

Environment Research and Technology Development Fund

環境研究総合推進費 終了研究成果報告書

4RF-1901 特定外来生物グリーンアノールの誘引・忌避に有効な音声の解明
(J P M E E R F 2 0 1 9 4 R 0 1)

令和元年度～令和4年度

Identification of Attractive and Aversive Sound Targeting Invasive Alien Species, Green Anole
(*Anolis carolinensis*)

＜研究代表機関＞
東京農工大学

○図表番号の付番方法について

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

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

令和5年5月

目次

I. 成果の概要	3
1. はじめに（研究背景等）	
2. 研究開発目的	
3. 研究目標	
4. 研究開発内容	
5. 研究成果	
5－1. 成果の概要	
5－2. 環境政策等への貢献	
5－3. 研究目標の達成状況	
6. 研究成果の発表状況	
6－1. 査読付き論文	
6－2. 知的財産権	
6－3. その他発表件数	
7. 国際共同研究等の状況	
8. 研究者略歴	
II. 成果の詳細	7
要旨	
1. 研究開発目的	
2. 研究目標	
3. 研究開発内容	
4. 結果及び考察	
5. 研究目標の達成状況	
6. 引用文献	
III. 研究成果の発表状況の詳細	26
IV. 英文Abstract	28

I. 成果の概要

課題名 4RF-1901 特定外来生物グリーンアノールの誘引・忌避に有効な音声の解明

課題代表者名 岩井 紀子 (東京農工大学大学院農学研究院自然環境保全学部門准教授)

重点課題 主：【重点課題⑫】生物多様性の保全とそれに資する科学的知見の充実に向けた研究・技術開発

副：【重点課題③】環境問題の解決に資する新たな技術シーズの発掘・活用

行政要請研究テーマ（行政ニーズ） (4-8) 新たに侵入する外来種に対する早期発見・早期防除技術の開発

研究実施期間 令和元年度～令和4年度 但し、令和3年度より1年間延長

研究経費

17,847千円（合計額）

（各年度の内訳：2019年度：5,959千円、2020年度：5,942千円、2021・2022年度：5,946千円）

研究体制

他のサブテーマはない。

研究協力機関

研究協力機関はない。

本研究のキーワード 小笠原、音声、外来種、忌避、グリーンアノール、誘引

1. はじめに（研究背景等）

小笠原諸島は日本固有の貴重な生態系が評価され世界自然遺産として登録されたが、多くの外来種が侵入し在来種に競争や捕食を通して悪影響を与えている。中でもグリーンアノールは捕食圧が高く、希少な固有昆虫をはじめとする在来の生物相に多大な負の影響を与えるため、特定外来生物に指定されている。今日まで、主に粘着トラップや防除フェンスを用いた駆除努力が続いているが、粘着トラップによる対策は、個体数の減少は見られるものの、多大な労力と資源を継続的に必要とするうえ、在来のオガサワラトカゲや昆虫類との混獲が問題となっている。また、防除フェンスはグリーンアノールが超えている可能性が指摘されており、効果が不十分であるといえる。今後、防除を継続して根絶に向けた道筋をつけるためには、より効果的な防除策の開発が望まれている。

生物の五感といわれる視覚、聴覚、触覚、味覚、嗅覚のうち、誘引や忌避のために遠隔から訴えられる五感は視覚、聴覚、嗅覚である。グリーンアノールを対象とした誘引や忌避に関する研究は、現在、オス個体の容姿や匂いを用い、視覚や嗅覚に訴えた誘引試験が始まっているが、高い誘引効果を持つ因子の特定には至っていない。一方で、グリーンアノールは声を出さないとされるため、聴覚に関する防除研究は行われてこなかった。しかし、実際にはグリーンアノールの聴覚は非常に優れていることや、他種のトカゲにおいては鳥類の声によって行動が変化することなどが示されており、聴覚を用いた誘引・忌避を行なえる可能性は高い。例えば、捕食者の音声を忌避したり、被食者の音声に誘引されたりすることが考えられる。また、可聴域では音声をを用いていないと考えられる繁殖の際には、超音波などを用いている可能性もある。そこで、本研究では、これらの音声を対象として行動実験を行い、グリ

ーンアノールを誘引する、もしくは忌避させる効果のある音声を特定する。そして、特定した音声の効果を持続されるための音声の作成を行う。行動実験により誘引・忌避効果が認められた音声は、実際に粘着トラップや防御フェンスに使用し、その効果を検証する。

音声の作成に加えて、音声の誘引・忌避効果を高めるために、粘着トラップの色をグリーンアノールが好む色とする、防除フェンスをグリーンアノールの好まない色とする、誘引物や忌避物を添付する、など視覚に訴える効果の検証も合わせて行う。

2. 研究開発目的

現在行われている特定外来生物グリーンアノールの駆除効率を向上させるため、これまで注目されてこなかった聴覚を用いた駆除の可能性の検証が目的である。グリーンアノールが発達した聴覚を持っていることは既に示されているが、音声への反応（誘引・忌避）についてはまだ明らかにされていない。そのため、本研究では多様な音声への反応を行動実験によって明らかにし、その効果が持続する音声の作成とその効果の検証を行う。誘引・忌避効果のある音声は、現在使用されているフェンスやトラップに実装することを想定して作成する。

3. 研究目標

全体目標	本研究は、グリーンアノールが誘引される、もしくは忌避する音声を特定することで、本種の効果的な防除策の開発に貢献することを目的とする。具体的には、（１）①捕食者の音声（飛翔音、鳴き声）、②被食者（餌資源）の音声、③繁殖行動時の音声、④捕食される時の音声、⑤機械音、⑥その他、の６種類に着目し、これらについて高性能マイクを用いて収録する。次に、（２）収録した誘引・忌避音声候補へのグリーンアノールの反応を行動実験によって明らかにする。そして（３）誘引・忌避効果が特定された音声を用いて、反応が強くなる音声を作成する。行動実験により誘引・忌避効果が認められた音声や色は、（４）実際に粘着トラップや防御フェンスに使用して、効果の検証を行う。
------	--

4. 研究開発内容

4-1：誘引・忌避音声の特定

室内実験によってグリーンアノールに様々な音声を聞かせ、行動を観察することで、誘引・忌避音声を特定した。

4-2：グリーンアノールが音声を発するかどうかの検証

誘引・忌避音声の候補として、グリーンアノールが音声を発しないことを確認した。

4-3：複雑な音声の作成と慣れの検証

4-1で得られた音声を組み込んだ、より複雑な音声を作成し、その効果の確認と、慣れの検証を行った。

4-4：音量の効果の検証

4-1で確認された、原産地捕食者の鳴き声を用いて、効果の見られる音量を検証する室内行動実験を行った。

4-5：音声間隔の効果の検証

4-1で確認された、原産地捕食者の鳴き声を用いて、効果の見られる音声間隔を検証する室内行動実験を行った。

4-6：現地における忌避音声の効果の検証

小笠原現地において、特定した忌避音声の効果を検証した。

4-7：誘引・忌避効果のある色の特定

スピーカーや、設置装置の色を決める際の情報として、誘引・忌避効果のある色を検証する室内行動実験を行った。

4-8：餌生物による誘引効果の確認と、人工物への代替可能性検証

忌避効果の確認装置にグリーンアノールを誘引するため、餌生物による誘引が可能かどうかを検証した。また、野外での実施を念頭に、人工物への代替が可能かどうかを検証する室内行動実験を行った。

4-9：同種個体による誘引効果の検証と、人工物への代替可能性の検証

忌避効果の確認装置にグリーンアノールを誘引するため、同種個体を用いた野外操作実験を行った。人工物への代替可能性を検証するため、同時に人工物による誘引も試みた。

5．研究成果

5-1．成果の概要

5-1-1：誘引・忌避音声の特定

Y字管を用いて向かう方向を比較する実験、左右対称のアリーナにおいて定位時間を比較する実験、アリーナ内に設置したフェンスの選択実験、という複数の実験系を組み、それぞれで候補音を流してアノールの反応を観察した。Y字管では、セミの鳴き声、ハエの羽音、ツミの羽音、ビニール音、草刈り機音を試し、草刈り機音において忌避行動が見られた。定位時間を比較する実験では、20kHz単音、8kHz単音、アカオノスリ地鳴き、オガサワラノスリ地鳴き、イソヒヨドリさえずり、メグロ警戒声、メジロ警戒声を試し、アカオノスリ地鳴きおよびメジロ警戒声に忌避が認められた。フェンスの選択実験では、3.5kHz単音、アカオノスリ地鳴き、エンジン音、破裂音を試し、単音以外に忌避を認めた。忌避音声として、アカオノスリ地鳴きが効果的であると結論づけた。

5-1-2：グリーンアノールが音声を発するかどうかの検証

超音波域を録音できる機器を用い、繁殖、被食、闘争の各場面において録音を行った。繁殖においては、個別飼育した雌雄1個体ずつを同一のケージに入れて行動観察および録音を行った。被食においては、人間による圧迫と、ウズラによる捕食の様子を観察および録音した。闘争においては、オス2個体を同一のケージに入れて行動観察および録音を行った。実験装置のみの場合をコントロールとして、波形、スペクトログラム、離散フーリエ変換後のデータを比較した。その結果、どの場面においても、グリーンアノールの鳴き声は確認できなかった。誘引・忌避音声の候補として、グリーンアノール自身が出す音声は用いることができないことを確認した。

5-1-3：複雑な音声の作成と慣れの検証

アカオノスリ地鳴き、および草刈り機音を取り入れ、慣れを起こしにくい音声とするために、イヌの吠え声、ジェット機音、ライオンの吠え声、雷音と組み合わせた複雑な音声を作成した。作成した音声を用いて、定位場所を観察する実験を行ったところ、草刈り機単独よりも作成した音声において強い忌避を認めた。特に、スピーカー付近(～10cm)への到達は90%減少に成功しており、近距離への到達は防げることが分かった。同一の音声を4日間連続で30分ずつ聞かせたところ、4日間での慣れの効果は見られなかった。近距離への到達を防ぐ目的において、アカオノスリ音声による忌避が有効であることを示した。

5-1-4：音量の効果の検証

アカオノスリの地鳴きを用いて、効果の見られる音量を検証する室内行動実験を行った。内部に人工植物を貼り付けたフェンスを設置した、左右対称のアリーナを作成し、音声有と無のフェンスのどちらを選択するかを観察した。音量は60、70、80、90dBの4条件としたところ、90dBのみで忌避効果が有意に認められた。そのため、アカオノスリの地鳴きを用いて忌避行動を引き起こすには、90dBという比較的大音量が必要であることが明らかとなった。

5-1-5：音声間隔の効果の検証

5-4と同様の実験系において、音声間隔を15秒、30秒、1分、5分とする4条件で実験を行った。その結果、30秒間隔のみで有意な忌避が認められた。アカオノスリ音声を用いて忌避行動を引き起こすには、30秒以内に音声を流すことが有効と考えられた。

5-1-6：現地における忌避音声の効果検証

小笠原父島において、忌避音声を使ってグリーンアノールの行動抑制が可能か検証する実験を2種類行った。まず、グリーンアノールを囲った網ケージの出口に忌避音声を流し、グリーンアノールが脱出するかを検証した。次に、新規に設置された人工物にグリーンアノールが登攀する行動を、忌避音声によって抑制できるかを検証した。ケージの脱出については、全てのケージで脱出が起こり、音声の有無が脱出までの時間に影響するとは言えなかった。人工物への登攀行動については、統計的に有意な結果ではなかったものの、音声有の方が登攀個体数は少なかった。

5-1-7：誘引・忌避効果のある色の特定

スピーカーや、設置装置の色を決める際の情報として、誘引・忌避効果のある色を検証する室内行動実験を行った。6色（紫、青、緑、黄、茶、赤）の中から異なる2色の色紙を提示して選択させた。その結果、選択性の順番は、茶、緑、赤、黄、紫、青の順であり、青は他の5色よりも有意に選ばれなかった。このうち、最も選ばれた茶、選ばれなかった青、現行の粘着トラップの色である赤、の3色を用いて、オガサワラトカゲにおいても同様の実験を行ったところ、オガサワラトカゲの選択性の順番は、赤、茶、青の順であった。グリーンアノールは青を忌避すること、オガサワラトカゲと忌避する色が同一であること、特に好まれる色はなく、現行のトラップの色は選択性に関して矛盾しないことが明らかとなった。

5-1-8：餌生物による誘引効果の確認と、人工物への代替可能性検証

忌避効果の確認装置にグリーンアノールを誘引するため、餌生物による誘引が可能かどうかを検証した。また、野外での実施を念頭に、人工物への代替が可能かどうかを検証する室内行動実験を行った。誘引物として生き餌であるハエ（生き餌条件）、代替となる人工物としてハエに似たルアーを用い（人工物条件）、その誘引効果を検証する室内実験を行った。ルアーについては動きの付加の有無による影響も検証した（人工物＋動き条件）。誘引物を設置した筒をグリーンアノールに提示し、その後グリーンアノールの行動をビデオカメラで30分間撮影して、筒への侵入の有無を判定した。その結果、生きているハエには誘引効果が認められたが、代替物であるルアーは、単調な揺れを加えた場合についても誘引効果が認められなかった。ルアー自体に誘引効果がない可能性が考えられたが、同種のルアーを用いて野外で人の手で動かした場合は誘引される様子が観察されたため、用いた動きが不適であった可能性があった。適当な動きを加えることで、人工物による誘引ができると考えられた。

5-1-9：同種個体による誘引効果の検証と、人工物への代替可能性の検証

同種個体を誘引物とした場合の、野生個体に対する誘引効果を検証する野外実験を、小笠原諸島父島南部にある時雨ダム横の林道で行った。グリーンアノールは樹上性であり、地面にいる個体は積極的に木や人工物に登って定位するという性質があるため、人工的な止まり木を設置し、止まり木に設置した誘引物への接近を観察した。同種生体を誘引物とした生体条件（ $n=61$ ）と、代替物のフィギュアを誘引物とした人工物条件（ $n=83$ ）を設定し、誘引物を設置していない止まり木（コントロール）と、一定の範囲に侵入した個体数について比較した。その結果、生体条件、人工物条件ともにコントロールと有意な差は認められなかった。しかし、生体条件において、実験中に逸走した誘引物用個体がいたため、これを誘引物なし装置とし、誘引物がついていた装置

における侵入個体数を比較したところ、生体条件に対して人工物条件で侵入個体数が多くなる傾向が見られた。人工物は野生個体にとって、同種生体よりも誘引効果がある可能性が示された。

5-2. 環境政策等への貢献

本研究は、特定外来種グリーンアノールの聴覚に訴える新たな駆除方法の開発を目的とした。本研究により、忌避効果の期待できる音声（アカオノスリ地鳴き）を特定し、その実用のために必要な条件（90dB以上、30秒間隔まで）が明らかとなった。複雑な音声にすることで慣れにくく、効果の高いものとなることも示した。実地試行においては高い効果は認められなかったものの、局所的な忌避については利用が可能であることから、緊急に対策の必要な一部地域を保護する際に役立つ手法であると言える。

さらに、付随的に行った研究において、グリーンアノールが青色を忌避すること、生きた餌によって誘引が可能であること、同種個体のフィギュアに興味を示すことを示した。グリーンアノールの防除においては、誘引、忌避効果のある因子を特定することは有益であり、今後、青色を使った防除フェンスの効果促進や、生餌、フィギュアを用いた誘引トラップへの応用が期待される。

以上のような、誘引・忌避要因の特定は、特定外来生物であるグリーンアノールの駆除効率を向上させ、小笠原諸島の日本固有の生態系の保全や外来生物問題の解決に貢献するものである。

<行政等が既に活用した成果>

特になし

<行政等が活用することが見込まれる成果>

グリーンアノールを排除する保全地区を作成する際に、忌避効果のあるものとして本研究が明らかにしたアカオノスリ音声や、本研究において作成した複雑な音声を利用することができる。現在利用している防除フェンスにおいて、特に侵入が多い地点や、壊れやすい地点などに、防水スピーカーとポータブルソーラー電源と共に配置することで、防除効果を高めることができると考えられる。

青色を忌避する点については、防除フェンスやその周囲に用いる機材を面的に青くすることで、グリーンアノールがその上を通過しにくくなると期待され、防除効果の高いものとすることができる。

生き餌やフィギュアによって誘引される点については、粘着トラップや、今後開発されるトラップに、生き餌やフィギュアを組み合わせることで、捕獲効果の高いものとするすることができる。

5-3. 研究目標の達成状況

全体目標	目標の達成状況
本研究は、グリーンアノールが誘引される、もしくは忌避する音声を特定することで、本種の効果的な防除策の開発に貢献することを目的とする。具体的には、(1)①捕食者の音声（飛翔音、鳴き声）、②被食者（餌資源）の音声、③繁殖行動時の音声、④捕食される時の音声、⑤機械音、⑥その他、の6種類に着目し、これらについて高性能マイクを用いて収録する。次に、(2)収録した誘引・忌避音声候補へのグリーンアノールの反応を行動実験によって明らかにする。そして(3)誘引・忌避効果が特定された音声を用いて、反応が強くなる音声を作成する。行動実験に	目標を上回る成果をあげた。 目標どおりの成果： (1)においては①としてツミの羽音、アカオノスリ地鳴き等、②としてセミの鳴き声やハエの羽音、③として雌雄を同一ケージに入れた時の音声、④として人間による圧迫とウズラによる捕食時の音声、⑤として草刈り機音や破裂音、⑥としてビニール音等を収録した。(2)においては、複数の実験系を組むことで、グリーンアノールが忌避する音声として、草刈り機音、およびアカオノスリの地鳴きを特定した。 (3)においては、(2)で特定した音声の音量や再生

より誘引・忌避効果が認められた音声や色は、 (4) 実際に粘着トラップや防御フェンスに使用して、効果の検証を行う。	間隔、複雑性を操作した音声を作成し、効果の高い音声の特徴を示した。(4)においては、現地で実装実験を行った。 以上により、グリーンアノールが忌避する音声の特定と作成を行ったうえで効果的な再生方法を明らかにし、本種の防除策の一つとして忌避音声の開発を行った。 目標を上回る成果： 実装の際に必要な情報を得る過程において、青色を忌避すること、生き餌や同種個体のフィギュアに誘引されることを明らかにし、グリーンアノールの防除に貢献する情報を提供した。
--	---

6. 研究成果の発表状況

6-1. 査読付き論文

<件数>

2件

<主な査読付き論文>

- 1) Shiho T, Sakai O, Iwai N (2022) Exploration of aversive bioacoustics for the effective management of invasive green anoles (*Anolis carolinensis*). Journal for Nature Conservation 68:126215.
- 2) Hiroshima K, Iwai N (2022) Examination of color preferences of invasive Green anoles in the Ogasawara Islands. Wildlife Society Bulletin 46:e1261.

6-2. 知的財産権

特に記載すべき事項はない。

6-3. その他発表件数

査読付き論文に準ずる成果発表	2件
その他誌上発表（査読なし）	1件
口頭発表（学会等）	10件
「国民との科学・技術対話」の実施	0件
マスコミ等への公表・報道等	0件
本研究費の研究成果による受賞	0件
その他の成果発表	0件

7. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

8. 研究者略歴

研究代表者

岩井 紀子

東京大学農学部卒業、農学博士、現在、東京農工大学大学院農学研究院自然環境保全学部
門准教授

研究分担者

新村 毅

麻布大学獣医学部卒業、現在、東京農工大学グローバルイノベーション研究院教授（令和3
年度—4年度）

II. 成果の詳細

II-1 特定外来生物グリーンアノールの誘引・忌避に有効な音声の解明

東京農工大学

自然環境保全学部門 准教授

岩井 紀子

グローバルイノベーション研究院 教授

新村 毅 （令和3年度—4年度）

【要旨】

グリーンアノールは、小笠原諸島に侵入し、固有の生態系に甚大な影響を及ぼしている外来種である。グリーンアノールは聴覚がすぐれていることから、誘引・忌避効果のある音声を特定することで、粘着トラップや遮断フェンスの防除効果を高めることができる可能性がある。そこで、本研究では、多様な音声への反応を行動実験によって明らかにし、その効果が持続する音声の作成と効果の検証を行うことを目的とした。候補音声として、捕食者、被食者、繁殖行動時の音声、被食時の音声、機械音、ビニール音、小鳥の警戒声、等の音を聞かせ、誘引もしくは忌避の効果が認められるか検証した。その結果、草刈り機音、捕食者であるアカオノスリの地鳴き、同じ被食者ニッチにあるメジロの警戒声に忌避効果が認められた。忌避効果の高かったアカオノスリ音声について、音量と再生間隔についてそれぞれ4段階設定して効果を検証したところ、最大音量であった90 dBで、30秒間隔で再生することが望ましいことが明らかとなった。一方で、音声への慣れが懸念されたことから、複雑な音声にすることを試み、草刈り機音、アカオノスリ音声の他に複数の音源を混在させたアレンジ音を作成し、4日間連続暴露においても、スピーカー直近のエリアへの侵入を防ぐことに成功した。アカオノスリ音声を聞いた現地試行実験においては、網かごからの脱出抑制では明らかな抑制効果は認められなかったものの、止まり木への登攀抑制については登攀数の減少が見られた。音声の効果を高めるために付随的に試行した、色の選択実験においては、青色を忌避することが明らかになり、今後フェンスの色等に取り入れることが効果的であると考えられた。また、餌生物に誘引効果があること、同種生体に興味を示すことも示され、今後の防除事業に貢献する情報を提示することができた。

1. 研究開発目的

グリーンアノールは、小笠原諸島に侵入し、固有の生態系に甚大な影響を及ぼしている外来種である。粘着トラップを用いた捕獲や、遮断フェンスによる分布拡大防止を図っているが、粘着トラップの捕獲効率は限界があり、遮断フェンスについても遮断効果は十分ではない¹。粘着トラップや遮断フェンスの効果を高めるためには、それぞれに誘引効果、忌避効果のあるものを付加することが考えられる。アノールは鳴き声を発しないが、音声コミュニケーションを利用するトッケイヤモリと同等かそれ以上の聴覚を有する²。また、近縁種のブラウンアノールは音の方向に関する認識能力も高い³。そのため、音を用いた行動制御が有効である可能性がある。

本研究は、現在行われている特定外来生物グリーンアノールの駆除効率を向上させるため、これまで注目されてこなかった聴覚を用いた駆除の可能性の検証を目的とする。グリーンアノールが発達した聴覚を持っていることは既に示されているが、音声への反応（誘引・忌避）についてはまだ明らかにされていない。そのため、本研究では多様な音声への反応を行動実験によって明らかにし、その効果が持続する音声の作成と効果の検証を行う。誘引・忌避効果のある音声は、現在使用されているフェン

スやトラップに実装することを想定して作成する。実装の際に音声による誘引・忌避効果をさらに高めるため、トラップやフェンスの色彩および、誘引物の付加についても検討することにした。

2. 研究目標

本研究は、グリーンアノールが誘引される、もしくは忌避する音声を特定することで、本種の効果的な防除策の開発に貢献することを目的とする。具体的には、(1)①捕食者の音声（飛翔音、鳴き声）、②被食者（餌資源）の音声、③繁殖行動時の音声、④捕食される時の音声、⑤機械音、⑥その他、の6種類に着目し、これらについて高性能マイクを用いて収録する。次に、(2)収録した誘引・忌避音声候補へのグリーンアノールの反応を行動実験によって明らかにする。そして(3)誘引・忌避効果が特定された音声を用いて、反応が強くなる音声を作成する。行動実験により誘引・忌避効果が認められた音声や色は、(4)実際に粘着トラップや防御フェンスに使用して、効果の検証を行う。

3. 研究開発内容

3-1：誘引・忌避音声の特定

室内実験によってグリーンアノールに様々な音声を聞かせ、定位行動を観察することで、誘引・忌避音声を特定した。

3-1-1. グリーンアノールに対する誘引・忌避効果を検証するための候補音声の収録

誘引・忌避効果を検証するために候補とする音声は、①捕食者の音声（飛翔音、鳴き声）、②被食者（餌資源）の音声、③繁殖行動時の音声、④捕食される時の音声、⑤機械音、⑥その他、の6つとした。そして、それぞれの項目において、①ツミの飛翔音、②アブラゼミの鳴き声とハエの羽音、③雌雄1匹ずつを実験ケージ内に放置した際の音声、④実験実施者がグリーンアノールを圧迫した際の音声、⑤屋外で草刈り機を使用している時の音、⑥ビニールを規則正しいリズムでこする音、を収録した。そして実験用に音声の編集を行った。



図3.1.1. Y字管による実験風景



図3.1.2. Y字管の先の様子

3-1-2. Y字管を用いた行動実験

Y字管（図3.1.1）の両端にスピーカーを設置し（図3.1.2）、左右どちらか一方のスピーカーから誘引・忌避候補音声を再生し、Y字管手前の待機場所のグリーンアノールが左右どちらのトンネルへ進むか、もしくは進まないかを検証する行動実験を行った。実験はグリーンアノールが活発に活動する7月から10月の間に125回行った。使用した音声は、無音、ツミの羽音、ハエの羽音、セミの鳴き声（大）、セミの鳴き声（小）、草刈り機の音、ビニール袋をこする音の全7パターンとした。

3-1-3. バスキングライトを用いた行動実験

草刈り機の音声へのグリーンアノールの忌避反応を検証するための行動実験をグリーンアノールの行動が穏やかな12月から3月に47回行った。一方にバスキングライトを設置した長形体の実験ケージ中央にグリーンアノールを静置し、バスキングライト後方に設置したスピーカーから、草刈り機の音声を再生した（図3.1.3）。室温はグリーンアノールの活動



図3.1.3. バスキングライトによる実験風景

には低い温度であり、音がない場合はバスキングライトの元に向かうことを確かめた（実験①）。その後、音声が流れるとバスキングライトのある方向へ進まなくなるかどうかを検証した。その後、音量の異なる条件での効果を検証するため、60 dB（実験②）と70 dB（実験③）を継続的に再生した。さらに、忌避効果の持続性を検証するため、静置中の5分間のみ音声を再生し、その後は音声無とする実験④を行った。最後に、忌避効果への慣れを検証するため、実験④の後に3～15日の間隔をあけて実験③と同様の条件の実験⑤を行った。

3-1-4. 定位時間を比較する行動実験

グリーンアノールによる音声の好みを、冬季以外にも扱う必要性と、Y字管の実験よりも結果を確実に得るため、左右対称な実験アリーナの行動実験を行った。アリーナの片側からスピーカーで候補音声を流し、中央に置いた小型ケースに静置したグリーンアノールが、ケースから出て30分間にどちら側に定位するかを記録した。母島、父島で捕獲したメス21個体を用いた。

候補音声以外の音や人間の動きが影響することを防ぐため、実験は黒いカーテンで覆われた防音室内に実験アリーナを設置して行った。実験アリーナは塩ビパイプ（アロン化成 HIVP13）で 105 × 37 × 72 cm の骨組みを作って全体を1 mmメッシュの黒い網で囲った。アノールの位置を記録するため、床面には1 cmメッシュが表示してあるカッターマット（オルファ 160B）を敷いた（図3.1.4）。実験個体を静置するため、実験アリーナの内部中央に小型ケース（プラスチック製、40 × 120 × 40 mm）を設置した。実験アリーナの背部には左右にスピーカー（Pioneer RM-05）を1台ずつ設置した。実験アリーナの正面と上部にビデオカメラ（SONY HDR-CX900, Panasonic HC-VX985M）を設置し、実験個体の動きを録画した。

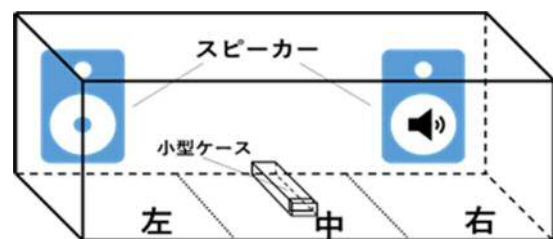


図3.1.4. 左右対称アリーナの模式図。

実験個体は小型ケースの中に入れて、15分間静置した。静置後、左右に配置したスピーカーの片方から候補音声を再生し防音室の外から小型ケースの出入り口を開いた。小型ケースの出入り口からアノールの両方の後肢が出た瞬間をケースから出たと定義し、小型ケースから出たアノールが、その後30分間に、実験アリーナを1/3ずつ区切った左、中、右のどこにいたか観察した。位置の判定は後肢がある方とし、後肢が跨って位置した時はそれまでいた方に滞在したと評価した。静置後1時間以内に実験個体が小型ケースから出てこない場合は実験を終了した。実験は2020年7月13日から同年11月28日までの間に行い、実験中の温度は21.8–29.6°C、湿度は29–98%であった。

候補音声は、可聴域外の無機音として20kHzの単音、可聴域内の無機音として8kHzの単音、小笠原諸島においてグリーンアノールと共通の捕食者を持つ小鳥の警戒声から、メグロのものとメジロのもの、小笠原の捕食者であるオガサワラノスリの地鳴き、イソヒヨドリのさえずり、原産地の捕食者であるアカオノスリの地鳴き、を選択し、全7種類とした。左右差がないことを確かめるため無音条件の実験も行った。20 kHzの単音、8 kHzの単音は防音室内で低周波発振器（NaRiKa CR-Y）を用いて発生

し、マイク (sanken CO-100K Serial No. 1670) および レコーダー (TASCAM DR-100MKIII) を用いてそれぞれ40 秒間と80 秒間録音し、ループ再生した。その他の音声についてはインターネット上に公開されている音源よりダウンロードした。メグロの警戒音：<https://youtu.be/VpoudXVjvWU>、メジロの警戒音：<http://www.birdlistening.com/home/birds/white-eye.html>、オガサワラノスリ：<https://youtu.be/j65sBlngmc>、イソヒヨドリ：https://youtu.be/zd_96W8MZNk、アカオノスリ：https://ebird.org/media/catalog?taxonCode=rethaw&sort=rating_rank_desc&mediaType=a®ionCode=))。

候補音声の編集にはフリーソフトのAudacity (The Audacity Team) を用いた。編集の内容は以下のとおりである。全ての音に対し、ステレオトラックを分離し左右それぞれからのみ音が出るファイルの一つずつ作った。防音室内で収録した音声については20 kHzの単音は、ハイパスフィルターを用い19999.0 kHz以下の雑音を、ローパスフィルターを用い20001.0 kHz以上の雑音をそれぞれ48dB減衰させ、なおかつゲイン調整で20 dB音量を上げ、40秒間のファイル作った。8 kHzの単音は、ハイパスフィルターを用い7999 Hz以下の雑音を、ローパスフィルターを用い8000.1 Hz以上の雑音をそれぞれ48 dB減衰させ、80 秒間のファイルを作った。インターネットからダウンロードしたものについては、メグロの警戒音は最初の26 秒間を削除し、34 秒間のファイルを作った。メジロの警戒音は編集せず20 秒間のファイルをそのまま使用した。オガサワラノスリはゲイン調整で20 dB音量を上げて75 秒間のファイルを作った。アカオノスリは初めの4 秒間を削除し残り56 秒間のファイルを作った。イソヒヨドリは開始後16 秒から21 秒間を削除し残り54 秒間のファイルを作った。

実験条件下の小型ケース出入り口付近で騒音計 (NL-52 Rion) を用いて計測した音量は以下の通りであった。20 kHz単音65.8～66.2 dB、8 kHz単音58.2～61.6 dB、メグロの警戒音50.4～84.3 dB、メジロの警戒音70.7～76.9 dB、イソヒヨドリ28.6～86.1 dB、オガサワラノスリ67.4～85.9 dB、アカオノスリ57.0～91.7 dB。

Raven Pro (Cornell University) を用いて解析した鳥類の鳴き声の優位周波数は以下の通りであった。メグロの警戒音5.6 kHz、メジロの警戒音3.5 kHz、イソヒヨドリ3.4 kHz、オガサワラノスリ3.4 kHz、アカオノスリ3.4 kHz。

候補音声を聞いた場合の警戒度合いを比較するため、小型ケースから出てくるまでの時間を無音および候補音声間で比較した。小型ケースから出てくるまでの時間について、候補音声の種類を固定効果、個体 ID をランダム効果として説明する一般化線形混合モデルを作成し、候補音声の種類効果を尤度比検定した。候補音声の種類効果が有意に認められた場合、Tukey の事後検定を行った。

各候補音声の忌避効果を確認するため、小型ケースを出た後に音源がある側と音源の反対側にいた時間を比較した。7種の候補音声のそれぞれについてウィルコクソンの符号順位検定を行い、その後Bonferroniの補正を行なった。

3-1-5. フェンスへの登攀抑制効果を検証する行動実験

フェンスへの実装を見据え、忌避音声によって登攀行動を抑制できるかを検証する実験を行った。実験アリーナにフェイクグリーンを巻き付けたフェンスを設置し、中心で静置したグリーンアノールがフェンスに登るかどうかを記録した (図3.1.5)。フェンスの真横から、超指向性スピーカーを用いて候補音声を約80dBで流した。コントロールとして音声を流さない無音実験も行った。フェンスに登らずに30分間が経過した場合は実験を終了した。実験は2021年5月から9月に行い、母島・父島で捕獲したオス20個体、メス10個体を使用した。

フェンスへの登攀の有無を目的変数とし、説明変数として実験開始時の頭の向き、雌雄、音声条件、各個体にとって何度目の実験であるか、を固定効果、グリーンアノールの個体IDをランダム効果とした一般化線形混合モデルを用いた解析を行った。



図3.1.5. フェンス登攀抑制実験の実験アリーナの写真。

3-2: グリーンアノールが音声を発するかどうかの検証

誘引・忌避音声の候補として、グリーンアノールが音声を発するかどうかを明らかにする実験を行った。候補場面として、繁殖、被食、闘争を設定した。繁殖においては、雌雄を各1個体ずつ同一の実験用ケージに入れて撮影、録音した。被食においては、人間による圧迫時および、ウズラから捕食を受けた時の行動を撮影、録音した。闘争においては、オス2個体を同一の実験用ケージに入れて撮影、録音した。録画映像から、繁殖行動や威嚇の際に見られる、ヘッドボビング、プッシュアップ、デュラップの開閉、口の開閉の4種の行動のいずれかを行っている時間帯を確認した。その時間帯に録音した音声から、2-5秒間隔の音声を抜きだした。各音声について、波長や振幅を示す波形、周波数分析の結果を示すスペクトログラム、それぞれの周波数が占める割合を示す離散フーリエ変換について、MATLABを用いて解析した。実験用セットのみの場合の録音も行い、これをコントロールとして、グリーンアノールありの場合と比較した。

3-3: 複雑な音声の作成と慣れの検証

忌避効果の見られた、草刈り機音およびアカオノスリ音声を組み込んだ、より複雑な音声を作成し、その効果の確認と、慣れの検証を行った。単一刺激よりも複数刺激の方が、刺激の強度が高いほうが、音響の複雑性が高いほうが、慣れにくいとされることから、イコライザー処理により、0.1、0.5、4、22kHzをそれぞれ強調した。次に、音圧処理によって×0.5、×2、×4を行った。規則性を低下させるために無音状態を無作為に挿入した。最後に、異質な音の利用を考慮し、イヌの吠え声、ジェット機音、ライオンの吠え声、雷音を混入させた。これを「アレンジ音」とし、忌避効果の認められていた「草刈り機音」および無音との効果の比較を行った。草刈り機音は周波数域10-22kHz、最大音量88dBで1種類のループ再生であるのに対し、アレンジ音は0.1-22kHz、100Bで規則性の低い音となった。

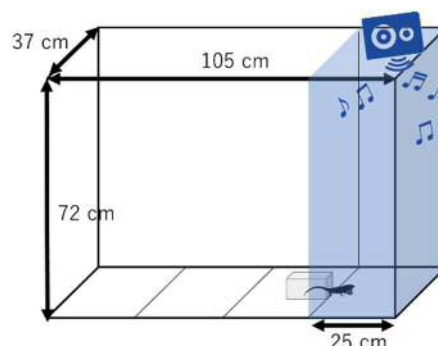


図3.3.1. 複雑な音声の効果検証に用いた実験アリーナの模式図。網掛け部分を「スピーカーエリア」とした。

慣れの程度を評価するため、音なしの状態をDay0とし、音ありの実験をDay1からDay4まで連続して行った。各試行では、実験アリーナ（図3.3.1）内にアノールを10分間静置し、その後出口を開いて出てきた時点で音を再生し、30分間録画を行った。音源は実験アリーナの上辺とし、スピーカーの下部を「スピーカーエリア」とした。スピーカーエリア内の滞在時間と、スピーカー付近の天井辺への到達の有無を記録した。

3-4: 音量の効果の検証

アカオノスリ音声による忌避効果を維持したまま、音量を下げられるかどうかを検証する、室内行動実験を行った。3-1-5の実験系を改良し、左右対称のアリーナにフェイクグリーンをつけたフェンスを設置し、片側から音を再生して、どちらの柵に登るかを記録した。実験アリーナは塩化ビニルパイプ(直径18 mm)で100 cm×100 cm×70 cmの骨組みを作り、全体を1mmメッシュの黒い網で覆って作成した（図3.4.1）。実験アリーナの下には1 cmメッシュ表示のあるカッターマット(オルファ160B)を敷いた。実験個体を静置するため、カップ(直径13.5cm, プラスチック製)の内面にPTFEシート(Nitto NITOFRLON、Films)を張り付け、ア



図3.4.1. 音量の効果の検証実験において使用した実験アリーナの写真。

ノールが登れないようにしたものを作成し、アノールにかぶせてアリーナ中央に設置した。カップの底から出したテグスを防音室のドアの隙間から外部に出し、防音室外部から上下に操作できるようにした。テグスのカップに近い部分におもり150 g (鉛製)をつけ、アノールがカップを動かさないようにした。

アノールは樹上性であり、垂直の壁などに定位する。そこで、実験アリーナ内の対角線上の二つの角には逃避や定位のための定位用パネルを設置した (図3.4.1)。70 cm×41 cmの金網に4 mmメッシュのネットをタイラップで結びつけ、アノールが定位しやすいようにその上から偽葉 (葉長6 cm、卵形)をつけた。定位用パネルの下部は7.5cmあけ、7.5cm間隔で定位用パネルの片面に45枚木工用ボンドで張り付けた。偽葉を付けた側をアリーナの中心に向けて配置した。定位用パネルの角側には三脚 (450G-7、SLIK)を立て、テグスでスピーカー (SRS-X1、Sony)を定位用パネルの下部に向けて結び付けた。スピーカーの高さは床面から45 cmとした。実験アリーナの直上115 cmの位置にビデオカメラ (HDR-CX900、Sony)を固定し、タブレット端末 (iPad mini 2、Apple)で遠隔操作して観察、記録を行った。

忌避音声は、3-1-4で使用したアカオノスリ音声とした。パーソナルコンピュータ (MB-B505H-S1、Mouse computer)上でアプリケーションGroove musicを用い、Bluetoothでつないだスピーカー (SRS-X1、Sony)から音声を再生した。音量はスピーカー、再生アプリケーションともに最大値に固定し、Windowsの設定にて変更した。Windowsの設定における音量を1、23、43、100とし、騒音計 (NL-52、Rion)での実測値 (測定1回、計測時間30秒間、タイプC重み特性)がアノールの配置される中心部 (音源からの距離60 cm)でピーク音量が、それぞれ63.4 dB、71.9 dB、81.4 dB、92.1 dBとなる4条件を、60 dB、70 dB、80 dB、90 dBとして扱った。

実験対象のグリーンアノールを防音室内で飼育ケージから出し、静置用カップに設置したのち、15分間静置した。15分経過後音声を再生開始し、直後にカップを遠隔操作でゆっくりと上昇させ、実験開始とした。実験開始後は最大30分間観察を行った。途中でグリーンアノールが定位用パネル、または実験アリーナ壁面に登った時点を終了とした。どちらの柵に登ったか (忌避の有無)、および、カップを上げてから登るまでの時間 (反応時間)を記録した。音声無の条件で20個体の反応を観察し、登攀する定位用パネルの左右差がないことを確認した (8:9, 二項検定、 $P=1$)。

実験は2022年8月30日～10月9日に行い、実験期間中の温度は24.5℃～28.6℃、湿度は49%～95%であった。実験に使用したグリーンアノールは、東京都小笠原諸島父島にて2022年5月7日から5月19日もしくは同年9月10日から9月19日に捕獲した。オス9個体 (SVL: 60.1～66.5 mm、平均63.0 mm、分散4.4; 体重: 4.7～5.7 g、平均5.2 g、分散0.12)、メス11個体 (SVL: 48.3～54.5 mm、平均50.4 mm、分散2.6; 体重: 1.9～3.7 g、平均2.7 g、分散0.19)を使用し、各個体について4条件にランダムな順番で供した。同一の個体については、1日以上の間隔をあけて実験に使用した。

3-5: 音声間隔の効果の検証

3-4と同様の実験装置を用い、音声間隔が忌避効果に与える影響を検証した。使用音声はアカオノスリの地鳴きとし、3-4で効果の見られた音量とした。3-4で使用した音声の最初の1コール (音源の3.2秒～4.6秒)を、15秒、30秒、60秒、300秒に一度流す音声として音声編集ソフトAudacity (The Audacity Team)にて作成し、ループ再生した。

実験は2022年11月23日～12月4日に行った。実験期間中の温度は25.1℃～33℃、湿度は50%～82%であった。湿度と温度は加湿器 (KS-F407, 山善)とオイルヒーター (HJ0812, デロンギジャパン)で調節した。実験中は防音室外にオイルヒーターと加湿器を出した。実験に使用したグリーンアノールは、東京都小笠原諸島父島にて2022年5月7日から5月19日もしくは同年9月10日から9月19日に捕獲した。オス28個体 (SVL: 52.0～70.7 mm、平均62.3 mm、分散17.0; 体重: 3.3～6.6 g、平均5.3 g、分散0.66)、メス24個体 (SVL: 45.6～62.9 mm、平均51.2 mm、分散10.5; 体重: 1.9～3.3 g、平均2.7 g、分散0.15)、幼齢個体18個体 (SVL: 38.2～56.9 mm、平均45.5 mm、分散19.9; 体重: 1.4～3.4 g、平均2.2 g、分散0.30)を使用し、各個体ランダムに1条件に供した。

3-6：現地における忌避音声の効果検証

小笠原父島において、忌避音声を使ってグリーンアノールの行動抑制が可能か検証する実験を2種類行った。グリーンアノール対策のためのフェンスを設置した場合に、グリーンアノールによるフェンスへの登攀を忌避させるために音声を使用する状況を想定し、3-6-1として、グリーンアノールを囲った網ケージの出口に忌避音声を流し、グリーンアノールが脱出するかを検証した。次に、3-6-2として、新規に設置された人工物にグリーンアノールが登攀する行動を、忌避音声によって抑制できるかを検証した。

3-6-1. ケージからの脱出抑制実験

野外に設置した網かごにグリーンアノールを入れ、1か所設定した出口で忌避音声を流すことで、脱出を抑制できるか検証した。90 cm×90 cmの網かご(1 mmメッシュ)を作成し、天井部端に幅10 cmの出口を設けた(図3.6.1)。父島の森林総合研究所小笠原試験地(コーヒー山試験地)にこれを10基設置した。出口中央に防水スピーカー(A1, MIFA)を設置し、アカオノスリの地鳴き音声を最大約80 dBで再生した。実験当日の午前8時～9時にグリーンアノールを1個体ずつ内部に入れ、音声の再生を開始した。以後、2時間おきに網かご内のグリーンアノールの在不在を確認した。17時から18時頃の日没前に回収、終了とし、これを異なる個体を用いて2回(2022年5月13日および5月16日)行った。使用した個体はオス7個体、メス13個体であった。



図3.6.1. 忌避音声による脱出抑制試験に使用した網かごの写真。

3-6-2. 人工物への登攀抑制実験

グリーンアノールは樹上性であり(戸田他, 2009)、地面にいる個体は積極的に木や人工物に登って定位するという性質があるため、人工的な止まり木を設置し、上部から音声を流した場合に登攀個体数が減少するか検証した。

塩ビパイプ(直径10 mm)に保護材(灰色、厚さ10 mm、表面素材 ポリエチレン、内部素材 発泡ポリエチレン、配管保温保冷材、イノアック住環境)を巻いたもの(以下止まり木)を4本束ねた、図3.6.2のような装置を作成した。4本のうちの1本に、グリーンアノールを誘引するための誘引物(グリーンアノール生体1個体もしくはフィギュア1個)を付加した(3-9参照)。装置は小笠原諸島父島南部の時雨ダム横の林道に設置した(図3.6.3)。林道は南向き斜面に位置し、東西に走っており、砂利道で、路肩に草本類が繁茂していた。実験地周辺の植生はコブガシムニンヒメツバキ群落であった。林道に沿って斜面側の路肩に3 m間隔で36基設置した。一つ置きに装置の上部にスピーカー(A1, MIFA)を設置し、アカオノスリの地鳴き音声を再生した。実験日によってスピーカーを設置する装置をランダムに変えた。装置から1 m程度離れた場所にインターバルカメラ(PENTAXデジタルカメラOptio WG-1、HOYA: 12台、Ltl-Acorn 6210、麻里布商事: 16台、自動撮影カメラTREL 10J、GISupply: 8台、のいずれか)を設置し、1分(PENTAXデジタルカメラOptio WG-1、Ltl-Acorn 6210)または5分(自動撮影カメラTREL



図3.6.2. 忌避音声による登攀抑制実験に使用した止まり木の写真。



図3.6.3. 同種個体による誘引実験を行った林道の写真。

10J) おきに撮影した。カメラの向きは林道に沿って東向きと西向きにランダムに設定し、実験を行った4日間とも同じ向きとした。

実験は2022年9月13日の12時から18時、15日から17日の10時から17時に実施した。実験装置1基目と最後で開始時間に、13日は24分、15日に22分、16日に13分、17日に25分の差が生じたため、それぞれの実験時間をデータ解析に入れた。実験期間中の温度は28.6～29.7℃、湿度は82～90%、風速は4.1～8.8 m、天気は13日：雨時々曇後晴、15日：曇時々雨、16日：曇時々晴一時雨、17日：晴であった（気象庁、

https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php?prec_no=44&block_no=47971&year=2022&month=9&day=&view=）。

実験装置を写した1分または5分おきのカメラデータを収集した。グリーンアノールの活動時間帯を考慮し、16時までのデータを使用した。収集したカメラデータは、実験者によるすべての写真を1回と実験に関わっていない者3名による1回の2回ずつ重複して確認し、グリーンアノールの写りの有無を確認した。その後、グリーンアノールの確認された写真を再確認し、カメラに近い2本の止まり木において、誘引物を設置している地点から上下10 cm、計20 cm以内の範囲と、誘引物のないコントロールの止まり木の同様の範囲（以下、2つの範囲を20 cm範囲と呼ぶ）に入った野生個体の個体数をカウントした。20 cm範囲に入った基準は、グリーンアノールの頭から総排泄口のどこかが20 cm範囲に入った場合とした。同一個体の連続撮影による重複カウントを回避するため、1個体が写ってから5分以内に写った個体は同一個体とした。試行数に対する確認個体数について、音声の有無で比較するFisherの正確確率検定を行った。

3-7：誘引・忌避効果のある色の特定

スピーカーや、設置装置の色を決める際の情報として、誘引・忌避効果のある色を検証する室内行動実験を行った。グリーンアノールのメス14個体に対し、6色（紫、青、緑、黄、茶、赤）の中から異なる2色の色紙を提示して選択させる実験（色実験）を行った（図3.7.1）。黒いコンテナ内に静置用の小型ケースを配置し、その出口に異なる色の色紙を並べて貼った。コンテナは防音室の中に1度に4つ設置し、防音室上部にビデオカメラを設置して撮影した。映像から、静置後50分以内に小型ケースから出てきたアノールが最初に四肢をつけた色を選択した色とした。色紙の提示の順番および左右の配置はランダムに設定した。さらに、コントロール実験として色紙を使わない実験を行った。

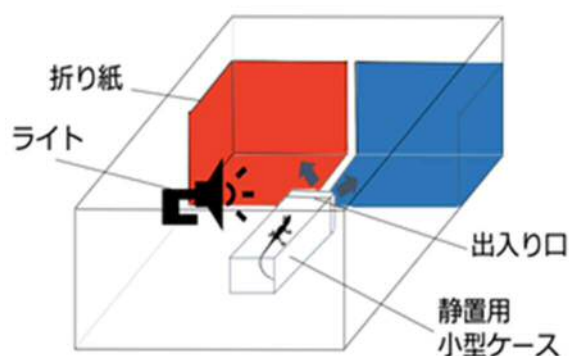


図3.7.1. 色選択実験に用いた装置の模式図。

さらに、コントロール実験として色紙を使わない実験を行った。

続いて、オガサワラトカゲ14個体に対して、グリーンアノールの色実験において最も選択性の高かった色、選択性の低かった色、現在の粘着トラップの色である赤の3色の中から異なる2色をコンテナ内に提示して選択させる実験を行なった。実験方法はグリーンアノールと同様とした。

2種のトカゲそれぞれについて、まず左右の選択回数を比較するため、色実験、コントロール実験のそれぞれについて、左右の選択回数を二項検定によって比較した。また、色による出やすさを評価するため、ある色を提示した試行において、小型ケースから実験個体が出た回数と出なかった回数を算出し、カイ二乗検定を行なった。さらに、Bradly-Terry modelを用いて、色の選択性の順位づけを行なった。

選択行動を開始するまでの時間、選択行動にかかる時間、選択後の色紙への滞在時間の3点を色間で比較するため、それぞれの時間を目的変数、色を説明変数、個体IDをランダム効果とした一般化線形混合モデルを作成し、尤度比検定を行なった。

3-8：餌生物による誘引効果の確認と、人工物への代替可能性検証

忌避効果の確認装置にグリーンアノールを誘引するため、餌生物による誘引が可能かどうかを検証した。また、野外での実施を念頭に、人工物への代替が可能かどうかを検証する室内行動実験を行った。誘引物として生き餌であるハエ、代替となる人工物としてハエに似たルアーを用い、その誘引効果を検証する室内実験を行った。ルアーについては、Mitani et al. (2015) が、獲物の動きを模した人工的な餌によってグリーンアノールを誘引することができる可能性があると述べていることから、動きの付加の有無による影響も検証した。生きたハエを誘引物とした条件を生き餌条件、ルアーに動きを加えない条件を人工物条件、ルアーに動きを加えた条件を人工物+動き条件とした。誘引物を設置した筒をグリーンアノールに提示し、筒への侵入の有無を誘引物なし（コントロール条件）と比較した。

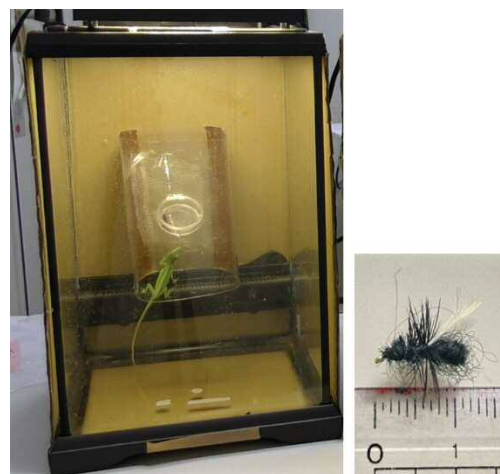


図3.8.1. 餌生物による誘引実験の実験装置（左）と、人工物として使用したルアー（右）の写真。

実験はガラス製のケージ（外寸215×215×330 mm、グラステラリウムナノPT2601、GEX）内で行った（図3.8.1）。3つのケージを並べ、3個体同時に実験を行った。ケージの上部からはライト（レプタイルUVB100、GEX）を当て、正面に1台のビデオカメラ（HC-VX985M、Panasonic）を設置して実験個体の動きを録画した。人の動きや実験室の物が影響することを防ぐために、撮影用のビデオカメラからケージ内を写す面と、ケージ内に光を入れる上部を除き、ケージを外から段ボールで覆った。

四角柱形の筒状の透明容器（上下入口90×90 mm、長さ140 mm、アルミ蓋PET容器1L、DAISOを筒状に加工）を縦向きに、セロハンテープを用いてケージの壁に、下から約14 cmの高さを中心として1つ設置した。誘引物はその筒の中に取り付け、提示した。グリーンアノールが筒内の誘引物を発見し、接近を試みた際、透明の壁に阻まれることが無いよう、筒の側面外側に茶色の色紙を茶色が内面になるように壁面から筒の幅の約3分の1まで張り付け、筒の横からは誘引物が見えない状態にした。事前実験段階において、滑って壁面を登れない個体が見られたため、筒内部の壁接地面側に0.8 mmメッシュの白色シートをセロハンテープで貼り付けた。

誘引物は筒の高さの中央に設置した。生き餌条件は、東京農工大学府中キャンパス内で捕獲した生きたハエ（体長10-15 mm、クロバエ亜科・ニクバエ亜科・キンバエ亜科のいずれか）を蓋つきのシャーレ（直径35 mm、厚さ10 mm）に入れて提示した。シャーレは、筒内部の壁接地面側にセロハンテープを用いて設置した。人工物条件は、ルアー（ブラック フライニング アント #14、Creek Edge、図3.7.1）を白色の糸（綿手ぬい糸細・白 #30、DAISO、以下すべてこの糸を使用）で吊るし、その糸をセロハンテープで筒の上部に固定した。人工物+動き条件は、ソーラーが搭載され、電磁気によって揺れを生み出す装置を用いて、約4 mmの範囲を1分間に135回上下する単調な揺れをルアーに加えた。揺れを生み出す装置はケージの外側上部に設置し、装置から糸で吊るしたルアーのみをケージの中に入れた。

実験は2022年6月4日から同年6月25日までの期間に、グリーンアノールの行動時間帯である10時から18時の間に行った。実験中の実験室内温度は25-29℃、湿度は45-85%であった。実験には2022年5月に小笠原諸島父島で捕獲したグリーンアノール、オス7個体、メス11個体をそれぞれ全ての条件に使用した。実験個体の頭胴長はオスが63.7-70.5 mm（平均：66.8、SD：2.1）、メスが45.8-57.8 mm（平均：52.5、SD：2.8）、体重はオスが2.66-5.81 g（平均：4.63、SD：0.65）、メスが1.83-3.13 g（平均：2.50、SD：0.30）であった。実験個体は事前に2日間以上の絶食期間を設けた。実験個体ごとの実験条件の順番は、ランダムに設定した。

実験手順は、まずグリーンアノールをケージの中に1個体入れ、10分間自由に動ける状態で馴化させ、10分経過したのち、筒を取り付けた。その後30分間、グリーンアノールの筒への侵入の有無を録画した。筒への侵入の基準は両前足が筒の中に入った時とした。録画した映像の確認を行う際、筒への侵入の有無に加えて、筒に侵入した個体による誘引物への攻撃行動の有無を観察した。人工物を用いた2

条件については誘引物方向へ視線を向ける行動の有無も観察した。視線を向ける行動の判断基準は、定位状態において誘引物方向に頭を向ける行動が見られた時とした。

筒への侵入の有無について、誘引物条件それぞれをコントロール条件と比較するフィッシャーの正確確率検定を行い、P値はBonferroniの方法によって補正を行った。誘引物に視線を向ける行動の有無については人工物条件と人工物+動き条件を比較するフィッシャーの正確確率検定を行った。有意水準は5%とした。

3-9：同種個体による誘引効果の検証と、人工物への代替可能性の検証

忌避効果の確認装置にグリーンアノールを誘引するため、同種個体を用いた野外操作実験を行った。人工物への代替可能性を検証するため、同時に人工物による誘引も試みた。3-6-2で設置した止まり木に誘引物をつけ、その誘引物への接近を観察した。同種生体を誘引物とした生体条件と、代替物のフィギュアを誘引物とした人工物条件を設定し、誘引物なしのコントロールと比較した。

塩ビパイプ（直径10 mm）に保護材（灰色、厚さ10 mm、表面素材 ポリエチレン、内部素材 発泡ポリエチレン、配管保温保冷材、イノアック住環境）を巻いたもの（以下止まり木）を4本束ねた、図3.9.1の

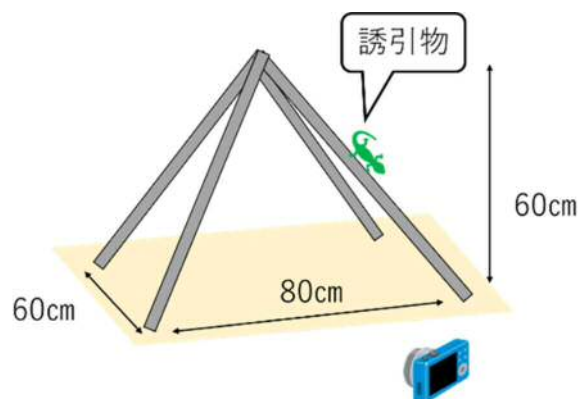


図3.9.1. 同種個体による誘引実験の実験装置の模式図。

ような装置を作成した。実験は3-6-2と同時に行った。各装置の1本の止まり木の中央（地面から高さ約30 cmの地点）に、誘引物を設置した。この止まり木の隣の、誘引物を設置しなかった止まり木1本を、コントロールとした。誘引物を取り付ける止まり木とコントロールとする止まり木は、実験日ごとに交互に入れ替えた。この2本が映るように、装置から1 m程度離れた場所にインターバルカメラ（PENTAXデジタルカメラOptio WG-1、HOYA：12台、Ltl-Acorn 6210、麻里布商事：16台、自動撮影カメラTREL 10J、GISupply：8台、のいずれか）を設置し、1分（PENTAXデジタルカメラOptio WG-1、Ltl-Acorn 6210）または5分（自動撮影カメラTREL 10J）おきに撮影した。カメラの向きは林道に沿って東向きと西向きにランダムに設定し、実験を行った4日間とも同じ向きとした。

生体条件の誘引物は、野外で捕獲した同種生体とした。生体条件は、セロハンテープを用いて長さ約5cmの糸を生体に取り付け、その糸を止まり木にガムテープまたは白色の養生テープを用いて固定した。取り付けた生体は糸の長さの範囲内で自由に動くことができた。使用した生体は2022年9月11日から16日に小笠原諸島父島の実験地外で捕獲したオス19個体、メス4個体、オス幼体9個体、メス幼体4個体の計36個体で、頭胴長はオスが59.0-70.1 mm（平均：67.4、SD：2.6）、メスが53.8-57.8 mm（平均：56.0、SD：1.4）、オス幼体が47.4-57.3 mm（平均：51.7、SD：3.3）、メス幼体が36.4-50.5 mm（平均：43.3、SD：5.8）、体重はオスが3.70-6.20 g（平均：5.22、SD：0.75）、メスが2.69-3.83 g（平均：3.21、SD：0.44）、オス幼体が1.24-3.46 g（平均：2.25、SD：0.62）、メス幼体が1.01-2.34 g（平均：1.59、SD：0.56）であり、健康状態を見てそれぞれの個体を複数回（1-3回）使用した。なお、実験途中に脱走した生体の情報は頭胴長及び体重の数値に入っていない。人工物条件の誘引物は、プラスチック製のグリーンアノールのフィギュア（図3.9.2、全長55 mm、横幅45 mm、チョコエッグ 日本の動物コレクション 第5弾 142、グリーンアノール、フルタ・海洋堂）を用いた。フィギュアの頭を下にして、セロハンテープで止まり木に直接取り付けた。

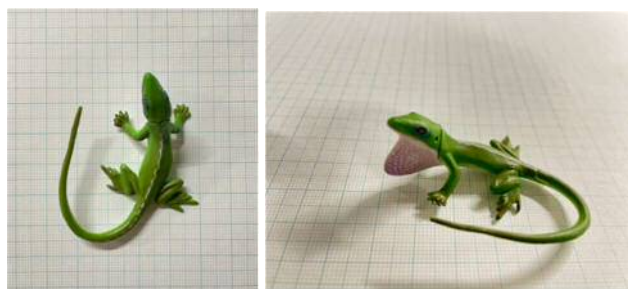


図3.9.2. 同種個体による誘引実験に使用したフィギュアの写真。

データは3-6-2と同様に得た。ゼロ過剰モデルを用いて、誘引物の設置の有無の影響を尤度比検定によって評価した。カウントされた個体数を目的変数とし、誘引物の有無、スピーカーの有無、実験時間の長さ、誘引物の設置箇所、誘引物の雌雄（人工物条件では除く）の5項目を説明変数、装置の場所、日付の2項目をランダム効果とした。有意水準は5%とした。カメラから遠い2本の止まり木については、視認性が低かったため、対象としなかった。

生体条件において、実験途中に誘引物として取り付けていた生体が逸走してしまい、誘引物が取り付けられていない状態が6試行発生した。この状態を逸走条件とし、生体条件と人工物条件、逸走条件の3条件について、誘引物の有無問わず20 cm範囲に侵入した個体数を比較した。カウントされた個体数を目的変数、条件とスピーカーの有無の2項目を説明変数、装置の場所と日付の2項目をランダム効果、実験時間の長さをオフセット項としたGLMMを構築し、そのモデルを用いTukey法によって多重比較を行った。有意水準は5%とした。

4. 結果及び考察

特定外来生物グリーンアノールの誘引・忌避 に有効な音声の解明

4-1：誘引・忌避音声の特定

4-1-1. グリーンアノールに対する誘引・忌避効果を検証するための候補音声の収録

超音波域を含めて録音可能な音声機器を使用し、ツミの羽音、ハエの羽音、セミの鳴き声、草刈り機音を収録した。収録は防音室内で行った。

4-1-2. Y字管を用いた行動実験

収録した音声の誘引・忌避効果の検証をするために行ったY字管を用いた実験では、無音、ツミの羽音、ハエの羽音、セミの鳴き声（大）、セミの鳴き声（小）、草刈り機の音、ビニール袋をこする音を使用した。それらの音声に対するグリーンアノールの行動を検証した結果、草刈り機の音声による忌避効果（二項検定 $p < 0.05$ ）が認められた（表4.1.1）。草刈り機音を用いて、グリーンアノールの忌避行動を誘発することが可能ではないかと考えられた。

表 4.1.1 グリーンアノールの誘引・忌避候補音声への反応

音声 \ ID	1	2	3	4	5	6	19	20	21	22	23	25	12
無音	L	R	L	L	R	L	R	L	R	R	L	L	L
ツミ羽音	×	×		×	×	負	正	×	正	負	×	×	
ハエ羽音	負	正	負	負	負	正	負	正	正	正	負	正	
セミ鳴き声 (大)	×	正	×	×	負	負	負	×	×	負	負	×	
セミ鳴き声 (小)	正	正	正	負	負	正	負	正	負	正	負	正	正
ビニール	負	負	負	正	負	負	負	×	正	正		×	正
草刈り機	負	負	負	正	負	正	負	負	負	負	負	負	

正：音声を再生したスピーカーのあるトンネルへ入った

負：音声を再生したスピーカーのないトンネルへ入った

×：どちらのトンネルにも入らなかった

4-1-3. バスキングライトを用いた行動実験

まず、ライトのみの場合に誘引されることを確認するため、実験①として音声なし条件で行動を観察した結果、15個体中11個体がバスキングライトの方向へ進みライトの下でじっとした（表4.1.2）。ライトの方向へ進まなかった個体は、ライトの方向と異なる方向へ進んだか静置場所に留まった。ライトの下へ行った個体のみを対象として、静置後にライト後方に設置したスピーカーから草刈り機の音声を60dBで継続して流す実験②を行った。結果は4個体中3個体がライトの方向へ進みライトの下でじっとした。そこで、音量を上げ70dBで同じ実験③を行ったところ、ライトの方向へ進んだのは7個体中1個体のみであった。さらに、草刈り機の音声の忌避効果が音声終了後も継続するかどうかを検証するため、それまでの実験でライトの方向へ進まなかった個体を対象に、静置中（5分間）のみ草刈り機の音声を流し、音声終了後にライト方向へ行くかどうかという実験④を行った。その結果、7個体中6個体がライトの方向へ進んだ。全ての個体が音声終了後10分以内にライトの方向へ進み始めたことより、草刈り機の音声の忌避効果は、音声終了後は短時間しか持続しないことが分かった。

音声終了後の忌避効果の持続時間を検証する実験後に、ライトの下へ行った個体を対象に草刈り機の音声を継続して流す実験⑤を行った。これは、音声の忌避効果が時間の経過により再度確認されるどうかを検証するためである。忌避効果の持続時間の検証実験④の後、3日～15日間あけて行ったが、5匹中4匹がライトの方向へ進み、音声に慣れた可能性が考えられた（表4.1.2）。

表 4.1.2 グリーンアノールに対する草刈り機の音声の忌避効果の検証結果

	ライトの方向へ行かなかった		ライトの方向へ行った
	ライトと異なる方向へ行った	じっとしていた	ライトの下へ行きじっとした
実験① ライトのみ	4	1	10
実験② ライト+音声(60dB)を継続	1	0	3
実験③ ライト+音声(70dB)を継続	4	2	1
実験④ ライト+音声(70dB)を静置中のみ	0	1	6
実験⑤ ライト+音声(70dB)を継続 2回目	0	1	4

4-1-4. 定位時間を比較する行動実験

小型ケースから出てくるまでの時間は、再生する音声によって有意に異なり（図4.1.1、 $p < 0.001$ ）、事後検定の結果、無音条件と20 kHz、8 kHzに対し5種の鳥類の音声では有意に長かった。

音源側と音源の反対側に定位した時間を比較した結果、アカオノスリの鳴き声もしくはメジロの警戒声を再生した場合、音源の反対側に定位した時間は音源がある側に定位した時間に比べて有意に長かった（図4.1.2、*B. jamaicensis*: $P = 0.002$; *Z. japonicas*: $P = 0.013$ ）。

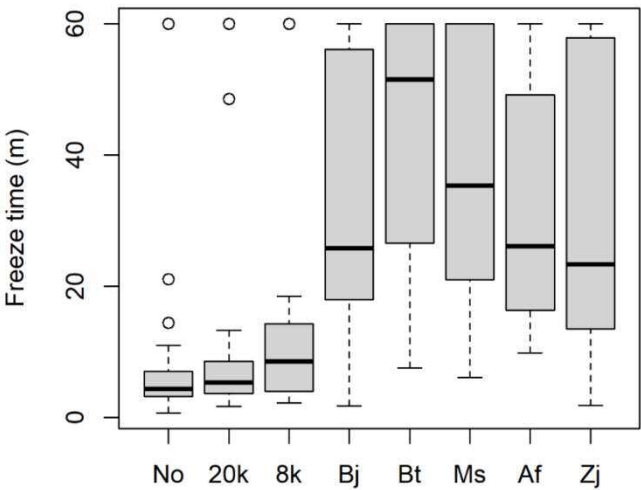


図4.1.1. 無音条件および候補音声ごとの小型ケースから出てくるまでの時間。

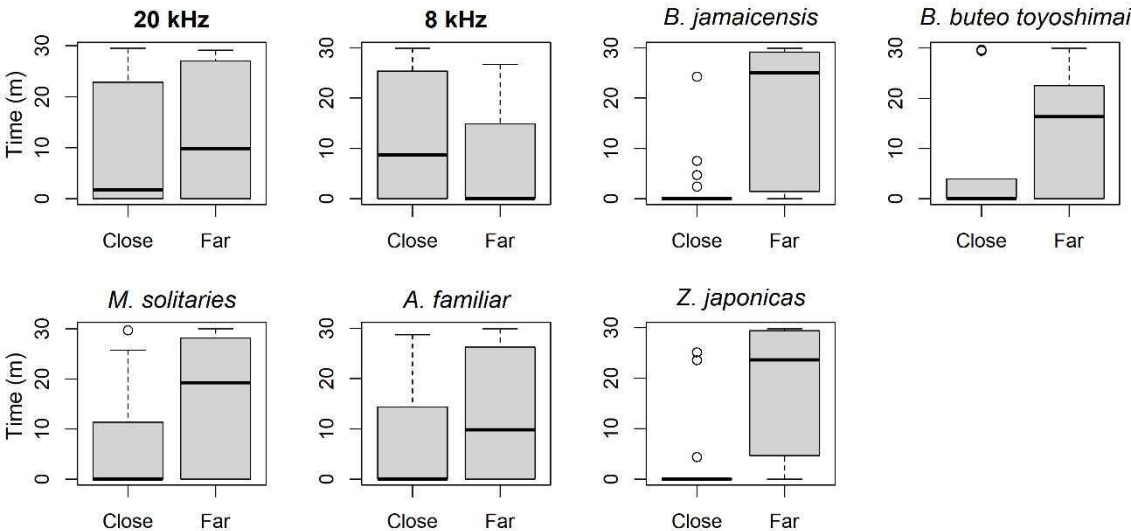


図4.1.2. 候補音声を再生したときのアリーナ内の位置選択時間. 左 (Close) は音源がある側, 右 (Far) は音源の反対側に定位した時間.

アノールにおいて静止行動は警戒を示すことから⁴、小型ケースから出て来るまでの時間は、警戒の強さを反映する。そのため、無音や無機音と比べて鳥類の鳴き声を再生した場合、アノールは警戒を高めたと考えられる。音源の反対側に定位する時間が長いことは、その音源から逃避していることから、アカオノスリの鳴き声やメジロの警戒声は逃避行動につながったと考えられる。

逃避行動は静止行動よりも強い捕食リスクによって起こるため⁵、鳥類の音声、特に原産地の捕食者であるアカオノスリの鳴き声や、捕食者に対する警戒声が最もアノールの忌避に効果があると考えられた。本実験で用いたアカオノスリの鳴き声やメジロの警戒声を現地で再生することで、遮断フェンスの効果を高め地域的防除に役立てられる可能性が示された。

4-1-5. フェンスへの登攀抑制効果を検証する行動実験

無音条件では9割の個体が30分以内にフェンスに登った。一方、忌避候補音声を流すとフェンスから離れて実験アリーナの床の隅や壁に登って、実験終了時までじっとする個体が増えた。フェンスに登った個体の多くは実験開始時に頭がフェンス側を向いている個体であった(表4.1.3)。

表 4.1.3. 各音声条件でフェンスに登らなかった・登ったグリーンアノールの個体数。カッコ内の数字はそれぞれの個体数のうち、実験開始時に頭がフェンス側だった個体数が占める割合。

	登らなかった	登った
無音	3(89%)	27(89%)
3,500Hz	8(63%)	22(91%)
アカオノスリ	16(69%)	14(86%)
エンジン音	10(80%)	20(90%)
破裂音	10(60%)	20(90%)

一般化線形混合モデルでの解析の結果、「実験開始時の頭の向き」、「音声条件」が「フェンスに登るかどう」に有意に影響していた。ダネットの多重比較の結果、無音に対して3,500Hzの単音以外の忌避候補音声が、グリーンアノールのフェンス登はん行動を有意に抑制していた(表4.1.4)。

表 4.1.4. ダネットの多重比較によって無音に対する忌避効果音声のフェンス登はん抑制効果を検定した結果。

	Estimate	Std. Error	Pr(> z)
3,500Hz	2.06	1.07	0.128
アカオノスリ	3.76	1.17	0.004
エンジン音	2.74	1.10	0.033
破裂音	2.60	1.08	0.043

以上より、グリーンアノールは音声を流さない場合に比べて、アカオノスリの鳴き声、エンジン音、破裂音が流れている場合に有意にフェンスに登らないことが示された。特にアカオノスリの音声は効果が高いと考えられた。野外のフェンスでこれらの忌避音声を流すことによって、フェンスへの登はんを抑制しフェンス内への侵入を防げる可能性が示された。また、忌避音声を流すことでグリーンアノールが避難場所へ移動する行動がみられたため、スピーカーと隠れ場所の組み合わせによりグリーンアノールを特定のエリアに近づけない防除方法も考えられる。

4-2：グリーンアノールが音声を発するかどうかの検証

音声解析を行った結果、繁殖、人による圧迫（図4.2.1）、ウズラによる捕食（図4.2.2）、闘争の全ての録音音声において、グリーンアノールの鳴き声は確認できなかった。グリーンアノールの誘引・忌避においては、グリーンアノールの鳴き声ではなく、その他の音声（鳥の鳴き声、機械音など）を利用することがよいと考えられた。

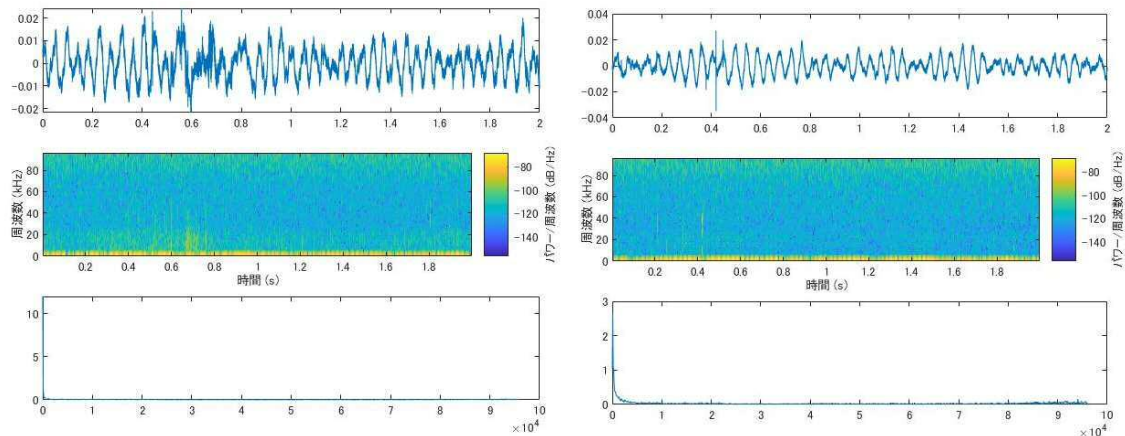


図4.2.1. 実験機材のみ（左）と、人による圧迫を行ったグリーンアノールありの場合（右）の波形、スペクトログラム、および離散フーリエ変換の結果。

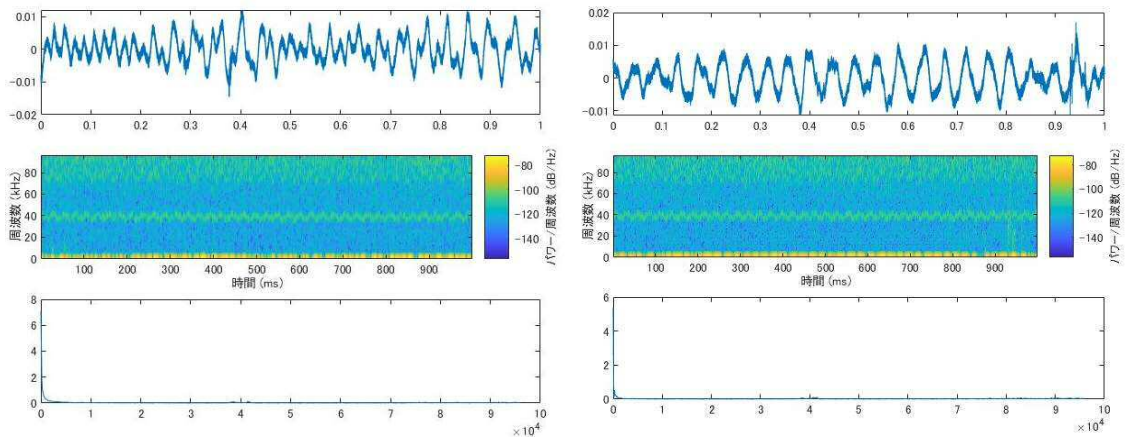


図4.2.2. 実験機材のみ（左）と、ウズラによる捕食を行ったグリーンアノールありの場合（右）の波形、スペクトログラム、および離散フーリエ変換の結果。

4-3：複雑な音声の作成と慣れの検証

スピーカー直下の範囲に定位する時間は無音に比べてアレンジ音で有意に短くなった（図4.3.1）。また、アリーナの上辺に到達する個体の割合は無音で49%に対し、シンプルな音源で16%、複雑な音源では4%と有意に減少した（図4.3.2）。音源への暴露を4日間連続して行ったが、この間に直近範囲における定位時間に有意な変化は認められず、慣れによる忌避効果の減少はないと考えられた（図4.3.3）。

草刈り機音単独では忌避効果は限定的であったが、人工的な音声、特に複雑な音声を流すことで、グリーンアノールによる忌避を引き起こせること、慣れは起こりにくいことが明らかとなった。保全区域に音声を流すことで本種の侵入を防ぐなど、防除への応用が期待された。特に近距離での忌避効果が認められることから、設置の際は近距離での局所忌避に有効と考えられる。

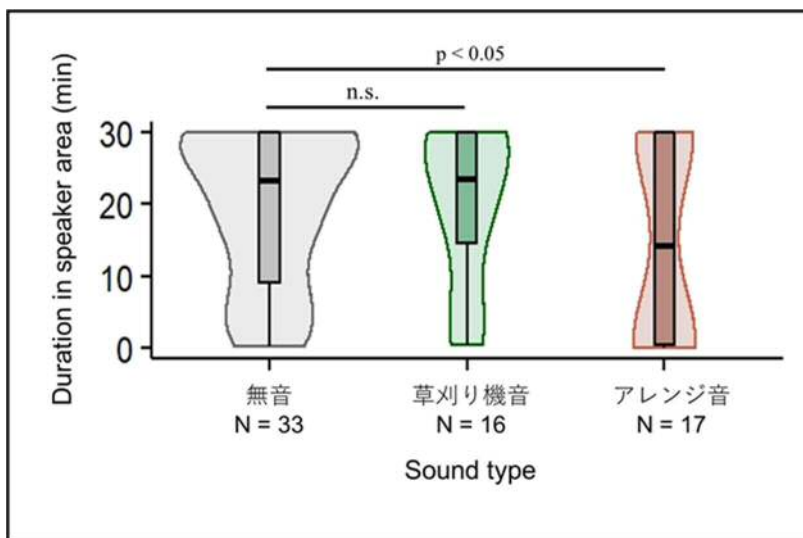


図4.3.1. スピーカー直下における定位時間。アレンジ音では無音に比べ有意に定位時間が短くなった。

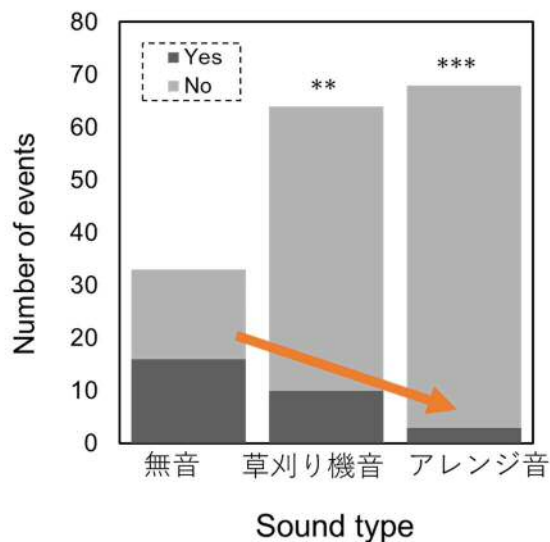


図4.3.2. アリーナの上辺に到達した個体数の割合。草刈り機音、アレンジ音では無音の場合に比べ、有意に到達率が低くなった。

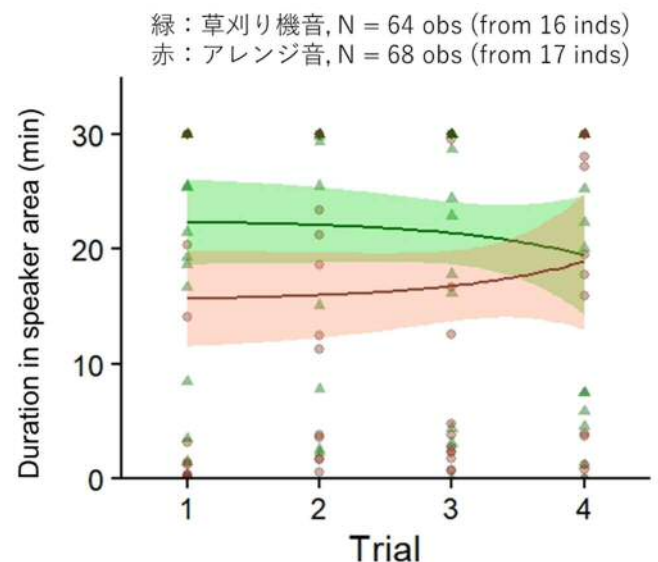


図4.3.3. 草刈り機音、およびアレンジ音を4日間連続で暴露した場合のスピーカー直下範囲への定位時間の推移。

4-4：音量の効果の検証

計78回の実験を行った。全ての音量条件において、忌避した個体は忌避しなかった個体よりも多かった（表4.4.1）。二項検定の結果、60 dB、70 dB、80 dBの条件では有意な忌避は認められなかったが、

90 dBでは認められた。

表4.4.1. 音量の効果を検証した実験の結果.

音量	忌避した	忌避しなかった	p-value
60 dB	10	9	1
70 dB	11	6	0.33
80 dB	10	6	0.45
90 dB	12	2	*0.01

90 dBで忌避効果が認められた。これは先行研究を支持する結果であり、大音量のアカオノスリ音声にグリーンアノールが忌避反応を示すことが確認された。しかし、80 dB以下の音量では忌避効果は認められず、音量を下げるとう効果がなくなることが示された。逃避行動は強い捕食リスクによって引き起こされる⁵。音は一般に音源に近づくほど音量が大きくなるため、大音量であることがアカオノスリの接近を想起させ、強い捕食リスクを察知させると考えられる。80 dB以下の音量では、忌避行動をとるのに十分なリスクを与えられなかったと考えられる。

4-5：音声間隔の効果の検証

各条件における忌避した個体数と忌避しなかった個体数は、15秒条件で9：6、30秒条件で13：4、60秒条件で10：5、300秒条件で6：7であった。二項検定の結果15、60、300秒条件では有意な忌避は認められなかったが、30秒条件では認められた(n=17, p=0.04)。

再生間隔が短ければ短いほど多くの個体が忌避すると考えられたが、実際には15秒間隔では忌避反応が認められず、30秒間隔で認められた。また、4-4で行った実験の90 dB条件では4～8秒間隔であったが、忌避反応が認められた。このことから二つの可能性が考えられる。一つは、4～8秒間隔、30秒間隔のアカオノスリ音声は、他の再生間隔の音声よりも捕食リスクをより高く感じさせる再生間隔であったという可能性である。4～8秒間隔のアカオノスリ音声は通常のアカオノスリの鳴き声であり、アカオノスリの存在を認識させることができたと考えられる。また、30秒間隔については忌避反応を示すのに好適なタイミングであった可能性がある。

もう一つの可能性としては、実際には30秒間隔までは忌避効果があるものの、今回の実験では実験個体数が少なかったために15秒間隔での忌避反応が検出できなかったということが考えられる。30秒間隔が忌避反応を起こす上限であった場合、30秒以上の間隔では捕食リスクを十分に感じさせられなかったと考えられる。鳴き声の間隔は生息密度により変化し、捕食者の個体数が多ければ多いほど捕食リスクが高くなる⁶。それよりも短い間隔で鳴くアカオノスリの音声は捕食リスクの高い個体密度であった可能性がある。

一つ目の可能性を支持するならば、実際に被害地域で使用するのは30秒間隔が良いと考えられる。一方で、二つ目の可能性を支持するとすれば、実際に使用する音声は30秒間隔で再生される必要がない。一定間隔での再生は一般に慣れやすく、ランダムに再生すると慣れにくい⁷。そのため、ランダムな30秒間隔より短い間隔でランダムに再生される音源を作成し、使用することで防除効果を持続させられると考えられる。

4-6：現地における忌避音声の効果検証

音声ありの止まり木装置に登った個体数は、試行数35のうち、17個体であった。これに対し、音声なしの止まり木装置では、試行数40のうち、29個体に登った。試行数に対する確認個体数は、音声ありの方が少なかったが、統計的には有意ではなかった。忌避音声を再生することで、止まり木への登攀は完全に抑制することはできないことが分かった。一方で、4-3で示されたような、スピーカーの直近エリアについては評価できていないことから、止まり木を登り切った個体は音声によって抑制されている可能性は残されていると言え、今後検証が必要だろう。

4-7：誘引・忌避効果のある色の特定

コントロールについては、グリーンアノール、オガサワラトカゲともに左右差は認められなかった。色の選択結果は表4.7.1、表4.7.2のようになり、選択性の順番は、グリーンアノールでは茶、緑、赤、黄、紫、青の順であり、青は他の5色よりも有意に選ばれなかった（Br: $p < 0.001$, Gr: 0.003, Pu: 0.04, Re: 0.008, Ye: 0.008, 図4.7.1）、オガサワラトカゲでは赤、茶、青の順であり、青は赤よりも有意に選ばれなかった（ $p = 0.034$ 、図4.7.2）。

表4.7.1. グリーンアノールの色実験結果

		Not chosen					
		Pu	Bl	Gr	Ye	B	R
Chosen	Pu		10	6	6	4	7
	Bl	4		5	5	3	3
	Gr	8	9		8	7	7
	Ye	8	9	6		5	9
	Br	10	11	7	9		7
	Re	7	11	7	5	7	

表4.7.2. オガサワラトカゲの色実験結果

		Not chosen		
		Bl	Br	Re
Chosen	Bl		5	3
	Br	9		7
	Re	11	7	

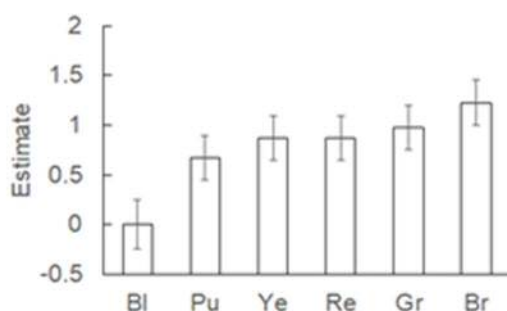


図4.7.1. グリーンアノールによる色紙の選択性. Bradley Terryモデルによる推定値と標準偏差を示す。

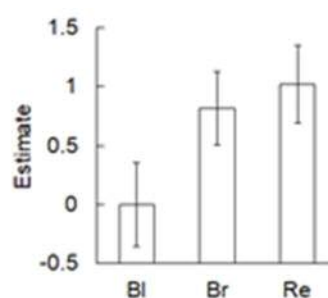


図4.7.2. オガサワラトカゲによる色紙の選択性。

①選択行動を開始するまでの時間、②選択行動にかかる時間、③選択後の色紙への滞在時間の3点については、グリーンアノールの③においてのみ有意差が認められ、青色を選択したグリーンアノールは茶色よりも有意に短い滞在時間を示した（ $p = 0.028$ ）。

以上より、青色を用いることで、グリーンアノールを忌避させることができる可能性が示された。フェンスそのものや、周囲の防草シートなどを青色にすることで、フェンスを乗り越えて分散する個体を減少させることができる可能性がある。また、現在用いられている粘着トラップの赤色は、グリーンアノールにおいてもオガサワラトカゲにおいても選択性は同様に高く、混獲を招くと考えられた。しかしながら、オガサワラトカゲが忌避し、グリーンアノールは好むような色は認められなかったことから、少なくともグリーンアノールをトラップする目的においては、現行の赤色は妥当であると考えられた。

4-8：餌生物による誘引効果の確認と、人工物への代替可能性検証

筒への侵入の有無は、条件によって異なっていた。生き餌条件はコントロール条件に対して有意に侵入頻度が高くなった（ $p=0.001$ ）一方で、人工物+動き条件および人工物条件では有意な差は見られなかった（人工物+動き条件： $p=1$ 、人工物条件： $p=0.6$ ）（表4.8.1）。生き餌条件では侵入したすべ

ての個体で、ハエの入っているシャーレにかみつく行動が見られた。人工物+動き条件では17試行中13試行において実験個体がルアー方向に1回以上視線を向けている様子が観察された。その後筒への侵入を含む接近行動が見られたのは4試行のみで、ルアーへの捕食行動は見られなかった。人工物条件では17試行中5試行においてルアー方向に視線を向けている様子が観察されたが、そのうち筒への侵入を含む接近行動が見られたのは3試行のみであった。

生きたハエにはグリーンアノールの誘引効果があることが示された。代替物であるルアーは、単調な揺れを加えた場合についても誘引効果は認められなかった。ルアー自体に誘引効果がない可能性も考えられたが、同種のルアーを用いて野外において人の手で動かした場合は誘引される様子が観察されていることから、用いた動きが不適であった可能性がある。トラップ等に実装する際には、生きたままの餌を用いるか、より複雑な動きを付加したルアーを用いると、誘引効果が得られると考えられる。

表4.8.1. 餌生物による誘引実験の結果

条件	実験回数	侵入回数	p-value
生き餌	18	13	0.001 **
人工物+動き	17	3	1
人工物	17	5	0.6
コントロール	17	2	-

4-9：同種個体による誘引効果の検証と、人工物への代替可能性の検証

写りが悪いカメラや正常に撮影できていなかったカメラを除き、生体条件で18か所4日分の28試行、人工物条件で27か所4日分の47試行のデータを収集した。生体条件では実験途中に誘引物として設置していた生体が逸走した試行が6試行あったため、実験開始から逸走する直前までを生体条件、逸走後を逸走条件として扱った。

誘引物ありとコントロールそれぞれの20 cm範囲に侵入した野生個体数を表4.9.1に示す。尤度比検定の結果、生体条件、人工物条件ともにコントロールに対して侵入個体数に有意な差は見られなかった（生体条件： $p=0.8$ 、人工物条件： $p=0.3$ ）。

表4.9.1. 同種個体による誘引実験の結果

条件	個体数		
	誘引物あり	コントロール	(撮影総時間(分))
生体	6	7	(7593)
人工物	23	17	(14781)

逸走条件を含めた3条件について、多重比較の結果、逸走条件に対して、生体条件、人工物条件ともに侵入個体数に有意な差は見られなかった一方で、生体条件に対して人工物条件で、20 cm範囲に侵入した個体数が多くなる傾向にあった（生体条件—逸走条件： $p=0.5$ 、人工物条件—逸走条件： $p=0.9$ 、人工物条件—生体条件： $p=0.08$ ）。

本結果から、同種個体については、生体、人工物ともに有意な誘引効果は認められなかった。同種個体に誘引効果がない可能性はもちろん否定できないが、本実験でもちいた止まり木装置の特性上、コントロールと誘引物地点が近く、誘引物に誘引された個体がコントロールエリアから誘引物を観察するような行動をとっていた可能性があり、これが結果的に誘引個体の数を減少させてしまった可能性がある。正確な誘引効果の比較には、追加実験を行っていく必要がある。本実験で起こった逸走は、この追加実験の予備実験としてふさわしく、Nが少なかったために有意な結果は得られなかったが、人工物は生体よりも誘引効果が高い傾向が見られた。これは、用いたフィギュアがオスにしては小さいこと、デュラップを継続的に出したままであること、動きがないこと、など、生体にしては奇異な点が多く、却ってグリーンアノール野生個体の興味をひいた可能性がある。フィギュアの利用や、誘引効果の雌雄差等、今後検証していくべき課題と考えられる。

5. 研究目標の達成状況

全体目標	目標の達成状況
本研究は、グリーンアノールが誘引される、もしくは忌避する音声を特定することで、本種の効	目標を上回る成果をあげた。 目標どおりの成果：

果的な防除策の開発に貢献することを目的とする。具体的には、(1)①捕食者の音声（飛翔音、鳴き声）、②被食者（餌資源）の音声、③繁殖行動時の音声、④捕食される時の音声、⑤機械音、⑥その他、の6種類に着目し、これらについて高性能マイクを用いて収録する。次に、(2)収録した誘引・忌避音声候補へのグリーンアノールの反応を行動実験によって明らかにする。そして(3)誘引・忌避効果が特定された音声を用いて、反応が強くなる音声を作成する。行動実験により誘引・忌避効果が認められた音声や色は、(4)実際に粘着トラップや防御フェンスに使用して、効果の検証を行う。	(1)においては①としてツミの羽音、アカオノスリ地鳴き等、②としてセミの鳴き声やハエの羽音、③として雌雄を同一ケージに入れた時の音声、④として人間による圧迫とウズラによる捕食時の音声、⑤として草刈り機音や破裂音、⑥としてビニール音等を収録した。(2)においては、複数の実験系を組むことで、グリーンアノールが忌避する音声として、草刈り機音、およびアカオノスリの地鳴きを特定した。 (3)においては、(2)で特定した音声の音量や再生間隔、複雑性を操作した音声を作成し、効果の高い音声の特徴を示した。(4)においては、現地で実装実験を行った。 以上により、グリーンアノールが忌避する音声の特定と作成を行ったうえで効果的な再生方法を明らかにし、本種の防除策の一つとして忌避音声の開発を行った。 目標を上回る成果： 実装の際に必要な情報を得る過程において、青色を忌避すること、生き餌や同種個体のフィギュアに誘引されることを明らかにし、グリーンアノールの防除に貢献する情報を提供した。
--	---

6. 引用文献

- 1) 戸田光彦, 2009, 侵略的外来生物グリーンアノールの実態と在来昆虫の保全対策, 昆虫と自然, 44(6): 6-11
- 2) Brittan-Powell EF, Christensen-Dalsgaard J, Tang YZ, Carr, C, Dooling RJ, 2010, The auditory brainstem response in two lizard species, Journal of the Acoustical Society of America, 128(2):787-794
- 3) Christensen-Dalsgaard J, Manley GA, 2008, Acoustical coupling of lizard eardrums, Journal of the Association for Research in Otolaryngology, 9(4):407-416
- 4) Charles WH, 1977, Effects of simulated predation on tonic immobility in *Anolis carolinensis*: The role of eye contact. Bulletin of the Psychonomic Society 9: 239-242.
- 5) Ydenberg RC, Dill LM, 1986, The economics of fleeing from predators. Advances in the Study of Behavior 16: 229-249.
- 6) Dawson DK, Efford MG, 2009, Bird population density estimated from acoustic signals, Journal of Applied Ecology, 46(6):1201-1209
- 7) Biedenweg TA, Parsons MH, Fleming PA, Blumstein DT, 2011, Sounds scary? lack of habituation following the presentation of novel sounds, Plos One, 6(1):14549

Ⅲ. 研究成果の発表状況の詳細

(1) 誌上発表

<査読付き論文>

- 1) Shiho T, Sakai O, Iwai N (2022) Exploration of aversive bioacoustics for the effective management of invasive green anoles (*Anolis carolinensis*). Journal for Nature Conservation 68:126215.
- 2) Hiroyama K, Iwai N (2022) Examination of color preferences of invasive Green anoles in the Ogasawara Islands. Wildlife Society Bulletin 46:e1261.

<その他誌上発表（査読なし）>

- 1) 廣山晃也・岩井紀子（2019）オガサワラトカゲによるグリーンアノール幼体の捕食例．爬虫両棲類学会報．2019(2):175-176

(2) 口頭発表（学会等）

- 1) 岩井紀子．防除技術の基礎研究：アノールの誘引と忌避の試み．日本生態学会第70回大会、自由集会W09-5、仙台(オンライン)．2023年3月19日．
- 2) 小幡成輝・佐藤臨・岩井紀子．餌生物や同種個体を用いたグリーンアノールの誘引：人工物による代替可否の検討．日本生態学会第70回大会、P1-078、仙台．2023年3月17日．
- 3) 猪森恒一朗・岩井紀子．グリーンアノールに対するアカオノスリ音声の忌避効果の検証．日本生態学会第70回大会、P1-342、仙台．2023年3月17日．
- 4) 酒井 理・岩井紀子．外来種グリーンアノールを対象とした忌避音声の開発および慣れの検証．日本生態学会第69回大会、P2-059、オンライン、2022年3月15日．
- 5) 内藤梨沙・岩井紀子．グリーンアノールの忌避音声の探索：フェンス登はんの抑制に向けて．日本生態学会第69回大会、P2-250、オンライン、2022年3月15日．
- 6) 内藤梨沙・堀田政二・志甫拓巳・岩井紀子．グリーンアノールによる音声コミュニケーションの検証．日本生態学会第68回大会、P2-214、オンライン、2021年3月19日．
- 7) 志甫拓巳・岩井紀子．特定外来生物グリーンアノールの忌避に有効な音声の探索．日本爬虫両棲類学会第59回大会、P25、オンライン、2020年12月12・13日．
- 8) 内藤梨沙・岩井紀子．グリーンアノールの誘引・忌避に有効な音声の探索：Y字管を用いた行動実験．日本生態学会第67回大会、P2-PC-415、愛知、2020年3月8日．
- 9) 廣山晃也・岩井紀子．グリーンアノールの誘引・忌避に有効な色の探索．日本生態学会第67回大会、P2-PC-417、愛知、2020年3月8日．
- 10) 廣山晃也・岩井紀子．グリーンアノールによる色選択．日本爬虫両棲類学会第58回大会、P-47、岡山、2019年11月23日．

(3) 「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。

(4) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

(5) 本研究費の研究成果による受賞

特に記載すべき事項はない。

(6) その他の成果発表

特に記載すべき事項はない。

IV. 英文Abstract

Identification of Attractive and Aversive Sound Targeting Invasive Alien Species, Green Anole (*Anolis carolinensis*)

Principal Investigator: Noriko IWAI

Institution: Tokyo University of Agriculture and Technology

Saiwai-cho 3-5-8, Fuchu City, Tokyo, 1830054 JAPAN

Tel: 042-367-5504 / Fax: 042-367-5553

E-mail: iwain@cc.tuat.ac.jp

[Abstract]

Key Words: Ogasawara Islands, sound, invasive species, aversion, Green anole, attractant

The green anole (*Anolis carolinensis*) is an invasive lizard in the Ogasawara Islands, Japan. It has had a negative impact on the native fauna, and as a result, eradication measures such as the use of sticky traps and PTFE-sheet fencing have been implemented. However, the effectiveness of these measures appears to be inadequate. Therefore, new methods are needed to either attract or deter this species. In this study, we investigated the use of attractive or aversive sounds to manage the invasive green anole (*Anolis carolinensis*) on the Ogasawara Islands, Japan. We first examined the response of green anoles to various sounds, including predatory sounds, prey sounds, breeding sounds, sounds under being predated, machine sounds, sounds of crumpling plastic bags, and alarm calls. Our results indicated that green anoles were particularly averse to the calls of *Buteo jamaicensis*. We then determined the appropriate sound volume and interval for playing the *B. jamaicensis* call and found that playing the sound at 90 dB with a 30-second interval was effective in repelling green anoles. To further enhance the aversive effect, we developed a novel sound by arranging *B. jamaicensis* call with other sounds. Our experiments showed that green anoles did not habituate to this arranged sound for at least four successive days. In addition, we conducted field experiments to evaluate the effectiveness of the *B. jamaicensis* call in preventing green anoles from escaping a cage or climbing an experimental rod. Although the results were not statistically significant, we observed a decrease in the number of individuals that climbed the rod with the aversive sound. Furthermore, we conducted additional experiments and found that green anoles showed a preference for walking on surfaces that are not blue and were attracted to live flies. Additionally, we observed that green anoles showed interest in a decoy of their own species. These findings may also be useful for managing green anole populations.