

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 6月 5日現在

機関番号：82105

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21780050

研究課題名（和文） カミキリは樹木が発する振動を触診して産卵するのか：振動感覚の神経行動学的研究

研究課題名（英文） Neuroethological studies of vibration sense: does a longhorn beetle detect vibrations emitted from trees for oviposition?

研究代表者

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

研究成果の概要（和文）：本課題は、昆虫の鋭敏な振動感覚系に着目し、マツの害虫であるマツノマダラカミキリをモデルとする。本種は振動に対してフリーズ反応等を示し、その感度は低周波域で高いことを明らかにした。さらに、低周波域の振動を受容できる感覚器が脚にあることも特定した。カミキリの産卵に適する衰弱したマツは、低周波域を含む自発振動を発する。本種はこの自発振動を感知し、産卵する樹木を選択している可能性が示唆された。

研究成果の概要（英文）：I investigated vibrational responses and associated sense organs in the Japanese pine sawyer beetle, *Monochamus alternatus*. This beetle showed behavioral responses, such as freezing, to vibrations with low frequencies below 1 kHz. The femoral chordotonal organ was found to detect low-frequency vibrations. Weakened pine trees that are suitable for oviposition of the beetle emit spontaneously low-frequency vibrations. The beetle can detect the vibration from the tree and select the tree for oviposition.

交付決定額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|-----------|---------|-----------|
| 2009年度 | 1,500,000 | 450,000 | 1,950,000 |
| 2010年度 | 800,000 | 240,000 | 1,040,000 |
| 2011年度 | 500,000 | 150,000 | 650,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 2,800,000 | 840,000 | 3,640,000 |

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農学・応用昆虫学

キーワード：振動、感覚受容器、行動反応、甲虫

1. 研究開始当初の背景

マツノマダラカミキリ（以下カミキリ）は、マツノザイセンチュウ（以下線虫）等によって衰弱したクロマツやアカマツ（以下マツ）に特異的に産卵する。カミキリは線虫を媒介する難防除害虫であり、マツ材線虫病（松枯れ）を全国的に蔓延させてきた。

衰弱したマツからは特有の揮発性化学物質が放出され、これらがカミキリムシを遠方

から誘引する。誘引されたカミキリは、マツの不揮発性化学物質によって産卵を促されるが、これらの化学物質のみでは複雑な産卵行動の選択性を説明できない。したがって、マツの衰弱状態を評価できる別の感覚情報（例：振動感覚）が産卵の選択性に関与していることが想定される。

研究代表者は予備的研究により、マツが線虫により衰弱する過程において、マツ自体か

ら発せられる振動（以下自発振動）を発見した。この振動は、一般的に昆虫が感知できる強度と周波数域を満たしている。このことから、カミキリは振動を感知することで、マツの衰弱状態を評価し、産卵のタイミングを見極めていると考えた。そこで、振動感覚器の網羅的な組織学的同定をすすめたところ、脚の腿節中に発達した弦音器官を持つことを発見した。この弦音器官は、マツの振動を脚の接地面（基質）を通じて鋭敏に受容する機能を持つこと示唆された。

2. 研究の目的

本研究ではこれらの振動感覚器の除去実験と行動学的実験により、カミキリは触診によってマツの自発振動を感知し、産卵等による選択行動をおこなっているか検証を行う。具体的に、以下の2点の解明を目的とする。

- ・カミキリはどのような振動（周波数、持続時間と強度）を受容するのか？
- ・カミキリはマツの自発振動を感知し、産卵等の選択行動を示すのか？

3. 研究の方法

(1) 振動に対する行動反応の解析

カミキリの振動に対する行動反応を観察した。振動刺激は、周波数(25Hz-10kHz)と振幅を変化させたサイン波（パルス長0.1秒、パルス間隔0.9秒）として加振器に出力して与えられた。振動に対する、以下の行動の有無や変化を観察する。1) フリーズ反応（脚・触角の自発運動の停止）、2) 発音行動（頸部から摩擦音を発する）、3) 歩行行動、4) 産卵行動（産卵場所の選択、樹皮を剥ぐ産卵加工、産卵管の挿入を経て産卵する）。これらの行動が最も感度良く影響を受ける振動成分の周波数及び振幅の特定をおこなった。

また、振動がマツノマダラカミキリの産卵行動と摂食に与える阻害効果も調べた。実験室内において、クロマツ小丸太の1本に100Hzのサイン波を与え、他の1本は振動を与えずに、6頭のメスを容器に放して産卵選択試験を一晩おこなった。

(2) 振動感覚器の機能の特定

上記の行動観察実験で特定された合成振動が弦音器官で受容されているかを証明した。脚部やその他の部位を物理的に破壊または固定し、6本全ての脚について腿節内の内突起を外科手術により抜き取ることで、弦音器官を完全に除去した。除去によって機能消失させた個体を用いて、振動刺激への行動反応（歩行中のフリーズ反応）を示さなくなるかを観察した。

(3) マツの自発振動の測定と産卵行動の解析 線虫を接種して衰弱したマツの自発振動

を加速度ピックアップにより記録した。この記録したマツの自発振動をマツ棒材に与えて、本種の産卵行動を連続的に観察した（プレイバック試験）。振動を与えない条件と与えた条件で、産卵の有無、産卵行動の頻度と時間を比較した。

4. 研究成果

(1) 振動に対する行動反応

静止中の個体の行動観察の結果、本種は広い周波数帯の振動刺激に対してフリーズ反応や発音等の回避行動を示した。特に、1kHz以下の低周波成分に対し、高い反応感度が見られた（図1）。

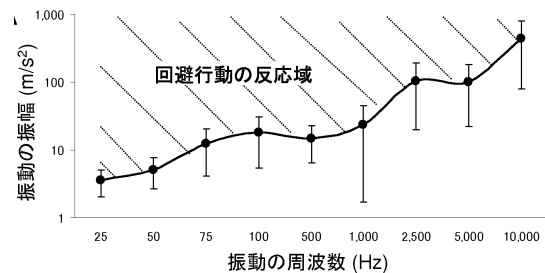


図1 マツノマダラカミキリの回避行動の反応域

振動によってマツノマダラカミキリの産卵行動と摂食行動が抑制されることを明らかにした。振動を与えられたマツにおける産卵数はゼロで、振動のないマツにおいては平均で15.0となった。次に、同様の実験条件下で摂食選択試験をおこなった。振動を与えられたマツでは摂食行動に変化がみられ、振動のないマツと比べて摂食面積が増加した。

(2) 振動感覚器の機能

腿節内弦音器官の振動受容器としての機能を行動実験より検証した。弦音器官を除去した個体は、振動刺激を与えたところ、歩行中にフリーズ反応を示さなかった（図2）。一方、無処理個体は振動刺激に対してフリーズ反応を示し、100Hzの振動刺激に対してはほとんどの個体が反応した。また、脚表皮を傷つけた偽処理個体も無処理個体と同様に振動刺激に対してフリーズ反応を示した。以上の結果から、本種は腿節内弦音器によって1kHz以下の低周波振動を受容することが明らかになった。

(3) マツの自発振動と産卵行動

マツの自発振動は低周波成分（50-200Hz）からなり、マツの衰弱過程での水分生理状態が大きく変化する特定の時期に多発した。本種はマツの自発振動の周波数帯域と振幅を含む振動刺激に反応を呈したことから、衰弱したマツの自発振動を感知して産卵選

択を行う可能性が示された。

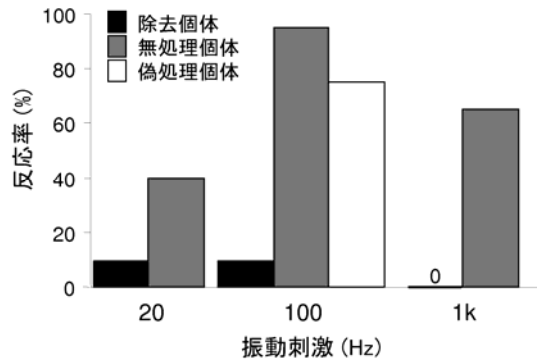


図 2 腿節内弦音器官を除去したマツノマダラカミキリの回避行動

次に、マツの自発振動を再現してマツノマダラカミキリに与えたところ、産卵数の増減は見られなかったが、マツ上の定着率は増加し、産卵孔形成や産卵管挿入等の行動について頻度や時間に増減が見られた。このことから、マツノマダラカミキリはマツの自発振動を寄主木の情報として認識することが示唆された。本種はマツの揮発性成分に誘引されて産卵をおこなうが、この揮発性成分に加えて振動を産卵に利用していると考えられる。

(4) 振動による行動制御技術

以上の結果を応用して、振動を樹木等に発生させてマツノマダラカミキリの行動を制御し、産卵の阻害によって行動制御をおこなうことが可能であることが示された。振動を用いた行動制御技術は、カミキリムシだけでなく、振動に感受性のある甲虫や他の害虫種にも広く適用可能となる。

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 15 件)

- ① 高梨琢磨、小島渉、森林昆虫における振動情報の機能解明と害虫防除への応用、木材保存、査読有、2012、印刷中 (掲載確定)
- ② 高梨琢磨、マツノマダラカミキリにおける振動情報の機能解明と防除への応用、査読有、植物防疫、査読有、66 巻、2012、297-299、<http://www.jpapa.or.jp/shuppan/images-txt/20120601.pdf>
- ③ Wataru Kojima, Takuma Takanashi, Yukio Ishikawa. Vibratory communication in the soil: pupal signals deter larval intrusion in a group-living beetle *Trypoxylus dichotoma*. Behavioral

Ecology and Sociobiology, 査読有, 66, 2012, 171-179. DOI: 10.1007/s00265-011-1264-5

- ④ 高梨琢磨、レーザーで樹木の太さの微量変化をはかる、森林科学、査読無、64 巻、2012、39、<http://www.forestry.jp/publish/ForSci/ForSci-index/ForSci64.html>
- ⑤ 高梨琢磨、深谷緑、西野浩史、カミキリムシにおける振動反応性と感覚受容器、査読無、日本音響学会聴覚研究会資料、40 巻、2010、293-296
- ⑥ Takuma Takanashi, Ryo Nakano, Annemarie Surlykke, Haruki Tatsuta, Jun Tabata, Yukio Ishikawa, Niels Skals, Variation in courtship ultrasounds of three *Ostrinia* moths with different sex pheromones, 査読有, PLoS One 5, 2010, e13144. DOI:10.1371/journal.pone.0013144

[学会発表] (計 4 件)

- ① 高梨琢磨、中野亮、昆虫における音・振動情報の機能とその応用、第 14 回バイオミメティクス研究会 (招待講演)、2012 年 2 月 9 日、国立科学博物館 (つくば市)
- ② 高梨琢磨、害虫における音・振動情報の機能解明と振動を用いた防除法の開発、第 10 回日本農学進歩賞受賞者講演 (招待講演)、2011 年 11 月 21 日、東京大学農学部 (文京区)
- ③ 高梨琢磨、振動に対するマツノマダラカミキリの反応性及びマツの振動特性、第 121 回日本森林学会大会 関連集会第 17 回森林昆虫談話会、2010 年 4 月 5 日、筑波大学 (つくば市)
- ④ 高梨琢磨、深谷緑、中野亮、久保島吉貴、神崎菜摘、小池卓二、石田厚、西野浩史、振動に対するマツノマダラカミキリの反応性とマツの「自己」振動の特性、日本応用動物昆虫学会第 54 回大会、2010 年 3 月 26 日、千葉大学 (千葉市)

[図書] (計 4 件)

- ① 高梨琢磨、深谷緑、北隆館、昆虫の発音によるコミュニケーション (宮武頼夫編)、2011、52-64
- ② 高梨琢磨、中野亮、シーエムシー出版、次世代バイオミメティクス研究の最前線 - 生物多様性に学ぶ - (下村政嗣監修)、2011、133-137

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称: 振動により害虫を防除する方法
発明者: 高梨琢磨、大村和香子、大谷英児、

久保島吉貴、森輝夫、小池卓二、西野浩史
権利者：独立行政法人森林総合研究所、電気
通信大学、北海道大学
種類：特許
番号：PCT/JP2010/65398
出願年月日：2010年9月8日
国内外の別：国外

6. 研究組織

(1) 研究代表者

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