課題名	4D-1101 外来動物の根絶を目指した総合的防除手法の開発
課題代表者名	五箇 公一 （独立行政法人国立環境研究所 生物・生態系環境研究センター 主席研究員室 主席研究員）
研究実施期間	平成23～25年度
累計予算額	152,727千円（うち25年度50,149千円） 予算額は、間接経費を含む。
本研究のキーワード	特定外来生物、根絶、ネットワーク、化学的防除、繁殖抑制、低密度個体群、効率的防除戦略、数理モデル

研究体制
（1）外来昆虫類の防除手法開発及び外来生物防除ネットワークの構築（（独）国立環境研究所）
（2）外来魚類の防除手法開発及び防除体制強化（滋賀県立琵琶湖博物館）
（3）グリーンアノールの生物学的特性に基づく防除戦略開発（（一財）自然環境研究センター）
（4）マングース超低密度個体群の根絶技術開発（（独）森林総合研究所、琉球大学、岡山理科大学）
（5）アライグマの効率的防除戦略開発（北海道大学）
（6）防除実践のためのモデル解析（横浜国立大学）

研究協力機関
岐阜大学、香川大学、兵庫県立大学、大分市、フマキラー株式会社、軽井沢ドッグビヘイビア、NPO法人おおいた環境保全フォーラム、NPO法人生物多様性研究所、あーすわーむ

研究概要

1．はじめに（研究背景等）

2005 年 6 月に施行された外来生物法では、法律施行から 9 年経った現在において、駆除もしくは防除に成功した特定外来生物は 1 種も存在しない。特に特定外来生物指定に際して大きな話題を呼び、象徴的な存在ともなっているオオクチバス、マングース、セイヨウオオマルハナバチなどですら、環境省・自治体・NPO および住民らの多大な努力にも関わらず、未だ防除の見通しは立っていない。また、当初、広島県でのみ確認されていたアルゼンチンアリは、確実に分布を広げており、瀬戸内海沿岸地域、静岡、横浜などの港湾都市、さらには京都市内や岐阜県等、内陸部にまで侵入が始まっている。折しも本申請書作成中に新たに東京都においても侵入が確認された（2010 年 10 月）。さらに輸入資材から、ヒアリやアカカミアリなどの危険な種の混入が認められるなか、水際での侵入阻止のための技術開発は緊急の課題とされる。

これまでに防除が成功には至っていない要因としては、1）防除に必要とされる生物学的情報の整備が遅れている、2）農業被害や健康被害が出ている現場で場当たり的に防除が実施されており、総合的防除に至っていない、3）低密度時の効率的な防除手法が確立されていない、4）防除事業が地域ごとにばらばらに実施されており、事業間の緊密な連携と情報交換が不足している、5）薬剤使用等、新しい防除手段の開発が遅れている、6）問題に対する国民的な認知が不足していること、などがあげられる。

2010 年 10 月に第 10 回生物多様性条約締約国会議 COP10 を名古屋で迎え、本会議で打ち出された新しい生物多様性保全のための国際目標「愛知ターゲット」の中にも、重要な外来生物の速やかな防除法の確立が「Target9」として盛り込まれた。議長国である我が国は、外来生物対策に特化した法律を作り出した点で世界をリードしており、上記の COP10 で発表された外来種対策目標に対しても、科学的データに基づき革新的防除手法を開発するとともに様々な問題点を解決し、世界に先駆けて成功事例を作り上げ、さらにその情報を国際発信することは、生物多様性国家戦略の観点からも、国際貢献の観点からも、重要な課題と位置づけられる。

2．研究開発目的

本研究課題では、【重点課題 14】生物多様性の確保における、「外来種等の防除システムの構築」に対して、生態学的にも環境政策的にも問題性が大きく、早急な防除が求められる外来生物のうちの動物分類群について、確実な防除の成功を導く集中的な調査・研究を行うことで貢献を目指すものである。対象生物は特定外来生物に指定され、かつ火急的対策が求められるものとして、昆虫類ではアルゼンチンアリを含む外来アリ類およびセイヨウオオマルハナバチ、魚類はオオクチバスおよびブルーギル、爬虫類はグリーンアノール、哺乳類はマン

グースおよびアライグマを選定し、これらの種の国内外における防除実態（失敗や成功事例）の情報収集を行い、防除に関する情報の整備と分析を行うとともに、必要とされる外来生物の生態学的情報の収集と防除手法の開発を行う。得られた情報をもとに、防除の有効性を評価するとともに、効率的な防除戦略を立案する。防除事業ネットワークを構築し、得られた研究成果に基づき全国レベルでの防除体制の強化を行う。

３．研究開発の方法

（1）外来昆虫類の防除手法開発及び外来生物防除ネットワークの構築

2010年にアルゼンチンアリの定着が確認された東京都において薬剤防除を実施し、防除効果と非標的種に対する薬剤影響を評価する。防除モデル地域における野外調査により、セイヨウオオマルハナバチの防除目標を設定する。セイヨウオオマルハナバチに特異的な低リスクの化学的防除手法を開発し、室内及び半野外レベルの毒性試験で防除効果と在来種への影響を評価し、効果的な薬剤散布システムを構築する。防除ネットワークを構築し、収集した情報を外来種防除に関するポータルサイトで共有し、データマイニング研究として防除の優先順位決定に活用する。

（２）外来魚類の防除手法開発および防除体制強化

1）吊り下げ式人工産卵装置の仕様と設置方法の改良

オオクチバス等の侵略的外来魚の防除に関しては、これまで汎用性の高い繁殖抑制手法の開発が不十分であったことから、主としてオオクチバスを対象とした繁殖抑制技術である「吊り下げ式人工産卵装置」の仕様と設置方法の改良を行って、効果が高く汎用性の高い繁殖抑制手法の開発を、本サブテーマの中心的課題とした。そのために、現地において装置の定期的な見回り等の協力体制のとれる松元ダム貯水池（鹿児島県鹿児島市）、早月川河口溜まり（富山県魚津市）、田海ヶ池（新潟県糸魚川市）、都立狭山公園宅部池（東京都東村山市）、三春ダム貯水池（福島県三春町）を、本サブテーマの試験モデル水域に選定し、大規模な水位変動、低い透明度、急峻または遠浅な水中地形、高密度のブルーギルの生息など、装置の誘引性を発揮するうえで支障となる条件に対応することで、装置の汎用性を高めるための仕様と設置方法の開発・改良を行った。

2）各水域における総合的防除の試みと、目標達成可能性の検証

水域の全周に吊り下げ式人工産卵装置の配置が可能な小規模水域である早月川河口溜まりと都立狭山公園宅部池において、装置の見回りの際に自然繁殖についてもモニタリングを行い、オオクチバスの水域個体群の繁殖活動に対する人工産卵装置による繁殖抑制効果を検証した。

また、すでにオオクチバス等の防除対策に取り組んでいる苫田ダム貯水池（岡山県鏡野町）と三春ダム貯水池において、既存の取り組みに加えて吊り下げ式人工産卵装置による繁殖抑制を導入し、既存の防除手法と組み合わせた総合的防除を行うことで、侵略的外来魚の根絶を目指した効果的な生息抑制方法について検討を行った。

3）防除マニュアルの作成

本サブテーマで確立した吊り下げ式人工産卵装置の仕様と設置方法に関して、詳しく解説したマニュアルの作成を行った。

（3）グリーンアノールの生物学的特性に基づく防除戦略開発

1）既存文献に基づき、爬虫類に対する化学物質の致死性に係るレビューを行った。2）グリーンアノールに対する室内における化学物質の致死性をみるために、ピレスロイド系薬剤をアノールに塗布して、致死性を測定した。3）高温処理による防除の基礎的な情報を得るために、温度を調節した閉鎖空間に収容したアノールの死亡条件を確認した。4）グリーンアノールに対する野外における薬剤の効果実証試験として、小型の温室を用いた試験と積み重ねた落葉落枝に潜んだグリーンアノールを駆除するための薬剤燻蒸試験を実施した。5）グリーンアノールの化学的防除に係る基礎的な資料として、生体（オトリ）に対する反応、刺激性のある薬剤に対する忌避行動、ラジオテレメトリー法によるグリーンアノールの野外における行動圏の把握を行った。6）以上の研究結果をまとめて、グリーンアノールの地域的な根絶を図るための防除戦略を取りまとめ、環境省に提出した。

（4）マングース超低密度個体群の根絶技術開発

1）避妊ワクチン開発では、メスのマングースにおける標的となる抗原（卵透明帯）の塩基配列を解読し、2種類の合成ペプチドを作成した。さらに、これらの合成ペプチドの抗原性を免疫組織学化学染色により確認し、抗原候補となる可能性を検討した。2）新規侵入防止技術の開発では、野外において設置した簡易柵の効果の検証および設置やメンテナンスの労力、柵の問題点を把握した。3）忌避物質の探索とマングース遺物のDNA判定技術では、飼育下において複数の試験剤の選好忌避試験を行った。DNA開発では、マングースのモニタリングツールとして、種判別や性判別するため実用化を検討した。4）混獲防止技術の開発では、改良筒罠の性能試験や

安全性試験や野外調査を行った。5）防除事業シナリオにおける技術開発成果の適用では、上記の開発技術の実用化と防除事業との関係を検討し整理した。

（5）アライグマの効率的防除戦略開発

低密度下の効果的・効率的技術開発として、アライグマ探索犬を育成し巣箱型ワナを開発した。また、アンケート調査をもとにアライグマ情報ネットワークを構築した。さらに、在来種・生態系保全を目的とした侵入初期状況における早期対策を試みた。

（6）防除実践のためのモデル解析

他のサブテーマ担当者からの協力を得て、各サブテーマで行っている防除事業について定性的・統一的なフォーマットによる聞き取り調査を行い、事業概要や考慮すべき項目（どんな生物や環境要因が関与するのか、利用する捕獲手法、モニタリング手法、など）を把握した。このヒアリング結果を基にして、プロジェクト管理サイクルの例として、DMAIC(define the system、 measure、 analyze、 improve、 control the process)を外来生物の防除事業に当てはめ、ヒアリングによる事業把握の中で明らかになってきた改善課題に対して、必要な数理モデルの作成を行った。

4．結果及び考察

（1）外来昆虫類の防除手法開発及び外来生物防除ネットワークの構築

アルゼンチンアリの防除の結果、初年度には99.8%の防除効率を示し、現在では1ヶ所において根絶したと考えられる。また、少なからず非標的種に対する薬剤影響はあるものの、薬剤を中止すると回復することが明らかになった。防除モデル地域における防除目標はセイヨウオオマルハナバチの減少とともに、オオマルハナバチの個体数の回復と考えられた。脱皮阻害剤を散布することで、コロニーの成長を阻害できることを室内及び半野外試験で明らかにし、捕獲したセイヨウオオマルハナバチに散布することで同所的に生息する在来種への影響も防げることを示し、現地の捕獲ボランティアとの連携体制も整った。防除ネットワークにより得た情報を活用した防除の優先順位決定では、個体群管理目的の長期的防除はアライグマ、根絶目的の短期的防除はセイヨウオオマルハナバチが最も優先順位が高くなった。

（2）外来魚類の防除手法開発および防除体制強化

1）吊り下げ式人工産卵装置の仕様と設置方法の改良

吊り下げ式人工産卵装置を、大規模な水位変動に対応すべく水位変動を受けることのない網場（あば）などの既存の「沖出し」された施設に装置を係留したところ、オオクチバスによる産卵床形成が確認された。そこで、このような「沖出し」状況を積極的に創出するために、岸に対して垂直に沖方向へ誘導フェンスを伸ばしその先端に装置を係留する「誘導フェンス付き装置」を設置したところ産卵床の形成が見られ、しかも岸沿いの樹木等に係留した場合に比較して高頻度で産卵床形成が認められた。なお、誘導フェンス付き仕様は、装置の視認しにくい低い透明度の水域や水底の傾斜が緩やかな地形の水域でも効果を発揮することが期待される。

さらに、ブルーギルの高密度生息水域では、装置本体の3方を衝立で囲った「衝立付き」仕様の装置を従来型の「衝立なし」の仕様とセットで設置したところ、衝立付き仕様の装置が衝立なし仕様と比較してはるかに高い頻度で産卵床の形成が確認された。

このように吊り下げ式人工産卵装置は、水域の状況によって、沖出し施設への係留、誘導フェンス付きや衝立付きの仕様とすることで、よりオオクチバスの産卵床形成の頻度を高められることが本研究によって示された。

2）各水域における総合的防除の試みと、目標達成可能性の検証

小規模水域の全周に吊り下げ式人工産卵装置を設置し、水域内の自然繁殖についても同時にモニタリングを行った結果、装置における産卵床形成の頻度は、釣り人による装置への干渉のない水域においては、確認される自然繁殖の頻度を上回る結果となり、装置の適切な配置と見回りによって、オオクチバスの繁殖活動を有効に阻止できる可能性が示唆された。

三春ダム貯水池では、洪水期に備えた大規模水位低下を段階的に行うことでオオクチバスの自然産卵床の効果的な干出を促進する取り組みが行われ、それによって、水域個体群の増加を抑える程度の効果があることが数理モデルによって示されている。人工産卵装置は水位低下完了後に高頻度で利用され、オス親魚の捕獲も可能であることから、水位低下による干出を補完する繁殖抑制手法として有効であり、水域全体におけるオオクチバス個体群サイズの縮小へ大きく貢献することが期待される。

苫田ダム貯水池では、湖岸沿いの環境をオオクチバスの繁殖場所として評価したポテンシャルマップを作成し、繁殖ポテンシャルの高い区域で吊り下げ式人工産卵装置の設置を含めた生息抑制努力を集中させて、作業効率化をめざした防除を継続している。苫田ダム貯水池では、オオクチバスの個体群サイズが減少しつつあり、既

存の魚類やエビ類の個体数が回復の兆しを見せていることも、オオクチバスの捕食圧低下を示唆するものと考えられた。

3）防除マニュアルの作成

本サブテーマで確立した吊り下げ式人工産卵装置の仕様と設置方法の各地への導入を促すためのマニュアルを、既存の環境省による手引き書の補遺として作成し、環境省に提出した。

（3）グリーンアノールの生物学的特性に基づく防除戦略開発

1）文献データベースにより爬虫類に対する化学物質の影響を示すデータを網羅的に収集・整理した結果、グリーンアノールを含むトカゲ類に対してはピレスロイド類が致死性を示し、経皮、経口、燻蒸のいずれの投与手法でも有効に作用することが示された。今後のアノールの防除に対して、ピレスロイド類を適用できる可能性は高いと考えられた。

2）市販のピレスロイド類5種（フェンプロパトリン、プラレトリン、フタルスリン＋レスメトリン、ピレトリン）について投与部位と投与量を操作して行った経皮投与実験では、フェンプロパトリンの致死性がもっとも高く、投与部位（頭部、胴部、背面全体）や雌雄による効果の差は確認されなかった。フェンプロパトリンの場合、0.015mlを頭部と胴部のいずれかの部位に付着させれば致死率を100%にできることが確認された。

3）高温処理実験では、環境中の空気が50℃で9分間維持された条件で致死率が100%となることが確認された。

4）温室を用いた試験の結果、夏期の昼間にはグリーンアノールの致死温度を維持できること、また薬剤処理については、昼間よりも夜間において効果的であることが判明した。落葉落枝を積み上げて燻蒸を行った結果、ロディー乳剤（有効成分フェンプロパトリン）を噴霧した場合の致死率は4割程度、バルサン（有効成分：ペルメトリン、メトキサジアゾン）を用いた燻煙のそれは7割以上に達した。以上の検証結果から、狭い空間であれば、たとえかなり複雑な構造であっても、燻煙処理により内部のグリーンアノールを比較的高い確率で致死させられることが示された。

5）生体に対する反応として、メス生体にオス成体が誘引されることが示された。また飼育下において、刺激性のあるフェンプロパトリン等の薬剤を避ける行動は認められなかった。野外におけるグリーンアノールの行動圏は小さく（平均±SE ＝ 109.8±55.2 m^2）、面積が最大の個体でも330.2m^2で、定住的であると結論された。

6）防除戦略として、定着の段階、防除に係る空間スケールを設定して、定着の各段階におけるアノール防除の考え方を提示した。

（4）マングース超低密度個体群の根絶技術開発

1）避妊ワクチンの開発：卵透明帯蛋白質ZPCの完全長配列（1,278bp）の解読に初めて成功し、精子卵結合部位は種特異性が高いことが示唆された。このため、同部位を含むように2種類の合成ペプチドA、B（共に19AA）を作成し、抗原性を確認したところ、少なくとも合成ペプチドAは抗原候補になり得る可能性が示された。

2）新規侵入阻止技術の開発：標的外来種の侵入を防止する簡易柵の開発においては、飼育室でマングースの柵越え試験により構造を決定し、野外においても簡易柵の侵入防止効果が示された。簡易柵の設置により、防除対象地域のうち、罠見回りの不要な地域が拡大できると考えられる。

3）誘引剤・忌避剤の開発及び罠などに残る捕獲個体の遺物のDNA識別技術開発：忌避候補物質として、スナドリネコ*Prionailurus viverrinus*糞で忌避効果が示唆された。DNA判定技術では、ヘアトラップで採取された体毛から種と性別が高い成功率で判別できた。

4）混獲防止技術の開発：トリガー可動部の形状変更を行った延長筒ワナは、従来型の筒罠においてトゲネズミの混獲リスクが低減しカラはね率も大幅に低減できた。トゲネズミの6日間の再捕獲率は70%と極めて高く、生息密度にかなりの年変動が認められた。

5）防除事業の根絶シナリオにおける防除技術開発成果の適用：簡易柵はモニタリング区域と重点区域の分断に使用すれば、防除資源の効率的かつ重点的配備が可能となる。在来希少種との混獲を防止する延長筒罠を利用すると、回復してきた在来希少種の混獲率を低減させ、マングースを効率的に排除できる。また避妊ワクチンの使用によって、マングースだけ繁殖阻害を起こすことができる。トラップシャイ個体（罠忌避個体）も、避妊ワクチンを経口採食させることで不妊化できる。ヘアトラップ等の残存体毛のDNA解析により、種判別や性判別、さらに個体識別することで残存個体数や個体群状況が把握でき、防除戦略の見直しに有用である。

（5）アライグマの効率的防除戦略開発

探索犬はアライグマの位置を特定して告知し、アライグマの痕跡を確認した。探索犬育成にかかる訓練指導費と育成実費は、初年度で約336万円となった。また、アライグマ探索犬の育成及び探索犬を用いた探索マニュアルを作成した。体全体が入るよう、踏み板の上部に床を設置した巣箱型ワナを作製した。巣箱型ワナは遠隔捕獲通知システムを用いれば、長期使用する場合は従来の見回りを要する箱ワナよりも低コストであった。

防除を行う市町村に対してアンケート調査を実施し、現場での問題点を整理するとともに情報共有システムを構築した。専門職の配置や育成、または補完できる機能や防除活動を行う団体の情報提供、低密度下の防除手法、他県の取り組みの紹介などが必要とされ、駆除効果の検証や成果のフィードバックが不足していることが明らかになった。在来種や生態系保全をベースとしたアライグマ侵入初期において集中捕獲を実施し、アライグマ探索犬と巣箱型ワナの有効性を立証した。

（6）防除実践のためのモデル解析

昆虫から魚類、哺乳類まで、広範な外来生物防除プロジェクトのヒアリング結果が得られた。全体として、現在行われている開放系（湖沼や島嶼のような孤立した生息地でなく、生息可能地が周囲にひろがっている）における防除プロジェクトにおける個体群制御の容易さには、地理的な分布拡大速度の影響が大きく、分類群は重要でなかった。また外来生物個体群に防除効果が見られれば、保全対象の在来生物個体群もまた回復していた。

プロジェクト管理サイクルで明らかになった課題を解決するための数理モデルを作成し、個別の研究結果として、奄美大島のマングース事業での個体群モデルによる根絶対象の外来生物と在来生物の予測、さまざまな外来生物での根絶費用の統計的な推定、根絶後に回復させる目標生態系の推定、根絶・密度管理の対象地域と周辺の事業を実施しない地域とのあいだの外来生物の密度勾配の設計、が可能となった。

5．本研究により得られた主な成果

（1）科学的意義

アルゼンチンアリ防除における非標的種への生態影響について、アルゼンチンアリと薬剤の影響度を個別に評価することで、今後の群集動態を予測することが可能になった。ハウス内でセイヨウオオマルハナバチにIGR剤を散布した場合の防除効果および近縁の在来種に対する生態影響を定量的に評価できた。文献情報を用いた防除優先順位の決定により、科学的根拠による影響評価の透明性を付与し、外来種防除の効率化を図る手法を提案した。

オオクチバス等外来魚の生息抑制において、繁殖阻害のための技術開発は、直接的捕獲に関わるさまざまな手法の開発と比較して遅れており、もっぱら自然産卵床の探索・破壊にとどまっていた。人工産卵装置は、本来は発見が非常に困難な自然の産卵床の形成を、装置の上に誘導することで、効果的に繁殖努力を無効化することのできる手法であるが、開発当初の直置き式仕様は多くの水域で誘引性が認められない状況にあった。その状況を打開するため我々は「吊り下げ式人工産卵装置」を考案し、本研究ではその汎用性をさらに高めることに成功した。具体的には、オオクチバスの産卵床形成を誘導する上で支障となる水位変動や低透明度などの水域では装置を「沖出し」して設置することにより、またブルーギルの高密度水域においては衝立付きの仕様とすることにより、有効性を高めることができた。

グリーンアノールについては薬剤に対する感受性を明らかにして、高温処理と合わせて野外の限られた空間での防除手法の開発に資する基礎的な情報を提示した。昆虫類や魚類等では、多くの種で農薬や殺虫剤への感受性が確かめられているが、爬虫類はほとんどの場合で研究対象にされてこなかった。さらに、防除に応用できる複数の要因（ここでは薬剤と温度、誘引と忌避）を組み合わせて実用化するための道筋を示した点は、保全生態学の観点から重要性が高いと考えられる。

マングースの避妊ワクチンにおける抗原の開発、標的外来種の侵入防止のための簡易柵開発における構造形態と実証、DNAによるモニタリング手法、および改良型罠の混獲防止機能と安全性の成果は、基礎的応用的に科学的意義として極めて高い。

アライグマの効率的防除戦略開発では、アライグマ探索犬の育成手法を確立し、誘引餌を必要としない巣箱型ワナの有効性を実証するまでに至り、低密度状況下における低コストでの効果的・効率的探索・捕獲手法確立のための基礎を固めることができた。また、在来種・生態系保全を目的としたアライグマ防除体制構築及び生息状況に即した地域的アライグマ防除対策構築を目指したアライグマ情報ネットワーク構築を行い、外来生物防除対策の社会的基盤として人文・社会科学的アプローチを導入できた。

数理モデルを利用することにより科学的根拠に基づく外来種防除への提言が可能となった。

（2）環境政策への貢献

＜行政が既に活用した成果＞

環境省の外来種被害防止行動計画と侵略的外来種リスト作成において、本課題で実施されている各種特定外来生物の防除手法の開発に関する最新情報を提供し、防除に関する課題と今後の方針についてのとりまとめに貢献した。本課題のサブテーマ1で得られた成果は、京都市、静岡市、横浜市におけるアルゼンチンアリ防除事業において、コスト試算や防除計画の作成および防除着手の支援に利用された。

国土交通省中国地方整備局苫田ダムにおける貯水池環境管理のための業務なかで、サブテーマ2で紹介したオオクチバスの繁殖ポテンシャルマップを作成して、防除努力を集中すべき湖岸区域を特定し、そこに吊り下げ式人工産卵装置を設置することで、効果的なオオクチバスの繁殖抑制とオス親魚の駆除が行われている。その結果、この貯水池においてオオクチバス個体群の効果的抑制に成功しつつあることが、既存魚種やエビ類の生息量回復によって示されている。

サブテーマ3で開発した薬剤防除手法は、環境省が実施した「平成25年度小笠原自然再生事業兄島グリーンアノール柵設置業務」において実際に活用された。この事業においては、アノールの北進を抑制するために鉄筋、プラスチック製ネット等の計3トンもの資材が本州から父島を経て兄島に運び込まれた。運搬の際、父島からのアノールの混入防止のために、全ての資材は父島に保管されたコンテナ内においてピレスロイド系薬剤にて燻煙された。

環境省マングース防除事業検討会において、改良型捕獲器の混獲防止機能や安全性の試験結果は、防除事業における実用化につながり、また天然記念物指定種の混獲問題に関する文化庁協議に有益な情報を提供した。簡易柵は、沖縄島北部のマングース防除事業において平成25年度に設置される。またDNAによる種判別や性判別の成果はすでに実用化されている。

アライグマ対策では、環境省外来種被害防止行動計画策定会議において、外来種対策を効果的に進めるための技術開発及び社会的基盤構築に必要な情報を提供し、また北海道外来種対策検討委員会において、アライグマに関する防除技術開発情報を提供し、将来の試験的導入と実用化を提言した。大分市のアライグマ対策において、本研究への協力に引き続き、協働研究体制を継続し、巣箱型ワナを活用している。

マングース防除事業は事業仕分けで効果の見込みがないとされたが、本研究で定量的な事業シナリオが示され、事業が継続された。外来種被害防止行動計画策定会議において、本研究のヒアリング事業調査を応用した資料が作成された。2013年に侵入が発見された兄島グリーンアノール緊急防除事業に関する本研究成果が参考情報として提示された。

＜行政が活用することが見込まれる成果＞

アルゼンチンアリ防除では標的種以外の生物相に与える影響を考慮した防除手法の可能性を提示した。セイヨウオオマルハナバチ・バスターズなど本種の捕獲に熟練した市民団体と協働し、捕獲した本種に脱皮阻害剤（IGR剤）を散布して巣に持ち帰らせる手法により、在来種への薬剤影響を抑えつつ、効果的に防除できる可能性を示した。防除の優先順位に関する影響評価手法は、環境省の侵略的外来種リスト作成に際し、科学的根拠により掲載種を決定する手法を提示した。

国土交通省東北地方整備局三春ダムにおける研究活動は、（一財）水源地環境センターによってダム湖の生態系研究に関係した研究者が有機的に組織された「水源地研究会」の枠組みにも組込まれている。そのため、今後、オオクチバスにおける吊り下げ式人工産卵装置の積極的利用を含めた三春ダム貯水池での取り組みが、各地のダム貯水池においても応用されることが期待される。

グリーンアノールの野外での薬剤の効果実証試験においては、複雑な構造を持つ物資の検疫に効果を発揮すると考えられる。また、サブテーマ3で開発した新規防除手法と防除戦略は、環境省等が進めるアノール防除事業に直ちに応用可能で、防除の進展に大きく貢献すると考えられる。

マングースの繁殖を阻害できる避妊ワクチン技術は、実用化に向けて今後の作業が必要であるが、標的種に限定的効果があり、非標的種への影響がないため、今後さまざまな外来食肉哺乳類などに応用があり、効果的な対策手法として活用が期待される。

アライグマ対策においては、アライグマ探索犬育成マニュアル及び探索マニュアルをベースとしてアライグマ探索犬の育成と活用が進むことが期待され、また対策コスト削減のために巣箱型ワナの活用が進むことが期待される。

さまざまな外来生物防除事業の第1段階の簡単な評価として、今回提示したヒアリング項目による調査が普及することが見込まれる。外来種防除事業における事業の立案から実施まで含むプロジェクト管理の進め方が明らかになり、実現可能で費用対効果の高い事業展開が可能となる。事業の透明性が高まるため社会への説得が容易となり、予算の利用に対して理解が得られやすくなることも期待される。

６．研究成果の主な発表状況

（1）主な誌上発表

＜査読付き論文＞

1） 熊沢一正、大杉奉功、西田守一、浅見和弘、鎌田健太郎、沖津二朗、中井克樹、五十嵐崇博、船橋昇治、岩見洋一、中沢重一：応用生態工学, 15, 171-185（2012）
「ダム湖の水位低下を利用した定置網による外来魚捕獲とその効果」

2) M.N. INOUE, E. SUNAMURA, E.L. SUHR, F. ITO, S. TATSUKI and K. GOKA: Divers. Distrib., 19, 29-37 (2013)
"Recent range expansion of the Argentine ant in Japan"
3) 土岐範彦、大杉奉功、中沢重一、鎌田健太郎、熊沢一正、浅見和弘、中井克樹:応用生態工学, 16, 37-50(2013)
「オオクチバスが優占する前貯水池の魚類群集構造と水抜きによる駆除とその後の変化」
4) M. TODA, N. KOMATSU, H. TAKAHASHI, N. NAKAGAWA and N. SUKIGARA: Current Herpetology, 32, 2, 82-88 (2013)
"Fecundity in captivity of the green anoles, *Anolis carolinensis*, established on the Ogasawara Islands."
5) Y. WATARI, S. NISHIJIMA, M. FUKASAWA, F. YAMADA, S. ABE, T. MIYASHITA: Ecol. Evol., 3, 14, 4711-4721 (2013)
"Evaluating the "recovery-level" of endangered species without prior information before alien invasion"
6) K. FUKASAWA, T. HASHIMOTO, M. TATARA and S. ABE: Journal of Applied Ecology 50, 469-478 (2013)
"Reconstruction and prediction of invasive mongoose population dynamics from history of introduction and management: a Bayesian state-space modelling approach"
7) K. FUKASAWA, T. MIYASHITA, T. HASHIMOTO, M. TATARA and S. ABE Proceedings of Royal Society B: Biological Sciences. 280: 20132075, (2013)
"Differential population responses of native and alien rodents to an invasive predator, habitat alteration, and plant masting"
8) K. SUGIMURA, K. ISHIDA, S. ABE, Y. NAGAI, Y. WATARI, M. TATARA, M. TAKASHI, T. HASHIMOTO, F. YAMADA: Oryx, 48,2, 241-249 (2014)
"Monitoring the effects of forest clear-cutting and mongoose invasion on wildlife species diversity on Amami Island, Japan"
9) K. SUGIMURA, K. ISHIDA, S. ABE, Y. NAGAI, Y. WATARI, M. TATARA, M. TAKASHI, T. HASHIMOTO, F. YAMADA: Oryx, 48,2, 241-249 (2014)
"Monitoring the effects of forest clear-cutting and mongoose invasion on wildlife species diversity on Amami Island, Japan"
10) H. YOKOMIZO, S.R. COUTTS and H.P. POSSINGHAM: Popul. Ecol. 56, 41-53 (2014)
"Decision science for effective management of populations subject to stochasticity and imperfect knowledge"

(2)主な口頭発表(学会等)

1) 五箇公一:別海町・外来生物講座　特に「セイヨウオオマルハナバチについて」(2011)
「日本および世界における外来種対策について」
2) K. NAKAI: The 14th World Lake Conference, Austin, Texas, USA (2011)
"Ecological Impacts of Invasive Alien Fishes and Administrative Efforts for Their Control in Lake Biwa, An Ancient Japanese Lake"
3) 戸田光彦:爬虫類と両生類の臨床と病理のための研究会(2011)
「爬虫両生類を巡る外来生物問題」
4) G. OGURA, K. TOGUCHI, S. ONO, K. OBATA, R. FUKUHARA, I. INOUE, A. KUROIWA, T. NAGAMINE, A. TANAKA, M. NAKACHI and S. ROY: 18th Annual Conference of The Wildlife Society, Hawaii, USA, 2011
"New techniques for the eradication of low-density mongoose populations from the Okinawa and Amami-Ohshima Islands in Southwestern of Japan"
5) M.N. INOUE and K. GOKA: XXIV International Congress of Entomology, 2012
"Understanding invasion history and the eradication project of the Argentine ant in Japan."
6) K. NAKAI: Joint Meeting of The 59th Annual Meeting of ESJ & The 5th EAFES International Congress, Otsu, Japan, 2012
"Toward appropriate control of the invasive alien fishes of Japanese freshwaters"
7) H. TAKAHASHI and M. TODA: Joint Meeting of The 59th Annual Meeting of ESJ & The 5th EAFES International Congress, Otsu, Japan, 2012
"Struggle with the alien anole in a World Heritage Island, Ogasawara"
8) 髙橋洋生・秋田耕佑・中川直美・鋤柄直純・戸田光彦:日本爬虫両棲類学会第51回大会(2012)

「グリーンアノール防除のための新手法の開発」

9) F. YAMADA, S. SASAKI, N. KOTAKA, T. JOGAHARA, M. ASANO, G. OGURA, T. HASHIMOTO and S. ABE: The 3rd meeting of IUFRO Working Unit 7.03.12 ″Alien invasive species and international trade″ , Tokyo, Japan, 2012

"Effort of eradication of invasive mongoose for conservation of biodiversity"

10) 池田透、石井信夫、山田文雄:日本哺乳類学会2012年度大会(2012)

「効果的・効率的外来哺乳類対策の構築に向けて」

11) 池田透、阿部豪:日本哺乳類学会 (2012)

「アライグマ防除事業の課題」

12) F.KOIKE: Joint Meeting of The 59th Annual Meeting of ESJ & The 5th EAFES International Congress, Otsu, Japan, 2012

"Mathematical strategies for invasive alien species management"

13) 五箇公一、井上真紀、森口紗千子、齊藤歩希:第57回日本応用動物昆虫学会大会(2013)

「特定外来生物セイヨウオオマルハナバチの防除手法開発」

14) 井上真紀:第57回日本応用動物昆虫学会大会(2013)

「特定外来生物アルゼンチンアリの根絶を目指して」

15) 坂本佳子、井上真紀、大西一志、鈴木一隆、上森大幹、野村拓志、早坂大亮、岸本年郎、杉山隆史、杉丸勝郎、五箇公一:日本昆虫学会第73回大会(2013)

「アルゼンチンアリの防除成果とその他のアリ類に対する影響」

16) 中井克樹:応用生態工学会第 17 回大阪大会、研究発表会(2013)

「特定外来生物オオクチバスの繁殖抑制のための人工産卵装置の改良」

17) 中井克樹:2013 年度日本魚類学会年会, 宮崎(2013)

「オオクチバスを対象とした吊り下げ式人工産卵装置:新たな改良と影響評価の試み」

18) 髙橋洋生・岸本年郎・林文男・菅原弘貴・藤田曜・戸田光彦・鋤柄直純:日本爬虫両棲類学会第52回大会(2013)

「兄島で発見された外来生物グリーンアノールの生物学的特性と防除の取り組み」

19) 岸本年郎・八巻明香・永野裕・高橋洋生・澤邦之・山下淳一・鋤柄直純:日本昆虫学会第73回大会(2013)

「小笠原兄島のグリーンアノール新規侵入地で被食される昆虫」

20) D. KAWAGUCHI, A. MUKAI, I. KATSUBE, C. FUJII, A. ISHIJIMA, K. HAYAMA, Y. TADACHI, Y. NAKAMURA, M. TODA, T. KISHIMOTO, K. SAWA, J. YAMASHITA, H. KARUBE and M. YAGO:The 1st Asia Parks Congress, Sendai, Miyagi, Japan, 2013

"Conservation management system for a threatened butterfly endemic to Ogasawara Islands, a World Natural Heritage"

21) T. JOGAHARA, M. ASANO, H. MOCHIZUKI and F. YAMADA: The 11th International Mammalogical Congress 2013, Belfast, Ireland, 2013

"Development of techniques to eradicate mongoose for conservation of biodiversity in the Ryukyu Islands, Japan"

22) 中井真理子、山下國廣、福江佑子、池田 透:日本哺乳類学会2013年度大会(2013)

「アライグマ探索犬の訓練方法および活用に関する研究ー夏冬の探索試験の結果および探索環境条件と臭気の流れに関する考察ー」

23) T. IKEDA, M. NAKAI, K. SHIMADA, T. SUZUKI and J. ZHANG:26th International Congress for Conservation Biology, Baltimore, USA, 2013

"New initiative for invasive alien raccoon control in Japan"

24) 五箇公一:第61回日本生態学会大会(2014)

「外来生物の化学的防除ー研究者に求められる化学的リテラシーー」

25) 森口紗千子、岡本卓、五箇公一:第61回日本生態学会大会(2014)

「外来種の環境影響評価と防除の優先順位決定」

26) 中井克樹:第 61 回日本生態学会大会, 広島(2014)

「オオクチバスを対象とした防除手法の開発と防除体制の強化」

27) T. JOGAHARA, M. ASANO and F. YAMADA: The 26th Vertebrate Pest Conference, Hawaii, USA, 2014

"Development of techniques to eradicate mongoose for conservation of biodiversity in the Amami

and Ryukyu World Natural Heritage candidate site in Japan”
38) 城ヶ原貴通、淺野玄、山田文雄:第61回日本生態学会大会(2014)
「マングース超低密度個体群の根絶技術開発」
39) 山田文雄:第61回日本生態学会大会(2014)
「外来食肉類対策における化学的防除の現状と課題」
40) 小池文人:第61回日本生態学会大会(2014)
「防除実践のためのモデル解析」

7. 研究者略歴

課題代表者:五箇　公一
京都大学大学院農学研究科修了、農学博士、宇部興産株式会社農薬研究部研究員、
現在、独立行政法人国立環境研究所生物・生態系環境研究センター　主席研究員

研究分担者
１）　五箇公一　同上
２）　中井克樹
京都大学大学院理学研究科博士後期過程研究指導認定退学、博士（理学）
現在、滋賀県立琵琶湖博物館研究部　専門学芸員
３）　戸田光彦
金沢大学大学院自然科学研究科単位取得中退、理学修士
現在、一般財団法人自然環境研究センター　主席研究員
４－１）小倉剛(平成23年度)
琉球大学大学院農学研究科修士課程修了、農学博士
琉球大学大学院農学研究科　准教授(平成23年９月逝去)
４－２）伊澤雅子(平成23年度)
九州大学大学院理学研究科博士課程単位取得満期退学、理学博士
現在、琉球大学大学院理学研究科　教授
４－３）山田文雄(平成24年度)
九州大学大学院農学研究科博士課程単位取得満期退学、農学博士
独立行政法人森林総合研究所　上席研究員(現　特任研究員)
４－３）城ヶ原貴通(平成25年度)
名古屋大学大学院農学研究科博士課程修了、農学博士
現在、岡山理科大学理学部動物学研究室　講師
５）　池田透
北海道大学大学院文学研究科博士後期課程単位取得退学、修士(文学)
現在、北海道大学大学院文学研究科　教授
６）　小池文人
京都大学大学院理学研究科博士後期過程、理学博士
現在、横浜国立大学大学院環境情報研究院　教授

4D-1101　外来動物の根絶を目指した総合的防除手法の開発
（１） 外来昆虫類の防除手法開発及び外来生物防除ネットワークの構築

（独）国立環境研究所
生物・生態系環境研究センター　主席研究員室　五箇　公一
環境リスク研究センター　生態リスクモデリング研究室　横溝　裕行

＜研究協力者＞　岐阜大学　土田　浩治
香川大学　伊藤　文紀（平成23年度）
フマキラー株式会社　杉山　隆史、杉丸　勝郎

平成23～25年度累計予算額：106,154千円
（うち、平成25年度予算額：36,562千円）
予算額は、間接経費を含む。

［要旨］
特定外来生物のアルゼンチンアリとセイヨウオオマルハナバチを対象とし、薬剤を用いた化学的防除手法を開発した。アルゼンチンアリでは、東京都大田区で定着が確認されている地域において、神経伝達阻害剤（フィプロニル）を含むベイト剤と液剤を使用することで、根絶を目指した。3年間の防除成果および薬剤の生態影響について評価した。セイヨウオオマルハナバチでは、捕獲したワーカーに脱皮阻害剤（IGR剤）を散布し巣に持ち帰らせることで、巣内の幼虫生産を妨害する防除手法を開発し、室内及び半野外試験で効果を確認した。
防除ネットワークを構築し、侵入生物データベースを通じて外来種の防除手法や環境影響などの情報を共有するとともに、これらの情報を利用して防除の優先順位を決定した。

［キーワード］
アルゼンチンアリ、セイヨウオオマルハナバチ、繁殖抑制、化学的防除

１．はじめに
アルゼンチンアリは、南米原産の特定外来生物で、日本では1993年に広島県で初めて定着が確認され[1)]、現在では全国各地に甚大な被害を及ぼしている[2, 3, 4, 5, 6)]。これまで、世界各地で防除の取り組みが行われているものの[8)]、いずれも根絶には至っていない。また、非標的種に対する薬剤影響についても明らかになっていない。さらに、防除に必要な薬量や費用試算も行われていないため、予算の確保が困難な状況である。セイヨウオオマルハナバチは、ハウス栽培植物の授粉に利用され、野外に逃げ出した個体が主に北海道に定着し、在来マルハナバチとの競合[9)]や交雑[10)]、寄生生物の持込み[11)]、植物からの盗蜜行動[12)]などの影響を及ぼしている。そのため、セイヨウオオマルハナバチ・バスターズなどの市民活動により、成虫を捕獲する防除活動が行なわれてきたが[13)]、セイヨウオオマルハナバチは繁殖虫の生産力が在来マルハナバチよりも高いため[14, 15, 16)]、

未だ分布域の縮小や個体数の減少は報告されておらず、新たな防除手法の開発が求められている。

２．研究開発目的

特定外来生物のアルゼンチンアリとセイヨウオオマルハナバチを対象とし、薬剤を用いた化学的防除手法を開発する。地方環境事務所などと防除ネットワークを構築して侵入生物データベースを通じて防除に関する情報を共有し活用する。

３．研究開発方法

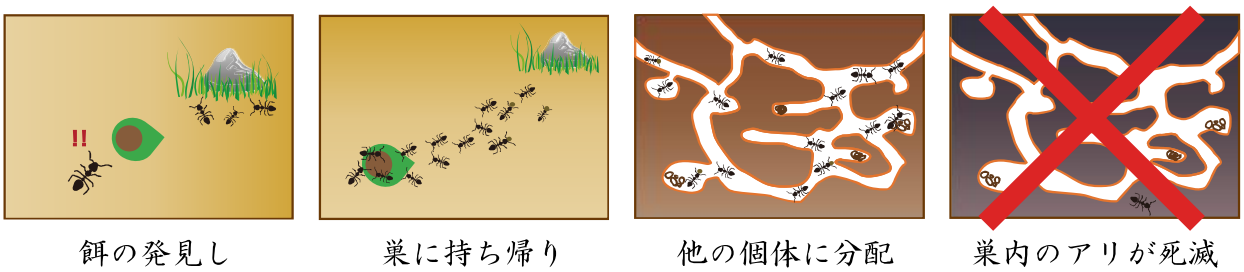
（１）アルゼンチンアリの防除手法開発

１）アルゼンチンアリの薬剤防除効果および非標的種に対する生態影響の評価

2010年にアルゼンチンアリの定着が確認された東京都大田区の2ヶ所（東海、城南島）おいて薬剤防除を実施する（図(1)-1）。薬剤は、フマキラー株式会社製、殺虫成分フィプロニル0.005%を含む「アルゼンチンアリ　ウルトラ巣ごと退治」のベイト剤および液剤を用いる（図(1)-2および3）。東海の防除区域は8.5 haで全域を根絶区、城南島では16 haを設定し、そのうち防除効率を算出するために、1年目は「無処理区」「低薬量処理区」「高薬量処理区」3つの試験区を1 haずつ設定する。高薬量処理は、道路や建物沿いに5m間隔で設置、低薬量処理は10m間隔とする。2年目以降は、すべての区画で高薬量のベイト剤を投薬する。アリ類・その他の地表徘徊性動物のモニタリングとして、無餌の粘着トラップを区画の周囲に50m間隔で設置する（図(1)-4）。アルゼンチンアリの影響を調査するため2013年度はアルゼンチンアリが侵入したことのない近隣地域（以降、未侵入区）を設置し、同様にモニタリングを行う。

図(1)-1 東京都大田区における防除実施地域

図(1)-2　フマキラー（株）アルゼンチンアリ　ウルトラ巣ごと退治　ベイト剤



図(1)-3　フィプロニル含有ベイト剤のコロニーに対する作用機構

図(1)-4　粘着トラップ

また、非標的種（アルゼンチンアリ以外のアリ類およびその他の地表徘徊性動物）に対する薬剤の生態影響を評価するために、主要反応曲線（Principal Response Curve、以下PRC）および一般化線形モデルを用いて動態を解析する。

２）根絶確認のための誘引材の選定

根絶確認に有効な誘引材を選抜するために、4種のベイト（砂糖水、ツナ、ピーナツバター、はちみつ水）を用いて誘引効果を比較する。広島県廿日市市において8ヶ所のラインを設定し、50ml遠沈管に各誘引材を約2gずつ入れ、2m間隔で設置し、60分後に回収し、捕獲個体数をカウントする。各誘引材の設置順は、ライン毎にランダムになるように考慮する。

（２）セイヨウオオマルハナバチの防除手法開発

１）在来マルハナバチ類への影響評価

北海道野付半島におけるセンサス調査により、セイヨウオオマルハナバチおよび在来マルハナバチの分布状況を把握する。過去の分布データと比較して、セイヨウオオマルハナバチに影響を

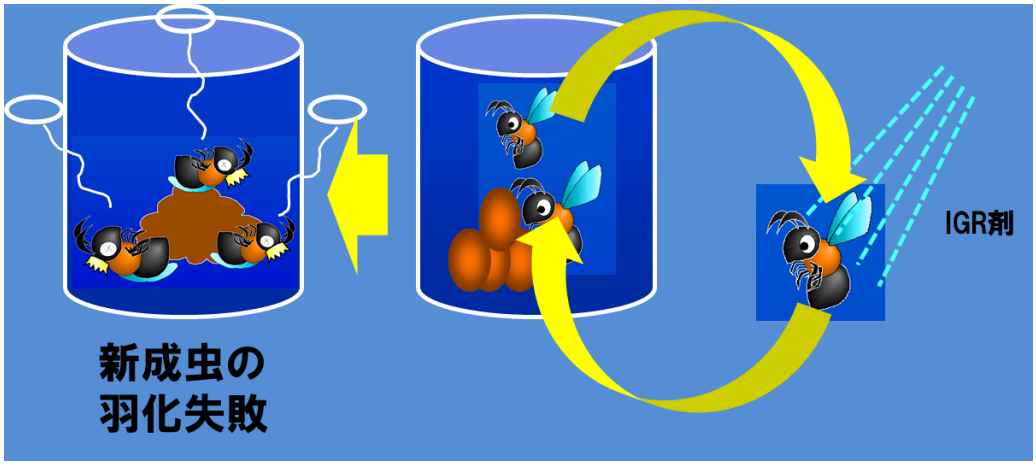
受けている種を特定し、防除目標を設定する。

２）薬剤を用いた防除手法の開発

訪花する働き蜂（ワーカー）を捕獲し、薬剤を散布することで巣に持ち帰らせ、次世代を抑制する手法を設計し、セイヨウオオマルハナバチに特異的な低リスク防除手法を開発する(図(1)-5)。室内レベルの急性・亜急性毒性試験法を開発し、有効薬剤を探索する。透明なアイスクリームカップにワーカーを1匹ずつ70%砂糖水で調整した薬液を含む脱脂綿片とともに入れて吸蜜させ、急性経口毒性を評価する。また、同様にワーカー1匹ずつに薬液を塗布することで急性経皮毒性を評価する。

図(1)-5　セイヨウオオマルハナバチの薬剤防除手法の概要

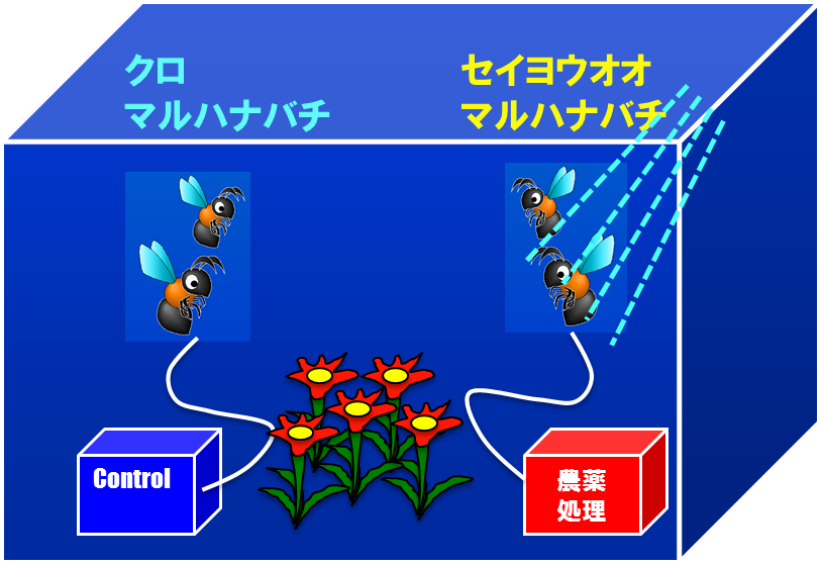
さらに、室内レベルでのコロニー毒性試験法を開発して、有効な脱皮阻害剤（IGR剤）を選定し、次世代抑制効果を判定する。ミニコロニー試験では、透明なプラスチックケースに蛹繭を台座として設置し、セイヨウオオマルハナバチのワーカーを5匹入れ、ワーカー産卵を誘導してミニコロニーを生産させた（図(1)-6）。ワーカー1匹をミニコロニーから取り出して所定の濃度に希釈したIGR剤薬液に10秒間ディッピングして自然乾燥させた後、ミニコロニーに戻し、巣の成長および次世代の羽化数を計測した。



図(1)-6　ミニコロニー試験の概要

半野外レベルの試験では、ハウス内に花畑をつくり、セイヨウオオマルハナバチと在来種クロマルハナバチのコロニーを設置して、セイヨウオオマルハナバチのワーカーのみに薬剤を散布した場合の薬剤の動態を把握する（図(1)-7）。薬剤散布後1ヶ月にわたり、朝、昼、夕の3回ハウス内の両種の生存個体および死亡個体をワーカー、新女王、オス別に計数する。また、1ヶ月後に巣箱を回収し、両種の繁殖状況を調査する。

さらに、セイヨウオオマルハナバチが定着している野付半島および鵡川町で、効果的な薬剤散布システムを構築する。



図(1)-7　ハウス試験の概要

（３）防除ネットワークの構築

アルゼンチンアリについては、東京都の防除事例をもとに、全国各地の侵入地における防除費用を算出する。また、防除実施時における説明会開催および予算確保についての主導体制・システムを整える。セイヨウオオマルハナバチについては、防除モデル地域となる北海道野付半島に

おいて住民説明会を実施し、試験に関する合意形成を図る。また、北海道庁等の地方行政団体ともネットワークを構築し、北海道における防除エリアの設定や協力体制について議論を進める。

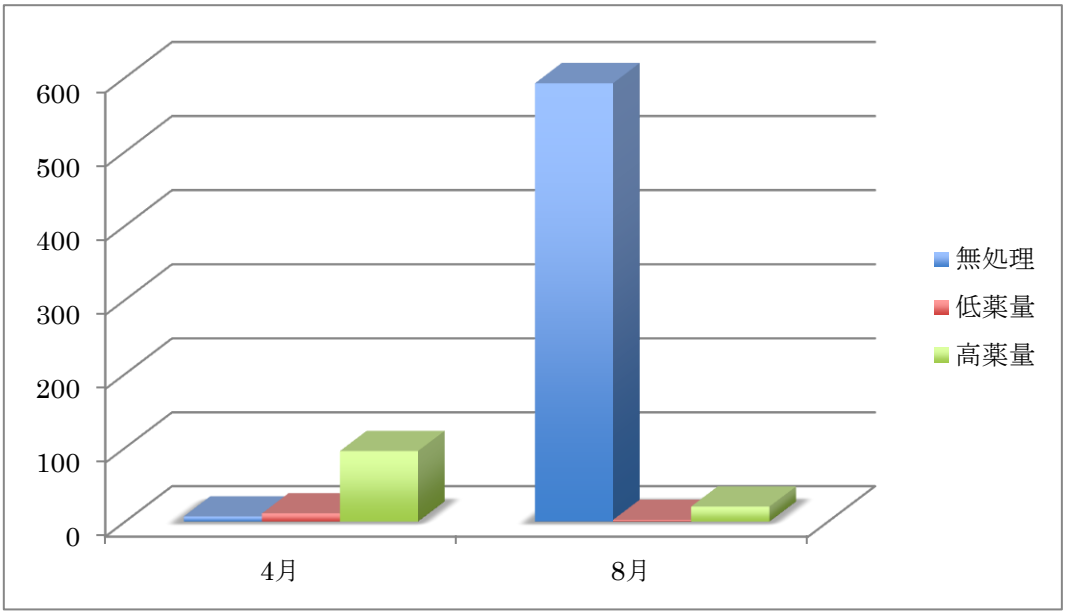
侵入生物データベースに外来種防除に関するポータルサイトを設置し、各地域の防除情報を提供する。地方環境事務所等と防除ネットワークを構築し、収集した外来種情報を侵入生物データベースに反映させる。これらの情報を用いて、特定外来生物と要注意外来生物の日本に侵入している動物の全分類群85種を対象として環境影響（26項目）と防除コスト（10項目）を評価し、両者の兼ね合いより外来種防除の優先順位を決定する。さらに評価を決定した文献の種類により重みづけした誤差範囲を環境影響26項目と、防除手法に関する3項目に付与して信頼性を評価することで、各指数の情報の必要性を検討する。環境影響が大きく、かつ防除コストが大きい種を、①個体群管理目的の長期的防除が必要な種、環境影響が大きいが、防除コストが小さい種を、②根絶目的の短期的防除が可能な種、環境影響が小さく、かつ防除コストも小さい種を、③防除の優先順位の低い種とする。また、環境影響が大きく、かつ環境影響の誤差範囲が大きい種を、④生態情報の不足している種、環境影響が大きく、かつ防除手法の誤差範囲が大きい種を、⑤防除手法の不足している種とする。

４．結果及び考察

（１）アルゼンチンアリの防除手法開発

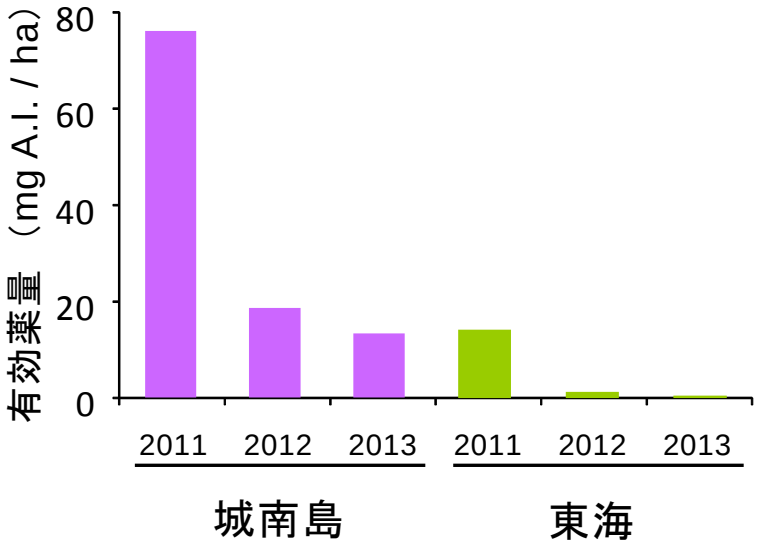
１）アルゼンチンアリの薬剤防除効果および非標的種に対する生態影響の評価

城南島において、粘着トラップ1個あたりのアルゼンチンアリ捕獲数（図(1)-8）から、試験開始時の2011年度4月から防除実施後の8月にかけてのアルゼンチンアリの密度の変化率を計算した結果、無処理区では84.61倍となり、それに対して、低薬量設置区及び高薬量設置区では、いずれも0.21倍になった。これらの数値より低薬量設置区及び高薬量設置区の初年度の4月から8月の防除効率は、いずれも99.75%であり、低薬量でも十分に高い効果があることが示された。

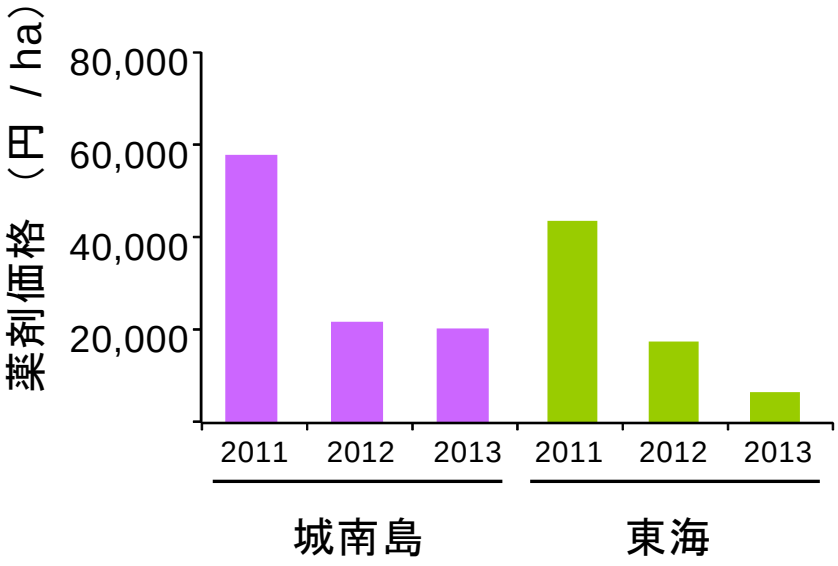


図(1)-8　粘着トラップ1個あたりのアルゼンチンアリ捕獲数（2011年）

2011年度と比べると、2013年度の有効薬量はそれぞれ0.18倍、0.03倍にまで減量することができた（図(1)-9）。また、1haあたりの薬剤価格はそれぞれ0.35倍、0.15倍であった（図(1)-10）。東海エリア全域では、2013年以降にアルゼンチンアリが確認されていないため、根絶した可能性が高い。城南エリアでは、限られた場所で数個体が確認されるものの、極めて低密度に抑えられており、根絶間近であると考えられる。

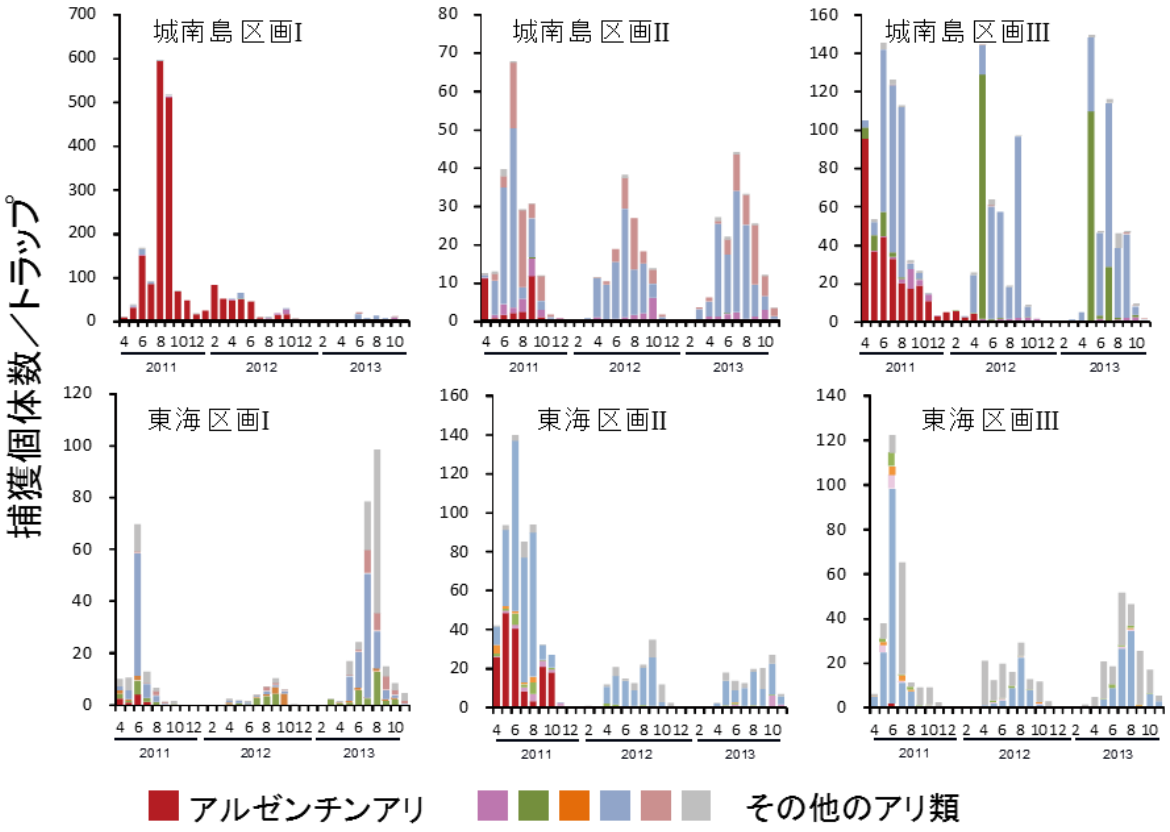


図(1)-9　1haあたりのフィプロニル有効薬量の推移



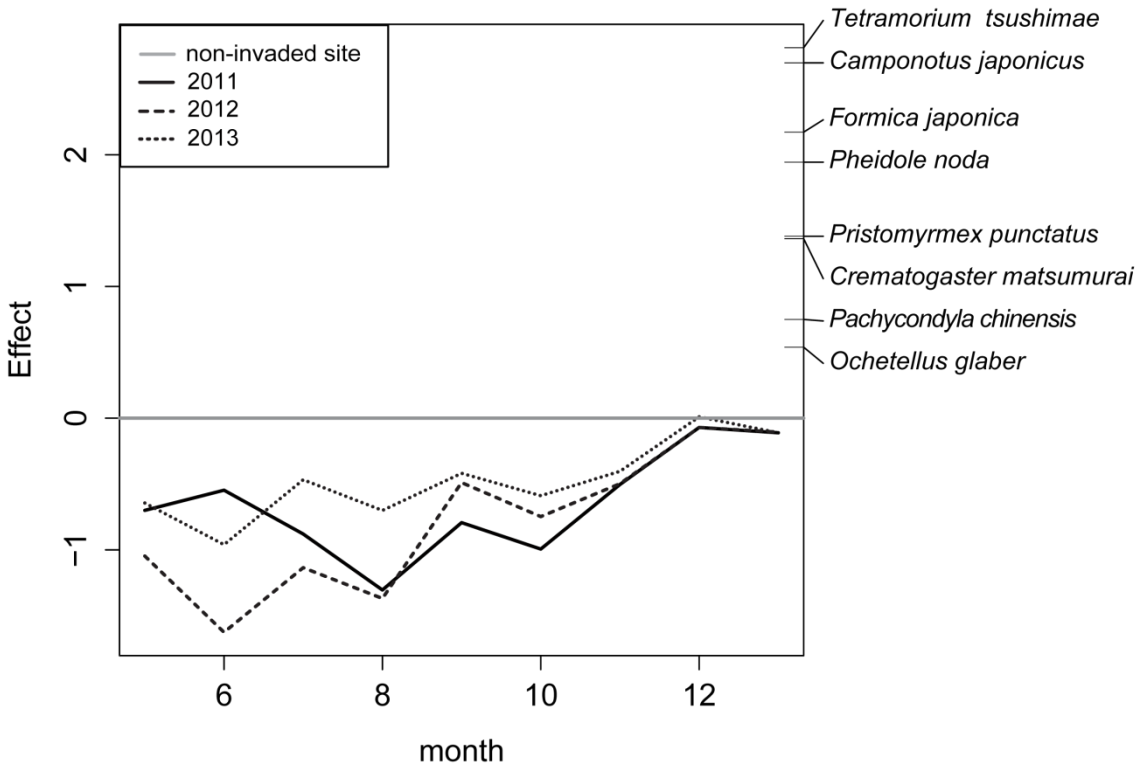
図(1)-10　1haあたりの薬剤価格の推移

約3年間モニタリング結果から、投薬によりアルゼンチンアリが選択的に減少したことが明らかになった（図(1)-11）。これは資源競争に強いアルゼンチンアリが優先的にベイト剤を摂食したこと、およびアルゼンチンアリのコロニーに直接液剤を散布したからと考えられる。



図(1)-11　1トラップあたりのアリ類の個体数推移

未侵入区と比較した結果、アルゼンチンアリが侵入することで、アリ類ではトビイロシワアリ *Tetramorium tsushimae*、クロヤマアリ Formica japonica、ケブカアメイロアリ *Nylanderia amia*、ハリブトシリアゲアリ *Crematogaster matsumurai*等が、地表徘徊性動物ではハサミムシ目、等脚目等が特に減少することが示唆された。これらの種の一部は、防除開始後アルゼンチンアリの減少に伴って増加するが、継続的に投薬を行うことで減少する種も見られたため、投薬の影響を受けたと考えられる。しかし、一時減少した種も、投薬を中止して約1年後から増加する傾向が見られ、未侵入区の群集構造へ回復することが示された（図(1)-12）。

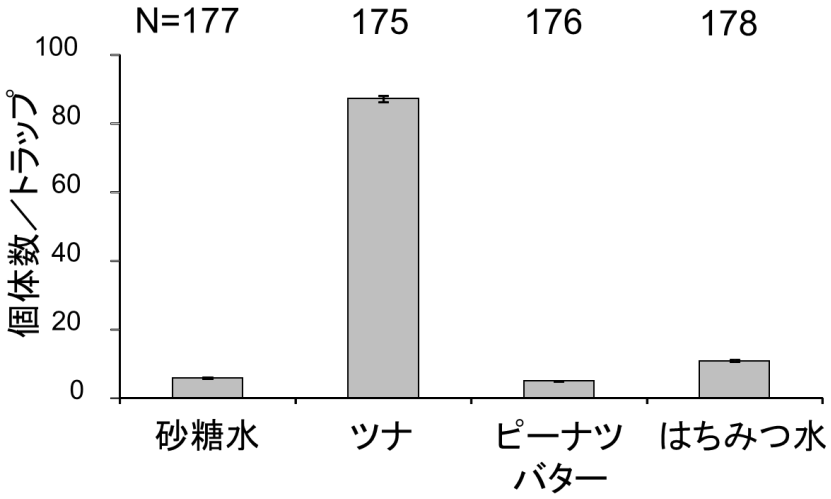


図(1)-12 Principal Response Curve (PRC) 解析を用いた東海エリア・ラインIの在来アリ類の個体群動態。※アルゼンチンアリ非侵入区をコントロールとする

また、非標的種に対するアルゼンチンアリおよび投薬の影響を評価するために、アルゼンチンアリの個体数、過去6ヶ月間の投薬回数、月平均気温、月合計降水量、区画を説明変数として、各種・分類群の個体数を一般化線形モデルにより推定し、アルゼンチンアリの個体数と投薬回数の偏回帰係数を比較したところ、種・分類群ごとに傾向は異なった。アルゼンチンアリと薬剤のどちらの負の影響も確認されなかった種（例：サクラアリ）は防除開始後すぐに増加し、アルゼンチンアリの負の影響を受けるが薬剤の負の影響が見られなかった種（例：ケブカアメイロアリ）は、アルゼンチンアリの減少に伴い増加し、薬剤の影響を受ける種（例：クロオオアリ）は、投薬中止後、回復することが明らかになった。これらの結果は、非標的種に対する影響を考慮した投薬量を算出する根拠として有効であることが示された。初期密度の高かった城南島では、薬剤の影響に比べてアルゼンチンアリの影響を強く受ける種が多かったことから、生物多様性の保全には、投薬してでもアルゼンチンアリを防除することが有効であると考えられた。

２）根絶確認のための誘引材の選定

4種のベイトに対する誘引効果を比較した結果、ツナを入れたチューブでアルゼンチンアリがもっとも多く捕獲されたため、ツナの誘引効果が高いことが明らかになった（図(1)-13）。低密度時、または根絶確認を行うためにツナを用いた誘引トラップが有効と考えられる。

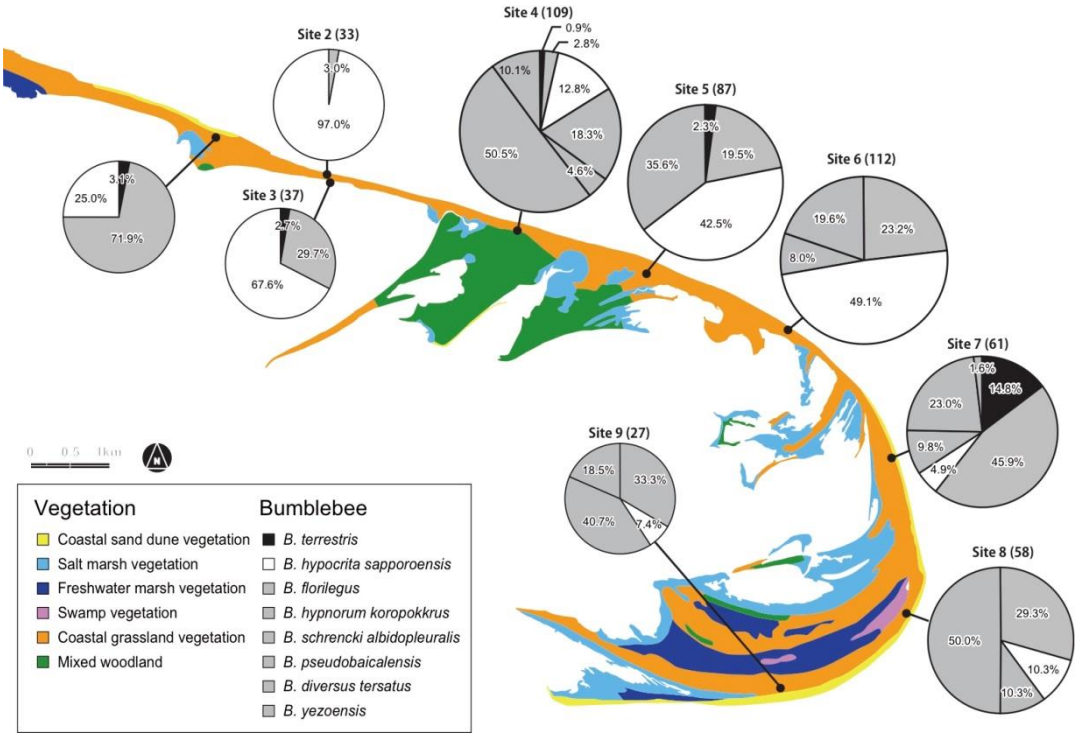


図(1)-13　4種のベイトに対するアルゼンチンアリの捕獲個体数

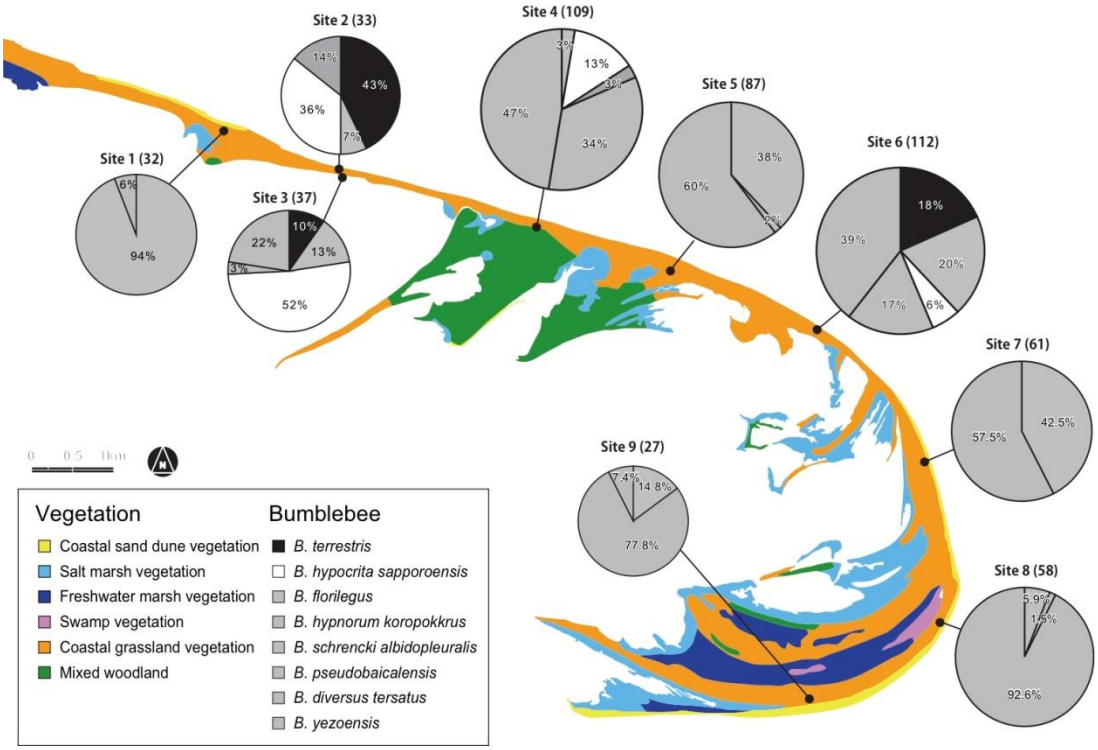
（２）セイヨウオオマルハナバチの防除手法開発

１）マルハナバチ類の野外モニタリング

野付半島におけるセンサス調査の結果から、2007 年の調査時よりもセイヨウオオマルハナバチが分布を広げ、かわりにエゾオオマルハナバチが減少していることが明らかとなった（図(1)-14 および 15）。またエゾオオマルハナバチが減少したことで、在来希少種であるノサップマルハナバチが増加傾向にあることが示された。この結果から、新防除手法による目標は、本エリアにおけるセイヨウオオマルハナバチの減少とともに、エゾオオマルハナバチの個体数の回復であると考えられた。



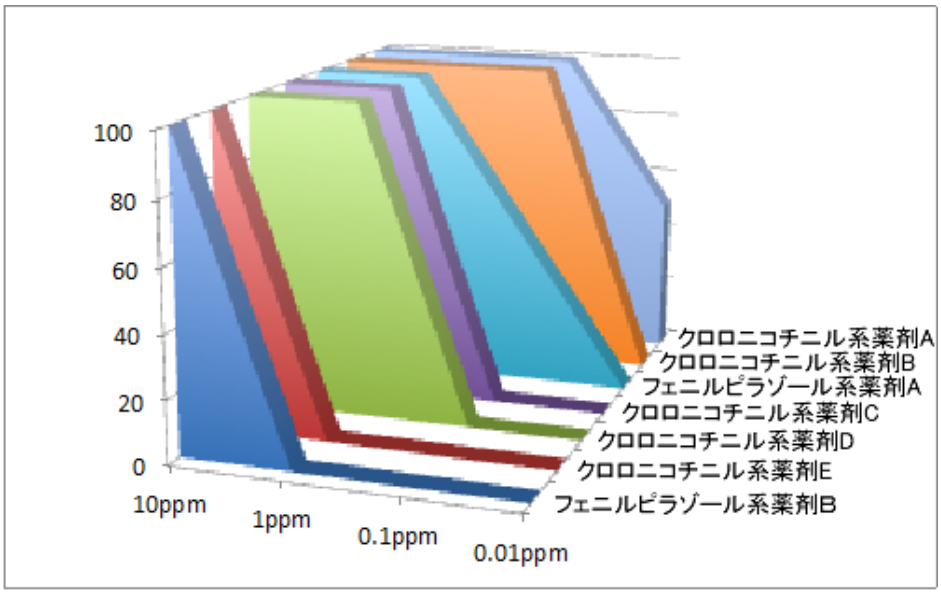
図(1)-14　2007 年の野付半島におけるマルハナバチ類の訪花頻度。在来種のエゾオオマルハナバチ（白）が高頻度で訪花し、セイヨウオオマルハナバチ（黒）は 1 カ所でのみ高頻度で訪花した。



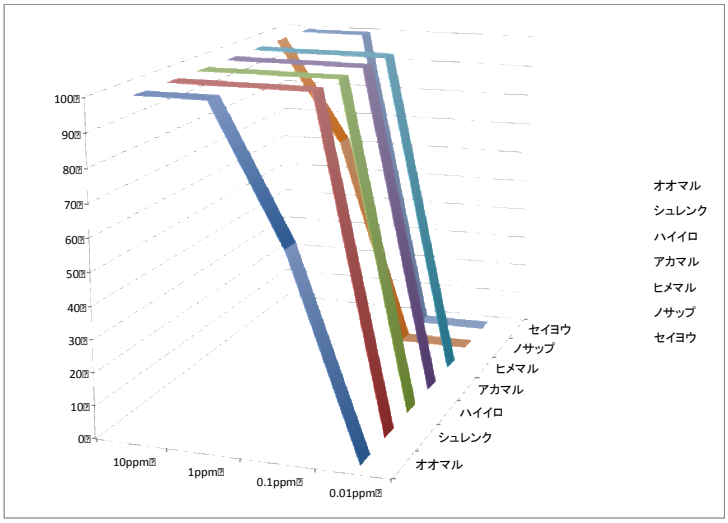
図(1)-15　2011 年の野付半島におけるマルハナバチ類の訪花頻度。セイヨウオオマルハナバチ（黒）の観察地点と訪花頻度が増加し、エゾオオマルハナバチ（白）の訪花頻度が激減した。

２）薬剤を用いた防除手法の開発

セイヨウオオマルハナバチの商品コロニーを用いた急性毒性試験では、クロロニコチニル系薬剤およびフェニルピラゾール系殺虫剤が高い効果を示すとともに、遅効的であることが示された（図(1)-16）。また経皮毒性よりも経口毒性が高いことが示された。同様に野外で採集したセイヨウオオマルハナバチおよび在来マルハナバチのワーカーを用いた急性毒性試験で薬剤感受性を調査した結果、いずれの薬剤も、外来種および在来種の間で、大きな感受性差は認められなかった。このことから、これらの薬剤の散布による処理は、在来種に対して影響が出る可能性が示唆された（図(1)-17）。



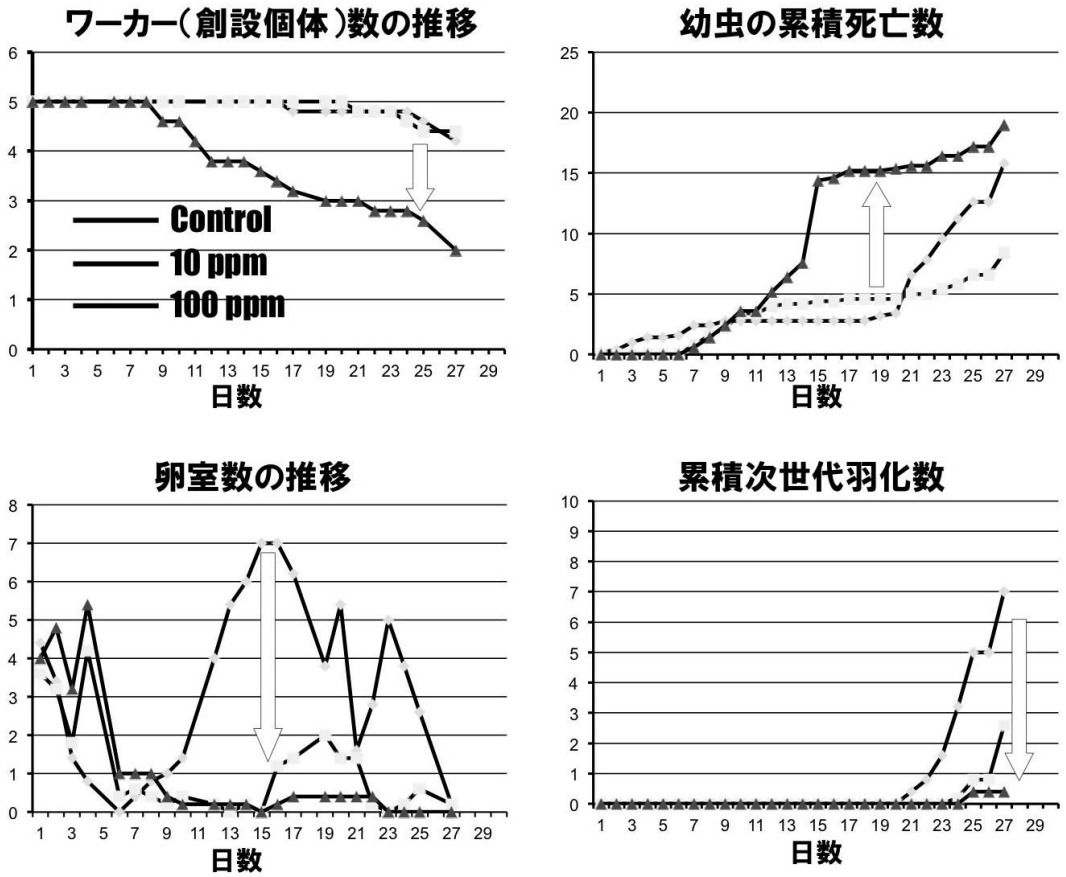
図(1)-16　セイヨウオオマルハナバチ（商品コロニーワーカー）に対する各種殺虫剤の効果（死亡率%）



図(1)-17　野生マルハナバチ類におけるクロロニコチニル系薬剤Ｂの薬剤感受性の種間差（死亡率%）

室内レベルでのミニコロニー試験によるIGR剤選定において、IGR剤A、IGR剤B、及びIGR剤C各100ppmをワーカー1匹に散布した結果、IGR剤Aで幼虫の死亡数が最も多く、IGR剤Bで次世代羽化数が最も少なかった。しかし、IGR剤Bではワーカーの生存率が最も低かったため、IGR剤Aをその後の試験に用いた。

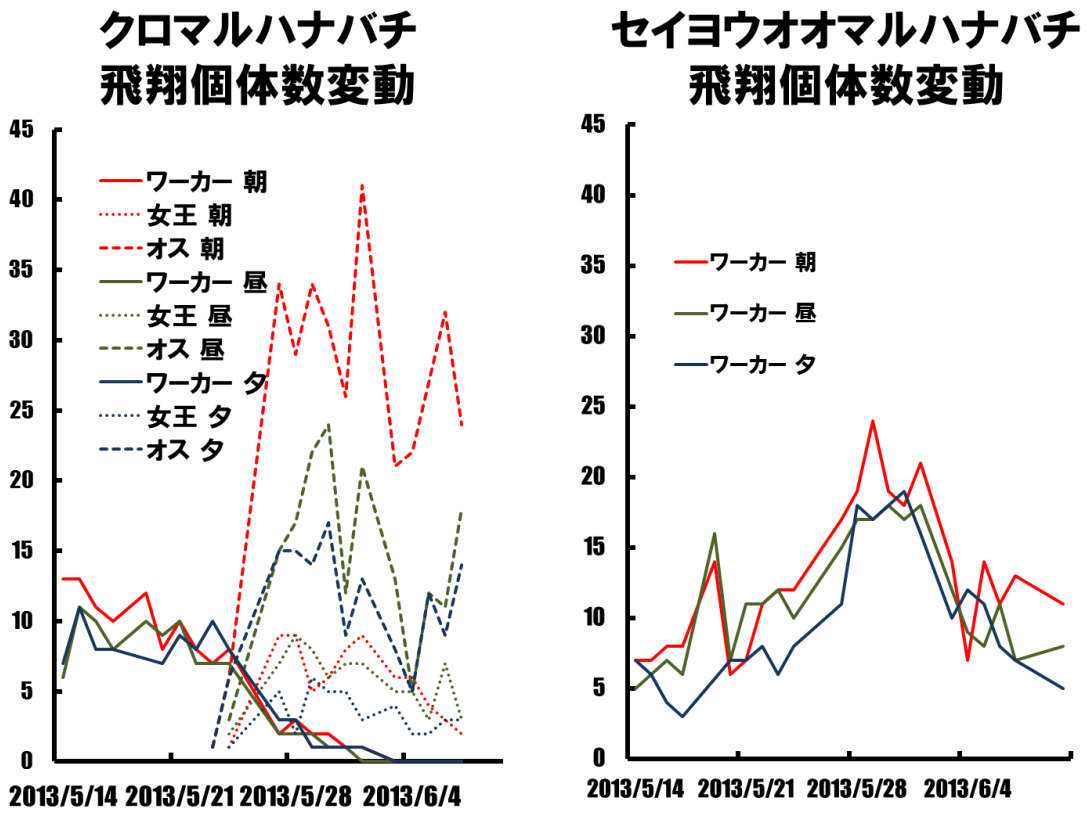
IGR 剤 A の有効薬量を決定するため、10ppm と 100ppm で効果を比較した。100ppm 薬剤の暴露を受けたミニコロニーで顕著なコロニー成長の低下と次世代羽化数の低下が認められた（図(1)-18）。



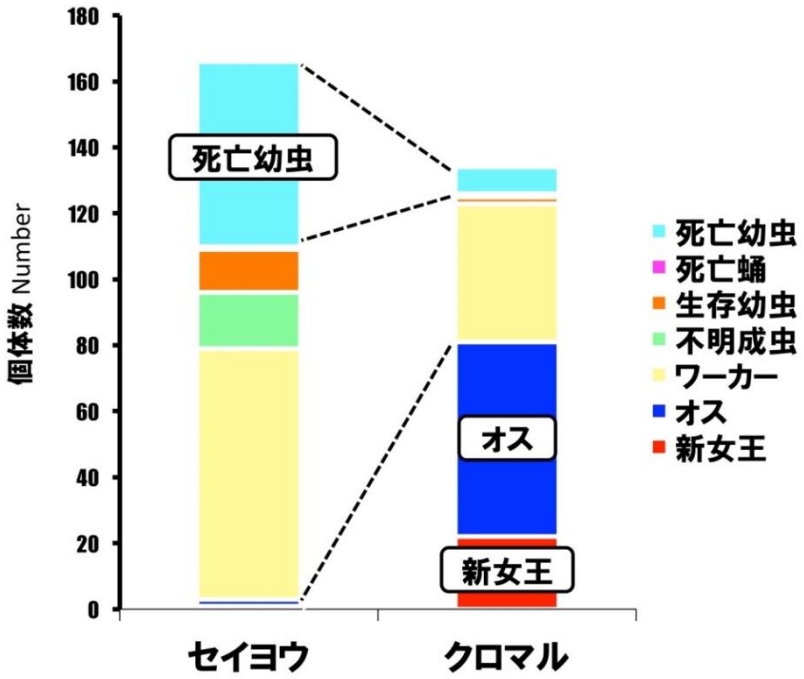
図(1)-18　IGR 剤 A によるミニコロニー影響試験結果。縦軸は平均個体数、横軸は試験開始からの日数を示す。

ハウス試験では、クロマルハナバチの飛翔ワーカーが次第に減って、かわりにオスや新女王という繁殖虫の飛翔数が増えるのに対し、ワーカー10 匹に対して IGR 剤 A100ppm を散布したセイヨウオオマルハナバチでは、オス及び新女王の飛翔が全く認められなかった（図(1)-19）。さらに試験開始から 1 ヶ月経過した巣箱を解体して巣内カースト構成を調査した結果、クロマルハナバチにはオス及び新女王個体が認められるが、セイヨウオオマルハナバチの巣内にはオス及び新女王は生産されておらず、さらに幼虫の死亡個体が多数認められた（図(1)-20）。これらの結果から、セイヨウオオマルハナバチのワーカーに IGR 剤 A を散布して巣に持ち帰らせることで、コロニーの再生産を抑制できることが判明した。また、同所的に生息する在来種コロニーに対しては

影響がないことも示された。



図(1)-19　セイヨウオオマルハナバチおよびクロマルハナバチのハウス内飛翔個体の動態



図(1)-20　試験１ヶ月後の巣内および飛翔個体の構成

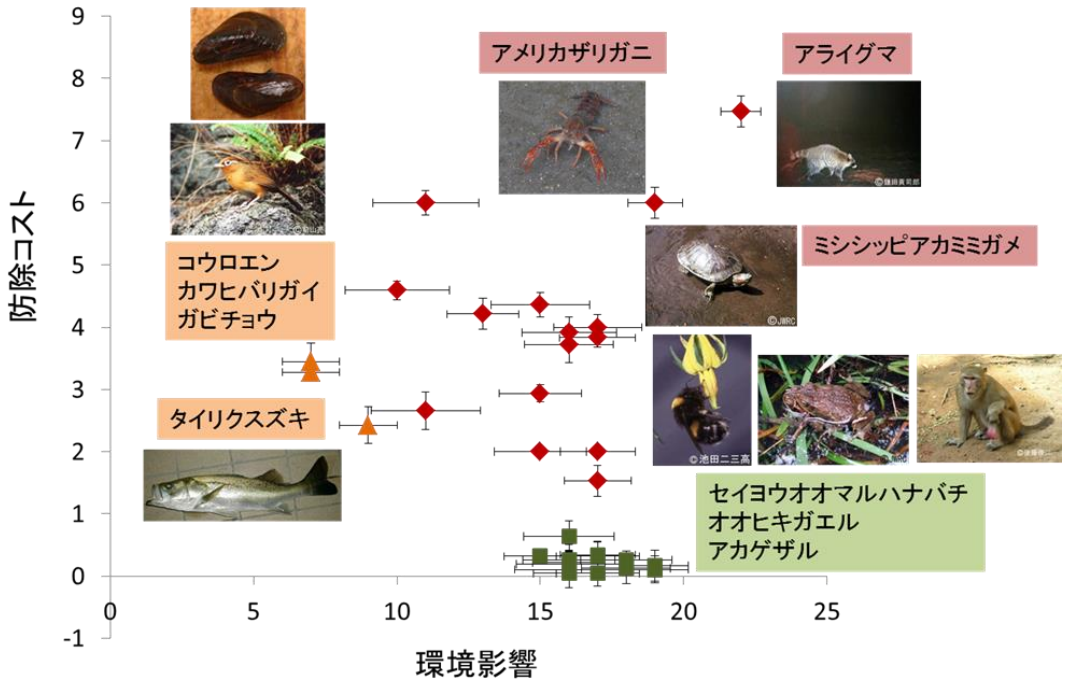
効果的な薬剤散布システムを構築するために、野付半島および鵡川町にて、市販の霧吹き器を用いて、訪花しているセイヨウオオマルハナバチに薬液をスポット的に散布する方法を検討した。この方法で薬剤処理することで、全道的にセイヨウオオマルハナバチを捕獲し防除を行なっているボランティアのセイヨウオオマルハナバチ・バスターズの協力のもと、より効率的にセイヨウオオマルハナバチ特異的な防除が進められると考えられた。

（３）防除ネットワークの構築

アルゼンチンアリの防除ネットワークについては、東京都大田区の防除事例をもとに、京都府京都市、静岡県静岡市、岡山県岡山市、神奈川県横浜市で防除活動を開始し、全国的なアルゼンチンアリの防除展開を行った。セイヨウオオマルハナバチの防除ネットワークについては、2011 年 6 月に防除モデル地域となる野付半島に位置する野付自然観察ネイチャーセンターにおいて住民説明会を実施した。研究計画の詳細な説明を行い、新しい防除手法による試験の協力体制を構築することができた。

また、環境省地方事務所等との連携を深め、あらゆる外来種に対応する外来生物防除ネットワークを構築した。このネットワークを通じて得た外来種情報を用いて侵入生物データベースの情報を更新し、各地域の外来種防除に関する情報を提供するウェブサイトをまとめたポータルサイトを立ち上げた。

これらの外来種情報を利用したデータマイニングにより、防除の優先順位を決定する評価手法を開発し、①個体群管理目的の長期的防除が必要な種はアライグマ、アメリカザリガニ、ミシシッピアカミミガメ、②根絶目的の短期的防除が可能な種はセイヨウオオマルハナバチ、オオヒキガエル、アカゲザル、③防除の優先順位の低い種はコウロエンカワヒバリガイ、ガビチョウ、タイリクスズキだった（図(1)-21）。④生態情報の不足している種はチャイロネッタイスズバチ、ナイルティラピア、モザンピークティラピア、⑤防除手法の不足している種はアライグマ、アメリカザリガニ、アカゲザルだった。



図(1)-21　個体群管理目的の長期的防除の必要な種（赤◆）、根絶目的の短期的防除が可能な種（緑■）、優先度の低い種（オレンジ▲）上位 15 種の環境影響と防除コストの関係。種名と写真は各グループの上位 3 種を示す。

５．本研究により得られた成果

（１）科学的意義

アルゼンチンアリの防除効果を定量的なモニタリングから算出した。アルゼンチンアリ防除における非標的種への生態影響について、アルゼンチンアリと薬剤の影響度を個別に評価することで、今後の群集動態を予測することが可能になった。セイヨウオオマルハナバチを含むマルハナバチ類の薬剤感受性変異を初めて明らかにし、セイヨウオオマルハナバチのコロニー生産に対するIGR剤の効果を定量的に示した。また、ハウス内でセイヨウオオマルハナバチにIGR剤を散布した場合の防除効果および近縁の在来種に対する生態影響を定量的に評価できた。文献情報を用いた防除優先順位の決定により、科学的根拠による影響評価の透明性を付与し、外来種防除の効率化を図る手法を提案した。

（２）環境政策への貢献

＜行政が既に活用した成果＞

環境省の外来種防除検討会における外来生物法の見直し及び外来種被害防止行動計画において、本サブテーマで実施されている各種特定外来生物の防除手法の開発に関する最新情報を提供し、防除に関する課題と今後の方針についてのとりまとめに貢献した。

本課題で得られた成果は2013年7月に環境省と合同で報道発表を行い、アルゼンチンアリ防除の

手引きを改訂した。それらをもとに、各務原市におけるアルゼンチンアリ防除検討会、京都市、静岡市および横浜市におけるアルゼンチンアリ防除事業において、コスト試算や防除計画の作成および防除着手の支援に利用された。

＜行政が活用することが見込まれる成果＞

防除の優先順位決定に関する影響評価手法は、環境省の侵略的外来種リスト作成に際し、科学的根拠により掲載種を決定する手法を提示できる。

６．国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

７．研究成果の発表状況

（１）誌上発表

＜論文（査読あり）＞

1) M.N. INOUE, E. SUNAMURA, E.L. SUHR, F. ITO, S. TATSUKI and K. GOKA: Divers. Distrib., 19, 29-37 (2013)
"Recent range expansion of the Argentine ant in Japan"

＜その他誌上発表（査読なし）＞

1) 五箇公一：保全生態学研究, 17, 123-130 (2012)
「外来種は食い止められるのか？～COP10を終えて」

（２）口頭発表（学会等）

1) 五箇公一：別海町・外来生物講座　特に「セイヨウオオマルハナバチについて」（2011）
「日本および世界における外来種対策について」
2) 五箇公一：日本昆虫学会第71回大会（2011）
「外来種対策と昆虫学～COP10の甘い幻想と厳しい現実～」
3) 井上真紀、五箇公一、伊藤文紀：日本昆虫学会第71回大会（2011）
「侵略的外来種アルゼンチンアリのスーパーコロニー間における闘争の優劣関係」
4) 五箇公一：茨城大学研究開発支援・知的財産セミナー「生物多様性条約（CBD）・名古屋議定書と海外遺伝子源へのアクセス方法」（2011）
「生物・生態学的研究も例外ではないABS～学術的バイオパイラシー回避とバイオセキュリティ管理の重要性」
5) K. GOKA: Joint Meeting of the 59th Annual Meeting of ESJ & the 5th EAFES International Congress, Otsu, Japan, 2012
"Invasive Alien Act in Japan -Beginning of struggle for eradication of IASs"
6) M. INOUE: Joint Meeting of the 59th Annual Meeting of ESJ & the 5th EAFES International Congress, Otsu, Japan, 2012
"Eradication projects of the alien insects in the Great Econimic, Japan"

7)　森口紗千子、井上真紀、岸本年郎、亀山剛、伊藤文紀、五箇公一　：第28回個体群生態学会大会（2012）
「日本に侵入したアルゼンチンアリ *Linepithema humile* の定着および侵入リスクマップ」
8)　井上真紀、五箇公一、伊藤文紀：第55会日本蟻類研究会大会（2012）
「アルゼンチンアリのスーパーコロニー間における行動様式の違い」
9)　M.N. INOUE and K. GOKA： XXIV International Congress of Entomology, Daegu, Korea, 2012
"Understanding invasion history and the eradication project of the Argentine ant in Japan"
10)　井上真紀、五箇公一、伊藤文紀：第67回日本生物地理学会年次大会（2012）
「外来種アルゼンチンアリの分布拡大プロセスとスーパーコロニーの進化と維持機構」
11)　五箇公一、井上真紀、森口紗千子、齊藤歩希：第57回日本応用動物昆虫学会大会（2013）
「特定外来生物セイヨウオオマルハナバチの防除手法開発」
12)　井上真紀、五箇公一、伊藤文紀：第57回日本応用動物昆虫学会大会（2013）
「アルゼンチンアリのスーパーコロニー間における行動特性の違い」
13)　五箇公一：第57回日本応用動物昆虫学会大会（2013）
「外来生物法の5年間と環境省による見直し作業開始」
14)　井上真紀：第57回日本応用動物昆虫学会大会（2013）
「特定外来生物アルゼンチンアリの根絶を目指して」
15)　五箇公一、森口紗千子、井上真紀：日本昆虫学会第73回大会(2013)
「特定外来生物セイヨウオオマルハナバチの防除手法開発」
16)　坂本佳子、井上真紀、大西一志、鈴木一隆、上森大幹、野村拓志、早坂大亮、岸本年郎、杉山隆史、杉丸勝郎、五箇公一：日本昆虫学会第73回大会（2013）
「アルゼンチンアリの防除成果とその他のアリ類に対する影響」
17)　五箇公一：第16回自然系調査研究機関連絡会議（2013）
「特定外来生物の防除戦略」
18)　坂本佳子、五箇公一：第16回自然系調査研究機関連絡会議（2013）
「アルゼンチンアリの防除成果とその他のアリ類に対する影響」
19)　森口紗千子、五箇公一：第16回自然系調査研究機関連絡会議（2013）
「外来種の環境影響評価と防除の優先順位決定」
20)　五箇公一：第４回琉球大学熱帯生物圏研究センター市民公開シンポジウム（2013）
「南の島の外来種」
21)　五箇公一：外来種問題を考える-防除研究の最前線＆わたしたちができること-（2013）
「外来生物防除における研究者と行政の連携」
22)　五箇公一：九州地方外来種対策連絡会議準備会（2013）
「外来生物防除における研究者と行政の連携」
23)　五箇公一：平成25年度近畿地方外来生物に関する情報交換会（2013）
「外来生物防除における研究者と行政の連携」
24)　五箇公一：第1回大下財団公開シンポジウム（2013）

「外来生物とは何か？何がいけないのか？」

25)　坂本佳子：第1回大下財団公開シンポジウム（2013）
「アルゼンチンアリ防除のためのマニュアル作成」

26)　坂本佳子、井上真紀、大西一志、鈴木一隆、上森大幹、野村拓志、岸本年郎、杉山隆史、杉丸勝郎、五箇公一: 第58回日本応用動物昆虫学会大会（2014）
「アルゼンチンアリの薬剤防除における根絶確認と生態影響評価」

27)　五箇公一：第61回日本生態学会大会（2014）
「外来生物の化学的防除－研究者に求められる化学的リテラシー－」

28)　坂本佳子、井上真紀、大西一志、鈴木一隆、上森大幹、野村拓志、岸本年郎、杉山隆史、杉丸勝郎、五箇公一: 第61回日本生態学会大会（2014）
「アルゼンチンアリの根絶確認と地表徘徊性節足動物に対する影響評価」

29)　森口紗千子、岡本卓、五箇公一：第61回日本生態学会大会（2014）
「外来種の環境影響評価と防除の優先順位決定」

（３）出願特許

特に記載すべき事項はない。

（４）シンポジウム、セミナー等の開催（主催のもの）

1)　Struggle for invasive alien species management in Japan　(2012年3月19日、龍谷大学、oint Meeting of the 59th Annual Meeting of ESJ & the 5th EAFES International Congress、観客約100名)

2)　ワークショップ－生物多様性国家戦略の見直しにおける外来種の扱いについて（2012年4月16日、国立環境研究所、観客約50名）

2)　外来生物の化学的防除－研究者に求められる化学的リテラシー－（2014年3月14日、広島国際会議場、第61回生態学会大会シンポジウム、観客約50名）

3)　外来動物の根絶を目指した新規防除手法の開発（2014年3月15日、広島国際会議場、第61回生態学会大会シンポジウム、観客約100名）

（５）マスコミ等への公表・報道等

1)　北海道新聞（2011年6月9日、「「外来種のハチ多い」国立環境研　野付半島で調査」）

2)　釧路新聞（2011年6月9日、「外来種移入で進化破壊　別海で講座　専門家が警告」）

3)　NHK総合「あさイチ」（2011年8月25日、東京都大田区におけるアルゼンチンアリ防除試験の現場と本種の生態影響について5分ほど紹介）

4)　NHK総合「おはよう日本」（2012年9月26日、アルゼンチンアリの生態と防除に関する最新の研究成果と調査の様子を紹介）

5)　Bay-fm「POWER BAY MORNING」（2012年10月29日、アルゼンチンアリの生態と防除活動について紹介）

6)　山陽新聞（2012年12月28日、夕刊、「県内初　岡山市の旭川沿いにアルゼンチンアリ」）

7)　山陽新聞（2012年12月29日、「特定外来生物　アルゼンチンアリ確認　県内初、岡山市の

旭川沿い」）

8)　朝日新聞（2013年2月27日、全国版、夕刊、「アルゼンチンアリ侵略中　上陸20年、12都府県に拡大」）

9)　TBSテレビ「超平凡博士☆タナカ」（2013年1月12日、外来生物の問題点について4分解説）

10)　日本農業新聞（2013年5月2日、全国版、「マルハナバチ規制　対応待ったなし(中)＝神奈川　在来種活用　授粉効率は変わらず」）

11)　日本経済新聞（2013年6月2日、「ナゾ謎かがく　アルゼンチンアリ　なぜ駆除困難？女王アリ多数、強い繁殖」）

12)　TBSテレビ「朝ズバッ！」（2013年6月7日、アルゼンチンアリ防除活動について紹介）

13)　関西テレビ「ニュースアンカー」(2013年6月7日、アルゼンチンアリの防除について紹介)

14)　関西テレビ「ニュースアンカー」（2013年6月26日、特定外来生物であるアルゼンチンアリが神戸市北区で大量発生していることについて、調査結果と対策などを紹介）

15)　成果の記者発表（2013年7月11日、於国立環境研究所、「特定外来生物アルゼンチンアリの防除手法開発及びその成果について」）

16)　日本農業新聞（2013年7月12日、全国版、朝刊、「アルゼンチンアリで国立環境研究所と環境省　99%防除を確立」）

17)　マイナビニュース（2013年7月22日、「懸念広がるアルゼンチンアリ」http://news.mynavi.jp/news/2013/07/22/144/index.html）

18)　TBSテレビ「朝ズバッ！」（2013年7月25日、アルゼンチンアリの繁殖・防除法について紹介）

19)　CBCテレビ「ゴゴスマ」（2013年7月29日、アルゼンチンアリの生態と防除に関してコメント）

20)　読売新聞（2013年8月7日、全国版、夕刊、「アルゼンチンアリ　効率的に駆除　高い攻撃性　強い繁殖力　国立環境研が開発」）

21)　北海道新聞（2013年9月5日、夕刊、「外来ハチ駆除に新手　国立環境研　野付半島で実験へ　成虫に薬塗り巣へ→繁殖できず」）

22)　中国新聞（2013年10月26日、「廿日市市　外来アリ対策シンポジウムで学ぶ」）

（６）その他

特に記載すべき事項はない。

８．引用文献

1)　亀山剛: 蟻, 25, 4-6 (2001)
「山口県柳井市におけるアルゼンチンアリ分布記録」

2)　頭山昌郁:蟻. 25, 1-3 (2001)
「アルゼンチンアリ，岩国市へ侵入」

3)　頭山昌郁: 広島虫の会会報, 41, 43 (2002)
「侵入昆虫アルゼンチンアリの分布－広島市における分布の概要」

4)　K. MIYAKE, T. KAMEYAMA, T. SUGIYAMA and F. ITO: Sociobiology 39, 465-474 (2002)

"Effect of Argentine Ant Invasions on Japanese Ant Fauna in Hiroshima Prefecture, Western Japan"

5) Y. TOUYAMA, K. OGATA, and T. SUGIYAMA: Entomological Science 6, 57–62 (2003)
"Invasion of the Argentine ants, *Linepithema humile*, in Japan: assessment of impact on species diversity of ant communities in urban environments"

6) M. OKAUE, K. TOUYAMA, T. KAMEYAMA, M. TERAYAMA, T. SUGIYAMA, K. MURAKAMI and F. ITO: Entomological Science 10, 337-342 (2007)
"Distribution of the Argentine ant, *Linepithema humile*, along the Seto Inland Sea, western Japan: Result of surveys in 2003-2005"

7) J. SILVERMAN and R.J. BRIGHTWELL: Annual Review of Entomology 53, 231-252 (2008)
"The Argentine ant: Challenges in managing an invasive unicolonial pest"

8) K. GOKA, K. OKABE, M. YONEDA and S. NIWA: Mol. Ecol., 10, 2095-2099 (2001)
"Bumblebee commercialization will cause worldwide migration of parasitic mites"

9) M.N. INOUE and J. YOKOYAMA: Applied Entomology and Zoology 45, 29-35 (2010a)
"Competition for flower resources and nest sites between *Bombus terrestris* (L.) and Japanese native bumblebees"

10) M.N. INOUE, J. YOKOYAMA and K. TSUCHIDA: Insectes Sociaux 57, 29-38 (2010b)
"Colony growth and reproductive ability of feral nests of the introduced bumblebee *Bombus terrestris* in northern Japan"

11) 片山栄助、高見澤今朝雄：昆蟲 ニューシリーズ 7, 105-118 (2004)
「オオマルハナバチ*Bombus(Bombus)hypocrita hypocrita* Perezの巣の追加記録,特に巣の構造とコロニーサイズについて」

12) N. KONDO, D. YAMANAKA, Y. KANBE, Y. KUNITAKE, M. YONEDA, K. TSUCHIDA and K. GOKA: Naturwissenschaften 96, 467-475 (2009)
"Reproductive disturbance of Japanese bumblebees by the introduced European bumblebee *Bombus terrestris*"

13) 松村千鶴、鷲谷いづみ：保全生態学研究, 7, 39-50 (2002)
「北海道沙流郡門別町および平取町におけるセイヨウオオマルハナバチ*Bombus terrestris* L.の7年間のモニタリング」

14) S.F. SAKAGAMI and E. KATAYAMA: Journal of the Faculty of Science, Hokkaido University. Series 6, Zoology. 21, 92-153 (1977)
"Nests of some Japanese bumblebees (Hymenoptera, Apidae)"

15) セイヨウオオマルハナバチモニタリングプログラム事務局：セイヨウオオマルハナバチモニタリングプログラム事務局報告書 (2014)
「「セイヨウオオマルハナバチ」モニタリング　2013 年度および7 年間の活動結果のご報告」

（２） 外来魚類の防除手法開発および防除体制強化

滋賀県立琵琶湖博物館研究部　　中井　克樹

平成23(開始年度)～25年度累計予算額：8,199千円
（うち、平成25年度予算額：2,500千円）
予算額は、間接経費を含む。

［要旨］
オオクチバス等はわが国でとりわけ侵略的影響の強い外来魚として、各地で防除の対象となっている。これらの生息抑制は、捕獲による個体数縮減と繁殖阻止による増殖抑制に大別できるが、効果的な繁殖抑制手法の確立は十分ではない。本サブテーマでは、オオクチバスにおける効果的な繁殖抑制手法として、人工産卵装置の仕様および設置方法の改良に取り組んだ。
サブテーマの開始当初、人工産卵装置は水面から垂下させる吊り下げ式の汎用性が高いことが示されていたが、さらに対応すべき課題も存在した。そのひとつ、大規模な水位変動への対応手法としては、網場など既存の「沖出し」施設への係留や、誘導フェンスによる「沖出し」状況の創出が効果的であることが明らかとなった。また、沖出しによる設置は、単純に岸沿いに設置するよりも高い誘引率が得られることも示された。また、ブルーギルの高密度生息水域においては、この魚が装置周辺に集結するためにオオクチバスの誘引性を低下させていると推測され、装置の本体の３辺を衝立で囲う仕様にすることで、オオクチバスの利用頻度を高めることができた。
小規模水域において人工産卵装置を全周にわたって配置し、確認された産卵床を破壊することにより、水域全体のオオクチバス個体群の繁殖活動が効果的に抑制させられることが示唆された。さらに、大規模水域においても、人工産卵装置による繁殖抑制を他の生息抑制手法と組み合せて実施することで、オオクチバス個体群を効果的に縮小させることが可能であることが示された。
このように本サブテーマでは、オオクチバスの生息抑制に人工産卵装置による繁殖抑制の有効性が示され、使い方に関するマニュアルを既存の手引書の補遺として作成し、環境省に提出した。

［キーワード］
外来魚、オオクチバス、人工産卵装置、繁殖抑制、マニュアル

１．はじめに

（１）外来魚問題の歴史的経緯

わが国では1990年代になって、さまざまな外来生物の侵略的影響が顕在化し、いわゆる「外来種問題」として社会的にも次第に認知されるようになり、2005年「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」の施行となった。法律の策定時期に、最も社会的関心を集めた外来種はオオクチバス*Micropterus salmoides*、通称ブラックバス、であった。それは、数ある外来種問題のなかでも、「外来魚問題」あるいは「ブラックバス問題」は最も広範かつ深刻な被害と社会的対立を生起させていたためであった[1)]。そのため、問題の根源となるブラックバスの密放流を有効に防ぐことこそが、外来生物法の重要な課題のひとつであったと言っても過言でなく、

特定外来生物の「所持」が厳しく禁止されることにつながったとされている[2)]。というのも、既存の法制度の運用による移殖放流の禁止ではブラックバスの密放流を効果的に抑止できなかったからである。

外来生物法の施行後、全国各地でオオクチバス等に対する防除活動が活発化したが、既存の漁法・採集法を用いるだけでは不十分で、オオクチバス等の生態的特性に対応した新たな手法の開発が必要であることが明らかとなってきた。本サブテーマはその要請に応えるために実施された。

（２）人工産卵装置への期待

本サブテーマのなかで汎用性を高めたオオクチバスを対象とした産卵人工産卵装置は、宮城県伊豆沼・内沼で開発された「人工産卵床」（図(2)-1）を原型とし、仕様と設置方法に改良を加えたものである。この種の装置は、その上にオオクチバスによる産卵床が形成され、産卵床自体ではないため、筆者らは「人工産卵　“装置”」（＝人工的に産卵を誘導する装置）と呼んでいる。

図(2)-1　伊豆沼でオオクチバスを対象に開発された「人工産卵床」

伊豆沼・内沼では、1996年にオオクチバスが突然に増加し始め、それと同時に既存の小型魚種が急速に減少した。そのため、漁業者がオオクチバスを積極的に捕獲して個体数の減少をはかるとともに、新たに開発した「人工産卵床」を製作・設置して産着卵の回収と、稚魚の遊泳群のすくい取りによる繁殖抑制を行い、オオクチバスの個体群の制御に積極的に取り組む体制が採られるようになった[5)]。伊豆沼・内沼はこうした先進的な取り組みが行われるラムサール条約湿地であったことから、外来生物法の施行年度（2005年度）から環境省による「オオクチバス等防除モデル事業」の事業地の一つに選定された。そして、この地域でのオオクチバスの防除体制は全国でも最先端の事例として「ブラックバス駆除マニュアル～伊豆沼方式オオクチバス駆除の実際～」としてマニュアル化された[6)]。また、このマニュアルに基づく研修会も開催された。

伊豆沼でのオオクチバス駆除事業の中核となる手法のひとつが「人工産卵床」を用いたオオクチバスの繁殖抑制である。この「人工産卵床」は、メッシュ底の方形のプラスチック製トレイを「本体」として、そこに平たく砂利を敷き、３辺を黒いプラスチック製メッシュの衝立（カバー）で囲った装置である。この装置は、オス親魚が砂礫底をすりばち状に掘って産卵床を形成し、そこにメス親魚を呼び込んで産卵させるという、オオクチバスのもつ繁殖習性と（図(2)-2）、この魚にとって産卵床形成に好適な底質である砂礫底が不足している伊豆沼の環境特性とを考慮して、

装置に敷かれた砂利底にオス親魚が産卵床形成のために誘導されることを期待して開発された。

図(2)-2　オオクチバスのオス親魚とそれが保護する産卵床上の卵塊

さらに、この装置は材料を安価に調達でき、だれでも手作業で組み立てることができ、胴長靴やゴムボートを準備すれば、岸沿いに設置して定期的に見回りが可能で、市民参加型による繁殖抑制の取り組みが容易にできる点も大きな長所である。ただし、この装置はオオクチバスの産卵床形成を誘導することを目的とするために、設置したまま放置すると、オオクチバスの「増殖装置」になるおそれがあるために、定期的に見回りのできる体制を確保することが不可欠である。

ところが、この伊豆沼式の「人工産卵床」を導入したものの、オオクチバスの産卵床形成がうまく誘導できない事例も確認されるようになった。たとえば、伊豆沼と同様にオオクチバス等防除モデル事業の実施水域であった鹿児島県藺牟田池では、2007年、環境省鹿児島自然保護官事務所の協力で、地元中学校の環境学習の一環として「人工産卵床」の組み立てと現場への設置を行ったが（図(2)-3）、残念ながらオオクチバスの産卵床形成は確認されなかった。また、筆者も琵琶湖内湖において、「人工産卵床」を試験的に設置したが、その目と鼻の先でオオクチバスの自然産卵床が形成された（図(2)-4）。それ以外にも、複数のダム貯水池や灌漑用ため池において「人工産卵床」の導入は不成功に終わり、この装置の有効性に疑問を抱かせることとなった。

図(2)-3　祁答院町立（当時）祁答院中学校の環境学習における「人工産卵床」の組み立て。

図(2)-4　琵琶湖内湖でも「人工産卵床」と目と鼻の先でオオクチバスの自然産卵床が形成された

「人工産卵床」が成功した伊豆沼の湖底は主に砂ないし砂泥底に覆われ、オオクチバスの産卵床に好適な砂礫底がほとんど存在せず、「人工産卵床」が提供する砂利が誘引効果を持つ。しかし、好適な底質が多い水域では人工産卵床の砂利にうまく誘引されないと推測された。また、水底に「直置き」するため、傾斜が急な場所には設置が難しいという制約も見えてきた[7)]。

２．研究開発目的

（１）見えてきた方向性：「直置き式」から「吊り下げ式」へ

オオクチバスの生息水域において、その繁殖抑制の新たな手法として開発された伊豆沼式「人工産卵床」の利用促進が図られたが、いろいろな制約のあることが次第に明らかとなり、外来魚防除への気運の高まりに水を差すことが憂慮される事態となった。当時、水産庁の健全な内水面生態系復元等推進委託事業「外来魚抑制管理技術開発事業」を分担していた筆者は、この「直置き式」装置を水面から垂下して設置する「吊り下げ式」にすることで、伊豆沼式「人工産卵床」のもつ制約を打開できるのではないかと考えた。その根拠となったのは、同事業の分担者の福島県内水面水産試験場が福島県田子倉湖において、また環境省による石川県片野鴨池におけるオオクチバス等防除モデル事業において、それぞれ試験的に取り組まれていた事例であった。

図(2)-5　立木の窪みに産み付けられたオオクチバスの卵塊（左）と、立木から吊り下げられた「人工産卵床」（右）（福島県田子倉湖）

田子倉湖では、オオクチバスは、立木や流木上に卵塊を直接に産み付けるという奇妙な繁殖行動をとることが気づかれていた。そこで、試験的に「人工産卵床」を立木に吊り下げたところ、オオクチバスの産卵床形成が高頻度で誘導されたというものであった（図(2)-5）。

一方、片野鴨池では、主要な防除対象水域が鴨池の上流側のため池で、著しい水位低下で「人工産卵床」が干上がることから、装置を水面から吊り下げて設置する方法（「浮遊式人工産卵床」と名づけられた）が試みられた（図(2)-6）。この装置をため池に導入したところ、オオクチバスの産卵時季には間に合わなかったが、ブルーギルによる産卵床の形成が確認された。

図(2)-6　片野鴨池の防除モデル事業で試みられた「浮遊式人工産卵床」

ともに既存の「人工産卵床」を水面から吊り下げて設置した田子倉湖と片野鴨池の事例は、別に視察したダム貯水池の中央部に設置された集魚装置にオオクチバスが産卵した現象にも符号し、行動生理学的な基盤は不明ながら、沖合いに宙吊りにする形で産卵に好適な基質を提供することで、オオクチバス（およびブルーギル）の産卵床形成が誘導されるという仮説が生まれた。

そして、筆者らは、水産庁事業の分担者として、2009年度に岡山県鏡野町の苫田ダム貯水池（奥津湖）と愛知県豊田市の灌漑用ため池・寺部池において、それぞれ水面から垂下する必要性から軽量化のために仕様の変更を施した「吊り下げ式人工産卵装置」の導入を試みた。

図(2)-7．底面に椰子マットを貼り付けた装置（苫田ダム貯水池；左）と底面に発泡ガラス製人工砂利を貼り付けた装置（寺部池；右）

苫田ダム貯水池では、（株）ウエスコとの共同で、自然産卵床が湖底の植物質に形成される傾向があったため、装置の底面には砂利の代わりに、植物質の素材である椰子マットを貼り付ける仕様とした（図(2)-7左）。一方、寺部池では、名城大学の谷口義典・准教授との共同で、装置の底面に砂利を敷く代わりに、市販の防犯用品である発泡ガラス製人工砂利を水中ボンドで貼り付けて軽量化をはかった（図(2)-7右）。どちらの水域においても、前年度には従来型の直置き式人工産卵装置も併用したがオオクチバスの産卵床は全く確認されていなかった。そこで、これら新たな仕様の吊り下げ式装置の導入にあたっては、従来型の直置き式装置の設置も継続した。

その結果、両水域において吊り下げ式装置へオオクチバスの産卵誘導が確認された。一方、併設した従来型の直置き式装置には、前年度と同様に産卵はまったく誘導されなかった。この結果を得て、筆者らは吊り下げ式装置の仕様改良と試験導入をさらに展開することになった。

（３）新たな課題：本サブテーマの目的

2010年度には、地元関係者の協力が得られる三春ダム貯水池（福島県三春町）と松元ダム貯水池（鹿児島県鹿児島市）で、吊り下げ式人工産卵装置の導入を試みた。しかし、両水域とも、装置の設置期間中に著しい水位低下に直面し、ある程度の水位変動への対応が期待された吊り下げ式装置は、大規模な水位低下には対応しきれず、装置自体が干出する事態が発生した（図(2)-8左）。

さらに、松元ダム貯水池では、その後、大雨による水位の急増により装置が水没したり離岸したことに加え、透明度の著しい低下が起こった（図(2)-8右）。岸沿いを探索するオオクチバスのオス親魚にとって、沖側に宙に浮かんだ装置は、水位低下による干出、水位上昇による離岸、透明度の低下などにより、オス親魚に視認されないことが想定される。実際、どちらの水域においても、装置へのオオクチバスの産卵床形成はまったく確認されなかった。

図(2)-8　水位低下により水面に現れたヤナギの枝に引っかかった装置（三春ダム池；左）と水位上昇で離岸し、透明度が低下し、誘引性が低下した装置（松元ダム貯水池；右）

こうして、本サブテーマは、オオクチバスの産卵床形成を誘導する吊り下げ式人工産卵装置の汎用性を高めるために、仕様と設置方法の開発を主要課題として取り組んだ。また、防除の２つの柱である個体数低減と繁殖阻害は個別に技術開発され、特定の水域における効果的な生息抑制には、複数手法を併用した総合的防除が必要であるため、個体数低減と繁殖阻害を組み合わせた防除を試み、効果的な防除の実行可能性について検討することも、本サブテーマの目的とした。

３．研究開発の方法

（１）吊り下げ式人工産卵装置の仕様と設置方法の改良

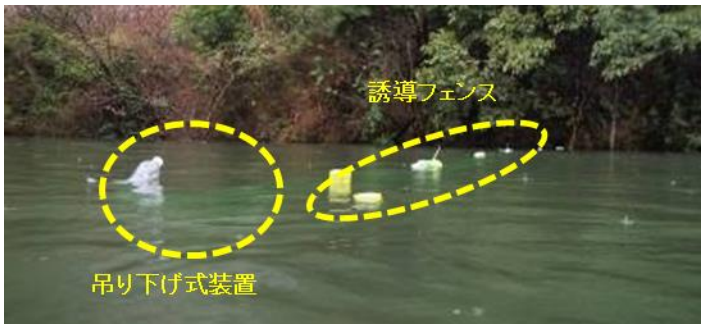
１）既存の「沖出し」施設への係留

ダム貯水池においては、流下防止のために堤体に平行に設置される「網場（あば）」や取水ポンプ用の筏施設など、岸から沖側へと水面伝いに伸長した「沖出し施設」が存在する。吊り下げ式人工産卵装置を既存の沖出し装置に係留し、水位変動の影響を回避できると考えられる。もし、オオクチバスの繁殖個体が沖出し施設に沿って探索遊泳するのであれば、そこに係留した装置に産卵誘導される可能性がある。そこで、松元ダム貯水池の網場、三春ダム貯水池の網場と取水ポンプ筏に人工産卵装置を垂下して、オオクチバスの産卵誘導について調査した（図(2)-9）。

図(2)-9　網場（松元ダム貯水池；左）と取水ポンプ施設（三春ダム貯水池）

２）誘導フェンスによる「沖出し」状況の創出

既存の沖出し施設以外にも「沖出し」の状況を新たに創出するために、市販の防獣ネットを岸から沖側へと伸ばして「誘導フェンス」とし、その先端に装置を係留する「誘導フェンス付き」仕様の装置を製作し、三春・松元両ダム貯水池に導入した。さらに、東京都立狭山公園宅部池と新潟県糸魚川市田海ヶ池へも試験的導入を行った（図(2)-10）。

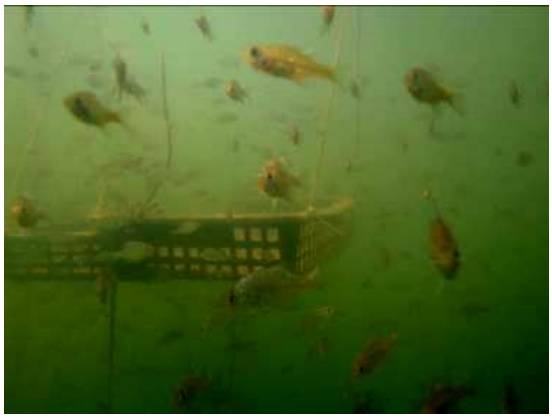


図(2)-10　誘導フェンス付き装置（松元ダム貯水池）

３）ブルーギル高密度水域における対策

オオクチバスの生息水域には、ブルーギルも生息している場合が少なくない。オオクチバスにとって、ブルーギルは卵や仔稚魚を捕食する最大の「天敵」である。ところが、ブルーギルは非

常に好奇心の強い魚種で、ブルーギルの生息密度がとりわけ高い松元ダム貯水池では、水中に吊り下げた装置に多数のブルーギルが集結する現象が確認され（図(2)-11左）、これがオオクチバスの誘引性を阻害すると推測された。そこで、ブルーギル集結の影響を低減させるため、装置底面の３辺を囲う衝立付き装置を導入し、衝立なし装置との誘引性を比較検討した（図(2)-11右）。



図(2)-11　装置に集結したブルーギルとその対策として衝立付き仕様（松元ダム貯水池）

４）現地調査における協力体制

人工産卵装置は、オオクチバスの産卵床形成を誘導する装置であることから、装置の設置作業だけでなく、この装置が「増殖装置」とならぬよう定期的回ることができる体制が不可欠である。本サブテーマによる野外実験は、現地における管理者は研究者等、関係者による適切な協力体制が得られることを条件に水域選定を行った。具体的には表(2)-1の関係者の協力のもので行われた。

表(2)-1　人工産卵装置の現地調査における協力体制

水域	所在地	類型	生息外来魚	協力者
松元ダム貯水池	鹿児島県 鹿児島市	農業用ダム貯水池	オオクチバス ブルーギル	松元土地改良区　鹿児島大学水産学部　かごしま市民環境会議
苫田ダム貯水池（奥津湖）	岡山県 真庭郡鏡野町	多目的ダム貯水池	オオクチバスのみ	国土交通省中国地方整備局苫田ダム管理所　（株）ウエスコ
早月川河口溜まり	富山県 魚津市・滑川市	河川河口部溜まり	オオクチバスのみ	魚津水族館
田海ヶ池	新潟県 糸魚川市	ため池（利用なし）	オオクチバスのみ	糸魚川市環境課 田海ヶ池のトンボを守る会
都立狭山公園宅部池	東京都 東村山市	ため池（利用なし）	オオクチバスのみ	西武丘陵パートナーズ
三春ダム貯水池（さくら湖）	福島県 田村郡三春町	多目的ダム貯水池	オオクチバス ブルーギル	国土交通省東北地方管理局三春ダム管理所　応用地質（株） （一財）水源地環境センター

（２）各水域における総合的防除の試みと、目標達成可能性の検証

まず、小規模水域である東京都狭山公園宅部池と富山県早月川河口溜まりにおいて装置を全周にわたって設置し、装置の見回りの際に自然繁殖状況をモニタリングすることによって、装置によるオオクチバス水域個体群の繁殖抑制の効果を検証した。

オオクチバス等の生息抑制はこれまでは捕獲による個体数低減が中心で、人工産卵装置による繁殖阻害手法を相補的に導入することで、総合的防除の枠組みの検討が可能となり、すでに防除に取り組む三春ダム貯水池と岡山県苫田ダム貯水池において、既存の手法に加えて人工産卵装置を導入した。三春ダム貯水池では、洪水期直前の水位低下時期がオオクチバスの繁殖期と重複するため、階段的な水位低下によりオオクチバスの産卵床を効果的に干上がらせる試みを行っている。人工産卵装置は、このようにして産卵床を放棄したオオクチバスの産卵行動をも誘導し、雄親を捕獲することも可能であることから、水位低下による干し上げを補う手法として期待される。一方、苫田ダム貯水池は、水位変動のない管理手法が採られており、湖岸沿いにオオクチバスの繁殖場所としてのポテンシャルマップを作成して、ポテンシャルの高い区域で生息抑制努力を集中させ、作業の効率化を目指しており、繁殖抑制手法として人工産卵装置を取り入れた。

（３）防除マニュアルの作成

防除マニュアルに関しては、環境省自然環境局野生生物課外来生物対策室による手引書「地域におけるオオクチバス等防除の取組みに向けて」（2009年発行）に対し、本推進費サブテーマにおける吊り下げ式人工産卵装置の仕様と設置方法を工夫して汎用性を向上させた結果を、新たに追加する形の補遺「オオクチバスの繁殖抑制手法－人工産卵装置の改良－」としてまとめた。

４．結果及び考察

（１）吊り下げ式人工産卵装置の改良

１）沖出し施設への試験的係留：松元ダム貯水池・三春ダム貯水池（2011年）

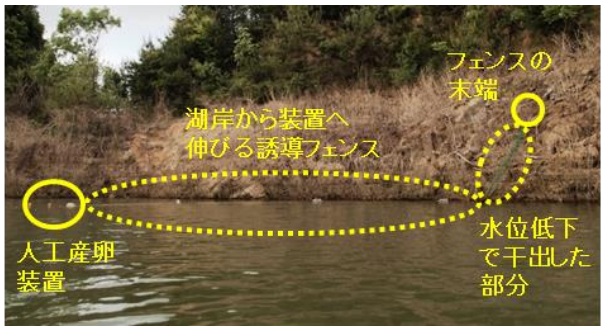
2011年度、松元ダム貯水池と三春ダム貯水池において、既存の沖出し施設に装置を係留した結果、松元ダム貯水池では網場（図(2)-12左）で1例、三春ダム貯水池では網場で1例、取水ポンプ施設（図(2)-12右）で3例、オオクチバスの産卵が確認された。網場は、流下物を防止するために水中にネットがカーテン状に垂下していることから、岸沿いに遊泳していたオオクチバスが網場に出会うと、半ば強制的に沖方向へ導かれると考えられる。一方、取水ポンプ施設は筏の上に浮かべて設置されており、水中には物陰があるだけである。岸沿いを移動しているオオクチバスが、このような物陰に伝ってわざわざ沖方向に移動してくることはきわめて興味深い現象である。

図(2)-12　網場に係留した装置（松元ダム貯水池；写真左）と取水ポンプ施設に係留した装置（三春ダム貯水池；写真右）で形成した産卵床を保護するオオクチバスのオス親魚

２）三春ダム貯水池における「沖出し」設置（2012年）

2012年度は三春ダム貯水池で、網場と取水ポンプ施設に装置を係留した。網場には、右岸下流側、左岸下流側、同右岸側にそれぞれ8基、中央下流側に2基の計26基、取水ポンプ施設では、導水管部に4基、ポンプ筏部に5基の計9基、合計で35基を係留した（図(2)-13）。

図(2)-13　網場と取水ポンプ施設における人工産卵装置係留区域（三春ダム貯水池）



図(2)-14　水位低下後も「沖出し」状態を持続する誘導フェンス付き装置（三春ダム貯水池）

図(2)-15　誘導フェンス付き装置の先端で確認されたオオクチバスの産卵床形成

さらに、既存施設に依存せず積極的に「沖出し」状況を創出するため、湖岸から網場を模した

誘導フェンスを沖方向へ伸ばし、その先端への装置の係留も4ヶ所で試みた。誘導フェンスは市販の防獣ネット（高さ1m、50m巻）を10-20mの長さに切り、2.5mごとに上端にフロートとして500mlペットボトル、下端に錘として砂利を詰めたメッシュバッグを結わえ、ネットが水面からカーテン状に垂下する浮力バランスとし、岸側末端を斜面上部に固定し、もう一方の末端を「沖出し」した先端をアンカーで固定してから、そこに装置を係留した（図(2)-14）。

その結果、39基の装置でオオクチバスの利用は25回確認され（表(2)-2）、6月18日には、網場3基、取水ポンプ施設7基、誘導フェンス先端の1基（図(2)-15）の計11例が集中し、特に取水ポンプ施設の装置は9基中7基が利用された。また、最も遅い確認例は取水ポンプ装置の筏部と網場の中央下流という、岸から遠い場所に設置された装置で、湖岸沿いでは水温が高くなりすぎ、産卵に不適となったが、岸から離れた沖出し装置では産卵の適温が維持されていたと考えられる。

この成果により、吊り下げ式人工産卵装置の係留方法として「沖出し」が有効であることが明らかとなった。また、既存の沖出し施設だけでなく、誘導フェンスによって沖出し状況を積極的に創出することも可能であることが示唆された。

表(2)-2　吊り下げ式人工産卵装置へのオオクチバスの産卵床形成頻度（三春ダム貯水池：2012年）

装置設置場所		設置基数	産卵床形成頻度（1基あたり）	
施　設	係留位置		係留位置ごと	施設ごと
網場	右岸下流	8基	2（0.25）	7（0.27）
	中央下流	2基	2（1.00）	
	左岸下流	8基	2（0.25）	
	左岸上流	8基	1（0.13）	
取水ポンプ	導水管部	4基	7（1.75）	17（1.89）
	ポンプ筏部	5基	10（2.00）	
誘導フェンス	（期間限定）	4基	1（0.25）	1（0.25）
計		39基	25（0.64）	25（0.64）

３）松元ダム貯水池における「沖出し」設置（2012～2013年）

2012年度は、貯水池両岸に岸の樹木等から直接吊り下げた装置を各4基、誘導フェンスで沖出しした装置を各2基、計12基を設置、網場には左岸側・右岸側の上流側・下流側に2箇所ずつ計8基係留し、4月から8月までの間オオクチバスの利用を確認した。調査期間の後半には、熊本県氷川ダム貯水池の手法を参考に、装置の方形の本体の３辺を衝立で囲った衝立付き仕様の装置を2基、網場に追加した。その結果、オオクチバスの産卵は、網場係留の装置でのみ確認され、岸沿いに設置した装置は誘導フェンス付きを含め全く利用されなかった。一方、網場係留の装置のなかでも、特に衝立付き装置の利用頻度は衝立なし装置の2倍となった（表(2)-3）。

表(2)-3　人工産卵装置の各仕様に対する利用状況（松元ダム貯水池：2012年）

設置位置	設置方法	設置箇所	産卵床形成の誘導件数（装置１基あたり）		
			衝立付き	衝立なし	計
岸沿い	岸から係留	8	―	0（0.00）	0（0.00）
	誘導フェンス先端	4	―	0（0.00）	
沖合い	網場から直接係留	2+8	2（1.00）	4（0.50）	6（0.60）
計		22	2（1.00）	4（0.20）	6（0.27）

2013年度は、同じ設置場所で、衝立付きと衝立なし仕様をペアで設置した（表(2)-4、図(2)-16）。

図(2)-16　衝立付きと衝立なしの仕様の装置をペアで設置（松元ダム貯水池）

その結果、網場に係留した装置は岸沿いの約6倍の頻度で産卵が誘導され、衝立の有無の比較では、衝立付きの方が衝立なしよりも高頻度で、岸沿い調査区での産卵はすべて誘導フェンス付きの衝立付き装置で確認される結果となった。

表(2)-4　人工産卵装置の各仕様に対する利用状況（松元ダム貯水池：2013年）.

設置位置	設置方法	設置箇所	産卵床形成の誘導件数（装置１基あたり）		
			衝立付き	衝立なし	計
岸沿い	岸から係留	8	0（0.00）	0（0.00）	3（0.13）
	誘導フェンス先端	4	3（0.75）	0（0.00）	
沖合い	網場から直接係留	8	12（1.50）	4（0.50）	16（1.00）
計		20	15（0.75）	4（0.20）	19（0.48）

このように、松元ダム貯水池においては、設置方法としては「沖出し」設置が有効であること、および衝立付き装置が衝立なし装置よりも有効であることが示された。

４）東京都立狭山公園宅部池における誘導フェンスの効果（2013年）

東京都立狭山公園の宅部池では、池の周囲に24基を岸沿いに、3基を誘導フェンスの先端に「沖出し」し、残る3基を誘導フェンスなしで同程度に「沖出し」し、計30基を配置した（図(2)-17）。

その結果、オオクチバスの産卵は、誘導フェンスなしの装置では全く確認されなかったが、岸沿いと誘導フェンス付き装置ではともに確認され、誘導フェンス付き装置の方が1基あたり産卵頻度は約3倍に高まった。さらに、オオクチバス卵数の少ない例が多く、卵数が100個以上のみを有効な産卵床とみなして評価したところ、装置1基あたりの利用率は誘導フェンス付き装置の方が岸沿いに設置した装置の10倍に達した（表(2)-5）。

このように、狭山公園宅部池においても、誘導フェンスの先端に設置することにより、岸沿いに設置するよりも利用率を飛躍的に高められることが示された。

図(2)-17　都立狭山公園の宅部池。全周にわたって装置を設置し、一部誘導フェンス付きとした。

表(2)-5　東京都立狭山公園宅部池における人工産卵装置の利用状況

設置方法		設置基数	利用回数（１基あたり）	うち大規模（100個以上）卵塊（１基あたり）
岸沿い		24	20（0.83）	4（0.17）
沖合い	誘導フェンス付き	3	7（2.33）	5（1.67）
	誘導フェンスなし	3	0（0.00）	0（0.00）
計		30	27（0.90）	9（0.30）

５）糸魚川市田海ヶ池での「沖出し」設置（2013年）

新潟県糸魚川市田海ヶ池では、透明度が低くゆるやかな遠浅地形で、底質がほとんど泥であることから、人工産卵装置は「沖出し」して設置する必要があり、2013年、人工産卵装置10基を誘導フェンス付きで設置した（図(2)-18）。しかし、設置直後に産卵床形成を試みた痕跡が１回確認されたのみで、オオクチバスの産卵は全く確認されなかった。これは、装置を設置した直後から降水量が少ないためか、池の水位がかなり低下して、装置が宙に浮かんだ状態を維持できなかったことが原因であると考えられた。また、この池には釣り人の来訪が多く、釣り人による妨害活動の形跡もしばしば確認されていることも、装置への誘導を確認できない原因かもしれない。

図(2)-18　糸魚川市田海ヶ池では全ての装置を誘導フェンス付きとして設置した

６）富山県早月川河口溜まりでの「衝立て」付き仕様の試行（2013年）

富山県早月川河口溜まりにおいては、2012年から吊り下げ式人工産卵装置の設置を開始した（後述）。2013年には、計32基の装置のうち4基を衝立付きとして試験的に配置した（図(2)-19）。

その結果、オオクチバスによる装置への産卵床形成は9回確認されたが、それらはすべて衝立なし装置を利用したものであり、衝立付き装置はまったく利用されなかった。今回は、衝立付き装置の設置数が総数のわずか1/8だったが、少なくとも、松元ダム貯水池で見られたように衝立付き仕様が衝立なし仕様よりもはるかに高頻度に利用される状況ではないことが推測された。この水域にはブルーギルは侵入していないことから、松元ダム貯水池で見られた衝立付き装置に誘引性を高める効果が見られたのは、ブルーギルの高密度水域に特有の現象である可能性が示唆された。

図(2)-19　早月川河口部にある「溜まり」では、一部装置を衝立付き仕様として設置した

（２）各水域における総合的防除の試みと、目標達成可能性の検証

１）小規模水域における全域調査（狭山公園宅部池・早月川河口溜まり：2012～2013年）

小規模水域の全周に人工産卵装置を設置し、装置のオオクチバス利用状況と岸沿いの自然繁殖のモニタリングは、狭山公園宅部池と早月川河口溜まりにおいて、2012年度と2013年度に行った。

狭山公園宅部池では計30基の装置を、2012年はすべて岸沿いに配置し、2013年は岸沿い24基、誘導フェンスによる沖出し3基、フェンスなしの沖合い設置を3基とした。その結果、オオクチバスの産卵頻度は、2012年の6回に対し2013年は計27回を数えた。両年とも、モニタリングで確認された自然繁殖の例は1件のみであり、人工産卵装置で駆除された産卵床の件数に照らしてみると、池全体のオオクチバスの繁殖活動が十分に抑えられていることが示された。

早月川河口溜まりでは、2012年に28基、2013年に32基（うち4基が衝立付き）を設置した結果、2012年は7回、2013年は9回の産卵が誘導された（稲村ほか，2014）。一方、自然繁殖は2012年に3例、2013年に7例確認された。自然繁殖は、2012年は繁殖期後期に集中し、2013年は7例中6例までが同じ日に集中したが、その直前に釣り人によるものと推測される装置に対する著しい撹乱が認められ、オオクチバスの利用回避が促進された可能性がある。

このように、2つの小規模水域の事例は、吊り下げ式人工産卵装置は、適切な配置と見回りをすることにより、オオクチバスの繁殖活動を有効に抑止できる可能性が示唆された。

２）三春ダム貯水池における水位低下による産卵床干し上げとの関係

従来より三春ダム貯水池では、さまざまな手法でのオオクチバス等の生息抑制技術の開発が試みられている。特に、洪水期を前に実施される水位低下のタイミングがオオクチバスの繁殖期と重複するため、段階的に水位低下させることでオオクチバスの産卵床を効果的に干上がらせることに成功し、それが個体群サイズの増加を抑える効果があることが数理モデルで示されている。

しかし、産卵床を干し上げる手法は保護するオス親魚に産卵床を放棄させるだけで、当該個体は水位低下が終わってから改めて繁殖を行う可能性がある。そこで、今回導入を試みた人工産卵装置による繁殖抑制は、水位低下後にオオクチバスの産卵活動をさらに無効化することができる。さらに、産卵床の形成が確認された装置に小型三枚網を設置することにより、オス親魚を捕獲することも可能である。このように、水位低下による干し上げを効果的に補う手法として有効であり、水域全体におけるオオクチバス個体群サイズの縮小へ大きく貢献することが期待される。

３）苫田ダム貯水池における繁殖ポテンシャルマッピングとの関係

苫田ダム貯水池は水位変動のない管理手法が採られているため、湖岸沿いにオオクチバスの繁殖場所としてのポテンシャルマップを作成し、繁殖ポテンシャルの高い区域で生息抑制努力を集中させ作業の効率化を目指し、2009年からは吊り下げ式人工産卵装置の利用が盛り込まれている。

その結果、オオクチバスの捕獲個体数が近年激減し、個体群サイズが効果的に縮小していることが示唆されている。さらに、既存の魚類やエビ類の個体数が回復の兆しを見せていることも、オオクチバスの捕食圧の低下を予想させる。

このように、苫田ダム貯水池においても、吊り下げ式人工産卵装置による繁殖抑制を主要な手法のひとつとした総合的防除の効果が見え始めている。

（３）防除マニュアルの製作

環境省によるマニュアルや手引きは、オオクチバス等の生態等に関する総説的なものや、具体的な防除関連事業の内容報告的なものが多く、防除をめざす立場にある者が具体的に参照できるような構成・内容には必ずしもなっていない。また、水産庁によるマニュアルも、独自事業によって開発された生息抑制技術の解説が中心で、しかももっぱら漁業者を想定していることから、汎用性が十分に高いとはいえない。一方、地方自治体の発行しているマニュアル等は最新の事例などを十分に盛り込んだものであるとはいえない。

そのためオオクチバス等の防除マニュアルの作成には、本研究成果を含めた最新の情報を含め、外来魚防除のために内容を総合化する必要がある。しかし、現時点では、水域の事情に応じた詳細な防除手法を提示する段階にはなく、さらなる事例の蓄積が必要であることも確かである。そこで、今回は、本サブテーマで確立された吊り下げ式人工産卵装置の利用方法について、環境省の既存の総合的手引きの「補遺」という形でまとめあげ、環境省外来生物対策室に提出した。

５．本研究により得られた成果

（１）科学的意義

オオクチバス等外来魚の生息抑制において、繁殖阻害のための技術開発は、捕獲手法の開発と比較して遅れており、もっぱら自然産卵床の探索・破壊にとどまっていた。人工産卵装置は、本

来は発見が困難な産卵床の形成を、装置の上に誘導することで、効果的に繁殖努力を無効化することのできる手法である。本サブテーマでは、我々が考案した「吊り下げ式人工産卵装置」の汎用性を高めることに成功した。具体的には、オオクチバスの産卵床形成を誘導する上で支障となる水位変動や低透明度などの水域では装置を「沖出し」して設置することにより、またブルーギルの高密度水域においては衝立付きの仕様とすることにより、有効性を高めることができた。

（２）環境政策への貢献

＜行政が既に活用した成果＞

国土交通省中国地方整備局苫田ダムにおける貯水池環境管理のための業務なかで、本サブテーマで紹介したオオクチバスの繁殖ポテンシャルマップを作成して、防除努力を集中すべき湖岸区域を特定し、そこに吊り下げ式人工産卵装置を設置することで、効果的なオオクチバスの繁殖抑制とオス親魚の駆除が行われている。その結果、この貯水池においてオオクチバス個体群の効果的抑制に成功しつつあることが、既存魚種やエビ類の生息量回復によって示されている。

＜行政が活用することが見込まれる成果＞

防除体制を確立していくためには、現場の状況に対応した柔軟な取り組みが必要である。本研究の主題は新たな技術開発に重きを置いたものであるが、こうした技術には有効性と汎用性の高さが求められ、吊り下げ式人工産卵装置は、発展途上ながらその条件を満たす手法である。特に、装置の仕様の決定には、この手法を広く普及させるために、製作にかかる手間と経費を縮減することも重要な条件とした。

今後、オオクチバス等の防除に関連した各種事業でも吊り下げ式人工産卵装置を取り入れることで、捕獲等の既存の手法に加えて、繁殖阻害の圧力をかけ、総合的な防除の推進に資することに期待する。

なお、本サブテーマの成果を、既存の環境省の防除の手引きの補遺として製作し、環境省外来生物対策室に提出した。

６．国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

７．研究成果の発表状況

（１）誌上発表

＜論文（査読あり）＞

1) 熊沢一正、大杉奉功、西田守一、浅見和弘、鎌田健太郎、沖津二朗、中井克樹、五十嵐崇博、船橋昇治、岩見洋一、中沢重一: 応用生態工学, 15, 171-185 (2012)
「ダム湖の水位低下を利用した定置網による外来魚捕獲とその効果」

2) 土岐範彦、大杉奉功、中沢重一、鎌田健太郎、熊沢一正、浅見和弘、中井克樹：応用生態工学, 16, 37-50 (2013)
「オオクチバスが優占する前貯水池の魚類群集構造と水抜きによる駆除とその後の変化」

＜その他誌上発表（査読なし）＞

1) H. KAWANABE, M. NISHINO and M. MAEHATA (eds.): Lake Biwa: Interactions between Nature and People, Springer, 179-187 (2012)
"Chapter 3.1.4 Non-indigenous species in and around Lake Biwa (written by K. NAKAI and Y. KANEKO)"

2) Ditto, 477-484 (2012)
"Chapter 7.2.4(1) Regulations and control of invasive non-indigenous species (written by K. NAKAI)"

3) 小倉紀雄、竹村公太郎、谷田一三、松田芳夫編：水辺と人の環境学（中）－人々の生活と水辺－、朝倉書店、69-71 (2014)
「ブラックバス・ブルーギルの生態と生息抑制（執筆担当：中井克樹)」

4) 稲村修、不破光大、草間啓、中井克樹：魚津水族館年報, 23, 18-20 (2014)
「早月川河川敷の水溜りにおける人工産卵装置導入によるオオクチバスの繁殖抑制について」

5) 谷田一三、江崎保男、一柳英隆編：ダムと環境の科学Ⅲダム湖岸の生態系と環境整備、京都大学学術出版会（印刷中）
「ダム湖の外来魚問題と駆除（執筆担当：中井克樹・大杉奉功・浅見和弘」

（２）口頭発表（学会等）

1) 鎌田健太郎、熊澤一正、西田守一、大杉奉功、岩見洋一、浅見和弘、沖津二朗、中井克樹、中沢重一：応用生態工学会第 15 回大会（2011）
「ダム湖の水位低下を利用した定置網による外来魚捕獲試験」

2) 大杉奉功、岩見洋一、中井克樹、沖津二朗、齋藤大、中沢重一：同上（2011）
「三春ダム前貯水池の水位低下操作を用いたブルーギル繁殖コロニーの防除手法」

3) K. AZAMI, N. TOKI, S. NAKAZAWA, K. KAMATA, T. OHSUGI, K. NAKAI and H. MATSUDA : 同上（2011）
"Drying-up of breeding sites of largemouth bass and its predicted effect on the population dynamics by the intermittent drawing-down of the reservoir water level"

4) K. NAKAI：The 14th World Lake Conference, Austin, USA (2011)
"Ecological Impacts of Invasive Alien Fishes and Administrative Efforts for Their Control in Lake Biwa, An Ancient Japanese Lake"

5) 芹澤英一郎、笹田直樹、白神義章、佐貫方城、中井克樹：第 7 回外来魚情報交換会（琵琶湖を戻す会）(2012)
「吊り下げ式人工産卵床による繁殖抑制の事例報告」

6) 中井克樹：第 7 回外来魚情報交換会（琵琶湖を戻す会）(2012)
「吊り下げ式人工産卵床の展開」

9) K. NAKAI: Joint Meeting of the 59th Annual Meeting of ESJ & the 5th EAFES International Congress, Otsu, Japan (2012)
"Toward appropriate control of the invasive alien fishes of Japanese freshwaters"

10) K. AZAMI, T. ASAEDA, K. NAKAI, T. OSUGI and S. NAKAZAWA：2012 ASLO (American Society

of Limnology and Oceanography) Aquatic Sciences Meeting, Otsu, Japan (2012)
"Ecological function of willow communities developing in the seasonally submerged zone of a reservoir as spawning and nursery habitats for native fish"

11) T. OSUGI, K. NAKAI, K. AZAMI, Y. IWAMI and S. NAKAZAWA: Ditto (2012)
"Development of methods for controlling invasive alien fishes in a reservoir, taking advantage of drawdown of water level"

12) K. NAKAI : Ditto (2012)
"Lake Biwa - The Japanese ancient lake, harboring many endemics and inhabited by not a few invasives"

13) K. NAKAI:142nd Annual Meeting of American Fisheries Society, Minneapolis, USA (2012)
"Black bass and bluegill as invasive alien fish in Japan: Administrative response and technical development for their effective control"

14) K. NAKAI : SIAL (Speciation in Ancient Lakes) 6, Bogor, Indonesia (2012)
"Recent declining trends in indigenous fish diversity in Lake Biwa, Japan, and efforts toward recovery"

15) 大杉奉功、澁谷慎一、沖津二朗、樋口貴哉、中井克樹、土岐範彦、本多吉美：三学会（日本緑化工学会、日本景観生態学会、応用生態工学会）合同大会（2012）
「ブルーギルの繁殖コロニーの特徴とダム湖の水位操作を利用した効果的な防除手法」

16) 中井克樹：日本陸水学会第 77 回大会（2012）
「特定外来生物オオクチバスの繁殖抑制装置の開発」

17) 中井克樹：平成 24 年度滋賀県試験研究機関研究発表会（2012）
「外来魚駆除用の人工産卵床の開発」

18) 中井克樹：第 8 回外来魚情報交換会（琵琶湖を戻す会）（2013）
「人工産卵装置は、沖出し施設に吊り下げて」

19) 中井克樹：第 60 回日本生態学会大会（2013）
「オオクチバスの産卵行動を誘導する人工産卵装置の開発」

20) K. NAKAI : 143rd Annual Meeting of American Fisheries Society, Little Rock, USA, 2013
"A mirror image of blackbass conservation: Active control of blackbass as an invasive alien species in Japan"

21) 中井克樹：応用生態工学会第 17 回大阪大会（2013）
「特定外来生物オオクチバスの繁殖抑制のための人工産卵装置の改良」

22) 笹田直樹、芹澤英一郎、佐貫方城、中井克樹、土江清司：同上（2013）
「ダム湖におけるオオクチバス低密度管理の事例報告」

23) 沖津二朗、樋口貴哉、中井克樹、大杉奉功、浅見和弘、土岐範彦、松崎厚史、小山幸男：同上（2013）
「三春ダムにおけるリフレッシュ放流を活用したブルーギルの繁殖抑制の試験的な試み」

24) 中井克樹：2013 年度日本魚類学会年会（2013）
「オオクチバスを対象とした吊り下げ式人工産卵装置：新たな改良と影響評価の試み」

25) 中井克樹、江川昂弘：第 9 回外来魚情報交換会（琵琶湖を戻す会）（2014）

「吊り下げ式人工産卵装置：ブルーギル高密度水域における新たな試み」

26)　中井克樹：第 61 回日本生態学会大会（2014）

「オオクチバスを対象とした防除手法の開発と防除体制の強化」

27)　江川昂弘、山本智子、鹿児島市松元土地改良区、高山真由美、中井克樹：同上（2014）

「オオクチバスに対する人工産卵装置の誘因効果」

（３）出願特許

特に記載すべき事項はない。

（４）シンポジウム、セミナー等の開催（主催のもの）

特に記載すべき事項はない。

（５）マスコミ等への公表・報道等

1)　NHK総合（大津放送局）「おおつ発610、びわ湖クローズアップ」（2011年11月1日）

2)　京都新聞（2011年11月4日、滋賀版、「第14回世界湖沼会議：米国、オースティン」）

3)　京都新聞（2011年11月27日、「第14回世界湖沼会議in米国テキサス州オースティン）

4)　富山テレビ放送「BBTスーパーニュース：とやま物語」（2012年5月4日）

5)　富山テレビ放送「BBTスーパーニュース：生態系を守れ！」（2012年5月8日）

6)　上越タイムス（2012年6月16日、「“トンボの宝庫”を守れ／糸魚川「田海ヶ池」で」）

7)　新潟日報（2012年6月19日、上越面、「外敵からトンボ守れ／糸魚川田海ヶ池」）

8)　ノーバスネットニュースマガジン編集室編「にぎやかな水辺 No.2」（2013年5月、「法改正をまず評価。次は実効性の有る行動計画、侵略的外来種リストを実現すること」）

9)　ノーバスネットニュースマガジン編集室編「にぎやかな水辺 No.3」（2013年8月、「吊り下げ式人工産卵装置の野外実験5年目の効果　4月～7月　中井克樹さん、滋賀県）」）

（６）その他

特に記載すべき事項はない。

８．引用文献

1)　秋月岩魚：宝島新書、宝島社（1999）

「ブラックバスがメダカを食う」

2)　日本魚類学会自然保護委員会編：見えない脅威“国内外来魚”、東海大学出版会、95-109（2013）

「12章　外来魚問題への法令による対応：特に国内外来魚問題に対して（執筆担当：中井克樹）」

3)　日本生態学会編：外来種ハンドブック、地人書館、24-26（2000）

「滋賀県の外来魚（ブラックバス・ブルーギル）駆除事業（執筆担当：岡村貴司）」

4)　全国内水面漁業協同組合連合会編、全国内水面漁業協同組合連合会（1992）

「ブラックバスとブルーギルのすべて：外来魚対策検討委託事業報告書」

5)　細谷和海、高橋清孝編、恒星社厚生閣、東京（2006）

「ブラックバスを退治するーシナイモツゴ郷の会からのメッセージー」
6) 環境省東北地方環境事務所、（財）宮城県伊豆沼・内沼環境保全財団編：（財）宮城県伊豆沼・内沼環境保全財団（2006）
「ブラックバス駆除マニュアル～伊豆沼方式オオクチバス駆除の実際～」
7) 種生物学会編:外来生物の生態学ー進化する脅威とその対策、文一総合出版、95-109(2010)
「オオクチバス等の外来魚を対象とした防除の現状：「モデル事業」の課題（執筆担当：中井克樹）」
8) 稲村修、不破光大、草間啓、中井克樹：魚津水族館年報，23，18-20（2014）
「早月川河川敷の水溜りにおける人工産卵装置導入によるオオクチバスの繁殖抑制について」

（３） グリーンアノールの生物学的特性に基づく防除戦略開発

(一財)自然環境研究センター　　戸田　光彦

平成 23～25 年度累計予算額：8,400 千円
（うち、平成 25 年度予算額：2,600 千円）
予算額は、間接経費を含む。

［要旨］

グリーンアノールは北米原産のイグアナ科の爬虫類であり、小笠原諸島に定着して捕食により昆虫群集を崩壊させ、特定外来生物に指定されている。既に蔓延している父島と母島に加えて、2013 年には兄島にも定着していることが確認され、現在、これら 3 島において環境省等により防除がなされている。ただし防除技術が十分に確立しているとは言い難く、現行の手法である粘着トラップによる捕獲を補い、またそれに代替する新たな手法の開発が望まれている。本研究においては、グリーンアノールの地域的な根絶を目指して、これまで実施されてこなかった化学的防除の手法開発を目的とした。

文献調査により爬虫類に対する化学物質の致死性をまとめたところ、複数の薬剤がトカゲ類やヘビ類に対して致死的であることが示されており、ヒトを含む他の生物への毒性の低さ等から、ピレスロイド系の薬剤がグリーンアノールの化学防除に適していると考えられた。小笠原産のグリーンアノールに市販の殺虫剤を塗布する試験によると、ピレスロイド系の薬剤であるフェンプロパトリンを主成分とした製品が効果的であり、背面に 0.015ml という微量の薬剤を付着させることでアノールを確実に致死できることが示された。また、空間の加温によってアノールを致死させる試験においては、50℃を 9 分間、または 55℃を 4 分間で致死することが確認された。

野外で実施した燻蒸試験の結果、ロディー乳剤（有効成分フェンプロパトリン）の噴霧及びバルサン（有効成分ペルメトリン、メトキサジアゾン）による燻煙はともに有効であり、特にバルサン（25g）を 3m^{2}に対して 3 個用いた場合には、その内部の空間が落葉で満たされていても、70%の致死率が確認された。燻蒸は、昼間に実施するよりも、グリーンアノールの活動性が低下する夜間の方が効果的であることが示された。また、炎天下で密閉された温室内はアノールの致死温度である 50℃を超える高温を数時間にわたり維持できることが確認された。以上の結果は、検疫等、限定された空間におけるグリーンアノールの防除に資することが期待される。

【キーワード】

Anolis carolinensis、爬虫類、化学的防除、燻蒸、小笠原

１．はじめに

外来爬虫類が生態系に対して大きな影響を与えている例はいくつも報告されているが、防除のための技術が確立しているとは言い難く、また計画的な防除の事例は多くない。外来爬虫類の影響事例は熱帯から亜熱帯の島嶼部でよく知られており、対策の必要性が高い。

太平洋の亜熱帯域に位置する小笠原諸島は、進行中の生物進化を把握できる顕著な価値を有す

るとして、2011 年 6 月に世界自然遺産に登録されている。しかし、多くの外来生物が持ち込まれて在来種を脅かしており、生物多様性の確保のために、外来生物の防除が大きな課題となっている。北米原産の爬虫類であるグリーンアノールは小笠原において最も侵略的な外来生物のひとつであり、環境省によって防除が実施されているものの、地域的な根絶を達成するために、さらなる防除技術の開発及び防除戦略の確立が強く求められている。

２．研究開発目的

現在、環境省によって実施されているグリーンアノール防除事業（小笠原国立公園特定外来生物（グリーンアノール等）重点防除業務、ならびに小笠原地域自然再生事業両生は虫類対策調査業務）では、粘着トラップと遮断柵が用いられている。しかし現行の方法ではトラップ 1 個あたりの有効範囲が狭いため、これに依存するだけでは全個体駆除の実現性は低い。一方、本研究で開発を進める燻蒸技術は、水平方向及び地表から樹上までの垂直方向の広がりをもつ空間に生存する全ての個体を標的にできるため、特定地域からのアノールの根絶を実現できることが期待される。

以上を背景として、本業務ではグリーンアノールの新たな防除技術を開発し、これまでの技術と組み合わせて地域的な根絶を図るための防除戦略を確立することを目的とする。

３．研究開発方法

（１）爬虫類に対する化学物質の致死性に係るレビュー

複数の文献検索エンジン（Web of science、Google scholar、CiNii 等）を用いて、関連文献を収集した。検索のキーワードには、対象分類群（爬虫類［reptile］、有鱗類［Squamata］、トカゲ類［lizard, Sauria］、アノール類［anole, Anolis, Polychrotidae］、グリーンアノール［green anole, Anolis carolinensis］等）と防除技術（ワナ［trap］、殺虫剤［pesticide］、くん蒸［fumigation］等）、防除戦略（管理［control］、根絶［eradication］、戦略［strategy］等）等を組み合わせて用いた。特に燻蒸等の化学的防除手法については、国内外の毒ヘビ対策やグアム島の外来ヘビ類対策などから、本種への応用が期待される薬剤の種類、投与手法、投与濃度に関する情報を重点的に収集整理した。

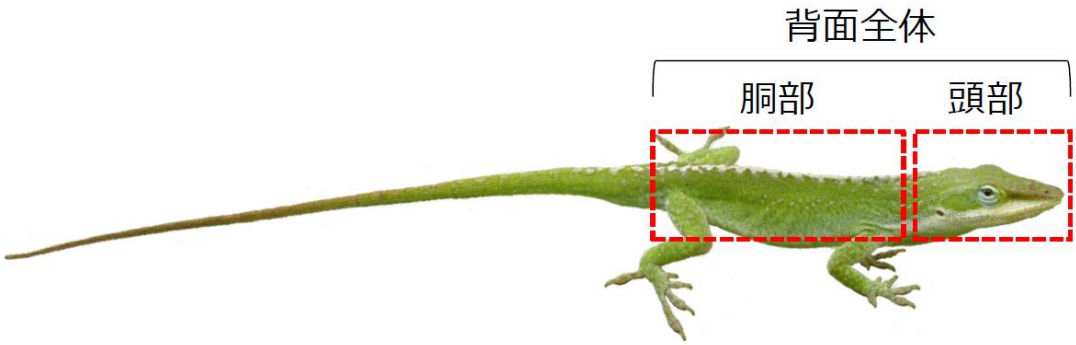
（２）グリーンアノールに対する室内における化学物質の致死性

予備的な試験の結果、ピレスロイド系の市販の殺虫剤（有効成分フェンプロパトリン、プラレトリン、フタルスリン、レスメトリン、ピレトリン）はいずれもグリーンアノールに対して致死的であり、また殺虫剤の溶媒として用いられているケロシンも致死性を有することが判明した。また、致死性と即効性はフェンプロパトリンを用いた製品が最も高いことも判明した。よって、ここではピレスロイド系薬剤であるフェンプロパトリン（商品名・ハブノックネオ）、ピレトリン（商品名・ピレトリン）と、それらの溶媒としてよく用いられるケロシンをグリーンアノールに塗布して、致死性を測定した。

薬剤はそれぞれの製品の原液を用いた。図(3)-１の通り、注射器で薬剤をアノールの頭部、胴部、背面全体の 3 ヶ所に分けて塗布し、10 分後、1、3、24、48 時間後の経過を観察した。各条件における死亡時間と死亡率をまとめた。

薬剤名	塗布量（滴）	塗布部位
フェンプロパトリン	5	頭部
	5	胴部
	30	背面全体
ピレトリン	5	頭部
	5	胴部
	30	背面全体
Cont.(ケロシン)	5	頭部
	5	胴部
	30	背面全体
Cont. (投与無し)	―	―

（5滴:0.015ml、30滴:0.09mlに相当）



図(3)-１　グリーンアノールに対する化学物質の塗布試験

（３）グリーンアノールの高温処理に係る試行

空間の温度調節、すなわち熱でグリーンアノールを致死させることができれば、化学物質を使用しない熱燻蒸が可能となる。ここでは、温度を調節した閉鎖空間に収容したアノールについて死亡条件を確認した。プラスチック製の密閉容器に父島産のグリーンアノールと温度ロガーを入れて、ガスコンロと金属製の鍋を用いた湯煎により 45、50、55℃の温度条件をそれぞれ 10 分間維持し、グリーンアノールの状態を観察した。各設定温度における死亡時間と死亡率を記録した。アノールが完全に不動化した時点で死亡したと判定した。3 つの温度区分について、各 5 個体、計 15 個体のグリーンアノールを用いた。

（４）グリーンアノールに対する野外における薬剤の効果実証試験

１）野外の温室における薬剤の効果実証試験

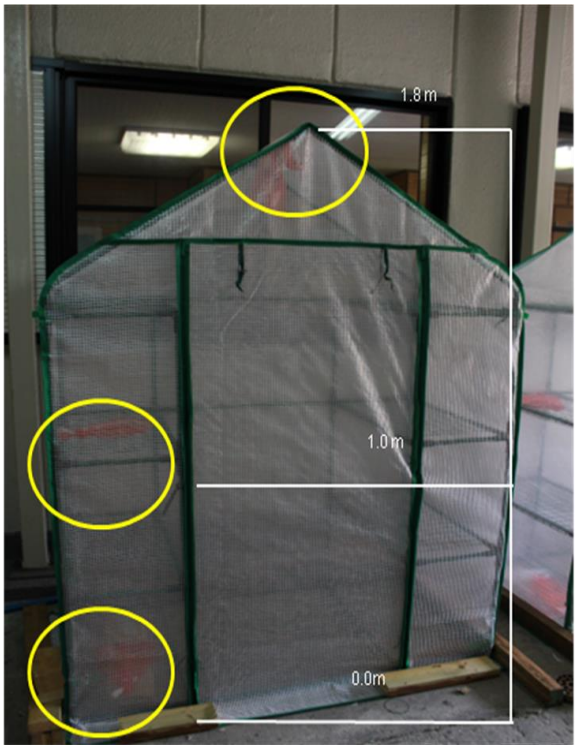
野外実験によって薬剤燻蒸・温度の致死条件を探り、特に植生が密生した場所での燻蒸および高温による防除の可能性について検証した。燻蒸を行う際には薬剤が拡散しないように空間を囲

う必要があるが、日当たりのよい場所において、囲われた空間は日中に高温となり、熱の効果も期待できる。よって今年度の試験では、野外に温室を設置して夏期に試験を行い、「薬剤＋熱」の複合的な効果の検証を目指した。

なお、昼間と夜間ではグリーンアノールの逃避行動に差があると考えられ、昼行性のグリーンアノールは夜間には薬剤等から十分に逃避できず、その結果として薬剤散布の効率がより高まる可能性が考えられた。よって、同一の薬剤燻蒸を昼間のみならず夜間にも実施して、燻蒸の効果を比較した。

調査は平成 24 年夏と秋に父島において実施した。ギンネム（木本）及びセンダングサ属（草本）が優占する箇所を選び、底面が開いた小型の温室（高さ 195cm、幅 143cm、奥行き 73cm、容積 2m^3、壁面は半透明の塩化ビニール製；図(3)-2）を設置した。温室内にグリーンアノールを放し、これらとは別に、グリーンアノールを収容した網袋を地上 1.8m、地上 1.0m、地表面にそれぞれ配置した。温室内を薬剤（有効成分フェンプロパトリン・製品名「ロディー」・原液(フェンプロパトリン 10%)を 100 倍に希釈して有効成分を 0.1%としたもの）を噴霧した。噴霧には噴霧器（商品名「マイクロジェン」）を用い、噴霧粒子 95%・1～20μm/MMD、噴霧量 40ml/min で 90 秒間噴霧した（噴霧量は 60ml）。対照区として、同一の地点に同一の温室を設置してアノールを収容し、薬剤を用いずに水だけを噴霧した（熱だけの効果を測定）。データロガーを用い、温室内の温度を 5 分ごとに記録した。

「昼間の試験」として上記を午前 10 時から 12 時に開始し、「夜間の試験」として上記を 19 時から 0 時までの間に開始した。それぞれ、試験開始の翌朝にアノールの生死を確認した。各々の試験に供したアノールの個体数を表(3)-1 に示した。



図(3)-2　燻蒸試験に用いた温室。これを野外に設置した。

表(3)-1　燻蒸試験に用いたグリーンアノールの個体数

	昼間の試験		夜間の試験	
	試験区（薬剤噴霧）	対照区（水を噴霧）	試験区（薬剤噴霧）	対照区（水を噴霧）
1.8mに保定	18	15	16	12
1.0mに保定	17	13	16	12
地表に保定	46	37	16	12
温室内に放逐	37	43	8	6

２）燻蒸の実践に向けた野外における薬剤の効果実証試験

これまでの試験により、グリーンアノールはピレスロイド系薬剤に感受性があり、燻蒸処理することで一定割合を致死できることが確かめられた。また、燻蒸処理を行なう時間帯としては、昼間よりも夜間において効果が高いことも確かめられた。また行動観察等から、野外ではグリーンアノールは密生した草本や積み重なった落葉、樹冠部などの比較的複雑な構造物の周辺に生息しており、葉と葉の隙間などを隠れ家にすることも分かってきた。ここでは、積み重ねた枯葉に潜んだアノールを駆除する方法の開発を目的に、薬剤燻蒸処理の効果を検証した。

実験は 2013 年 11 月に父島の洲崎で実施した。グリーンアノールが多く生息する環境を模倣して、枯枝と枯葉を積み上げ（1.5×1.5×高さ 0.8m：約 3m^2）、１回の試行につきその内部に個体識別標識を施したグリーンアノール（10 個体程度）を投入した。一定時間放置し、その後、夜間に個体が睡眠状態になってから燻蒸処理を実施した。構造全体を網袋で覆み、グリーンアノールの脱出を防いだ。さらに、薬剤処理の直前に、その外側を薬剤が漏れないようにビニールシートで包んだ。

ピレスロイド系薬剤を有効成分とする 2 種の市販薬を用いて 2 つの実験を行い、それぞれの実験で処置後、12 時間後と 24 時間後の個体の状態を記録した。

◆実験 1：ロディー乳剤（有効成分：フェンプロパトリン［合成ピレスロイド］10%）を水道水で 10 倍希釈し、噴霧機（製品名：マイクロジェン）を使って枯葉全体に 2 分間噴霧した。

◆実験 2：バルサン（25ｇ缶／有効成分：ペルメトリン［合成ピレスロイド］4 %、メトキサジアゾン 3 %）1～3 個を用いて薬剤処理を行なった。

（５）グリーンアノールの誘引及び忌避の手法に係る試験

小笠原のグリーンアノールの防除において、トラップによる捕獲やフェンス等を用いた個体の遮断が実施されているが、より効率的な防除のために、アノールの誘引及び忌避の手法確立が求められる。誘引物を用いた新型トラップでより効率的に捕獲する手法や、グリーンアノールの侵入を防止すべき箇所に忌避物を用いる等の応用が想定される。本研究においては次の 2 つの試験を実施した。

１）グリーンアノール生体を用いた誘引及び忌避の試験

アノール類は視覚が発達した動物であり、頭部を上げ下げする行動（ボビング）や咽喉垂（デュラップ）を広げて誇示するなど、同種他個体とのコミュニケーションが知られている。小笠原のグリーンアノールにおいてもこのような行動が頻繁に観察され、本種が他の個体に接近したり

逃避する様子がしばしば目撃される。今後はグリーンアノールの模型を用いた誘引及び忌避の手法検討が求められるが、その一環として、今年度はオトリ個体（同種他個体）に対する反応を検証した。

試験は 2012 年秋期に父島・小港のヤシ並木において実施した。午後 14 時頃、捕らえたグリーンアノール 1 個体をオトリとして長さ 1mのテグスで樹幹に保定し、その樹幹に粘着トラップ 1 個を装着して 1 日ごとにトラップ点検し、捕獲個体を記録した。

２）刺激性のある薬剤に対する忌避試験

燻蒸に伴う薬剤の刺激により、個体の行動が変化するかどうかを検証した。試験は東京都台東区において実施した。気温約 25℃に保った室内において、2 室を接続したケージ（容量各 2 リットルのペットボトルをつないだもの）に父島産のグリーンアノール 1 個体を入れ、2 室を自由に行き来できる条件下で、グリーンアノールが定位している側のケージ内に薬剤（液体）を染み込ませた脱脂綿の入った皿を、反対側のケージには水を染み込ませた脱脂綿の入った皿を、それぞれ個体を刺激しないよう静かに設置した。個体の移動等を 24 時間にわたり観察し、退避反応等を評価した。薬剤としてフェンプロパトリン 1%溶液（「ロディー」10%希釈液）及びハッカ油を用いて、試験区に 11 個体、対照区として水を入れた皿を置いたもの 10 個体をそれぞれ観察した。

３）今後の誘引・忌避の手法の確立に資する情報の取りまとめ

海外における外来爬虫類等の防除事例に係る文献調査を実施した。Google scholar を中心としたインターネットを用いて「爬虫類: reptiles」「防除: control」等のキーワードを含む文献を検索した。文献調査の結果及び上記１）２）の結果等を踏まえ、今後の誘引・忌避の手法の確立に資する情報を取りまとめた。

（６）グリーンアノールの野外における行動圏の把握

グリーンアノールを空間から排除するためにトラップ設置や薬剤処理を行う際、個体の行動特性を考慮しておくことが重要である。しかしながら、小笠原における本種の微環境利用や移動パターン等の行動特性は、これまでほとんど調べられていなかった。本調査では、ラジオテレメトリー法により同一個体の行動を継続して観察した。本種は隠蔽性（物陰に潜む性質）が高いが、電波を手掛かりとして探索することで、目視での発見が難しい場合も個体を追跡できた。

調査は 2013 年 9 月に父島の東平地域の乾性低木林で実施した（図(3)-3）。調査に先立ち、同地域でグリーンアノール５個体（オス 3 個体、メス 2 個体）を捕獲し、性別や体サイズ（頭胴長、体重等）を記録し、小型発信器（ハーネスを含めて 0.4g）を装着して捕獲地点に放逐した。その後、テレメトリー調査を開始し、発信器から発する電波を頼りに各個体を 1～3 週間追跡した。個体を発見した場合は、日時、位置を記録し、また利用している微環境を評価するため、止まり木の種類、高さ、太さ、個体の被陰の程度等についても記録した。同一個体から 3 回以上のデータが得られた場合は、発見地点を平面上にプロットし、これら全てを含む多角形の水平面積を調査期間における当該個体の行動圏と定義した。

調査地の景観

発信器を装着したアノール

図(3)-3　調査地と追跡個体の様子

（７）グリーンアノールの地域的な根絶を図るための防除戦略の取りまとめ

これまで研究成果、及び環境省などによる防除事業の報告書等をもとに、小笠原のある地域を想定して、他所からそこへの拡散、定着を防ぐための手法、小規模に定着が確認された際の初期防除の手法、既に定着したアノールを地域的に根絶するための手法等を想定して、防除戦略を取りまとめた。

４．結果及び考察

（１）爬虫類に対する化学物質の致死性に係るレビュー

爬虫類の防除に活用できそうな情報は、特定のヘビ類（ミナミオオガシラ *Boiga irregularis*）に偏っていた（表(3)-2，3）。ミナミオオガシラについては、化学物質の経口投与について複数の実験データが得られた。また、グリーンアノールでも化学物質の経口投与実験のデータがあった。いずれもアノールの化学的防除手法を開発する際に、参考になると考えられる。

爬虫類に対しては様々な化学物資の影響が評価されているが、ピレスロイドの効果が比較的高いことが分かった。ピレスロイドは、有機リンやカーバメート等と比べて、扱いが比較的容易であることから、グリーンアノール防除への応用も期待できる。また、燻蒸に関する既存データとして、大型ヘビ類の実験結果が得られた。この結果、大型ヘビ類では、ピレスロイドの致死効果は十分ではないと結論されていたが、対象種の体サイズが大型であることも関係していると推測される。

グリーンアノールを含むトカゲ類に対してはピレスロイド類が致死性を示し、経皮、経口、燻蒸のいずれの投与手法でも有効に作用することが示唆された。これまで、外来トカゲ類の防除に化学物質が用いられた事例はないが、ピレスロイド類をアノールの防除に応用できる可能性は高いと考えられた。他方、カーバメートや有機リンも爬虫類に対する致死効果が高いことが分かったが、ヒトを含む他の生物への毒性が高く、取り扱いも難しいため、実用可能性は低いと判断された。

表(3)-2　爬虫類における化学物質暴露後の致死性（ピレスロイド系）

化学物質		対象種	液体塗布			出典
		和名	経皮	経口	底質	
合成ピレスロイド	アレスリン	ミナミオオガシラ	○	○		Brooks et al. (1998b)
	レスメトリン	ミナミオオガシラ	○	○		Brooks et al. (1998b)
	ピレトリン	ミナミオオガシラ	○	○		Brooks et al. (1998b)、Brooks et al. (1998c)
	ニコチン	ミナミオオガシラ	○			Brooks et al. (1998b)
	ロテノン	ミナミオオガシラ	○	○		Brooks et al. (1998b)
	ペルメトリン	ミナミオオガシラ	×	△		Brooks et al. (1998b)、Brooks et al. (1998c)
	フェンバレレート	ミナミオオガシラ	×	△		Brooks et al. (1998b)
	フェノトリン	ミナミオオガシラ	×	×		Brooks et al. (1998b)
	テトラメトリン	ミナミオオガシラ	×	×		Brooks et al. (1998b)
	ジファシノン	ミナミオオガシラ	×	○		Brooks et al. (1998b)
	ピペロニルブトキシド	ミナミオオガシラ	×	×		Brooks et al. (1998b)
	ワルファリン	ミナミオオガシラ		(○)		Brooks et al. (1998b)
	コレカルシフェロール	ミナミオオガシラ		×		Brooks et al. (1998b)
	デルタメトリン	スポッテッドスナトカゲ	○		×	Alexander et al. (2005)
		ナマカスナトカゲ	○		×	Alexander et al. (2005)
天然ピレトリン +合成ピレスロイド	ピレトリン +ピペロニルブトキシド	グリーンアノール	○			Talent (2005)

表(3)-3　爬虫類における化学物質暴露後の致死性（有機リン系など）

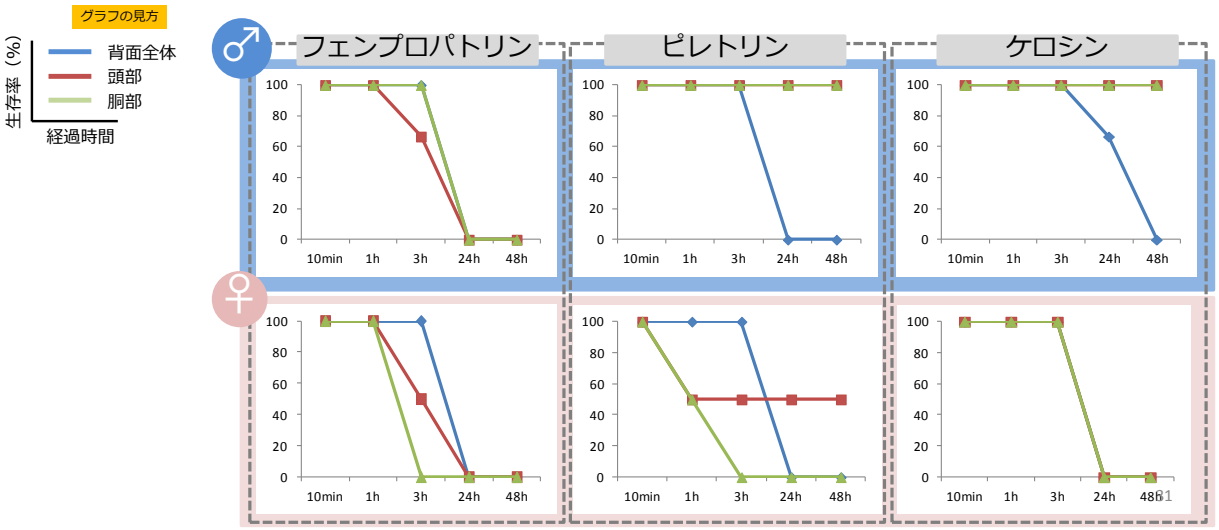
化学物質		対象種	液体塗布			出典
		和名	経皮	経口	底質	
フェニルピラゾール系	フィプロニル	デュメリルフサアシトカゲ		△		Peveling and Demba (2008)
ニトロ化合物	2,4,6-トリニトロトルエン	ニシカキネハリトカゲ		○		McFarland et al. (2008)
	ヘキサヒドロ1,3,5-トリニトロ-1,3,5トリアジン(RDX)	ニシカキネハリトカゲ		○		McFarland et al. (2009)
	2-アミノ-4,6-ジニトロトルエン	ニシカキネハリトカゲ		○		McFarland et al. (2011)
	2,4-ジニトロトルエン	ニシカキネハリトカゲ		○		Suski et al. (2008)
有機リン系	メチルパラチオン	グリーンアノール		○		Hall and Clark (1982)
	マラチオン	グリーンアノール		○		Hall and Clark (1982)
	アジンフォスメチル	グリーンアノール		○		Hall and Clark (1982)
	パラチオン	グリーンアノール		○		Hall and Clark (1982)
アニリン系	アセトアミノフェン	ツナギトゲオイグアナ		×		Avery et al. (2011)
		ミナミオオガシラ		○		Engeman and Vice (2001)、Johnston et al. (2002)
カーバメート系	プロポキスル	ミナミオオガシラ	○			Brooks et al. (1998a)
その他	酢酸鉛（無機鉛）	ニシカキネハリトカゲ		○		Salice et al. (2009)
	リン化亜鉛	ツナギトゲオイグアナ		○		Avery et al. (2011)
	臭化メチル	ミナミオオガシラ	○	○		Savarie et al. (2005)

（２）グリーンアノールに対する室内における化学物質の致死性

ピレスロイドの一種であるピレトリン（有効成分 10%）を 2 m^3 の閉鎖空間に充満させる室内燻蒸実験（7 条件、計 42 個体）では、濃度 60ml/ m^3 の条件でアノールの致死率が 70%程度に達することが確認された。また、より効果的な薬剤を探索することを目的に、市販のピレスロイド類 5 種（フェンプロパトリン、プラレトリン、フタルスリン＋レスメトリン、ピレトリン）について投与部位と投与量を操作して行った経皮投与実験（15 条件、計 75 個体）では、フェンプロパトリンの致死性がもっとも高く、投与部位（頭部、胴部、背面全体）による効果の違いは認められなかった（図(3)-4）。雌雄差も確認されなかった。フェンプロパトリンの場合、0.015ml を頭部と胴部のいずれかの部位に付着させれば致死率を 100%にできることが確認された。

今年度の実験から、0.015ml という微量の薬剤を体表面に付着させることでグリーンアノールを確実に致死できることが示された。よって次年度は、野外に閉鎖空間を設置して効率的な燻蒸手法を検証するとともに、在来昆虫類等への影響を測定することで、実用可能な薬剤燻蒸の技術の確立を図る。また高温処理については非標的生物に対する影響が小さいと推測されることから、ある空間からグリーンアノールを排除する有力な手段となる可能性が高い。

これらの技術は既存の粘着トラップ、遮断柵等と併用することにより、これまで根本的な対策方法が示されていない資材の検疫や、未侵入の島嶼への侵入時の緊急防除など、様々な局面に対応できると期待される。



図(3)-4　グリーンアノールにおける薬剤 3 種に対する致死率の推移

（３）グリーンアノールの高温処理に係る試行

高温処理試験の結果を表(3)-4 に示した。気温 45℃の場合は 10 分以内に死亡せず、50℃の場合には 9 分間維持された条件で、また 55℃の時には 4 分以内で、それぞれ致死率が 100%となることが確認された。高温処理を実施できる条件は限られているが、亜熱帯の小笠原では夏期の炎天下、密閉された容器内ではこの程度の温度に達することが期待され、時期と空間範囲を限定したグリーンアノール捕殺のためには熱燻蒸が有効であると考えられる。

表(3)-4　高温処理試験の結果

設定温度（℃）	実験個体数(死亡個体数)			平均所要時間（min）		
	雄	雌	計	雄	雌	計
45	3(0)	2(0)	5(0)	—	—	—
50	3(3)	2(2)	5(5)	9.0 ± 1.0	9.0 ± 1.4	9.0 ± 1.0
55	3(3)	2(2)	5(5)	4.0 ± 1.7	2.5 ± 2.1	3.6 ± 2.0

（４）グリーンアノールに対する野外における薬剤の効果実証試験

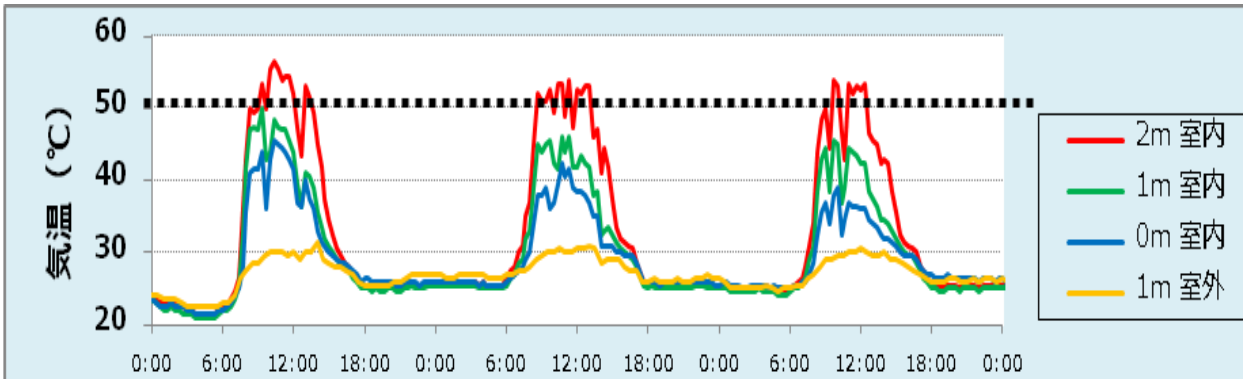
１）野外の温室における薬剤の効果実証試験

a. 夏期の温室における温度変化

試験を行った温室内の温度を表(3)-5 及び図(3)-5 に示した。7 月から 10 月にかけて、密閉された温室内の日中の温度は対照区（外気温）よりはるかに高温となり、地上高 1.8mにおいては最高 58.0℃、1.0mでも 56.0 度に達した。高温状態は、日中の数時間にわたり維持されていた。これより、夏期に高さ 2mまでの空間を密閉した場合にグリーンアノールの致死温度である 50℃を超える高温を維持できることが確認された。

表(3)-5　温室内の温度

	高さ	平均	± SD	最小	最大
温室内	1.8 m	30.3	± 8.2	15.0	**58.0**
	1.0 m	29.5	± 7.7	15.0	**56.0**
	0.0 m	28.7	± 5.5	16.0	**45.5**
対照区（地上 1m外気温）	1.0 m	26.6	± 2.2	22.5	31.5

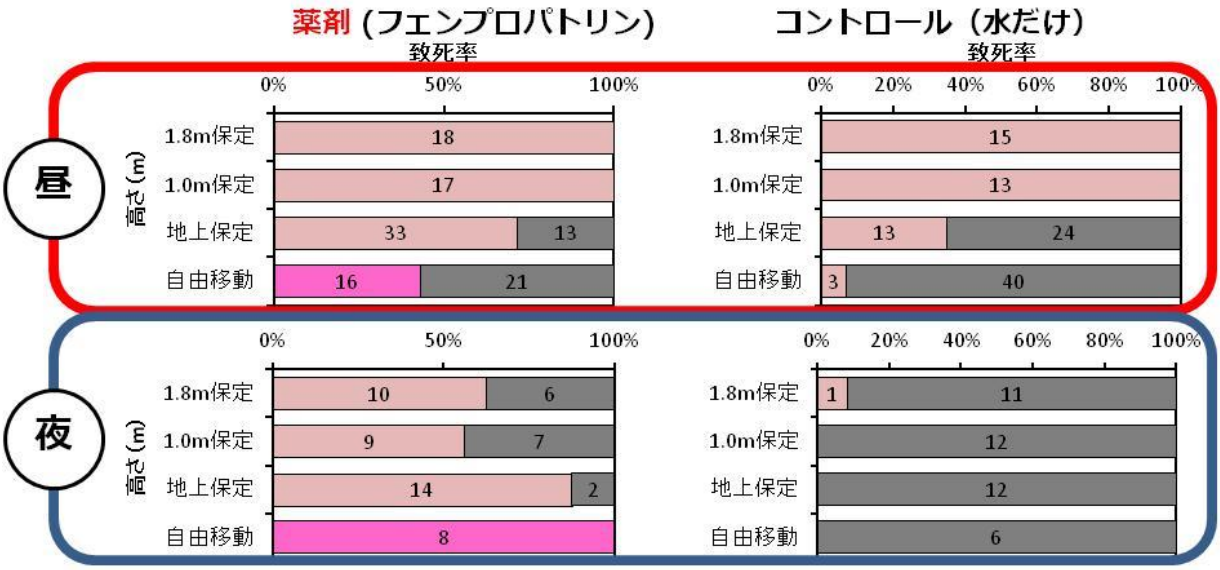


図(3)-5　温室内の温度の変化。破線は 50℃（グリーンアノールが 9 分間で致死する温度）を示す。

b. 日中及び夜間の野外燻蒸試験

野外燻蒸試験の結果を図(3)-6 に示した。昼間に実施した試験において、地上高 1.8m、1.0mに保定したグリーンアノールは試験区（薬剤噴霧）、対照区（水を噴霧）とも全数が死亡した。これは薬剤の効果に加えて熱の効果が作用したためと考えられ、7 月から 10 月の昼間においては、温室内の高い場所ではグリーンアノールを十分に致死させる温度が得られることが確認された。一方、地表に保定したグリーンアノールは試験区で 72%、対照区では 43%が死亡した。地表は温室上部と比べて温度があまり上がらず、致死率は上部に比べて低かった。また薬剤の効果は完全ではなく、30%近くの個体が生き残っていた。保定せずに温室内に放逐したグリーンアノールについては、試験区において 35%、対照区において 7%が死亡した。自由に動き回ることができる条件下では、薬剤濃度や温度が低い箇所を探して個体が動き回ること等により、致死率が低くな

るものと考えられた。



図(3)-6　昼間及び夜間の野外燻蒸試験の結果。桃色は死亡した割合を示す。数字は標本数。

一方、夜間試験では、試験区において地上高 1.8m、1.0mに保定したグリーンアノールは 62%、56%が死亡し、地表に保定したグリーンアノールは 88%が、温室内に放逐した個体については 100%が死亡した。対照区の個体はほとんど死亡しなかった。夜間においては熱の効果がなくなる一方で、薬剤の効果は昼間よりも高くなっており、自由に動き回っているグリーンアノールを薬剤によって致死させるためには、夜間の燻蒸がより効率的であることが示唆された。

２）燻蒸の実践に向けた野外における薬剤の効果実証試験

ロディーを用いた実験 1 では 57 個体、バルサンを用いた実験 2 では 75 個体（バルサン 1 個：10 個体、2 個：10 個体、3 個：55 個体）を対象に薬剤処理を行なった（図(3)-7）。両実験の結果を図(3)-8 に示す。この実験では、ロディーは噴霧の 12 時間後には約 3 割の個体が致死し、この値は 24 時間後も大きく変わることはなかった（致死率 4 割程度）。一方、バルサン（3 個）は 12 時間後の死亡率は 1 割程度とロディーと比べて低かったものの、時間経過とともに死亡率が高まり、24 時間後の死亡率は 7 割以上に達した。このことから、ロディーの有効成分であるフェンプロパトリンは即効性が高いこと、また、バルサンの有効成分であるペルメトリンは、フェンプロパトリンに比べて遅効的であることが示された。また、最終的な致死率が 2 つの薬剤間で差があった理由として、バルサン（3 個）の処理では薬剤投与量が多かったことが考えられるが、処理方法の違いも関係していると考えられる。バルサンで発生する微粒子（煙状）のサイズは噴霧機で作られるロディーの微粒子よりも小さいため、長く空中に漂い、積み重なった枯葉の細部まで薬剤が入り込んだと推測される。

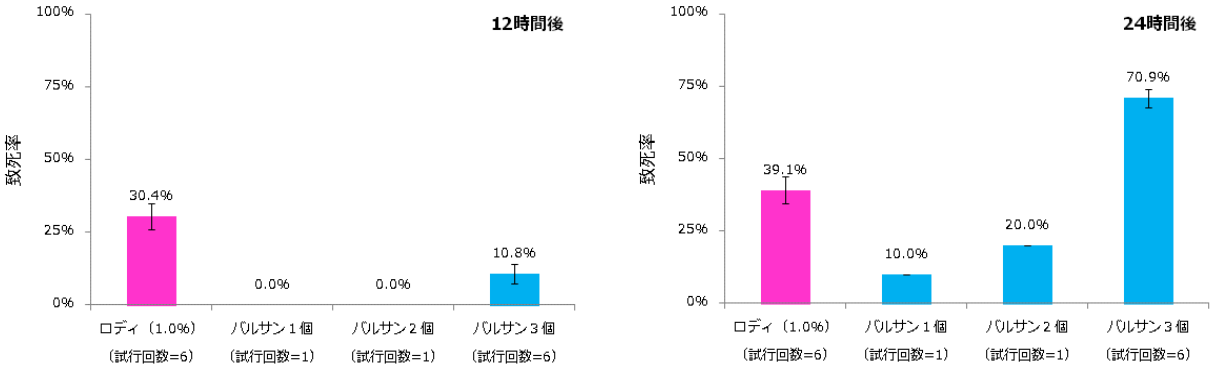
以上の検証結果から、狭い空間であれば、たとえかなり複雑な構造であっても、燻煙処理により内部のグリーンアノールを比較的高い確率で致死させられることが示された。この際、なるべく薬剤の粒子を小さくすることによって、効果を高めることが出来ると考えられる。致死率を高

めるためには、さらに検討を重ねる必要があるが、本技術は検疫等にすぐに応用できると考えられる。

燻蒸中の枯葉

燻蒸処理で死亡した個体

図(3)-7　燻蒸処理の様子



図(3)-8　燻蒸処理後 12 時間後（左）と 24 時間後（右）におけるグリーンアノールの致死率。

（５）グリーンアノールの誘引及び忌避の手法に係る試験

１）アノール生体を用いた誘引及び忌避の試験

オトリ個体を用いたトラップによる捕獲結果を表(3)-6 に示した。100 トラップ・日あたりの捕獲効率をみると、オスをおとりに使った条件では幼体は捕獲されず、雌雄成体の捕獲率はオトリなし（対照区）とそれほど違わなかった。また、メスをオトリに使った条件では、オスの捕獲効率が上昇していた。

表(3)-6　オトリ個体を用いたトラップの捕獲結果

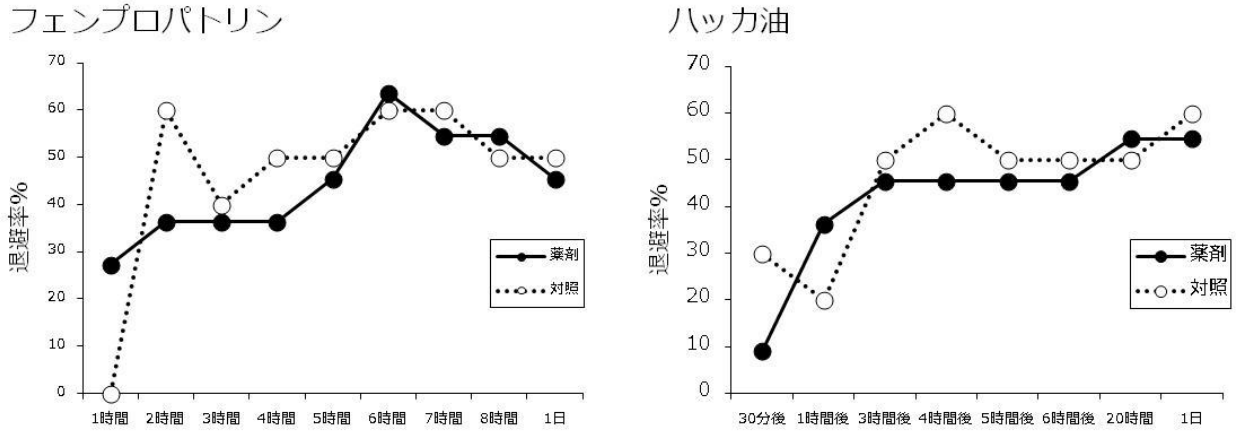
オトリ	試行数 (trap・day)	アノール捕獲個体数				捕獲効率（N/100trap・days）			
		オス	メス	幼体	全体	オス	メス	幼体	全体
オス	138	4	3	0	7	8.7	6.5	0.0	5.1
メス	132	5	2	7	14	11.4	4.5	15.9	10.6
対照(なし)	135	3	2	6	11	6.7	4.4	13.3	8.1

今後、グリーンアノールの誘引に生体（オトリ）を用いる場合には、オスを誘引し幼体を忌避させない点で、メスを使うのが効果的であると考えられる。また、少なくとも秋期にはオスは幼体から忌避されることが示唆され、幼体の侵入を防ぐためにオスのオトリが有効である可能性がある。個体群の効率的な防除のためにはメス成体を効率的に捕獲することが重要であるが、今回の試行ではオトリがメスを誘引または忌避させることは確認されなかった。また今回の試験においては、誘引された個体が必ずしも捕獲されるとは限らないことから、引き続き検討する必要がある。特に成体においては社会行動の活性が重要なので、別の時期（頻繁に交尾が観察される 4 月から 6 月頃）にも同様の実験を行うことが望まれる。

２）刺激性のある薬剤に対する忌避試験

フェンプロパトリン（ロディー）及びハッカ油に対するアノールの反応を図(3)-9 に示した。グリーンアノールが薬剤入りの皿と反対側の容器に移動した率（退避率）をみると、試験区と対照区の間で差が認められず、本試験においては、刺激性のあるこれらの薬剤を避ける行動は認められなかった。なお、ハッカ油を用いた際には退避はしないが嘔吐をした個体が複数確認された。

グリーンアノールは致死的な薬剤であるフェンプロパトリンを含む化学物質を忌避せず、嘔吐を引き起こすような嫌忌的な刺激からも退避しないので、薬剤に暴露されやすいことが示唆された。ただし、今回の結果は容器内で得られたものであり、野外における行動については別途調べることが望まれる。



図(3)-9　刺激性のある薬剤に対するアノールの反応。アノールがいる容器に薬剤入りの皿を置き、アノールが反対側の容器に移動した率を退避率として示した。

３）今後の誘引・忌避の手法の確立に資する情報の取りまとめ

文献調査においては、ミナミオオガシラ等の爬虫類を対象とした防除事例に係る文献 20 件を収集して要約した。文献調査の結果及び上記（１）（２）の結果等を踏まえ、今後の誘引・忌避の手法の確立に資する情報を表(3)-7 の通り取りまとめた。

表(3)-7　今後の誘引及び忌避の手法確立に係る情報。

モデル	実物を提示	模型を提示 （動力なし）	模型を提示 （動力あり）
昆虫 （捕食対象）	ミールワーム・イモムシ 翅のある昆虫（チョウ、トンボ、ハエ等）	プラスチックワーム（ルアー釣用） 毛鉤（淡水魚の釣用）	イモムシ型ロボット 翅虫型ロボット Garden Solar Butterfly
天敵	（鳥類） （ヘビ類）	鳥類模型（イソヒヨドリ、ノスリ、他の猛禽類棟） ヘビ類模型	鳥型ロボット（鳴声つき） ヘビ型ロボット
アノール	グリーンアノール生体 （雄・雌・幼体）	雄アノール模型 雌アノール模型	雄アノールロボット ﾃﾞｭﾗｯﾌ（喉袋）とﾎﾞﾋﾞﾝｸﾞ 雌アノールロボット

※グリーンアノールの誘引及び忌避に利用可能と思われる実物・模型等の事例

なお、これらの実用化に際しては次のような開発のステップが必要になると考えられる。

①目的の明確化、開発スペックの決定、分担・予算・スケジュール等の検討

②効果測定のための指標の決定（提示実験のデータの取り方）

③プロトタイプの開発

④飼育下または野外における提示実験　＜もしうまく行かなければ③に戻る＞

⑤精巧タイプの開発

⑥提示実験　＜もしうまく行かなければ③に戻る＞

⑦実用化に向けた検討（コスト試算、環境配慮など）

（６）グリーンアノールの野外における行動圏の把握

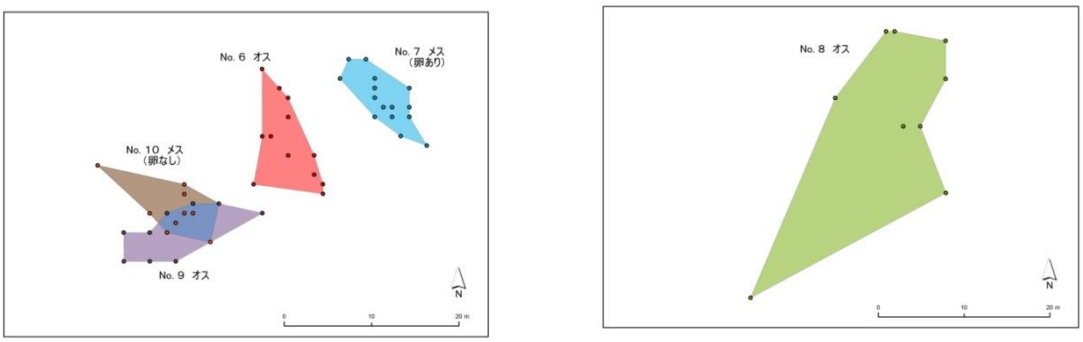
調査期間中に個体の位置をのべ 72 回（目視：25 回、電波確認のみ：47 回）にわたり特定することができた。得られた結果から算出されたアノールの行動圏は総じて小さく（平均±SE ＝ 109.8±55.2 m^2）、面積が最大の個体でも 330.2m^2 であった（表(3)-8、図(3)-10）。また、同一個体が同じ定位場所を繰り返し利用する様子が複数回観察された。本調査は乾性低木林で実施したが、調査の結果、植生が連続していてアノールの移動が妨げられないように見える環境においても、グリーンアノールは高い定住性を有し、あまり移動しないことが示された。また、本調査の最中に台風が通過し調査地は強風と大雨に曝されたが、その前後でグリーンアノールの定位場所の変化は確認されなかった。

樹冠部に登った個体（個体 ID:8）は常に植生の中～上層に定位しており、調査期間を通して地上付近に降りてくるのは一度も確認されなかった（図(3)-11）。このことから、グリーンアノールは樹冠部を生息環境として普通に利用しており、樹冠部だけ長期間を過ごす可能性が示唆された。現在のグリーンアノール防除は樹幹に設置されたトラップが用いられているが、この方法のみでは樹冠部の個体が捕獲されにくいと考えられる。

表(3)-8　追跡個体の体サイズと観察期間中の行動圏等

個体ID	性別	頭胴長(mm)	尾長(mm)	体重(g)	発信器重量*(%)	備考	観察回数	行動圏(m^2)	定位場所の高さの平均(m^2)
6	M	62.5	118.1	6.9	6.38		19	63.2	63.2
7	F	55.2	92.6	5.8	7.76	小卵あり	19	42.9	42.9
8	M	68.2	129.4	7.0	5.71		13	330.2	330.2
9	M	63.3	110.5	6.8	5.88		10	59.3	59.3
10	F	56.7	81.8	4.2	9.52	卵なし	11	53.3	53.3

* 体重に占める発信器重量の割合.



図(3)-10　グリーンアノールの行動圏

図(3)-11　グリーンアノールが利用していた定位場所の高さ

（７）グリーンアノールの地域的な根絶を図るための防除戦略の取りまとめ

グリーンアノールの防除戦略として、下記の通り取りまとめた。

１）防除戦略の目的

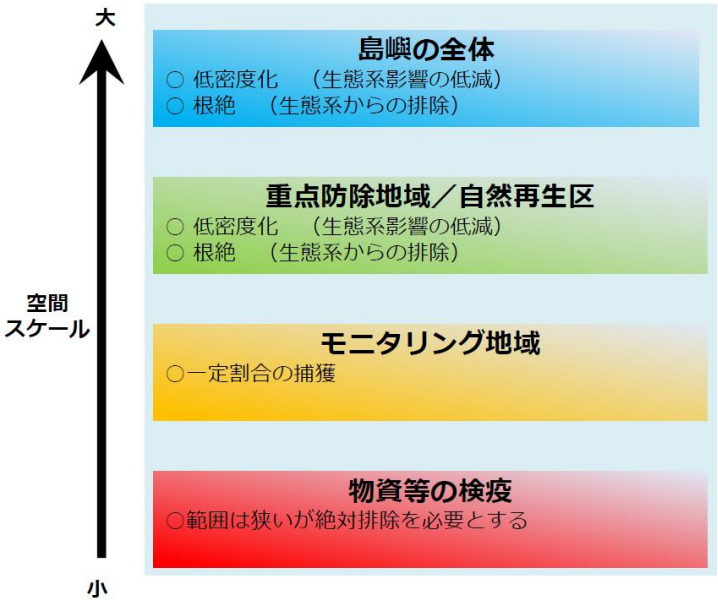
・ 生物多様性保全の観点から重要な小笠原地域において、グリーンアノールの定着段階（分布域面積・密度）に応じた防除目標と防除手法を提示すること。
・ グリーンアノールの定着段階は表(3)-9 の通りに区分する。

表(3)-9　アノールの定着段階

定着の段階	状態	地域の例
①未侵入	アノールの記録なし	兄島以外の属島
②定着初期	少数のみ記録	兄島南東部
③分布拡大期	一部地域で多数	兄島南西部
④蔓延期	広域で多数	父島・母島

２）防除に係る空間スケール

・ 地域的な根絶を図るための防除において、複数の空間スケールが想定され、それらは一例として図(3)-12 のようにまとめられる。
・ 島嶼全体からの根絶を図る場合、その一部である重点防除地域からの根絶を行う場合、ごく狭い空間である物資等の検疫・消毒を行う場合等、複数の空間スケールを想定して防除を行うことが重要である。



図(3)-12　防除の空間スケール

3）小笠原におけるアノール防除の目標

・ 小笠原諸島世界自然遺産地域科学委員会事務局（2013）、戸田ほか（2009）より、防除の目標は次の通りまとめられる。

◆最も優先される事項

○定着域から他の島嶼への侵入防止

○定着初期の個体群の排除

◆次いで優先される事項

○個体の遮断による分布域の拡大防止

○蔓延状態からの個体群の排除　（グリーンアノール排除を通した自然再生）

・ この際、地域的な特性を考慮すべきであることが指摘されている。（保全上の重要性、作業効率、防除作業の 悪影響の程度　等）　。

4）定着の各段階におけるアノール防除の考え方

・ 図(3)-13～16 の通りまとめられる。

■防除目標
○個体群の早期の完全排除
■防除手法
【早期発見・早期防除の実施】
○「センサートラップ」の設置
○生息地がごく狭い（数m以内の）場合、燻蒸による防除を実施
○多数の粘着トラップの設置による密度低減化（1,000個/haのﾄﾗｯﾌﾟ密度を維持）

←本サブテーマの成果を活用できる

※粘着トラップは効果的であるものの、これだけでは根絶が困難であることが示唆されている(環境省事業より)。

→　ベイト剤を用いた新たな防除技術の確立が必要

図(3)-13　未侵入地域における防除の目標と手法

■防除目標
○定着域からの侵入・定着の防止
■防除手法
【検疫の徹底】
○資材の検疫（燻蒸、熱燻蒸）←
○侵入ハザードマップの作成
○属島利用者への普及啓発

本サブテーマの成果を活用できる

【早期発見・早期防除の実施】
○粘着トラップを用いた「センサートラップ」の設置
（1箇所に150個のトラップを設置して2週間後、4週間後に点検(環境省事業より)）

図(3)-14　定着初期の地域における目標と手法

■防除目標
○他地域への拡散防止（供給源にしない）
○保全上特に重要な地域における密度低減化と自然再生
■防除手法
【拡散防止】
○多数の粘着トラップの設置による密度低減化
（1,000個/haのﾄﾗｯﾌﾟ密度を維持）

【密度低減化】
○アノール遮断フェンスと
粘着トラップを組み合わせた
地域的な密度勾配の形成、維持

図(3)-15　分布拡大期の地域における目標と手法

■防除目標
○分布域の拡大防止
○密度の低減化を経て個体群の完全排除
■防除手法
○「アノール遮断フェンス」の設置
（支柱＋ネット＋フッ素系樹脂製の
「返し」によってアノールの移動
を阻害して個体群の拡大を防止）
○多数の粘着トラップの設置による
密度低減化
（1,000個/haのﾄﾗｯﾌﾟ密度を維持）

図(3)-16　蔓延期の地域における目標と手法

以上の考え方により、防除が必要な地域の面積、定着段階、目標を設定し、当該地域におけるグリーンアノールの定着段階に応じた防除手法を効率的に検討することが可能となる。

５．本研究より得られた成果

（１）科学的意義

本研究では、グリーンアノールの薬剤に対する感受性を明らかにして、高温処理と合わせて野外の限られた空間での防除手法の開発に資する基礎的な情報を提示した。昆虫類や魚類等では、多くの種で農薬や殺虫剤への感受性が確かめられているが、爬虫類はほとんどの場合で研究対象にされてこなかった。さらに、防除に応用できる複数の要因（ここでは薬剤と温度、誘引と忌避）を組み合わせて実用化するための道筋を示した点は、保全生態学の観点から重要性が高いと考えられる。

（２）環境政策への貢献

＜行政が既に活用した成果＞

世界自然遺産地域である小笠原諸島において、昆虫類を大規模に食害するグリーンアノールへの対策は急務であり、本研究で開発された新規防除手法と防除戦略は、環境省等が進めるグリーンアノール防除事業にも直ちに応用可能で、防除の進展に大きく貢献すると考えられる。本研究成果に示される根絶という最終目標に向けての重要な岐路になると期待される。

現在、兄島にはグリーンアノールの緊急的対策の一環として、防除柵等の資材が大量に持ち込まれているが、本研究では開発した薬剤防除手法は、環境省が実施した「平成 25 年度小笠原自然再生事業兄島グリーンアノール柵設置業務」において実際に活用された。この事業においては、グリーンアノールの北進を抑制するために鉄筋、プラスチック製ネット、フッ素系樹脂シート等の資材が大量に用いられた。これらの資材は計 3 トンに及び、本州から父島を経て兄島に運び込まれた（図(3)-17）。運搬の際、父島からのグリーンアノールの混入防止のために、全ての資材は父島に保管されたコンテナ内においてピレスロイド系薬剤（バルサン）にて燻煙された。

写真協力：環境省小笠原自然保護官事務所

図(3)-17　兄島グリーンアノール柵設置業務で用いられた資材

＜行政が活用することが見込まれる成果＞

小笠原諸島はユニークな生物多様性が評価され世界遺産に登録されているものの、外来種による生態系被害が深刻で、特に昆虫類を大規模に食害するグリーンアノールへの対策は急務といえる。本研究で開発する新規防除手法と、今後それに基づいて構築される防除戦略は、環境省等が進めるグリーンアノール防除事業にも直ちに応用可能で、防除の進展に大きく貢献すると考えられる。本研究成果に示される根絶という最終目標に向けての重要な岐路になると期待される。

野外における薬剤の効果実証試験においては、複雑な構造の中に潜んでいるグリーンアノールの防除方法について検討し、ピレスロイドによる燻蒸・燻煙処理が有効であることを確認した。本種は積み重なった枯枝や密生した草本のある環境に好んで生息するため、野外に放置した物資を移動する際に、その内部に潜んだ個体を非意図的に移動させてしまうことが懸念されている。本研究で開発した手法は、こうした物資の検疫に効果を発揮すると考えられる。

６．国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

７．研究成果の発表状況

（１）誌上発表

＜論文（査読あり）＞

1) M. TODA, N. KOMATSU, H. TAKAHASHI, N. NAKAGAWA and N. SUKIGAEA: Current Herpetology 32, 82-88 (2013)
"Fecundity in captivity of the green anoles, *Anolis carolinensis*, established on the Ogasawara Islands."

＜論文（査読なし）＞

特に記載すべき事項はない。

（２）口頭発表（学会等）

1) 戸田光彦：爬虫類と両生類の臨床と病理のための研究会（2011）
「爬虫両生類を巡る外来生物問題」
2) H. TAKAHASHI and M. TODA: Joint Meeting of The 59th Annual Meeting of ESJ & The 5th EAFES International Congress, Shiga, Japan, 2012
"Struggle with the alien anole in a World Heritage Island, Ogasawara"
3) 髙橋洋生・秋田耕佑・中川直美・鋤柄直純・戸田光彦：日本爬虫両棲類学会第51回大会(2012)
「グリーンアノール防除のための新手法の開発」
4) 髙橋洋生・岸本年郎・林文男・菅原弘貴・藤田曜・戸田光彦・鋤柄直純：日本爬虫両棲類学会第52回大会(2013)
「兄島で発見された外来生物グリーンアノールの生物学的特性と防除の取り組み」
5) 岸本年郎・八巻明香・永野裕・高橋洋生・澤邦之・山下淳一・鋤柄直純：日本昆虫学会第73回大会（2013）
「小笠原兄島のグリーンアノール新規侵入地で被食される昆虫」
6) D. KAWAGUCHI, A. MUKAI, I. KATSUBE, C. FUJII, A. ISHIJIMA, K. HAYAMA, Y. TADACHI, Y. NAKAMURA, M. TODA, T. KISHINMOTO, K. SAWA, J. YAMASHITA, H. KARUBE and M. YAGOA:The 1st Asia Parks Congress, 2013
"Conservation management system for a threatened butterfly endemic to Ogasawara Islands, a World Natural Heritage"

（３）出願特許

特に記載すべき事項はない。

（４）シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの）

特に記載すべき事項はない。

（５）マスコミ等への公表・報道等

1)　テレビ朝日報道特捜（2011年10月1日、小笠原のグリーンアノール防除戦略について解説）
2)　ジュニア中日（中日新聞）(2013年6月16日、「【エコラム】小笠原荒らす外来種のトカゲ」）
3)　読売新聞（2013年8月5日、「小笠原・外来種から守る」）
4)　東京FM･中西哲生のクロノス（ 2013年5月30日7時3分～6分「特集・世界遺産の危機！？　小笠原の兄島にトカゲが繁殖。その影響と対策に迫る」）

（６）その他

特に記載すべき事項はない。

８．引用文献

特に記載すべき事項はない。

（４）マングース超低密度個体群の根絶技術開発

琉球大学
　農学部　小倉　剛（平成 23 年度）
　理学部　伊澤　雅子（平成 23 年度）
(独)森林総合研究所　山田　文雄（平成 24 年度）
岡山理科大学　理学部　城ヶ原　貴通（平成 25 年度）

＜研究協力者＞　岐阜大学　淺野　玄

平成 23～25 年度累計予算額：11,996 千円
（うち、平成 25 年度予算額：3,498 千円）
予算額は、間接経費を含む。

［要旨］
特定外来生物マングースの奄美大島と沖縄島北部で 2005 年から実施されている防除事業の根絶目標を一層加速するために、繁殖阻害避妊ワクチン、侵入防止簡易柵、誘引・忌避剤・遺体 DNA 識別技術、混獲防止技術の研究開発を行った。簡易柵、遺体 DNA 識別技術及び混獲防止技術の一部が、防除事業において実用化され成果が得られた。

［キーワード］
奄美大島・沖縄島北部、避妊ワクチン、侵入防止簡易柵、誘引・忌避剤・遺体 DNA 識別技術、混獲防止技術

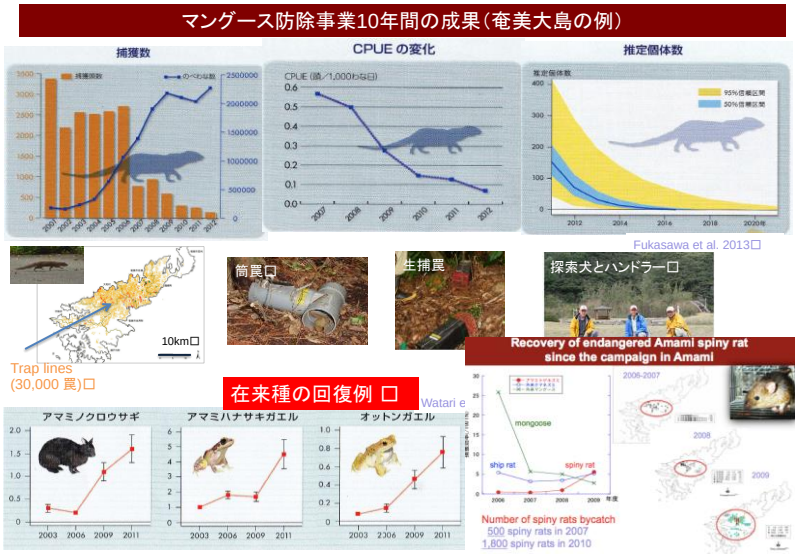
１．はじめに

特定外来生物法施行（2005 年）によって特定外来生物として指定されたマングースに対して、奄美大島と沖縄島北部のやんばる地域を対象とし、根絶を目標として 10 カ年計画の防除事業が実施されている。この 10 年間の罠や探索犬の捕獲方法により、奄美大島では残存個体数が最大 300 頭と大幅に減少し、今後も同等かそれ以上の捕獲圧を加えることによって、個体数はさらに大幅に削減し、根絶を達成できると予測されている [1)]。一方、在来生物の回復は著しく、アマミノクロウサギやカエル類、さらにトゲネズミなど希少種の回復が確認されている [2, 3)]。本防除事業を一層加速させ、残存個体を効率的に削減し根絶目標を達成するために、新たな手法による罠捕獲忌避（トラップシャイ）個体や捕獲困難地などの個体の排除が求められる。

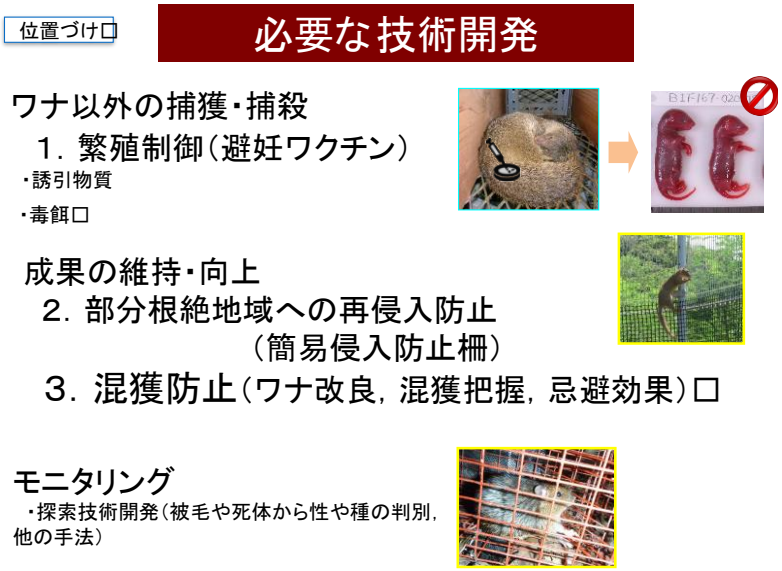
２．研究開発目的

本研究開発では、これらの目標達成のための技術開発として、罠によらない手法として、（１）避妊ワクチンの開発、（２）新規侵入防止技術の開発、（３）誘引剤・忌避剤の開発及び罠などに残る捕獲個体の遺物の DNA 識別技術開発、(４)混獲防止技術の開発を実施する(図(4)-1、(4)-2)。さらに（５）防除事業の根絶シナリオにおける防除技術開発成果の適用について検討する。これ

らの成果を防除事業で実用化するために、防除事業と連携して現地へのフィードバックと現地評価を行い、改善を図りながら進める。



図(4)-1　マングース防除事業による結果と成果（奄美大島の事例）。マングース捕獲数（CPUE）や残存数が減少傾向。捕獲場所も限定的になってきた。在来希少種が回復傾向を示してきた。



図(4)-2　マングース防除事業の根絶目標を達成するための必要な技術開発

３．研究開発方法

（１）避妊ワクチンの開発

メスのマングースにおける標的となる抗原（卵透明帯）の塩基配列を解読し、リコンビナント蛋白作成のための手技を確立するために、帯広畜産大学で確立された手技を導入し、実験動物ラットを用いた予備実験で確認した。また、塩基配列の解読やリコンビナント蛋白作成のために、沖縄島で捕獲されたマングースから新鮮な卵巣を採材した。さらに、マングース避妊ワクチンの

抗原候補として着目した卵透明帯蛋白質（ZPC）の精子卵結合部位の塩基配列を元に、2 種類の合成ペプチドを作成した。これらをウサギやマングースに免疫をして、ワクチン抗原としての有用性や種特異性を免疫組織化学染色により確認した。

（２）新規侵入防止技術の開発

簡易かつ安価な防護柵の形状を開発し、琉球大学の実験場において試験した。この形状を元に、沖縄島の野外において設置した簡易柵の効果の検証及び設置やメンテナンスの労力、柵の問題点を把握した。

（３）誘引剤・忌避剤の開発及び罠などに残る捕獲個体の遺物の DNA 識別技術開発

飼育下において複数の試験剤の選好忌避試験を行った。DNA 開発では、マングースのモニタリングツールとして、種判別（マングース、ネコ、ネズミなど）や性判別を行うために DNA 手法の実用化を検討した。

（４）混獲防止技術の開発

トゲネズミ類など在来生物の混獲防止技術を開発するために、新たに考案された改良筒罠の性能試験や安全性試験について、本研究のために確立した飼育個体群を用いて行動観察によって実証した。さらに、野外でのトゲネズミの生息密度や再捕獲率を解明するために、記号放逐法による生態調査を行った。

（５）防除事業の根絶シナリオにおける防除技術開発成果の適用

上記の開発技術の実用化と防除事業との関係を検討し整理した。

４．結果及び考察

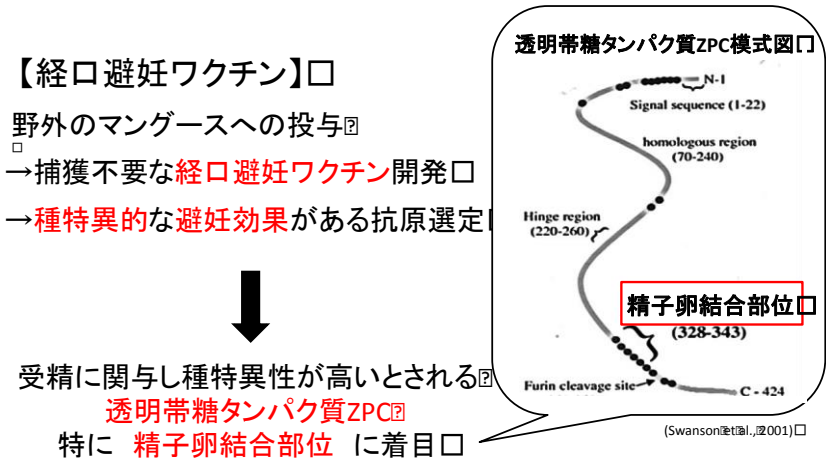
（１）避妊ワクチンの開発

標的外来種に特異的に繁殖抑制を起こす「避妊ワクチン」の開発を行なった。避妊ワクチン抗原として、卵透明帯蛋白質 ZPC を抗原としたワクチン開発をめざし、2011 年度はラット（予備実験）やマングース（本実験）の材料を用いてリコンビナント蛋白作成を確実に行なえる手法を確立した。さらに、沖縄島で捕獲されたマングース 7 頭から新鮮な卵巣の採材を実施したが、リコンビナント蛋白作成には、さらに多くのマングースから卵巣材料を集める必要があると考えられた。

そこで、2012 年度は、沖縄島のマングースからの卵巣の追加採材を行い、卵透明帯蛋白質の RNA 抽出や免疫組織化学染色に利用した。他種の ZPC 配列を参考に 21 種類のプライマーを設計し、RT-PCR や RACE 法などによってマングース ZPC の完全長配列（1,278bp）の解読に初めて成功した（図(4)-3）。また、完全長アミノ酸配列（426AA）及び精子卵結合部位アミノ酸配列（23AA）を予測して他種との相同性を比較し、マングース精子卵結合部位は種特異性が高いことが示唆された（図(4)-4）。このため、同部位を含むように 2 種類の合成ペプチド A、B（共に 19AA）を作成し、2 種類のペプチドを実験用ウサギ 2 羽ずつ合計 4 羽に免疫した。免疫中は ELISA により抗体価を測定した。全ての個体で抗体価の上昇は確認出来なかったものの、抗血清を作成した。得られ

たウサギ抗血清を用いて、マングース卵巣、とくに卵透明帯との結合性を評価するために免疫組織化学染色を行った。その結果、一例のウサギで透明帯と特異的に結合していることが示された。そのため、少なくても合成ペプチド A は抗原候補になり得る可能性が示された。

2012 年度は 2 種の合成ペプチド A、B のうち、ペプチド A を組織学的に評価できたが、ELISA による抗体価が上昇しなかった原因、ペプチド B と卵透明帯が結合しなかった理由は不明で課題が残った。このため、2013 年度は再度、実験用ウサギ（各ペプチド 2 羽ずつ）への免疫実験を行った。その結果、合成ペプチド A、 B を投与した全ウサギで、顕著ではないものの ELISA による抗体価の上昇が確認された。また、ペプチド A、B 投与ウサギ各 1 羽ずつではあったが、得られたウサギ抗血清とマングース卵透明帯との特異的結合を免疫組織化学染色により確認した（図(4)-5）。また、マングースと同所的に生息する食肉目であるネコ及びイヌの卵巣を用いて、ウサギ抗血清との免疫組織化学染色を行ったが、ペプチド A、B 投与 4 羽いずれの抗血清でも結合は確認されなかった。これらの結果をふまえると、2 種の合成ペプチドはマングースに特異的であり、避妊ワクチン抗原として有効であることが示唆された。ただし、合成ペプチド A はイヌと同じエピトープ（抗原認識部位）を含んでおり、特異性の点からすると合成ペプチド B の方が有用性の点で優れている可能性がある。また、これらの合成ペプチド A、B を雌の生体マングースに免疫して得られた抗血清とマングース卵巣との免疫組織化学染色を行い、マングース生体でのワクチン抗原としての検証実験を行った。この実験によりマングース生体でのワクチン抗原としての効果が検証されれば、ワクチン開発に向けて大きな前進となる。今後は、マングースの免疫投与の追加実験を行う必要があり、さらには野外個体への適用などの課題をクリアしていく必要がある（図(4)-6）。



図(4)-3　経口避妊ワクチン開発の意義及び抗原として着目した卵透明帯蛋白質 ZPC の模式図

マングースZPC完全長塩基配列(1,278bp)を解読

マングースと他種とのアミノ酸配列の相同性の比較

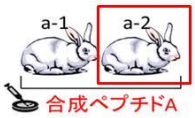
	ネコ	オコジョ	イヌ	ヒト	マウス
ZPC完全長アミノ酸配列（426AA）	86.9%	81.7%	80.3%	70.5%	63.9%
精子卵結合部位アミノ酸配列（23AA）	47.8%	60.9%	60.9%	34.8%	17.4%

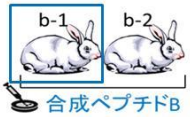
→ 他種との相同性が低い→種特異性が高い

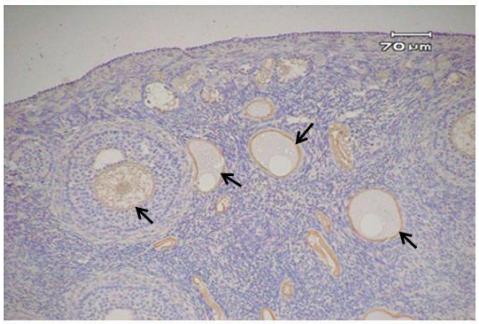
精子卵結合部位はマングースでも種特異性が高い
→経口避妊ワクチンの有用な抗原候補

図(4)-4　マングースの卵透明帯蛋白質 ZPC 及び精子卵結合部位のアミノ酸配列における種特異性の比較

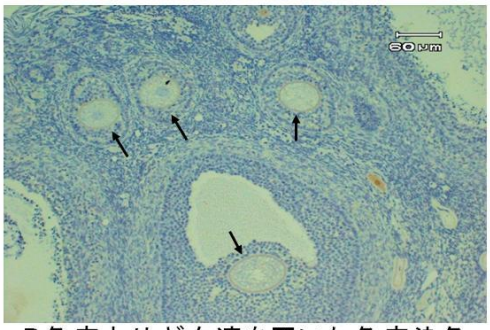
精子卵結合部位を含む合成ペプチドA（左）,B（右）で
免疫したウサギ抗血清を用いた
マングース卵巣における免疫組織化学染色







A免疫ウサギ血清を用いた免疫染色



B免疫ウサギ血清を用いた免疫染色

抗ペプチドA,B抗体はマングース卵透明帯に結合

図(4)-5　抗原候補である合成ペプチド A,B で免疫したウサギの抗血清を用いたマングース卵巣における免疫組織化学染色の結果。ともに特異的に卵透明帯に結合している（矢印）。

防除事業での避妊ワクチンの適用方法と対象地域□

経口による投与□
1) 合成避妊ワクチンを含むベイト(餌)の作製□
2) 地上への散布またはベイトステーションの設置□
3) ベイトを食べた雌の避妊化□
□
対象地域□
1) 在来希少種の生息地をおもに対象．希少種に影響なく，種特異的にマン□グースの個体数調節効果が可能□
2) 在来希少種の非生息地域では，毒餌などを活用□

ベイト(餌)例□

ベイトステーション例□

図(4)-6　マングース避妊ワクチンの想定される適用方法と対象地域

（２）新規侵入防止技術の開発

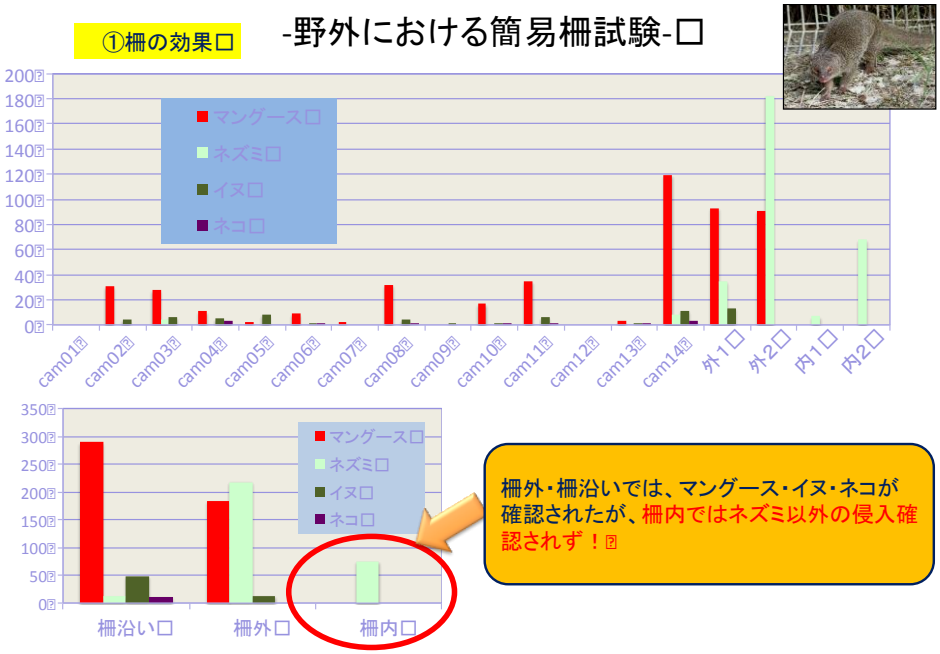
標的外来種の侵入を防止する簡易柵の開発においては、構造物の形状を決定するため、マングースの基本的な運動能力を把握する試験を行なった。地面からの垂直跳躍距離は雌で 86cm、雄で 90cm であった。また、垂直な壁を駆け上る場合の垂直跳躍距離の測定では、飼育ケージの壁面に張った簡易柵の返し素材候補の UV シルバーシート（多用途防水シート）の場合、雄で 90cm であった。これらの結果から柵の高さは 90cm もしくは 100cm に設定することにした。返しの素材として、アゼシートと UV シルバーシートを使用し、返し幅を 40cm とした。飼育ケージ内にこの簡易柵を設置し、マングースの柵越え試験を行ったが、マングースが柵越えを起こすことはなかった。

2011 年度に開発した簡易柵に関して、沖縄島の野外における柵の効果の検証及び設置やメンテナンスの労力、柵の問題点の把握を 2012 年度に行なった（図(4)-7、(4)-8）。簡易柵の内外でのマングースの撮影頻度、ヘアトラップの被毛確認率などを比較したところ、どれも柵の内側で有意に低く、野外においても、昨年度開発した形状の簡易柵の侵入防止効果が示された（図(4)-7）。しかし、クマネズミが網に穴をあけたことによるマングースの侵入の可能性があったことから、対策が必要である。設置や運搬労力について、網の地面への固定はプラスチックペグで軽量化、コスト削減が可能となり、ロープや林内の竹などを併用することでさらなるコストと労力の削減が期待できる。

2012 年度までに開発した侵入防止簡易柵については、網部分がクマネズミにより穴を開けられてしまい、特に地表に近い部分であった場合、そこからマングースが侵入する事例があった。また、開発した簡易柵の重量についても運搬や設置の面で難点があったため、2013 年度は、さらなる低価格化・軽量化ならびにネズミ被害防止についての検討を行った。開発した簡易柵について、2012 年度と同様の地点に約半年間（7-1 月）設置した結果、簡易柵の外側ではマングースは多数確認できたが、柵の内側でマングースが確認されることはなかった。ネズミ被害については、2012 年度と同様に数カ所認められたが、いずれも亀甲金網の裏側もしくは上部であった。そのため、主に地表を徘徊するマングースに対して有効な対策法であった。なお、昨年度中に開発した侵入

防止簡易柵については、底面にトリカルネットを追加設置しネズミ被害を防ぐ形で、環境省マングース防除事業において、やんばる北部に実際に導入した（図(4)-9）。簡易柵の設置の防除事業におけるメリットとしては、防除対象面積の罠見回り不要面積としてメリットが得られると考えられる。例えば、防除対象面積 100km^2 のうち簡易柵 6km^2 を設置した場合 6%の労力が不要となり残りの面積に 6%追加できるメリットがあると評価できる。

図(4)-7　野外に設置した簡易柵の検証のための試験方法と評価方法



図(4)-8　野外における簡易柵の効果試験。簡易柵の内外に 18 台のセンサーカメラを設置した（2013 年 10 月～2014 年 2 月）。マングースは柵内で確認されず、簡易柵の効果が認められた。

図4 簡易柵設置ライン□

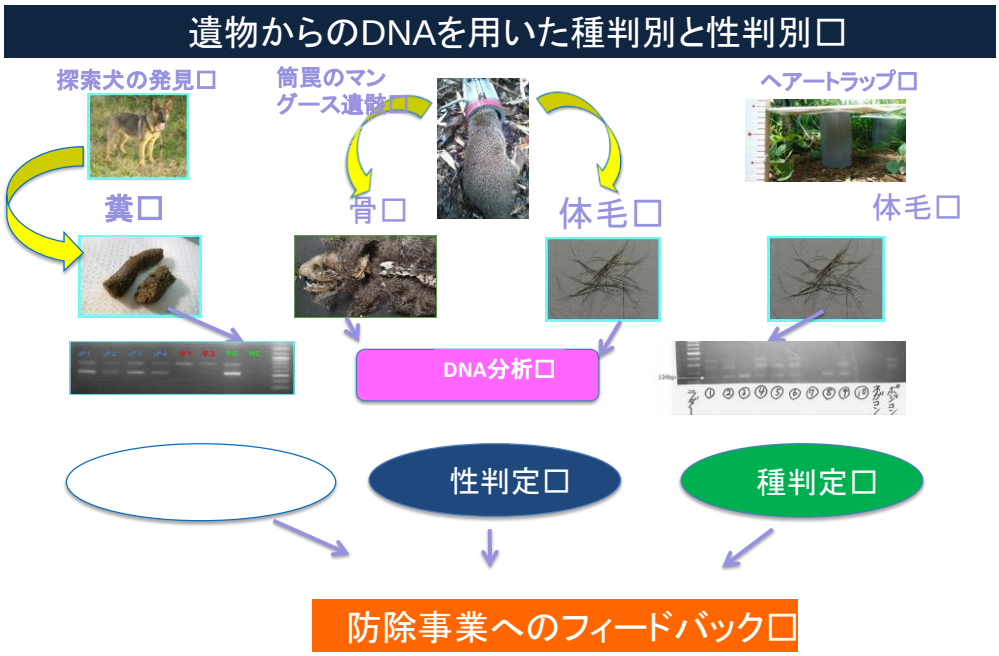
図5 探索犬による簡易柵周辺のマングース生息状況調査結果□
平成25年12月25日にマングース探索を行ったが、マングースの痕跡は発見されなかった。□

図(4)-9 沖縄島北部の防除事業で開発した簡易柵の実用化事例

（３）誘引剤・忌避剤の開発及び罠などに残る捕獲個体の遺物の DNA 識別技術開発

標的外来生物の侵入防止用柵において、柵の設置できない部分（道路や河川など）からの侵入防止のために、臭いによる忌避方法を検討する基礎として、マングースが忌避する物質を探索した。 忌避候補物質として、マングース原産地の上位捕食者の獣糞 10 種、シカなどで忌避効果が実証されている乾燥ヒトデ及びコールタールを使用した。飼育下での行動観察結果では、スナドリネコ *Prionailurus viverrinus* 糞で忌避効果が示唆された。今後、実用化に向けて、忌避成分の特定と合成化合物の作成及び化合物の野外試験を経る必要があるが、本プロジェクトにおける実施体制や開発予算での継続は困難なため断念した。

一方、低密度状態での侵入防止効果の確認や、捕獲個体と残存個体の判別、個体群における繁殖個体（特に雌個体）の確認などのために、捕殺罠（筒罠）の捕獲個体の腐敗組織の一部（骨、被毛、糞）を用いて DNA による種判定や雌雄判定を行った（図(4)-10）。種判別では野外放置後 30 日経過した体毛からも判別が可能で、上毛だけでなく 1 本の下毛からも識別できた。野外適用ではヘアトラップで採取された体毛を高い成功率（9 割）で種判別ができた（図(4)-11）。また、性判別では、野外放置後 28 日経過した雌で判別でき、また 21 日経過した雄で判別が可能であった（図(4)-12）。防除事業の捕殺罠で得られた個体を実際に適用したところ、15 個体のうち 4 個体が雄と判定できた。



図(4)-10　防除事業で得られる遺物（体毛や骨格）からマングース（他種、性、個体）を識別し、その判定結果を防除事業にフィードバックし、捕獲作業に寄与する。

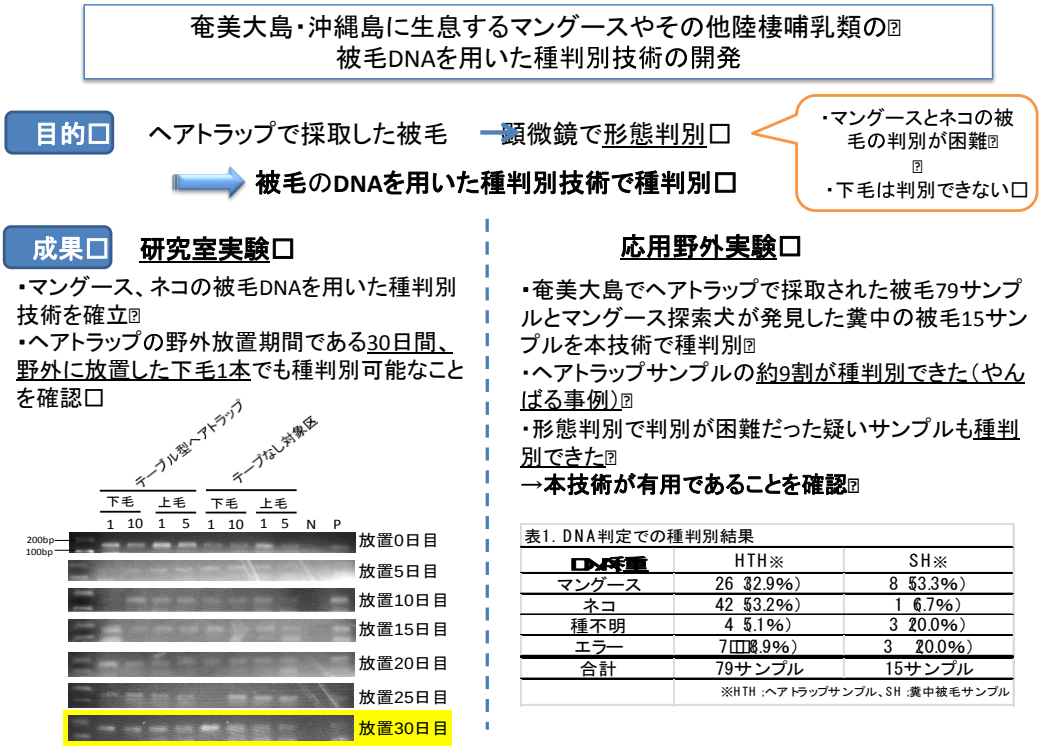
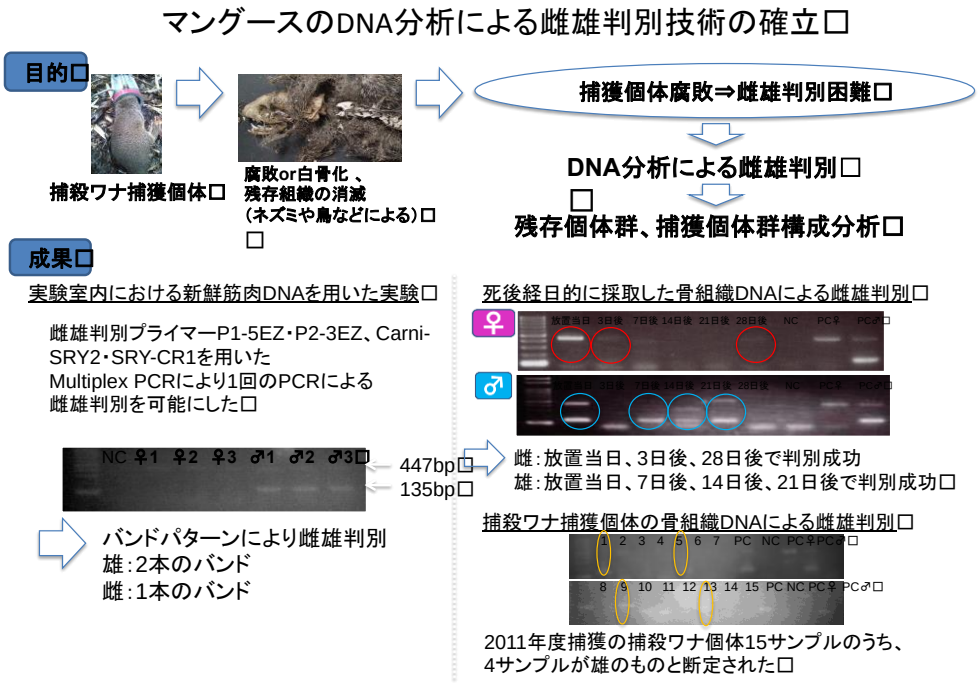


表1. DNA判定での種判別結果

DNA種	HTH※	SH※
マングース	26（32.9%）	8（53.3%）
ネコ	42（53.2%）	1（6.7%）
種不明	4（5.1%）	3（20.0%）
エラー	7（8.9%）	3（20.0%）
合計	79サンプル	15サンプル

※HTH：ヘアトラップサンプル、SH：糞中被毛サンプル

図(4)-11　被毛 DNA を用いた種判別結果の例



図(4)-12　被毛 DNA や骨格 DNA を用いた雌雄判別結果の例

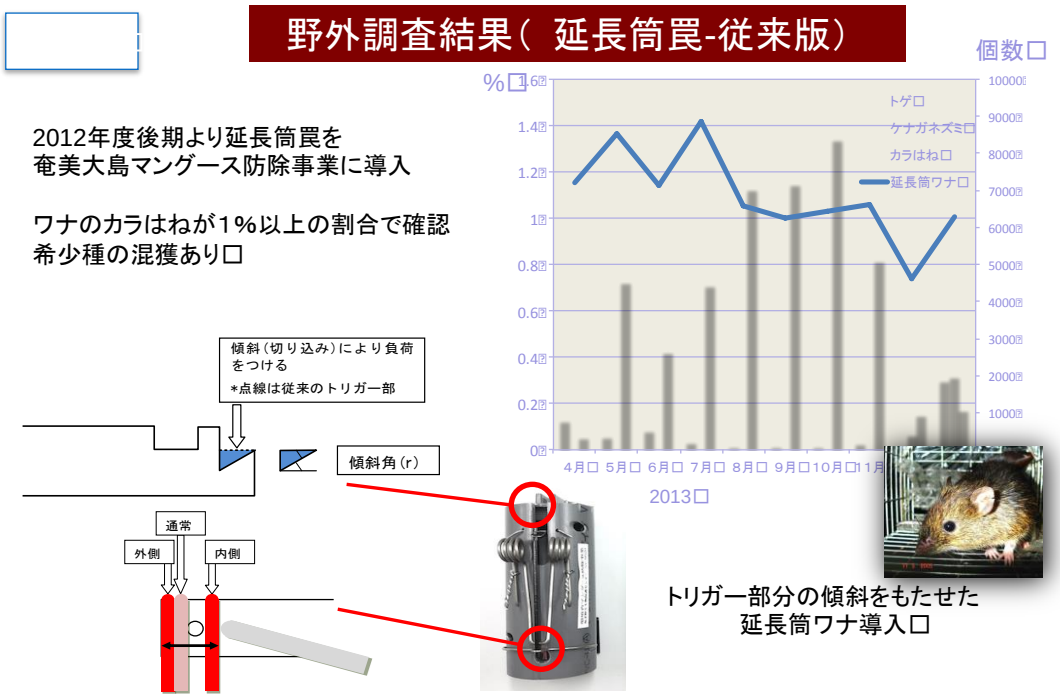
（４）混獲防止技術の開発

在来種混獲防止技術開発として、改良型捕獲器である延長筒罠の混獲防止機能を飼育実験で実証した。改良型延長筒罠は従来型に比べて筒長が 55mm 長く、在来齧歯類の尾部を保護するガイドバーを増設した。トゲネズミは改良型罠にも従来型罠と同様の頻度で捕獲されたが、改良型で死亡や尾の欠損が起きることはなかった。また、改良型罠によるマングースの捕獲率の低下は認められなかった。このため、改良型罠の混獲防止機能と安全性が確認され、また標的外来種の捕獲効率も高いことから、今後混獲リスクの高い地域での防除に実用化されることになった。

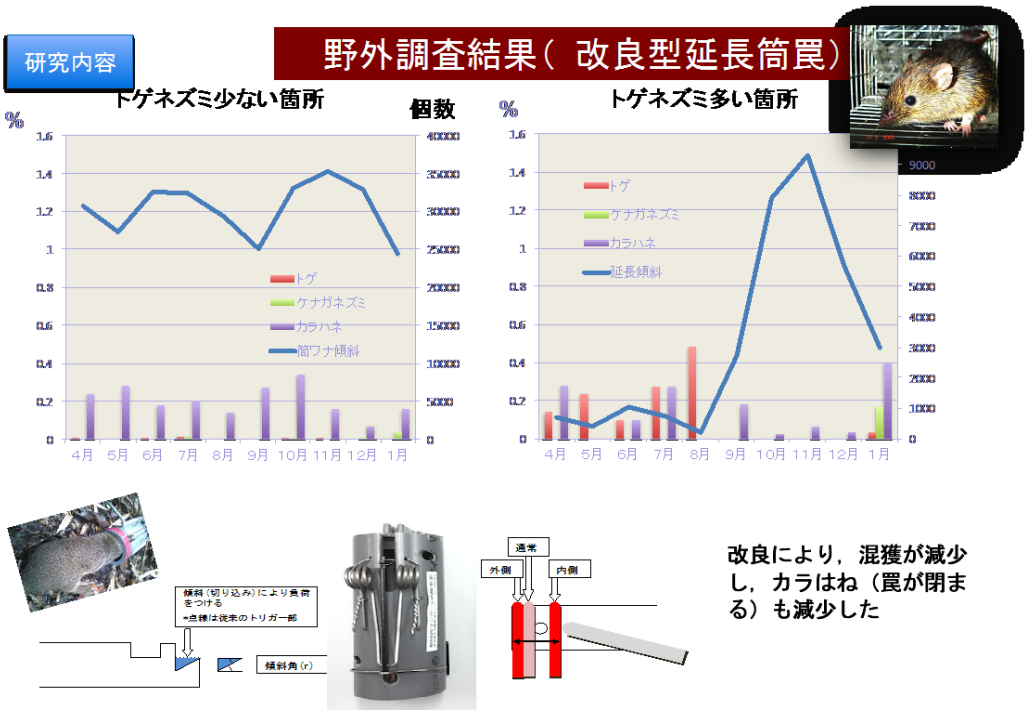
在来種混獲防止技術開発として、2011 年度に飼育下で試験した改良型捕獲器である延長筒罠を用いて 2012 年度に奄美大島の野外での使用試験を行った（図(4)-13）。トゲネズミの混獲リスクは著しく低減したものの、大型個体が混獲による捕殺リクスを伴うことが明らかとなった。また、トリガーが稼働している事例が 1 割程度認められることから、ネズミ類がワナに侵入している可能性もあり、ワナの稼働効率を高めるための改良が必要である（図(4)-13）。また、新たなカゴ罠の改良型捕獲器を開発するために、カゴ罠のトリガーの稼働力の引っぱり力試験を、飼育トゲネズミで測定したところ、最大引っぱり力が 202g であることを明らかにした。また、在来種の混獲防止技術開発のために、在来種トゲネズミの混獲実態について生態調査では、2012 年度の高密度地域での生息数（5 頭/ha）や再捕獲率（6 晩当たり、総捕獲個体の 71%がのべ捕獲回数 17 回捕獲）及び移動距離（1 日当たり 44m）を明らかにした。

在来種混獲防止技術開発として、2012 年度までに開発した改良型捕獲器である延長筒罠が奄美大島のマングース防除事業に導入された（図(4)-14）。開発した延長筒ワナは、トゲネズミの混獲リスクに加え、トゲネズミなどの小型動物による罠のカラはねが目立つ結果となった。そこで、2012 年度実施したトゲネズミの引っ張り力試験を考慮したトリガー可動部の形状変更を 2013 年度に行ったところ、従来型の筒罠においてもトゲネズミの混獲リスクが低減した上、カラはね率も

大幅に低減した。トリガーの形状を変更した延長筒罠では、さらなる改善を図ることができた。



図(4)-13　混獲防止のための筒罠の改良と効果試験結果。筒罠を 55mm 延長した。混獲数は減少したが、カラはね（捕獲はなく罠が稼働するだけ）が増加した。

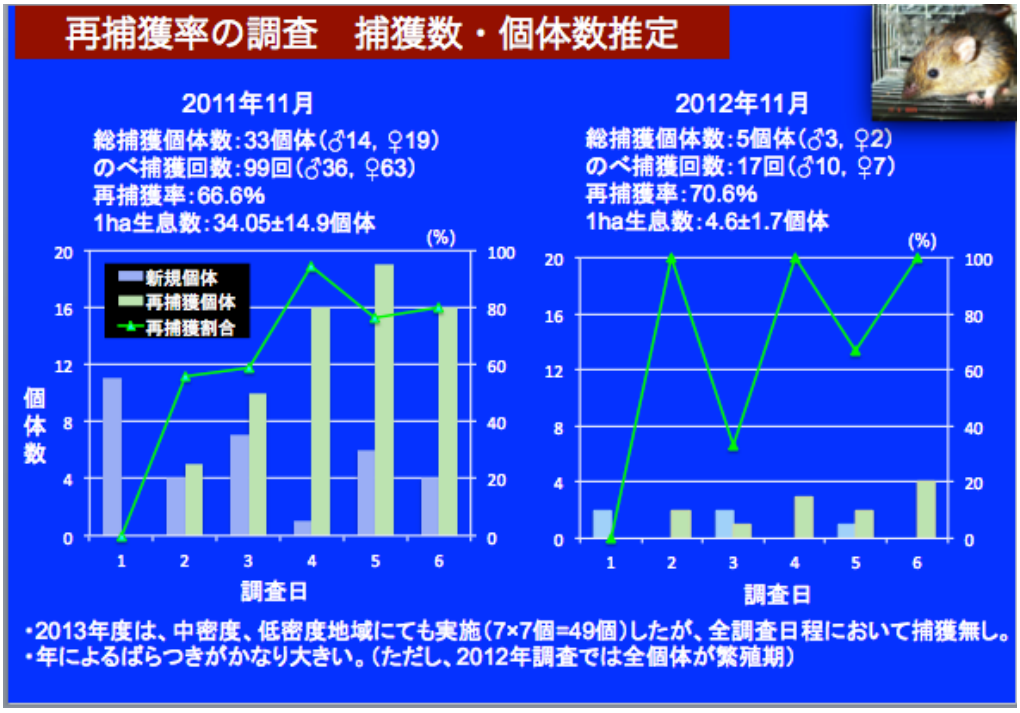


図(4)-14　混獲防止のための筒罠の改良と効果試験結果．延長筒罠に対し、トリガー部分を改良した。カラはねが低頻度で起きたが、トゲネズミ高密度地域では若干の混獲が認められた。

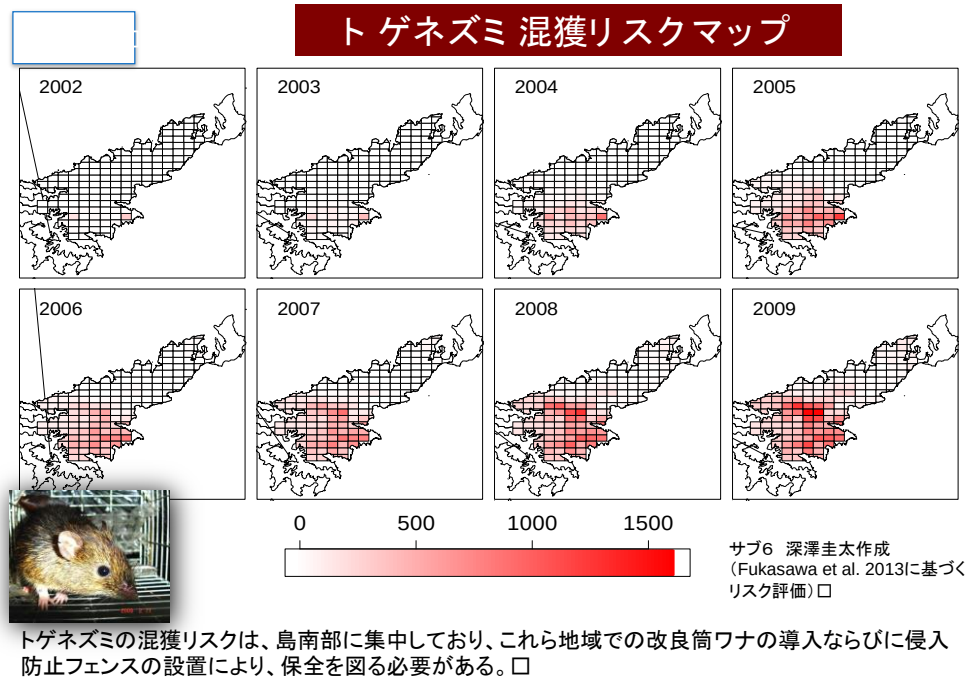
また、在来種の混獲防止技術開発のために、在来種トゲネズミの混獲実態について生態調査では、トゲネズミの記号放逐調査の結果、2011 年と 2012 年ともにトゲネズミの 6 日間の再捕獲率は 70%と極めて高いことが明らかになった（図(4)-15、(4)-16）。また、生息密度にかなりの年変動が認められた。2011 年や 2012 年の高密度地域でトゲネズミが、2013 年には 1 頭も捕獲することができず、年変動が顕著である可能性が明らかとなった。しかし、2013 年には使用した捕獲トラップの変更も伴ったため、今後も継続的な調査が必要である。

トゲネズミの混獲リスクマップ[1)]（図(4)-17）に基づく高リスク混獲地域には、トゲネズミの混獲を避け、マングースの効率的な捕獲のために，今回開発した改良筒罠の使用や、あるいは、マングースの捕獲の少ない場所では、混獲頻度の高い季節の筒罠使用中止などの検討が必要と考えられる。

図(4)-15　トゲネズミの生息実態把握のための記号放逐調査方法



図(4)-16　トゲネズミの記号放逐調査の結果。トゲネズミの 6 日間の再捕獲率は 70%と極めて高いことが明らかになった。また、生息密度にかなりの年変動が認められた。

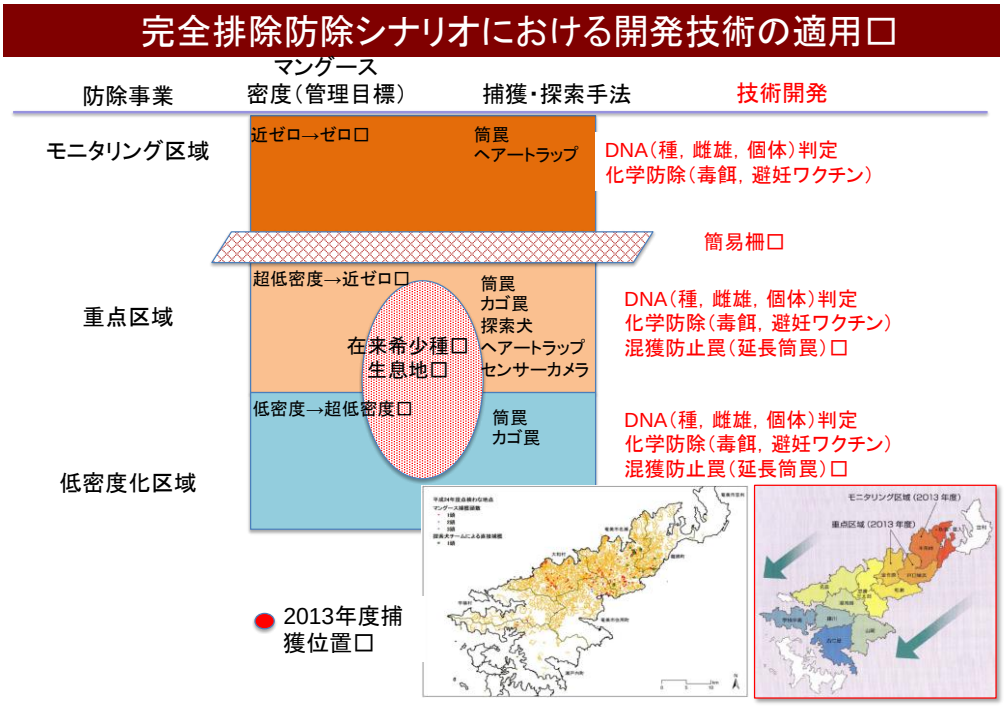


図(4)-17　奄美大島におけるトゲネズミの混獲リスクマップ [1]。高リスク地域には、筒罠の使用や改良筒罠の使用などの検討が必要である。

（５）防除事業の根絶シナリオにおける防除技術開発成果の適用

マングースの完全排除に向けた防除事業シナリオを検討した結果（図(4)-18）、今回開発され

た新たな技術の適用として、簡易柵はモニタリング区域と重点区域との分断に使用すれば、防除資源の効率的かつ重点的配備が可能となり、管理目標が効率的に達成される。また、在来希少種との混獲を防止する延長筒罠を利用すると、防除事業の結果回復してきた在来希少種に対しての混獲率を低減させ、マングースを効率的に排除できる。また、避妊ワクチンの使用によって、経口採食しても在来希少種への影響がなく、マングースだけに効果的に繁殖阻害を起こすことができ個体数を効率的に削減できる。トラップシャイ個体（罠忌避個体）に対しても、経口採食させることで不妊化させ、個体数削減に効果がある。ヘアトラップや罠の残存体毛からの DNA 判定技術を用いれば、マングースか他種（ネズミやネコなど）かの種判別、マングースの雌雄判別や個体識別が可能となり、残存個体の個体数や個体群状況が把握でき、防除戦略の見直しに有用である。防除事業において、簡易柵や混獲防止罠及び DNA 判定は実用化され始めており、今後化学的防除の実用化を図る必要がある。



図(4)-18　防除事業における根絶目標（完全排除）達成シナリオにおける本研究開発の適用

５．本研究により得られた成果

（１）科学的意義

全般的に見ると、避妊ワクチン作成のための実験動物ラットやマングースの材料を用いたRT-PCR技術の確立やマングースの卵透明帯の塩基配列の解読、標的外来種の侵入防止のための簡易柵開発における構造物の形状開発とDNAによるモニタリング手法、及び改良型罠の混獲防止機能と安全性の確認や混獲リスクの高い地域での防除への実用化は基礎的及び応用的に科学的意義として極めて高い。

避妊ワクチン開発では、2種類の合成ペプチドA及びBに関して、抗原としての有用性及び種特異性を組織学的に評価できた。今後、マングース生体での実験結果を踏まえ、注射ではなく抗原の

経口投与により免疫賦与するための研究へと発展できる段階となった。避妊ワクチンの開発においては、実験ウサギや野生マングースを用いた免疫実験、マングース、イヌ、ネコの卵巣を使った免疫組織化学染色などの研究によって、マングースへの有効性や特異性などを組織学的に確認できたことは大きな成果である。しかし、マングース生体における有効性実験は現在実施中にあり、結果を年度内に得ることが出来なかった。また、今後は、受精阻害の確認（雌雄同居や人工授精など）及び抗原候補のデリバリーシステム（経口で免疫賦与させるための媒体）に関する研究が必要である。

簡易柵の開発に関しては、2013年度よりやんばる北部で実際にマングース防除事業に導入され、一定の成果を得ることができた。また、さらに安価で軽量な簡易柵の開発にも成功し、2012年度の簡易柵では補えない部分を補強していく体制が整った。今後は、実際に防除事業に導入した簡易フェンスの耐久性、在来種への影響などのモニタリングも重要である。また、DNAによる種判定は低コスト及び短時間（1検体300-600円程度で10時間）で成功率も高まり、ほぼ実用化が達成され、今年度の沖縄島北部地域マングース防除事業検討会においても活用結果が報告された。また、在来種混獲防止技術開発としての延長筒罠は実用化が図られつつあり、さらなる改善とともに大きな成果が得られた。

マングースの完全排除に向けた防除事業シナリオにおいて、サブテーマ４で検討している技術開発成果の適用を検討した。防除事業において、簡易柵や混獲防止罠及びDNA判定は実用化され始めており、今後化学的防除技術の実用化が図られれば、防除事業をより効率的に達成されると考えられる。

（２）環境政策への貢献

＜行政が既に活用した成果＞

環境省の外来種防除検討会における外来生物法の見直しにおいて、本課題で実施されている各種特定外来生物の防除手法の開発に関する最新情報を提供し、防除に関する課題と今後の方針についてのとりまとめに貢献した。

環境省マングース防除事業検討会において、本研究成果である避妊ワクチン、改良型捕獲器試験及び侵入防止簡易柵の研究進捗を説明し、防除事業との連携協力を図った。とくに、本研究成果である改良型捕獲罠の混獲防止機能や安全性の試験結果は、防除事業における実用化につながり、また天然記念物指定種の混獲問題に関する文化庁協議に有益な情報を提供した。

本研究で開発した簡易柵は、沖縄島北部のマングース防除事業において平成25年度に設置されている。またDNAによる種判別や性判別の手法は沖縄島北部のマングース防除事業で実用化されている。さらに、改良型延長筒罠による在来種混獲防止技術は、奄美大島のマングース防除事業で活用され効果を上げている。

＜行政が活用することが見込まれる成果＞

繁殖阻害となる避妊ワクチン技術は、実用化に向けて今後の作業が必要であるが、標的種に限定的効果があり、非標的種への影響がないため、今後さまざまな外来食肉哺乳類などに応用があり、効果的な対策手法として活用が期待される。

６．国際共同研究等の状況

ニュージーランドやアメリカ合衆国の研究機関などとの情報交換を行った。

７．研究成果の発表状況

（１）誌上発表

＜論文（査読あり）＞

1) 篠原明男、山田文雄、樫村敦、阿部愼太郎、坂本信介、森田哲夫、越本知大：哺乳類科学、53,2, 335-344 (2013)
「絶滅危惧種アマミトゲネズミ *Tokudaia osimensis*の実験室環境における長期飼育」

2) K. SUGIMURA, K. ISHIDA, S. ABE, Y. NAGAI, Y. WATARI, M. TATARA, M. TAKASHI, T. HASHIMOTO, F. YAMADA: Oryx, 48,2, 241-249 (2014)
"Monitoring the effects of forest clear-cutting and mongoose *Herpestes auropunctatus* invasion on wildlife diversity on Amami Island, Japan"

3) Y. WATARI, S. NISHIJIMA, M. FUKASAWA, F. YAMADA, S. ABE, T. MIYASHITA: Ecol. Evol., 3, 14, 4711-4721 (2013)
"Evaluating the "recovery-level" of endangered species without prior information before alien invasion"

＜その他誌上発表（査読なし）＞

1) 山田文雄、池田透、小倉剛編：日本の外来哺乳類　管理戦略と生態系保全、東京大学出版会、493pp (2011)

2) 山田文雄、池田透、小倉剛編：日本の外来哺乳類　管理戦略と生態系保全、東京大学出版会、59-101 (2011)
「第３章　海外の外来哺乳類対策　-先進国に学ぶ」（執筆担当：池田透、山田文雄）」

3) 山田文雄、池田透、小倉剛編：日本の外来哺乳類　管理戦略と生態系保全、東京大学出版会、105-137 (2011)
「第４章　フイリマングース 日本の最優先対策種（執筆担当：小倉剛、山田文雄）」

4) 山田文雄：d-labo 夢をかたちに夢に、SURUGA Bank社 (2011)
「絶滅から動物を救うこと-やんばるの森でのオキナワトゲネズミの再発見と保護」

5) 山田文雄: 林業と薬剤、 196, 7-14 (2011)
「生物多様性条約会議（COP10）とわが国の侵略的外来生物への取組み」

6) 山田文雄：森林技術、834, 32-35 (2011)
「外来種対策のいまとこれから」

7) 城ヶ原貴通、山田文雄、村田知慧、黒岩麻里、越本知大、三谷匡：哺乳類科学、51, 154-158 (2011)
「トゲネズミ研究の最近（２）」

8) 山田文雄：朝日小学生新聞、2012年6月5日、8 (2012)
「森の困ったお客さん「森の教室へようこそ！」」

9) 山田文雄、小高信彦、佐々木茂樹：森林総合研究所平成24年度版研究成果選集、42-43 (2012)

「外来生物の根絶のための残存個体の探索と捕獲技術の開発」

10)　山田文雄：UP、477, 8-14 (2012)

「外来種に追われる絶滅危惧種アマミノクロウサギとトゲネズミ」

11)　山田文雄：日本実験動物技術者協会九州支部会報、36, 1-8 (2012)

「希少種保全のための外来種対策の必要性　奄美琉球諸島の遺存固有種トゲネズミとアマミノクロウサギの事例」

12)　山田文雄、石井信夫、 池田透、 常田邦彦、深澤圭太、橋本琢磨、諸澤崇裕、阿部愼太郎、石川拓哉、阿部豪、村上興正：哺乳類科学、52, 265-287 (2012)

「環境省の行政事業レビューへの研究者の対応―効果的・効率的外来哺乳類対策の構築に向けて―」

13)　山田文雄：山林、1554, 11, 11-19 (2013)

「世界自然遺産候補地「奄美・琉球」の希少動物の保全と管理」

14)　城ヶ原貴通、山田文雄、越本知大、黒岩麻里、木戸文香、中家雅隆、望月春佳、村田知慧、三谷匡：哺乳類科学、53, 170-173 (2013)

「トゲネズミ研究の最近３．～琉球諸島哺乳類保全の次世代を担う者達～」

（２）口頭発表（学会等）

1)　山田文雄、中田勝士、村田知慧、木戸文香、黒岩麻里、城ヶ原貴通、越本知大、三谷匡、阿部愼太郎、河内紀浩、小高信彦、高嶋敦史、安村茂樹：沖縄生物学会第48回大会・日本動物分類学会合同大会 (2011)

「オキナワトゲネズミ*Tokudaia muenninki*の2009年調査以降に確認された新たな生息地」

2)　山田文雄、佐々木茂樹、橋本琢磨、阿部愼太郎：沖縄生物学会第48回大会・日本動物分類学会合同大会 (2011)

「センサーカメラによる残存マングースの検出率と生息数の推定」

3)　塩野﨑和美、山田文雄、佐々木茂樹：沖縄生物学会第48回大会・日本動物分類学会合同大会 (2011)

「奄美大島鳩浜地区における自動撮影カメラに撮影されたネコの行動圏と出没傾向」

4)　F. YAMADA, S. SASAKI, T. HASHIMOTO and S. ABE: 18th Annual Conference of The Wildlife Society, Hawaii, USA, 2011

“Estimation of detection probability of sensor camera for applying detection tools in a mongoose eradication campaign”

5)　G. OGURA, K. TOGUCHI, S. ONO, K. OBATA, R. FUKUHARA, I. INOUE, A. KUROIWA, T. NAGAMINE, A. TANAKA, M. NAKACHI and S. ROY: 18th Annual Conference of The Wildlife Society, Hawaii, USA, 2011

“New techniques for the eradication of low-density mongoose populations from the Okinawa and Amami-Ohshima Islands in Southwestern of Japan”

6)　山田文雄、佐々木茂樹：第21回環境アセスメント動物調査手法講演要旨 (2011)

「外来哺乳類管理の実際」

7) F. YAMADA: Joint Meeting of the 59th Annual Meeting of ESJ & the 5th EAFES International Congress, Otsu, Japan, 2012
"Development of techniques to eradicate mongoose for conservation of biodiversity in the Ryukyu Islands"

8) F. YAMADA, S. SASAKI, N. KOTAKA, T. JOGAHARA, M. ASANO, G. OGURA, T. HASHIMOTO and S. ABE: The 3rd meeting of IUFRO Working Unit 7.03.12 "Alien invasive species and international trade", Tokyo, Japan, 2012
"Effort of eradication of invasive mongoose for conservation of biodiversity"

9) 山田文雄、佐々木茂樹、城ヶ原貴通、北浦賢次、橋本琢磨、阿部愼太郎：沖縄生物学会49回大会（2012）
「外来種マングース根絶のためのセンサーカメラによる残存数推定とワナ改良による在来種混獲防止」

10) 城ヶ原貴通、山田文雄、越本知大、木戸文香、望月春佳、塩野崎和美、黒岩麻里：沖縄生物学会49回大会（2012）
「アマミトゲネズミの生息密度ならびに行動範囲の推定」

11) 塩野崎和美、山田文雄、佐々木茂樹、柴田昌三：沖縄生物学会49回大会（2012）
「「飼い猫適正飼育条例」施行による奄美大島鳩浜地区のネコ密度と出没傾向の変化」

12) K. SHIONOSAKI, F. YAMADA, S. SASAKI and S. SHIBATA: 19th Annual Conference of The Wildlife Society, Portland, USA, 2012
"Habitat utilization and home range of free-roaming cats *(Felis catus)* at a mountain near urban area in Amami Ohshima Island, Japan"

13) 望月春佳、城ケ原貴通、山田文雄：第64回岡山実験動物研究会（2012）
「アマミトゲネズミの24時間行動観察」

14) 城ヶ原貴通、山田文雄、越本知大、木戸文香、望月春佳、塩野崎和美、黒岩麻里：第64回岡山実験動物研究会（2012）
「アマミトゲネズミの野外調査（生息密度と行動範囲の推定）」

15) 山田文雄、淺野玄、水川真希、井上泉、渡久地花英手、城ヶ原貴通：第45回森林野生動物研究会（2012）
「超低密度状態の特定外来生物マングースを根絶させるための新たな技術開発」

16) F. YAMADA, K. SUGIMURA, T. ISHIKAWA, Y. ITO, Y. KOHCHI, M. TATARA and S. ABE: The 4th World Lagomorph Conference, Vienna, Austria, 2012
"Present status of the endangered Amami rabbit *Pentalagus furnessi* in Amami-ohshima and Tokuno-shima Islands, Japan"

17) 塩野崎和美、山田文雄、佐々木茂樹、柴田昌三： 日本哺乳類学会2012年度大会（2012）
「奄美大島の市街地周辺の山地におけるネコの生息地利用と行動範囲について」

18) 佐々木茂樹、山田文雄、橋本琢磨、阿部愼太郎：日本哺乳類学会2012年度大会（2012）
「奄美大島マングース防除事業におけるモニタリングツールの検出力比較」

19) 城ヶ原貴通、山田文雄、越本知大、黒岩麻里： 日本哺乳類学会2012年度大会（2012）
「トゲネズミ研究の最近３～琉球諸島哺乳類保全の次世代を担う者達～」

20)　池田透、石井信夫、山田文雄：日本哺乳類学会 2012 年度大会（2012）
「効果的・効率的外来哺乳類対策の構築に向けて」
21)　石井信夫、山田文雄：日本哺乳類学会 2012 年度大会（2012 年）
「要望書提出の経過と内容「効果的・効率的外来哺乳類対策の構築に向けて」」
22)　水川真希、砂川勝徳、山田文雄：日本哺乳類学会 2012 年度大会（2012）
「マングースの移動を防ぐ簡易柵の開発」
23)　城ヶ原貴通、山田文雄、望月春佳、木戸文香、黒岩麻里、越本知大、村田知慧、中家雅隆、三谷匡：　沖縄生物学会第 50 回記念大会（2013）
「希少種トゲネズミ属 Tokudaia 3 種の生息状況と遺伝的多様性」
24)　T. JOGAHARA, M. ASANO, H. MOCHIZUKI and F. YAMADA: The 11th International Mammalogical Congress 2013, Belfast, Ireland, 2013
“Development of techniques to eradicate mongoose for conservation of biodiversity in the Ryukyu Islands, Japan”
25)　峰本隆博、淺野玄、森孝之、小林恒平、鈴木正嗣：第 29 回日本霊長類学会・日本哺乳類学会 2013 年度合同大会（2013）
「フイリマングース *(Herpestes auropunctatus)*の個体数抑制手法としての避妊ワクチン開発（２）」
26)　淺野玄、峰本隆博、小林恒平、鈴木正嗣：第 29 回日本霊長類学会・日本哺乳類学会 2013 年度合同大会（2013）
「アライグマ *(Procyon lotor)*の経口避妊化ワクチン開発の試み（２）」
27)　木戸文香、城ヶ原貴通、黒岩麻里、越本知大、望月春佳、中家雅隆、村田知慧、三谷匡、山田文雄：第 29 回日本霊長類学会・日本哺乳類学会 2013 年度合同大会（2013）
「小集団化と遺伝的多様性を消失したオキナワトゲネズミ- 希少種トゲネズミ 3 種の生息調査」
28)　T. JOGAHARA, M. ASANO and F. YAMADA: The 26th Vertebrate Pest Conference, Hawaii, USA, 2014
“Development of techniques to eradicate mongoose for conservation of biodiversity in the Amami and Ryukyu World Natural Heritage candidate site in Japan”
29)　K. SHIONOSAKI, F. YAMADA and S. SHIBATA: The 26th Vertebrate Pest Conference, Hawaii, USA, 2014
“Feral cat impact on endangered endemic mammals revealed by scat analysis at Amami-Ohshima Island of the Amami and Ryukyu World Natural Heritage candidate site in Japan”
30)　城ヶ原貴通、淺野玄、山田文雄：第 61 回日本生態学会大会（2014）
「マングース超低密度個体群の根絶技術開発」
31)　山田文雄：第 61 回日本生態学会大会（2014）
「外来食肉類対策における化学的防除の現状と課題」

（３）出願特許

特に記載すべき事項はない。

（４）シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの）

特に記載すべき事項はない。

（５）マスコミ等への公表・報道等

1) 奄美新聞社（2011 年 12 月 27 日、徳之島における希少動物の生息状況の講演会の紹介記事）

2) ラジオつくば（2012 年 7 月 12 日、外来生物対策と希少種保全について解説）

3) NHK 総合「ダーウィンが来た！～生きもの新伝説～」（2013 年 7 月 28 日、珍獣アマミノクロウサギびっくり子育て術、監修）

4) 東京新聞（2013 年 12 月 9 日、野生化が初確認された狭山丘陵のキタリス対策について、マングース防除対策の事例を紹介）

（６）その他

「奄美・琉球」世界自然遺産候補地科学委員会委員，鹿児島県奄美市生物多様性地域戦略検討委員として地域住民や行政関係者に対して，本プロジェクト成果や防除事業成果について講演を行った。

８．引用文献

1) K. FUKASAWA, T. HASHIMOTO, M. TATARA and S. ABE: Journal of Applied Ecology, 50, 469-478 (2013)

“Reconstruction and prediction of invasive mongoose population dynamics from history of introduction and management: a Bayesian state-space modeling approach”

2) Y. WATARI, S. NISHIJIMA, M. FUKASAWA, F. YAMADA, S. ABE, and T. MIYASHITA: Ecology and Evolution, 3, 4711-4721(2013)

“Evaluating the “recovery-level” of endangered species without prior information before alien invasion”

3) 環境省：http://kyushu.env.go.jp/naha/pre_2013/0703a.html (2013)

「平成 24 年度奄美大島におけるジャワマングース防除事業について(実施結果等のおしらせ)」

（５）アライグマの効率的防除戦略開発

北海道大学大学院　文学研究科　池田　透

＜研究協力者＞　兵庫県立大学　阿部　豪
大分市
軽井沢ドッグビヘイビア　山下　國廣
NPO法人おおいた環境保全フォーラム　内田　桂
NPO法人生物多様性研究所あーすわーむ　福江　佑子

平成23年度～25年度累計予算額：10,999千円
（うち、平成25年度予算額：3,000千円）
予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

本業務では、アライグマ探索犬の育成及びアライグマ用巣箱型ワナの開発を行なうとともに、生態系保全を目的としたアライグマ侵入初期における社会的防除体制の確立を試みる。また、全国的なアライグマ情報共有システムを構築し、防除関係者の情報交換の場を提供し、有用な情報については情報の一般公開をめざした。

アライグマ探索犬の育成では、探索犬の条件に合致した甲斐犬を用いて、動物心理学・行動学の理論をベースにモチベーショントレーニングという手法によってアライグマの臭いを選択的に嗅ぎわける探索犬の育成を進め、アライグマの防除現場で人間の調査能力を補ってアライグマの痕跡を探知できるまでに到達した。

アライグマの樹洞営巣性を利用した誘因餌が不要で対策コストの低減が見込まれる巣箱型ワナの開発では、動物園での飼育個体を用いた実験で巣箱型ワナの効果的な構造を決定し、対策現場においても実際の捕獲に成功して、実用化への基盤を作り上げることができた。

アライグマ情報共有ネットワークの構築では、全国のアライグマ防除事業を進めている、あるいは関心の高い都道府県及び市町村へのアンケートを実施して、対策関係者が必要としている情報の整理を行ない、実際にネットワークを運営して情報の公開に至った。

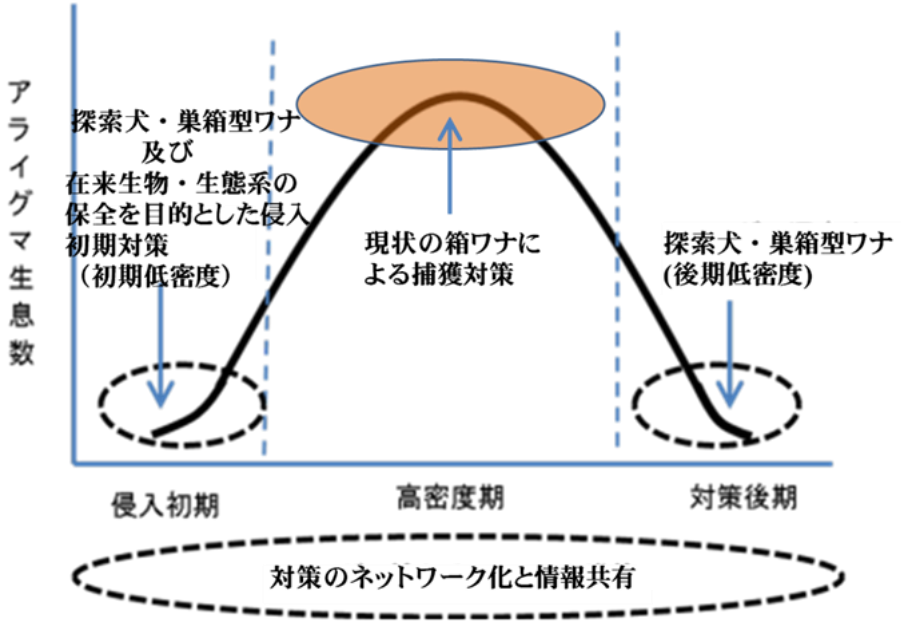
生態系保全を目的としたアライグマ侵入初期における社会的防除体制の確立においては、ウミガメ保全活動に影響を与えるアライグマの侵入問題の普及啓発からスタートして、地域環境NPOとの協力体制を確立し、さらに大分市及び地域住民の協力を得て官・民・学連携での社会的防除体制の構築を行ない、この体制の下でのアライグマ繁殖コアエリアでの集中捕獲を実施したところ、アライグマの生息数を急激に減少することに成功した。

[キーワード]

アライグマ、探索犬、巣箱型ワナ、情報ネットワーク、侵入初期対策

１．はじめに

本事業では、低密度状況における効果的・効率的なアライグマ探索手法として、アライグマの臭いを選択的に嗅ぎ分けてアライグマの存在を知らせるアライグマ探索犬の育成と、アライグマの樹洞営巣性を利用した誘因餌の不要な巣箱型ワナの開発を行ない、また侵入状況に合わせた地域での対策構築に向けての基礎的な情報収集のためのアライグマ情報共有ネットワークの構築を試みた。さらに、農業被害対策からの脱却を目指して、在来生態系保全を目的としたアライグマ侵入初期状況における防除体制の構築を、アライグマ侵入初期状況にある大分市において、地方自治体及び地元環境NPOの協力を得て実施した。また、大分市での実際の防除事業の後半では、本事業で開発したアライグマ探査犬、及び巣箱型ワナを実施に防除現場に投入することで、開発技術の効果に関する評価を試みた。本事業における実施項目は図(5)-1のようになる。



図(5)-1　本事業項目のアライグマ対策における位置づけ

アライグマ探索犬は、低密度状況下において、積極的にアライグマの痕跡を探索し、捕獲に貢献する手段の一つである。また、現在は日本各地で主に箱ワナを用いてアライグマの捕獲が行われているが、誘因餌の交換や、混獲動物の放獣のために毎日見回ることが必要とされ、ほとんどアライグマが捕獲されない場合でも見回りのために人件費を割かなければならず費用対効果の面でも非効率となっている。さらに北海道などのヒグマの生息する地域においては、誘因に餌を用いずに、見回りを必要としない捕獲方法の開発が待たれており、これらの問題点を解決するためには、アライグマの樹洞営巣性を利用した餌の不要な巣箱型ワナの開発が効果を発揮するものと考えた。

さらにアライグマ防除事業を効果的・効率的に実施するためには、防除実施地域における関係者間の連携を強化して社会的防除体制を確立することが必要となる。全国の防除対策地域間の情報を共有し、地域の侵入状況に合わせた防除対策の選択と実施へと発展させることのできる包括的な情報交換システムの構築も、防除を円滑に進めるための基盤を与えることとなる。そのため本事業においてアライグマ対策関係者間の情報共有ネットワークの構築を試みた。

また、本研究においては、アライグマ侵入初期状況において在来種・生態系保全を目的とした防除活動が顕著な効果を持つことを証明する事例を作り上げることが重要と考え、地域の希少種としてウミガメ保護活動を展開している地域でアライグマの痕跡が発見され、地元環境NPOがアライグマ侵入を危惧していた大分県を対象とし、侵入初期における社会的防除体制の構築と繁殖地域における効果的な個体数防除戦略の展開を試みた。

２．研究開発目的

アライグマ探索犬の育成では、今後の全国でのアライグマ探索犬の実用化を目指し、現在育成中の探索犬とハンドラーの能力確認と育成過程の手順の整理、また次世代の探索犬育成のためのマニュアル作成を目的とした。

巣箱型ワナの開発においては、アライグマが樹洞を休息場所や繁殖巣に使うという習性を利用し、樹洞に代わる巣箱を設置することで、巣箱という住空間を誘引物としてアライグマの捕獲を効果的・効率的に実施可能にすることを目的とした。

アライグマ情報共有ネットワークの構築においては、各地での分布・被害・対策の進行状況等について情報交換ができる場を提供することを目的として、関係者間のネットワーク構築と運用を進めた。

さらにアライグマ侵入初期状況での在来種・生態系保全を目標とした社会的防除体制の構築においては、アライグマによる地域生態系への影響を在来種の保全活動を通して啓発するとともに、官・民・学連携のもとに防除組織を確立し、特に地域の自然環境保全に関心の高いメンバーを加えた体制を確立することで、侵入情報や繁殖状況の把握を促進し、効果的・効率的防除戦略を進める中で、初期低密度状況に必要な捕獲技術としてのアライグマ探索犬及び巣箱型ワナの効果について評価することを目的とした。

３．研究開発方法

（１）アライグマ探索犬の育成

‘アライグマを探索する’という作業目的や標的動物の生態的特徴、探索する場所の環境に合わせた体サイズや被毛、体型のほか、作業能力のある繁殖系統、育成環境なども考慮して目的に合う犬種群を絞り込み、日本の山岳部で狩猟犬として使われてきた甲斐犬を選出した。

訓練の方法は、動物行動学・学習理論に基づくモチベーショントレーニングを採用した。イヌが持つ‘動物を探索したいという意欲’をアライグマのみへ向けるように学習させるという基本方針のもと、訓練を行った。

本研究では、訓練の過程を「アライグマ探索犬の育成マニュアル」、また探索犬を用いた痕跡調査の方法を「アライグマ探索犬の探索マニュアル」としてまとめた（※2種のマニュアルは、資料として添付）。

2013年度には、大分市においてハンドラーと探索犬の能力検定を目的とした実戦的な探索試験を実施した。探索の際には、ハンドラーが探索犬の行動や周辺環境について何を観察しているかを中心に記録した。

（２）巣箱型ワナの開発

本研究においては飼育個体を用いて実験を行い、アライグマが選好的に用いる巣箱の形状を決定した。次にその形状に基づき巣箱型ワナを試作し、動物園の飼育個体を捕獲できるか実験を行った。また、アライグマ以外の混獲を防ぐために、自立式の設置方法とアライグマだけが登攀できる梯子構造を探索し、野外への設置を試みた。同時にアライグ遠隔捕獲通知システムを開発した。

（３）アライグマ情報共有ネットワークの構築

全都道府県に対しアライグマ対策の現状と問題点、ネットワークへの期待等について問うアンケート調査を実施すると共に、アンケート結果について情報を共有した。また、必要としているネットワーク機能や対策情報についてより詳細を問うアンケート調査及び聞き取り調査を実施した。さらに外来生物法に基づくアライグマ防除の確認を受けている366市町村に対しても同様のアンケート調査を行い、都道府県から市町村を通した対策現場での問題点を整理した。また必要とされているネットワークの基盤としての情報共有システムを構築し、一部の情報を内部共有や一般公開した。

（４）在来生態系保全を目的としたアライグマ侵入初期状況における社会的防除体制の確立

2011年3月に大分県で地元の環境NPOがウミガメの産卵海岸でアライグマの足跡を発見したという情報を入手し、アライグマの拡大防止に関して協力して防除体制を構築することとして調査地を大分に設定した。その後、ウミガメの産卵地において、捕食予防のための電気柵を設置しながら地域へのアライグマ問題に関する普及啓発活動を行なうとともに、自動撮影カメラを設置してアライグマ侵入状況のモニタリング調査を開始した。2012年度には、アライグマの侵入・繁殖が確実な大分市において、市の担当部局とも協力して官・民・学連携による防除体制を作り上げた。2013年度には、前年度までの調査データをもとに、大分市一木地区のアライグマ繁殖コアエリア（160ha）を重点対策地域に定め、地域住民の参加も得ながら、年3回（6月・10月・2月）各々12日間の集中捕獲を実施して、個体数低減の効果を測定した。また、2月の3回目の捕獲では、アライグマ探索犬と巣箱型ワナを導入して、本事業で開発した手法の低密度状況での検証を行なった。

４．結果及び考察

（１）アライグマ探索犬の育成

１）アライグマ探索犬の探索訓練

本研究期間を通して、探索の意欲や臭気を感知したときの意識の切り替わりなどについて、精度が向上した。探索の指示を出すと臭気を感知していない状態でも意識が切り替わり、積極的に嗅ぎまわる探索行動が見られる。また、探索の意識になっていない状態でアライグマ臭気を感知した場合、自ら探索行動に切り替わる。

探索意識の持続力は、約1時間は連続して探索を持続できる。アライグマ臭気を感知した場合、吠えて告知する。ただし、吠えて告知するのは、非常に強い臭気を感知した場合であり、アライグマが通過した跡など臭気が残っている場合には、緊張した様子で体毛が逆立ったり、尻尾をわずかに振ったりする微妙な反応を見せ、これらの小さなサインを逃さず読み取るのがハンドラーの役割となる。実際の探索現場に近い環境での訓練で得た経験から、探索犬特有の反応の種類を

判別できるようになった。

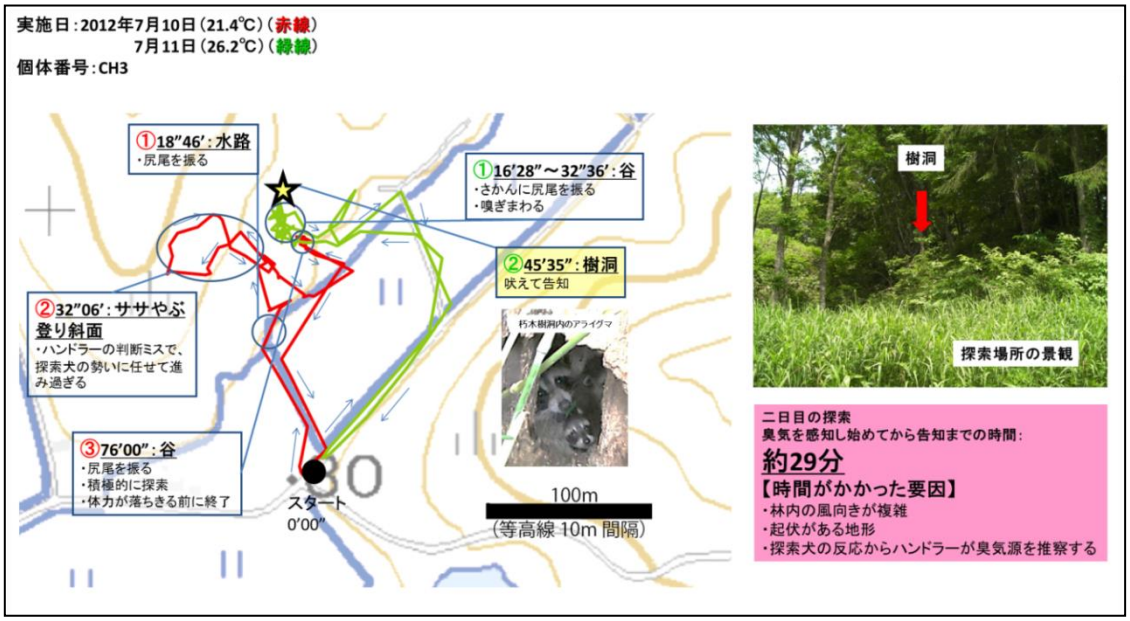
選別訓練によって、アライグマと他の動物臭気を区別することが可能となった。訓練の過程で、アライグマ以外の動物臭気の種類を徐々に増やし、アライグマ以外の動物臭気はすべて無視するという般化が達成されている。

臭気の追跡訓練では、臭気をたどる意欲は高いが、動きが粗く臭跡を見失うことがあるためさらに改善の訓練が必要な状況である。

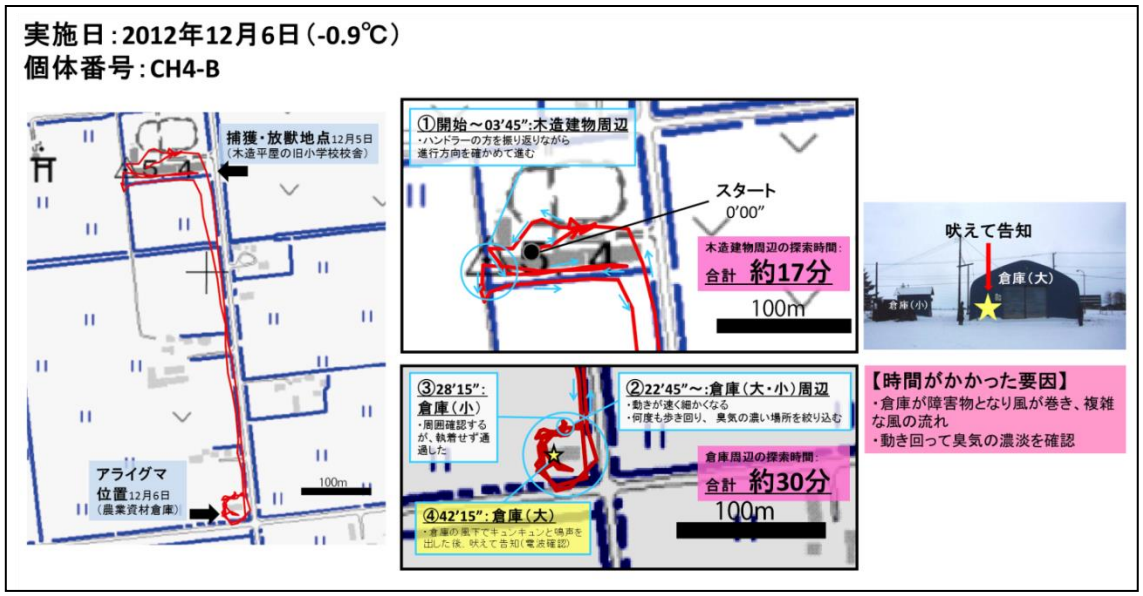
２）発信器装着個体の探索試験

夏季の探索試験の結果を図(5)-2に示した。アライグマの水系に依存する生態的特徴から、当日のアライグマの位置から数百m以内の沢や水路を始点に選んだ。一日目は水路と谷でアライグマ臭気を感知した時特有の尾を振り積極的に嗅ぐ行動が見られたが、ハンドラーの判断ミスにより見当違いの方向を探索させて体力を消耗させたため、探索意欲が落ちる前に終了した。二日目は前日に反応を示した谷一帯で浮遊臭を嗅ぎ取り、臭気源を絞り込もうとする行動が見られた後、斜面上方で吹き上がる風の臭気をたどり、アライグマの位置を特定し吠えて告知し、朽木根元の樹洞内部にいるアライグマを確認した。

冬季の探索試験の結果を図(5)-3に示した。当日のアライグマ位置の倉庫群から約500m離れた、探索試験前日の捕獲・放獣地点（木造建物）から開始した。水路沿いに進み、農業用倉庫周辺に到達して急に動きが速くなった。倉庫（小）の周囲は特別な反応はなく、倉庫（大）の周囲は何度も行き来して臭気源を絞り込もうとする行動が見られ、倉庫（大）の風下側で吠えて告知し、その位置で電波発信音を確認した。



図(5)-2　夏季の探索試験



図(5)-3　冬季の探索試験

３）探索犬とハンドラーの能力検定を目的とした実戦的探索試験

大分県大分市のアライグマ防除事業の協力を得て、低密度状況下でのアライグマ探索試験を実施したところ、2地点で探索犬が反応を示した。

1地点は探索日の前日の夜に自動撮影カメラでアライグマが撮影されていた谷筋であり、探索犬は積極的な探索行動を見せ、谷筋の右岸側斜面際のシュロの木に向かって吠えた。ハンドラーは探索犬の積極的な探索行動と告知行動から、シュロの木の付近にアライグマ臭気が残っているか空気中に漂っていると判断したが、後日再度同じ谷筋で探索を行った際に、探索犬が特定の場所へ執着する様子はみられず、前回吠えて告知したシュロの木とその周辺でも特に変化はなく通り過ぎたため、前回の探索時にはシュロの木にアライグマ臭気があった可能性が高いと推測された。

2地点目は、周辺環境は谷筋に浅い沢が流れ、下流部でため池となっており、谷の両岸は竹や広葉樹の混合林で、左岸斜面上部には畑がある場所であった。探索犬は農作業小屋に執着して、入念に嗅ぎまわったあと、吠えてアライグマの存在を告知した。持ち主の許可を得て小屋の中を確認したところ、探索犬はアライグマ臭気感知の反応を見せ、段ボール箱に再度吠えた。隙間を調べた結果、アライグマはいなかったが、ネズミが食べられた痕と思われる毛の塊や段ボール箱がかじられた痕がみつかった。小屋の周囲を目視確認した結果、屋外にある金属製の水槽の壁面にアライグマの足跡を確認した。探索犬が吠えて告知したことと、以上の痕跡と聞き取り情報から、ハンドラーはアライグマが過去数回にわたって小屋に侵入していた可能性が高いと判断した。

本調査の実戦的な探索では、探索犬の行動だけでなく、ハンドラーが探索犬と周辺環境から読み取る情報を統合して臭気の痕跡情報を記録することが、正確な情報を得るために重要であることが確認された。実際に事業へ探索犬を導入する場合には、定期的に対象地域を巡回して時系列的な情報を集め、アライグマの利用頻度が高い場所を絞り込む探索計画を立てることで、情報をより有効に活用できると想定している。

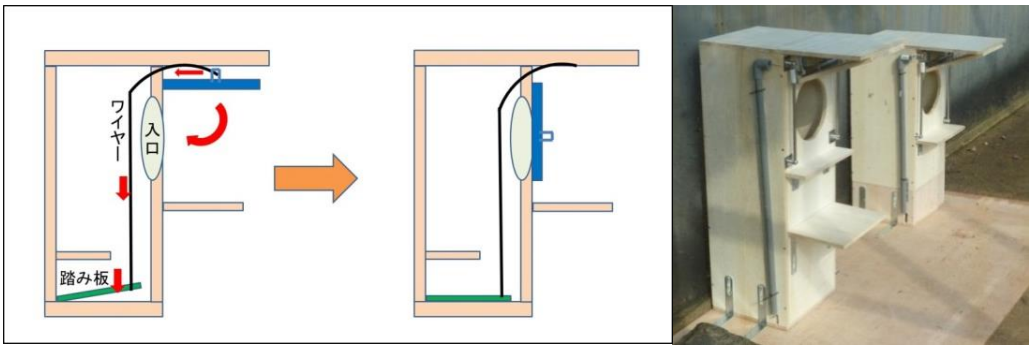
４）アライグマ探索犬育成マニュアル及び探索マニュアルの作成

アライグマは現在全国に生息域を拡大しており、アライグマ探索犬を全国での対策に用いる場合、本研究で育成した探索犬1頭では活用に限度があり、全国でも育成事業を展開する必要がある。そのため、本研究で実施したアライグマ探索犬の育成と探索に関する過程を各々「アライグマ探索犬の育成マニュアル」「アライグマ探索犬の探索マニュアル」としてまとめて成果物とした。これら二つのマニュアルは、巻末に添付資料として添付した。

（２）巣箱型ワナの開発

１）巣箱型ワナ試作機の作成と動物園での飼育個体捕獲実験

アライグマが一度巣箱に入ると出られないように、入り口部分をふさぐ構造を考案し、踏み板を踏むと外部からアライグマの臀部をフタが叩くように閉まる構造の試作機を作成した。前脚で踏み板を踏むことが無いように踏み板よりも上に足場となるよう板を取り付けた（図(5)-4）。捕獲実験の結果、アライグマは巣箱に入り、その後数秒遅れてからフタが閉まり、捕獲が成功した。



図(5)-4　試作機

２）巣箱型ワナの野外への設置実験

大分県大分市において、巣箱型ワナの野外への設置実験を行った。2014年2月の大分市の一斉捕獲事業において12地点のうち6地点を選んで巣箱型ワナと箱ワナを併置、残りの地点には箱ワナのみを設置したところ、当初予定していた12日間では箱ワナにも巣箱型ワナにも捕獲は無かった。その後捕獲期間を1週間延長するとともに、今までの12地点以外に範囲を広げて、足跡や痕跡を発見した9地点のうち7地点に箱ワナのみ設置、2地点に巣箱型ワナと箱ワナを併置したところ、箱ワナで2頭、巣箱型ワナで1頭の捕獲に成功した（図(5)-5）。

巣箱型ワナで捕獲された個体はメスの妊娠個体で、4頭の胎児を確認した。一斉捕獲19日間のCPUE（Capture Per Unit Effort）は0.7でこれは1㎢あたり0～1頭という低密度地域に相当し、低密度地域において巣箱型ワナでの初捕獲となった。しかし、内部の構造を捕獲個体が壊してしまうため、今後は強度の改善が課題として残った。

図(5)-5　巣箱型ワナで捕獲されたアライグマ

３）アライグマ遠隔捕獲通知システムの開発

巣箱型ワナの最大の利点は餌の交換のための見回りを必要としないところにあるが、アライグマの捕獲情報が自動配信されると作業コストはさらに低減される。本研究では株式会社NTTドコモが、ヒグマの檻監視に使用している捕獲情報通知システムを改良して、その使用可能性を検証した。

NTTドコモが開発を行っているヒグマ檻監視システムは、ドコモの電波帯を使用する通信モデム（D2F-Contact）を使用しており、モデムにつながれたバネに檻のフタが触れると、モデム電源が入り、メールを送信するシステムである。しかし、これは１基約10万円もする機械であり、試験段階であってもアライグマのワナに使用するにはあまりにも高額なため、今回はモデム１基に対して５基の傾きセンサー付き発信機を接続し、発信機を巣箱型ワナのフタに取り付け、フタが落ちると傾きを検知し、wi-fi電波を飛ばし、モデムにつながれた受信機でwi-fi電波を受信すると、モデム電源が入り、メールを送信する仕組みに改造した。

今回の実験では、wi-fi電波が到達する範囲では捕獲情報がメールで配信され、システムの有効性自体は検証された。しかし、森林部に巣箱型ワナが設置されているとwi-fi電波の到達距離が極端に制限され、wi-fi電波が障害物に異常に弱いことが明らかとなり、システム構造を見直す必要性が示唆された。捕獲情報がメールで配信されるシステムは捕獲実施者にとって非常に有用であるため、今後はドコモの携帯電話の電波を直接利用して、メールを送信するシステムで安価な方法を模索する予定である。

４）巣箱型ワナと箱ワナの設置に係るコスト比較

アライグマ遠隔通知システムの改良が必要とはなったが、本研究では傾きセンサー付き発信機と通信モデムを利用したシステムを使用する前提で、巣箱型ワナと箱ワナの設置に係るコスト比較を行った。

低密度生息地域において箱ワナを20基1ヶ月、巣箱型ワナを20基1か月設置した場合のコスト比較が表(5)-1　である。

表(5)-1　箱ワナ・巣箱型ワナ20基1か月設置する場合のコスト比較

箱ワナ（1ヶ月間）	20基設置	巣箱型ワナ（1ヶ月間）
15,000×20基＝ 300,000円	ワナ値段	15,000×20基＝ 300,000円
0円	モデム・発信機	モデム15万×4基＝ 600,000円 発信機20基 5,000円×20基＝100,000円
エサ代1000円×20基＝ 20,000円	ランニングコスト	モデム4基の通信料 （巣箱型ワナ5基につき1モデム） 900×4基×1か月＝3,600円
8,000円/日×１人×30日 ＝ 240,000円	見回りに係る費用	0円
560,000円	計	**1,00,3600円**

次に2か月、3か月、1年間設置した場合のコストを表(5)-2に示す。1ヶ月目はイニシャルコストの高い巣箱型ワナでは、箱ワナの約2倍のコストがかかるが、見回りに人件費を要する箱ワナは3ヶ月目で巣箱型ワナのコストを上回り、20基をのべ1年間連続設置したと仮定すると、巣箱ワナは箱ワナの約3分の1の費用で捕獲を行うことが出来ると考えられる。低密度生息地域においては、ワナ設置数に対して捕獲数が著しく少なく、長期的に捕獲を試みる必要がある場合、巣箱型ワナは費用的には低密度生息下で箱ワナよりも効率の良い捕獲方法であると言える。また、見回りを行うワナ設置者の捕獲意欲も低下してしまうことが根絶を達成できない理由として挙げられるが、巣箱型ワナは捕獲数が少ない状況でも見回る必要が無く、捕獲通知メールの受信を待てばよいだけなので、その点でも有効なワナと言えることが示唆された。

表(5)-2　長期間（2・3・12か月）設置した場合のコスト比較

箱ワナ（2ヶ月間）	20基設置	巣箱型ワナ（2ヶ月間）
820,000円	計	1,007,200円
箱ワナ（3ヶ月間）	20基設置	巣箱型ワナ（3ヶ月間）
1,080,000円	計	1,010,800円
箱ワナ（1年間）	20基設置	巣箱型ワナ（1年間）
3,420,000円	計	1,043,200円

（３）アライグマ情報共有ネットワークの構築

アライグマ情報共有ネットワークの構築に関しては、アンケート回答のあった41都道府県に対し、集計結果をフィードバックすると共に、結果に関するアンケートを実施した。その結果、必要とされるネットワークの機能として、“専門職として野生生物問題に対応（連絡・調整、普及

啓発、調査、駆除、データ整理）する人材の配置や育成、又はそれらを補完する機能やそのような業務を行う団体の情報提供”、“実際に防除を行う部署の体制整備”、“低密度状況下における効率的な防除の方法”、“アライグマの生息数を把握できるような機能”、“他都道府県の取り組み状況の紹介”、“国外の外来動物対策も含めた最新の知見の報告”などが必要とされていた。

取り組みの状況として、多くの都道府県と市町村において、防除手法の検討を含めた捕獲までの取り組みは実施されているが、捕獲後モニタリング調査等による駆除効果の検証や成果をフィードバックし、新たな防除に生かす捕獲後の取り組みが未実施であり、一連の防除対策が円滑に実施されていないことが示唆された。さらに、対策効果を感じている自治体が少なく、効果に関する定量的なデータもほとんど存在していないことが明らかになった。

このような現状から、課題を解消し、今後の実行可能な効果的かつ効率的なアライグマ対策に向けて、考察を得た。都道府県と市町村のそれぞれの実施事項を考慮すると、

・普及啓発は都道府県を中心とし、活用できる資料などを市町村に提供する

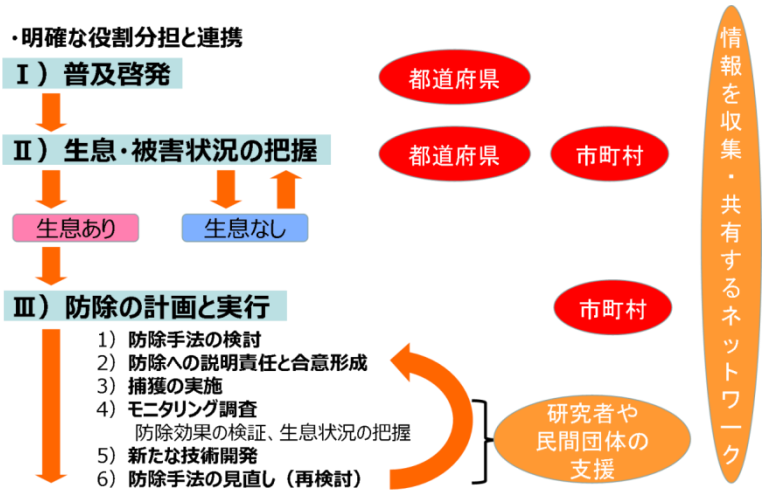
・生息・被害状況の把握は被害通報に関するものを市町村、それら情報の統括や人が居ない地域などは都道府県が扱う

・防除の計画と実行は基本的に市町村が実施し、防除マニュアルの提供を含めた全体的な支援を都道府県、モニタリングなどの捕獲後の取り組みを専門家の支援によって対策を実施する

という体制（明確な役割分担と連携）である。

実際には、広域的な防除や人が住んでいない地域の防除は都道府県が担うなど、柔軟に対応する必要があるが、このような体制によって一連の防除対策が可能なると考えられた。さらに、このような体制に基づいて対策を実施するために各主体を動かす法的な裏付けや情報を共有するネットワークによる情報の収集・蓄積が必要であると考えられた（図(5)-6）。

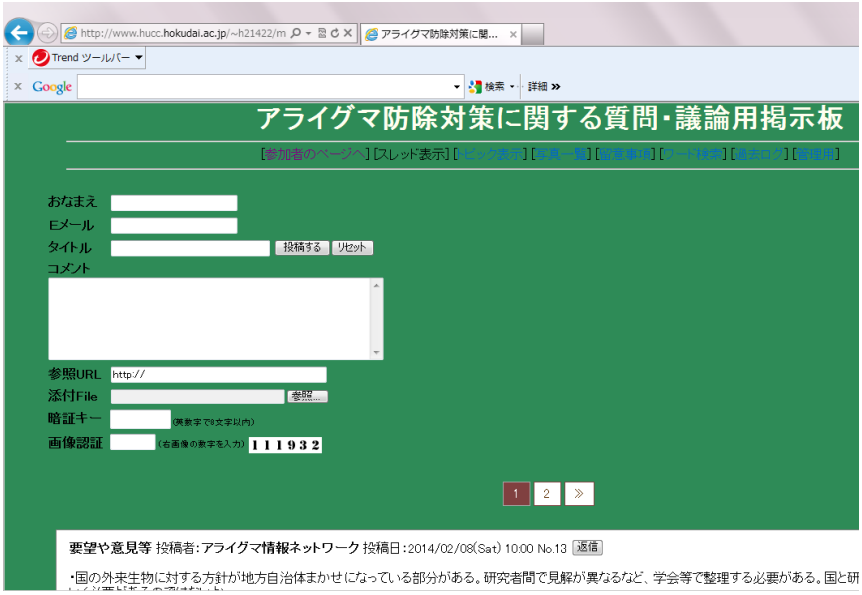
都道府県における対策実施自治体の約7割（とても期待する12.0%、n=3、やや期待する60.0%、n=15、N=25）、未実施の約9割（とても期待する20.0%、n=3、やや期待する73.3%、n=11、N=15）、市町村の6割以上（とても期待する15.2%、n=28、やや期待する50.5%、n=93、どちらともいえない26.6%、あまり期待しない7.6%、N=184）がネットワークに期待すると回答しており、特にその機能として、各地の事例、手法、困難の共有や困難の相談の場、が期待されていた。さらに、対策に関する情報不足に加え予算不足や人員減少等の困難に各地が直面しており、自治体が実行困難な取り組みの支援、担当者の負担を軽減する等の困難を軽減できる機能が必要であると示唆された。つまり、各地域のアライグマ対策に関する情報（現状把握手法等の、利活用できる対策関連情報）を共有し、情報に分析を加え、各地が利活用可能にする機能を持ち、人的交流や対策現場への支援、人材育成等を実行可能なネットワークが期待されていると考えられる。



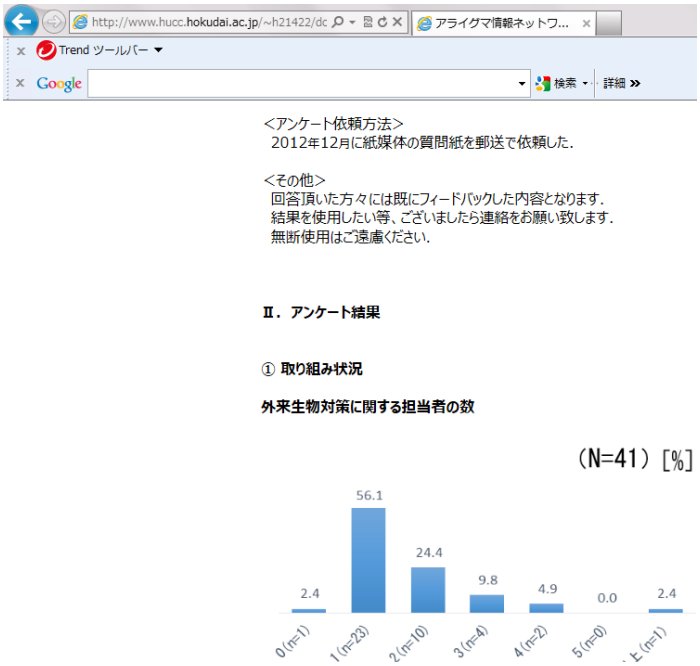
図(5)-6　役割分担と連携を考慮した実行可能な対策体制

期待されているネットワークの土台として、各自治体担当者が情報交換や議論可能な交流の場（Webページやメーリングリストを用いたやり取りを行う場）を作成した（図(5)-7）。議題を提供し（例えば、実行可能な対策体制について）、一部の情報については内部共有、又は一般公開している（図(5)-8、図(5)-9）。

図(5)-7　作成したHPのトップページ



図(5)-8　議論等の情報交換に用いる掲示板のページ（参加者限定ページ）



図(5)-9　一般公開用の情報の一部（参加者以外も閲覧可能なページ）

（４）在来生態系保全を目的としたアライグマ侵入初期状況における社会的防除体制の確立

１）ウミガメ上陸地の環境保全運動にベースを置いたアライグマ侵入初期防除体制の構築

大分県はアライグマの生息情報は得られているものの、九州では比較的侵入情報の少ない県であり、農業被害も少ない状況にある。こうした中で2011年3月にウミガメが上陸して産卵する海岸において砂上に残されたアライグマの足跡が地元の環境NPO（おおいた環境保全フォーラム）によって発見された。ウミガメは、母親の産卵行動や孵化個体が一斉に海に帰る行動によって一般にもよく知られており、環境保全活動の題材としてよく用いられており、在来希少種へのアライグ

マの影響を一般にも広く知ってもらうためには格好の対象種であるといえる。そこで、おおいた環境保全フォーラムに連絡を取り、アライグマによるウミガメ被害防止対策を考えるとともに、アライグマによる在来種や生態系への影響を広く認識していただき、アライグマ問題を普及・啓発し、アライグマの侵入拡大防止対策へとつなげていく協力体制をとることとなった。

2011年度には、国東市から佐伯市に至るまでの海岸線に上陸したウミガメの産卵地において、産卵場所の周囲を電機牧柵で囲うという被害防止対策を実施し、同時に地域住民にアライグマによるウミガメ捕食の可能性を説明することでアライグマ侵入に対する意識の向上を目指した。また、海岸線を中心に、アライグマ痕跡調査と赤外線自動撮影デジタルカメラによるアライグマ侵入状況調査を実施した。

2012年度には、大分県や大分市にも協力を仰ぎ、行政に寄せられたアライグマ情報と調査で得られた情報を合わせて侵入状況の把握に努めたところ、大分市のウミガメ産卵海岸から5kmほど離れた一木地区においてアライグマの繁殖が確認された。一木地区の環境はアライグマの生息に適しており、今後一木地区が繁殖のコアエリアとなって外部へのアライグマの供給源となるであろうことが推察されたため、大分市と相談の上、大分市一木地区を対策重点地域として2013年度に一斉捕獲を試みることとなった。さらに、地域の自然環境保全と農業被害予防のために自治会が中心となってアライグマ捕獲への協力体制が組まれ、官・民・学連携でのアライグマ侵入初期防除体制の確立に至った。

２）官・民・学連携によるアライグマ一斉捕獲の効果

繁殖コアエリアと想定された大分市一木地区において、自動撮影カメラへの写り込み状況と大分市の実施可能な予算規模を勘案し、図(5)-10にある根絶目標地域を設定した。面積は160haで、周囲を住宅地と交通量の多い道路で囲まれたエリアの中心地域となっている。

図(5)-10　大分市での根絶目標地域の設定

2013年度には、大分市・おおいた環境保全フォーラム・地域住民と北海道大学が協働で集中的捕獲を実施した。捕獲は年に2013年6月・10月・2014年2月の年3回とし、各回12日間、11カ所に大分市と北海道大学が所有する箱ワナを基本的に15台仕掛けて捕獲を実施した（図(5)-11）。

実際の捕獲は、1回目が6月17日～28日、2回目が9月26日～10月7日、3回目が2月10日から2月21日までの日程で実施した。箱ワナの餌は、インスタントラーメン、キャラメルコーン、ドッグフードとし、餌を夕方に設置し、早朝にワナを見回って、テン・タヌキなどの在来種が混獲された際には、直ちに放逐することとした。また、捕獲が終了した後も、地元環境NPOの協力で自動撮影カメラを2週間程度ワナポイントに設置して、捕獲効果のモニタリング調査を実施した。

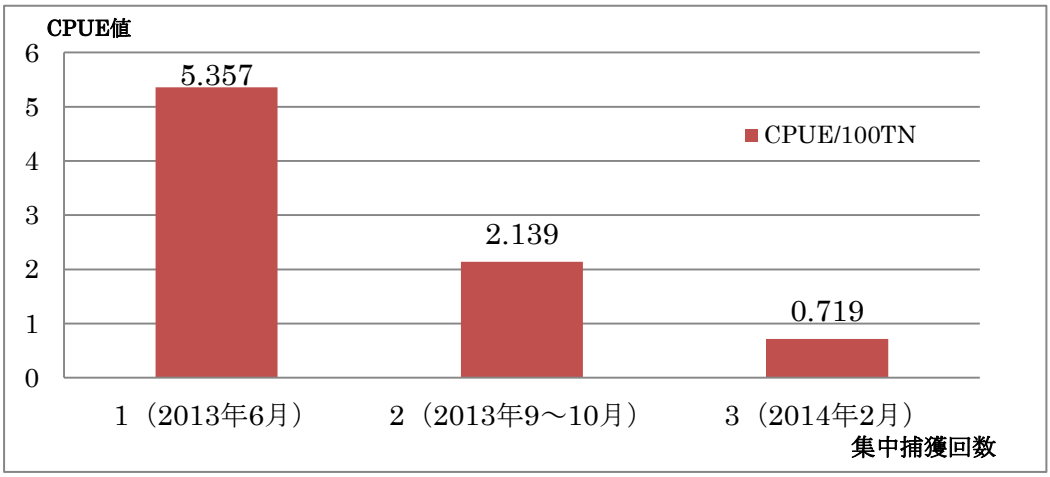
図(5)-11　大分市一木地区での捕獲における箱ワナ設置ポイント

また、集中捕獲によって低密度が達成されることが予想された3回目の捕獲では、2回目までと同様の箱ワナに加えて、事前の自動撮影カメラを用いたモニタリング調査によってアライグマの痕跡が確認されている地点（No.1～No.5，No.11）の6地点に巣箱型ワナを設置し、またアライグマ探索犬による探索を実施して本研究で開発した手法の評価を試みるとともに、捕獲期間終了後に捕獲対象地域を拡大、かつ設置ワナ数も追加して、捕獲と探索犬による探索を継続し、取り逃し個体の捕獲に努めた。

6月の第1回目の捕獲では、168ワナ日の捕獲作業を実施し、9頭が捕獲され、CPUEは0.053571（5.3571/100TN）であった。10月の2回目の捕獲では、187ワナ日の捕獲作業で4頭の捕獲があり、CPUEは0.021390（2.1390/100TN）まで低下した。2回目の捕獲でCPUEは半分以下にまで低下しており、この地域でのアライグマの生息数は明らかに低減したと判断された。2014年2月の3回目の捕獲では、12日間の所定の捕獲期間の捕獲頭数は0頭であり、明らかに集中捕獲の効果が見られた。3回目の捕獲では、12日間の所定の捕獲後にワナ設置地域を周辺地域に拡大し、ワナ数を増加して6日間の捕獲作業を追加したが、この延長捕獲を含めても417ワナ日の捕獲作業でCPUEは0.007194(0.7194/100TN)で、集中捕獲によって生息密度は大幅に低下している（図(5)-12）。

以上の結果から、アライグマ対策においては、侵入初期において侵入情報を素早く集約し、地域住民の理解と協力を得ながら早期捕獲対策を行なうことが重要であることが改めて立証された。また、侵入初期の防除体制の確立においては、地域の自然環境の変化に常日頃から注意を払い、野生生物や環境に対する知識を備えている地域環境NPOの参加が非常に大きな力となることが明

らかとなった。また、地域の自然環境保全意識が、アライグマの初期防除の有効な動機付けとなり、かつその後の効果的・効率的な捕獲という成果をもたらした。調査対象地域がそれほど広い地域ではないにせよ、15基程度の箱ワナでここまで生息数を低減できたことは、本研究の大きな成果と言える。本研究では、ウミガメ保護という一般人にもわかりやすく感情移入のしやすい動物をベースに事業を展開したが、全国各地でも地域の固有種や希少種保全とアライグマ防除を関連付けることで、新たな展開が期待できるものと考える。



図(5)-12　大分市での3回のアライグマ捕獲におけるCPUEの変化

３）本研究で開発した低密度状況における探索・捕獲技術の評価

先のアライグマ探索犬及び巣箱型ワナの結果と考察において結果を記載したが、大分市での3回目の捕獲では、アライグマ探索犬と巣箱型ワナを捕獲事業に導入して、探索・捕獲技術の評価を試みた。

アライグマ探索犬では、直接の捕獲に結びつく成果は得られなかったが、捕獲には至らなかった個体の存在や人間の痕跡調査では見過ごしてしまったアライグマの痕跡に適切に反応を示した。また、巣箱型ワナでは実施の捕獲に成功しており、誘因餌がなくとも樹洞営巣性を利用した巣箱型ワナは低密度状況において効率的な捕獲を実現できる可能性を示した。

アライグマは、山林の中では特定のけもの道を繰り返し利用することは少なく、毎日同じ地点を訪れるわけではない。すでにアライグマが低密度になっている上に、こうした特性からも、短期での残存個体の捕獲を安易に期待できるものではないが、探索犬によってアライグマが訪れていると推察される場所が明らかにできたことと、巣箱型に関心を示すことは明らかであり、今後の探索犬と巣箱型ワナの活用に期待が持てる状況になった。

５．本研究により得られた成果

（１）科学的意義

アライグマの効率的防除戦略開発では、アライグマ探索犬の育成手法を確立し、誘引餌を必要としない巣箱型ワナの有効性を実証するまでに至り、低密度状況下における低コストでの効果

的・効率的探索・捕獲手法確立のための基礎を固めることができた。外来種探索犬に限らず、従来の犬を用いた動物の探索や防除対策では、調教師の個人的技術に頼った育成が行われており、汎用性のないものとなっていたが、本事業では動物心理学・行動学の理論に基づいた育成・訓練手法を用いており、それをマニュアルとして汎用性を持たせたところに科学的意義があると考えている。巣箱型ワナ開発では、動物園での飼育個体を用いた実験を繰り返すことで確実に作動するワナの構造を検証しながら、科学的にワナの開発を進めることができた。

また、生態系保全を目的としたアライグマ防除体制構築及び生息状況に即した地域的アライグマ防除対策策定を目指したアライグマ情報ネットワーク構築を行い、外来種防除対策の社会的基盤として人文・社会科学的アプローチを導入できた。アライグマのように全国的に拡大した外来種対策においては、社会的合意や協働が必要不可欠であり、従来見過ごされてきた対策の社会的基盤強化という点で成果を上げることができた科学的意義は大きいと考えている。

（２）環境政策への貢献

＜行政が既に活用した成果＞

環境省外来種被害防止行動計画策定会議において、外来種対策を効果的に進めるための技術開発及び社会的基盤構築に必要なアライグマ対策情報を提供し、また北海道外来種対策検討委員会において、アライグマに関する防除技術開発情報を提供し、将来の試験的導入と実用化を提言した。

大分市のアライグマ対策において、本研究への協力に引き続き、北海道大学との協働研究体制を継続し、巣箱型ワナを活用している。環境省釧路自然環境事務所による知床半島のアライグマ防除事業において、2013年度に巣箱型ワナを導入した。

＜行政が活用することが見込まれる成果＞

北海道旭川市でも2014年度に巣箱型ワナの活用を予定している。また、北海道庁との連携において、通常の箱ワナ捕獲で低密度状況を実現した地域において、巣箱型ワナと探索犬を導入することを予定している。

６．国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

７．研究成果の発表状況

（１）誌上発表

＜論文（査読あり）＞

特に記載すべき事項はない。

＜その他誌上発表（査読なし）＞

1) 山田文雄、池田透、小倉剛編：日本の外来哺乳類　管理戦略と生態系保全、東京大学出版会(2011)
2) 山田文雄、池田透、小倉剛編：日本の外来哺乳類　管理戦略と生態系保全、東京大学出版

会、1-26（2011）
「第１章　日本の外来哺乳類　現状と問題点（執筆担当：池田透）」
3)　山田文雄、池田透、小倉剛編：日本の外来哺乳類　管理戦略と生態系保全、東京大学出版会、59-101（2011）
「第３章　海外の外来哺乳類対策　-先進国に学ぶ（執筆担当：池田透、山田文雄）」

（２）口頭発表（学会等）

1)　池田透、中井真理子、島田健一郎、山下國廣、福江佑子、小谷栄二、川崎綾子：日本哺乳類学会2011年度大会(2011)
「低密度状況下におけるアライグマの探索・捕獲技術開発」
2)　T. IKEDA, M. NAKAI, K. SHIMADA, K. YAMASHITA, E. KOTANI and A. KAWASAKI：25th International Conference for Conservation Biology, Auckland, New Zealand, 2011
“Development of efficient technologies to capture invasive alien raccoons at low population density”
3)　T. IKEDA, M. NAKAI, K. SHIMADA, K. YAMASHITA, E. KOTANI and A. KAWASAKI：18th Annual Conference of the Wildlife Society, Hawaii, USA, 2011
“Development of efficient technologies to detect and capture invasive alien raccoons at low population density in Japan”
4)　T. IKEDA: Joint Meeting of the 59th Annual Meeting of ESJ & the 5th EAFES International Congress, Otsu, Japan, 2012
“Struggle with Racoons for preventing ecological and agricultural impact”
5)　池田透、石井信夫、山田文雄：日本哺乳類学会2012年度大会（2012）
「効果的・効率的外来哺乳類対策の構築に向けて」
6)　池田透、阿部豪：日本哺乳類学会（2012）
「アライグマ防除事業の課題」
7)　中井真理子、山下國廣、福江佑子、池田透：日本哺乳類学会2012年度大会　（2012）
「アライグマ探索犬の育成方法及び活用に関する研究～探索訓練の経過と発信器装着アライグマのレスティングサイト探索試験～」
8)　島田健一郎、池田透、小谷栄二、藤本綾子：日本哺乳類学会2012年度大会　（2012）
「アライグマ捕獲のための巣箱型ワナの開発と試験設置」
9)　中井真理子、山下國廣、福江佑子、池田 透：日本哺乳類学会2013年度大会（2013）
「アライグマ探索犬の訓練方法および活用に関する研究－夏冬の探索試験の結果および探索環境条件と臭気の流れに関する考察－」
10)　T. IKEDA, M. NAKAI, K. SHIMADA, T. SUZUKI and J. ZHANG：26th International Congress for Conservation Biology, Baltimore, USA, 2013
“New initiative for invasive alien raccoon control in Japan”
11)　池田透、中井真理子、島田健一郎、鈴木嵩彬：第61回日本生態学会大会（2014）
「アライグマの効果的・効率的防除戦略開発」
12)　鈴木嵩彬、池田透：第61回日本生態学会大会（2014）

「外来アライグマ防除対策における情報共有ネットワーク構築」

（３）出願特許

特に記載すべき事項はない。

（４）シンポジウム、セミナー等の開催（主催もの）

特に記載すべき事項はない。

（５）マスコミ等への公表・報道等

1)　大分合同新聞（2013年2月20日、大分市での本研究課題によるアライグマ防除モデル計画に関する取材記事）
2)　Shi-Ba【シーバ】（2013年3月号、辰巳出版、アライグマ探索犬の育成・研究に関する取材記事）
3)　北海道放送「北海道NEWS1」（2013年5月9日、アライグマ探索犬についての取材放送）
4)　TBS放送「Nスタ」（2013年5月20日、アライグマ探索犬についての取材放送）
5)　大分合同新聞（2013年6月4日、朝刊、大分市でのアライグマ一斉捕獲に関する取材記事）
6)　大分合同新聞（2014年2月3日、朝刊、巣箱型ワナ導入に関する取材記事）
7)　朝日新聞デジタル（2014年2月11日、大分市の捕獲におけるアライグマ探索犬と巣箱型ワナの導入についての取材記事）
8)　NHK大分（2014年2月12日、大分市での探索犬と巣箱型ワナ導入に関する取材放送）
9)　大分朝日放送（2014年2月12日、大分市での探索犬と巣箱型ワナ導入に関する取材放送）
10)　TOSテレビ大分（2014年2月12日、大分市での探索犬と巣箱型ワナ導入に関する取材放送）
11)　OBS大分放送（2014年2月12日、大分市での探索犬と巣箱型ワナ導入に関する取材放送）
12)　大分合同新聞（2014年2月13日、朝刊、大分市での巣箱型ワナ導入に関する取材記事）
13)　朝日新聞デジタル（2014年2月17日北海道情報、大分市での巣箱型ワナ導入と知床での活用に関する取材記事）
14)　大分合同新聞（2014年2月27日朝刊、全国初の巣箱型ワナによるアライグマ捕獲に関する取材記事）
15)　NHK総合「おはよう日本」（2014年3月5日、大分市におけるアライグマ対策への地域的取り組みと巣箱型ワナでの初捕獲の紹介）
16)　朝日新聞（2103年4月22日、朝刊、全国版、アライグマ捕獲用巣箱型ワナ開発に関する取材記事）

（６）その他

特に記載すべき事項はない。

８．引用文献

1)　山田文雄、石井信夫、池田透、常田邦彦、深澤圭太、橋本 琢磨、諸澤崇裕、阿部愼太郎、石川拓哉、阿部豪、村上興正：哺乳類科学、52, 2, 265-287 (2012)

「環境省の行政事業レビューへの研究者の対応―効果的・効率的外来哺乳類対策の構築に向けて―」

（６）防除実践のためのモデル解析

横浜国立大学大学院　環境情報研究院　　小池　文人

＜研究協力者＞　(独)国立環境研究所　　横溝　裕行、深澤　圭太

平成23年度～25年度累計予算額：6,980千円
（うち、平成25年度予算額：1,990千円）
予算額は、間接経費を含む。

［要旨］

外来生物の分布拡大に伴い、被害も拡大している。政府、自治体、市民などさまざまな主体による、様々な規模の外来種対策事業が行われ、根絶事業も開始されているが、これまでは目標や定量的な防除シナリオが曖昧なケースも少なくなかった。

この研究では、まず現在行われている防除事業を統一的な方法でヒアリング調査して、統一的に状況把握する方法を開発した。この結果から外来生物の防除事業の全体像の把握と事業評価が可能になった。これにより外来種の効果的・効率的な防除においては、目的設定から防除実施、モニタリングにいたる、プロジェクト管理サイクルの徹底が急務であることが明らかになったため、外来生物防除にふさわしいプロジェクト管理サイクルの確立を目指した。このような管理サイクルの中ではさまざまな数理モデルの利用が不可欠であり、さまざまな外来生物の防除事業で一般的に必要となる問題について数理モデルを用いて解析した。

本研究における数理モデルを用いた個別の成果としては、奄美大島のマングース事業での個体群モデルによる根絶対象のマングース個体群の予測と保全対象の在来生物個体群の予測、さまざまな外来生物での根絶費用の統計的な推定、根絶後に回復させるべき目標生態系の定量的な推定（種の優占度の地形分布など）、根絶・密度低下の対象地域と事業を実施しない周辺地域とのあいだの外来生物の密度勾配の設計、などが可能になった。

［キーワード］

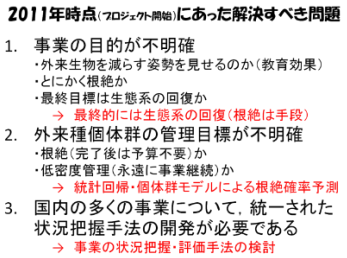
外来生物、防除事業、事業評価、プロジェクト管理サイクル、数理モデル

１．はじめに

外来生物の分布拡大に伴い被害が増加している。我が国においても、政府、自治体、市民などさまざまな主体による、様々な規模の外来種対策事業が行われ、根絶事業も開始されている。しかし、かい掘りにより「ため池」から外来種を含めてすべての魚種を取り除いたが、その後に回復させるべき生態系が不明のケースや、外来生物の捕獲・除去を行い密度低下が見られるものの、根絶に至っていない状態が継続しているケース、さらに捕獲による密度低下も確認されないケースなどがみられ、根絶及び密度低下による被害軽減、分布拡大阻止などの個体群管理の目標設定や、生態系の回復、経済被害や健康被害の軽減など、目標の設定を合理的におこなう方法が必用になってきている。

外来種の個体群密度管理に注目すると、捕獲を続けて根絶に至るまでの道筋が不明瞭で、現状の把握がないまま捕獲を続けているケースも見られるため、どのような捕獲努力を行うことで、何年後にどの程度の確率で根絶に持ち込むことができるのか、というデータにもとづいたプロジェクトの全体計画を立てる必用がある。また、地域を区切って根絶事業や密度低下を行うケースや、分布拡大阻止の封じ込めを行うための防衛線が設定されることも多いが、その防衛線では外来生物個体の密度勾配が生じる。フェンスやトラップの設置によって密度勾配を維持しているが、中型哺乳類以下のサイズでは、フェンスも100%の遮断が困難なケースが多く、一定の透過率を見込んだ上で、空間的な拡大速度に見合った個体群密度勾配を設計する必用がある。

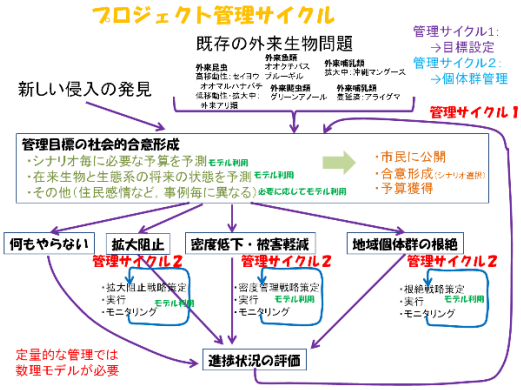
本推進費課題における他のサブテーマでは、トラップの改良や農薬を利用した防除などの防除法の研究も行われている。このような新技術の評価では防除技術単体のコスト評価も重要であるが、根絶など具体的な防除目的を定めた上で、人件費を含めたプロジェクト全体の進行管理のなかでの技術評価が必要となる。このように外来種の効果的・効率的な防除においては、目的設定から防除実施、モニタリングにいたる、プロジェクト管理の徹底が急務である（図(6)-1）。



図(6)-1　事業開始時点（2011年）に存在した問題とその解決

数理モデルは外来生物防除のさまざまな場面で必要になるため、さまざまな場面で多様なモデルが断片的に利用されてきた。このサブテーマでは防除事業全体の進行管理サイクルを確立し、その中でどの部分にどのようなモデルを利用すべきなのかを体系的に考えた。

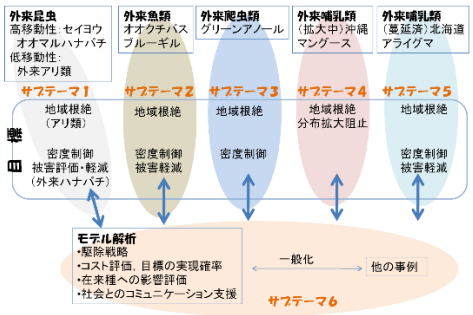
プロジェクトマネジメントシステムでは、状況把握や計画、実行、結果の見直しをサイクルとして行うことが多い。企業などでは多くのメンバーが管理サイクルの過程を共有できるように、わかりやすいスローガンが掲げられる。定性的なアプローチとしては伝統的なPDCA（plan-do-check-act)などがあり、単純な目標を定量的に表現できる場合にはDMAIC（define the system、measure、analyze、improve、control the process)などのスローガンもある。外来生物対策の事業においても、社会との関係性を含めて事業の全体像を把握し、現状をモニタリングして見直しながら事業を進めることになるが、事業の特性を見極めて適切な管理サイクルを構築してゆく必要がある（図(6)-2）。



図(6)-2　外来生物防除におけるプロジェクト管理サイクルの例

２．研究開発目的

生態系の回復を最終目標とし、防除事業の管理サイクルの実装提案を行うことを最終的な目的とした。それに至るための外来生物の個体群管理と生態系回復を、北海道のアライグマや奄美大島と沖縄のマングース、小笠原のグリーンアノール、琵琶湖のブラックバス、北海道のオオマルハナバチと東京のアルゼンチンアリなどを対象に、より簡単な統計モデルから、複雑なプロセスを再現したシミュレーションまで、さまざまなモデルを総合的に利用しながら研究を行った（図(6)-3）。



図(6)-3　この事業で扱った外来生物防除プロジェクトの事例

３．研究開発方法

（１）ヒアリング調査

防除事業の関係者ではない調査者が事業全体の状況を把握するには、まず定性的な聞き取り調査で概要や考慮すべき項目（どんな生物や環境要因が関与するのか、利用する捕獲手法、モニタリング手法など）を把握し、その後に重要な項目について定量的な情報（個体群密度指標の推移など）の収集を行うことになる（図(6)-4）。

本研究では現地を訪問しプロジェクト担当者からヒアリングを行った。一般性の高いヒアリング調査手法の確立を目指し、ヒアリング報告書に必要な情報のリストの検討を行った。言葉では伝わらない要因も考えられるため、さまざまな生態系で研究・観察の経験を持つ者が現地の生態系を訪問することも不可欠と考えた。

ヒアリングで取得した情報は、①地理的な空間範囲や、考慮する生物種・無機的環境の項目（土砂流出など）などの外来生物防除プロジェクトに関係する生態系の範囲（図(6)-4）、②防除対象

の外来種個体群の制御に関する捕獲手法などの情報、③外来生物個体群の密度のモニタリング情報（定量データの有無）、④回復すべき生態系（在来種等）のモニタリング情報（定量データの有無）、関係する地域社会の状況などである。

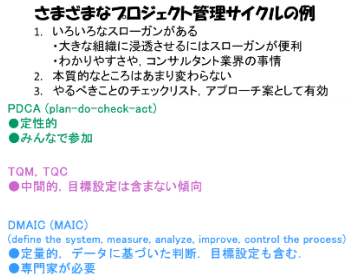
実際のヒアリングは、他のサブテーマの協力を得て2011年から2012年にかけて行った（図(6)-4）。サブテーマの担当者の研究室を訪問して2時間程度の聴き取りを行ったあと、可能な限り現地を訪問し、生態系や地形、周辺の土地利用などの状況を観察した。

対象種	ヒアリングと現地見学
グリーンアノール	2011年11月15日 ヒアリング 2012年2月18-23日 現地
マングース	2011年11月30日 ヒアリング 2012年2月14-17日 現地
セイヨウオオマルハナバチ，アルゼンチンアリ	2011年12月5日 ヒアリング 2012年1月17日 現地
アライグマ	2012年1月18日 ヒアリング
オオクチバス	2011年12月14日 ヒアリング，現地

図(6)-4　ヒアリングによる外来生物防除プロジェクトの状況調査（左）。外来生物防除プロジェクトで掌握する生態系の範囲（中）。この例ではサンゴ礁も考慮対象に含むことになる。外来生物防除プロジェクトからのヒアリング調査の実施時期（右）

（２）外来種防除への工業の品質管理手法の応用

プロジェクトマネジメントシステムでは、状況把握や計画、実行、結果の見直しをサイクルとして行う。企業などでは多くのメンバーがマネジメントサイクルの過程を共有できるように、わかりやすいスローガンが掲げられる。定性的なアプローチとしては伝統的なPDCA（plan-do-check-act）などがあり、定量的に表現できる場合にはDMAICが利用できる（図(6)-5）。



図(6)-5　さまざまなプロジェクト管理サイクルの例

さまざまな部品を組み合わせて製造する工業製品の企画と製造では、最終的な製品の品質の要求水準に合わせて、部品の不良品率が必用十分なレベルになるよう設計することが行われる。生態系（土壌浸食など非生物的なものも含む）の回復を目指す外来生物の根絶事業では、生態系の回復目標に合わせて外来生物の個体密度のレベルの目標を設定する（根絶も選択肢のひとつ）。根絶対象地域全体を地域区画に区分して扱うことが多いが、ひとつずつの区画は地形やアクセス性（コスト）が異なり、工業製品を構成するさまざまな部品にたとえることが可能で、根絶対象地域全体はひとつの製品とみなすことができる。

根絶事業ではどれかひとつの部品（区画）が不良品であっても製品全体（根絶事業）が不良品となるため、個々の区画（部品）ごとに必用な品質管理水準（トラップ捕獲率など）を設定し、区画へのコスト配分を最適化しながら、製品全体の信頼性を管理する（図(6)-6）。このように必要十分な低密度状態を維持しながら確率的（人口学的変動と環境変動）な絶滅を待つことになる。

ここで特定の部品のみを高品質（集中的な資源投入による特に低密度な区画）にしても、製品全体の品質（根絶成功確率）は向上しないため、資金の無駄遣いとなる。根絶事業ではさらに「隣接部品への不良化の伝播」（残存個体群の分布拡大）もおきるため、すべての部品を同時に高品質に維持する必要がある。

図(6)-6　根絶事業全体（左）を自動車のような工業製品にたとえると、それぞれのサブ地区は部品にたとえられ、ひとつの部品が不良品であっても製品全体が不良となる（右）。

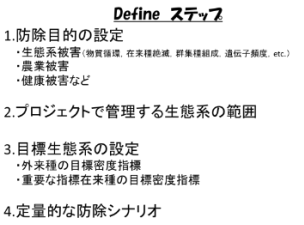
一連の過程は工業製品の企画と製造におけるプロジェクト管理と同様のものであり、品質管理手法を導入することで効率的な外来種防除事業が可能になると考えられる。また捕獲技術の評価では、個々の費用見積もりでは不十分で、品質管理手法を用いて根絶事業全体で要求される品質（個体群レベルとコスト、必用な資源のタイプ）の観点から評価すべきである。

本研究では、このようなプロジェクト管理サイクルの例として、DMAICを外来生物の防除事業に当てはめ、ヒアリングによる事業把握の中で明らかになってきた改善の必要な課題に対し、数理モデルを作成した。

１）Defineステップ

Defineステップではプロジェクトで扱う問題の範囲や目的を定義する（図(6)-7）。本推進費課題が開始した時点では、国内にさまざまな主体による外来生物の防除事業が存在し、その中には、外来生物を減らす姿勢をみせるのか、根絶を目指すのか、被害が出ないレベルを目指すのか、防除目標と防除目的が不明確なものも多かった。 外来生物が定着した初期で情報が不足している状況においては、まず防除を試みることも考えられるが、長期的な取り組みでは明確な目的と目標の設定が必要になる。また根絶事業や分布拡大阻止事業では、事業の実現可能性やコストの定量評価が必要となる。また多くの事業における進捗状況の評価も必要となる。

このステップでは予備的な防除事業で取得したデータをもとに、個体群モデルや統計モデルを用いて、根絶可能性と必要な費用を予測し、事業の進行に伴う防除対象の外来種の密度変化や、在来生態系のモニタリング対象生物の回復経過を予測し、事業計画を立てる。

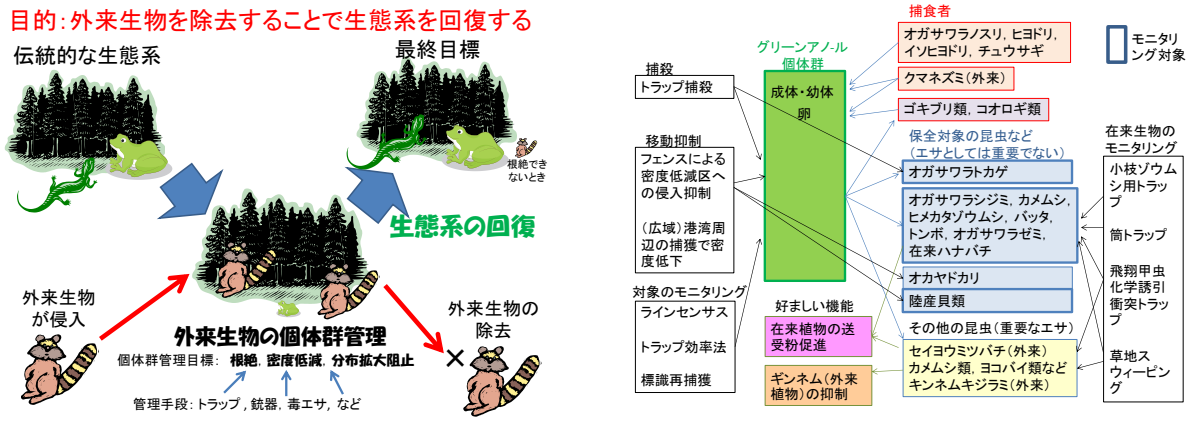


図(6)-7　Defineステップで行うこと

a．目標生態系の設定

外来生物の被害には生態系被害のほかに、農業などの経済被害、健康被害、などがある。経済被害や健康被害では在来生物による被害対策に準じた対応も可能であるが、本研究課題ではより困難な自然の生態系に対する被害の回復を扱っている（図(6)-8）。目標生態系を設定する段階では、生物間や無生物的環境との間の関係を考慮し、種の保全的な重要度や、機能的な重要度も含めて考慮する種を決定する（図(6)-8）。

外来生物が蔓延して防除計画が立てられるときには、すでに本来の在来生態系が失われ、具体的な回復目標を得られなくなっていることも多い。しかし数理モデルを利用して、現時点で得られている情報をもとに、目指すべき生態系のなかでの個々の種の優占度とその地形分布を予測することができる。そこで、グリーンアノールとオオクチバスを例に目的生態系を設定した。



図(6)-8　外来生物事業の目的としての生態系回復（左）と、生態系回復において外来生物事業が考慮する生態系の範囲の例（右）

i．グリーンアノール防除後の在来種回復目標

グリーンアノールの防除事業は世界自然遺産である小笠原諸島の生物多様性の回復が目的である。しかしさらに具体的に考えると、回復させるべき生態系の範囲や（どのような在来種と生態系要素まで考慮するか）、在来種の回復目標密度と、それを実現するための外来種の目標密度（あるいは根絶）を決めておく必要がある。

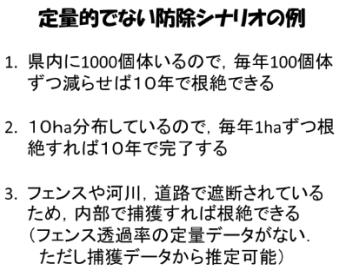
フェンスを利用した試験的防除と島内の食痕のラインセンサス結果より、小笠原諸島母島でグリーンアノール防除後に予測される固有種ヒメカタゾウムシの回復を、統計的な手法で予測した。

ⅱ．オオクチバス防除後の在来種回復目標

東北地方の伊豆沼周辺のため池群における魚類・甲殻類の機能群間の関係を解析し、オオクチバスの防除によって回復するため池の機能群ごとの個体数（サンプリングで得られると期待される魚類や甲殻類の個体数）を目標値として予測した。

b．定量的な事業シナリオの策定

防除事業では、定量的に実現可能な事業シナリオ（投入する予算と根絶確率の関係や、事業期間中の外来生物や保全すべき在来生物の密度指標の推移）を作成する必要がある。定量でない事業シナリオの例を図(6)-9に示す。このようなシナリオでは有効な防除事業は企画できない。



図(6)-9　定量的でない防除シナリオの例

ⅰ．アルゼンチンアリの根絶の可否と根絶事業のコストとの関係

アメリカでの多数の外来植物防除事業（成功、継続中）の記録[1)]を元に、統計的なアプローチにより根絶の可否と根絶面積及び根絶費用との関係を明らかにし、本研究課題のアルゼンチンアリの根絶事業の事例と比較した。

ⅱ．島嶼における外来ネズミ類の根絶事業におけるコスト

島嶼における殺鼠剤の一斉投下による外来ネズミ類の根絶に必要な薬剤量の推定モデルを開発した。

ⅲ．マングースの防除事業シナリオ

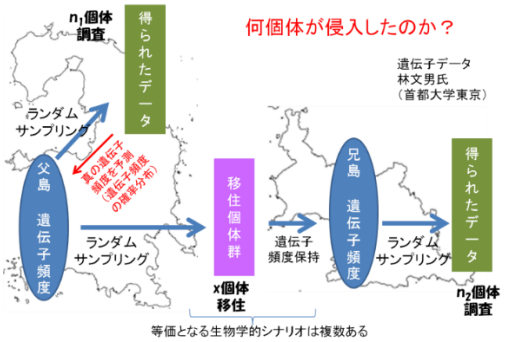
奄美大島のマングース防除事業における、さまざまな捕獲努力や密度のもとでの個体数の変動応答の記録を元にした個体群のプロセスモデルでは、さまざまな捕獲努力量に対応した時系列的な変化をシミュレーションで求め、定量的な事業シナリオを策定した。

ⅳ．グリーンアノール根絶後に再侵入する可能性の評価

一時的に根絶可能であっても、頻繁な再侵入が予想される場合には、根絶でなく密度を低下させて在来生態系への被害を軽減することが管理目標となる。すでにグリーンアノールが蔓延する父島に近い兄島では、2013年にグリーンアノールの野生化が確認された。島内の地理的分布範囲が限られているので最近の侵入ではあるが、グリーンアノール個体群の潜在的に可能な増加率か

ら逆算すると、5年以上前の侵入である。自然の分布拡大により継続的に父島から侵入しているのであれば根絶を目標とすることは困難だが、人為的に持ち込まれたのであれば根絶を目標の候補とすることができる。

初期侵入個体数は、侵入経路を推定する上で重要な手がかりのひとつとなるが、母集団の父島と移住先の兄島の遺伝子頻度の違いから数理モデルを使って移住個体数を推定できる（図(6)-10）。移住個体数が少なければ対立遺伝子の中でひとつだけが移住先で優占するが、移住個体数が多ければ、移住先の遺伝子頻度も母集団の遺伝子頻度に近づく。



図(6)-10　父島から兄島に移住したグリーンアノールの個体数の推定方法

２）Measureステップ

Measureステップでは、モニタリング項目を決めて時系列的なモニタリング測定を行う。また測定項目が十分であるか、十分な正確さをもつかについても調査する。

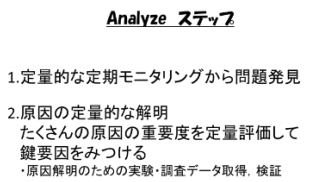
a. グリーンアノール防除事業における在来種回復モニタリングの有効性評価

小笠原諸島母島の新夕日ヶ丘におけるグリーンアノール防除事業を例とし、回復目標となる在来種のモニタリングが十分であるか調査する。

３）Analyzeステップ

Analyzeステップでは、継続的なモニタリングの中でうまく行かない原因について、データをもとに解析する（図(6)-11）。原因の候補を考え、原因究明のための測定プランをたて、データを取得し、回答を得る。原因によっては問題の解決のために市民への協力を広くもとめる活動が必要になることもある。

事業計画時に利用可能な少ないデータを用いた防除シナリオと比較すると、事業実施中のモニタリング結果とは差が出ることが予想される。このため、モニタリングで新たに取得したデータを加えて、個体群モデルや統計モデルを用いて、根絶可能性と必要な費用、防除対象の外来種の密度変化や、在来生態系のモニタリング対象生物の回復経過を再予測し、事業の改善を行う。



図(6)-11　Analyzeステップで行うこと

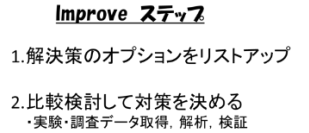
a．グリーンアノール防除事業における問題の発見と原因解明

日本の外来種防除事業では、パラメータを推定するための予備的防除が行われず、本格的なプロジェクトの初期過程が予備的防除として使われているケースも多い。小笠原諸島母島の新夕日ヶ丘のグリーンアノール防除事業では、生態系回復地域をフェンスで囲み、フェンス内のグリーンアノールの捕獲が進められている（図(6)-12）。フェンス内外ではグリーンアノールだけでなく在来種のモニタリングも行われている。モニタリングの結果より、防除事業に関する問題点を明らかにする。ここには試行錯誤のための調査予算が必要である。

図(6)-12　小笠原諸島母島の新夕日ヶ丘のグリーンアノール防除地域。フェンスで生態系回復地域を囲み、フェンス内外でモニタリングが行われている。

4）Improveステップ

Analyzeステップで解明されたうまく行かない原因への対処方法を開発し、大規模に実行する（図(6)-13）。



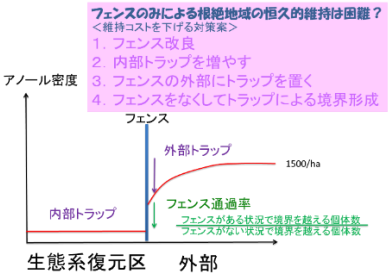
図(6)-13　Improveステップで行うこと

a．グリーンアノール防除事業における問題への対処方法

小笠原諸島母島の新夕日ヶ丘のグリーンアノール防除事業においてグリーンアノールが防除フェンスの通過し、生態系復元区域内に侵入している可能性に関する問題への対処方法を紹介する。フェンスの機能が十分でなければ、フェンスの強化や捕獲手段を使うことを前提に、生態系復元区域内における外来種個体群の密度勾配の関係を明らかにし、その区域内の外来種密度を目標値

以下に下げることなども考えられる（図(6)-14）。

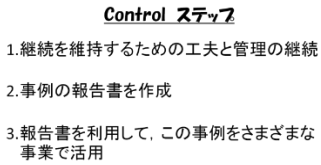
。このような改善プランを実行し、問題の解決を確認する。また、Improveステップの結果によっては事業目標の再設定が求められることもある。ここにも試行錯誤のための調査予算が必要である。



図(6)-14　フェンス通過率と事業地域の境界における密度勾配の設計

５）Controlステップ

Controlステップでは、良好な事業進行状態を保つために必要な工夫をする（図(6)-15）。また単に対象とする事例で終わるのではなく、他の事業（たとえば他地域の同種の防除事業や、他種の事業）においても経験と知識を共有して活用することが望ましいため、報告書の作成や普及活動を行う。



図(6)-15　Controlステップで行うこと

６）定量的プロジェクト管理を利用した外来生物防除事業

DMAICのような定量的プロジェクト管理を用いた外来種防徐事業について利点を挙げ、事業改善のための提言を行う。

４．結果及び考察

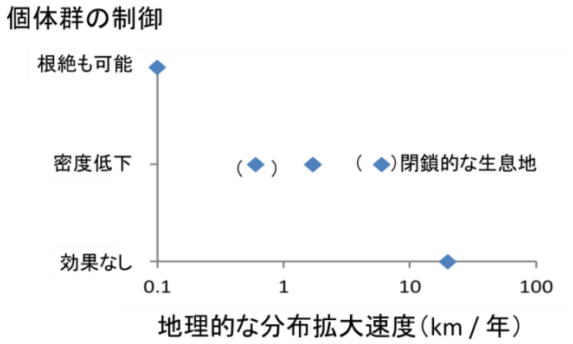
（１）ヒアリング調査

昆虫から魚類、哺乳類まで、広範な外来生物防除プロジェクトのヒアリング結果が得られた。全結果は添付資料(6)-1にまとめて収録したが、ここでは代表例として小笠原諸島・母島の新夕日ヶ丘でのグリーンアノール防除プロジェクトのヒアリング結果の一部を示す（図(6)-8）。グリーンアノールはトラップで捕殺されていたが、フェンスによる移動抑制が行われていた。グリーンアノールの密度レベルのモニタリングは、捕獲事業で得られるトラップ効率に加えて、ラインセンサスが行われ、複数の方法でクロスチェックがされていた。グリーンアノールは鳥類やクマネズミ、コオロギ類などによって捕食されるが、多くの在来昆虫やギンネムキジラミのような外来昆虫も捕食している。フェンスの負の影響として陸貝などの移動制限も考えられる。回復目標の在来生態系では、在来の昆虫についてのモニタリングが行われている。

今回調査した外来生物防除プロジェクトの中には、防除対象の外来生物の防除効果が顕著で根絶可能なケース（アルゼンチンアリ）から、効果は見られるが根絶には至っていないケース（グリーンアノール、アライグマ、マングース、オオクチバス、ブルーギル）、さらにあまり防除効果が見られないケース（セイヨウオオマルハナバチ）があった（図(6)-16）。全体として、現在行われている開放系（湖沼や島嶼のような孤立した生息地でなく、生息可能地が周囲にひろがっている）の防除プロジェクトにおける個体群制御の容易さには、地理的な分布拡大速度の影響が大きく、分類群は重要でなかった（図(6)-16）。地理的分布拡大速度が100m/年程度以下であれば分布拡大中の開放的な生息地の個体群も根絶できそうであり、地理的分布拡大速度が1 km/年程度であれば密度低下ができる。地理的分布拡大速度が10km/年を超えると密度低下も困難になっていた。防除対象地域が外来生物の1年間の分布拡大距離より大きく、この範囲全体に十分な防除努力を投下することで防除効果が得られている可能性がある。また外来生物個体群に防除効果が見られれば、保全対象の在来生物個体群もまた回復していた。

日本のプロジェクトの状況（定性的）

事業	分布域の拡大速度	主な防除手法	防除効果	在来生態系回復
セイヨウオオマルハナバチ、北海道	極めて早い 20 km / year	捕虫網捕獲	×	× 近縁種に繁殖干渉？
オオクチバス、ブルーギル、琵琶湖	早い 6 km / year	網漁業	○	○ 固有種
マングース、沖縄	中程度 1.7 km / year	トラップ	○	○？モニタリング不足 固有種（奄美はデータ有）
アライグマ、北海道	中程度 1.7 km / year	トラップ	○	？ 北海道での在来生態系への影響を要調査
グリーンアノール、母島	遅い 0.6 km / year	粘着トラップ	○	○ 固有種
アルゼンチンアリ、東京	極めて遅い 0.1 km / year	毒エサ	◎	○ 普通種



図(6)-16　ヒアリングによる状況調査のまとめ。分布拡大速度は歴史的な分布域の拡大記録の中で、ほぼ定常的に拡大している部分から計算した（左）。ヒアリングに基づく、開放的な生息地における個体群の制御の効果と地理的分布拡大速度の関係（右）。閉鎖的な生息地（琵琶湖のオオクチバスとブルーギル、及び新夕日丘のフェンスで囲まれたグリーンアノール）はカッコで示す。

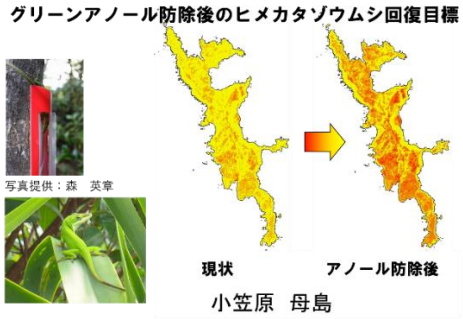
（２）外来種防除への工業の品質管理手法の応用

１）Defineステップ

a. 目的生態系の設定

ｉ．グリーンアノール防除後の在来種回復目標

小笠原諸島母島では、新夕日丘においてフェンスで区切られた閉鎖的な系を設営し、その中でグリーンアノールの試験的な捕獲が行われている。この事業を母島全体に拡大した場合に期待される固有種ヒメカタゾウムシ類の密度の分布（回復目標）を統計モデルで予測した。事業を拡大すればヒメカタゾウムシ類は全島的に増加することが明らかになった（図(6)-17）。



図(6)-17　グリーンアノール防除後に予測される固有種ヒメカタゾウムシの回復予測

ii．オオクチバス防除後の在来種回復目標

ため池のオオクチバスは他のほとんどの機能群との間でマイナスの関係があり、オオクチバスの存在が他の生物の個体数を減少させることが明らかとなった（図(6)-18）。なお小型の生物（スジエビ類や小型遊泳魚）はオオクチバス以外の在来魚食魚や大型遊泳魚と正の関係にあるため、オオクチバスの増加が小型の生物の減少を通してこれらの機能群の減少をもたらしている可能性もある。これをもとに個々のため池の生物の回復目標を計算すると、オオクチバスの防除後はどの機能群の個体数の期待値も防除前より増加したが、その増加率は機能群により異なった（図(6)-19）。

図(6)-18　伊豆沼周辺のため池群におけるオオクチバス、魚類及び甲殻類の機能群（左）と機能群間の関係（右）

	バス防除前		バス防除後
オオクチバス	13	→	0
遊泳魚小	130	→	155
スジエビ類	1	→	24
魚食魚	0	→	0.02

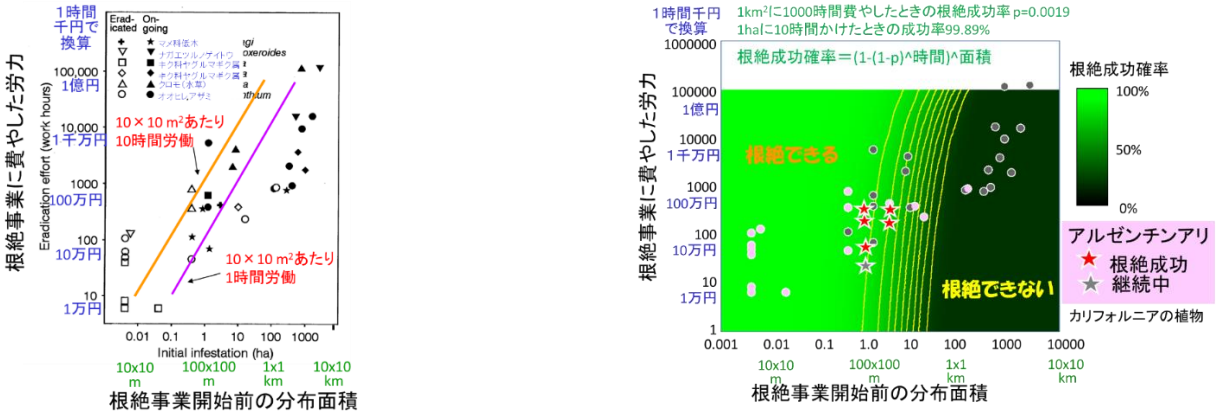
図(6)-19　伊豆沼周辺のある池（左）でオオクチバスを除去した場合に業者Aが捕獲する個体数の期待値の例（右）

b．定量的な事業シナリオの策定

i．アルゼンチンアリの根絶の可否と根絶事業のコストとの関係

アメリカの外来植物では100m×100m以内程度の分布面積の個体群であれば100万円程度（時給1,000円の人件費を想定）で根絶できるが、300m×300mを超えると急速に困難になった（図(6)-20）。本研究課題でのアルゼンチンアリ（移動能力が低い）の根絶費用（殺虫剤の購入費用）事例を同時にプロットすると、アメリカにおける外来植物のケースとほぼ重なる分布になった（図(6)-20）。

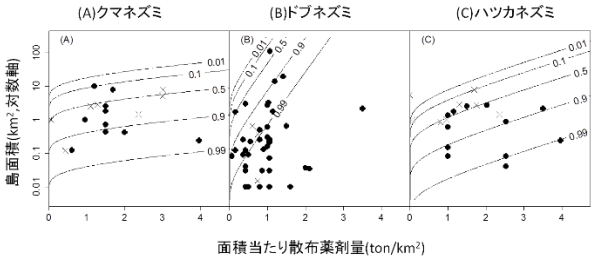
アルゼンチンアリも1km×1kmなどの広い範囲では、防除が飛躍的に困難になる可能性があり、早期発見・早期防除が重要であると考えられる。



図(6)-20　根絶の可否と根絶面積及び根絶費用との関係。アメリカでの多数の外来植物防除事業の結果[1)]と本推進費によるアルゼンチンアリ根絶事業の結果の比較

ⅱ．島嶼における外来ネズミ類の根絶事業におけるコスト

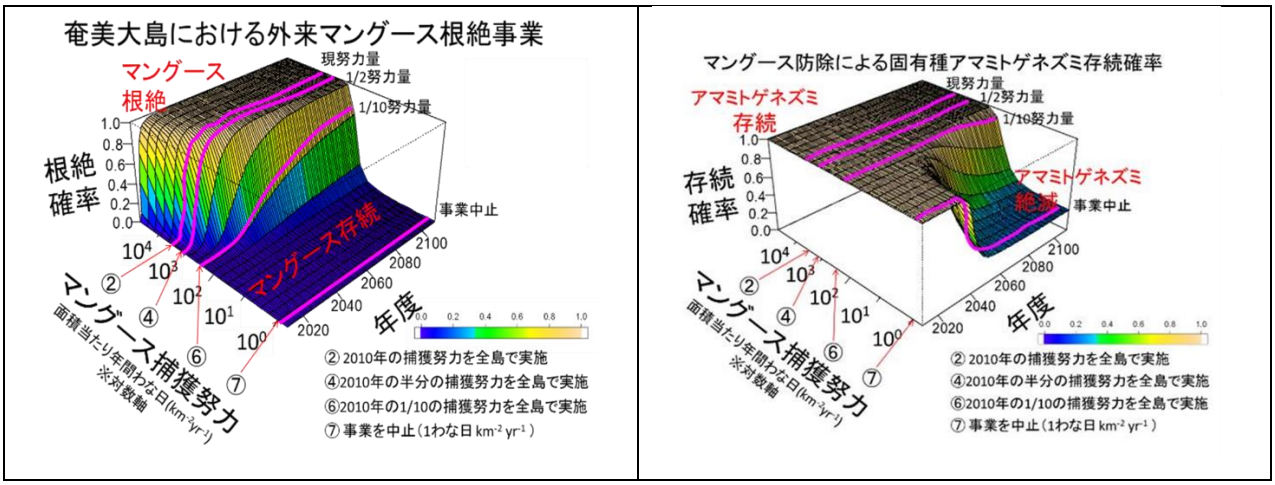
島嶼における殺鼠剤の一斉投下による外来ネズミ類の根絶に必要な薬剤量の推定モデルより、クマネズミではドブネズミより根絶が難しいとの結果が得られた（図(6)-21）。



図(6)-21　外来ネズミ類の根絶に必要な薬剤量の推定

ⅱ．マングースの防除事業シナリオ

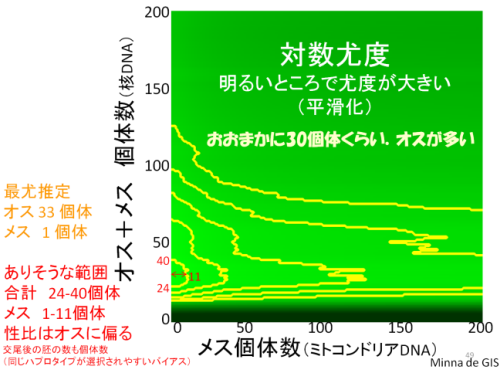
奄美大島のマングース防除事業では、現在のレベルの捕獲努力でも将来はマングースの根絶が期待され（図(6)-22）、固有種であるアマミトゲネズミの絶滅が回避されるが、事業を中止した場合には固有種アマミトゲネズミが、約35年後に絶滅することが予測された（図(6)-22）。このグラフからは現在の努力量の1/2でも目標の達成時期があまり変わらないように見えるが、奄美大島は地形や地権者関係が複雑であるため、既存のわな地点の努力を減らしても、むしろ急傾斜地や地権者の協力の得られにくい地域に捕獲努力をかけるべきであると考えることもできる。



図(6)-22　奄美大島のマングース防除事業におけるマングースの根絶確率のシミュレーション（左）と、マングース防除による在来種アマミトゲネズミの存続確率のシミュレーション（右）

iii．グリーンアノール根絶後に再侵入する可能性の評価

推定の結果、およそ30個体のグリーンアノールが兄島へ移住し、その中でもオスが多かったことが明らかになった（図(6)-23）。グリーンアノールは夏秋にオスが多くなり性比が偏ることが知られているため、この性比の偏りは不自然ではない。ただし複数個体のオスと交尾したメスが精子をともなって移住し、移住先で受精して産卵した可能性もある。移住個体の多くが幼体や成体のかたちで移住しているのであれば、多数の個体がほぼ同時期に移動しているため、何者かによる意図的な導入の可能性も否定できない。父島の野生グリーンアノールのメスをランダムに捕獲して隔離し、その後に交尾せずに生まれる子の数と遺伝子構成を調べて補正することで、より正確な移住の様子を推定することが可能となるだろう。



図(6)-23　父島から兄島に移住したグリーンアノールの個体数の推定値

2）Measureステップ

a．グリーンアノール防除事業における在来種回復モニタリングの有効性評価

広範な調査が行われている小笠原諸島母島の新夕日ヶ丘におけるグリーンアノール防除事業を

例とした。グリーンアノール防除事業では、対象種だけでなく回復目標となる在来種についても幅広い分類群で定量的なモニタリングが行われており、調査内容は十分であると考えられた（図(6)-24）。

グリーンアノールのモニタリング（防除対象の外来種）

モニタリング手法	方法（努力量の時空間分布も）
平面粘着トラップ効率	約4m²に１個，手の届く範囲に設置
ラインセンサス	小区域内を一定の努力量で探索 防除区域外の調査も一部おこなう

生態系回復のモニタリング

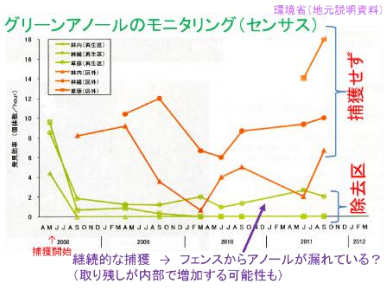
モニタリング手法	方法（努力量の時空間分布も）
ゾウムシ類に特化した小枝トラップ	**ヒメカタゾウムシ類**の評価 ・調査地内の発見地点と，調査地外の発見地点の比較 ・時系列は2008年と2010年，継続中
化学誘引衝突トラップ	**飛翔甲虫**の評価 ・調査地内の３地点と，調査地外の３地点の比較 ・時系列は2010年から継続中
スウィーピング	**草地での多様な節足動物**の評価 ・駆除地域内３区画と，地域外２区画の比較 ・時系列は不明
筒トラップ	**筒に営巣するハナバチ類，アリ類**の評価 ・駆除地域内と外の４地点ずつの林縁，林内，草地 ・時系列は2010年から継続中
陸貝の探索	事業の**陸貝**への悪影響の評価 良好なハビタット（ビロウ・タコノキ林） ・駆除地域内の2地点コドラート調査 ・時系列は2009，2010年から継続中

図(6)-24　新夕日ヶ丘におけるグリーンアノール防除事業での防除対象外来生物と生態系回復のモニタリング手法

３）Analyzeステップ

a．グリーンアノール防除事業における問題の発見と原因解明

新夕日ヶ丘のグリーンアノール防除事業では、継続的なモニタリングの結果として、低密度化しながらもグリーンアノールの発見が続いている（図(6)-25）。これが残存個体なのか、フェンスを越えて外部から侵入した個体なのか不明である。この問題の原因解明には、何らかの手段（マーキング、遺伝子調査、数理モデルなど）で臨時の調査計画を立てる必要がある。例えば、小さな個体群では確率的変動で絶滅が起きるため、これを実データと比較する少数個体群のシミュレーションモデルの構築や、フェンス内外の遺伝的交流の有無の検出や確率的浮動と比較できる遺伝解析などが挙げられる。



図(6)-25　フェンス内外におけるグリーンアノールの発見効率の推移

４）Improveステップ

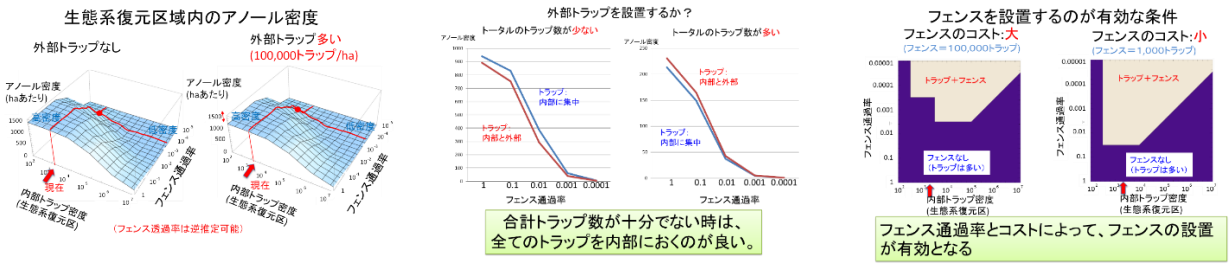
a．グリーンアノール防除事業における問題への対処方法

新夕日ヶ丘のグリーンアノール防除事業における生態系復元区域内のアノール密度は、内部トラップ、地域外においたトラップ、フェンスの通過率によって影響を受ける（図(6)-26）。内部トラップ密度が高くフェンスの通過率が低いほど、事業地域のグリーンアノールは少なくなる。

現在の内部トラップ密度であれば、フェンスがアノールの移動を通常の1/1000から1/10000に遮断しているように見えるが、このレベルでは根絶状態を1年間保つことはできない。

なお外部トラップが多いときには、全体のアノール密度が低くなる効果が現れる。全体のトラップ数（内部トラップと外部トラップの合計）が少ない場合には生態系復元地域内のみにトラップを配置するべきだが、トラップをふんだんに利用できる場合には外部にも配置することが望ましい（図(6)-26）。フェンスの性能が低い場合には外部トラップの効果がより明らかとなる。

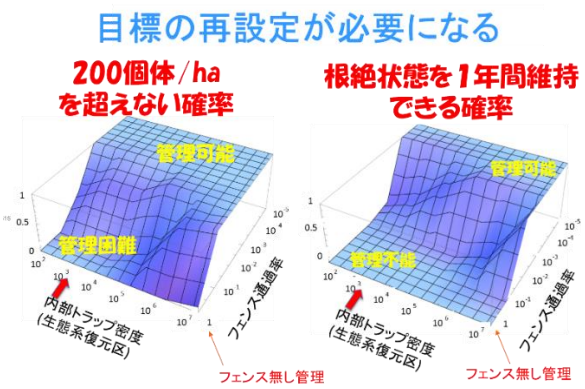
フェンスを設置すべきかどうかは、フェンスの性能と利用可能なトラップ数によって決まる（図(6)-26）。トラップ密度が極めて高い場合には、併せてフェンスを高性能化しなければ、中途半端な性能のフェンスでは無駄となる。なおフェンスのコストが高価であれば、グリーンアノールの移動を1/100や1/1000に低下させる性能を持つ場合でもフェンスを設置せずにトラップのみで対応する方が良いケースもあり得る。 ただし新夕日丘の事業においてはフェンス価格やトラップ価格が不明だったため、現時点ではどのような資源配分が望ましいのかを計算することができなかった。



図(6)-26　フェンス通過率及びトラップ密度と生態系復元区域内おけるアノール密度勾配の関係（左）、合計トラップ数が異なる場合の効果的なトラップ設置場所の選択（中）、フェンスの設置が有効な条件（右）

いずれにしてもフェンスを超えた侵入はある程度の確率で起きると考えると、フェンスを用いた恒久的な根絶地域の維持を安易に目標とすることは避けるべきである。根絶が目標である場合には「一年間根絶状態を維持できる確率」のような、期間を指定した表現が必要である。また在来生態系を維持できる外来グリーンアノール密度が判明している場合には、そのグリーンアノール密度を目標値とすることができる（図(6)-27）。

新夕日丘の事業においてはImproveステップの継続課題としてフェンスとトラップのコストの調査や、在来生態系の回復に必要十分なグリーンアノール密度の目標値の再設定が望まれる。この場合、目指すべき在来生態系を維持できるアノール密度を知るために、多くの在来種とアノールの関係のデータ収集が必要である。



図(6)-27　グリーンアノール防除事業で目標とするアノール密度および根絶を維持できる確率

５）Controlステップ

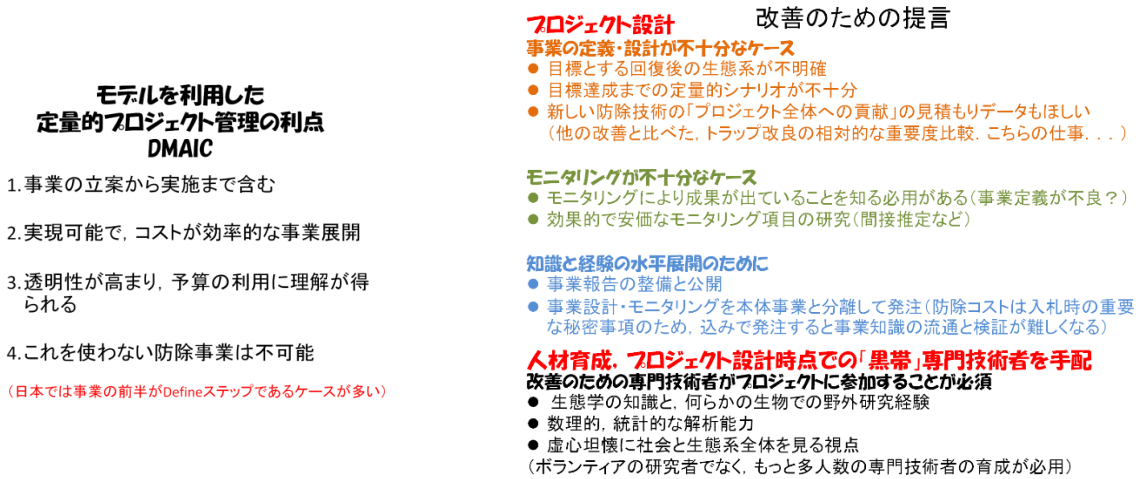
例えば小笠原諸島におけるグリーンアノール防除事業の報告書を、他地域グリーンアノール防除事業や沖縄本島北部のマングース防除事業へ応用することで、一つの事業としての成功だけでなく、外来種防除事業全体の発展を促進できる。

６）定量的プロジェクト管理を利用した外来生物防除事業

本研究により外来種防除事業におけるプロジェクト管理の進め方が明らかになった。定性的な事業状況の把握にはじまり、事業の立案から実施までを含む定量的なものである。これにより、実現可能でコストも効率的な事業展開が可能となる（図(6)-28）。事業の透明性が高まるため社会への説得が容易となり、予算の利用に対して理解が得られやすくなることも期待される。このように、外来生物対策の事業においては、社会との関係性を含めて事業の全体像を把握し、現状をモニタリングして見直しながら事業を進めることになるため、事業の特性を見極めて適切なマネジメントサイクルを構築してゆく必要がある。外来生物の防除事業には、数理モデルを利用した定量的なプロジェクト管理が欠かせない。

これまで日本の外来生物防除事業ではモニタリング不足が指摘されることも多かった（図(6)-28）。しかしプロジェクト管理システムを導入することでモニタリングは必須事項となる。また回復目標の生態系が明らかになれば、モニタリングすべき最低限の項目（在来生態系の回復を示す指標）もほぼ自動的に判断できるようになる。

ただし未知な部分の多い根絶事業に工業の生産現場で用いられるDMAICをそのまま適用すると、企画に関係するDefineステップが大きくなる。外来生物の防除事業では事業計画の立案段階で多くのデータが必要になるため、Defineステップをさらに細分化して、目的生態系の設定や定量的事業シナリオなど、考慮すべき事項を明示することが望ましい。なお緊急を要する場合は、防除事業の初期段階に得られた情報をもとに事業計画を立案・改良してゆくことも現実的である。



図(6)-28　DMAICを用いたプロジェクト管理の利点（左）と、外来生物防除事業の改善のための提言（右）

DMAICなどのプロジェクト管理システムで行っている内容は特に特殊なものではなく、合理的に考えれば当たり前の内容である。ただし当然の合理的事項を普通に行うことは、実際には困難であり、プロジェクト管理システムを援用することで、 だれでも一定レベルの外来生物防除事業を主導することができるようになると期待される。なお数理モデルを援用したプロジェクト管理では、野外生態学の経験と社会学のセンス、数理的・統計的な能力を併せ持った専門家の支援が必須であり、人材の育成が望まれる。

このようなプロジェクトマネジメントサイクルは請け負った防除事業者が行うと共に、発注側にもモニタリングが必要である。しかし防除コストを推定しうる情報は、防除事業者にとって入札に関係する極めて重要な機密事項であり、発注者側が入手することは困難である。防除事業の発注方法として、事業設計やモニタリングを本体事業と分離して別の主体に発注したり、発注時点でトラップ設置時期、場所、捕獲内容、などのモニタリング情報を成果物として納品するよう明記することも考えられる。

５．本研究により得られた成果

（１）科学的意義

奄美大島のマングース事業での個体群モデルによる根絶対象の外来生物と在来生物の予測、さまざまな外来生物での根絶費用の統計的な推定、根絶後に回復させる目標生態系の推定、根絶・密度管理の対象地域と周辺の事業を実施しない地域とのあいだの外来生物の密度勾配の設計など、数理モデルを利用することにより科学的根拠に基づく外来種防除への提言が可能となった。

（２）環境政策への貢献

＜行政が既に活用した成果＞

マングース防除事業が、効果の見込みがないとされ事業仕分けにかかったが、本研究の計算結果による定量的な事業シナリオが示され、事業が継続された。外来種被害防止行動計画策定会議において、本研究のヒアリング事業調査を応用した資料が作成された。2013年に侵入が発見され

た兄島グリーンアノール緊急防除事業に関する本研究の計算結果が参考情報として提示された。

＜行政が活用することが見込まれる成果＞

さまざまな外来生物防除事業の第1段階の簡単な評価として、今回提示したヒアリング項目による調査が普及することが見込まれる。これはプロジェクト管理を開始するための前提となる調査でもある。

外来種防除事業における事業の立案から実施まで含むプロジェクト管理の進め方が明らかになり、実現可能で費用対効果の高い事業展開が可能となる。事業の透明性が高まるため社会への説得が容易となり、予算の利用に対して理解が得られやすくなることも期待される。

６．国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

７．研究成果の発表状況

（１）誌上発表

＜論文（査読あり）＞

1) K. FUKASAWA, T. HASHIMOTO, M. TATARA and S. ABE: Journal of Applied Ecology 50, 469-478 (2013)
“Reconstruction and prediction of invasive mongoose population dynamics from history of introduction and management: a Bayesian state-space modelling approach”
2) K. FUKASAWA, T. MIYASHITA, T. HASHIMOTO, M. TATARA and S. ABE Proceedings of Royal Society B: Biological Sciences. 280: 20132075, (2013)
“Differential population responses of native and alien rodents to an invasive predator, habitat alteration, and plant masting”
3) H. YOKOMIZO, S.R. COUTTS and H.P. POSSINGHAM: Popul. Ecol. 56, 41-53 (2014)
“Decision science for effective management of populations subject to stochasticity and imperfect knowledge”

＜その他誌上発表（査読なし）＞

特に記載すべき事項はない。

（２）口頭発表（学会等）

1) F.KOIKE: Joint Meeting of The 59th Annual Meeting of ESJ & The 5th EAFES International Congress, Otsu, Japan, 2012
“Mathematical strategies for invasive alien species management”
2) 深澤圭太：日本霊長類学会・日本哺乳類学会2013年度合同大会 (2013)「ベイズ個体群動態モデルと付き合うための7つのコツ」
3) 小池文人：第61回日本生態学会大会 (2014)
「防除実践のためのモデル解析」

4)　相澤章仁、小池文人：第61回日本生態学会大会（2014）
「ブラックバス・ブルーギルが在来生態系に与える影響の群集生態学的評価」

（３）出願特許

特に記載すべき事項はない。

（４）シンポジウム、セミナー等の開催（主催のもの）

特に記載すべき事項はない

（５）マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

（６）その他

特に記載すべき事項はない。

８．引用文献

1)　C.R. VEITCH and M.N. CLOUT (eds.): Turning the tide: the eradication of invasive species, IUCN SSC Invasive Species Specialist Group, 249-253 (2002)
“When eradication of exotic plants a realistic goal? (Rejmanek and Pitcairn)”

Development of Integrated Control Methods and Systems for Invasive Alien Animals

Principal Investigator: Koichi GOKA
Institution: National Institute for Environmental Studies (NIES)
16-2 Onogawa, Tsukuba-City, Ibaraki 305-8506, JAPAN
Cooperated by: Forestry and Forest Products Research Institute, Hokkaido University, University of the Ryukyus, Yokohama National University, Okayama University of Science, Lake Biwa Museum, Japan Wildlife Research Center

[Abstract]

Key Words: Invasive alien species, Eradication, Network, Chemical control, Suppression of reproductive activity, Low density population, Effective control strategy, Mathematical model

Intensive studies of alien species that caused serious ecological and environmental impacts were performed to ensure their eradication. Effectiveness of the eradication methods was assessed, and efficient eradication strategies were designed for each target species. Eradication methods in Japan were enhanced by creating an eradication network.

Chemical eradication methods were developed for the Argentine ant *Linepithema humile*, and European bumblebee *Bombus terrestris*. The number of Argentine ants was reduced drastically by fipronil treatment, and it has been eradicated at a site. Effects of the insecticide on nontarget species were also evaluated. For the European bumblebee, we developed a chemical treatment for adult workers that disturbed larval growth, and the effectiveness was confirmed using indoor and semi-outdoor experiments.

For the largemouth bass, *Micropterus salmoides*, the structure and setting methods for artificial spawning devices and the effective method to suspend the devices from facilities were developed and improved. In small-sized water bodies, systematic setting and periodical observation of devices can sufficiently suppress the reproductive activity of the largemouth bass. In larger water bodies, installation of the devices can be effective if combined with other measures.

Chemical control techniques for local eradication of the green anole *Anolis carolinensis*, which is a significant invasive alien species on Ogasawara Islands, were developed. Fumigation with permethrin and metoxadiazone is useful for controlling anoles in confined spaces, for example, as a part of quarantine measures.

To further accelerate mongoose eradication measures, immunocontraceptive vaccines, a simple fence that prevents intrusion, attractants and repellents, DNA

identification technology for remains, and bycatch prevention were studied. The simple fence, DNA identification technique, and bycatch prevention technique were used.

We developed efficient and effective devices to control raccoons, even under low-density conditions. Dogs that detect raccoons could sniff out only raccoon odor; therefore, a nest-box trap, based on a raccoon's cavity-nesting habit, provided an effective way to catch raccoons without bait. We also created an information-sharing network with local government officers across Japan.

A project management cycle was applied to various eradication projects in Japan. A consistent interview approach to grasp the status of an eradication project (objective of the project, target ecosystem, and measures for control) was developed and applied to eradication projects for insects, fish, reptiles, and mammals. DMAIC (define the system, measure, analyze, improve, control the process) management process was applied to eradication projects, and necessary mathematical analyses were proposed.