

第2章 外来アリ類（ヒアリ等）の監視技術・体制の確立

1. 有効なモニタリング手法の検討

1-1. 外来アリ類の侵入状況の現状評価概要（予報）

沖縄県内におけるモニタリング体制の整備に先立ち、ヒアリを中心とした侵略的外来アリ類について、その侵入の有無と分布の現状を把握することを目的に、予備調査を行った。平成28年度は、調査対象地区として、主要交易港を抱える沖縄本島と石垣島を選定した。

沖縄本島では、港湾地区での調査区選定を進めるとともに、沖縄科学技術大学院大学が研究プロジェクトで運営する昆虫採集システムを利活用することで、短期間での広域かつ網羅的な予備調査を目指した。石垣島では、港湾地区における調査区の選定及び、アリ相把握を目的とした予備調査を実施した。本調査にて採集され、データとして使用されたアリ類標本は、すべて沖縄科学技術大学院大学生物多様性・複雑性研究ユニットのコレクションとして保管されている。

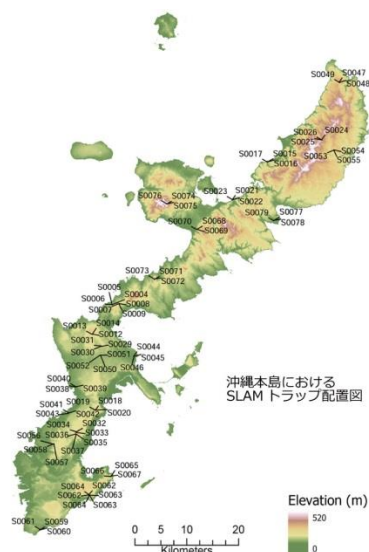
今年度を実施した県内での予備調査において、いまのところヒアリ類を含む特定外来指定のアリ類は確認されていない。

1-2. 外来アリ類の侵入状況 予備調査

(1) 調査方法

① 沖縄本島

沖縄科学技術大学院大学が現在実施している「OKEON 美ら森プロジェクト」の昆虫モニタリングシステムを利用し、2015年度から設置された本島内72カ所の昆虫捕獲器SLAMトラップ（テント型変形マレーゼトラップ）により捕獲されたアリ類を調査対象とした。本研究では、沖縄本島の北から南まで、連続的な森林から農地までを含む多様な環境に、合計24カ所の調査区を設けている。それぞれの地点に半径100mの円形調査区を設定し、その範囲内にSLAMトラップを3基ずつ設置。1年を通して2週間毎に各トラップで採集される昆虫類を回収している。すでに昆虫の活動が活発になる4月を含む約7ヶ月にわたる連続定点採集を行っていることになり、これら1,000本を超える昆虫液浸サンプルの中から、以下の手順に従ってアリ類を探索、同定し、標本として保管した。なお、本事業が開始した11月時点、そしてそれ以降も、野外からのアリ類の試料の回収は継続して実施している。



SLAMトラップ

1. トラップから回収されたエタノール液浸試料からのアリ類の抜き出し。
2. 各試料から抽出されたアリ類を、液浸中で形態種へと仕分ける。
3. 各試料から各形態種数個体を乾燥標本にする。
4. 標本情報に標識コードを与えてデータベースに登録。
5. 乾燥標本を基に種を同定。
6. 乾燥標本を「OKEON 美ら森プロジェクト」の標本管理システムにより保管・管理。



SLAMトラップから回収されたボトル



ソーティングを行うスタッフとソーティング室



SLAMトラップの試料から抜き出されたアリ類



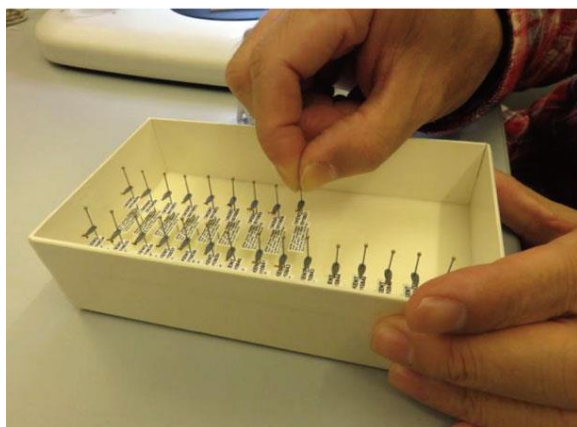
エタノール中で形態種へと分けられたアリ類



乾燥標本作製のため台紙への貼付け



採集データによるラベル作成



ラベルをつけられたアリ類乾燥標本



調査地、トラップ毎に整理されたラベル



標本収納キャビネット



標本箱

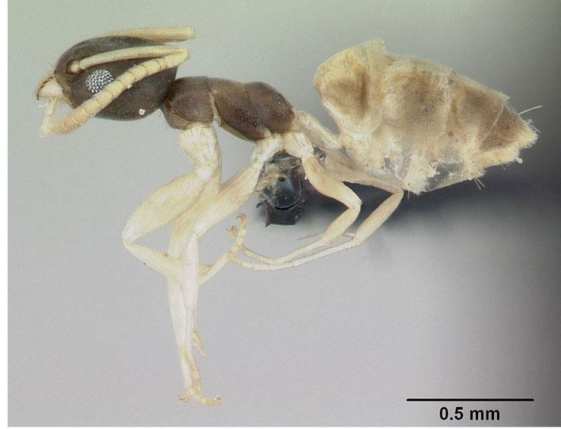


種まで同定され、整理された石垣島アリ類標本

今年度の予備調査では、ヒアリ及びアルゼンチンアリを含む、特定外来生物指定種 4 種と侵略的外来種ワースト 100 指定種 2 種、さらに、専門の見地から選出した外来 3 種を加えた合計 9 種に着目し、各トラップからの出現の有無と、そのデータによる侵入アリ類の沖縄本島内分布現状について調査した。以下に調査対象種 9 種の一覧を挙げる。



アルゼンチンアリ
Linepithema humile [特定外来生物] Photo: Michael Branstetter



アワテコヌカアリ
Tapinoma melanocephalum Photo: April Nobile



アシナガキアリ
Anoplolepis gracilipes Photo: Erin Prado



ヒゲナガアメイロアリ
Paratrechina longicornis Photo: Michele Esposito



ツヤオズアリ
Pheidole megacephala Photo: Shannon Hartman



アカカミアリ
Solenopsis geminata [特定外来生物] Photo: April Nobile

from www.AntWeb.org



ヒアリ
Solenopsis invicta [特定外来生物]



オオシワアリ
Tetramorium bicarinatum

Photo: April Nobile



コカミアリ
Wasmannia auropunctata [特定外来生物]

Photo: Michele Esposito

from www.AntWeb.org

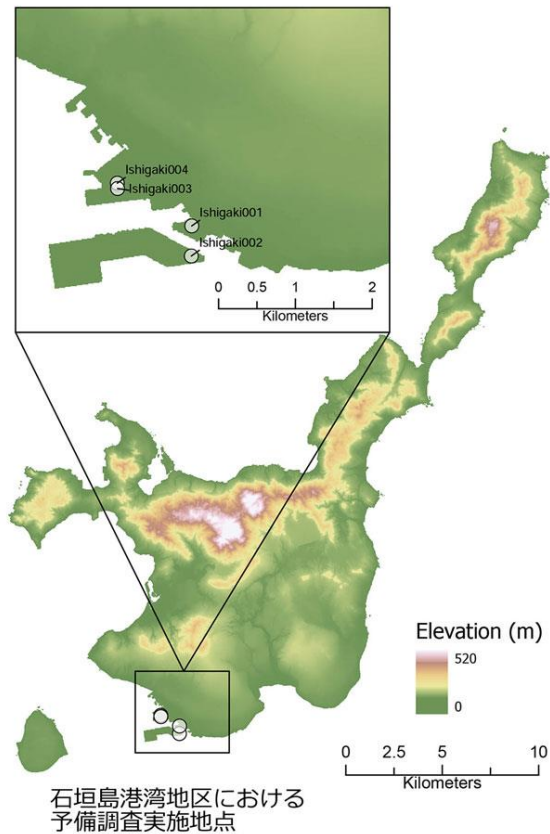
| 特定 外来 指定 | 亜科名 | 学名 | 和名 |
|----------------|----------------|---------------------------------|---------------------|
| X | Dolichoderinae | <i>Linepithema humile</i> | アルゼンチンアリ (カタアリ亜科) |
| | Dolichoderinae | <i>Tapinoma melanocephalum</i> | アワテコヌカアリ (カタアリ亜科) |
| | Formicinae | <i>Anoplolepis gracilipes</i> | アシナガキアリ (ヤマアリ亜科) |
| | Formicinae | <i>Paratrechina longicornis</i> | ヒゲナガアメイロアリ (ヤマアリ亜科) |
| | Myrmicinae | <i>Pheidole megacephala</i> | ツヤオオズアリ (フタフシアリ亜科) |
| X | Myrmicinae | <i>Solenopsis geminata</i> | アカカミアリ (フタフシアリ亜科) |
| X | Myrmicinae | <i>Solenopsis invicta</i> | ヒアリ (フタフシアリ亜科) |
| | Myrmicinae | <i>Tetramorium bicarinatum</i> | オオシワアリ (フタフシアリ亜科) |
| X | Myrmicinae | <i>Wasmannia auropunctata</i> | コカミアリ (フタフシアリ亜科) |

② 石垣島

石垣島は、台湾に近く、気候や土地利用形態が似ているため、重点地域のひとつに位置づけるべきだと考える。

台湾の専門家からの聞き取りから、特に侵入経路として危険性が高いのは港湾地区との意見が多かった。よって、まずは港湾地区に調査区を設定した。各関係機関への許認可申請や設置準備と並行して、港湾地区内の緑地4カ所でアリ相を把握することを目的に予備調査を行った。各緑地に、400平方メートルの調査区を1つもしくは2つ設定し、その中で15分間単位時間採集を各6回実施した。合計すると、調査面積は1,600平方メートルとなる。この調査面積内で、15分間の採集を24セット実施した計算となり、累積の総調査時間は360分となった。15分間単位時間採集法による調査では、地表や木の幹を徘徊する働きアリ

のを見つけ採りにとどまらず、草むらや木の葉のビーティング、木の根元などにたまった枯れ草や落ち葉のシフティングなど、複数の方法を組み合わせた採集を行い、単位時間あたりの採集種数が最大になるよう努める。そのため、特定の採集方法に偏らずに、調査実施調査区内に生息するアリ相を短時間で把握するのに適するとされる。また、通常の見つけ採りによる踏査と比べて、サンプルが細かいユニットに別れるため、調査努力量やその効果を解析しやすい利点もある。加えて、侵入を初期で検出するには、アリ相の時間的な変化も重要な要素になるかもしれない。その解明には、採集した標本の蓄積が必須となる。台湾におけるヒアリ侵入地と、沖縄における未侵入地を比較すると、アリ相を構成する種の違いが顕著である印象を受けたためである。従来用いられてきた粘着トラップによる調査では、標本の処理と蓄積が難しい。15分間単位時間採集法は、標本の蓄積という面においても有力な選択肢となり得るだろう。





方形区設置風景



見つけ採り



ピーティング (たたき)



シフティング (ふるい)



踏査による調査



ルーペによる観察と同定

今年度に設定した各調査区の位置データ及び調査日は以下の通りである。

調査区コード Ishigaki001

緯度経度データ 24.33485, 124.15874 標高 5m

調査日 2016年12月26日

調査区コード Ishigaki002

緯度経度データ 24.33132, 124.15878 標高 10m

調査日 2016年12月26日

調査区コード Ishigaki003

緯度経度データ 24.33903, 124.14912 標高 8m

調査日 2017年1月27日

調査区コード Ishigaki004

緯度経度データ 24.33966, 124.14907 標高 8m

調査日 2017年1月27日



調査地 Ishigaki001



調査地 Ishigaki002



調査地 Ishigaki003



調査地 Ishigaki004

さらに、上記に上げた15分間単位時間採集法による調査に加え、付近の道路や緑地などを可能な限り踏査し、予備調査を実施した。目視及びルーペを使用した簡易な現地同定を用いて、周辺のアリ類の生息状況を確認し、港湾地区とその周辺地域でヒアリを中心とした特定外来指定アリ類の侵入の有無を調査した。

(2) 調査結果

今年度に沖縄本島及び石垣島で実施した予備的調査の結果を以下に示す。

① 沖縄本島に設置した SLAM トラップ 72 基から回収された対象種

沖縄科学技術大学院大学が現在実施している「OKEON 美ら森プロジェクト」の昆虫モニタリングシステムを使い、沖縄本島内の SLAM トラップ（変形マレーゼトラップ）72 基より回収された試料を探索した。そこから発見された対象 9 種のアリ類について、結果を以下に示す。

特定外来生物に指定された外来性アリ類、アルゼンチンアリ、アカカミアリ、ヒアリ、ココミアリの 4 種は、いずれも発見されなかった。その他の調査対象種 5 種については、いずれも人口的な攪乱環境によく適応していることがうかがえる。そして共通しているのは、集落を含む人口密集地を中心にその分布を拡大させていることを示唆する分布パターンである。逆に、北部や本部半島森林環境に設置したトラップからの出現は限られている。

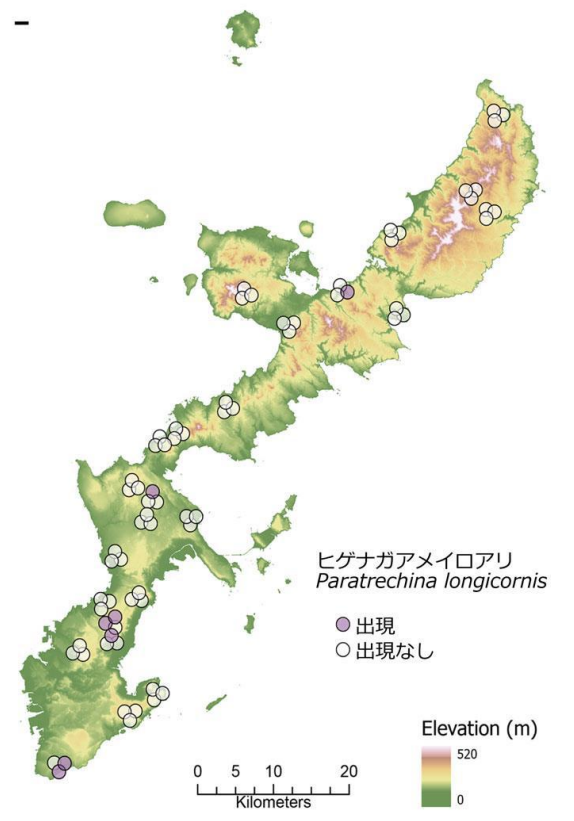
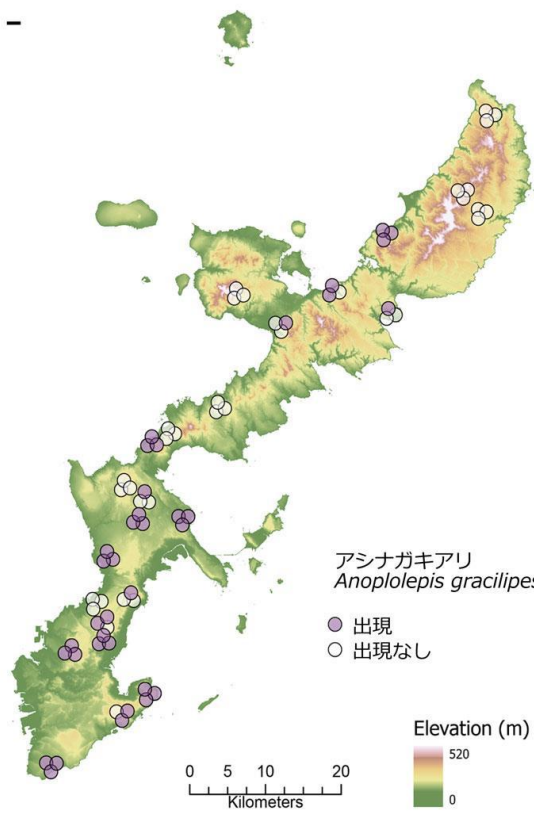
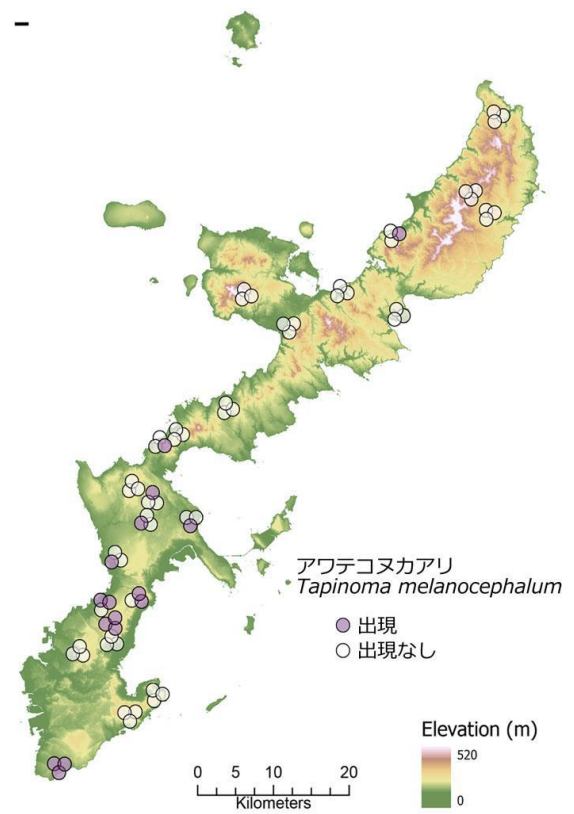
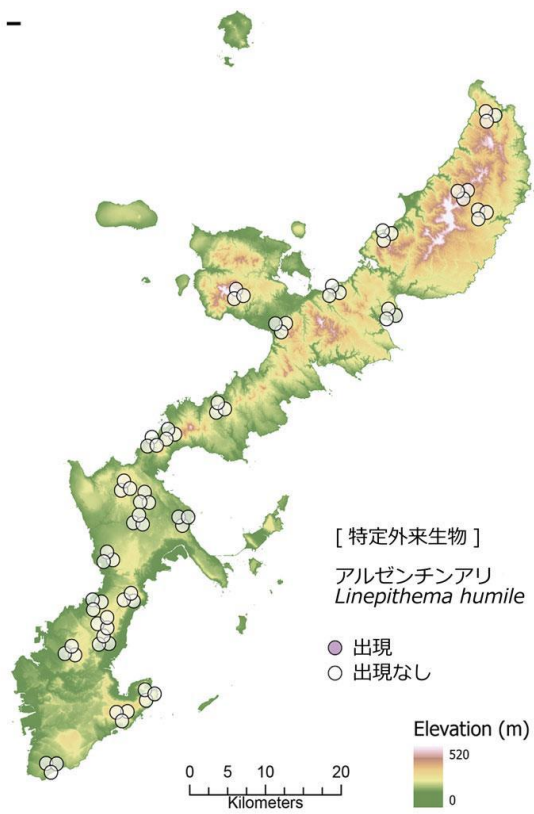
アワテコヌカアリの出現地点は 72 地点中 16 地点、22.2%であった。台湾での予備調査では、ヒアリ侵入地域であっても本種の生息が認められ、本予備調査においても、全ての対象種と同所的な分布を示している。このことから、これら外来性の種との競合が少ない可能性が示唆される。

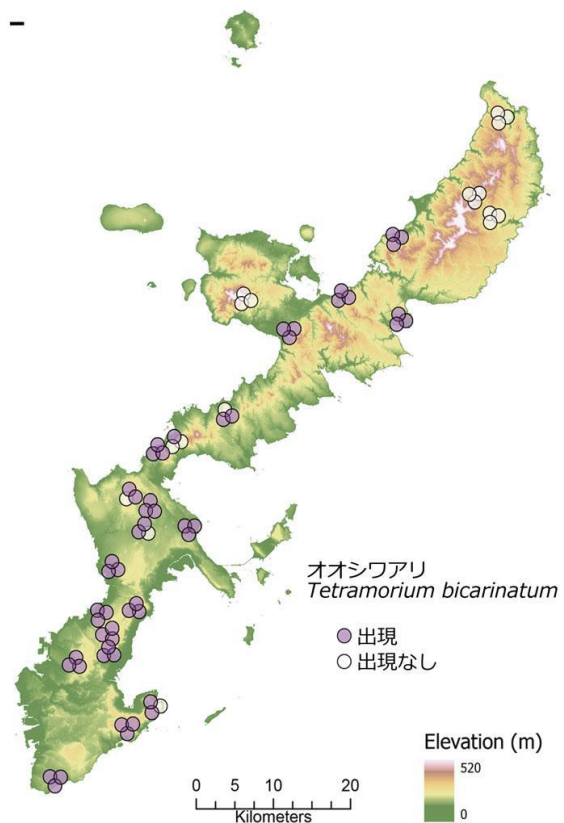
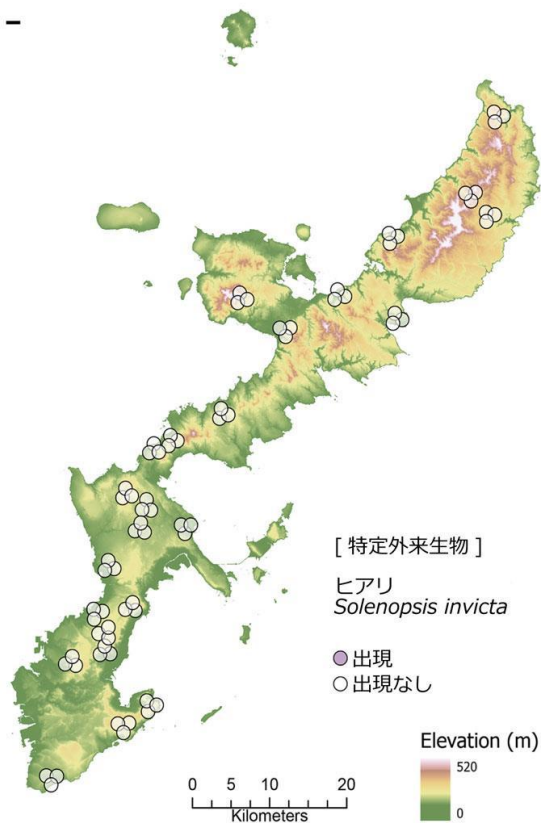
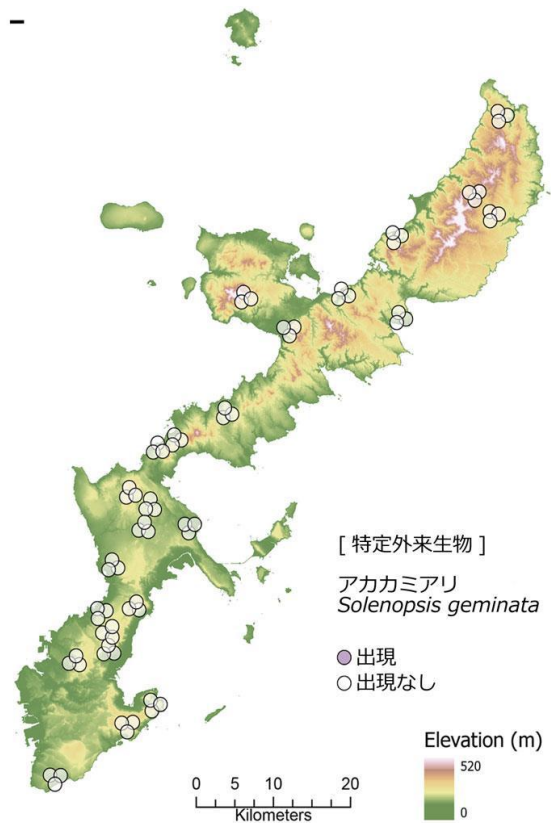
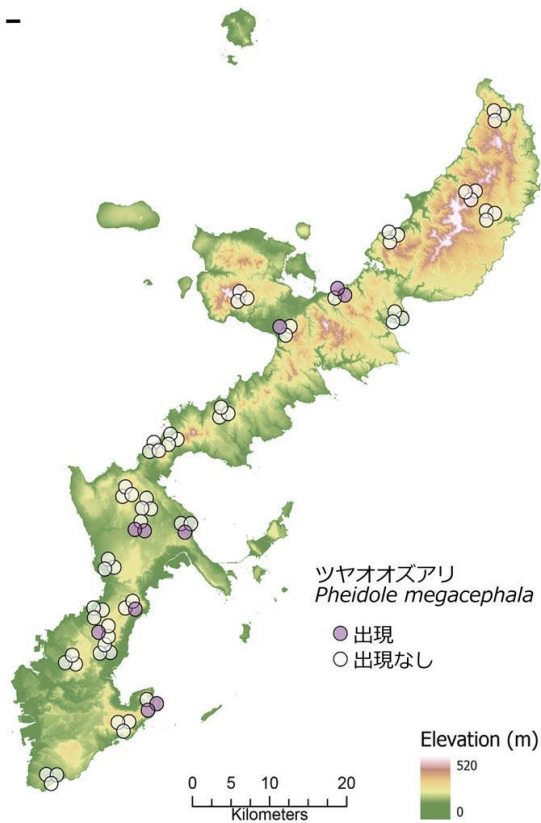
アシナガキアリの出現地点は 72 地点中 37 地点、51.4%と、調査地点の半数を超える。本種が沖縄県各島において、生物多様性に与える影響に関するデータを、今後も蓄積していくことが必要だろう。

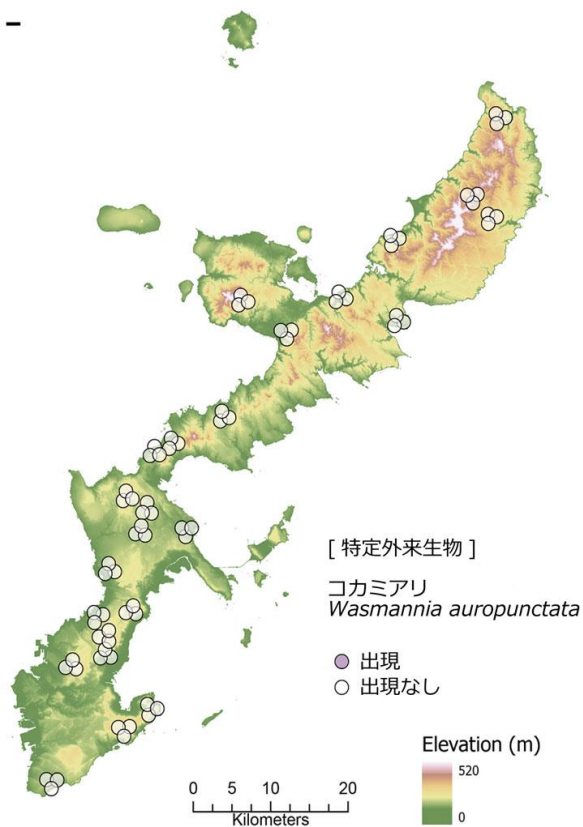
ヒゲナガアメイロアリの出現地点は 72 地点中 7 地点、9.7%と、特定外来生物指定種以外の対象 5 種の中では最も少なかった。しかし、すでに源河で確認されていること、石垣島の予備調査においては、非常に高密度な生息が観察されていることから、今後注意する必要がある種のひとつであると思われる。

ツヤオオズアリの出現地点は 72 地点中 10 地点、13.9%と、相対的に多くはないものの、その分布はすでに北部やんばる地域にまでせまる。森林環境に設置したトラップからも出現しており、森林への侵入も予想される。また、沖縄島内の侵入地点でアリ類群集の多様性を低下させることを示唆する事例もあることから、今後の動向とその影響に注意が必要である。

オオシワアリは、今回調査した中で最も出現地点が多く、72 地点中 54 地点、75%の地点から出現している。中南部では都市部から森林までほぼすべての環境から出現しており、その適応環境幅の広さがうかがえる。







② 石垣島港湾区域での予備調査（15分間単位時間採集法）により採集されたアリ類

石垣島港湾区域内の緑地4地点で、各6回、合計24回の15分間単位時間採集法により予備調査を実施した。その結果確認されたアリ類は、4亜科9属15種となった。以下にその内訳を示す。サンプルユニット単位でのより詳細な解析は、来年度以降の課題とする。

平成28年度の石垣港湾地域で実施した予備調査により、採集された種の一覧

| 亜科 | subfamily | 属 | 和名 | |
|-------------|----------------|----------------|---------------|---------------------------------|
| 1 カタアリ亜科 | Dolichoderinae | コヌカアリ属 | アワテコヌカアリ | <i>Tapinoma melanocephalum</i> |
| 2 ヤマアリ亜科 | Formicinae | オオアリ属 | ホソウメマツオオアリ | <i>Camponotus bishamon</i> |
| 3 ヤマアリ亜科 | Formicinae | ヒゲナガアメイロアリ属(仮) | ヒゲナガアメイロアリ | <i>Paratrechina longicornis</i> |
| 4 フタフシアリ亜科 | Myrmicinae | ハダカアリ属 | ハダカアリ | <i>Cardiocondyla kagutsuchi</i> |
| 5 フタフシアリ亜科 | Myrmicinae | ハダカアリ属 | ヒメハダカアリ | <i>Cardiocondyla minutilior</i> |
| 6 フタフシアリ亜科 | Myrmicinae | ヒメアリ属 | クロヒメアリ | <i>Monomorium chinense</i> |
| 7 フタフシアリ亜科 | Myrmicinae | ヒメアリ属 | フタイロヒメアリ | <i>Monomorium floricola</i> |
| 8 フタフシアリ亜科 | Myrmicinae | オオズアリ属 | インドオオズアリ | <i>Pheidole indica</i> |
| 9 フタフシアリ亜科 | Myrmicinae | オオズアリ属 | ツヤオオズアリ | <i>Pheidole megacephala</i> |
| 10 フタフシアリ亜科 | Myrmicinae | オオズアリ属 | ナンヨウテンコクオオズアリ | <i>Pheidole parva</i> |
| 11 フタフシアリ亜科 | Myrmicinae | カドヒメアリ属(仮) | カドヒメアリ | <i>Sylophopsis sechellensis</i> |
| 12 フタフシアリ亜科 | Myrmicinae | シワアリ属 | オオシワアリ | <i>Tetramorium bicarinatum</i> |
| 13 フタフシアリ亜科 | Myrmicinae | シワアリ属 | イカリゲシワアリ | <i>Tetramorium lanuginosum</i> |
| 14 フタフシアリ亜科 | Myrmicinae | シワアリ属 | カドムネシワアリ | <i>Tetramorium smithi</i> |
| 15 ハリアリ亜科 | Ponerinae | ニセハリアリ属 | フシナガニセハリアリ | <i>Hypoponera ragusai</i> |

1-3. モニタリング手法の検討

(1) 予報

アリ類の生態は種によって大きく異なるため、調査対象や目的に応じて適切な採集方法を選択することが重要である。外来性アリ類のモニタリングに最適な採集方法を検討するためには、以下のような手順による調査が必要だろう。

- (1) 調査対象地区のアリ相概要の把握。
- (2) 採集対象種の絞り込み。
- (3) それら対象種の採集に適した手法の選択もしくは開発。
- (4) 調査対象区での効果の検証。

一般的にアリ類の採集方法は、能動的な採集方法と、受動的な採集方法に分類される。能動的な採集法の例としては、見つけ採り法を中心として、スウィーピング（網振り）、ビーティング（叩き）、シフティング（ふるい）などが含まれる。意図的に採集することから採集効率は良いが、採集者の技量に大きく影響を受けるため、定量的な評価には工夫が必要となる。その一方で、受動的な採集法としては、ベイトトラップ（餌誘引）、ピットフォール（落とし穴）、粘着トラップ、マレーゼトラップ（飛翔昆虫捕獲器）、FIT（衝突板）などが含まれる。これらの採集法では、実施者の技量による違いが能動的な採集に比べて少ないとされ、定量的な調査を目的に一般的に採用される採集法となっている。その反面、努力量に対しての採集効率は能動的採集法に比べて一般的に低い。また、餌などを使った誘引法の場合には、使用する誘引源への嗜好性が結果を大きく左右することを意識すべきである。能動的、受動的な採集方法ともに、いずれの採集法もすべてのアリ類に対して万能というものはなく、検出すべきグループの生態的特徴を知り、それに適した方法を複数組み合わせるのが効果的だろう。

この採集法の選択に加えて、試料の保存方法とその管理の簡便さも重要な要素である。標本の保存なしには、その後の調査結果の検証や再利用が難しいからである。大きな理由のひとつに、2006年以降の分子解析による世界のアリ類の分類体系再検討が挙げられる。この影響は日本産アリ類にも少なからず影響を与えており、2008年以降、学名や和名などの変更件数は実に50件を超え、これは日本産種のおよそ16%にあたる。加えて、地域レベルでは、種の分類が未確定なグループの存在も忘れてはならない。沖縄県内においても、特に人為的環境において優占種として挙げられるハダカアリ *Cardiocondyla kagutsuchi* やナンヨウテンコクオオズアリ *Pheidole parva* を筆頭に、将来的にその分類学的扱いが変更される可能性が大きい種が分布している。報告書など、文字データのための記録では、数年でその情報価値が失われかねない。調査法を検討する際には、試料からの標本作製までの手間と、作成した標本の管理体制を考慮に入れることが重要だろう。その観点においては、能動的な採集法は一般的にアリ類を選択的に採集することが多いことから混入物が少なく、標本数も少ない。受動的な採集法では一般的に、他の採集物や混入物からのアリ類の寄りわけ作業に労力がかかり、標本数も多くなる。

(2) 15 分間単位時間採集法の採集効率

今年度の石垣港における予備調査では、15 分間の単位時間採集法を採用した。単位時間採集法は限られた時間内にアリ相全体を明らかにするには、他の方法と比較しても優れた方法であるとされている(緒方, 2007)。石垣島における、当採集法の実施例はないと思われるため、その採集効率を、過去に同地域で行われた複数の調査データと比較することで検証することを試みた。

それぞれの調査の時期や地点は同じではない。検証の不確実性を補完するため、過去の調査データについても、以下に分かる範囲で記述する。

① 15 分間単位時間採集法 (TUS)

今年度の予備調査においては、効率的に調査地内のアリ相の概要を明らかにする必要があった。そこで、吉村ら (2016) の方法にしたがって、各緑地に 400 平方メートルの調査区を 1 つもしくは 2 つ設定し、その中で調査員 2 名によって 15 分間単位時間採集を調査区毎に 6 回ずつ実施した。実施日は 2016 年 12 月 26 日 (平均気温 23.9°C、最高気温 26.9°C、最低気温 20.7°C : 気象庁統計データ、以下同) 及び、2017 年 1 月 27 日 (平均気温 20.0°C、最高気温 24.0°C、最低気温 16.4°C)。調査地点の概要については「予備調査方法」の項を参照。

15 分間をユニットとした単位時間採集法 (TUS Time Unit Sampling method) は、「OKEON 美ら森プロジェクト」と県内の高校が協働で行っている調査法でもあり、緒方・竹松 (2001) を改良したものである。その概要は、吉村ら (2016) に紹介されているため、以下にその部分を引用する。なお、下記 20 平方メートルの方形区は、一辺 20 メートルの方形区の誤りである。

-吉村ら (2016) より引用-

15 分をひと区切りにした単位時間採集法は、特定の小面積の調査区の、包括的なアリ相を調査するのに優れた方法であり、時間的なコストパフォーマンスに優れていることから、高校での研究プログラムに適している。方法としては、時間を 15 分間のユニットに区切り、その 15 分間の間に各自があらゆる能動的な採集法を駆使して最大数の種数を採集する、というものである。バイアルはユニットごと、採集者ごとに別とする。各ユニットで、各種の得られた個体数は加味せず、出現の有無をデータとして利用する。ユニット間での種の重複は気にせずに前回採集した種でも積極的に採集し、そのユニットの採集種数を最大にする努力をする。緒方・竹松(2001)によれば、この調査方法は、一定の面積の種類を採集することを目的としたものではないとされる。しかし今回は、緒方・竹松(2001)の調査法を改良し、20 平方メートルの方形区、もしくはそれと同等の面積を持つ調査区を設定してその中で実施することにより、定面積間での比較を可能にした。本調査法のメリットは、複数の能動的な採集法を組み合わせることで、その調査区内のアリ類を網羅的に採集できること、そして、調査者と時間とを区切ってユニット化することによって、短時間で大量のデータセットが得られることである。たとえば、5 人で 90 分の調査を行うと、最大で $5 \times (90 \div 15) = 30$ ユニットができる。これによって単純な見つけ採りに比べると、より多くの解析が可能になる。どこにでも生息し、各種がコロニーに多くの個体を抱えるアリ類に適した調査法であると言えるだろう。また、単位時間採集法は限られた時間内にアリ相全体を明らかにするには、他の方法と比較しても優れた方法であるとされる(緒方, 2007)。

-引用ここまで-

② 平成 28 年度外来種対策事業 港湾・基地周辺における現地調査

本事業に先行して実施された平成 28 年度外来種対策事業、港湾・基地周辺における現地調査予備調査では、粘着トラップと踏査調査の 2 つが採用された。石垣港湾地域 4 カ所に 100m のトランセクトを設置。粘着トラップは同年 8 月 11 日、12 日（平均気温 29.0℃、最高気温 31.7℃、最低気温 26.6℃）、13 日（平均気温 30.0℃、最高気温 32.3℃、最低気温 28.8℃）の 3 日間設置された。踏査調査は 2016 年 8 月 11 日（平均気温 29.1℃、最高気温 32.9℃、最低気温 26.3℃）に実施され、100m をそれぞれ 1 時間ほどかけて踏査し、アリ類を採集した。



平成 28 年度外来種対策事業 港湾・基地周辺における現地調査地点（石垣港）。

③ 糖蜜誘引による採集調査（原田ら，2015）

—原田ら(2015) の調査方法より引用—

代表的な環境を 3 カ所選び、それぞれに 1 つの調査区を設けて、各調査区に 1 本ずつライントランセクトを設置した。アリを集めるベイトとして、約 30% に薄めた蜂蜜を脱脂綿にしみ込ませたハニーベイトを用いた。ベイトは、各トランセクトで 2m おきに 10 個ずつ、各港で合計 30 個設置した。また、ベイトの近くに 80% エタノールの入ったチューブを置き、全ベイトを設置後、60 分間、トランセクトを往復しながらベイトに集まってきたアリをピンセットで種類ごとに数個体ずつ採集し、エタノールチューブに液浸した。また、ハニーベイトトラップによる採集漏れを軽減するために、ベイトでの採集と同じ時間帯で見つけ採りを行った。なお、ベイトでの採集は、原則トランセクト 1 名ずつの計 3 名で、見つけ採りは原則 1 名で行った。

—引用ここまで—

この調査で採集した標本を用いたと思われる報告（中村ら，2016）より、調査日は 2015 年 5 月 1 日（平均気温 24.3℃、最高気温 27.5℃、最低気温 21.1℃）と推測される。

④ 石垣港において、各調査法で採集されたアリ類の内訳

石垣港湾地域で実施されたアリ類調査において、各手法によって採集された種の内訳を以下に示す。

石垣港湾地域で実施された過去の調査と、本予備調査における採集種の比較

| 亜科 | subfamily | 属 | 和名 | | TUS予備調査 | 粘着(28年度調査) | 踏査(28年度調査) | 糖蜜(原田ら, 2015) | |
|----|-----------|----------------|----------------|---------------|---------------------------------|------------|------------|---------------|---|
| 1 | カタアリ亜科 | Dolichoderinae | ルリアリ属 | ルリアリ | <i>Ochetellus glaber</i> | | 1 | 1 | |
| 2 | カタアリ亜科 | Dolichoderinae | コヌカアリ属 | アワテコヌカアリ | <i>Tapinoma melanocephalum</i> | 1 | 1 | 1 | |
| 3 | ヤマアリ亜科 | Formicinae | アシナガキアリ属 | アシナガキアリ | <i>Anoplolepis gracilipes</i> | | 1 | 1 | |
| 4 | ヤマアリ亜科 | Formicinae | オオアリ属 | ホソウメマツオオアリ | <i>Camponotus bishamon</i> | 1 | 1 | | |
| 5 | ヤマアリ亜科 | Formicinae | アメイロアリ属 | ケブカアメイロアリ | <i>Nylanderia amia</i> | | 1 | 1 | |
| 6 | ヤマアリ亜科 | Formicinae | アメイロアリ属 | リュウキュウアメイロアリ | <i>Nylanderia ryukyuensis</i> | | 1 | | |
| 7 | ヤマアリ亜科 | Formicinae | ヒゲナガアメイロアリ属(仮) | ヒゲナガアメイロアリ | <i>Paratrechina longicornis</i> | 1 | 1 | 1 | |
| 8 | フタフシアリ亜科 | Myrmicinae | ハダカアリ属 | ハダカアリ | <i>Cardiocondyla kagutsuchi</i> | 1 | 1 | | |
| 9 | フタフシアリ亜科 | Myrmicinae | ハダカアリ属 | ヒメハダカアリ | <i>Cardiocondyla minutior</i> | 1 | | | |
| 10 | フタフシアリ亜科 | Myrmicinae | ヒメアリ属 | クロヒメアリ | <i>Monomorium chinense</i> | 1 | 1 | 1 | |
| 11 | フタフシアリ亜科 | Myrmicinae | ヒメアリ属 | フタイロヒメアリ | <i>Monomorium floricola</i> | 1 | 1 | | |
| 12 | フタフシアリ亜科 | Myrmicinae | オオズアリ属 | インドオオズアリ | <i>Pheidole indica</i> | 1 | 1 | 1 | |
| 13 | フタフシアリ亜科 | Myrmicinae | オオズアリ属 | ツヤオオズアリ | <i>Pheidole megalcephala</i> | 1 | 1 | 1 | |
| 14 | フタフシアリ亜科 | Myrmicinae | オオズアリ属 | ナンヨウテンコクオオズアリ | <i>Pheidole parva</i> | 1 | 1 | | |
| 15 | フタフシアリ亜科 | Myrmicinae | カドヒメアリ属(仮) | カドヒメアリ | <i>Sylophopsis sechellensis</i> | 1 | | | |
| 16 | フタフシアリ亜科 | Myrmicinae | シワアリ属 | オオシワアリ | <i>Tetramorium bicarinatum</i> | 1 | 1 | 1 | |
| 17 | フタフシアリ亜科 | Myrmicinae | シワアリ属 | イカリゲシワアリ | <i>Tetramorium lanuginosum</i> | 1 | 1 | | |
| 18 | フタフシアリ亜科 | Myrmicinae | シワアリ属 | カドムネシワアリ | <i>Tetramorium smithi</i> | 1 | | | |
| 19 | ハリアリ亜科 | Ponerinae | ニセハリアリ属 | フシナガニセハリアリ | <i>Hypoponera ragusai</i> | 1 | | | |
| | | | | | 採集種数 | 15 | 11 | 13 | 6 |

2015年から現在までに行われた3つの調査によって石垣港湾地域から確認されたアリ類は、合計4亜科12属19種であった。いずれの調査においても、ヒアリを始め、本事業で問題とする特定外来生物指定種は確認されていない。

調査ごとの採集種内訳を見てみたい。採集種数が多かった順に、単位時間採集(4亜科9属15種)、平成28年度事業踏査(3亜科10属13種)、粘着トラップ(3亜科8属11種)、糖蜜トラップ(3亜科5属6種)、となっている。このデータでは、「能動的採集>非誘引トラップ>誘引トラップ」となっている。トラップはいずれも受動的採集に位置づけられ、「能動的採集>受動的採集」の傾向が本比較においてもみられる。実施条件が同一の28年度調査内においても、能動的な踏査調査のほうが、受動的な粘着トラップの採集種を上回っている。糖蜜トラップ調査による採集種が他の手法に比べて顕著に少ないのは、糖蜜に対して嗜好性を示す種だけが選択的に誘引されていることが大きな原因だと思われる。単位時間採集法による予備調査が、アリ類の動きが悪い冬期(12月と1月)に実施されたことを考慮すれば、適切な時期の実施による採集種の上乗せが期待できる。ただし、これらそれぞれの調査は、本比較を意図してデザインされたものではなく、調査時期や調査実施地点、また努力量などが統一されていない。あくまでこれらの傾向は初期段階の参考にはなっても、比較としては不十分である。来年度以降、本予備調査のデータ解析を始め、引き続き適切な方法を検討するための調査継続が必要である。

(3) 特定外来生物指定種ヒアリの誘引剤選定

特定外来生物指定のヒアリ *Solenopsis invicta* を侵入初期段階で検出するには、広い地域を網羅的にモニタリングすることが求められる。その場合、その採集サンプルの処理や標本作製の簡便さ等を考慮すると、誘引剤によるモニタリングは有効な手段である。ただし、石垣島の調査例からも見て取れるように、誘引剤による採集の効率は一般的な採集法よりも低く、採集可能な種はその餌源への嗜好性に大きく左右される。調査対象種を効率よく採集するためには、その誘引餌の選定が重要となるだろう。

ヒアリは、糖蜜よりも油脂を好むとされており、侵入地台湾では、 A (a)

を誘引剤として使ったモニタリングが標準となっている。本年度の予備調査では、

(1) 沖縄県内で容易に入手可能な菓子の中に、ヒアリに対して有効な誘引剤となるものがあるか、(2) 選抜された誘引源に、沖縄ではどのような種が誘引されるか、を明らかにすることを目標とした。

① ヒアリに対して有効な誘引剤

ヒアリが生息する台湾において、沖縄から 6 種類の一般的なスナック菓子を持参し、ヒアリに対しての誘引性を試験した。持参した 6 種類のスナック菓子の内訳と選定基準は以下の通り。

- ・ B : チーズの香りが効果的なのではないか？
- ・ C : エビの香りが効果的なのではないか？
- ・ D : 台湾で採用されている、A (a) に似ている。
- ・ E (a) : サンプル管に収まりやすい。
- ・ F : ラードとバニラが効果的なのではないか？
- ・ A (b) : コンソメの香りが効果的？

2017 年 1 月 18 日 (最高気温 23°C、最低気温 18°C : <http://www.accuweather.com>)、台湾視察の際に、St.2 付近 (台湾視察報告参照: 24.979430° , 121.450470° , 18m alt.) にて、誘引予備実験を実施した。日本から持参した上記 6 種類のスナック菓子に、コントロールとして台湾で標準使用されている A (a) を加えた 7 種類を円形に配置し、誘引の強弱を観察した。

結果：冬季でアリ類の活動活性が低いこともあり、台湾標準の A (a) を含めてヒアリへの誘引はごく僅かであった。 E (a) 、 A (b) 、 F 、 D には誘引性があるように見られたが、その効果の差を見ることはできなかった。そこで、 E (a) 、 A (b) 、 F 、 D を直接ヒアリの巣のマウンド上に配置し、それに対しての反応を観察することとした。その結果、 E (a) > A (b) > F = D の順に誘引力が高く、中でも上位 2 種類のスナックが菓子の誘引力は他に比べて顕著に高いように見受けられた。扱いやすさも考慮して、 E (a) を当面の誘引源として採用することとした。

② 沖縄において、 E (b) に誘引されたアリ類

2017年1月27日(平均気温20.0℃、最高気温24.0℃、最低気温16.4℃:気象庁統計データ)に、Ishigaki003及びIshigaki004において、誘引予備実験を実施した。 E (a)

が現地調達できなかったため、 E (b) で代用した。調査区範囲内に、 E (b) と蜂蜜を等間隔にそれぞれ20個ほど設置し、1時間放置した。1時間後、それぞれ設置した誘引源を目視観察、状態を確認した。アリ類が誘引されている場合には、同定のため、数個体を採集し、99.5%エタノール液浸として研究室に持ち帰った。

石垣港湾地域で採集された種のうち、誘引剤使用予備実験により採集された種一覧

| 亜科 | subfamily | 属 | 和名 | 種名 | 蜂蜜 | とんがりコーン | |
|------|-----------|----------------|----------------|---------------|---------------------------------|---------|---|
| 1 | カタアリ亜科 | Dolichoderinae | コヌカアリ属 | アワテコヌカアリ | <i>Tapinoma melanocephalum</i> | 1 | |
| 2 | ヤマアリ亜科 | Formicinae | オオアリ属 | ホソウメマツオオアリ | <i>Camponotus bishamon</i> | | |
| 3 | ヤマアリ亜科 | Formicinae | ヒゲナガアメイロアリ属(仮) | ヒゲナガアメイロアリ | <i>Paratrechina longicornis</i> | 1 | |
| 4 | フタフシアリ亜科 | Myrmicinae | ハダカアリ属 | ハダカアリ | <i>Cardiocondyla kagutsuchi</i> | | |
| 5 | フタフシアリ亜科 | Myrmicinae | ハダカアリ属 | ヒメハダカアリ | <i>Cardiocondyla minutior</i> | 1 | |
| 6 | フタフシアリ亜科 | Myrmicinae | ヒメアリ属 | クロヒメアリ | <i>Monomorium chinense</i> | 1 | 1 |
| 7 | フタフシアリ亜科 | Myrmicinae | ヒメアリ属 | フタイロヒメアリ | <i>Monomorium floricola</i> | | |
| 8 | フタフシアリ亜科 | Myrmicinae | オオズアリ属 | インドオオズアリ | <i>Pheidole indica</i> | | |
| 9 | フタフシアリ亜科 | Myrmicinae | オオズアリ属 | ツヤオオズアリ | <i>Pheidole megacephala</i> | | |
| 10 | フタフシアリ亜科 | Myrmicinae | オオズアリ属 | ナンヨウテンコクオオズアリ | <i>Pheidole parva</i> | 1 | 1 |
| 11 | フタフシアリ亜科 | Myrmicinae | カドヒメアリ属(仮) | カドヒメアリ | <i>Sylophopsis sechellensis</i> | | |
| 12 | フタフシアリ亜科 | Myrmicinae | シワアリ属 | オオシワアリ | <i>Tetramorium bicarinatum</i> | 1 | 1 |
| 13 | フタフシアリ亜科 | Myrmicinae | シワアリ属 | イカリゲシワアリ | <i>Tetramorium lanuginosum</i> | | |
| 14 | フタフシアリ亜科 | Myrmicinae | シワアリ属 | カドムネシワアリ | <i>Tetramorium smithi</i> | | |
| 15 | ハリアリ亜科 | Ponerinae | ニセハリアリ属 | フシナガニセハリアリ | <i>Hypoponera ragusai</i> | | |
| 種数合計 | | | | | | 6 | 3 |

研究室でのソートの結果、蜂蜜には3亜科6属6種、 E (b) には1亜科3属3種の種が誘引されていた。種数では蜂蜜のほうが多かったものの、蜂蜜に誘引された個体数は E (b) に比べて少ない印象であった。 E (b) に誘引されたすべての種は、蜂蜜にも誘引されていた。蜂蜜に対して嗜好性を示す種の範囲は広いが、その誘引力は E (b) に比べて弱いかもしれない。同様に蜂蜜を用いた原田ら(2015)の調査結果と今回の予備調査を比較すると、双方と6種を記録しながらも、内訳は微妙に異なる。原田ら(2015)ではインドオオズアリとツヤオオズアリが誘引されていたものの、今回はみられず、逆に今回誘引されたナンヨウテンコクオオズアリとヒメハダカアリは、原田ら(2016)では記録されていない。双方をあわせた8種は、少なくとも蜂蜜に誘引されるということだろう。

1-4. 化学物質に着目した誘引剤（フェロモン・脂肪酸）

(1) ベイトを用いたトラップ

ヒアリの侵入監視方法として、ベイトを用いたトラップが安価で簡易な方法として広く用いられている。また、これらベイトには主に **A** がヒアリの誘引力の強さ、安価、取扱いの容易性などの理由から用いられている（表 1-4_1）。

表 1-4_1 ベイトトラップの設置方法

| 監視範囲 | ベイト | 容器及び固定方法 | トラップ密度と回収時間 |
|------|---|---------------------|---------------------------------|
| 狭い | A , 人口餌（例：ピーナッツバター、大豆油、ピーナッツバターと大豆油の混合物、ツナ缶、ホットドックまたは砂糖の溶液など高脂肪食品） | プラスチックケースを土中に埋める | 1個/100m ² 、 1~3hr |
| 広い | A | コーンチューブ（50ml）を地面に置く | 1個/100m間隔、 40~60min |

ヒアリ標準作業手順書：行政院農業委員会 台湾翻訳資料

また、その他のベイトとして、オリーブオイル、ピーナッツオイル、コーン油、コーンチップス、缶詰の肉、ピーナッツクッキーなども利用されている（USDA Imported Fire Ant Program Manual）。



図 1-4_1 ベイトトラップの設置風景と誘引されたヒアリ。ベイトとして **D** を使用

すでにヒアリの生息分布が広域な台湾では、ベイトとして **A** が非常に有効である（図 1-4_1）。しかし、日本のようにまだヒアリの侵入が記録されていない地域で、ヒアリが侵入しそうな港湾、運搬資材置き場など狭い範囲をターゲットとした場合、発見効率やより監視力の高いトラップが好ましい。そのため誘引力の高いベイト開発は、非常に重要な課題と考える。

このような取り組みは、米国の USDA (United States Department of Agriculture) においても同様に展開されている。USDA では誘引力の高いベイトとして女王フェロモンと天然物に着目している。

ヒアリの女王フェロモンは、現在までに3物質単離されており(図1-4_2)、同時添加した場合、働きアリの誘引にもっとも効果があることが報告されている(USDA ホームページ)。またBとCは、光学活性体で2つの鏡像異性体が存在し、どちらの鏡像異性体にも誘引活性があることが知られている。

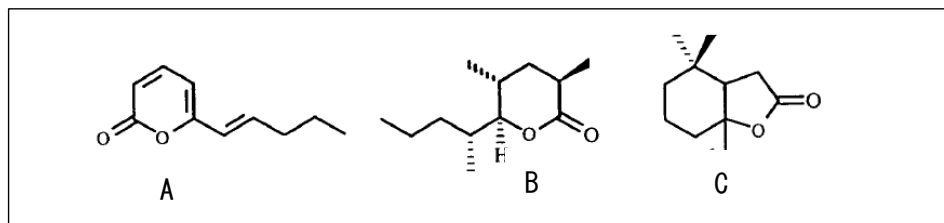


図1-4_2 ヒアリの女王フェロモン. Pyrone, (E)-6-(1-pentyl)-2H-pyran-2-one (A), invictolide (B), dihydroactinidiolide (C).

室内実験において、Bをベイトの添加剤として用いた場合、コントロールベイトに比べておよそ1/2の時間でワーカーがベイトにたどりつくことが報告されている(USDA ホームページ)。しかしながら、4つの不斉炭素中心を持つBの化学合成は、非常に高額となり、現場での適応は難しいと考えられる。

揮発性物質の臭気を用いた誘引活性試験(オルファクトメーター)によって、大豆油にヒアリワーカーの誘引活性があることが判った。さらに、その大豆油の揮発成分 trans, trans-2, 4-heptadienal と trans, cis-2, 4-heptadienal が、ベイト添加剤として効果があることが判った。これら化合物の内 trans, trans-2, 4-heptadienal (TTHD) は購入可能な試薬として販売されている(Vander 1999)。この報告では、室内試験によって大豆油の揮発成分の有効性を証明した後、すぐにヒアリの成長阻害剤 Nylar 含有ベイトの添加剤として野外試験で実用性が試されている。

我々はこの大豆油の揮発成分 TTHD を現在の安価ベイトの代表的存在である A に添加して、侵入監視型ベイトとしての利用を考えている。

(2) 混合脂肪酸を利用したトラップベイトの開発（擬似昆虫による働きアリの誘引）

ヒアリの基礎的な摂餌に関する報告は、Leeanne ら（1991）によって2種のアリを比較することによって行われている（ヒアリ *Solenopsis invicta*、アカカミアリ *Solenopsis geminata*）。両種のアリとも固体状餌より液体状餌を好む傾向にある。また、固体餌の81%分を植物の種で集めるアカカミアリに比べ、ヒアリはその殆どを昆虫（幼生や蛹を含む）や未同定動物片を採餌していることが報告されている（植物の種の採餌率は全個体餌の4.8%）。したがってヒアリのワーカーは、昆虫や動物（死骸も含め）のもつ普遍的な匂いを餌の探索に利用していることが推察できる。

植物の種に付着するエライオソームは、種子を昆虫食のアリに運んでもらうために、進化したと考えられている柔らかい付着物である（**図 1-4_3** 赤矢印）。これら付着物の脂肪酸組成は、一般の種子と大きく異なることが知られている。一般の種子に含まれる上位3つの脂肪酸組成は、オレイン（38.42%）、リノール酸（30.41%）、アラキジン酸（15.79%）であるのに対し、エライオソームのそれは、オレイン酸（38.92%）、リノール酸（21.52%）、パルミチン酸（21.69%）となっており、アラキジン酸はほとんど含まれていない（0.18%）。したがって、これらオレイン酸、リノール酸、パルミチン酸の混合脂肪酸または混合率が、昆虫食のアリの採餌行動を刺激し、エライオソームを巣に持ち帰ると考えられている（Hughes ら 1994）。また、これら脂肪酸は、表 1-4_2 に示す昆虫3目による脂肪酸組成（平均値）の上位3位の脂肪酸ともよく一致する（Thompson 1973）。したがってオレイン酸、リノール酸、パルミチン酸は、昆虫食アリワーカーの採餌・摂餌行動刺激物質となっている可能性が高いと考えられる。

我々は、現在ヒアリのベイトとして用いられている A（台湾では A（a））にも、これら脂肪酸が含有しており、その脂肪酸によってヒアリが誘引されているという仮説を立て、A（a）を含む台湾で試されたスナック3種についての遊離脂肪酸分析をガスクロマトグラフィー水素炎イオン化検出器（GC-FID）によって行った。

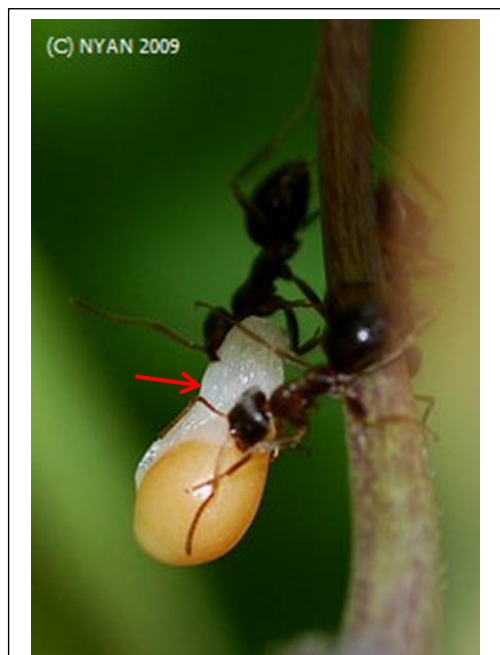


図 1-4_3 エライオソーム（赤矢印）を含む種子を運ぶアリ
(<http://www.io-net.com/help/elaiosome.htm>)

表 1-4_2 昆虫 3 目による脂肪酸組成 (Thompson 1973)

| Order | Fatty acids | | | | | | | |
|-------------------------|------------------|---------------------|------------------|---------------------|-----------------|---------------|------------------|-------------------|
| | 14:0 myristic | 14:1 myristoleic | 16:0 palmitic | 16:1 palmitoleic | 18:0 stearic | 18:1 oleic | 18:2 linoleic | 18:3 linolenic |
| Coleoptera (n=26 spp.) | 1.11 | 0.03 | 19.66 | 5.31 | 4.84 | 37.87 | 19.19 | 9.70 |
| Dictyoptera (n=9 spp.) | 3.33 | 0.00 | 33.56 | 7.28 | 4.33 | 42.30 | 1.06 | 0.00 |
| Diptera (n=20 spp.) | 2.81 | 0.99 | 22.55 | 25.89 | 4.41 | 28.24 | 12.18 | 2.23 |
| Hemiptera (n=50 spp.) | 41.63 | 0.85 | 19.90 | 2.06 | 3.28 | 15.51 | 8.90 | 1.43 |
| Hymenoptera (n=11 spp.) | 1.55 | 0.00 | 15.49 | 4.46 | 4.30 | 45.77 | 10.69 | 15.54 |
| Lepidoptera (n=51 spp.) | 0.74 | 0.00 | 25.89 | 6.36 | 2.27 | 31.63 | 7.67 | 22.18 |
| Orthoptera (n=9 spp.) | 2.04 | 0.00 | 28.54 | 2.99 | 8.38 | 31.52 | 11.69 | 8.97 |
| Mean | 7.60 | 0.27 | 23.66 | 7.76 | 4.54 | 33.26 | 10.20 | 8.58 |
| ±SD | 15.03 | 0.45 | 6.12 | 8.20 | 1.90 | 10.00 | 5.46 | 8.16 |

表 1-4_3 スナック菓子の遊離脂肪酸組成

| | 脂肪酸組成率(%) | | | | |
|------|-----------|--------|-------|-------|------|
| | 16:0 | 18:0 | 18:1 | 18:2 | 未同定 |
| | パルミチン酸 | ステアリン酸 | オレイン酸 | リノール酸 | |
| E | 30.0 | 5.0 | 25.0 | 6.0 | 34.0 |
| A(a) | 28.0 | 4.0 | 25.0 | 6.0 | 37.0 |
| A(b) | 11.0 | 2.0 | 15.0 | 7.0 | 65.0 |
| F | 6.0 | 3.0 | 7.0 | 4.0 | 80.0 |

表 1-4_4 スナック菓子の遊離脂肪酸含有量

| | 100gあたりの脂肪酸量(g) | |
|------|-----------------|-------|
| | 16:0 | 18:1 |
| | パルミチン酸 | オレイン酸 |
| E | 0.02 | 0.01 |
| A(a) | 0.02 | 0.01 |
| A(b) | 0.01 | 0.02 |
| F | 検出されず | 検出されず |

スナック菓子の遊離脂肪酸は、45 種遊離脂肪酸のうち、パルミチン酸、ステアリン酸、オレイン酸、リノール酸の 4 種脂肪酸が同定・定量された (表 1-4_3、表 1-4_4)。また、E と A (a) で、パルミチン酸とオレイン酸の組成率が高くなっており、昆虫 3 目による脂肪酸組成率 (平均値) の上位 2 位の脂肪酸とよく一致した (表 1-4_2)。E と A (a) は、台湾で行われたトラップ誘引試験でも、他のスナック (A (b)、B、D) に比べ比較的良好な成績であった。また、誘引効果の一番低かった “ F ” におけるパルミチン酸とオレイン酸の量は、検出下限値以下であった (表 1-4_4)。

上記結果より、「 A 含有脂肪酸がヒアリを誘引する」という我々の仮説は、ある程度検証された。今後、ベイトの脂肪酸組成率の調整、物質量の調整を行い、現行ベイトに勝る誘引力を持つベイト開発を行う予定である。

また、ヒアリの採餌に昆虫種による差が見られた場合、その昆虫種の脂肪酸組成率を真似ることにより、ヒアリ特定なベイト開発の可能性も期待される。

USDA Imported Fire Ant Program Manual.

https://www.aphis.usda.gov/import_export/plants/manuals/domestic/downloads/fire_ant.pdf

USDA ホームページ : United States Department of Agriculture -Agricultural Research Service-

<https://www.ars.usda.gov/southeast-area/gainesville-fl/center-for-medical-agricultural-and-veterinary-entomology/imported-fire-ant-and-household-insects-research/docs/attractant-for-social-insects/>

Vander Meer, *et al.* (1999) United States Patent, Patent Number: 5897859, Date of Patent: Apr. 27

E. Leeanne, *et al.* (1991) Comparison of two fire ant species (Hymenoptera: formicidae): Solid and liquid components, *J. Entomol. Sci.*, 26, 450-465

L. Hughes, *et al.* (1994) Convergence of elaiosomes and insect prey: evidence from ant foraging behaviour and fatty acid composition, *Functional Ecology*, 8, 358-365

S.N. Thompson (1973) A review and comparative characterization of the fatty acid compositions of seven insect orders. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 45, 467-482

1-5. ヒアリ探索犬の検討

ヒアリのモニタリング手法として、台湾ではヒアリ探索犬が実用化されている。検出力は非常に高く、働きアリのみでも反応する。ヒアリの早期発見のために、この探索犬の技術を活かすことができるのではないかと考え、以下の2通りの方法を検討している：①台湾から探索犬を日本に連れてくる、②日本で探索犬を育成する。それぞれの利点と欠点を表1-5_1に示す。

表 1-5_1 探索犬を台湾から連れてくる場合と日本で育成する場合の利点と欠点

| | ① 台湾から連れてくる場合 | ② 日本で育成する場合 |
|----|---|--|
| 利点 | <ul style="list-style-type: none"> ・実績がある ・犬が野外のヒアリ探索に慣れている | <ul style="list-style-type: none"> ・移動コストがかからない ・日常的なモニタリングが可能 |
| 欠点 | <ul style="list-style-type: none"> ・移動コストがかかる ・高頻度のモニタリングは難しい ・狂犬病の検疫のため、新しい犬を持ち込むには時間がかかる | <ul style="list-style-type: none"> ・ヒアリの匂いを覚えさせることは技術的に可能だが、野外での探索経験を積ませることが難しい ・育成・維持のコストがかかる |

いずれにしても導入コスト・ランニングコストが大きな課題のひとつである。台湾で探索犬を用いたヒアリのモニタリングを実施する業者に、沖縄にヒアリ探索犬を連れてきてモニタリングを行った場合の見積もりを依頼した。その回答を以下に示す。日本で育成する場合のコストについては、次年度に検討する。

● モニタリング条件

候補地：南ぬ浜町（石垣島の人工島） 約75ヘクタール

回数：年1～2回



図 1-5_1 南ぬ浜町

● 見積り結果

見積り例（初回）

作業面積： 75 ヘクタール

作業人数： 4人（ハンドラー2人、助手1人、獣医1人）

犬： 2匹

作業日数： 8日

見積金額： 280万円（交通費、宿泊費、保険費を含む）

※検疫のため、犬の移動に申請から約9ヶ月を要する。

見積り例（3～5回目以降）

作業面積： 50ヘクタール（重点区域のみ）

作業者： 2人（ハンドラー1人、助手1人）

作業日数： 5日

見積金額： 160万円

※2回目以降、検疫に必要な期間は1ヶ月。

注意事項

- ・ 初回はハンドラー2人、助手1人、獣医1人の4人体制だが、特に問題がなければ2回目以降獣医の随行は不要。3～5回目以降、作業に慣れてくればハンドラー1名、助手1名の体制にすることも可能。
- ・ 回数を増やせば単価は抑えられる。

1-6. 今後のモニタリング計画と課題

(1) SLAM トラップを利用した定点採集による監視網

① OKEON 美ら森プロジェクトの観測網を使用した調査の継続

沖縄本島内 72 カ所の定点採集は継続し、蓄積されるサンプルによって、本島全域での外来性アリ類の分布現状解析を進める。調査対象各種の分布域の拡大も起こりうるため、その時間的変化の追跡を続ける。また、必要に応じて調査対象種枠を拡大し、分布情報の蓄積と解析を行う。ただし、本島内全域にわたる 72 カ所の採集地点からの定期回収と採集機器の保守点検や台風時の緊急対応、年間 1,800 を超えるサンプルのソーティング、標本作製、データ入力、及び標本管理には、多大な人的コストを要するため、長期的な監視体制における体制を検討する必要がある。

② 新たな定点採集地点の稼働

現在稼働する 72 カ所の定点採集地点に加え、重要監視地区である沖縄県内主要港湾地区への採集地点増設を図る。すでに本島那覇港湾地域と石垣島港湾地域での調査及び機器設置許可申請については、現在進行中である。ただし、離島における定期回収システムの構築には多大なコストが見込まれるため、これを解決するための方策を検討することが必要である。

③ SLAM トラップの特性を活かした、羽アリによる調査対象種の検出技術開発

SLAM トラップによる定点採集の大きな強みは、分布拡大の鍵となる羽アリ（生殖虫）を採集できることである。そのため、生殖虫による検出に必須の同定技術の整備が急がれる。OIST 研究員の専門技術によって、この技術開発を進める。

(2) 15 分間単位時間採集法によるアリ相調査

① 調査地点の拡充

15 分間単位時間採集法による調査結果は、予備調査の段階ながら、その他従来採用されてきた調査方法に比べ、その地区のアリ相の概観をつかむのに適していることを示している。来年度以降には、沖縄本島港湾地区を始めとした港湾地域及びコンテナ保管地域を中心に、重点調査区域を選定し、調査地点数を増やすことで、よりきめ細かい外来性アリ類の分布状況把握に努める。

② 採集試料の解析

すでに蓄積された試料については、今後さらなる解析を進める。今年度予備調査を実施した石垣港湾地区に関しては、冬季以外の季節での調査実施により、アリ相季節変化と調査適期の特定を進める。

(3) 誘引剤を使用した採集法によるヒアリ監視と対策検討

① 誘引剤によるヒアリ調査の実施

15 分間単位時間採集法によるアリ相の把握と並行して、その調査地点内、及びその付近で誘引剤によるヒアリ調査を行う。

② ヒアリに有効なベイト投与方法の検討

調査地点においては、誘引剤の各種アリ類に対しての効果や、その採餌行動を参考に、ヒアリ防除により有効なベイト剤投与の方法を検討する。

③ トランセクト調査手法としての、誘引剤活用。

調査地点付近の補助的調査や、コンテナヤード付近などの調査地点設置が難しい場所での、トランセクト方式の調査として実施する。

④ TTHD や脂肪酸による誘引剤の勝発

大豆油の揮発成分 TTHD の添加や、脂肪酸の有効な組成率や物質量の調整を行い、誘引力を高いベイト開発を行う。

(4) その他のモニタリング手法の検討

台湾での事例で既に明らかなように、専門家のみによる監視網の充実やその維持には限界がある。監視網の裾野を沖縄社会全体へと広げるための方法を検討する。

① 医療機関などとの連携の検討

医療機関などと連携し、ヒアリの被害患者が発生した情報をいち早く集約できる仕組みを検討する。

② 地域密着型の同定技術の開発

沖縄本島をはじめ、各離島などそれぞれの地域に合わせた、平易な特定外来生物指定アリ類の同定資料の開発を試みる。

③ 普及手法の検討

アリ類の多様性を通して、特定外来生物指定アリ類の防除の必要性や、そのために必要な知識を、一般の人達が楽しみながら学べるコンテンツの開発を検討する。

④ ヒアリ探索犬の検討

ヒアリ探索犬を日本で育成する場合のコスト等の検討を行う。

2. 同定技術の検討

2-1. 人材育成プログラム・同定マニュアル

沖縄県にヒアリ *Solenopsis invicta* が侵入した場合、どれだけ初期段階でそれを発見できるかが、その後の防除の可能性を大きく左右すると言っても過言ではない。そのためには、簡便な同定技術の開発と提供により、監視体制の裾野を広げることが有効な手段になってくるだろう。全く違う形態的特徴を持ち、専門家にとっては間違えようがない種類同士でも、その経験がないものには見分けが難しいことが少なくない。台湾においては、巣のマウンドを発見したとの通報が多いとのことであった。沖縄県に生息する 140 種を超えるアリ類の中から、地域、大きさや色、野外での動き、生息環境や、巣の特徴など、複合的な要素で見分けられる同定ツールの開発が必要である。台湾での野外観察と、石垣港湾地域の調査、加えてこれまでの経験から、ヒアリとの区別が難しい種の候補を以下に挙げる。

(1) ツヤオオズアリ *Pheidole megacephala* (フタフシアリ亜科)

営巣環境、色、個体数の多さなど、ヒアリに良く似る。坑道を掘り、地上部には低い塚状の巣を作ることから、ヒアリの初期巣との見分けが難しいだろう。

(2) オオシワアリ *Tetramorium bicarinatum* (フタフシアリ亜科)

生息環境、色、動きがヒアリに良く似る。塚などを作ることはないが、人の目に触れる機会が多く、誤同定が起こりやすいだろう。今年度の沖縄本島 7 2 トラップの調査では、最普通種のひとつである。

(3) アミメアリ *Pristomyrmex punctatus* (フタフシアリ亜科)

沖縄では多くないものの、色、体型、動きがヒアリに良く似る。ヒアリと同様に、多くの個体が列を作って移動する。



オオズアリ属の 1 種
(ツヤオオズアリ *Pheidole megacephala* だと思われる)
の巣の地上部。ヒアリの初期巣と酷似している可能性大。



アミメアリ
Pristomyrmex punctatus
動きと野外で見る体型がヒアリに似る。

Photo: Erin Prado

同定マニュアルの参考資料として、下記を示す。本マニュアルは日本国内での利用が想定されており、沖縄で使用するには沖縄で間違いやすい種類との比較が必要になる。

参考資料：ストップ・ザ・ヒアリ

□ 4

ヒアリの特徴：色・かたち

大きさは2.5mm～6.0mm

カラダは赤茶色、お尻には毒針

ヒアリ

体長2.5mm～6.0mm。全体的に赤茶色。腹部は濃い赤色で黒っぽく見える。お尻の毒針で積極的に刺す。



◆ ヒアリと似ている在来種



ヒメアリ属

体長1.5mm～3mm。触角のこん棒部分は3節。刺されてもあまり感じない。



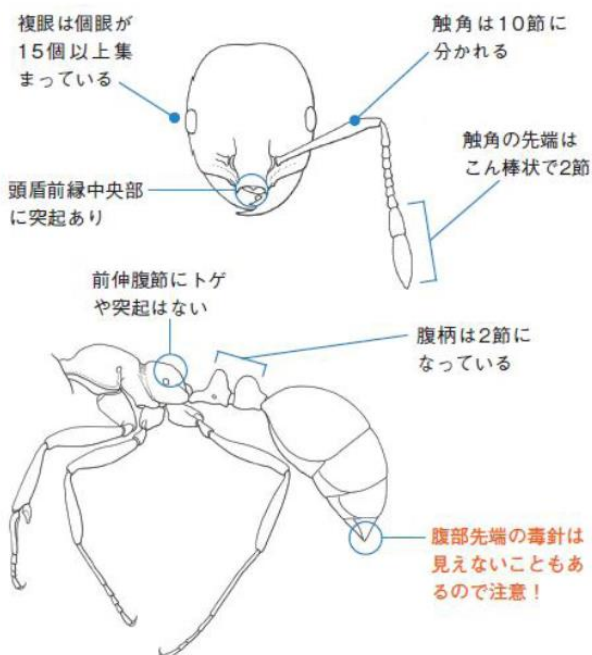
クシケアリ属

体長3.0mm～5.5mm。胸の後背部（前伸腹節）にトゲ。お尻の毒針で刺すことがある。



オオズアリ属

体長1.5mm～4.5mm。頭部が大きい兵アリがいる。刺さない。



大小さまざまなサイズが混在するヒアリ



ヒアリには2.5mm～6.0mmと様々なサイズの働きアリがいる。ただし、オオズアリ属のように大型の働きアリで頭部だけが極端に巨大化するようなことはない。

2-2. 抗体・遺伝子・化学物質による同定技術の検討

ヒアリを迅速かつ的確に同定できる技術手法を検討することを目的として、抗体による種判別、遺伝子、化学物質による種判別手法を検討した。

アリの種同定は顕微鏡等を用いて形態的特徴を基に行われるが、専門性が求められるため、本事業においては沖縄で他のアリ類と区別が可能な同定ツール等の開発を計画している（前述）。一方、近年、抗体によってヒアリを特異的に現場で検出する技術が報告されている (Valles ら 2016)。また、各種モニタリングによって採集されたアリ類のソーティング作業には多くの労力が必要となるが、今後継続的にモニタリングを実施するためにはその省労力化が求められる。

(1) 抗体

現場での簡易な種判別方法の確立を目的に、抗体による種判別は、Valles ら (2016) を参考に、ヒアリ特異的に反応する抗体の作成を行った。Valles ら (2016) ではモノクローナル抗体を作成しているが、コスト及び時間を要するため、低コスト・短時間で作成可能なポリクローナル抗体を作成している。対象領域は Valles らが作成した領域に加えて、抗原性の高い部位についても選択した。

次年度は、作成した抗体を用いて、ウエスタンブロット法によって目的とするタンパク質に対する抗体の特異性を確認し、ELISA 法の確立や Valles らが開発した妊娠検査薬等に使用されるイムノクロマトの検討を進める。

■タンパク質名 : venom protein 2 (Soli2) ■Genbank Accession No: P35775
1 mksfvlaccl lgfaqiiyad nkelkiirkd vaec rtplpk cgnqpddpla rvdvwhcama
61 krgvyd nppdp avikersmkm ctk iitdpan venckkvasr cvdretqgpk snrqkavnii
121 gcalragvae ttvlarkk

凡例

Valles ら (2016) で使用されている領域
 抗原性の高い部位として設計した領域

図 2-2_1 ヒアリ特異的な抗体作成用の抗原

S.M. Valles, C.A. Strong, A-M.A. Callcott (2016) Development of a lateral flow immunoassay for rapid field detection of the red imported fire ant, *Solenopsis invicta* (Hymenoptera: Formicidae). Anal Bioanal Chem. 408(17), 4693-703.

(2) 遺伝子

アリ類のソーティング作業の省労力化を目的に、遺伝子によるヒアリの同定技術の検討している。Jacobson ら (2006) は、ミトコンドリア DNA (COI, tRNA^{leu}, COII) を対象に PCR と制限酵素によってヒアリと近縁種の *S. xyloni* の判別技術を報告している。また、Krieger & Ross (2002) が開発した Gp-9 遺伝子用のプライマーでは近縁の *Monomorium* 数種では DNA 増幅が見られなかった。Gp-9 遺伝子では、単女王制か多女王制を判別するプライマーも開発されている (Valles & Porter, 2003)。いずれかのヒアリもしくはトフシアリ属を特異的に増幅できるプライマーを選択し、多数のヒアリ以外のサンプルからヒア리를簡易に判別できる手法を検討する。

現在、港湾等でよく出現する 14 種のアリ類 (以下、沖縄産アリとする) を捕獲後、DNA を抽出し、ヒアリに特異的な PCR 条件を検討した (表 2-2_1)。

その結果、Gp-9①、Gp-9②、COI+II②のプライマーではヒアリ特異的に増幅した (表 2-2_2)。

表 2-2_1 PCR に用いたプライマー一覧

| 対象遺伝子 | No | プライマー名 | 配列 | PCR産物(bp) | 文献 |
|--------|---------|-------------------|---|-----------|-----------------------|
| Gp-9 | Gp-9① | F 26BS | 5'-CTCGCCGATTCTAACGAAGGA-3' | 517, 423 | Valles & Porter 2003 |
| | | R 16BAS | 5'-ATGTATACTTTAAAGCATTCCTAATATTTTGTC-3' | | |
| | | F 24bS | 5'-TGGAGCTGATTATGATGAAGAGAAAATA-3' | | |
| | | R 25bAS | 5'-GCTGTTTTTAATTGCATTTCTTATGCAG-3' | | |
| | Gp-9② | F 7GP9S | 5'-TAAAATTCCAAATCTAGGCTTTCGC-3' | 494 | Valles et al. 2002 |
| | | R 8GP9AS | 5'-CAAACATGAGAGTGCAGTGTGAACA-3' | | |
| COI | COI | F LCO1490 | 5'-GGTCAACAAATCATAAAGATATTGG-3' | 710 | Folmer et al. 1994 |
| | | R HCO2198 | 5'-TAAACTTCAGGGTGACCAAAAATCA-3' | | |
| COI+II | COI+II① | F CI-J-2195 | 5'-TTGATTTTTTGGTCATCCAGAAGT-3' | 938 | Jacobson et al. 2006 |
| | | R Jerry Garcia-CI | 5'-GGGAATTAGAATTTTGAAGAG-3' | | |
| | COI+II② | F CI-J-2195 | 5'-TTGATTTTTTGGTCATCCAGAAGT-3' | 920 | Ross & Shiemaker 1997 |
| | | R DDS-COII-4 | 5'-TAAGATGGTTAATGAAGAGTAG-3' | | |

表 2-2_2 ヒアリ及び沖縄産アリ類の PCR 結果

| 亜科名 | 和名 | 学名 | Gp-9① | Gp-9② | COI | COI+II① | COI+II② |
|----------------|--------------|---------------------------------|-------|-------|-----|---------|---------|
| Myrmicinae | ヒアリ | <i>Solenopsis invicta</i> | ● | ● | ● | ● | ● |
| Dolichoderinae | アワテコヌカアリ | <i>Tapinoma melanocephalum</i> | × | × | ● | × | × |
| Formicinae | アシナガキアリ | <i>Anoplolepis gracilipes</i> | × | × | ● | ● | × |
| | ケブカアメイロアリ | <i>Nylanderia amia</i> | × | × | ● | ● | × |
| | リュウキュウアメイロアリ | <i>Nylanderia ryukyuensis</i> | × | × | ● | ● | × |
| | ヒゲナガアメイロアリ | <i>Paratrechina longicornis</i> | × | × | ● | ● | × |
| Myrmicinae | ヒメハダカアリ | <i>Cardiocondyla minutilor</i> | × | × | ● | × | × |
| | トゲハダカアリ | <i>Cardiocondyla sp. A</i> | × | × | ● | × | × |
| | クロヒメアリ | <i>Monomorium chinense</i> | × | × | ● | ● | × |
| | フタイロヒメアリ | <i>Monomorium floricola</i> | × | × | ● | ● | × |
| | インドオズアリ | <i>Pheidole indica</i> | × | × | ● | ● | × |
| | ツヤオズアリ | <i>Pheidole megacephala</i> | × | × | ● | × | × |
| | ナンヨウテンコクオズアリ | <i>Pheidole parva</i> | × | × | ● | ● | × |
| | オオシワアリ | <i>Tetramorium bicarinatum</i> | × | × | ● | △ | × |
| | イカリゲシワアリ | <i>Tetramorium lanuginosum</i> | × | × | ● | × | × |

● : 特異的な増幅有り、× : 増幅無し、もしくは非特異的な増幅

次に、沖縄産アリ類のサンプル中にヒアリがどの程度混入した場合まで、PCR (Gp-9①、Gp-9②、COI+II②) で特異的に検出できるか検討した。沖縄産アリ類のサンプルは 14 種の DNA 溶液を等量ずつ混合し、そこにヒアリの DNA 溶液を添加した。

その結果、1 回目の PCR では混入率 1% までしかバンドは判別できなかつた (表 2-2_3)。そこで、PCR を再度繰り返すと、Gp-9②では混入率 0.01% までヒアリ特異的な増幅を確認できた (図 2-2_2)。ただし、沖縄産アリのみでも長さの異なるバンドが検出されている点には注意が必要と考える。今回 14 種のみでの検討であるが、ソーティングの省労力化に遺伝子を用いた技術の適応の可能性が示唆された。

表 2-2_3 ヒアリ特異的な混入率の検討結果

| ヒアリの混入率 | Gp-9① | Gp-9② | COI+II② |
|---------|-------|-------|---------|
| 100% | ● | ● | ● |
| 10% | ● | ● | ● |
| 1% | × | ● | × |
| 0.1% | × | × | × |
| 0.01% | × | × | × |
| 0% | × | × | × |

●：特異的な増幅、×：増幅無し

ヒアリの混入率とは、沖縄産アリ 14 種を等量ずつ混合した DNA 溶液に、ヒアリの DNA 溶液を混ぜた割合である。

ヒアリ 100% はヒアリのみの DNA 溶液、ヒアリ 0% は沖縄産アリのみの DNA 溶液となる。

| | | | | | | | |
|-----------|-----|----|----|------|-------|-----|----|
| ヒアリ (%) | 100 | 10 | 1 | 0.1 | 0.01 | 0 | ネガ |
| 沖縄産アリ (%) | 0 | 90 | 99 | 99.9 | 99.99 | 100 | コン |

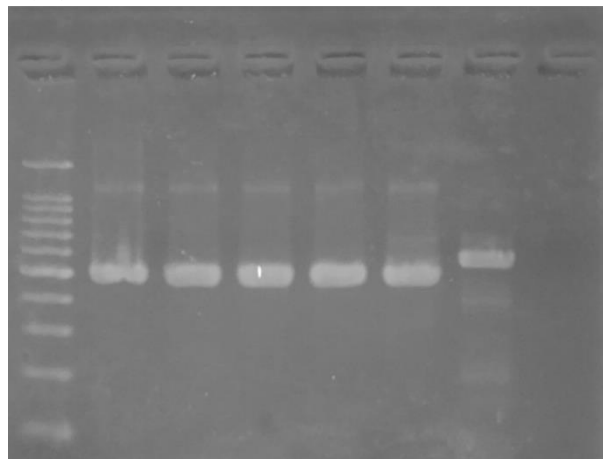


図 2-2_2 2 回目の PCR (Gp-9②) による電気泳動結果

Folmer O, Black M, Hoeh W, Lutz R, Vrijenhoek R. (1994) DNA primers for amplification of mitochondrial cytochrome c oxidase subunit I from diverse metazoan invertebrates. *Mol Mar Biol Biotechnol.* 3(5):294-299

Jacobson AL, Thompson DC, Murray L, Hanson SF (2009) Establishing Guidelines to Improve Identification of Fire Ants *Solenopsis xyloni* and *Solenopsis invicta*. *Journal of Economic Entomology.* 99(2),

313-322.

Krieger MJ, Ross KG (2002) Identification of a major gene regulating complex social behavior. *Science*. 11;295(5553):328-32

Ross KG & Shiemaker DD (1997) Nuclear and mitochondrial genetic structure in two social forms of the fire ant *Solenopsis invicta*: Insights into transitions to an alternate social organization. *Heredity* 78. 590-602

Valles SM & Porter SD (2003) Identification of polygyne and monogyne fire ant colonies (*Solenopsis invicta*) by multiplex PCR of Gp-9 alleles. *Insectes Sociaux*, 50 (2). 199-200

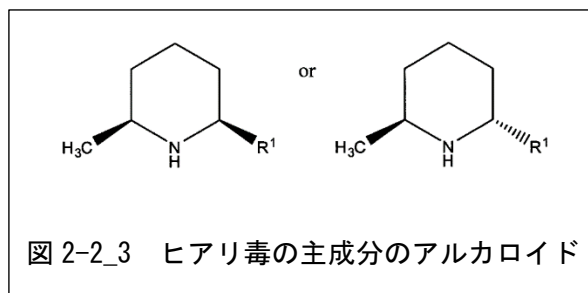
Valles SM, Oi DH, Perera OP, Williams DF (2002) Detection of *Thelohania solenopsae* (Microsporidia: Thelohaniidae) in *Solenopsis invicta* (Hymenoptera: Formicidae) by multiplex PCR. *J Invertebr Pathol*. 81(3):196-201

(3) 化学物質

アリ類のソーティング作業の省労力化を目的に、化学物質によるヒアリの同定技術も検討した。

【GC による毒の同定と定量】

ヒアリの毒性物質としてアルカロイド 2-methyl-6-alkylpiperidine (図 2-2_3) が単離されている。この物質は、ヒアリ類を含む *Solenopsis* 属とその近縁属の *Monomorium* 属の毒腺で確認されている。また、この物質を詳しく分析すると、



- 1) アルキル基の炭素数 11 個 (C_{11}), 13 個 (C_{13}), 及び 15 個 (C_{15}) のアルカロイドがある
- 2) アルキル基には、飽和アルキル (2 重結合なし) と 2 重結合が一つ含まれる不飽和アルキルがある ($C_{11:0}$ と $C_{11:1}$)
- 3) それぞれのアルカロイドで、六員環の面に対してメチル基とアルキル基が同じ側にあるシス型と反対側に位置するトランス型がある ($cis-C_{11}$ と $trans-C_{11}$)

よって 12 種類のアルカロイドに分類でき、総称として“ソレノプシン”と呼ばれている (Thompson 1973)。

表 2-2_4 ヒアリ属 4 種のワーカーにおけるソレノプシン組成の比較 (東ら 2008)

| | <i>cis</i> - C_{11} | <i>trans</i> - C_{11} | <i>cis</i> - C_{13} | <i>trans</i> - C_{13} | <i>cis</i> - C_{15} | <i>trans</i> - C_{15} |
|---------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|
| ホクベイヒアリ | 70% | 30% | 微量 | 微量 | なし | なし |
| アカカミアリ | 60% | 40% | 微量 | 微量 | なし | なし |
| クロヒアリ | 微量 | 20% | 微量 | 80% | なし | なし |
| ヒアリ | 微量 | 5% | 微量 | 35% | 微量 | 60% |

これら 12 種類のアルカロイドであるが、トランス体の毒性が強く、ヒアリに含まれるアルカロイドの殆どは、トランス体である。またアルキル基の炭素数にも大きな差があり、ヒアリの持つ *trans*- C_{15} (60%) は、他のヒアリ類に含まれない。このように、ソレノプシン組成率には、種間差が見られ種の分類や同定に使用できるとされている (東ら 2008)。

Yu ら (2014) による GC-FID を用いたヒアリワーカーのソレノプシン類の定量分析では、*trans*-C_{13:1} (図 2-2_4 中 5')、*trans*-C₁₃ (7')、*trans*-C_{15:1} (11')、*trans*-C₁₅ (13') が明瞭なシグナルとして観察され、その積分値を用い精確な量を算出している (図 2-2_4 赤矢印)。しかしながら、ワーカー 1g (アリ 1 個体の重量は 1~5mg 程度) をサンプル量として用いており、大量のアリを必要とする。

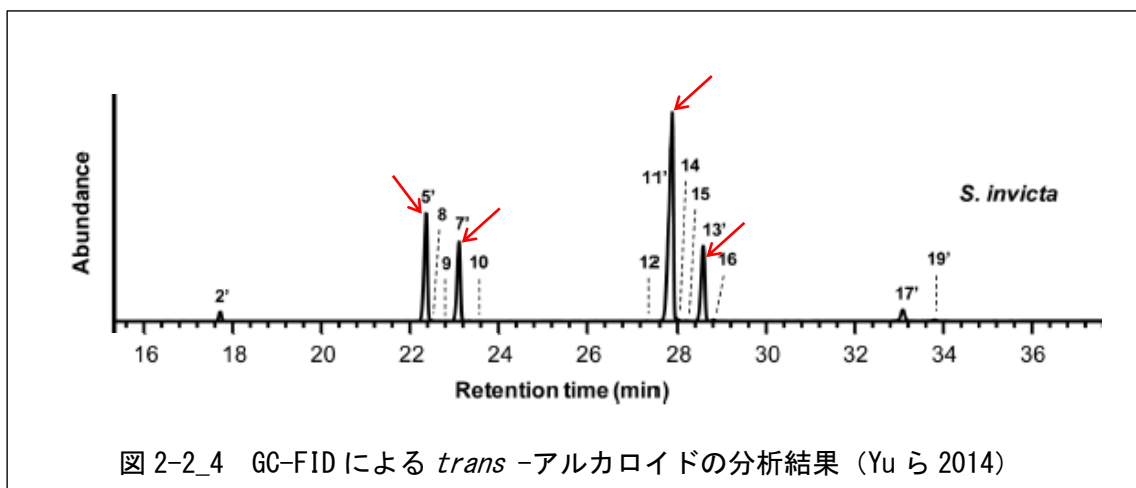


図 2-2_4 GC-FID による *trans*-アルカロイドの分析結果 (Yu ら 2014)

一方、GC-MS (質量分析計) を用いた場合、計算上 0.05 個体分のヒアリ抽出液で、ソレノプシン類の同定が可能であり (Yu ら 2014)、ベイトトラップに入ったアリ 1 個体がヒアリか否か判定できる。しかし、定量分析ができないため、トラップ中に何個体捕獲できていたかを推定できない。一般に、GC-MS による一斉定量は、イオン化効率が各分子によって異なるため向いてないとされる。

今後、これらソレノプシン類の GC-MS による定量は、分析したい分子を *trans*-C_{15:1}、又は *trans*-C₁₅ などの含量が多く、さらにヒアリ特異的なソレノプシン類に絞り、検討していく予定である。

S.N. Thompson (1973) A review and comparative characterization of the fatty acid compositions of seven insect orders. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 45, 467-482

東正剛ら (2008) ヒアリの生物学—行動生態と分子基盤—, 海游舎

Y. Yu, *et al.* (2014) Quantitative analysis of alkaloidal constituents in imported fire ants by gas chromatography, *J. Agric. Food Chem.*, 62, 5907-5915

第3章 外来アリ類（ヒアリ等）の防除技術・体制の確立

1. 外来アリ類の既存防除研究・事例のレビュー

1-1. 目的

外来アリ類は世界各国に侵入しており、防除に成功している地域もある一方で、多額の経済的損失、人的損害、生態学的損失を継続的に発生させている。効果的な防除を実現するために、Hoffmann et al. (2016) による外来アリの根絶についてのレビューをベースに、ヒアリを中心とした外来アリ類の防除について概観する。

1-2. 外来アリ根絶事業の概要

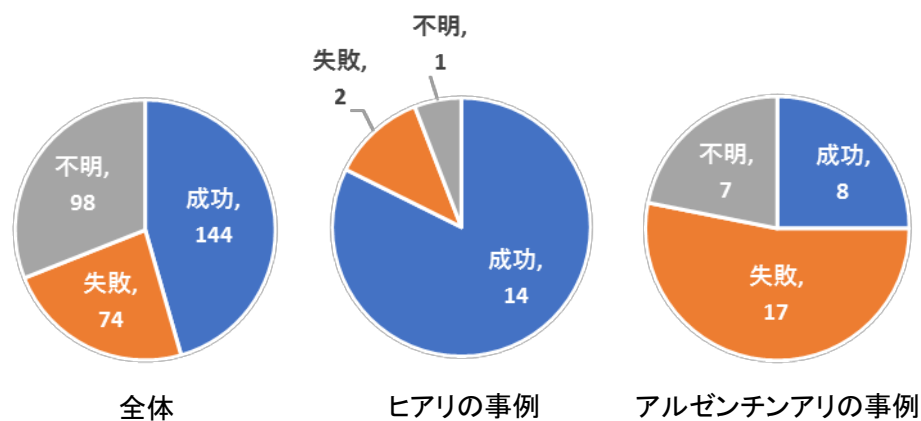
Hoffmann et al. (2016) が解析対象としている 316 例の外来アリ根絶事例から、成功率、根絶の規模等について以下にまとめた (表 1-2_1)。

表 1-2_1 対象種と対象国 (Hoffmann et al. 2016 より作成)

| | |
|-----|---|
| 対象種 | ヒアリ、アルゼンチンアリを含む 11 種 |
| 対象国 | オーストラリア、中国、エクアドル、フランス、ニュージーランド、セイシェル、台湾、アメリカ合衆国 |

(1) 成功率

失敗事例は公表されないことが多いと考えられることから、成功率については実情より高く見積もられていると思われるが、種間差はある程度反映していると思われる。図 1-2_1 に示すように、ヒアリは比較的根絶の成功率が高い種である。一方、アルゼンチンアリは最も成功率が低い種のひとつである。なお、便宜上、最終の防除後 2 年以上再発見がないものが“成功”とされている。



※不明(n=98)は実施中(n=92)を含む

図 1-2_1 外来アリの根絶の成功率 (Hoffmann et al. 2016 をもとに作成)

(2) 根絶の規模

成功事例の多くは 10ヘクタール以下であった（図 1-2_2）。根絶面積がわかっている 137 例の成功事例のうち、100ヘクタール以上の規模の事例は 3 例のみで、最大はオーストラリアのブリスベン港の 8,300ヘクタールのヒアリ根絶事例である。

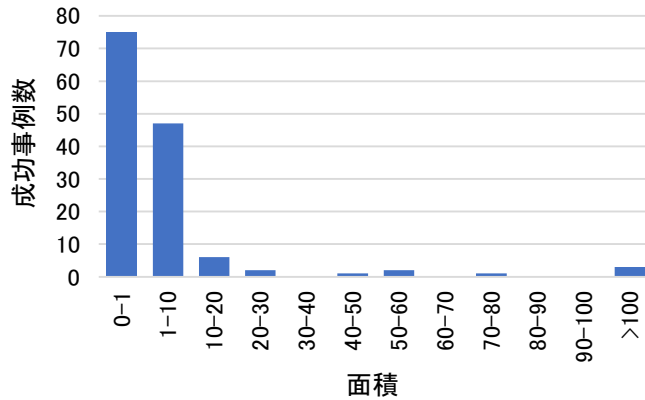


図 1-2_2 面積ごとの外来アリ根絶成功事例数 (Hoffmann et al. 2016 より改変)

(3) 根絶方法・薬剤

根絶方法がわかっている 126 例の成功事例のうち、ベイト剤の散布のみで駆除している事例は 110 例、ベイト剤散布と薬剤の巣への直接注入を組み合わせている事例が 14 例、薬剤注入のみの事例が 2 例であった（図 1-2_3）。このことからベイト剤散布が外来アリ根絶の中心的な手段であることがわかる。しかしヒアリの事例だけを見ると、方法がわかっている 8 例のうちベイト剤散布のみの事例は 2 例で、ほか 6 例はベイト剤と薬剤注入を組み合わせている。このように、ヒアリの防除では複数の方法を組み合わせることが一般的である。

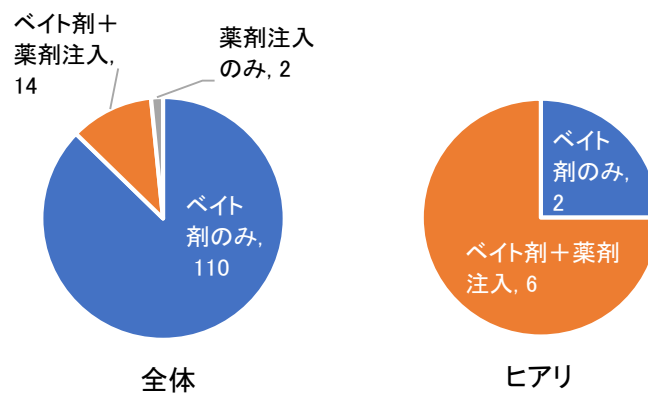


図 1-2_3 根絶方法 (Hoffmann et al. 2016 をもとに作成)

同様に、ツヤオオズアリ等の根絶事例では 1 種類の薬剤のみが使われているのに対し、ヒアリでは複数の薬剤が使われていることが多い。ヒアリの根絶ではフィプロニル、ヒドラメチルノン、メトプレン、ピリプロキシフェン等が多く使われている。台湾ではコストを考慮し、天候によって使用する薬剤を使い分けており、ヒアリの防除では状況に応じて複数の薬剤を使い分けることが有効であると考えられる。

1-3. 対策のコスト

(1) 既存事例

事例によって様々で、公表されている内訳も異なるため一概にいえませんが、以下のような事例がある。

- ガラパゴス諸島マルチェラ島の 27 ヘクタールのココミアリ根絶事業で、1 ヘクタール当たり 16,380 ドル。ベイトや薬剤にかかっているコストは 5%以下で、人件費、物資の輸送、モニタリングコストが 75%を占める (Causton et al. 2005)。
- セイシエルのクジヌ島で、ベイト散布の期間のみ、物資と労働にかかる費用のみで、1 ヘクタール当たり 41 時間、356 ドル (Gaigher et al. 2012)。
- オーストラリアの 24 のツヤオオズアリ根絶事業の実施費用の平均は、1 ヘクタール当たり 1,553 ドル (Hoffmann & O' Connor 2004)。

(2) ベイト剤の散布方法による対策コストの違い

Hoffmann et al. (2016) が 29 例の未発表の根絶事業の実施費用を入手し、ヘリコプターによるベイト剤の空中散布と手作業による散布のコストを比較した結果、1 ヘクタール当たりの費用が空中散布では 2,885 ドル、手作業では 822 ドルで、手作業の方が低コストであった(表 1-3_1)。ただし、手作業による散布は 5 ヘクタールまでのデータしかないため、より広い面積の場合は不明である。

表 1-3_1 ベイト剤の散布方法による費用の違い

| | 空中散布 | 手作業による散布 |
|---------|--------------|------------|
| 事業数 | 21 | 8 |
| 面積 | ~15 ha | ~5 ha |
| 費用(中央値) | 2,885 ドル/ ha | 822 ドル/ ha |

(3) 対応の早さとコスト

ヒアリ侵入後の行政対応の早さと、対策費用と被害額を合わせた年間のコストは図 1-3_1 のように予測できる(参考: Gutrich et al. 2007)。①はある程度蔓延してから行政機関が対応した場合で、②が侵入初期に対応した場合の予測値である。②のように侵入初期に資金を投入して根絶すれば、その後はわずかなモニタリングコストだけですみ、結果的に低コストである。侵入から時間がたつほど根絶は難しくなり、たとえ根絶に成功してもそのための費用は膨大なものになり、根絶できなければ被害と対策のためのコストがかかり続けることになる。

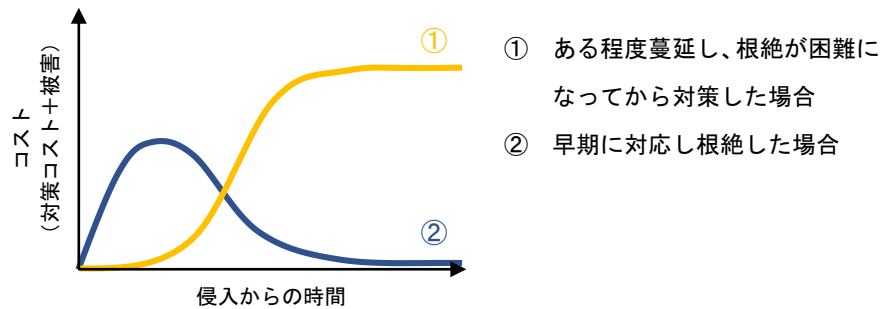


図 1-3_1 ヒアリ侵入後の 2 通りの行政対応とそれぞれのコスト
(Gutrich et al. 2007 をもとに改変)

1-4. 防除薬剤の非標的生物へのリスク

ヒアリの侵入は在来生態系の脅威となるが、ヒアリの防除のための薬剤も自然環境に負荷をかける。防除による非標的生物へのリスクを最小限にするために、ここでは、ヒアリの防除によく用いられるフィプロニル、ヒドラメチルノン、ピリプロキシフェンやメトプレン等の昆虫成長阻害剤 (Insect Growth Regulator; IGR) の非標的生物へのリスクについてまとめた。

(1) フィプロニル

| | |
|------------|--|
| 作用 | 神経伝達阻害剤。接触でも消化でも効果がある。 |
| 特徴 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 残留性、土壌中での移動性ともに低い。 ・ きわめて低い濃度 (0.01-0.1 g/kg) で使用する。 ・ そのものよりも代謝産物の方が毒性が強い。 |
| 非標的生物へのリスク | <ul style="list-style-type: none"> ・ 魚や水生無脊椎動物に対して強い毒性を示す。 ・ 無脊椎動物へのリスクはある。 ・ 小動物は食べると影響がある。 ・ 種によっては鳥類にも毒性がある。 |
| 野外での事例 | <ul style="list-style-type: none"> ・ リター中の無脊椎動物に影響を与えるが限定的である (Green et al., 2004)。 ・ マダガスカルのパッタの駆除ではシロアリに影響があった。また食物不足によりトカゲとテンレックが減少した (Peveling et al., 2003)。 ・ オーストラリアのクリスマス島でのアシナガキアリの駆除では節足動物に有意な影響はなかった。鳥類にも明確な負の影響はなかった (Stork et al., 2014)。 ・ クリスマス島のクリスマスアカガニとヤシガニはフィプロニルに対する感受性が高い。アカガニは使用されたベイトに誘引されないことなどから影響は少ないと考えられたが、ヤシガニはベイトに誘引され影響があった。ベイト剤散布を行う範囲の周囲におとりのベイトを散布することで、ヤシガニの死亡が 15%から 5%に減少した (Boland et al., 2011; Green et al., 2004)。 |

(2) ヒドラメチルノン

| | |
|------------|--|
| 作用 | 代謝阻害剤。消化で効果を示す。 |
| 特徴 | ・ 太陽光で急速に分解され、環境中の残留性は低いと考えられている。 |
| 非標的生物へのリスク | <ul style="list-style-type: none"> ・ 魚と水生無脊椎動物に対して毒性だが、非水溶性のため影響は少ない。 ・ ベイトを食べる節足動物にはリスクがある。 ・ ハチや魚類以外の脊椎動物への毒性は低い。 ・ 表皮から吸収されないためフィプロニルより非標的生物へのリスクは低い。 |
| 野外での事例 | <ul style="list-style-type: none"> ・ オーストラリアのロード・ハウ島のツヤオオズアリ駆除では、在来アリやその他の節足動物への影響は検出されなかった (Hoffmann, 2014)。 ・ セイシエルのクジヌ島のツヤオオズアリ駆除では、負の影響は検出されず、むしろ駆除の効果で地表性の節足動物は増加した (Gaigher et al., 2012)。 ・ ミッドウェイ環礁での tropical fire ant の駆除では、他のアリやゴキブリ、コオロギに影響があった。ゴキブリへの影響はハワイの他のアリの駆除でもみられた (Plentovich et al., 2010, 2011)。 |

(3) 昆虫成長阻害剤 (IGR ; ピリプロキシフェン、メトプレン等)

| | |
|------------|--|
| 作用 | ピリプロキシフェン、メトプレンは昆虫幼若ホルモン類似薬。成熟、繁殖を阻害する。 |
| 特徴 | <ul style="list-style-type: none"> ・ フィプロニルやヒドラメチルノンより効果が遅く、コロニーの死滅に6-8週間かかる。 ・ ピリプロキシフェンはメトプレンより効果的にコロニーを縮小させる。 |
| 非標的生物へのリスク | <ul style="list-style-type: none"> ・ カエル、魚類、水生無脊椎動物には影響がある。 ・ 種によっては陸生無脊椎動物にも毒性。 ・ 哺乳類、鳥類に対するリスクは少ない。 ・ ハチには毒性はない。 |
| 野外での事例 | ・ ある実験的駆除では、一部の駆除範囲から2種の非標的アリが絶滅したが、2年以内に回復した (Webb and Hoffmann, 2013)。 |

1-5. 防除計画の策定

一度侵入・蔓延したアリ類の根絶は困難であることから、未侵入地では水際で防ぐことが理想であり、新規侵入地ではなるべく初期段階で発見し、対応することが望ましい。既侵入地においては、以下のように防除計画を策定し、計画に従って対策を行う必要がある。

(1) 目標の設定

根絶を目指すのか、被害の低減を目指すのか、計画の目標を設定する。侵入から時間が経過し、広範囲に蔓延するほど根絶は困難かつ高コストになる。根絶の実施については、以下の点を検討して決定する。

- 根絶の実施にあたっては、下記の3つの前提条件を満たしていなければならない。一般にアリ類の防除ではこれらの条件を満たすことが難しいため、根絶の可否は慎重に判断すべきである (Hoffmann et al. 2016)。

成功のための3つの前提条件

1. 実施する根絶技術によって、範囲内のすべての個体に効果を及ぼすことができる。
2. 範囲内のどの密度においても、駆除による減少速度が増殖速度を上回る。
3. 外部との個体の移動がない。

- 利益がコストを上回るかどうか。

利益とコスト・・・経済的、生態学的、社会的要素を含む。

※生態学的な利益とコスト・・・生物間相互作用を介した波及的な効果を含め、生態系全体への影響を考慮する。

- ・ 希少種の保護が間に合うかどうかなど、管理目標に対するタイムスケールを考慮して評価する。
- ・ 根絶を行わなかった場合の利益とコストを計算し、比較対象とする。

- 不確定要素が多くあるので、下記文献等を参考にすること。

Gregory et al. 2012. Structured Decision Making: a Practical Guide to Environmental Management Choices. John Wiley & Sons.

(2) 一斉防除

アルゼンチンアリの防除において、容易に再侵入が起こらない一つの生息範囲を防除区域に定め、その区域内で集中的に防除を実施する「一斉防除」が推奨されている（アルゼンチンアリ対策広域行政協議会 2011；環境省中部地方環境事務所 2012；田付 2014）。一斉防除によって一気に個体群全体の密度を下げ、その後は定期的なモニタリングを行い、必要な箇所で一斉防除を行うという流れを繰り返す（図 1-5_1）。根絶や個体群全体の大幅な密度低減を目指す外来種管理において、一斉防除は非常に効果的であると考えられる。

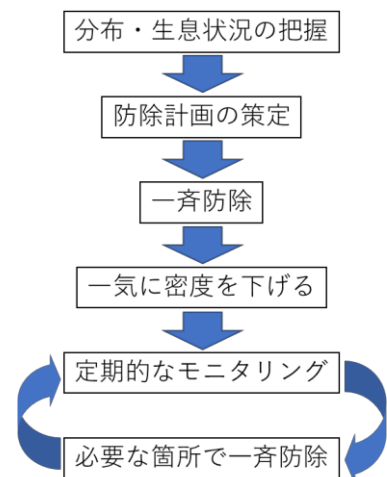


図 1-5_1 一斉防除モデル

(3) 総合的有害生物管理（Integrated Pest Management; IPM）

病害虫に対し、さまざまな防除技術を組み合わせて防除を行うことを総合的有害生物管理という。先述したように、ヒアリの根絶においてはベイト剤散布に加えて薬剤を巣に直接注入するなど複数の手法を組み合わせることが多い。また使用される薬剤も複数種類を使い分けることが一般的である。ヒアリは特に総合的有害生物管理の考え方で防除を進めることが望ましい種であるといえる。

(4) 再侵入への対応

一斉防除による根絶・密度低減の後には、再侵入に備えなければならない。再侵入の防止のために、バイオセキュリティ（検疫等、再侵入の検出・予防のためのシステム）プランと再侵入発生時の緊急対応プランが不可欠である。

再侵入には対象生物自体の分散能力による自然的要因によるものと、人為的な移動にもよって起こる人為的要因によるものがある。対象種の生活史だけでなく、防除区域の環境特性を考慮し再侵入を予測する必要がある。

(5) 根絶の確認

根絶を目指した防除を行う場合、根絶の確認を行うことは不可欠である。根絶が確認されなければ、定期的なモニタリングを終了することはできず、コストがかかり続けることになる。しかし根絶の判断は非常に難しい。モニタリングを行い一定期間再発見がなければ根絶成功とみなすことが一般的であり、温帯のネズミにおいては2年間再発見がなければ根絶成功とみなされるが、アリ類において根絶成功とみなされる期間についての統一的な見解はない。

近年では、ネズミや外来捕食者について、モニタリングデータから根絶成功かどうかを判断するためのツールとなる検出率モデルが開発されている（Ramsey et al. 2011; Samaniego-Herrera et al. 2013）。ニュージーランド政府はヒアリの検出率モデルを公開している（<http://www.biosecurity.govt.nz/pests/red-imported-fire-ant>）。

(6) 分布拡大防止措置

目標にかかわらず、既侵入地では、分布拡大防止措置を実施しなければならない。それ以上分布が拡大しないように、境界部で重点的な防除を行う必要がある。また人や物資の移動にともなった分布の拡大を防ぐために、空港・港湾付近での防除や検疫システムの強化が求められる。

1-6. 外来アリ根絶における課題

外来アリ根絶における課題を以下にまとめた。

(1) 生活史及び分類学的研究

対象種の繁殖生態などは防除計画をたてる上で重要な情報だが、アリ類の生活史はわかっていないことも多い。また、ツヤオオズアリの根絶は1種の薬剤で良いが、ヒアリやアルゼンチンアリの根絶には複数の薬剤を組み合わせることが効果的であり、こうした違いがどのような性質によるのかも分かっていない。

またアリの分類は不完全であり、頻繁に改変されていることも混乱を招く一因となっている。

(2) 有効成分とベイトの効果の向上

駆除効率を高め、非標的生物へのリスクを減らすための研究と改良が必要である。有効成分の効果には種間差があるが、どの種にどの有効成分が効果的なのかについて、確立されたガイドラインはない。ベイトの嗜好性にも種間差があるが、種ごとの最適戦略は提示されていない。

(3) 非標的生物へのリスク対策

非標的生物への影響は根絶における主要な制限要因のひとつであるが、情報は少ない。外来種の根絶の必要性の高さにも関わらず保護地域内での根絶事例が比較的少ないのは、非標的生物への影響がある、あるいは影響が不明であるためだと思われる。アリ駆除による非標的生物へのリスク軽減策を確立することは最も優先すべき課題である。一方、根絶による利益とコストを正当に比較評価するために、アリの根絶による生物多様性への利益を明らかにすることも必要である。

(4) 根絶成功を宣言するためのツール

根絶成功を確認するためのモニタリングは困難かつ高コストである。近年開発されている検出率モデル (Detectability modeling; Ramsey et al., 2009; Ramsey et al., 2011) 等の技術により、より早く、安く、効果的な根絶が可能になることが期待されている。また検出犬などの最近の技術と既存のモニタリング手法を組み合わせることも、効率化と低コスト化の一助となるだろう。

(5) 代替手法の開発

外来アリの根絶にはベイト剤を使うことが一般的である。少数の新規の巣に対しては熱湯をかけるなどの方法があるが、現状ではベイト剤以外の方法でスケールの大きい根絶は難しい。しかし、毒物の使用は、非標的生物へのリスクなどのためにしばしば一般からの反対があり、代替手法の開発が望まれる。天敵導入や病原菌の導入が検討されているが、研究段階であり、これらの

技術の安易な実用化はベイト剤以上のリスクをもたらすと考えられる。またゲノム編集、RNA 干渉を利用した種特異的に作用する毒物も開発されており、実験段階では成功している。

アルゼンチンアリ対策広域行政協議会 (2011) アルゼンチンアリー斉防除マニュアル。アルゼンチンアリ対策広域行政協議会。

環境省 (2013) アルゼンチンアリ防除の手引き (改訂版)。環境省自然環境局野生生物課外来生物対策室, 東京。

環境省中部地方環境事務所 (2012) アルゼンチンアリー斉防除マニュアル。環境省中部地方環境事務所, 名古屋。

田付貞洋 (2014) アルゼンチンアリー史上最強の侵略的外来種。東京大学出版会, 東京。

Boland, C. R. J., Smith, M. J., Maple, B., Tiernan, R., Barr, R., Reeves, R., Napier, F. (2011) Helibaiting using low concentration fipronil to control invasive yellow crazy ant supercolonies on Christmas Island, Indian Ocean. In: Veitch, C. R., Clout, M. N., Towns, D. R. (Eds.), *Island Invasives: Eradication and Management*. IUCN, Gland, Switzerland, pp. 152-156.

Causton, C. E., Sevilla, C. R., Porter, S. D. (2005) Eradication of the little fire ant, *Wasmannia auropunctata* (Hymenoptera: Formicidae), from Marchena Island, Galapagos: on the edge of success? *Fla. Entomol.* 88, 159-168.

Gaigher, R., Samways, M., Van Noort, S. (2013) Saving a tropical ecosystem from a destructive ant-scale (*Pheidole megacephala*, *Pulvinaria urbicola*) mutualism with support from a diverse natural enemy assemblage. *Biol. Invasions* 15, 2115-2125.

Green, P., Comport, S., Slip, D. (2004) The management and control of the invasive alien crazy ant (*Anoplolepis gracilipes*) on Christmas Island, Indian Ocean: The aerial baiting campaign September 2002. Unpublished Final Report to Environment Australia and the Crazy Ant Steering Committee.

Gregory, R., Failing, L., Harstone, M., Long, G., McDaniels, T., Ohlson, D. (2012) *Structured Decision Making: a Practical Guide to Environmental Management Choices*. John Wiley & Sons.

Gutrich, J. J., VanGelder, E., Loope, L. (2007) Potential economic impact of introduction and spread of the red imported fire ant, *Solenopsis invicta*, in Hawaii. *Environ. Sci. Pol.* 10, 685-696.

Hoffmann, B. D. (2014) Assessment of the Progress of the African Big-Headed Ant Eradication Program on Lord Howe Island. CSIRO, Darwin, Australia.

Hoffmann, B. D., O'Connor, S. (2004) Eradication of two exotic ants from Kakadu National Park. *Ecol. Manag. Restor.* 5, 98-105.

Hoffmann, B. D., Luque, G. M., Bellard, C., Holmes, N. D., Donlan, C. J. (2016) Improving invasive ant eradication as a conservation tool: A review. *Biol. Conserv.* 198, 37-49.

- Ravoninjatovo, A., Dewhurst, C.F., Gibson, G., Rafanomezana, S., Tingle, C.C.D. (2003) Impact of locust control on harvester termites and endemic vertebrate predators in Madagascar. *J. Appl. Ecol.* 40, 729-741.
- Plentovich, S., Swenson, C., Reimer, N., Richardson, M., Garon, N. (2010) The effects of hydramethylnon on the tropical fire ant, *Solenopsis geminata* (Hymenoptera: Formicidae), and non-target arthropods on Spit Island, Midway Atoll, Hawaii. *J. Insect Conserv.* 14, 459-465.
- Plentovich, S., Eijzenga, J., Eijzenga, H., Smith, D. (2011) Indirect effects of ant eradication efforts on offshore islets in the Hawaiian Archipelago. *Biol. Invasions* 13, 545-557.
- Ramsey, D.S., Parkes, J., Morrison, S.A. (2009) Quantifying eradication success: the removal of feral pigs from Santa Cruz Island, California. *Conserv. Biol.* 23, 449-459.
- Ramsey, D.S., Parkes, J.P., Will, D., Hanson, C.C., Campbell, K.J. (2011) Quantifying the success of feral cat eradication, San Nicolas Island, California. *N. Z. J. Ecol.* 35, 163-173.
- Samaniego-Herrera, A., Anderson, D.P., Parkes, J.P., Aguirre-Muñoz, A. (2013) Rapid assessment of rat eradication after aerial baiting. *J. Appl. Ecol.* 50, 1415-1421.
- Stork, N.E., Kitching, R.L., Davis, N.E., Abbott, K.L. (2014) The impact of aerial baiting for control of the yellow crazy ant, *Anoplolepis gracilipes*, on canopy-dwelling arthropods and selected vertebrates on Christmas Island (Indian Ocean). *Raffles Bull. Zool. Suppl.* 30, 81-92.
- Webb, G.A., Hoffmann, B.D. (2013) Field evaluations of the efficacy of Distance Plus on invasive ant species in northern Australia. *J. Econ. Entomol.* 106, 1545-1552.

2. 防除技術の検討

2-1. 各種防除技術の検討

(1) 防除方法の検討

先述のように、アリ類の防除ではベイト剤の散布が一般的であるが、特に侵入初期のヒアリの根絶においては、ベイト剤散布に液剤の巣への直接注入を併用することが効果的であると思われる。また被害低減のために、状況に応じてその他の手法の使用も検討する。外来アリ類の防除において用いられる一般的な手法について以下に述べる。

① 殺虫剤

アリ類の防除に用いられる殺虫剤にはベイト剤、液剤、粉剤、エアゾル剤がある。広範囲の散布が容易で、環境負荷が比較的少なく、巣の中の幼虫や女王を標的にできることから、密度低減・根絶を目指したアリ類の防除にはベイト剤が使用されるが一般的である。殺虫剤の剤形による用途の違いを表 2-1_1 に示す。

表 2-1_1 殺虫剤の剤形とそれぞれの用途

| 剤形 | 適切な用途 |
|-------|-------------------------------|
| ベイト剤 | 密度低減・根絶のための中心的な方法。 |
| 液剤 | 生息範囲が限られている場合の防除に有効。 障壁処理。 |
| 粉剤 | 障壁処理。 |
| エアゾル剤 | 家庭での小規模な駆除。 |

② 生物的防除

ボルバキア（細菌）、微孢子虫、線虫、ヤドリヒアリ（ヒアリのワーカーに自分の子を育てさせる寄生性のアリ）、ノミバエ類などがヒアリの天敵として挙げられているが、いずれも実用段階ではない。

③ 物理的防除

巣に熱湯をかける、バーナーで焼却処理する等の方法がある。ただし、ヒアリの巣は 1~2m の深さになるため、成熟したコロニーの死滅は難しいと考えられる。コンクリート等で舗装された場所では、隙間を埋めることで巣を作る場所をなくすことができる。

④ 道しるべフェロモンによる行列攪乱

日本におけるアルゼンチンアリ防除で、道しるべフェロモンを利用し行列を攪乱することで効率的な餌採りを抑制し、個体数を低減する試みが行われている（田付 2014）。容易に再侵入が起こる野外環境下での実験では、フェロモン単体では効果がなかったが、ベイト剤を併用することで、ベイト剤単体の処理よりも高い個体数低減効果が得られている。横浜港でのアルゼンチンアリ防除では、ベイト剤と併用して、分布拡大阻止のために防除対象地域の境界付近にフェロモン

剤が使用された。ヒアリでも道しるベフェロモンが研究されており、ベイト剤と併用して用いることでベイト剤の使用量を少なくできる可能性がある。

ただし、道しるベフェロモンによる行列攪乱は餌採り効率を低下させるため、併用するとベイト剤の効果を阻害する可能性がある。田付（2014）は生息密度が高い環境ではベイト剤の効果に影響しないのだろうと推測しているが、低密度環境下での使用は慎重に行うべきである。

(2) 薬剤の有効成分

ヒアリの防除では、地表に出ている働きアリだけでなくコロニー全体を死滅させるために、遅効性の薬剤もしくは昆虫成長阻害剤（IGR; Insect Growth Regulator）が主に用いられる。根絶を目指した防除で多く用いられているのは、遅効性殺虫剤のフィプロニル、ヒドラメチルノン、昆虫成長阻害剤のメトプレン、ピリプロキシフェンである（Hoffmann et al. 2016）。これらは日本でも殺虫剤や農薬の有効成分として既に用いられている。

ヒアリの根絶には複数の薬剤を組み合わせる用いることが多く（Hoffman et al. 2016）、視察した台湾でも複数の薬剤が用いられていた。台湾のヒアリ対策を担う国家紅火蟻防除中心（National Red Imported Fire Ant Control Center : NRIFACC）ではメトプレンとフィプロニルを有効成分とする薬剤を用いており、ヒアリ防除業者である蒙斯特農研有限公司（MONSTERS' agrotech）ではメトプレンとピリプロキシフェンを用いていた。フィプロニルを含有する製品（TOPCHOICE, Bayer Environmental Science 社）に比べメトプレンを含有する製品（EXTINGUISH professional fire ant bait, Zoecon 社）は安価だが雨に弱く、天候によって使い分けられているようである。

アメリカでヒアリの防除に用いられる業務用のベイト剤を表 2-1_2 に示した。次年度では、こうした薬剤の輸入方法などについて調べ、日本で手に入りやすい薬剤とその特徴について検討する予定である。

表 2-1_2 アメリカでヒアリのベイト剤に用いられている業務用薬剤
(Greenberg & Kabashima 2011 より改変)

| 作用 | 薬剤名 | 商品名 | 効果の早さ |
|---------|----------------|-----------------------------|-------|
| 殺虫剤 | フィプロニル | Maxforce FC Fire Ant Bait | 中～遅 |
| | ヒドラメチルノン | Amdro Pro Fire Ant Bait | 中～遅 |
| | アバメクチン | Ascend Award II | 中～遅 |
| | スピノサド | Conserve | 中～遅 |
| | インドキサカルブ | DuPont Advion Fire Ant Bait | 早～中 |
| 昆虫成長阻害剤 | メトプレン | Extinguish | 遅 |
| | ピリプロキシフェン | Distance, Esteem | 遅 |
| 混合 | メトプレン+ヒドラメチルノン | Extinguish Plus | 中～遅 |

(3) ベイト剤の基質

アリの種によって効果的なベイト剤の基質は異なっており、ヒアリではトウモロコシを挽き割りにしたコーングリットと大豆油の組み合わせが有効であることが知られている。有効なベイト剤の基質については、今後検討の余地があると思われる。

またベイト剤の形状として固形、液体、粒状、ゲル状、ペースト状のものがあり、それぞれ扱いやすさや種による嗜好性が異なる。ヒアリの防除に用いられている薬剤は粒状のものが多く、広範囲への散布のしやすさが重視されていると思われる。

(4) ベイト剤の散布方法

ベイト剤の散布方法としては、手作業による散布、ヘリコプターによる空中散布がある (Hoffmann et al. 2016)。台湾では、ベイト剤を噴射する小型の散布器具を用いた徒歩による散布、ATV (All-Terrain Vehicle; 全地形対応車; 四輪バギー) による散布、ドローンを用いた空中散布を行っていた。

防除の規模に応じて、手作業、手持ちの散布器具、ATV、ヘリコプターと使い分けるのが良いと思われる。ドローンは、バッテリーの稼働時間や積載できるベイト量に限りがあるが、どのような地形でも使えるという利点がある。状況に応じて使用を検討する。

日本におけるアルゼンチンアリの防除では、ベイト剤がプラスチックケースに入った殺虫剤 (「アルゼンチンアリウルトラ巣ごと退治/フマキラー (株)」など) を設置する、またはベイトをマイクロチューブに入れて設置する方法が実施されている (アルゼンチンアリ対策広域行政協議会 2011; 環境省中部地方環境事務所 2012)。環境省中部地方環境事務所 (2012) は、環境への影響や効果の面から、ベイト剤は容器を使用して設置し余った分は回収する方法を推奨している。またベイト剤を容器に入った状態で設置することで、ベイトを直播きする場合に比べて殺虫効果が持続し、より少ないベイト量で防除できる可能性も示唆されている (田付 2014)。一方、台湾やアメリカでのヒアリの防除では粒剤を直接地面に散布する方法が一般的である。Greenberg & Kabashima (2013) は、プラスチック製のベイトステーションは家屋に侵入するアリ類に対する屋内での使用には適しているが、ヒアリに対する広範囲の屋外での使用には向かないとしている。

アルゼンチンアリ対策広域行政協議会 (2011) アルゼンチンアリー斉防除マニュアル. アルゼンチンアリ対策広域行政協議会.

環境省中部地方環境事務所 (2012) アルゼンチンアリー斉防除マニュアル. 環境省中部地方環境事務所, 名古屋.

田付貞洋 (2014) アルゼンチンアリー史上最強の侵略的外来種. 東京大学出版会, 東京.

Greenberg, L., Kabashima, J.N. (2013) Red Imported Fire Ant. Integrated Pest management in and around the home. Pest Notes. University of California Publication 7487. California, USA: University of California Agriculture and Natural Resources.

Hoffmann, B.D., Luque, G.M., Bellard, C., Holmes, N.D., Donlan, C.J. (2016) Improving invasive ant eradication as a conservation tool: A review. Biol. Conserv. 198, 37-49.

2-2. 初動体制の検討

(1) 初動体制の重要性

多額の対策費用を要し、根絶が困難なアリ類の防除において、早期発見・早期対応はきわめて重要である（田付 2014; Hoffmann et al. 2016）。Hoffmann et al. (2016) の集計した大多数の根絶成功事例が 10 ヘクタール以下であることも、初動体制の重要性を示唆している。オーストラリアの 8,300 ヘクタールのヒアリ根絶事例はあるが、きわめて例外的な事例であり、膨大なコストをかけなければこのような広範囲の根絶は不可能である。蔓延し、根絶できなければ、何らかの原因で自然に衰退しない限り永続的にヒアリの被害を受け続けることになる。

(2) 初動体制の検討

ヒアリ発見時の迅速な対応を可能にするため、図 2-2_1 に初期対応のフローを作成した。

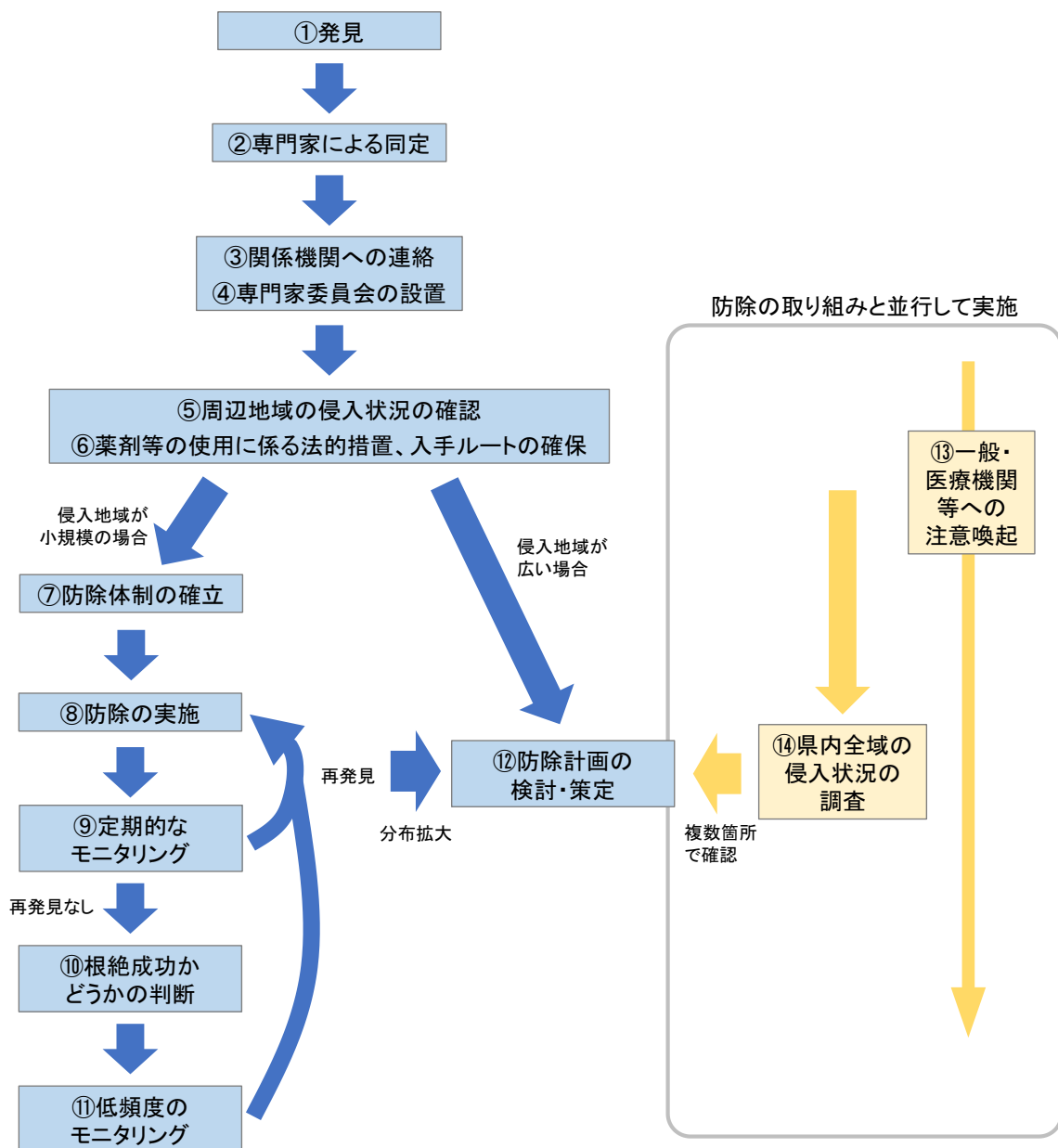


図 2-2_1 初期対応フロー

① 発見

一般市民、港湾関係者、医療機関からの通報、モニタリング調査等による発見。

② 専門家による確認

発見後、速やかに専門家による現地視察を実施し、種同定を行う。

③ 関係機関への連絡

ヒアリであることが確認された場合、速やかに関係機関に連絡する。関係機関とは、関係する行政機関及び発見場所周辺の土地管理者等である。

④ 専門家委員会の設置

専門家に連絡し、専門家委員会を設置する。

⑤ 周辺地域の侵入状況の確認

発見場所周辺のヒアリの侵入状況を調査する。

⑥ 薬剤等の使用に係る法的措置、入手ルートの確保

薬剤及び防除手段の入手・使用に係る法的措置、入手ルートの確保。

▼侵入地域が狭く、速やかな根絶が可能だと判断された場合

⑦ 防除体制の確立

状況に応じて必要な防除方法を検討し、防除体制を確立する。必要な薬剤・機材の入手、防除実施者・関係行政・土地管理者間の合意、防除地域周辺住民への周知等を行う。

⑧ 防除の実施

根絶を目指した防除を実施する。

⑨ 定期的なモニタリング

防除実施後は月 1 回程度の定期的なモニタリングを行う。少数の残存個体が見つかった場合には再び防除を行う。再発見を繰り返す場合、また分布の拡大がみられた場合等、現状の防除で根絶が難しい場合は適切な防除計画の検討・策定に移行する。

⑩ 根絶成功かどうかの判断

最終の防除実施後、2 年間再発見がなければ根絶成功とし、定期的なモニタリングを終了する。

⑪ 低頻度のモニタリング

再侵入の予防のために、根絶後も低頻度のモニタリングを継続する。

▼侵入地域が広く、速やかな根絶が困難であると判断された場合

⑫ 防除計画の検討・策定

1-5. 防除計画の策定参照。

▼防除の取り組みと並行して実施

⑬ 一般・医療機関等への注意喚起

ヒアリの侵入が確定した時点で、地域住民をはじめとする県民、観光客への注意喚起を行うとともに、発見した際の通報を呼びかける。また医療機関へも周知し、適切な対応及び新規の発見の通報を促す。

⑭ 県内全域の侵入状況の調査

発見場所周辺の調査が最優先だが、県内に侵入した以上、他の地域にも侵入している可能性があるため、順次県内の他地域の調査を実施する。複数箇所で見つかった場合、防除計画の検討・策定に移行する。

環境省（2013）アルゼンチンアリ防除の手引き（改訂版）．環境省自然環境局野生生物課外来生物対策室，東京．

田付貞洋（2014）アルゼンチンアリの史上最強の侵略的外来種．東京大学出版会，東京．

Gutrich, J.J., VanGelder, E., Loope, L. (2007) Potential economic impact of introduction and spread of the red imported fire ant, *Solenopsis invicta*, in Hawaii. *Environ. Sci. Pol.* 10, 685-696.

Hoffmann, B.D., Luque, G.M., Bellard, C., Holmes, N.D., Donlan, C.J. (2016) Improving invasive ant eradication as a conservation tool: A review. *Biol. Conserv.* 198, 37-49.

2-3. 今後の課題

ヒアリの防除について、現段階では複数の課題がある。前述の通り、ヒアリによる人的損害、経済的損失、生態学的損失を最小にするためには、早期発見・早期対応がきわめて重要である。早期発見・早期対応を可能にするためには、以下のような課題に事前に取り組み、ヒアリの侵入前に準備を整えておく必要がある。次年度以降こうした取り組みを進めていく予定である。

(1) 薬剤の入手・使用について

現在、日本国内にはヒアリが侵入していないため、ヒアリに特化した薬剤はない。国内に流通しているアリ用の薬剤は、ヒアリにもある程度は有効だと思われる。しかし本格的な防除のためにはベイト剤の使用が効果的であり、ベイトは種によって嗜好性が異なるため、ヒアリ用のベイト剤を入手することが望ましい。国内で開発するか、海外から輸入するかについて、それぞれのコストや法的規制の面から検討する必要がある。アメリカで使用されている薬剤については表2-1_2に挙げた。

野外での薬剤の使用にあたっては、関係法令等に従い、ヒアリ発見時に迅速に使用できる体制を整えておく必要がある。特に農地においては、農薬取締法によって薬剤の使用が制限されている。ヒアリが農地に侵入した場合のために、農地で使用である薬剤を検討しておく必要がある。

薬剤については、害虫防除に関わる民間企業との連携することも必要であると思われる。

(2) 早期発見のための普及啓発

ヒアリの防除において、早期発見がきわめて重要であることは既に述べた。早期発見のためには、空港・港湾等で定期的なモニタリングを行うことも重要だが、一般市民からの情報を募ることも有効である。特にヒアリは、大きなアリ塚を作り、攻撃的で、刺されると腫れ上がり強い痛みやかゆみが起こるなど、在来アリにはない特徴があるため、専門知識がなくても同定がしやすい。一般の人からの情報を効果的に吸い上げるために、ヒアリと疑わしい情報について通報できる窓口を設置し、パンフレットやインターネットを利用して広く普及啓発を行う。また医者、港湾関係者、農業改良組織、園芸従事者等、ヒアリと接する可能性が高い人にヒアリの特徴について周知し、情報提供を求める。

(3) 関係機関への連絡体制の確立

ヒアリ発見時に速やかに防除体制を整えるには、防除実施者、行政、専門家等の連携と役割分担を事前に確認し、合意形成を行っておく必要がある。また港湾等、ヒアリが最初に侵入する可能性が高い場所の土地管理者等とヒアリ発見時の対応について取り決めておく。