

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 12 日現在

機関番号：18001

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25650134

研究課題名(和文)ウェーブレットを用いた昆虫音響モニタリング手法の確立

研究課題名(英文)Establishment of monitoring method of insect sound communication using Wavelet

研究代表者

立田 晴記(Tatsuta, Haruki)

琉球大学・農学部・准教授

研究者番号：50370268

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：ニイニゼミの種判別については、最も顕著な種の特徴が現れたのは、周波数特性であった。特にフレーズの前半、中盤部では、どの周波数特性のパラメータにも種間差が顕著に現れた。興味深いのは、周波数変調が起こる終盤部で、於茂登岳のヤエヤマニイニイとイシガキニイニイの特徴の有意差がいくつかの測定値で消失していたことから、主鳴音の前半部、中盤部を利用することで2種の判別が可能であることが明らかになった。次にイモゾウムシについては、周波数成分に地域集団間で有意な違いが見いだされたほか、体サイズに対するエキーム長の回帰直線の傾きに、オスのみで有意な差違が検出された。

研究成果の概要(英文)：For the comparisons of calling songs in *Platypleura* species, seven characteristics including phrase length and six variables characterizing the power spectra were extracted from three segments of a phrase, and then tested whether these characteristics could be used to discriminate between species and localities. Discriminant analysis based on all measured variables resulted in perfect prediction of *P. albivannata* versus *P. yayeyamana*, even after a cross validation method was implemented, although no differences could be distinguished in some variables of the ending segment of a phrase. For the examination of weevils, it was determined that the characteristics of distress sounds were differentiated among different reared lineages. In particular, although the slope of the regression between body size and the mean duration of the echeme varied significantly among lineages in males, the regression slopes were almost isotropic throughout localities in females.

研究分野：昆虫学、進化生物学

キーワード：音響コミュニケーション 多変量解析 防除 生態系保全 性選択 ニイニゼミ イモゾウムシ 周波数

1. 研究開始当初の背景

(1)「発音」は新翅類(Neoptera)に一般的に見られる特徴であり、求愛、攻撃、防衛など多種多様な機能を持つことが知られている。また発音に関する実証研究から、分類に多用される交尾器などの形態形質に違いがない分類群でも、発音に相違が見出されることが多く、種群や隠蔽種などを判別する分類形質として用いられてきた。

(2)本課題で研究対象とするニイニゼミとゾウムシはそれぞれ特徴的な発音器官を持っている。前者は膜を震わせることで、後者は表皮を摩擦させて発音し、共に種の認識や求愛に利用されていると考えられる。またこれらの種が発する音の周波数分布やパルス間隔に際立った特徴が見られることがわかってい一方、形態形質に近縁種間や系統間で見られる違いは微妙で、野外観察での判別は大変困難である。DNA バーコーディングなどにみられるように、形態形質に差が無い生物の分類はDNA配列の相違によって行われることが多い。しかしこの方法は標本の捕獲が必須であること、また費用と時間がかかることなどから、捕獲困難な希少種や野外で速やかにグループを判別したい時などには向かない。

(3)そうした困難を克服すべく、絶滅危惧種と農業害虫が発する音を利用して、野外においても簡便かつ正確に種や系統を識別可能なシステム構築を目指す。

2. 研究の目的

本研究では形態情報による識別や、捕獲が禁止されている生物を対象に、音データを用いて種や地域系統を識別可能なシステムの構築を目指す。こうした生物が発する音は野外で収録されるため、同時に収録される雑音を的確に処理する必要がある。本課題では音データにウェーブレット変換を施すことで、判別に必要な情報だけを効率的に取り出す手法の検討をおこなった後、種や系統判別に役立つ鳴声の特徴を抽出して判別関数を求める。これにより、絶滅危惧種であるインガキニイニイについては、個体を捕獲することなく、生息数の把握や新たな棲息地の探索が可能となる。またサツマイモの害虫であるイモゾウムシについては、大量増殖系統と野生虫を判別することで、害虫のモニタリングに役立てる。

3. 研究の方法

(1)音声データの取得

・ニイニゼミ

ニイニゼミの参照音源については、インガキニイニイの生息が確認されている石垣島北海岸に位置する米原ヤシ林、またヤエヤマニイニイが分布する石垣島、西表島で取得する。ニイニゼミオス個体が発する音については、これまで可聴音域に着目した報告が数例あるのみであったが、2012年度に実施した

ヤエヤマニイニイを対象にした調査からは、超音波に該当する周波数が多く含まれていることが明らかになった。そこで2013年度は、超音波域が収録されている音データが一切存在しないインガキニイニイについて、その羽化時期である6月中旬~7月上旬まで発生場所に張り付き、超音波域の音声情報を取得できる録音装置(Brüel & Kjør社製、PULSE LANX-1)とコンデンサーマイクロフォン(Brüel & Kjør社製、4939)を組み合わせることで取得する。これらの装置は既に琉球大学で保有するシステムを利用する。ヤエヤマニイニイについては後述の判別データに利用する音声も同時に取得するため、インガキニイニイと側所的に分布する米原ヤシ園周辺、異所的分布する石垣島バンナ岳、およびインガキニイニイの潜在的分布が疑われる西表島にて、複数個体の音データについて、上記録音装置を用いて取得する。情報量の少ないインガキニイニイについては2012年度以前に録音された雑音が少ないデータも合わせて解析すると共に、2014年度も発生時期に合わせて音データの収録を試みる。

・イモゾウムシ

イモゾウムシについては、徳之島、沖縄本島2箇所、久米島2箇所、与那国島2箇所で開催した地域系統が、沖縄県病害虫技術センターで累代飼育されており、音声情報を自由に取得できる環境にあるのに加え、これまで録音した音声データも利用可能である。現在録音に際し、防音処理がされた部屋が周囲に無いこと、またゾウムシが発する音は大変微細であり、可能な限り雑音を排除した環境で判別モデル構築に必要な解析データを収録する必要があることから、防音箱を新たに購入し、音データを取得する。

(2) 音声波形解析 (本研究で実施する解析は、ウェーブレット変換による雑音成分の除去と解析音声の強調)

再構成された音声情報の様々な特徴(エキームの長さ、パルス数・間隔などの異なるパラメータ)の抽出

統計モデリングによる種・系統の判別関数の取得

という3項目からなる。

音声を収録する際に同時に記録される環境ノイズの除去と音声強調を、離散ウェーブレット変換(Discrete Wavelet Transform)により実施する。この方法の概略を右図で示す。元の音声データをウェーブレット変換により、異なる解像度の成分に分解し、雑音が含まれている成分を除去する。次の段階では、雑音成分が取り除かれた信号を逆ウェーブレット変換により再構成し、音信号の特徴(エキームの長さ、パルス数・間隔などの異なるパラメータ:右図)に関するデータを取得する。各個体について3-5程度の反復デ

ータを取得し、それらの平均値、標準偏差、中央値などを算出する。また音の波形の輪郭形状の特徴を抽出するため、不規則化する点のなめらかな補間を可能にするカーネル関数(Kernel function)を用いて波形を近似し、そこから座標データを算出する。

・ニイニゼミ

イシガキニイニイについては羽化成虫の鳴き声が調査期間中に全く確認できず、音声収録が出来なかったため、過去に収録された音声データを利用した(未発表データも含む)3),4)。イシガキニイニイの鳴き声はいずれも米原地区周辺で採録されたものである。ヤエヤマニイニイの鳴き声については、バナナ岳、於茂登岳、および於茂登トンネル近くの林内で収録し、計 35 個体分について解析した。ヤエヤマニイニイの鳴き声収録に利用された機材は Brüel & Kjær 社(デンマーク)の PULSE Frontend (LAN-XI)に、同社のコンデンサーマイクロフォン(TEDS microphone 4939: 周波数特性 4 - 100000 Hz)を接続したものを利用した。ニイニゼミの鳴き声は、大きく分けて「前奏部」、一連の音が連続する部分(フレーズ)が反復して構成される「高潮部」、そして後鳴きからなる「終奏部」からなる。今回の解析では高潮部に着目した。また、高潮部の最初と終わりでは周波数特性に変調がしばしば生じる。個体によっては周波数の変調が乏しい場合もあるが、耳で聞いても変調が起こっているのがはっきりわかる程の個体も数多く見られた。こうした周波数変調の影響も勘案するため、1つのフレーズを時間軸に沿って、序盤、中盤、終盤へ3等分し、それぞれの周波数特性を解析、比較した。

・イモゾウムシ

イモゾウムシのストレス音は接触等の外部刺激により容易に発せられることから、予め容器内で固定した虫体をピンセットで刺激することで強制的に発音させることで、ストレス音の周波数特性を詳細に調べた。(図-2)に示されるように記録された信号のうち、エキームに相当する部位を切り出し、まずは振幅を75%に基準化して音量を統一した。次にバックグラウンドノイズを消去するためにフィルターをかけ、1kHz以下の周波数をカットした。こうして残った情報に対してスペクトル解析を行い、ピーク周波数を算出した。また YASUDA and TOKUZATO (1999)の平均ピーク周波数とその標準誤差を参考にして、平均周波数の推定幅をほぼカバーすると考えられる 8kHz以下のパワーの割合を個体毎に求めた。

4. 研究成果

・ニイニゼミの種判別

ノイズ処理の後、主鳴音の幾つの特徴を計測により得られた数値を統計解析したところ、最も顕著な種の特徴が現れたのは、周波数特性であった。特にフレーズの前半、中盤部では、どの周波数特性のパラメータにも種間差が顕著に現れた(図1)。興味深いのは、周波数変調が起こる終盤部で、於茂登岳のヤエヤマニイニイとイシガキニイニイの特徴の有意差がいくつかの測定値で消失していた(図1)。つまりフレーズの終盤部になると、鳴き声のいくつかの周波数成分では種間差が小さくなることを意味している。また結果は示さないが、フレーズの時間長については、種間で有意差が検出されたものの、四分位点の範囲は両種で重なっており、フレーズ

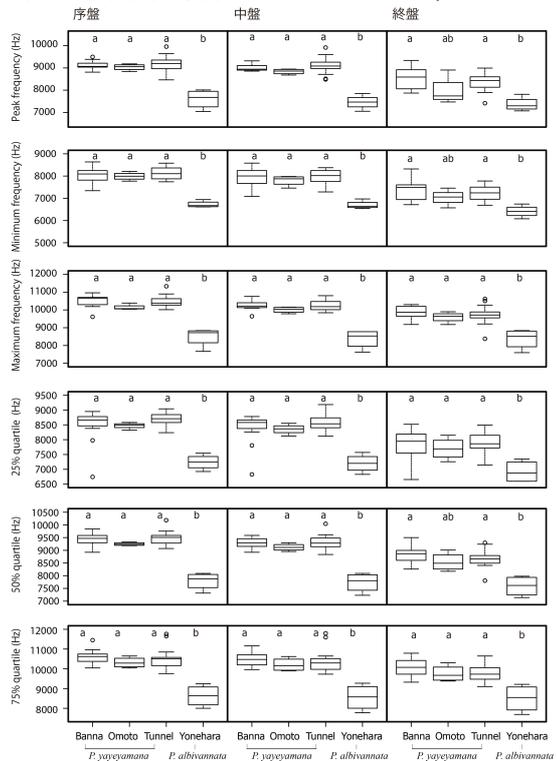


図1. 周波数特性の種間・個体群間比較。箱ひげ図の上下の点は外れ値を示す。異なる記号は5%水準で平均値に有意差があることを示す

の継続時間だけで種を正確に判別するのは不可能だった。

次に、計測値全てについて、多変量解析の1種である正準判別分析をおこなった結果が(図2)である。第1正準変数スコアだけで両種の違いが明確になっていることが見て取れる。ヤエヤマニイニイの第1正準変数の平均値を地域間で比較すると、差は僅少であった。また第2正準変数を比較すると、バナナ岳と於茂登トンネルの間に大きな開きがあることがわかる。実際正確に判別された個体の割合を計算してみると、イシガキニイニイは全ての個体が正確にイシガキニイニイとして判別されたが、ヤエヤマニイニイの判別率は33.3~91.7%と地域によって大きくばらついていた。

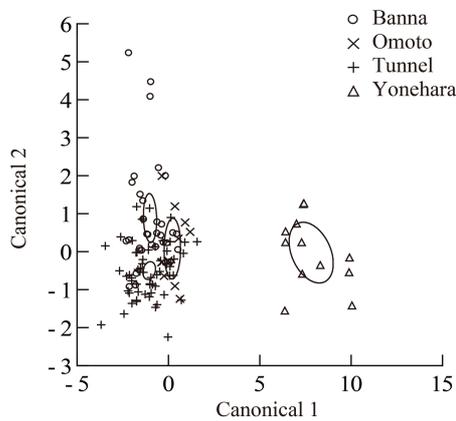


図2. 第1, 2正準スコアの散布図. 楕円は各個体群の重心の95%信頼楕円を示す.

以上の結果をまとめると、時間領域や周波数領域に関する1, 2個のパラメータだけでは、両種を正確に判別することは極めて難しいと思われる。フレーズの継続時間の周期については上宮(2000)の報告にもあるように、両種の周期は完全に重なっており、今回の解析からもそれが裏付けられた。また、パワースペクトルのピーク周波数については、イシガキニイニイと比べ、ヤエヤマニイニイの方が総じて高い傾向がある点については、これまでの報告と矛盾しない一方、比較する時間領域によっては種間差を見いだしづらくなった。今後比較を行う上ではフレーズの一部を任意に切り出して比較するのではなく、フレーズ全体の特徴を比較するか、時間的な相同性の高い部分を切り出して比較することが望ましいと考えられる。またピーク周波数だけではなく、時間領域、周波数領域の複数パラメータを取得して分類することにより、種判別の精度を上げることが出来るだろう。

また今回の解析からは、ヤエヤマニイニイの地域集団間に、鳴き声の変異が存在する可能性が示された。今回調査した地域は互いに隣接しており、セミ成虫の往来も生じうることから、各地域に独自の遺伝的変異が蓄積されているとは考えにくい。本種は西表島にも生息していることから、顕著な鳴き声の違いが島嶼間で見られる可能性は十分考えられる。また解析した主鳴音はオスのメスに対する求愛音であることから、オスの鳴き声に差があれば、メスの鳴き声に対する「好み」にも地域差が見られるかもしれない。従って、保全生物学的視点からだけではなく、セミの配偶行動の進化を考える上でも興味深いテーマである。

・イモゾウムシ

(図3)から、1つのエキームの持続時間は大凡0.2秒弱と大変短いことがわかる。また1つのエキームは多数のインパルスで構成されており、腹部を鞘翅裏面に1回擦り合わせて生じる音が1つのエキームに相当していると思われる。まずピーク周波数については、与那国で平均10.38kHzと最も高く、久米島と徳之島では7.84-7.85kHzとほぼ同じレベルであった。次に音に含まれている8kHz

以下のパワーの割合については、与那国で14.19%と最も少なく、久米島と徳之島では19-22%とやや高かった(図3)。これらをまとめると、与那国のイモゾウムシは久米島、徳之島と比べると、高めの周波数で発音していることがわかった。

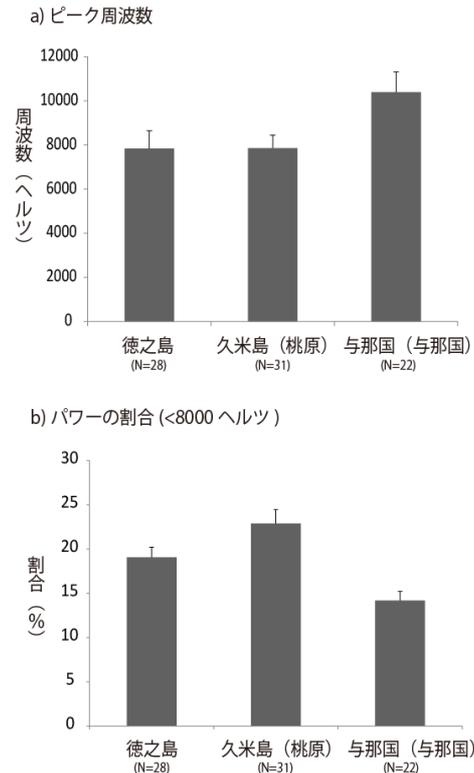


図3. (A) ストレス音の平均ピーク周波数.

(B) 8000ヘルツ以下のパワーの割合. バーのヒゲは標準誤差を示す.

次に、エキーム長を各地域集団で比較したものが(図4)である。雌雄で平均値の変動を比

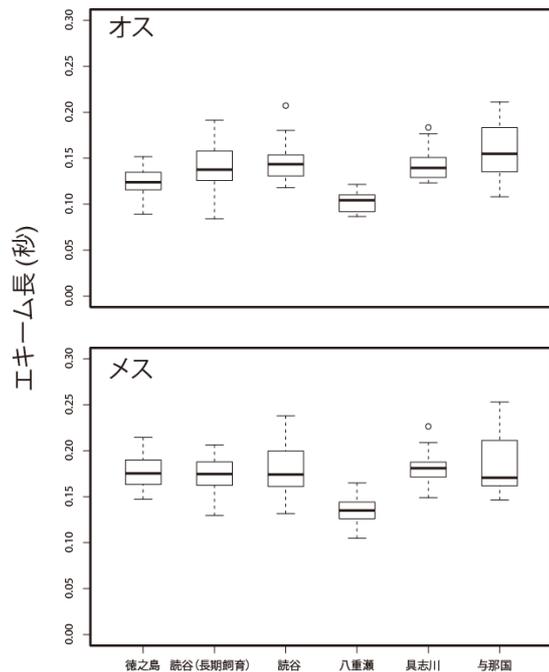


図4. 各地域集団におけるエキーム長の比較.

較すると概ね一致していたが、体サイズに対してエキーム長を回帰させた際の傾きに集団間で差があるかどうか調査したところ、オスでは傾きに有意差が見られたのに対し、メスでは差が見られなかった(共分散分析, オス:F = 2.58, P = 0.034, メス:F = 0.93, P = 0.465). 鳴き声に雌雄差が見られることの理由として、オスの鳴き声に対するメスの好みの地域間差違があり、異なった性選択を受けた結果である可能性、もしくは外敵の密度や種類が地域間で異なっており、威嚇のための鳴き声淘汰を受けた結果異なっている可能性が考えられるが、後者の仮説では、地域差が生じるメカニズムは説明出来ても、雌雄差が生じる理由にはならない。今後は周波数特性の差違も詳細に解析する必要があるが、鳴き声による種判別を実施する場合は、本研究で発見した雌雄差をまず考慮する必要がある。

<引用文献>

上宮健吉, 2000. 絶滅危惧種イシガキニイニイと石垣島産ヤエヤマニイニイの鳴音の音響比較. *Cicada* 15: 17-22.

Yasuda K, Tokuzato M. (1999) Sound production during mating and disturbance in the West Indian sweet potato weevil, *Euscepes postfasciatus* (Fairmaire) (Coleoptera: Curculionidae). *Appl Entomol Zool* 34: 443-447.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計1件)

立田晴記, 佐々木健志. 2014. ヤエヤマ諸島に生息する絶滅危惧種イシガキニイニイの主鳴音の特徴. *昆虫と自然* 49: 25-28.

[学会発表](計4件)

鶴井香織, 熊野了州, 原口大, 立田晴記, 豊里哲也, 松山隆志. 2015. 天敵は「いる」だけで被食者に影響を与えるか - イリムサーキバラコマユバチの存在がイモゾウムシ次世代数に与える効果. 第59回日本応用動物昆虫学会大会. 山形大学, 山形. 2015/3.

伊佐睦実, 熊野了州, 立田晴記. 2014. イモゾウムシの体表化学物質がオスの行動に与える影響(第2報). 第58回日本応用動物昆虫学会大会. 高知大学, 高知. 2014/3.

立田晴記, 佐々木健志. 2014. 八重山諸島に生息するニイニイゼミ2種の主鳴音の特性と種内変異. 第58回日本応用動物昆虫学会大会. 高知大学, 高知. 2014/3.

立田晴記, 佐々木健志. 2013. 石垣島に生息するニイニイゼミ2種の求愛歌の特徴. 日本昆虫学会第73回大会. 北海道大学, 札幌. 2013/9.

[図書](計1件)

Tatsuta, H. and N. Kumano. (2015) Sexual differences in distress sounds in the West Indian sweet potato weevil *Euscepes postfasciatus*. *Proceedings of the 3rd International Symposium of Biological Shape Analysis*. (ed) P. Lestrel. World Scientific (In press).

[産業財産権]

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

[その他]

ホームページ等

<https://sites.google.com/site/harukitatsuta/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

立田 晴記 (TATSUTA, Haruki)

琉球大学・農学部・准教授

研究者番号: 50370268

(2)研究分担者

熊野 了州 (KUMANO, Norikuni)

琉球大学・農学部・協力研究員

研究者番号: 90621053

佐々木 健志 (SASAKI, Takeshi)

琉球大学・風樹館・教務職員

研究者番号: 40264478

高梨 琢磨 (TAKANASHI, Takuma)

独立行政法人森林総合研究所・森林昆虫研究領域・主任研究員

研究者番号: 60399376

(3)連携研究者

岸野 洋久 (KISHINO, Hirohisa)

東京大学大学院・農学生命科学研究科・教授

研究者番号: 00141987

(4)研究協力者

渡辺 翔 (WATANABE, Kakeru)

横倉 涼 (YOKOKURA, Ryo)