

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 14 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26450229

研究課題名(和文) 木材および竹材加害昆虫の摂食活動の可視化

研究課題名(英文) Visualization of Feeding Activity of Wood or Bamboo Destroying Insect

研究代表者

築瀬 佳之 (Yanase, Yoshiyuki)

京都大学・農学研究科・助教

研究者番号：00303868

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：木材および竹材加害昆虫のチビタケナガシクイ、ヒラタキクイムシ、アフリカヒラタキクイムシ、ホソナガシクイ、アメリカカンザイシロアリの5種では、非破壊的に摂食活動をモニタリングし多くの知見を得ることができた。特に、竹材中での産卵 - 幼虫 - 成虫の各ステージにおけるチビタケナガシクイの生活史をマイクロフォーカスX線CTおよびアコースティック・エミッション(AE)法によって可視化することができた。

研究成果の概要(英文)：Much finding was provided by monitoring the feeding activity of five wood or bamboo destroying insects of *Lyctus brunneus*, *Lyctus africanus*, *Heterobostrychus aequalis*, *Dinoderus minutus*, and *Incisitermes minor*, nondestructively. Especially, it was possible to visualize the life cycle of *Dinoderus minutus* in each stage of the oviposition-larva-adults in bamboo by microfocus X-ray CT and acoustic emission (AE) monitoring.

研究分野：木質科学

キーワード：木材および竹材加害昆虫 摂食活動解析 マイクロフォーカスX線CT アコースティック・エミッション
木材保存 非破壊モニタリング

1. 研究開始当初の背景

日本の建築物は木造建築物はさることながら、他の建築物においても木材、竹材、紙や天然繊維などの有機質が多く使用されており、気候が温暖な日本では、虫害や腐朽などの生物劣化を受けやすい。とりわけ建造されてからの経過年数が長い、建物規模が大きい、維持管理の手法が確立されていないなどの理由で、生物劣化が甚大化しやすい。この問題は昨今頻発傾向にある大地震の際に、本来なら構造上安定している建築物でも虫害や腐朽があると簡単に倒壊してしまうことが解明されつつあり、徐々に強く認識されはじめてきた。また建築物への生物劣化対策としては、忌避や予防効果のある化学薬剤による処理が主流を始めていたが、昨今、環境や人体への影響の懸念、薬剤の有効持続期間やコストなどに関する技術的な課題を背景として、新しい維持管理体制の構築が模索されつつある。維持管理において最も重要なポイントは、生物劣化の早期発見と早期処置であるが、実際の建築物において、特に木材や竹材を摂食 (= 加害) する昆虫の行動生態に関する体系的な研究は少なく、森林環境あるいは、実験室環境での行動生態を木造建築物内の環境に当てはめることによって対応されてきた。その理由は、木材・竹材内での加害昆虫の摂食行動を観察することが困難だからである。そのため、実際の木材・竹材中で活動する昆虫の摂食行動を継続的にモニタリングし、可視化する手法の開発が求められている。

2. 研究の目的

研究代表者は、これまでシロアリが木材内部を食害する時に発生する微弱な超音波領域の振動であるアコースティック・エミッション(AE)を検出し、木材内部で進行しつつある虫害を非破壊で検出する研究や、シロアリから発生する代謝ガスを半導体式ガスセンサを用いて検出する研究を行い、その研究成果を実用的に発展させる研究を行った。そしてこれらの研究は、木材や竹材を加害するシバンムシ類、キクイムシ類、ナガシクイムシ類などの甲虫類にも適用が可能であることは推察されたが、その際、既往の研究を調査した時に、木材や竹材内部での摂食活動に関する知見がほとんど得られず、薬剤処理による防除に関する知見のみが得られる結果となった。一方、代表者は現在、シロアリ食害を受けた木材の残存強度を評価する研究も行っており、そこでは大型 X 線 CT 装置を用いて木材内部の食害によって空洞化した部分の可視化および空隙体積と残存強度の関係について評価してきた。分解能が低い X 線 CT 装置では内部の空隙は可視化できるが、シロアリそのものを可視化するにはより高分解能の装置が必要となった。そこで代表者の所属機関保有のマイクロフォーカス X 線 CT 装置を用いることによって、木

材・竹材穿孔昆虫の可視化と継続的な摂食活動のモニタリングが期待できると考えた。これまでの研究成果をもとに、本研究では、目視できない木材・竹材中で活動する加害昆虫を、外的刺激を与えることなく、継続的にモニタリングし、可視化する手法を確立し、木造建築物内の昆虫行動生態を解明する基礎的かつ体系的な研究を行った。

3. 研究の方法

(1) 木造建築物における加害様式の特徴

目視による被害調査では、基本的には木材・竹材内で幼虫が食害をした後、成虫となって外部へ脱出する際の脱出孔の分布や数を把握し、加害様式の特徴の抽出を行う。すでにケブカシバンムシ以外は人工飼育が可能となっているが、できるだけ、生息環境を維持したままの対象昆虫を利用することが本研究を遂行するための条件にもなるため、調査の際に被害材を収集し、以後の研究で利用できる個体の確保を試みた。確保した個体はそれぞれ木材・竹材とともに恒温恒湿器内で飼育し、外部からの刺激を与えないよう慎重に保管した。

(2) 木材・竹材穿孔昆虫の摂食活動の特徴

既往の研究にて、シロアリが木材を摂食する際に発生する微弱な超音波振動 (アコースティック・エミッション(AE)) を木材表面に取り付けた高感度 AE センサで検出し、同時にシロアリの顎部分をマイクロスコップで拡大撮影し、木材の摂食様式と信号波形の関係を明らかにした。この方法を利用し、対象昆虫の幼虫を木材・木質材料または竹材の小試験片に摂取し、摂食行動を動き解析マイクロスコップで観察すると同時に、AE 計測を行い、両者の関係を明らかにすることを試みた。

(3) 継続的モニタリングによる摂食行動生態の把握と摂食速度および摂食量

木材・木質材料および竹材に各対象昆虫の幼虫を摂取し、AE 計測システムを用いて AE 振動の連続計測を行う。特にこの計測では、シロアリとは異なり、各幼虫は木材・竹材を餌として摂食しながら、脱皮を繰り返し、最終的には蛹を経て、成虫となって材から脱出するため、摂食活動に伴う AE の発生が脱皮中や蛹の段階では停止し、成虫として脱出することで完全に AE 発生が停止するという結果が期待される。そのため、幼虫から成虫になるまでの期間や、脱皮や蛹の状態の期間を、生息環境を維持した状況で把握することを試みた。

AE 計測と並行して、マイクロフォーカス X 線 CT 装置を用いて、定期的に木材・竹材中の幼虫および摂食による空隙部分の撮像を行う。定期的に撮像した CT 画像から、各幼虫個体の摂食速度 (1 日に当たりの摂食距離) と摂食量 (1 日当たりの摂食体積) を算出した。

特に、チビタケナガシンクイは幼虫のみならず成虫も竹材を摂食することが知られているため、その摂食行動生態の違いを AE 計測と X 線 CT 撮像によって解析した。

4. 研究成果

(1) X 線 CT を用いた 3 種の木材穿孔昆虫の成長過程と摂食活動の可視化
 木材穿孔昆虫のヒラタキクイムシ (*Lyctus brunneus*)、アフリカヒラタキクイムシ (*Lyctus africanus*)、ホソナガシンクイ (*Heterobostrychus aequalis*) の幼虫を接種したパラゴムノキ属 (*Hevea* spp.)、またはミズナラ (*Quercus crispula*) の試料を定期的に X 線 CT 装置を用いて撮像した結果を図 1 に示す。試料内部で、幼虫 - 蛹 - 成虫へと成長する過程が可視化され、各成長ステージの期間もおおよそ把握できた。

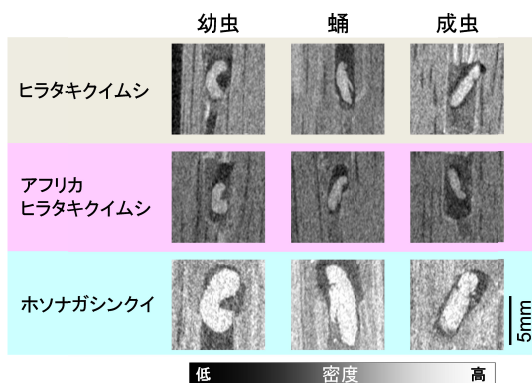


図 1. 各成長過程の CT 画像

定期的な CT 撮像から算出した、試料中での各幼虫個体の穿孔距離と穿孔体積を図 2, 3 に示す。ホソナガシンクイについては全ての個体が穿孔せずに成虫になった、または死滅したため計測はできなかった。穿孔距離、穿孔体積とも試料へ幼虫を封入してから時間とともに増加した。また脱皮に伴う活動停止期間中は穿孔距離と穿孔体積の増加も停止することがわかった。この停止期間の回数を計数することによって、幼虫の齢を推測することが可能であるが、今回は試験開始時の幼虫の齢が不明であったため、齢の推測には至らなかった。ただし、後述のチビタケナガシンクイについては産卵後の卵の採取に成功したため、1 齢幼虫を試料に封入することができ、幼虫の齢を測定することができた。

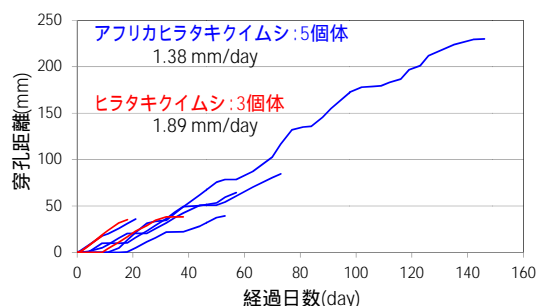


図 2. 各幼虫個体の穿孔距離の推移

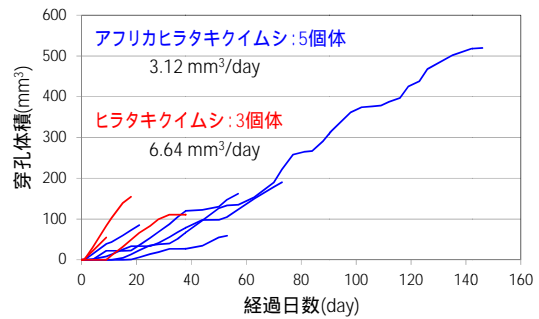


図 3. 各幼虫個体の穿孔体積の推移

(2) チビタケナガシンクイの摂食活動のモニタリングと摂食速度および摂食量
 竹材中でのチビタケナガシンクイ (*Dinoderus minutus*) の幼虫の摂食活動をマイクロSCOPEで観察し、同時に AE 計測を行った結果の例を図 4 に示す。この結果より、幼虫が口器を使って竹材をかじり取る時のみ (図 4 右) AE 波が検出されること (図 4 左) が視覚的に証明された。

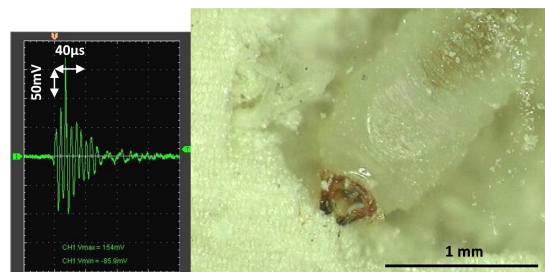


図 4. 幼虫の摂食活動に伴って発生する AE 波

産卵後の卵から孵化した 1 齢幼虫を竹材に接種し、幼虫 - 蛹 - 成虫へと成長する期間、連続的に AE 計測を行った結果を図 5 に示す。CT 撮像結果と同様に、脱皮期間と蛹期間は摂食活動の停止に伴って AE 発生も停止することがわかり、脱皮期間ごとに齢数が増えることからチビタケナガシンクイの幼虫は 7 か 8 齢が終齢であることが明らかとなった。

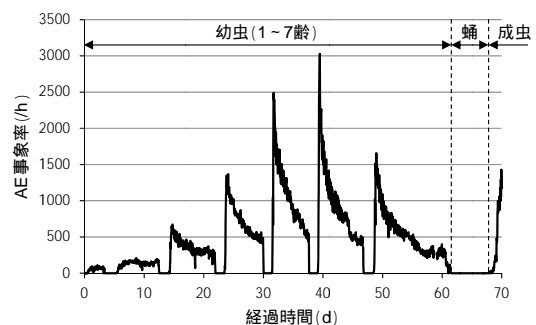


図 5. 一個体における AE 事象率の時間変化

X 線 CT 撮影に供した 7 個体の、蛹化までの穿孔長さや体積の推移を図 6 に示す。穿孔長さの増加率は時間とともに大きくなる傾向がみられたが、蛹化直前は減少した (図 6a)。1 個体の全幼虫期間の穿孔長さは平均 80.0 mm であった。穿孔体積は、若齢幼虫時の増加率

はわずかであったが、約 30 日後からは著しく増加した(図 6b)。1 個体の全幼虫期間の穿孔体積は平均 67.7 mm³であった。接種後から前蛹または蛹が確認されるまでの期間(幼虫期間)は平均 54 日、接種後から羽化が確認されるまでの期間(幼虫・蛹期間)は平均 59 日であった。

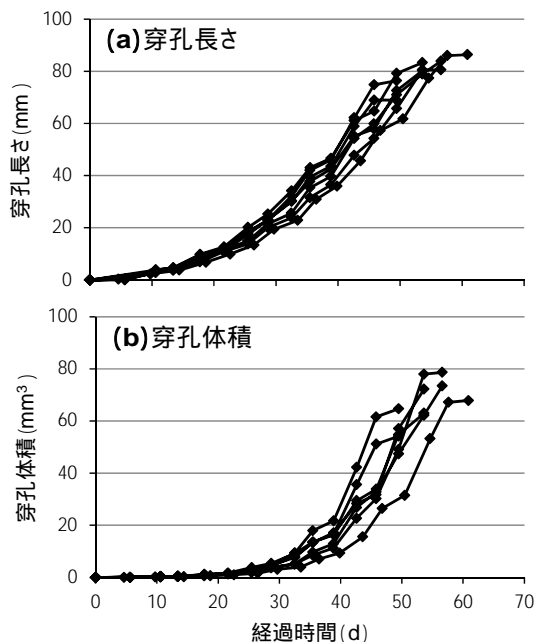


図 6. CT 画像より算出された、幼虫期間における穿孔長さおよび穿孔体積の時間変化

<引用文献>

森 拓郎, 築瀬佳之, 村上了, 香束章博: 中越沖地震における住宅の被害調査と生物劣化の報告, しろあり, No.149; 11-19, 2008

Yanase Y, 他 4 名. Detection of AE generated by the feeding activity using PVDF (Polyvinylidene fluoride) film. Forest Prod J 48:43-46(1998)

築瀬佳之, 他 4 名. AE モニタリングによるアメリカカンザイシロアリの食害検出. 環動昆 12: 53-67(2001)

Yanase Y, 他 4 名. Evaluation of the concentrations of hydrogen and methane emitted by termite using a semiconductor gas sensor. J Wood Sci 59:243-248 (2013)

Yanase Y, 他 3 名. Detection of metabolic gas emitted by termites using semiconductor gas sensors. Forest Prod J 62:579-583 (2012)

Matsuoka, 他 4 名. Relationship between the type of feeding behavior of termites and the acoustic emission (AE) generation. Wood Research 83:1-7(1996)

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 10 件)

Himmi S K, Yoshimura T, Yanase Y, Oya M, Torigoe T, Akada M, Imazu S, Nest-Gallery Development and Caste Composition of Isolated Foraging Groups of the Drywood Termite, *Incisitermes minor* (Isoptera: Kalotermitidae), Insects, 査読有、7(3), 2016 doi:10.3390/insects7030038

森 拓郎, 田中 圭, 毛利悠平, 築瀬佳之, 井上正文, 五十田博, シロアリ食害を受けた木材に打ち込まれた木ねじ接合部の残存耐力に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, 査読有、81(725), 1113-1120, 2016

Hiroki Watanabe, Yoshiyuki Yanase, Yoshihisa Fujii, Relationship between the movements of the mouthparts of the bamboo powder-post beetle *Dinoderus minutus* and the generation of acoustic emission, Journal of Wood Science, 査読有、62(1), 85-92, 2016

S. Khoirul Himmi, Tsuyoshi Yoshimura, Yoshiyuki Yanase, Takuro Mori, Toshiyuki Torigoe, Setsuo Imazu, Wood anatomical selectivity of drywood termite in the nest-gallery establishment revealed by X-ray tomography, Wood Science and Technology, 査読有、50(3), 631-643, 2016

築瀬佳之, シロアリが木材をかじる音(振動)を聴く - 摂食時に発生するアコースティック・エミッションの検出 -, 昆虫と自然, 査読有、50(10), 34-38, 2015

Hiroki Watanabe, Yoshiyuki Yanase, Yoshihisa Fujii, Evaluation of larval growth process and bamboo consumption of the bamboo powder-post beetle *Dinoderus minutus* using X-ray computed tomography, Journal of Wood Science, 査読有、61(2), 171-177, 2015

Himmi S K, Yoshimura T, Yanase Y, Oya M, Torigoe T, Imazu S, X-ray tomographic analysis of the initial structure of the royal chamber and the nest-founding behavior of the drywood termite *Incisitermes minor*, Journal of Wood Science, 査読有、60(6), 453-460, 2014

築瀬佳之, 森 拓郎, 吉村 剛, 藤原裕子, 藤井義久, 鳥越俊行, 今津節生, アメリカカンザイシロアリ食害材の空隙率と残存曲げ強度の関係, 材料, 査読有、63(4), 320-325, 2014

[学会発表](計 31 件)

渡辺祐基, 築瀬佳之, 藤井義久, X線 CT および AE 法によるチビタケナガシクイの産卵行動の非破壊評価、第 67 回日本木材学会大会、2017 年 3 月 17~19 日、九州大学(福岡県・福岡市)

渡辺祐基, 築瀬佳之, 藤井義久, チビタケナガシクイの産卵行動の非破壊評価手法の検討、第 28 回日本環境動物昆虫学会年次大会、2016 年 11 月 12~13 日、信州大学(長

野県・上田市)

築瀬佳之、森 拓郎、上田陽太、平成 28 年熊本地震における木造住宅の生物劣化調査、第 28 回日本環境動物昆虫学会年次大会、2016 年 11 月 12~13 日、信州大学(長野県・上田市)

Hiroki Watanabe, Yoshiyuki Yanase, Yoshihisa Fujii, Nondestructive evaluation of development and feeding of the bamboo powderpost beetle *Dinoderus minutus* using X-ray CT and acoustic emission monitoring, The XXV International Congress of Entomology, 25-30 Sep. 2016, Orlando (The USA)

Hiroki Watanabe, Yoshiyuki Yanase, Yoshihisa Fujii, Evaluation of larval feeding activity of the bamboo powder-post beetle *Dinoderus minutus* using acoustic emission monitoring, International Symposium on Wood Science and Technology 2015 (IAWPS 2015), 15-17 Mar. 2016, Tokyo (Japan)

築瀬佳之、渡辺祐基、藤井義久、藤本いずみ、吉村 剛、マイクロフォーカス X 線 CT を用いた木材穿孔昆虫の摂食過程の可視化、第 66 回日本木材学会大会、2016 年 3 月 27~29 日、名古屋大学(愛知県・名古屋市)

渡辺祐基、築瀬佳之、藤井義久、X 線 CT および AE 法によるチビタケナガシクイの卵から成虫までの発育と摂食活動の評価、第 66 回日本木材学会大会、2016 年 3 月 27~29 日、名古屋大学(愛知県・名古屋市)

築瀬佳之、渡辺祐基、藤井義久、藤本いずみ、吉村 剛、マイクロフォーカス X 線 CT による木材中のヒラタキクイムシおよびアフリカヒラタキクイムシ幼虫の摂食過程の可視化、第 27 回日本環境動物昆虫学会年次大会、2015 年 11 月 28~29 日、関西大学(大阪府・吹田市)

渡辺祐基、築瀬佳之、藤井義久、AE モニタリングによるチビタケナガシクイの摂食活動の非破壊評価、第 27 回日本環境動物昆虫学会年次大会、2015 年 11 月 28~29 日、関西大学(大阪府・吹田市)

渡辺祐基、築瀬佳之、藤井義久、チビタケナガシクイの幼虫の成長と摂食活動の X 線 CT および AE モニタリングによる非破壊評価、(公社)日本木材保存協会 第 31 回年次大会、2015 年 5 月 26~27 日、メルパルク東京(東京都・港区)

渡辺祐基、築瀬佳之、藤井義久、AE 法によるチビタケナガシクイの摂食活動の評価 幼虫の口器の動きと AE 発生の関係、第 65 回日本木材学会大会、2015 年 3 月 16~18 日、タワーホール船堀(東京都・江戸川区)

S. Khoirul Himmi, Tsuyoshi Yoshimura, Yoshiyuki Yanase, Masao Oya, Toshiyuki Torigoe, Setsuo Imazu, The monitoring of the nest-gallery development by colony invasion of the drywood termite,

Incisitermes minor, using X-ray Tomography, 第 65 回日本木材学会大会、2015 年 3 月 16~18 日、タワーホール船堀(東京都・江戸川区)

築瀬佳之、森 拓郎、鈴木 遥、ジョグジャカルタにおける伝統的ジョグロ建築物の生物劣化調査、第 26 回日本環境動物昆虫学会年次大会、2014 年 11 月 29~30 日、長崎大学(長崎県・長崎市)

渡辺祐基、築瀬佳之、藤井義久、顕微鏡観察と AE モニタリングによるチビタケナガシクイの摂食活動の解析、第 26 回日本環境動物昆虫学会年次大会、2014 年 11 月 29~30 日、長崎大学(長崎県・長崎市)

S. Khoirul Himmi, Tsuyoshi Yoshimura, Yoshiyuki Yanase, Masao Oya, Toshiyuki Torigoe, Setsuo Imazu, Nest-gallery development of *Incisitermes minor*: an insight of colony fusion in the early stage of new, 第 26 回日本環境動物昆虫学会年次大会、2014 年 11 月 29~30 日、長崎大学(長崎県・長崎市)

Yanase Y, Mori T, Yoshimura T, Prihatmaji YP, Sulisty J, Doi S, Nondestructive Detection of Biodeterioration in Indonesian Traditional Wooden Construction of 'Joglo' Using Ultrasonic Technology, 45th International Research Group on Wood Protection Annual Meeting, 11-15 May 2014, St. George (The USA)

Hiroki Watanabe, Yoshiyuki Yanase, Yoshihisa Fujii, Observation of Boring Process of Larvae of the Bamboo Powder-post Beetle (*Dinoderus minutus*) Using X-ray Computer Tomography, 45th International Research Group on Wood Protection Annual Meeting, 11-15 May 2014, St. George (The USA)

築瀬佳之、藤原裕子、藤井義久、森 拓郎、吉村 剛、鳥越俊行、今津節生、X 線 CT 装置を用いたアメリカカンザイシロアリの可視化および食害材の空隙率と残存曲げ強度の関係、(公社)日本木材保存協会 第 30 回年次大会、2014 年 5 月 27~28 日、メルパルク東京(東京都・港区)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕
出願状況(計 0 件)
取得状況(計 0 件)

〔その他〕

6. 研究組織

(1) 研究代表者

築瀬 佳之 (YANASE, Yoshiyuki)
京都大学・大学院農学研究科・助教
研究者番号: 00303868