

Environment Research and Technology Development Fund

環境省環境研究総合推進費終了研究等成果報告書

特定外来生物の重点的防除対策のための手法開発
(4-1401)

平成26年度～平成28年度

The Countermeasure Development for Intensive Control of Invasive Alien Species

国立研究開発法人国立環境研究所
国立研究開発法人森林総合研究所
宮崎大学
滋賀県琵琶湖博物館
公益財団法人宮城県伊豆沼・内沼環境保全財団
一般財団法人自然環境研究センター

〈研究協力機関〉
ニュージーランド森林研究所（SCION）
フマキラー株式会社
対馬市役所
株式会社シー・アイ・シー
岐阜大学
東京農業大学
東京大学

平成29年5月

環境省
総合環境政策局総務課環境研究技術室
環境保健部環境安全課環境リスク評価室
地球環境局総務課研究調査室

特定外来生物の重点的防除対策のための手法開発

(4-1401)

I. 成果の概要	i
1. はじめに (研究背景等)	i
2. 研究開発目的	i
3. 研究開発の方法	ii
4. 結果及び考察	iv
5. 本研究により得られた主な成果	vi
6. 研究成果の主な発表状況	viii
7. 研究者略歴	x
II. 成果の詳細	
(1) 非意図的外来生物の侵入経路の特定 (国立研究開発法人森林総合研究所)	1
要旨	1
1. はじめに	1
2. 研究開発目的	2
3. 研究開発方法	2
4. 結果及び考察	4
5. 本研究により得られた成果	16
6. 国際共同研究等の状況	17
7. 研究成果の発表状況	17
8. 引用文献	20
(2) 重点的に防除すべき外来昆虫類の対策手法開発 (国立研究開発法人国立環境研究所)	21
要旨	21
1. はじめに	21
2. 研究開発目的	22
3. 研究開発方法	22
4. 結果及び考察	26
5. 本研究により得られた成果	38
6. 国際共同研究等の状況	39
7. 研究成果の発表状況	39
8. 引用文献	43
(3) 小笠原における外来生物緊急防除対策 (一般財団法人自然環境研究センター)	45
要旨	45
1. はじめに	45
2. 研究開発目的	46
3. 研究開発方法	46
4. 結果及び考察	47
5. 本研究により得られた成果	60
6. 国際共同研究等の状況	60
7. 研究成果の発表状況	60
8. 引用文献	63
(4) 琉球・奄美における外来生物重点防除対策 (宮崎大学)	64
要旨	64

1. はじめに	65
2. 研究開発目的	65
3. 研究開発方法	65
4. 結果及び考察	66
5. 本研究により得られた成果	81
6. 国際共同研究等の状況	82
7. 研究成果の発表状況	82
8. 引用文献	84
(5) 琵琶湖におけるオオクチバス等の重点的防除対策 (滋賀県立琵琶湖博物館)	85
要旨	85
1. はじめに	85
2. 研究開発目的	86
3. 研究開発方法	86
4. 結果及び考察	87
5. 本研究により得られた成果	93
6. 国際共同研究等の状況	94
7. 研究成果の発表状況	94
8. 引用文献	101
(6) オオクチバス等の化学的防除手法開発 (公益財団法人宮城県伊豆沼・内沼環境保全財団)	102
要旨	102
1. はじめに	102
2. 研究開発目的	102
3. 研究開発方法	103
4. 結果及び考察	104
5. 本研究により得られた成果	113
6. 国際共同研究等の状況	113
7. 研究成果の発表状況	113
8. 引用文献	115
III. 英文Abstract	116

課題名 4-1401 特定外来生物の重点的防除対策のための手法開発

課題代表者名 五箇公一（国立研究開発法人国立環境研究所生物・生態系環境研究センター
生態リスク評価・対策研究室 室長）

研究実施期間 平成26～28年度

累計予算額 165,410千円（うち平成28年度：54,088千円）
予算額は、間接経費を含む。

本研究のキーワード 化学的防除、アルゼンチンアリ、セイヨウオオマルハナバチ、ツマアカスズメバチ、グリーン
アノール、フイリマングース、オオクチバス、DNAバーコーディング、ベイト、IGR、フェロモン

研究体制

- (1) 非意図的外来生物の侵入経路の特定（国立研究開発法人森林総合研究所）
- (2) 重点的に防除すべき外来昆虫類の対策手法開発（国立研究開発法人国立環境研究所）
- (3) 小笠原における外来生物緊急防除対策（一般財団法人自然環境研究センター）
- (4) 琉球・奄美における外来生物重点防除対策（宮崎大学）
- (5) 琵琶湖におけるオオクチバス等の重点的防除対策（滋賀県立琵琶湖博物館）
- (6) オオクチバス等の化学的防除手法開発（公益財団法人宮城県伊豆沼・内沼環境保全財団）

研究協力機関

ニュージーランド森林研究所（SCION）、フマキラー株式会社、対馬市役所、株式会社シー・アイ・シー、岐阜大学、東京農業大学、東京大学

研究概要

1. はじめに（研究背景等）

外来生物法が施行されて以降、様々な外来生物の防除事業が進められる中、環境省外来生物被害防止行動計画において、限られた予算を投下するにあたり、優先的に防除すべき外来生物及び地域の選定が必要であることが議論され、防除が進みつつも低密度状態に移行し、根絶のためには新規防除手法を導入する必要がある種、及び世界自然遺産等の自然保護地域において緊急に排除する必要がある種を、優先的・重点的に防除対象とする方針がまとめられている。また、アルゼンチンアリ等の非意図的外来生物の分布が拡大傾向にあり、移送資材の検疫強化および検疫処理体制の構築が、同じく被害防止行動計画において急務とされる。特にヒアリやコカミアリなどの未侵入の特定外来生物は既に植物検疫での発見事例があり、侵入が警戒されているが、検疫発見時における対応策は整備されていない。さらに2013年には、小笠原諸島の兄島にグリーンアノールが侵入定着していることが確認され、移送ルートの特定制および緊急防除が急がれている。

2. 研究開発目的

本研究課題では、重点的に防除すべき特定外来生物および地域として、知床半島・大雪山のセイヨウオオマルハナバチ、琵琶湖・伊豆沼のオオクチバス、小笠原諸島のグリーンアノール、世界遺産候補地である琉球・奄美のマングースを選定し、これまでに開発された防除手法に加えて化学的防除手法等、革新的手法を開発して対策強化を図り、各外来生物個体群の根絶確率を上げる。さらに、既に国内に侵入・定着を果たし、分布拡大の傾向にあるアルゼンチンアリの全国防除体制を構築するとともに、侵入初期のツマアカスズメバチの緊急防除手法の開発、および日本未侵入種ヒアリなどの外来昆虫類の検疫手法の確立を目指す。

限られた予算の中でこれらの外来生物を確実に根絶もしくは封じ込めする実践的・革新的手法を完成させ、成功事例を作り出すことにより生物多様性条約愛知目標Target9の目標達成に貢献する。

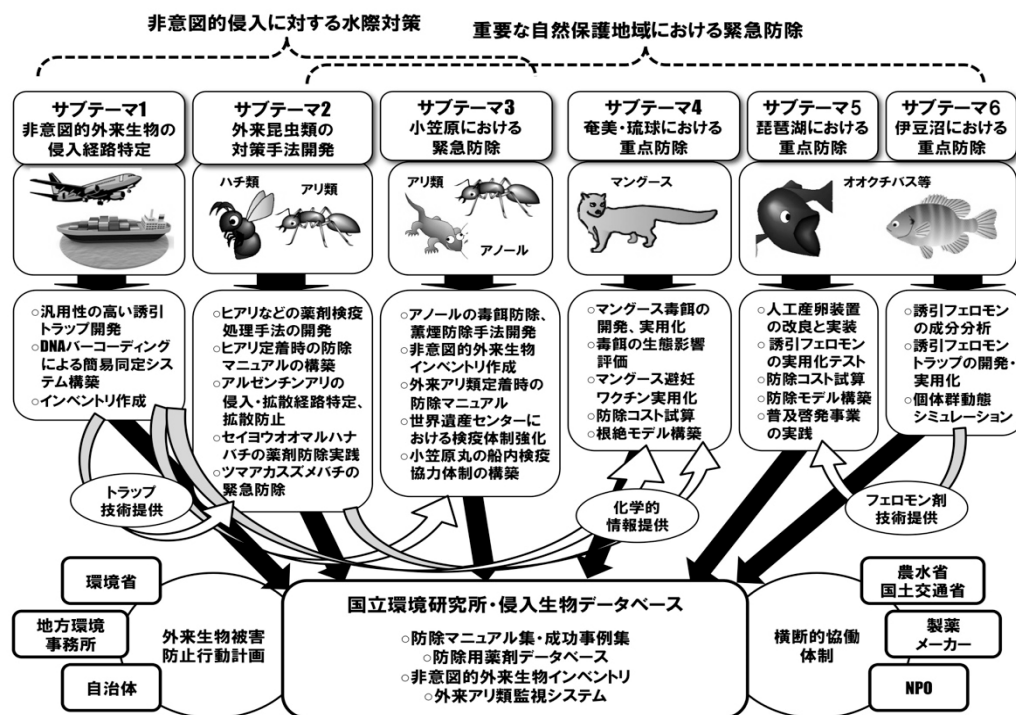


図1. 本課題の全体構造および目標

3. 研究開発の方法

(1) 非意図的外来生物の侵入経路の特定

マルチルアートラップの開発

ニュージーランドを中心とするアメリカ合衆国、フランス、イタリア、ポルトガルのグループが開発したマルチルアートラップの試用について協働し、チョウ目害虫2種のフェロモンを用いたマルチルアートラップによる捕獲試験を行った。さらに甲虫用トラップとして、カミキリムシおよびキクイムシのマルチルアートラップをマツ林内に設置し、化学干渉について調査した。

種の簡易検出法の開発

形態によらない外来種同定手法として、species-specific nested PCRおよびLAMP法を用いたバーコーディング手法を開発した。

港湾モニタリングのための侵入港の探索

国際貿易を行う港湾を対象に貿易情報に基づき、港湾周辺の外来種の定着情報からリスクの高い港湾や物品の検出のための相関解析を行った。さらに侵入生物として国際的に重要で特定外来生物に指定される種を含むアリ類について、港湾名、輸出国、輸入品、輸入項目、同時に存在した検疫有害動物別に集計した。実際にアルゼンチンアリが発見された場所について、地図上で輸入物資を保存している場所との位置関係を調査した。

外来種早期発見手法の手順

港湾における外来種早期発見のためのモニタリング手法開発に基づき、マニュアル化を行った。

(2) 重点的に防除すべき外来昆虫類の対策手法開発

外来検疫処理手法の開発

港湾及び空港の検疫現場において特定外来生物に指定されているアリ類を発見した際の、簡便かつ確実な検疫処理を遂行するための薬剤の探索を実施した。

アルゼンチンアリ防除システムの構築

東京都大田区における約5年間にわたるアルゼンチンアリ防除試験データを解析し、防除効果および根絶確率を算出するための数理統計モデルを構築した。化学的防除による在来生態系への影響評価を行った。環境省と共同で、自治体主体の防除体制構築のモデルケースを選定し、本防除マニュアルに基づく防除計画の設計を行

い、提示した。

セイヨウオオマルハナバチの化学的防除手法開発

薬剤持ち帰り型防除手法「ハチの巣コロリ」の開発を目的としてハウスレベルのコロニー一次世代抑制試験を実施した。野外試験として、夏期に北海道旭川市内においてセイヨウオオマルハナバチの野生巣を探索して、定期的に野生巣から出てくるワーカー全個体に対して所定濃度のIGR剤薬液を暴露して、その後放逐した。別の野生巣に対しては、殺虫剤の散布は行わず、対照区(コントロール区)とした。8月末まで、巣からの出入りする個体数を毎日観察し、その後、巣を掘り出して巣内における成虫個体数の計測を行った。自治体・地元関係者に対して、化学的防除計画の説明会を実施し、防除試験計画を立案した。

ツマアカスズメバチの化学的防除手法開発

薬剤ベイト手法の資材として有望な薬剤候補を探索した。候補となった昆虫成長制御剤エトキサゾールの薬効を調べるために、ツマアカスズメバチの代替としてコガタスズメバチ、オオスズメバチの幼虫を用いて室内における急性経口毒性試験を行った。対馬のツマアカスズメバチの野外巣に対し、IGR剤をカルピスに混ぜて作成した液体ベイトのワーカーへの噴霧試験、液体ベイトのワーカーによる持ち帰り試験、およびキャットフードをベイト基材とした固体ベイトのワーカーによる持ち帰り試験を行った。これらの試験の効果を調べるために、巣の内部調査を行った。

化学的防除のための化学物質安全性・毒性データの収集整備

本事業で外来昆虫類の化学的防除用薬剤候補にあがっている農薬類について「国立環境研究所農薬データベース」(http://db-out.nies.go.jp/kis-plus/index_3.html)および文献情報に基づき、安全性および毒性、特に生態影響にかかるデータを収集し、整理した。さらにそれらのデータに基づき、実際に野外で防除を実施した場合の環境影響評価を行った。

(3)小笠原における外来生物緊急防除対策 グリーンアノールを対象としたベイト剤の開発

生きた昆虫に薬剤を装着してアノールに捕食させる「生き餌ベイト」の開発を目指した。小笠原の野外で用いることを想定し、ベイト用昆虫および薬剤を探索した。ベイト-昆虫を試作し、小笠原島内の半野外施設においてアノールに投与試験を行った。兄島南部においてベイト剤を使用することを想定して、在来種へのリスクを評価するとともに、必要なコスト及び期間を算出した。

非意図的外来生物の検疫システムの整備

おがさわら丸の検疫体制を整備するため、行政、船舶運航会社と連携の上、墓参事業のために硫黄島沖に停泊する同船に同乗し、アカカミアリ等の侵入防止対策を検証した。父島-硫黄島間の特別運航時の試験をもとに整備した同船の船内検疫システムについて、東京-小笠原間の通常運航時に運用試験を実施した。船上で発見された種のうち、生態系に影響を与える可能性の高いアリ類に注目し、船内検疫に利用するためのインベントリーを作成した。同船の乗船客に対し、外来生物対策に関する意識調査を実施した。

(4)琉球・奄美における外来生物重点防除対策 根絶確認モデル

複数のマングース検出手法を用いた根絶確認モデルの開発を目的としてモデル構築を行った。さらに、奄美大島を13の区域にわけた、区域ごとのモデル構築のためのデータ整備、モデル構築を進めた。複数のマングース検出手法を用いた根絶確認モデルの開発を目的として、階層ベイズ法を用いたモデル構築を行った。また、構築した根絶確認モデルを用いて、奄美大島全島におけるマングース個体数の将来予測を行い、根絶期間を算出した。また、将来的な根絶確率についてもあわせて推定した。

マングース防除に向けた化学的防除手法の検討①:既存化学製剤等の有効性

マングース防除に向けた既存化学製剤による防除手法開発として、複数種類の候補基剤(ダイファシノン、PAPP、NaNO₂など)について、USDAのプロトコルに則り、飼育下試験を実施した。さらに、飼育下試験において高い効果が認められたダイファシノンならびにPAPPについて防除事業への導入を念頭に、半野外環境下での試験を行った。在来齧歯類への影響評価として、トゲネズミ属に近縁種であるアカネズミにおける実験系の確立、評価試験を実施した。さらに、在来種への影響評価ならびに環境中残留性の確認として、飼育下試験に供した個体ならびに半野外試験を実施した環境の土壌、供試個体ならびにフン中のダイファシノン残留濃度について

測定し、検討した。

マンガース防除にむけた化学的防除手法の検討②：避妊ワクチンの開発

マンガース繁殖抑制を目指した経口避妊ワクチンの開発においては、①マンガースに種特異的に避妊効果をもたらすワクチン抗原の探索、②同抗原を経口で投与して効果を発現させるためのデリバリーシステムの開発、③野外散布するための製剤化、④野外への試験投与と実用化、というステージが必要となる。これまでの研究では、ステージ①を進めており、避妊効果が期待される抗原候補の有用性について実験動物（ウサギ）を用いた検証を行ってきた。本計画では、実験動物ではなく生体のマンガースを用い、抗原候補の有用性の検証ならびに野外における避妊ワクチンの経口投与を見据えてワクチンデリバリーシステムの選定を試みた。

(5)琵琶湖におけるオオクチバス等の重点的防除対策

水域類型に応じたオオクチバス等の低密度化を目指した総合的防除手法の検証

琵琶湖周辺に位置する2つの内湖において、オオクチバス等の防除や普及啓発の取組を地域の学生団体や環境教育プログラムと連携して行うとともに、博物館展示での防除の紹介への展開を試みた。オオクチバスの繁殖活動を阻害す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い、有効性を検証した。小規模水域では、装置を全周設置の繁殖抑制効果を検証した。ダム貯水池においては、水位調節に応じた効果的な繁殖抑制手法を野外調査により検討した。

オオクチバス低密度試験水域におけるフェロモントラップの有効性確認

オオクチバスが生息密度化した貯水池において、フェロモントラップの設置試験を実施した。この実験に用いるオオクチバスの繁殖期のオスの胆汁は、琵琶湖で駆除された個体から胆嚢を摘出することで確保した。

(6)オオクチバス等の化学的防除手法開発

オオクチバス等の化学的防除手法開発のため、①オオクチバス等の誘引物質の探索を行った。またフェロモントラップ開発に向けて、②湖沼におけるフェロモントラップの誘引効果のシミュレーションを行った。さらにフェロモントラップの運用上課題となっていた混獲問題を低減させるトラップの開発を行い、③湖沼のオオクチバス等の防除に適したフェロモントラップの規格決定を行った。

4. 結果及び考察

(1)非意図的外来生物の侵入経路の特定

マルチルアートラップの開発

海外では、フェロモントラップによるモニタリングのコスト削減のためマルチルアートラップの利用が検討されていることから、この試験をする国際グループに参加し、日本での汎用性を検討し、改善点をまとめた。

種の簡易検出法の開発

乾材シロアリ、ヒラタキクイムシ、外来アリのITSおよびCOI遺伝子領域の種特異的プライマーの設計を行い、虫体の一部や遺留物からも種の同定が可能なDNAバーコーディング法を確立した。サブ2およびサブ3の現場で検証を重ね、外来アリのバーコーディング手法の改良を行いLAMP法による同定技術を確立した。これにより、アルゼンチンアリについては、DNA抽出からLAMP法による簡易検出までを90分以内に収めることが可能となった。

港湾モニタリングのための侵入港の探索

港湾統計データを利用して、侵入を警戒する必要があるヒアリを対象に日本国内の各地域における侵入生物のリスク評価を試みた。ヒアリ分布地からの輸入の多い港湾を港湾統計から抽出、集計した結果、愛知県が最もヒアリ分布地からの輸入量が多かった。成田国際空港のデータからは、切花や農作物からアルゼンチンアリやアカカミアリが多く確認される傾向があった。数年前にアルゼンチンアリが発見された大田区の港湾エリアは、輸入品の一時保管場所に近いことから、モニタリングの際には港湾の他、保税地域周辺も対象にすべきと考えられた。

外来種早期発見手法の手順

種特異的トラップの利用を検討し、省コストを図ること、LAMP法を用いた簡易同定法によって、非専門家による迅速な外来種の検出を実施すること、侵入港や侵入経路などのリスク評価を定期的実施し、保税蔵置所などの輸入物保管場所周辺での効果的なモニタリングを検討することについて、その要点をマニュアルとして取りまとめた。

(2) 重点的に防除すべき外来昆虫類の対策手法開発

外来検疫処理手法の開発

文献情報より、アリ類にはピレスロイド剤が効果的であり、フェントリン、dl-d-T80-アレスリン、d-T80-レスメトリン、d-T80-フタルスリン等が実用化されていることが示された。特にd-T80-シフェントリンがアリ類に最も効果的であり、これらの剤は市販剤として国内においても実用化されており、検疫現場においても汎用性が高いと期待される。

アルゼンチンアリ防除システムの構築

東京都大田区試験エリアの5年間のモニタリングデータを使用して、根絶確率を統計推定した結果、99%以上の確率で根絶できたと判定された。防除区のアリ群集動態を調べた結果、在来アリ類が一時的に減少し多様性が低下したが、投薬を中止して1年後、これらの個体数は増加し、2年後には未侵入区より上回る多様性を示した。在来種に対する生態影響定量化により薬剤を使ってでもアルゼンチンアリを除去することが多様性回復に効果があると計算された。成果を防除マニュアルとして整理するとともに、毎年、アルゼンチンアリ対策連絡会議を開催し、官民一体の防除体制ネットワークを構築した結果、横浜市、静岡市、京都市、および岡山市において高い防除効果が見られた。

セイヨウオオマルハナバチの化学的防除手法開発

ハウスレベルのIGR剤によるコロニー毒性試験を実施した結果、新女王生産を阻害する効果があることが示された。野外試験では、旭川市市街において、発見されたセイヨウオオマルハナバチの野生巣を対象にIGR剤効力試験を行った結果、無処理巣については巣が生産停止する前に新女王が出入りするようになったが、薬剤処理巣では、巣が生産停止するまで新女王の出入りは観察されなかったことから、次世代生産虫である新女王の生産が阻害されることが示唆された。道内各所で住民に対する防除法説明会を開催した。2017年夏より北海道立総合研究機構環境科学研究センターが主体となり石狩市内にて野外防除試験を実施する計画が立てられた。

ツマアカスズメバチ防除の化学的防除手法開発

IGR剤を用いて、スズメバチ幼虫に対する急性経口毒性試験を行った。試験生物として同属のコガタスズメバチおよびオオスズメバチの幼虫を個別飼育し、IGR剤を経口投与し、蛹化阻害効果を確認した。対馬のツマアカスズメバチの野外巣に対してワーカーに対するIGR液剤噴霧試験、およびベイトのワーカーによる持ち帰り試験を行った。その結果、IGR処理巣は無処理巣に比べて新女王、オス、ワーカーが著しく減少しており、高い次世代抑制効果が示唆された。2017年度から環境省事業として野外試験を行うことが計画された。

化学的防除のための化学物質安全性・毒性データの収集整備

外来昆虫防除で使用する薬剤の水生生物に対する急性毒性値情報(LC₅₀、EC₅₀)、ミツバチ類やクモ類等、陸域の節足動物類に対する影響濃度、鳥類・哺乳類に対する毒性濃度の公式データおよび文献情報、これらの化学物質の物理化学データも収集した。以上のデータに基づき、実際の防除場面での環境中暴露影響を評価した。いずれの剤もマニュアルに沿って使用する範囲では生態リスクは極めて低いと判断された。

(3) 小笠原における外来生物緊急防除対策

グリーンアノールを対象としたベイト剤の開発

生き餌ベイトの薬剤キャリア昆虫として、トウキョウキンバエの成虫が最適と考えられた。化合物はピレスロイド系殺虫剤ピレトリンの効果が選択された。そのほかカフェインにも低薬量で致死性が認められた(1~2mg/個体)。昆虫への薬剤装着方法も完成させた。網室内でアノールに対するベイト剤薬効試験を実施し、試験法を確立した。カフェインを用いたベイト剤を散布する時期は春から初夏、時間帯は午前中がよいと考えられた。

非意図的外来生物の検疫システムの整備

おがさわら丸船上調査の結果、アカカミアリ(特定外来生物)やアシナガキアリの繁殖虫が硫黄島停泊時に飛来しており、父島から東京へ向かう船内でも複数のアリの繁殖虫が確認されたことから停泊時の対策強化が示唆された。乗船客に対して、外来生物対策に関するアンケートを実施した結果、小笠原の自然保護に対する乗船客の意識は高く、募金をしてもよいと考える金額の期待値は一人当たり636円と算出された。

(4) 琉球・奄美における外来生物重点防除対策

根絶確認モデル

マングースモニタリング・データより作成した階層ベイズ法による根絶確認モデルを用いて、奄美大島全島におけるマングース個体数の将来予測と根絶確率の推定を行った結果、2030年度以降に根絶が達成されると予想され、2020年度代前半の根絶確率が50%を超え、2030年度以降では100%に近づくと予測された。

マングース防除に向けた化学的防除手法の検討①:既存化学製剤等の有効性

ダイファシノン試験投与飼育下実験で、有効薬量が算出されたことから、半野外環境下試験を実施した結果、1日目から3日目まで設置した全てのベイトは、設置から24時間以内に全て摂食済みで有り、巣穴中などにも残餌は確認されなかった。また、試験15日目までに死亡した個体は、3/5個体であった。

感受性が高いとされるアカネズミへの影響試験を行い、ダイファシノンの影響濃度を算出した。半野外環境下試験においてダイファシノンの環境中残留濃度を測定し、暴露評価を実施した結果、薬剤防除によって齧歯類が受ける生態リスクは極めて低いと推定された。

マングース防除にむけた化学的防除手法の検討②:避妊ワクチンの開発

マングースに種特異的な避妊ワクチン開発に向け、ワクチン抗原候補として作成した2種類の合成ペプチドAおよびBの抗原性を評価した結果、いずれのペプチドにおいても有意な抗体価の上昇が認められた。抗体価の持続性を検討したところ、ペプチドAでは12ヶ月以上の抗体価持続性を示した。さらに、経口避妊ワクチンの将来的な野外散布を念頭に、海外における避妊ワクチン開発の先行事例および法的制限(カルタヘナ法)を考慮した結果、増殖能がなく環境中に排出しても生物学的に安全であるバクテリアゴーストを用いたワクチンデリバリーシステムの適用が妥当と考えられた。

(5)琵琶湖におけるオオクチバス等の重点的防除対策

多様な試験水域におけるオオクチバス等の低密度化を目指した総合的防除手法の検証

琵琶湖内湖の神上沼では、オオクチバス稚魚群の積極的捕獲の結果、当歳魚の生息密度が低減、在来魚の回復も認められた。湖北野田沼等での吊り下げ式人工産卵装置の取組は、滋賀県立琵琶湖博物館の展示で一般公開されることとなった。松元ダム貯水池(鹿児島県)では、防除体制の縮減に関わらず、努力の集中により、産卵抑制効果を維持できた。東京都立狭山公園宅部池では吊り下げ式人工産卵装置による生息抑制が継続され、2016年1月の「かいぼり」でその効果が確認された。苫田ダム貯水池(岡山県)では貯水位が通年、安定して維持されるため、オオクチバスの繁殖に好適な「高ポテンシャル区間」として全湖岸長の4.1%を抽出して防除努力を集中させた結果、オオクチバスの低密度化傾向が示された。そこで、低密度水域で有効性が期待されるフェロモントラップの設置を試行した結果、オオクチバスが1個体捕獲された。三春ダム貯水池(福島県)では、毎年「洪水期」の直前に貯水位を低下させる際、水位安定期を複数回挟ませて「階段式」に低下させることで、オオクチバスの産卵床を干し上げることが効果的であることが示された。

オオクチバス低密度試験水域におけるフェロモントラップの有効性確認

苫田ダム貯水池においてサブ6で開発されたフェロモントラップ試験を行い、オオクチバスの捕獲を確認した。

(6)オオクチバス等の化学的防除手法開発

オオクチバスの性フェロモンの成分分析を行い、オスに特徴的な化合物が確認された。音響映像カメラを活用し、行動面から在来魚等に対する混獲防止型のトラップの構造を検討し、フェロモントラップの作業効率の改善を図った。フェロモントラップは約100mの範囲に入ったオオクチバスを誘引できることが示され、湖沼での湯構成が示唆された。

5. 本研究により得られた主な成果

(1)科学的意義

- ・ LAMP法によるアリ類などの形態同定が困難な外来生物の現場での簡易検出・判定を可能とした。
- ・ 貿易情報から外来生物の侵入リスクを評価する統計的手法を開発し、具体例を提示したのは国内外で初事例である。
- ・ アルゼンチンアリを材料として外来生物個体群の根絶確認にかかる統計的手法を開発できた。本手法に基づき他の外来生物防除計画においても科学的なタイムスケジュールの組み込みが可能となった。
- ・ セイヨウオオマルハナバチ防除手法開発を通じて、社会性外来昆虫類に対する薬剤防除のエンドポイント、すなわち次世代生殖虫の生産抑制の特定と有効性(防除効果)を明らかにできた。
- ・ IGR剤を活用したセイヨウオオマルハナバチ・ツマアカスズメバチの薬剤防除手法の開発に成功した。
- ・ 化学的防除の実施にあたっての合意形成プロセスにおいて重要な説明ポイント・手法を明らかにで

きた。

- ・昆虫食性爬虫類（アノール）を対象とした生き餌ベイト剤のプロトコル（ベイト昆虫、薬剤、装着方法のセット）を世界で初めて提示した。
- ・離島→本土への侵入経路についてはこれまで議論されていなかったが貨客船おがさわら丸が外来アリ類を本土に持ち帰るリスクを明らかにした。
- ・奄美大島マングース防除事業において、今後10～15年程度で全島根絶が達成されるという推定値を算出した。
- ・ダイファシノンのマングース防除効果と生態リスクを明らかにした。
- ・避妊ワクチン開発について生体マングースに対して抗原性が高いワクチン抗原候補を絞り込むことができた。
- ・オオクチバスに対する吊り下げ式人工産卵装置の水域環境に応じた使用方法を開発した。
- ・オオクチバスに対するフェロモン候補物質の絞り込みを行ったところ、ホルモンとは無関係である胆汁成分中に特徴的な物質が確認され、魚類の性フェロモン学分野の新しい知見の一つとなった。
- ・音響映像カメラを活用し、濁水中での魚類のトラップや漁具に対する反応行動を明らかにした。

(2)環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

- ・アルゼンチンアリ防除マニュアルは既に、関東・中部・東海、近畿、中国・四国の各地方の環境省・自治体による防除事業に適用されており、国立環境研究所が各防除事業の視察・指導・フィードバックを実施するシステムができている。これは世界的にも珍しい全国レベルで効果を上げている官学共同の防除事例となる。
- ・環境省・科学委員会・ツヤオオズアリ作業部会において、母島に定着が確認されたツヤオオズアリの化学的防除事業に対して、アルゼンチンアリ防除マニュアルを適用した防除計画を提示した。防除の進捗状況を確認し、適宜、作業内容についてアドバイスをを行い、一部地域において高い防除効果を得ることができた。
- ・愛知県東海市に対して、市内に定着したアルゼンチンアリ防除計画に対して、防除マニュアルに基づく防除指針を提言し、来年度からの実行計画に結びつけた。
- ・環境省北海道地方環境事務所主催「2014年セイヨウオオマルハナバチモニタリング報告会」において、本研究成果であるセイヨウオオマルハナバチ薬剤防除手法開発の試験結果を説明し、化学的防除の普及啓発に貢献した。
- ・環境省の平成28年度ツマアカスズメバチ防除に係る意見交換会において一連の成果が報告され、2017年度から環境省事業として野外試験を行うことが計画された。
- ・環境省の奄美大島における特定外来生物マングース防除事業において、本研究成果であるダイファシノンによる化学的防除が2017年4月より実施することとなった。2017年1月の検討会に情報提供し、当該検討会に於いて実施することが決定した。
- ・環境省自然環境局による「淡水魚保全のための検討会」において、伊豆沼・内沼で実施されてきたオオクチバス等の外来魚防除活動の成果が事例報告として発表され、淡水魚保全のための政策提言に貢献した。
- ・環境省の外部インターネットサイト「エコナビ」にて、「工夫の積み重ねが生んだ防除成果 -ケーススタディ：伊豆沼・内沼のオオクチバス対策-」のタイトルで伊豆沼・内沼の外来魚防除活動が紹介され、外来種防除のための普及啓発に貢献した。<http://econavi.eic.or.jp/ecorepo/live/422>

<行政が活用することが見込まれる成果>

- ・LAMP法は、今後各港湾エリアにおけるモニタリング事業に実装可能である。
- ・保税地域が外来種侵入の「窓口」とする研究結果は、今後、本土・離島におけるモニタリング計画に反映される。
- ・本研究成果であるマングース根絶予測モデルにより奄美大島では10年から15年で根絶達成見込みであることが試算され、本成果が事業に反映されることが見込まれる。
- ・本事業で得られたオオクチバスの誘引物質の絞り込み、フェロモントラップの規格化、フェロモントラップの有効範囲の確定は、指針が目指す根絶や低密度管理を実現する有効な手法となる。

6. 研究成果の主な発表状況（※別添.報告書作成要領参照）

(1)主な誌上発表

<査読付き論文>

- 1) Azami K, Higuchi T, Konishi C, Hashimoto H, Osugi T, Asaeda T, Nakai K: River Systems 21/4, 249-260. (2015)

“An inundated *Salix* stand provides spawning and nursery habitat for native fish in a

periodically flooded reservoir zone.”

- 2) Sakamoto Y, Mori H, Ohnishi H, Imai H, Kishimoto T, Toda M, Kishi S, Goka K: Applied Entomology and Zoology 51, 661-667. (2016)
“Surveys of the ant faunas at ports of Tokyo Bay and the Ogasawara Islands”
- 3) Ide T, Kanzaki N, Ohmura W, Okabe K: Journal of Economic Entomology 109, 1410-1414. (2016)
“Molecular identification of an invasive wood-boring insect *Lyctus brunneus* (Coleoptera: Bostrichidae: Lyctinae) using frass by loop-mediated isothermal amplification and nested PCR assays”
- 4) Ide T, Kanzaki N, Ohmura W, Takematsu Y, Okabe K: Journal of Economic Entomology 109, 2234-2237. (2016)
“Molecular identification of the western drywood termite (Isoptera: Kalotermitidae) by loop-mediated isothermal amplification of DNA from fecal pellets”
- 5) Sakamoto Y, Kumagai NH and Goka K: Scientific Reports (in press)
“Declaration of local chemical eradication of the Argentine ant: Bayesian estimation with a multinomial-mixture model”

<その他誌上発表(査読なし)>

- 1) 浅野玄・小林恒平：獣医畜産新報，文永堂出版，Vol. 97, No. 9, p667-672. (2014)
「繁殖抑制とくに避妊ワクチンによる野生動物の個体数管理の展望と課題」
- 2) 高橋洋生・秋田耕佑・戸田光彦：昆虫と自然，49, 9, 17-21. (2014)
「小笠原諸島に侵入したグリーンアノール：父島と母島、兄島」
- 3) 橋本琢磨・港隆一・中田勝士・城ヶ原貴通・Robert T. Sugihara・山田文雄・常田邦彦・池田透：哺乳類科学，55, 94-95. (2015)
「外来種等の生息域拡大による被害を考える」
- 4) 中井克樹：生物の科学遺伝 70(1), p34-40. (2016)
「侵略的外来魚オオクチバスに対する対策一特に影響低減のための新しい手法について」
- 5) 戸田光彦：昆虫と自然，Vol. 51, No. 14, p18-21. (2016)
「小笠原の固有昆虫保全のための外来種対策～グリーンアノール防除の展開」
- 6) 五箇公一：生物の科学 遺伝，Vol. 71, No. 1, p10-15. (2017)
「外来生物の駆除への取り組み-科学的知見と分析に基づき計画的に防除」
- 7) 坂本佳子・五箇公一：生物の科学 遺伝，Vol. 71, No. 1, p16-20. (2017)
「外来昆虫類の化学的防除」
- 8) 井手竜也・神崎菜摘・大村和香子・岡部貴美子：しろあり167, 56-59. (2017)
「木材害虫由来の排出物の簡易遺伝子分析による種同定」

(2) 主な口頭発表(学会等)

- 1) 浅野玄・峰本隆博・森孝之・鈴木正嗣：日本哺乳類学会2014年度大会 (2014)
「ファイリマングースの個体数抑制手法としての避妊ワクチン開発 (3)」
- 2) 中田勝士・城ヶ原貴通・Robert Sugihara・橋本琢磨・山田文雄：日本哺乳類学会2014年度大会 (2014)
「マングース防除事業と化学的防除の検討について」
- 3) 江川昂弘・山本智子・吉本清美・高山真由美・中井克樹：応用生態工学会第 18 回大会 (2014)
「オオクチバス繁殖抑制のための吊り下げ式人工産卵装置の改良」
- 4) 沖津二郎・樋口貴哉・中井克樹・大杉奉功・松崎厚史・小山幸男：応用生態工学会第 18 回大会 (2014)
「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取り組み」
- 5) 笹田直樹・芹澤栄一・上橋昇・中井克樹：応用生態工学会第 18 回大会 (2014)
「ダム湖湖岸域の繁殖ポテンシャル評価に基づくオオクチバス防除の効率化」
- 6) 藤本泰文・芦澤淳・高橋清孝：2014年度日本魚類学会年会シンポジウム (2014)
「駆除の実践と成果の現状 1 -伊豆沼」
- 7) Nakai K, Okitsu J, Azami K, Osugi T, Oyama Y: The 144th Annual Meeting of the American Fisheries Society, Quebec (2014)
“Integrated population control of largemouth bass, an invasive alien species in reservoirs

in Japan. ”

- 8) 高橋洋生・秋田耕佑・芦澤航・鋤柄直純・戸田光彦：日本爬虫両棲類学会 第53回大会(2014)
「小笠原におけるグリーンアノールの微環境利用、行動圏、移動パターン」
- 9) 浅野玄・國永尚稔・峰本隆博・森孝之・森直人・鈴木正嗣：第21回日本野生動物医学会大会(2015)
「外来哺乳類の個体数制御法としての避妊ワクチンの展望と課題」
- 10) Asano M: 5th International Wildlife Management Congress (2015)
“Immunocontraceptive vaccines for alien mongoose and raccoon.”
- 11) Goka K: 5th International Wildlife Management Congress (2015)
“Addressing invasive alien species in Japan- its progress and challenges”
- 12) Jogahara T: 5th International Wildlife Management Congress (2015)
“Some advanced approaches for invasive mongoose in Amami-Oshima and Okinawa Island in Japan”
- 13) Toda M: 5th International Wildlife Management Congress (2015)
“Ecological impacts and control of the green anole, an invasive alien species on the Ogasawara Islands, Japan”
- 14) 江川昂弘・山本智子・松元地区土地改良区・高山真由美・中井克樹：第 62 回日本生態学会大会(2015)
「農業用ダムにおけるオオクチバスとブルーギルの簡易駆除方法の検討」
- 15) 藤本泰文：平成26年度全国自然再生協議会全国会議(2015)
「伊豆沼・内沼(宮城県)の自然再生事業」
- 16) 藤本泰文・中井克樹：第 62 回日本生態学会大会(2015)
「オオクチバス防除における生物由来化学物質の活用」
- 17) 橋本琢磨・諸澤崇裕・木村麻里子：第62回日本生態学会大会(2015)
「奄美大島におけるマングース防除事業の現状と成果」
- 18) 山田文雄・城ヶ原貴道・橋本琢磨：第62回日本生態学会大会(2015)
「マングース防除における毒餌の活用とその必要性」
- 19) 城ヶ原貴通・中田勝士・Robert T Sugihara・橋本琢磨・石橋治・山田文雄：第21回日本野生動物医学会大会(2015)
「特定外来生物マングースにおける化学的防除手法(ダイファシノン)の検討」
- 20) 國永尚稔・浅野玄・森直人・鈴木正嗣：第21回日本野生動物医学会大会(2015)
「ファイリマングース(*Herpestes auropunctatus*)における避妊ワクチン抗原候補ペプチドに対する自己抗体産生能の評価」
- 21) 城ヶ原貴通・中田勝士：第21回「野生生物と社会」学会・企画集会「マングース根絶に向けた技術開発の取り組み」(2015)
「化学的防除手法の開発と導入法の検討」
- 22) 中井克樹・芹澤英一郎・佐貫方城・白神義章・笹田直樹：2015年度日本魚類学会年会(2015)
「ダム貯水池における湖岸域の繁殖ポテンシャル評価に基づくオオクチバス生息抑制の試み」
- 23) 坂本佳子・大西一志・森英章・今井仁・戸田光彦・岸本年郎・五箇公一：第59回日本応用動物昆虫学会大会(2015)
「東京港湾における外来アリ類の誘引トラップ調査」
- 24) 戸田光彦：森林野生動物研究会・第48回大会(2015)
「外来爬虫類グリーンアノールの化学的防除」
- 25) 浅野玄：日本哺乳類学会2016年度大会(2016)
「外来種の個体数管理における避妊ワクチンの展望と課題」
- 26) 藤本泰文：2016年度日本魚類学会・市民講座「魚類にみる最新の外来種問題」(2016)
「オオクチバス等の外来魚の新たな駆除方法の開発」
- 27) Goka K: New Zealand B3 Conference (2016)
“Addressing invasive alien species in Japan- its progress and challenges”
- 28) Goka K: Korea-Japan International Invasive Species Conference (2016)
“Control of invasive alien species in Japan”
- 29) Goka K: 8th European Association of Acarologists (2016)
“Environmental change and biological invasion in Japan - how we should encounter increasing invasive alien species?”

- 30) Goka K: International Congress of Entomology (2016)
「Addressing invasive alien species in Japan -its progress and challenges」
- 31) 五箇公一：森林野生動物研究会公開シンポジウム（2016）
「外来生物の生態影響と対策」
- 32) 岸茂樹・五箇公一：第60回日本応用動物昆虫学会大会（2016）
「対馬に侵入した特定外来生物ツマアカスズメバチの生態的特性と防除戦略」
- 33) 岸茂樹・五箇公一：第63回日本生態学会大会（2016）
「特定外来生物ツマアカスズメバチの生態的特性にもとづいた防除戦略」
- 34) 中井克樹・笹田直樹・沖津二郎・浅見和弘・大杉奉功：第63回日本生態学会大会（2016）
「ダム貯水池におけるオオクチバスの繁殖抑制：水位操作パターンへの対応」
- 35) 國永尚稔・浅野玄・森直人・鈴木正嗣：日本哺乳類学会2016年度大会（2016）
「フィリマングースの個体数抑制手法としての避妊ワクチン開発(4)」
- 36) Nakai K: The 146th Annual Meeting of American Fisheries Society, Kansas City, Missouri, USA (2016)
“Effective population control of invasive largemouth bass in Japanese reservoirs, in relation to water level management.”
- 37) Nakai K: The 16th World Lake Conference - Bali, Indonesia (2016)
“Legislation and stakeholders’ involvement in controlling invasive alien species in Lake Biwa, Japan.”
- 38) 戸田光彦：日本爬虫両棲類学会 第55回大会（2016）
「グリーンアノールの化学的防除手法の開発」
- 39) 井手竜也・岡部貴美子：第64回日本生態学会大会（2017）
「外来昆虫類の水際検疫」
- 40) 岸茂樹・五箇公一：第61回日本応用動物昆虫学会（2017）
「特定外来生物ツマアカスズメバチの現状と化学的防除手法の可能性」
- 41) 岸茂樹・坂本佳子・五箇公一：第64回日本生態学会大会（2017）
「特定外来生物ツマアカスズメバチの化学的防除手法の開発」
- 42) 五箇公一，坂本佳子：日本生態学会（2017）
「外来昆虫類の化学的防除」

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、現在、国立環境研究所室長

研究分担者

- 1) 坂本 佳子
大阪府立大学大学院生命環境科学研究科修了、博士（緑地環境科学）、現在、国立環境研究所研究員
- 2) 岡部 貴美子
千葉大学園芸学部卒業、博士（学術）、現在、森林総合研究所生物多様性研究拠点長
- 3) 升屋 勇人
筑波大学大学院農学研究科修了、博士（農学）、現在、森林総合研究所東北支所チーム長
- 4) 神崎 菜摘
京都大学農学部修了、博士（農学）、現在、森林総合研究所主任研究員
- 5) 戸田 光彦
金沢大学大学院自然科学研究科修了、博士（理学）、現在、（一財）自然環境研究センター主席研究員
- 6) 城ヶ原 貴通
名古屋大学大学院生命農学研究科修了、博士（農学）、現在、宮崎大学研究員
- 7) 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
- 8) 藤本 泰文
北里大学水産学研究科卒業、水産学博士、現在、（公財）宮城県伊豆沼・内沼環境保全財団研究員

4-1401 特定外来生物の重点的防除対策のための手法開発

(1) 非意図的外来生物の侵入経路の特定

国立研究開発法人森林総合研究所

生物多様性研究拠点

岡部貴美子

東北支所

升屋隼人

きのこ・微生物研究領域 森林病理研究室 神崎菜摘

<研究協力者> 森林総合研究所生物多様性研究拠点

井手竜也

ニュージーランド森林研究所 (SCION) 主任研究員

Eckehard Brockerhoff

平成26～28年度累計予算額：33,400千円（うち平成28年度：10,900千円）

予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

非意図的に持ち込まれる可能性のある外来生物を早期発見するために、同定の専門家以外でも利用可能な手法を開発した。対象種を絞ってモニタリングするためにフェロモントラップが利用可能であるが、1種1トラップの原則に基づくコストを減らすために、1トラップに複数のフェロモン剤（ルアー）を設置するマルチルアートラップ開発を、ニュージーランド、アメリカ合衆国、フランス等と共同で実施した。その結果、ガでは化学的干渉は見られるものの、4種のルアーを同時設置することが可能であった。一方甲虫ではフェロモン剤の効果が明確ではなかった。さらに、混獲サンプルや排泄物などの痕跡から対象種かどうかを判定する手法として、DNAバーコーディングを利用したLAMP法による検出手法を開発した。この方法により、外来種であるアメリカカンザイシロアリ等が排泄物のみから正確に同定可能になり、また特定外来生物のアルゼンチンアリの混獲サンプルや、脚1本などの体の一部からも判別可能となった。アルゼンチンアリでは、小笠原諸島への侵入早期発見を想定し、運航船内で使用可能なトラップを開発した。これらのトラップを設置する適切な場所を決定するために、特定外来生物のアルゼンチンアリおよびヒアリがこれまで植物検疫によって検出された地域の輸入産品を調べたところ、農産物が最も侵入経路となる可能性が高いことが分かった。また植物検疫検査前の産物を保存する、港湾周辺の保税蔵置所及びその周辺が、モニタリング場所として適当であることを示した。

[キーワード]

外来昆虫、DNAバーコード、保税蔵置所、マルチルアー、LAMP法

1. はじめに

外来種対策が国際的に重要事項となる現状において、根絶の手法的困難さと経済的コストが認識されるようになり、早期発見・早期根絶の重要性が国際的に強く認識されるようになってきた。たとえばオーストラリアのヒアリの根絶や、ニュージーランドのマイマイガ根絶には、莫大

な費用が投入され成功したとされるが、これらの国々も再侵入防止のための努力を続ける必要がある。また定着し、分布拡大した外来生物に対しては、対費用効果が低いことからリスク評価結果によっては、今後防除を行わないことも検討されている。

国内では外来生物法が施行され、優先的に防除すべき外来生物だけでなく地域の選定が必要であることも議論されてきた。未侵入の外来生物の早期対策においては、素早い対応のために誰でも同定に利用できるツールや低コストモニタリング手法が求められるほか、効果的なモニタリング実施の場所の特定が必要である。また既に侵入・定着した外来生物でも、世界自然遺産登録地などの重要生態系では、日本国内の移動による侵入を阻止しなければならない。そのためには、その地域の人や物資の動きに合わせた、モニタリング、早期防除手法が必要である。

2. 研究開発目的

低コストモニタリング手法と正確な同定手法を開発することにより、国内未侵入の警戒すべき外来生物を水際で発見し、あるいは侵入初期の根絶を可能にすることを目的とした。そのために既に日本に侵入している、国内で入手可能な昆虫をモデル生物として利用し、フェロモントラップなどの化学的手法や分子生物学的同定手法を用い、これらを目的に合わせて高度化した。また国内のどのような地域または場所にモニタリング地点を設置すべきかを、過去の外来種の導入情報から検討した。さらに世界自然遺産である小笠原諸島への未侵入の特定外来生物の侵入・定着を阻止するために、水際でモニタリングする手法を開発した。

3. 研究開発方法

(1) マルチルアートラップの開発

ニュージーランドを中心とする合衆国（アメリカ農商務省森林研究所）、フランス（国立農学研究所）、イタリア、ポルトガルのグループが複数のフェロモンをートラップに設置するマルチルアートラップの試用を行っていることから、利用方法について情報収集を行った。またこれらの国々と共同で、マイマイガ（USDA開発）、アメリカシロヒトリ、およびその他のチョウ目害虫2種 *Lobesia botrana*（欧州のブドウ害虫ハマキガ）、*Thaumetopoea pityocampa*（マツノギョウレツケムシ）（ISCA-Tech製）のフェロモンを用いたマルチルアートラップ（デルタ型トラップ）を北海道および茨城県（北茨城市、かすみがうら市）に設置し、捕獲試験を行った（図(1)-1）。さらに同じ設定のマルチルアートラップを茨城県内の前年と異なる地域（美浦村、つくばみらい市）に設置し、捕獲試験を行った。さらに甲虫トラップとして、カミキリムシ

（*Monochamus*属。日本ではマツノマダラカミキリなどが含まれる）およびキクイムシ（*Ips*属。日本ではヤツバキクイムシなどが含まれる）の複数フェロモンを用いたトラップを東北地方（岩手県、山形県、福島県内）のマツ林内に設置し、化学干渉について調査した。

港湾での外来種モニタリングのために、名古屋港周辺の緑地で木材穿孔性昆虫トラップ試験（図(1)-2）を行った。小笠原諸島への侵入モニタリングのうち、特にアルゼンチンアリを対象としたモニタリング手法の実用化を目指し、港湾および船舶内で、外来アリ類トラップのテストを行った。



図(1)-1 ガを対象としたマルチルアートラップテストの実施状況



図(1)-2 港湾における木材穿孔性昆虫トラップ試験実施状況

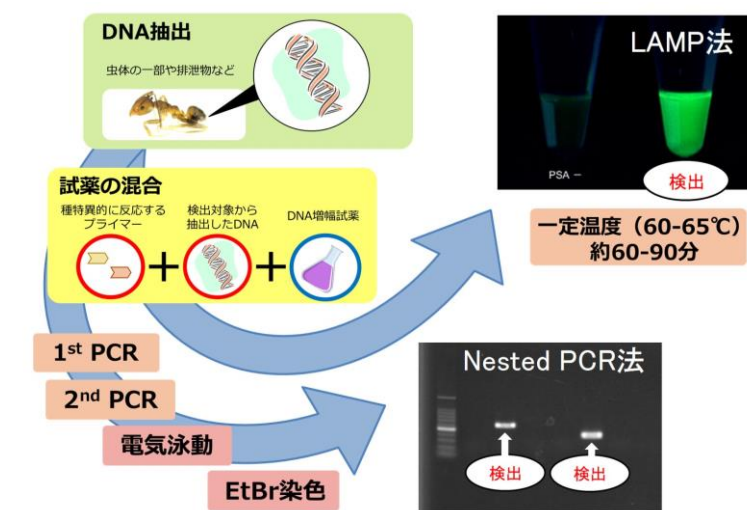
(2) 種の簡易検出法の開発

海外の外来種同定における最新情報の収集を行った。その結果DNAバーコーディング手法が有効であると判断されたため、既にバーコード情報を入手可能な乾材侵入害虫のヒラタキクイムシを用いて、実用化試験を行った。その結果から、species-specific nested PCRおよびLAMP

(Loop-mediated isothermal amplification) 法(図(1)-3)が、種の簡易識別に有効であると判断されたため、国内にすでに侵入しているアルゼンチンアリを用いて汎用性テストを実施した。また、アルゼンチンアリ・ヒアリ等の外来アリが既に侵入しているオーストラリアにて、外来アリを中心としたバーコーディング手法の改良のための予備的情報の収集を行った。これらに基づき、アルゼンチンアリ・ヒアリ等の外来アリを簡易同定するためのバーコーディング手法の改良を行った。

さらに、他の生物に随伴・寄生して侵入する微小生物が懸念されることから、簡易同定手法を

開発に当たっての基礎情報とするため、国内・国外外来昆虫について、随伴する線虫をモデル生物として、抽出を行った。



図(1)-3 LAMP法およびNested PCR法による検出イメージ

(3) 港湾モニタリングのための侵入港の探索

国際貿易を行う港湾を対象に貿易情報（国土交通省：港湾調査年報）や検出実績（植物防疫統計）などの統計資料に基づき、港湾周辺の外来種の定着情報（環境省国立環境研究所：侵入生物データベース）からリスクの高い港湾や物品の検出のための相関解析を行った。さらに侵入生物として国際的に重要であり、また2005年から2012年までに空港、港湾において植物防疫所により確認されたアルゼンチンアリ、アカカミアリの確認回数データについて、港湾名、輸出国、輸入品、輸入項目、同時に存在した検疫有害動物別に集計した。実際にアルゼンチンアリが発見された場所について、地図上で輸入物資を保存している場所との位置関係を調査した。

(4) 外来種早期発見手法の手順

港湾における外来種早期発見のためのモニタリング手法開発に基づき、マニュアルを作成した。

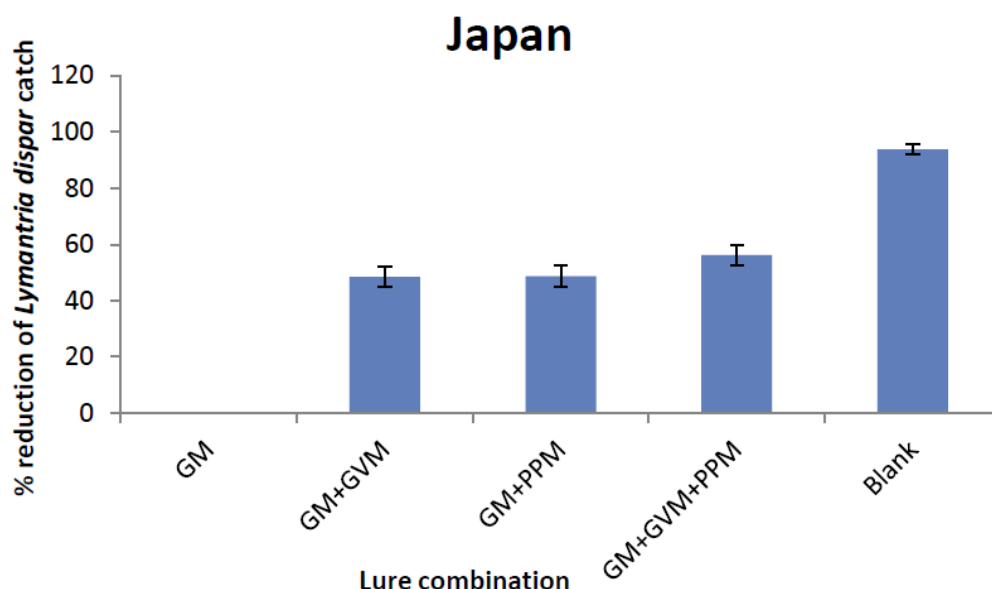
4. 結果及び考察

(1) マルチルアートラップの開発

文献情報および聞き取りによって、世界的に重要な侵入害虫とされるマイマイガの早期検出のため、大量のトラップが設置されていることがわかった（例：アメリカでは1地点に年間9万個以上を設置¹⁾）。またヨーロッパではアメリカシロヒトリのフェロモンにより1個体群は壊滅したと考えられるが、やや化合物の比率の異なるフェロモンに反応すると考えられる別個体群が生存し、この防除が問題となっている（NZにおける聞き取り）。各国とも侵入や分布拡大を懸念する外来種は複数であることから、フェロモントラップによるモニタリングのコスト削減のため、複数のフェロモン（ルアー）をトラップ1基に設置するマルチルアートラップの利用が検討され

ている。マルチルアートラップでは、複数のフェロモンを設置することで化学的干渉が起き、目的とする種の捕獲効率が低下することが懸念される。このことから、既にフェロモンが開発されている昆虫を対象に、マルチルアートラップの検査を行った。なお、昆虫の種類によってトラップの形態が異なるため、チョウ目とコウチュウ目を分けて試験を行った。

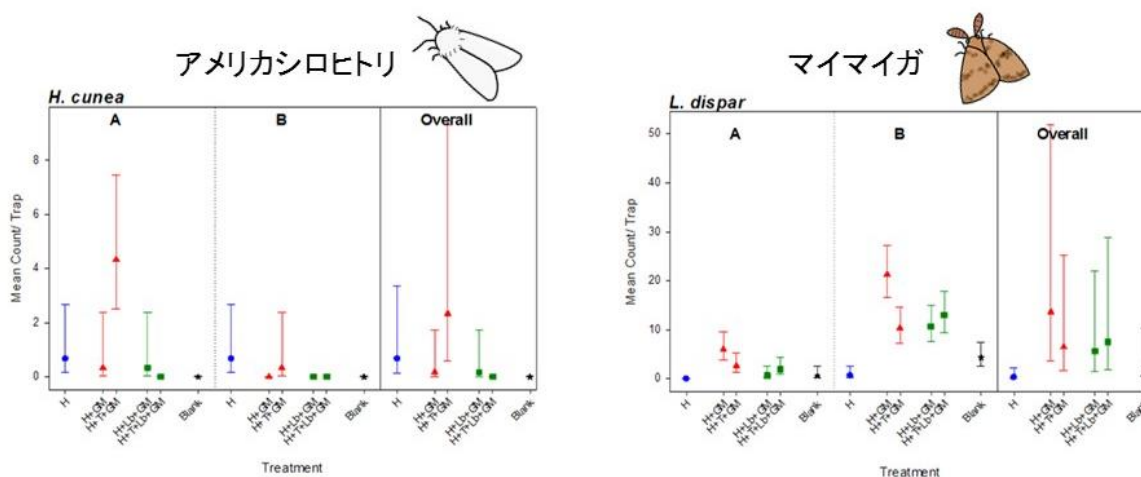
*Lymantria*属の複数種が発生する可能性がある北海道と茨城県北部1地点、*Lymantria*属は1種のみが発生すると予想される茨城県南部の1地点の計3地点で6月～9月のそれぞれ5週間にわたり調査した結果、マイマイガ、カシワマイマイ、ノンネマイマイが捕獲された。またセミやバッタ類の他、フェロモンの対象となっていないガ類も偶然捕獲されたが、アメリカシロヒトリ（試験地周辺では生息しないか、極めて密度が低いことを事前に確認）と日本に分布しない*Lobesia botrana*（欧州のブドウ害虫ハマキガ）、*Thaumetopoea pityocampa*（マツノギョウレツケムシ）は捕獲されなかった。マイマイガフェロモンによる捕獲数を基準とすると、フェロモンの種類を増やすことでマイマイガの捕獲数は減少した（図(1)-4）。しかしフェロモンの有無の中間程度の捕獲数を維持していた。このことから、マルチルアーの捕獲効率は十分実用に耐えるもので、捕獲数の減少は化学的干渉によるものと考えられた。



図(1)-4 マルチルアートラップによるマイマイガ捕獲数減少効果（北海道および茨城県内の解析結果）

（GM:マイマイガ、GVM:*L. botrana*、PPM:*T. pityocampa*のフェロモン）

翌年はアメリカシロヒトリとマイマイガの両種が発生する茨城県の別の2地点で、同じデザインの試験を行った。その結果、どちらの種も捕獲された（図(1)-5）。アメリカシロヒトリの捕獲では、化学的干渉よりもサイトの影響が大きかった。一方、マイマイガでは化学的干渉が認められた。これらの結果は、アメリカシロヒトリは発生数が少なかったため、化学的干渉の影響が明瞭に認められなかったことによる可能性がある。マイマイガでは、化学的干渉はあるものの、モニタリングが可能な効率を維持できると結論付けた。

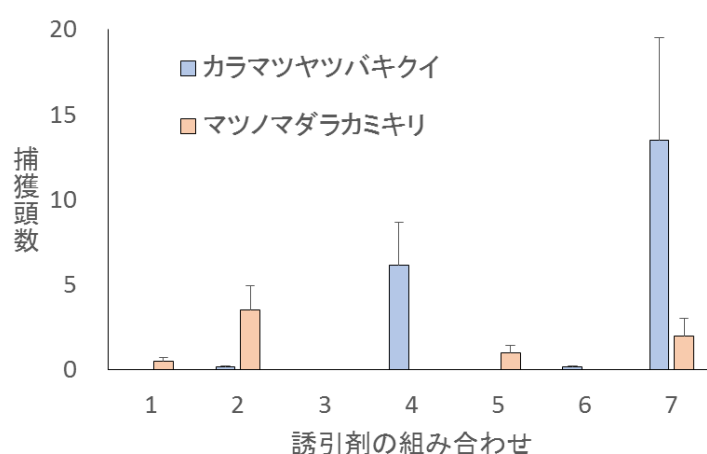


図(1)-5 マルチルアートラップによるアメリカシロヒトリとマイマイガの捕獲（茨城県）

甲虫のマルチルアートラップ（図(1)-6a）では、岩手県の3地点で7月～8月にかけてそれぞれ4週間にわたり調査した結果、対象とした *Ips* 属に属するカラマツヤツバキクイ（図(1)-6b）、および *Monochamus* 属に属するマツノマダラカミキリ（図(1)-6c）が捕獲された（図(1)-7）。また、これらの対象属以外のクイムシ類、カミキリムシ類のほか多数の甲虫類が同時に捕獲された。カラマツヤツバキクイにおいては、ipsdienolを単独でマルチルアートラップに組み合わせに用いた場合（treatment 5）、およびipsenolを単独で組み合わせに用いた場合（treatment 6）よりも、この2つを同時に組み合わせに用いた場合（treatment 4）に捕獲数が増加した。さらにこれに *Monochamus* 属の誘引剤として用いた *Monochamol* を組み合わせの場合、カラマツヤツバキクイの捕獲数はより増加した。マツノマダラカミキリにおいては、発生シーズンとトラップ設置期間が重ならなかったため、捕獲数は少なかったが、*Ips* 属の誘引剤である Ipsdienolおよび Ipsenol と組み合わせの場合でも、捕獲できることが確認された。



図(1)-6 甲虫を対象としたマルチルアートラップ（a）および捕獲対象とした *Ips* 属のカラマツヤツバキクイ *Ips cembrae* (b) と *Monochamus* 属のマツノマダラカミキリ *Monochamus alternatus* (c)。



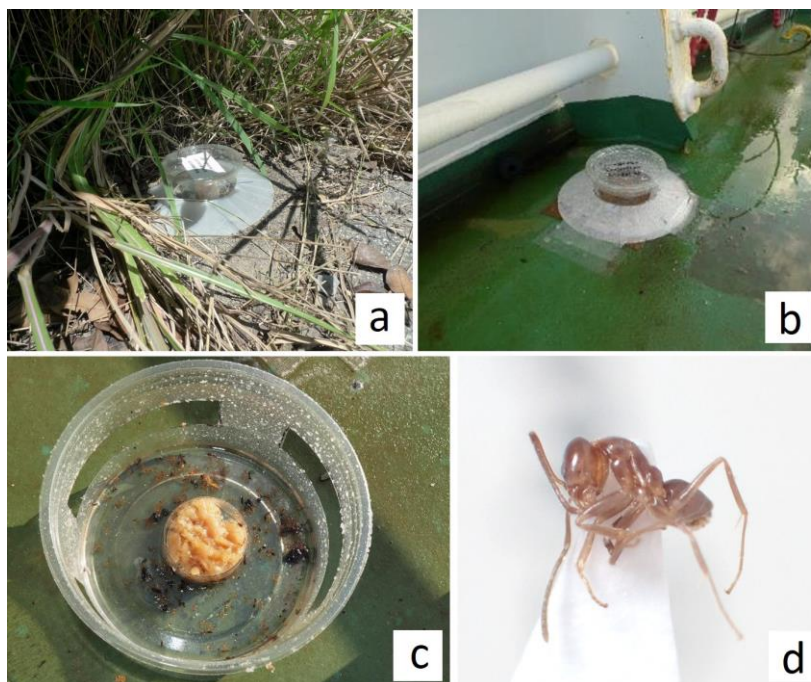
Code	Trap	Lanierone	ipsenol	ipsdienol	α -p etOH	monocham
1	Panel				x x	
2	Panel				x x	x
3	Panel					
4	Panel	x	x	x	x x	
5	Panel	x		x	x x	
6	Panel		x		x x	
7	Panel	x	x	x	x x	x

図(1)-7 誘引剤の組み合わせごとのカラマツヤツバクイとマツノマダラカミキリの平均捕獲頭数および誘引剤の組み合わせの内訳。Xは該当するトラップに、これらの誘引剤が設置されていることを示す。

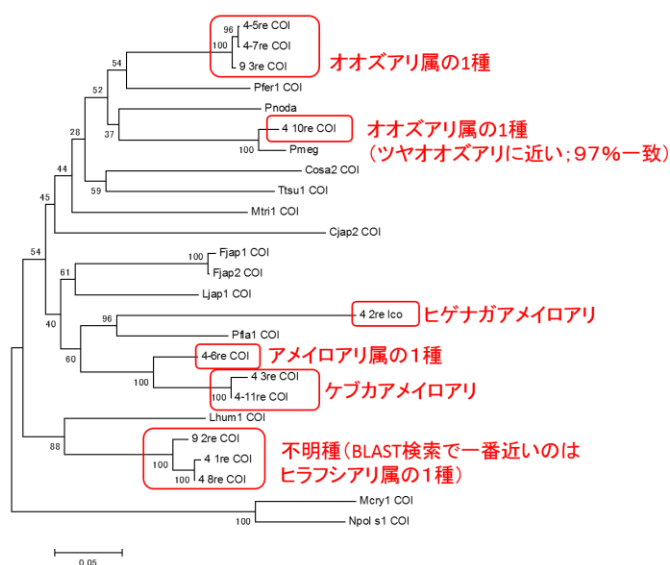
これらのことから、甲虫についても1トラップに複数のフェロモンを設置して、省コストを図ることは可能であると期待できる。しかしながら、カミキリのフェロモン剤は、遠距離の対象種への誘引力が弱いことが懸念されることから、捕獲効率そのものを検討する必要があることが分かった。

甲虫トラップを港湾周辺で利用する際の問題点を明らかにするために、フェロモンを設置せず、エタノールと α ピネン（枯死木穿孔性昆虫のカイロモン）を設置したトラップを試験的に設置した。その結果、コガネムシ類が大量に採集されるもののその他の昆虫はほとんど捕獲されないことが分かった。従ってクビアカツヤカミキリなどのような穿孔性昆虫のモニタリングを行う場合は、エタノールや α ピネンのようなフェロモンの補助剤となる誘引剤の利用について、十分に検討すべきであることが示唆された。

本サブテーマで開発した外来アリのトラップを品川区の港湾地域およびおがさわら丸にて試用した結果、複数種にわたる多数のアリ類が捕獲された（図(1)-8a-d, 9）。品川では、複数種の在来アリに交じって、試験地に定着しているアルゼンチンアリが実際に捕獲された。また、おがさわら丸では少なくとも6種のアリ類が捕獲された。いずれのサンプルもその後のDNA解析に使用可能であることが確認され、DNAバーコーディング手法による簡易同定を前提とした外来アリのモニタリングトラップとして、本トラップが有効に働くことが確認された。



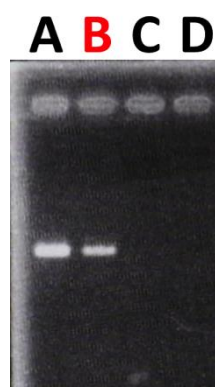
図(1)-8 品川区港湾地域 (a) とおがさわら丸 (b) でのトラップ設置状況、トラップの捕獲状況 (c)、および品川にて捕獲されたアルゼンチンアリ (d)。



図(1)-9 トラップにて捕獲されたアリ類 (枠で囲まれたサンプル) のDNA解析に基づく識別

(2) 種の簡易検出法の開発

外来種として、乾材シロアリ、ヒラタキクイムシ、外来アリを選出し、ITS領域およびCOI領域の部分配列情報を収集した。今年度はヒラタキクイムシを利用して種特異的プライマーの設計をおこない、形態による同定が困難な状況を想定して、虫体の一部および排泄物からのDNA抽出とこのプライマーを利用した同定を試みた。その結果、ヒラタキクイムシで示すように近縁種と明確な区別が可能で、虫体の一部や排泄物（木くず等を含むフラス）から種の簡易検出ができることを明らかにした（図(1)-10）。

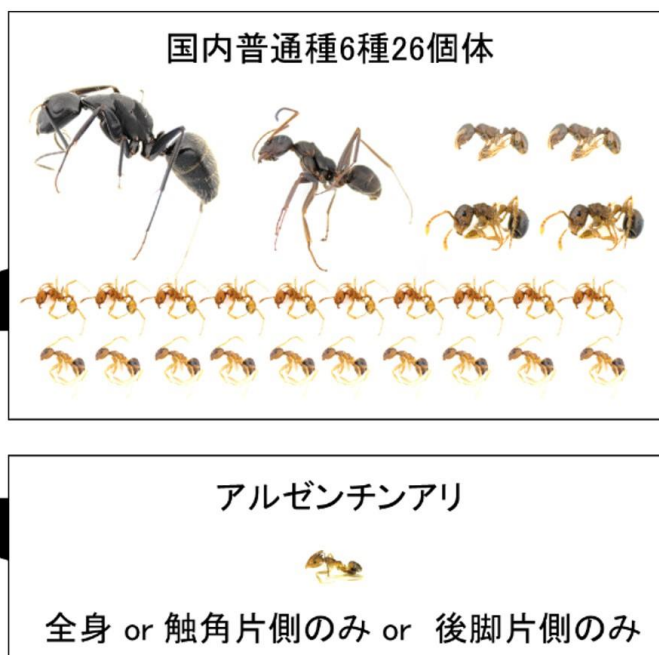
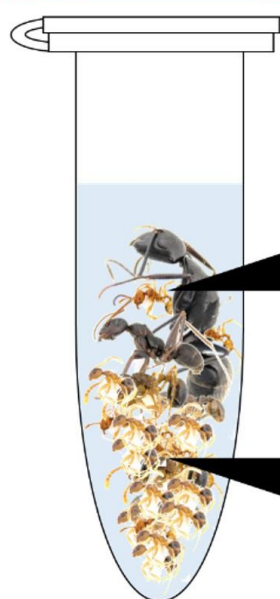


	サンプル	プライマー
A	ヒラタキクイ（虫体）	ヒラタキクイ
B	ヒラタキクイ（フラス）	ヒラタキクイ
C	アフリカヒラタ（虫体）	ヒラタキクイ
D	ジャワトゲ（フラス）	ヒラタキクイ

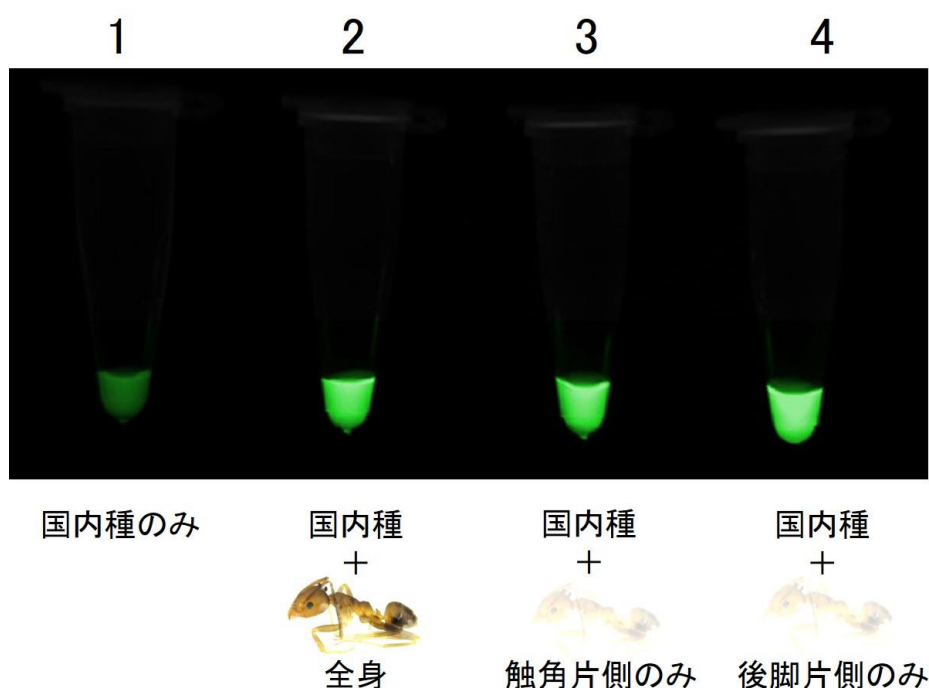
図(1)-10 ヒラタキクイムシのプライマーを用いた種の同定。Cアフリカヒラタ（アフリカヒラタキクイムシ）とDジャワトゲ（ジャワフタトゲナガシクイ）は 共にヒラタキクイムシと同科種。

特定外来生物にも同手法を利用するために、DNAデータベース上に登録されているアルゼンチンアリのミトコンドリアDNAの部分塩基配列情報に基づき、アルゼンチンアリに特異的に反応する検出用プライマーの設計を行った。モニタリング時のトラップによって、多数の昆虫種とともに混獲されたサンプルから同定する場合を想定して、アルゼンチンアリと国内の複数種のアリ（6種26個体）を混合したサンプルから、一度にまとめてDNAを抽出し、この抽出液とアルゼンチンアリ検出用プライマーを利用した同定を試みた（図(1)-11）。その結果、アルゼンチンアリにおいても同様のバーコーディング手法による簡易検出が可能であることが判明し、本手法の高い汎用性が示唆された（図(1)-12）。また予備的情報収集の結果より、形態同定が困難な外来アリ類のモニタリングにおいて、本手法が有効に働く可能性が示唆された。

一度にまとめてDNA抽出

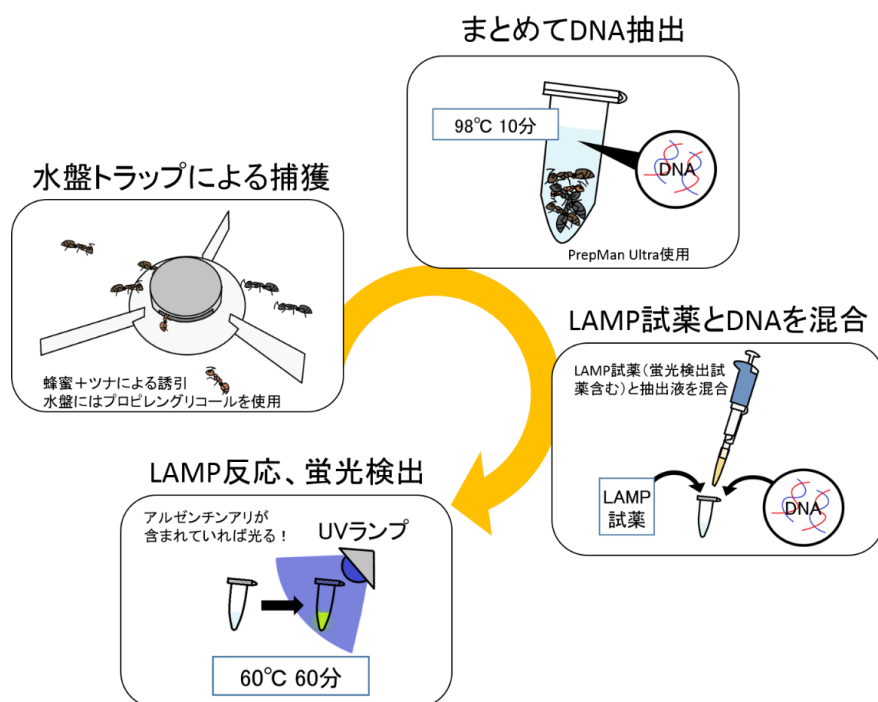


図(1)-11 LAMP法によって検出が想定されるアルゼンチンアリのサンプルのイメージ



図(1)-12 蛍光検出試薬（栄研化学）を用いたLAMP法によるアルゼンチンアリの検出試験。検出対象が含まれていた場合、紫外線下で蛍光を発する。1:国内種混合、2:アルゼンチンアリ（全身）+国内種混合、3:アルゼンチンアリ（触角片側のみ）+国内種混合、4:アルゼンチンアリ（後脚片側のみ）+国内種混合。

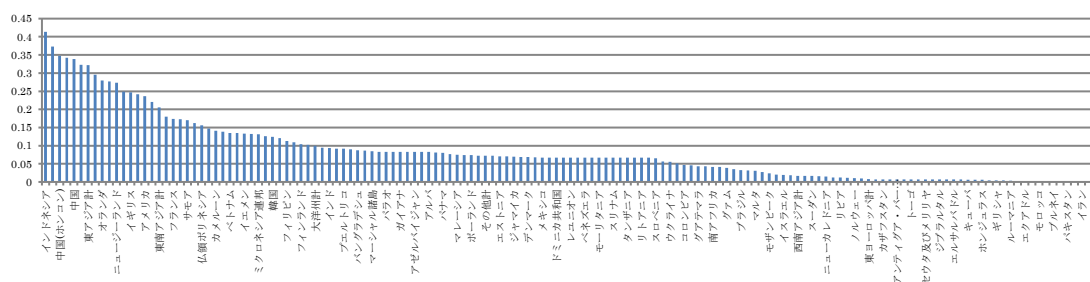
国内種には広く一般的にみられる種としてクロオオアリ、アミメアリ、トビイロシワアリ、アメイロアリ、アズマオオズアリ、クロヤマアリを使用。



図(1)-13 外来アリのDNAバーコーディング手法による簡易検出法の概略図

海外から輸入され、また島嶼部からの移動が制限されていないクワガタムシ類について、随伴線虫を調査した結果、これまでに記録された種とは異なる種が記録された。従って、これらのペット昆虫の導入は、随伴侵入を伴う可能性が示唆された。また線虫についてもLAMP法を用いた簡易同定手法を開発した。しかしながらこれらは1個体ずつが商品であることから、今後は生体を殺すことなく随伴生物を同定する手法開発が必要と考えられる。

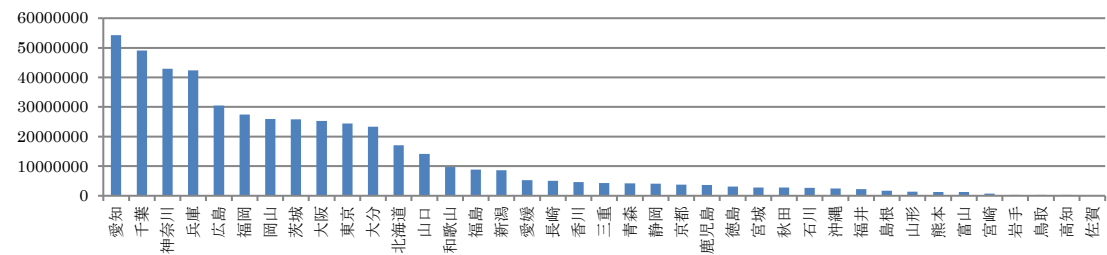
日本への輸出は重量ベースで、主に太平洋州、アジア（西南、東南、東の順）、北米の地域からであった。これらの地域からの国内輸入港とアルゼンチンアリの港周辺の定着との間には明確な相関が認められなかった。更に国別に相関解析を行ったところ、インドネシアからの輸入港はアルゼンチンアリ検出港と相関が認められた（図(1)-14）。アルゼンチンアリの場合は原産国と一致しないことから、外来生物の導入が東南アジアを中継地点になっているなど、国際貿易の複雑さを反映した侵入ルートが示唆された。また輸入品としては玩具、その他の繊維工業品と弱い相関が認められたが、直接的な原因の特定にはさらなる調査が必要である。



図(1)-14 アルゼンチンアリ定着と定着地への輸出を行った国との関係（相関比0.8以上：非常に強い、0.5~0.8：やや強い、0.25~0.5やや弱い、0.25未満：相関がない）

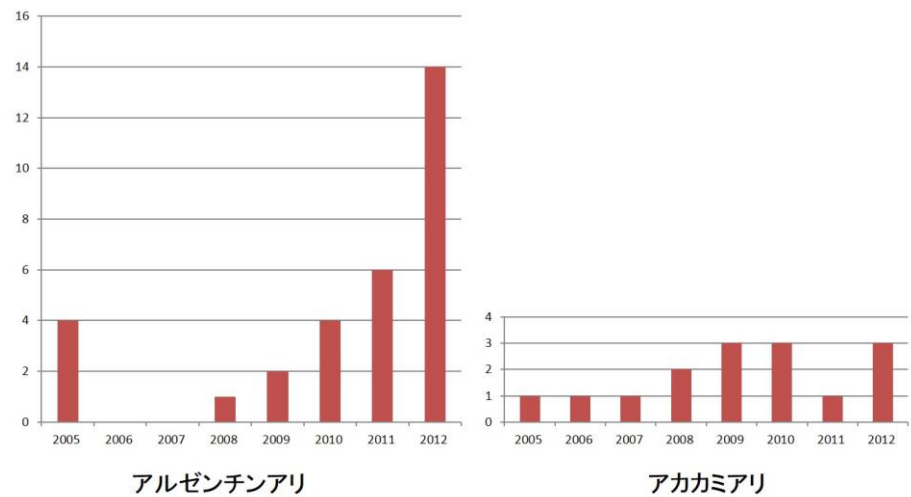
本課題では、さらに港湾統計データを利用して日本国内の各地域における侵入生物のリスク評価を試みた。今回は侵入を警戒する必要があるヒアリ (*Solenopsis invicta*) を対象に解析を行った。ヒアリ分布地からの輸入の多い港湾を港湾統計から抽出、集計した結果、愛知県が最もヒアリ分布地からの輸入量が多かった(図(1)-15)。一方コンテナの場合は東京が最も多い。ヒアリがコンテナに伴って侵入するか、他の輸入項目に伴って侵入するか不明であり、各輸入項目の詳細な解析は必要であるが、本手法は現時点で港湾での侵入生物リスク評価の一手法として初め

での試みとなる。

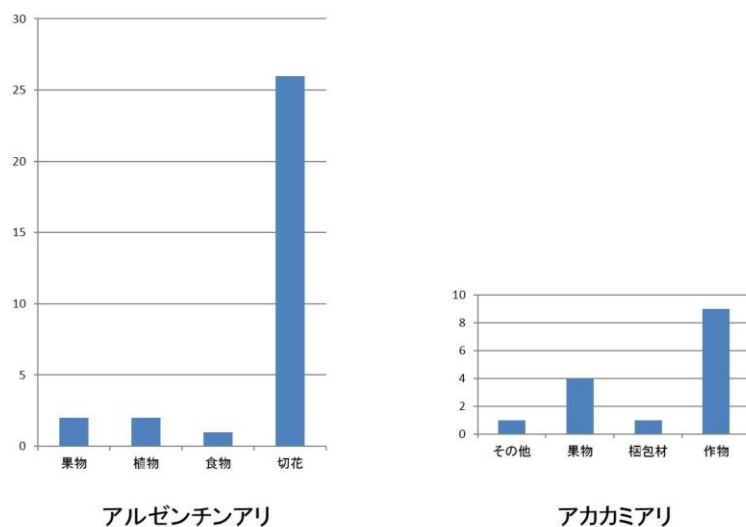


図(1)-15 ヒアリ分布地からの全項目の合計輸入量 (t)

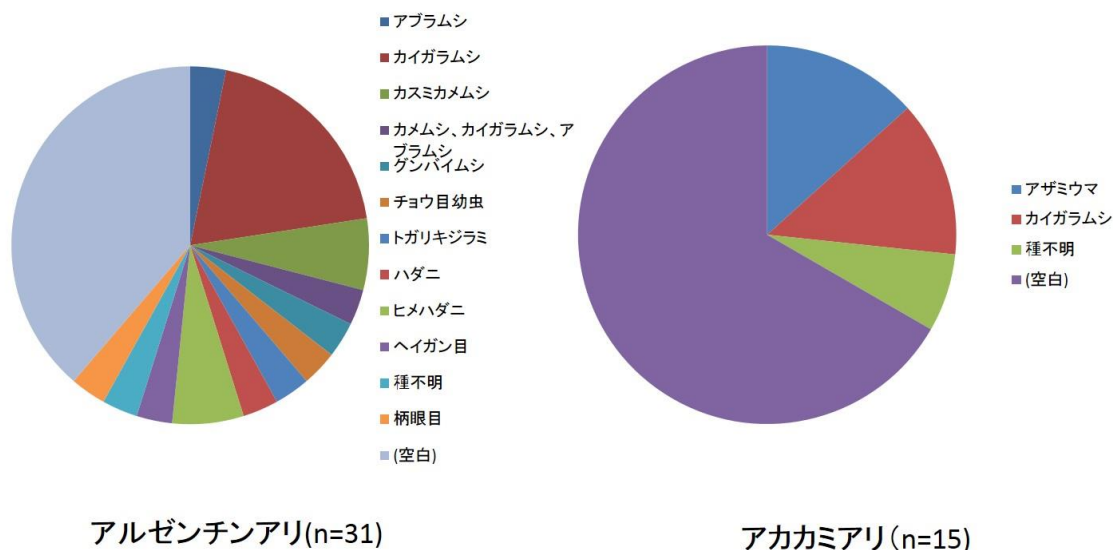
成田国際空港（植物防疫所により確認されたアルゼンチンアリ、アカカミアリの確認回数データ）において、イタリアから輸入された切花で、カイガラムシが付着したものについて特にアルゼンチンアリが多く検出された。アカカミアリについては様々な港湾で低頻度に作物、果実からアザミウマとともに確認される傾向があった。データ数は少ないため精査が必要ではあるが、上記のことから、アルゼンチンアリについては、カイガラムシの付着リスクの高い切り花を多く輸入している港湾、アカカミアリについてはアザミウマの付着した果物、作物を多く輸入している港湾で、侵入のリスクが高いと考えられた（図(1)-16-18）。数年前にアルゼンチンアリが発見された大田区の港湾エリアの場所と周辺施設を見てみると、輸入品の一時保管場所が近い場所にあることから、大田区においてはアルゼンチンアリが輸入品の税関検査の一時保管場所に入り、周辺に定着したという経路が想定され、モニタリングの際には港湾の他、保税地域周辺も対象にすべきと考えられた（図(1)-19）。



図(1)-16 アルゼンチンアリおよびアカカミアリの年別検出頻度

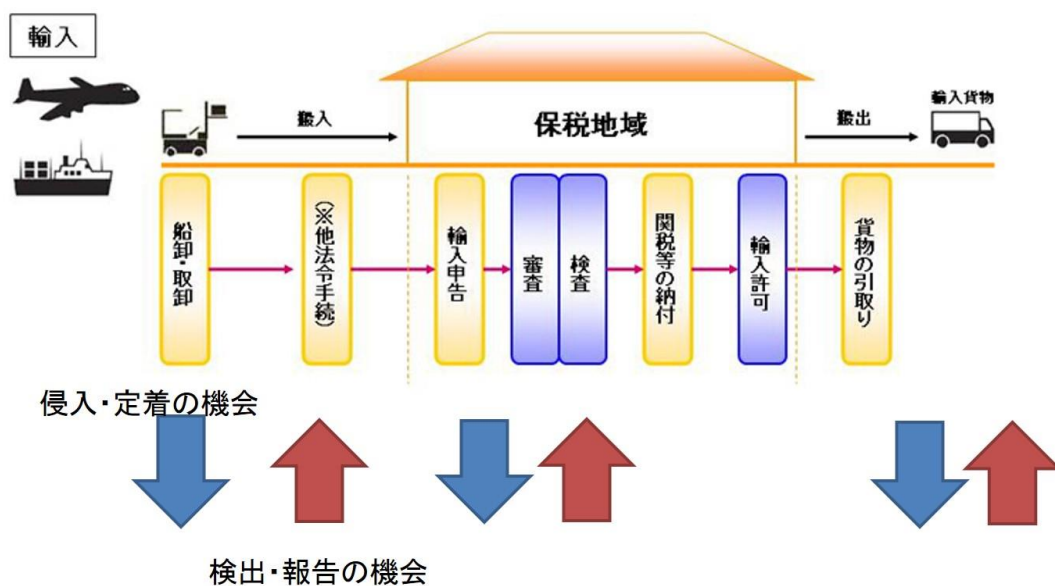


図(1)-17 アルゼンチンアリおよびアカカミアリの輸入項目別検出頻度

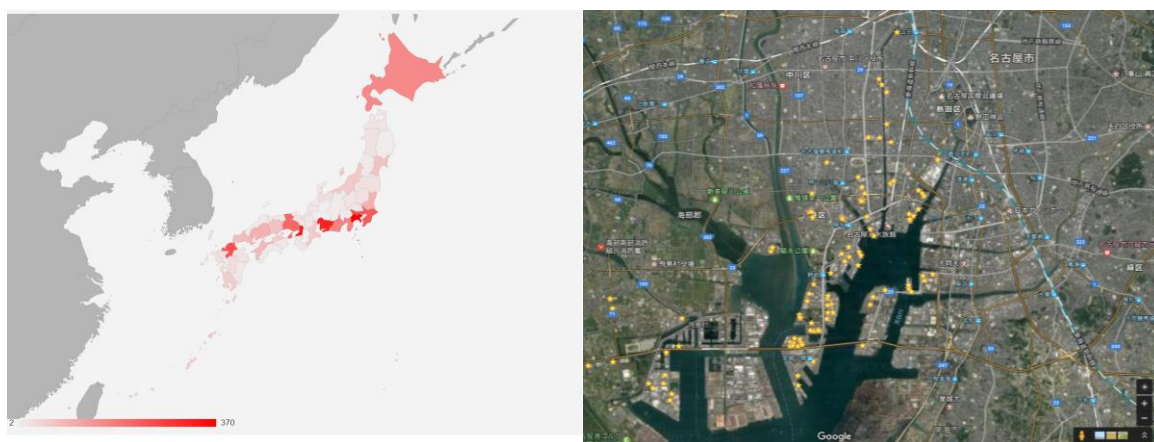


図(1)-18 アルゼンチンアリおよびアカカミアリと同時に検出された有害生物の内訳

外来アリの検出情報をもとに、特に警戒が必要な輸入項目の抽出を行ったところ、農産物において検出事例が多いことが明らかとなった。また外来アリの検出、定着実績のある周辺の環境の情報から、輸入項目の国内流通までの経路の中で、税関や植物防疫所における手続きのために一時的に保管するために設けられている保税蔵置場周辺での検出事例が多い傾向にあると考えられた。前年までの情報と合わせると、リスクの高い輸入項目の輸入量、重要外来アリの生息国に加え、輸入物資の一時保管場所（保税蔵置場（図(1)-20）が侵入経路特定の際に特に考慮する必要がある場所と考えられた。



図(1)-19 輸入貨物の移動経路と重点的なモニタリングが必要と想定される地点



図(1)-20 (左) 全国各都道府県における保税蔵置場数(冷凍、冷蔵保管場所は除外)
(右) 名古屋市における保税蔵置場の位置(☆)(定着リスクの高い要モニタリング地域)

(4) 外来種早期発見手法の手順(マニュアル化)

1) 種特異的トラップの省コスト捕獲法

ニュージーランドでは、外来種早期モニタリングの低コスト化のために、1トラップに複数のフェロモンを設置するマルチルアートラップの利用が検討されている。日本でもフェロモンが開発されている昆虫を対象に、本手法を応用することが可能である。

1. マルチルアートラップを利用する際には、昆虫分類群特有のトラップを使用することから、トラップの種類ごとに昆虫群を選定する。これまでの研究からガ類における利用が有望であることから、以下にガのマルチルアートラップ手法について取りまとめる。
2. ガではデルタトラップを利用する(図(1)-1)。内部には交換式の粘着シートを敷き、対象とする昆虫の誘引フェロモンを組み合わせせて吊るす。トラップは約20mずつ間隔をあけて設

置する。

3. 定期的に粘着シートを交換し、捕獲された昆虫を同定する。フェロモンは有効期限に合わせて交換する。

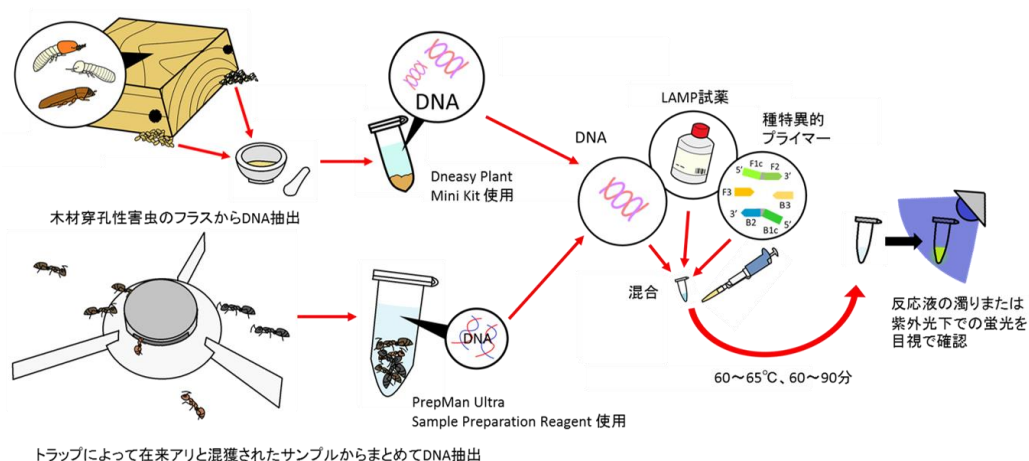
なお、本手法は原理的には甲虫ほか、各種昆虫で利用可能である。しかしながら、フェロモンの捕獲効率が低い場合はモニタリング効率が低下するため、事前に十分検討する必要がある。

2) LAMP 法を用いた簡易同定手法の開発

海外では既にDNAバーコーディングによる外来種同定手法の開発が進んでいる。外来昆虫は、虫体の一部や排泄物等の痕跡しか得られない場合が考えられるが、このような状況でも、LAMP法を用いることで、短時間で容易に昆虫種の同定を行うことが可能である（図(1)-21）。

1. LAMP法での簡易同定手法を利用する際には、対象とする生物のDNAを特異的に増幅するプライマーを設計する。これまでの研究から、外来アリ類や木材穿孔性害虫の簡易同定における利用が有望であることから、以下はこれらの昆虫の同定を例に挙げて取りまとめる。
2. データベース（GenBank等）に登録されているDNA情報等を基に、対象生物に特有の領域を特定する。昆虫類ではミトコンドリアDNAのCOI領域が有望である。
3. 対象生物および近縁種のDNA情報をもとに「PrimerExplorer（LAMP法設計支援ソフトウェア）」を利用し、対象生物のDNAを特異的に増幅するプライマーを設計する。
4. DNA抽出キット（PrepMan Ultra（ライフサイエンステクノロジー）、DNeasy Blood and Tissue Kit、DNeasy Plant Mini Kit（QIAGEN）等）を用いて、同定したい生物の虫体およびその痕跡等からDNAを抽出する（外来アリではトラップなどで在来アリとまとめて捕獲されたものをひとまとめに抽出したDNAでも検出可能；木材害虫ではフラスから抽出したDNAでも検出可能）。
5. Loopamp DNA Amplification Kit、Loopamp 蛍光・目視検出試薬（ともに栄研化学）、および2で設計したプライマーを用いて、3で抽出したDNAの増幅を行う。増幅反応は60～65℃の一定温度で60～90分間保つことで行われる（最適な温度及び時間は検出対象や使用するプライマー等によって変わるため、事前の検証が必要。例えば、在来種とまとめて捕獲されたサンプルからのアルゼンチンアリの検出では、COI領域で設計したプライマーによって、60℃60分間で、ヒラタキクイムシの痕跡であるフラスからの検出では、同じくCOIで設計したプライマーによって、63℃90分で検出可能）。
6. 反応後、目視で増幅の有無を確認する。増幅が行われた場合、反応液の濁りまたは紫外光下での蛍光が確認できる。

なお、上述以外の昆虫あるいは昆虫以外の生物でも、対象生物に特有の領域を利用することで、本手法を応用することが可能である。



図(1)-21 LAMP法を利用した木材穿孔性害虫および外来アリの簡易同定手順

3) リスク評価に基づく外来種モニタリングトラップ設置場所の選定（注意事項）

早期発見の観点から、トラップ設置は港湾周辺が望ましい。アリについては裸地での採集が可能だが、飛翔性昆虫類はH27年度の結果から緑地帯の利用が望ましいと考えられる。また輸入物資の保管所（保税蔵置場）は、可能であれば最優先すべき設置場所である。

5. 本研究により得られた成果

（1）科学的意義

形態同定が困難な様々な外来種のモニタリングにおける簡易検出法として、LAMP法の汎用性が高く、利用可能であることを示した。本手法は虫体の一部が混在するサンプルにも、対象種の排泄物にも有効であることを示した。

貿易情報から外来生物の侵入リスクを評価する統計的手法を開発し、具体例を提示したのは国内外で初事例である。

（2）環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

- ・ 農水省、果樹研究所、埼玉県草加市、東京大学農学部、日本大学生物資源科学部と森林総合研究所で協働し、草加市周辺で新たに発生したクビアカツヤカミキリについて、「外来カミキリ情報交換会」を行い、本研究で情報収集したニュージーランド等の事例を説明して、早期防除と支援システムについて助言した（非公開）。
- ・ 林野庁に対し、住友林業（株）と森林総合研究所は、カナダからのマウンテンビートルの輸入リスクについて、共生菌の随伴の可能性について助言した（非公開）。
- ・ 小笠原諸島世界自然遺産において、外来アリ類の拡散を防ぐため、おがさわら丸における検疫システム構築に必要な体制づくりのための船内試験を実施し、今後の政策に資する情報としてのとりまとめの一部を担った。

<行政が活用することが見込まれる成果>

低コストモニタリング手法としてマルチルアートラップ手法の有効性を示唆した。また形態同定が困難な様々な外来種のモニタリングにおける簡易検出法として、LAMP法の汎用性を示した。また侵入経路に関する情報収集により、税関検査前の一時保管場所数が特に多い保税地域のリスクが高いことを示唆した。

6. 国際共同研究等の状況

- 1) 協力案件名：Combining lures for MPI species-specific plant health surveillance programmes
 カウンターパート氏名・所属：Eckehard Brockerhoff・ニュージーランド森林研究所 (SCION) /ニュージーランド
 参加連携状況：ニュージーランドを中心とする合衆国（アメリカ農商務省森林研究所）、フランス（国立農学研究所）、イタリア、ポルトガルの先行グループへの参加
 位置づけ：ニュージーランド主催の共同試験に参加し、この結果に基づき、ニュージーランドではマルチルアートラップによるモニタリングを実施した。
- 2) 協力案件名：IUFRO Task Force “Forests and Biological Invasions”
 カウンターパート氏名・所属：Andrew Liebhold・USDA Forest Service・アメリカ合衆国
 参加連携状況：タスクフォースメンバーのうち非意図的侵入とダニ類の専門家としてワークショップに参加し、森林性外来種について共同して総説論文を作成。
 国際的位置づけ：国際森林研究機関連合（IUFRO）の10件のタスクフォースの一つとして、国際的な情報収集・交換・議論と必要な研究の洗い出し等を行っている。
- 3) 協力案件：オーストラリア植物検疫所によるLAMP法開発の技術支援
 カウンターパート名・所属：Vera Andjic・Australian Biosecurity・オーストラリア
 参加連携状況：該当者が来所し、シロアリのLAMP法による同定手法の開発について技術指導を行った。

7. 研究成果の発表状況（※別添報告書作成要領参照）

（1）誌上発表

<論文（査読あり）>

- 1) Kanzaki N: Nematology 17, 499-500 (2015)
 “Comments on the stylet length of *Sheraphelenchus sucus* Kanzaki & Tanaka, 2013”
- 2) Kanzaki N, Okabe K, Kobori Y: Nematology 17, 531-542 (2015)
 “*Bursaphelenchus sakishimanus* n. sp. (Tylenchomorpha: Aphelenchoididae) isolated from a stag beetle, *Dorcus titanus sakishimanus* Nomura (Lucanidae), on Ishigaki Island in Japan”
- 3) Kanzaki N, Woodruff GC, Akiba M, Maehara N: Journal of Nematology 47, 105-115 (2015)
 “*Diplogasteroides asiaticus* n. sp. is associated with *Monochamus alternatus* in Japan”
- 4) Kanzaki N, Aikawa T, Maehara N, Thu PQ: Nematology 18, 133-146 (2015)
 “*Bursaphelenchus kesiya* n. sp. (Nematoda: Aphelenchoididae), isolated from dead wood of *Pinus kesiya* Royle ex Gordon (Pinaceae) from Vietnam, with proposal of new subgroups in the *B. fungivorus* group”
- 5) Ide T, Abe Y: Proceedings of the Entomological Society of Washington 117, 467-480

(2015)

“A new species of *Dryocosmus* Giraud (Hymenoptera: Cynipidae: Cynipini) in Japan and Korea—first record of Eastern Palearctic *Dryocosmus* species showing alternation of generations on section *Cerris* oaks”

- 6) Kanzaki N, Kajimura H, Okabe K: Nematology 18, 195–208 (2016)
“*Rhabditoides aegus* n. sp., an associate of stag beetles and sap flow in Japan”
- 7) Kanzaki N, Maehara N, Akiba M, Tanaka SE, Ide T: Nematology 18, 209–220 (2016)
“Morphological characters of dauer juveniles of three species of *Bursaphelenchus* Fuchs, 1937”
- 8) Kanzaki N, Ide T: Nematology 18, 221–233 (2016)
“*Diplogasteroides luxuriosae* n. sp. associated with *Acalolepta luxuriosa* (Coleoptera: Cerambycidae) from Japan”
- 9) Ide T, Kanzaki N, Ohmura W, Okabe K: Journal of Economic Entomology 109, 1410–1414 (2016)
“Molecular identification of an invasive wood-boring insect *Lyctus brunneus* (Coleoptera: Bostrichidae: Lyctinae) using frass by loop-mediated isothermal amplification and nested PCR assays”
- 10) Ide T, Abe Y: Annals of the Entomological Society of America 109, 812–830 (2016)
“First description of asexual generation and taxonomic revision of the gall wasp genus *Latuspina* (Hymenoptera: Cynipidae: Cynipini)”
- 11) Ide T, Kanzaki N, Ohmura W, Takematsu Y, Okabe K: Entomological Science 19, 444–447 (2016)
“Species status of *Incisitermes* spp. (Isoptera: Kalotermitidae) in Japan”
- 12) Ide T, Kanzaki N, Ohmura W, Takematsu Y, Okabe K: Journal of Economic Entomology 109, 2234–2237 (2016)
“Molecular identification of the western drywood termite (Isoptera: Kalotermitidae) by loop-mediated isothermal amplification of DNA from fecal pellets”
- 13) Kanzaki N, Tanaka SE, Fitza K, Kosaka H, Slippers B, Kimura K, Tsuchiya S, Tabata M: Nematology 18, 1199–1217 (2016)
“*Deladenus nitobei* n. sp. (Tylenchomorpha: Allantonematidae) isolated from *Sirex nitobei* (Hymenoptera: Siricidae) from Aomori, Japan, a new member of the *siricidicola* superspecies”
- 14) Miller S, Masuya H, Zhang J, Walsh E, Zhang N: PLoS ONE 11(4), e0154030 (2016)
“Real-time PCR detection of dogwood anthracnose fungus in historical herbarium specimens from Asia”

<その他誌上発表（査読なし）>

- 1) 井手竜也, 神崎菜摘, 大村和香子, 岡部貴美子: しろあり 167, 56–59. (2017)

「木材害虫由来の排出物の簡易遺伝子分析による種同定」

(2) 口頭発表 (学会等)

- 1) Ide T, Kanzaki N, Okabe K, Ohmura W: New Zealand Ecological Society Annual Conference, Palmerston North (2014)
“Detecting invasive drywood boring species from faecal pellets and frass using DNA barcoding.”
- 2) Okabe K: 14th International Congress of Acarology in #4-02 Mite and invertebrate symbiosis Kyoto (2014)
“Symbiotic specificity between lucanid beetles and canestriniid mites.”
- 3) 井手竜也・神崎菜摘・岡部貴美子・大村和香子: 第59回日本応用動物昆虫学会講演 (2015)
“乾材害虫のフラスを利用したDNAバーコーディングに基づく種同定手法の開発”
- 4) 井手竜也・阿部芳久: 日本昆虫学会第75回大会 (2015)
「クヌギエダタマフシおよびクヌギワカメマルズイフシを形成するタマバチ (膜翅目: タマバチ科) の正体」
- 5) Ide T, Kanzaki N, Ohmura W, Okabe K: XXV International Congress of Entomology (2016)
「Molecular identification of invasive dry wood boring species using frass and faecal pellets by loop-mediated isothermal amplification and nested PCR assays」
- 6) 井手竜也・岡部貴美子: 第64回日本生態学会大会 (2017)
「外来昆虫類の水際検疫」
- 7) Okabe K: IUFRO Workshop: Biological Invasions in Forests (2016)
「Potential impacts of introduction of insect-associated organisms」

(3) 知的財産権

特に記載すべき事項はない。

(4) 「国民との科学・技術対話」の実施

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) 森林総合研究所プレスリリース (2016年8月22日) 「光る！外来害虫同定法」を開発 ―外来害虫が残した遺伝子の痕跡を利用し, 虫が食べた木屑を光らせて種を同定―

PRESS RELEASE
(2016/8/22)



国立研究開発法人
森林総合研究所

「光る！外来害虫同定法」を開発
—外来害虫が残した遺伝子の痕跡を利用し、
虫が食べた木屑を光らせて種を同定—

ポイント

- ・建材や木工家具に侵入して食い荒らす害虫は、捕まえてその正体を見極めるのが困難ですが、害虫が食べた木屑を光らせ、害虫を特定する手法を開発しました。
- ・残した痕跡や体の一部さえあれば害虫の種類が特定できるという、専門家以外でも利用可能な手法です。
- ・遺伝子解析や化学分析といった作業がいらないため、特殊な実験器具は不要で、とてもシンプルな手法です。



（６）その他

特に記載すべき事項はない。

８．引用文献

- 1) E. G. BROCKERHOFF, D. M. SUCKLING, A. ROQUES et al.: Journal of Chemical Ecology 39, 50–58 (2013)

“Improving the efficiency of lepidopteran pest detection and surveillance: constraints and opportunities for multiple-species trapping”

（２）重点的に防除すべき外来昆虫類の対策手法開発

国立研究開発法人国立環境研究所

生物・生態系環境研究センター

生態リスク評価・対策研究室

五箇公一・坂本佳子

<研究協力者> フマキラー株式会社

杉山 隆史、杉丸 勝郎

アリストライフサイエンス株式会社 光畑 雅弘、神戸 祐哉

平成26(開始年度)～28年度累計予算額：74,541千円（うち平成28年度：24,837千円）

予算額は、間接経費を含む。

〔要旨〕

特定外来生物であるアルゼンチンアリ、セイヨウオオマルハナバチ、ツマアカスズメバチの外来昆虫3種は、すでに日本に定着を果たしており、早急な防除が課題となっている。本サブテーマでは、これら外来昆虫類の個体群密度低下および根絶のための化学的防除手法の開発を行った。

東京都大田区を試験地として、アルゼンチンアリが当該防除地域から根絶した確率を算出するために統計モデルを構築したところ、防除開始から38～42ヶ月後に99%以上の確率で防除が成功したと評価できることが明らかになった。また、アルゼンチンアリへの化学的防除が在来生態系に及ぼす影響について評価を行った。これらの内容を防除マニュアルとして整備し、地方自治体の防除事業に活用し、根絶成功事例の拡大につなげた。

セイヨウオオマルハナバチの昆虫成長制御剤（IGR）を活用した防除手法「ハチの巣コロリ」の開発を行った。旭川市において野生コロニーを用いた薬効試験を地域NPOと共同で実施した。得られたデータを基に防除マニュアルを整備して、北海道各地で説明会を開催し、地方自治体を中心とした防除試験体制を構築した。

セイヨウオオマルハナバチで開発した「ハチの巣コロリ」方式をツマアカスズメバチにも適用拡大するため、在来スズメバチ幼虫を試験生物として、室内毒性試験により薬効評価を行った。続いて対馬の野外巣に対してIGR剤ベイトを用いた薬効試験を行った結果、ワーカーがベイト剤を巣に持ち帰ることを確認するとともに、試験巣の成虫数激減・生殖虫（新女王・オス）生産失敗を確認した。

〔キーワード〕

昆虫成長制御剤、ベイト剤、社会性昆虫、防除効率、根絶確率

1. はじめに

現在、外来生物法・特定外来生物に指定されている昆虫類の中でも、アルゼンチンアリ、セイヨウオオマルハナバチ、およびツマアカスズメバチは、すでに国内において定着を果たし、分布を拡大し続けていることから、優先的な防除対象とされる。

南米原産のアルゼンチンアリは、世界的な侵略的外来生物であり、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分布域が広がっており、生態系および人間社会に対して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おらず、統計学的な判断基準も設定されていない。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。

セイヨウオオマルハナバチは主にハウストマトのポリネーターとして、1992年よりヨーロッパ産の商品コロニーが毎年大量に輸入され、北海道において1990年代後半より、ハウスからの逸出個体が野生化して、分布拡大し続けた結果、在来マルハナバチの生息域を奪っているとされる⁷⁾。近年、農耕地のみならず、知床半島や大雪山など重要な自然保護地域にまで侵入し始めており⁸⁾、緊急の防除が必要とされる。これまで北海道庁を主体として、ボランティアによる捕獲作業が続けられてきたが、繁殖率の高い本種に対して個体群密度の低下・分布拡大抑制には繋がらず⁹⁾、新たな防除手法の開発が求められていた。国立環境研究所では、セイヨウオオマルハナバチ野生化個体群の防除エンドポイントとして、次世代の繁殖虫の生産抑制に着目し、すでに営巣に成功している巣に対して、ワーカーを通じて薬剤を持ち帰らせて、巣内で生育している幼虫に薬剤を暴露させることで、次世代の生産を抑制するという新規防除手法「ハチの巣コロリ」を考案しており、実用化が急がれる。

中国南部原産のツマアカスズメバチは、2000年代に入ってから欧州および韓国に侵入し、分布を拡大し続けている^{10, 11)}。2012年に長崎県対馬への侵入が確認され、その後島内で急速に個体群密度が高まっている。2015年および2016年には九州でも営巣や越冬女王が確認されており、本土上陸の危機が目前に迫っていると考えられる。本種は刺傷による人的被害に加えて、ミツバチをはじめとする訪花性昆虫を捕食することから養蜂業および生態系に対して甚大な影響を及ぼすおそれがあり¹⁰⁾、是が非でも対馬島内で本種を封締め、根絶に導くために確実な防除手法の開発が必要とされる。

2. 研究開発目的

すでにフィプロニルを有効成分とする化学的防除試験が進み、東京都大田区の侵入個体群において個体群密度抑制に成功しているアルゼンチンアリについては、薬剤防除が非標的種に及ぼす影響を評価するとともに、個体群推定モデルに基づく根絶確認モデルを開発し、「発見→防除計画→防除実施→モニタリング→根絶確認」という一連の防除工程をパッケージしたマニュアルを構築する。本マニュアルに基づき、全国的な防除体制ネットワークを構築する。

セイヨウオオマルハナバチについては、開発中「ハチの巣コロリ」の実用化を図る。室内レベル・ハウスレベル・野外レベルでのコロニー抑制効果試験データを収集・整備して、得られたデータを基に防除マニュアルを作成する。北海道において新規防除手法の普及を行い、地域連携の防除体制を構築する。

セイヨウオオマルハナバチ防除で考案したハチの巣コロリ方式をツマアカスズメバチ防除にも適用を図る。薬剤ベイトを開発して野生巣を対象とした薬効試験を行う。開発した手法を元に防除マニュアルを作成する。

3. 研究開発方法

(1) 外来アリ類の検疫処理手法の開発

港湾及び空港の検疫現場において特定外来生物に指定されているアリ類を発見した際の、簡便かつ確実な検疫処理を遂行するための薬剤の探索を実施した。検疫対象となるのは、アルゼンチンアリ、ヒアリ、アカカミアリ、およびコカミアリの4種であり、これらのアリ類の薬剤感受性データを学術論文および試験報告書を検索して、さらに殺虫剤販売会社からも聞き取り調査を行い収集した。

(2) アルゼンチンアリ防除手法開発

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）の侵入地を試験エリアとして設定した（図(2)-1）。フマキラー社製のフィプロニル0.005%含有製剤（図(2)-2）を用いて、2011年4月より毎月1回防除活動が開始されている。粘着トラップ（図(2)-3）によるアリ類を含む地表徘徊性動物のモニタリングも同時期より開始されており、本課題開始時の2014年からも継続して行い、本課題で実施した防除効率の算出および生態リスク評価には、2011年4月～2016年3月までのデータを使用した。

1) 根絶判断基準のための統計モデル構築

根絶確率を算出するために、Multinomial mixture modelを参考にして、薬剤による死亡率を考慮したアルゼンチンアリの検出確率を求める統計モデルを構築した。

2) 薬剤防除が非標的種に及ぼす影響評価

アルゼンチンアリ防除がその他のアリ類に与える影響について、一般化線形モデルを用いて、非標的種に対する「アルゼンチンアリ」と「薬剤散布」の影響を評価した。

3) 防除事業普及とネットワーク構築

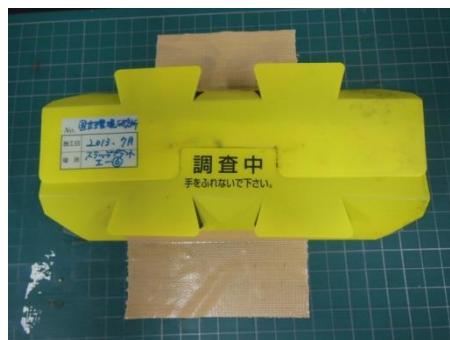
東京都大田区のアルゼンチンアリ防除マニュアルを、全国各地の侵入地の地方自治体に普及し、防除地域を拡大する。また、毎年アルゼンチンアリ対策連絡会議を開催し、官民一体となった防除体制ネットワークを構築する。



図(2)-1 東京都大田区における防除試験エリア



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



図(2)-3 粘着トラップ

（３）セイヨウオオマルハナバチ防除手法開発

１）「ハチの巣コロリ」ハウス内薬効・リスク評価試験

IGR剤による防除の効果および安全性を確認するためハウスレベルのコロニー毒性試験を継続実施した。セイヨウオオマルハナバチおよびクロマルハナバチの各々の商品コロニーについて、女王（1匹）およびワーカー30匹を残して、成虫を除去し、コロニーサイズを統一した。造花を取り付けた花粉給餌皿を設置したハウス内に上記の商品コロニーを設置し、2日間、放置した後、ハウス内に飛翔しているセイヨウオオマルハナバチのみ10個体を捕獲して、薬液を散布後、放飼した。その後4週間毎日ハウス内に飛翔している個体数を種別・コースト別に計測して、最終日に巣を解剖して巣内の個体数を計測した。

２）「ハチの巣コロリ」野生巣効力試験

2014年7月に北海道旭川市内においてセイヨウオオマルハナバチの野生巣を二つ探索して、1週間にわたってひとつの野生巣から出てくるワーカー全個体に対してエトキサゾール100ppm水溶液剤溶液を霧吹きで噴霧して、その後開放した。別の野生巣に対しては、殺虫剤の散布は行わず、対照区（コントロール区）とした。8月末まで、巣からの出入りするワーカー、新女王、およびオスの個体数を毎日観察し、その後、巣を掘り出して巣内における成虫個体数の計測を行った。

2015年7月5日に旭川市新富町にて1コロニー、7月21日に新富町および永山町において各1コロニーのセイヨウオオマルハナバチの野生巣を発見した。最初に発見した新富町コロニー（処理区1）について7月6日から1週間、次に発見した新富町コロニー（処理区2）について7月22日から1週間、巣から出る個体を毎朝1時間捕獲して薬剤を散布した。永山町から発見されたコロニー（無処理区）については、薬剤処理は行わなかった。その後各巣について毎朝1時間巣から出る個体数および夕方1時間巣に戻る個体数を計測した。

3) 「ハチの巣コロリ」の社会実装

2014年に野付半島（標津町）および旭川市、2015年に士幌町および平取町にて自治体およびセイヨウオオマルハナバチバスターズ（市民ボランティア）に対して、化学的防除計画の説明会を開催し、意見聴取を行った。2016年に薬効・リスク評価試験データおよび説明会における意見聴取をもとに防除マニュアルを作成し、具体的な野外試験計画を立案した。

（4）ツマアカスズメバチ防除手法開発

1) 誘引トラップの開発

働き蜂の生体捕獲のために、2015年にペットボトルを用いた乳酸飲料トラップを改良し、試作品を国立環境研究所内に設置し、在来スズメバチを対象に生体捕獲試験を行った。

2) 野外巣の密度推定

効果的な防除戦略を立てるために、対馬における過去3年間（2013-2015年）のツマアカスズメバチの駆除巣の情報をもとに、それぞれの年について1kmメッシュのスケールで巣の密度推定を行った。得られた密度分布を3年間で比較し、対馬島内のツマアカスズメバチの分布と密度の変化を調べた。

3) 薬剤の探索

スズメバチ亜科の種に対する海外における化学的防除の研究事例を収集し、有効な手法を選抜した。有効な薬剤の化学名および薬効に関するデータを分析して、有効薬剤の選定を行った。好適なベイトについても検討し、対象種を多く誘引する一方、非対称生物への影響が比較的小さいものを選定した。

4) 室内薬効試験

選抜された昆虫成長制御剤エトキサゾールの薬効を調べるため、ツマアカスズメバチの代替として在来スズメバチ2種の幼虫を用いて急性経口毒性試験を行った。エトキサゾールをカルピス（カルピス®）に100 ppmあるいは1 ppmの濃度で混ぜ、コガタスズメバチあるいはオオスズメバチ幼虫の各個体に毎日10 μ lを投与した。対照区ではエトキサゾールを混ぜないカルピスを同様の方法でスズメバチ幼虫に投与した。成長用のエサとして雄蜂児粉末を水で練ったものを与えた。生存個体数および蛹化個体数を毎日記録した。

5) 野生巣試験

対馬のツマアカスズメバチの野外巣に対して薬剤ベイトを用いた防除試験を行った。2016年10月21日に上県町鰐浦の巣（緯度34.693889N, 経度129.437479E）、10月22日に美津島町鴨居瀬の巣（緯度34.338555N, 経度129.384549E）を対象とした。鰐浦の巣では、ワーカーに対する液体ベイト噴霧試験、および液体ベイトの持ち帰り試験を行った。鴨居瀬の巣では、これらの試験に加えて固体ベイトの持ち帰り試験を行った。液体ベイトにはカルピス巨峰の希釈液を用い、固体ベイトにはキャットフードを用いた。得られた結果を総合的に検討し、防除マニュアルを作成した。

（5）化学的防除のための化学物質安全性・毒性データの収集整備

本事業で外来昆虫類の化学的防除用薬剤候補に挙げられている農薬類について「国立環境研究所農薬データベース」（http://db-out.nies.go.jp/kis-plus/index_3.html）および文献情報に基

づき、安全性および毒性、特に生態影響にかかるデータを収集し、それらのデータに基づき、実際に野外で防除を実施した場合の環境影響評価を行った。

4. 結果及び考察

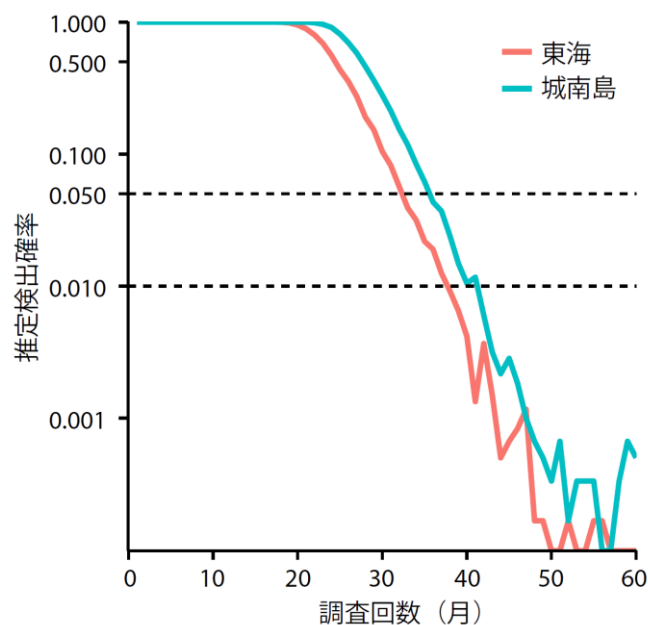
(1) 外来アリ類の検疫処理手法の開発

文献情報より、アリ類にはピレスロイド剤が効果的であり（LD50: 0.0001～0.01 μ g/匹）、フェノトリン、dl-d-T80-アレスリン、d-T80-レスメトリン、d-T80-フタルスリンが実用化されていることが示された。特にd-T80-シフェノトリンがアリ類に最も効果的であり、これらの剤は市販剤として国内においても実用化されており、検疫現場においても汎用性が高いと期待される。

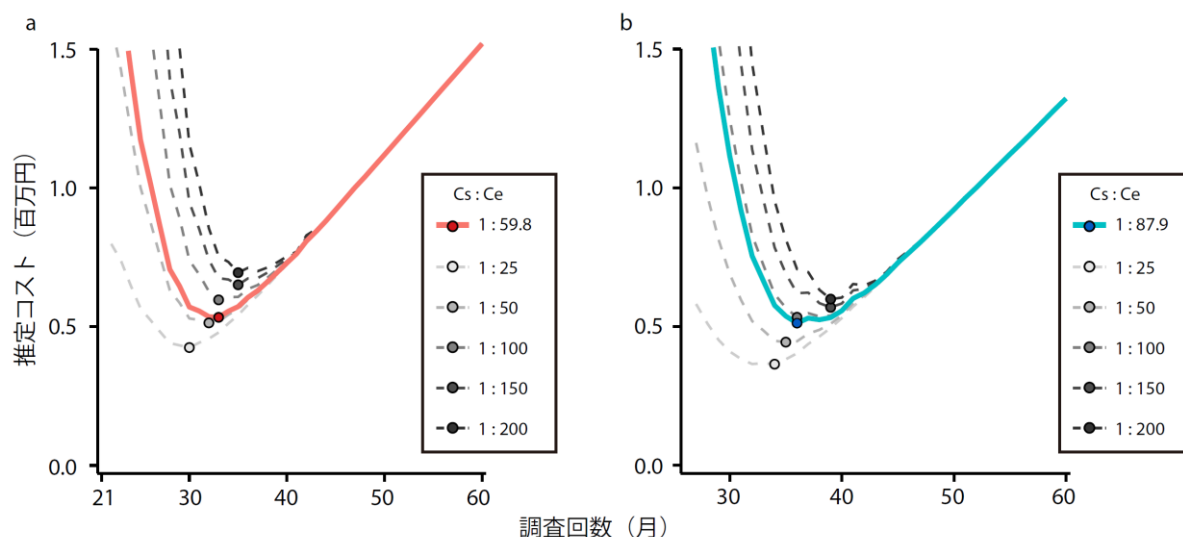
(2) アルゼンチンアリ防除手法開発

1) 根絶判断基準のための統計モデル構築

東京都大田区（東海と城南）の59ヶ月分のモニタリングデータを用いて、検出確率を算出した。薬剤による除去率 d を加味した新モデルを作成し、発見率 p のみを用いて推定した基本モデルと比較した。推定された除去率 d は p に比べて小さく、調査回数に伴う検出率の変化は小さく、根絶時間は大きく変化することはなかった。大多数の個体は初回の薬剤投与によって死亡したため、以降の検出個体数には影響が小さかったと思われる。しかし、薬剤の効果による不確実性をモデルに組み込むことができたのは解析結果の信頼性を向上させる大きな成果である。図(2)-4は東海と城南の検出確率を時系列にグラフ化したものである。これにより、検出確率1%（5%）を下回る99%（95%）根絶時間は、東海で38（33）ヶ月、城南で42（36）ヶ月と算出された。さらに、「すでに根絶しているにも関わらずモニタリングを継続するコスト」と「根絶していないのにモニタリングを中止し再発した場合の防除コスト」を比較し、最小値を算出したところ、95%根絶時間とほぼ同等であることが示された（図(2)-5）。モニタリングコストが低額であること、また、再発した場合の防除コストを正確に予測することは困難であるため、99%根絶時間を選択する方が堅実であると判断された。



図(2)-4 東海と城南における調査回数に応じた推定出現確率



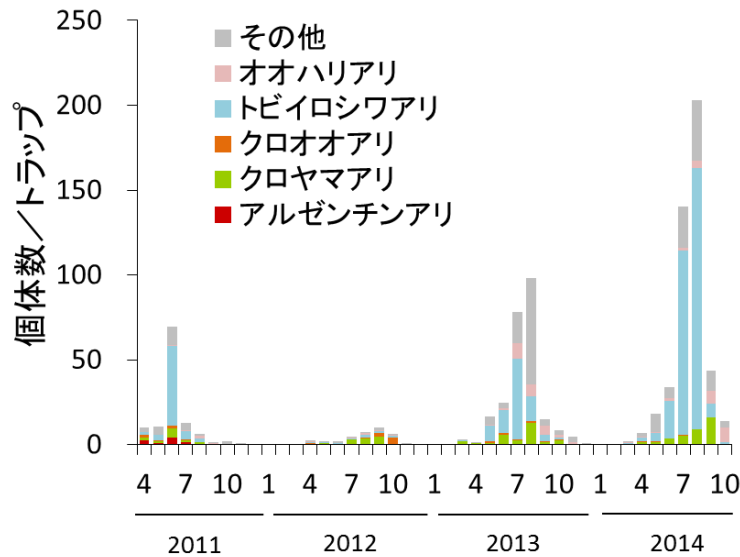
図(2)-5 コスト推定モデル。東海 (a) および城南島 (b) におけるモニタリングを継続した場合のコストを推定した。Csは毎月のモニタリングコスト（4万円／20ha未満）、Ceはモニタリングを中止して再出現した場合の根絶コストを示す。実線は、再出現したアルゼンチンアリの密度が防除開始前と同等と仮定し、同額のコストが発生した場合を表す。

2) 薬剤防除が非標的種に及ぼす影響評価

防除実施開始後、非標的種であるトビイロシワアリ、クロヤマアリ、オオハリアリ等が一時的に減少したが、投薬を中止して1年後からこれらの個体数が大幅に増加したことが確認された

(図(2)-6)。また、一般化線形モデルを用いて、「アルゼンチンアリ」および「薬剤散布」の非標的種に対する影響を評価したところ、東海のアリ類では、「アルゼンチンアリ」と比較して「薬剤散布」の負の影響が大きい傾向が見られたものの、その他ではどちらの影響が大きいとも

判断されなかった（表(2)-1）。東海では、防除開始時からアルゼンチンアリが比較的低密度であったことから、薬剤の非標的種への影響がより強く見られたと考えられる。



図(2)-6 東海区画iにおけるアリ類動態の推移

表(2)-1 一般化線形モデルで分類した「アルゼンチンアリ」および「フィプロニル散布」の影響の正負またはその有無

エリア	分類群	影響	種数/分類群数			Fisher's exact test p 値	
			負	どちらでもない	正		
東海	アリ	アルゼンチンアリ	0	14	2	0.0252	*
		フィプロニル散布	5	11	0		
	アリ以外	アルゼンチンアリ	1	13	1	0.2557	ns
		フィプロニル散布	3	9	3		
城南島	アリ	アルゼンチンアリ	2	8	1	1.0000	ns
		フィプロニル散布	2	8	1		
	アリ以外	アルゼンチンアリ	3	10	2	0.1835	ns
		フィプロニル散布	0	13	2		

3) 防除事業普及とネットワーク構築

年1回、アルゼンチンアリ対策連絡会議を開催し、官民一体となった防除体制ネットワークを構築した。表(2)-2 は、環境省のマニュアル（前・本推進費の成果）に則って実施されたアルゼンチンアリ防除事業について、進捗状況をまとめたものである。いずれの地域でも、防除を開始して1年を経過すると一定の防除効果を示したが、その後の防除達成度には差が見られた。特筆すべきは横浜市の防除事業で、3年間のうちにアルゼンチンアリが確認されなくなった。現在

は、上記の根絶確認モデルを適用し、モニタリングを終了する時期を検討している。環境省・地方自治体と地元企業、そしてペストコントロール業者が連携した強い協力体制の中、防除を進行したことが、このような成果に繋がったと見られる。一方で、事業体制が確立しているにも関わらず、防除効果が現れにくい地域も見られ、その多くは河川敷や公園など、植生が多く繁茂する地域であった。このような環境においては、草の刈り取りや除草剤を散布するなどの措置を取るよう指導している。また、河川付近では、漁業への薬剤影響を懸念する声があり、マニュアルに則した散布スケジュールを遂行できないことがあった。その場合は、散布量から河川における推定濃度を計算し、環境影響評価を行うことで同意を得た。

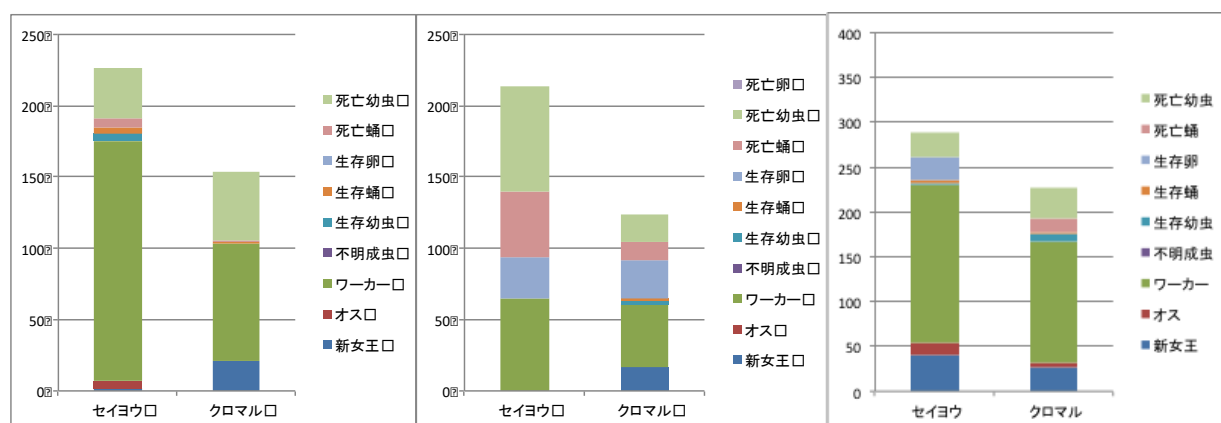
表(2)-2 各防除実施地域における開始時期と成果評価

防除実施地域	開始時期	成果評価
横浜市かもめ町	2014年3月	防除終了・根絶確認
横浜市A突堤	2014年3月(再開)	防除終了・根絶確認
静岡市	2013年	防除終了見込み
京都市	2013年	大幅減少
大阪市住之江区	2013年	大幅減少
岡山市	2014年	大幅減少
大阪市此花区	2014年	減少
神戸市須磨区	2014年	減少
東京都品川区	2015年	減少
神戸市摩耶ふ頭	2016年	—

(3) セイヨウオオマルハナバチ防除手法開発

1) 「ハチの巣コロリ」ハウス内薬効・リスク評価試験

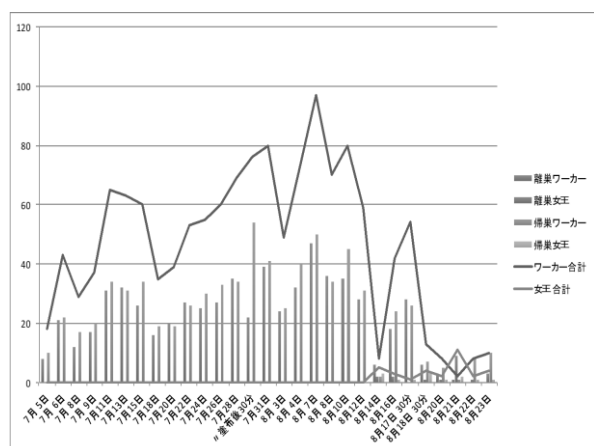
試験薬剤としてIGR剤エトキサゾール水溶剤および脂質合成阻害剤スピロトラマト水溶剤を用いた。いずれの薬剤に付いても散布後4週間の飛翔個体数および4週後のコロニー内の個体数データを累積して比較した結果、無処理のクロマルハナバチ・コロニーからは新女王が生産されているのに対して薬剤を散布されたセイヨウオオマルハナバチ・コロニーからは新女王の生産が観察されなかった(図(2)-7)。このことから、いずれの薬剤についても次世代生産虫である新女王の生産を阻害する効果があることが示された。



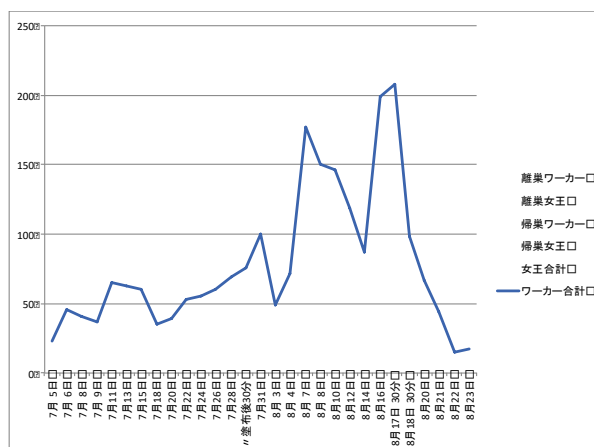
図(2)-7 エトキサゾール（左）およびスピロテトラマト（中）のコロニー毒性試験結果（一番右が無処理区）

2) 「ハチの巣コロリ」野生巣効力試験

2014年度試験の結果、薬剤を処理していない巣については8月14日から新女王が出入りするようになったが、薬剤処理した巣については、8月末に巣が生産停止するまで新女王の出入りは1個体も観察されなかった（図(2)-8、(2)-9）。このことから、エトキサゾール処理によって、次世代生産虫である新女王の生産が阻害されことが示唆された。



図(2)-8 無処理の野生巣からの出入り個体数変動

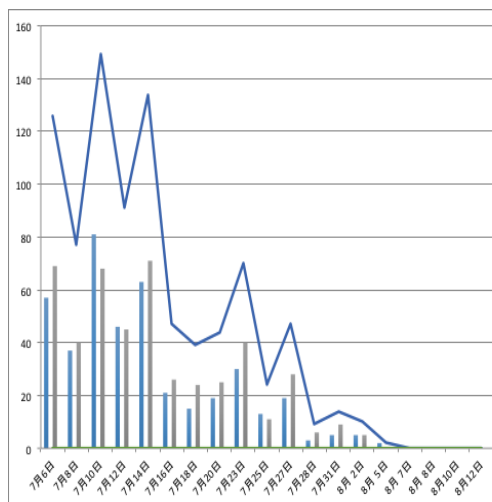


図(2)-9 処理区の野生巣からの出入り個体数変動

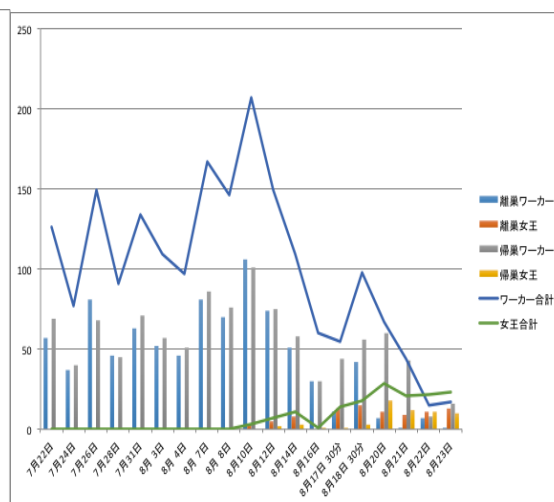
2015年度試験では、各巣について毎朝1時間巣から出る個体数および夕方1時間巣に戻る個体数を計測した。その結果、処理区1については、巣から出入りする働き蜂が減少しても新女王は1匹も確認されなかった（図(2)-10）。一方、処理区2については、8月10日から新女王の出入りが確認された（図(2)-11）。無処理区についても8月12日から新女王が出入りするようになった（図(2)-12）。以上の結果から、エトキサゾールのコロニー毒性発現について以下のように推測された。

- 処理区1はコロニー成長の初期に薬剤処理されたことにより、新女王の幼虫がふ化～成長している時期に薬剤を暴露させることができた。その結果、新女王は羽化できなかった。
- 一方、処理区2では、すでにコロニーが大きく成長していた時期に薬剤処理をしており、巣内の新女王幼虫も既に蛹化していたため、薬剤の影響が出なかった。

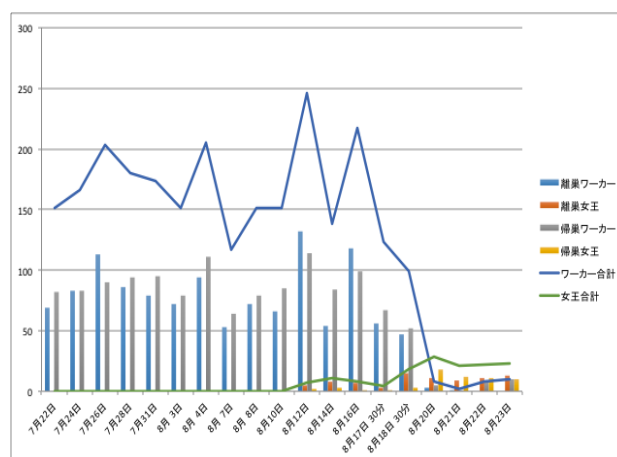
- 従って、薬剤処理は営巣初期の時期に実施する必要がある。



図(2)-10 処理区1の巣からの出入り個体数変動



図(2)-11 処理区2の巣からの出入り個体数変動



図(2)-12 無処理区の巣からの出入り個体数変動

3) 「ハチの巣コロリ」の社会実装

最初に野付半島において、地元セイヨウオオマルハナバチバスターズ担当者を含む住民に対する説明会を開催し、薬剤の生態リスク評価および管理に関する議論が交わされ、以下の疑問点が意見としてあげられた。

1. 他の昆虫類や野生生物類に対する生態リスクが不明
2. 薬剤防除を行うベネフィットが不明
3. 研究者のエゴではないのか？
4. 販売者・使用者に対する責任追及
5. なぜ野付半島で実施するのか？

以上の疑問点を踏まえて、旭川市、士幌町および平取町において薬剤防除手法の説明会を開催し、再び意見聴取（アンケート）を行った。その結果、試験実施に前向きな意見を過半数で得ることができた。一連の説明会を通じて説明および合意形成を得るにあたり、以下の点が重要であ

ることが示された。

1. 科学的データに基づくリスク評価
2. 謙虚な姿勢と丁寧な説明
3. 手法立案から開発・実施までの協力・協働のお願い
4. 順応的管理の説明
5. 信用と信頼が得られる説明者のキャラクター設定

これまでの試験データおよび説明会意見を基に薬剤防除マニュアルを作成した。本マニュアルに基づいて野外における防除効果を試験する体制を整えるために北海道立総合研究機構および大雪山マルハナバチ市民ネットワークと共同で具体的試験計画を立案した（図(2)-13）。

セイヨウオオマルハナバチ一斉捕獲・薬剤処理試験計画	
(1) 目的	☐ セイヨウオオマルハナバチの低密度地域において、訪花中のワーカーを定期的に捕獲し、薬剤塗布を行うことにより、野外における集団レベルの効果を検証する
(2) 試験地（候補地）	2カ所で薬剤塗布 ☐ 1カ所はコントロール ①石狩浜シブ原生花園（低密度地域：2015年7月平均観察数10頭/1h・1人） ②石狩浜弁天地区（対照区：2015年7月捕獲数24頭/1h・10人程度） ③石狩湾新港付近 花資源 ☐ ハマナス・ハマエンドウ（6月～9月） ☐ ハマヒルガオ（7月中旬～8月上旬）等
(3) 薬剤	☐ エトキサゾール <u>10%水溶液</u> （バロックフロアブル）
(4) 方法（2017年度～3年間継続）	①捕獲と薬剤塗布 ☐ 定期的にワーカーの捕獲、塗布、放逐を繰り返す ・時期 ☐ 7月初め～8月中旬（コロニー最盛期・新女王出現1ヶ月以上前から） ・回数 ☐ 1週間おき6回程度 ・塗布個体数 ☐ その都度捕獲できた数（1回当たり2時間×5人程度が限度か?） ・場所 ☐ 開花最盛期の花壇あるいは開花集団 ・薬剤濃度 ☐ 100ppm 水溶液 <u>(10%水溶液を1,000倍希釈)</u> ②個体数モニタリング・セイヨウ及び在来マルハナの訪花個体数カウント ・時期 ☐ 6～10月試験終了まで ☐ ・回数 ☐ 2週間おき ・場所 ☐ 開花花壇あるいは開花集団 ☐ ・時間 ☐ 1時間程度 ③巣の把握（かなり困難と考えています） ☐ ☐ ☐ ☐ ・随時巣の探索（できるだけ多く） ・試験終了後に回収し、新女王の産出状況を観察 ☐ ☐ ☐ ④次世代抑制効果の判定 ☐ 翌春の越冬女王カウント数及び②
(5) 事前調査（2016年度）	☐ ①予定調査地でセイヨウ及び在来マルハナ訪花数のモニタリング ☐ ②営巣場所の探索 ③薬剤塗布の練習（7月頃）

図(2)-13. 北海道セイヨウオオマルハナバチ薬剤防除試験計画案

（4）ツマアカスズメバチの化学的防除手法の開発

1) 誘引トラップの開発

ペットボトルを用いたスズメバチ生体捕獲用誘引トラップを開発した。トラップに侵入した個

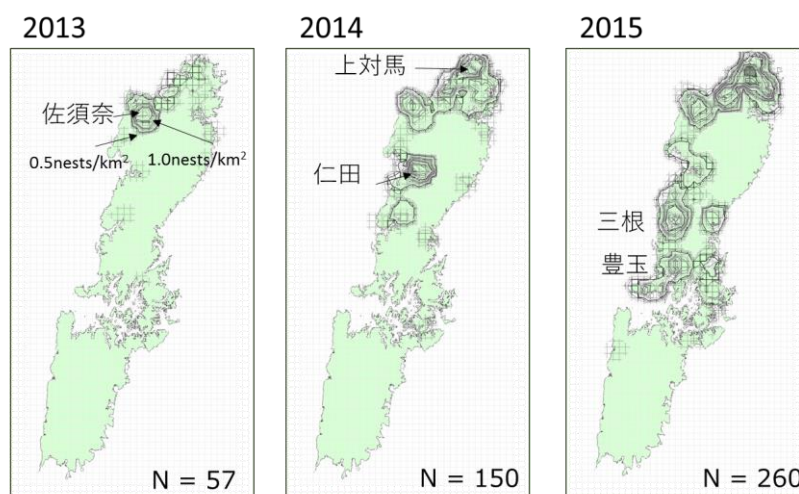
体が誘引液剤に浸漬して溺死するのを防ぐため、ボトルの途中にネットを設置する構造を設けた（図(2)-14）。国立環境研究所内の林内に設置して誘引試験を行った結果、キイロスズメバチの生体捕獲に成功した。



図(2)-14 改良型カルピス誘引トラップ

2) 野外巣の密度推定

次に、このトラップを有効に設置する戦略を立てるために、ツマアカスズメバチの密度推定をおこなった。対馬全体を1kmメッシュ（3次メッシュ）で区切り、格子点ごとの巣の密度（個/km²）を算出し、等高線を描いた（図(2)-15）。



図(2)-15 対馬におけるツマアカスズメバチの巣密度の2013年から2015年の推移。

2013年から2015年の3年間に北から南にむかって急速に分布を拡大したことがわかった。いずれの年にも、人為的な環境である集落周辺で密度が高かった。さらに2013年と2014年、2014年と2015年の密度の変化をみると、巣の密度が増加した地域も多い一方、巣の密度が減少した地域があることがわかった。たとえば北部の佐須奈では、平成25年に比べ、平成26年に密度が減少している。これらの結果から、今後ツマアカスズメバチの巣は対馬南部に分布を広げ、より南部の集落における急激な密度増加が懸念された。このことから化学的防除は、南から北へ分布を押し上げる形で行うことが効果的と考えられた。

3) 薬剤の探索

防除資材としてIGR剤を選定するための基礎資料として、農薬登録のあるIGR剤の物理化学性状および毒性データを収集し整理した（表(2)-3）。

表(2)-3 市販IGR剤の物理化学性状・毒性情報

作用	薬品名	代表的な商品	水 溶解度	アセトン 溶解度	加水分解	水中光分解	オオミジンコ EC50(48h)
幼若ホルモン類似	ピリプロキシフェン	スミラブ	0.367mg/L	>500g/L	367日以上	21日	0.0159mg/L
ダニ類成長阻害	エトキサゾール	バロック	0.07 mg/L	>309g/L	147日	66.3日	0.40mg/L
	クロフェンテジン	カーラ	0.0025mg/L	9.3g/L	34.4時間	0.4日	-
	ヘキシチアゾクス	ニッソラン水和剤	0.5mg/L	16g/L	2900日以上	1060日	0.36mg/L
キチン生合成阻害	ジフルベンズロン	デミリン	0.08mg/L	6.5g/L	安定	40.1時間	0.00434mg/L
	ノバルロン	カウンター	0.003mg/L	198g/L	安定	15.1日	0.000279mg/L
	テフルベンズロン	ノーモルト	0.05mg/L	9.0g/L	1年以上	67.3日	0.00377mg/L
	ルフェヌロン	マッチ	>0.06mg/L	460g/L	>>30日	4.5日	0.00041mg/L
	ブプロフェジン	アブロード	0.387mg/L	253.4g/L	378日	14日	0.80mg/L
脱皮阻害	シロマジン	トリガード	13g/L	1.4g/L	安定	125.1日	>97.5mg/L
脱皮ホルモン類似	クロマフェノジド	マトリック	1.12mg/L	186g/L	安定	12.6日	516.71mg/L
	メトキシフェノジド	ファルコン	3.3mg/L	41.5g/L	1572日	77日	3.7mg/L
	テブフェノジド	ロムダン、ガードワン	0.83mg/L	50.4g/L	1034日	67日	>0.82mg/L
摂食阻害	フルベンジアミド	フェニックス、ペガサス	0.0299mg/L	102g/L	1年以上	4.3日	>0.058mg/L
	クロラントラニリプロール	サムコル、フェルテラ	1.023mg/L	3.446g/L	安定	0.31日	0.0116mg/L
	シアントラニリプロール	エスベランサ	14.2mg/L	6.2g/L	30.3日	1日	0.018mg/L
	ビメトロジン	チェス	290mg/L	940mg/L	>30日	33.8時間	>100mg/L
	フロニカミド	ウララ	5.2g/L	186.7g/L	安定	909日	>100mg/L
	アミトラス	ダニカット	0.094mg/L	>300g/L	22.1時間	5.1日	-
	ピリフルキナゾン	コルト	12.1mg/L	>272g/L	34.9日	13.8日	0.0027mg/L
脂質合成阻害	スピネトラム	ディアナ	10mg, (L)31.9mg/L, (D)0.3mg/L	(J, L)>250g/L, (D)10.1g/L	安定	0.13日	>3.17mg/L
	スピノサド	スピノエース	29.9mg/L	100g/L	安定	0.18日	1.48mg/L
	スピロテトラマト	モベント	0.05mg/L	>250g/L	8.6日	0.19日	>42.7mg/L
	スピロジクロフェン	ダニエモン	0.13mg/L	>250g/L	30.8日	28.8日	52.7mg/L
	スピロメシフェン	ダニゲッター	0.00015mg/L	>1000g/L	24.8日	1.8日	>0.0923mg/L
たんぱく質合成阻害	ピリダリル	ブレオ	0.00015mg/L	>1000g/L	1年以上	1.4日	0.0038mg/L

これらの情報はデータベースの一部とした。ベイトに使用するために必要な遅効性、残効性を評価した結果、ピリプロキシフェン、エトキサゾール、ノバルロン、テフルベンズロン、ブプロフェジン、シロマジンを候補として見出された。一方、スズメバチ亜科の種に対して薬剤ベイトの野外試験を行った海外の事例研究を調べた結果、互いに結果が重複しない17報の論文が見つかった。これらの論文の試験内容および結果をまとめた（表(2)-4）。

以上の結果から、現在、日本において農薬登録があり、かつ先行研究において顕著な効果が認められた薬剤は、フィプロニル（フェニルピラゾール系）とダイアジノン（有機リン系）の2剤であった。ベイト基材は、鶏肉あるいは魚肉のキャットフードが最も多く使われていた。

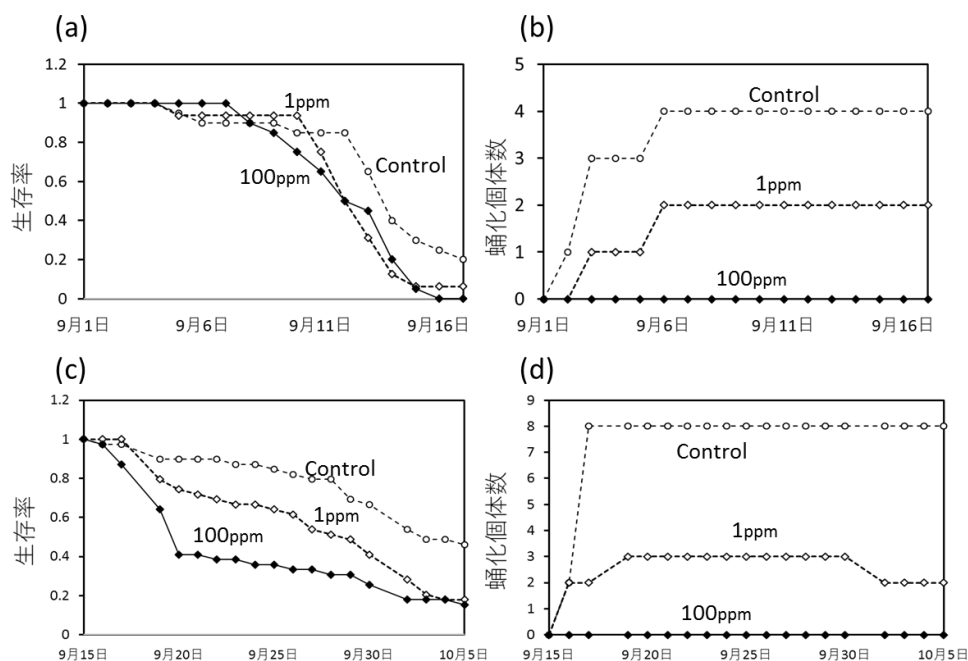
表(2)-4 スズメバチ亜科に対する薬剤ベイト持ち帰り試験の研究事例

原体名	種名	濃度	ベイト	効果		文献
Acetamiprid	P	0.05%	Catfood	×	High repellency	Reierson et al. 2009
Amidinohydrazone	P	0.50%	Catfood	△	Reduction after 1mo.	Chang 1988
Avermectin	P	100ppm	Catfood	△	Reduction after 7weeks	Chang 1988
Bifenthrin	P	0.05%	Catfood	△	Dose-dependent repellency	Reierson et al. 2009
Boric Acid	P	1%	Catfood	×	Little reduction	Chang 1988
Chlordane	P	1%	Horse Meat	○	Colony collapse	Grant et al. 1968
	V	1%	Horse Meat	○	Colony collapse	Grant et al. 1968
Chlorfenapyr	P	0.05%	Catfood	△	Cite-dependent reduction	Reierson et al. 2009
Chlorpyrifos	G	0.25%	Beef	×	No reduction	Sackmann & Corley 2007
Diazinon	P	6.9g/kg	Canned Chicken	○	Great reduction of workers	Gambino & Loope 1992
	P, V	0.50%	Catfood	○	75-95% reduction after 2 days	Ennik 1973
	P	0.50%	Catfood	○	Reduction through a season	Chang 1988
Dinotefuran	P	0.05%	Catfood	×	High repellency, Died in flight	Reierson et al. 2009
Esfenvalerate	P	0.05%	Catfood	×	High repellency	Reierson et al. 2009
Fenoxycarb	P	1%	Catfood	△	Reduction after 7weeks	Chang 1988
Fipronil	G	0.10%	Minced Beef	○	87% reduction	Sackmann et al. 2001
	G	0.025-0.1%	Wallaby meat	○	99% reduction within 2 days	Statham 2001
	P	0.10%	Canned Chicken meat	○	95% reduction after 3 mo.	Hanna et al. 2012
	P	0.05%	Catfood	○	Colony collapse within 48h	Reierson et al. 2009
	P	0.03%	Canned Chicken meat	○	> 80% after 2weeks	Rust et al. 2016
	V	0.10%	Sardine	○	99.7% reduction in 300ha	Harris & Etheridge 2001
	V	0.10%	Protein-based bait	○	93% reduction in 4 days	Edwards et al. 2017
	V	0.10%	Chicken-based bait	○	80% reduction within 113m	Harper et al. 2016
Hydramethylnon	G	2%	Beef	△	54% reduction after 72h	Sackmann & Corley 2007
Imidacloprid	P	0.05%	Catfood	×	High repellency	Reierson et al. 2009
Indoxacarb	P	0.05%	Catfood	△	Cite-dependent reduction	Reierson et al. 2009
Mirex	P	1%	Catfood	○	Colony collapse	Wagner & Reierson 1969
Permethrin	G	0.30%	Beef	×	No reduction	Sackmann & Corley 2007
Sodium Monofluoroacetate	G, V	0.001-1%	Catfood	○	89% reduction at 1% after 2 days	Spurr 1991
	V	1%	Catfood	○	82% nest reduction	Beggs et al. 1998
Spinosad	P	0.05%	Catfood	×	High repellency	Reierson et al. 2009
Sulfuramid	G, V	0.25-1.0%	Catfood	○	90% reduction after 10-12days	Spurr 1993
	V	1%	Sardine	×	No reduction	Harris & Etheridge 2001
	V	1%	Catfood	○	100% nest reduction	Beggs et al. 1998
Tetrachlorovinphos	P, V	0.75%	Catfood	○	75-95% reduction after 2 days	Ennik 1973

種名：G-*Vespula germanica* (ヨーロッパクロスズメバチ)、P-*V. pensylvanica*、V-*V. vulgaris* (キオビクロスズメバチ)。効果：○-著しい効果が認められたもの、△-中程度の効果が認められたもの、×-有意な効果が認められなかったもの。

4) 室内薬効試験

IGR剤の候補として見出されたエトキサゾールを用いて、ツマアカスズメバチの代替としてコガタスズメバチ *V. analis* およびオオスズメバチ *V. mandarinia* の幼虫を対象に急性経口毒性試験を行った。その結果、コガタスズメバチ幼虫では処理区間の生存率に違いはみられなかった一方 (Kaplan-Meier法: $p > 0.05$, 図(2)-16a)、蛹化率には違いがみられ、100ppmで全く蛹化しなかった (Fisher's exact test: $p = 0.048$, 図(2)-16b)。



図(2)-16 スズメバチ幼虫に対するエトキサゾールの毒性試験結果。(a) コガタスズメバチの幼虫生存率および(b) 蛹化個体数の推移、(c) オオスズメバチ幼虫の生存率および(d) 蛹化個体数の推移。

次に、オオスズメバチ幼虫では処理区間の生存率に有意な差が検出された（Kaplan-Meier法： $p < 0.05$ ，図(2)-16c）。100 ppm処理区の幼虫は対照区よりも生存期間が短かった。蛹化率を比較した結果、処理区間に有意な差が検出された（Fisher's exact test： $p = 0.006$ ，図(2)-16d）。対照区と1 ppm処理区、100 ppm処理区の蛹化率が有意に異なっていた。以上の結果から、スズメバチ2種に対する、蛹化をエンドポイントとしたエトキサゾールの EC_{50} はいずれも1-100ppmの間にあることがわかった。

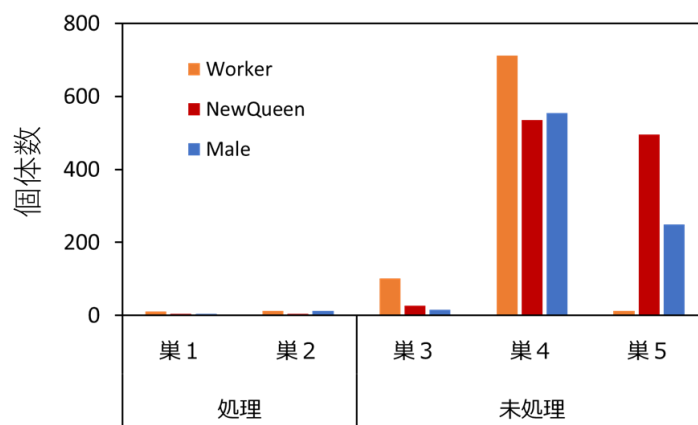
5) 野生巣薬効試験

2016年10月に対馬のツマアカスズメバチの野外巣に対して薬剤ベイトを用いた化学的防除試験を行った。上県町鰐浦の巣では、ワーカーに対する液体ベイト噴霧試験、および液体ベイトの持ち帰り試験を行った。美津島町鴨居瀬の巣ではこれらの試験に加えて固体ベイト持ち帰り試験を行った。その結果、いずれの巣でもワーカーへの液体ベイトの噴霧に成功し（図(2)-17a）、さらに液体ベイトの持ち帰りを確認した（図(2)-17b）。鴨居瀬の巣では固体ベイトの持ち帰りを確認した（図(2)-17c）。



図(2)-17 ツマアカスズメバチのワーカーに対する(a)薬剤噴霧試験、(b)液体ベイト持ち帰り試験、(c)固体ベイト持ち帰り試験

これらの野外試験の効果を検証するために、野外試験を行った巣および、未処理の巣を駆除後に内部調査した。未処理巣は上県町佐須奈の巣（緯度34.632954N，経度129.386761E）、上県町飼所の巣（緯度34.567617N，経度129.419481E）、上県町佐護の巣（緯度34.643556N，経度129.351306E）の3個を調べた。それぞれの巣について、ワーカー、新女王、オスの個体数を数えた結果、いずれも未処理巣に比べて処理巣のほうが著しく少なかった（図(2)-18）。すなわちエトキサゾールを用いた野外試験によって成虫個体数が著しく減少し、巣がほぼ崩壊した。



図(2)-18 野外試験を処理した巣としない巣の内部の成虫個体数

上記の試験結果を総合的に検討し、ツマアカスズメバチの防除マニュアルを作成した。

（５）化学的防除のための化学物質安全性・毒性データの収集整備

アルゼンチンアリ防除で使用するフィプロニル、およびセイヨウオオマルハナバチ防除で使用するエトキサゾールの水生生物に対する急性毒性値情報（LC50、EC50）を収集した。さらにミツバチ類やクモ類等、陸域の節足動物類に対する影響濃度、鳥類・哺乳類に対する毒性濃度の公式データおよび文献情報を収集した。また、これらの化学物質の水溶解度、土壌吸着係数、加水分解速度、土壌分解速度、水中光分解速度などの物理化学データも収集した。

以上のデータに基づき、実際の防除場面での環境中暴露濃度（面積あたり薬量）および環境中の暴露影響についてリスク評価を実施した。

フィプロニルについてはアルゼンチンアリ防除マニュアルに基づく投与薬量では、最悪シナリオとして、すべての薬剤が河川（全国平均河川流量）に流入したとしても、河川中予測濃度は $0.027 \mu\text{g/L}$ であり、水生生物の急性影響濃度（AEC値 $19 \mu\text{g/L}$ ）と比較して影響を及ぼす可能性は極めて低いと算定された。また、人間の飲用水としての影響（水質汚濁）についても環境中予測濃度は基準値（ADI値 $0.53 \mu\text{g/L}$ ）を大きく下回っており、リスクは低いと評価された。

エトキサゾールについては、現在検討中の防除手法に基づき、ハチ1匹あたりの最大推定塗布量（ $100\mu\text{g}$ ）から鳥類毒性およびクモ類毒性を評価した。その結果、鳥類に影響が出るには、体重 1kg あたり20,000匹以上のハチを食べなくてはならないと算定され、現実的なリスクは低いと推定された。一方、クモ類については、親グモには無影響であるが次世代抑制影響が出る可能性があると判断された。

５．本研究により得られた成果

（１）科学的意義

- 1) アルゼンチンアリを材料として外来生物個体群の根絶確認にかかる統計的手法を開発できた。本手法に基づき他の外来生物防除計画においても科学的なタイムスケジュールの組み込みが可能となった。
- 2) セイヨウオオマルハナバチ防除手法開発を通じて、社会性外来昆虫類に対する薬剤防除のエンドポイント、すなわち次世代生殖虫の生産抑制の特定と有効性（防除効果）を明らかにできた。
- 3) IGR剤を活用したセイヨウオオマルハナバチ・ツマアカスズメバチの薬剤防除手法の開発に成功した。
- 4) 化学的防除の実施にあたっての合意形成プロセスにおいて重要な説明ポイント・手法を明らかにできた。

（２）環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

- 1) 環境省・科学委員会・ツヤオオズアリ作業部会において、母島に定着が確認されたツヤオオズアリの化学的防除事業に対して、アルゼンチンアリ防除マニュアルを適用した防除計画を提示した。防除の進捗状況を確認し、適宜、作業内容についてアドバイスをを行い、一部地域において高い防除効果を得ることができた。
- 2) 愛知県東海市に対して、市内に定着したアルゼンチンアリ防除計画に対して、防除マニ

アルに基づく防除指針を提言し、来年度からの実行計画に結びつけた。

- 3) 環境省北海道地方環境事務所主催「2014年セイヨウオオマルハナバチモニタリング報告会」において、本研究成果であるセイヨウオオマルハナバチ薬剤防除手法開発の試験結果を説明し、化学的防除の普及啓発に貢献した。

<行政が活用することが見込まれる成果>

- 1) 環境省 平成28年度 環境教育における「ESD推進」のための実践拠点支援事業“人材育成プロジェクト 第1回 勉強会”にて招聘講演を受け、外来生物の新規防除手法開発に係る成果を公表し、今後の外来種防除指針に付いて提言を行った。
- 2) 環境省「つなげよう、支えよう森里川海プロジェクト」のリレーフォーラムにおいて化学的防除手法の活用法を提言した。
- 3) 防衛省「普天間飛行場代替施設建設事業に係る環境影響評価に関する有識者研究会」における埋め立て土砂における外来生物対策に付いて、本研究成果であるアルゼンチンアリのモニタリング手法およびそれに基づく根絶確認モデルを提示して、今後の対応方針の作成に貢献した（非公開）。

6. 国際共同研究等の状況

- 1) IPBES（生物多様性及び生態系サービスに関する政府間科学政策プラットフォーム）
Chapter 3: The state of and trends in pollinators, pollination networks and pollination services as keystone ecological process and service in both human managed and natural terrestrial ecosystems, Coordinating Lead Author (2014~2016)
を担当し、日本における外来マルハナバチによる生態影響評価および防除対策の成果をアジア情報として提供した。
- 2) 韓国政府環境局に招聘され、韓国外来生物防止行動計画策定に関する情報交換及び研究協力体制を構築した。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文（査読あり）>

- 1) Reade C, Goka K, Thorp R, Mitsuhata M, Wasbauer M: The Journal of Corporate Citizenship Issue 56, 53-66 (2014)
“CSR, Biodiversity and Japan’s Stakeholder Approach to the Global Bumble Bee Trade”
- 2) Hayasaka D, Kuwayama N, Azuma T, Ishida T, Mano H, Inoue MN, Nagai T, Sanchez-bayo F, Goka K and Sawahata T: Ecotoxicology 24, 1221-1228 (2015)
“Different acute toxicity of fipronil baits on invasive *Linepithema humile* supercolonies and some non-target ground arthropods”
- 3) Moriguchi S, Inoue MN, Kishimoto T, Kameyama T, Ito F and Goka K: Journal of Asia-Pacific Entomology 18, 343-350 (2015)

“Estimating colonization and invasion risk maps for *Linepithema humile*, in Japan”

- 4) Sakamoto Y, Mori H, Ohnishi H, Imai H, Kishimoto T, Toda M, Kishi S, Goka K:
Applied Entomology and Zoology 51, 661–667 (2016)
“Surveys of the ant faunas at ports of Tokyo Bay and the Ogasawara Islands”
- 5) Sakamoto Y, Kumagai NH and Goka K: Scientific Reports (in press)
“Declaration of local chemical eradication of the Argentine ant: Bayesian estimation with a multinomial-mixture model”

<その他誌上発表（査読なし）>

- 1) 五箇公一：生物の科学 遺伝, Vol. 71, No. 1, p10-15 (2017)
「外来生物の駆除への取り組み—科学的知見と分析に基づき計画的に防除」
- 2) 坂本佳子, 五箇公一：生物の科学 遺伝, Vol. 71, No. 1, p16-20 (2017)
「外来昆虫類の化学的防除」

(2) 口頭発表（学会等）

- 1) 五箇公一：神戸市・生物多様性シンポジウム「外来生物から考える」（2014）
「外来生物による生物多様性への脅威」
- 2) 五箇公一：第14回 奈良女子大学共生科学研究センター国際シンポジウム（2014）
「意図的・非意図的に侵入する外来昆虫とその対策」
- 3) 五箇公一：平成26年度自然史学会連合講演会（2014）
「生物進化の歴史と未来を脅かす外来生物」
- 4) 五箇公一：第 15 回 北海道淡水魚保護フォーラム（2014）
「外来生物問題の深淵」
- 5) 坂本佳子・井上真紀・林岳彦・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：日本昆虫学会第74回大会（2014）
「アルゼンチンアリの薬剤防除における非標的種への生態影響評価」
- 6) 坂本佳子・大西一志・森英章・今井仁・戸田光彦・岸本年郎・五箇公一：第59回日本応用動物昆虫学会大会（2015）
「東京港湾における外来アリ類の誘引トラップ調査」
- 7) 五箇公一：大下財団公開シンポジウム「身近に迫る脅威！感染症と危険害虫」（2015）
「グローバリゼーションによって加速する外来生物リスク」
- 8) 五箇公一：都市有害生物管理学会 第36回大会（2015）
「侵略的外来昆虫類の脅威～生態系影響からヒト健康影響まで」
- 9) 五箇公一：国際野生生物保護学会IWMC（2015）
「Addressing invasive alien species in Japan- its progress and challenges」
- 10) 五箇公一：日本昆虫学会大会（2015）
「特定外来生物セイヨウオオマルハナバチの化学的防除手法開発」
- 11) 坂本佳子：日本昆虫学会大会（2015）
「昆虫の多様性をまもるために私ができること」

- 12) 五箇公一：おおいた環境保全フォーラム「外来種リスクから生物多様性を考えるシンポジウム」（2015）
「外来種対策のこれまでと、成果とこれからの課題」
- 13) 五箇公一：洞爺湖外来種シンポジウム（2015）
「国内の外来種対策とその現状」
- 14) 岸茂樹・五箇公一：第60回日本応用動物昆虫学会大会（2016）
「対馬に侵入した特定外来生物ツマアカスズメバチの生態的特性と防除戦略」
- 15) 岸茂樹・五箇公一：第63回日本生態学会大会（2016）
「特定外来生物ツマアカスズメバチの生態的特性にもとづいた防除戦略」
- 16) 五箇公一：生物技術者連絡会 2016 年大会（2016）
「外来生物対策のこれまでとこれから～失敗から学び成功に結びつける～」
- 17) 五箇公一：西武・狭山丘陵パートナーズセミナー「里山の外来種問題を考える」（2016）：
「増える外来種、減る日本の自然」
- 18) 五箇公一：阿南市合併10周年記念事業・第3回生物多様性フォーラム（2016）
「人と自然のつながり ～かく乱と共生～」
- 19) 五箇公一：第60回日本応用動物昆虫学会大会（2016）
「外来マルハナバチの生態系影響と対策」
- 20) 坂本佳子：第60回日本応用動物昆虫学会大会（2016）
「特定外来生物アルゼンチンアリの根絶までの道のり」
- 21) 坂本佳子・前田太郎・芳山三喜雄：第60回日本応用動物昆虫学会大会（2016）
「ミツバチ2種間のアカリンダニに対するグルーミング行動の比較」
- 22) 五箇公一：韓日国際外来種会議（2016） 招聘
「Control of invasive alien species in Japan」
- 23) 五箇公一：第48回樹木の学校（2016） 招聘
「生物多様性と人間生活」
- 24) 五箇公一：第8回ヨーロッパダニ学会（2016） 招聘
「Environmental change and biological invasion in Japan – how we should encounter increasing invasive alien species?」
- 25) 五箇公一：国際昆虫学会（2016）
「Addressing invasive alien species in Japan- its progress and challenges」
- 26) 五箇公一：森林野生動物研究会公開シンポジウム（2016） 招聘
「外来生物の生態影響と対策」
- 27) 五箇公一：生活害虫防除協議会（2016） 招聘
「地球環境変動と生物多様性」
- 28) 五箇公一：北海道環境財団外来生物市民勉強会（2016） 招聘
「なぜ外来種は生み出されるのか?～セイヨウオオマルハナバチのこれまでとこれから」
- 29) 五箇公一：第23回日本ホテルの会シンポジウム（2016） 招聘
「生物多様性に関する人為的かく乱の影響と対策」
- 30) 五箇公一：ニュージーランドB3 Coference（2016） 招聘

「Addressing invasive alien species in Japan- its progress and challenges」

- 31) 五箇公一：生態系ネットワーク・フォーラム（2017）招聘
「生物多様性と私たちの生活」
- 32) 五箇公一：なごや環境大学連携講座（2017）招聘
「私たちの生活と生物多様性」
- 33) 五箇公一：静岡県博物館国際シンポ（2017）招聘
「Control of alien species for conservation of biodiversity」
- 34) 五箇公一：第32回全国環境研究所交流シンポジウム（2017）
「国立環境研究所における外来生物対策研究」
- 35) 五箇公一：NACS-J/WWF外来種講演会「外来種問題を考えるシンポジウム」（2017）招聘
「なぜ外来生物は増えるのか？その防除の成否の鍵はなにか？」
- 36) 五箇公一：石川生物多様性フォーラム（2017）招聘
「生物多様性異変～人間は生き残れるのか？」
- 37) 五箇公一，坂本佳子：日本生態学会（2017）
「外来昆虫類の化学的防除」
- 38) 岸茂樹，五箇公一：第61回日本応用動物昆虫学会（2017）
「特定外来生物ツマアカスズメバチの現状と化学的防除手法の可能性」
- 39) 岸 茂樹，坂本 佳子，五箇 公一：第64回日本生態学会大会（2017）
「特定外来生物ツマアカスズメバチの化学的防除手法の開発」

（３）知的財産権

特に記載すべき事項はない。

（４）「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) 国立環境研究所「夏の大公開2015」（2015年7月18日、来場者約5000名）にて成果紹介
- 2) エコライフフェア2016（主催：環境省、2016年6月4日～5日、代々木公園、来場者数約80,000名）にて成果紹介、丸川環境大臣に成果説明



- 3) 国立環境研究所「夏の大公開2016」（2016年7月23日、来場者約5000名）にて成果紹介
- 4) 五箇公一（2015年11月～2017年4月）The PAGEコラムシリーズ「終わりのない外来種の侵入との闘い」にて、外来種防除対策研究成果発信（<https://thepage.jp/series/212/>）

(5) マスコミ等への公表・報道等

- 1) テレビ朝日「たけしのTVタックル」(2014年10月27日、外来アリ類の侵入リスクに関する解説)
- 2) ジャパンタイムズ(2015年12月6日) 日本における外来生物分布状況紹介
- 3) 北海道新聞(2015年11月15日) 外来生物の化学的防除解説
- 4) 読売新聞(2015年11月12日) ツマアカスズメバチ防除の解説
- 5) 琉球新報(2015年5月22日) 埋立て土砂におけるアルゼンチンアリ混入リスクと対策解説
- 6) BS日本テレビ「深層NEWS」(2015年10月16日、外来アリ類、ツマアカスズメバチの侵入リスクと対策に関する解説)
- 7) テレビ朝日「林修の今でしょ! 講座」(2015年6月23日、外来アリ類の侵入リスクと対策に関する解説)
- 8) フジテレビ「全力! 脱力タイムズ」(2015年6月5日、ヒアリの侵入リスクと対策に関する解説)
- 9) NHK「クローズアップ現代」(2015年9月8日、外来アリ類、ツマアカスズメバチの侵入リスクと対策に関する解説)
- 10) NHKクローズアップ現代+ (2016年9月26日) 「あなたの家も危ない!? 都会を侵略 “エイリアン” 外来動物」 特定外来生物の防除方針について説明
- 11) TBS緊急! ニッポンを襲う世界の超S級危険生物(2016年8月22日) ツマアカスズメバチ、ヒアリ等外来昆虫類の生態リスクおよび防除方針について説明

(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ー広島市における分布の概要」
- 4) K. MIYAKE, T. KAMEYAMA, T. SUGIYAMA, 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, 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, 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) K. GOKA: Applied Entomology and Zoology 45, 1-6 (2010)
 “Introduction to the special feature for ecological risk assessment of introduced bumblebees: status of the european bumblebee, *Bombus terrestris*, in Japan as a beneficial pollinator and an invasive alien species”
- 8) J. YOKOYAMA, M. INOUE: Applied Entomology and Zoology 45, 21-27 (2010)
 “Status of the invasion and range expansion of an introduced bumblebee, *Bombus terrestris* (L.), in Japan”
- 9) 北海道「セイヨウオオマルハナバチのページ」
http://www.pref.hokkaido.lg.jp/ks/skn/alien/seiyo/seiyo_top.htm (2017年4月確認)
- 10) K. MONCEAU, O. BONNARD, D. THIÉRY: Journal of Pest Science 87, 1-16 (2014)
 “*Vespa velutina*: a new invasive predator of honeybees in Europe”
- 11) C. VILLEMANT, M. BARBET-MASSIN, A. PERRARD, F. MULLER, O. GARGOMINY, F. JIGUET, Q. ROME: Biological Conservation 144, 2142-2150 (2011)
 “Predicting the invasion risk by the alien bee-hawking yellow-legged hornet *Vespa velutina nigrithorax* across Europe and other continents with niche models”

（３）小笠原における外来生物緊急防除対策

一般財団法人自然環境研究センター

第２研究部 戸田光彦

＜研究協力者＞ 一般財団法人自然環境研究センター 森 英章・芦澤 航
株式会社シー・アイ・シー 小松謙之

平成26(開始年度)～28年度累計予算額：14,550千円（うち平成28年度：4,750千円）

予算額は、間接経費を含む。

〔要旨〕

小笠原に定着している特定外来生物グリーンアノールの新たな防除手法として、ベイト剤（生きた昆虫に薬剤を装着して野外に放逐し、アノールに捕食させて致死させる手法）の開発を行った。ベイト昆虫としては、アノールによる喫食性、増殖可能性、そして環境中に大量に放出した際の安全性という観点から、小笠原在来種であるクロバエ科の種（トウキョウキンバエ等）が最適と結論された。薬剤については、アノールの致死性の高さ、ベイト昆虫への装着可能性、そして環境影響等の観点から、カフェインとピレスロイド系の薬剤（ピレトリン等）が選択された。薬剤の装着方法としては、ベイト昆虫にスプレー糊を噴霧し、粉末状の薬剤をまぶすやり方がよいことが判明した。このようなベイト剤のアノール防除効果及び在来種群集に対する影響を評価し、小笠原現地における防除のコスト及び期間を予測した。

今後、特に検疫を必要とする小笠原の非意図的外来生物として、侵略性が高く、かつ複数種の特定外来生物を含むアリ類に着目した。東京港及び小笠原諸島の父島・硫黄島におけるアリ類群集の現地調査結果から、アリ類のインベントリーを作成し、フェリーの内部へのアリ類の侵入状況を把握した。これらの情報に基づいて船内検疫システムを提案し、運用試験を実施した。フェリーの乗客に対して自然保護に対するアンケートを実施して、今後、入島時に募金を集めて外来種対策に用いる可能性について考察した。

〔キーワード〕

グリーンアノール、化学的防除、ベイト剤、外来アリ、船内検疫システム

1. はじめに

小笠原諸島は日本列島から約1,000km、マリアナ諸島からは約550km 離れており、成立してから一度も大陸と陸続きになったことがない海洋島である。ゆえにそのファウナは特定の分類群に偏り、固有種の比率が高く、複数の分類群において生物進化の過程をたどることができる。この顕著で普遍的な価値のために、小笠原諸島は2011年6月に世界自然遺産地域に指定された。しかし、この貴重な生態系は存続の危機にあり、その最も顕著な要因は侵略的外来種の影響とされる。

小笠原諸島においては、外来種の侵入・拡散を防止し、定着した外来種の影響を緩和するため

にさまざまな事業が実施されているが、対策の技術及び体制については引き続き課題が残されている。たとえば、移送資材の検疫強化および検疫処理体制の構築が急務とされているが、検疫時に発見した場合の対応策は未だ整備されていない。また個々の種に対する対策を見ても、2013年に兄島に侵入定着していることが確認された特定外来生物グリーンアノールについては緊急防除が進められてきたが、防除技術についてはさらなる開発が期待されている。

2. 研究開発目的

本研究課題では、重点的に防除すべき特定外来生物および地域として、小笠原諸島の侵略的外来生物（グリーンアノール及び外来アリ類）を選定した。既に定着し、新たな島嶼に広がりつつあるグリーンアノールについては、これまでに開発された防除手法に加えて化学的防除手法等、革新的手法を開発して対策強化を図り、外来生物個体群の根絶確率を上げることとした。また、今後の侵入・拡散が懸念される外来アリ類については、東京都小笠原を結ぶフェリー「おがさわら丸」における検疫システムを検討し、非意図的外来生物インベントリーの作成や旅客へのアンケート等を通して検疫体制の確立を目指した。これらの外来生物を確実に根絶もしくは封じ込める実践的・革新的手法を完成させ、成功事例を作り出すことにより生物多様性条約愛知目標 Target9の目標達成に貢献する。

3. 研究開発方法

（1）グリーンアノールを対象としたベイト剤の開発

1）昆虫を用いたベイト剤のアノール防除効果の検証

入手や取扱いが比較的容易でグリーンアノール（以下アノール）が致死する薬剤を選択し、それらの使用可能性についてとりまとめた。アノール用ベイト剤を作成するために、入手が容易で、少量でアノールを致死させ、かつ昆虫を殺さない薬剤としてカフェインを選択した。半野外の施設（小笠原諸島の父島に設置した36m²の網室）においてベイト剤をアノールに与えて経過を観察した。

2）昆虫を用いたベイト剤の在来種群集に対する影響評価

ここでは、アノールの防除の必要性が最も高い兄島において、クロバエ科の成虫にカフェインを添付して放逐する方法を想定して、兄島の在来生物群集に対する影響を評価した。

3）防除シミュレーションによる防除コスト及び期間の予測

環境省が実施しているアノール防除事業において、アノールの捕獲位置のデータから分布域及び高密度域を求め、その中でベイト剤を使用することを想定した。ベイト剤を使用する場面として、兄島の1 haの山林を想定し、ベイト剤を使用するために必要なコスト及び期間を算出した。

（2）非意図的外来生物の検疫システムの整備

1）船内検疫システムの検証

おがさわら丸の検疫体制を整備するため、行政、船舶運航会社と連携の上、墓参事業のために硫黄島沖に停泊するおがさわら丸に同乗し、おがさわら丸に侵入するアカカミアリ等の侵入防止対策を検証した。

2）船内検疫システムの運用試験

父島－硫黄島間の特別運航時の試験をもとに整備したおがさわら丸の船内検疫システムについて、東京－小笠原間の通常運航時に運用試験を実施した。これまでに実績のある粘着トラップを用いた手法のほか、水盤トラップも用いた。水盤トラップによる捕獲個体はサブテーマ1において解析されている。船内検疫は、随伴生物移入の可能性が高い貨物甲板で実施した。船員と連携して行い、事前に確認した。また一般客の立入区域ではないため、事前に設置しておくことにより、運航等に支障なく検疫を実施することができた。計30基の粘着トラップ、計10基の水盤トラップを、東京停泊～父島到着時、父島到着時～東京到着時に分けて各4日間設置した。

3) 非意図的外来生物インベントリーの作成

今年度までに実施した港湾地域及びおがさわら丸における調査結果から、船上での確認が多く、生態系に影響を与える可能性の高いアリ類に注目し、船内検疫に利用するためのインベントリーを作成した。

4) 乗客アンケートの実施

おがさわら丸の乗船客に対し、外来生物対策に関する意識調査を実施した。東京竹芝港乗船時に配布し、乗船前、もしくは父島到着時に回収した。アンケート回答率を高めるため、回収時にアンケートの目的等の説明資料とともに、小笠原諸島の自然写真を用いたクリアファイルと交換することとした。

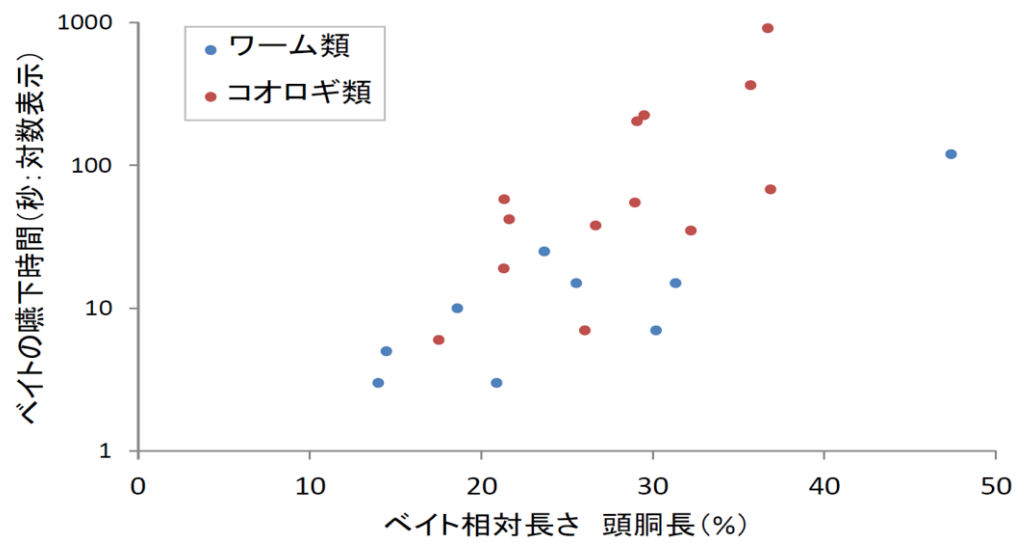
4. 結果及び考察

(1) グリーンアノールを対象としたベイト剤の開発

1) ベイトとして用いる昆虫の選択

アノール用のベイト剤として小笠原の野外で用いることを想定したいくつかの昆虫について複数の観点から諸元を整理し、使用の現実性をとりまとめた。昆虫の選択に際しては、以下の観点を取り上げた：1. 体サイズ（アノールの雌が容易に捕食できるサイズ）、2. 増殖可能性（入手性）、3. アノールの喫食性、4. 行動（昼行性かつ樹上性であること）、5. 生態系影響（小笠原の在来種または広く定着した外来種であること）

野外のアノールにさまざまなサイズの昆虫を提示して捕食行動を観察した結果（図(3)-1）、アノール雌の喫食性の高い昆虫は体長11mm、体重56mg程度以内に抑える必要があると結論された。小笠原の野外で用いることを想定したいくつかの昆虫について諸元を整理し、ベイト剤としての使用の現実性をとりまとめた（表(3)-1）。3ヶ年の試験において検討した昆虫の中では、小笠原現地において腐肉トラップにより容易に採集可能で、かつ粗放的に養殖できるクロバエ科の種（とりわけトウキョウキンバエ *Hemipyrellia ligurriens*）の成虫がもっとも適していると考えられた。飼育下の観察から、これらのハエ類はアノールに好まれ、かつアノールの雌が一口で食べられるサイズであった。



図(3)-1 野外における昆虫の喫食性試験の結果

※♀のアノールが短時間で捕食できる昆虫は頭胴長の約20%（11mm）までであった

表(3)-1 アノール用ベイト剤としての使用を検討した昆虫類

番号	和名	学名	齢	サイズ *1	増殖 可能性	アノールの 喫食性	行動 *2	生態系 影響	適性 *3	備考
1	カイコ ^カ	<i>Bombyx mori</i>	幼虫	適当	容易	おそらく 良好	不動	小	不適	若齢幼虫はサイズの的に適するが、樹上に分散しないため不適
2	カイコ ^カ	<i>Bombyx mori</i>	成虫	過大	容易	おそらく 悪い	不動	小	不適	大き過ぎて不適
3	セイヨウミツバチ	<i>Apis mellifera</i>	成虫	適当	可能	良好	樹上	小	可	ワーカーまたは雄バチを想定。前者は刺すので取扱注意。
4	マルハナバチ属	<i>Bombus</i> sp.	成虫	過大	可能	悪い	樹上	小	不適	ワーカーまたは雄バチを想定。毛深いいためか好まれず、特にアノール雌にはほぼ捕食されない
5	ハエ垂目	<i>Brachycera</i>	成虫	適当	容易	良好	樹上	小	適	増殖は最も容易。兄島原産のものであれば影響は小さいと推測。多くの種を含む
6	ヒメカタゾウムシ	<i>Ogasawarazo rugosicephalus</i>	成虫	やや小	不可能	良好	樹上	小	不適	増殖不可能のため不適。また小さ過ぎる。
7	ミールワーム	<i>Tenebrio molitor</i>	幼虫	やや大	容易	良好	リター内	不明	不適	増殖技術が確立しており、小笠原で数万個体を得ることは可能であろう。喫食性も良好（ただしゴキブリについては不明）。しかし、大量放逐に伴う生態系影響が不明であり、野外に放すと速やかにリター内に潜り込むことから、アノールのベイトとしての野外使用には耐えない。
8	カイマイコ ^{ミムシ} ダマシ	<i>Alphitobius diaperinus</i>	幼虫	適当	容易	良好	リター内	不明	不適	
9	チャハ ^ネ ゴキブリ	<i>Blattella germanica</i>	成虫	適当	可能	不明	リター内	不明	不適	
10	ヨーロッパイエコオロギ ^ギ	<i>Acheta domesticus</i>	若虫	適当	容易	良好	リター内	大?	不適	
11	フタホシコオロギ ^ギ	<i>Gryllus bimaculatus</i>	若虫	適当	容易	良好	リター内	大?	不適	
12	トノサマバッタ	<i>Locusta migratoria</i>	若虫	適当	可能	良好	樹上	大?	可	増殖可能だが広い圃場（コムギ等の畑）と手間を要する。用いる場合は兄島系統をもとに増殖すべき。在来植物を広く食害。

*1 サイズ：アノールの雌成体が速やかに捕食できるサイズかどうか。

*2 行動：小笠原の野外に放した際に逃避する場所。「樹上」であれば適性が高く「リター内」は低い。

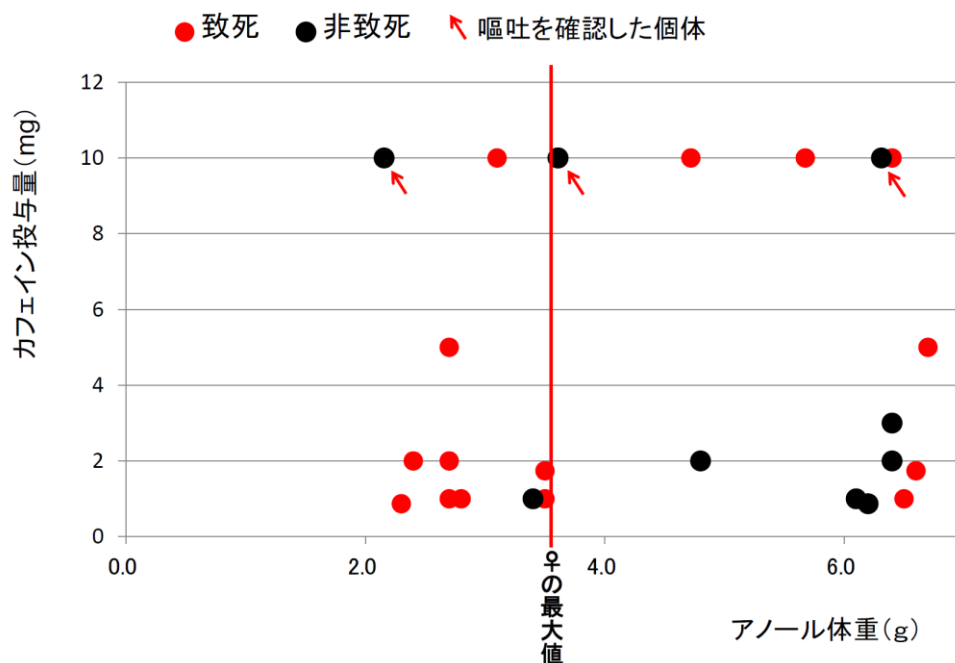
*3 適性：増殖可能性、喫食性、野外での行動、生態系影響からみたベイト昆虫としての適性

2) 薬剤の検討

薬剤の選択においては以下の観点を取り上げた：1. アノール致死性（ベイト昆虫に貼付しアノールに一口で食わせて致死させられる）、2. 装着性（体重数十mgのベイト昆虫に貼付可能で昆虫をすぐには致死させない）、3. 作業者の安全性、4. 環境残留性、5. 一般イメージ（今後の野外使用において合意形成が可能と思われる）。

2014年度、2015年度の検討においては、ピレスロイド系殺虫剤を中心とした試験を進めてきた。とりわけ、ジョチュウギクエキスを主成分としたピレトリン40FLは効果が高く、これを乾燥させたものは有効と考えられた。2016年度、新たな選択肢としてカフェインを試した。カフェインはハワイに定着した外来両生類（コキーコヤスガエル）の防除用に用いられており、ハワイでは大量の水溶液が野外に噴霧されてきた。

試薬カフェイン（東京化成工業株式会社）を用い、結晶（粉末）、飽和水溶液、丸薬（カフェイン粉末にその60%の小麦粉を混ぜて水を加え練り固めたもの）を飼育下のアノールに経口投与したところ、高い致死性が認められた（図(3)-2）。雌のアノールについては、カフェイン1～2mgを投与すればほとんど致死させることができた。ただし、丸薬を投与するとしばしば嘔吐し、その場合には致死しないことが確認された（図(3)-2の矢印を付した個体）。



図(3)-2 飼育下におけるアノールへのカフェイン投与試験の結果（1点がアノール1個体を示す）

カフェインは粉末で扱いやすく、潮解性がなく、試験に用いた昆虫（ヨーロッパイエコオロギ、トウキョウキンバエ）をすぐに致死させることがなく、入手も容易である。苦みがあるものの、アノールの口腔内に投与した場合や昆虫に粉衣して与えた場合にも吐き出しがなく、現時点ではベイト剤に最も適した薬剤と言える。さらに、コーヒーや茶に含まれる成分でヒトが普段か

ら口にしていることから、使用に際して、一般からの理解と許容も得られ易いと考えられる。

3) 昆虫への薬剤装着方法装着に係る検討

ベイト昆虫へのカフェイン装着方法として、下記のものを試みた。

- ・丸薬（前述）を瞬間接着剤で昆虫の背面に貼り付ける（図(3)-3右）
- ・粉末のカフェインを昆虫にまぶす（ダスティング）（図(3)-3左）



図(3)-3 カフェイン丸薬を接着したコオロギ（左）、カフェインをダスティングしたコオロギ（右）。

これらの方法はいずれもカフェインの装着が可能で、室内でコオロギを用いた試行の結果、ともにアノールの喫食性を損ねることはなかった。丸薬は比較的少量（数mgから十数mg）のカフェインを装着できるが、昆虫1個体ずつに手作業で接着する必要があるため、多数のベイト剤作成には適しない。また、摂食後に丸薬が溶ける過程で嘔吐が認められ、結果的に致死しない例があった。

一方、粉末をまぶす方法は一度に多数の昆虫を処理可能であった。装着できるカフェインの量は少ないが、昆虫にまずスプレー糊を噴霧してからダスティングを行うことにより、数mgの薬剤を付けることができた。摂食後は嘔吐する間もなく致死する個体が確認された。カフェインは速やかに吸収されることが考えられた。

4) 半野外におけるベイト剤の使用

父島・洲崎の屋外に3×3×4（高さ）mの網室を設置し、この内部にアノールを収容してベイト剤の試験を実施した（図(3)-4）。網室は単管パイプで枠を組んで外側にトリカルネットを取り付けたもので、内部には生きた樹木（ギンネム、シマグワ）を囲い込み、アノールがネット面や樹木に定位できるようにした。2016年10月、この網室におよそ30個体のアノールにペイントマークを施して放した後、ベイト剤（野外採取したトウキョウキンバエを使用）を散布して経過を観察した。ハエの平均体重は40mgで、これに平均2.5mgのカフェインをまぶすことができた。ベイト剤の散布は何度か実施したが、網室内に500個体のハエを放せば、どのアノールにも十分にハエが見える状態になった。

アノールがベイト剤を捕食する行動は4例観察されたが、致死したのは下記の1個体にとどまった。自発的にハエを捕食した2個体は体色が褐色になったが、約30分後にハエを嘔吐し、運動機

能は一時的に低下したものの、約24時間で体色が緑色になり回復した。捕食行動があまり観察されなかったことから、ベイト剤を釣針に付けてアノールに提示したところ、2個体のアノールが捕食し、このうち1個体（雌）は約24時間に致死した。

なお、散布したベイト剤について、飛翔能力を有した一部の個体は網室の天井付近まで飛翔するが、カフェインを大量にまぶされた個体は飛翔も歩行もあまりせず散布地点に留まり、セルフクリーニングを行っていた。このことから、アノールの捕食対象として、飛翔できない点は有利に働くと考えられるが、セルフクリーニングによる薬量低減が予測され、残効性については今後の検討課題と考えられる。



図(3)-4 半野外網室内におけるベイト剤の使用。左上：網室の外観、右上：網室の内観、左下：ハエへのスプレアの噴霧、右下：カフェインをダスティングしたハエ。

5) ベイト剤の野外での適用に向けた改善点

今後の改善点としては、ベイト昆虫の喫食性の向上（春から初夏の実施がよいと考えられる）、嘔吐の抑制、及びカフェイン装着方法のさらなる工夫が挙げられる。喫食性は散布時期及び時間帯に大きく依存すると考えられる。半野外試験を行った10月は、既に繁殖が終了しており、それほど食物を摂らない時期であった可能性が高い。今後は、摂食活動が盛んになると推測される春から初夏（4月から6月頃）に試験を行うべきである。ベイト剤を散布する天候と時間帯は無風の晴れた午前中がよいと考えられ、カフェインを使うこの防除方法は「アノール・モーニングカフェ作戦」と命名したい。

また、ベイト剤は樹木のなるべく高い位置に散布するのがよく、ベイト剤をカゴ等に入れて樹冠部に設置する、ブロワーで吹き散らす、無人ヘリコプターやドローンを使用するなどの方法が考えられる。

6) ハエとカフェインを用いたベイト剤の在来種群集に対する影響評価

カフェインは茶やコーヒーなどに広く含まれ、標準的なコーヒー1杯（237ml）には145mgが含まれているという。一方、アノール雌のカフェインによる致死量は約2mgであり、ハエ1個体に添付されるカフェインは2.5mgである。ここでは、3×3mの範囲に500個体の密度でカフェインをまぶしたトウキョウキンバエを散布することを想定して、兄島における在来種群集への影響についての評価を試みた。上記の密度においては、1 a（アール）あたり5,550個体のハエに、計13.9gのカフェインをまぶして撒くこととなる。ハエやその死体を捕食する動物や、カフェインに対する感受性が高い生物への影響が大きくなると推測される。

（一社）日本化学物質安全・情報センターによれば、カフェインの急性毒性はラット経口LD₅₀200～400mg/kg、マウス経口LD₅₀ 185mg/kgとのことである。ヒトとマウスの経口LD₅₀が同一だと仮定すると、体重50kgのヒトのLD₅₀は9.25gとなる。カフェインは摂取されると速やかに吸収されて分解され、残留性は高くないという。

a. 鳥類・哺乳類への影響

兄島に生息する在来種のうち、食虫性の鳥類（ウグイス、ヒヨドリ、イソヒヨドリ等）はベイト剤を喫食する可能性が高く、死亡等の影響が想定される。仮にLD₅₀がマウスと同等であれば、体重15gのウグイスが2個体のベイト剤を食べると死亡する計算となり、鳥類、特に小型鳥類への影響は大きいと考えられる。固有種オガサワラオオコウモリへの影響は不明であるが、本種がハエやその死体を摂食する状況は考えにくいことから、それほど大きな影響は生じないと予測される。

b. 爬虫類への影響

在来爬虫類であるオガサワラトカゲについては、飼育下においてカフェインをまぶしたコオロギを与えたところすぐに摂食し、速やかに死亡するのを確認している。これより、本種はベイト剤の影響を受け易いと評価される。

c. 陸産貝類その他への影響

陸産貝類に対する影響は不明であるが、半野外試験を行った網室内で確認されたウスカワマイマイにペイントマークを付けて観察したところ、8日後にも複数個体の生存が確認された。この

結果より、陸産貝類への影響はそれほど大きくないと考えられる。

昆虫等節足動物への影響は不明であるが、カマキリ類、コロギス類、クモ類等の食虫性昆虫については影響が生じる可能性がある。オオミジンコ、藻類への影響を見る限り、水生生物への影響は大きくないと推定される。

7) 防除シミュレーションによる防除コスト及び期間の予測

ここでは、兄島南部のアノール生息地1haに50個体/m²の密度でベイト剤を1週間おきに2回に散布する際に必要なコストと期間を項目ごとに試算する。合計1,000,000個体のハエと、計3,000gのカフェインが必要となる。下記の各項目を合計すると、資材・材料に500,000円、人件費140人日、期間30日間を要する（これらとは別途に、備船、作業動線確保、モニタリング等に係るコストも必要である）。

a. ハエの増殖

昨年度の調査により、200gの鶏肉から2,000個体のハエが得られている。資材として養殖セット（ポリ容器等）一式100,000円、鶏肉100kgで50,000円（1kg 500円として計算）、人件費30人日、所要期間25日間と想定される。

b. 薬剤の調達

カフェイン3,000gあたり250,000円（25gあたり2,000円（送料込み）として計算）と想定される。

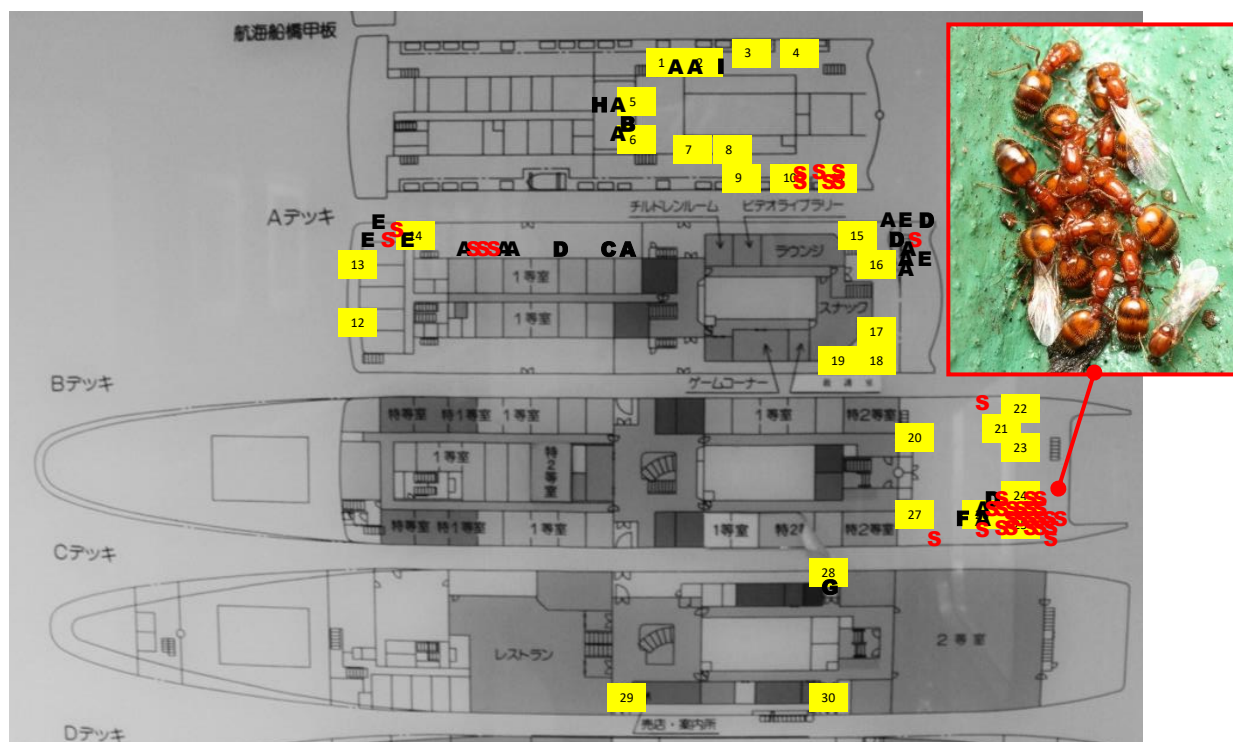
c. ダスティングと散布作業

作業員1名が1日で10,000個体のハエを扱い、ダスティングの後に所定の位置に運搬して散布するとして、計110人日を要する。これと別途に備船費、動線確保に係る人件費等が必要になる。

（2）非意図的外来生物の検疫システムの整備

1) 船内検疫システムの検証

平成27年度までの検疫試験により、船舶にアカカミアリをはじめ、多くの昆虫が飛来することが明らかとなった（図(3)-5）。そこで、28年度の運用時（父島 - 硫黄島）に対策を実施し、検疫システムを検証した。



図(3)-5 平成27年の硫黄島停泊時におがさわら丸船内で確認された昆虫類の発見位置。

黄色箱は粘着トラップ設置位置、S:アカカミアリ、A:ギンネムエダシヤク、B:ガの一種、C: エビガラスズメ、D: ウスオビクチバ、E:セマダラコガネ、F:アワテコヌカアリ、G:オガサワラウスヒラタゴキブリ、H: アシナガキアリ雄。

a. 関係機関が連携した体制構築

小笠原村（行政）－小笠原海運株式会社（運航会社）－自然環境研究センター（調査機関）の協力体制を構築し、船舶への外来生物侵入防止のための体制を強化した。

b. 船舶への外来種の侵入を防ぐための対策

夜間照明へのアカカミアリの飛来を確認したことから、夜間停泊時（21時～翌朝4時）における照明器具の消灯を実施した。飛来昆虫の数は減少し、アカカミアリは飛来しなかった。

c. 船舶からの外来種の持ち出し・拡散を防ぐための対策

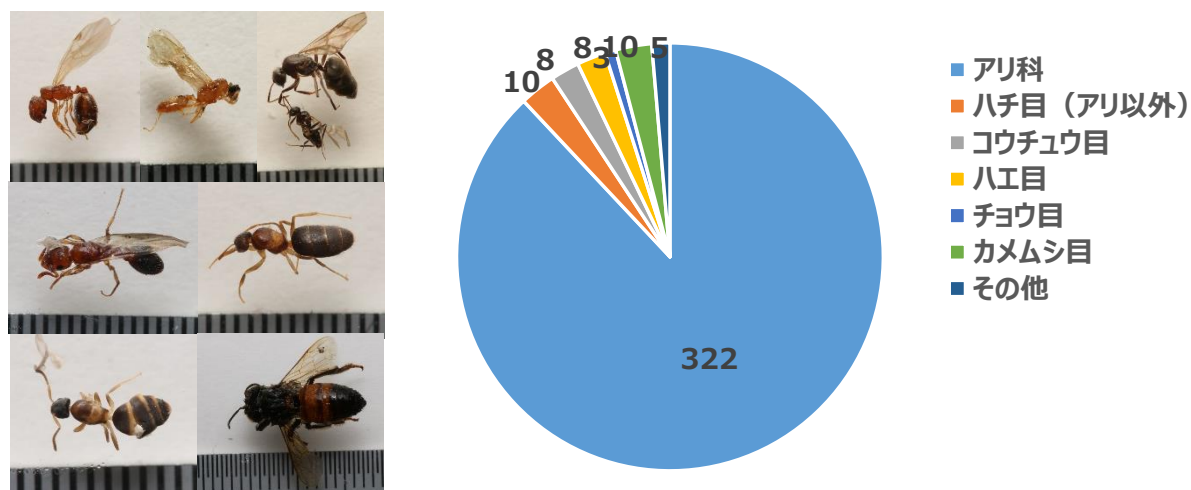
外来種は甲板上に積載された物資に紛れて父島に侵入する可能性が高いため、できる限り船内で物資を管理した。甲板上の物資を下す際には放水等による洗浄のほか、調査機関による目視確認を行った。

2) 船内検疫システムの運用試験

設置した粘着トラップでは計368頭の昆虫が捕獲された。特に父島停泊・出港時にはアリの有翅虫（繁殖虫）が最も多く322頭、その他、セイヨウミツバチ、キクイムシ、カメムシ、アザミウマ等が記録された（図(3)-6）。停泊時の照明に誘引されて飛来したと考えられ、停泊時の対策強化が必要である。また、飛来することのできないカマドコオロギやゴキブリの幼虫も記録された。貨物等に随伴して乗船している事例、または船内で繁殖している事例もあると考えられ

る。

東京停泊・出港時は蛾が2頭記録されたのみであった。甲板作業時以外は消灯することとしたため、飛来を防ぐことができた可能性がある。ただし、この調査時（11月6日～13日）は低温であり、別の調査時（9月14日）東京出港のおがさわら丸ではハリブトシリアゲアリ581頭（雌9頭、雄572頭、脱翅雌の産卵確認）を船上で確認している。気温が高い時期には父島と同様に移入リスクが生じている可能性が高い。



図(3)-6 おがさわら丸の東京-父島間運行時に捕獲された昆虫類。

数字は頭数。左には捕獲された主な昆虫（アリ類、ハチ類）の標本写真を示した。

3) 非意図的外来生物インベントリーの作成

3年間にわたって実施した調査で得られた情報をもとに、港湾地域で確認された種を船舶によって運搬される可能性のあるアリ類としてリストアップするとともに、実際に船上で確認された記録も掲載することにより、侵入危険度を表現した（表(3)-2）。

図(3)-5で示した通り、アカカミアリ（特定外来生物）やアシナガキアリ（世界の外来種ワースト100）の繁殖虫が硫黄島停泊時に飛来している一方、父島から東京へ向かう船内でも複数のアリの繁殖虫が船上で確認されている。

なお、アルゼンチンアリ（特定外来生物）は今回の調査では確認されていないものの、国内の港湾を中心に分布を広げており、関東では東京の大井ふ頭、横浜の本牧ふ頭等でも確認されている。今回のインベントリーには掲載していないが、侵入することのないよう、今後は最大限に注意をすべき種の1つである。

表(3)-2 おがさわら丸の関連港におけるアリ類の分布と非意図的侵入の実態

分布や乗船の実績										
和名	学名	東京の小笠原関連港					小笠原			
		芝浦	竹芝	有明	月島	東京-父島乗船	父島二見	(父島全島)	父島-硫黄島乗船	硫黄島
カタアリ亜科										
ルリアリ	<i>Ochetellus glaber</i>	○	○					○		
アワテコヌカアリ	<i>Tapinoma melanocephalum</i>					<<	○	○		○
アシジロヒラフシアリ	<i>Technomyrmex brunneus</i>						○	○		
ヒラフシアリ	<i>Technomyrmex gibbosus</i>				○					
ヤマアリ亜科										
アシナガキアリ	<i>Anoplolepis gracilipes</i>								<	○
クロオオアリ	<i>Camponotus japonicus</i>	○	○	○	○					
ヒラズオオアリ	<i>Camponotus nipponicus</i>		○				○	○		
ウメマツオオアリ	<i>Camponotus vitiosus</i>	○		○						
クロヤマアリ	<i>Formica japonica</i>	○	○	○	○					
トビイロケアリ	<i>Lasius japonicus</i>	○	○	○	○					
クロクサアリ	<i>Lasius nipponensis</i>	○								
ヒゲナガケアリ	<i>Lasius productus</i>			○						
ケブカアメイロアリ	<i>Nylanderia amia</i>	○	○	○	○	<		○		
アメイロアリ	<i>Nylanderia flavipes</i>	○	○	○						
サクラアリ	<i>Parapatrechina sakurae</i>	○		○	○					
ヒゲナガアメイロアリ	<i>Paratrechina longicornis</i>					<	○	○		○
ハリアリ亜科										
オオハリアリ	<i>Brachyponera chinensis</i>	○	○	○	○			○		
フタフシアリ亜科										
イソアシナガアリ	<i>Aphaenogaster osimensis</i>	○						○		
ハダカアリ	<i>Cardiocondyla kagutsuchi</i>		○					○		
ハリフトシリアゲアリ	<i>Crematogaster matsumurai</i>	○		○	○	>>				
キイロシリアゲアリ	<i>Crematogaster osakensis</i>	○	○	○	○					
ヒメアリ	<i>Monomorium intrudens</i>			○						
インドオオズアリ	<i>Pheidole indica</i>	○	○	○				○		
ツヤオオズアリ	<i>Pheidole megacephala</i>				○	<	○	○		
オオズアリ	<i>Pheidole noda</i>			○	○					
ナンヨウテンコクオオズアリ	<i>Pheidole parva</i>					<	○	○		
アミメアリ	<i>Pristomyrmex punctatus</i>	○	○	○	○			○		
トフシアリ	<i>Solenopsis japonica</i>			○						
アカカミアリ	<i>Solenopsis geminata</i>								<<	○
ウロコアリ	<i>Strumigenys lewisi</i>			○						
ムネボソアリ	<i>Temnothorax congruus</i>			○						
ハリナガムネボソアリ	<i>Temnothorax spinosior</i>	○	○		○					
オオシワアリ	<i>Tetramorium bicarinatum</i>					<		○		○
サザナミシワアリ	<i>Tetramorium simillimum</i>						○	○		
トビイロシワアリ	<i>Tetramorium tsushimae</i>	○	○	○	○					
確認種数		17	14	19	14	7	7	15	2	5

* 2014年～2016年の調査実績による。乗船記録の矢印は記録された船の進行方向、矢印の量は確認された個体数の相対量を示す（>：少ない>>：多い）。

4) 乗客アンケートの実施

おがさわら丸の乗船客に対して、非意図的外来生物の対策に関するアンケートを実施した。338名に配布し、154名から回答を得た（回答率45.6%）。乗船客の小笠原の生物に対する意識を

確認するとともに、外来生物の侵入防止に関する対策への意識を調査した（図(3)-7、8）。

乗船客が必ずしも小笠原の自然のみを目的に訪れるわけではなく（渡島目的は世界遺産の生物：21.8%）、小笠原に生息する生物に精通しているわけではない（正答率38.6%）。しかし、世界自然遺産地域である小笠原の自然を守りたいという意識はたいへん高く（自然のすべてを守りたい：81.2%）、移入種を防ぎ、固有の自然を保全するための募金を行ってもよいと考えている（募金したいと思う：76.8%）。募金をしてもよいと考える金額の最大値（～100円であれば、100円とする）を用いて期待値を算出すると一人当たり636円となる。仮に、島民をのぞく全ての乗船客（平成26年度乗船客実績22,772名）から協力金として500円を受け取る場合、11,366,000円の収入を得ることになる。今後の小笠原における非意図的外来生物の侵入防止対策では、予算面を含めて来島者の協力も得ながら実施することも重要であろう。

おがさわら丸にご乗船のみなさまへご協力のお願い
 ～ 小笠原の生きものと生きものを移動させることに関する意識調査 ～
 2016年11月 （一財）自然環境研究センター

小笠原の生きものと島外からの生きものの移動に関する11の質問について、当てはまるものに○をつける、または生きものの名前やご意見をお書きください。
 下船後、水色のTシャツを着た職員が回収いたします。書き終えたアンケート用紙をお渡しいただけますと、お礼の品をお渡しいたします。ぜひご協力のほどよろしくお願いいたします。

1. おがさわら丸にはよく乗船しますか？
 ①はじめて・ ②2回目・ ③3回目以上・ ④島民 ・⑤船員

2. 小笠原に行く目的はなんですか？（複数回答可）
 ①ポニンブルーの海と魚たち・ ②世界遺産の島の森と動物・ ③ゆったりとした時の流れ
 ④島の文化や人の関わり・ ⑤帰島・ ⑥特に決めていない・ ⑦仕事、研究・
 ⑧その他（ ）

3. 小笠原に好きな生物はいますか？（複数回答可）
 ①クジライルカ・ ②魚・ ③鳥・ ④虫・ ⑤カタツムリ・ ⑥植物・ ⑦島民・
 ⑧その他（ ）

4. 小笠原にしかない生きものを知っていますか？（○内に文字を入れてください）





メ○○ ○○○ シラカサノバト






ヒメ○○ マイマイ ○○○ ミ ○○○ トンボ ムニン○○ ツバキ

5. 小笠原の海に暮らす生きものを知っていますか？（○内に文字を入れてください）





○○○ クジラ ○○○ ミガメ ○○○ ドリ

6. 小笠原にしかない自然を守りたいと思いますか？
 ①特にそうは思わない・ ②海は守りたい・ ③山は守りたい・ ④すべて守りたい・
 ⑤その他（ ）

7. おがさわら丸に生きものが乗っているのを見たことがありますか？（複数回答可）
 ①見たことはない・ ②海鳥・ ③トンボ・ ④ハチ・ ⑤チョウ・ ⑥アリ・ ⑦シロアリ・
 ⑧その他（ ）

8. 小笠原へ生きものが知らないうちに運ばれることは気になりますか？
 ①特に気にならない・ ②身の回りの荷物には注意したい・ ③貨物の点検もしてもらいたい・
 ④その他（ ）

9. 小笠原へ生きものを積極的に運ぶことは気になりますか？
 ①特に気にならない・ ②ルールを守れば運んでもよい・ ③土付き苗の移動は気になる・
 ④繁殖できるベットの移動は気になる・ ⑤できる限り何も移動させない方がよいと思う・
 ⑥その他（ ）

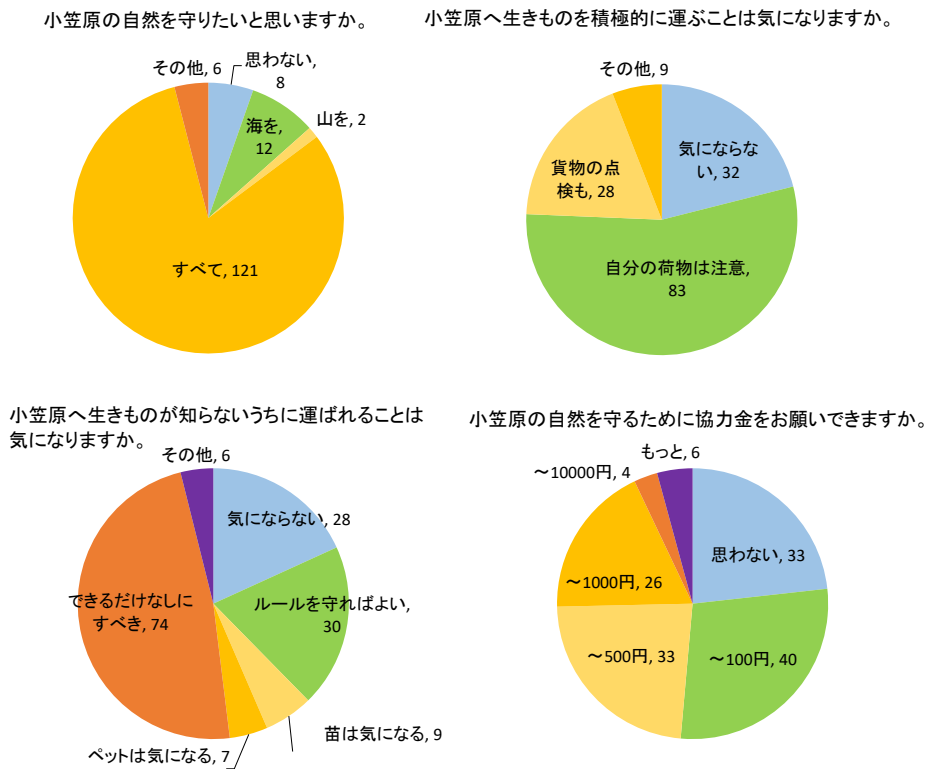
10. 本土からの生きものが入ってくることを防いで、小笠原の自然を守るための活動に募金したいと思いますか？
 ①思わない・ ②～100円・ ③～500円・ ④～1,000円・ ⑤～10,000円・
 ⑥もっと（ ）

11. 最後に、ご年齢、性別、ご職業をご記入ください（例：17才 男 職業①）
 職業選択肢 ①学生 ②会社員 ③公務員 ④パートアルバイト ⑤自営業 ⑥教職員 ⑦主婦 ⑧無職 ⑨その他
 ご年齢（ ）才・ 性別（ ）・ ご職業（ ）

この調査結果は、今後の小笠原諸島世界自然遺産を守るための活動に活用させていただきます。
 ご協力いただき、誠に有難うございました。下船後、職員にお渡しいただければ幸いです。

お問い合わせ等連絡先 （一財）自然環境研究センター 03-6659-6332 担当：森、中川

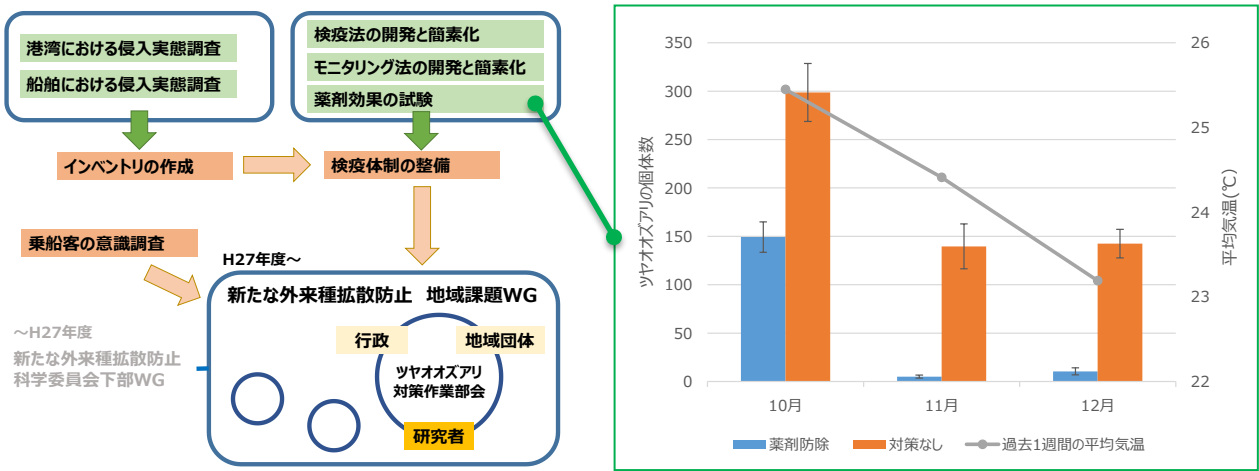
図(3)-7 おがさわら丸乗船客に向けて実施したアンケート



図(3)-8 おがさわら丸乗船客に向けて実施したアンケートの結果

5) 開発した技術の活用

3年間を通して開発された技術は直ちに小笠原諸島における保全事業において活用されている(図(3)-9)。過年度に実施した港湾調査におけるモニタリング手法やツヤオオズアリの防除技術開発の成果は、平成28年度より環境省事業として母島における陸産貝類保全のための対策に活用された。また、小笠原諸島地域連絡会議における「新たな外来種拡散防止地域課題ワーキンググループ」においては外来アリ防除技術開発を担当した研究員がアドバイザーに就任し、最新の知見を提供して、防除に関する助言を行っている。



図(3)-9 ツヤオオズアリ防除技術開発のための薬剤効果試験結果(右)および事業への活用(左)

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

アノールの経口薬剤処理を目指した基礎データとして、その最適食物サイズを特定した。本データに基づき、具体的・効果的なベイト剤の検討が可能となった。アノールによる喫食性、増殖可能性、生態系影響の観点から、ベイトとして適当な昆虫を抽出した。さらに、これまでに前例のない昆虫食性の爬虫類を対象としたベイト剤のプロトコル（ベイト昆虫、薬剤、装着方法のセット）を初めて提示した。

小笠原への物流の拠点である東京港と、小笠原諸島の父島・硫黄島における外来アリ類の分布状況を把握し、貨客船おがさわら丸へのアリ類の侵入実態について明らかにした。上記の情報に基づき、外来アリ類の検疫に資する非意図的外来生物インベントリーを初めて作成し、非意図的外来生物の検疫システムを整備した。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

環境省の「新たな外来種の侵入・拡散防止に関するワーキンググループ」における外来アリ類の検討において、化学的防除の実施に向けた手順及びコストの試算に資する情報を提示した。同ワーキンググループにおける「平成26年度小笠原諸島における外来アリ類の侵入・拡散防止に関する対応方針」の検討において、本研究成果である東京港および父島・二見港における外来アリ類モニタリング結果を提供した。

小笠原諸島世界自然遺産科学委員会に属する「ツヤオオズアリ作業部会」において、母島に定着が確認されたツヤオオズアリの化学的防除事業に対して、本研究の成果を適用した防除計画を提示した。その後、防除の進捗状況を確認しながら継続的に助言を行い、一部地域において高い防除効果を得た。

環境省の平成26年度小笠原国立公園兄島グリーンアノール重点防除業務および平成26年度父島列島自然再生施設兄島グリーンアノール対策調査業務に対し、分布情報のとりまとめ、新規防除手法の開発、化学的防除の推進等の参考となる情報を提供した。

環境省の平成27年度小笠原国立公園父島列島グリーンアノール重点防除業務における会議である平成27年度第1回グリーンアノール対策ワーキンググループ（7月16日 環境省関東地方環境事務所－小笠原村役場 テレビ中継）、平成27年度第2回グリーンアノール対策ワーキンググループ（11月27日 環境省関東地方環境事務所－小笠原村役場 テレビ中継）、および平成27年度第3回グリーンアノール対策ワーキンググループ小（2月16日 環境省関東地方環境事務所－小笠原村役場 テレビ中継）に対し、会議資料を提供した。

環境省の平成26年度第1回新たな外来種の侵入・拡散防止に関するワーキンググループ（小笠原諸島世界自然遺産科学委員会下部ワーキンググループ、地域連絡会議下部地域課題ワーキンググループ合同開催）（7月29日 環境省関東地方環境事務所－小笠原村役場 テレビ中継）および平成26年度第3回新たな外来種の侵入・拡散防止に関するワーキンググループ（小笠原諸島世界自然遺産科学委員会下部ワーキンググループ、地域連絡会議下部地域課題ワーキンググループ合同開催）（2月10日 環境省関東地方環境事務所－小笠原村役場－母島村民会館 テレビ中継）に対し、本研究の調査結果について情報提供し、地域連携について提案を行った。

石川県の平成26年度環境部企画研修に対し、研修講師として本研究の一部を紹介した（戸田光彦（2015）希少種・外来種問題の現状と課題．1月15日 石川県庁）

<行政が活用することが見込まれる成果>

小笠原諸島世界自然遺産科学委員会に属する「グリーンアノール対策ワーキンググループ」において、生きた昆虫に薬剤を装着しアノールに提示し摂食させることで致死させることを示した。化学的防除の実施に向けた手順と課題、リスク及びコストの試算に資する情報を提示した。

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（※別添報告書作成要領参照）

（1）誌上発表

<論文（査読あり）>

- 1) Sakamoto Y, Mori H, Ohnishi H, Imai H, Kishimoto T, Toda M, Kishi S, Goka K:
Applied Entomology and Zoology 51, 661-667 (2016)
“Surveys of the ant faunas at ports of Tokyo Bay and the Ogasawara Islands”

<その他誌上発表（査読なし）>

- 1) 寺山守・森英章：昆虫と自然，49，9，12-16(2014)
「小笠原諸島のアリ類：外来種を中心に」
- 2) 高橋洋生・秋田耕佑、戸田光彦：昆虫と自然，49，9，17-21（2014）
「小笠原諸島に侵入したグリーンアノール：父島と母島、兄島」
- 3) 高橋洋生・八巻明日香・秋田耕佑・岸本年郎・戸田光彦：爬虫両棲類学会報，2014，158-167(2014)
「小笠原諸島におけるグリーンアノールの食性と在来昆虫群集への影響」
- 4) 戸田光彦：昆虫と自然，Vol. 51, No. 14, p18-21（2016）
「小笠原の固有昆虫保全のための外来種対策～グリーンアノール防除の展開」

（2）口頭発表（学会等）

- 1) 高橋洋生・秋田耕佑・芦澤航・鋤柄直純・戸田光彦：日本爬虫両棲類学会 第53回大会(2014)
「小笠原におけるグリーンアノールの微環境利用、行動圏、移動パターン」
- 2) 坂本佳子・大西一志・森英章・今井仁・戸田光彦・岸本年郎・五箇公一：第59回日本応用動物昆虫学会大会（2015）
「東京港湾における外来アリ類の誘引トラップ調査」
- 3) 戸田光彦：国際野生生物保護学会IWMC（2015）
“Ecological impacts and control of the green anole, an invasive alien species on the Ogasawara Islands, Japan.”

- 4) 戸田光彦：森林野生動物研究会・第48回大会口頭発表（2015）

「外来爬虫類グリーンアノールの化学的防除」

- 5) 戸田光彦：日本爬虫両棲類学会・第55回大会（2016）

「グリーンアノールの化学的防除手法の開発」

（３）知的財産権

特に記載すべき事項はない。

（４）「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) 戸田光彦：神奈川県立生命の星・地球博物館公開講演会「正しい世界遺産のまもり方～進化と新種と小笠原～」講演「小笠原の昆虫を食い尽くすグリーンアノール～兄島での戦い～」（主催：神奈川県立生命の星・地球博物館，2015年1月31日，神奈川県立生命の星・地球博物館、観客約200名）
- 2) 戸田光彦：千葉市地域環境保全自主活動事業補助金事業「外来生物について正しく知ろう」～第63回環境パートナーシップエコサロン～「侵略的外来種って、なに？」講演「身近な外来動物の意外な侵略性」（主催：環境パートナーシップちば，2015年2月7日，千葉市ビジネス支援センター(きぼーる)15階多目的室，観客約30名）
- 3) 戸田光彦：おおいた環境保全フォーラム「外来種リスクから生物多様性を考えるシンポジウム」「爬虫両生類をめぐる外来種問題と対策 ～小笠原のグリーンアノールの事例～」（主催：NPO法人おおいた環境保全フォーラム，2015年10月25日，ホルトホール大分大会議場，観客約100名）
- 4) 戸田光彦：外来生物防除シンポジウム・基調講演「外来種の防除を効率的に進めるために」（主催：環境省北海道地方環境事務所，2016年2月8日，北海道立道民活動センターかでの2・7・1060会議室、観客約30名）

（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

本研究を小笠原地域で活用するための情報を提供した（2件）

- 森英章（2014）外来アリ防除に関する情報共有と調査の試行（新たな外来種の侵入・拡散防止に関するワーキンググループ、地域連絡会議下部地域課題ワーキンググループとの共同開催）（7月28日 小笠原村父島）
- 森英章（2014）外来アリの侵入拡散防止のための簡易モニタリング試行（新たな外来種の侵入・拡散防止に関するワーキンググループ、地域連絡会議下部地域課題ワーキンググループとの共同開催）（12月10日 小笠原村父島）

8. 引用文献

特に記載すべき事項はない。

（４）琉球・奄美における外来生物重点防除対策

宮崎大学

フロンティア科学実験総合センター 城ヶ原 貴通

＜研究協力者＞ 岐阜大学 浅野 玄・國永尚稔
 一般財団法人自然環境研究センター 橋本琢磨・諸澤崇裕
 国立研究開発法人森林総合研究所 亘 悠哉・山田文雄

平成26(開始年度)～28年度累計予算額：25,500千円（うち平成28年度：8,000千円）

予算額は、間接経費を含む。

〔要旨〕

特定外来生物であるマングース防除事業が奄美大島ならびに沖縄島北部地域において実施されている。マングースの根絶は、これら地域における生物多様性回復にとって最重要課題である。本サブテーマの目的は、モデルによる根絶達成予測を行うとともに、新規防除手法としての化学的防除手法の開発をはかり、防除の促進に繋げることにある。

奄美大島におけるこれまでの各種モニタリングツールによる根絶達成予測を行ったところ、2020年代前半に根絶確立が50%を超え、2025年度で約80%、2030年度以降では100%に近似すると推定された。不確実性があるものの、今後10～15年程度で奄美大島全島における根絶が達成されると推定された。

これまで、既存化学製剤によるマングース防除は連続投与が必要なため、野外導入は困難であると考えられてきた。しかしこれまでの手法には、投与方法に一定の課題が存在していた。そこで、投与方法を再検討し、その効果を検証した。その結果、これまで連続投与が必要と考えられてきたダイファシノンにおいて50ppm濃度投与で高い効果（致死率90%）が認められた。さらに、半野外試験を行ったところ、1回の投与で6割以上の個体が死亡し、生存個体についても基剤による症状を呈していることが示された。このことから、ダイファシノンにより効果的に防除できることが示され、事業ベースで導入することが可能であることを科学的に示した。

また、避妊ワクチン開発については、生体マングースに対して抗原性が高いワクチン抗原候補を絞り込むことができた。今後も継続した研究により、経口避妊ワクチン開発を実現可能と考えられる。

以上より、現在の防除手法に加え、化学的防除を行うことで、根絶達成をより早められる可能性がある事を示した。

〔キーワード〕

マングース、防除効率、ダイファシノン、根絶予測、避妊ワクチン

1. はじめに

特定外来生物法施行（2005年）において特定外来生物として指定されたフイリマングースに対し、奄美大島ならびに沖縄島北部のやんばる地域を対象とし、根絶を目標として環境省ならびに沖縄県による防除事業が実施されている。これまでの罟や探索犬による物理的防除により、奄美大島では一時は一万頭以上生息していると推定されていたマングースが、2015年度末時点では推定50頭未満にまで減少し、今後も同等かそれ以上の捕獲圧を掛けることによる、個体数を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（Fukasawa et al. 2013）。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（Watari et al. 2013; 環境省）。本防除事業をさらに推進するためには、今後の根絶達成時期の科学的予測、さらには化学的防除法など新規防除手法の開発が求められる。

2. 研究開発目的

環境省が優先課題として進めているフイリマングースの防除事業では、戦略的な捕獲と技術投入によって、マングースは超低密度状態となり、在来種の個体数が増加した。しかし、これまでと同様の防除技術のみでは、超低密度のマングース個体群を根絶することはできず、増えた在来種の混獲を軽減できない。そこで本研究では、超低密度となった個体群の根絶と在来齧歯類への影響評価のために、既存の化学製剤による防除手法の開発、避妊ワクチンの開発と試験、在来齧歯類への化学製剤による影響評価を実施し、成果を防除事業に供することを目的とする。

3. 研究開発方法

（1）根絶確認モデル

複数のマングース検出手法を用いた根絶確認モデルの開発を目的としてモデル構築を行った。まず、奄美大島マングース防除事業における2001～2013年の捕獲わなによる捕獲データ、2010～2013年におけるヘアトラップデータ、2007～2013年におけるカメラトラップデータ、2009～2013年における探索犬データを整理し、モデル解析に使用するデータセットを作成した。モデルによる解析においては、各モニタリングツールにより得られたデータを密度指標としてとらえ、各モニタリングツールの検出力は個体数と比例するという考え方のもと、複数のマングース検出手法を用いた根絶確認モデルの構築を試みた。また、構築したモデルをマングース防除事業の作業区域である13の区域における推定への拡張を検討した。最後に、構築した根絶確認モデルを用いて、奄美大島全島におけるマングース個体数の将来予測を行い、根絶期間を算出した。また、将来的な根絶確率についてもあわせて推定した。

（2）マングース防除に向けた化学的防除手法の検討①：既存化学製剤等の有効性

マングース防除に向けた既存化学製剤による防除手法開発として、複数種類の候補基剤（ダイファシノン、PAPP、NaNO₂など）について、USDAのプロトコルに則り、飼育下試験を実施した。さらに、飼育下試験において高い効果が認められたダイファシノンならびにPAPPについて防除事業への導入を念頭に、半野外環境下での試験を行った。

（3）在来齧歯類への影響評価

在来齧歯類への影響評価として、トゲネズミ属に近縁種であるアカネズミにおける実験系の確立、評価試験を実施した。さらに、在来種への影響評価ならびに環境中残留性の確認として、飼

育下試験に供した個体ならびに半野外試験を実施した環境の土壌、供試個体ならびにフン中のダイファシノン残留濃度について測定し、検討した。

（４） マングース防除にむけた化学的防除手法の検討②：避妊ワクチンの開発

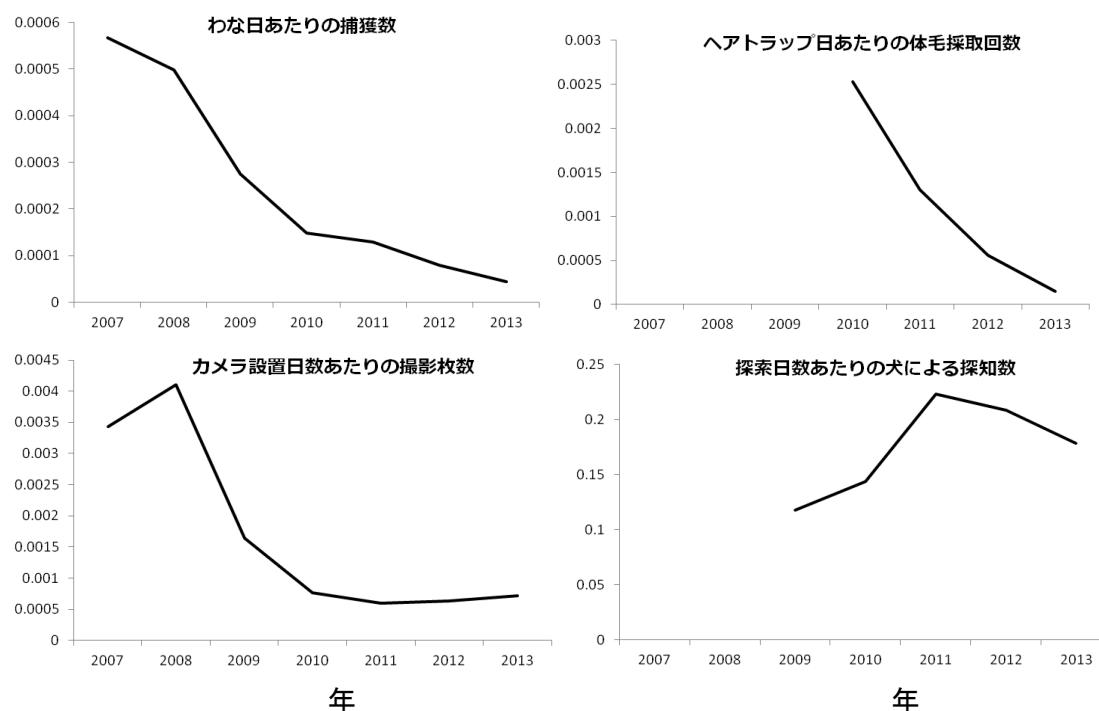
マングース繁殖抑制を目指した経口避妊ワクチンの開発においては、①マングースに種特異的に避妊効果をもたらすワクチン抗原の探索、②同抗原を経口で投与して効果を発現させるためのデリバリーシステムの開発、③野外散布するための製剤化、④野外への試験投与と実用化、というステージが必要となる。これまでの研究（前課題D-1101）では、ステージ①を進めており、避妊効果が期待される抗原候補の有用性について代替実験動物のウサギを用いた検証を行ってきた。本計画では、マングースを用い、抗原候補の有用性の検証ならびに野外における避妊ワクチンの経口投与を見据えてワクチンデリバリーシステムの選定を試みた。

これら成果を実用化するために、マングース防除事業と連携し、導入および評価体制の構築を図りながら進めた。なお、動物実験においては、森林総合研究所、岐阜大学の動物実験等の実施に関する指針と同委員会の許可のもとで実施した。

４．結果及び考察

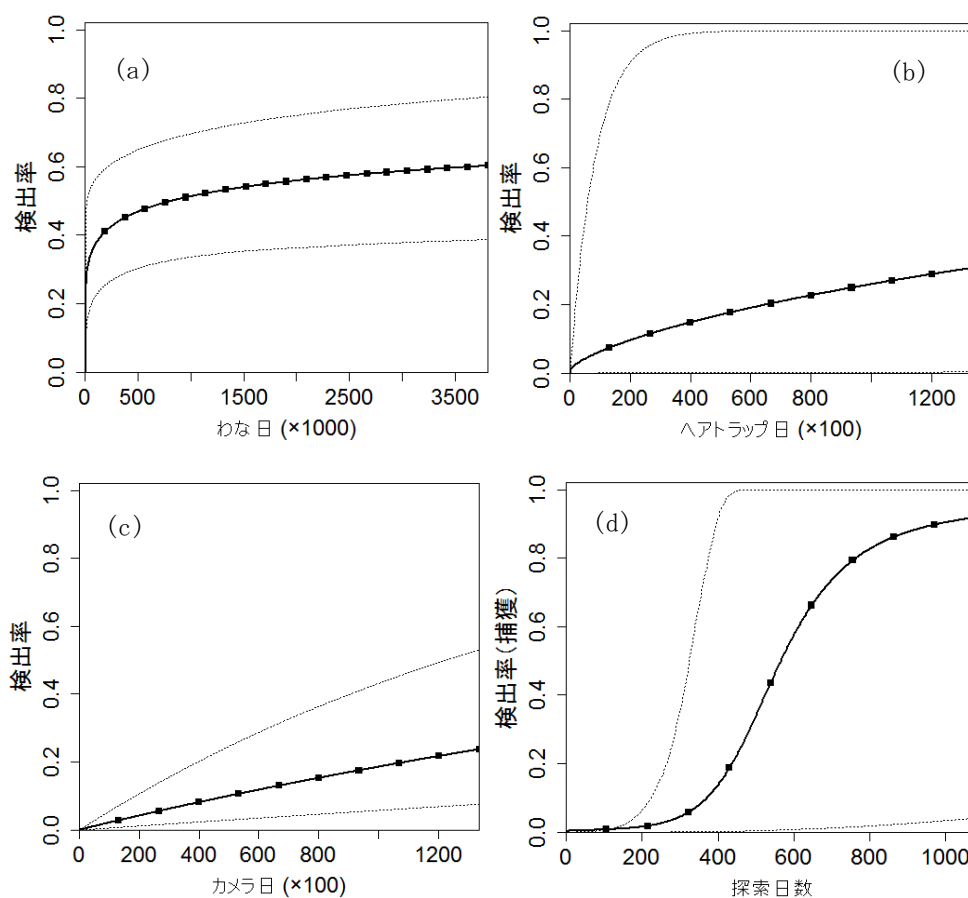
（１） 根絶確認モデル

奄美大島マングース防除事業における2001～2013年の捕獲わなによる捕獲データ、2010～2013年におけるヘアトラップデータ、2007～2013年におけるカメラトラップデータ、2009～2013年における探索犬データを整理し、階層ベイズ法により各モニタリングツールによるマングース検出数についての推定を行った。その結果（図(4)-1）、努力量あたりのマングース検出数にはツール毎の特徴がみられ、捕獲わなとヘアトラップは、マングース生息密度の低下とともに検出数も減少する傾向がみられた。センサーカメラによるモニタリングでは、設置日数あたりの検出数が2010年度以降横ばいになる傾向がみられた。探索日数あたりの犬による探知数は2009～2011年までは増加傾向であったが、その後は減少傾向を示していた。ただし、これらの結果は各モニタリングツールの防除事業における年ごとの運用方針の違いなど様々な不確実性をともなった数値である。このため、階層ベイズ法を用いて、推定個体数と各モニタリングツールの検出率の関係について確率論的な推定が必要と考えられた。



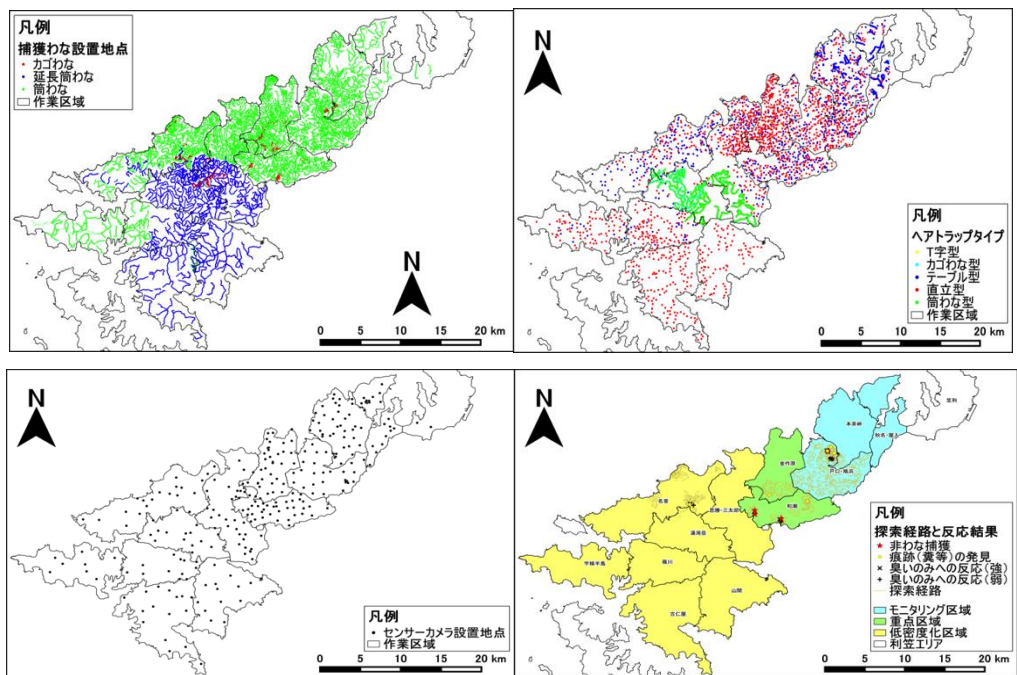
図(4)-1 各モニタリングツールの努力量当たりのマングース検出数の年変化

以上のことから、階層ベイズモデルを用いて各モニタリングツールの検出率を推定した。推定の結果、捕獲罾では努力量を増やしても検出率が0.6～0.7程度で頭打ちとなった（図(4)-2）。また、ヘアトラップ・センサーカメラでは、現在作業している努力量の範囲では、検出率が0.2程度と推定された。探索犬による検出率は、探索日数が約400日程度を超えると大きく検出率が上がる結果となった。しかし、ヘアトラップや探索犬の検出率の推定結果は、データのばらつきに基づき95%信用区間が非常に広く、信頼区間がより狭くなるようデータの扱いやモデルの修正など推定精度の向上が必要であると考えられた。ヘアトラップはマングースが生息している可能性が高いと考えられる奄美大島南西部や北東部などこれまで大きな努力量がかけられていたほか、探索犬は場所により作業目的を分けており、マングースが捕獲されていない場所については根絶確認を目的とした探索が行われている。推定精度にはこういったデータの質の違いが影響していると考えら得るため、推定精度の向上に向け、作業区域毎の推定が必要であると考えられた。



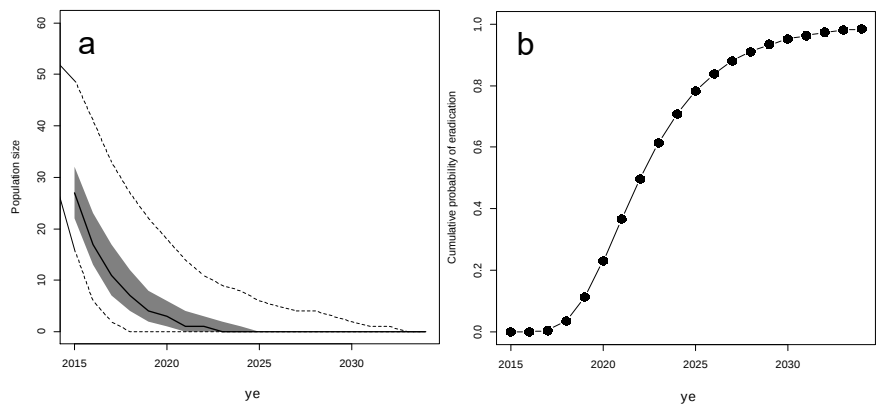
図(4)-2 各モニタリングツール ((a)捕獲わな、(b)ヘアトラップ、(c)センサーカメラ、(d)探索犬) によるマングース検出率 (実線：中央値、点線区間：95%信用区間)

そこで、マングース防除事業作業区域である13の区域ごとのデータ整理を行い（図(4)-3）先に構築した根絶確認モデルによる区域ごとのマングース生息個体数の推定を行った。その結果、現在マングースがほとんど確認されていない奄美大島南部地域などで比較的個体数が多く推定されるなど、現在の生息状況とは一致しない点が見られた。マングース防除事業ではマングースの分布拡大とともに捕獲作業が実施されてきたため、奄美大島南西部ではデータが不足していることなどのデータの空間的な不均一性や施策による努力量配分の年変化などがあることが原因として考えられた。作業区域後との推定については、モデル構築において上記のような課題があったため、奄美大島におけるマングース個体群の将来予測、および根絶確率の推定には、全島レベルで構築したモデルを用いた。



図(4)-3 区域ごとの各種モニタリングツールのデータ整理状況

将来予測では、中央値で2023年度前後、95%区間の上限値では、2030年度以降に奄美大島全島における根絶が達成されると予想された(図(4)-4)。また、根絶確率については、2020年度代前半に根絶確率が50%を超え、2025年度で約80%、2030年度以降では根絶確率は100%に近づくとして予測された。将来予測結果については、不確実性があるものの、今後10～15年程度で奄美大島全島における根絶が達成されると考えられる。各ツールの運用方針が年度によって異なるなどデータのばらつきを大きくする要因も含まれているため、推定幅に影響している可能性がある一方で、推定結果については、捕獲わな、ヘアトラップ、センサーカメラ、探索犬という4種類のモニタリングツールによるマングースの検出をもとにすることで、マングース検出における各ツールの特徴を生かし、かつトラップシャイ個体や探索犬による検出数の増加など捕獲わなのみによる推定では不足していた情報を取り入れたより現実的かつ有用な推定結果であると考えられる。

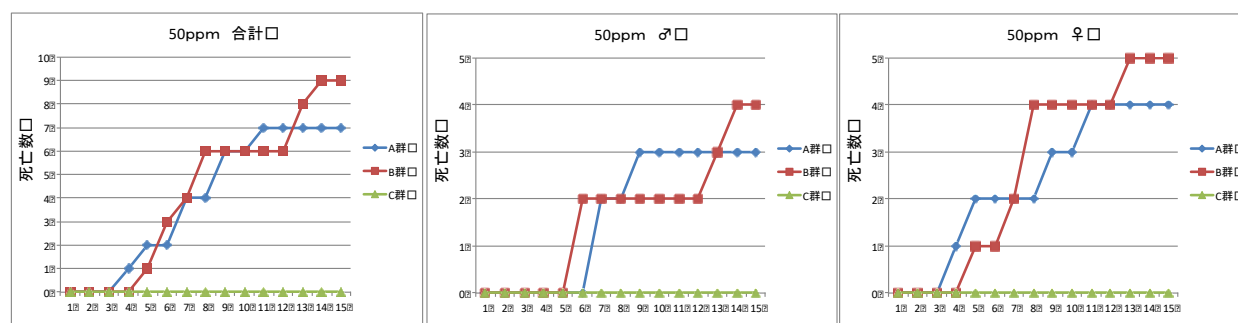


図(4)-4 根絶確認モデルを用いた奄美大島全島のマングース個体数将来予測(a)と根絶確率(b)
(実線：中央値、グレー区間：50%信用区間、点線区間：95%信用区間)

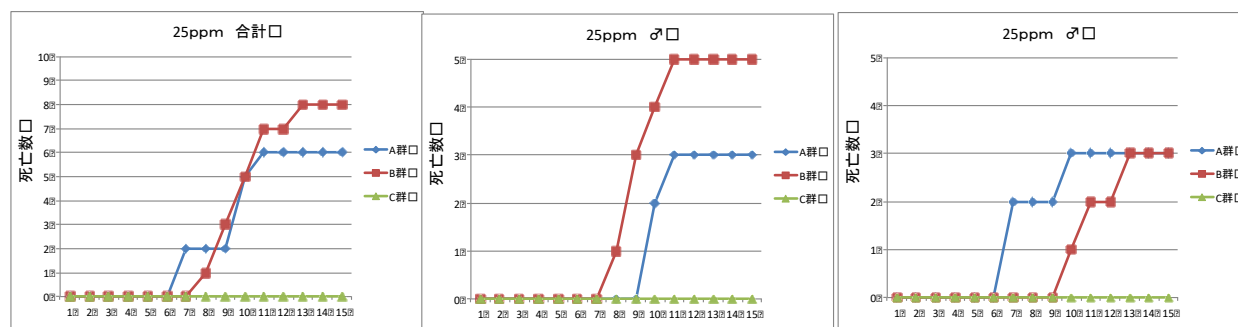
(2) マングース防除に向けた化学的防除手法の検討①：既存化学製剤等の有効性

1) ダイファシノン投与飼育下試験

外来種マングース対策を研究するアメリカ合衆国ハワイ島のUSDAにおけるプロトコルと同様の方法にてダイファシノン試験投与飼育下実験を実施した。試験は、ダイファシノン50ppmならびに25ppmの2つの濃度とし、それぞれの試験について1日（1回50g鶏ささみミンチ／日）投与群（雌雄各5個体，A群）、3日投与（1回50g鶏ささみミンチ／日を3日連続，B群）投与群（雌雄各5個体）ならびにコントロール群（雌雄各1個体，C群）を設定し、実施した。なお、各試験は投与開始後15日間の観察を行った。50ppm投与試験では、試験開始後3日目より死亡が確認され、試験終了時点で1日投与群では7個体、3日投与群では9個体が死亡した（図(4)-5）。25ppm試験では、試験開始後6日目より死亡個体が確認され、試験終了時点で1日投与群では6個体、3日投与群では8個体が死亡した（図(4)-6）。また、50ppm試験1日投与群に雌妊娠個体が含まれていたが、本個体は最初に死亡し、剖検した結果、胎盤から多量の出血が認められた。



図(4)-5 50ppm投与試験における累積死亡個体数



図(4)-6 25ppm投与試験における累積死亡個体数。

A群：1日投与群、B群：3日投与群、C群：コントロール群。

2) PAPP投与飼育下試験

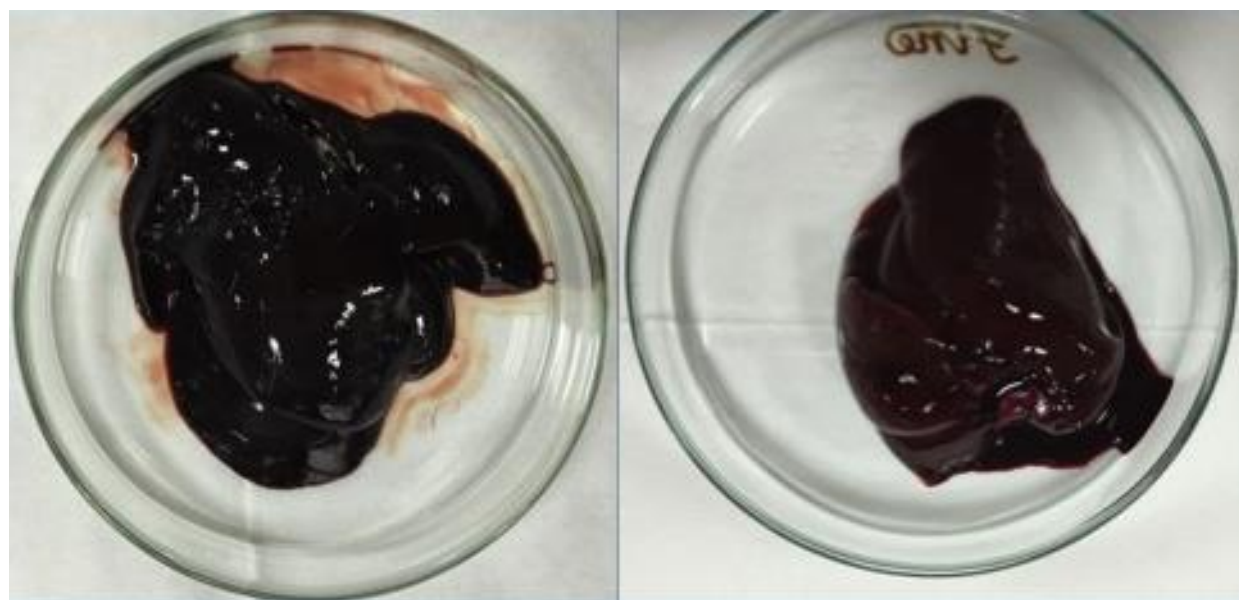
ハワイ島USDAでのプロトコルを参考に、日本にてマイクロカプセル化したPAPPの投与試験を行った。試験は、PAPP0.075%ならびに0.15%の2つの濃度とし、鶏ささみミンチ50gで単回投与を行い、投与後24時間の観察期間を設けた。なお、それぞれの実験個体数は、0.075%が雄6個体、雌5個体、0.15%は雌雄各5個体を用いた。0.075%投与群では、投与後1時間以内に1個体が、投与

後4時間以内に5個体が死亡し、6個体については24時間後においても生存していた。一方、0.15%投与群では、雌雄ともに60分以内に全ての個体が死亡した（表(4)-1、図(4)-7）。

表(4)-1 パラアミノプロピオフェノン（PAPP）の投与試験結果。

時間は摂食後の死亡までの時間をあらわし、suvは24時間後の生存を意味する。

PAPP0.075%投与群					PAPP0.15%投与群				
個体番号	性	摂食量(g)	mgPAPP	時間	個体番号	性	摂食量(g)	mgPAPP	時間
1A	雄	43.3	32.5	suv	1B	雄	50.0	75.0	60min
2A	雄	45.5	34.1	suv	2B	雄	49.0	73.5	60min
3A	雄	44.3	33.2	suv	3B	雄	24.7	37.1	60min
4A	雄	44.4	33.3	3h	4B	雄	33.2	49.8	60min
5A	雄	29.6	22.2	suv	5B	雄	47.4	71.1	60min
6A	雄	37.2	27.9	3h					
1a	雌	39.1	29.3	4h	1b	雌	45.0	67.5	60min
2a	雌	22.9	17.2	suv	2b	雌	50.0	75.0	60min
3a	雌	34.9	26.2	2h	3b	雌	37.4	56.1	60min
4a	雌	30.1	22.6	1h	4b	雌	31.6	47.4	60min
5a	雌	26.0	19.5	suv	5b	雌	14.5	21.8	60min



図(4)-7 PAPP投与死亡個体（左）とコントロール（右）の肝臓像。

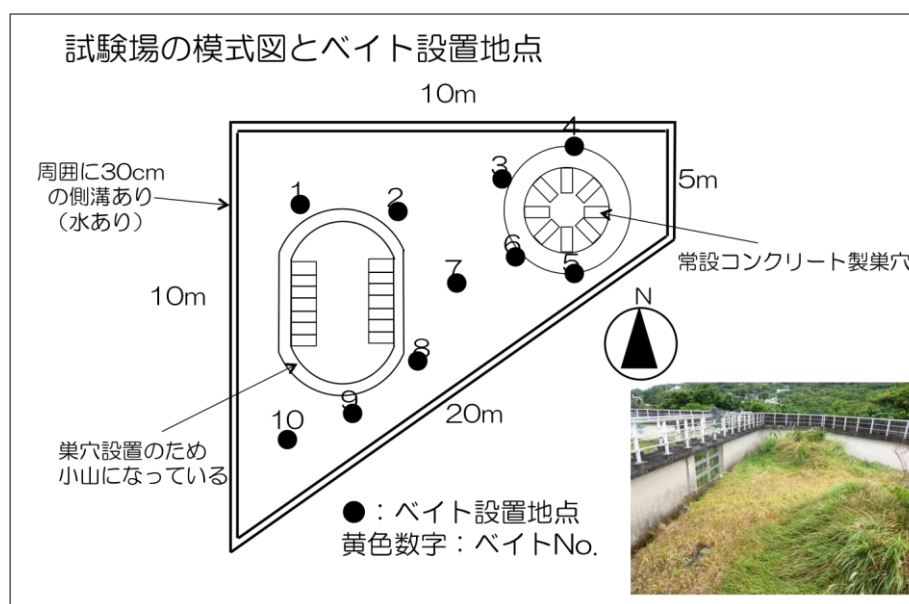
投与死亡個体は濃い赤褐色を呈する。

3) NaNO_2 投与飼育下試験

ハワイ島USDAでのプロトコルを参考に、 NaNO_2 投与試験を行った。投与試験は、未カプセル化 NaNO_2 5%の50g鶏ささみミンチを雄5個体ならびにカプセル化 NaNO_2 1%の50g鶏ささみミンチを雌雄各5個体に対し、単回投与を行い、投与後24時間の観察期間を設けた。未カプセル化5%投与群では、ほとんどの個体が摂食せず、1個体のみ死亡した。なお、未カプセル化 NaNO_2 では、試験用ミンチが変成してしまった。一方、カプセル化 NaNO_2 1%投与群では、投与後1時間以内に3個体が死亡し、投与後2時間以内には9個体が死亡した。

4) 半野外環境下でのPAPPとダイファシノン投与試験

各製剤の有効性ならびに野外環境下でのマングース忌避食性を確認するため、PAPPならびにダイファシノンの半野外環境下試験を実施した。半野外環境下試験は、図(4)-8の放飼場にて実施した。半野外環境下試験では、マングース個体数の倍数のベイトを設置した。各ベイトの設置地点は図中の黒丸で示したところである。試験は以下の3試験を行った。試験1) 0.15%PAPP メス5個体、試験2) 0.15%PAPP オス5個体、試験3) 50ppmダイファシノン オス5個体。なお、マングースは尾部の毛刈りにより個体識別を施し、試験期間中はモニターにてモニタリングを行った。なお、各試験のベイトについては、鶏ささみ肉のミンチ中に各必要濃度の基剤を混合させ、ソーセージフィルムにて50gずつに分けた。



図(4)-8 半野外環境下試験を実施した施設の概要

試験1：0.15%PAPP メス5個体

試験1のベイト消失数は、6/10個であり、24時間後死亡個体数は3/5個体であった。死亡個体については、試験開始後3時間以内にベイトを巣穴に持ち帰るのが確認されている。一方、生存個体のうち個体4については、3個のベイトを巣穴に持ち帰るものの、持ち帰ったベイトを食べた形跡が認められなかった。個体5については、ベイトへの接触を行わなかった。

試験 2 : 0.15%PAPP オス5個体

試験 2 のベイト消失数は、7/10個であり、24時間後死亡個体数は4/5個体であった。死亡個体については、試験開始後1.5時間以内にベイトを巣穴に持ち帰るのが確認された。個体1から3については1個のベイト接触のみであったが、個体4については2個のベイトを巣穴に持ち帰る行動が観察された。また、個体5については、2個のベイトを巣穴に持ち帰っていたが、ベイトを摂食した形跡が認められなかった。

以上の結果より、PAPPについては摂食すれば24時間以内での高い効果が認められた。しかし、中には巣穴への持ち運び行動はするものの、摂食に至らない個体が出ることも明らかとなった。

試験 3 : 50ppmダイファシノン オス5個体

ダイファシノン試験は、放飼場内10地点にベイトを3日連続で毎日設置し、合計30個のベイトを用いて行った。なお、24時間ごとに残餌の確認ならびに新しいベイトの設置を行った。その後、試験4日目からは通常のマングース飼育時に用いる飼料を給餌し、試験開始日を1日目とし、15日目まで観察を行った。

その結果、1日目から3日目まで設置した全てのベイトは、設置から24時間以内に全て摂食済みであり、巣穴中などにも残餌は確認されなかった。また、試験15日目までに死亡した個体は、3/5個体であった。

表(4)-2 50ppmダイファシノン半野外試験における
各個体の各日ベイト接触数ならびに死亡試験日

個体 番号	Day 1	Day 2	Day 3	Total	死亡日
1	3	2	5	10	Day 6
2	1	1	0	2	Day 10
3	3	2	3	8	Day 11
4	2	2	2	6	生存
5	1	3	0	4	生存

各個体がベイトに接触し、巣穴に持ち帰ったベイト数を表(4)-2に示す。死亡した個体のうち個体1は3日間で合計10個のベイトへ接触していたが、個体2は2個のみであった。今回試験では、巣穴にベイトを持ち帰った個体がベイトを食したかまでは確認できていない。しかし、飼育下試験に於いて50ppmダイファシノンベイト50gの摂食で70%の個体が死亡する事が明らかになっている。そのため、個体差は認められるものの、ベイトへの接触があれば一定の防除効果が認められることが明らかとなった。

さらに、個体4と個体5については、試験15日目まで生存していたが、試験終了後の剖検により、肺や消化管等での出血痕が認められた。このことは、これら生存個体についてもベイトを摂食し、ダイファシノンによる影響を受けていたことを示しており、ベイト3日連続投与後に更に一定期間の後ベイトを投入することで、これら生存個体に対しても更に高い防除効果を与えることができる可能性を示唆している。

(3) 在来齧歯類への影響評価

1) アカネズミへの影響評価

ハワイ島のUSDAにおけるプロトコルにおける投与法を基準に、マウス用飼料（MR-ブリーダー：日本農産工業株式会社）中にダイファシノンと混合させた飼料を作製し、アカネズミに対して試験投与飼育下実験を実施した。試験は、ダイファシノン50ppmならびに25ppmの2つの濃度とし、それぞれの試験について1日（1回／日）投与群（雌雄各2個体）、3日投与（1回／日）投与群（雌雄各2個体）ならびにコントロール群（雌雄各1個体）を設定し、実施した。なお、各試験は投与開始後15日間の観察を行った。その結果、観察期間中全ての個体が生存した（表(4)-3）。

表(4)-3 アカネズミに対するダイファシノンの投与試験結果

試験条件	試験 頭数	死亡数 (頭)
ダイファシノン20ppm×1日	4	0
ダイファシノン20ppm×3日	4	0
ダイファシノン40ppm×1日	4	0
ダイファシノン40ppm×3日	4	0
無処理（コントロール）	2	0

2) ダイファシノン投与飼育下試験供使個体のダイファシノン残留量

ダイファシノンベイトを採餌したマングースの体内残留量を測定し、ネズミ類への二次影響の可能性を考察した。最も高い値を示した50ppm3日投与群での肝臓中の残留量は $3.30 \mu\text{g/g}$ であった（表(4)-4）。マウス（LD50：22.7mg/kg）とラット（LD50：28.3mg/kg）では、半数致死量（LD50）はマウスの方が低いため、仮にこのマウスのLD50をトゲネズミへのLD50として仮想した場合、ダイファシノンに対する100gのトゲネズミのLD50は2.27mgとなる。アマミトゲネズミの1日当たりの節食量は10g以下（篠原ほか2013）とされている。50ppmダイファシノン3日投与群のマングースの肝臓中残留量平均は $3.3041 \mu\text{g/g}$ であり、この肝臓をトゲネズミが摂取したとしても、ダイファシノン摂取量としては $33.3 \mu\text{g}$ となる。このことから、仮にダイファシノンを摂取したマングースをトゲネズミが摂取したとしても、二次影響によってトゲネズミ類が致死的影響を被る可能性は低いと示唆された。

表(4)-4 ダイファシノン試験における各個体の組織中ダイファシノン残留量

		50ppm 1日投与群			50ppm 3日投与群			25ppm 1日投与群			25ppm 3日投与群		
		筋肉(μg/g)	肝臓(μg/g)	生死*	筋肉(μg/g)	肝臓(μg/g)	生死*	筋肉(μg/g)	肝臓(μg/g)	生死*	筋肉(μg/g)	肝臓(μg/g)	生死*
♂	1	0.09520	0.67280	7	0.01580	0.69610	13	0.00540	0.25380	L	0.05200	0.54130	10
	2	0.02190	0.52420	L	0.43260	4.24760	6	0.01700	0.71420	11	0.04420	0.61560	11
	3	0.01820	0.65600	L	0.01020	0.69340	14	0.01050	0.30750	L	0.23510	1.75610	9
	4	0.04670	0.54800	9	0.02790	0.58610	L	0.02940	0.63550	9	0.15730	2.04710	9
	5	0.08310	0.55970	7	1.09060	5.82310	6	0.13580	1.73420	9	0.27550	1.64070	8
	平均	0.05302	0.59214		0.31542	2.40926		0.03962	0.72904		0.15282	1.32016	
♀	1	0.53300	1.98510	4	0.64300	9.54970	5	0.03330	0.61580	10	0.05880	0.42620	10
	2	0.03160	0.47760	L	0.01140	1.14230	13	0.00400	0.28600	L	0.01830	0.45390	13
	3	0.13140	1.52310	5	1.42930	3.61170	7	0.00140	0.63980	7	0.07930	0.79050	11
	4	0.05660	1.12860	9	0.40030	5.09580	8	0.07820	0.49380	7	0.03030	0.70150	L
	5	0.01570	1.12090	11	0.40000	1.59580	8	0.01100	0.25310	L	0.01520	0.47860	L
	平均	0.15366	1.24706		0.57680	4.19906		0.02558	0.45770		0.04038	0.57014	
全体平均		0.10334	0.91960		0.44611	3.30416		0.03260	0.59337		0.09660	0.94515	

*生死の数値は試験開始後の死亡確認日、Lは観察期間中の生存個体を示す。

3) ダイファシノン半野外試験供使個体のダイファシノン残留量

ダイファシノンベイト半野外環境下試験において、ベイト設置地点の土壌ならびに供試個体、フン中のダイファシノン残留測定を行った。土壌は、試験4日目にベイト設置地点の表面土壌を採取、フンは試験期間中に見つけられたものを適宜採取、供試個体は死亡個体については死亡日中に剖検し、筋肉、肝臓をそれぞれ採取、生存個体については試験15日目に安楽死させ、その後、筋肉、肝臓をそれぞれ採取し、残留量測定までの間、冷凍保存した。

供試個体中の残留量を表に示す。その結果、10個のベイトに接触した個体1の肝臓において14.1μg/gの最も高い残留が認められた（表(4)-5）。仮に在来希少齧歯類を想定した場合に、マウスで既知のLD50の値を基に算出した場合、100gのオキナワトゲネズミであれば2.27mgがLD50となりうる。この値は、最も高い残留を示した個体1の肝臓を約160g摂食しなければ達しない値で有り、その影響は極めて低いと見積もられた。

ダイファシノン残留量分析の結果、土壌については設置全10地点において、ダイファシノンは検出されず、ベイトによるダイファシノンの環境中流出は認められなかった。フン中残留量については、試験期間中に採取した8個について分析を行った。その結果を表に示す。試験3日目、7日目、8日目にそれぞれ2個体分のフンを採取した。その結果、試験7日目の1個体分について49.9μg/gの残留が認められたが、それ以外については4.6から16.6μg/g程度の残留であった（表(4)-6）。

表(4)-5 半野外試験における各個体の組織中ダイファシノン残留量

個体番号	筋肉	肝臓	生死
1	4.0483	14.0508	Day 6
2	1.6765	5.7809	Day 10
3	0.6102	3.4525	Day 11
4	0.0208	0.6725	生存
5	0.0329	0.7482	生存

表(4)-6 半野外試験におけるフン中ダイファシノン残留量

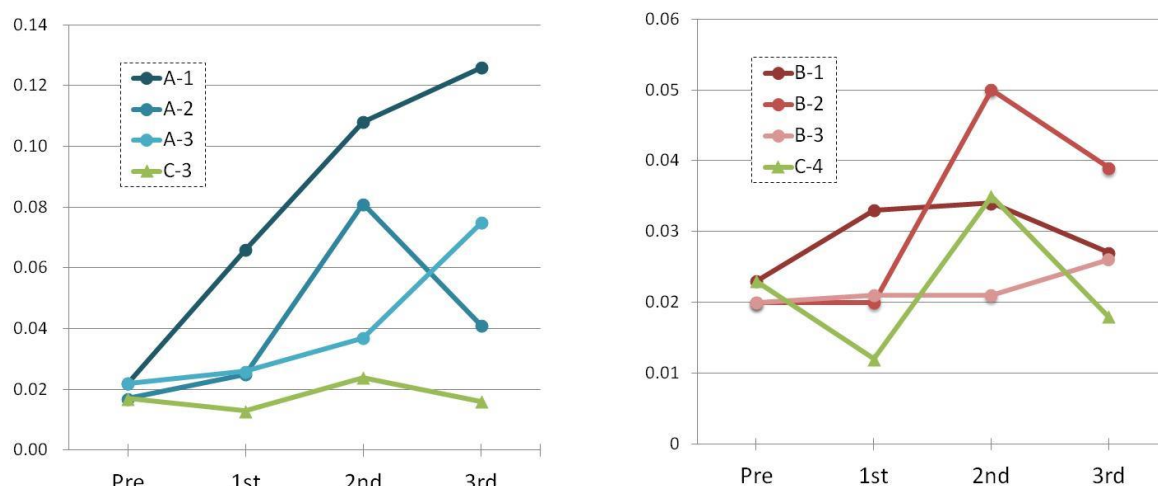
フン番号	ダイファシノン(μg/g)
Day 3-1	16.5753
Day 3-2	11.3872
Day 7-1	5.0445
Day 7-2	49.9022
Day 8-1	6.2006
Day 8-2	4.5746

（４） マングース防除にむけた化学的防除手法の検討②：避妊ワクチンの開発

１）抗体価の評価（ELISA法）

マングースに有効な避妊ワクチン抗原を開発するにあたり、ワクチン抗原候補として作成した２種類の合成ペプチドAおよびBの抗原性をスクリーニング的に評価した。すなわち、合成ペプチドAおよびBを各ペプチドにつき３頭（それぞれA群、B群とする）の雌マングースに合計４回

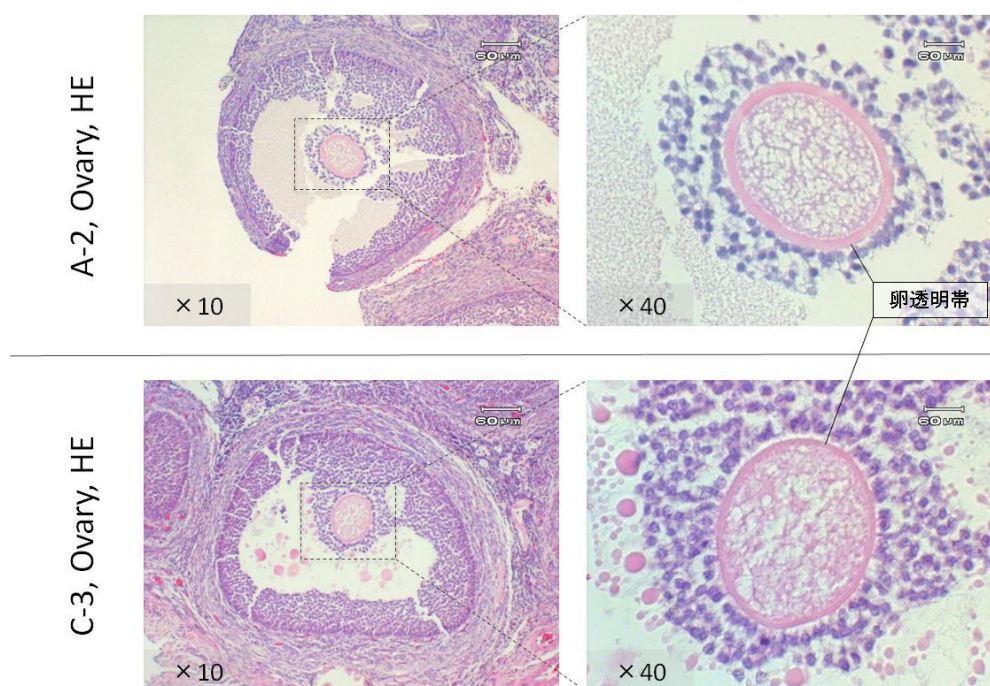
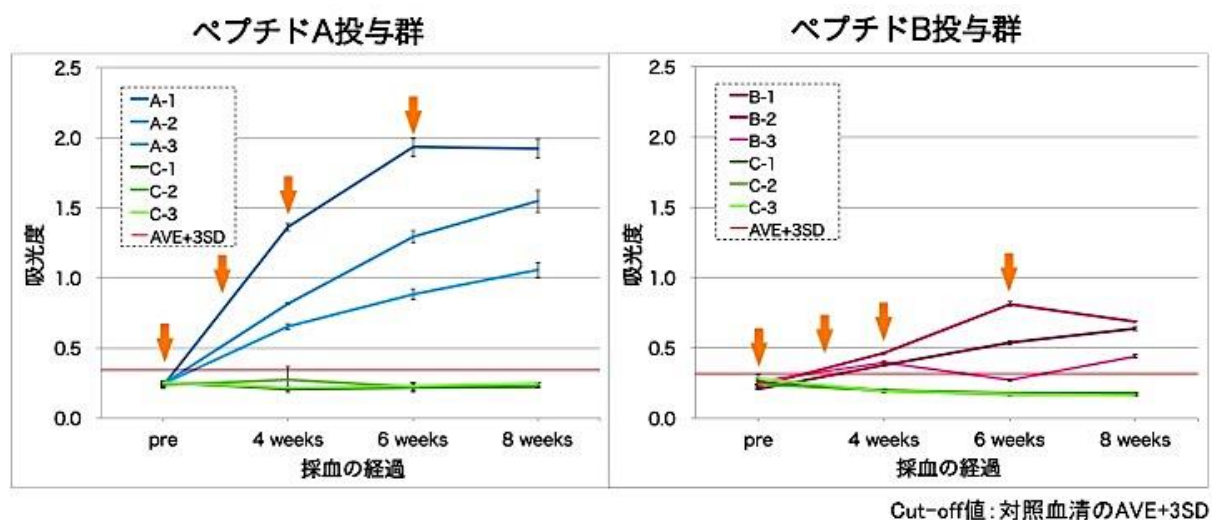
（Pre、1st、2nd、3rd、4th）皮下注射し、各ペプチド投与直前に採血した血清中の抗体価の測定結果を図(4)-9に示した。A群では、投与開始時およびコントロールと比較して概ね経時的な抗体価の上昇が認められた。ペプチドB群では、B-2については多少の増加傾向が認められるものの、投与開始時およびコントロールと比較して大きな変化は認められなかった。ペプチドAはBよりもワクチン抗原候補として有力な可能性があることが示唆された。しかし、本実験では２次抗体として抗フェレットIgG抗体を用いたため、続いての試験ではELISA法の測定について改良を行った。



図(4)-9 合成ペプチドA（左）およびB（右）投与群の抗体価の評価（ELISA）。A、Bの各群3頭ずつ（A1-3、B1-3）の抗体価および対照個体（C-3またはC-4）の抗体価の変動を示す。

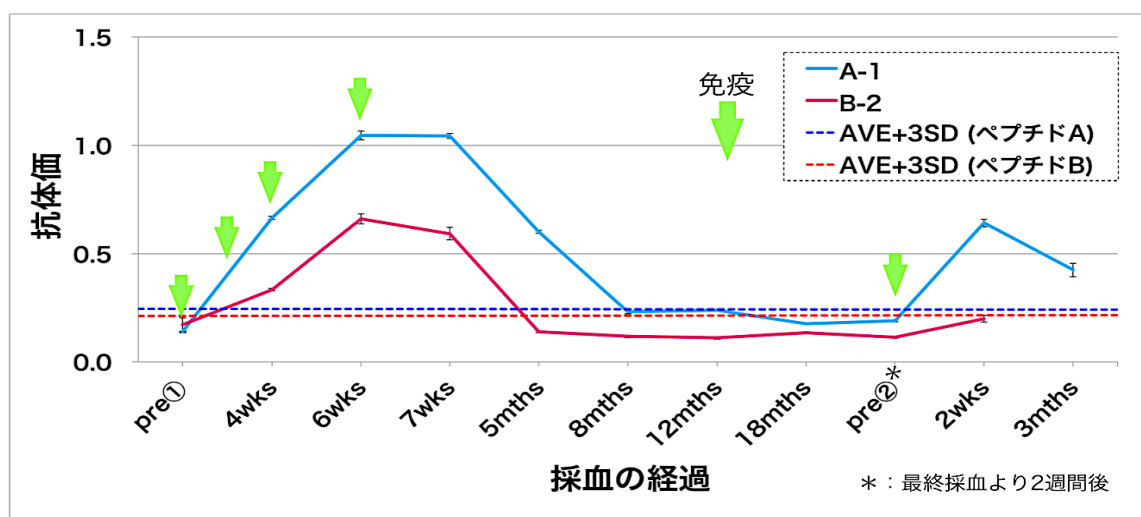
２）合成ペプチドの免疫原性の評価（ELISA法）

１）で実施したELISA法を改良して行った抗体価の測定結果を図(4)-避妊ワクチン2に示す。全対照群血清の平均値＋標準偏差の3倍（AVE+3SD）をCut-off値として陽性判定を行ったところ、図(4)-10の通りペプチドB投与群の1個体を除く全ての免疫個体でペプチド投与に従って抗体価の有意な上昇が認められ、特にペプチドA投与群では比較的高度な抗体価の上昇が確認された。



4) 抗体価の持続性および免疫記憶の評価 (ELISA法)

3) で示した通り、合成ペプチドAおよびBとも抗原性を有しており、避妊ワクチン抗原候補として有用であることが示唆された。そこで、A群のうちA-1個体とB群のうちB-2個体については、飼育を継続して抗体価の推移や免疫記憶の評価を行った。その結果、図(4)-12に示した通り、一連の計4回の免疫実施後、合成ペプチドA投与個体 (A-1) においては約12ヶ月以上、同B投与個体 (B-2) においては約5ヶ月に満たない抗体価の持続性を示した。また、追加免疫Pre② (初回免疫Pre①から約18ヶ月2週間後に実施) による抗体価の上昇は、初回の一連の計4回免疫による抗体価の上昇と比較し、いずれの合成ペプチド投与個体においても高度な免疫記憶は認められなかった。そのため、B-2 個体はその後の抗体価の追跡は行わなかった。またA-1 個体についても、追加免疫Pre②から3ヶ月後には抗体価が低下しており、この時点で抗体価の追跡を終了した。これまでに得られた結果を総合して評価すると、合成ペプチドAはBより免疫効率が高く、ワクチンの抗原としての有用性は高いものと推察される。しかし、抗体価 (抗原性) は避妊効果そのものを表現するものではないことから、授精阻害試験などの避妊効果の検証を行う必要がある。また、両合成ペプチドとも、避妊ワクチンの有効性を担保するための高い抗原性と免疫記憶を持たせる改良が必要だと考えられた。



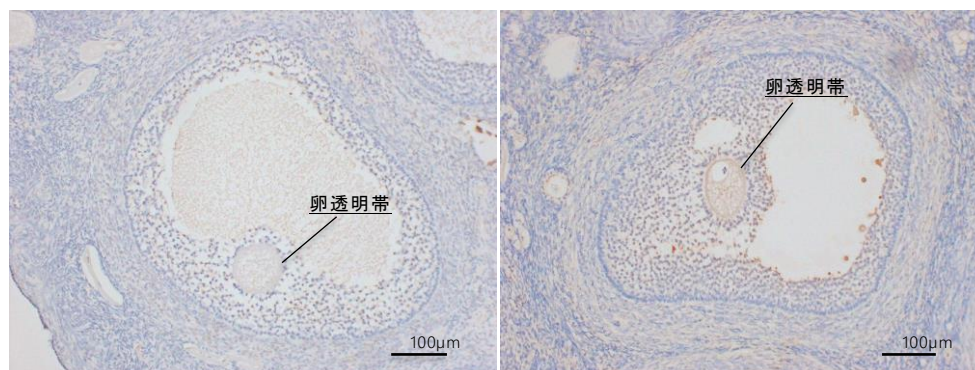
図(4)-12 合成ペプチドA (青) およびB (赤) 投与個体の抗体価持続性および免疫記憶の評価 (ELISA法)

合成ペプチドAを投与した雌マングースA-1と同Bを投与した雌マングースB-2の抗体価の経時的変化を示す。矢印 (緑) は免疫を実施した時期を、点線はCut-off値 (対照群血清の平均値+標準偏差の3倍 (AVE+3SD)) を示す。一連4回の免疫完了後、抗体価は徐々に減少した。また、初回免疫 (Pre①) から約18ヶ月2週間後に実施した追加免疫 (Pre②) 後、両個体とも高度な免疫記憶は認めず、A-1では3ヶ月後には抗体価が低下した。

5) マングース血清中抗体の抗原認識能の評価

合成ペプチドAにより免疫された雌マングースの血清中抗体の、抗原 (卵透明帯) 認識能を評価するため、マングース卵巣と合成ペプチドA投与個体血清 (一次抗体) を用いた免疫染色を行った。その結果、生体抗原 (マングース卵透明帯) と産生抗体との特異的な反応は認められな

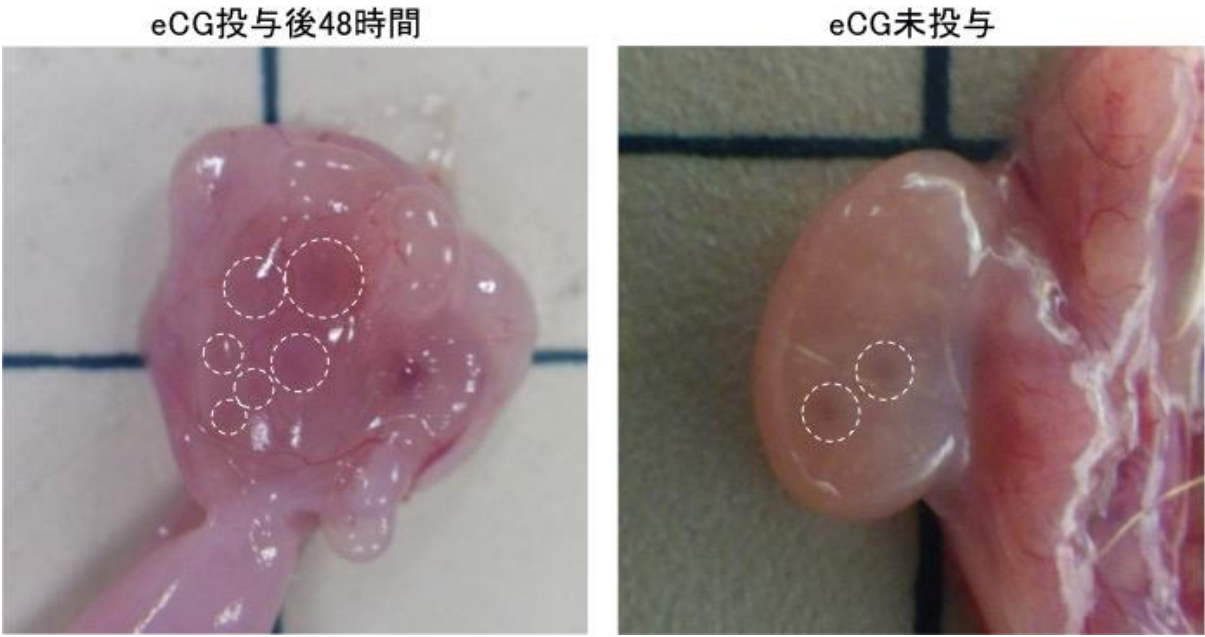
った（図(4)-13）。これは、合成ペプチドのエピトープ部位や立体構造が、卵透明帯のそれらと異なることなどが要因として考えられた。今後は、合成ペプチドおよび卵巢組織を用いたウェスタンブロッティングにより、一次構造化抗原に対する血清中抗体の反応を比較することで、ペプチドの有用性を評価したい。



図(4)-13 マングース卵巢を用いた免疫染色の結果（左：合成ペプチドAにより免疫した個体（A-1）の血清を一次抗体として用いた。右：免疫していない対照個体の血清を一次抗体として用いた。いずれの場合も、二次抗体は抗フェレットIgG抗体（HRP）を用いた。）。合成ペプチドA投与血清も対照血清とも、マングース卵透明帯との特異的な抗体の反応は認めなかった。

6) in vitroでの避妊効果の検証

避妊ワクチンの抗原候補である合成ペプチドAまたはBにて免疫された雌マングースの避妊効果の評価するには、免疫した雌と正常な雄とを交配させて妊娠が抑制されることを確認する方法が確実である。しかし、これまで本種では飼育下繁殖の成功例がないことから、in vitroでの避妊効果の検証（体外での成熟卵-成熟精子との受精の阻害試験）を行う必要がある。そこでまず、成熟卵を得るための卵胞の過発育誘起実験を試みた。馬絨毛性性腺刺激ホルモン（eCG）を雌のマングースに投与した結果、48時間後に未投与個体と比較して多数の胞状卵胞が形成され（図(4)-14）、卵胞の切開により卵子の採取が可能であることが確認された。



図(4)-14 妊馬絨毛性性腺刺激ホルモン（eCG）の投与による卵胞の過発育誘起。
eCGを投与したマングース（左）では対照（右）と比較して投与後48時間で多数の卵胞の形成が認められた。白破線で囲った領域は肉眼的に卵胞の形成が確認された部位を示す。

7) 繁殖抑制効果の検証のための評価系の確立（卵子回収）

馬絨毛性性腺刺激ホルモン（eCG）10または20単位（IU）を、それぞれ6頭の雌のマングースに投与して卵胞の過発育を誘起させ、48時間後にヒト絨毛性ゴナドトロピン（hCG）を100単位投与して排卵誘起させた。その後、各個体を安楽殺して卵子回収を試みた。その結果、eCG 20IUの投与により卵胞の顕著な発育が認められたが（表(4)-7）、いずれの個体でも排卵には至らず卵子は回収できなかった。今後はより高容量での薬剤投与（eCG, hCG）による実験を行うなど、成熟卵子回収のプロトコールの確立が必要である。さらに、回収卵子と雄から採取した新鮮な精子を用い、ワクチン抗原により免疫された個体の血清中抗体による受精阻害効果を検証する予定である。

表(4)-7 馬絨毛性性腺刺激ホルモン（eCG）によるマングースの過排卵処置の結果

	1	2	3	4	5	6
eCG 20IU	+++	+	+	+++	++	+++
eCG 10IU	-	-	+	-	-	+
PBS	-	-	-	-	-	-

成熟卵胞(>1mm) の判定 ++: 1~4個, ++: 5~9個, +++: 10個以上

eCG 10または20単位（IU）を各6頭の雌マングースに投与した後の卵胞の発育誘起による成熟卵胞スコアを示した。20IUのeCG投与により顕著な卵胞の発育が誘起された。

8) ワクチンデリバリーシステムの選定

経口避妊ワクチンの将来的な野外散布を念頭に、海外における避妊ワクチン開発の先行事例および法的制限（カルタヘナ法）を考慮し、デリバリーシステムとしてウイルスベクター、バクテリアゴーストおよびナノマテリアルの3種について実用可能性を比較検討した。バクテリアゴーストは酵素により死滅させたグラム陰性菌にワクチン抗原となるペプチドを導入することで経口免疫を可能とするワクチンベクターであり、増殖能がなく環境中に排出しても生物学的に安全であると考えられている。これらの理由から、バクテリアゴーストを用いたワクチンデリバリーシステムの適用が妥当だと考えられた。

5. 本研究により得られた成果

（1）科学的意義

根絶予測モデルでは、奄美大島全島における将来予測により、2020年度前半に根絶確率が50%を超え、2025年度で約80%、2030年度以降では根絶確率は100%に近づくと予測された。不確実性があるものの、今後10～15年程度で奄美大島全島における根絶が達成されると推定された。

既存化学製剤によるマングース防除は困難であると考えられてきたが、飼育下試験ならびに半野外試験の結果、ダイファシノンの有効性を示すことができた。さらに、マングース防除事業への導入を想定した手法提言を行った。

避妊ワクチン開発については、生体マングースに対して抗原性が高いワクチン抗原候補2種類を絞り込むことができた。経口避妊ワクチン開発を実現可能と考えられる。

（2）環境政策への貢献

特に記載すべき事項はない。

<行政が既に活用した成果>

環境省の奄美大島における特定外来生物マングース防除事業において、本研究成果であるダイファシノンによる化学的防除が2017年4月より実施することとなった。2017年1月の検討会に本研究成果を情報提供し、当該検討会に於いて実施することが決定した。

やんばる野生生物保護センターおよび奄美野生生物保護センターにおいて、マングースの個体抑制手法としての避妊ワクチンの有用性や研究成果を説明し、外来種の化学的防除の普及啓発に貢献した。

環境省那覇自然環境事務所主催及び奄美野生生物保護センターにおいて「外来生物セミナー Phil Cowanさんをお迎えして」において、本研究成果であるマングースの避妊ワクチン開発に関する研究の結果を説明し、化学的防除の普及啓発に貢献した。

奄美大島（環境省）と沖縄島北部（環境省・沖縄県）で実施中のマングース防除事業の検討会等において、本研究の成果であるダイファシノンの試験結果や野外での使用案及び今後の適用手順案などを提供し、防除事業への今後の適用検討に貢献した。その結果として、2017年度環境省奄美大島マングース防除事業において、4月より化学的防除の野外試験が開始されることとなった。

＜行政が活用することが見込まれる成果＞

環境省の奄美大島における特定外来生物マングース防除事業において、本研究成果であるダイファシノンによる化学的防除が2017年4月より実施することとなった。さらに、本研究成果である根絶予測モデルにより奄美大島では10年から15年で根絶達成見込みであることが試算され、本成果が事業に反映されることが見込まれる。

6. 国際共同研究等の状況

2015年度ならびに2017年度にUSDAのRobert Sugihara氏を沖縄と東京に招聘し、ダイファシノンならびにPAPPの試験についての指導を受けた。さらに、本研究成果で実施した半野外試験については、ハワイに情報提供した。これらに加え、2017年度4月より奄美大島において実施される化学的防除に関する各種情報は、世界のマングース防除に関わる関係者に大きく貢献することが期待される。

7. 研究成果の発表状況

（1）誌上発表

＜論文（査読あり）＞

- 1) 三谷奈保・諸澤崇裕・山下 亮・喜岡正吏・後藤義仁・橋本琢磨・北浦賢次・山田文雄・阿部慎太郎・石川拓哉：野生生物と社会，2：11-22（2014）
「奄美大島のマングース対策に導入された探索犬の評価」

＜その他誌上発表（査読なし）＞

- 1) 浅野玄・小林恒平：獣医畜産新報，文永堂出版，Vol.97，No.9，p667-672（2014）
「繁殖抑制とくに避妊ワクチンによる野生動物の個体数管理の展望と課題」
- 2) 浅野玄：生活と環境，日本環境衛生センター，Vol.60，No.6，p19-24（2015）
「外来種等の生息域拡大による被害を考える」
- 3) 橋本琢磨・港隆一・中田勝士・城ヶ原貴通・Robert T. Sugihara・山田文雄・常田邦彦・池田透：哺乳類科学，55，94-95（2015）
「外来哺乳類対策における化学的防除」

（2）口頭発表（学会等）

- 1) 浅野玄・峰本隆博・森孝之・鈴木正嗣：日本哺乳類学会2014年度大会（2014）
「ファイリマングースの個体数抑制手法としての避妊ワクチン開発（3）」
- 2) 中田勝士・城ヶ原貴通・Robert Sugihara・橋本琢磨・山田文雄：日本哺乳類学会2014年度大会（2014）
「マングース防除事業と化学的防除の検討について」
- 3) 橋本琢磨：日本哺乳類学会2014年度大会（2014）
「外来哺乳類における化学的防除」
- 4) 山田文雄・城ヶ原貴通・橋本琢磨：第62回日本生態学会大会（2015）

「マングース防除における毒餌の活用とその必要性」

- 5) 橋本琢磨・諸澤崇裕・木村麻里子：第62回日本生態学会大会（2015）
「奄美大島におけるマングース防除事業の現状と成果」
- 6) Jogahara T: 5th International Wildlife Management Congress in #Session 66, The Advanced Approaches for Eradication of Invasive Alien Species, (2015)
“Some advanced approaches for invasive mongoose in Amami-Oshima and Okinawa Island in Japan”
- 7) Asano M: 5th International Wildlife Management Congress in #Session 66, The Advanced Approaches for Eradication of Invasive Alien Species, (2015)
“Immunocontraceptive Vaccines for Alien Mongoose and Raccoon.”
- 8) 浅野玄・國永尚稔・峰本隆博・森孝之・森直人・鈴木正嗣：第21回日本野生動物医学会大会（2015）
「外来哺乳類の個体数制御法としての避妊ワクチンの展望と課題」
- 9) 國永尚稔・浅野玄・森直人・鈴木正嗣：第21回日本野生動物医学会大会（2015）
「フイリマングース (*Herpestes auropunctatus*) における避妊ワクチン抗原候補ペプチドに対する自己抗体産生能の評価」
- 10) 城ヶ原貴通・中田勝士・Robert T Sugihara・橋本琢磨・石橋治・山田文雄：第21回日本野生動物医学会大会（2015）
「特定外来生物マングースにおける化学的防除手法（ダイファシノン）の検討」
- 11) 城ヶ原貴通・中田勝士：第21回「野生生物と社会」学会（2015）マングース根絶に向けた技術開発の取り組み
「化学的防除手法の開発と導入法の検討」
- 12) 諸澤崇裕・城ヶ原貴通：第21回「野生生物と社会」学会（2015）マングース根絶に向けた技術開発の取り組み
「複数のモニタリングツールを用いたマングース根絶評価手法の検討」
- 13) 浅野玄：日本哺乳類学会2016年度大会（2016）
「外来種の個体数管理における避妊ワクチンの展望と課題」
- 14) 國永尚稔・浅野玄・森直人・鈴木正嗣：日本哺乳類学会2016年度大会（2016）
「フイリマングースの個体数抑制手法としての避妊ワクチン開発(4)」
- 15) 山田文雄・城ヶ原貴通・中田勝士・Robert T. Sugihara・橋本琢磨：第64回日本生態学会大会（2017）
「マングース根絶のための化学的防除の技術開発」

（３）知的財産権

特に記載すべき事項はない。

（４）「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) 外来生物専門家として徳之島小中高校生への夏休み自由研究の講師（2016年8月）
- 2) 奄美の森のこと猫のこと。（2017年1月7日、奄美ネコ問題ネットワーク、奄美博物館）

(5) マスコミ等への公表・報道等

- 1) 河北新報（2014年10月1日、宮城県版、19）
- 2) テレビ朝日「たけしのTVタックル」（2014年10月27日、外来アリ類の侵入リスクに関する解説）
- 3) 中日新聞こどもウィークリー（2016年年11月19日）増えすぎ外来種
- 4) 鹿児島テレビ（2017年1月24日）みんなのニュースかごしま（18:14～）
- 5) 南海日日新聞（2017年1月25日）化学的防除導入へ 国内初、大和村嶺山対象に
- 6) 奄美新聞（2017年1月25日）大和村嶺山で科学的試験 マングース防除事業 名音を重点区域に移行
- 7) 南日本新聞（2017年1月25日）マングースに薬入り餌 環境省奄美で4月駆除試験
- 8) 南海日日新聞（2017年4月12日）国内初の薬剤防除試験開始 環境省奄美自然保護官事務所 新手法のマングース対策
- 9) 産経ニュース（2017年4月12日）マングース、奄美で本格駆除 希少動物・農作物に被害
- 10) 産経WEST（2017年4月12日）毒入り餌でマングース駆除-ハブ退治のため持ち込みも・・・農作物被害 奄美大島で開始

(6) その他

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）琵琶湖におけるオオクチバス等の重点的防除対策

滋賀県立琵琶湖博物館

研究部 中井克樹

平成26(開始年度)～28年度累計予算額：8,700千円（うち平成28年度：2,800千円）

予算額は、間接経費を含む。

〔要旨〕

特定外来生物の北アメリカ原産のオオクチバスを対象に、本課題では、これまでの防除手法を参考にしながら、地域に根ざした活動の展開を含めた重点的防除対策のあり方を検討した。標題にある「琵琶湖」では周辺水域である内湖の神上沼（滋賀県彦根市）と湖北野田沼（同長浜市）において、地元の協力のもとオオクチバス等の防除や普及啓発に向けた取り組みを行い、その取組については博物館展示において広く一般に公開する形で紹介した。

オオクチバスの繁殖活動を阻害する「吊り下げ式人工産卵装置」は、仕様と設置方法の改良を松元ダム貯水池（鹿児島県鹿児島市）、苫田ダム貯水池（岡山県鏡野町）、早月川河口溜まり（富山県魚津市）、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）で、それぞれ異なる環境条件における装置の汎用性の向上を検討し、衝立付きや沖出し設置などの有効性を確認した。宅部池では、研究期間中の2016年1月に「かいぼり」が実施され、その効果についても確認を行うことができた。

オオクチバスの繁殖期間中に水位が安定して維持される貯水池と洪水期に備えた水位低下が行われる貯水池として、それぞれ苫田ダム貯水池と三春ダム貯水池（福島県三春町）において、オオクチバスの効果的な繁殖抑制の対策手法を類型化して取りまとめた。小規模水域である都立狭山公園宅部池と早月川河口溜まりでは、人工産卵装置を岸沿いに多数設置し、装置への繁殖誘導がもたらす生息抑制効果を検証した。

サブテーマ6で開発され研究が深められているフェロモン・トラップについては、琵琶湖の駆除個体からフェロモン物質を含むと考えられるオスの胆汁を十分量確保し、低密度水域である苫田ダム貯水池においてフェロモントラップの試験設置を実施した。

〔キーワード〕

オオクチバス、琵琶湖、貯水池、人工産卵装置、フェロモン・トラップ

1. はじめに

特定外来生物に指定されている魚類のうち、北アメリカ原産のオオクチバスは、国内における分布範囲が1970年代より目立ち始め、分布域はほぼ全国に拡大し、さまざまな水域環境に生息している。その結果、オオクチバスは滋賀県・琵琶湖で1980年代に激増し、魚類群集が激変したことを皮切りに、生態的影響や水産業被害が各地で顕在化してきている。そのため、漁業の現場では、漁業関係者らが既存の漁法を応用した防除活動に携わり、近年、生物多様性保全の重要性の認識が高ま

るにつれ、市民による防除活動も各地で行われるようになってきている。一方、研究調査活動も水産関係試験研究機関を中心に実施され、オオクチバスの生息を抑制するためのさまざまな手法が検討・開発されている。しかしながら、環境省が公開している手引き¹⁾においては2013年度末の時点での参考文献の羅列に留まり、新規に開発された技術はもちろん、従来からの手法についても具体的には十分に紹介されていない状況にあり、水域環境のタイプごとに総合的防除に向けた事例の蓄積とその類型化を行うとともに、普及啓発に向けた取組のあり方についても検討することが必要である。

2. 研究開発目的

本研究課題の主な対象である特定外来生物・オオクチバスは、国内各地に分布を拡げ、多様な水域環境に生息し、長年にわたって防除の取組が行われ、さまざまな手法が開発されてきているが、個体の捕獲に関するものが中心で、繁殖の抑制に関するものは自然産卵床の破壊と伊豆沼で開発された直置き式の「人工産卵床」などがあるのみである。

本研究課題においては、これまで開発が不十分であった繁殖抑制による防除手法に注目し、利用に制約の大きい伊豆沼式人工産卵床を原型とした「吊り下げ式人工産卵装置」の仕様と設置方法を改良して汎用性を高めることをめざすとともに、これまでに手法の検討が十分なされてこなかったが、下流域への外来魚の供給源になりうるおそれから適切な管理が求められるダム貯水池においても水位操作方法に注目した効果的な繁殖抑制手法の確立をめざすことを目的とする。

加えて、新たに宮城県伊豆沼で開発された、繁殖メスを誘引・捕獲するためのフェロモン・トラップを他の水域でも適用することを目的として、オオクチバスの低密度水域であるダム貯水池で野外実験を行う。

3. 研究開発手法

(1) 水域類型に応じたオオクチバス等の低密度化を目指した総合的防除手法の検証

琵琶湖内湖の神上沼（滋賀県彦根市）と湖北野田沼（同長浜市）では、それぞれ「滋賀県大生き物研究会」と「長浜市湖北野鳥センター」の協力を得て、オオクチバス等の防除や普及啓発の取組を行い、博物館展示での展開も試みた。

オオクチバスの繁殖活動を阻害する吊り下げ式人工産卵装置の仕様と設置方法の改良については、苫田ダム貯水池（岡山県鏡野町）で開発された基本仕様と、三春ダム貯水池（福島県三春町）で試行された沖出し設置方法に基づき、衝立付き仕様を初めて試行した松元ダム貯水池（鹿児島県鹿児島市）のほか、早月川河口溜まり（富山県魚津市）と都立狭山公園宅部池（東京都東村山市）において、仕様として衝立の有無の比較、設置方法として沖出しと岸沿いの比較を行い、有効性を検証した。このうち、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では、岸沿いの全周に渡り装置を設置し、人工産卵装置による繁殖抑制効果について検証を行った。

ダム貯水池においては、さらに、オオクチバスの繁殖期間中にそれぞれ水位が安定して維持される貯水池と洪水期に備えた水位低下が行われる貯水池として、オオクチバスの効果的な繁殖抑制の対策手法を、野外調査に基づき検討した。

（２）オオクチバス低密度試験水域におけるフェロモントラップの有効性確認

オオクチバスの生息密度が低減している苫田ダム貯水池において、宮城県伊豆沼で開発されたフェロモントラップの設置試験を継続した。この実験に用いるオオクチバスの繁殖期のオスの胆汁は、琵琶湖で駆除された個体から胆嚢を摘出することで確保した。

４．結果及び考察

（１）多様な試験水域におけるオオクチバス等の低密度化を目指した総合的防除手法の検証

１）琵琶湖内湖

ａ．神上沼

神上沼では地元で活動する滋賀県立大学の学生サークル「滋賀県大生き物研究会」の協力を得て、2014年から吊り下げ式人工産卵装置の製作・設置を試みたが、湖岸沿いが急深である箇所が多いため傾斜の緩やかな箇所限定される結果となり、さらに2016年には特定外来生物・ナガエツルノゲイトウが大規模群落に成長し、装置を設置できる場所がほとんど失われた（図(5)-1）。こうした事情により吊り下げ式人工産卵装置の効果的な利用が難しかったため、親の保護から独立後のオオクチバスの稚魚群を、柄付き網で積極的に捕獲して当歳魚の生息抑制が継続的に行われた。その結果、稚魚の捕獲個体数が多くなるほどオオクチバスの当歳魚の捕獲努力量当たりの個体数（CPUE）が低減する傾向が認められ、オオクチバス当歳魚の生息密度が低減されたことが推測され、多様性指数が上昇傾向を示すなど、在来魚の回復傾向も確認された（北野大輔，私信）。



図(5)-1 滋賀県立大学学生による吊り下げ式人工産卵装置と神上沼での設置作業（2014年）、および湖岸における特定外来生物ナガエツルノゲイトウの増殖（2016年）。

ｂ．湖北野田沼

湖北野田沼では、2015年度に地元長浜市の環境学習コース「こほたん」と連携し吊り下げ式人工産卵装置の製作・設置とその後の見回りを行ったが、プログラム開始時期が遅かったためかモツゴ卵の産み付けは多く確認されたが、オオクチバスの産卵利用はなかった（図(5)-2）。2016年度は、市側のプログラムの運営上、連携が難しくなった。しかし、人工産卵装置によるオオクチバス対策は、滋賀県立琵琶湖博物館の2016年度の企画展示と、展示リニューアルで2017年度に完成予定の「研究スタジアム」（学芸職員の研究内容紹介コーナー）の担当部分で展示されることとなり、映像撮影等が行われている。



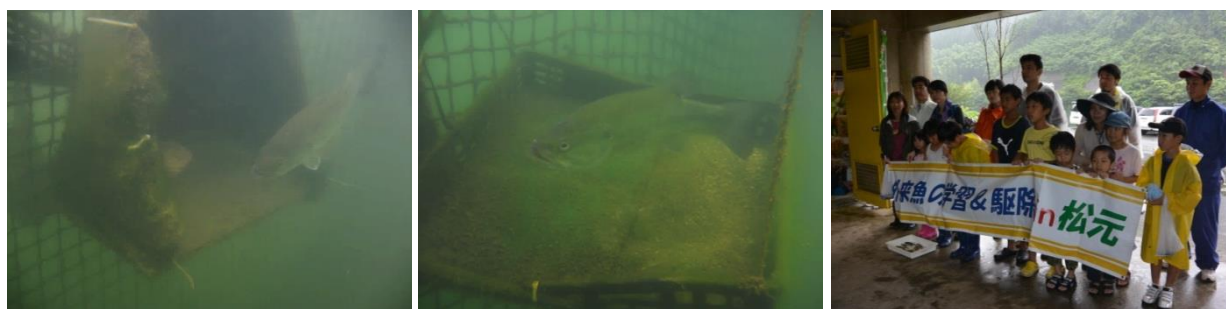
図(5)-2 親子連れ環境学習における吊り下げ式人工産卵装置の製作と設置、および見回りににおけるモツゴ卵の産み付け確認（2015年）。

2）松元ダム貯水池（鹿児島県鹿児島市）

農業用に建設された松元ダム貯水池では、2014年の鹿児島大学大学院生と共同で、湖岸沿いに16基、網場に24基の計40基の吊り下げ式人工産卵装置を設置したが、2015年にはその大学院生の卒業によりダム管理者のみで装置の点検を実施する体制となったため、作業努力を縮小して網場に限って16基の装置となり、2016年もその体制が継続された。

2014年は繁殖期初期から調査が実施されたのに対し、2015年には豪雨が頻発し、2016年には熊本地震が発生し、両年とも装置の設置が遅れたが、オオクチバスの産卵は2014・2015年に4回、2016年には6回確認され、装置1基当たりの産卵頻度は徐々に高まる結果となった（図(5)-3、表(5)-1）。この傾向には、2014年が天候不順等の原因でそれまでと比較して極端に産卵頻度が低下したことも影響しているが、結果として、装置の設置数を絞り点検頻度の縮減を余儀なくされながらも、産卵抑制効果を維持することができたともいえる。この結果は、通常のダム施設における人工産卵装置の設置と見回りが通常管理の枠内での実施可能性を示唆し、水域の状況に応じて装置の設置場所と基数を限定させながらも、一定の効果を上げる可能性が示された。

また、夏休みには外来魚釣り体験イベントが2014・2015年に各1回、2016年に2回実施され、好評を博した。



図(5)-3 網場に係留された吊り下げ式人工産卵装置へのオオクチバスの産卵：左一衝立付き、中一衝立なし仕様、および外来魚釣り体験（2015年）。

表(5)-1 松元ダム貯水池におけるオオクチバスの人工産卵装置1基当たりの産卵頻度

装置の仕様	衝立なし		衝立付き		計
	岸沿い	沖出し	岸沿い	沖出し	
2016 年	—	0.75 (N8)	—	0.00 (N8)	0.38 (N16)
2015 年	—	0.13 (N8)	—	0.38 (N8)	0.25 (N16)
2014 年	0.00 (N8)	0.17 (N12)	0.00 (N8)	0.17 (N12)	0.10 (N40)

3) 都立狭山公園宅部池（東京都東村山市）

都立狭山公園内の小さなため池である宅部池では、指定管理者である「西武・狭山丘陵パートナーズ」との協働で、2010年に人工産卵装置を導入し、オオクチバスの生息抑制を行ってきた。本研究前年の2013年に誘導フェンスによる沖出し設置方法を初めて試み、2014年には新規導入した衝立付きの仕様を含め計30基、2015年には衝立にスーパーマーケットのプラスチック製買物カゴを用いて強度を確保する仕様とし計24基を設置した（図(5)-4）。その結果、2014年と2015年では、それぞれ1基当たり0.33回と0.34回とほぼ同程度の頻度でオオクチバスの産卵が確認され、沖出し設置または衝立付き仕様での産卵頻度が高い傾向が見られ（表(5)-2）、衝立や沖出しがこの水域に高密度で放流されたコイによる繁殖妨害を軽減している役割が示唆された。

また、2014・2015年は、オオクチバスの自然産卵はそれぞれ1例のみしか確認されず、全周にわたる人工産卵装置の設置と見回りにより、オオクチバスの繁殖活動が有効に抑制されているものと評価された。この水域ではオオクチバスの全長30cmを超える大型個体は近年、確認されておらず、人工産卵装置による繁殖抑制が世代交代を効果的に抑制している可能性がある。このことは、2016年1月17日に実施された「かいぼり」（池干し）の結果（図(5)-4）、当歳魚を含めた全長30cm未満の魚が計18個体捕獲されたのみであることから実証された。なお、捕獲されたオオクチバスはコイ（外来起源の飼育型）やヘラブナ（琵琶湖固有種ゲンゴロウブナの改良品種）とともに駆除対象として完全に除去された。池を干した状態は2月末まで継続させた後、徐々に池の水位は回復された。2016年度には大型個体の多かったコイとともに、オオクチバスもまったく確認されなくなり、人工産卵装置の設置は行わないこととし、その後も池の水の環境DNAの分析でもオオクチバスのDNAは検出できていない。かいぼり後の池の環境の変化としては、水の透明度の回復、水際・水中の植生回復、アカガエル幼体の出現、イトトンボ類の増加などが認められた。



図(5)-4 改良を進めた衝立付き仕様の人工産卵装置（左：2014年度、中：2015年度）と、2016年1月17日に実施された「かいぼり」。

表(5)-2 都立狭山公園宅部池におけるオオクチバスの人工産卵装置1基あたりの産卵頻度

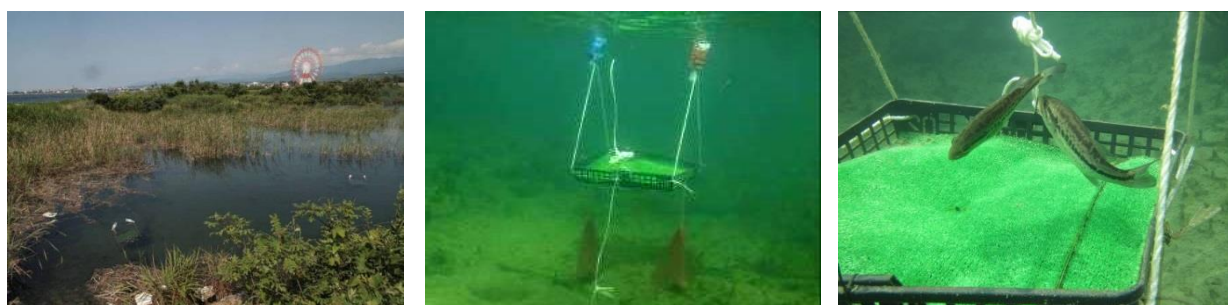
仕 様 設置方法	衝立なし		衝立付き		(参考) 単独 沖出し	計
	岸沿い	沖出し	岸沿い	沖出し		
2015 年	0.00 (N8)	0.00 (N4)	0.75 (N8)	0.75 (N4)	—	0.34 (N24)
2014 年	0.17 (N12)	0.67 (N6)	0.33 (N12)	—	—	0.33 (N30)
(参考) 2013 年	0.20 (N24)	1.33 (N3)	—	—	0.00 (N3)	0.30 (N30)

4) 早月川河口溜まり（富山県魚津市・滑川市）

この水域は、富山県魚津市・滑川市境界を流れる早月川の河口部の河川敷内に存在する伏流水で涵養される「溜まり」で、閉じ込められた河川生魚類とともにオオクチバスが生息している。

この水域では、2013年に衝立付きの人工産卵装置を導入した結果、例数は少ないながら、衝立付き装置での産卵が確認できない結果となった。2014年は、衝立なしの装置と衝立付き装置を12基ずつ、新たに誘導フェンスで沖出しした衝立なしの装置を8基追加し計32基を設置した。その結果、誘導フェンスで沖出しした衝立なしの装置でのみオオクチバスの産卵が確認された。

この水域では、衝立付き装置の利用が確認されなかったことは、水域の透明度が非常に高い状況下でブルーギルやコイなどオオクチバスの繁殖を強く妨害する可能性のある他種が生息していないことが関係している可能性がある。一方、誘導フェンスによる沖出しは、この水域でも効果があることが示唆されたことから、人工産卵装置の利用率を高めるために汎用性の高い手法であることが期待される。なお、この水域は普段人気がない場所であるが、バス釣り人がよく訪問し、人工産卵装置が陸上に引き上げられるなどの調査の妨害も頻繁に確認され、調査の円滑な実施の工夫が必要と考えられたが、2015年以降、地形の変化により環境が激変し調査は中止となった。



図(5)-5 早月川河口溜まりは透明度が非常に高い河川伏流水で満たされ、衝立のない仕様の人工産卵装置でのみオオクチバスの産卵が確認された。

表(5)-3 早月川河口溜まりにおけるオオクチバスの人工産卵装置1基あたりの産卵頻度

仕 様 設置方法	衝立なし		衝立付き	計
	岸沿い	沖出し	岸沿い	
2014 年	0.00 (N12)	0.38 (N8)	0.00 (N12)	0.09 (N32)
(参考) 2013 年	0.32 (N28)	—	0.00 (N4)	0.32 (N32)

5) 水位変動様式の異なるダム貯水池での繁殖抑制

a. 苫田ダム（岡山県鏡野町）

苫田ダム貯水池「奥津湖」は湛水面積が約3.3km²で、(株)ウエスコが生態管理業務を継続的に受託している。2008年の伊豆沼式人工産卵床の導入は成功に至らず、2009年に代表者の提案により吊り下げ式人工産卵装置を導入した結果、オオクチバスの産卵が確認され、以後、人工産卵装置の改良を含めたオオクチバスの防除事業が行われている。

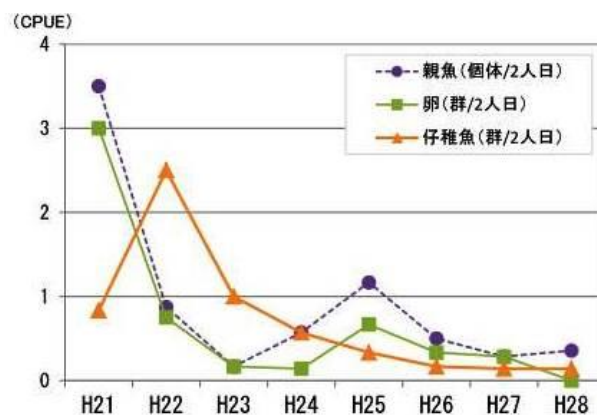
苫田ダム貯水池の水位は平常時最高貯水位を維持するよう運用されている。中国地方苫田ダム管理所から貯水池の生態管理業務を受託している(株)ウエスコはこの点に着目し、総延長18.2kmの湖岸線に沿った水中環境をオオクチバスの繁殖に関連した6条件（産卵基質、湖岸傾斜、水面下の立木密度、崩落の有無、湖水濁度、流速）全てが好適な区間を、繁殖に関する「高ポテンシャル区間」と定義して湖岸長で計0.75km（全湖岸長の4.1%）を抽出し、この区間に自然産卵床の93%が集中する結果を確認し、吊り下げ式人工産卵装置による繁殖阻害、自然産卵床の破壊、成魚個体の直接捕獲など、オオクチバスの生息抑制努力を高ポテンシャル区間に集中させている。

2016年は(株)ウエスコと協働で、装置40基を週2回ずつ6週間で巡回した。その結果、期間中に確認された産卵件数は計16回と最大を示したが、この値を延べ基数（平均設置基数×調査回数）で除した「産卵確率」の値は、3.3%と低下した。

一方で、確認された自然産卵床と稚魚群は漸減傾向を継続し、稚魚群が2群のみとこれまでの最低となり、オオクチバスの繁殖個体数の減少を示唆する結果となった（図(5)-6）。また、オオクチバスの親魚、卵、仔稚魚それぞれの目撃個体数、自然産卵床の卵塊数、仔稚魚の群数について調査での平均確認数をCPUEとした結果、成魚はどの指標も2014年以降ほぼ同様の低い値を継続し、オオクチバスの低密度化傾向が示された（図(5)-7）。



図(5)-6 確認されたオオクチバスの自然産卵床数と稚魚群数の経年変化



図(5)-7 オオクチバスの自然産卵床数、稚魚群数、成魚個体数のCPUEの経年変化。

b. 三春ダム貯水池（福島県三春町）

三春ダム貯水池では毎年6月11日以後の「洪水期」の直前に約20日かけて水位を約8m低下させる（ドローダウン）。この時期がオオクチバスの産卵期に重なるため、水位を徐々に低下させず水位安定期を複数回挟ませて「階段式」に低下させ、オオクチバスの産卵を誘発し効果的に産卵床を干し上げる野外実験が、東北地方整備局三春ダム管理所と(株)応用地質との共同で実施されてきた。また、ブルーギルに対しては、6月11日以降の洪水期に低い貯水位で安定後に産卵期を迎える

ためドローダウンを利用した産卵床の干出はできないが、洪水期に下流の堆積土砂等を排除するため「フラッシュ放流」を実施する際に、フラッシュ放流の水量確保のために水位を0.5m程度高めた後に数日間水位を安定させ、ブルーギルの産卵床形成を誘導した後にフラッシュ放流を実施し、岸沿いのブルーギルの繁殖活動を阻害可能なことが示唆された。

c. ダム貯水池の外来魚対策の総括的まとめ

全国のダム貯水池の多く（約60%）は、このように洪水期に備えて水位を低下させる制限水位管理方式が主流で、この三春ダムにおける外来魚の繁殖抑制は、他のダム貯水池においても応用可能と考えられる。一方、苫田ダム貯水池のように水位が安定維持される水域では、この手法は使えないが、繁殖適地のポテンシャル評価を地図上で先行防除努力の集中を図って効果的な生息抑制ができる可能性が示されている。

このように、三春ダム貯水池と苫田ダム貯水池における取組は、わが国のダム貯水池における2つの典型的な水位変動パターンを示す水域での事例であり、両水域を事例としたわが国におけるダム貯水池での外来魚対策として類型化することが可能である。

（2）オオクチバス低密度試験水域におけるフェロモントラップの有効性確認

1) オオクチバスのオスの胆汁確保

2015年に、琵琶湖・南湖周辺において電気ショッカーボートで駆除されたオオクチバスのオスから胆嚢を摘出し、胆汁の確保を行い、冷凍保存する体制を確立し、2016年は、この手順により、当該水域でオオクチバスの繁殖期と考えられる4月から5月にかけて計6回、計100個体から、胆汁を確保した。

2) フェロモントラップの製作・設置

2015年は、胆汁水溶液を入れた穴あきペットボトルを用いていたが、2016年にはフェロモントラップは、サブテーマ6の藤本氏らにより宮城県伊豆沼で開発され使用されているものと同一の仕様のもを新たに製作した（図(5)-8）。フェロモントラップは、フェロモンを含むオオクチバスのオスの胆汁の水溶液を特殊な小型ポンプで少量ずつ自動に滴下する「自動滴下装置」と、誘引対象となるオオクチバスのメス個体を刺し網で捕獲する「捕獲装置」で構成され、2015年度に目立ったフナやコイの混獲を防ぐため、2016年には装置を設置の際には装置の周辺に「混獲防止フェンス」を設けた（図(5)-9）。



図(5)-8 フェロモントラップの「自動滴下装置」（写真左）、伊豆沼で使用されていた小型ポンプ（薄緑色）と導線で結線された電池ケース（写真中）、小型ポンプと充電電池等をシリコンホースに収容し、胆汁水溶液（黄色）を供給する給水バッグを接続した状態（写真右）。



図(5)-9 「自動滴下装置」の設置(写真左)支柱に自動滴下装置と給水バッグを結わえ、もう1本の支柱との間に刺し網を設置する(写真中)。胆汁水溶液の滴下装置の周囲に混獲防止ネットを設置する(写真右)。

3) フェロモントラップの設置と巡回・点検の結果

フェロモントラップは2016年5月16日(月)に湖岸沿いに繁殖ポテンシャルの高い区画を中心に、計12か所に設置し、以後、6月23日(木)まで週2回の頻度で計11回の巡回・点検を行った。

その結果、今回設置したフェロモントラップには、計100個体(フナ属が93個体、コイが2個体、ナマズが4個体、ギギが1個体)に加えて、わずか1個体ながらオオクチバスが捕獲された(図(5)-10)。この捕獲個体は、胴体の肛門より後ろ側のみが残された状態で、全体の大きさや性別の判定はできなかったが、全長で25cm程度であると推測され、この体サイズは、オオクチバスのオス・メス双方にとって繁殖可能であり、また、刺し網のなかで捕獲された個体が絡まっていた位置が、胆汁水溶液を滴下している場所に近かったことから、この個体が繁殖準備のできたメスであった可能性も十分に考えられる。

なお、2017年度も(株)ウエスコは苫田ダム貯水池のオオクチバス対策事業を受託する予定で、フェロモントラップの設置試験も継続して実施する見通しで、研究協力を継続する予定である。



図(5)-10 6月13日に刺し網で確保されたオオクチバスの胴体の後半部分。全長は25cm前後の成熟サイズと推定されるが、内臓部分が完全に失われており、性別は判定できなかった。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

本研究課題では、吊り下げ式人工産卵装置の効率を高めるため、水域の状況に応じて「沖出し」設置や「衝立付き」仕様が有効であることが明らかとなり、総合的な外来魚生息抑制手法として松元ダム貯水池や苫田ダム貯水池で採用されている。また、日本のダム貯水池の典型的な水

位操作パターンに対応して、オオクチバスの繁殖期に水位低下時期が重なる水域では三春ダム貯水池で開発された階段式水位低下により繁殖阻害を効果的に行う方法が、水位が一定に維持される水域では苔田ダム貯水池で実施された湖岸沿いの環境評価に基づき高ポテンシャル区域を抽出して抑制努力を集中させる方法が有効な枠組みとして、ダム管理者への周知啓発が行われている。

（２）環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

滋賀県の施策に関連しては、2015年度に施行された「琵琶湖保全再生法」の計画策定に関して、外来種対策に関する部分を中心に助言を行い、2015年度末に作成した「滋賀県外来種リスト2015」の公表と普及啓発に携わった。また、2016年7月に公開された滋賀県立琵琶湖博物館の展示リニューアルに際して「生きものコレクション」の外来種コーナー、および水族展示の外来種展示の製作に携わるとともに、2016年度企画展示「びわ博カルタ」における「子育てをオスがするよ オオクチバス」を製作し、吊り下げ式人工産卵装置を紹介するなど、博物館における普及啓発を行った。

熊本市の「江津湖地域における特定外来生物等による生態系等に係る被害の防止に関する条例」の策定にあたり、同市環境課の担当者に対し、外来魚のリリース禁止に関する考え方や実効性を高めるための回収施設のあり方等に関する助言を行い、その内容を反映した同条例が2015年4月1日に施行された（外来魚の回収について第8条、リリース禁止について第9条で規定）。

<行政が活用することが見込まれる成果>

滋賀県立琵琶湖博物館において2017年度に製作される学芸職員の研究活動を紹介する「研究スタジアム」のコーナーで、オオクチバス防除対策を紹介する展示を製作中であり、2017年度中に一般向けに公開される予定である。

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) Azami K, Higuchi T, Konishi C, Hashimoto H, Osugi T, Asaeda T, Nakai K : River Systems 21/4, 249-260 (2015)
 “An inundated Salix stand provides spawning and nursery habitat for native fish in a periodically flooded reservoir zone”

<その他誌上発表（査読なし）>

- 1) 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：鹿児島の自然 46, 95-99 (2014)

- 「松元ダムにおけるオオクチバスとブルーギルの駆除－人工産卵装置と捕獲装置を用いて－。」
- 2) 中井克樹・大杉奉功・浅見和弘・小山幸男：谷田一三・江崎保男・一柳英隆(編)「ダムと環境の科学Ⅲ エコトーンと環境創出」pp.195-211 (2014)
「ダム湖における外来魚問題とその対策。」
 - 3) 中井克樹：Wildlife Forum－野生生物井戸端会議－ 20-2, 6-9 (2016)
「外来種被害防止行動計画の特徴と課題。」 (特集：外来生物対策のロードマップ)
 - 4) 中井克樹：生物の科学遺伝 70(1), 34-40 (2016)
「侵略的外来魚オオクチバスに対する対策－特に影響低減のための新しい手法について」
 - 5) 中井克樹：海洋と生物Vol.39(1), 1-7 (2017)
「琵琶湖の外来魚問題をふり返って：その背景と経緯」

(2) 口頭発表 (学会等)

- 1) Nakai K, Okitsu J, Azami K, Osugi T, Oyama Y: The 144th Annual Meeting of the American Fisheries Society, Quebec (2014)
“Integrated population control of largemouth bass, an invasive alien species in reservoirs in Japan. ”
- 2) 沖津二郎・樋口貴哉・中井克樹・大杉奉功・松崎厚史・小山幸男：応用生態工学会第 18 回大会 (2014)
「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取り組み。」
- 3) 笹田直樹・芹澤栄一・上橋昇・中井克樹：応用生態工学会第 18 回大会 (2014)
「ダム湖湖岸域の繁殖ポテンシャル評価に基づくオオクチバス防除の効率化。」
- 4) 江川昂弘・山本智子・吉本清美・高山真由美・中井克樹：応用生態工学会第 18 回大会 (2014)
「オオクチバス繁殖抑制のための吊り下げ式人工産卵装置の改良。」
- 5) 中井克樹：2014 年度日本魚類学会年会シンポジウム, 神奈川県立生命の星・地球博物館 (2014)
企画および発表、パネルディスカッション
「魚類の外来種対策の現状と課題。」
- 6) 中井克樹：日本有機農業学会全体セッション(3)「有機・自然農法と侵略的外来生物問題」 (2014)
招待
「里山生態系のエイリアン「侵略的外来生物」を管理する環境政策。」
- 7) 中井克樹：第 10 回外来魚情報交換会 (琵琶湖を戻す会主催), 草津市立市民交流プラザ (2015)
「外来魚情報交換会 10 年の足跡と今後の課題。」
- 8) 芹澤英一郎・笹田直樹・佐貫方城・中井克樹：同上 (2015)
「琵琶湖におけるオオクチバスの低密度管理手法。」
- 9) 藤本泰文・中井克樹：第 62 回日本生態学会大会自由集会 W07「外来種の化学的防除～効果・リスクの検証および合意形成への道程～」, 鹿児島大学 (2015)
「オオクチバス防除における生物由来化学物質の活用。」
- 10) 中井克樹：第 62 回日本生態学会大会フォーラム U01「愛知目標達成のための侵略的外来種リスト (仮称) の現状と課題」 (2015)
「魚類の現状と課題。」

- 11) 江川昂弘・山本智子・松元地区土地改良区・高山真由美・中井克樹：第 62 回日本生態学会大会（2015）
「農業用ダムにおけるオオクチバスとブルーギルの簡易駆除方法の検討.」
- 12) 中井克樹：滋賀自然環境研究会設立 40 周年記念シンポジウム「滋賀県の生物多様性の現状と課題」，彦根勤労福祉会館大ホール（2015）
「滋賀県の外来動植物の現状と課題.」
- 13) Nakai K: Speciation In Ancient Lakes 7 (SIAL 7), Great Lakes Institute for Environmental Research, University of Windsor, Ontario, Canada (2015)
「Multiple invasions and proliferation of nuisance alien species in Lake Biwa, Japan」
- 14) 中井克樹・芹澤英一郎・佐貫方城・白神義章・笹田直樹：2015 年度日本魚類学会年会，近畿大学奈良キャンパス（2015）
「ダム貯水池における湖岸域の繁殖ポテンシャル評価に基づくオオクチバス生息抑制の試み.」
- 15) 中井克樹：日本環境アセスメント協会平成27年度第 1 回公開セミナー「外来種問題とその対策」（2016）
「滋賀県・琵琶湖の外来生物対策」
- 16) 中井克樹：琵琶湖を戻す会第11回外来魚情報交換会，草津市立草津まちづくりセンター（2016）
「外来種対策における最近の動き：特に新しい外来種リストに関して」
- 17) 中井克樹・笹田直樹・沖津二郎・浅見和弘・大杉奉功：第 63 回日本生態学会大会，仙台国際センター（2016）
「ダム貯水池におけるオオクチバスの繁殖抑制：水位操作パターンへの対応.」
- 18) 中井克樹：滋賀自然環境研究会第26回研究発表会（2016）
「滋賀県レッドデータブックと滋賀県外来種リスト2015」
- 19) Nakai K: The 146th Annual Meeting of American Fisheries Society, Kansas City, Missouri, USA (2016)
“Effective population control of invasive largemouth bass in Japanese reservoirs, in relation to water level management.”
- 20) Nakai K: The 16th World Lake Conference - Bali, Indonesia (2016)
“Legislation and stakeholders’ involvement in controlling invasive alien species in Lake Biwa, Japan.”
- 21) 中井克樹・国土交通省東北地方整備局三春ダム管理所・（一財）水源地環境センター・応用地質（株）応用生態工学研究所：ダム湖生態系に関するセミナー「ダム湖沿岸帯（エコトーン）の生態系とその管理」（水源地研究会主催）（2016）
「ダム湖における外来魚駆除（三春ダム）」
- 22) 中井克樹：琵琶湖を戻す会第12回外来魚情報交換会，草津市立草津まちづくりセンター（2017）
「ダム貯水池における主として水位変動に関連したオオクチバスの繁殖抑制手法」

（3）知的財産権

特に記載すべき事項はない。

(4) 「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) 湖南企業いきもの応援団第17回（2014年度第1回）調査会における現地調査指導および成果の講評（2014年5月14日，草津市南笠東公民館および狼川流域（滋賀県草津市），地域企業社員約25名）。
- 2) 武庫川女子大学附属中学校2年生の「びわ湖学習」での授業「びわ湖の自然と自然環境を守る取り組みとしての外来魚対策」（2014年5月28日，滋賀県立琵琶湖博物館，生徒約100名）
- 3) 滋賀県立大学大学院の「近江環人地域再生学座『地域診断法』特論での講義「滋賀県の動植物の特性把握と地域診断」（2014年6月6日，滋賀県立大学，大学院生約10名）
- 4) 淡海生涯カレッジ草津校での講義「生物多様性とその保全」．（2014年6月14日，草津アミカホール研修室，受講者約50名）
- 5) 立命館守山中学校の2014年度総合学習第3回琵琶湖学習での授業「琵琶湖の生き物とその調査法」（2014年6月21日，滋賀県立琵琶湖博物館ホール，生徒約150名）
- 6) 科学教育研究協議会近畿ブロックによる「2014年度研究集会in 滋賀」における記念講演「びわ湖の外来生物：よそ者だから悪いのか？（びわ湖の外来生物たちって、悪者？）」（2014年6月29日，立命館守山中・高等学校，生徒約30名）
- 7) 湖南企業いきもの応援団第18回（2014年度第2回）調査会における現地調査指導および成果の講評（2014年7月18日，草津市南笠東公民館および狼川流域（滋賀県草津市），地域企業社員約25名）。
- 8) 東山中学校の「移動博物館」での授業「外来魚のひみつ」および外来魚解剖実習（2014年7月28日，東山中学校，生徒約100名）
- 9) 滋賀県職員研修センターによる「平成26年度入庁2年目研修」における講義「滋賀県・琵琶湖から生物多様性を考える」（2014年7月29日，琵琶湖博物館ホール，県職員約60名）
- 10) 日本魚類学会市民公開講座「絶滅危惧種アユモドキー東アジア風土の象徴，その危機と保全」パネルディスカッション「アユモドキの保全ーいかにして水田・氾濫原生態系を守っていくか」コーディネーター（2014年8月2日，京都大学理学研究科セミナーハウス，市民約150名）
- 11) 滋賀県・ミシガン州学生交流プログラム「2014 Great Lakes - Shiga Exchange Program」における授業「Invasive fish problems in Lake Biwa, unfortunately brought from North America」（英語）（2014年8月24日，滋賀県立琵琶湖博物館セミナー室，生徒約30名）
- 12) 全国産業廃棄物連合会青年部協議会近畿ブロックによる体験イベント「CSR2の進化と継承 外来種の問題と駆除の実体験！ in 琵琶湖」における講義「琵琶湖の外来種問題～生物多様性の保全に向けて～」（2014年8月24日，琵琶湖博物館ホール，業界職員約200名）
- 13) 日本自然保護協会・認定NPO法人生態工房・日本カメ自然誌研究会主催の緊急シンポジウム「どうする!? ミドリガメ～ペットと外来生物の規制のあり方を考える～」における発表「特定外来生物指定の効果と課題」とパネルディスカッションコーディネーター（2014年8月30日，法政大学市ヶ谷キャンパス外濠校舎，市民約200名）
- 14) NPO法人やましろ里山の会主催「第18回里山講演会」での招待講演「外来種問題を生物多様性から考える，琵琶湖の現状から考える」．（2014年9月6日，京田辺市北部住民センター，市民約80名）
- 15) JAF 滋賀支部による自然体験イベント「今年もやるぞ！外来魚バスターズ」での解説と指導

- (2014 年 10 月 11 日, 志那 2 湖岸緑地 (滋賀県草津市), 一般参加者約 50 名)
- 16) (独) 水資源機構琵琶湖開発総合管理所による観察会「お魚里帰り大作戦 2014」での解説と指導 (2014 年 10 月 26 日, 新浜ビオトープ (滋賀県草津市), 機構職員・一般参加者約 30 名)
 - 17) 湖南企業いきもの応援団第 19 回 (2014 年度第 3 回) 調査会における現地調査指導および成果の講評 (2014 年 11 月 18 日, 草津市南笠東公民館および狼川流域 (滋賀県草津市), 地域企業社員約 25 名).
 - 18) 滋賀県レイカディア大学草津校「観る: 琵琶湖とその周辺を観る」での講義「外来生物の生態と影響、防除抑制方法、湖と人々の暮らし」(2014 年 11 月 19 日, 琵琶湖博物館会議室, 受講生約 30 名)
 - 19) 湖南企業いきもの応援団第 20 回 (2014 年度第 4 回) 調査会における現地調査指導および成果の講評 (2015 年 1 月 23 日, 草津市南笠東公民館および狼川流域 (滋賀県草津市), 地域企業社員約 25 名).
 - 20) JAF 滋賀支部主催「いま、自然を考える」の一環としての JAF 特別講座「びわ湖に生息する魚と湖の環境について学ぼう」(2015 年 2 月 28 日, 琵琶湖博物館実習室 2 および水族展示室, 一般参加者約 50 名)
 - 21) 生物多様性保全ネットワーク新潟・ブラックバス問題新潟委員会主催の第 12 回生物多様性シンポジウム「在来生物に新たな脅威…県境を越える侵略的外来種」における基調講演「侵略的外来種対策 新たな展開」(2014 年 3 月 7 日, 大江山公民館 (新潟県新潟市), 一般参加者約 50 名)
 - 22) 湖南企業いきもの応援団第 21 回 (2015 年度第 1 回) 調査会における現地調査指導および成果の講評 (2015 年 5 月 12 日, 草津市南笠東公民館および狼川流域 (滋賀県草津市), 地域企業社員約 25 名).
 - 23) 平成27年度湖北野鳥センター自然クラブ「こほたん」の活動プログラム「琵琶湖復活プロ in 野田沼①」における外来魚講義と人工産卵装置の製作、野田沼への装置の設置 (2015年5月30日, 湖北野鳥センターおよび野田沼 (滋賀県長浜市), 一般参加者約30名)
 - 24) 同上における人工産卵装置の見回り (2015年6月13日, 野田沼 (滋賀県彦根市), 一般参加者約30名)
 - 25) 水土里ネット松元主催の環境学習イベント「外来魚の学習&駆除 in 松元」における指導と講義 (2015年7月20日, 松元ダム (鹿児島県鹿児島市), 市民および土地改良区職員約20名)
 - 26) 湖南企業いきもの応援団第 22 回 (2015 年度第 2 回) 調査会における現地調査指導および成果の講評 (2015 年 7 月 22 日, 草津市南笠東公民館および狼川流域 (滋賀県草津市), 地域企業社員約 25 名).
 - 27) おおつ環境フォーラムによる自然家族事業「湖の日」における講義「琵琶湖の魚たちのいま」および水族展示解説 (2015年8月8日, 琵琶湖博物館, 約50名)
 - 28) 応用生態工学会大阪主催の第1回ミュージアム連携ワークショップ in 大阪「公開講座: 自然史からグリーンインフラを考える」における外来種対策に関する解説 (2015年10月4日, 大阪市立自然史博物館, 一般市民約100名)
 - 29) ラムサールびわっこ大使事業第3回事前学習会における地曳網体験の解説および発表資料作成にかかる助言 (2015年10月18日, 北小松湖岸 (大津市) および国際湖沼環境委員会 (草津市),

こども大使および引率職員約10名、他団体からの地曳網参加児童約50名)

- 30) 湖南企業いきもの応援団第 23 回 (2015 年度第 3 回) 調査会における現地調査指導および成果の講評 (2015 年 10 月 23 日, 草津市南笠東公民館および狼川流域 (滋賀県草津市), 地域企業社員約 25 名).
- 31) 南笠東秋フェスタにおける湖南地方生きもの応援団による「狼川の生き物」展示の製作と解説 (2015 年 10 月 24 日, 草津市南笠東公民館, 地域市民等の来訪者と JICA 研修員約 200 名)
- 32) 独立行政法人水資源機構琵琶湖開発総合管理所主催の観察会「お魚里帰り大作戦2015」での指導 (2015年10月25日, 新浜ビオトープ (草津市), 一般参加者約30名)
- 33) 生物多様性自治体ネットワークフォーラム主催のパネルディスカッション「私たちにできるいのちの守 (も) りとは」におけるコーディネーター (2015年11月7日, 滋賀県立琵琶湖博物館, 約100名)
- 34) 生物多様性自治体ネットワーク琵琶湖エコツアーにおける生物多様性保全に関する講義 (2015 年11月7日, 環境学習船megumi内 (滋賀県琵琶湖上), 全国の自治体関係者約50名)
- 35) 湖南企業いきもの応援団第 24 回 (2015 年度第 4 回) 調査会における現地調査指導および成果の講評 (2016 年 1 月 21 日, 草津市南笠東公民館および狼川流域 (滋賀県草津市), 地域企業社員約 25 名).
- 36) 第15回草津市こども環境会議の「こどもと大人の環境井戸端会議」での大人のパネリスト (2016 年1月30日, 草津市役所1階ロビー, 子ども中心に約200名)
- 37) 平成27年度滋賀県琵琶湖環境部部門研修 (一般研修) における講義「自然環境施策における生物多様性: 地域戦略と“主流化”」 (2016年2月15日, 滋賀県庁新館7階大会議室, 県庁職員約 80名)
- 38) 湖南企業いきもの応援団第 25 回 (2016 年度第 1 回) 調査会における現地調査指導および成果の講評 (2016 年 4 月 19 日, 草津市南笠東公民館および狼川流域 (滋賀県草津市), 地域企業社員約 25 名).
- 39) 滋賀県立大学大学院の「近江環人地域再生学座『地域診断法』特論での講義「滋賀県の動植物の特性把握と地域診断」 (2016年7月1日, 滋賀県立大学, 大学院生約10名)
- 40) 湖南企業いきもの応援団第 26 回 (2016 年度第 2 回) 調査会における現地調査指導および成果の講評 (2016 年 7 月 21 日, 草津市南笠東公民館および狼川流域 (滋賀県草津市), 地域企業社員約 25 名).
- 41) 日本魚類学会市民公開講座2016「魚類にみる最新の外来種問題」における講義「外来生物法施行から10年、外来魚問題のいま: オオクチバスからブラウントラウトへ」 (2016年8月27日, 名城大学, 市民等約100名)
- 42) 平成28年度第1回県営 (有) 林管理員研修会における講義「生物多様性とは? ~地域戦略の紹介を中心に~」 (2016年9月8日, リーフの森 (県民の森, 滋賀県栗東市), 林業職員約30名)
- 43) 神戸市生物多様性シンポジウム「外来種と向き合う人々ー外来種対策の活動事例と課題ー」における基調講演「悩ましき外来種問題の考え方」 (2016年10月1日, 神戸市相楽園会館, 市民約 100名)
- 44) 湖南企業いきもの応援団第 27 回 (2016 年度第 3 回) 調査会における現地調査指導および成果の講評 (2016 年 10 月 21 日, 草津市南笠東公民館および狼川流域 (滋賀県草津市), 地域企業

社員約 25 名)。

- 45) 南笠東秋フェスタにおける湖南地方いきもの応援団による「狼川の生き物」展示の製作と解説
(2016 年 10 月 22 日, 草津市南笠東公民館, 来訪者約 200 名)
- 46) 日本環境アセスメント協会による平成28年度JEAS技術セミナーでの講演「外来種対策の経緯と現状: 問題の考え方と滋賀県・琵琶湖の事例」(2016年10月25日, 東桜会館(愛知県名古屋市), 環境調査会社社員等約80名)
- 47) ぼてじゃこトラスト20周年記念フォーラム第2弾「市民発!! 琵琶湖再生夢プロジェクト!! イチモンジタナゴの復元放流を考える!」(2016年11月27日, 滋賀県立琵琶湖博物館セミナー室, 市民約60名)
- 48) 企画展記念シンポジウム「外来生物シンポジウムー外来生物の現状と課題ー」における招待講演「滋賀県・琵琶湖畔から外来種問題を考える」(2016年12月2日, ミュージウムパーク茨城県自然博物館映像ホール, 市民約100名)
- 49) 岡山理科大学大学院理学研究科生物化学特別講義Ⅱ(生物学系列)における集中講義「生物多様性と外来生物問題」(2016年12月12日・19日, 岡山理科大学, 大学院生3名)
- 50) いまづ自然観察クラブの琵琶湖博物館訪問事業における講義「琵琶湖岸の生態系・外来生物の生態」(2017年1月7日, 滋賀県立琵琶湖博物館実習室2, 約30名)
- 51) 琵琶湖博物館2016年度研究報告会における報告「外来魚の生息抑制に関する総合的研究」(2017年1月21日, 滋賀県立琵琶湖博物館セミナー室, 博物館職員・関係者等約80名)
- 52) 滋賀県職員退職者会(本部・湖南支部)による平成28年度教養談話会での講話「『湖国の生きもの』のにぎわい」(2017年1月25日, ホテルボストンプラザ草津, 滋賀県職員退職者約40名)
- 53) 関西広域連合主催のエコツアーモデル事業における講義「関西広域連合エコツアー(モデル事業)へようこそ」とツアー添乗・解説(2017年2月1日, 滋賀県立琵琶湖博物館ほか, 関西広域連合関係者・観光業者等約30名)
- 54) 湖南流域環境保全協議会主催・第8回こなん水環境フォーラム「生物多様性って何だ?」における基調講演「生きもののにぎわいとつながり: 生物多様性の考えかた」(2017年3月2日, 草津市立まちづくりセンター, 市民等約100名)

(5) マスコミ等への公表・報道等

- 1) びわ湖放送「テレビ滋賀プラス1」(2015年6月20日、「生きもののにぎわいとつながり～生物多様性って?～」で外来種を含む生物多様性に関して解説)

(6) その他

代表者が本研究課題で共同して活動を行っている団体、およびオオクチバスを含む外来種の取り扱いについても指導し、普及啓発活動を行っている団体が、以下の賞を受賞した。

- ・「水土里ネットまつもと(松元ダム)」による外来魚駆除を含めた地域関係活動
平成25年度21世紀土地改良区創造運動・地域関係フロンティア部門の大賞を受賞s
URL: <http://www.inakajin.or.jp/Portals/0/pdf/eventinfo/21/H25matumoto.pdf>
- ・三春ダム(さくら湖)における外来魚対策を含めた取組が
「第8回いい川・いい川づくりシンポジウム in 仙台」において、以下の3賞を同時受賞

- ① 目をミハル効果で全国のダムから外来種がいなくなるで賞
- ② 東北いい水辺賞
- ③ “いい川” 技術省

URL: <https://www.oyo.co.jp/miharu/commendation.html> (応用地質 (株) ウェブサイト)

・「湖南企業いきもの応援団」の活動

「生物多様性アクション大賞2015」において「まもろう部門優秀賞」を受賞

URL <http://www.city.kusatsu.shiga.jp/kurashi/gomirecycle/kankyo/shizenkankyo/kankyo120.html> (草津市役所ウェブサイト)

8. 引用文献 (インターネットサイト)

- 1) 環境省「オオクチバス等の防除の手引き」 URL : [http://www.env.go.jp/nature/intro / 3control/files/manual_bass.pdf](http://www.env.go.jp/nature/intro/3control/files/manual_bass.pdf)

（６）オオクチバス等の化学的防除手法開発

公益財団法人宮城県伊豆沼・内沼環境保全財団

研究室

藤本泰文

<研究協力者> 東京農業大学生命産業学部アクアバイオ学科 山家秀信

東京大学生産技術研究所

浅田 昭、水野勝紀

平成26(開始年度)～28年度累計予算額： 8,700千円（うち平成28年度：2,800千円）

予算額は、間接経費を含む。

〔要旨〕

特定外来生物であるオオクチバスやブルーギル等のサンフィッシュ科の淡水魚は、すでに日本に定着を果たしており、早急な防除が課題となっている。オオクチバス等に対するフェロモントラップの開発を目指した本研究では、オオクチバスの性フェロモン候補物質の絞り込みが行われ、オスに特徴的な成分を確認したことから、フェロモン物質の将来の同定やトラップ開発に向けた道筋が示された。また、オオクチバスのフェロモントラップについては、音響映像カメラも活用し、行動面からも在来魚等に対する混獲防止型のトラップが開発され、フェロモントラップの作業効率の改善が図られた。フェロモントラップは約100 mの範囲に入ったオオクチバスを誘引できる可能性が示され、湖沼でもこれらのフェロモントラップが有効に機能する可能性を示した。

〔キーワード〕

効果範囲、混獲、フェロモントラップ、誘引シミュレーション、誘引物質

1. はじめに

オオクチバス *Micropterus salmoides* やブルーギル *Lepomis macrochirus* は、国内のさまざまな淡水域に分布を拡大している北米原産の外来魚である。その捕食圧の強さから、生態系に大きな悪影響を及ぼしてきた。これらの外来魚を防除するため、琵琶湖や伊豆沼・内沼をはじめ、さまざまな水域で外来魚の防除活動が行われている¹⁾。駆除活動により、外来魚の減少や在来魚の回復が報告されてきたものの、水面面積が大きく、干し上げることが困難な開放水面では、個体数の抑制には成功しても、長期的な低密度管理を実現するための防除技術が不足している状況にある²⁾。

2. 研究開発目的

低密度管理を実施するためには、低密度条件下で捕獲効率が高まる手法を開発する必要がある。オオクチバスのオスは産卵床を形成し、メスを誘引して産卵させる。オオクチバスが低密度条件になれば、フェロモントラップに誘引される確率が相対的に高まると予測されることから、

本研究課題では、低密度条件下で有効なフェロモントラップ技術の開発に向けた試験を実施した。

3. 研究開発方法

オオクチバス等の化学的防除手法開発のため、①オオクチバス等の誘引物質の探索を行った。また、フェロモントラップ開発に向けて、②湖沼におけるフェロモントラップの誘引効果のシミュレーションを行った。さらにフェロモントラップの運用上課題となっていた混獲問題を低減させるトラップの開発を行い、③湖沼のオオクチバス等の防除に適したフェロモントラップの規格決定を行った。

(1) オオクチバス等の誘引物質の探索

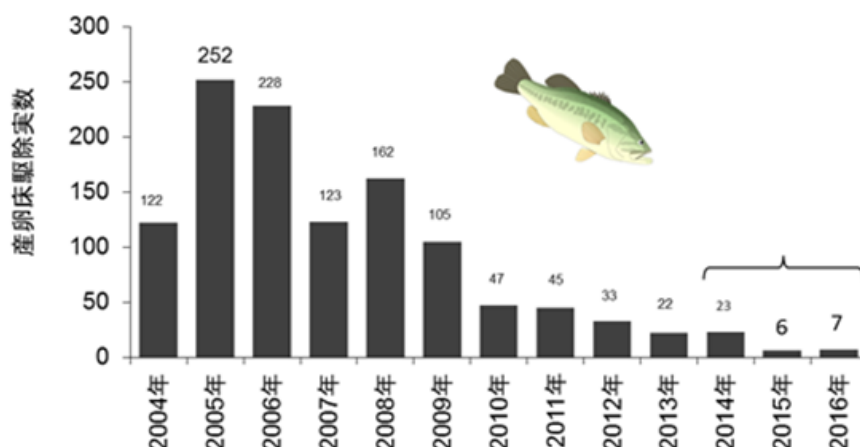
オオクチバスのオスが持つ誘引物質を用いた化学的防除手法の開発を目指すため、オオクチバスの誘引物質の探索に取り組んだ。伊豆沼・内沼で捕獲したオオクチバス成魚20個体から胆嚢を摘出して胆汁を採取した。産卵期のオスの胆汁の脂溶性成分がメスに対する誘引効果を持つことから、脂溶性成分に着目して成分分析を実施した。魚類の胆汁中の脂溶性成分は大きく胆汁酸と胆汁アルコールに分類される。これらの胆汁サンプル中に含まれる胆汁酸ならびに胆汁アルコールについてガスクロマトグラフィ質量分析計（GC/MS）、液体クロマトグラフ-タンデム型質量分析計（LC/MS/MS）を用いて分析した。脂溶性成分の成分分析結果をもとに、オオクチバスの誘引物質となる物質の絞り込みを行った。

(2) 湖沼におけるフェロモントラップの誘引効果のシミュレーション

湖沼におけるフェロモントラップの誘引効果をシミュレーションするため、伊豆沼・内沼の水深、流入・流出河川流量、底質の摩擦係数等をパラメータで入力した流況シミュレーションモデルを作成した。このモデルをもとに、一定の風況下におけるフェロモンの拡散シミュレーションを行った。この基礎モデルをもとに、実際の風況下におけるフェロモンの拡散シミュレーションを行った。シミュレーション結果から、フェロモントラップの有効な効果範囲を検証した。

(3) オオクチバス等のフェロモントラップの規格決定

フェロモントラップを実用化する際、外来魚が減少し在来魚が回復する中（図(6)-1）、在来魚等の混獲（対象としていない魚種を捕獲してしまうこと）が問題となる。混獲は、在来魚等に悪影響を及ぼし、また作業効率の大幅な低下をもたらす。そこで混獲を避けながらオオクチバスを捕獲できるフェロモントラップの開発に取り組んだ。長さ 20 m、高さ 1 m のフェンスをトラップの周囲に囲い、幅 50 cm の入り口からしかトラップ側に入れない侵入防止フェンスを開発した。これにより誘引されない魚類は刺網に近づき難くなり、混獲の影響を低減させられることを期待した。侵入防止フェンスの有効性についてオオクチバスの繁殖期である 5～6 月に試験した。この結果を基に、適切なフェロモントラップの規格について決定した。



図(6)-1 伊豆沼・内沼におけるオオクチバス産卵床の人工産卵床による駆除数の経年変化。

産卵床駆除数の変化は、沼に生息するオオクチバスの相対的な個体数の変化を示す。

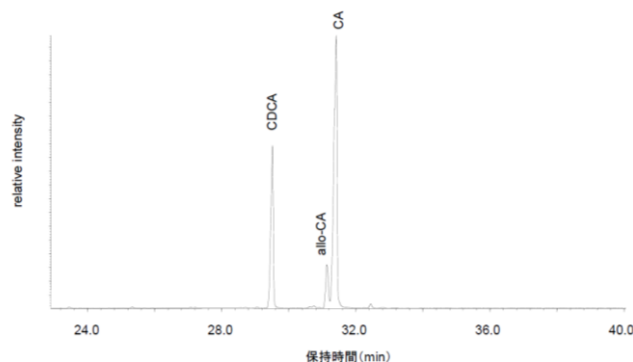
4. 結果及び考察

(1) オオクチバス等の誘引物質の探索

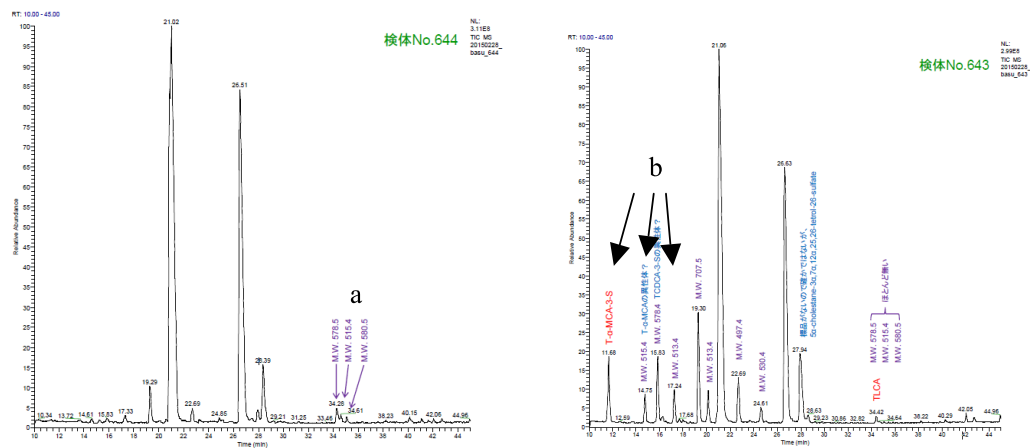
1) GC/MSおよびLC/MS/MSによる胆汁成分分析

産卵期オオクチバスの胆汁中の中極性化合物の酸性分画を図(6)-2のGC/MS による胆汁酸分析チャートに示す。胆汁アルコールおよびオキシステロールについても分析した。胆汁酸は、CDCA、allo-CA、CA を主成分としていた。胆汁アルコールは、5 β -cholestane-3,7,12,25,26-pentol、5 β -cholestane-3,7,12,26,27-pentol が検出された。魚類では、一般的には進化に伴って胆汁アルコールから胆汁酸分泌への変化が見られる。オオクチバスは、胆汁酸が主成分であり、この観点からは進化した魚類のタイプに分類された。また、胆汁酸、胆汁アルコールの分画は、allo 型が見られる事も含め、多くの魚類の報告例と一致した。

産卵期のオオクチバスの胆汁成分の雌雄間の比較結果を図(6)-3左 に示す。オスでは極性の低いと考えられるMW. 578~590の成分が検出された。一方、メスではオスとは異なる成分(図(6)-3右)が多数検出された個体もあった。しかし、個体によってその組成は異なっていた。



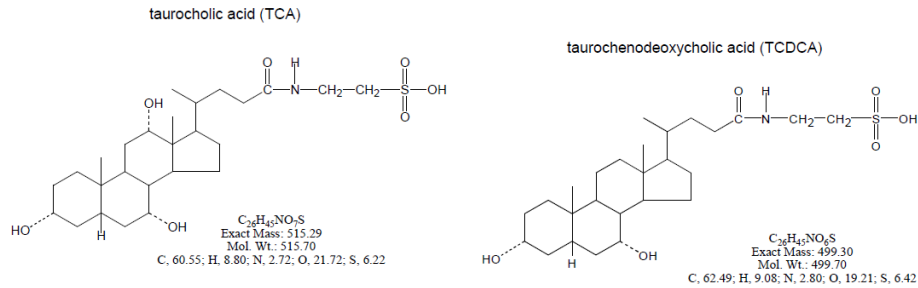
図(6)-2 GC/MSによる胆汁酸分析チャート



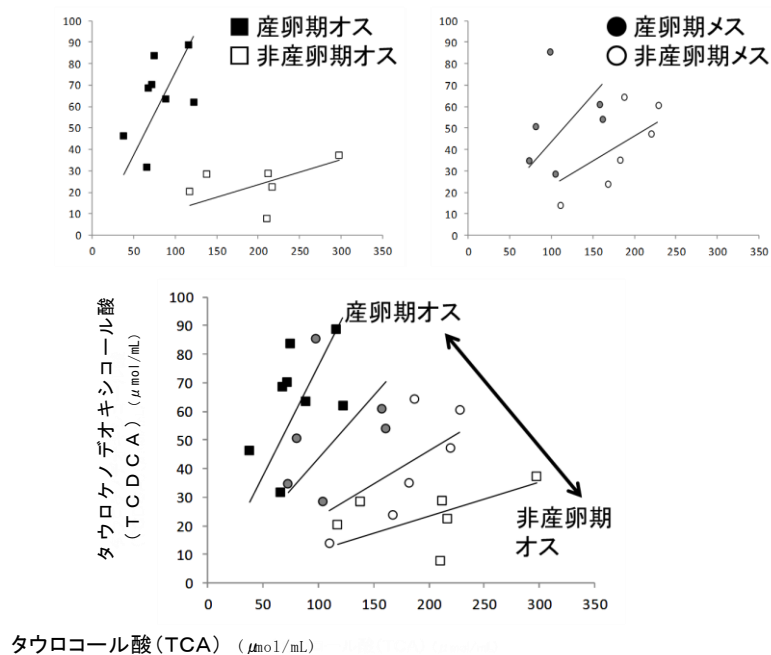
図(6)-3 LC/MS/MSによる産卵期のオス（左：No. 644）とメス（右：No. 643）の胆汁の成分比較

2) 主要成分の分析

①産卵期と非産卵期に採集したオオクチバスの胆汁成分を比較したところ、胆汁酸の主要成分である、タウロコール酸（TCA）とタウロケノデオキシコール酸（TCDCA）の濃度が、産卵期と非産卵期で大きく変化することが明らかになった（図(6)-4, 5）。特にオスではその傾向が顕著であり、産卵期における主要成分の濃度変化は、胆汁の誘引効果に関与している可能性が推測された。また、産卵期のオスの胆汁には、いくつかの不明な成分が検出されており、これらも誘引効果に関与している可能性が示唆された。



図(6)-4 オオクチバスの胆汁酸主要成分であるTCAとTCDCAの分子構造

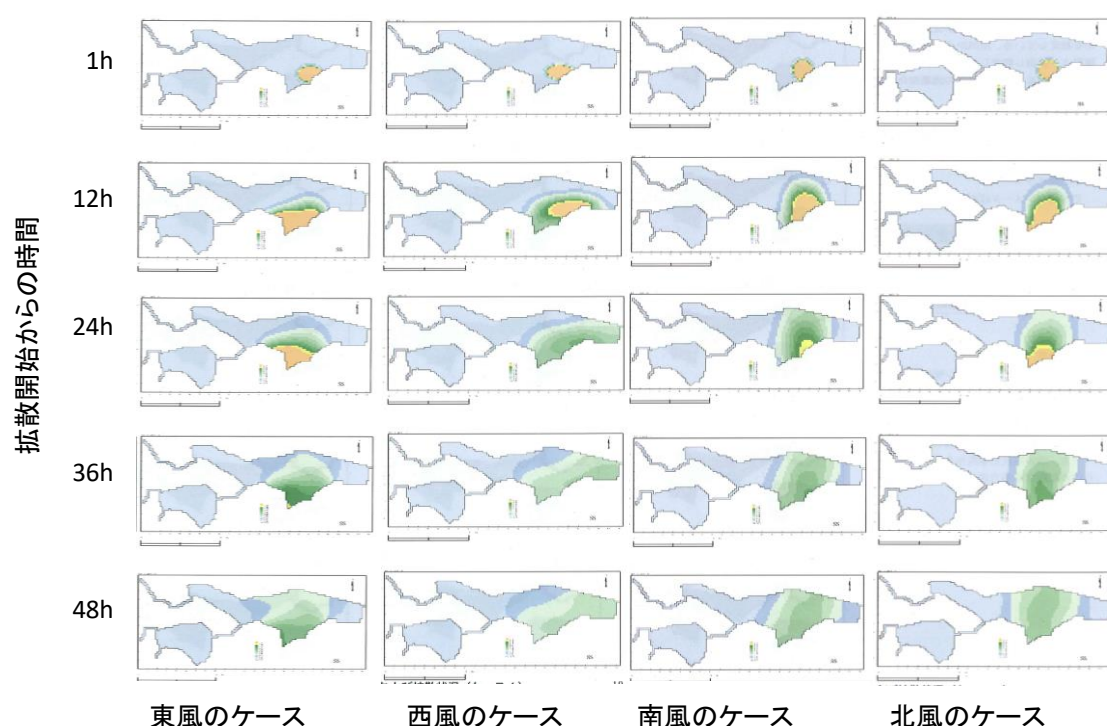


図(6)-5 フェロモン物質の測定結果。オスは産卵期と非産卵期で胆汁酸の組成が大きく変化した（左上）一方、メスは産卵期と非産卵期で組成の変化は小さかった（右上）。それらを合成したものの（下）。

（２）湖沼におけるフェロモントラップの誘引効果のシミュレーション

1) 基礎シミュレーションモデルの作成

フェロモンを湖沼に投入した場合には、主に風向風速によって、拡散方向や拡散範囲が変化すると予測される。伊豆沼・内沼の水深、流入・流出する河川流量、底質の摩擦係数等をパラメータで入力した基本モデルを作成し、このモデルに風向風速条件を与えることでフェロモン拡散状況をシミュレーションすることにした。今年度は、基本モデルを作成した後、その実用性を確認する基本シミュレーションを行った（図(6)-6）。基本シミュレーションでは、東西南北のそれぞれの風向が、オオクチバスの産卵期の平均的な風速（約2 m）で48時間吹いた条件を設定し、この条件下で、オオクチバスの産卵場の中心である1地点からフェロモンを滴下した場合の拡散方向と範囲をシミュレートした。その結果、1地点からのフェロモン投入でも、48時間後には沼の3分の1（約100 ha）の範囲まで拡散することが予測として示された。この時、投入地点の流速は約2 cm/secであり、この程度の流速でもかなり広い範囲に拡散することが確認された。風向は拡散方向に強く影響し、北風と南風の場合は拡散様式が似ていたが、東風と西風はそれぞれ他とは異なる拡散様式を示した。



図(6)-6 4種の風向条件を与えた際の、フェロモンの拡散シミュレーション結果。

2) 湖沼におけるフェロモントラップの拡散範囲シミュレーション

フェロモンを湖沼に投入した場合の拡散状況についてオオクチバスの産卵期の風向風速条件でシミュレーションを行った。実際の環境条件では、湖岸に沿って複雑な流れが生じ（湖岸流）、フェロモンは湖岸域を中心に拡散した（図(6)-7）。複雑な湖岸流により、湖沼に設置したフェロモントラップは、河川とは異なり、フェロモントラップのある湖岸域を中心に雲状に拡散すると言える。これは、フェロモントラップの周辺水域に対象個体を誘導する意味では効果的だろう。また、交信攪乱の面でも有効かもしれない。その一方で、フェロモントラップにピンポイントで対象魚を誘導するには、周辺水域からフェロモントラップまで、フェロモンの濃度勾配が対象魚にとって分かりやすい形で形成されている必要があるかどうかを検証する必要性が示された。

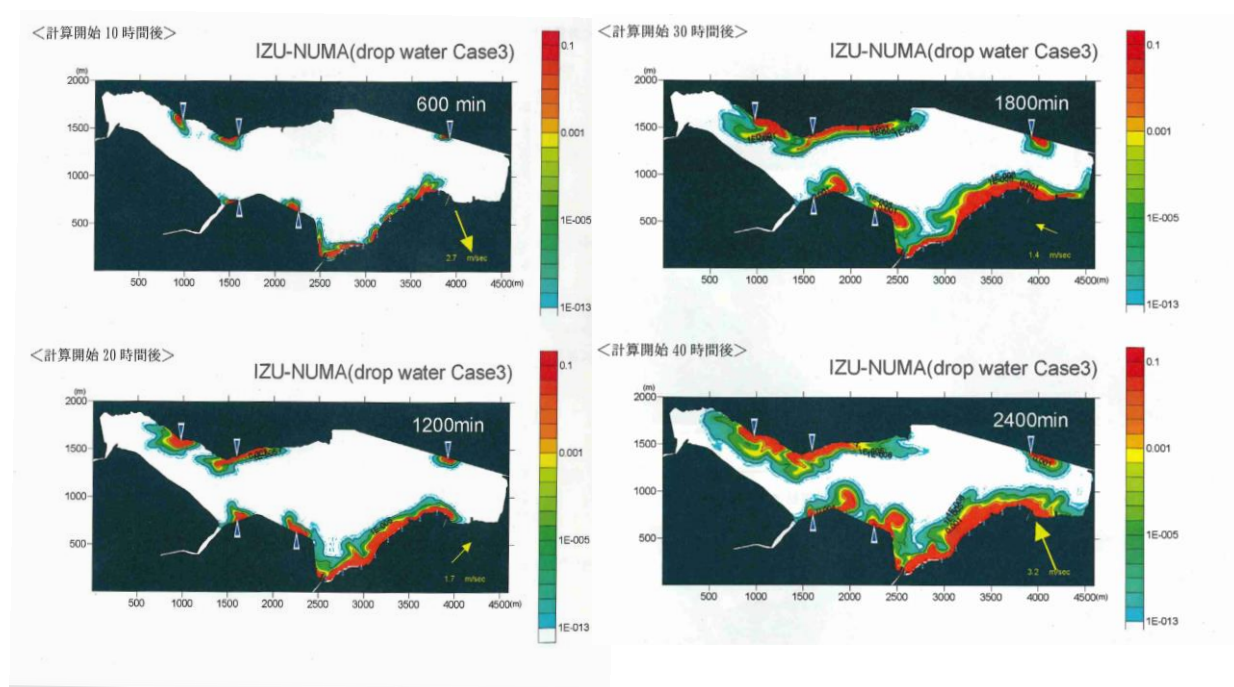
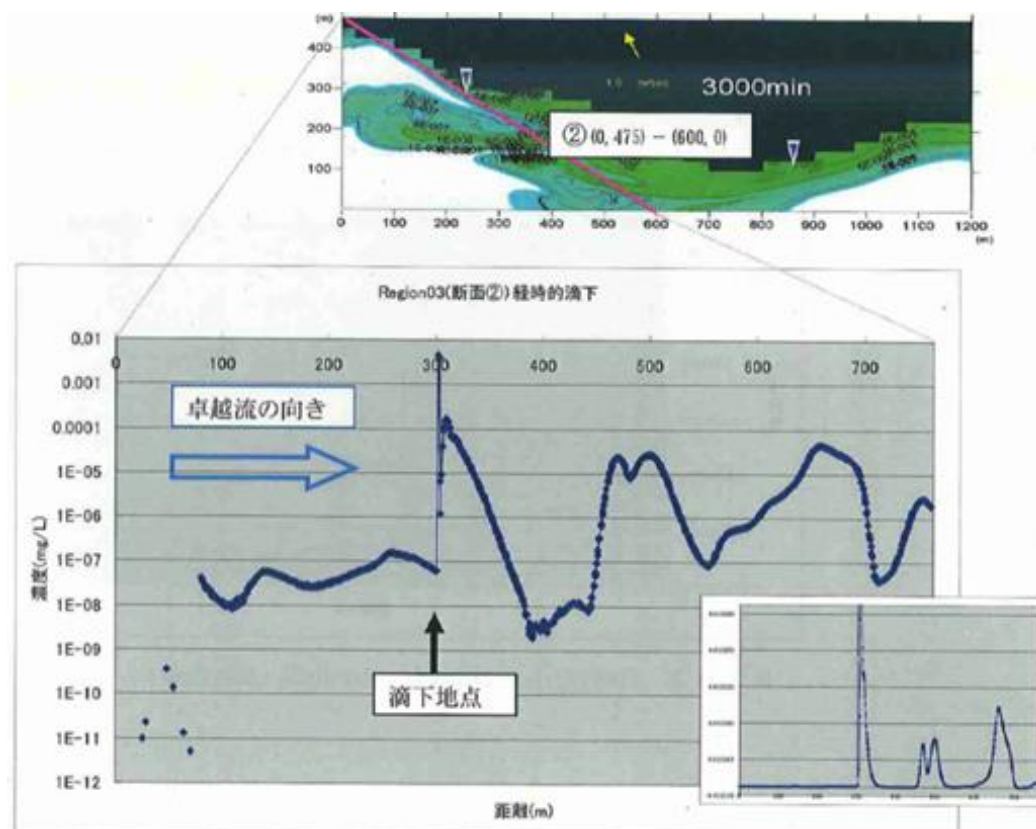


図 (6)-7 オオクチバス産卵期の風向条件を与えた際のフェロモンの拡散シミュレーション結果

3) オオクチバス等のフェロモンへの反応範囲の分析

オオクチバスをフェロモントラップで捕獲するには、フェロモン物質の濃度勾配が滴下位置を中心にきれいな山型を形成していることが望ましい。伊豆沼の中でトラップ設置に適した12地点を対象に、濃度分布をシミュレーションした結果、滴下位置から約100 mにわたって、きれいな山型を示していることを確認した（図 (6)-8）。したがって、適正な濃度のフェロモン物質を滴下すれば、100 m 以内に入ったオオクチバスを誘引できる可能性が示された。

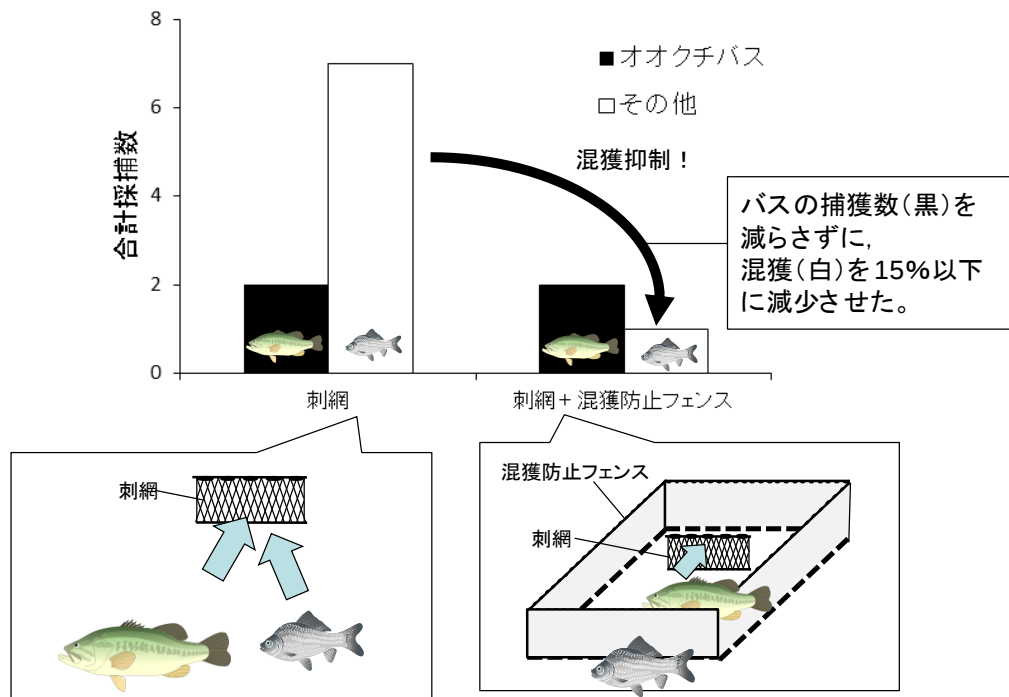


図(6)-8 滴下地点を中心としたフェロモンの濃度分布。滴下地点から風下側では約100mにわたって山型の濃度分布を示し、この範囲のオオクチバスは誘引できる可能性が高い。

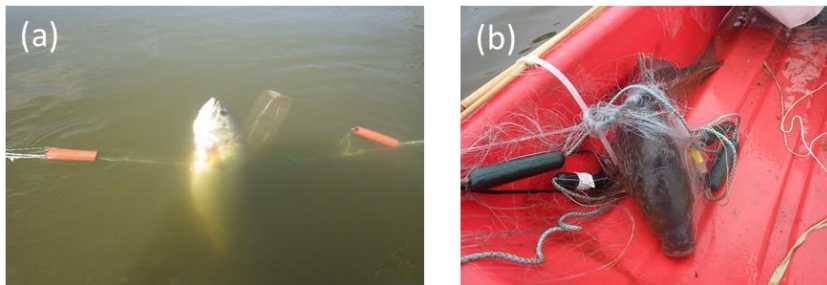
(3) オオクチバス用フェロモントラップの規格決定

1) 混獲防止型トラップの開発と効果検証

湖沼でのフェロモントラップ運用時に問題となる混獲の影響を改善するため、フェロモントラップの周囲をフェンスで囲い、フェンスの一部にスリットを設け、誘引された魚が特にトラップに掛かるよう工夫した。このフェンスを取り付けた結果、オオクチバスに対する捕獲効率を下げることなく、オオクチバス以外の魚の混獲を6分の1以下(15%)まで減少させた(図(6)-9)。通常のトラップでは、オオクチバスの3倍以上の魚が混獲されたことから(図(6)-10)、フェンスの設置は有効な技術と考えた。ただし、この試験で用いたフェンスは1辺の長さが5mあり、作業コストや価格が高かったため、より実用的な構造を持つ装置の開発が必要だと考えられた。



図(6)-9 混獲防止フェンスの試験結果。フェンスでトラップを囲った結果、オオクチバス以外の魚の混獲は6分の1以下（15 %）まで減少した。この時に用いたフェンス1辺の長さが5mあり、作業コストや価格が高かったため、実用的ではなかった。

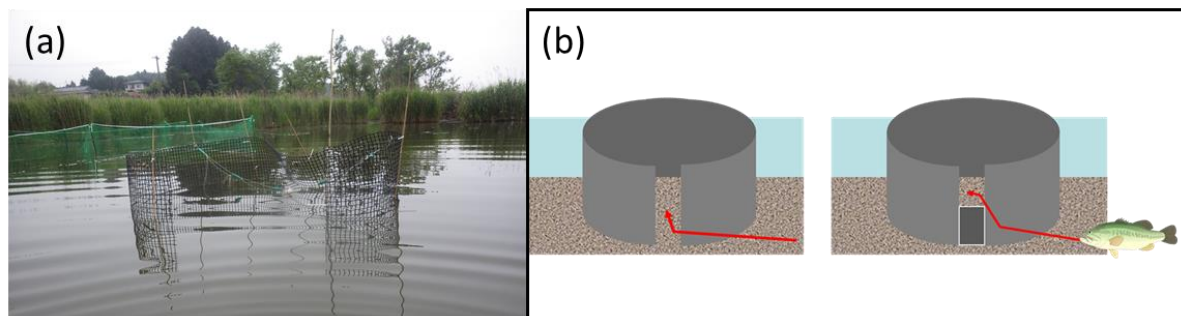


図(6)-10 フェロモントラップで捕獲された(a) オオクチバスおよび(b) コイ

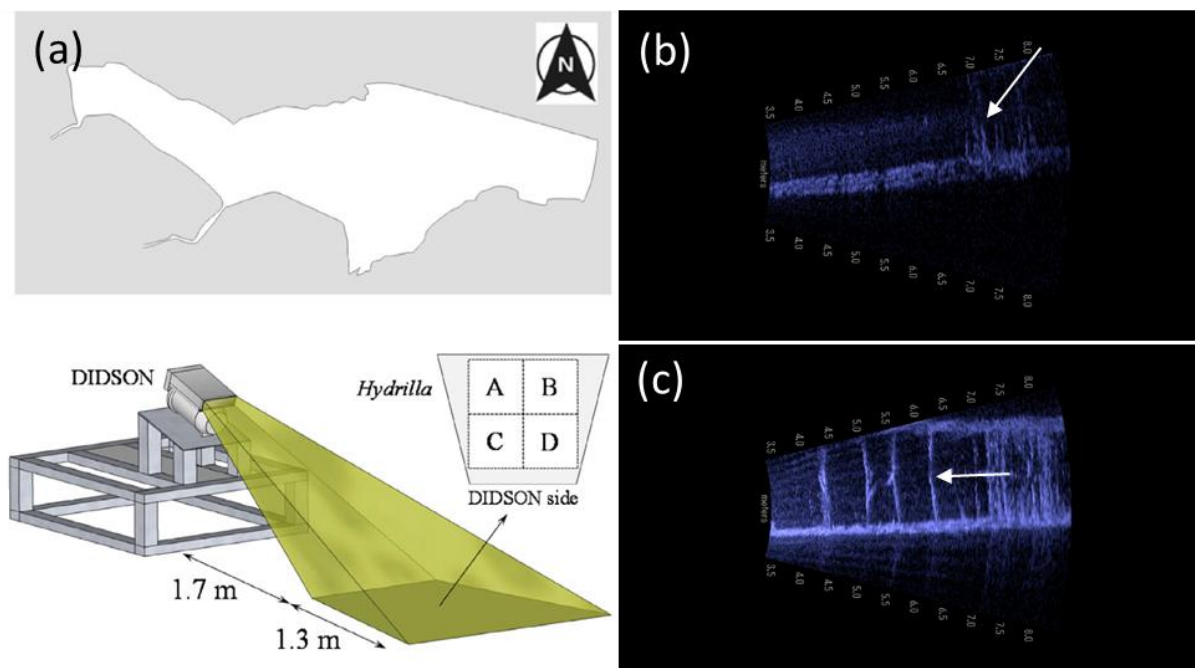
2) 小型の混獲防止型フェロモントラップの開発と効果検証

混獲防止にフェンスが有効であることを確認したことから、実用的な小型のフェンス開発に取り組んだ。トリカルネットを用いた直径約1mのフェンスを開発した（図(6)-11）。これにより費用や作業コストを10分の1以下に削減することができた。この新型フェンス（図(6)-11b左）は開発段階の予備試験で混獲の抑制効果が高くなかったため、入口の底層から中層にかけて衝立型のフェンスを付けている（図(6)-11b右：中央の濃灰色部分）。魚類がこのトラップに入るにはこの衝立を乗り越える必要がある。この構造の有効性を評価するため、音響映像カメラ（DIDSON）を用いて胆汁に対する反応を評価した。音響映像カメラで魚の行動を観察することで、魚類の反応を詳細に観察できるとともに遊泳パターンに応じたトラップの構造であるか検証することができる。図(6)-12cの矢印の位置まで衝立があり、90%以上のフナ類は底層を泳いでいたため、ト

ラップの内側に入ることはなかった。これにより、衝立をつけることでフェロモントラップの混獲を大きく抑制できる可能性が示唆された。これらの観察結果から、図(6)-11bの混獲防止型トラップがオオクチバス用のフェロモントラップの規格として適切であると判断した。



図(6)-11 本試験で開発した簡易型の混獲防止フェンスを取り付けたフェロモントラップの外観(a)および混獲防止フェンスの構造図(b)。フェンスはトリカルネット製で、1か所にスリットを設けてある。(b)の右図は入口の底層から中層にかけて衝立型のフェンスを付けたもの。

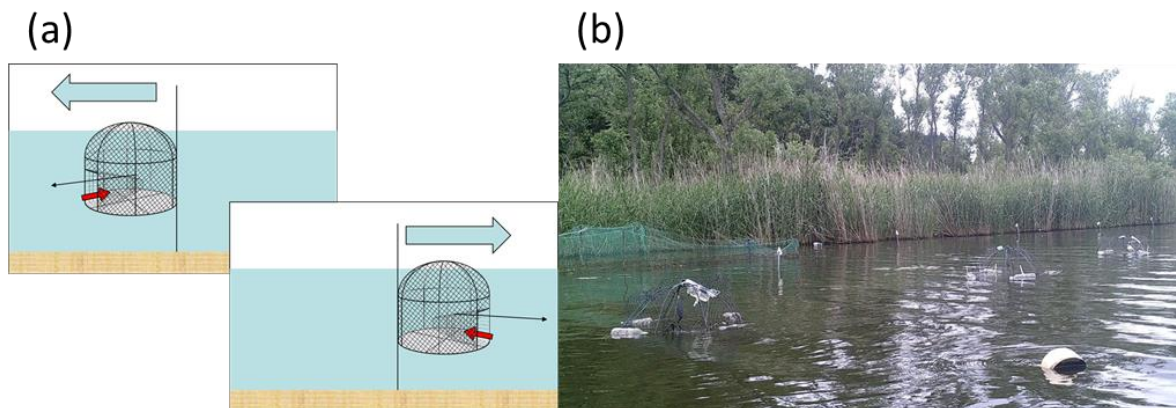


図(6)-12 混獲防止フェンスに対する魚類の反応試験：(a)調査場所および魚類の水面下の行動調査に使用した音響映像装置(DIDSON)、(b)トラップの前に現れたオオクチバス(矢印)、(c)矢印の位置まで衝立があり、底層を泳ぐフナ類等のトラップ内への侵入を防いだ。

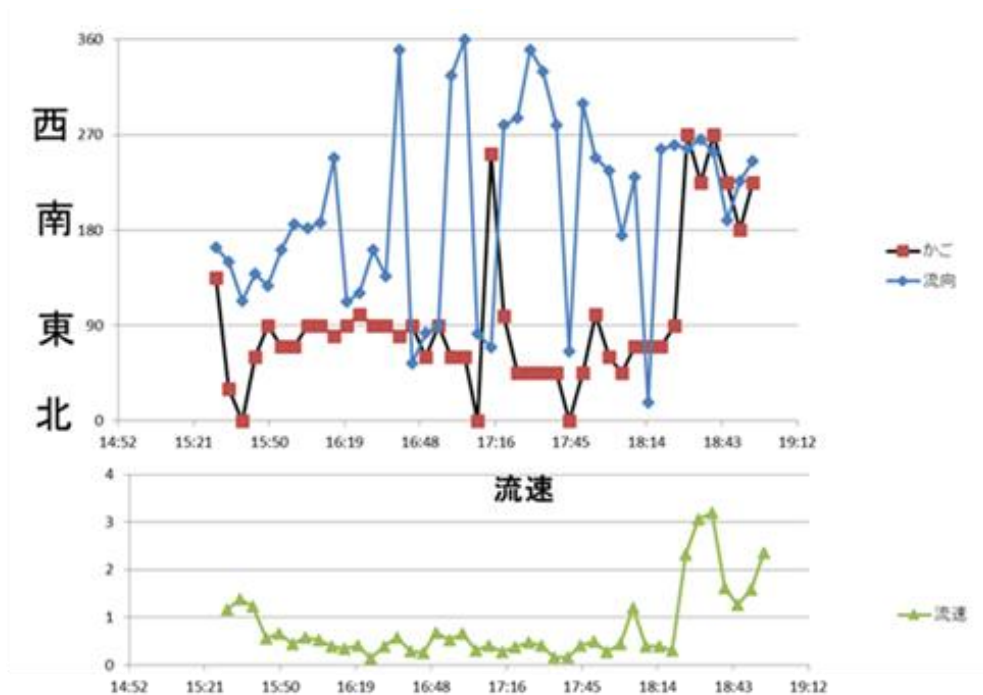
3) 流向追尾型フェロモントラップの開発と効果検証

オオクチバス用のフェロモントラップとして前述の規格を提唱したが、将来的には全く異なる観点から設計されたトラップの開発可能性についても検証を行った。オオクチバス等の外来魚の防除活動でしばしば使用されるアイ簗を用いたトラップである。このアイ簗は入口が一方しかないため、フェロモントラップとして使用するためには、入口が風下側に向く必要性があった。そこで、流向追随型のアイ簗トラップを開発した(図(6)-13)。フェロモンが流れる方向に入口が

向くよう、水底に一方を固定し、流向に追従するよう、ペットボトルを取り付けて本体を浮かべる構造である。このトラップの有効性について検証したところ、微風（風速2m以下）の条件下では流向が頻繁に変化しているにも関わらず、籠は風向に追従していなかった（図(6)-14）。この時間帯の流速は0.5cm以下で、ほとんど流速が無い状態であったため、籠の向きが変わることはなかったと思われる。その一方、流速が2cm/secを超えた際は、籠と流向が一致している（図(6)-14）。試験を行った伊豆沼ではこの時期、流速が1cm/sec以下となることが多いため、現在の伊豆沼ではこの装置は適していないと思われる。しかし、混獲を気にしないでいいタイプのフェロモントラップの開発は重要であり、今回の知見を活かし、新たな観点から設計していくことの重要性が示された。



図(6)-13 (a) 流向追従型のアイ籠トラップの概念図および(b) 流向追従型のアイ籠トラップの設置状況。流向に追従するよう、ペットボトルを取り付けて浮かんでいる。



図(6)-14 (a) 流向追従型トラップ（赤線：入り口の向き）の流向（青線）に対する反応

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

魚類では性ホルモン関連物質がフェロモンとなる、ホルモナルフェロモンが一般的であるが、本研究で候補物質の絞り込みを行ったところ、ホルモンとは無関係である胆汁成分中に特徴的な物質が確認され、魚類の性フェロモン学分野の新しい知見の一つとなった。フェロモントラップ開発の中では、音響映像カメラを活用し、濁水中で主に生息しているオオクチバスの行動を調査し、濁水中での魚類のトラップや漁具に対する反応行動の一端を明らかにした。また、湖水の流動シミュレーションを基にフェロモンの拡散範囲を検証した研究はこれまでになく、フェロモントラップ開発だけでなく、魚類のフェロモン行動学分野においても新しい知見をもたらした。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

環境省主催の「平成26年度全国自然再生協議会全国会議」において、本研究成果である外来魚防除技術開発結果を事例報告して、この全国会議の最終日に行われた順応的管理についてのグループミーティングに話題提供した。

環境省自然環境局による「淡水魚保全のための検討会」において、伊豆沼・内沼で実施されてきたオオクチバス等の外来魚防除活動の成果が事例報告として発表され、淡水魚保全のための政策提言に貢献した。

環境省の外部インターネットサイト「エコナビ」にて、「工夫の積み重ねが生んだ防除成果-ケーススタディ：伊豆沼・内沼のオオクチバス対策-」のタイトルで伊豆沼・内沼の外来魚防除活動が紹介され、外来種防除のための普及啓発に貢献した。

<http://econavi.eic.or.jp/ecorepo/live/422>

<行政が活用することが見込まれる成果>

平成17年に環境省と水産庁より公表された「オオクチバス等に係る防除の指針」において、防除の目標として根絶あるいは影響の低減化（低密度管理）が示されたが、湖沼などの大規模水域では、この目標を達成できる防除技術が確立されていなかった。本事業で得られた、オオクチバスの誘引物質の絞り込み、フェロモントラップの規格か、フェロモントラップの有効範囲の確定は、指針が目指す根絶や低密度管理を実現する有効な手法となる。また、オオクチバスは100 of the World's Worst Invasive Alien Species にも選ばれており国際的にも活用が期待できる。

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）>

特に記載すべき事項はない。

<その他誌上発表（査読なし）>

- 1) 藤本泰文：オオクチバスの影響と対策．よみがえる魚たち～シナイモツゴとゼニタナゴを復元した戦略と戦術～．高橋清孝（編）恒星社厚生閣（印刷中）
「オオクチバスの影響と対策」

（２）口頭発表（学会等）

- 1) 藤本泰文・芦澤淳・高橋清孝：2014年度日本魚類学会年会シンポジウム（2014）
「駆除の実践と成果の現状 1 伊豆沼」
- 2) 藤本泰文：平成26年度全国自然再生協議会全国会議（2015）
「伊豆沼・内沼（宮城県）の自然再生事業」
- 3) 藤本泰文：2016年度日本魚類学会市民講座「魚類にみる最新の外来種問題」（2016）
「オオクチバス等の外来魚の新たな駆除方法の開発」

（３）知的財産権

特に記載すべき事項はない。

（４）「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) 宮城県伊豆沼・内沼サンクチュアリセンター 一般展示にてのべ約12万名（来館者2015年度 約3万8千名，2016年度 約4万名，2017年度 4万2千名）に成果紹介
- 2) 一般公開シンポジウム「日本の外来魚問題の現状を考える：外来生物法制定から10年で何が変わったのか？」（主催：日本魚類学会、2014年11月17日、神奈川県立 生命の星・地球博物館 SEISAミュージアムシアター、観客約300名）にて講演
- 3) 一般公開シンポジウム「魚類にみる最新の外来種問題」（主催：日本魚類学会、2016年8月27日、名城大学天白キャンパス、観客約200名）にて講演

（５）マスコミ等への公表・報道等

- 1) 毎日新聞（2014年5月19日、宮城県版、「ブラックバス卵の駆除活動」）
- 2) 河北新報（2014年10月1日、宮城県版、「誉のコイ 漁の風景消えゆく」）
- 3) 大崎タイムス（2014年10月28日、宮城県版、「ガンの群れに手振り歓声」）
- 4) 河北新報（2014年12月2日、宮城県版、「ブラックバス 伊豆沼侵入阻止」）
- 5) 河北新報（2015年2月24日、宮城県版、「伊豆沼・内沼の生物環境を報告」）
- 6) 河北新報（2015年4月30日、宮城県版、「ブラックバスの駆除」）
- 7) 河北新報（2015年5月29日、宮城県版、「伊豆沼バス駆除隊始動」）
- 8) 河北新報（2015年9月4日、宮城県版、「ゼニタナゴ19年ぶり確認 外来魚駆除が効果」）
- 9) 山形新聞（2015年11月4日、宮城県版、「広く生息 生態系に影 最上川にコクチバス」）
- 10) 朝日新聞（2015年11月26日、宮城県版、「ラムサール登録30年「賢い利用」進める」19年振り絶滅危惧種確認）
- 11) 毎日新聞（2015年11月29日、宮城県版、「伊豆沼・内沼の課題や提言語る「ラムサール」30年」）
- 12) 河北新報（2015年12月6日、宮城県版、「伊豆沼バス侵入許さぬ」）
- 13) 岩手日日新聞（2016年6月21日、宮城県版、「伊豆沼の環境保全へ バス・バスターズ 外

来魚駆除に協力」)

14) 毎日新聞 (2016年12月6日、宮城県版、「「シナイモツゴ」シンポ開催」)

15) 河北新報 (2017年2月5日、宮城県版、「多様な動植物の生命を守り抜くー伊豆沼・内沼
よみがえれ在来生物プロジェクト事業」)

(6) その他

特に記載すべき事項はない。

8. 引用文献

- 1) 藤本泰文・嶋田哲郎・高橋清孝・斉藤憲治：宮城県伊豆沼・内沼環境保全財団 (2013)
「湖沼復元を目指すための外来魚防除・魚類相復元マニュアル～伊豆沼・内沼の研究事例か
ら～」
- 2) 藤本泰文：オオクチバスの影響と対策．よみがえる魚たち～シナイモツゴとゼニタナゴを
復元した戦略と戦術～．高橋清孝 (編) 恒星社厚生閣 (印刷中)
「オオクチバスの影響と対策」

The Countermeasure Development for Intensive Control of Invasive Alien Species

Principal Investigator: Koichi GOKA

Institution: National Institute for Environmental Studies (NIES)
16-2 Onogawa, Tsukuba-City, Ibaraki 305-8506, JAPAN
Tel: +81-29-850-2480 / Fax: +81-29-850-2480
E-mail: gokas@nies.go.jp

Cooperated by: Forestry and Forest Products Research Institute, Japan Wildlife Research Center, University of Miyazaki, Lake Biwa Museum, The Miyagi Prefectural Izunuma-Uchinuma Environmental Foundation

[Abstract]

Key Words: Chemical control, *Linepithema humile*, *Bombus terrestris*, *Vespa velutina*, *Anolis carolinensis*, *Herpestes auropunctatus*, *Micropterus salmoides*, DNA barcoding, Bait, IGR, Pheromone

Since the Alien Species Act was enacted, the Ministry of the Environment's top priority has been to control and ultimately eradicate invasive alien species established in Japan, while also preventing new alien species introduction. Here we report on several newly developed methods for the quick detection of invasive alien species introductions and for the eradication of naturalized populations.

Targeted species included the Argentine ant (*Linepithema humile*), European bumblebee (*Bombus terrestris*), yellow-legged hornet (*Vespa velutina*), green anole (*Anolis carolinensis*), mongoose (*Herpestes auropunctatus*), and largemouth bass (*Micropterus salmoides*). Although efforts to control these species are underway across Japan, more effective methods are needed to decrease their population sizes.

We developed a molecular technique to identify the presence of target exotic species using DNA barcoding and loop mediated isothermal amplification methods. The areas surrounding bonded warehouses are relevant for exotic species monitoring, and plant quarantine data suggest that agricultural products are potential invasion pathways for the Argentine ant and other species.

We successfully controlled the Argentine ant population around Tokyo Bay and then in other parts of the Kanto area by using chemical bait. To establish the criteria for ending chemical control, we developed a stochastic model to confirm the eradication of Argentine ant populations based on the monitoring data. We also assessed the ecological impacts of chemical control on non-target species. In addition, we developed a method for controlling European bumblebee and yellow-legged hornet populations in which workers carry pesticide compounds that inhibit larva growth back to their nests; we confirmed this

method's effectiveness in field tests. A control manual for each of these alien insects has been written and distributed.

Chemical control techniques were also attempted with the green anole on the Ogasawara Islands. Because the anole eats only live insects, we developed a method in which live flies are treated with chemical compounds. Tests indicate that caffeine is effective for use on the live bait.

In laboratory and semi-natural field tests, we validated the effectiveness of chemical baits for control of mongoose, because the population density is now too low to eradicate this species by trapping. This method was employed to control mongoose populations on the Amami Islands.

To control largemouth bass populations, we focused on the sex pheromones males release to attract mature females. Field tests of bile extract from captured males showed high attractiveness. We designed several trap structures and tested them with the bile extract.