

令和 4 年 5 月 29 日現在

機関番号：82105

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H03023

研究課題名(和文) 生物の嗅覚を利用した木材害虫シロアリの新規センシング手法の探求

研究課題名(英文) Exploring novel sensing methods for termites using sense of smell.

研究代表者

大村 和香子 (Ohmura, Wakako)

国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・主任研究員 等

研究者番号：00343806

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 10,400,000円

研究成果の概要(和文)：シロアリ及び関連物質(検定対象)の認識時の探知犬の心拍変動や心音を測定し、探知時のイヌの行動と同時解析することで、探知犬の反応の数値化を試みた。その結果、定常状態と比較して、シロアリ(臭)認識時には探知犬の心拍間隔が短くなる、つまり緊張傾向を示すことが明らかとなった。この緊張傾向は探知犬のStressやInterestの感情とも関係すると考えられた。次に探知犬が反応するシロアリ種を探索したところ、イエシロアリ、ヤマトシロアリ、アメリカカンザイシロアリに反応することが分かった。このことから、シロアリ探知犬は、これら3種のシロアリ種が共通で有するにおい物質に反応していることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

探知犬がシロアリ由来のどのような'におい'を感じて「シロアリだ」と認識するか?という本研究の遂行により、その'におい'の正体=『鍵物質』がわかってきた。『鍵物質』の解明は、『鍵物質』をターゲットとしたバイオセンサーなど人工センサーの開発につながる。これにより高精度なシロアリ探知ができるだけでなく、ヒトとイヌの双方から経済的、精神的負担を取り除くことが可能になる。

研究成果の概要(英文)：We investigated to quantify the response of detection dogs by measuring the heart rate variability and heartbeat of detection dogs when they recognize termites and related substances, and simultaneously analyzing the behavior of dogs during detection. The results showed that, compared to the steady state, the heartbeat interval of the dogs became shorter during termite (odor) recognition, i.e., they showed a tendency toward tension. This nervousness was related to the dogs' feelings of stress and interest. Next, we try to confirm termite species the dogs respond. The detection dogs were able to detect the presence of the termite species, *Coptotermes formosanus*, *Reticulitermes speratus* and *Incisitermes minor*. This suggested that the dogs responded to odorants that these three species have in common.

研究分野：木材保存 化学生態

キーワード：シロアリ におい 嗅覚 探知犬 センシング技術

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

木材の有効利用が進む今日、木造建築物を長期間に亘って使っていくためには、強度低下を引き起こすシロアリ被害の早期検出・対策が、ますます重要な課題となっている。

(1) 現在、警察犬や麻薬探知犬に代表される様々な「におい」探知犬が、シロアリ被害検出にも適用されている。シロアリ探知犬は警察犬や麻薬探知犬と同様、嗅覚が優れ機動力があり且つ人間と相性がよく、高いシロアリ検出能力が認められるため、重宝される反面、トレーニングや維持に多大な時間、費用と労力がかかる。また、犬側にも大きな負担となることが懸念されていることから、その代替となるシロアリ検出技術が求められている。

(2) シロアリ探知犬のトレーニングにはイエシロアリ1種類が用いられる。ここで不思議なのが、シロアリ探知犬をイエシロアリ1種類の「におい」でトレーニングしているにもかかわらず、他のシロアリ種の「におい」にも反応するという現象である。一方、シロアリの捕食性昆虫として知られるオオハリアリやシロアリの営巣箇所へ共棲する好シロアリ性生物のように、本能的にシロアリを探知可能な生物種が知られる。

ではシロアリ探知犬は、シロアリ由来のどのような「におい」を『鍵物質』としてシロアリと認識しているのだろうか？探知犬と捕食性アリ等とは、『鍵物質』は同じなのだろうか？Brooks *et al.* (2003) は、ヤマトシロアリの近縁種 *Reticulitermes flavipes* でトレーニングしたシロアリ探知犬が、北米産シロアリ種には反応するが、ワモンゴキブリやアリには反応しないことを報告している。Brooks らは、シロアリ探知犬がシロアリ類にのみ反応する理由として、供試したシロアリ種に共通する 体表炭化水素(水分の蒸発を防ぐためのワックス) を感知している可能性を指摘しているが、その検証はなされていない。シロアリが有する「におい」物質には未解明な部分が多く、体内成分である脂肪酸類や防御物質のテルペン類には、木材成分と類似したものが多く存在する。このため『鍵物質』として、シロアリの餌である木材の抽出成分にも着目する必要がある。

### 2. 研究の目的

#### (1) 探知犬のシロアリ認識機構の解明

探知犬が、シロアリ由来のどのような「におい」を『鍵物質』としてシロアリと認識しているかを明らかにする。

#### (2) 探知犬の対象物への反応の客観評価法の確立

イヌ用の心拍センサー、心音センサー

#### (3) 探知犬の検出能力に匹敵する新たなセンシング技術の構築

シロアリの捕食性昆虫として知られるオオハリアリなど、本能的にシロアリを探知可能な生物種を用いて、バイオセンサとしての可能性を探る。

### 3. 研究の方法

#### (1) 探知犬による各種昆虫類の嗅ぎ分け実験

探知犬

3頭(品種: ビーグル、性別: オス11歳、オス4歳、メス10歳(2019年末時点))

供試シロアリおよび対照昆虫

・シロアリ種: ヤマトシロアリ、イエシロアリ、アメリカカンザイシロアリ、ダイコクシロアリ、ネバダオオシロアリ、ナカジマシロアリ、スギオシロアリ

・対照昆虫種: オオゴキブリ、ワモンゴキブリ、サツマゴキブリ、クロゴキブリ、クロヤマアリ

検定方法

ルーレット方式による6択試験を適用した。この試験法は、探知犬に毎日『シロアリ臭』を覚えさせる訓練、つまりトレーニングに携わるトレーナーが探知犬のリードを持ち、このルーレットの周りを探知犬を誘導して歩かせ、シロアリが入っている容器を当てさせるときに使用する方法である。なお、シロアリ探知において、探知犬はシロアリ(が入っている容器)を 発見し、それをトレーナーに伝達する 判断した後、トレーナーに 伝達するようにトレーニングされている(図1)。今回は写真に示すように6本のアームの先端1か所のみ の各種シロアリ種を入れた容器を設置し、他の箇所には互いに異なる種類のドッグフードを入れた容器を設置した。なお各試行間のインターバルは3分間とした。



図1 探知犬を使った6択試験の様子と行動パターン

#### (2) 探知犬を利用した検定法の高精度・高信頼性化

供試犬

2頭(品種:ビーグル、性別:メス(同日に産まれた姉妹)、5歳7か月(2021年末時点))

供試シロアリ

イエシロアリおよび関連化合物

検定方法

(1) の試験法を基本とし、以下に示す各種センサを探知犬に固定して実験を行った。探知犬の誘導は(1)同様、トレーナーが行った。なお各試行間のインターバルは10分間とした。

探知犬の反応の客観評価

-1 心拍計測用センサ(前脚基部に接触するよう装着)ならびに加速度センサ(首輪に固定)を取り付け、探知犬の行動をビデオで記録しながらルーレット方式による6択試験を行い、各試験時における探知犬の拍動間隔(RRI: R-R Interval)と動作・行動との関係を比較した。

6本のアームの先端1か所にのみイエシロアリを入れた容器を設置し、他の箇所には互いに異なる種類のドッグフードを入れた容器を設置した状況(1-A)と6か所ともシロアリを入れない状況(1-B)とし、1-Aではシロアリが入った容器を発見するまで、1-Bではルーレットを3周するまでシロアリ探知試験を継続した。本試験には年齢、性別の異なる探知犬3頭を供試し、1-A、1-B各試験につき3回の試行を実施した。

-2 探知犬の背面に心音センサー((株)ラングレス製)を専用ベルトを用いて装着し、試験中の探知犬の行動をビデオで記録しながらルーレット方式による6択試験を行った。ルーレット方式による6択試験法の基本形は、探知犬に毎日『シロアリ臭』を覚えさせる訓練に使用する方法であり、この際に使用されるシロアリは生きたイエシロアリに限定されている。6本のアームの先端1か所にのみ検定対象(生きたイエシロアリ及び関連物質)を入れた容器を設置し、他の箇所には互いに異なる種類のドッグフードを入れた容器を設置した。各試験時における探知犬の動作・行動と心音データから得られる探知犬の心拍数及び数値化した感情(Happy・Interest・Stress)との関係を比較した。

(3) シロアリ探知犬代替のバイオセンサの探索

オオハリアリをターゲットとして、シロアリに対する捕食実験を行った。

#### 4. 研究成果

(1) 探知犬の各種昆虫類への反応結果

イエシロアリ、ヤマトシロアリ、アメリカカンザイシロアリに対しては3頭とも高い反応率を示した。他のシロアリ種に対しては探知犬によって反応が異なったが、ナカジマシロアリに対しては、全頭、反応率が低かった(20-30%程度)。対照昆虫類に関してはほぼ反応しなかった。このことから、イエシロアリ1種類でトレーニングされた探知犬は、ゴキブリ類やアリ類にはなく多くのシロアリ種で共通に持っているニオイに対して反応する、もしくは多くのシロアリ種にないニオイを有している対照物には反応しない、と予想された。

(2) 探知犬の反応の客観評価法の確立

6択試験において、選択肢にシロアリが含まれる1-Aでは選択肢にシロアリが含まれない1-Bと比較して探知犬のRRIが小さい傾向を示した。1-Aの試験においてはシロアリ発見前後でRRI平均値が僅かながら減少する傾向が認められ、その状態は報酬が与えられるまで続いた(図2)。

探知犬の心拍間隔解析(●:心拍間隔、—:心電図、—/—:加速度)

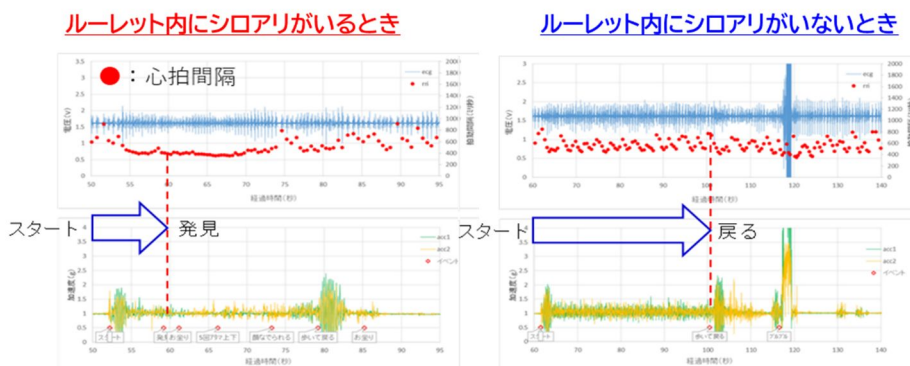


図2 探知犬の心拍間隔解析結果

この結果から、探知犬がシロアリを探知する状況において高い集中・緊張状態にあり、シロアリを発見することによりさらに集中・緊張状態が高まると考えられる。これは『シロアリ臭』を同定していく上で、探知犬のRRIが評価指標となり得ることを示唆するものである。

検定対象としたイエシロアリ及びその関連物質等に対する2頭の探知犬の反応を、その心音

変化を生理応答指標として計測するとともに動画撮影を行い、心音を基にイヌの感情を推定する解析手法を試行すべく、探知犬の心音変化と反応行動を同期解析した。その結果、定常状態と比較すると、検定対象探知時には特に Stress や Interest を示す数値が顕著に変動することが明らかとなった（図3）。

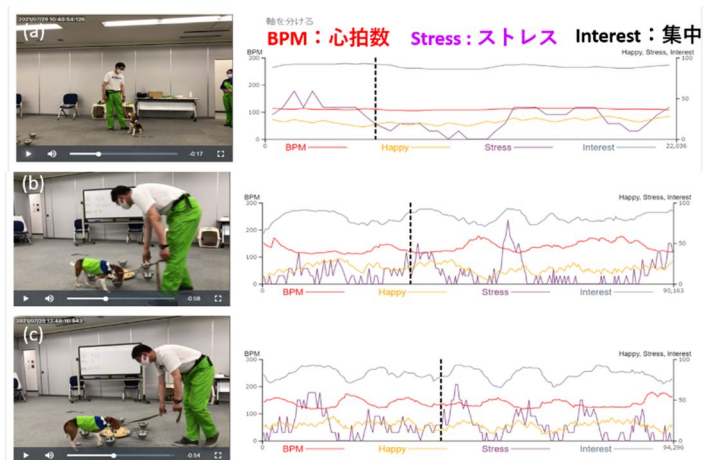


図3 探知犬の心音センサーによる感情解析結果

(3) シロアリ探知犬がシロアリと認識する‘におい’物質群 = 『鍵物質』の特定

(2)の客観評価法を利用し、シロアリ由来の各種関連物質について検定を進めた。その結果、『鍵物質』の候補が限定された。本内容については未発表であり、今後、追試を行い論文として公表する予定である。

(4) シロアリ探知犬代替のバイオセンサの探索

オオハリアリのシロアリ捕食行動実験の結果、オオハリアリはシロアリに 4mm 程度まで近づくと、ようやくシロアリであることを認識し、攻撃を行った。このような観察からオオシロアリのシロアリ認識には、非接触の化学感覚（嗅覚）に加えて接触時の化学刺激受容（味覚）も重要な役割をしている可能性が示唆された。



図4 オオハリアリによるヤマトシロアリ捕食行動



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

|  |                     |
|--|---------------------|
| 1. 著者名<br>大村和香子                        | 4. 巻<br>25          |
| 2. 論文標題<br>生立木におけるシロアリ被害の現状と対策         | 5. 発行年<br>2021年     |
| 3. 雑誌名<br>樹木医学研究                       | 6. 最初と最後の頁<br>26-28 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>なし          | 査読の有無<br>有          |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著<br>-           |

|   |                     |
|---|---------------------|
| 1. 著者名<br>大村和香子                               | 4. 巻<br>44          |
| 2. 論文標題<br>超入門「木造建築物の耐久性」劣化因子（シロアリ）による被害とその兆候 | 5. 発行年<br>2021年     |
| 3. 雑誌名<br>住宅と木材                               | 6. 最初と最後の頁<br>26-29 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>なし                 | 査読の有無<br>無          |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難        | 国際共著<br>-           |

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>箕浦るん、佐々木伸也、丸山省吾、大村和香子、神原広平、大平辰朗、楠本倫久 |
| 2. 発表標題<br>シロアリ探知犬を用いた探知実験について                  |
| 3. 学会等名<br>日本環境動物昆虫学会                           |
| 4. 発表年<br>2019年                                 |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>大村和香子、神原広平、大平辰朗、楠本倫久、箕浦るん、佐々木伸也、丸山省吾      |
| 2. 発表標題<br>生物嗅覚を利用したセンシング技術の探求（I） シロアリ探知時の探知犬の反応特性解析 |
| 3. 学会等名<br>日本木材学会                                    |
| 4. 発表年<br>2020年                                      |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>大村和香子、神原広平、楠本倫久、大平辰朗、箕浦るん、佐々木伸也、下山 当、丸山省吾       |
| 2. 発表標題<br>生物嗅覚を利用したセンシング技術の探求(II) - 心音センサーによるシロアリ探知犬の反応評価 |
| 3. 学会等名<br>日本木材学会  |
| 4. 発表年<br>2021年  |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

|       | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号)                          | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号)                                | 備考 |
|-------|--|--|----|
| 研究分担者 | 大平 辰朗<br><br>(Ohira Tatsuro)<br><br>(40353619)     | 国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・主任研究員 等<br><br><br>(82105) |    |
| 研究分担者 | 神原 広平<br><br>(Kambara Kohei)<br><br>(60727577)     | 国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・主任研究員 等<br><br><br>(82105) |    |
| 研究分担者 | 楠本 倫久<br><br>(Kusumoto Tomohisa)<br><br>(80537168) | 国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・主任研究員 等<br><br><br>(82105) |    |

|       | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号)  | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号) | 備考 |
|-------|----------------------------|-----------------------|----|
| 研究協力者 | 箕浦 るん<br><br>(Minoura Run) |                       |    |

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 |
|---------|---------|
|---------|---------|