCAUTEREN, N. P. SNOW, J. M. HALSETH, P. A. DI SALVO, J. S. LEWIS, M. D. WHITE, B. TETON, J. C. BEASLEY, P. E. SCHLICHTING, R. K. BOUGHTON, B. WIGHT, E. S. NEWKIRK, J. S. IVAN, E. A. ODELL, R. K. BROOK, P. M. LUKACS, A. K. MOELLER, E. G. MANDEVILLE, J. CLUNE AND R. S. MILLER: Methods Ecol. Evol., 10, 585- 590 (2019), Machine learning to classify animal species in camera trap images: Applications in ecology.
- 9) 安藤正規, 中塚俊介, 相澤宏旭, 中森さつき, 池田敬, 森部絢嗣, 寺田和憲, 加藤邦人: 哺乳類科学, 59, 1, 49-60 (2019), 深層学習 (Deep Learning) によるカメラトラップ画像の判別.
- 10) S. BEERY, G. VAN HORN and P. PERONA: Proceeding of the European Conference on Computer Vision (ECCV), 456-473 (2018) Recognition in Terra Incognita.
- 11) S. BEERY, D. MORRIS and S. YANG: arXiv preprint, arXiv:1907.06772 (2019), Efficient Pipeline for Camera Trap Image Review.
- 12) Y. NAKASHIMA, K. FUKASAWA AND H. SAMEJIMA: Journal of Applied Ecology, 55, 2, 735-744 (2018). Estimating animal density without individual recognition using information derivable exclusively from camera traps.
- 13) T. PODGÓRSKI, M. APOLLONIO and O. KEULING: J. Wildl. Manage, 82, 6, 1210-1218 (2018), Contact rates in wild boar populations: Implications for disease transmission.
- 14) E. N. BURKHOLDER, A. F. JAKES, P. F. JONES, M. HEBBLEWHITE and C. J. BISHOP: Wildl. Soc. Bull, 42, 3, 420-429 (2018), To jump or not to jump: mule deer and white-tailed deer fence crossing decisions.
- 15) E. LAGUNA, J. A. BARASONA, A. J. CARPIO, J. VICENTE and P. ACEVEDO: Pest Manag. Sci, 78, 6, 2277-2286 (2022), Permeability of artificial barriers (fences) for wild boar

(*Sus scrofa*) in Mediterranean mixed landscapes.

- 16) D. NANDINTSETSEG, C. BRACIS, K. A. OLSON, K. BÖHNING-GAESE, J. M. CALABRESE, B. CHIMEDDORJ, W. F. FAGAN, C. H. FLEMING, M. HEINER, P. KACZENSKY, P. LEIMGRUBER, D. MUNKHNAST, T. STRATMANN and T. MUELLER: *J. Appl. Ecol*, 56, 8, 1916-1926 (2019), Challenges in the conservation of wide-ranging nomadic species.
- 17) C. RUBIN, B. DUNHAM and J. SLEEMAN: *Microbiol. Spectr*, 2, 1, OH-16 (2014), Making One Health a reality-crossing bureaucratic boundaries.
- 18) G. SAUNDERS and H. BRYANT: *Wildl. Res*, 15, 1, 73-81 (1988), The evaluation of a feral pig eradication program during a simulated exotic disease outbreak.
- 19) P. A. LINDSEY, C. L. MASTERSON, A. L. BECK, and S. ROMÁNACH: Springer, *In Fencing for Conservation*, 215-234, *Eds*, M. J. SOMERS and M. HAYWARD (2012), Ecological, social and financial issues related to fencing as a conservation tool in Africa.
- 20) P. M. NEGUS, J. C. MARSHALL, S. E. CLIFFORD, J. J. BLESSING and A. L. STEWARD: *Wetl. Ecol. Manag*, 27, 4, 581-585 (2019), No sitting on the fence: protecting wetlands from feral pig damage by exclusion fences requires effective fence maintenance.
- 21) 池田 敬, 白川拓巳, 鈴木正嗣: *野生生物と社会* 6, 13-20 (2018), 5種類の誘引餌によるニホンジカとイノシシへの誘引効果の比較.
- 22) 八代田千鶴, 中村大輔: 平成23年度森林環境保全総合対策事業 野生鳥獣による森林生態系への被害対策技術開発事業報告書, 139-143 (2012), 課題3-5 森林内および隣接開放地におけるシカの効率的捕獲技術の開発.
- 23) 鈴木正嗣, 八代田千鶴: *水利科学* 58, 9-20 (2014), シカ捕獲事業における体制論と手法論 -シヤーブシューティングをめぐる考え方の整理-.

II. 成果の詳細

II-4 新規分布拡大地域における捕獲対策の効果検証

愛媛大学大学院農学研究科

武山 絵美

〈研究協力者〉愛媛大学大学院農学研究科

吉元 淳紀

〈研究協力者〉愛媛大学大学院農学研究科

久保田 彩水

【要旨】

愛媛県松山市中島地区イノシシ被害対策連絡協議会が取り組むイノシシの捕獲体制を再構築し、新たな捕獲体制モデル「地域協働型野生動物管理OODAループ」の構築に成功するとともに、そのマニュアル化を完了させた。また、OODAループの実効性を高めるため、「捕獲データ管理システムEconnect（イーコネクト）」を開発してその運用を基軸とした「イノシシの捕獲に係る包括的ワンストップ情報管理システム」の開発に成功した。

さらに、新規生息拡大地域に特有の捕獲体制の脆弱性に対し、「イノシシの新規生息拡大地域における地域主導の捕獲体制構築手法」を開発し、マニュアルを作成するに至った。また、Econnectにより収集した捕獲個体データおよび出生ピーク月の簡便推定結果を用いて、地域個体群に応じた捕獲戦略を立案する手法を開発した。

1. 研究開発目的

愛媛県松山市に属する瀬戸内海の島嶼である中島（21.1km²）では、海を越えて広島県方面よりイノシシが新規分布拡大した。2000年度に初めてイノシシが捕獲された後、2010年度より捕獲頭数が急増した。中島では、温暖小雨な気候条件の下、傾斜地を利用した柑橘類の生産が盛んに行われており、比較的温暖な冬期に柑橘類（廃棄ミカンを含む）などの十分な餌資源を得て、イノシシの生息拡大が促進される。2014年度には年間830頭のイノシシが捕獲されたが、捕獲者の実感としてイノシシの生息頭数が減少したとは感じられないことから、捕獲意欲が減少し、2014年度をピークに捕獲頭数は減少傾向にある。このような状況に対し、捕獲者からは「何頭捕獲すれば良いのか」「どのような方法でいつ捕獲に力を入れれば効率的・効果的な捕獲となるのか」との声が聞かれ、地域個体群に応じた捕獲戦略の必要性が強く指摘されていたものの、戦略を立案するための必要な科学的データが不足している状況であった。捕獲効果が捕獲者に見える形で提示されないことや、科学的データに基づく捕獲戦略の欠如は、捕獲者の捕獲意欲を減退させ、ひいては捕獲個体数の減少につながる。また、捕獲戦略の欠如は、少子高齢化の現状にある我が国の脆弱な人的資源を個体数減少に寄与しない捕獲に非効率に投入する結果を招く。これは、我が国全体の課題である。

そこでサブテーマ4では、地域経済の中核をなす柑橘産業に対しイノシシによる被害が甚大であり、柑橘産業に従事する専業農家が年間を通じて捕獲活動を継続するも被害が軽減されず捕獲意欲が減退している中島において、アクションリサーチの手法を用いて、主体的にモニタリングと捕獲に参画する体制を構築し、捕獲対策の効果を明らかにし、最も効果のある地域の体制を確立する。

2. 研究目標

- ・対策者主体の捕獲効果のモニタリングと密度指標調査の手法を確立する。
- ・島嶼・都市環境への分布拡大防止のための捕獲戦略を構築し、マニュアル化する。

3. 研究開発内容

3.1 対策者主体の捕獲効果モニタリング・密度指標調査手法「地域協働型野生動物管理OODAループ」の開発

イノシシの侵入を受けて地域住民が新たに狩猟免許を取得して設立した中島地区イノシシ被害対策防止連絡協議会（以下、イノシシ協議会）を対象に、研究者自らが地域のステークホルダーと協働して地域を調査し、研究者が科学的分析から課題の抽出を行って解決手段を検討し、その結果を再度地域に還元・実装して問題解決を図る「アクションリサーチ（参与型研究）」を行い、既存の捕獲体制を改良して新たに捕獲効果を捕獲者自らがモニタリングする体制を構築した。

具体的には第一に、新規侵入地の体制確立のために必要な社会条件（組織や支援制度等）を明らかにし、これを各地域の特性に応じて実装可能な汎用性のある手法にまとめ、**「イノシシの新規生息拡大地域における地域主導の捕獲体制構築手法」**としてマニュアル化した。

第二に、島内の全捕獲個体を集めて計測するための「捕獲ステーション」を整備し、地域組織（捕獲者を中心とした住民組織）により捕獲個体の計測・写真撮影等のデータ収集を行った後、データを電子タブレットに入力して情報管理および行政への報告を行う**「イノシシの捕獲に係る包括的ワンストップ情報管理システム」**を開発した。ここで、データを電子タブレットに入力する端末として、**「捕獲データ管理システムEconnect（イーコネクト）」**を開発した。Econnectは、あらゆる参画者が正確にデータを取得・入力できるようユニバーサル・デザイン化を行った。

第三に、地域主導の捕獲体制および包括的ワンストップ情報管理システムを基盤に、対策者が主体となって捕獲効果のモニタリングを行うための**「地域協働型野生動物管理OODAループ」**を構築し、**マニュアル化**した。OODAループ（ウーダーループ）とは、「O:Observe（観察）」「O:Orient（方向付け）」「D:Decide（意思決定）」「A:Action（実行）」の繰り返しにより、状況観察から未来を予測し、行動を決定・実行するという、米国の軍事研究家ジョン・ボイドにより提唱された一連の意思決定理論である。構築したOODAループに基づき、自動撮影カメラによる生息密度調査、捕獲個体からのサンプリング調査（年齢査定、胎児分析）、CSFサーベイランス、および全捕獲個体の捕獲情報収集を実施し、対策者主体の捕獲効果のモニタリングを行った。また、捕獲個体の頭胴長データから、地域個体群の出生ピーク月を簡便に推定する手法を開発した。

3.2 島嶼・都市環境への分布拡大防止のための捕獲戦略の構築

Econnectにより収集した捕獲個体データおよび出生ピーク月の簡便推定結果を用いて、**「地域個体群に応じた捕獲戦略を立案する手法」**を示した。この手法を用いて、中島個体群を対象に捕獲戦略を立案し、2021年度に、出生ピーク月の前後に箱ワナを用いたメス成獣の捕獲、囲いワナの導入など、新たな捕獲に取り組んだ。またその結果を検証するため、2022年度に再度、生息密度調査を実施した。その結果、0歳個体の出産および秋出産が個体数の増加に強く寄与していることが明らかとなったため、2023年度には夏期における0歳個体の捕獲強化や冬期の柑橘類管理によるエサ資源削減を新たな捕獲戦略に位置づけることとなった。このように、OODAループによる捕獲者主体のモニタリングとその結果を用いた捕獲戦略の立案が、順応的管理手法として継続的な捕獲の改善に資することを明らかにした。

また、超過疎・高齢化島嶼において、イノシシの生息個体数が人口を上回り、イノシシによる被害が生活の安全を脅かす現状を明らかにし、職能的捕獲者派遣の必要性を明示した。

4. 結果及び考察

4.1 イノシシの新規生息拡大地域における地域主導の捕獲体制構築手法

4.1.1 調査前の中島における捕獲体制の実態¹⁾

イノシシによる初被害が確認された当時（2000年）²⁾、中島にはイノシシ狩を行う狩猟免許所持者が存在せず、趣味で鳥猟を行う銃猟免許所持者が2名いるのみであった。その後、2013年5月、中島地区総代会（全17集落）が、総代会メンバー全員が参画するイノシシ協議会を設立し、その下部組織である中島本島支部の活動がスタートした。規約によれば、中島本島支部は11集落の正・副総代、狩猟部会（全捕獲者が所属）、解体部会、見回り部会、松山猟友会中島支部（全捕獲者が所属）、JA青果支部、および中山間地域直接支払組織（以下「中山間組織」）代表者協議会により構成される（図-4.1）。

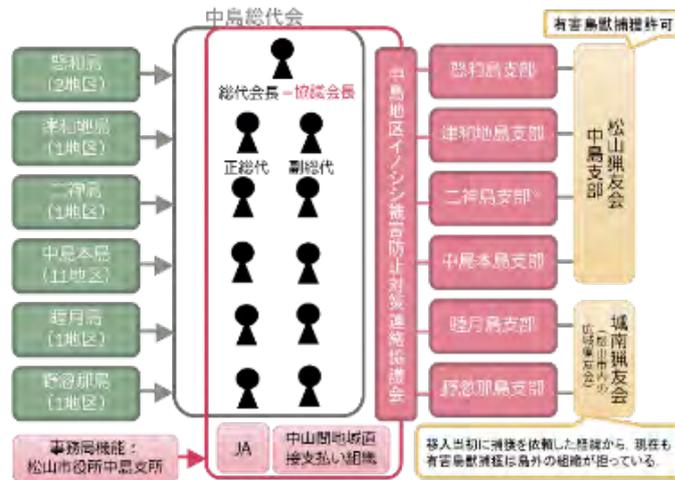


図-4.1：イノシシ協議会組織図

また、狩猟部会にはワナ班、猟銃班（ワナで捕獲された個体の止めさし等を担当）、資材班（ワナの制作を担当）の3つの班がある。事務局機能は松山市役所中島支所が担う。なお、中島では、周辺の3島（津和地島、怒和島、二神島）とともに松山猟友会中島支部を組織し、有害鳥獣捕獲許可を受けている。ただし、猟友会中島支部はあくまで許可の受け皿であり、猟友会中島支部長はその上位組織である松山猟友会とのパイプ役を担うに過ぎない。中島における捕獲の意思決定組織は中島本島支部であり、その長は狩猟免許の有無にかかわらず当年11名の総代から選出される。これらの地域間・捕獲者間で捕獲に係る情報が十分に共有されておらず、その情報・データに基づき捕獲戦略を立案して協働する体制を構築することが課題であった。

4.1.2 地域組織—狩猟者団体（猟友会等）の2層レイヤ構造の体制構築

中島における捕獲体制の構築プロセスおよび捕獲体制の運用実態から、イノシシの新規生息拡大地域における捕獲体制の構築にあたっては、旧村や小学校区・中学校区単位で、自治会やまちづくり協議会等の既存組織の下部組織としてイノシシ対策を担う部局を組織化することにより、地域全体の協力が得られやすいことが明らかとなった。以上を基に、イノシシの新規生息拡大地域における地域主導の捕獲体制モデルを図-4.2に示す。なお、「集落」は、最小の地域コミュニティであり、概ね自治会単位に相当する。また、「旧村」は、昭和の大合併以前に存在した最小の自治単位であり、農村地域では概ね小学校区に相当する。「旧市町村」は、平成の大合併以前に存在した最小の自治単位であり、農村地域では概ね中学校区、猟友会支部単位に相当する。

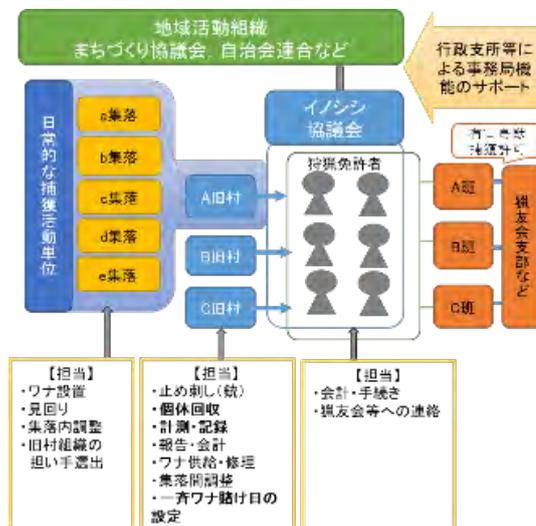


図-4.2：イノシシの新規生息拡大地域における地域主導の捕獲体制モデル

構築手法として、以下の2点が重要と言える。

1点目は、既存の地域組織を母体とし、捕獲組織を構築して捕獲を統括することである。すなわち、各集落・旧村の代表者からなる自治会、地域活動組織、まちづくり組織など既存の地域組織を母体として捕獲組織を構築することが、持続可能な捕獲の展開につながると言える。この組織に、猟友会等の狩猟者団体に所属する捕獲者に参画してもらうことにより、捕獲が各集落・旧村の活動であることを明確にすることが必要と言える。このような捕獲組織が地域との連絡調整役を担うことで、円滑に捕獲が進むと考えられる。

4.1.3 集落－旧村－旧市町の3層レイヤ構造の体制構築

2点目は、集落単位ではなく、旧村単位・公民館単位・旧市町村単位で広域連携体制を整えることである。集落単位ではなく、旧村単位・公民館単位・旧市町村単位で広域連携体制を整えることが重要である。これにより、集落単位では担いきれない捕獲個体の止め刺し、運搬、計測・記録・報告などの作業を複数集落からなる旧村や公民館活動単位で分担して担うことで、捕獲個体に係る情報が収集・共有可能となる。また、各集落から担い手を輩出することで、集落間が連携・協力する体制が整えられる。さらに、複数旧村からなる旧市町村で協議会を結成することにより、広域協力体制が整えられる。

4.2 イノシシの捕獲に係る包括的ワンストップ情報管理システムの開発

4.2.1 中島における捕獲データ管理の実態¹⁾

中島では、年間を通じて毎日、地域共同でのワナの見回り活動（以後「全体見回り」）が行われる。具体的には、見回り班を20班構成して、各班が連続3日の見回りを担当する。まず、班員が島全域のワナの見回りを行い、捕獲を確認すれば班長に連絡する。班長は銃担当者に連絡し、止めさしを要請する。止めさし後は、班員が捕獲個体を市役所中島支所駐車場の一角に設けられたヤードへ搬出し、行政担当者への報告、計測、記録を行う。その後、産業廃棄物として島外へ搬出するまでの一時保管のため、捕獲個体を梱包した後、大型冷凍庫へ格納する。

4.2.2 モニタリングデータの収集拠点としての捕獲ステーションの整備

中島における捕獲データ管理実態に係る調査結果から、既存の猟友会の最小単位（支部）、捕獲場所からの搬入距離、行政機関からの距離を考慮して捕獲ステーションを設置することや、捕獲ステーションに捕獲個体の処理機能を持たせることで捕獲個体の持ち込みを誘導することにより、「イノシシの捕獲に係る包括的ワンストップ情報管理システム」が構築できることがわかった。

具体的にはまず、旧村単位等で構築した捕獲組織単位で、捕獲ステーションを設けることが必要である。捕獲個体はすべて捕獲ステーションに運び込み、個体の外部計測や記録を実施する体制を整える。この捕獲ステーションを公民館等の行政関連施設に併設することにより、行政担当者等による捕獲確認作業を行いやすくなるほか、捕獲者－行政担当者間のコミュニケーションの場にもなる。コミュニティの活性化により、捕獲活動における地域組織による捕獲戦略の決定や、戦略に基づく捕獲が促進されることが期待できる。さらに、捕獲ステーションに解体・ジビエ生産施設や残渣（ざんさ）の処分施設を併設することで、捕獲個体の集積がよりスムーズに実施されると言える。

4.2.3 捕獲データ管理システム「Econnect（イーコネクト）」の開発

日本全国のほぼすべての自治体で、捕獲個体のデータは紙に記録され、そのデータがパソコン上のデータシートに転記され、さらにそのデータと使って捕獲個体数の集計や捕獲報告書の作成が行われている。このようなデータの転記・管理・報告書作成作業に膨大な時間が必要となり、本来は野生動物管理に係る対策に割かれるべき行政担当者の労力がこのようなデータのデジタル化作業に大量に割かれている。また、データのデジタル化に時間を要するため、捕獲個体数データ等がリアルタイムで把握されず、野生動物対応が後手に回る原因にもなる。そこで、捕獲個体のデータ収集・報告・管理プロセスをデジタル化・自動化することにより、継続的な捕獲活動の評価やリアルタイムでの地域個体群のモニタリングが必要と考えた。デジタル化かつリアルタイム化されたデータに基づき捕獲戦略を立案すれば効果的・効率的な捕獲の実施が可能になる。そこで本研究では、捕獲データ管理システム：Econnectを開発した。

Econnectは、iPadアプリとwebアプリの2つからなる捕獲データ管理システムである。行政担当者等が有害鳥獣捕獲個体の確認を行う際、捕獲者および捕獲個体の情報をiPadアプリ（図-4.3参照）を用いて入力・捕獲個体の写真撮影を行い、その後データを自動で送信し、パソコン上のwebアプリ（図-4.4）にて捕獲情報を一元的に管理できるシステムである。データはwebアプリを用いてパソコンで即時閲覧可能である。また、行政文書（ワード）の書き出しや集計ファイル（エクセル）の書き出しが可能となるため、各自治体における業務のスリム化も望める。



図-4.3：Econnect・iPadアプリの起動画面

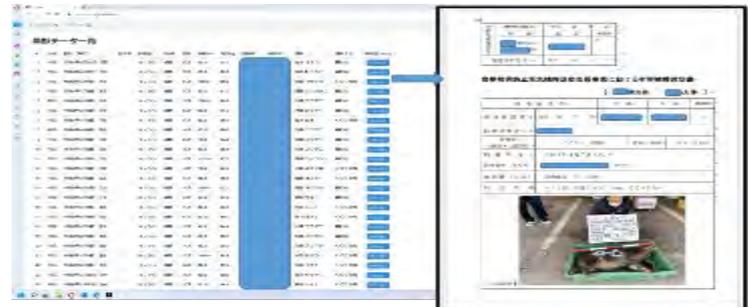


図-4.4：Econnect・webアプリのデータ閲覧・報告文書書き出し画面

このEconnectを松山市中島地区、同元怒和地区にて実装し、前者で650頭分（2021年3月16日～2022年1月20日の全捕獲データ）、後者で107頭分（2021年6月17日～2022年1月20日の全捕獲データ）の収集に成功した。行政担当者からは「作業が10分の1に簡素化されて作業効率に大きく貢献する」「ぜひ継続して使用したい」との声が聞かれた。また、捕獲確認者・入力者（図-4.5参照）からは「スマホやパソコンの操作は苦手だが、これなら自分でも入力できる」との声が聞かれた。



図-4.5：Econnectにデータを入力する現場の様子（元怒和地区）

4.3 地域協働型野生動物管理OODAループの構築と実装

地域の捕獲組織によるデータ収集（Observe：観察）、専門家等によるデータ分析および捕獲目標の提示（Orient：方向付け）、地域組織による捕獲戦略の決定（Decide：意思決定）、戦略に基づく捕獲（Action：実行）の4つのフェーズからなる「地域協働型野生動物管理OODAループ」を構築し（図-4.6参照）、中島地区に社会実装するとともに、実装の経験をもとにOODAループ構築のためのマニュアルを作成し公開した（<https://sites.google.com/view/hyogowildlife/suishin4g2001?authuser=0>）。OODAループの構築により、捕獲効果のモニタリング結果に基づき、各地域の実情にあった効果的・効率的な捕獲戦略を立案し、実行に移すことが可能になると考えられる。



図-4.6：地域協働型野生動物管理OODAループ

松山市中島にて、2020年度以降にOODAループを実装し、地域の捕獲組織によるデータ収集（Observe：観察）として、下記の4点を実施した。

- 1) 捕獲個体のデータ収集（日時、場所、性別、体長、体重、捕獲方法）：イノシシの捕獲に係る包括的ワンストップ情報管理システムにより、中島地区に整備した捕獲ステーションにおいてEconnectを利用し、2020～2021年度の全捕獲個体の捕獲日時、場所、性別、体長、体重、捕獲方法を収集した。この際、イノシシの成獣・幼獣の歯形模型（図-4.7参照）を用いることで、歯の萌出交換の観察に基づく年齢査定を、捕獲者が主体となって大まかに実施することが可能であることを確認した。
- 2) RESTモデルを用いた生息密度推定：RESTモデル（Random Encounter and Staying Time Model）³⁾は、地域内に設置した自動撮影カメラで得られる動物の動画を用いて生息密度を推定する手法である。環境研究総合推進費（4G-2001）において作成されたマニュアルに基づき、2020年および2022年に中島および二神島（ただし2020年のみ）にて生息密度調査を行った。なお、その具体的な結果はサブテーマ1の4.2.3において報告している。イノシシ協議会が主体となって本調査を実施することにより、赤外線センサー付き自動撮影カメラの設置場所の選定や地権者の許可取り付け、およびカメラおよびカメラ

設置位置周辺の継続的なメンテナンスが可能であることがわかった。

3) 捕獲個体からのサンプリング調査：2021年4月1日から2022年5月20日までに中島で捕獲された全560頭のうち、個体群の変動に特に影響を及ぼすと考えられる30kg以上のメスを対象に子宮・卵巣、頭骨のサンプリングを行った。捕獲ステーションにて、イノシシ協議会メンバーが持ち込まれた捕獲個体のサンプリングを行い、サンプルを冷凍保存することで、調査者が現場にてまとめて効率的にサンプル分析を行うことができることを確認した。調査期間内に捕獲された30kg以上のメス106頭のうち、96頭から子宮・卵巣、頭骨のサンプリングを行い、繁殖状況を分析するとともに、捕獲方法を整理することに成功した。

4) CSFサーベイランス：サブテーマ2との連携により、CSF感染モニタリングのためのおよび捕獲個体の血液収集、および環境水の収集を行った。手順をマニュアル化し、イノシシ協議会にて組織的にサンプルを収集することにより、正確かつ広範にサンプルを収集することが可能であることを確認した。

これら1)～4)で収集されたデータおよびサンプルを用いて、専門家等によるデータ分析および以下の①～④の捕獲目標等の提示（Orient：方向付け）を行った。

①捕獲目標頭数の設定：800頭/年

②10～11月に廃棄柑橘を用いた囲いワナを新たに導入

③メス成獣捕獲の重点化：3月16日以降に4度目の一斉ワナかけを実施

③ 土地利用マップを作成し、捕獲を効果的に行うことのできるワナ設置場所の検討

その結果、①～④が地域組織による捕獲戦略のとして決定（Decide：意思決定）としてされ、それに基づく捕獲等（Action：実行）が2021年度に実施された。以上により、データに基づく戦略の提示等からなるOODAループの運用が地域主体の捕獲活動の駆動力になることが実証された。

4.4 島嶼への分布拡大防止のための捕獲戦略の構築

4.4.1 捕獲個体の頭胴長データに基づく出生ピーク月の簡易推定手法

1) 妊娠率および胎児数：先述の96頭分のサンプル分析の結果、胎児の有無により妊娠が確認された個体は23頭であった。図-4.8に調査対象個体96頭の捕獲時期と胎子の有無を示す。3月捕獲個体に着目すると、捕獲された8頭中7頭が妊娠個体であり、高い妊娠率が確認された。次に、胎子数を図-4.9に示す。平均胎子数は4.4頭であり、捕獲時の年齢査定結果から3歳以上と推定された親で5.5頭、同じく2歳以上と推定された親で4.6頭、同じく1歳以下と推定された親で3.14頭となった。

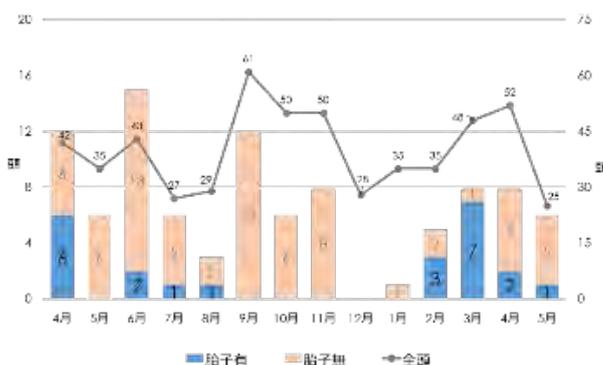


図-4.8：調査対象個体96頭の捕獲時期と胎子の有無



図-4.7：イノシシの歯形模型
(作成：鈴木正嗣教授・岐阜県受託研究)

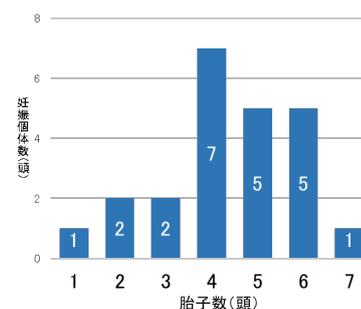


図-4.9：胎子数別にみた妊娠個体数
(n=23)

2) 出生ピーク月の推定：次に、妊娠個体から得られた胎子の体重から、ニホンイノシシの胎齢推定式⁴⁾を用いて胎齢を推定し、妊娠期間117日として受胎時期と出産時期を算出した。結果を図-4.10に示す。これにより、受胎のピークは12月末であり、これを含め12月～1月が主な受胎時期になっていることがわかった。また、出生ピークは4月下旬であった。兵庫県における既往の研究結果⁴⁾では、出生ピーク6月上旬とされており、中島個体群の出生ピークはこれに対し1か月ほど早い。これにより、幼獣の死亡率が上がる梅雨時期や餌量が減少する冬期までの期間が長くなるため、0歳個体の生存率が高くなる可能性が示唆される。また、2021年7月～2022年6月の1年間を抽出すると、4～6月の春出産が76%、8～10月の秋出産が24%となった。

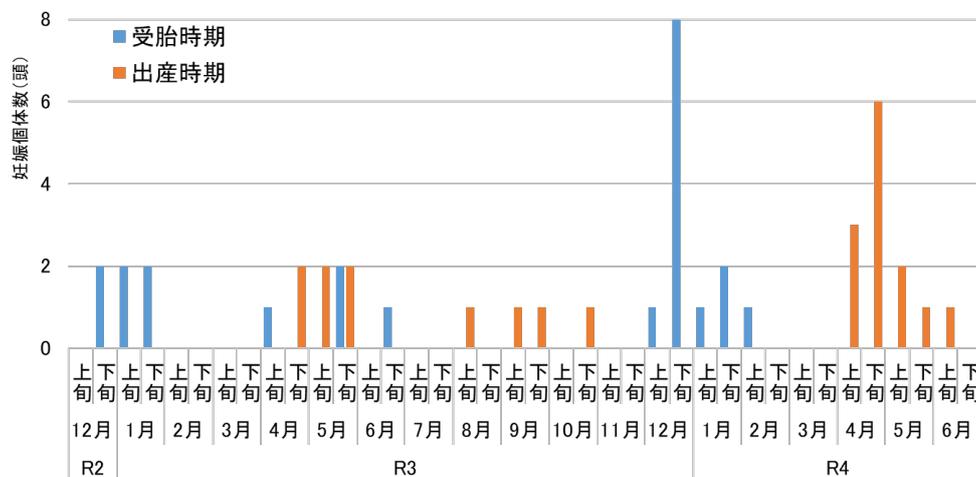


図-4.10：受胎時期と出産時期 (n=23)

3) 捕獲個体に占める頭胴長割合の変化：Econnectを用いて収集した捕獲個体の頭胴長データから、捕獲個体に占める頭胴長割合の月変動を整理した。結果を図11に示す。月別に見た捕獲個体の頭胴長割合は、その月の地域個体群の頭胴長割合を概ね表現していると考えられる。また、当年春生まれの個体数は、地域個体群において最も高い割合を占めると考えられる。つまり、図-4.11より中島個体群では、2021年4月下旬に出生ピークを迎えた後、出生個体の頭胴長は5月（出生後0～1ヶ月）に30cm、6月（出生後1～2ヶ月）に50cmと成長すると推定される。その後は、各頭胴長割合のピークが比較的分散して生じるが、これは出生個体に個体差が生じるためと推察される。すなわち、7～8月（出生後2～4ヶ月）に60cm、8～9月（出生後3～5ヶ月）に70cm、10～11月（出生後6～7ヶ月）に80cmと頭胴長が成長したと考えられる。以上により、各地域において捕獲個体の頭胴長データを収集することにより、地域個体群の出生ピーク月を簡便に推定することが可能と言える。なお、11月に再び頭胴長50cmの個体が捕獲され始めるが、これは秋出生個体の捕獲によるものと考えられる。1月に頭胴長60cmの個体の捕獲率も高くなるため、秋出生個体の生存率の比較的高いと推察される。また、受胎ピーク期にあたる1月において、すでに頭胴長90cmの割合が高くなる。このことはすなわち、4月下旬出生の0歳個体が約8ヶ月を経てすでに妊娠可能な個体に成長している可能性を示唆している。このように、受胎時期における頭胴長90cm個体の割合に注目することにより、地域個体群における満1歳出産の可能性の高低を検討する材料が得られることもわかった。

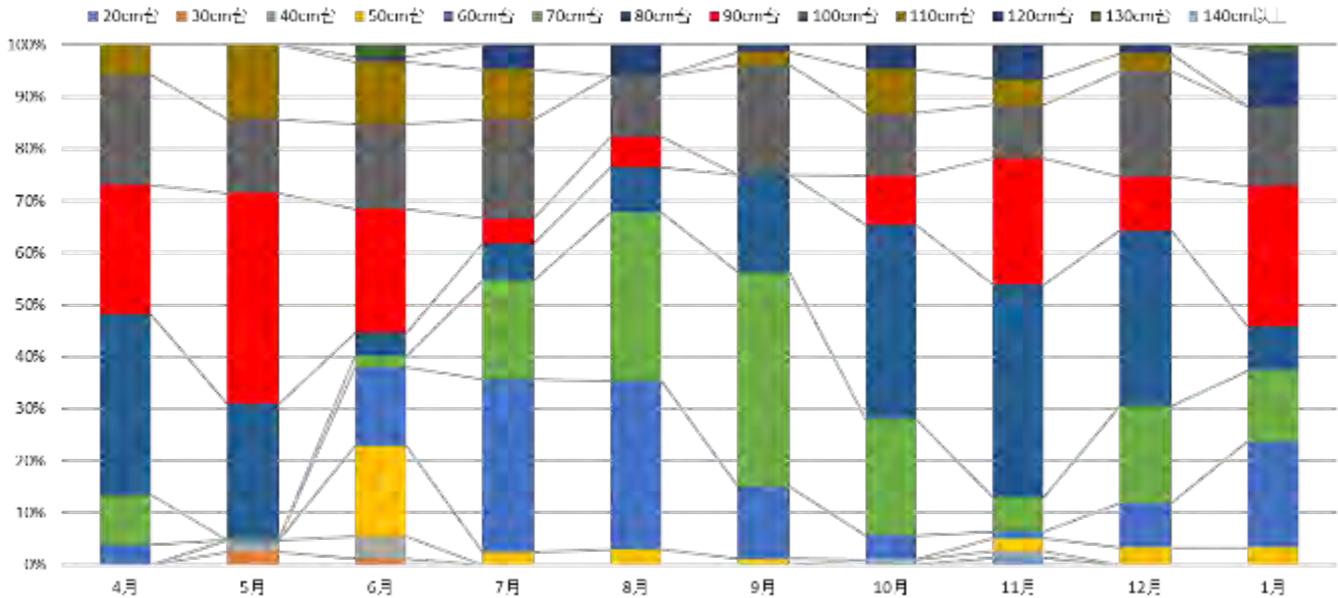


図-4.11：捕獲個体に占める頭胴長割合の変化（2021年～2022年）

4.4.2 地域個体群の出生ピークに応じた捕獲戦略の立案

30g以上メスの捕獲頭数の月変動を捕獲方法別に整理した。結果を図-4.12に示す。まず、2～6月に、箱ワナでの捕獲される頭数が多いことがわかる。この期間は、出生ピーク月となる4月の前後にあたり、地域個体群に占める活動中の幼獣の割合が最も低い時期に当たる。また、地域の特産品は柑橘類であり、廃棄される柑橘類が箱ワナの餌として活用できる時期でもある。すなわち、イノシシの成獣を捕獲する場合、2～6月に廃棄みかんを活用した箱ワナを積極的に活用することで、効率的・選択的に成獣を捕獲することができると考えられる。またこのように、出生ピーク月を特定し、その前後で箱ワナを活用することにより、成獣を効率的・選択的に捕獲する捕獲戦略を立案することが可能になると考えられる。

また、図-4.12より、12月および1月に、30kg以上のメスの捕獲率が極めて低くなることがわかる。この時期は、中島個体群において受胎シーズンに該当する。この時期には、オスが繁殖機会を求めて広範囲に活動することが知られており、その結果オスの捕獲率がメスの捕獲率を大きく上回ることと推察される。すなわち、メスの捕獲率を向上させるためには、受胎時期を簡便に推定し、その時期を避けて捕獲圧を重点的にかけるべき時期をもうける捕獲戦略を立案することが重要と言える。

さらに、前述のように、捕獲個体データ分析から地域個体群において0歳妊娠・1歳出産の可能性を確認することや、0歳個体の越冬の可能性を検討することにより、地域個体群管理における0歳個体の捕獲の重要性を確認することが可能になる。1歳出産の可能性や0歳個体の越冬の可能性が高いと判断される地域では、出産ピーク月以降の下記における0歳幼獣の積極的な捕獲を捕獲戦略に盛り込む必要性が高いと言える。

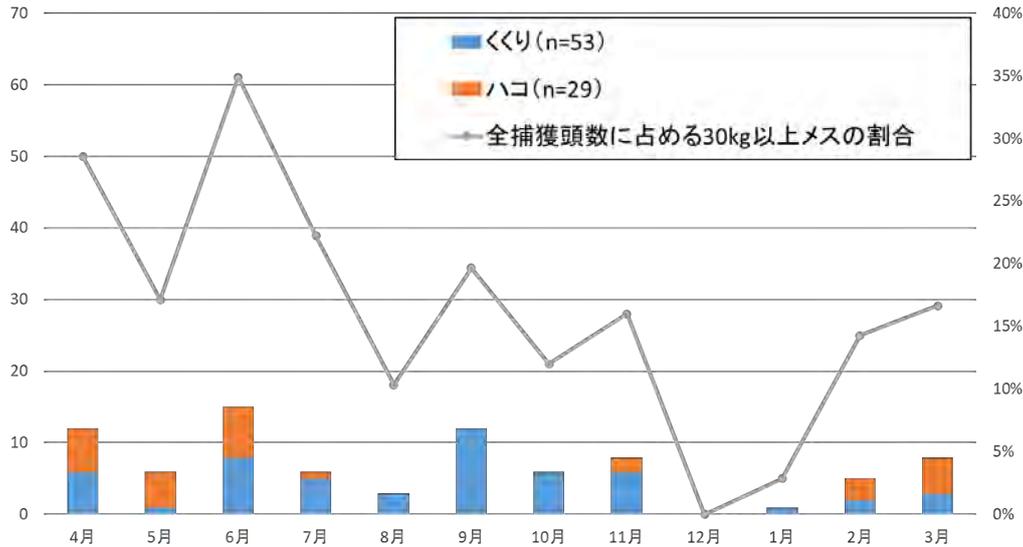


図-4.12：30kg以上メス捕獲頭数の月変動（2021年度，n=82）

4.4.3 超過疎・高齢化島嶼に対する職能的捕獲者派遣の必要性⁵⁾

サブテーマ1との連携により、愛媛県松山市二神島にて2020年6月19日～12月24日に19カ所の観測ポイントを設け、センサーカメラを設置してイノシシの出没状況に係る動画データを取得した。これを持ちいて、RESTモデルによりイノシシの生息密度を算出した結果、イノシシの新規移入後10年が経過した二神島において、令和2年12月時点におけるイノシシの生息密度は69.3頭/km²（中央値）と推定された。生息可能面積は1.70km²（住宅・柵あり農地等を除く島全体の86%）であるため、二神島の生息頭数は117.8頭と推定された。この頭数は、二神島の人口の1.4倍に相当した。

これに対し、島内在住の捕獲者は2名であり、平均年間捕獲頭数は推定生息頭数の12～34%であった。現況では、人家や農地へのイノシシの侵入が容易に起こり、倉庫の損壊や農地・農業施設付近でのイノシシの出産が見られ、人の安全が日常的に脅かされていた（図-4.13，図-4.14参照）。イノシシのさらなる生息拡大拠点形成および国土辺縁エリアの無人化を回避するためにも、生息頭数「0」を目指す捕獲が必要不可欠であると考えられた。また、島嶼などに見られる超過疎・高齢化が進行する島嶼等では、あらたな捕獲者を確保することは極めて難しく、島外からの職能的捕獲者の派遣など公的なサポートが必要であると言える。

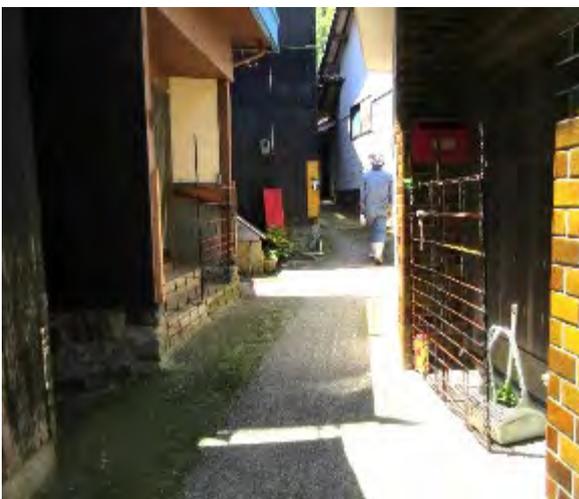


図-4.13：民家玄関前のワイヤーマッシュ柵
（2020年6月16日撮影）



図-4.14：ため池の副堤上に6つ並んだ出産巣
（2018年7月31日撮影）

5. 研究目標の達成状況

目標を上回る成果をあげた。

- ・目標1 「捕獲効果の可視化による対策者主体の捕獲モデルの確立」について

松山市中島地区イノシシ被害対策連絡協議会が取り組むイノシシの捕獲体制を再構築し、新たな捕獲体制モデル「地域協働型野生動物管理OODAループ」の構築に成功するとともに、そのマニュアル化を完了させた。また、目標を上回る成果として、OODAループの実効性を高めるため、「捕獲データ管理システムEconnect（イーコネクト）」を開発してその運用を基軸とした「イノシシの捕獲に係る包括的ワンストップ情報管理システム」の開発に成功した。

- ・目標2 「島嶼・都市環境への分布拡大防止のための対策マニュアルの作成」

新規生息拡大地域に特有の捕獲体制の脆弱性に対し、「イノシシの新規生息拡大地域における地域主導の捕獲体制構築手法」を開発し、水平展開のためのマニュアルを作成するに至った。また、Econnectにより収集した捕獲個体データおよび出生ピーク月の簡便推定結果を用いて、地域個体群に応じた捕獲戦略を立案する手法を開発した。

6. 引用文献

- 1) 武山 絵美, 金脇 慶郎, 吉元 淳記: 野生動物の新規分布拡大地域において地域主体の捕獲体制はどのように構築できるのかー海を越えてイノシシが移入した愛媛県中島本島に着目して.
- 2) 武山絵美: 農村計画学会誌, 35(1), 33-42 (2016), 瀬戸内海における海を越えたイノシシの生息拡大プロセスー愛媛県松山市全有人島を対象とした聞き取り調査に基づく考察ー.
- 3) Nakashima Y., Fukasawa K. and Samejima H. : Journal of Applied Ecology, 55(2), 735-744 (2018), Estimating animal density without individual recognition using information derivable exclusively from camera traps.
- 4) 辻知香, 横山真弓: 兵庫ワイルドライフモノグラフ, 6, 59-70(2014), ニホンイノシシの年齢査定方法.
- 5) 久保田 彩水, 武山 絵美, 東出 大志, 濱野 博幸, 政本 泰幸, 笹山 新生, 高木 俊, 横山 真弓, 小林 範之: 農村計画学会論文集, 23 (1), 9-18, (2022), 移入後10年が経過した島嶼におけるイノシシの生息実態ー愛媛県松山市二神島を対象として.

Ⅲ. 研究成果の発表状況の詳細

(1) 誌上発表

<査読付き論文>

【サブテーマ1】

- 1) D. HIGASHIDE, T. KURIYAMA, S. TAKAGI, Y. NAKASHIMA, K. FUKASAWA, G. YAJIMA, M. KASADA and M. YOKOYAMA: Wildl. Biol, 2021, 4 (2021) Effectiveness of signs of activity as relative abundance indices for wild boar.
- 2) 高木 俊、栗山武夫、杉本太郎、横山真弓、東出大志：兵庫ワイルドライフモノグラフ、15巻、15-27 (2023)、イノシシの生息状況把握における出猟カレンダーに基づく密度指標の有効性
- 3) 杉本太郎、高木 俊、栗山武夫、鴻村 創、横山真弓：兵庫ワイルドライフモノグラフ、15巻、39-50 (2023)、イノシシ掘返し痕跡の生成から消失までの追跡調査
- 4) 栗山武夫、大田康之：兵庫ワイルドライフモノグラフ、15巻、60-71 (2023)、兵庫県における2022年末までの豚熱の拡大の概要
- 5) 栗山武夫、大田康之、高木 俊、杉本太郎、横山真弓：兵庫ワイルドライフモノグラフ、15巻、72-83 (2023)、兵庫県における経口ワクチン散布による豚熱対策の効果検証と摂食率に影響する要因の解明
- 6) 吉村真由、横山真弓、栗山武夫：兵庫ワイルドライフモノグラフ、15巻、84-93 (2023)、兵庫県の島嶼部で捕獲されたイノシシの胃内容

【サブテーマ2】

特に記載すべき事項はない。

【サブテーマ3】

- 1) T. IKEDA, D. HIGASHIDE, T. SUZUKI, M. ASANO: Preventive Veterinary Medicine, 205, 105700 (2022) (IF:3.372), Efficient oral vaccination program against classical swine fever in wild boar population.
- 2) T. IKEDA, D. HIGASHIDE, T. SUZUKI, M. ASANO: Mammal Study (in press) (IF:0.723), Home range and habitat selection of wild boar (*Sus scrofa*) in rural landscape.

【サブテーマ4】

- 1) 久保田彩水、武山絵美、東出大志、濱野博幸、政本泰幸、笹山新生、高木俊、横山真弓、小林 範之：農村計画学会論文集、3(1)、9-18 (2023)、移入後10年が経過した島嶼におけるイノシシの生息実態—愛媛県松山市二神島を対象として—

<査読付き論文に準ずる成果発表>

【サブテーマ1】

特に記載すべき事項はない。

【サブテーマ2】

特に記載すべき事項はない。

【サブテーマ3】

特に記載すべき事項はない。

【サブテーマ4】

特に記載すべき事項はない。

<その他誌上発表（査読なし）>

【サブテーマ1】

- 1) 横山真弓：日本獣医学会誌、74, 12~17 (2021) 豚コレラ防疫のためのイノシシの密度管理～

捕獲強化策に対する「効果検証」の可能性と必要性.

【サブテーマ2】

特に記載すべき事項はない。

【サブテーマ3】

- 1) 池田敬：畜産技術、799, Dec, 2-7 (2021)「豚熱がイノシシ個体群に及ぼす影響と拡散要因の関連する情報」
- 2) 鈴木正嗣:岐阜県獣医師会報、61(2),9-10 (2021)「岐阜大学における最近の野生イノシシ研究」

【サブテーマ4】

特に記載すべき事項はない。

(2) 口頭発表 (学会等)

【サブテーマ1】

- 1) 横山真弓、鈴木正嗣:日本哺乳類学会2021年度大会 (2021) 自由集会「豚熱 (CSF) 対策に求められるイノシシのモニタリング手法と管理体制」企画(WEB配信)
- 2) 高木俊、東出大志、栗山武夫、杉本太郎、朴侑希、横山真弓：日本哺乳類学会2021年度大会 (2021) 兵庫県における REST モデルを用いたシカ・イノシシの密度推定とその事業化に向けての課題 (WEB配信)
- 3) 杉本太郎、栗山武夫、高木俊、東出大志、横山真弓:日本哺乳類学会2021年度大会 (2021) イノシシの広域生息動向の把握を目指した簡易密度指標の開発(WEB配信)
- 4) 東出大志:日本哺乳類学会2021年度大会 (2021) イノシシの生息密度の広域推定手法ー岐阜県における事例ー(WEB配信)
- 5) 高木俊、東出大志、栗山武夫、中島啓裕、深澤圭太、横山真弓：日本生態学会第68回全国大会 (2021) 自動撮影カメラ調査と痕跡調査によるシカ・イノシシの生息情報の同時収集と密度推定(WEB配信)
- 6) 横山真弓、鈴木正嗣:日本哺乳類学会2022年度大会 (2022) 自由集会「豚熱 (CSF) 感染拡大と生息密度の変動をいかに把握するか？」企画(WEB配信)
- 7) 高木俊、栗山武夫、東出大志、杉本太郎、横山真弓：日本哺乳類学会2022年度大会 (2022) イノシシの広域的な生息密度推定とデータ収集 (WEB配信)
- 8) 栗山武夫、高木俊、杉本太郎、横山真弓：日本哺乳類学会2022年度大会 (2022)イノシシの生息密度とCSFの拡散状況との関係
- 9) 栗山武夫、沼田寛生、吉村真由、高木俊、杉本太郎、東出大志、朴侑希、横山真弓：日本生態学会第69回全国大会 (2022) 自動撮影カメラによる島嶼に分布拡大したイノシシの生息密度推定
- 10) 飯塚健太、池田 敬、東出大志、鈴木正嗣:第26回「野生生物と社会」学会 (2021) イノシシ個体群における自動撮影カメラを用いた生息密度推定手法の比較検討

【サブテーマ2】

- 1) 大沼学、日本哺乳類学会2021年度大会 (2021) 環境試料と密度データを活用したCSFサーベイランス体制の構築 (WEB配信)
- 2) 大沼学、鍋島圭、栗山武夫、高木俊、杉本太郎、横山真弓：日本獣医学会第165回日本獣医学会学術集会 (2022) 野生イノシシの切断尾から得たスワブからの豚熱ウイルス検出
- 3) NABESHIMA K., Yokoyama M., Takagi S., Sugimoto T., Kuriyama T., Onuma M. 2022. Proposing a new approach for CSFV detection using environmental samples and swabs wiped on the skin. 70th Annual International Conference of the. WILDLIFE DISEASE ASSOCIATION,
- 4) 鍋島圭、大沼学、栗山武夫、高木俊、杉本太郎、横山真弓：日本哺乳類学会2022年度大会

(2022) 環境試料からのCSFウイルス検出法開発 (WEB配信)

- 5) 大沼学、鍋島圭、大沼学、栗山武夫、高木俊、杉本太郎、横山真弓：日本哺乳類学会2022年度大会 (2022)CSFサーベイランス強化にむけた有害捕獲個体試料の活用 (WEB配信)

【サブテーマ3】

- 1) 池田敬、東出大志、野瀬紹未、七條知哉、浅野玄、鈴木正嗣：日本哺乳類学会2021年度大会 (2021) 「岐阜県におけるイノシシの行動圏と分散距離から考える豚熱対策の提案 (予報)」
- 2) 池田敬：第26回「野生生物と社会」学会岐阜大会 (2021) 「イノシシ個体群への豚熱の影響に関する研究」
- 3) 池田敬、東出大志、浅野玄、七條知哉、鈴木嵩彬、野瀬紹未、鈴木正嗣：第26回「野生生物と社会」学会岐阜大会 (2021) 「イノシシは活動時と休息時にどういった環境を利用するのか？」
- 4) 鈴木嵩彬、池田敬、野瀬紹未、東出大志、七條知哉、鈴木正嗣：第26回「野生生物と社会」学会岐阜大会 (2021) 「野生イノシシの移動を抑制するための柵およびその隙間における哺乳類の横断状況」
- 5) 池田敬、東出大志、鈴木嵩彬、浅野玄：日本哺乳類学会2022年度大会 (2022) 「イノシシ個体群における豚熱経口ワクチンの摂食率に及ぼす要因の解明」
- 6) 中島啓裕、飯島勇人、深澤圭太、安藤正規、相澤宏旭：日本哺乳類学会2022年度大会 (2022) 「自動撮影カメラ映像のオープンデータベースの構築に向けて」
- 7) 池田敬、東出大志、鈴木嵩彬、浅野玄：第27回「野生生物と社会」学会北海道江別大会 (2022) 「岐阜県美濃加茂市の集落周辺に生息するイノシシの行動圏と生息地利用」
- 8) 松本亜佳音、野澤秀倫、岩澤淳、鈴木正嗣：第27回「野生生物と社会」学会北海道江別大会 (2022) 「岐阜県美濃加茂市における給餌地点へのイノシシの出没状況」
- 9) 鈴木正嗣、松本亜佳音、野澤秀倫、須藤一成、須藤明子：第27回「野生生物と社会」学会北海道江別大会 (2022) 「誘引狙撃と夜間銃猟はイノシシにも適用できるのか？」
- 10) 鈴木嵩彬、池田敬、東出大志、野瀬紹未、七條知哉、鈴木正嗣：日本哺乳類学会2022年度大会 (2022) 「岐阜県における豚熱拡散防止を意図した柵の概要と哺乳類の横断状況」
- 11) 池田敬：日本家畜衛生学会 (2022) 「野生イノシシの豚熱防疫～拡散要因と対策～」

【サブテーマ4】

- 1) 武山絵美：被害および捕獲データ収集集の実態—どうすれば正確なデータが集まるのか—, 「野生生物と社会」学会第27回大会, 酪農学園大学 (江別市), 2022年10月.
- 2) 吉元淳記, 武山絵美, 横山真弓：イノシシの捕獲個体情報を捕獲戦略の立案に活かす, 「野生生物と社会」学会第27回大会, 酪農学園大学 (江別市), 2022年10月.
- 3) 武山絵美, 横山真弓, 久保田彩水, 東出大志, 大沼学：イノシシの新たな捕獲体制構築に向けた取り組み—捕獲効果を検証しながら捕獲を進める—, 日本哺乳類学2021年度大会, オンライン開催, 2021年8月.
- 4) 吉元淳記, 武山絵美：イノシシ被害の持続的制御を可能にする地理的素因と被害管理手段, 令和3年度農業農村工学会大会講演会, 福島大学 (オンライン), 2021年8月.
- 5) 久保田彩水, 武山絵美, 東出大志, 横山真弓：移入後10年が経過した島嶼におけるイノシシの生息個体数, 「野生生物と社会」学会第26回大会, 岐阜大学 (オンライン開催), 2021年11月.
- 6) 武山絵美, 横山真弓：農地を守るための地域主体のイノシシ捕獲戦略, 「野生生物と社会」学会第26回大会, 岐阜大学 (オンライン開催), 2021年11月.

(3) 「国民との科学・技術対話」の実施

【全体共通】

- 1) エコプロonlien2020研究紹介「増え続ける野生動物の科学的管理をめざして」 (主催：一般社団法人サステナブル経営推進機構と日本経済新聞社環境再生保全機構による参加、環境省推進)

費の研究紹介、2020年、11月25日～12月25日、Web配信

【サブテーマ1】

- 1) 一般公開シンポジウム「野生動物の生態を被害対策にリンクする」（主催：兵庫県森林動物研究センター、2021年2月27日、youtube上開催、視聴回数1315回）にて講演
- 2) 地域のための獣害対策セミナー「自動撮影カメラが捉えた施設内の野生動物の生息状況」（主催：国崎クリーンセンター啓発施設ゆめほたる 2021年3月13日、国崎クリーンセンター啓発施設ゆめほたる、約30名）
- 3) 一般公開シンポジウム「境界なき野生動物との共存」（主催：兵庫県森林動物研究センター、2022年2月19日、オンライン開催、442名参加）にて講演
- 4) 一般公開シンポジウム「イノシシと豚熱（CSF）の新たなモニタリングと管理の手法」（主催：兵庫県立大学・国立環境研究所、2023年3月2日、オンライン開催、聴講者約200名）にて成果紹介「イノシシの密度をどのように把握する？」
- 5) 一般公開シンポジウム「イノシシと豚熱（CSF）の新たなモニタリングと管理の手法」（主催：兵庫県立大学・国立環境研究所、2023年3月2日、オンライン開催、聴講者約200名）にて成果紹介「イノシシの密度は豚熱や捕獲の影響でどのように変化する？」

【サブテーマ2】

- 1) 一般公開シンポジウム「イノシシと豚熱（CSF）の新たなモニタリングと管理の手法」（主催：兵庫県立大学・国立環境研究所、2023年3月2日、オンライン開催、聴講者約200名）にて成果紹介「豚熱の簡易モニタリング手法の開発」

【サブテーマ3】

- 1) 第6回 名大・岐大農学シンポジウム～TOKAIからSEKAIへ～（主催：2021年2月1日、オンライン開催、聴講者約100名）にて成果紹介
- 2) 愛知県における第3回渥美半島イノシシ捕獲根絶協議会「イノシシの行動圏調査と柵の隙間における哺乳類の横断状況について」（2021年12月21日、聴講者約30名）
- 3) 鳥取県における令和3年度畜産技術業績発表会「野生いのししと豚熱について」（2022年1月21日、聴講者約50名）
- 4) 宇都宮大学における第2回地域課題解決研修会「豚熱対策に関連するイノシシの生態」（2022年12月23日、聴講者約50名）
- 5) 静岡県獣医師会における産業部会講演会（2023年2月9日、聴講者約50名）「イノシシや野生動物の生態を踏まえた豚熱対策について」
- 6) 沖縄県における令和4年度指定管理鳥獣捕獲等事業 第2回検討委員会（2023年1月23日、参加者22名）「夜間銃猟の可能性に係る解析」
- 7) 一般公開シンポジウム「イノシシと豚熱（CSF）の新たなモニタリングと管理の手法」（主催：兵庫県立大学・国立環境研究所、2023年3月2日、オンライン開催、聴講者約200名）にて成果紹介「イノシシの行動特性から豚熱対策ポイントを探る」
- 8) 一般公開シンポジウム「イノシシと豚熱（CSF）の新たなモニタリングと管理の手法」（主催：兵庫県立大学・国立環境研究所、2023年3月2日、オンライン開催、聴講者約200名）にて成果紹介「イノシシの捕獲と経口ワクチン散布に関わる発想転換と今後のあり方」

【サブテーマ4】

- 1) 一般公開シンポジウム「イノシシと豚熱（CSF）の新たなモニタリングと管理の手法」（主催：兵庫県立大学・国立環境研究所、2023年3月2日、オンライン開催、聴講者約200名）にて成果紹介「海を越えて生息拡大したイノシシにどのように対応していくか？」

(4) マスコミ等への公表・報道等

【サブテーマ1】

- 1) NHKサイエンスZERO (2020年12月13日、「“害獣”イノシシ 研究最前線 科学の力で共生の道を」生息調査方法の最前線に関する取材とスタジオ解説)
- 2) 神戸新聞 (2021年3月31日、「48歳イノシシハンター、家島にデビュー ジビエ「驚くほどの味」、島嶼における生息密度調査について紹介
- 3) テレ朝ニュース (2021年4月7日、「カメラを使った新しいイノシシ研究 環境省も導入」、イノシシのカメラ調査の紹介と動画提供)
- 4) 読売新聞読売クオータリー (No58夏号「野生動物と人共生への道筋」)
- 5) 読売新聞 (2021年12月23日、「家島諸島 イノシシ急増」)
- 6) 朝日新聞 (2022年1月3日、「コロナ渦は自然のしっぺ返ししか「密」なイノシシから考えるリスク」)
- 7) NHKBSプレミアム番組「ワイルドライフ」(見つめあう 認めあう 素顔に迫る) イノシシ特集でのイノシシの生息状況及び都市出没、分布状況に関するコメントと撮影画像の提供
- 8) テレ朝ニュース (2021年4月7日、「カメラを使った新しいイノシシ研究 環境省も導入」、イノシシのカメラ調査の紹介と動画提供)
- 9) 読売新聞 (2021年12月23日、「家島諸島 イノシシ急増」、島嶼における生息密度調査について紹介)
- 10) 読売テレビ (2022年4月26日、「コロナ・SARS…発生頻度高まる動物由来の感染症、背景に何が? 新たなパンデミック防止に向けた対策研究最前線」、イノシシのカメラ調査の紹介と動画提供)
- 11) 毎日新聞 (2022年5月1日、「YOUはどこから? 人口4000人の離島にイノシシ600頭」、島嶼における生息密度調査について紹介)
- 12) ABCテレビ (2022年6月4日、「【徹底取材】離島で勢力拡大 急増するイノシシの謎 農作物が荒らされ住民と接触も」、イノシシのカメラ調査の紹介と動画提供)

【サブテーマ2】

特に記載すべき事項はない。

【サブテーマ3】

- 1) NHK岐阜 まるっとぎふ (2020年9月9日、「CSF感染確認から2年」取材と調査画像提供)
- 2) 中日新聞 (2021年4月14日、「豚熱後野生イノシシ減少 岐阜大の池田准教授ら把握県内3市で自動撮影 全国初の広域調査」)
- 3) 岐阜新聞 (2021年4月15日、「豚熱後の郡上、下呂、高山3市 イノシシ4分の1に減 岐大が広域調査 駆除捕獲など要因か」)
- 4) 岐阜新聞 (2022年2月13日、「豚熱が狩猟とジビエに大打撃 イノシシ肉流通自粛」)
- 5) 毎日新聞 (2022年4月3日、埼玉版、「豚熱根絶へ対策 なおイノシシ媒介か 19年、5農場で発生 減少から回復か 県が頭数管理強化へ」)
- 6) 日本農業新聞 (2022年9月22日、全国版、「『豚熱もう二度と』岐阜一丸 イノシシ検査8707頭 獣医師ら農場点検 国内再発生から4年」)

【サブテーマ4】

- 1) 農業共済新聞 (2020年12月3週号、2020年12月16日発行「ズバリ直言：野生動物に強い国づくりを」)

(5) 本研究費の研究成果による受賞

特に記載すべき事項はない。

(6) その他の成果発表

【共通】

- 1) 兵庫県立大学監修：環境研究総合推進費 4G-2001成果報告集「イノシシの個体数密度およびCSF感染状況の簡易モニタリング手法の開発」（2023）

<https://sites.google.com/view/hyogowildlife/suishin4g2001?authuser=0>（以下マニュアル類も同一URL）

【サブテーマ1】

- 1) イノシシの生息状況把握のための調査・分析マニュアル [掘り返し痕跡編]
- 2) イノシシの生息状況把握のための調査・分析マニュアル [自動撮影カメラ編]
- 3) 自動撮影カメラによる密度調査

【サブテーマ2】

- 1) 捕獲個体資料（切断尾）を活用した豚熱検査マニュアル

【サブテーマ3】

- 1) イノシシの誘引狙撃における計画立案・運用のためのガイドライン
- 2) 深層学習技術によるカメラトラップ映像判別パイプライン(MDetToolsForJCameraTraps)の公開
URL：<https://github.com/gifu-wildlife/MDetToolsForJCameraTraps>

【サブテーマ4】

- 4) 地域協働型野生動物管理OODAループ構築マニュアル

IV. 英文Abstract

Development of simple monitoring methods for population density and CSF infection status of wild boar

Principal Investigator: Mayumi YOKOYAMA

Institution: University of Hyogo, Tanba City, Hyogo, JAPAN

Tel: 0795-80-5500 / Fax: 0795-80-5500

E-mail: yokoyama@wmi-hyogo.jp

Cooperated by: National Institute for Environmental Studies, Gifu University, Ehime University

[Abstract]

Key Words: Camera trap, Community-based management, Deep learning, Environmental DNA, Home range, Index of rooting, OODA loop, Population control, Sharp shooting,

We aimed to develop a simple monitoring method to determine wild boar density and CSF infestation used environmental DNA methods over a free-ranging, and to develop capture strategies and CSF infestation prevention strategies, and to identify social requirements for community-based wild boar management. The results obtained were as follows. (1) We succeeded in developing a simple trace indicator that can be surveyed simultaneously with sika deer fecal pellet survey and established a method for estimating spatial habitat density in combination with REST model data. We also succeeded in saving labor by verifying the accuracy when the number of cameras was reduced based on the obtained data. (2) We succeeded in developing the "nestedPCR method" for detecting CSF virus from environmental water and were able to show the number of samples in relation to the wild boar density. We also established a method to detect CSF virus from the tails of captured individuals. (3) We calculated the home range size and dispersal distance of wild boars using GPS collars and identified areas of intensive use such as staying on steep slopes during the day and using abandoned fields at night. Based on this data, criteria for bait vaccine application range were provided. Guidelines for the sharpshooting were developed as an effective means of capturing wild boars under low densities after CSF outbreaks. As a method to properly extract wild boars from camera trap video data for the purpose of improving survey efficiency, we successfully developed a deep learning program that combines a discrimination model from MegaDetector and domestic images. (4) The construction of a "regional cooperative wildlife management OODA loop" and the capture data management system "Econnect" were developed as a capture data system that will serve as the basis for wild boar management. We also succeeded in developing a "comprehensive one-stop information management system for wild boar trapping" based on the operation of the system.

For the above specific methodologies, four manuals, one guideline, and one open-source program were developed and released.

(<https://sites.google.com/view/hyogowildlife/suishin4g2001>)