

Environment Research and Technology Development Fund

## 環境研究総合推進費 終了研究成果報告書

4-2006 侵略的外来哺乳類の防除政策決定プロセス  
のための対策技術の高度化  
(JPMEERF20204006)  
令和2年度～令和4年度

Improvements of countermeasures for the decision-making process of invasive alien mammals

〈研究代表機関〉  
沖縄大学

〈研究分担機関〉  
国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林総合研究所  
岐阜大学  
北海道大学  
一般財団法人自然環境研究センター

〈研究協力機関〉  
国立研究開発法人 国立環境研究所  
株式会社南西環境研究所  
日本獣医生命科学大学  
Landcare Research, NZ  
東京大学  
NPO法人どうぶつたちの病院沖縄  
株式会社奄美自然環境研究センター

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	
II-1 侵略的外来哺乳類根絶モデルの構築-マングース根絶に向けた最終ステージ- (沖縄大学)	15
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 特定外来生物クリハラリスのフィージビリティを考慮した防除モデルの検討 (国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所)	28
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 広域分布したアライグマの対策意思決定支援システム構築と革新的防除手法の検討 (岐阜大学、北海道大学)	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-4 ペット由来侵略的外来哺乳類の侵入パターンの解明と防除に関する科学的実装・・・・・・・・・・ 44

(国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所)

### 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-5 侵略的外来哺乳類の再侵入に対応するバイオセキュリティーモデルの提言・・・・・・・・・・ 55

(一般財団法人 自然環境研究センター)

### 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

## III. 研究成果の発表状況の詳細・・・・・・・・・・ 68

## IV. 英文Abstract・・・・・・・・・・ 73

## I. 成果の概要

課題名 4-2006 侵略的外来哺乳類の防除政策決定プロセスのための対策技術の高度化

課題代表者名 城ヶ原 貴通 (沖縄大学経法商学部 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

行政要請研究テーマ (行政ニーズ) (4-2) 侵略的外来種の早期発見・早期防除技術等の開発

研究実施期間 令和2年度～令和4年度

### 研究経費

112,000千円 (合計額)

(各年度の内訳：令和2年度：40,000千円、令和3年度：36,000千円、令和4年度：36,000千円)

### 研究体制

(サブテーマ1) 侵略的外来哺乳類根絶モデルの構築-マングース根絶に向けた最終ステージ (沖縄大学)

(サブテーマ2) 特定外来生物クリハラリスのフィージビリティを考慮した防除モデルの検討 (国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所)

(サブテーマ3) 広域分布したアライグマの対策意思決定支援システム構築と革新的防除手法の検討 (岐阜大学)

(サブテーマ4) ペット由来侵略的外来哺乳類の侵入パターンの解明と防除に関する科学的実装 (国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所)

(サブテーマ5) 侵略的外来哺乳類の再侵入に対応するバイオセキュリティモデルの提言 (一般財団法人自然環境研究センター)

### 研究協力機関

国立研究開発法人国立環境研究所、株式会社南西環境研究所、日本獣医生命科学大学、Landcare Research, NZ、東京大学、NPO法人どうぶつたちの病院沖縄、株式会社奄美自然環境研究センター

本研究のキーワード 外来哺乳類、フィージビリティスタディ、根絶モデル、防除技術開発、マングース、クリハラリス、アライグマ、ノネコ、バイオセキュリティ



## 1. はじめに（研究背景等）

外来生物法の施行以降、哺乳類を含む様々な外来生物の防除事業の実績が蓄積される中、対策の内容・手法のフィージビリティ（実行可能性）・実効性・効率性に関する評価の必要性が議論される段階に入ってきた。たとえば、世界が注目する奄美大島のマングース防除事業においては、マングースが超低密度化に至っており、「根絶宣言」に向けた最終評価が急務となっている。また、他の多くの防除事業においても、根絶や低密度管理の可否や事業の目標設定のあり方、在来生態系の回復の有無などの議論がなされはじめるなど状況が大きく変化している。このような進展が得られた今、蓄積された成功・失敗事例を詳細に検討し、様々な事業に共通する基本概念や手法を整理することで、フィージビリティの評価に基づく防除事業の指針の策定が可能となると考えられる。

## 2. 研究開発目的

本研究課題では、防除事業の初期から後期にわたる異なるフェーズにある侵略的外来哺乳類の防除をとりあげ、根絶確率モデルの構築、各種防除手法の開発ならびに防除事業の評価を行うことで、行政によるフィージビリティを考慮した防除事業の展開に資する事を目的として、以下の研究を行う。①根絶達成が間近に迫った奄美大島のマングースにおける根絶モデルの構築。②熊本県宇土半島のクリハラリスの根絶確率の推定。③宇土半島以外のクリハラリス個体群、アライグマについては順応的管理を含めた防除に関するフィージビリティを考慮した防除方針の指針策定。④侵略的外来哺乳類でありながら対策が遅れているネコに対する防除の効果検証および科学的実装の推進。⑤奄美、小笠原などの島嶼地域を想定した、根絶後を見据えた再侵入・非意図的侵入に備えたバイオセキュリティ体制に関するマニュアル化および実装化。これらを通じて、限られた予算の中で実施可能な侵略的外来哺乳類の防除指針を示すとともに、フィージビリティを考慮した防除のロードマップを提言し、「持続可能な開発目標の目標15（陸の豊かさ）」に貢献する。

## 3. 研究目標

全体目標	侵入初期から根絶、再侵入防止までを含めたテーマが連携することにより、侵略的外来哺乳類防除方針の決定・策定のための指針を示し、防除段階毎のフィージビリティを考慮した防除事業の展開に資する事を目的とする。
サブテーマ1	侵略的外来哺乳類根絶モデルの構築-マングース根絶に向けた最終ステージ
サブテーマリーダー /所属機関	城ヶ原貴通／沖縄大学
目標	マングースの分散推定を含めた空間明示型根絶確率評価を行い、奄美大島での根絶確率の推定を行い、奄美大島マングース防除事業へ情報提供をする。
サブテーマ2	特定外来生物クリハラリスのフィージビリティを考慮した防除モデルの検討
サブテーマリーダー /所属機関	安田雅俊／国立研究開発法人森林研究・整備機構
目標	特定外来生物クリハラリスの地域個体群の根絶にむけた手法の開発と化学的防除の効果検証を行い、外来リス防除の社会実装にむけたガイドラインを提示する。
サブテーマ3	広域分布したアライグマの対策意思決定支援システム構築と革新的防除手法の検討

サブテーマリーダー /所属機関	浅野 玄/岐阜大学
目標	フィージビリティスタディー（FS）をベースとしたアライグマ対策意思決定支援システムを開発して実用化する。アライグマの避妊ワクチン抗原の有効性を評価し、実用化に際してワクチン効果を事前評価するためのシミュレーションモデルを確立する。

サブテーマ 4	ペット由来侵略的外来哺乳類の侵入パターンの解明と防除に関する科学的実装
サブテーマリーダー /所属機関	亘 悠哉/国立研究開発法人森林研究・整備機構
目標	ネコ対策の効果の検証、および地域の特性に応じたネコの総合的対策のガイドラインを提示する。

サブテーマ 5	侵略的外来哺乳類の再侵入に対応するバイオセキュリティモデルの提言
サブテーマリーダー /所属機関	橋本琢磨/一般財団法人自然環境研究センター
目標	国内・海外のバイオセキュリティ実施状況に関する情報収集・整理、および環境DNAの検出を含むモニタリング手法によるモデル生物種（マングース）の在/不在検出手法の検証試験を通じ、島嶼における外来哺乳類の非意図的侵入に対するバイオセキュリティの簡易マニュアルを作成する。

#### 4. 研究開発内容

外来生物防除の一連のフェーズにある複数の侵略的外来哺乳類を対象とし、根絶確率モデルの構築、各種防除手法の開発ならびに事業の評価を行うことで侵略的外来哺乳類の防除方針決定・策定のための指針となるフィージビリティを考慮した行政による防除事業の展開に資する事を目標とする。

ST(1)ではマングースの個体識別、分散などの評価指標を含めた空間明示型根絶確率評価モデルの技術確立を行い、奄美大島での根絶モデルを構築する。

ST(2)では根絶寸前の宇土半島のクリハラリス個体群の根絶にむけた手法の開発と根絶確率の推定を行う。また無人島個体群における化学的防除の実施と効果検証ならびに在来近縁種と分布が重複する個体群におけるIoTを活用した防除技術の開発およびフィージビリティを考慮した防除モデルの指針を示す。

ST(3)ではアライグマの防除事業あり方そのものを見直す指標として、フィージビリティスタディに基づく意思決定支援システムの構築を行うとともに、この意思決定支援システム他種への検討を行う。さらに、広域分布対象種の革新的防除手法の検討として避妊ワクチン抗原の開発およびワクチンの実用化を想定したシミュレーション解析を行う。

ST(4)ではペット由来外来哺乳類としてネコを対象とし、日本全体のネコ問題の状況把握とネコ問題が生じる条件を抽出する。またネコに対する防除事業および適正飼養対策の実証性を検証すべく、ネコの密度推定と捕獲努力量のモデル化、既存の対策事業による効果の定量化をはかり、科学的実装性を伴った事業展開の提言を行う。

ST(5)では根絶後のバイオセキュリティに関する要点、体制のあり方を検討し、島嶼における侵略的外来哺乳類の非意図的侵入に対する簡易セキュリティマニュアルを策定する。さらにマングースの奄美大島への侵入経路となり得る沖縄島の港湾地域において探索試験、センサーカメラ試験などを実施し、奄美大島への再侵入リスクの評価を行う。

## 5. 研究成果

### 5-1. 成果の概要

#### 【サブテーマ1】侵略的外来哺乳類根絶モデルの構築-マングース根絶に向けた最終ステージ

マングースの個体識別、分散などの評価指標を含めた空間明示型根絶確率評価モデルの技術確立を行い、奄美大島での根絶モデルを構築することを目的とした。

#### ・マングースの個体識別および性別判別マーカーの開発

次世代シーケンサー (Novaseq 6000) を用いたショットガンシーケンスにより全ゲノム配列を取得した。得られた配列データを元に個体識別マーカーを開発した。その結果、17座位のマイクロサテライトマーカーならびに性別判別マーカーの開発に成功した。

#### ・糞DNA分析を用いたマングースの個体識別およびマングース検出パラメーターの推定

マングースの糞探索犬を用いた糞探索試験を、沖縄県名護市の嘉陽林道にて2020年度冬期に14日間、2021年度の春期に10日間の計22日間行った。探索試験の結果、726個の糞が採集された。採取した糞からDNA抽出を行い、種判別を個なした結果、526個の糞がマングース由来であった。これらの糞についてフラグメント解析を行った結果、139個の糞サンプルについて12座中8座以上決定することできた。PIDとPIDsibは、それぞれ $1.40 \times 10^{-6}$ と $1.49 \times 10^{-3}$ であったことから、十分に個体識別可能な精度を持つデータが野外から得られたと考えられる。結果として、95個体のマングース (オス45、メス45、性別不明5個体) を検出することに成功した。このうち、調査期間中に再検出された個体は、19個体であった。SECRを用いてマングースの検出率 ( $g_0$ ) と行動圏スケール ( $\sigma$ ) を推定した結果、それぞれ $7.04 \times 10^{-5}$  (95%CI;  $4.74 \times 10^{-5}$ - $1.05 \times 10^{-4}$ )、234.33 (m) (95%CI; 191.66 - 286.50) であった。このようにマングースの検出パラメーター算出に成功した。これらのパラメーターを根絶確率評価モデルに用いることで、根絶宣言の論拠となる指針を提供することが可能となった。

#### ・統計モデルを用いたマングースの根絶確率算出

本研究では、単一手法よりも厳密な基準で根絶確率の評価を行うため、Harvest-based model (HBM) によるエリアベースの根絶確率算出とRapid eradication assessment (REA, Samaniego-Herrera et al. 2013) による個体ベースの根絶確率算出の両方を実施した。その結果、REAはHBMに比べて空間的な個体密度の均一性に関する過程が緩いため、より厳しい根絶確率の評価となった。HBMでは最後のマングース検出のあった2018年度以降済みやかに根絶確率が上昇し [redacted]。一方、REAの根絶確率が [redacted] であった。また、HBMでは計算コストの制限により空間解像度を上げることが困難であったが、それをクリアすることでREAの根絶確率に近づくと考えられた。HBMは捕獲データや導入履歴などオンサイトの情報のみから根絶確率を算出できるメリットがあるため、今後空間解像度を上昇させる方向で技術の開発を進めることが今後の効率的な根絶評価につながると考えられた。

#### ・日本におけるマングースの移入史

計画には無かったが、個体識別マーカーの有効性の検証および日本におけるこれまでのマングースの移入史を遺伝学的側面から整理するために、追加研究を行った。本研究で初めて、日本の (沖縄島の) マングースのミトコンドリアDNA全長配列の決定に成功した。ミトコンドリアDNA全長配列を用いたML系統樹では、沖縄の系統がフィジーのファイリマングースと姉妹群を形成し、日本に生息するマングースはファイリマングースであることが再確認された。Cytbの分析結果では、日本集団には二つのハプロタイプが存在することが示された。UaC6は、沖縄、奄美、喜入集団全てで確認され、UaC10は奄美集団のみにて確認された。この二つのハプロタイプは、一塩基置換によって異なっていたことから、UaC10はUaC6から派生したもの、もしくは、本研究ではUaC10を他集団から検出できなかった可能性が考えられた。またハプロタイプネットワーク樹の結果から、日本のハプロタイプは、他国のものとは異なることが示された。

さらに、ミトコンドリアDNAとマイクロサテライトを用いた分析により、日本のマングース集団の遺伝的特徴を詳細に示すことができた。結果として、日本のマングースは小集団に起因することが示唆さ

れた。これは13~17頭が沖縄に持ち込まれたとする報告（岸田 1931）と一致していた。また、沖縄一奄美集団間および沖縄一喜入集団間がそれぞれ遺伝的に近かったことから、沖縄集団を起源に、奄美大島と喜入にマンダースが移入されたと考えられた。

#### ・マンダースの糞DNA劣化検証実験

計画には無かったが、アドバイザーボード会合にてアドバイザーから指摘を受け、追加で糞劣化試験を行った。試験にはカバー有りとカバー無しにて行った。その結果、カバー無の環境に設置した糞は、設置後14日でほとんど溶解し、20日目には全て消失していた。一方カバー有の環境に設置した糞については、40日目でも13個の糞が溶解せずに残っていたため、40日目の糞サンプルとして分析し、実験を終了した。分析の結果、Day0のCt値、SSRのAF、CG、性判別マーカーのAF、SIの平均値は、それぞれ、24.50、8.33%、70%、30%、70%であった。各環境における実験期間の平均値は、カバー無のサンプルが29.33、62%、20%、87.5%、10%、カバー有のサンプルが、24.91、25.84%、53.47%、50.42%、46.67%であった。GLMM解析の結果、全ての分析座において、カバー有のサンプルは日数が経過してもDNAの分析成功率が高いままであった。一方で、カバー無のサンプルは、日数経過とともに分析成功率が下がる傾向が見られた。すなわち、カバーの有無と日数経過が糞DNA分析成功率に強く影響することが示された。

### 【サブテーマ2】特定外来生物クリハラリスのフィジビリティを考慮した防除モデルの検討

#### ・根絶寸前のクリハラリス个体群

クリハラリスの宇土半島个体群（熊本県宇土市・宇城市）では、2008年の公式確認以降、クリハラリスの地域根絶を目標として、箱罍を用いた防除捕獲が継続的に行われてきた。本格的な防除が開始された2010年度の初期生息数は約5000頭と推定された。初期には捕獲報奨金制度を活用して強い捕獲圧をかけ、後に専従の捕獲従事者を雇用することで捕獲圧をかけ続けた。宇土半島个体群ではこれまでに約6000頭のクリハラリスを捕獲したが、このうち過半数を初年度（2010年度）に捕獲した。低密度化を達成した2018年度頃から、新たに開発した探索捕獲の手法（ベイト法と罍法の組合せ）を取り入れることとした。探索捕獲とは、本種の生息を確認した後に罍を設置する防除手法で、防除の効率を高めることができる。またベイト法とは、ツバキ油を塗布したクリの実2個とオレンジ色のプラスチック球2個を組み合わせた誘引餌（ベイト）を約150~200m間隔で配置し、定期的に見回ることにより、クリのの実の喫食の有無からクリハラリスの在不在を把握する調査手法である。

本推進費では、宇土半島において、ベイト法によるクリハラリス残存個体の探索捕獲を3冬（2020年度、2021年度、2022年度）実施した。具体的には、過去のクリハラリスの捕獲地点や、地形が険しいためこれまで罍密度が低かったエリア等の情報に基づいて、年毎にベイト法の調査地を設定し、国（環境省）、2市、森林総研が異なるエリアを分担した。これら4者間で調査方法を統一することにより、防除の大幅な効率化が可能となった。宇土半島全体の年間捕獲数は2020年度15頭、2021年度3頭と減少し、2022年度に初めて0頭を達成した。初期段階から13年間にわたり強い捕獲圧をかけ続けてきたことにより、本个体群は2022年度末現時点でほぼ根絶状態に達した可能性がある。今後数年間は十分なモニタリングを実施する必要がある。

#### ・無人島のクリハラリス个体群

高島个体群（大分県大分市、分布面積約1km<sup>2</sup>）では、クリハラリスの地域根絶を目標として、2018年度から箱罍を用いた定期的な防除捕獲をおおむね年2回、春秋に実施してきた。本推進費では、罍法による捕獲を引き続き実施するとともに、クリハラリスを標的種とした本格的な化学的防除を日本で初めて実施した。化学的防除にはダイファシノン0.005%を含有する薬剤（劇物）を用い、樹幹に架設した特製のベイトステーション内のプラスチックケースに入れて供した。一部のベイトステーションを自動撮影カメラで監視し、薬剤を喫食する動物を記録した。2020年度冬に島の一部エリアを対象とする化学的防除の野外試験を行い、この結果とクリハラリスのCPUE（100罍日あたりの捕獲数）に基づいて、その後の全島的な野外試験における薬剤の投入量を決定した。本推進費では全島的な化学的防除の野外試験を2回実施した。第1回目の試験（2021年度冬）では、薬剤を喫食した動物としてクリハ

ラリスと外来種クマネズミが記録され、試験前後でクリハラリスのCPUEは97%低下した。非標的種（鳥類）による薬剤の喫食事例は確認されなかった。第2回目の試験（2022年度冬）の直前に実施した罠法による捕獲ではクリハラリスは捕獲されず、また第2回目の試験では薬剤を喫食した動物としてクマネズミのみが自動撮影カメラで記録されたことを考慮すると、この時点ですでに標的種は極めて低密度な状態に達していたとみられる。今後数年間は十分なモニタリングを実施する必要がある。本研究で化学的防除の実施にあたっては、環境省・大分県から鳥獣保護管理法における危険猟法および捕獲等の許可を得る必要があった。

#### ・IoTを活用した防除技術の開発

クリハラリスの防除では箱罠による捕獲（生捕り）が主に行われている。捕獲個体の福祉と非標的種の錯誤捕獲の防止のため、1日1回は罠を見回る必要がある。そこで見回りの効率化のため、携帯電話の4G通信網を介して罠の状況を監視するIoTシステムを設計した。振動センサーを内蔵した市販の小型捕獲報知器を採用し、これを野外に設置したリス用の箱罠に装着した。本システムは、罠の扉が閉まるときの振動を検知して、それを捕獲の発生としてインターネット経由で捕獲従事者に伝える仕組みを備えている。本推進費では、クリハラリスが分布する有人エリアと無人エリアにおいて本システムの野外試験を行ったところ良好な成績を得た。4G通信網の圏内では本システムは高い精度で有効に機能した。無人島個体群（大分県高島）では、圏外であった一部のエリアにおいて本システムの利用ができなかったものの、圏内にある捕獲困難エリアの箱罠の稼働状況を遠隔地から把握することができ、これにより捕獲作業の効率を大幅に高めることができた。本システムを2021年に新たに発見されたクリハラリス個体群（大分県別府市）の初期防除に活用したところ、2022年度末までに最小限の見回り回数で計11頭のクリハラリスを捕獲することができ、また非標的種の在来ネズミ類の錯誤捕獲死を回避することができた。

#### ・防除のガイドライン

本研究で主な調査地とした熊本県と大分県の事例に、他都府県における防除事例を加えて、日本におけるクリハラリス防除の分析を行なった。その結果に基づき、クリハラリス防除のガイドライン案を作成した（別添資料）。

### 【サブテーマ3】広域分布したアライグマの対策意思決定支援システム構築と革新的防除手法の検討

#### ・フィージビリティスタディに基づく意思決定支援システムの構築

国内アライグマ防除の現状としては、1) 全国の地方自治体や組織でアライグマ対策を実施しているものの、その多くは形式的な対策に過ぎず、適切な目標設定を欠き、成果のモニタリングも示行われてはいないこと、2) 農業被害防止のための対症療法的捕獲事業が全国で展開され、地域のアライグマ生息状況も不明なまま、根絶を目標にした盲目的に捕獲を実施しており、計画的・順応的防除体制の構築が急務である、という課題が整理された。その結果、アライグマ防除においては、技術・戦略的課題よりも社会的体制整備が喫緊の課題であり、本サブテーマで取り扱うフィージビリティスタディ導入の重要性と対策意思決定支援システム構築必要性が整理された。そのような社会的要求に基づき、まずはアライグマの根絶目標に関するフィージビリティスタディの定性的評価条件を整理し、必須条件4条件と希望的条件5条件の計9条件を決定した。その上で、フィージビリティスタディによる防除目標の適正設定を確認した後に、捕獲努力量当たりの捕獲数（CPUE）を指標に用いて、アライグマ生息数を低減するために必要な予算算出対策意思決定システム、および捕獲実績がその後のアライグマ生息数抑制に及ぼす効果を評価する対策意思決定支援システムをRによって作成し、Rを用いるための環境設定の方法とともに一般公開できる形にすることができた。

フィージビリティスタディの有効性と対策意思決定支援システム作成において配慮すべき条件の検討については、先進的研究が進められて社会実装までが整備されているニュージーランドで現地調査を2022年によりやく実施することができた。また、ニュージーランドの研究協力者とも議論を進めて、本研究課題の成果であるフィージビリティスタディの導入と対策意思決定支援システムの構築に反映させることができた。

### ・革新的防除手法の検討

アライグマの個体数管理手法においては、現在は主に箱わなを用いた捕獲が行われている。分布域の広さなどから、地域的な根絶も達成されておらず、戦略的な個体数管理が進展しない地域も多い。そこで、わな捕獲以外の防除手法として、アライグマの経口避妊ワクチンに関する研究を行なった。

アライグマの繁殖戦略を考慮し、雌を対象とした経口避妊ワクチンの野外散布を視野に入れた「透明帯」由来のワクチン抗原の開発を試みた。アライグマに特異的かつ抗原性を有すると考えられる合成ペプチド（＝抗原候補）を作成して生体雌アライグマ3頭に注射免疫し、血清抗体価測定にて抗原候補の有効性を評価した。その結果、1頭で抗体価の軽微な上昇が伺えたものの、他では上昇しなかった。その要因として、合成ペプチドが自己抗原として認識されて十分な抗原性を示さなかったことが考えられた。今後も継続してアライグマに特異的な経口避妊ワクチン抗原の探索が必要と考えられた。

防除手法としての避妊ワクチンの有効性や妥当性などの事前評価のため、共同研究機関である Landcare Research (NZ) の協力を得て、Rを用いた避妊ワクチンの実用化シミュレーションモデルを構築した。このモデルを用い、捕獲を行わない条件下で、経口避妊ワクチンを適用した場合の評価を行った。その結果、経口避妊ワクチンの効果が、「1年のみ持続する（単年免疫獲得型）」場合、個体数増加を抑制するには全雌の72%以上に毎年経口摂取されるようなワクチン散布が求められると考えられた。避妊効果が「生涯持続する（生涯免疫獲得型）」ワクチンの場合、30年間で根絶を達成するには全雌の20%に、毎年経口摂取する必要があると示された。これらの結果から、日本の野生化アライグマの根絶や個体数増加抑制のために求められる避妊ワクチンの避妊効果や散布法の目標が示された。

#### 【サブテーマ4】

傷病保護野生動物データのうち鳥類に着目して分析したところ、保護の理由としてイエネコが挙げられていた鳥類は101種に及ぶことが分かり、イエネコの捕食の問題は絶滅危惧種や島嶼だけでなく、普通種および本土においても問題であることが明らかになった。また、伊豆諸島、小笠原諸島、日本海の島において、野外を踏査しイエネコの糞の採集を行い、海鳥など多くの在来種が捕食されていることが明らかになった。

海鳥の捕食が問題となっている御蔵島において、ネコの糞分析とネコの個体数推定を実施し、御蔵島において年間59,400羽のオオミズナギドリがネコに捕食されていることが明らかになった。御蔵島において調査捕獲を冬季2シーズンにわたって実施し、1年目は52頭（436日）、2年目は106頭

（4,304日）のネコを捕獲した。2年目の終盤においては、捕獲が0の期間が続き、ネコの個体数を大幅に減少させることができた可能性がある。この捕獲調査を通じて今後の課題と対策のロードマップも作成した。

国内で最も広域エリアを対象にネコ対策が実施されている奄美大島において、森林で捕獲されたネコの安定同位体比分析を実施した結果、絶滅危惧種に依存している個体がいる一方で、普段はキャットフードに依存し、里から森へ行き来をしていると考えられる個体もいることが明らかになった。ネコ問題の解決には、森における捕獲だけでなく、里におけるネコ対策や人の適正飼養も必要であることを示しており、関係行政が連携して進めるための科学的エビデンスを得ることができた。

#### 【サブテーマ5】

奄美大島におけるフィリマングース防除事業は順調に成果をあげ、奄美大島からの根絶が目前に迫っている。これは日本の外来生物対策において大きな成果である一方で、これまでに経験の無い、根絶後の再侵入に備えたバイオセキュリティ体制の構築が求められる状況に至ったことを意味する。本研究では、海外事例などからバイオセキュリティに関する要点、体制のあり方を整理する共に、具体的なモニタリング手法の検討、そして新たなモニタリング手法としての環境DNAによるマングース在/不在検出系の構築を試み、奄美大島におけるマングース根絶後のバイオセキュリティの体制構築のためのモニタリング技術および体制等を検討した。

海外事例からは、アメリカ合衆国ハワイ州カウアイ島で構築されているマングースに対するEarly Detection Rapid Response (EDRR) のプロトコルや、オーストラリアロードハウ島のバイオセキュリティなどを参考にし、奄美大島での適用にふさわしいモニタリング体制を検討した。海外での適用事例を参考に、具体的なモニタリング手法として、探索犬、センサーカメラ、足跡トラップ、噛み痕トラップ (Wax Tag)、噛み痕トラップ (Chew Card) を対象として、その検出能力や作業性を実地試験によって検討した。奄美大島に類似した環境である沖縄県本部町での試験を通じ、最も検出力が高く、作業性も良いことから、探索犬とセンサーカメラが優れていることを示した。

また、新たなモニタリング手法の候補として、環境DNAによるマングース在/不在検出系に取り組んだ。マングースに対して種特異性を有するプライマー/プローブを開発し、ポジティブコントロールにおいてマングースDNAが検出できることを確認した。さらに野外から採取した水、土壌といった環境試料からのマングースDNAの検出を試みた。当初目指していた、簡易抽出法とモバイル型リアルタイムPCR装置による検出はなされなかったが、野外から採取した水および土壌からも、マングースDNAが検出することができ、マングース在/不在検出系として構築できた。しかし、DNAが検出されたのはマングースが利用していることがセンサーカメラによって事前に確認されていた地点のみであり、検出能力は高いとは言えない。今後実用に向けては、試料採取地点の精査や、分析方法の改良等が必要である。

研究成果を総括し、奄美大島におけるマングース根絶後のバイオセキュリティ体制について提案した。奄美大島の物流事情を踏まえ、マングースの侵入監視対象は主に名瀬港新港地区周辺とし、センサーカメラ、探索犬を中心としたモニタリングを実施することが推奨された。

研究成果から、すでに4件の学会発表がなされ、今後論文化も予定している。さらに、今回示した奄美大島におけるバイオセキュリティ体制の案については、現在環境省により「根絶確認及び防除完了に向けた奄美大島におけるフィリマングース防除実施計画」にも続いて実施されている奄美大島におけるフィリマングース防除事業において、今後検討される予定である根絶後の取り組みについての計画策定の一部として、本研究の成果が活用されることが見込まれる。

## 5-2. 環境政策等への貢献

### <行政等が既に活用した成果>

#### 【サブテーマ1】

Harvest-basedモデル (HBM) ならびにRapid Eradication Assessment (REA) により奄美大島のマングースの根絶確率の推定を行い、当該データについて環境省奄美大島マングース防除事業へ提供し、根絶宣言に向けた資料として活用すると共に、今後の事業計画の検討に用いられた。

#### 【サブテーマ2】

(1) 環境省九州地方環境事務所の「熊本県宇土半島における特定外来生物クリハラリス生息状況確認調査等業務」(2020年度～2022年度)において、本研究結果であるベイト法によるクリハラリス残存個体の探索捕獲を実施し、クリハラリスの地域根絶の取組に貢献した。

(2) 2021年に新たに発見されたクリハラリス個体群(大分県別府市)の初期防除において、本研究結果であるIoTを活用した捕獲報知システムを採用し、捕獲作業の効率化に貢献した。

#### 【サブテーマ3】

平成30年度から沖縄県が実施している慶良間諸島に生息する外来イノシシの根絶事業において、イノシシの根絶目標設定に関するフィージビリティスタディの導入について沖縄県より相談を受け、オンラインによるヒアリング(COVID-19の影響による)及び沖縄県庁でのFSの解説と慶良間諸島における根絶可能性の定性的条件検討を実施し、その後の事業に活用していただいた。



#### 【サブテーマ4】

奄美大島のノネコ対策研究会において、捕獲されたネコの安定同位体比分析の結果が資料として活用され、今後の捕獲方針の検討に使用された。

徳之島における環境省、地元3町によるネコ対策協議会において、本プロジェクトによるトキソプラズマの総説が紹介され、地元の普及啓発に活用されている。

#### 【サブテーマ5】

奄美大島での環境DNA現地調査の際に、マングースの偽陽性が検出された。その際に、マングース防除事業実施主体へ即時連絡した。今回は、偽陽性であったが、根絶宣言後にマングースが検出された際の防除体制確立に向けた体制作りへと貢献した。

### <行政等が活用することが見込まれる成果>

#### 【サブテーマ1】

根絶確率モデルの提案を行った際に、今後の外来種防除事業での根絶確率の算出に関する方向性を提示した。全ての防除事業において同様の根絶モデルによる根絶確率の算出が求められるわけではなく、必要なケース、不要なケースなどの整理がなされたことにより、今後の防除事業での根絶確認方法に関する試料提供となった。加えて、本事業により得られた分散モデルは、沖縄島におけるバッファゾーン設定時の必要データとして活用されていくことが見込まれる。

#### 【サブテーマ2】

本研究で作成したクリハラリスの防除マニュアルは、日本各地に定着したクリハラリス個体群の防除の指針となる。とくに、箱罠による捕獲の効率化と化学的防除の導入については有用性が高い。

#### 【サブテーマ3】

フィージビリティスタディを導入した無理のない防除方針の設定については、試作した意思決定支援システムを用いながら、低予算での防除計画構築の根幹となる捕獲努力量当たりの捕獲数（CPUE）データ蓄積の重要性をアライグマ防除実施あるいは計画中の地方自治体（大分県・大分市・別府市・由布市・日田市・長野県・南木曾町など）に説明し、無理のない科学的データに基づく防除事業への転換を、推進費事業実施中に並行して行ってきたため、今後の各地方自治体での防除系策策定に活用されることが見込まれる。また本サブテーマで作成した意思決定支援システムについては、R利用環境さえ整えば一般でも自由に試用可能な状態にしてあるため、今後は本システムを活用することによってアライグマ防除予算獲得等に活用されることも見込まれる。

広域分布したアライグマの個体数管理政策には、わな捕獲以外の手法が選択できることが理想的である。革新的防除手法として経口避妊ワクチンは期待されるが、アライグマにおける有効性や妥当性などの事前評価（シミュレーション）が不可欠である。本サブテーマで構築した避妊ワクチンの実用化シミュレーションモデルは、広く普及しているソフトウェア（R）を用いており、日本のアライグマの個体群パラメーターを組み込んでいる。経口避妊ワクチンが実用化された場合、本シミュレーションモデルを用いることで、アライグマの根絶や個体数増加抑制効果や散布法を予測・評価することが可能となる。対象地域での現実的な環境政策の立案や実施した対策のモニタリング・評価として、本モデルの活用が見込まれる。

#### 【サブテーマ4】

小笠原諸島や南西諸島など、希少種の多い島嶼地域において先行するネコ対策であるが、本研究により、ネコ問題が本土はじめあらゆる場所で生じていること、また、捕食だけでなく、感染症の観点でも捉える必要を示したことから、ネコの飼育や管理に関する包括的な方策を考える上で活用可能で



ある。また、御蔵島のネコの捕獲から譲渡までの一連の試行により、課題の抽出と対応方針を提示することができ、今後行政による対策が実施された場合に活用可能な知見が得られた。さらに、ネコのオオミズナギドリへのインパクトや捕獲後の回復の評価のためのモニタリング方法を開発することができ、今後行政の事業においても活用されることが見込まれる。

#### 【サブテーマ5】

##### ・奄美大島でのマングース根絶後のバイオセキュリティ体制

本研究にて検討された、ファイリマングース根絶後のマングース再侵入に備えたバイオセキュリティ体制の案については、現在実施されている奄美大島におけるファイリマングース防除事業検討会においてその内容が紹介された。「根絶確認及び防除完了に向けた奄美大島におけるファイリマングース防除実施計画」での記載に基づいて、今後検討される予定である根絶後の取り組みについての計画策定において、本研究の成果が参照されることが見込まれる。

### 5-3. 研究目標の達成状況

全体目標	目標の達成状況
侵入初期から根絶、再侵入防止までを含めたテーマが連携することにより、侵略的外来哺乳類防除方針の決定・策定のための指針を示し、防除段階毎のフィージビリティを考慮した防除事業の展開に資する事を目的とする。	<u>目標どおりの成果をあげた。</u> 各侵入段階における外来哺乳類防除方針の決定・策定のための指針を提示することが出来た。特にフィージビリティの考慮については、各動物種（侵入段階）によりその手法が大きく異なり、クリハラリスでは早期発見、低密度化での検出方法、根絶プロセスの提示を行うことが出来た。アライグマでは、より効果的な防除体制構築に向けた意思決定システムを構築した。ノネコについては全国的な問題の評価から島嶼部での根絶プロセスについて実装した。マングースについては、根絶確率を算出すると共に、再侵入後のモニタリング体制の構築を行った。
サブテーマ1目標	目標の達成状況
マングースの分散推定を含めた空間明示型根絶確率評価を行い、奄美大島での根絶確率の推定を行い、奄美大島マングース防除事業へ情報提供をする。	<u>目標を上回る成果をあげた。</u> 本研究により、奄美大島でのマングース根絶確率の算出に成功し、環境省奄美大島マングース防除事業で既に活用されている。加えて、糞中DNA劣化試験を行ったことで、今後、沖縄島での糞探索犬による在否確認時の調査デザインの設計に貢献することが見込まれる。
サブテーマ2目標	目標の達成状況
特定外来生物クリハラリスの地域個体群の根絶にむけた手法の開発と化学的防除の効果検証を行い、外来リス防除の社会実装にむけたガイドライ	<u>目標を上回る成果をあげた。</u> 特定外来生物クリハラリスの地域個体群の根絶にむけた手法の開発と化学的防除の効果検証を行っ

ンを提示する。	た。その上で、外来リス防除の社会実装にむけたガイドラインを提示し、実際に行政の実施する防除事業へ実装された。
---------	--

サブテーマ3目標	目標の達成状況
<p>フィージビリティスタディ（FS）をベースとしたアライグマ対策意思決定支援システムを開発して実用化する。アライグマの避妊ワクチン抗原の有効性を評価し、実用化に際してワクチン効果を事前評価するためのシミュレーションモデルを確立する。</p>	<p><u>目標どおりの成果をあげた。</u></p> <p>フィージビリティスタディによる防除目標の適正設定を確認した後に、捕獲努力量当たりの捕獲数（CPUE）を指標に用いた場合のアライグマ生息数を低減するために必要な予算を算出できるシステム、及び捕獲実績がその後のアライグマ生息数抑制に及ぼす効果評価システムをRによって作成し、Rが使用できる環境を整っていれば自由に利用可能な状況を構築した。</p> <p>革新的防除手法としての経口避妊ワクチン研究については、アライグマの生体を用いた透明帯由来抗原候補の評価を実施できた。また、Rを用いた経口避妊ワクチン実用化シミュレーションを構築し、避妊効果や散布法の目標を示すことができた。</p>

サブテーマ4目標	目標の達成状況
<p>ネコ対策の効果の検証、および地域の特性に応じたネコの総合的対策のガイドラインを提示する。</p>	<p><u>目標どおりの成果をあげた。</u></p> <p>ネコは他の外来生物と異なり、人が増やす側面がある。今回、奄美大島において、人為資源に依存した個体が森林域に侵入し、絶滅危惧種を捕食している実態を明らかにした。こうした地域では、捕獲以上に適正飼養等、人の行動変容が重要であり、それを実効力をもって進めるための条例の制定や普及啓発の重要性が高いことが示された。また、ほとんど人為の影響のない地域では、捕獲により比較的効率的に個体数を下げられることが明らかになった。このように、人為的影響の大きさに応じて、対策の戦略や体制を検討することの重要性を示すことができ、地域の条件に応じた総合的対策の指針（ガイドライン）を提示できた。</p>

サブテーマ5目標	目標の達成状況
<p>国内・海外のバイオセキュリティ実施状況に関する情報収集・整理、および環境DNAの検出を含むモニタリング手法によるモデル生物種（マングース）の在/不在検出手法の検証試験を通じ、島嶼における外来哺乳類の非意図的侵入に対するバイオ</p>	<p><u>目標どおりの成果をあげた。</u></p> <p>主に海外のバイオセキュリティに関する実施状況について情報収集を実施し、その整理結果に基づいて、モデル生物としたマングースのバイオセキュリティの体制案を示した。また、新たなモニタ</p>

セキュリティの簡易マニュアルを作成する。	リングの手法として、環境DNAによるマングースの在/不在検出手法を確立した。
----------------------	--

## 6. 研究成果の発表状況

### 6-1. 査読付き論文

<件数>

7件

<主な査読付き論文>

- 1) Sato, T. and Jogahara, T.: Molecular Biology Reports 48: 7029-7034. (2021) Development and characterization of microsatellite makers in the small Indian mongoose (*Urva auropunctata*). (IF: 2.742)
- 2) Sato, T., Watari, Y., and Jogahara, T. Mammal Research 68: 177-87. (2023) Genetic relationships among populations of the small Indian mongoose (*Urva auropunctata*) introduced in Japan. (IF: 2.032)
- 3) N. TAMURA and M. YASUDA: Frontiers in Ecology and Evolution, 10, 1061115 (2023), Distribution and management of non-native squirrels in Japan. (IF: 4.493)
- 4) S. Azumi, Y. Watari, N. Oka, T. Miyashita: Mammal Research, 66, 75-82 (2021), Seasonal and spatial shifts in feral cat predation on native seabirds vs. non-native rats on Mikura Island, Japan (IF: 2.032)
- 5) 三條場千寿、亘悠哉、松本芳嗣、宮下直: 衛生動物, 72, 1-8 (2021) トキソプラズマ症 - 身近な人獣共通感染症の伝播サイクルとワンヘルスに基づいた対策の道筋.
- 6) J. Nagata, A. Haga, Y. Kusachi, M. Tokuyoshi, H. Endo, Y. Watari: Mammal Study, 47, 197-204. (2022), Cats were responsible for the headless carcasses of shearwaters: evidence from genetic predator identification (IF: 0.723)
- 7) K. Doi, M. Tokuyoshi, K. Morishima, K. Kogi, Y. Watari: Mammal Study, 47, 275-282 (2022), Differential tick-infestation rate between *Rattus norvegicus* and *R. rattus*, with the first records of the ixodid tick *Ixodes granulatus* and its infestation in rodents, free-ranging cats, and humans from Mikura-Shima Island, Japan (IF: 0.723)

### 6-2. 知的財産権

特に記載すべき事項はない。

### 6-3. その他発表件数

査読付き論文に準ずる成果発表	7件
その他誌上発表 (査読なし)	10件
口頭発表 (学会等)	27件
「国民との科学・技術対話」の実施	21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	0件

## 7. 国際共同研究等の状況

国際共同研究を実施した海外研究機関：Landcare Research (NZ)

国際共同研究計画名：広域分布したアライグマの対策意思決定支援システム構築と革新的防除手法の検討

協力案件名：アライグマの対策意思決定支援システムおよび避妊ワクチン実用化シミュレーションモデルの構築

カウンターパート氏名・所属・国名：Bruce Warbuton・Science Team Leader (Wildlife Ecology & Management), Landcare Research・ニュージーランド

国際的な位置付け等：ニュージーランドの国土および生物多様性の保全に関する政府所有の主要研究機関。外来生物対策に関して国際的に最も優れた成果と研究を行なっている研究機関の1つである。

ニュージーランド等の外来種対策先進国においては、フィージビリティスタディの導入は必須となっているが、中でもLandcare Researchは世界各国での外来種対策のフィージビリティスタディ導入にも積極的に協力しており、本サブテーマでの日本のアライグマ防除におけるフィージビリティスタディ導入でも積極的なアドバイスや資料の提供を受けることができた。

外来種対策に関する意思決定支援システムの導入においてもLandcare Researchはニュージーランドの外来種対策で先進的な研究・実践を進めており、本サブテーマにおいても、意思決定支援システム構築の際に検討すべき重要条件や運用方法についてきめ細かなアドバイスをいただいた。

また、Landcare Researchでは、ポッサム（フクロギツネ）の個体数管理手法の1つとして、経口避妊ワクチン研究の実績がある。実用化に近いところまで研究が進められたものの、予算等の問題により現在は開発研究が休止されている。しかし、Landcare Researchとの連携により、経口避妊ワクチン抗原の選定や評価法、野外散布のプロトコールおよび適用した場合のシミュレーションモデルの構築において有益な情報を得ることができた。

その他、さまざまな外来種に関する政策や対策の状況・実施体制・技術・市民協働・課題等について、現地視察（Landcare Researchの研究者との研究打ち合わせ、地域の政策担当者や一般市民ボランティアからの情報収集など）をするとともに、日本のアライグマ対策や避妊ワクチン研究に関する課題について、有益な助言等を得ることができた。

本課題最終年度の2月に実施した外来哺乳類管理に関する公開国際シンポジウムでは、研究協力者自身が研究発表者となるとともに、他のニュージーランド研究者の発表の調整にも協力いただくことができた。

## 8. 研究者略歴

研究代表者

城ヶ原 貴通

名古屋大学大学院生命農学研究科修了、博士（農学）、現在、沖縄大学教授

研究分担者

1) 安田 雅俊

東京大学大学院農学生命科学研究科修了、博士（農学）、現在、（国研）森林研究・整備機構森林総合研究所九州支所森林動物研究グループ長

2) 浅野 玄

北海道大学大学院獣医学研究科修了、博士（獣医学）、現在、岐阜大学准教授

3) 池田 透

北海道大学大学院文学研究科単位取得退学、北海道大学文学部助手、現在、北海道大学大学院教授

4) 亘 悠哉

東京大学大学院農学生命科学研究科博士課程修了、博士（農学）、一般社団法人日本森

林技術協会リーダー，現在，国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所 主任研究員

5) 川上 和人

東京大学大学院農学生命科学研究科博士課程中退，博士（農学），現在，国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所 鳥獣生態研究室長

6) 橋本 琢磨

新潟大学自然科学研究科修了、博士（農学）、現在、一般財団法人自然環境研究センター 一主席研究員

## II. 成果の詳細

### II-1 侵略的外来哺乳類根絶モデルの構築—マングース根絶に向けた最終ステージ—

沖縄大学

経法商学部経法商学科

城ヶ原 貴通

佐藤 拓真

<研究協力者>

国立研究開発法人 国立環境研究所

生物多様性領域 生物多様性評価・予測研究室

深澤 圭太

株式会社南西環境研究所

福原 亮史

中田 勝士

#### [要旨]

環境省は奄美大島においてマングース防除事業を展開しているが、奄美大島の様な大規模面積（712.4km<sup>2</sup>）からのマングース根絶は例がない。さらに、このような大規模面積におよぶ事業の場合、どのように根絶を評価するかが難しく、捕獲や痕跡確認、目撃情報といった情報に限らず、科学的に根絶を評価することが求められている。そこで、本研究では、奄美大島マングース防除事業における根絶宣言発出に向けた根拠資料の一部として、科学的に根絶を評価するための根絶確率を複数手法により算出し、奄美大島マングース防除事業へ貢献することを目的とした。まずはじめに、マングースの個体識別および性判別マーカーの開発を行った。その結果、17座位のマイクロサテライトマーカーならびに性判別マーカーの開発に成功した。続いて、糞DNA分析を用いたマングースの個体識別およびマングース検出パラメーターの推定のために、沖縄島で糞探索犬による試験を行った。その結果、沖縄県名護市の嘉陽林道にて726個の糞が採集された。採取した糞からDNA抽出を行い、種判別を個なった結果、526個の糞がマングース由来であった。これらの糞についてフラグメント解析を行った結果、139個の糞サンプルについて12座中8座以上決定することできた。結果として、95個体のマングース（オス45、メス45、性別不明5個体）を検出することに成功した。このうち、調査期間中に再検出された19個体より、SECRを用いてマングースの検出率（ $g_0$ ）と行動圏スケール（ $\sigma$ ）を推定した結果、それぞれ $7.04 \times 10^{-5}$ （95%CI;  $4.74 \times 10^{-5} - 1.05 \times 10^{-4}$ ）、234.33（m）（95%CI; 191.66 - 286.50）であった。これらデータを用いた奄美大島でのマングース根絶確率をHarvest-based model (HBM) によるエリアベースならびにRapid eradication assessment (REA, Samaniego-Herrera et al. 2013) による個体ベースにより算出した。その結果、HBMでは最後のマングース検出のあった2018年度以降済みやかに根絶確率が上昇し [REDACTED]。一方、REAの根絶確率が [REDACTED] であった。これらに加え、日本におけるマングース移入史の精査ならびに糞中DNA劣化検証実験を行った。

#### 1. 研究開発目的

環境省は奄美大島においてマングース防除事業を展開しているが、2018年4月よりマングースが捕獲されておらず、マングースが超低密度状態にあると評価されている。世界中でマングースの根絶を目指した防除が展開されているが、奄美大島の様な大規模面積（712.4km<sup>2</sup>）からのマングース根絶は例がなく、世界中の注目を集めている。さらに、このような大規模面積におよぶ事業の場合、どのように根絶を評価するかが難しく、捕獲や痕跡確認、目撃情報といった情報に限らず、科学的に根絶を評価することの必要性が多方面より求められている。そのため、環境省においても根絶宣言のタイミング、根拠についての検討が急務状況である。そこで、本研究では、奄美大島マングース防除事業における根絶宣言発出に向けた根拠資料の一部として、科学的に根絶を評価するための根絶確率を複数手法により算出し、奄美大島マングース防除事業へ貢献することを目的とした。

## 2. 研究目標

マングースの分散推定を含めた空間明示型根絶確率評価を行い、奄美大島での根絶確率の推定を行い、奄美大島マングース防除事業へ情報提供をする。

## 3. 研究開発内容

### ・マングースの個体識別および性判別マーカーの開発

次世代シーケンサー (Novaseq 6000) を用いたショットガンシーケンスによって、沖縄島のファイリマングース (*Urva auropunctata*) 1個体の全ゲノム配列を取得した。得られた配列データをfastpによってスクリーニングした後、BWA-mem2を用いて近縁種であるシママングース (*Mungos mungo*) のゲノム配列 (acc. no. GCA\_004023785) にマッピングし、コンセンサス配列を取得した。次に、ゲノム中に散在する短い繰り返し配列 (マイクロサテライト: SSR) をKrait v1.3.3 (Du et al. 2018) を用いて探索し、各SSRについてプライマーを設計した。このうち96遺伝子座について、PCR増幅を行った。PCR増幅が成功した遺伝子座について、フラグメント解析を行った。フラグメント解析の際には、Schuelke (2000) を参考に、1座あたり、蛍光標識付きのユニバーサルプライマー (M13)、M13配列を付加したフォワードプライマー、リバースプライマーの3つのプライマーを用いてPCR増幅を行った。蛍光標識とM13配列はそれぞれ以下の通りである (6-FAM, 5' -CAC GAC GTT GTA AAA CGA C-3' ;VIC, 5' -TGT GGA ATT GTG AGC GG- 3' ; NED, 5' -CGG AGA GCC GAG AGG TG-3' ; PET, 5' -CTA TAG GGC ACG CGT GGT -3' )。また実験効率を高めるために、3座を1セットとした計6セットのマルチプレックスPCRを行った。個体識別マーカーの有効性の検証にあたって、沖縄島で収集されたマングース28個体を用いて、各遺伝子型を決定し、遺伝的統計量、異なる個体の遺伝子型が一致する確率 (PID) および同胞間で遺伝子型が一致する確率 (PID<sub>sib</sub>) の算出を行った。さらに、マングースのXおよびY染色体上遺伝子 (*ZFX*, *ZFY*) の塩基配列 (Murata et al. 2016) をもとに、性判別マーカーを作成した。両染色体に共通したフォワードプライマーとそれぞれに特異的なリバースプライマーを用いてPCRを行うことで、メスの場合は1つのDNA断片 (174bp)、オスは2つの断片 (174bpと221bp) が増幅される方法を開発した。性判別マーカーの有効性の検証には、オス・メスそれぞれ3サンプルを用いてPCR増幅を行い、3%アガロースゲルを用いた電気泳動により増幅断片の確認を行った。

### ・糞DNA分析を用いたマングースの個体識別およびマングース検出パラメーターの推定

マングースの糞探索犬を用いた糞探索試験を、沖縄県名護市の嘉陽林道にて2020年度冬期に14日間、2021年度の春期に10日間の計22日間行った。採取した糞からQIAamp Fast DNA Stool Mini Kit (QIAGEN) を用いてDNA抽出を行った。種判別から個体識別までの方法は、図1-1の分析フローに従った。まず、抽出したDNA溶液にマングースのDNAが含まれているかどうかを確認するために、マングース特異的プライマー (ミトコンドリアDNA (mtDNA) のチトクローム*b*遺伝子 (*Cytb*) 340bp; Imazato et al. 2012) を用いたPCRと電気泳動により、種判別を行った。種判別のPCRは、最大2回行った。個体識別には、我々が開発したSSR 11座と性判別マーカーの計12座を用いた。なお、PCR効率を上げるために、各座のフォワードプライマーに直接蛍光標識を付け、4座1セットのマルチプレックス (MP) を3つ作成した。分析サンプルをスクリーニングするために、MP1を用いたフラグメント解析を1サンプルにつき2回を行い、4座中2座以上ジェノタイピングできたサンプルを次の分析に用いた。最終的に、12座中8座以上ジェノタイピングできたサンプルを個体識別に用いた。なお、PIDとPID<sub>sib</sub>を算出することで、得られたデータの分解能が十分個体識別可能であることを確認した。そして、個体の検出情報 (位置情報) と探索努力量 (探索距離) をもとに、空間明示型標識再捕獲モデル (SECR) を用いてマングース個体の検出パラメーター (検出率  $g_0$  と行動圏スケール  $\sigma$ ) を推定した。検出率 ( $g_0$ ) は、糞を検出かつ個体識別に成功した値、行動圏スケール ( $\sigma$ ) は、行動圏の中心点から検出関数の変曲点までの距離である。

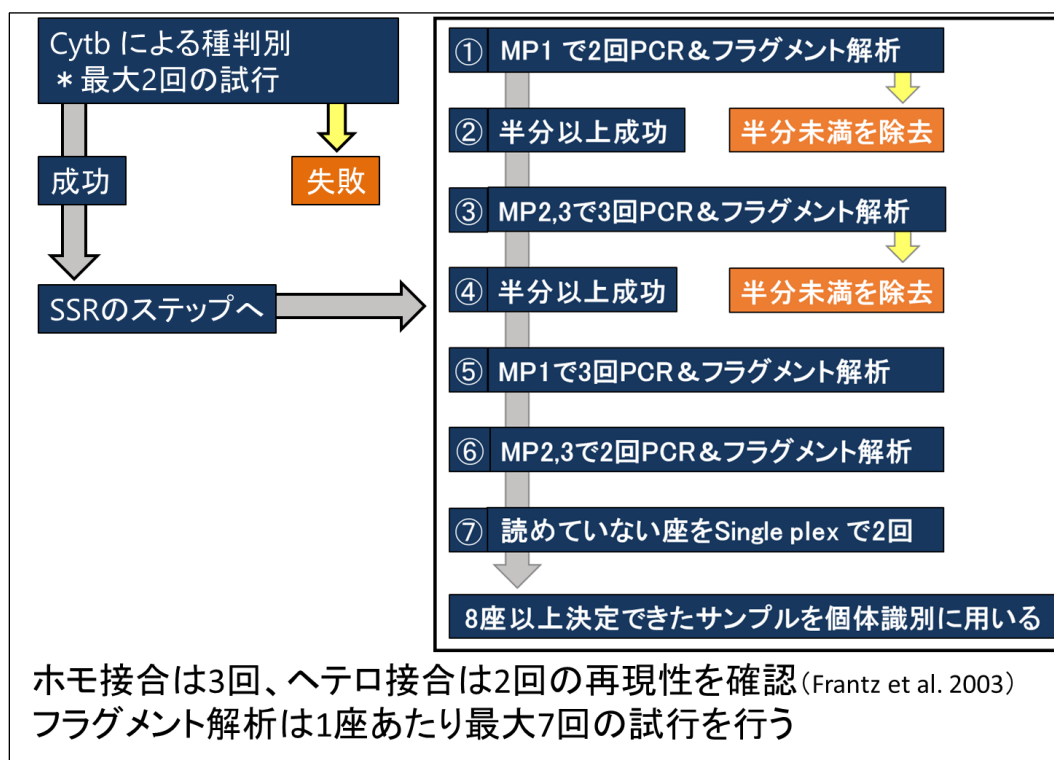


図 1-1. マングース糞 DNA 分析を用いた個体識別フロー

・統計モデルを用いたマングースの根絶確率算出

本研究では、単一手法よりも厳密な基準で根絶確率の評価を行うため、Harvest-based model (HBM) によるエリアベースの根絶確率算出とRapid eradication assessment (REA, Samaniego-Herrera et al. 2013)による個体ベースの根絶確率算出の両方を実施した。

HBMによる根絶確率算出は、Fukasawa et al. (2013)の手法をマングース防除事業の作業単位のエリア別の個体数動態に拡張したモデルを用いた。個体数動態のプロセスモデルについては、自然増加による増殖と捕獲による除去に加え、隣接エリア間の移出入も考慮し、移出入割合の係数（拡散係数）についても同時推定した。また、捕獲努力量が記録される2001年度より前の捕獲率については、エリア別年別の潜在変数として個体数と同時に推定した。推定には、2000年度以前の合計捕獲数、および2001年度以降のわな・生体探索犬それぞれの捕獲数と捕獲努力量、および密度指標として糞探索犬の糞発見数と探索距離をエリア別年度別に集計した値を用いた。初期状態として赤崎公園を含むエリアの1979年度の個体数を30、それ以外は0として以降の個体数をMCMC法により推定した。JAGS 1.4.3により10chainのギブスサンプリングを行い、計10000サンプルを根絶確率の算出に用いた。捕獲努力量データが整備済みの2021年度までについては実測値、それ以降2025年度までは2021年度と同じ努力量で捕獲がないと仮定したシナリオで個体数の事後分布を算出し、すべてのエリアで個体数が0となる確率をその年度の根絶確率と定義した。

REAの実施に当たっては、空間標識再捕獲法に基づくホームレンジサイズとモニタリングの検出感度を明らかにし、それに加えて自然増加率や子の分散距離を与える必要がある。本研究では、沖縄本島における糞探索試験とDNAによる個体識別結果に基づき、空間標識再捕獲モデル (SECR, Borchers & Efford 2008) を用いてパラメータ推定を行った。そして、奄美大島における糞探索の距離当たり糞発見数とわなCPUE、および生体探索犬CPUEの時空間的な相関から、わなと生体探索犬の検出感度を明らかにした。さらに、HBMの推定結果から自然増加率、阿部(1991)の分布拡大距離(800m-1000m/年)からSkellam(1951)のモデルを用いて子の散布距離を算出した。

これらのパラメータに基づき、下記の手順で根絶確率の算出の元となる年度ごとの検出率の計算を行った

① 繁殖可能残存個体 1 個体の生成



最後の捕獲記録があった2018年度末に繁殖可能な残存個体が1個体残っていると仮定して、その位置をランダムに生成した。島内での残存個体存在可能性の不均一性を考慮するため、HBMによるエリア別2018年度末個体数0確率で残存個体のサンプリング確率を重みづけして、より残存可能性が高い場所に偏って初期位置が発生するようにした。

## ② 繁殖と分散のシミュレーション

その時点で存在している各個体について、産まれる子の数をポアソン分布により決めた。子の数が1以上の場合、分散距離に従って正規分布カーネルで子のホームレンジ中心位置を決めた。

## ③ 検出のシミュレーション

その時点で存在している各個体について、すべてのわな位置および探索犬の軌跡の点における個体の検出率を算出し、そのうち少なくともどれか1つで検出される確率を計算した。そして、ベルヌイ乱数により個体の検出の有無を確率的に決定する。その時点で存在しているもののうちどれか1個体が検出されれば、その年に検出に成功したと定義した。

④ ②③を最終年まで繰り返し、年ごとの検出有無を決めた。

⑤ ①～④を10000回反復し、検出回数/10000により年度ごとの検出率を算出した。

検出率算出後、ベイズの定理により年度ごとの根絶確率を計算した。事前分布となる2018年度末の根絶確率については、HBMによる推定値を用いた。

## ・日本におけるマングースの移入史

個体識別マーカーの有効性の検証および日本におけるこれまでのマングースの移入史を遺伝学的側面から整理するために、日本におけるマングース移入史についての検討を行った。

1910年に13～17頭のマングースが沖縄島に持ち込まれて以来、奄美大島に約30頭が1979年頃に移入され、鹿児島本土である旧喜入町では1980年代から生息が確認されている。現在、奄美大島では、根絶が間近となっており、喜入周辺においても根絶に近い状態とされている。今後の更なる移入を避け、生物多様性を保全するためにも、これまでの移入経路や現在のマングースの集団遺伝学的特徴を整理する必要がある。本研究では、開発したSSRとmtDNAを用いて、沖縄島、奄美大島、喜入の3集団の遺伝学的特徴を調べ、その起源と分散過程を明らかにした。

マングースの防除事業等で採集された計74個体（沖縄島、28個体、奄美大島、40個体、喜入、6個体）からDNeasy Tissue and Blood Kit (QIAGEN) を用いてDNA抽出を行った。

日本におけるマングースの初めの導入集団である沖縄島の系統的な位置を確認するために、マーカー開発時に得られた沖縄島の一個体の全ゲノム配列 (acc. no. DRR294934) を用いて、mtDNA全長配列決定した。mtDNA全長配列のアセンブルにはGetOrganelle v1.7.5 (Jin et al. 2020)、アノテーションにはMITOS (Bernt et al. 2013) を用いた。得られたmtDNA全長配列を他のマングース科の14個の配列と比較し、最尤法 (ML) 系統樹を作成することで、マングース科における沖縄島のマングースの系統的な位置を示した。

続いて、日本のマングース74個体の*Cytb*を分析した。プライマーは、本研究で開発したmoncb\_F1 (5'-CAC ATGGAA TCT AAC CAT GAC-3') とmoncb\_R1 (5'-CTT GAAGTC TTA GGG AGG -3') を用いた。フィリマングースは、以前*Herpestes javanicus*とされていたため (Patou et al. 2009)、*H. javanicus* (現: *U. javanica*) と *U. auropunctata*の既存配列を本研究で得られた配列と比較した。なお、データベースに登録されている*Cytb*の部分配列は除外し全長配列 (1140bp) のみを解析に用いた。合計で53の既存配列と本研究の74配列を合わせた127の配列 を比較した。TCS program (Clement et al. 2000) を用いて、*Cytb*のハプロタイプを決定し、PopART (Leigh and Bryant 2015) を用いてハプロタイプネットワーク樹 (Median-joining network) を構築した。

マイクロサテライトの分析には、開発した17座全てを用いた。17座のジェノタイプピングは、Sato and Jogahara (2021) と同様の手法を用いた。HWE検定と連鎖不平衡 (LD) 検定は、GENEPOP v4.2 (Raymond and Rousset 1995) を用いて行った。アリル数 ( $k$ )、ヘテロ接合度観察値・期待値 ( $H_o$ 、 $H_e$ )、集団間のpairwise  $F_{st}$ と移入数 ( $M$ ) は、ARLEQUIN ver. 3.5.1.2 (Excoffier and Lischer 2010) を用いて算

出した。また、プライベートアリル (PA) はRの*poppr* package (Kamvar et al. 2014) を用いて、各集団のHWEからの逸脱と近交係数 ( $F_{IS}$ ) の算出には、GENEPOPとARLEQUINをそれぞれ用いた。集団の遺伝的構造を調べるために、3つの解析手法 (PCoA、DAPC、STRUCTURE) を用いた。さらに、移入の歴史を確認するために、ボトルネック解析 (BOTTLENECK v.1.2.02 ; Piry et al. 1999) と近年の遺伝子交流を推定する解析 (BayesAss 3.0; Wilson and Rannala 2003) を行った。

#### ・マングースの糞DNA劣化検証実験

計画には無かったが、アドバイザーボード会合にてアドバイザーから指摘を受け、追加で研究を行った。

糞DNA分析は直接観察の難しい種の生態にアプローチできる効果的な非侵襲的分析手法の一つである。しかしながら、その検査精度はサンプリングする対象種、排せつ環境に大きく依存すると考えられる。本研究では、マングースの飼育

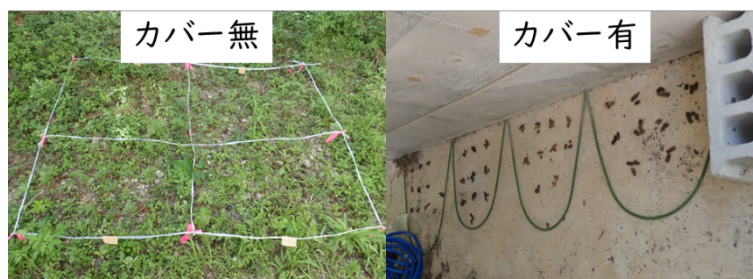


図 1-2. マングース糞を設置した環境

個体から採集した糞を、雨と日差しを防ぐカバーが有る屋外環境とカバーが無い屋外環境に設置し、各糞サンプルのDNA分析を行うことで、排せつ環境の違いと排せつ後の時間経過 (日数経過) が糞DNA分析成功率に与える影響を調べた。

環境省やんばる野生生物保護センターのマングース飼育個体4頭から10日間糞を採集し、計40個の糞を得た (1日あたり1個の糞)。なお飼育は、沖縄大学の動物実験委員会の承認を得て行った。糞は、採取後すぐに-80度で冷凍し、飼育最終日に沖縄大学に持ち帰った後実験を行うまで-80度で保存した。Day 0サンプルとして解凍後の糞の一部を削り取り、QIAamp Fast DNA Stool Mini Kit (QIAGEN) を用いてDNA抽出を行った。カバーの効果と排せつ後の日数経過の効果を検証するため、残った糞を二つに分け、①野外にさらした状態 (カバー無)、②雨や日差しを防ぐカバーがある状態 (カバー有) にそれぞれ設置した (図1-2)。マングースの糞は野外では2週間ほどで溶解するという報告から (Fukuhara et al. 2010)、14日間を目安に2022年8月5日から19日の間、糞を設置した。実験期間中の平均気温は29.9°C (range 29.4–30.6)、平均湿度は79% (range 75–83) であった。降雨は、0、4、6、9、10、12日目に生じた。日数経過の効果を検証するために、設置後から3、5、7、10、14日目の糞を分析した。各個体および各環境から5サンプルずつDNA抽出を行い、計220サンプル (Day 0を含む) を得た。各サンプルのDNAの状態を調べるために、サブテマ5で開発したマングースに特異的なTaqMan probe法を用いたqPCR (mtDNA Cytb, 129bp) によるCt値の測定を行った。qPCRでは、1つのプレート (48 well) 内に1サンプルあたりの全ての日数経過を含むように分析を行った。またプレート間のCt値を比較するために、Thresholdは全てのランの automated Thresholdの平均値 (0.683419) に固定した。また、我々が開発した3つのSSR (Uau2, 11, 17) と性判別マーカー (monZFX) を合わせたマルチプレックスを用いたフラグメント解析を行った。フラグメント解析では、分析座の増幅の有無およびジェノタイピングの成否をバイナリデータ (成功と失敗) として記録した。実験結果をもとに、SSRは分析座の増幅失敗率 (AF) とジェノタイピング成功率 (CG)、性判別マーカーは増幅失敗率 (AF) と性判別成功率 (SI) を算出した。なおSIの算出において、Y染色体のみの増幅も性判別が成功したとした。応答変数としてCt値、AF、CG、SIを用いることで、排せつ後の日数経過と排せつ場所の違いがDNA分析成功率に与える影響を正規分布およびベルヌーイ分布を用いた一般化線形混合モデル (GLMM) によって検証した。

## 4. 結果及び考察

### ・マングースの個体識別および性判別マーカーの開発

本研究で得られたマングースの全ゲノム配列をDDBJに登録した (acc. no. DRR294934)。コンセンサス配列をもとにSSRを探索した結果、10,224個の4塩基リピートのSSR配列にプライマーを設計すること

表 1-1. 開発した 17 座位のマイクロサテライトおよび性判別マーカーの特徴. Label: 蛍光色素、k: アリル数、 $H_E$ : ヘテロ接合度期待値、 $H_o$ : ヘテロ接合度観測値、HWE: ハーディワインベルグ平衡検定

Locus	Forward Primer sequence (5'-3')	Reverse Primer sequence (5'-3')	Label	Motif	Size range (bp)	k	He	Ho	HWE
Uau1	TGGGAGCTATCAGAGTCCGG	GCCACATTTATCACCCACTGC	6-FAM	GGAA	93-117	4	0.61	0.68	0.525
Uau2	GCTCTCACTTATCCAGGCC	GTAGGAGCACATCATGATGACG	VIC	CAAA	97-105	2	0.49	0.43	0.696
Uau3	ACGCATTCTCATCTGGGACC	TGTGCTCTCCCTCTCTCTCC	PET	TGTT	95-99	2	0.50	0.50	1.000
Uau4	ACAGGTGGCAGTTACTCAGC	CTGGTCATTGTTCACTGGCC	6-FAM	ATGA	114-122	3	0.51	0.43	0.243
Uau5	TCCCTTGCTCACTTGTGACC	TGCCACTTCACTCCATTCAAGG	NED	TGAA	117-137	3	0.56	0.61	0.149
Uau6	GCATAAAGAAGTCAACTCAACAGC	GCCATCAGCATGTCTTCTTTGG	VIC	ATAC	138-150	3	0.60	0.54	0.155
Uau7	AAGGGAGGAAATGAGTGGGC	TGAGAGGAAAGTGGCTAAATCTGG	NED	GATG	193-205	2	0.50	0.50	1.000
Uau8	TCTTAAGGATAATTTGGCCACAGG	TGTAATCGCAATTTACCCATTTCCC	PET	TAAA	176-184	3	0.63	0.54	0.427
Uau9	TCTATCATCAATCATCTGTCCAGC	AACGTTGCCAGAGGAAGAGG	6-FAM	CTAT	175-179	2	0.48	0.46	1.000
Uau10	CCACTAGTCACTCAACTCCAGC	TTCCATATGACTAGAAAAGACTGGC	VIC	TTCA	181-185	2	0.50	0.64	0.251
Uau11	TGAGAGAAGAAAGGCCATGGC	GCTCACAATCCTTCCACTGC	NED	CATT	180-192	4	0.65	0.64	0.733
Uau12	TGAACATCTCCCATGTGCC	ACTGAACCTAAAGCTCCTTGTAGC	PET	TATC	171-187	3	0.57	0.61	0.217
Uau13	TTGTCCTAGTGCTTGCCTGC	TCAGACTTGTATAGTGAATGCTGC	6-FAM	TCTA	217-233	4	0.33	0.39	1.000
Uau14	CCTGCTCATTATCCAATGCC	CTCAGTGACAGGAAGGGAGG	VIC	ATCT	220-228	3	0.63	0.61	0.422
Uau15	GTGATGGTCATGGAGAGGG	GGCAACAACCAAGTGGGAAGC	NED	ATAA	203-219	3	0.57	0.57	0.533
Uau16	TGAGATCAAGCCCTGCATCG	CCCAGAGTGAACCCATGGG	6-FAM	ATAA	211-251	5	0.67	0.82	0.003
Uau17	TGCCTCACTTCTTGGGC	AGGAAAACAGGGCAACATAGC	VIC	AAGA	215-227	2	0.49	0.61	0.439
ZFX	GGACTCAGATGTAAGTGAAGAAG	ACTACGCTATCACGAACGAC			174				
ZFY	GGACTCAGATGTAAGTGAAGAAG	CTGAAGCAATGTCTGTTGTC			221				

ができた。このうち、96座位について有効性を検証した結果、18座位で増幅が確認でき、内17座位のジェノタイプピングに成功した。開発した17座位および後に記す性判別マーカーの特徴を表1-1に示す。各遺伝子座のヘテロ接合度の期待値 ( $H_E$ ) と観測値 ( $H_o$ ) は、それぞれ0.33–0.67、0.39–0.82であった。また、ハーディワインベルグ平衡 (HWE) の検定結果として、1座位 (Uau16) において有意な逸脱が観察された ( $P < 0.003$ )。HWEからの逸脱の要因の1つとして、ヌルアリル (PCRで増幅されないアリル) の存在が考えられるが、MICRO-CHECKERによる検証の結果、全ての遺伝子座においてヌルアリルは確認されなかった。連鎖不平衡検定の結果、6つの遺伝子座間が連鎖している可能性が示された ( $P < 0.05$ )。Gimletを用いた個体識別の結果では、17座位のアリルの組み合わせにより、28個体全てを識別することに成功した。これらの結果から、どのSSRも個体識別に用いるには問題がないと考えられた。しかしながら、HWEからの逸脱、または連鎖の可能性のあるSSRマーカーは、集団遺伝学的解析に適さないと考えられる。したがって、今後の糞DNA分析には、6座位 (Uau1、5、6、7、12、16) を除いた11座位を用いて個体識別を行うこととした。11座位全てを用いたPIDは $1.46 \times 10^{-6}$ 、PIDsibは、 $1.85 \times 10^{-3}$ であった (図1-3)。また、最少で8座位を用いることでPIDsibが、0.01を下回った ( $7.28 \times 10^{-3}$ )。これらの値は、開発した個体識別マーカーが、個体識別をするにあたって十分な識別能力を持つことを示している (Waits et al. 2001)。

続いて、性判別マーカーの有効性の検証を性別が判明している6サンプルを用いて行った。その結果、全てのサンプルで性判別に成功した (図1-4)。過去に作成されたマンガースの性判別マーカーの769bpと546bp (Murata et al. 2011) と比較すると、今回の性判別マーカーは、174bpと221bpと短いものを開

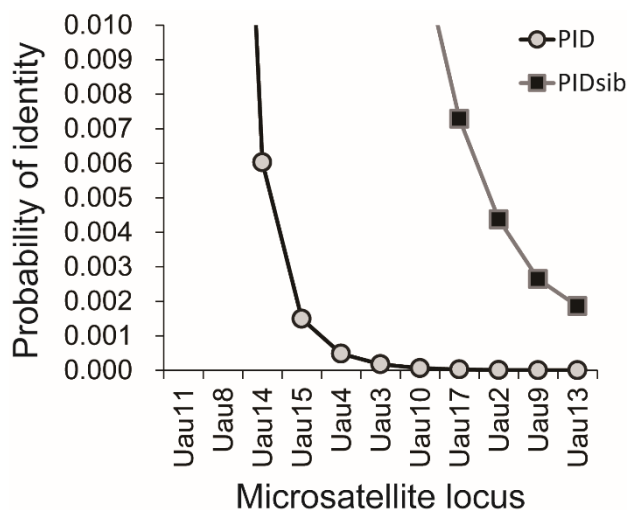


図 1-3. 累積した PID および PIDsib の推移

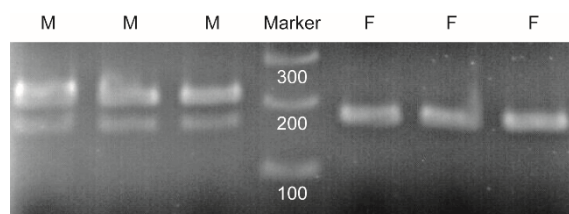


図 1-4. 性判別マーカーを用いた電気泳動像結果. Mはオス、Fはメスサンプルを示す。

発することに成功した。そのため、糞や腐肉由来といったDNAが劣化したサンプルでも判別できる可能性が高くなることが期待される。

#### ・糞DNA分析を用いたマングースの個体識別およびマングース検出率の推定

探索試験の結果、726個の糞が採集され、DNAを用いた種判別の結果526個がマングース由来であった。フラグメント解析の結果、139個の糞サンプルについて12座中8座以上決定することできた。PIDとPID<sub>sib</sub>は、それぞれ $1.40 \times 10^{-6}$ と $1.49 \times 10^{-3}$ であったことから、十分に個体識別可能な精度を持つデータが野外から得られたと考えられる。結果として、95個体のマングース（オス45、メス45、性別不明5個体）を検出することに成功した。このうち、調査期間中に再検出された個体は、19個体であった。SECRを用いてマングースの検出率（g0）と行動圏スケール（σ）を推定した結果、それぞれ $7.04 \times 10^{-5}$ （95%CI;  $4.74 \times 10^{-5}$  -  $1.05 \times 10^{-4}$ ）、234.33（m）（95%CI; 191.66 - 286.50）であった。このようにマングースの検出パラメーター算出に成功した。これらのパラメーターを根絶確率評価モデルに用いることで、根絶宣言の論拠となる指針を提供することが可能となった。

#### ・統計モデルを用いたマングースの根絶確率算出

HBMおよびREAによる根絶確率を表1-2に示した。REAはHBMに比べて空間的な個体密度の均一性に関する過程が緩いため、より厳しい根絶確率の評価となった。HBMでは最後のマングース検出のあった2018年度以降済みやかに根絶確率が上昇し、一方、REAの根絶確率がであった。慎重な根絶確率の評価を行うにあたっては両手法の根絶確率を比較し、より厳しい手法の結果を採用することが望ましいと考えられた。また、HBMでは計算コストの制限により空間解像度を上げることが困難であったが、それをクリアすることでREAの根絶確率に近づくと考えられた。HBMは捕獲データや導入履歴などオンサイトの情報のみから根絶確率を算出できるメリットがあるため、今後空間解像度を上昇させる方向で技術の開発を進めることが今後の効率的な根絶評価につながると考えられた。

表1-2. 年度別、方法別の根絶確率。根絶確率の値はいずれも年度末の値。type列は、根絶確率の算出に実データ(actual)を用いたか、未定のためシナリオ値(scenario)を用いたかを示している。

年度	type	方法	根絶確率	方法	根絶確率
2018	actual	HBM		REA	
2019	actual	HBM		REA	
2020	actual	HBM		REA	
2021	actual	HBM		REA	
2022	scenario	HBM		REA	
2023	scenario	HBM		REA	
2024	scenario	HBM		REA	
2025	scenario	HBM		REA	

#### ・日本におけるマングースの移入史

本研究で初めて、日本の（沖縄島の）マングースのミトコンドリアDNA全長配列の決定に成功した。ミトコンドリアDNA全長配列を用いたML系統樹では、沖縄の系統がフィジーのファイリマングース（acc. no. NC\_006835）と姉妹群を形成し、日本に生息するマングースはファイリマングースであることが再確認された（図1-5）。Cytbの分析結果では、日本集団には二つのハプロタイプが存在することが示された。（UaC6



と10)。UaC6は、沖縄、奄美、喜入集団全てで確認され、UaC10は奄美集団のみにて確認された。この二つのハプロタイプは、一塩基置換によって異なっていたことから、UaC10はUaC6から派生したものの、もしくは、本研究ではUaC10を他集団から検出できなかった可能性が考えられた。またハプロタイプネットワーク樹の結果から、日本のハプロタイプは、他国のものとは異なることが示された(図1-6)。

マイクロサテライト分析の結果、3座(Uau1、15、16)がHWEから逸脱していると考えられたため、これらの遺伝

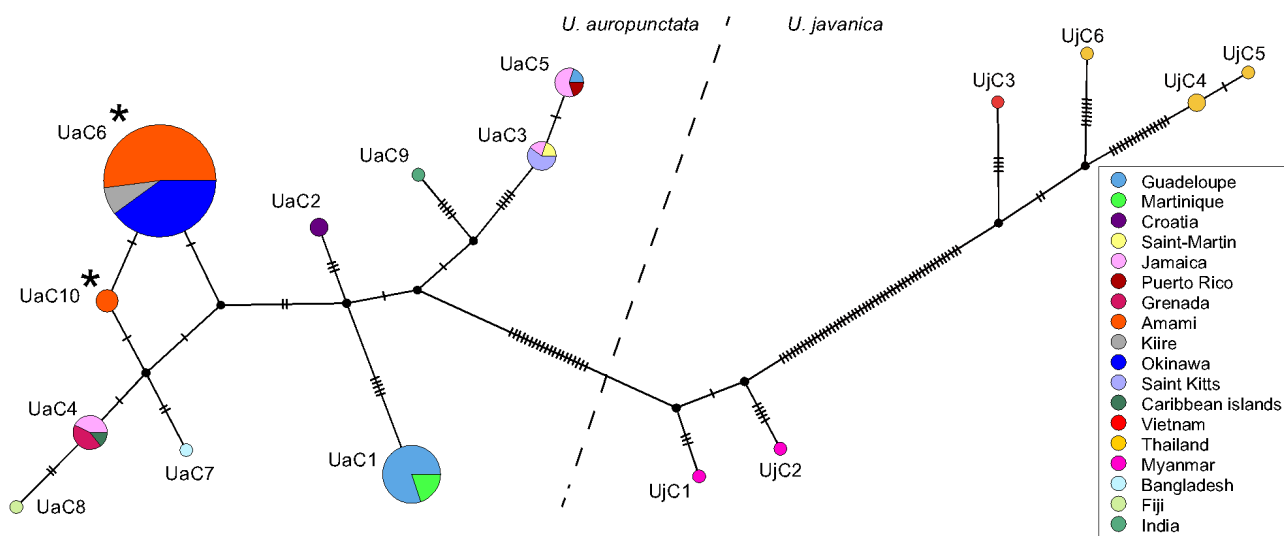


図 1-5. マングース科のミトコンドリア DNA 全長配列を用いた最尤法系統樹。太字が本研究で用いたサンプルを示す。

図 1-6. Cytb のハプロタイプネットワーク樹。アスタリスクが本研究の分析サンプルを示す。

子座を除いて解析を進めた。LD検定の結果、19座間が連鎖していると考えられ、その多くは奄美集団内で観察された。これは、実際にそれらの遺伝子座が連鎖しているという可能性よりも、集団内でなんらかの進化的な要因が生じたことに起因すると考えられた。そのため、これらの座を含めた14座のデータを用いた解析を行った。日本のマングースの遺伝的特徴を表1-3に示した。アリル数( $k$ )は、2.00-2.71。プライベートアリル (PA) は、沖縄と奄美集団にそれぞれ1つ見られた。ヘテロ接合度観察値 ( $H$ ) と期待値 ( $H_e$ ) は、それぞれ0.42-0.54と0.40-0.54の値を取った。沖縄集団のヘテロ接合度が最も高かった ( $H_e$ , 0.54)。3集団全てが、HWEから逸脱しておらず、近親交配の傾向もみられなかった ( $F_{IS}$ , -0.117から0.049)。PCoAの結果、沖縄と奄美集団は遺伝的に異なっており、喜入集団は比較的沖縄集団に近い

表 1-3. 日本におけるフイリマングースの遺伝的特徴

	Okinawa	Amami	Kiire
n	28	40	6
k	2.71	2.64	2.00
PA	1	1	0
$H_o$	0.54	0.50	0.40
$H_e$	0.54	0.45	0.42
HWE	0.462	1.000	0.347
$F_{IS}$	0.011	-0.117	0.049

ことが示された(図1-7)。DAPCの結果、3集団全てが明瞭に異なることが示された(図1-8)。STRUCTURE解析の結果、 $K=2$ の時が最も尤度が高かった。 $K=2$ と3の時、沖縄と奄美集団は遺伝的に分けられ、喜入集団は沖縄集団に近いことが示された(図1-9)。集団間の遺伝的な違いを示すpairwise  $F_{ST}$ の値では、3集団全てが遺伝的に分化していることが示され(表1-4)、沖縄集団が、奄美と喜入集団にそれぞれ近いことが示された。BOTTLENECK解析の結果、3集団全てがボトルネックを経験し、少数の創始者集団に基づいていたことが示された。また、BayesAssを用いた解析では、近年の遺伝的交流は確認されなかった。

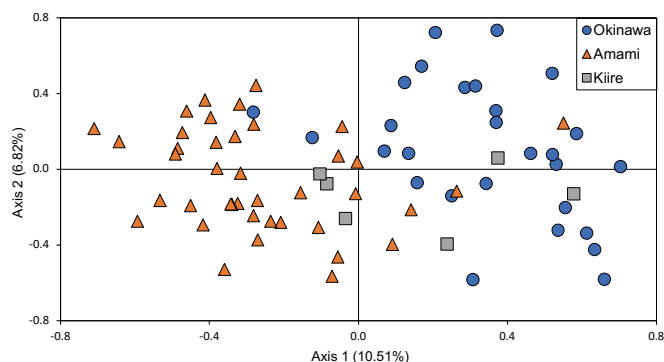


図 7. PCoA 解析の結果

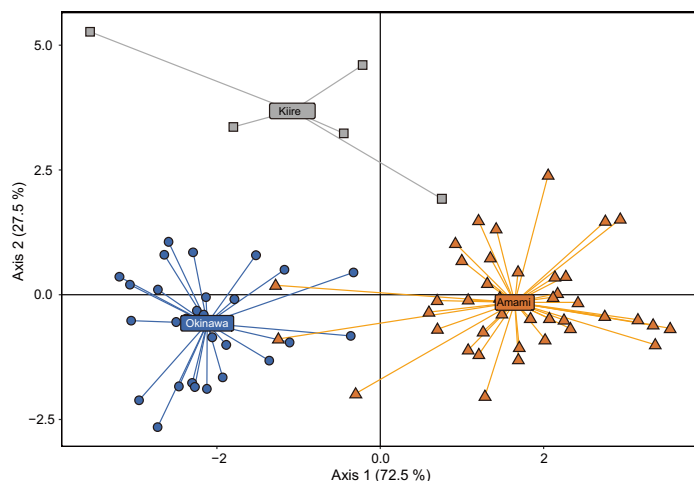


図 8. DAPC 解析の結果

以上のように、ミトコンドリアDNAとマイクロサテライトを用いた分析により、日本のマングース集団の遺伝的特徴を詳細に示すことができた。特に、喜入集団の遺伝的多様性をマイクロサテライト分析により行った研究は、本研究が初めてである。結果として、日本のマングースは小集団に起因することが示唆された。これは13~17頭が沖縄に持ち込まれたとする報告（岸田 1931）と一致していた。また、沖縄—奄美集団間および沖縄—喜入集団間がそれぞれ遺伝的に近かったことから、沖縄集団を起源に、奄美大島と喜入にマングースが移入されたと考えられた。これは、これまでの先行研究や新聞記事を支持する結果となった（阿部ら 1991；朝日新聞2010；Thulin et al. 2006；Watari et al. 2011；Barun et al. 2013；Yamada et al. 2015）。本研究のように、外来種の移入史を明らかにすることは、外来種の管理や新たな侵入リスクを評価する上で重要となる。マングースの新たな侵入がハワイ島で2012年に確認されている一方で（Wostenberg et al. 2019）、沖縄島、奄美大島、九州本土を結ぶ航路の港湾区域では、マングースに対するバイオセキュリティ対策が現在行われていない。もし、日本で新たなマングースの侵入が生じた場合、我々の遺伝子マーカーを用いた分析を行い、今回の結果と比較することで侵入経路の特定に役立つことが期待される。

#### ・マングースの糞DNA劣化検証実験

カバー無の環境に設置した糞は、設置後14日でほとんど溶解し、20日目には全て消失していた。一方カバー有の環境に設置した糞については、40日目でも13個の糞が溶解せずに残っていたため、40日目の糞サンプルとして分析し、実験を終了した。分析の結果、Day0のCt値、SSRのAF、CG、性判別マーカーのAF、SIの平均値は、それぞれ、24.50、8.33%、70%、30%、70%であった。各環境における実験期間の平均値は、カバー無のサンプルが29.33、62%、20%、87.5%、10%、カバー有のサンプルが、24.91、25.84%、53.47%、50.42%、46.67%であった（表1-5）。

GLMM解析の結果、全ての分析座において、カバー有のサンプルは日数が経過してもDNAの分析成功率が高いままであった（図1-10）。一方で、カバー無のサンプルは、日数経過とともに分析成功率が下がる傾向が見られた。すなわち、カバーの有無と日数経過が糞DNA分析成功率に強く影響することが示され

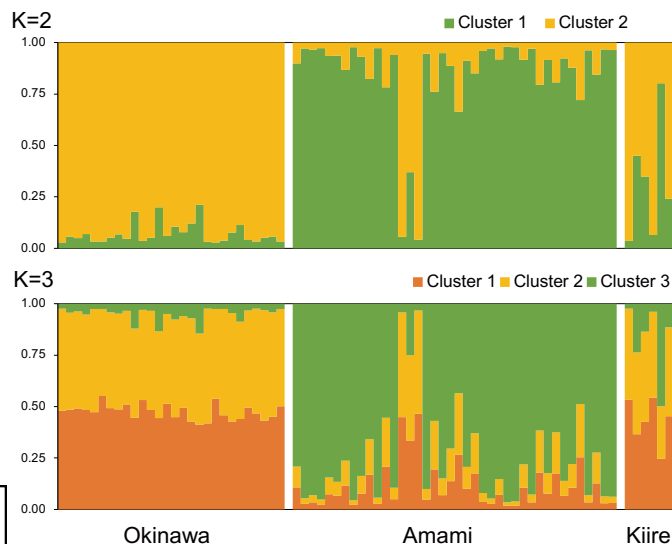


図 9. STRUCTURE 解析の結果

表 4. 日本のマングース集団間の遺伝的距離 ( $F_{ST}$ , 下記) と移入数 ( $M$ , 上記)

	Okinawa	Amami	Kiire
Okinawa		4.162	3.851
Amami	0.107		2.700
Kiire	0.115	0.156	

表 1-5. 各条件における糞 DNA 分析の成功率

Days	non-covered					covered				
	mtDNA		SSR		Sex	mtDNA		SSR		Sex
	AF	CG	AF	SI		AF	CG	AF	SI	
3	27.16	54.17	30.83	77.5	12.5	24.87	30	58.33	35	65
5	28.4	46.67	32.5	80	17.5	24.82	24.17	53.33	55	40
7	29.59	65.83	16.67	87.5	12.5	24.7	36.67	53.33	45	52.5
10	30.26	70.83	8.33	95	5	24.63	10	63.33	45	55
14	31.26	72.5	11.67	97.5	2.5	25.04	10	55	62.5	32.5
40						25.39	44.17	37.5	60	35
Mean	29.33	62	20	87.5	10	24.91	25.84	53.47	50.42	46.67
Day0	24.5	8.33	70	30	70					

た。

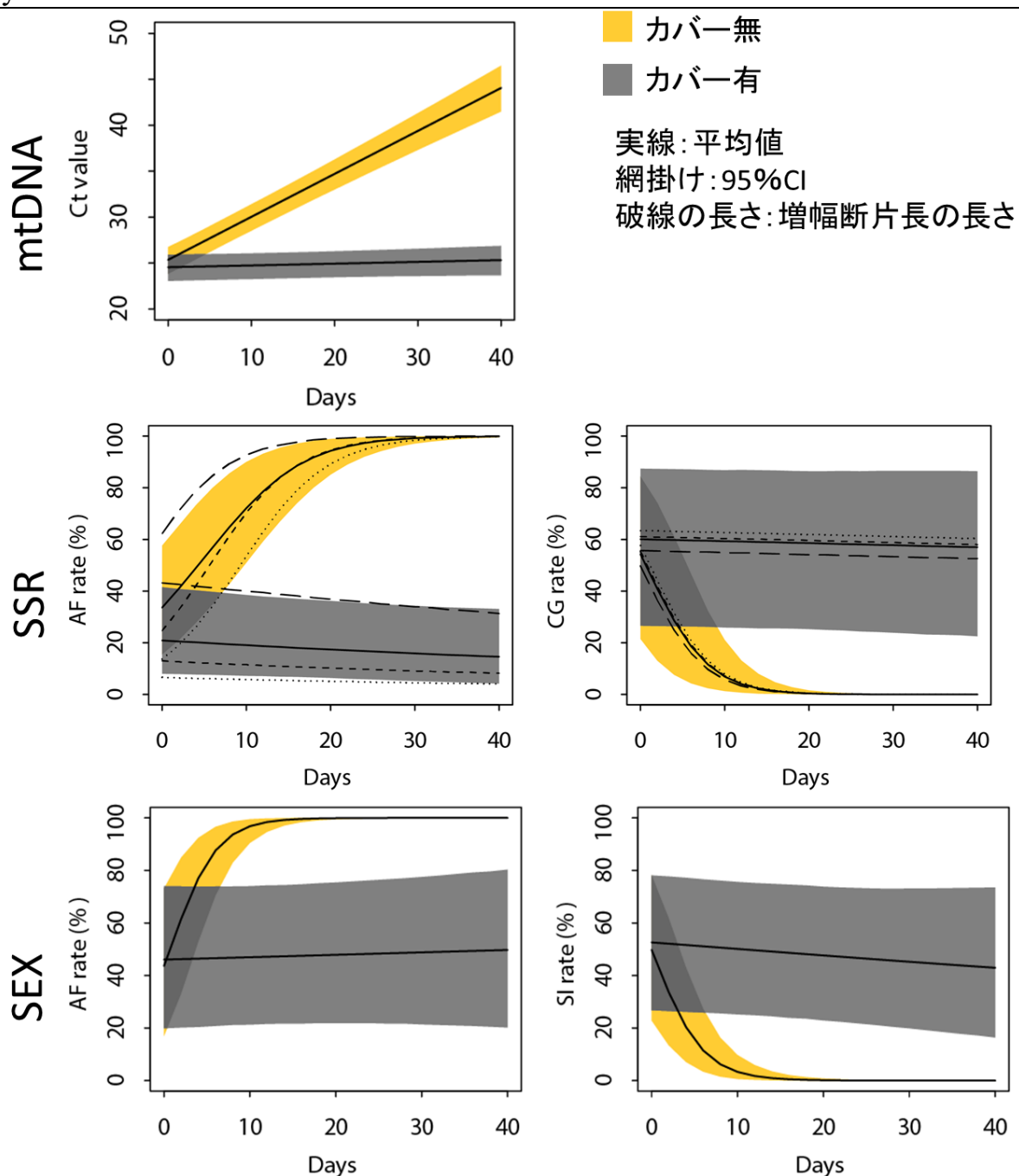


図 1-10. 各分析座の分析成功率と日数経過の関係性。

ら、排せつ後1か月ほど経った糞でも分析可能であることが示唆された（図1-10）。SSRの分析結果、排せつ後10日経った糞でも30%ほど増幅が可能であるが、そのジェノタイピング成功率は10%未満とかなり低くなることが示された。また、分析座の増幅断片長が長くなればなるほど日数経過の影響を強く受ける傾向が示された。一方、性判別結果では、排せつ後10日経った糞では、ほとんど分析不可能なことが示された。以上の結果から、種判別は、排せつ後1か月ほど経った糞でも可能であるが、個体識別および性判別を行うためには、3日以内などのなるべく新鮮なサンプルが必要であることが示唆された。これらの結果は、マングース糞を目的とするモニタリングの計画立案に大きく寄与するものである。

## 5. 研究目標の達成状況

本研究により、奄美大島でのマングース根絶確率の算出に成功し、環境省奄美大島マングース防除事業で既に活用されており、当初計画以上の成果を得ることが出来た。加えて、糞中DNA劣化試験を行ったことで、今後、沖縄島での糞探索犬による在否確認時の調査デザインの設計に貢献することが見込まれ、当初計画以上の成果を上げることが出来た。

## 6. 引用文献

- 1) 朝日新聞 (2010) 寒くて太っちゃった鹿児島本土のマングース、体形変化. [https:// www.asahi.com/eco/SEB201003060004.html](https://www.asahi.com/eco/SEB201003060004.html)
- 2) 阿部慎太郎, 高槻義隆, 半田ゆかり, 和秀雄 (1991) 奄美大島におけるマングース (*Herpestes* sp.) の定着. 哺乳類科学 31:23-36
- 3) Barun A, Niemiller ML, Fitzpatrick BM, et al (2013) Can genetic data confirm or refute historical records? The island invasion of the small Indian mongoose (*Herpestes auro-punctatus*). Biol Invasions 15:2243-2251. doi: 10.1007/s10530-013-0447-6
- 4) Bernt M, Donath A, Jühling F, et al (2013) MITOS: Improved de novo metazoan mitochondrial genome annotation. Mol Phylogenet Evol 69:313-319. doi: 10.1016/j.ympev.2012.08.023
- 5) Borchers, D. L., & Efford, M. (2008). Spatially explicit maximum likelihood methods for capture-recapture studies. Biometrics, 64(2), 377-385.
- 6) Clement M, Posada D, Crandall KA (2000) TCS: A computer program to estimate gene genealogies. Mol Ecol 9:1657-1659. doi: 10.1046/j.1365-294X.2000.01020.x
- 7) Du L, Zhang C, Liu Q, et al (2018) Krait: An ultrafast tool for genome-wide survey of microsatellites and primer design. Bioinformatics 34:681-683. doi: 10.1093/bioinformatics/btx665
- 8) Excoffier L, Lischer HEL (2010) Arlequin suite ver 3.5: A new series of programs to perform population genetics analyses under Linux and Windows. Mol Ecol Resour 10:564-567. doi: 10.1111/j.1755-0998.2010.02847.x
- 9) Frantz AC, Pope LC, Carpenter PJ, et al (2003) Reliable microsatellite genotyping of the Eurasian badger (*Meles meles*) using faecal DNA. Mol Ecol 12:1649-1661. doi: 10.1046/j.1365-294X.2003.01848.x
- 10) Fukasawa, K., Hashimoto, T., Tatara, M., & Abe, S. (2013). Reconstruction and prediction of invasive mongoose population dynamics from history of introduction and management: a Bayesian state-space modelling approach. Journal of Applied Ecology, 50(2), 469-478.
- 11) Fukuhara R, Yamaguchi T, Ukuta H, et al (2010) Development and introduction of detection dogs in surveying for scats of small Indian mongoose as invasive alien species. J Vet Behav 5:101-111. doi: 10.1016/j.jveb.2009.08.010
- 12) Imazato H, Onuma M, Nagamine T, Nakaya Y (2012) Molecular Species Identification of



- Predators of Endangered Species on Okinawa-Jima Island. *Mammal Study* 37:159–164. doi: 10.3106/041.037.0207
- 13) Jin JJ, Yu W Bin, Yang JB, et al (2020) GetOrganelle: A fast and versatile toolkit for accurate de novo assembly of organelle genomes. *Genome Biol* 21:1–31. doi: 10.1186/s13059-020-02154-5
  - 14) Kamvar ZN, Tabima JF, Grünwald NJ (2014) Poppr: An R package for genetic analysis of populations with clonal, partially clonal, and/or sexual reproduction. *PeerJ* 2014:1–14. doi: 10.7717/peerj.281
  - 15) 岸田久吉 (1931) 渡瀬先生とマングース輸入. *動物学雑誌* 43:70–78
  - 16) Leigh JW, Bryant D (2015) POPART: Full-feature software for haplotype network construction. *Methods Ecol Evol* 6:1110–1116. doi: 10.1111/2041-210X.12410
  - 17) Murata C, Sawaya H, Nakata K, et al (2016) The cryptic Y-autosome translocation in the small Indian mongoose, *Herpestes auropunctatus*, revealed by molecular cytogenetic approaches. *Chromosoma* 125:807–815. doi: 10.1007/s00412-015-0572-3
  - 18) Patou ML, Mclenachan PA, Morley CG, et al (2009) Molecular phylogeny of the Herpestidae (Mammalia, Carnivora) with a special emphasis on the Asian *Herpestes*. *Mol Phylogenet Evol* 53:69–80. doi: 10.1016/j.ympev.2009.05.038
  - 19) Piry S, Luikart G, Cornuet JM (1999) BOTTLENECK: A computer program for detecting recent reductions in the effective population size using allele frequency data. *J Hered* 90:502–503. doi: 10.1093/jhered/90.4.502
  - 20) Raymond M, Rousset F (1995) GENEPOP (Version 1.2): Population Genetics Software for Exact Tests and Ecumenicism. *J Hered* 86:248–249. doi: 10.1093/oxfordjournals.jhered.a111573
  - 21) Sato T, Jogahara T (2021) Development and characterization of microsatellite markers in the small Indian mongoose (*Urva auropunctata*). *Mol Biol Rep* 48:7029–7034. doi: 10.1007/s11033-021-06655-9
  - 22) Schuelke M (2000) An economic method for the fluorescent labeling of PCR fragments. *Nat Biotechnol* 18:233–234. doi: 10.1038/72708
  - 23) Samaniego -Herrera, A., Anderson, D. P., Parkes, J. P., & Aguirre - Muñoz, A. (2013). Rapid assessment of rat eradication after aerial baiting. *Journal of Applied Ecology*, 50(6), 1415–1421.
  - 24) Thulin CG, Simberloff D, Barun A, et al (2006) Genetic divergence in the small Indian mongoose (*Herpestes auropunctatus*), a widely distributed invasive species. *Mol Ecol* 15:3947–3956. doi: 10.1111/j.1365-294X.2006.03084.x
  - 25) Waits LP, Luikart G, Taberlet P (2001) Estimating the probability of identity among genotypes in natural populations: cautions and guidelines. *Mol Ecol* 10:249–256. doi: 10.1046/j.1365-294X.2001.01185.x
  - 26) Watari Y, Nagata J, Funakoshi K (2011) New detection of a 30-year-old population of introduced mongoose *Herpestes auropunctatus* on Kyushu Island, Japan. *Biol Invasions* 13:269–276. doi: 10.1007/s10530-010-9809-5
  - 27) Wilson GA, Rannala B (2003) Bayesian inference of recent migration rates using multilocus genotypes. *Genetics* 163:1177–1191. doi: 10.1093/genetics/163.3.1177
  - 28) Wostenberg DJ, Hopken MW, Shiels AB, Piaggio AJ (2019) Using DNA to Identify the Source of Invasive Mongooses, *Herpestes auropunctatus* (Carnivora: Herpestidae) Captured on Kauaʻi, Hawaiian Islands. *Pacific Sci* 73:215. doi: 10.2984/73.2.3
  - 29) Yamada F, Ogura G, Abe S (2015) *Herpestes auropunctatus* (Hodgson, 1836). In: Ohdachi

SD, Ishibashi Y, Iwasa MA, et al. (eds) The wild mammals of Japan, 2nd edn. Shoukadoh Book Sellers, Kyoto, pp 272–274

## Ⅱ-2 特定外来生物クリハラリスのフィージビリティを考慮した防除モデルの検討

国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林総合研究所

九州支所 森林動物研究グループ

安田 雅俊

<研究協力者>

一般財団法人自然環境研究センター

橋本 琢磨

日本獣医生命科学大学 獣医学部

寫本 樹（令和2～令和3年度）

### [要旨]

日本各地に定着している特定外来生物クリハラリスは著しい生態系の被害や農林業被害を引き起こす懸念があることから、各地で行政主導あるいは民間主導の防除が行われているものの、個体群が制御できた事例は少なく、十分な成果があがっていない。そこでフィージビリティを考慮した防除モデルを提示することで、本種の防除の効率化を促進することを目的とした。特定外来生物クリハラリスの地域個体群の根絶にむけた手法の開発と化学的防除の効果検証を行い、外来リス防除の社会実装にむけたガイドラインを提示した。絶滅寸前のクリハラリス個体群がある熊本県宇土半島において、クリハラリス残存個体の探索捕獲を効率的に行う手法（ベイト法）の野外試験を行い、良好な成績を得た。クリハラリスの無人島個体群がある大分県大分市高島において、本種を速やかに根絶させるための化学的防除の技術を開発し野外試験を行い、良好な成績を得た。携帯電話の4G通信網を介して罠の状況を監視するIoTシステムを設計し、市販されているクリハラリス用の箱罠と捕獲報知器を組み合わせた野外試験を有人エリアと無人エリアで行った。本研究で主な調査地とした熊本県と大分県の事例に、他都府県における事例を加えて、日本におけるクリハラリスの防除に関するレビューを行ない、クリハラリスの防除マニュアルを作成した。本研究期間内に個体群の絶滅確率の推定に足るデータは得られなかったものの、すでに複数の研究成果の社会実装の実績があり、目標を上回る成果が得られた。

### 1. 研究開発目的

日本各地に定着している特定外来生物クリハラリスは著しい生態系の被害や農林業被害を引き起こす懸念があることから、各地で行政主導あるいは民間主導の防除が行われているものの、個体群が制御できた事例は少なく、十分な成果があがっていない<sup>1)</sup>。そのため本種個体群の根絶・制御技術の確立が急務である。そこでフィージビリティを考慮した防除モデルを提示することで、行政主導での本種の防除の効率化を促進することを目的とした。

### 2. 研究目標

特定外来生物クリハラリスの地域個体群の根絶にむけた手法の開発と化学的防除の効果検証を行い、外来リス防除の社会実装にむけたガイドラインを提示する。

### 3. 研究開発内容

#### (1) 根絶寸前のクリハラリス個体群

絶滅寸前のクリハラリス個体群がある熊本県宇土半島（宇土市・宇城市）において、クリハラリス残存個体の探索捕獲を効率的に行うために開発されたベイト法（クリの実2個とオレンジ色のピンポン球2個を針金に通した誘引餌を地上高約1.5mの木の枝等に設置し、クリの実の食べられ方でクリハラリスの生息を調査する方法）の野外試験を行った。探索捕獲とは、やみくもに罠を設置するのではなく、本種の生息を確認した地点の周辺にのみ罠をピンポイントに設置する方法である。2019年度までに開発したベイト法を3冬（2020年度、2021年度、2022年度）実施し残存個体の捕獲につなげるとともに、ベイト法によって確認された「根絶エリア」の拡大を目指した。

#### (2) 無人島のクリハラリス個体群

クリハラリスの無人島個体群がある大分県大分市高島において、本種を速やかに根絶させるための防除技術を開発し、野外試験を行った。通常の方法による捕獲法に加えて、日本初となるクリハラリスを

標的種とした化学的防除を試験的に導入した。化学的防除にはダイファシノン0.005%を含むペレットを用い、それを特製のベイトステーションで供した。ベイトステーションの形状を工夫することで非標的種（鳥類）による薬剤の喫食を防止した。また動物による薬剤の喫食状況を把握するために、一部のベイトステーションを自動撮影カメラで監視した。

### （3）IoTを活用した防除技術の開発

携帯電話の4G通信網を介して罾の状況を監視するIoTシステムを設計し、市販されているクリハラリス用の箱罾と捕獲報知器を組み合わせた野外試験を行った。捕獲報知器つき箱罾を用いたクリハラリスの捕獲試験を本種の有人エリアと無人エリアの生息地で実施した。

### （4）防除事例のレビューと防除のガイドライン

本研究で主な調査地とした熊本県と大分県の事例に、他都府県における防除事例を加えて、日本におけるクリハラリス防除事例のレビューを行なった。行政向けの防除ガイドラインを作成した。

## 4. 結果及び考察

### （1）根絶寸前のクリハラリス個体群

根絶寸前の宇土半島のクリハラリス個体群（熊本県宇土市・宇城市；図-2.1）では、2010年度に本格的な防除が開始され、以後13年間にわたり強い捕獲圧がかけ続けられてきた（図-2.2）。2010年度から数年間は捕獲報奨金制度を活用し、猟友会や果樹生産者を中心に、農地や道路から近い場所において防除捕獲の推進を図った。その後、2012年度から現在までは、専従の捕獲従事者を市の臨時職員として雇用することで、アクセスに時間を要する山林等における防除捕獲の推進を図った。このような防除体制の見直しは、標的種の生息域を狭め、分断し、生息密度を低下させるために有効である<sup>2)</sup>。

本地域における2022年度末までのクリハラリスの総捕獲数は計6115頭であった。年間捕獲数の最大値は本格的な防除の初年度（2010年度）の3112頭で、その後、2014年度までは急速に減少したが、2014年度以降に減少傾向は鈍化した（図-2.2）。このことは、防除作業が及んでいない、よりアクセスが困難なエリア（捕獲困難エリア）にクリハラリスの残存個体が生息しており、そこで増加した個体の一部が毎年一定数、捕獲困難エリアの外に設置した罾で捕獲される状態になったことを暗示していた。これに対応するため、ベイト法による探索捕獲の手法を開発し、2018年度にまず半島西端に位置する三角岳（標高405m）の急傾斜地において試験したところ良好な成績を得た。すなわち、2018年度には探索捕獲により三角岳で14頭（雌9、雄5）が捕獲されたが、これは当年度の捕獲数（50頭）の約3割を占めた。2019年度以降は、主に冬の期間にベイト法による探索捕獲を集中的に実施することとした。この探索捕獲は、年度ごとに調査エリアを調整した後に、森林総合研究所九州支所、宇土市・宇城市、環境省九州地方環境事務所（2020年度～2022年度）の4者によって実施された（図-2.3）。

地域根絶への最終段階にあたる直近3年間の年間捕獲数は、2020年度15頭（雌11、雄4）、2021年度3頭（雌3）、2022年度0頭と減少した（図-2.2）。この期間の特徴としては捕獲個体の性比がかなり雌に偏ったことが挙げられる（雌78%、雄22%；図-2.3）。本研究期間の3年間に本地域で捕獲されたクリハラリスの大部分（18頭のうち16頭、89%）はベイト法による探索捕獲の成果であり、また捕獲個体の78%が雌であったことから、探索捕獲は低密度個体群の制御に有効と考えられる。

本研究期間内に当該個体群の絶滅確率の推定に足るデータは得られなかったものの、2010年度の本格的な防除の開始から13年間にわたり強い捕獲圧をかけ続けてきたことにより、本個体群は2022年度末現時点ではほぼ根絶状態に達した可能性が観測された。今後数年間は十分なモニタリングを実施する必要がある。具体的には、ベイト法によりクリハラリスの不在が確認されたエリア（根絶エリア）を拡大していくことで、速やかな地域根絶の達成につながるとみられる。

なお、ベイト法による探索捕獲は、熊本県宇土半島以外に、静岡県浜松市や伊豆半島東部のクリハラリス個体群、大分県別府市の個体群でも導入されており、研究成果の社会実装の実績がある。

### （2）無人島のクリハラリス個体群

無人島の高島（大分県大分市、面積約1km<sup>2</sup>；図-2.1）のクリハラリス個体群では、本種の根絶と生態

系回復を目的として、環境省から外来生物法による防除認定を受け、2018年度から本種の防除および試験研究を行ってきた。2018年度以降、主に春と秋の年2回、実施した箱罟・捕殺罟（以下、箱罟等）によるクリハラリスの防除捕獲によってクリハラリスのCPUEは大きく低下した（図-2.4）。

箱罟等により2018年度以降、計1600頭余りのクリハラリスを捕獲除去したが、残存する捕獲困難個体の除去が課題となったため、外来生物法の認定を受けた防除とは別に、2020年度の冬に島の一部、2021年度と2022年度の冬に島の全域を対象とする化学的防除の試験研究を実施した。高島の哺乳類相はクリハラリス、外来種のクマネズミ、在来種のコウモリ数種に限られており、捕食性食肉類を欠く<sup>3)</sup>。そのため高島は、化学的防除による非標的種（哺乳類）への懸念がないという、化学的防除の野外試験に適した調査地であった。

クリハラリスのCPUEは第1回目の化学的防除（2021年度）の前後で100罟日あたり14から0.45に大きく低下し（図-2.4）、本種に対するダイファシノンの有効性が示された。クマネズミ以外の非標的種（鳥類）によるペレットの喫食は確認されなかった<sup>4)</sup>。第2回目の化学的防除（2022年度）の直前の秋の捕獲調査でのクリハラリスのCPUEは0であった。第2回目の期間中にベイトステーションを訪れた哺乳類はクマネズミのみであったことを考慮すると、本個体群は2022年度末時点で極めて低密度な状態に達していたとみられる。今後数年間は十分なモニタリングを実施する必要がある。罟法によるCPUEのモニタリングから自動撮影カメラによるモニタリングへの移行を検討すべき時期にきている。

高島のクリハラリス個体群の防除では、環境省や大分県、大分市と十分な事前調整を行うとともに、大分市内において公開シンポジウムやセミナーを開催するなどして地元の理解を得た。化学的防除は、地域における合意の下、非標的種への影響が十分に限定的と考えられる場合に採用できる手法である。高島では、化学的防除の実施期間を冬の数ヶ月間に限定したり、ベイトステーションの構造を工夫したり、ベイトステーション内に残ったペレットを試験後にすべて回収したりすることで、化学的防除の生態系への影響や環境中への薬剤の放出量の最小化を可能にした。本研究により、クリハラリスの新たな防除手法としてダイファシノンを用いた化学的防除の技術が確立されたと言えるが、有人エリアや薬剤を喫食する可能性のある在来鳥獣が生息する地域等における適用にあたっては、化学的防除のリスクとベネフィットを慎重に検討する必要がある。

本研究は、集中的な捕獲調査を主に春と秋の年2回実施し、冬に化学的防除を実施するという、異なる防除手法を数年にわたり反復したという点において特徴的である（図-2.5）。クリハラリスは通年繁殖するが、気温が高い夏に最も繁殖率が高まることから、個体群増加の直前にあたる春に実施する捕獲は、繁殖雌の数を減らす効果が得られ、個体群の制御に極めて有効である。一方、秋に実施する捕獲は、化学的防除の対象となるクリハラリスの生息数を減らす効果が得られ、環境中への薬剤の放出量の低減につながる。よって化学的防除は罟法による防除と組合せて実施することが推奨される。

クリハラリスの防除が進むにつれて、高島では、カラスバト（国指定天然記念物、環境省RL：NT、大分県RL：VU）の目撃頻度が高まってきたり、初めて営巣（図-2.6）が確認されたりしており<sup>5)</sup>、島の生態系が回復しつつあることがうかがえる。また、高島では近年、地上営巣性のオオミズナギドリ（大分県RL：LP）の集団営巣地が発見されたが<sup>6, 7)</sup>、鳥類卵の主要な捕食者であったクリハラリス<sup>8)</sup>の在来鳥類の繁殖への影響はほとんど解明されておらず、今後の研究課題である。クリハラリス個体群の根絶後の生態系のモニタリングは、生物多様性保全の観点から、地元の自治体主導で実施されることが望ましい。

### （3）IoTを活用した防除技術の開発

低密度個体群では、クリハラリスの捕獲頻度が低く、防除コストに占める見回りのコストが高くなりやすい。また、高島のような遠隔地の捕獲困難エリアに仕掛けた罟を毎日見回することは難しい。罟法はクリハラリスの防除捕獲に多用されているが、その見回り頻度は防除のコストを大きく左右することから、IoTを活用した防除技術の確立が急務であった。本研究で採用した捕獲報知器（図-2.7）は、auの携帯電話の4G通信網を利用するもので、有人エリアのほとんどは圏内と考えられる（人口カバー率99.9%）。しかし、無人島の高島における電波状況はキャリアから提供されていなかったため、研究者自身が島内を徒歩で歩き回り調査したところ、一部のエリアでは地形等の要因により圏外であることが明らかとな

った(図-2.8)。このような事前情報に基づき、高島での箱罠による捕獲調査では、電波が届く捕獲困難エリアに捕獲報知器を優先的に配置することで、捕獲困難エリアの罠の見回り頻度を減らしつつ、防除作業を大幅に効率化することができた。

また、2021年に新たに発見された大分県別府市のクリハラリス個体群では、すべての箱罠に捕獲報知器を備え付けることで、罠が閉まった日にのみ捕獲従事者が出勤し当該の罠のみに対応するという、極めて省力的な防除体制を構築することができた。このときのクリハラリスのCPUEは100罠日あたり約3で、低生息密度の個体群と考えられた。

捕獲報知器は低密度個体群の防除において有効である。このようなIoT機器を活用することで、クリハラリスの防除作業を大幅に効率化することができるだけでなく、混獲された非標的種(在来の鳥獣)を生きたまま速やかに放逐することができることが示された。本研究で開発した技術は、今後のクリハラリスの防除を省力化、効率化するうえで大きく貢献するものと期待される。

#### (4) 防除事例のレビューと防除のガイドライン

クリハラリスの既知の分布地(13都府県17地点)の現状を調査分析したところ、本種の防除の成功例は日本国内に4例あり、うち2例が初期生息数100頭未満の小規模個体群で、残り2例が初期生息数1万頭未満の中規模個体群であった<sup>1)</sup>。これら2つの防除が成功した中規模個体群は、本研究で主な調査地とした熊本県宇土半島(初期生息数5000頭レベル)と大分県高島(初期生息数1000頭レベル)の個体群である。クリハラリスは特定外来生物に指定されていることから、近年、多くの自治体で何らかの対策が実施されているものの、十分な成果があがっているとは言い難い<sup>1)</sup>。それは当該個体群に対して十分に強い捕獲圧がかけられていないことを意味する。生態学的にみると、「増えるより多く獲る」ことを継続することが個体群を制御するための必須条件である<sup>2)</sup>。この目標を達成するために、行政が住民や専門家とともにいかに取組むかが重要と考えられた。

具体的には、上述した取組を成功させた要因として、1) 早い段階や個体数1万頭以下で捕獲対策に着手したこと、2) 捕獲方法選択・体制づくり・情報の解析・普及啓発に各分野の専門家が積極的に関与したこと、3) 外来哺乳類に関連する学会から自治体など関係機関に対策推進を働きかけたこと、4) 学会からの要請に都道府県や市町村など自治体が迅速に対応したこと、5) 専門家・行政・地域住民を含む多様な利害関係者によるネットワークが形成されたことが挙げられる<sup>1)</sup>。

宇土半島個体群と高島個体群の防除の成功事例は、他地域における行政主導の本種の防除の取組みにとって重要な先行事例となる。そこで、日本哺乳類学会が2017年に示したクリハラリスの防除目標<sup>9)</sup>をベースとして、それ以降に得られた知見を加え(図-2.9)、行政向けのクリハラリス防除マニュアルを作成した。

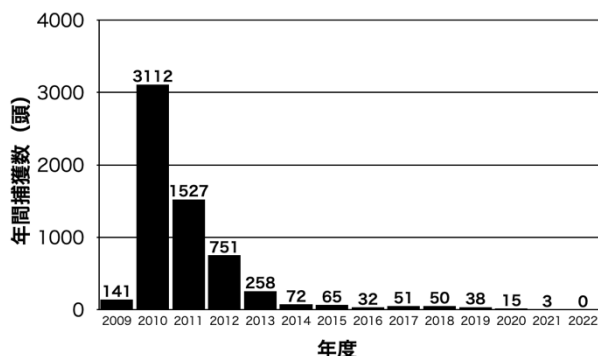
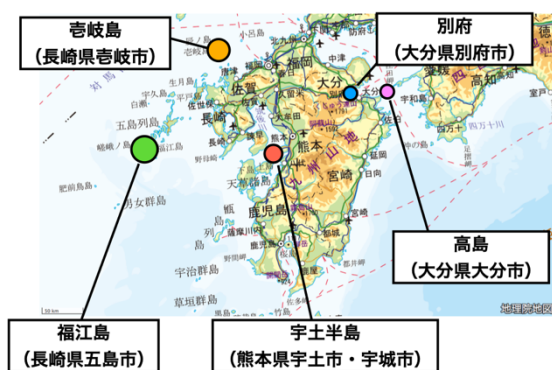


図-2.1 九州地方におけるクリハラリスの生息地。 図-2.2 宇土半島におけるクリハラリスの捕獲数。



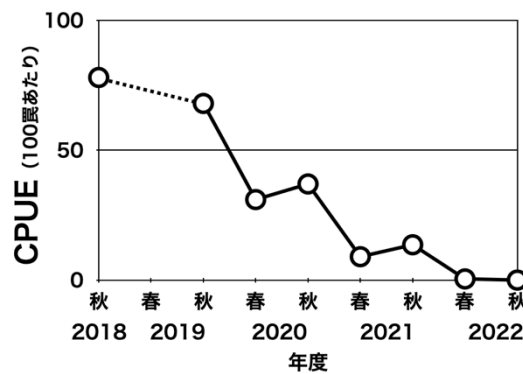
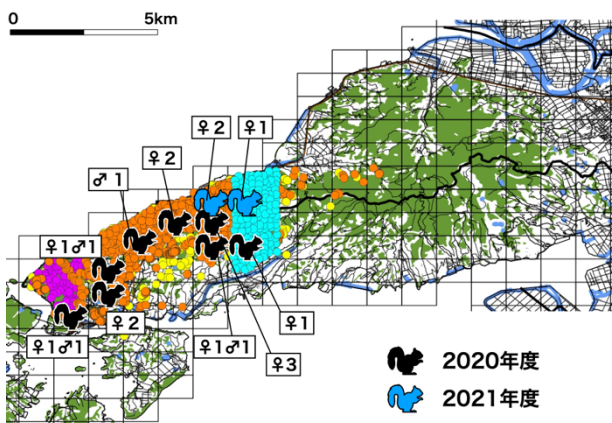


図-2.3 宇土半島におけるクリハラリスの捕獲分布. 図-2.4 高島におけるクリハラリスのCPUE.

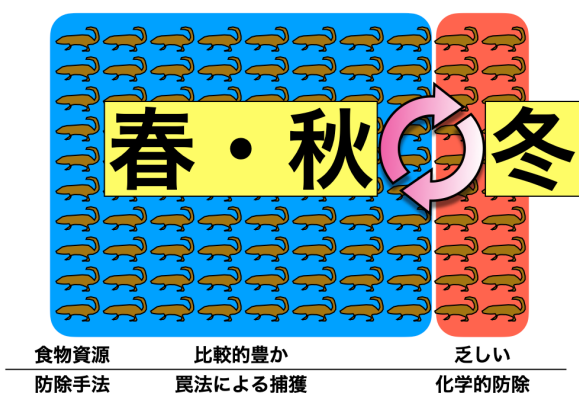


図-2.5 クリハラリスの防除サイクルの例.

図-2.6 高島で発見されたカラスバトの営巣例.



図-2.7 捕獲報知器の利用例.

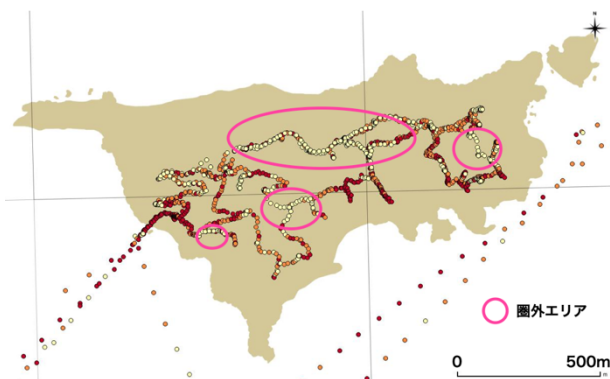


図-2.8 高島における捕獲報知器の利用可能エリア.

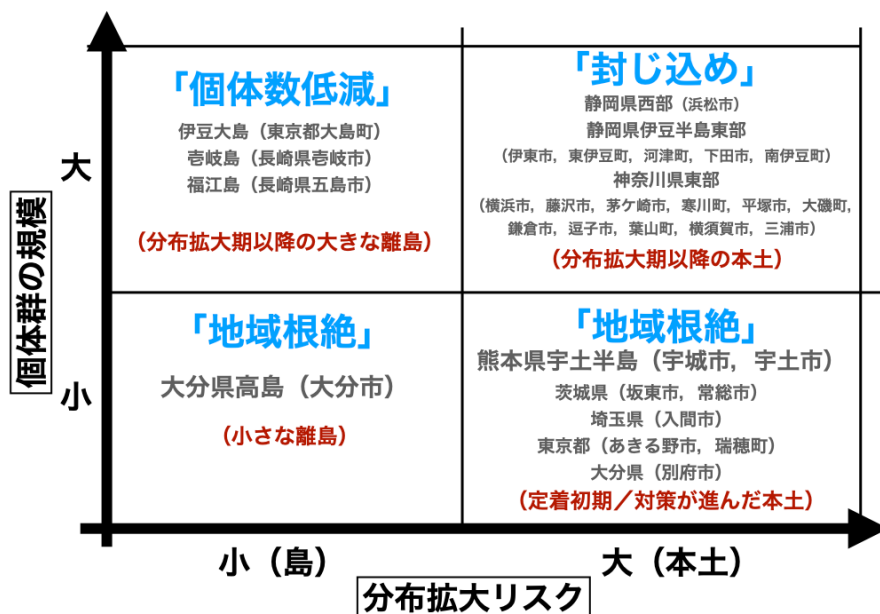


図-2.9 クリハラリス防除の防除目標と分布拡大リスク・個体群の規模との関係. 日本哺乳類学会(2017)を元に作成・加筆.

## 5. 研究目標の達成状況

目標を上回る成果をあげた。研究成果は環境省の事業（2件）、自治体の事業（3市）に活用され、社会実装の実績がある。2021年に新たに発見されたクリハラリス個体群（大分県別府市；図-2.1）<sup>10)</sup>の初期対応に大きく貢献した。

## 6. 引用文献

- 1) N. TAMURA and M. YASUDA: Frontiers in Ecology and Evolution, 10, 1061115 (2023), Distribution and management of non-native squirrels in Japan.
- 2) 安田雅俊：森林野生動物研究会誌、42, 49-54 (2017), 九州に定着した特定外来生物クリハラリスの由来と防除.
- 3) 安田雅俊・森田祐介：大分自然博物誌-ブンゴエンシス、3, 90-92 (2019), 高島の哺乳類とその周辺.
- 4) 安田雅俊：2022年度日本哺乳類学会大会要旨集、151 (2022), 特定外来生物クリハラリス無人島個体群における化学的防除.
- 5) 安田雅俊・宮村栄一：大分自然博物誌-ブンゴエンシス、5, 印刷中 (2023), 大分市高島で初めて確認されたカラスバトの営巣例.
- 6) 関伸一・安田雅俊：Bird Research、17, S1-S8 (2021), 瀬戸内海南縁部におけるオオミズナギドリの新たな集団繁殖地の発見.
- 7) 安田雅俊・森田祐介・宮村栄一・森澤猛：大分自然博物誌-ブンゴエンシス、5, 印刷中 (2023), 高島におけるオオミズナギドリの集団営巣地の分布状況.
- 8) 関伸一：哺乳類科学、58, 33-40 (2018), 鳥類の擬巣における外来のクリハラリス *Callosciurus erythraeus* による卵捕食.
- 9) 日本哺乳類学会：(2017), 特定外来生物クリハラリス (タイワンリス) 等による農林業被害・生態系被害防止のための対策推進についての要望書<<https://www.mammalogy.jp/doc/20171212.pdf>>.
- 10) 安田雅俊・島田健一郎・森澤猛・森田祐介：大分自然博物誌-ブンゴエンシス、5, 印刷中 (2023), 別府市で確認された外来リスへの初期対応.



## II-3 広域分布したアライグマの対策意思決定支援システム構築と革新的防除手法の検討

岐阜大学	浅野 玄	
北海道大学	池田 透	
＜研究協力者＞		
国立研究開発法人国立環境研究所	鈴木 嵩彬	(現・岐阜大学)
岐阜大学	國永 尚稔	(現・岐阜県)
北海道大学大学院文学研究院	表(野瀬) 紹未	
Landcare Research, NZ	Bruce Warbuton, Andrew Gormley, Janine Duckworth	

### 〔要旨〕

フィージビリティスタディによる防除目標の適正設定を確認した後に、捕獲努力量当たりの捕獲数(CPUE)を指標に用いた場合のアライグマ生息数を低減するために必要な予算を算出できるシステム、及び捕獲実績がその後のアライグマ生息数抑制に及ぼす効果評価システムをRによって作成し、Rが使用できる環境を整っていれば自由に利用可能な状況を構築した。

革新的防除手法としての経口避妊ワクチン研究については、アライグマの生体を用いた透明帯由来抗原候補の評価を実施できた。また、Rを用いた経口避妊ワクチン実用化シミュレーションを構築し、避妊効果や散布法の目標を示すことができた。

### 1. 研究開発目的

外来生物法の特定外来生物に一次指定され、各地で防除事業が実施されているにもかかわらず、広域に分布するために思うような成果が得られていないアライグマ防除において、まずは実行可能性研究(フィージビリティスタディ)の適用による無理のない計画立案と具体的な目標設定を行い、防除事業の説明責任及び社会的合意の形成に寄与するとともに、効果的・効率的防除計画策定の支援ツールとして対策意思決定支援システムの開発を行い、防除構築のための条件検討や効果を「見える化」し、そのようなシステムを実用化することを目的とした。

また、アライグマの個体数管理手法においては、現在は主に箱わなを用いた捕獲が行われているが、分布が広域であることに加えて、外来生物法による防除以外に有害鳥獣捕獲が並行して実施されていることもあり、戦略的な個体数管理が進展しない地域も多い。加えて、将来的には捕獲従事者等の担い手の不足も懸念される。そこで、わな捕獲以外の革新的防除手法として、アライグマの経口避妊ワクチンの抗原開発を行うことも、本サブテーマの設定目的とした。さらに、野生アライグマの個体数管理として経口避妊ワクチンを野外で適用した場合、どのような個体数抑制効果が得られるかを事前に想定しておく必要がある。そこで、避妊ワクチン実用化シミュレーションモデルを構築し、ワクチンの避妊効果や散布シナリオなどを検討することも目的とした。

### 2. 研究目標

フィージビリティスタディー(FS)をベースとしたアライグマ対策意思決定支援システムを開発して実用化する。アライグマの避妊ワクチン抗原の有効性を評価し、実用化に際してワクチン効果を事前評価するためのシミュレーションモデルを確立する。

### 3. 研究開発内容

#### ・アライグマ防除における根絶フィージビリティスタディの導入のための諸条件の検討

外来アライグマに関しては、世界的にも根絶事例がほとんど存在せず、有用な情報がない。そのため、本サブテーマにおいては条件検討型フィージビリティスタディを採用することとし、フィージビリティスタディに関する文献研究から根絶に必要なと考えられる条件を検討して、1)再侵入の可能性がゼロであること、2)防除手法がすべての個体に有効であること、3)貴重な種や群集への悪影響がないこと、4)

除去率が増加率（繁殖率・新規個体侵入率）を上回ることという必須4条件と、5) 適切な社会-政治環境が整っていること、6) 低密度でも生存個体の探索が可能であること、7) Cost-benefit分析はコントロールよりも根絶に有利である、8) 気候的制約、9) 全ての個体に合法的であることという5つの付加的条件を整理し、定性的チェックリストを作成した。さらに、チェックリストを用いて、防除段階の異なる3地域を選び、根絶フィージビリティ妥当性の検証を行ったところ、最も防除の進んでいる地域においても、周辺地域の事業実施状況から根絶を目標とすることは妥当ではないという結果となり、現状の日本のアライグマ防除においては、根絶を目標とするのではなく、封じ込め又は個体数コントロールを現実的目標とすべきという結論を得た。フィージビリティスタディの他種への応用として、沖縄県慶良間諸島の外来イノシシ根絶事業に対して根絶目標設定の妥当性検討を行行い、島嶼部での根絶目標を確実に達成するための事業計画とさらに望まれる防除戦略の提言を行った。

#### ・アライグマ防除のための意思決定支援システムの開発と公開

全国各地の外来アライグマ防除に関する情報収集から、防除推進者（主に地方自治体）は、地域のアライグマ生息状況も不明なまま、根拠のない根絶目標のもとに盲目的に捕獲を実施しており、計画的・順応的防除体制が欠如しているという現状がある。現状打開のためには、技術・戦略的課題よりも社会的防除体制整備が最大の課題であり、フィージビリティスタディをベースとした意思決定支援システムの提供が効果的と考えられた。慢性的な予算不足に苦しむ多くの地方自治体では、捕獲数程度の情報しか有していないが、捕獲努力量当たりの捕獲数（CPUE）を把握できればアライグマの生息数がラフではあるものの推定可能な状態であることから、北海道のアライグマ繁殖データ（Asano *et al.*, 2003）<sup>1)</sup>を活用して、対象地域のアライグマ根絶フィージビリティスタディから個体数低減対策に必要な費用試算が可能な意思決定支援システムの開発を行った。また、さらにCPUEが把握できれば生息数の変動把握（アウトプット）の他に防除事業が「何に役立っているか（アウトカム）をグラフで「見える化」する、捕獲事業がその後のアライグマ生息数抑制にもたらす効果評価システムを開発した。

これらの意思決定支援システムは、<https://github.com/raccoon-control-DSS>のGitHubのアカウントに入り、budgeting-support-system（アライグマ防除における根絶フィージビリティスタディからの防除費用試算システム）用リポジトリ、及びcapture-evaluation-system（アライグマ防除における捕獲効果評価システム）用リポジトリの指示に従ってR及びRパッケージをインストールしてRコンソール上で実行することによって、無料で利用できる状態となっている。

#### ・アライグマの経口避妊ワクチン抗原の開発

革新的なアライグマの防除手法として、雌を対象とした経口避妊ワクチン開発を視野に入れ、ワクチン抗原の開発を試みた。抗原として卵の周囲の蛋白質である「透明帯」（ZP）に着目した。3つ（ZP2～4）の蛋白質から構成されると考えられるアライグマZPのうち、ZP3塩基配列と既報の他種動物のZP3配列とを比較し、アライグマに特異的かつ抗原性を有すると考えられるアミノ酸配列部位を選び、当該部位14アミノ酸からなる合成ペプチド（＝抗原候補）を1つ作成した。合成したペプチド（300～500  $\mu$ g）をアジュバント（TiterMax Gold<sup>®</sup>, Funakoshi）とともに生体雌アライグマ3頭に2週間おきに計4回注射投与（免疫）し、経時的に採血を行ってELISAによる血清中の抗体価測定によりワクチン抗原効果の有効性を評価した。対照にはアジュバントのみを投与した。本研究に用いたアライグマは学術研究を目的とした鳥獣の捕獲等許可（企画第581号、岐阜県）を得て捕獲し、動物実験は岐阜大学動物実験委員会（承認番号17030）および外来生物法に基づくアライグマ（特定外来生物）の飼養等許可（番号16000420）を得て実施した。

#### ・アライグマの経口避妊ワクチン実用化シミュレーションモデルの構築

経口避妊ワクチン開発とともに、防除手法としての避妊ワクチンの有効性や妥当性などは事前評価する必要がある。そこで、過去にポッサム（フクロギツネ）の経口避妊ワクチン開発の研究を行っていたLandcare Research（NZ）の協力を得て、Rを用いた避妊ワクチン実用化シミュレーションモデルを構築

した。シミュレーションに用いた主な個体群パラメーター<sup>1)</sup>は右表に示した。このモデルを用い、アライグマのモデル個体群（初期個体数1,000）で捕獲を行わない条件下で、経口避妊ワクチンの評価を行った。具体的には、雌アライグマが摂食した避妊ワクチンの効果が、「1年のみ持続する（単年免疫獲得型）」場合と「生涯持続する（生涯免疫獲得型）」場合とで、個体数抑制や根絶に必要な避妊化率を推定した。

表. 避妊ワクチン実用化シミュレーションモデルに用いた個体群パラメーター

パラメータ	値
初期個体数	1,000
性比	1:1
年齢構成	0歳(0.31), 1歳(0.13), 2歳以上(0.56)
繁殖率	0歳(0), 1歳(0.63), 2歳以上(0.86)
産子数	1歳(3.3), 2歳以上(3.95)
生存率	0歳(0.42), 1歳(0.72), 2歳以上(0.84)
捕獲	なし

#### 4. 結果及び考察

##### ・アライグマ防除における根絶フィージビリティスタディの導入のための諸条件の検討

外来生物法施行以来、全国の地方自治体や組織でアライグマ対策を実施しているものの、成果が得られた対策事例は極めて少ない。アライグマは学習能力は高いが、それ以上に好奇心旺盛で、ワナを回避せず逆にワナに強い関心を示すため、比較的捕獲は容易な動物である。しかし、各地での捕獲の効果が現れていないことの原因は、捕獲の技術・戦略的問題よりも社会的防除体制整備にあることが推察される。全国の地方自治体や組織でアライグマ防除を実施しているものの、その多くは形式的な対策に過ぎず、適切な目標設定を欠き、成果のモニタリングも行われてはいない。農業被害防止のために何らかの対策が必要という要求に基づく対症療法的捕獲事業が全国で展開され、防除推進者（地方自治体）は、地域のアライグマ生息状況も不明なまま、根絶を目標に盲目的に捕獲を実施しており、計画的・順応的防除体制が欠如している。外来種対策先進国の防除事業では、事業開始以前にフィージビリティスタディを導入して、根絶目標設定の是非を検証し、根絶の実行可能性が担保される場合のみ根絶事業を展開し、それによって根絶達成の確立を高いものに行っているが、日本の外来種対策ではフィージビリティスタディの導入は試みられたことがなく、いたずらに根絶目標を掲げる事業が多い。達成不可能な根絶を目標にすると事業が崩壊することが想定され、そのような事態が他の外来種対策に与える影響は少なくない。そこで、本サブテーマでは、まず外来アライグマ対策へのフィージビリティスタディの導入を試みた。

文献調査から根絶目標設定のフィージビリティスタディを、1) 条件検討型、2) 前例比較型、3) Cost-Benefit型、4) シミュレーション型の4類型に分類できるが、アライグマの根絶事例としては、Database of Islands and Invasive Species Eradications (DIISE)からカナダ（4つ）とバハマ（1つ）の計5つの小さな無人島（2.20～49.74ha）での狩猟による根絶成功報告があるだけで、かつこのうちの4つの島は一度根絶した後に現在も事業が再度進行中であり、確実な根絶事例がないに等しいために、1) 条件検討型のフィージビリティスタディの採用が妥当と結論付け、条件検討型フィージビリティスタディ文献（Bell & Bramley, 2013<sup>2)</sup>；Brown, 2007<sup>3)</sup>；Griffiths & Towns, 2008<sup>4)</sup>；Parkes, 2008<sup>5)</sup>；Parkes *et al.*, 2008<sup>6)</sup>；Parkes *et al.*, 2011<sup>7)</sup>；Parkes & Forsyth, 2011<sup>8)</sup>；Parkes *et al.*, 2011<sup>9)</sup>；Parkes, 2012<sup>10)</sup>；Parkes, 2016<sup>11)</sup>）から根絶の実行可能条件の整理を行った。その結果、図3-1に示すような4つの必須条件と5つの付加的条件を抽出し、合計9項目の根絶可能性チェックリストを作成した。このチェックリストをアライグマ防除の進捗状況が異なる3市町村（A市：進展、B町：標準、C町：新参）

で検討した結果も図3-1に示した。最も防除の進展しているA市においても必須条件を全て満たすことはできず、現状では、日本においてはアライグマの地域的根絶も実行可能性は低く、封じ込め又は個体数コントロールを現実的目標とすべ

No.	重要度	根絶FSにおける検討条件	対象市町村		
			A市	B市	C町
1	必	再侵入の可能性がゼロであること	×	×	×
2	須	防除手法がすべての個体に有効であること	○	△	×
3	条	貴重な種や群集への悪影響がないこと	◎	◎	△
4	件	除去率が増加率（繁殖率・新規個体侵入率）を上回ること	△	×	×
5	付	適切な社会-政治環境が整っていること	○	○	×
6	加	低密度でも生存個体の探索が可能であること	×	×	×
7	的	Cost-benefit分析はコントロールよりも根絶に有利である	?	×	×
8	条	気候的制約	×	×	×
9	件	全ての個体に合法的であること	◎	◎	◎

図3-1. アライグマ根絶フィージビリティスタディにおける検討条件と3市町村への適用結果。

きという結論が得られた。

このチェックリストは根絶目標設定における定性的チェックリストとなっており、アライグマ以外の外来種の根絶実現可能性チェックにも応用可能である。そこで、平成30年から沖縄県慶良間諸島で進められている外来イノシシ根絶事業にける根絶目標設定の妥当性検証を沖縄県からの要請で実施した。慶良間諸島では、現時点では島嶼部という地理的条件を利用して根絶を目標に設定することは妥当と考えられるが、イノシシの遠泳能力(4km~30km)を考慮すれば、根絶のためには慶良間諸島全島における同時期の防除実施が必要であることと、在来種への影響の有無、イノシシの繁殖率の確認と捕獲率との比較、及び事業のコスト-ベネフィット分析を進めて根絶をより確実に達成するためのデータ蓄積を進めるように提案した。さらに、アライグマ同様に個体数増減傾向を把握可能な簡易指標を定めることと、予算に応じて防除内容を決定するのではなく、条件を整えて事業実施の説明責任を果たし、対策への合意形成を目指すべきであることもアドバイスした。

各地域では捕獲頭数の増減のみを記録してアライグマをはじめとした外来種の生息状況として捉えているが、実際には捕獲頭数では増減は判断不能である。しかし、個体数推定は費用/労力を要し、かつ一度きりでは意味がない。外来種対策半ばでは正確な個体数推定は不要ということは外来種防除先進国では共通認識となっており、重要なのは増減を捉えることが可能な簡易指標の設定となる。全国の地方自治体において外来種対策予算不足は共通問題であり、多くの予算を必要とする対策は現実的ではないため、本サブテーマにおいては、捕獲努力量当たりの捕獲数(CPUE)をアライグマ生息状況の指標として選択した。CPUEが記録されると、アライグマの生息変動を把握可能となるが、自治体が貸出わなに記録提出を条件とすれば特別な予算措置は不要で、かつ北海道のデータからCPUEとアライグマ生息密度の相関関係がわかっており、CPUEを把握できれば地域の概算生息頭数が推定可能となる。また、同じく北海道のアライグマ繁殖データ(Asano *et al.* 2003)<sup>1)</sup>をベースに個体数変動も予測可能となっており、アライグマ個体数を低減させるために必要な捕獲目標頭数が設定も可能となる。そこで、根絶フィージビリティの検証から、個体数コントロールのためのCPUEの重要性を理解し、かつCPUEの把握を行えば、地域のアライグマ生息数を低減させるために必要な防除予算の資産ができる意思決定支援システムにつなげることとし、そのようなシステムの開発を進めた。

#### ・アライグマ防除のための意思決定支援システムの開発と公開

本サブテーマで開発した意思決定支援システムは、CPUEを把握できれば生息数の変動把握(アウトプット)の他にアライグマ防除によって「何ができるか/変わるか(アウトカム)についてシステムを利用することによって「見える化」して提示できる構造となっている。ニュージーランドの研究協力者との議論から、①利害関係者は意思決定支援システムのアウトプット以上の期待を持つ傾向があるため、エンドユーザー主導ではなく科学者主導では失敗が多い、②アウトプットよりもアウトカムに焦点を当てるべき、③ツールの特徴としては、特定の目的に適合するものであり、使いやすいインターフェイスを用いて利用しやすく、更新しやすいオープンソースであることに配慮することを目指したが、外来種問題への理解が浸透していない日本では、エンドユーザーの参加型アプローチは時期尚早と判断し、まずは防除主体の自治体の関心を喚起すべきという結論に達した。アウトカムに焦点を当てるためには「変化の理論」(Theory of Change : TOC)の活用が有効と考え、コントロールの範囲(アウトプット)から影響の範囲(アウトカム)、関心の範囲(インパクト)の関係性を捉えることと、プランニングでもモニタリングでも使用可能で、モニタリングから順応的管理への道筋を明確に把握できることに配慮したことが、根絶フィージビリティスタディーをベースに現時点で最も費用負担が少なく、その後の管理の基礎となるCPUEデータ蓄積の重要性を認識できる意思決定支援システムの開発を進めた理由である。

本サブテーマでは、アライグマ根絶フィージビリティスタディーから個体数低減対策費用試算を行う意思決定支援システムとCPUEが把握できれば防除効果も評価できる意思決定支援システムの開発を進めた。

アライグマ根絶フィージビリティスタディーからCPUEベースの個体数低減対策に必要な費用試算が可能な意思決定支援システムの開発においては、図3-2のフロー図のもとに費用資産を行った。図の左側が根

絶フェージビリティスタディに関する流れで、利用者はまず根絶可能性に関するチェックリストの各条件について状況を入力すると、根絶の実行可能性に対する判定が表示される。その後、地域のCPUEのデータおよび地域の状態を入力するとアライグマ生息数を低減させるために必要な防除予算が表示されるシステムになっている。システム内のコスト算出手順は以下のとおりである。

1. 捕獲努力量と捕獲数の入力から地域CPUEを算出  
 2. CPUEから生息密度の算出（『地域からアライグマを排除するための手引き』環境省北海道地方環境事務所（2008）<sup>12)</sup>のCPUE⇄アライグマ生息密度換算表を適用）

3. 事業対象面積の入力から対象地域生息数の算出

4. アライグマ個体数低減に必要な目標捕獲数の算出（作業の不確実性を想定して50%は用いず生息数の60%または70%を選択して使用）

5. 現在のCPUEをベースに目標捕獲数達成に必要なワナ・日を算出

6. 投入可能な資源及び努力量と必要物品数及び単価を入力することによってアライグマ個体数低減に必要な経費の算出

また、CPUEを把握することによって防除効果も評価できる意思決定システム開発については、地方自治体の「捕獲事業を行っても捕獲の効果が測定できないし、評価もできない」という悩みに応えるために、喫緊の捕獲が今後のアライグマの増加をどれだけ抑える効果があるかを「見える化」するプログラム開発を行った。このシステムの適用においてもCPUEの把握が前提条件となっており、CPUEデータを取集していない自治体にもCPUE把握の重要性の認識を広める意図が根底にある。この意思決定支援システムで使用したパラメータは以下のとおりである。

- ・当初の2歳以上の個体割合は60%、1歳個体は40%とする
- ・当初の性比は雄50%、雌50%とする
- ・捕獲の成獣幼獣比率は成獣6割、幼獣4割とする
- ・捕獲の雌雄比率は雄4割、雌6割とする
- ・妊娠率・産子数は2歳以上96%・3.9頭、1歳66%・3.6頭とする
- ・自然死亡率は成獣15%、巣立ち後の幼獣30%、巣内の幼獣35%（Gehrt and Fritzell 1999）<sup>13)</sup>とする

これらのプログラムはRで作成し、アライグマ根絶フェージビリティスタディからCPUEベースの個体数低減対策に必要な費用試算が可能な意思決定支援システムについては、以下のshinyのテストページから確認可能になっている。

[https://test-pages.shinyapps.io/DSS\\_for\\_raccoon\\_management\\_Japanese/](https://test-pages.shinyapps.io/DSS_for_raccoon_management_Japanese/)

CPUEを把握することによって捕獲効果を評価できる意思決定システムについては、以下のshinyのテストページで確認可能である。

<https://test-pages.shinyapps.io/Evaluation-of-control-results/>

ウェブアプリケーションの公開方法については、RとShiny環境（RのライブラリパッケージでR言語でウェブアプリ制作可能）がPCに整っていない利用者は、上記のテストページからの利用に限られるが、RとShiny環境がPCに整っている利用者は無料で自身のPCでプログラムを稼働することが可能な状態となっている。両システムともにGitHubのアカウントを作成し、それぞれのシステムのリポジトリを用意して公開しており、リポジトリ内の説明に従って、Rに必要なパッケージをインストールし、Rコンソール

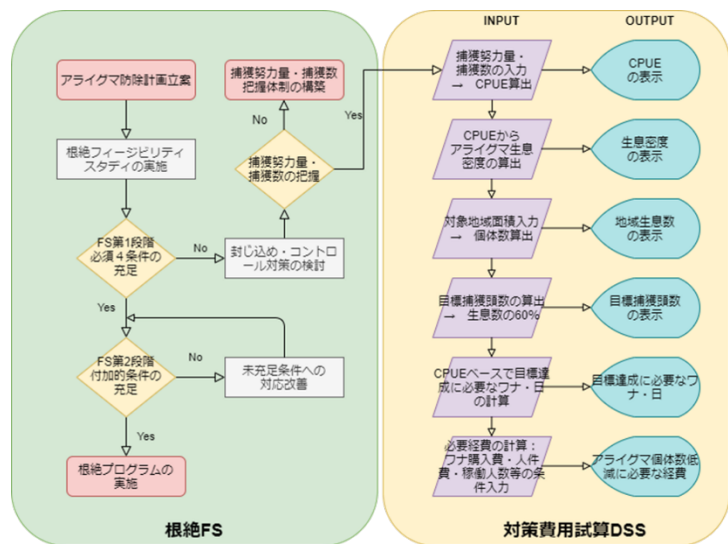


図3-2. アライグマ根絶フェージビリティスタディから個体数低減対策費用試算意思決定支援システムへのフロー



上に各システム用のコードを入力して実行すれば、利用者のPCで稼働することが可能になっている。

フィージビリティスタディからの防除費用試算システムのリポジトリは以下のURLを参照されたい。

<https://github.com/raccoon-control-DSS/budgeting-support-system>

捕獲効果評価システムのリポジトリについては、以下のURLを参照されたい。

<https://github.com/raccoon-control-DSS/capture-evaluation-system>

## アライグマ防除に必要な予算策定支援システム

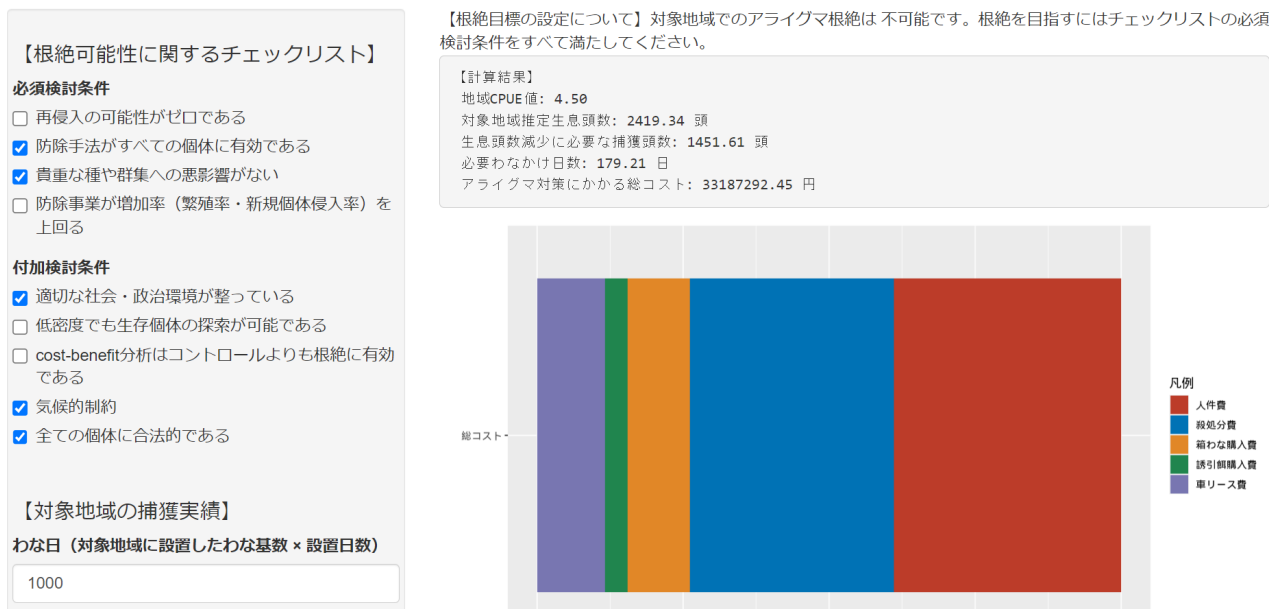


図3-3. アライグマ根絶フィージビリティスタディからCPUEベースの個体数低減対策に必要な費用試算が可能な意思決定支援システムの稼働画面キャプチャー画像

## アライグマ防除事業の評価

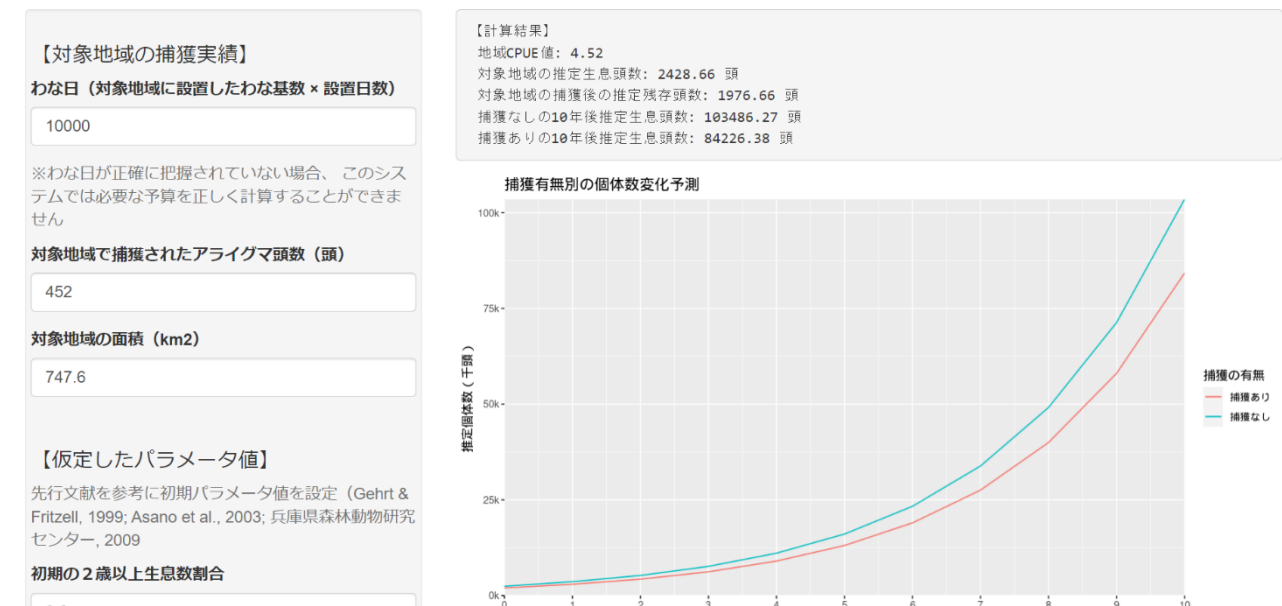


図3-4. CPUEを把握することによって捕獲効果进行评估できる意思決定システムの稼働画面キャプチャー画像

### ・アライグマの経口避妊ワクチン抗原の開発

合成ペプチド投与群 (n=3; アライグマ1~3) と対照個体 (陰性対照) の抗体価を図に示した。1個体(アライグマ3)では抗体価の軽微な上昇が伺えたものの、他の2個体(アライグマ1と2)では上昇しなかった(図3-5)。同ペプチドをウサギに投与した過去の研究では高い抗体産生が確認されている。今回、アライグマで抗体価が上昇しなかった要因の1つとして、合成ペプチドが自己抗原として認識されて十分な抗原性を示さなかったことが考えられた。他種ではZP3は受精時に重要な働きをすると報告されており<sup>14)</sup>、アライグマでもZP3由来の抗原開発を試みたが、試験した合成ペプチドは抗原としての条件を満たせなかった。今後は、本サブテーマでの試験結果を踏まえて、新たな部位のZP3配列、別のZP蛋白質(ZP2またはZP4)の配列を参照し、継続して避妊ワクチン抗原の探索が必要だろう。

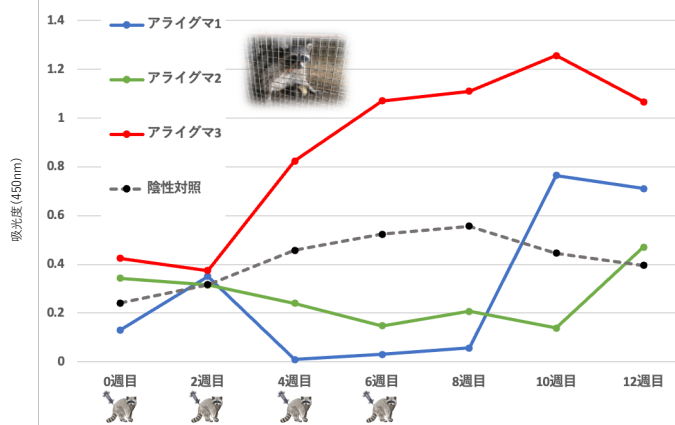


図3-5. アライグマにおける合成ペプチドに対する抗体価の推移

本開題の目的としては、避妊ワクチン抗原の開発にとどめたが、アライグマの経口避妊ワクチン開発に向けた考察を加える。野外に広範囲に多数生息するアライグマをはじめとする野生動物の個体数管理において、捕獲以外の手法として避妊ワクチンを用いる場合には、いくつかの条件が求められる<sup>15)</sup>。1つ目は、捕獲や投薬銃などが必要な注射型ではなく、野外散布できる経口型のワクチンであることが挙げられる。現在、野生動物で適用されている避妊ワクチンは、「ブタの卵透明帯 (pZP)」あるいは「繁殖関連ホルモン」を抗原とする2タイプがある。pZPワクチン (SpayVac<sup>®</sup>, ZonaStat-H<sup>®</sup>など) は、シカやウマなど複数種で効果が認められている (=種特異性が低い) が<sup>16)</sup>、注射型である。繁殖関連ホルモンを抗原とするワクチンには注射型 (GonaCon<sup>®</sup>など) も経口型 (OvoControl<sup>®</sup>など) も開発されているが、いずれも種特異性が低く、経口型は一定期間持続的に投与しないと繁殖抑制効果が得られにくい。これらのことから、実用化されている避妊ワクチンは、野外に広範囲に多数生息する野生動物の個体数管理目的で適用することは難しい。2つ目の条件は、種特異性の確保、つまりアライグマにのみ避妊効果をもたらせる必要がある。経口化して野外に散布する場合、アライグマ以外の動物に避妊効果が発現しないよう、「アライグマに特化した抗原」あるいは「アライグマしか摂食できないワクチン」であることも求められる。これが、本サブテーマで、前者の「アライグマに特化した抗原」を条件に開発を進めた理由である。抗原で種特異性を担保する以外には、「アライグマしか摂食できない」ような特殊な給餌装置を開発・利用することでも条件は達成できるが、広範囲に給餌装置を設置するコストやメンテナンス、個体群抑制効果の点で現実的ではないかも知れない。3つ目の条件としては、経口で免疫付与できる有用なデリバリーシステムの開発である。体内に直接投与して抗体を産生させる注射型と異なり、経口では消化・吸収されても抗原性を有する (抗体を誘導させる) 必要がある。野生動物の経口ワクチンには、狂犬病や豚熱に対する経口ワクチンが知られている。前者では狂犬病ウイルスのDNAの一部をワクチニアウイルスに遺伝子組み換えし、後者では弱毒化させた豚熱ウイルスを用いている。つまり、ウイルスの「感染力」を利用したデリバリーシステムで抗原性を担保している。避妊ワクチン抗原そのものには感染力はないため、感染力を有するデリバリーシステムに避妊効果のある蛋白や遺伝子を組み込むなどの工夫が必要になるだろう。また、遺伝子組み換えの経口避妊ワクチンを野外適用する上では、関連する法規制についても検討事項となるだろう。

### ・アライグマの経口避妊ワクチン実用化シミュレーションモデルの構築

モデル個体群 (初期個体数1,000) で捕獲を行わない条件下で、経口避妊ワクチンを適用したシミュレーション結果を図3-6に示した。経口避妊ワクチンの効果が、「1年のみ持続する (単年免疫獲得型)」

場合、全雌の72%以上に毎年ワクチンを投与すると個体数が維持された。すなわち、個体数増加を抑制するには全雌の72%以上に毎年摂食されるようなワクチン散布が求められると考えられた。一方、避妊効果が「生涯持続する（生涯免疫獲得型）」ワクチンの場合、30年間で根絶を達成するには全雌の20%に毎年摂食される必要があると示された。より短期間で根絶を達成するには、さらに高い割合の雌に毎年摂食される必要がある。これら本サブテーマでのシミュレーション結果から、根絶や個体数増加抑制のために求められる避妊ワクチンの避妊効果や散布法の目標が示された。

本報告では、代表的な2つのシナリオについて記載したが、構築したシミュレーションでは、「根絶期間を10年とした場合」、「ワクチンを2年おきに散布した場合」など、さまざまな条件を組み込むことも可能である。また、今回は「捕獲なし」の条件下でのシミュレーション結果を示したが、「捕獲あり」の場合はより高い個体群抑制が期待できる。避妊ワクチンは致死的な手法ではないため、個体数抑制効果が見られるまでには捕獲に比べて時間を要することも考慮すれば、捕獲との併用が現実的と考えられる。

外来哺乳類では、共同研究機関であるニュージーランドのLandcare Researchでポッサム（フクロギツネ）の経口避妊ワクチン開発が世界的に最も進められた事例である<sup>17)</sup>。本種は1850年代にオーストラリアからニュージーランドに持ち込まれた外来種で、生態系や農畜産業に悪影響を与えている。捕殺や毒餌以外の新たな手法として研究された経口避妊ワクチンは、飼育個体の実験で70～75%繁殖力を低下させることを示した<sup>17)</sup>。ニュージーランドにおける研究打ち合わせによれば、実用化に近いところまで研究が行われたものの、予算などの問題により現在は開発が休止されており、致死的手法による個体群管理が主にとられている。しかしニュージーランドでは、ポッサムを含む多くの外来哺乳類対策に用いられている毒餌の散布プロトコルや適用シミュレーションは、避妊ワクチンの野外散布においても有益な情報となる。避妊ワクチン開発においても、今後もLandcare Researchとの共同研究関係を継続することが重要であろう。

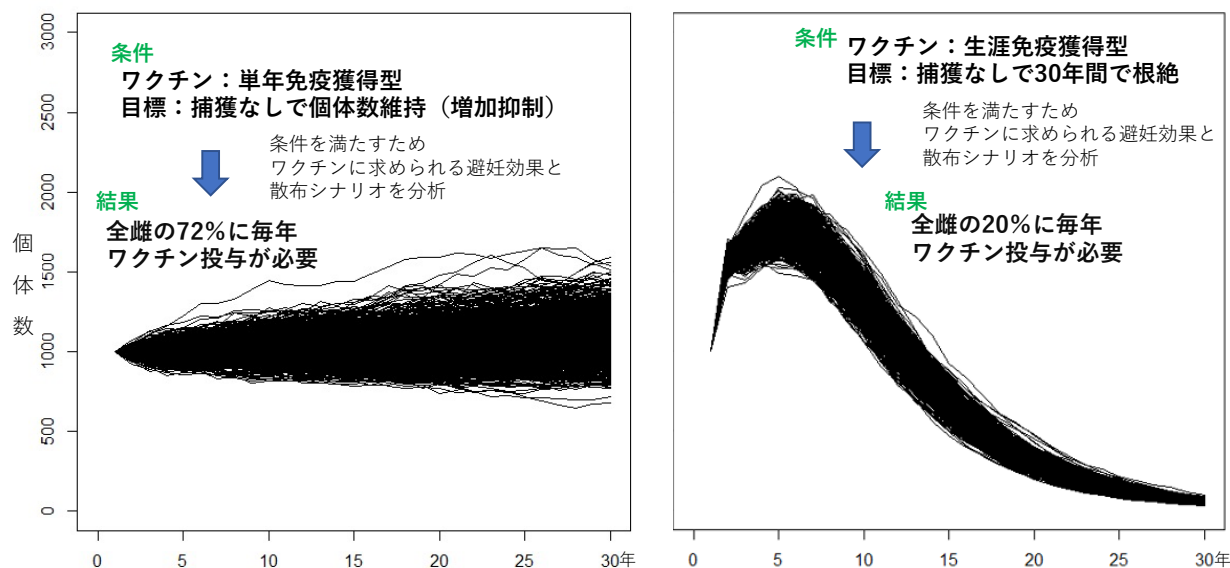


図3-6. 避妊ワクチン実用化シミュレーションの結果例

## 5. 研究目標の達成状況

フィージビリティスタディベースの意思決定支援システムについては、フィージビリティスタディによる防除目標の適正設定を確認した後に、捕獲努力量当たりの捕獲数（CPUE）を指標に用いた場合のアライグマ生息数を低減するために必要な予算を算出できるシステム、および捕獲実績がその後のアライグマ生息数抑制に及ぼす効果評価システムをRによって作成し、Rが使用できる環境を整っていれば自由に利用可能な状況を構築することができた。革新的防除手法としての経口避妊ワクチン研究については、



アライグマの生体を用いた透明帯由来抗原候補の評価を実施できた。また、Rを用いた経口避妊ワクチン実用化ミュレーションを構築し、避妊効果や散布法の目標を示すことができた。以上の状況から、目標どおりの成果を達成することができたと判断している。

## 6. 引用文献

- 1) Asano, M., Matoba, Y., Ikeda, T., Suzuki, M., Asakawa, M. and Ohtaishi, N. Reproductive characteristics of the feral raccoon (*Procyon lotor*) in Hokkaido, Japan. *Journal of Veterinary Medical Science*, 65 (3) : 369-373, 2003.
- 2) Bell, P. and Bramley, A. Eliminating predators from Stewart Island: Scoping report to investigate issues of technical feasibility. New Zealand Department of Conservation. 2013.
- 3) Brown, D. A. Feasibility study for the eradication of rodents from Tristan da Cunha. Unpublished Report to the Royal Society for the Protection of Birds. Royal Society for the Protection of Birds, Sandy, UK. 2007.
- 4) Griffiths, R. and Towns, D. The Rangitoto and Motutapu pest eradication -A feasibility study. New Zealand Department of Conservation. 2008.
- 5) Parkes, J. A feasibility study for the eradication of house mice from Gough Island. RSPB Research Report, 34. 2008.
- 6) Parkes, J.P., Paulson, J., Donlan, C.J. and Campbell, K. Control of North American Beavers in Tierra del Fuego: Feasibility of Eradication and Alternative Management Options. Landcare Research Contract Report: LC0708/084. 2008.
- 7) Parkes, J.P., Ramsey, D., Forsyth, D., Woodford, L. and Gleeson, D. Eradicating new populations of introduced large herbivores in Victoria . : Part I Feasibility of eradicating feral goats in the Warby Ranges. Landcare Research Contract Report: LC88, 2011.
- 8) Parkes, J.P. and Forsyth, D. Eradicating new populations of introduced large herbivores in Victoria : Part II Feasibility of eradicating sambar deer on French island. Landcare Research Contract Report: LC208. 2011.
- 9) Parkes, J.P., Forsyth, D., Woodford, L. and Ramsey, D. Eradicating new populations of introduced large herbivores in Victoria : Part III Feasibility of eradicating feral pigs from Discovery Bay Coastal Park. Landcare Research Contract Report: LC584. 2011.
- 10) Parkes, J.P. Options to manage feral pigs on the Boole Poole Peninsula, Gippsland Lakes Coastal Park, Victoria, Australia. Landcare Research Contract Report: LC991. 2012.
- 11) Parkes, J. Eradication of house mice *Mus mus* from Marion Island: a review of the feasibility, constraints and risks. BirdLife South Africa Occasional Report Series, 1, 1-24. 2016.
- 12) 環境省北海道地方環境事務所. 地域からアライグマを排除するための手引き. 環境省北海道地方環境事務所, 札幌. 2008.
- 13) Gehrt, S.D. and Fritzell, E.K. Survivorship of a Nonharvested Raccoon Population in South Texas. *Journal of Wildlife Management*, 63(3): 889-894. 1999.
- 14) Bleil, J.D. and Wassarman, P.M. Mammalian. sperm-egg interaction: identification of a glycoprotein in mouse egg zonae pellucidae possessing receptor activity for sperm. *Cell*, (3): 873-882, 1980.
- 15) 浅野玄, 小林恒平: 野生動物の個体群管理に関わる獣医学・畜産学研究者の貢献—繁殖抑制とくに避妊ワクチンによる野生動物の個体数管理の展望と課題—. *日本獣医畜産新報 JVM* 67: 667-672, 2014.
- 16) Kirkpatrick, J.F., Lyda, R.O. and Frank, K.M. Contraceptive Vaccines for Wildlife: A Review. *American Journal of Reproductive Immunology*, 66: 40-50, 2011.

- 17) Phil, C., Janine, D. Cui, X., Molinia, F., Lubitz, W. and Walcher, P. Fertility control for wildlife management - the Brushtail possum in New Zealand. Proceedings of the 22<sup>nd</sup> Vertebrate Pest Conference, Pp.102-105, 2006.

## II-4 ペット由来侵略的外来哺乳類の侵入パターンの解明と防除に関する科学的実装

国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所

野生動物研究領域 鳥獣生態研究室

亘 悠哉

野生動物研究領域 鳥獣生態研究室

川上 和人

<研究協力者>

徳吉美国, 伊澤あさひ, 鈴木魁士, 高橋芳歩, 三條場千寿 (東京大学大学院農学生命科学研究科)

野瀬紹未 (北海道大学大学院)

塩野崎和美 (奄美自然環境研究センター)

### [要旨]

イエネコ問題の全国の事例を明らかにするとともに、すでに対策が実施されている地域、問題が認識されている地域における対策の評価を行い、対策の指針を提示することを目的に調査を実施した。まず傷病保護野生動物データを鳥類に注目して整理したところ、保護の理由としてネコであった鳥類は101種に及ぶことが分かり、イエネコの捕食の問題は絶滅危惧種や島嶼だけでなく、普通種および本土においても問題であることが明らかになった。また、島嶼におけるイエネコによる在来種の捕食の現状を明らかにするために、伊豆諸島、小笠原諸島、日本海の島において、野外を踏査しイエネコの糞の採集を行い、海鳥など多くの在来種が捕食されていることが明らかになった。

海鳥の捕食が問題となっている御蔵島においては、ネコの糞分析とネコの個体数推定により、1年間に59,400羽のオオミズナギドリがネコに捕食されていることが明らかになった。御蔵島において調査捕獲を冬季2シーズンにわたって実施した。その結果、1年目は52頭(436罨日)、2年目は106頭(4,304罨日)のネコを捕獲した。2年目の終盤においては、捕獲が0の期間が続き、ネコの個体数を大幅に減少させることができたと考えられた。本調査捕獲により、高密度フェーズによる様々な課題がクリアされ、対策のロードマップも作成し、今後、行政に事業を引き継ぐ準備と体制を整備することができた。

国内で最も広域エリアを対象にネコ対策が実施されている奄美大島において、森林で捕獲されたネコの安定同位体比分析を実施した結果、捕獲個体には、長期的に絶滅危惧種に依存している集団がいる一方で、普段はキャットフードに依存している個体もいることが明らかになった。これは、森林域で繁殖が進んでいる一方で、里で放し飼いや餌やりを受けているネコが定期的に森に侵入し、絶滅危惧種の捕食を引き起こしていることが分かった。これは森林域のネコ問題の解決には、森における捕獲だけでなく、里における対策や人の適正飼養も必要であることを示しており、関係行政が連携して進める必要性があることを示している。

### 1. 研究開発目的

イエネコは、伴侶動物として人間に最も身近な動物であると同時に、世界各地で在来種の絶滅や減少などのインパクトを引き起こし、世界の侵略的外来種ワースト100にもリストアップされている。日本においても各地で屋外生活のネコが存在し、在来種へのインパクトが生じていると想定されるが、イエネコによる在来種へのインパクトについての研究は、南西諸島や小笠原諸島などの一部の地域に限定され、全国的な状況は不明である。また、イエネコの外来種としての特徴は、放し飼いや餌やりなどの人為により増やされ続けていることが挙げられる。したがって、通常の外來種外來種対策の基本的な目標である自然増加を上回る捕獲を行うだけでなく、人為による増加を制限する人の行動変容を促進する対策も状況に応じて重要となり、そのためには複数のセクターが連携して対策をすすめる必要がある。しかしながら、野外のネコが人為にどの程度依存しているのか、またこれらのネコが在来種にどのくらい影響を与えているのか、その証拠はわずかしがなく、十分な対策がとられていないのが現状である。このような背景から本サブテーマでは、ペット由来外来哺乳類としてネコを対象とし、日本全体のネコ問題の状況把握とネコ問題が生じる条件を抽出し、またネコに対する防除事業および適正飼養対策の実証性を検証すべく、ネコの密度推定と捕獲努力量のモデル化、既存の対策事業による効果の定量化をはか

り、科学的実装性を伴った事業展開の提言を行うことを目的とした。

## 2. 研究目標

ネコ対策の効果の検証、および地域の特性に応じたネコの総合的対策のガイドラインを提示する。

## 3. 研究開発内容

### (1) 本土部における傷病保護野生動物データの分析

全国のネコ問題の現状を把握するために、ネコによる鳥類捕食の情報収集と発生条件の整理を行った。調査の結果、本土部における傷病保護個体データが紙ベースで一元管理されていることがわかり、集計を保護要因の分析を行った。

### (2) 離島におけるネコの糞の採集と内容物分析

全国のネコ問題の現状を把握するために、伊豆諸島および日本海側の離島において踏査を行い、ネコの糞を採集した。採集した糞の内容物を分析し、捕食された餌生物を同定するとともに、島ごとのネコの食性の特徴を明らかにした。

### (3) 人獣共通感染症トキソプラズマ症の野生動物における感染状況調査

ネコを最終宿主とする人獣共通感染症トキソプラズマ症について、自然環境への感染拡大の実態を明らかにするために、野生動物におけるトキソプラズマ抗体保有状況についての文献情報を整理した。

### (4) 御蔵島におけるネコのインパクト評価及び調査捕獲の実施

オオミズナギドリの世界最大規模繁殖地で、これまでネコのインパクトが懸念されていた伊豆諸島の御蔵島において、森林内で採集されたネコの糞分析を実施し、季節、標高別の食性を明らかにするとともに、ネコ1頭当たりのオオミズナギドリの捕食数を算出した。さらに、島内で発見されたオオミズナギドリの死体の傷口からDNAを採取し、捕食者の特定を行った。また、ネコの調査捕獲を実施し、課題の抽出と対応策の検討を行うとともに、対策の実施体制の構築と、捕獲努力量とCPUE (Catch per Unit Effort: 捕獲努力量あたりの捕獲数) の関係について検討を行った。

### (5) 奄美大島の森林域捕獲個体を用いた里のネコの森林への侵入状況と食性

里の屋外生活ネコが自然環境へどの程度侵入し、インパクトを与えているかを明らかにするために、奄美大島で実施されているネコ対策の捕獲個体を用い、体毛の安定同位体比分析と捕獲後に排出された糞の内容物を分析し、長期的、短期的な食性を明らかにした。体毛の安定同位体比分析は、ネコが捕獲前の数か月間の食性を反映し、糞内容物による食性分析は捕獲前数日間の食性を反映する。したがって、安定同位体比分析では、ネコが普段生活する場所を推定でき、糞内容物では、ネコが捕獲地点付近において何を捕食していたかを推定することができる<sup>1)</sup>。

## 4. 結果及び考察

### (1) 本土部における傷病保護野生動物データの分析

傷病保護個体データのうち、1991年から2020年までのデータの集計を行い、鳥類の被害状況を調査した。保護鳥類28,484例中、

2,400例ほどにネコの捕食が関与し、保護理由の最大の要因となっていた(図4-1)。また、ネコに捕食された鳥類の種構成をみると、スズメやキジバトなどの普通種をはじめ、101種が記録された(図4-2)。希少種や島嶼地域のネコの捕食が注目されているが普通種および本土地域にお

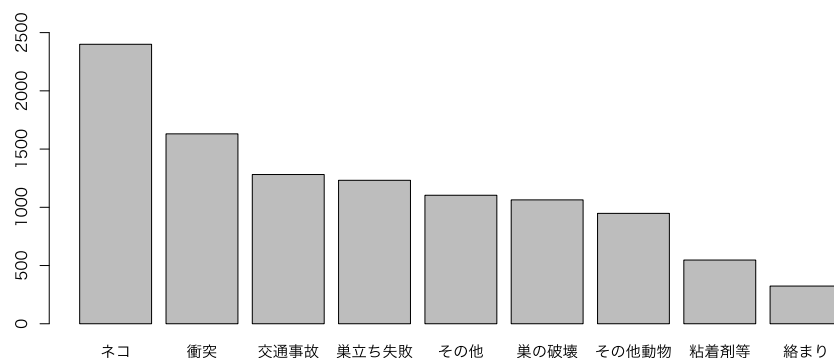


図4-1. 傷病保護鳥類における要因

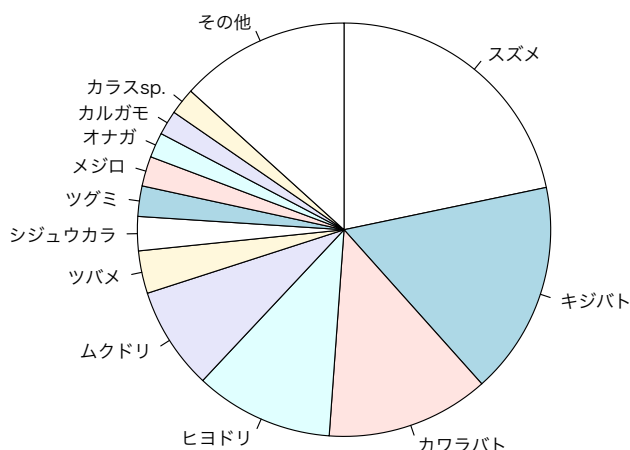


図4-2. 傷病野生動物におけるネコ捕食個体の種の内訳

## (2) 離島におけるネコの糞の採集と内容物分析

伊豆諸島の8つの島、小笠原諸島母島、日本海の4つの島の計13の島において、糞を採集し、内容物を分析した。各餌の出現頻度を表1、重量割合を図4-3に示す。全体の傾向として、ネコの主な餌は、ネズミ類、海鳥類、陸鳥類、人工餌（キャットフード、ごみ）から構成されていたが、島によって構成は異なり、特に海鳥の繁殖地になっている島（御蔵島、利島など）においては、海鳥類が優占し、海鳥が少ない島においては、ネズミ類を捕食していることが明らかになった。また、ネズミ類が少ないと、陸鳥も捕食される傾向が明らかになった。さらに、御蔵島や母島などの例外を除き、キャットフード等の人工物も多く出現し（表4-1）、ネコが人為に支えられている実態が明らかになった。これらの結果により、いずれの島においてもネコによる野生動物への影響が生じているとともに、島餌生物相や人口に応じて、ネコのインパクトやネコが増える要因が異なることから、ネコ対策を検討する上では、島の実状を考慮して対策を実施することが重要だと考えられた。

表4-1 各島において採集したネコの糞から検出された餌カテゴリー

	面積	人口	n	ネズミ	陸鳥	海鳥	爬虫類	昆虫	人工餌	果実
大島	90.7	7884	32	38	19	0	0	47	50	6
利島	4.1	337	8	50	13	88	0	0	13	0
新島	23.0	2230	54	89	4	0	9	35	50	0
神津島	18.2	1891	22	50	0	5	0	27	77	0
三宅島	55.2	2482	51	39	6	0	0	18	90	0
御蔵島	20.5	335	82	28	0	79	0	2	0	10
八丈島	69.1	7613	88	68	8	6	10	42	60	1
青ヶ島	6.0	178	40	30	48	13	5	65	58	0
母島	19.9	461	77	88	8	0	14	38	0	25
飛島	2.8	275	96	41	11	17	0	29	64	2
壱岐	345.9	20126	54	46	4	0	0	54	91	0
対馬	133.8	23834	57	37	2	0	4	40	86	5
隠岐	696.5	28502	21	33	19	10	0	19	95	0
合計			682							

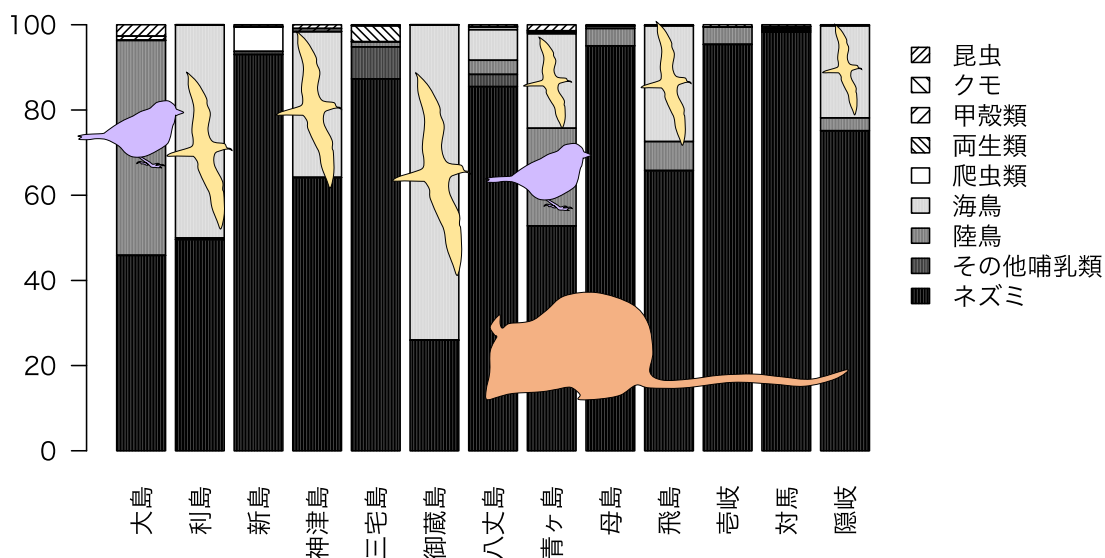


図3 各島においてネコの糞から出現した餌生物の採食重量割合

### (3) 人獣共通感染症トキソプラズマ症の野生動物における感染状況調査

野生動物におけるトキソプラズマの抗体保有状況について文献調査を行った結果、在来種においては、ニホンカモシカで抗体保有率24.4%、イノシシで6.3%、ニホンジカで1.9%、エゾシカで47.5%、タヌキで3.3%等、外来種においては、アライグマで9.9%、フイリマンダースで10.5%などが報告されていた(表4-2)。また、ゼニガタアザラシやミナミハンドウイルカ、シャチ、海洋生物における感染も示されていた。鹿児島県奄美大島においては、絶滅危惧種のアミノクロウサギとアマミトゲネズミの死亡個体のトキソプラズマ原虫感染が確認され、剖検の結果、死因はトキソプラズマ感染である可能性が指摘されていた。限られた種および地域における報告ではあるものの、在来種から外来種、陸域から水域まで、幅広

表4-2 日本の野生動物におけるトキソプラズマ抗体陽性率<sup>2)</sup>

種	年	調査地域	N*	抗体陽性率 (%)	手法**	引用
カモシカ	1981-1984	岐阜	765	5.4	LAT	Kinjo, et al., 1987
	2006-2010	長野	41	24.4	LAT	Sakae and Ishida, 2012
ニホンジカ	1995	岩手	5	0	LAT	Neagari, et al., 1998
	2004-2007	群馬	107	1.9	LAT	Matsumoto, et al., 2011
エゾシカ	2003	北海道東部	12	0	LAT	Omata, et al., 2005a
	2010-2011	北海道東部	201	1.5	LAT	Bando, et al., 2015
	2010-2012	北海道東部	80	47.5	SEDT	Hoshina, et al., 2019
ホンドタヌキ	1995	神奈川	30	3.3	LAT	Neagari, et al., 1998
シャチ	1988	日本沿岸域	2	50	LAT/IHAT	Murata, et al., 2004
	2005	北海道・知床	8	0	LAT	Omata, et al., 2006
ゼニガタアザラシ	2005	北海道・納沙布	77	4	ELISA	Fujii, et al., 2007
クラカケアザラシ	2005	北海道・納沙布	2	0	ELISA	Fujii, et al., 2007
ゴマフアザラシ	2005	北海道・納沙布	9	0	ELISA	Fujii, et al., 2007
アライグマ	2000	北海道・石狩	248	13.7	LAT	Matoba, et al., 2002
	2000-2009	北海道	492	7.9	LAT	Sato, et al., 2011
	2000-2009	神奈川, 千葉	285	16.5	LAT	Sato, et al., 2011
	2000-2009	和歌山	152	3.9	LAT	Sato, et al., 2011
ニホンイノシシ	1980-1988	兵庫・神戸	17	52.9	LAT	Murata, 1988
	2000-2001	熊本・天草	90	1.1	LAT	Shibashi, et al., 2004
	2003-2004	四国	115	0	LAT/ELISA	Omata, et al., 2005b
	2004-2007	群馬	175	6.3	LAT	Matsumoto, et al., 2011
リュウキュウイノシシ	ND***	沖縄・西表島	108	5.6	LAT	Nogami, et al., 1999
フイリマンダース	1989-2005	鹿児島・奄美大島	362	10.5	LAT	Ito, et al., 2020

\*N, サンプル数. \*\*手法, LAT: latex agglutination test, SFDT: Sabin-Feldman dye test, IHAT: indirect hemagglutination test, ELISA: Enzyme-linked immunosorbent assay. \*\*\*ND, 記述なし

くトキソプラズマ原虫の感染が確認されており、トキソプラズマ原虫の伝播サイクルが自然生態系にも拡大していることが明らかになった。

#### (4) 御蔵島におけるネコのインパクト評価及び調査捕獲の実施

御蔵島におけるネコの糞分析を行った結果、オオミズナギドリの繁殖期である夏季には、ネコはオオミズナギドリを主食とし、冬季には外来ネズミ類を主食としていることが明らかになった(図4-4)。オオミズナギドリが島にいない時期意にも外来ネズミ類がネコの個体数を支えることで、ネコの高いインパクトがかかり続けるプロセスが生じていることが示唆された。また、糞分析の結果から、捕食量を算出したところ、ネコ1頭あたり、年間313羽のオオミズナギドリを捕食していることが明らかになった。今後ネコの個体数推定をすることで、捕食総数は明らかになるが、近年のオオミズナギドリの急減の主要因としてネコの捕食が関与していることが示唆され、対策の必要性が示された。この成果については、国際誌で発表し<sup>3)</sup>、プレスリリースも行った。

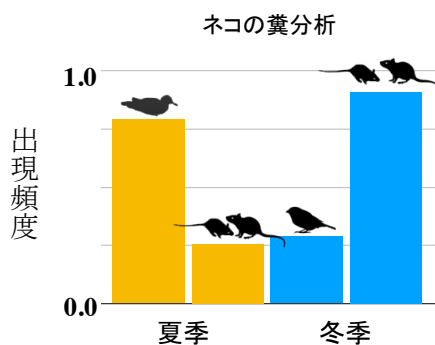


図4-4. 御蔵島におけるネコの糞からの餌動物の出現頻度

御蔵島で頻繁に確認されるオオミズナギドリの死体(図4-5)の死亡要因を特定するために、死体の傷口の遺伝子分析を行った。その結果、8死体中6死体において、ネコの遺伝子が検出された(図4-6)。検査に用いた死体は、新鮮で、日の出前に回収したサンプルであり、カラスなどの鳥類の捕食は考えにくいことから、ネコが捕食し、体の一部を食べたことは間違いないと考えられた。死体の状態は、頭部が消失し、胸部から内臓が食べられており(図4-5)、森林で頻繁に見つかる死体の状態と一致していた。これらの結果より、ネコによる餌動物の食べ方の特徴が明らかになるとともに、ネコがオオミズナギドリの死体を生態系に多く供給していることが明らかになった。この成果については、国際誌で発表し<sup>4)</sup>、プレスリリースも行った。



図5. 御蔵島で発見されたオオミズナギドリの死体



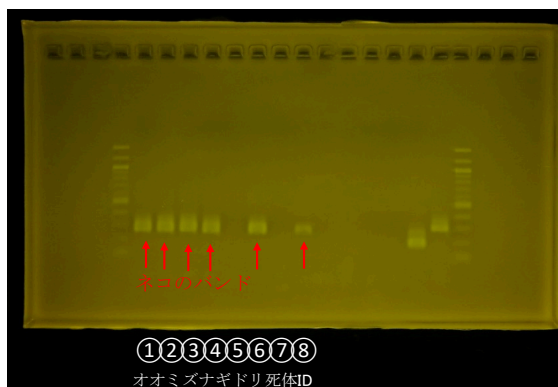


図4-6. オオミズナギドリ死体の傷口から検出されたネコの遺伝子のバンド

御蔵島の森林内で発見されたオオミズナギドリの死体の消費者を特定するためにセンサーカメラを設置したところ、ほぼすべての死体でネズミ類が撮影された。ただし、御蔵島では、クマネズミとドブネズミが生息するが静止画データからはどちらの種であるかは特定できなかった。そこで、御蔵島で捕獲したネズミ類の安定同位体比分析を行ったところ、死体が多く発生するオオミズナギドリ老齢雛期に（図4-7左）、ドブネズミのオオミズナギドリ資源依存度が高まっていることが明らかになった（図4-7右）。一方で、クマネズミは植物や昆虫類などへ依存し、オオミズナギドリの死体発生時期との関係は見られなかった。これは、ネコが死体を供給することで間接的にネズミ類に餌を与えていることを示す結果であり、ネコがネズミを減らすという一般的な観念を覆す可能性がある。また、ネコ対策によりネズミが増えてしまうという懸念に対しても、一石を投じる可能性のある成果である。

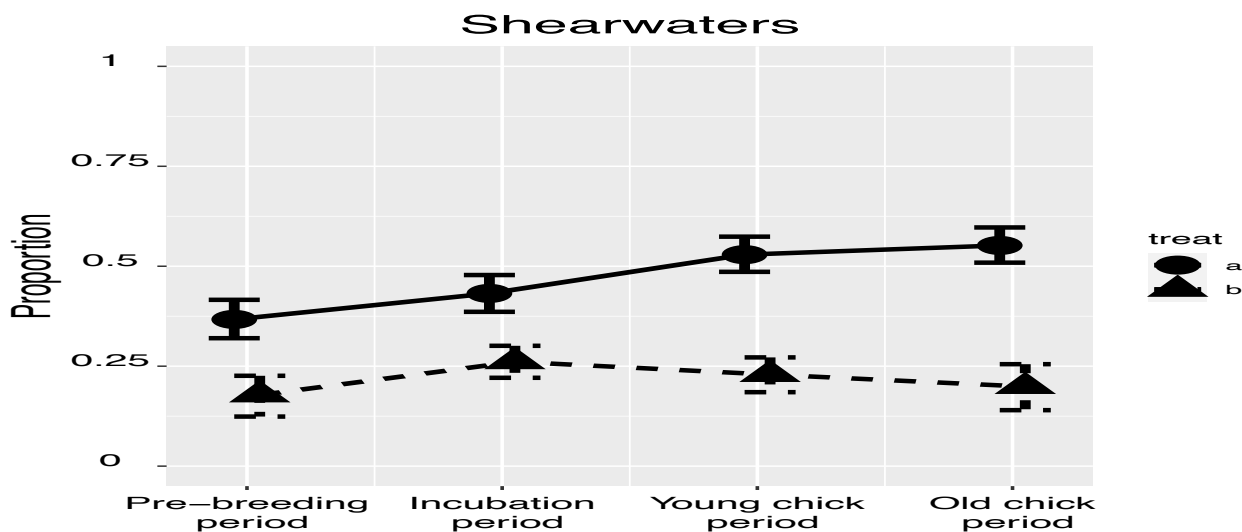


図4-7. オオミズナギドリの死体の発生頻度の季節性(左), および安定同位体比分析と Mixingモデルによるネズミ類のオオミズナギドリ依存度(右)

御蔵島に生息するネコの個体数を推定するために、島に設置したセンサーカメラにおいてネコの個体識別を行い、SECRモデル (Spatially Explicit Capture-Recapture Model) によって個体数推定を行った。SECRモデルは、個体識別した動物の捕獲場所・頻度から密度を推定する統計モデル。個体の行動圏の中心から離れたトラップほど検出率は下がるという、空間的な構造をモデル化することで、トラップの配置の不均一さに頑強な密度推定が可能である。その結果、2021年時点（後述する調査捕獲の前）において、191頭のネコが生息していることが推定された。密度は、島の低標高値において比較的高く、高標高地域では比較的低いことがわかり、今後の捕獲においても、捕獲努力量の空間配置に本成果の知見が活かされると考えられる。

上述したネコ1頭あたりのオオミズナギドリの年間捕食個体数（313羽）とネコの個体数推定値をかけ



ることで、御蔵島においては、59,470羽のオオミズナギドリが1年間に捕食されていることが明らかになった。こうした推定値は、幅広いステイクホルダーに御蔵島のネコ問題の深刻さを認識してもらうエビデンスとなると考えられる。

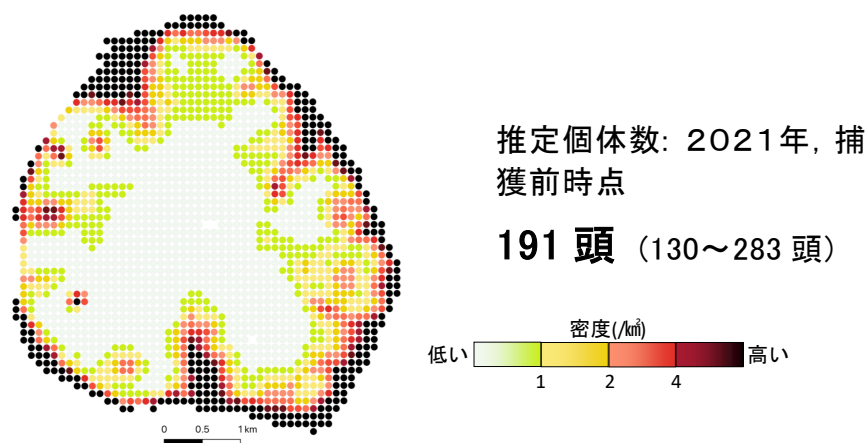


図4-8 御蔵島におけるネコの個体数推定値と密度の空間分布

御蔵島のネコ対策の実施に向けて、課題の抽出や実施規模を推定するために令和3年度、令和4年度の冬季において、調査捕獲を実施した。捕獲実績を表4-3に示す。

令和3年度は52頭、令和4年度は106頭の野生化猫を捕獲した。実績を表4-3、図4-9～11に示す。島の低地部から山岳地域まで罠を設置し、島の全域で野生化猫の捕獲実績が得られた(図4-9, 10)。令和4年度の106頭は、これまで御蔵島で実施されてきたネコ対策の捕獲数でこれまで最大だった平成21年度(2009年度)の104頭を上回り過去最大の捕獲数となった。なお、平成21年度は、TNRが実施されていたため、捕獲されたネコのほとんどが不妊化後、島に再び放獣されていた。今回は島外へ搬出しており、野生化猫の個体数の低減効果もこれまでで最も高いと考えられる。

2年目(令和4年度)においては、1年目(令和3年度)の捕獲作業に加えて、道路沿いを冬季のあいだ長期間見回りを実施する「道路沿い長期捕獲」を追加して実施した。これにより、2年目の捕獲努力量を約10倍と飛躍的に増やすことができ、捕獲数は約2倍の増加となった(表4-3、図4-11)。CPUE(捕獲努力量当たりの捕獲数: 生息密度の大まかな指標)が2年目は約5分の1と大きく減少し(表4-3)、さらに年度内の日ごとのCPUEの推移を見ていくと、2年目の終盤には捕獲0が続いたことから(図4-11)、野生化猫の生息密度は大きく減少させることができたと考えられた。実際にどのくらい減少させられたかは、来年度以降のネコの個体数推定の結果で評価が可能である。

表4-3 令和3年度、4年度の捕獲実績

年度	捕獲数(頭)	捕獲努力量(罠日)	CPUE(100罠日あたり捕獲数)*	実施項目	実施体制
R3 2021	52	436	11.2	・一斉捕獲(冬季3回) ・ピンポイント捕獲	島外者6名 島民2名 村施設利用
R4 2022	106	4,304	2.4	・一斉捕獲(冬季3回) ・道路沿い長期捕獲(10月6日間, 1~3月52日間) ・ピンポイント捕獲	島外者6名 島民7名 村施設利用
合計	158	4,740			

\* ピンポイント捕獲(目撃情報を元にした捕獲)による捕獲(R3年度3頭, R4年度2頭)を除いて計

また、野生化猫密度が減少していることから、今後今の規模の捕獲が継続されれば、令和4年度の106頭をピークに、今後捕獲数が減少していくことが見込まれる。したがって、本プロジェクト期間中が対策の規模のピークであろうこと、ピークに対応できる体制を構築できたと考えている。

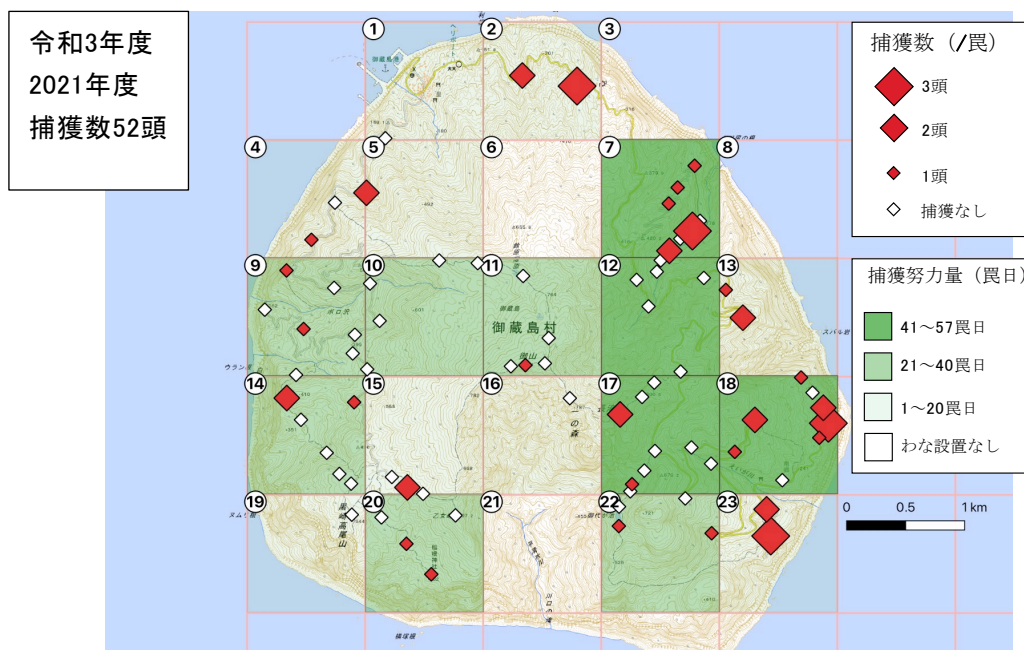


図4-9 令和3年度の罠設置地点と野生化猫捕獲地点，およびメッシュごとの捕獲努力量.

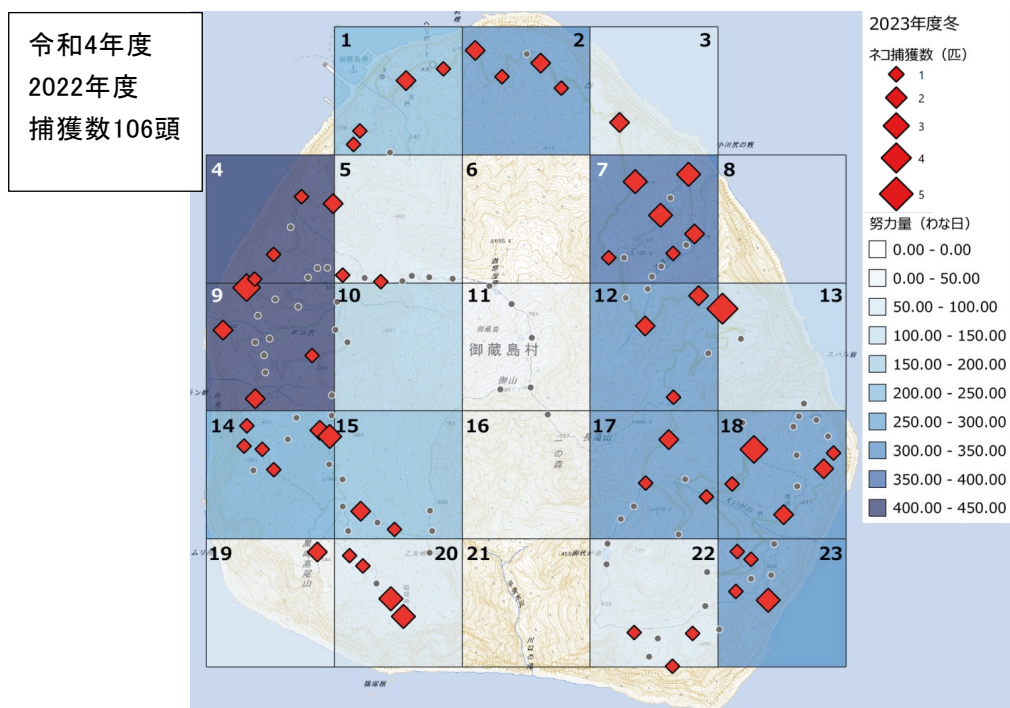


図4-10 令和4年度の罠設置地点と野生化猫捕獲地点，およびメッシュごとの捕獲努力量.

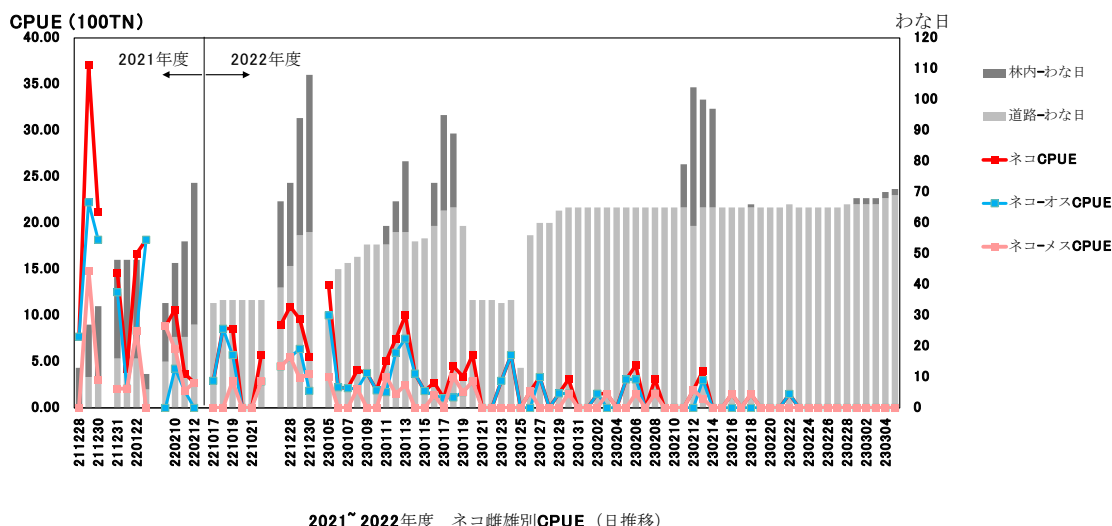


図4-11 2年間の捕獲作業における捕獲努力量および野生化猫のCPUE（／100罠日）の日ごとの推移

当プロジェクトの調査捕獲結果を踏まえ、御蔵島のネコ対策のロードマップを作製した（図4-12）。御蔵島において、譲渡方式でネコ対策を行う上での最大の課題は、高密度フェーズにおける捕獲したネコの処理のボトルネックにあり、それには、島内における一時飼養キャパシティの不足、船の就航率に低さに起因するネコの定期的な島外搬出の難しさ、譲渡までの飼養、譲渡数の確保が挙げられる。上記で述べたように、当プロジェクトにおいて、ネコの密度が低下し、今後の捕獲数は減少することが見込まれ、これらのボトルネックは解消される可能性がある。ただし、ここで捕獲圧を緩めてしまうと元の状態にすぐに戻ってしまい、対策は振り出しになってしまう恐れもある。当プロジェクト移行、いかに行政に対策を引継ぎ、野生化猫ゼロを達成できる体制が構築できるかが重要となる。本プロジェクトにおいては、ネコのCPUEの減少だけでなく、島で捕獲から搬出までの一連の作業を進めるための体制を構築することができノウハウも蓄積できた。現在、本ロードマップを関係行政に共有している。行政事業に引き継がれた際には、これらを将来的な行政事業に反映させていく。

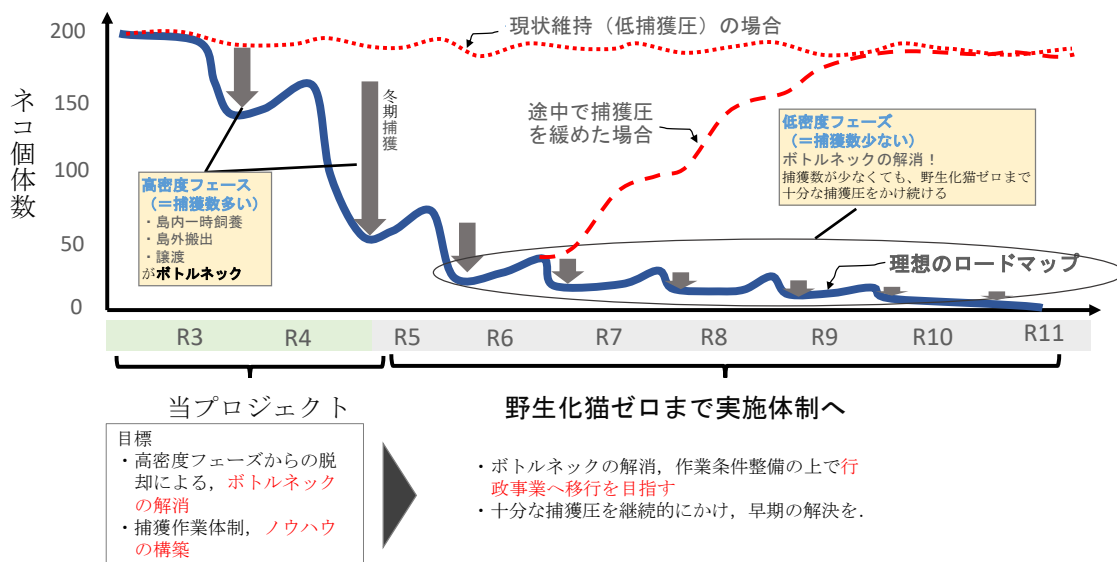


図4-12 御蔵島の野生化猫対策の理想のロードマップイメージと本プロジェクトの目標

(5) 奄美大島の森林域捕獲個体を用いた里のネコの森林への侵入状況と食性

奄美大島では、森林域において環境省によるノネコ対策、市町村により里のネコのTNR対策、および適正飼養のための啓発活動が実施されている。本プロジェクトにおいては、これらのネコ対策の評価のために、森林域で捕獲されたネコの体毛の安定同位体比分析を行い、森林に生息するネコの由来について

明らかにした。その結果、森林域のネコは、安定同位体比がアマミノクロウサギなど奄美大島の森林域の絶滅危惧種に近い値を示し、長期的に絶滅危惧種を餌として依存している集団が存在する一方で（図4-13, 14），里のネコと安定同位体比が類似しており、キャットフードなどの人為資源に依存していると考えられる集団も存在していることが明らかになった（図4-13, 14）。これは、森林域で繁殖し活動しているネコと普段は里で人に餌やりを受けているネコが森林域に侵入を繰り返している個体が存在することを示しており、森林域のネコを減らすためには、森林だけでなく里における対策も重要であることが示唆された。

また、森林域の捕獲個体のうち、約4分の1がTNRを施された個体であったことから里からのネコの侵入が尠らざ蹴られた。さらに、TNR個体と非TNR個体が捕獲後に糞出した糞の内容物を分析したところ、両者とも絶滅危惧種の出現頻度に大きな違いはなく（図4-15），合計68%という高い頻度で糞からアマミノクロウサギなどの絶滅危惧種が出現した。これは、TNR個体であっても、森林に侵入すれば絶滅危惧種を捕食することを示しており、奄美大島だけでなく世界的に在来種を捕食しないという前提でTNRが実施されている現状に対して、新たな知見を提示するものである。これにより、TNRを実施するのであれば、外ネコをゼロにする明確な目標を立てて実施することが必要であり、また、TNRだけでなく、放し飼いや餌やりを制限し、新たなネコを生み出す人の行為を変えていくことも合わせて実施することが重要であると言える。

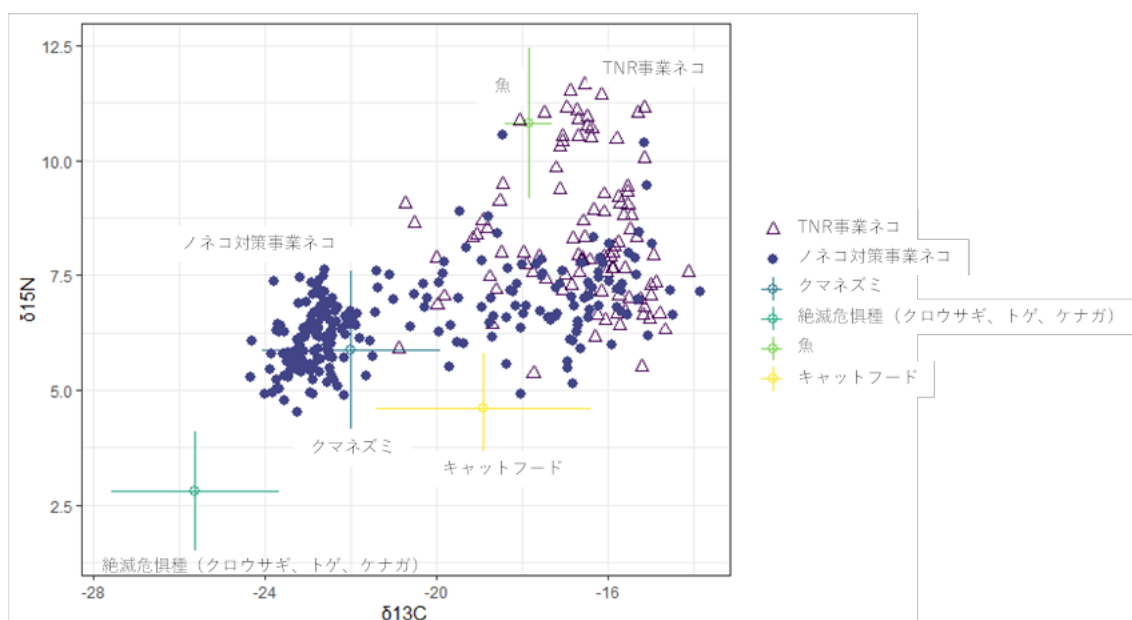


図4-13 奄美大島における捕獲されたネコの体毛およびネコ的主要な餌生物の安定同位体比

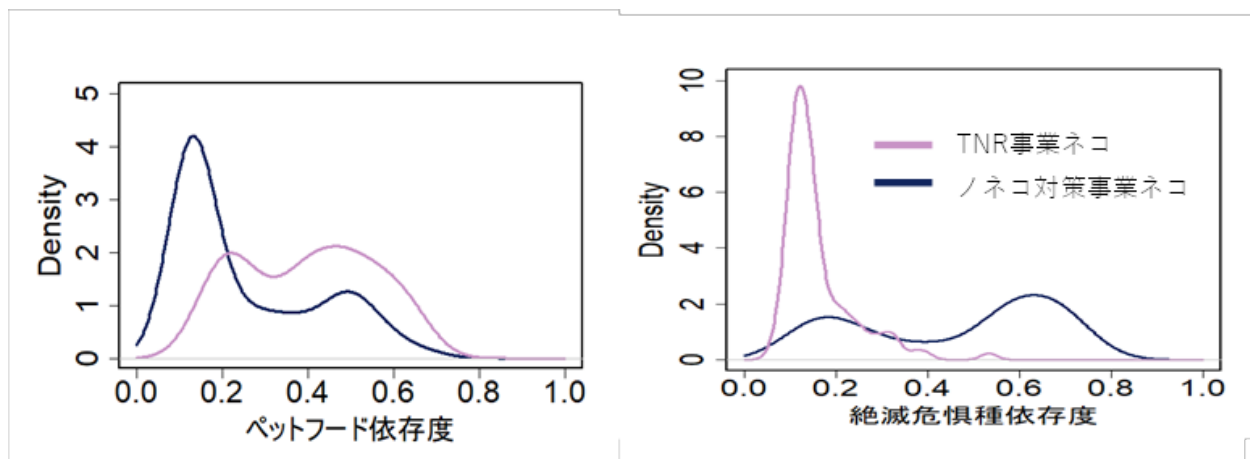


図4-14 安定同位体比分析と依存度分析(Mixing model)によるネコのペットフードおよび絶滅危惧種の事業(捕獲場所)間比較



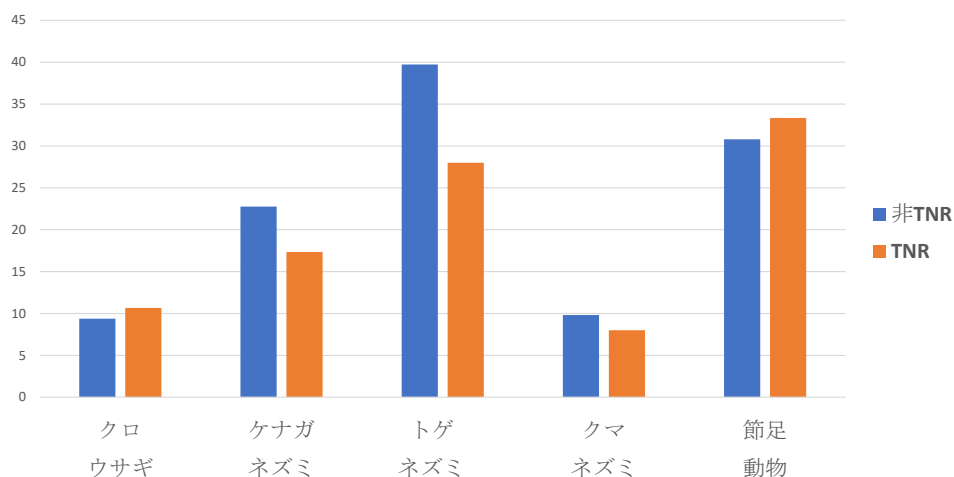


図4-15 奄美大島の森林部で捕獲されたネコの糞内容物の出現頻度(%)とTNR－非TNR個体間比較

## 5. 研究目標の達成状況

目標：「ネコ対策の効果の検証、および地域の特性に応じたネコの総合的対策のガイドラインを提示する。」

達成状況：目標どおりの成果をあげた。外来種としてのネコの特徴は、人が増やす側面があるという点が挙げられる。今回、奄美大島において、人為資源に依存した個体が森林域に侵入し、絶滅危惧種を捕食している実態を明らかにした。こうした地域では、捕獲だけでなく、適正飼養等、人の行動変容が重要であり、それを実効力もって進めるための条例の制定や普及啓発の重要性が高いことが示された。また、ほとんど人為の影響のない御蔵島においては、捕獲により比較的効率的に個体数を下げられること、および必要な対策の規模が明らかになり、今後のロードマップと対策の指針を提示することができた。このように、人為的影響の大きさに応じて、対策の戦略や体制を検討することの重要性を示すことができ、地域の条件に応じた対策の指針を提示できた。

## 6. 引用文献

- 1) T. Maeda, R. Nakashita, K. Shionosaki, F. Yamada, Y. Watari, Y: Scientific Reports 9, 16200 (2019) Predation on endangered species by human-subsidized domestic cats on Tokunoshima Island.
- 2) 三條場千寿、亘悠哉、松本芳嗣、宮下直：衛生動物, 72, 1-8 (2021) トキソプラズマ症 - 身近な人獣共通感染症の伝播サイクルとワンヘルスに基づいた対策の道筋.
- 3) S. Azumi, Y. Watari, N. Oka, T. Miyashita: Mammal Research, 66, 75-82 (2021), Seasonal and spatial shifts in feral cat predation on native seabirds vs. non-native rats on Mikura Island, Japan.
- 4) J. Nagata, A. Haga, Y. Kusachi, M. Tokuyoshi, H. Endo, Y. Watari: Mammal Study, 47, 197-204. (2022), Cats were responsible for the headless carcasses of shearwaters: evidence from genetic predator identification.

## II-5 侵略的外来哺乳類の再侵入に対応するバイオセキュリティモデルの提言

一般財団法人自然環境研究センター

橋本 琢磨

諸澤 崇裕

川本 朋慶

<研究協力者>

一般財団法人自然環境研究センター

入口 友香

荒谷 友美

### 〔要旨〕

奄美大島におけるマングース根絶後のバイオセキュリティ体制の提案を主な目的として、海外事例の収集、具体的なモニタリング手法の検討、新たなモニタリング手法としての環境DNAによるマングース在/不在検出系の開発等に取り組んだ。マングースを対象にしたモニタリング手法については、マングースが高密度に生息する沖縄県本部町での試験結果から、探索犬とセンサーカメラが検出能力等において優れており、奄美大島での実用に推奨されることが把握された。環境DNAによるマングース在/不在検出系の確立のため、マングースに対して種特異性を有するプライマー/プローブを開発し、さらに沖縄県本部町で採取した水、土壌といった環境試料からのマングースDNAの検出を試みた。その結果、野外から採取した水および土壌からのマングースDNAの検出に成功した。しかし、当初目指していた簡易抽出法とモバイル型リアルタイムPCR装置によるDNA検出には至らず、マングースのモニタリング手法として実用に値する検出能力には達しなかった。しかし、試料採取地点の精査や、分析方法の改良等により検出能力の向上が見られれば、モニタリング手法としての使用も可能になると考えられる。本研究の結果から、奄美大島におけるマングース根絶後のバイオセキュリティ体制については、マングースの侵入監視対象は主に名瀬港新港地区周辺とし、センサーカメラ、探索犬を中心としたモニタリングを実施することが推奨された。

### 1. 研究開発目的

サブテーマ5では、外来哺乳類の根絶後のバイオセキュリティに関する要点、体制のあり方を検討し、島嶼における侵略的外来哺乳類の非意図的侵入に対する汎用性の高い簡易セキュリティマニュアルを策定することを目的とした。特に、奄美大島での根絶が間近に迫っているマングースをモデル動物として、その根絶後のバイオセキュリティの体制構築のためのモニタリング技術および体制等を検討した。さらにマングースの奄美大島への侵入経路となり得る沖縄の港湾地域で探索試験、センサーカメラ試験などを実施し、奄美大島への侵入リスク評価を行うことを目的とした。



### 2. 研究目標

国内・海外のバイオセキュリティ実施状況に関する情報収集・整理、および環境DNAの検出を含むモニタリング手法によるモデル生物種（マングース）の在/不在検出手法の検証試験を通じ、島嶼における外来哺乳類の非意図的侵入に対するバイオセキュリティの簡易マニュアルを作成する。

### 3. 研究開発内容

感染症の世界的な流行への懸念等から、人の健康や社会・経済・環境に深刻な影響をもたらす感染性微生物や生物に由来する悪影響を防ぐことを目的とした、バイオセキュリティに関する取り組みに対し、関心が高まっている（表5.3.1）。バイオセキュリティの主な対象は、人の健康や産業に被害をもたらす感染性微生物や農業害虫等であるが、生態系に悪影響を及ぼす侵略的外来種もその対象に含まれる。バイオセキュリティにおいては、国境や州境、あるいは島嶼など、様々な地理的境界において検査を実施し、有害な生物等の侵入を回避することが重要な要素である。

表5.3.1 ニュージーランド、オーストラリア、アメリカにおけるバイオセキュリティに関する法律ないし行政機構での対応状況

 New Zealand	 Australia	 USA
<p><b>1993年 バイオセキュリティ法（世界初）</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆検査官による国境管理の実施（有害物質および新生物法において指定された生物の持ち込み阻止）</li> <li>◆侵略的外来生物が定着した際の封じ込め・根絶の実施</li> <li>◆有害生物の悪影響を防止・排除するための技術開発</li> </ul>	<p><b>2015年 バイオセキュリティ法</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆検疫法を拡大・改正する形で成立</li> <li>◆対象物に対して担当官による検査、採取、移動停止措置などが可能</li> </ul>	<p>バイオセキュリティに関する法律は持たないが、大統領令に基づいて省庁間横断組織である「<b>国家外来種評議会</b>」が設立</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆外来種による経済的/環境的損害等を最小限にする観点から、<b>EDRR（Early detection and rapid response：早期検出と迅速対応）</b>を推進</li> </ul>

日本では、2005年の特定外来生物による生態系等に係る被害の防止に関する法律（外来生物法）の施行以後、侵略性が高い外来生物を特定外来生物として指定し、国内に定着しているいくつかの種に対しては、積極的な捕獲等により生態系からの排除を目指し、防除が進められてきた。奄美大島や沖縄島北部におけるフイリマングース（*Herpestes auropunctatus*、以下マングースと称する）の防除は、国内の外来生物の防除としては最大級の規模で進められてきたものである。奄美大島のマングース防除事業は、継続的かつ広範囲において、高い捕獲圧をかけ続けたこと、また探索犬による探索を活用した捕獲や、化学的防除の試験的な実施等、様々な技術的な取組みの成果もあり、2018年以降には捕獲等によるマングースの生息情報が得られない状況に至っている<sup>1)</sup>。本研究課題のサブテーマ1では、マングースの根絶確認の手法の一つとして、根絶確率算出モデルの構築が進められたように、奄美大島のマングースは全島からの根絶を目前にした状況にある。

沖縄島では北部地域においてマングース防除が実施され、大幅な生息数の減少等の成果が得られている<sup>2)</sup>。一方で、沖縄島の中南部においては、積極的な捕獲等による防除は実施されておらず、マングースは依然として高密度に生息している状況にある。また、マングースは過去に鹿児島市や薩摩川内市などの、鹿児島県本土でも生息が確認されたことがある<sup>3)</sup>。鹿児島県の本土地域でのマングースの生息情報は、2016年の南さつま市での事例を最後に得られていないが（[https://www.pref.kagoshima.jp/ad04/documents/58074\\_20170401113934-1.pdf](https://www.pref.kagoshima.jp/ad04/documents/58074_20170401113934-1.pdf)）、依然として低密度に残存している可能性も否定できない。

奄美大島は、鹿児島県本土と沖縄島の間位置しており、物流においても両地域との関係性が強い。外来生物は物資輸送にともなって非意図的な移動をする事例が多く知られている（例えば、オオヒキガエルの事例[https://kyushu.env.go.jp/okinawa/pre\\_2022/post\\_181.html](https://kyushu.env.go.jp/okinawa/pre_2022/post_181.html)）。マングースにおいても、2016年にはアメリカのハワイ州カウアイ島において、航空貨物によってマングースが生きたまま侵入した事例が報告されている（<https://hdoa.hawaii.gov/blog/main/nr-kauaimongoose/>）。こうした事例を受け、カウアイ島ではマングースに対する対応プロトコルとして、Kauai Mongoose Standard Operating Procedures to Conduct an Island wide Status Assessment and Early Detection Rapid Response（EDRR）が策定されている（<https://www.kauaiisc.org/wp-content/uploads/Kauai-Mongoose-SOPs-for-Island-Wide-Surveys-Early-Detection-Rapid-Response-2016-1.pdf>）。

本研究では侵略的外来哺乳類の再侵入に対するバイオセキュリティモデルを考える上でのモデル動物として、奄美大島に生息するフイリマングースを対象に選定した。奄美大島のマングースは、2000年度から環境省を中心として実施されてきた防除により、2018年度以降には生息が確認されない状態が継続しており、根絶に極めて近い状況となっている。こうした状況から、奄美大島でのマングース根絶後のバイオセキュリティの体制および技術を検討する必要性が高まっている。また同事業におけるバ

イオセキュリティの体制を具体的に検討することで、その他の様々な侵略的外来哺乳類の再侵入に備える上でのマニュアルを検討する上での材料となるだろう。

島嶼でのバイオセキュリティにおいては、対象生物の侵入を迅速に検知するモニタリング体制が不可欠である。モニタリング手法においては検知性能と共に現地での使いやすさや費用対効果も重要である。こうした観点も含め、奄美大島での使用を前提とした場合に推奨されるモニタリング手法を検討することを目的として、マングースが高密度に生息する沖縄県本部町の本部港周辺において、各種モニタリング手法の試験を実施した。試験ではカウアイ島のEDRRで推奨されていた足跡トラップを含め、噛み痕トラップ、センサーカメラ、探索犬といった様々な手法を用いて比較をおこなった。

上述のセンサーカメラをはじめとした従来のモニタリング手法以外にも、より簡便で正確性のあるモニタリング手法がある事が望ましい。近年発達している環境DNAの分析技術は、環境中に存在する微小なDNA断片から種を特定する方法であり、水や土壌といった容易に採取できる環境試料を分析対象としている。環境DNAでの分析対象は、現在のところ主に淡水魚等の水生生物が主となっているが、哺乳類を対象とした研究事例も見られている<sup>4),5),6)</sup>。また、近年では野外でもPCRが可能なモバイル型リアルタイムPCR装置も販売されており([https://www.nenetics.com/products/search/detail.html?product\\_id=6105](https://www.nenetics.com/products/search/detail.html?product_id=6105))、環境DNAによるマングースの検出手法が確立できれば、迅速かつ簡便なマングースの在/不在検出手法として極めて有効である。そこで本研究では、モデル生物種であるマングースの在/不在検出系の確立に向け、モバイル型リアルタイムPCR装置を用いたマングースの環境DNAの検出を目標に、検出プロトコルの検討と手法開発を進めた。具体的には、奄美大島においてマングースに種特異的なプライマー/プローブを開発した。さらに、開発したプライマー/プローブを用いて奄美大島と沖縄島のマングース飼育小屋から採取した水からのDNAの検出を試みた。本研究ではさらに、構築されたマングース在/不在検出系を用いて、より実用の状況に近い沖縄県本部町の本部港周辺から採取した水および土壌からのマングースDNAの検出可否について検証を行った。

上述の研究成果を取りまとめ、本研究のモデル動物であるマングースの、奄美大島での根絶達成後を念頭とした具体的なモニタリング体制を提案した。

## 4. 結果及び考察

### 4-1. 侵略的外来哺乳類の再侵入に対するバイオセキュリティに関するモニタリング手法の検討

奄美大島におけるマングースに対するバイオセキュリティの体制を検証するために、奄美大島の港湾と類似した環境を有し、かつマングースが生息する沖縄本島において調査対象地を選定した。本部港は沖縄本島北部に位置する港湾であり、比較的小規模な港湾とその関連施設、小規模な市街地、幹線国道、そして国道を隔てて農耕地や山林が1km以内に隣接している環境を有し、こうした環境は奄美大島の主要港湾である名瀬港をはじめとした港湾周辺の環境に類似している。また、気候条件や周囲に生息する生物相においても奄美大島との共通性が高い。こうした条件から、本部港は本調査の目的に合致しており、かつ実際に奄美大島におけるマングースの再侵入防止のためのバイオセキュリティの体制を検討する上で適していると考えられた。よって、本部港を本調査の対象地に選定し、マングースの検出に関する各種モニタリング手法の試験を実施した。

試験実施を前に、調査候補地の下見を実施し、および現地関係者（地元自治体、港湾管理者等）との協議、および必要な許可手続き（道路占有許可等）をおこなった。試験対象ルートは図5.4.1に示した13ルートとした。このうち1ルートは本部港の対岸に位置する瀬底島に設置しているが、瀬底島はマングースの生息情報が無い地域である。試験では、各ルートにおいて表5.4.1および図5.4.2に示したモニタリングツールを用いた。試験は2022年11月から12月に実施した。

マングースのモニタリング試験の結果を表5.4.2に示した。従来マングースの生息情報が得られていなかった瀬底島においては、いずれのモニタリング手法でもマングースの生息は確認されなかった。センサーカメラでは、瀬底島を除く12ルート中、11ルートでマングースの生息が確認され、最も高い検出



性能を示した。探索犬はそれに次いで12ルート中7ルートでマンガースを探知した。本試験で使用した探索犬は、マンガースの糞を探知することに特化した犬であり、探知事例ではいずれもマンガースの糞の発見を伴っていた。足跡トラップでは、12ルート中4ルートでマンガースが確認された（図5.4.3）。噛み痕トラップのうち、Chew Cardタイプのものでは12ルート中1ルートでマンガースが確認されたが（図5.4.4）、Wax Tagタイプではマンガースの生息確認は無かった。Wax Tagタイプの噛み痕トラップでは、ワックス部分がオカヤドカリ類などの甲殻類に消費されてしまい、長期間機能を維持できないという問題も見られた。同様に、足跡トラップにおいても、一部の調査地では陸産貝類によって足跡をプリントするシート部分が消費され、長期間機能を維持できないケースが見られた（図5.4.5）。試験結果から、奄美大島におけるマンガースの生息確認のモニタリング手法としては、探索犬とセンサーカメラが検出能力において優れていると考えられた。カウアイ島でのEDRRにおいて推奨されている足跡トラップについては、作業が容易で種同定に誤認が少ないというメリットがある一方で、奄美大島のように陸産貝類が多い環境での使用には適さず、かつ検出能力がセンサーカメラに比べて低いという欠点が見された。こうした点から、奄美大島におけるマンガース侵入個体の監視に用いるモニタリング手法としては、探索犬およびセンサーカメラが適していると考えられた。



図5.4.1 本部港におけるマンガースモニタリング試験の対象ルート（青線）

表5.4.1 マンダースモニタリング試験において使用したモニタリング手法

モニタリング手法	仕様及び各ルートでの実施方法
探索犬	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 奄美大島にて稼働中の探索犬（ポインター）及びハンドラーが実施した</li> <li>■ 各ルートにおいて探索犬1ペアを1回（往復）で踏査した</li> </ul>
足跡トラップ	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ ニュージーランドのGotcha Trapsの製品「Black Trakka」を用いた (<a href="https://gotchatraps.co.nz/">https://gotchatraps.co.nz/</a>)</li> <li>■ 各ルートについて、2地点の調査を設定し、1地点につき1個を設置した</li> <li>■ 誘引餌としてピーナッツバターを用いた</li> <li>■ 設置後、約1ヶ月で回収した</li> </ul>
噛み痕トラップ (Wax Tag)	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ ニュージーランドのTraps.co.nzの製品「Wax Tags」を用いた (<a href="https://www.traps.co.nz/">https://www.traps.co.nz/</a>)</li> <li>■ 各ルートについて、2地点の調査を設定し、1地点につき1個を設置した</li> <li>■ 設置後、約1ヶ月で回収した</li> </ul>
噛み痕トラップ (Chew Card)	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ ニュージーランドのプロジェクト「Predator Free NZ」のWebサイトに掲載された方法に沿って、段ボールパネルを用いて作製した</li> <li>■ 各ルートについて、2地点の調査を設定し、1地点につき1個を設置した</li> <li>■ 誘引餌にはピーナッツバターと魚粉を用いた</li> <li>■ 設置後、約1ヶ月で回収した</li> </ul>
センサーカメラ	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Brownig社のセンサーカメラ「Strike Force HD」を用いた</li> <li>■ 各ルートについて、2地点の調査を設定し、1地点につき1個を設置した</li> <li>■ 誘引餌にはピーナッツバターと魚粉を用いた</li> <li>■ 設置後、約1ヶ月で回収した</li> </ul>



図5.4.2 マンダースモニタリング試験において使用したモニタリングツール  
 (左から、足跡トラップ、噛み痕トラップ (Wax Tag)、噛み痕トラップ (Chew Card)、  
 センサーカメラ)

表5.4.2 マングースモニタリング試験の結果

探索犬	センサー カメラ	足跡 トラップ	噛み痕トラップ (Wax Tag)	噛み痕トラップ (Chew Card)
1 本部港	●			
2 本部漁港	●			
3 浜崎				
4 国道西	●	●		
5 国道東	●	●		
6 崎本部南	●	●	●	●
7 崎本部中	●	●		
8 崎本部北		●	●	
9 大小堀川	●	●		
10 健堅		●	●	
11 辺名地南	●	●		
12 辺名地北	●	●	●	
13 瀬底島				

● : マングース検知



図5.4.3 足跡トラップを通過するマングース（左）と足跡トラップに残された足跡（右）



図5.4.4 噛み痕トラップ（Chew Card）に残されたマングースの食痕



図5. 4. 5 足跡トラップのシートへの陸産貝類による食害

#### 4-2. 環境DNAによるマングースの新たな生息確認手法の開発

マングースを対象としたバイオセキュリティにおける新たな技術として、水や土壌といった環境媒体に含まれるマングースの環境DNAを検出することを目標として、検出プロトコルの検討と手法開発を進めた。まず、マングースと、非標的種として奄美大島に生息する哺乳類とヒトのミトコンドリアDNAチトクローム**b**領域の塩基配列情報を遺伝子データベースから入手し、目視により非対象種のいずれとも3'末端の3塩基の一部またはすべてが異なるよう配列上の位置を選び出し、増幅領域長129bpのプライマーセット及びその増幅領域長を認識するプローブを設計した。次に、マングースおよび入手できた非標的種9種（アマミトゲネズミ、オキナワハツカネズミ、ジャコウネズミ、ワタセジネズミ、ケナガネズミ、クマネズミ、アマミノクロウサギ、イヌ、ネコ）の組織DNAを用いてアガロースゲル電気泳動によりプライマーの種特異性について試行実験を実施した。その結果、設計した2種類のプライマーとともに奄美大島に生息する非標的種の組織DNAは増幅されず、マングースの組織DNAのみが増幅することを確認した（図5. 4. 6）。結果として、設計した2種類のプライマーについて、マングースに対する種特異性が確認できた。

設計されたプライマー/プローブを用いて、環境試料からのマングースDNAの検出の可否について、ポジティブコントロールによる試験を実施した。試験に使用した試料は、奄美野生生物保護センターおよびやんばる野生生物保護センターのマングース飼育小屋から採取した。それぞれの飼育小屋でマングースの飲水用に設置された水鉢から水を採取し、（株）ゴーフォトンがWebサイトにて公開している環境DNAの簡易抽出方法（<https://biryu-kikaku.com/hs-method/>）<sup>6)</sup>に従って、採水、ろ過、抽出をおこなった。マングースDNAの検出には、日本板硝子（株）のモバイル型リアルタイムPCR装置である、「PicoGene® PCR1100」を用いた（<https://pcr-nsg.jp/close.html>）。分析の結果、奄美大島と沖縄島のマングース飼育小屋から採取した水から、マングースのDNAの検出に成功した（図5. 4. 7）。この結果により、本研究の目的であった環境試料からのマングースDNAの検出系の確立に成功した。確立した検出系を用いて、野外で採取した試料からのマングースの在/不在の検出を目指し、研究を進めた。



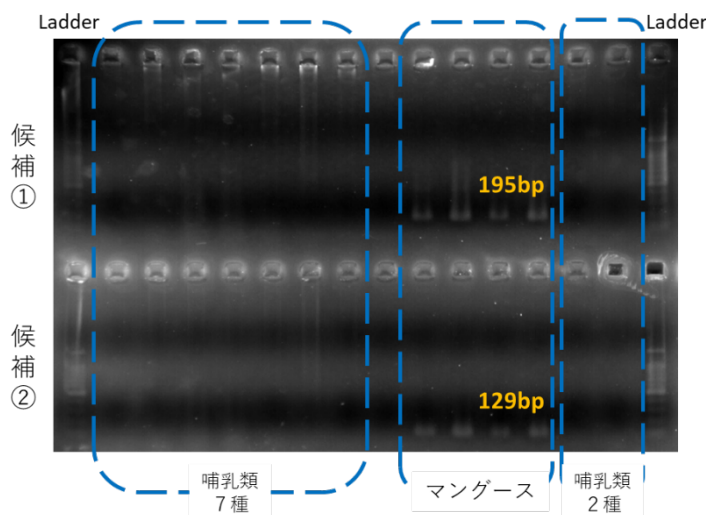


図5. 4. 6 マングースの種特異的プライマー候補2種の電気泳動写真

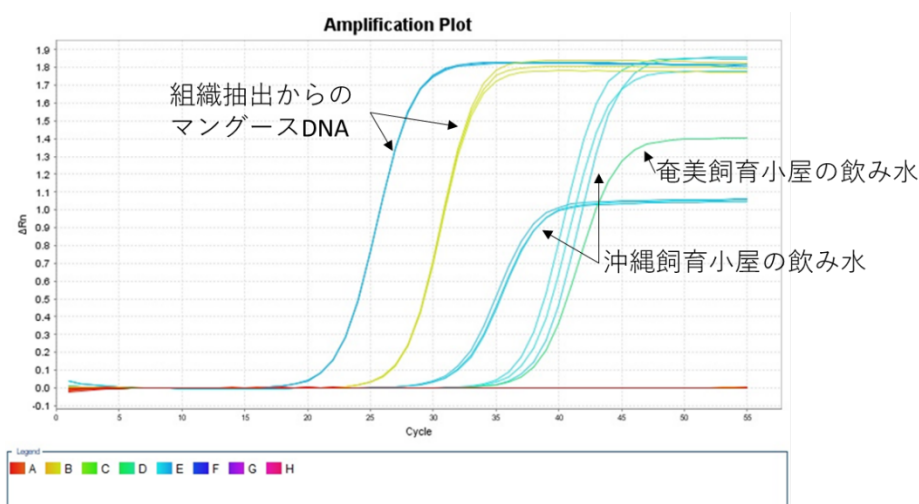


図5. 4. 7 奄美大島と沖縄島のマングース飼育小屋から採取した水のリアルタイムPCRの結果

野外での試料採取は、マングースのモニタリング手法の試験を実施した、沖縄県本部町の本部港周辺にて実施した。モニタリング手法の試験結果から示された通り、同地域にはマングースの生息が確認されている。環境試料の採取地点は、図5. 4. 8に示した8地点とした。各地点において、河川、ため池、水たまり、排水路といった環境から300mlの水を採取し、上述の環境DNAの簡易抽出方法によってろ過、抽出をおこなった。マングースDNAの検出にはモバイル型リアルタイムPCR装置「PicoGene® PCR1100」を用いた。分析の結果、いずれの地点の試料からも、マングースのDNAは検出されなかった。こうした結果からは、陸生哺乳類で水環境の利用頻度が低いと思われるマングースでは、環境試料中に残存するDNAが比較的低濃度であると考えられた。かつ低緯度の沖縄島や奄美大島では、太陽光によるDNAの損傷が生じやすいことも予想される。

こうした点を踏まえて、試料採取および分析の手法について、いくつかの改良を加えた上で再試験を実施した。具体的な改良点としては、採水量の増加（300mlから500ml以上（最大1500ml）に変更）、ろ過された環境水と試薬との混合にボルテックスミキサーを使用、簡易抽出後遠心分離し上澄みを分析に使用することで不純物を除去する、といった点である。また、環境水の採取地点は、センサーカメラによって事前にマングースが撮影されていた地点のみとした。マングースDNAの検出には、事前の試験

と同様にモバイル型リアルタイムPCR装置「PicoGene® PCR1100」を用いた。しかし、分析の結果、いずれの試料からもマングースDNAは検出されなかった。こうした結果から、環境試料中のマングースのDNAは濃度が非常に低く、環境DNAの簡易抽出法およびモバイル型リアルタイムPCR装置での分析では検出が難しいと考えられた。

こうした結果を踏まえ、採取した水のろ過および抽出の過程については、環境DNA学会の環境DNA調査・実験マニュアル ([https://ednasociety.org/wpcontent/uploads/2022/06/eDNA\\_manual\\_ver2\\_2.pdf](https://ednasociety.org/wpcontent/uploads/2022/06/eDNA_manual_ver2_2.pdf)) に従い、かつPCRはデスクトップ型リアルタイムPCR装置を用いることとして、再試験を実施した。その結果、事前にセンサーカメラによってマングースによる飲水を確認していた2地点（ため池および本試験のために設置した水鉢）の試料から、マングースのDNAが検出された（図5.4.9）。

こうした結果から、マングースのような水環境の利用頻度は低い種では、水中の環境DNAが非常に低濃度であり、魚類に使用されていた簡易抽出法による検出は難しい可能性があると考えられた。今回の調査地域である本部港周辺では、マングースが高密度に生息しているが、センサーカメラによって撮影があった地点でもDNAが検出されないという結果も見られた。



図5.4.8 本部港周辺における環境試料採取地点

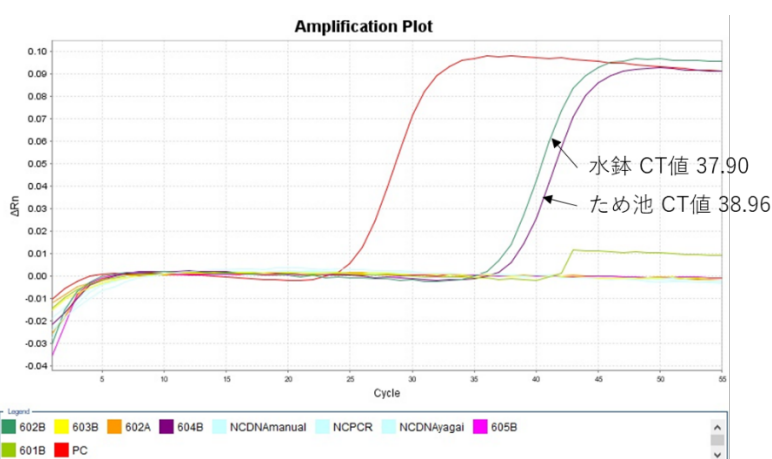


図5.4.9 本部港周辺のため池と水鉢から採取した水から環境DNA学会のマニュアルに沿って抽出した試料のリアルタイムPCRの結果

環境試料として土壌を用いたマングースDNAの検出についても検討をおこなった。事前にマングースの利用をセンサーカメラによって確認した本部港周辺の4地点から土壌を採取し、QIAGEN社の

DNeasy Power Soil Pro Kits (<https://www.qiagen.com/ja-us/products/discovery-and-translational-research/dna-rna-purification/dna-purification/microbial-dna/dneasy-powersoil-pro-kit>) によってDNAの抽出をおこなった。PCRはデスクトップ型リアルタイムPCR装置を用いて実施した。その結果、マングースによる利用が確認されていた暗渠の入口から採取した土壌から、DNAが検出されたが、それ以外の3地点の土壌からは検出されなかった。こうした結果から、低緯度の沖縄島では太陽光によるDNAの損傷が進みやすいため、暗渠のような直射光の当たらない環境からの試料採取が、環境DNAの検出には適しているものと考えられた。

今回開発したマングース在/不在検出系では、最終的にはモバイル型リアルタイムPCR装置による簡便な検出プロトコルの確立を目指したが、現状では難しいと判断された。今後、より実用的な検出系を確立するためには、マングースの生態を踏まえてより利用頻度が高い、かつDNAの損傷を回避しうる直射日光が照射しない地点での試料採取や、より感度が高い手法による分析の実施を検討する必要があるだろう。

#### 4-3. 奄美大島でのマングース根絶後のバイオセキュリティ体制の提案

島嶼への外来生物の侵入の可能性を考える上で、対象島嶼における物流の状況を把握する事は不可欠である。例えば、カウアイ島のマングースに対するバイオセキュリティのマニュアルである、**Kauai Mongoose Standard Operating Procedures to Conduct an Island wide Status Assessment and Early Detection Rapid Response (EDRR)** (<https://www.kauaiisc.org/wp-content/uploads/Kauai-Mongoose-SOPs-for-Island-Wide-Surveys-Early-Detection-Rapid-Response-2016-1.pdf>) では、マングースが貨物と共に運ばれるリスクを重視し、貨物の荷受け港や貨物が留め置かれるヤードなどを重要な調査対象地域としている。そこで、奄美大島における物流状況や荷受け港、貨物の留置場所等について、調査を実施した。

貨物物流量の統計として、国土交通省の交通関係統計資料から、港湾統計の仕出港別の移入コンテナ数を用いた (<https://www.mlit.go.jp/k-toukei/kouwan.html>)。奄美大島への海運による貨物移入量は名瀬港での受け入れが最も多く、約40万tに達していた。そのほかの港湾では、龍郷港が約10万t、湯湾港が約7万tとなっていた (図5.4.10)。一方、名瀬港で受け入れる海運コンテナの仕出港では、鹿児島港発が9,930個、谷山港発が1,386個と、鹿児島市内からの仕出が多かった。それに対し、沖縄島からのコンテナは、那覇港発が401個、本部港発が81個と、鹿児島県本土に比べて量が少なかった。なお、航空貨物による奄美大島への移入量は、合計599kgと海運に比べて極めて少ない。

マングースの再侵入を防ぐには、現在でも高密度に生息が確認されている沖縄島からの貨物の受け入れ港周辺でのモニタリングが重要である。そのため、沖縄島からの貨物の荷受け状況について、関係行政機関および海運事業者にヒアリングを実施した (表5.4.3)。その結果、沖縄島から奄美大島への航空貨物の量はごく少量であることが明らかになった。海運貨物については、沖縄島からの貨物を荷受けしているのは名瀬港の新港地区のみであることが明らかになった。よって、奄美大島のマングースを対象としたバイオセキュリティにおける監視体制では、名瀬新港地区周辺を主な対象とするべきと考えられた。



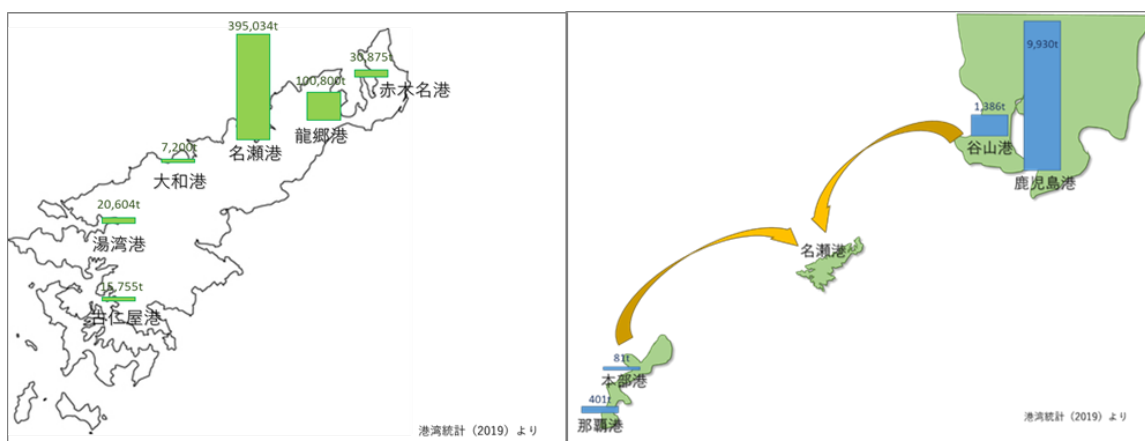


図5.4.10 奄美大島における港湾別の移入量（左）と名瀬港における仕出港別海運コンテナ数

表5.4.3 奄美大島の物流に関する関係行政機関および海運事業者へのヒアリング結果

分野	ヒアリング対象機関	ヒアリング結果
空港	鹿兒島県大島支庁建設課	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 那覇からの貨物の受け入れ量は極めて少ない</li> <li>✓ 到着後は空港エプロン内の航空貨物事務所付近に一時的に置かれるが、荷物は直ちに搬出される</li> <li>✓ マングースをはじめ、コンテナ内から動物が発見された事例は無い</li> </ul>
	空港管理事業者	
港湾	鹿兒島県大島支庁建設課	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 沖縄島からの貨物の受け入れは、島内では名瀬港のみであり、名瀬港の中でも新港地区のみである</li> <li>✓ 名瀬港の荷役を担っている海運事業者は4社あり、各社の了解が得られれば、マングースの生息調査の実施等は可能である</li> </ul>
	海運事業者（4社）	

本研究と同じ対象動物に対するバイオセキュリティのマニュアルである、カウアイ島のEDRRでは、港湾や貨物の留め置きがなされる場所を高リスクエリアとして、対象地域を主なマングースの監視対象としている。また、マングースの行動圏を考慮し、モニタリング範囲は検出地点から半径2kmの範囲としている。こうした事例を参照し、奄美大島におけるマングースの監視体制を検討すると、名瀬港新港地区を中心とした半径2kmの範囲内を主な対象とすることが望ましい。また、少量とはいえ沖縄からの貨物移動が認められている奄美大島空港についても、同様な監視体制が構築されることが望ましい。本調査によって実施された試験の結果から、具体的なモニタリング手法としては、探索犬とセンサーカメラを主体として、侵入個体の監視体制を構築するべきと考えられた。探索犬はカウアイ島のEDRRにおいても非常に有効な手法と位置づけされながら、コスト的に実現が難しいとされ、実装されなかった経緯がある。奄美大島にはマングース防除事業の中ですでに完成した探索犬が複数活動しており、バイオセキュリティの体制を構築する上で重要な手法となりえる。また、本研究において開発された環境DNAによるマングースの在/不在検出系は、現時点では実用足りえないと考えられるが、分析技術の進展等により有用な手法となりえる可能性がある。

マングースが検出された場合には、捕獲により個体群を消失するための迅速な対応が必要となる。マングース防除事業での経験の蓄積に基づき、表5.4.4に示したプロトコルを基本として対応する。

表5.4.4 奄美大島でのマングース再侵入個体発見時の対応プロトコル

段階	具体的な実施内容	実施者
① マングース生息情報の確認	情報内容の精査	モニタリング実施者
	種同定の正否の判断	学識経験者
② 対応策の検討 (リスク評価/フィージビリティスタディ)	生息情報および学識経験者の意見の取りまとめ	モニタリング実施者
	対応策の検討	行政・学識経験者
③ 対応策の実施	発見地点周辺(おおむね2km以内)でのモニタリング体制の常設	モニタリング実施者
	わなによる捕獲の実施	
	探索犬による探索の実施	
	化学的防除の実施検討	行政・学識経験者
④ 対応策の評価	対応結果の取りまとめ	モニタリング実施者
	対応結果の評価と新たな対応方針の提案	行政・学識経験者

海外におけるバイオセキュリティの実施状況からは、国境、州境、および島嶼といった地理的なボーダー毎に適切な監視体制を構築し、監視対象とする生物を早期発見し、もし侵入した場合には迅速に対応することが基本的な行動指針となっている。カウアイ島のEDRRを担っているKaua'i Invasive Species Committee (<https://www.kauaiisc.org/pests/mongoose/>) や、外来ネズミ類の根絶に成功したオーストラリアのロード・ハウ島のバイオセキュリティを担うLord Howe Island Board (<https://www.lhib.nsw.gov.au/environment/biosecurity>) では、Webサイトなどを通じて地域住民を中心に広くバイオセキュリティへの協力を呼び掛けている。バイオセキュリティの成功には地域住民の協力が不可欠であり、このような継続的な普及啓発が求められるだろう。

バイオセキュリティの体制構築には、リスク評価、監視体制の検討、発見時の迅速な対応方針の検討、評価体制の構築、普及啓発といった様々な要因が関わる。バイオセキュリティの一般的な対方針として、こうした点を整理し取りまとめることが需要となるだろう。

## 5. 研究目標の達成状況

侵略的外来哺乳類の再侵入に対するバイオセキュリティに関する海外事例として、アメリカ合衆国ハワイ州カウアイ島のEDRRをはじめとした事例を収集し、日本における今後のバイオセキュリティモデルの提案に活用できるよう整理等をおこなった。また、奄美大島におけるマングース根絶後のバイオセキュリティ体制の構築を念頭に効果的なモニタリング手法を検討するために、沖縄島本部町において試験を実施した。さらに、新たなモニタリングの手法として、環境DNAによるマングースの在/不在検出系の確立を目標として手法開発を行った。環境DNAによるモニタリング以外にも、センサーカメラや探索犬、足跡トラップなどの既存のモニタリング手法について、沖縄島において実地試験を実施し、その結果を踏まえ最終的には奄美大島でのマングース根絶後のバイオセキュリティ体制を提案した。

## 6. 引用文献

- 1) 九州地方環境事務所沖縄奄美自然環境事務所・一般財団法人自然環境研究センター. 2022. 令和3年度奄美大島におけるファイリマングース防除事業報告書.
- 2) 環境省沖縄奄美自然環境事務所・株式会社南西環境研究所. 2022. 沖縄島北部地域マングース防除事業報告書.
- 3) 船越公威・岡田滋・永里歩美・新井あいか. 2015. 鹿児島県本土に生息するファイリマングース *Herpestes auro punctatus* の根絶の可能性と在来種の生息状況について. 哺乳類科学 55(2) : 167-181.
- 4) Yonezawa, S., Ushio, M., Yamanaka, H., Miya, M., Takayanagi, A. and Isagi, Y. 2020. Environmental DNA metabarcoding reveals the presence of a small, quick-moving, nocturnal water shrew in a forest stream. Conservation Genetics 21: 1079-1084.
- 5) 赤松良久・後藤益滋・乾隆帝・山中裕樹・小室隆・河野誉仁. 2018. 環境DNAを用いた山口県内2級

河川におけるヌートリアの侵入状況と生息適地の把握. 応用生態工学 21(1) : 1-8.

- 6) Ushio, M., Fukuda, H., Inoue, T., Kobayashi, M., Kishida, O., Sato, K., Murata, K., Nikaido, M., Sado, T., Sato, Y., Takeshita, M., Iwasaki, W., Yamanaka, H., Kondoh, M. and Miya, M. 2017. Environmental DNA enables detection of terrestrial mammals from forest pond water. *Molecular Ecology Resources*, 17(6): e63-e75.
- 7) Doi, H., Watanabe, T., Nishizawa, N., Saito, T., Nagata, H., Kameda, Y., Maki, N., Ikeda, K. and Fukuzawa, T. 2021. On-site environmental DNA detection of species using ultrarapid mobile PCR. *Molecular Ecology Resources*, 21(7): 2364-2368.

### 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) Sato, T. and Jogahara, T. 2021. Development and characterization of microsatellite makers in the small Indian mongoose (*Urva auropunctata*). *Molecular Biology Reports* 48: 7029-7034.
- 2) Sato, T., Watari, Y., and Jogahara, T. 2023 Genetic relationships among populations of the small Indian mongoose (*Urva auropunctata*) introduced in Japan. *Mammal Research* 68: 177-87.

##### 【サブテーマ2】

- 1) N. TAMURA and M. YASUDA: *Frontiers in Ecology and Evolution*, 10, 1061115 (2023) (IF:4.5), Distribution and management of non-native squirrels in Japan.

##### 【サブテーマ3】

特に記載すべき事項はない。

##### 【サブテーマ4】

- 1) S. Azumi, Y. Watari, N. Oka, T. Miyashita: *Mammal Research*, 66, 75-82 (2021), Seasonal and spatial shifts in feral cat predation on native seabirds vs. non-native rats on Mikura Island, Japan (IF: 2.032)
- 2) 三條場千寿、亘悠哉、松本芳嗣、宮下直：衛生動物, 72, 1-8 (2021) トキソプラズマ症 - 身近な人獣共通感染症の伝播サイクルとワンヘルスに基づいた対策の道筋。
- 3) J. Nagata, A. Haga, Y. Kusachi, M. Tokuyoshi, H. Endo, Y. Watari: *Mammal Study*, 47, 197-204. (2022), Cats were responsible for the headless carcasses of shearwaters: evidence from genetic predator identification (IF: 0.723)
- 4) K. Doi, M. Tokuyoshi, K. Morishima, K. Kogi, Y. Watari: *Mammal Study*, 47, 275-282 (2022), Differential tick-infestation rate between *Rattus norvegicus* and *R. rattus*, with the first records of the ixodid tick *Ixodes granulatus* and its infestation in rodents, free-ranging cats, and humans from Mikura-Shima Island, Japan (IF: 0.723)

##### 【サブテーマ5】

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】

特に記載すべき事項はない。

##### 【サブテーマ2】

- 1) 関伸一・安田雅俊： *Bird Research*, 17, S1-S8 (2021)  
「瀬戸内海南縁部におけるオオミズナギドリの新たな集団繁殖地の発見」
- 2) 安田雅俊・森田祐介： *大分自然博物誌-ブンゴエンシス*, 4, 64-65 (2021)  
「高島のクリハラリスは1954年に導入された」
- 3) 森田祐介・安田雅俊： *大分自然博物誌-ブンゴエンシス*, 4, 67-71 (2021)  
「高島で確認された両生類」
- 4) 安田雅俊・森田祐介・宮村栄一・森澤猛： *大分自然博物誌-ブンゴエンシス*, 5, 印刷中  
「高島におけるオオミズナギドリの集団営巣地の分布状況」
- 5) 安田雅俊・宮村栄一： *大分自然博物誌-ブンゴエンシス*, 5, 印刷中 (2023),  
「大分市高島で初めて確認されたカラスバトの営巣例」
- 6) 安田雅俊・橋本幸彦・宮村栄一・森澤猛・森田祐介・安田晶子： *大分自然博物誌-ブンゴエンシ*

ス、5、印刷中

「高島で記録されたヒメボタル」

- 7) 安田雅俊・島田健一郎・森澤猛・森田祐介：大分自然博物誌-ブンゴエンシス、5、印刷中  
「別府市で確認された外来リスへの初期対応」
- 8) 森澤猛・前田史和・安田雅俊：大分自然博物誌-ブンゴエンシス、5、印刷中（2023）  
「大分市高島で確認されたイノシシについて」
- 9) 森田祐介・宮村栄一・安田雅俊：大分自然博物誌-ブンゴエンシス、5、印刷中（2023）  
「高島におけるアオダイショウの大型個体の記録」

#### 【サブテーマ3】

特に記載すべき事項はない。

#### 【サブテーマ4】

- 1) 亘悠哉：生物の科学遺産、77、124-129（2023）  
「イエネコ問題の本質に迫る—あふれるネコを生み出す人間社会」

#### 【サブテーマ5】

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) 城ヶ原貴通：日本哺乳類学会2021年度大会（2021）  
「マングース防除事業の現状-奄美大島からの根絶と事業の出口戦略、そして沖縄の現状」
- 2) 佐藤拓真、城ヶ原貴通：日本哺乳類学会2021年度大会（2021）  
「外来種フィリマングースの個体識別マーカーの開発」
- 3) 佐藤拓真、城ヶ原貴通：第69回日本生態学会大会（2022）  
「集団遺伝学的解析から見た日本における外来種フィリマングースの分散史」
- 4) 佐藤拓真、深澤圭太、中田勝士、福原亮史、城ヶ原貴通：日本哺乳類学会2022年度大会（2022）  
「探索犬による採集糞を用いた外来種フィリマングースの生息密度推定」

#### 【サブテーマ2】

- 1) 安田雅俊：2022年度日本哺乳類学会（2022）  
「特定外来生物クリハラリス無人島個体群における化学的防除」

#### 【サブテーマ3】

- 1) 池田透、鈴木嵩彬：日本哺乳類学会2021年度大会（2021）  
「フィージビリティスタディを基盤としたアライグマ対策意思決定支援システムの構築」
- 2) 城ヶ原貴通、安田正俊、浅野玄、池田透、亘悠哉、橋本琢磨：日本哺乳類学会2021年度大会（2021）  
自由集会「日本の外来哺乳類対策の到達点—成功と挫折から—」
- 3) 池田透、鈴木嵩彬：日本生態学会第69回全国大会（2022）  
「外来アライグマ管理における社会的課題」
- 4) 池田透、鈴木嵩彬：日本哺乳類学会2022年度大会（2022）  
「対症療法的アライグマ防除対策からの脱却を目指した意思決定支援システムの開発」
- 5) 池田透、鈴木嵩彬、浅野玄：日本生態学会第70回全国大会（2023）  
「広域分布する侵略的外来種管理における地域的防除の課題と展望」
- 6) 浅野玄：日本哺乳類学会2021年度大会（2021）  
「外来哺乳類防除の新規手法開発-避妊ワクチン開発の現状と課題-」
- 7) 浅野玄、佐藤広大、木村聡志：日本哺乳類学会2022年度大会（2022）  
「アライグマ卵透明帯ZP3由来避妊ワクチン抗原に対する雌アライグマの免疫反応」
- 8) 浅野玄：第37回日本生殖免疫学会総会・学術集会（2022）  
「野生動物の個体数管理における避妊ワクチンの可能性」

- 9) M. ASANO, S. KIMURA: 9th International Conference on Wildlife Fertility Control, Colorado, U.S.A, 2022  
 “Evaluation of zona pellucida antigens as oral contraceptive vaccine for feral raccoons (*Procyon lotor*) in Japan”

#### 【サブテーマ4】

- 1) 徳吉美国・岡奈理子・中下留美子・飯島勇人・亘悠哉・宮下直, 第68回日本生態学会大会 (2021) ノネコの食べ残しが駆動するネズミと海鳥の見かけの競争: 同位体と個体群動態から探る
- 2) 所司悠希(東大)、風戸一光(東大)、前田玉青(東大)、高島康弘(東大)、亘悠哉、松本芳嗣(東大)、宮下直(東大)、三條場千寿(東大), 第90回日本寄生虫学会・第32回日本臨床寄生虫学会合同大会 (2022) 徳之島の外ネコにおける抗トキソプラズマ抗体陽性率.
- 3) 亘悠哉, 第69回日本生態学会 (2022) 外来種問題の盲点: ワンヘルスの観点からの再定義.
- 4) 徳吉美国(東大)、岡奈理子(山科鳥類研究所)、飯島勇人、中下留美子、亘悠哉、宮下直(東大), 第69回日本生態学会 (2022) オオミズナギドリ繁殖成功の時空間変動から探るノネコと外来ネズミ2種の捕食の影響
- 5) 所司悠希、岡田その、高島康弘、亘悠哉、宮下直、三條場千寿, 第91回日本寄生虫学会大会、(2022年) 徳之島のクマネズミにおけるトキソプラズマ感染と環境因子の関係.
- 6) Shoshi Y, Okada S, Takashima S, Watari Y, Miyashita T, Sanjoba C., 15th International Congress of Parasitology, Copenhagen, Denmark (2022) Seroprevalence of *Toxoplasma gondii* in free-ranging cats and black rats, and role of landscape on Tokunoshima Island, Japan.
- 7) 亘悠哉、小峰浩隆、Angulo Elena、Diagne Christophe、Ballesteros-Mejia Liliana、Courchamp Franck, 日本哺乳類学会2022年度大会 (2022年) 日本における外来種の侵入が引き起こす経済的コスト.
- 8) 川上和人、亘悠哉. 日本鳥学会2022年度大会. (2022年) ネコが鳥を食べるとき〜伊豆諸島・小笠原諸島猫糞拾い旅〜.
- 9) 鈴木生真、所司悠希、徳吉美国、亘悠哉、後藤康之、三條場千寿, 第92回日本寄生虫学会大会 (2023年) 関東地方A島における2種の外来ネズミ類の抗*Toxoplasma gondii*抗体保有状況について.

#### 【サブテーマ5】

- 1) 荒谷友美・諸澤崇裕・川本朋慶・入口友香・後藤義仁・浅野真輝・橋本琢磨. 2021. 外来哺乳類の再侵入を検知する - バイオセキュリティの手法と体制の構築 -. 日本哺乳類学会2021年度大会自由集会
- 2) 入口友香・荒谷友美・中尾遼平・佐藤拓真・城ヶ原貴通・諸澤崇裕・川本朋慶・橋本琢磨. 2021. 環境DNAによるマンダースの検出系の検討. 環境DNA学会2021年度大会ポスター発表
- 3) 荒谷友美・入口友香・中尾遼平・佐藤拓真・城ヶ原貴通・諸澤崇裕・川本朋慶・浅野真輝・橋本琢磨. 2022. 水及び土壌からのファイリマンダースの環境DNA検出系の確立. 日本哺乳類学会2022年度大会ポスター発表
- 4) 橋本琢磨・後藤義仁・諸澤崇裕・川本朋慶・入口友香・荒谷友美・浅野真輝. 2022. 外来哺乳類の侵入を回避するバイオセキュリティ - マンダース根絶後の奄美大島を事例として考える -. 日本哺乳類学会2022年度大会ポスター発表

### (3) 「国民との科学・技術対話」の実施

#### 【サブテーマ1】

- 1) 城ヶ原貴通 (コーディネーター)、琉球列島の自然を考える 世界自然遺産登録に向けた現状と課題、沖縄大学 (2021年6月12日、聴講者約80名)
- 2) Jogahara, T. 2023. Mongoose management in Amami Oshima Island. *Advances in Management*



of Invasive Alien Mammals 2023.

### 【サブテーマ2】

- 1) 公開セミナー「大分の自然と外来リス-高島の生態系の回復をはかるために-」（主催：森林総合研究所九州支所、2020年11月19日、大分市大在公民館・オンライン、聴講者50名）にて司会（城ヶ原貴通）
- 2) 公開セミナー「大分の自然と外来リス-高島の生態系の回復をはかるために-」（主催：森林総合研究所九州支所、2020年11月19日、大分市大在公民館・オンライン、聴講者約50名）にて講演（安田雅俊）
- 3) 特別展示「ICTを活用した効率的な鳥獣捕獲とジビエ（野生鳥獣肉）の利活用について」（主催：九州農政局、2020年12月21日～2021年1月8日、熊本市）にて成果発表「外来リスから九州の農林業・生態系を守る」（安田雅俊）
- 4) シンポジウム「くまもとC生物多様性シンポジウム」（主催：熊本市、2021年2月20日、熊本市）にて講演（安田雅俊）
- 5) 森林総合研究所九州支所九州地域公開講演会（2022年11月12日、参加者約50名）にて成果紹介（安田雅俊）
- 6) YouTubeの森林総研チャンネル（2022年12月1日～）にて成果紹介（安田雅俊）
- 7) 公開国際シンポジウム「侵略的外来哺乳類管理の進展2023」（主催：外来哺乳類管理公開国際シンポジウム実行委員会、2023年2月23日、オンライン、参加者222名）にて講演（安田雅俊）

### 【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～（2021年2月1日、参加者約100名）にて研究紹介
- 2) 第47回国立大学法人動物実験施設協議会総会 施設長・教員・技術職員・事務職員合同懇談会（2021年6月11日、参加者約50名）にて研究紹介
- 3) 令和3年度 西ライフデザインセンター 前期長期講座（2021年10月30日、参加者約30名）にて成果紹介
- 4) 令和3年度 鳥獣被害防止総合対策事業説明会 捕獲サポート隊安全講習会（2021年12月21・22日、参加者計約100名）にて一部研究紹介
- 5) 私立星稜高等学校における土曜特別講座「野生動物管理における獣医学の貢献」（2022年12月17日、聴講者約30名）
- 6) 一般公開国際シンポジウム“Advances in the Management of Invasive Alien Mammals 2023”（AMIAM2023）「侵略的外来哺乳類管理の進展2023」（主催：外来哺乳類管理公開国際シンポジウム実行委員会、後援：環境省、日本哺乳類学会、日本生態学会、日本霊長類学会、日本野生動物医学会、2023年2月23日、オンライン形式、参加登録260名、参加者222名）を開催して成果紹介

### 【サブテーマ4】

- 1) 亘悠哉. 「野生化ネコ捕獲プロジェクト」説明会. 御蔵島観光協会. 2021年12月27日.
- 2) 徳之島3町（天城町、徳之島町、伊仙町）全戸配布チラシ. 「知っていますか？トキソプラズマ感染症」NPO法人徳之島虹の会. 2022年11月.
- 3) 森林総合研究所・山階鳥類研究所, プレスリリース「準絶滅危惧種オオミズナギドリの大規模繁殖地が危機に」（2020年12月8日）
- 4) 森林総合研究所, プレスリリース「準絶滅危惧種オオミズナギドリの頭部のない死骸はネコの捕食によるものだった -DNA分析による科学的エビデンス-」（2022年9月27日）
- 5) Watari Y. ” Impact and management of free-ranging cats in Japan (日本における屋外ネコの影響と対策)” 公開国際シンポジウム「侵略的外来哺乳類の管理の進展2023」2023年2月23日
- 6) 亘悠哉. 「世界自然遺産 徳之島の価値について」世界自然遺産登録1周年記念徳之島シンポジウム基調講演. 2023年2月23日. 伊仙町ほーらい館.

### 【サブテーマ5】

特に記載すべき事項はない。

#### (4) マスコミ等への公表・報道等

##### 【サブテーマ1】

特に記載すべき事項はない。

##### 【サブテーマ2】

- 1) 熊本日日新聞（2020年11月6日、16頁、「タイワンリス 駆除大詰め」）
- 2) 大分合同新聞（2022年2月21日、5頁、「大分自然博物誌第4巻「ブンゴエンシス」から 動植物の生態と自然環境 高島のタイワンリスは1954年に導入された！」）
- 3) 大分合同新聞（2022年2月28日、5頁、「大分自然博物誌第4巻「ブンゴエンシス」から 動植物の生態と自然環境 高島のアオダイショウとタイワンリス」）
- 4) 熊本日日新聞（2022年4月21日、21頁、「タイワンリス「根絶寸前」」）
- 5) NHK大分（2022年5月18日、大分市高島のクリハラリス防除の成果について5分ほど紹介）
- 6) 大分合同新聞（2022年6月14日、1頁、「別府市でクリハラリス確認か 外来種被害防げ」）
- 7) 熊本日日新聞（2022年7月19日、23頁、「根絶寸前 宇土半島のタイワンリス 一時、数千匹に繁殖 世界で例ない封じ込め」）
- 8) 熊本日日新聞（2022年7月20日、14頁、「根絶寸前 宇土半島のタイワンリス 行政と専門家調査、報奨金も 「増える以上に捕獲」奏功」）
- 9) 熊本日日新聞（2022年7月21日、16頁、「根絶寸前 宇土半島のタイワンリス 成功事例 各地の道標に」）
- 10) 大分朝日放送（2022年10月27日、大分市高島の成果についての15分ほど紹介）
- 11) 大分朝日放送（2023年1月3日、大分市高島の成果を含む30分番組）
- 12) テレビ朝日（2023年1月28日、「テレメンタリー2023」にて大分市高島の成果を含む30分番組）
- 13) YouTubeのANNニュースチャンネル（2023年2月4日～）にて成果紹介
- 14) 成果のプレスリリース（2023年2月6日、森林総合研究所ウェブサイト、「日本における外来リスの駆除に成功した5つの要因」）。
- 15) 成果のプレスリリース（2023年2月15日、森林総合研究所ウェブサイト、「Close Encounter of the Furry Kind: Managing Alien Squirrel Invasion in Japan」）。

##### 【サブテーマ3】

特に記載すべき事項はない。

##### 【サブテーマ4】

- 1) 読売新聞（2020年12月21日、全国版）、「希少な鳥 ネコの餌食に」
- 2) 朝日新聞（2021年2月1日、夕刊）、「オオミズナギドリ急減 ノネコ1匹が年間300羽を捕食か」
- 3) しんぶん赤旗（2021年2月22日）、「大規模繁殖地の伊豆諸島御蔵島 準絶滅危惧種のオオミズナギドリ ノネコが捕食 危機」
- 4) 農業協同組合新聞（2022年9月29日、ウェブ版）「準絶滅危惧種“オオミズナギドリ”頭部のない死骸 ネコが食べていた」

##### 【サブテーマ5】

特に記載すべき事項はない。

#### (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

特に記載すべき事項はない。



#### IV. 英文Abstract

##### Improvements of countermeasures for the decision-making process of invasive alien mammals

Principal Investigator: Takamichi JOGAHARA

Institution: Okinawa University, 555 Kokuba, Naha City, Okinawa, 902-8521, JAPAN

Tel: 098-901-7295

E-mail: t-jogahara@okinawa-u.ac.jp

Cooperated by: Forestry and Forest Products Research Institute, Gifu University, Hokkaido University, Japan Wildlife Research Center

[Abstract]

Key Words: Alien mammal, Feasibility study, Eradication model, Development of pest control technique, Mongoose, Pallas's squirrels, Raccoon, Domestic/feral cat, Biosecurity

The present study contributed to the development of various stages of control projects for invasive alien mammals. For this, we evaluated the feasibility of the control projects, constructed eradication probability models, and developed various control methods.

We used a model to determine the probability of mongoose eradication on Amami Oshima Island. Various parameters were included in the model. The mongoose eradication probability on Amami Oshima Island was evaluated using an area-based harvest-based model and rapid eradication assessment. The results showed that the eradication probability increased rapidly after the last detection of mongoose in FY 2018.

We developed a method for the eradication of native populations of Pallas's squirrels, verified the effectiveness of chemical control, and established recommendations for the social implementation of non-native squirrel control. Furthermore, we compiled a manual for the control of Pallas's squirrels.

We developed a decision support system that considers feasibility when dealing with raccoons. This system has been made available online and is accessible to government officials; it uses the number of animals captured per unit of effort as an indicator. Additionally, we explored the use of oral contraceptive vaccines as an innovative pest control method and evaluated potential antigens derived from the zona pellucida using live raccoons.

We identified instances of domestic/feral cat problems nationwide, evaluated existing countermeasures in problem regions, and proposed recommendations for countermeasures. As part of a nationwide case study, 101 bird species, including common ones, were found to be affected by domestic/feral cats. Furthermore, domestic/feral cats were the main factor contributing to the declining population of the Streaked Shearwater on Mikurashima Island, which is the largest breeding ground for the species.

We conducted a survey to establish a biosecurity system after mongoose eradication on Amami Oshima Island. The findings suggest that, following the eradication of mongoose on Amami Oshima island, the biosecurity system should use sensor cameras and search dogs for monitoring around the Naze-shinko port area.