

令和 6 年 6 月 20 日現在

機関番号：13801

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K05705

研究課題名（和文）食材性昆虫の残渣を利用した新たな木質ナノマテリアルの探索

研究課題名（英文）Discovering new nano-material from frass of xylophagy insects

研究代表者

小堀 光 (Kobori, Hikaru)

静岡大学・農学部・准教授

研究者番号：20612881

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）：食材性昆虫のフラスの利用を目的として、コガネムシ科、クワガタムシ科、カミキリムシ科等の幼虫が産生したフラスの形態および化学的特徴の検証を行った。近赤外分光分析、ホロセルロース定量、熱重量分析等から、クワガタムシ科およびカミキリムシ科幼虫が産生したフラスは穿孔材と比較して、ヘミセルロースとセルロースの分解が認められた。クワカミキリ幼虫のフラス産生速度は孵化後50日未満では 0.062 ± 0.018 g/週であった。マルクビケマダラカミキリ幼虫の産生したフラスの熱圧すると自己接着し、成型体の割裂引張強度は3 MPa以上を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

食材性昆虫のフラスのマテリアル利用の可能性を探索するために、カミキリムシ科をはじめとするいくつかの食材性昆虫のフラスの基本的な構造的、化学的特徴を明らかにした。また、フラス産生速度やフラスを原料とした成型体の試作を通じて、フラスの生産システムや利用方法に関する知見を得た。これまで資源としてほとんど顧みられなかった食材性昆虫およびフラスを、将来的に有効活用するための基礎的な知見が得られた。

研究成果の概要（英文）：The morphological and chemical characteristics of the frass produced by larvae of the families Coccinellidae, Lucanidae and Cerambycidae were examined with the aim of exploiting the utilization. Near-infrared spectroscopy, holocellulose determination and thermogravimetric analysis showed that the frass produced by Lucanidae and Cerambycidae larvae were degraded in hemicellulose and cellulose compared to wood itself. The production ratio of frass by *Apriona japonica* larvae less than 50 days after hatching was 0.062 ± 0.018 g/week. The frass produced by the larvae of *Trichoferus campestris* were self-adhesive when subjected to heat pressure, and the molded material showed greater than 3 MPa of tensile strength.

研究分野：木質科学

キーワード：食材性昆虫 フラス マテリアル利用

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

木材は地球上最大の貯蔵量を占める生物材料であり、古くから様々な用途に利用されてきた。原木をほぼそのまま利用する構造用部材から、リグニンを除去してセルロース繊維に解繊して製造される紙まで、様々な寸法、加工度のものが存在する。一般に構成要素(エレメント)が小さいものは、小径木や林地残材等、低級な原木を利用できる一方で、物理化学的な処理に対する環境負荷やエネルギーコストが高くなる傾向にある。特に近年利用が拡大しているセルロースナノファイバー(CNF)やセルロースナノクリスタル(CNC)など、木材から特定の成分のみを利用し、ナノレベルまで解繊する場合、そのコストが大きな問題となる。

食材性昆虫は、木材に穿孔しこれを直接食糧として摂食したり、二次的に利用する昆虫の総称である。食材性昆虫の木材利用形態は摂食する樹種やその箇所、体内に持つ分解酵素などによって異なるが、自然界において木質バイオマスの物質循環に重要な役割を果たしている。カシノナガキクイムシ *Platypus quercivorus* は体長 5 mm 程度の微小昆虫であるが、本種の大発生によりブナ科樹木の枯死が全国的に広がるなど、食材性昆虫は森林生態系に大きなインパクトを与えている存在である。一方で人間の生活において、食材性昆虫は少数に限られた地域で栄養源として食用にされる以外、いわゆる害虫とみなされることが多い。木造建築においてはシロアリの食害が古くから重大な問題であるし、スギカミキリ *Semanotus japonicus* によるスギ人工林の食害や、ヤツバキクイムシ *Ips typographus japonicus* のエゾマツ食害に伴う枯死など、いくつかの種が林産業界に経済的損失を与えてきた。近年では近年ではクビアカツヤカミキリ *Aromia bungii* やケブカトラカミキリ *Hirticlytus comosus* などの分布拡大により、サクラやイヌマキなどの街路樹の枯死が問題になっている。

食材性昆虫は、穿孔する過程で、大顎により木材を物理的に粉碎するとともに、消化酵素や腸内共生細菌の働きにより木粉表面に化学変性を生じさせる。上述の通り一口に食材性昆虫と言っても、種類によって穿孔対象となる樹種は様々であるし、大顎の形状や消化様式により、物理的解繊の程度や化学変性も多岐にわたる。食材性昆虫の摂食による木材の物理的・化学的变化を工業的視点で鑑みれば、昆虫(群)は木材の微小な処理工場とみなすことができる。食材性昆虫の残渣に着目した研究としては、シロアリの高い分解能力を用いて木材を食料転換する試みや、クワガタムシ科が体内に備える菌嚢から分離された酵母を使用したバイオエタノール産生の試みが行われているが、材料としての利用可能性は積極的にはなされていない。しかしながら、社会における木材の利用形態がますます微細化する傾向にある中、種ごとに異なる粉碎様式や化学変性を生じさせる食材性昆虫は、CNFをはじめとする新たな素材の原料生産システムとして有用ではないかと考えた。

2. 研究の目的

本研究では、木部に穿孔する様々な食材性昆虫のフラス(穿孔時の削りくずや糞)を、新たな素材の原料として利用可能であるかを探索するために、残渣の特徴や産生速度を把握することを目的とした。まずいくつかの食材性昆虫のフラスを採取し、基本的な特徴を電子顕微鏡観察や近赤外分光分析により評価した。次に候補となるカミキリムシ科のマルクビケマダラカミキリ *Trichoferus campestris* およびクワカミキリ *Apriona japonica* について、より詳細な形態の調査と、フラス産生速度の評価を行った。さらに、マルクビケマダラカミキリのフラスについては金型による熱圧成型を行い、成型体の割裂引張強度を評価した。

3. 研究の方法

カブトムシ *Trypoxylus dichotomus*、コクワガタ *Dorcus rectus*、マルクビケマダラカミキリ、クワカミキリの幼虫について、走査型電子顕微鏡によるフラスの形状を観察した。また、フラスおよび穿孔材の近赤外分光反射スペクトルを測定し、穿孔材とフラスの構成成分の変化を簡易的に評価した。クワカミキリにおいては、孵化後の幼虫をヤマグワ *Morus australis*、ヒメコウゾ *Broussonetia kazinoki* およびイヌビワ *Ficus erecta* の3-4年生枝(直径 10~20 mm)に穿孔させ、25°C、65%RHの全暗条件下で飼育しながら、定期的に排出されたフラスを採取し重量を測定した。50日目以降はブナ *Fagus* sp. 材に穿孔させて同様の計測を行った。マルクビケマダラカミキリのフラスについては、様々な種類の穿孔材から得られたフラスごとに篩震盪による粒度分布測定を行うとともに、亜塩素酸塩法に基づき木粉とフラスのホロセルロース量を定量した。さらにマルクビケマダラカミキリのフラスを内径 14 mm、高さ 3 mm のステンレス製金型に充填して 190°C、面圧力 150 MPa で 20 分間熱圧した。成型した試験体を荷重変位速度 10 mm/min.の半径圧縮試験に供し、最大荷重から割裂引張強度を算出した。

4. 研究成果

各種フラス表面の走査型電子顕微鏡画像を図 1 に示す。いずれのフラスも複数のより小さな木粉が凝集して粒状構造をなしており、各々の木粉は数 μ ~ 数十 μ m 程度であり、一部にはより細かな毛羽立ち構造が認められた。また、凝集物内における各々の木粉の配向は一定ではなかった。

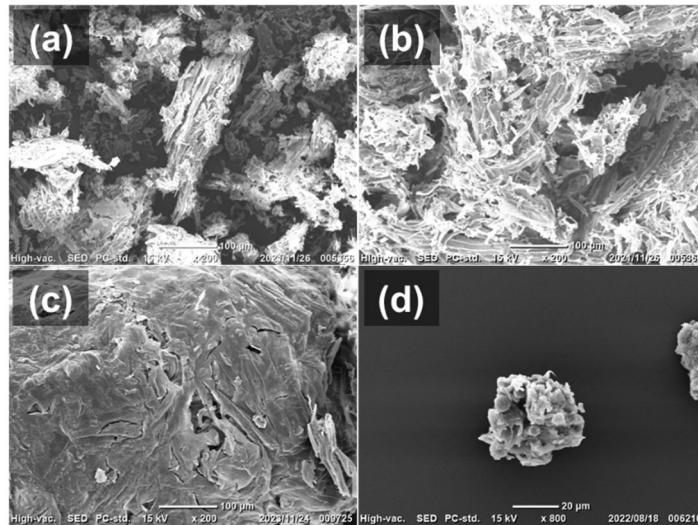


図 1. 各種フラスの電子顕微鏡画像 (a) カブトムシ (b) コクワガタ (c) クワカミキリ (d) マルクビケマダラカミキリ マルクビケマダラカミキリのみ 800 倍、その他は 200 倍

フラスと穿孔材の近赤外スペクトルを比較したところ、いずれのフラスにおいてもヘミセルロースに帰属される吸収ピークに変化が認められたことから、これらの種はヘミセルロース分解活性があることが示唆された。また、カブトムシ以外はセルロースの吸収ピークに減少が認められたことから一部のセルロースが分解されていることが示唆された。ただしコクワガタフラスのセルロース分解は白色腐朽菌によるものと考えられる。一例としてタラノキとマルクビケマダラカミキリが産出したフラスの近赤外スペクトルを図 2 に示す。

クワカミキリにおいては、穿孔材であるヤマグワ、ヒメコウゾおよびイヌビワからそれぞれ作成した木粉のスペクトルの分散と、3 穿孔材から得られたフラスのスペクトルの分散を比較したところ、フラスのスペクトル分散が木粉のスペクトル分散よりも小さくなった。このことから、異なる樹種の木部を摂食させても、成分組成や形状が似たフラスが得られることが示唆された。

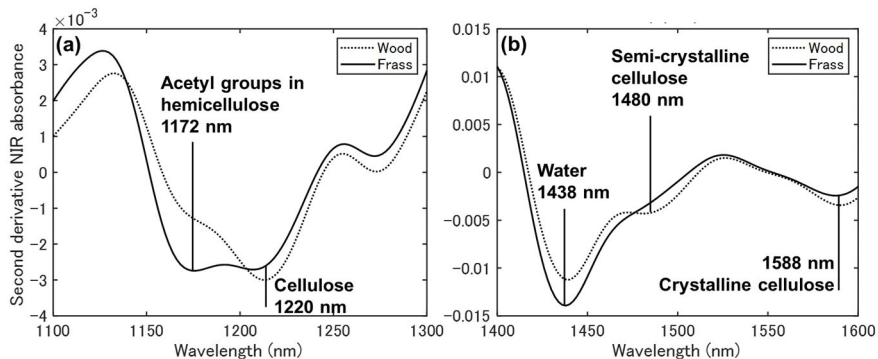


図 2. タラノキ *Aralia elata* 木粉とマルクビケマダラカミキリフラスの近赤外スペクトル

クワカミキリ幼虫を用いたフラス産生速度は、孵化後 25-49 日までは 0.062 ± 0.018 g/week, 50 日目以降では 0.118 ± 0.021 g/week であった。図 3 にクワカミキリ幼虫の孵化後日数とフラス産生量の関係を示す。孵化後日数が経過するにつれて産生速度は上昇するが、フラス産生量のばらつきも大きくなった。

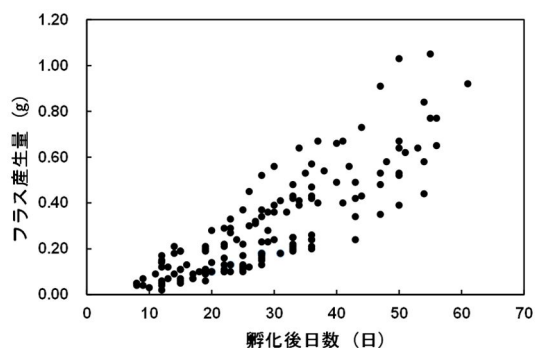


図 3. 孵化後日数に伴うクワカミキリ幼虫のフラス産生量の推移

篩震盪によるマルクビケマダラカミキリのフラスの粒度分布を示す。多くの樹種において、90～355 μm の範囲のフラスが大部分を占めた。この粒度電子顕微鏡観察の結果からもわかる通り、凝集物としての粒度分布である。この中でアズキナシ *Aria alnifolia* のフラスは他のものと異なり、粒度の小さい分画の割合が高かった。このような樹種間の粒度の違いが穿孔材の組織構造に依存しているかは、さらなる検証が必要である。

各種穿孔材とマルクビケマダラカミキリ幼虫のフラスのホロセルロース量をを比較したところ、フラスの方がややホロセルロース量が減少した(図5)。また、熱重量分析における DTG 曲線から、フラスではヘミセルロースおよびセルロースのピークの減少が認められた。これらの結果と前述の近赤外分光分析の結果を統合すると、マルクビケマダラカミキリのフラスは、ヘミセルロースとセルロースの一部が分解を受けている一方で、リグニンはほとんど分解されていないことが示唆された。

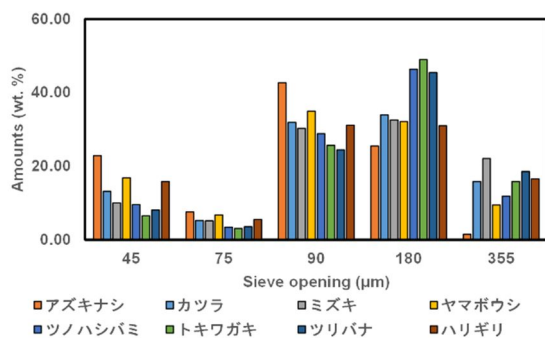


図 4. マルクビケマダラカミキリ幼虫が産生したフラスの樹種別粒度分布

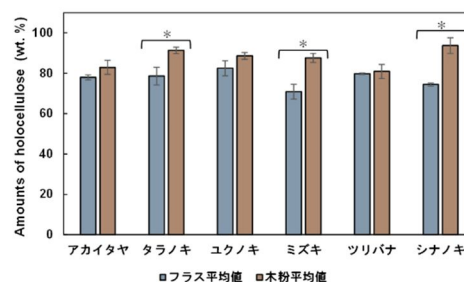


図 5. マルクビケマダラカミキリフラスと穿孔材のホロセルロース量

マルクビケマダラカミキリが産生したフラスを目標密度 1 g/cm³、190 °C、面圧力 150 MPa で 20 分間熱圧したところ、フラスは自己接着を発現し固形物が成型された(図6)。この成型体を半径圧縮試験に供した結果、3 MPa 以上の割裂引張強度を示した。同様の条件で熱圧したスギ木粉は造粒物の挙動を示さなかったことから、このフラスは自己接着性能が高いと考えられた。近赤外分光分析、熱重量分析及びホロセルロース定量の結果より、マルクビケマダラカミキリのフラスでは、数 μ～数十 μm の木粉に解繊され、かつヘミセルロース及びセルロースの一部が分解・変性している一方でリグニンはほとんど分解を受けていないと考えられる。このような物理的、化学的变化は、熱圧時における自己接着性能の発現に寄与していると考えられた。



図 6. 熱圧成型体の破壊性状

引用文献

- 岩田隆太郎, 木質昆虫学序説, 九州大学出版会, 2015
 福田健二, 樹木医学入門, 朝倉書店, 2021, 131-132
 松浦健二, ムーンショット型農林水産研究開発事業、課題番号 20347572
 Jeffries TW. Engineering yeasts for xylose metabolism. *Curr Opin Biotechnol.* 2006 Jun;17(3):320-6
 Schwanninger M., Rodrigues JC., Fackler K., A review of band assignments in near infrared spectra of wood and wood components, *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 19, 2011, 287-308

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 0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 小堀光, 中野椋太	4. 巻 58
2. 論文標題 マルクビケマダラカミキリ幼虫が産生するフラスの形態・化学的特徴	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 昆虫と自然	6. 最初と最後の頁 32-35
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス 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 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件／うち国際学会 0件）

1. 発表者名 中野椋太, 小島陽一, 青木憲治, 米田夕子, 小堀光, 児嶋美穂, 安部久
2. 発表標題 マルクビケマダラカミキリの幼虫が排出したフラスの形態的特徴および化学成分の調査
3. 学会等名 第73回日本木材学会大会福岡大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 羽橋悠槻, 中野椋太, 小島陽一, 小堀光
2. 発表標題 クワカミキリ幼虫のフラス産生速度およびフラスの形態的特徴・構成成分の調査
3. 学会等名 第74回日本木材学会大会京都大会
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	中野 椋太 (Nakano Ryota)		

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	羽橋 悠槻 (Habashi Yuzuki)		
研究協力者	小林 瑠来 (Kobayashi Ruku)		
研究協力者	大城 慶太 (Oshiro keita)		
研究協力者	秋元 望 (Akimoto Nozomu)		
研究協力者	小島 陽一 (Kojima Yoichi)		
研究協力者	米田 夕子 (Yoneda Yuko)		
研究協力者	安部 久 (Abe Hisashi)		
研究協力者	児嶋 美穂 (Kojima Miho)		

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
---------	---------