

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 6 日現在

機関番号：15501

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2015

課題番号：24658051

研究課題名(和文) 農業害虫の超音波音圧単位の検討

研究課題名(英文) Examination of the supersonic wave sound pressure unit of agriculture pest

研究代表者

渡辺 雅夫 (Watanabe, Masao)

山口大学・理工学研究科・准教授

研究者番号：00034992

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：ヤガ類は、コウモリのエコーロケーション音を認識し、音源から遠ざかる回避行動をとる。この行動を誘発する効果的なパルスパターンを探索するために、蛾類の聴覚特性を調べた。蛾は、20kHz～40kHzの周波数帯の音によく反応し、また特定のパルス長やパルス頻度の音によく反応した。パルス長とパルス頻度の積として表わされる値に注目した。その値がある一定の値のとき、回避行動を誘発することが示唆された。

研究成果の概要(英文)：The moth of noctuid recognize the echo location sounds of the bats and take an evasion action to go away out of a sound source. I checked hearing properties of the moth to search for an effective pulse pattern to cause this action. The moth reacted to the sounds of the frequency band of 20kHz - 40kHz well. And the moth reacted to a sound of a certain pulse length, and reacted to a sound of a certain pulse frequency well. I paid attention to the value that multiplied a pulse length and the pulse frequency. At the time of specific constant value, it was suggested that the moth caused an evasion action.

研究分野：神経行動学

キーワード：蛾 回避行動 パルス長 パルス頻度

### 1. 研究開始当初の背景

(1) これまで当研究室では農業害虫の超音波反応性を調べ、反応閾値の音量をデシベルという単位であらわすことに疑問を感じてきた。デシベルは、ヒトの聴覚の特性にあわせた単位であり、0.1秒くらいの時間幅内に存在する音を反映しているように思える。

(2) 本研究は、昆虫の聴覚特性を明らかにすることで、昆虫の聴覚特性を反映させた音量単位を検討することを目的にした。これにより超音波を用いた防虫設備に、より効果的なパルスパターン選択が可能となると考えられる。

### 2. 研究の目的

(1) 一定音量の超音波をパルス持続時間(パルス長)、パルス頻度を変えて、ヨトウガの反応を調べたとき、超音波発信子の違いで異なる結果が得られている。この現象の説明ができるしくみを明らかにしたい。

(2) パルス頻度が低いパルスパターンのとき、反応閾値が小さく記録されるが、この現象の意味を明らかにしたい。

(3) 音響刺激においても、いわゆる「慣れ」の現象が見られるが、昆虫が感じている時間経過について調べる。

(4) パルス頻度とパルス長とを掛け合わせた、占有率の意味について検討する。

(5) メイガ類に対しても、その超音波反応性について、検討する。

(6) 以上のような昆虫の超音波反応特性を調べていくことで、蛾類における聴覚の感覚世界を明らかにし、昆虫の聴覚特性を考慮した音量の表し方の提案をすることを目的とする。

### 3. 研究の方法

(1) ヤガ類であるヨトウガを飼育し、成虫個体に、パルス長、パルス頻度をいろいろ変えた超音波パルス音を聞かせて、羽ばたき頻度の変調などを指標にして、反応閾値を調べていく。

(2) ヨトウガの鼓膜器官から脳へ至る聴覚路(胸部神経節、胸部縦連合、食道下神経節など)で、金属電極(エルジロイ線の電極)を用いて音刺激に対する神経応答を調べることにより、音の情報が神経回路中で処理され、認識されるのか、情報処理過程に関して調べる。

(3) ヨトウガが自由飛翔しているとき、超音波の音に反応して飛行方向をかえて、Uターンを行っていることを記録する方法を確立

し、回避行動を記録する。

### 4. 研究成果

(1) パルス長を変えて反応閾値(反応する音で最も小さな音量)を調べると、ヨトウガでは、ある長さの音に対して反応閾値が低いことがあったが、ハスモンヨトウでは、そのような現象は見られなかった。

農業害虫であるヤガ類の中でも、種によって超音波に対する反応性に違いがあることがわかった。超音波を利用した害虫防除を行うときには、種の特異性に注意する必要があることがわかった。

音の周波数帯は、可聴音から超音波領域の音まで用いたところ、20kHz~40kHzという超音波領域の音に対しては反応閾値が低かった。しかし可聴音の音域の音に対しても、反応性のよいパルス長は同じなので、神経回路中でパルス長の認識が行われ、羽ばたき頻度を変調させるという行動発現に結びつける情報処理過程が神経回路中にあることが想定される。

(2) ヨトウガなどにおいて、いろいろなパルス頻度の音刺激に対する反応性を調べた。ある頻度の音に対して反応性が(反応閾値が低かった)よかった。ハスモンヨトウにおいても特定のパルス頻度の音刺激に対して反応が良いことがわかった。

超音波を発信する機器の組み合わせの違いで、反応の良いパルス頻度が異なっていたことは、電気刺激装置から圧電素子に通電して超音波を発信した場合に、電気刺激装置から通電し始めて超音波が出始めるまでの遅延時間がミリ秒レベルであり、実際には電気刺激装置で設定した持続時間より短いパルス長の刺激音しか出ていなかったことが、測定誤差を生じさせた原因であると推測された。

(3) 2Hzで、いろいろなパルス長の刺激音を出した時、反応閾値が低かったのは、音量の測定方法に問題があることがわかった。

(4) 電気刺激装置と圧電素子製の超音波発信子を使って、パルス頻度を1Hz以下に設定した刺激音を作成し、その反応閾値を調べた。2秒間に1回のパルス発生(0.5Hz)では、反応閾値が低かったが、3秒間に1回や、4秒間に1回のパルス発生では音量を上げないと反応しなかった。このことから、ヨトウガは2秒間の時間範囲の中で発生している音について、認識する傾向があると思われる。

ヒトの聴覚特性が0.1秒間くらいの時間範囲内の音に対して、音量の認識をしていることに比べ、ヨトウガでは2秒間という時間範囲で音を認識していることが推測された。

このことから、ヤガがコウモリのエコーロケーション音を受容して回避行動をとるといわれているが、コウモリの種ごとに異なるエコーロケーション音に対して、どのように

険な音を認識しているのかという疑問にも答えることができる。

また、このことは防虫設備に用いる超音波のパルスパターンの選択肢を広げてくれることにつながる。

(5) 神経回路中の音刺激の情報がどのように伝えられているか、金属電極を用いて調べた。研究期間内に、音情報処理過程を解明することはできなかったが、いくつかの情報処理過程の断片情報を得ることができた。そのひとつは胸部神経節内のニューロンで、パルス長が長くなると音が届いてから、応答が見られるまでの遅延時間が長くなっているニューロン応答が記録できた。

このことは、パルス長の識別が、鼓膜器官から入力してすぐの胸部神経節内で行われていることを示唆している。

また、鼓膜器官からの音情報は、一度脳まで送られ、その後胸部縦連合を下降して胸部神経節に送られ、羽ばたき頻度の変調がおこることが示唆され、ヨトウガでは、その遅延時間は、0.6秒くらいであった。

(6) 農業害虫がパルス状の超音波音を受容すると回避行動（音源から遠のくように飛行コースを変える）を誘発するといわれているが、実際に飛行コースを変える現象を記録する方法として、赤外線カメラを用いて撮影を試みた。ヨトウガは、音刺激を受容して0.6秒くらいの遅延時間ののち回避行動を発現する。飛翔方向である前方から刺激音が聞こえたとき、多くの蛾は斜め上方に向かってUターンをしていた。また、飛行方向の真横方向からの刺激音に対しては、斜め上方の音源と反対方向へ飛行コースを変えていることが記録できた。

これまで羽ばたき頻度の変調（羽ばたき頻度が増加する）や、左右の翅の羽ばたきの振幅の違いなどを反応指標にしていたが、回避行動を起こすこととつなげることができた。

(7) ノシメマダラメイガに米ぬかを与えて飼育し、成虫の超音波に対する反応を調べた。超音波の音刺激に対して飛翔中の雄蛾がUターンをするのが観察できた。また、羽ばたいているノシメマダラメイガに強い音刺激を与えると、羽ばたきを停止することが観察された。雄蛾をフェロモンで誘引しておいて、超音波の刺激音があるときに飛来個体数が減少することを想定して、フェロモントラップを用いた実験を行ったが、今回の実験では、超音波の刺激音があっても飛来数を大きく減少させることはできなかった。

#### 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 0件)

〔学会発表〕(計 6件)

平成28年3月28日、渡辺雅夫：「種々の超音波パルス音に対するヨトウガの反応性」第60回日本応用動物昆虫学会（大阪府堺市・大阪府立大学）

平成27年5月16日、渡辺雅夫、山田拳司：「赤外線カメラを用いたヨトウガの飛行軌跡の解析」日本動物学会中四国支部大会67回大会（愛媛県松山市・愛媛大）

平成27年3月27日、渡辺雅夫：「ヨトウガにおける超音波による逃避行動誘発の神経回路」日本応用動物昆虫学会（山形県山形市・山形大学白川キャンパス）

平成26年3月27日、渡辺雅夫：「ノシメマダラメイガの超音波に対する反応」日本応用動物昆虫学会（高知県高知市、高知大学朝倉キャンパス）

平成25年5月11日、渡辺雅夫・岩永翔太：「ヤガ類の超音波反応性」日本動物学会中四国支部大会65回大会（徳島県徳島市・徳島大）

平成25年3月28日、渡辺雅夫：「ハスモンヨトウの超音波に対する反応性」日本応用動物昆虫学会（神奈川県藤沢市・日本大学生物資源科学部湘南キャンパス）

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕  
出願状況(計 0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況(計 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等

6. 研究組織  
(1)研究代表者

渡辺 雅夫 (Watanabe masao)  
山口大学・大学院理工学研究科・准教授  
研究者番号：00034992

(2)研究分担者  
( )

研究者番号：

(3)連携研究者  
( )

研究者番号：