

文化財建造物におけるシバンムシ科甲虫の
被害と殺虫効果判定法に関する研究

2021

小峰 幸夫

目次

第1章 序論.....	1
1.1 日本における文化財建造物のシバンムシ科甲虫の被害と特性.....	1
1.2 シバンムシ科甲虫の被害に対する既往の対策と課題.....	2
1.3 シバンムシ科甲虫の調査における課題と新規調査手法の検討.....	3
1.4 本研究の目的.....	5
第2章 日光二社一寺の文化財建造物におけるシバンムシ科甲虫の被害調査.....	7
はじめに.....	7
2.1 日光二社一寺について.....	7
2.2 輪王寺三仏堂での虫害検出と加害種の同定.....	8
2.3 輪王寺三仏堂および周辺2棟のシバンムシ科甲虫の調査.....	15
2.4 日光二社一寺におけるシバンムシ科甲虫の大規模調査.....	24
第3章 湿度制御温風処理における殺虫効果判定法の確立.....	32
はじめに.....	32
3.1 殺虫効果判定法の基本的考え方.....	33
3.2 湿度制御温風処理に用いる供試虫の高温耐性試験.....	35
3.3 中禅寺愛染堂における殺虫効果の検証.....	38
3.4 中禅寺鐘楼における殺虫効果の検証.....	44
第4章 シバンムシ科甲虫の新規モニタリング手法.....	49
はじめに.....	49
4.1 シバンムシ科甲虫各種間の虫糞形状比較.....	50
4.2 衝突板トラップを用いたモニタリング手法の実用性評価.....	56
4.3 シバンムシ科甲虫のDNAバーコーディングに基づく同定法.....	62
第5章 結論.....	71
参考文献.....	74
謝辞	

第1章 序論

1.1 日本における文化財建造物のシバンムシ科甲虫の被害と特性

文化財建造物における生物劣化の原因には虫害、獣害および菌害がある。特に虫害はシロアリと甲虫によるものが多い。害虫の成長には、栄養源となる木材のほかに適度な温度と水分、酸素が必要で、一般に成長速度は温度や湿度によって変化する。高温多湿な日本の気候は害虫の成長に有利であり、日本の文化財建造物は常に虫害の対策を講じる必要がある。文化財建造物の虫害にはシロアリと甲虫によるものが多いが、甲虫ではシバンムシ科^{註1)}甲虫による被害が確認されている。シバンムシ科甲虫の被害の特性は、幼虫期に木材内部を食害することによる破損である。

文化財建造物を加害するシバンムシ科甲虫にはケブカシバンムシ *Nicobium hirtum* がある。ケブカシバンムシの被害の例には次のものがある。増上寺三解脱門（重要文化財）の事例¹⁾では小屋梁に使用されていたアカマツ材に被害が確認された。また、千葉県市川市の法華経寺の事例²⁾では祖師堂の解体修理で針葉樹の材から被害が確認された。さらに和歌山県の福勝寺本堂の事例³⁾では垂木材から被害が確認された。文化財建造物ではないが、博物館の民俗資料からも被害が確認された⁴⁾。例外的にケブカシバンムシは書籍を加害することがある^{5,6)}。一方、一般住宅や学校などの木造建築物ではオオナガシバンムシ *Priobium carpini*^{註2)}の被害が知られている。静岡県島田市六合小学校の事例⁷⁾では大引きのスギ材と根太のヒノキ材、そして床板の広葉樹の材に被害が確認された。また、千葉県千葉市の木造建築物の事例⁸⁾では、柱や下地板に使用されていた材に被害が確認された。さらに、茨城県水戸市の市営住宅の事例⁹⁾では、和室の物入れに使用されていた合板とそれを支える押縁のスギ材に被害が確認された。オオナガシバンムシによる文化財建造物の被害は確認されていないが、一般の木造建築物の被害報告から推察すると、ケブカシバンムシと同様に文化財建造物にも被害をおよぼしている可能性がある。

自然環境には様々なシバンムシ科甲虫が生息しており、文化財建造物における被害調査を注意深く行えば、これまでとは異なるシバンムシ科甲虫による被害が確認できる可能性がある。

1.2 シバンムシ科甲虫の被害に対する既往の対策と課題

文化財建造物は当初材の継続利用が原則で、当初材をどのように長期にわたり使用していくかが課題となる。修理では破損や腐朽で傷んだ部材を交換したり、破損や害虫の被害部位を削り新規材料を補填してできるだけ当初材を再利用することが行われる。高温多湿な日本では大規模な修理が 100 から 200 年ごとに行われ、文化財建造物は維持されてきた^{10,11)}が、文化財建造物は常に虫害を受けるため、修理だけで建造物を維持するには限界があった。戦後は化学薬剤が開発・使用されるようになり、被害を抑えることができるようになり、部材の耐用年数を延長することができるようになった。大規模な文化財建造物の場合は、密閉した空間に気化した化学薬剤を充満させて殺虫を行う燻蒸が行われた。燻蒸は処理後の害虫に対する予防効果はない¹²⁾が、一度にほぼ確実に殺虫することができる。燻蒸は文化財保存分野では 1975 年ごろから普及し始め¹³⁾、博物館・美術館や文化財建造物などにおいて広く行われてきた。

ところが殺虫目的で使用されてきた臭化メチルは、オゾン層破壊物質として指定を受け 2005 年に全廃となり¹⁴⁾、現在使用できる燻蒸剤の主成分はフッ化スルフルル、酸化エチレン、酸化プロピレンである¹²⁾。これら以外の主成分の燻蒸剤を用いた場合、金属や顔料に対して腐食や変色、退色、光沢の消失などを起こすことが知られており^{15,16,17,18)}、過去には毀損事故もあった¹⁹⁾。また近年では酸化エチレンと酸化プロピレンには動物や植物の DNA 抽出に影響をおよぼすことが確認されている²⁰⁾。さらに燻蒸剤には人体への毒性が確認されている¹²⁾。例えば酸化エチレンは可燃性で発がん性が認められる物質である。また酸化プロピレンは可燃性で発がん性が疑われている物質であり、フッ化スルフルルは可燃性ガスではないが、解毒剤が判明していない物質である。燻蒸作業は人体への健康影響の発生する濃度の下限値である約 1ppm をはるかに超える高濃度(約 20,000ppm)で処理する¹²⁾ため非常に危険である。このように燻蒸は殺虫や殺菌などの効果はあるが、人体や材質の影響をおよぼすことが知られている。一方で殺虫処理の手法には低酸素濃度処理、二酸化炭素処理、低温処理や高温処理などがある²¹⁾。これらの方法は処理時間が燻蒸より長いことや使用できる材質に限られること、小規模処理を想定した処理であることから、現在も大規模の処理を行う場合には燻蒸が行われている。人体や材質への影響に課題がある燻蒸に代わり、安全でかつ経済的にも妥当な殺虫処理手法の確立が求められるようになった。

これらのことを背景として2013年に、日光社寺文化財保存会、京都大学大学院、トータルシステム研究所、文化財建造物保存技術協会、国立民族学博物館、千葉県立中央博物館、九州国立博物館、東京文化財研究所の専門家からなる研究チームが湿度制御温風処理について国内での技術開発に着手した。湿度制御温風処理はこれまでに行われてきた高温処理を応用した手法である。高温処理は55℃から60℃の温度に害虫がさらされることにより、体を構成しているタンパク質の熱変性により死滅させる手法であるが、高温処理を文化財建造物に適用する場合、加温や冷却によって木材の含水率が変化しひずみや変形、それによる亀裂や塗装皮膜の剥離などの課題がある。この課題を解決するために湿度制御温風処理は、木材の含水率が変化しないよう加温するときは湿度も上昇するよう調整し、反対に減温するときは湿度も下降するよう調整することにより、膨張・収縮を防ぎ毀損することなく処理することができる手法である。湿度制御温風処理は木材内部に生息し穿孔するシバンムシやヒラタキクイムシ、カミキリムシに対して外部から湿度を制御した温風を導入することで、木材内部の温度を上昇させ、昆虫の各ステージ（卵や幼虫、蛹、成虫）を死滅させる^{22,23,24}。この湿度制御温風処理を日本で実用化するには木材や漆、彩色への影響を検討することのほかに、実際の加害種に対する殺虫効果を検証する必要がある。殺虫効果の検証では供試虫を選定して判定法を確立することが求められる。供試虫は加害種と同種を用いることが望ましいが、木材害虫のほとんどの種は人工飼育法が確立されておらず、処理のたびに加害種を特定してその昆虫を用いるのは現実的ではない。そのような場合は、指標となる種を供試虫として用いて行う必要がある。供試虫として求められる条件は、処理効果の指標となること、一年中飼育が可能であること、飼育が容易で繁殖力が大きいこと、成育期間が適当に短いこと、輸送等のストレスに耐えること、取扱いしやすいことなどがある²⁵。湿度制御温風処理では、上限致死温度が判明しており人工飼育法が確立している供試虫を用いて、不特定の人物が行っても結果に変化のない判定法を構築する必要がある。

1.3 シバンムシ科甲虫の調査における課題と新規調査手法の検討

文化財建造物のシバンムシ科甲虫による被害は、シロアリと比較するとほとんど解明されていないのが現状である。この理由としては、シバンムシによる加害は被害として確認が困難であること、シバンムシ科甲虫の調査法が確立され

ていないことが考えられる。シロアリの場合、ヤマトシロアリ *Reticulitermes speratus* やイエシロアリ *Coptotermes formosanus* は、普段木材内部に生息するため一見すると被害に気づきにくい。移動のために蟻道を構築することや集団生活をするため個体数が多いこと、有翅虫の群飛によりその存在を認識することが可能である²⁶⁾。調査では、材の表面に蟻道が付着していたり、材を軽くたたいたりして空洞音がするときにはシロアリの被害を受けている可能性があるとして判断される²⁶⁾。一方シバンムシは幼虫期に木材内部を加害するが、シロアリのようには蟻道はつくらずまた集団生活を行わずフラス（幼虫の虫糞と木粉がまざったもの）が材内にたまりやすく幼虫期には被害に気づきにくい。そして成虫となって木材から脱出する際にあける脱出孔の存在によってはじめて被害に気づく。シバンムシ科甲虫の成虫の体長は数 mm と小さく、成虫期間が短いことから、被害箇所から加害種の生体や死骸が採集できないことがある。その場合は甲虫が脱出した跡の虫孔や幼虫期の虫糞を頼りに、被害材の材質や想定される昆虫の分布域、環境条件などを考慮して種が推定されることもある²⁷⁾。虫糞の形状は種によって固有であることが多く、虫糞は容易に採取が可能であるため、文化財分野では虫糞を用いた加害種の推定が行われている^{28,29)}。

収蔵庫や書庫、食品倉庫など広範囲の環境における昆虫モニタリング調査には粘着トラップが用いられる。粘着トラップは床に設置して捕獲する方法と、飛翔性昆虫捕獲用の捕虫テープが利用される。粘着トラップは収蔵品の内部に侵入する害虫を捕獲することはできないが、施設に侵入・生息している生物を捕獲することができる。シバンムシ科甲虫を調査する場合は成虫の活動時期に合わせてトラップを設置する必要がある。粘着トラップの問題点は、種類を問わず捕獲されるため、捕獲後は同定が必要となること、長期間設置すると粘着力が低下すること、捕獲された生物が死ぬと体表にカビが発生したり、粘着物が付着したりして形態同定が難しくなることがある。さらに捕獲後に生態観察や試験に用いることは不可能である。加害種を生体のまま捕獲できるトラップを開発すれば、調査を行うと同時に人工飼育の確立や薬剤の効果試験に用いることが可能となる。

シバンムシ科甲虫の各種の同定は通常、成虫の外部形態によって行われる。シバンムシ科甲虫の各種は体長や体色が似ている昆虫のため、同定は図鑑や論文に記載されている種の特徴を比較する方法や専門家に同定を依頼する場合もある。現場では完全な虫体が確認されることは少なく、その場合は虫体の一部だけ

で同定しなければならず、その場合の同定は難しく専門家でも不可能な場合がある。近年では DNA バーコーディングによる同定法が注目されている。この同定法は外部形態や生態環境などの情報のかわりに同定したい検体の DNA バーコードと専門家が同定した証拠標本の DNA バーコードと比較して最も類似するバーコードを持つ種を同定結果とする方法である³⁰⁾。この同定法は正確に同定された標本から DNA バーコードを決定してデータシステムを構築する必要があり、一部の昆虫ではすでに行われている^{31,32)}。現場で採取された昆虫の死骸が木材害虫であるかを正確に確認することができれば、その後の対応につなげることができるものの、文化財建造物における木材害虫の DNA バーコードのデータベースはまだ構築されていない。

1.4 本研究の目的

本研究では、文化財建造物におけるシバンムシ科甲虫の被害について、正確な調査およびモニタリングを行い、加害種を体系的に把握するとともに、シバンムシ科甲虫の新規な駆除対策の効果検証法を確立することを目的として、供試虫の選定や効果検証を行った。さらに新規の虫害の調査やモニタリングの手法を検討した。特に、第2章では日光二社一寺を対象事例として、文化財建造物で被害をおよぼすシバンムシ科甲虫を明らかにすることを目的に、目視調査や捕虫テープによる捕獲調査など文化財建造物で確認されるシバンムシ科甲虫の包括的な調査を行った結果を述べる。第3章では文化財建造物における駆除方法と殺虫効果判定の構築を目的に、シバンムシ科甲虫の被害にあった被害材を用いて薬剤浸透性試験を行い、健全な部分と被害部分の薬剤浸透性について実験するとともに、新たな殺虫処理である湿度制御温風処理における殺虫効果の検証を行い、効果判定の有用性を評価した結果を述べる。第4章では文化財建造物のシバンムシ科甲虫の調査と同定の精度を向上させる目的に、日光二社一寺で被害をおよぼしているシバンムシ科甲虫の虫糞の識別を行い、実際の文化財建造物から虫糞を採取してその比較の結果を述べる。次にシバンムシ科甲虫の生体を捕獲するため衝突版トラップを用いた調査を検証した結果を述べる。また、同定法としてこれまでの形態同定とは異なる、シバンムシ科甲虫の DNA バーコーディングによる同定法に注目し、文化財建造物の加害種についてデータベースの作製を行った。そしてこれらの結果から文化財建造物におけるシバンムシ科甲虫の被害の体系化と新規な駆除対策の効果検証について考察したことを述

べる.

注 1) シバンムシ科は, 現在ではヒョウホンムシ科 *Ptinidae* に含まれる³³⁾が, ここでは便宜上シバンムシ科とした.

注 2) オオナガシバンムシの学名はこれまで *Priobium cylindricum* の学名が用いられてきたが, 近年では, ヨーロッパに広く分布している *Priobium carpini* のシノニム関係であると考えられており⁹⁾本論文では *Priobium carpini* を用いた.

第 2 章 日光二社一寺の文化財建造物におけるシバンムシ科甲虫の被害調査

はじめに

栃木県日光市にある輪王寺三仏堂（重要文化財・世界遺産）において、解体修理中に一部の被害材から確認され次の情報を受けた。それによると被害が顕著に見られた材は主に当初材で、被害は材の中心に集中しており、内部はおがくずのように粉状化しておりきわめて深刻な被害ということ、一方で朱漆塗りの表面からは被害を確認することは困難であるということ、このような加害のされ方は、日光の他の社寺の修理においてもほとんど経験のないとのことであった。それを受けて適切な防除対策を講じるにはまず、採集した昆虫やその死骸、脱皮殻、虫糞、被害の様子から加害種を特定して生理・生態に立脚した防除対策を講じることが肝要であると考えた。

そこで本章 1 節では被害の確認された日光二社一寺について述べ、2 節では輪王寺三仏堂と仏像で確認されたシバンムシ科甲虫の種類とその特徴について調査した。3 節では輪王寺三仏堂とその周囲の文化財建造物のシバンムシ科甲虫の生息について複数の調査法を用いて調査を行った。

本章 4 節では、栃木県日光市にある二社一寺のある地区において捕虫テープによる捕獲調査を実施し、捕獲されたシバンムシ科甲虫の種類と特徴について調査した。

2.1 日光二社一寺について

日光二社一寺は、日光東照宮、日光二荒山神社、日光山輪王寺からなり、社寺は主に栃木県日光市の山内地区（標高約 600m）、中宮祠地区（標高約 1300m）、中禅寺地区（標高約 1300m）に建築されている（図 2-1）。栃木県日光市山内地区は 1998 年に文化庁により史跡に指定され、1999 年に山内地区の建造物群と遺跡（文化的景観）は世界遺産に登録された。また、日光二社一寺は日光国立公園内にあり環境省により山内地区は特別保護地区に、中宮祠地区と中禅寺地区は第 1 種特別地域に指定されている。気候は太平洋側気候で夏季は多雨多湿となり冬季は少雨乾燥となる。気温は低地では高く高地では低い。

日光二社一寺の文化財建造物における生物劣化にはシロアリと腐朽の被害が確認されており、1965年から1967年にかけて処理が行われている。その後1991年に神厩舎でシバンムシによる被害が確認されている³⁴⁾。

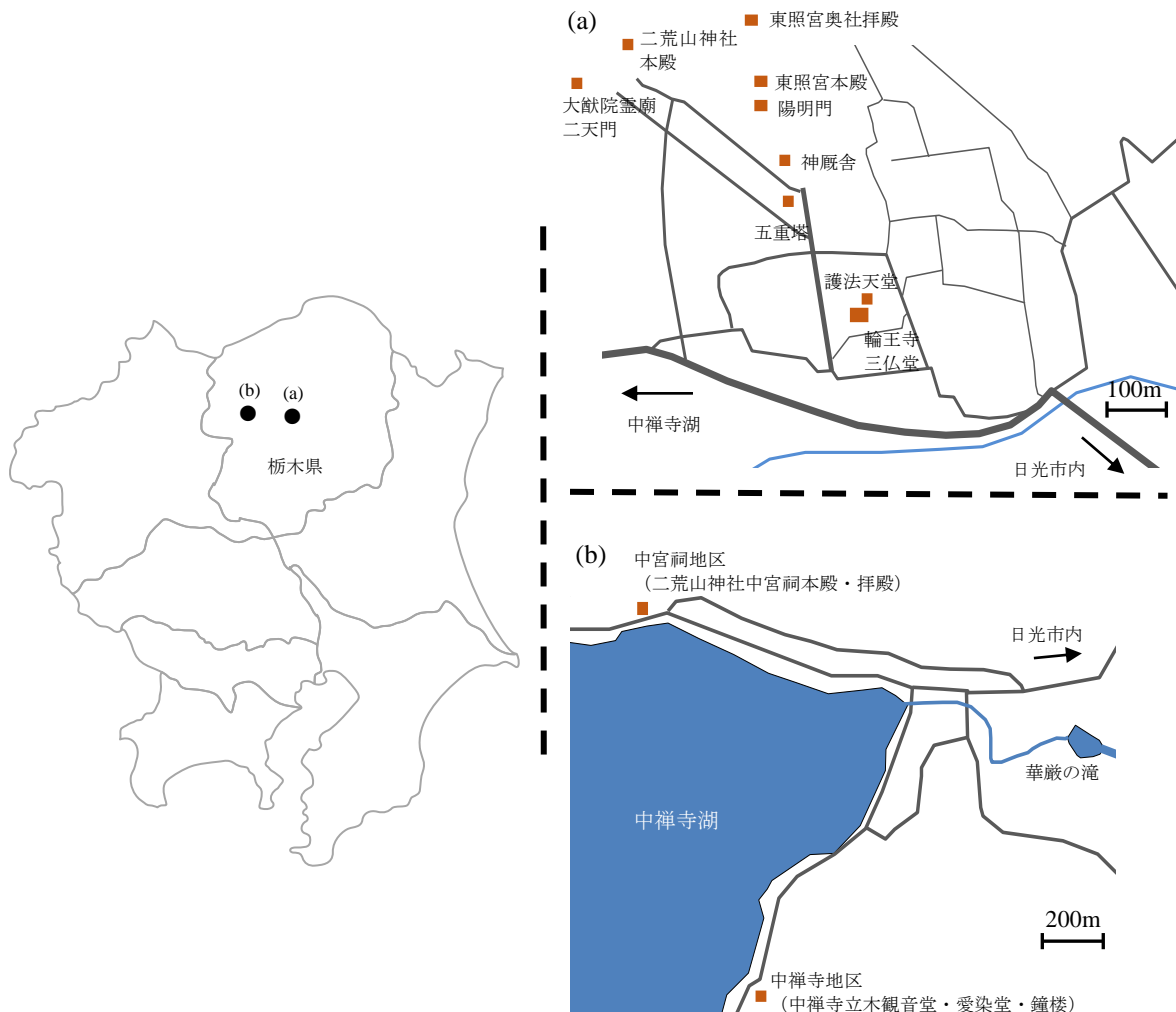


図 2-1 日光二社一寺の位置 {(a)山内地区, (b)中宮祠地区・中禅寺地区}

2.2 輪王寺三仏堂での虫害検出と加害種の同定

2.2.1 輪王寺三仏堂の修理における虫害の認識

輪王寺三仏堂（図 2-2）は江戸時代の 1647 年に再建されていたことが棟木に記された墨書から判明しており、その後、神仏分離により 1879 年に二荒山神社境内から現在の場所に移築された。移築中は材がしばらくの間、野積み状態で保管された可能性もあるとのことである。1954 年から 1961 年に行われた修理（以下、昭和の大修理と称する）では、非常に材の傷みが激しかったとのこと

あり、半解体修理が行われている。その際には、古材は生かせる限り生かし、新しい材をはぎあわせる形の修理もかなり行われたとのことである。1961年以來、三仏堂は46年ぶりに保存修理が行われている。



図 2-2 日光山輪王寺三仏堂

2.2.2 調査方法

2008年7月9日に文化財虫菌害研究所事務局において、1961年に改築された被害材(図2-3)の観察と三仏堂東北隅柱・頭貫位置から発見された幼虫(図2-4)の同定を行った。その結果をふまえて2008年7月24日と9月6日に現地調査を行った。調査は主に虫孔や虫粉が発生しているところを中心に懐中電灯で照らしながら、昆虫またはその死骸、脱皮殻、虫糞、食痕の有無などの確認を行い、被害の状況を把握した。



図 2-3 被害材 {当初材(下部)と1961年に継いだ材(上部)}



図 2-4 輪王寺三仏堂の東北隅柱・
頭貫から確認された幼虫（体長
約 2mm）

2.2.3 結果と考察

1) 被害材から出てきた昆虫の同定

図鑑や文献等を用いて同定を行った。幼虫は体長約 2mm で、体は腹方へ曲がり、体節は柔軟で背板に微細な棘が帯状に生じていることから、シバンムシ科甲虫の幼虫であることが判明した。後日、被害材から生きた成虫 1 個体と死骸 2 個を確認した。体長はそれぞれ 4.2mm, 5.0mm, 4.8mm であった同定した結果、オオナガシバンムシの成虫であることが判明した（図 2-5）。



図 2-5 オオナガシバンムシ成虫
（体長 4.2mm から 5.0mm）

オオナガシバンムシは体長が 4.6mm から 6.2mm で³⁶⁾体色は赤褐色から暗赤褐色をしており、上翅には明瞭な深い点刻列があり黄白色の細毛で覆われる。触角は鋸歯状で先端 3 節は大きくなるが、その程度は他のシバンムシ亜科の成虫に比べて弱い。分布は本州（東北地方、東京、神奈川、千葉、静岡）、九州と局所的である。オオナガシバンムシは 1963 年宮城県で採集された 1 個体の標本に基づいて記載され、1975 年ごろから東京を中心に主に関東地方の家屋でしばしば採集されるようになった³⁵⁾。1984 年静岡県から体育館の床材への加害⁷⁾、1989 年に神奈川県横浜市、岩手県水沢市において家屋建材への加害³⁷⁾、1995 年に千葉県千葉市において木造建造物への加害⁸⁾についてそれぞれ報告がある。文化財建造物への被害事例の報告はなく、関連文献を調査した限り国内外では三仏堂で発見された本事例がはじめての報告となる。オオナガシバンムシの生態についてはまだわかっていないことが多い。いくつかの被害情報^{7,8,35,36,37,39)}によると、オオナガシバンムシは木材の表面を残して内部を穿孔し、虫粉やかじり痕は粉末状となる。被害が発見されたときには成虫、幼虫はわずかしか確認されることが多い。判明している被害樹種はブナ、ミズメザクラ、スギ、ヒノキ、マツ、ツガ、ベイツガなど多種におよんでいる。今回被害にあった材種はケヤキ、ツガ、ヒバ等であった。また、幼虫は針葉樹と広葉樹（より後者を好む）の枯木の中で成長するという報告³⁹⁾もあり、屋外では立ち枯れ木や倒木などに生息していると考えられる。

2) 現地調査の結果（梁、屋根裏、天井、床下）

2008 年 7 月 24 日の調査では、(a)建物外部の足場から部材を観察、(b)建物の床下部の調査、(c)天井（屋根裏）の調査、(d)保管されている部材の調査を行った。部材の観察結果とその写真の実見などから、被害は江戸時代の部材（以下当初材）に顕著に見られた。漆塗装をしてある表面部は、一見、被害が少ないようにみえるが、部材の特に接合部分で多く虫孔が見られた。部材にあいている虫孔の径は、必ずしも一定ではなく、1mm から 3mm のさまざまな大きさの穴が見られた（図 2-6）。被害状況は、表面を薄く残して内部が食害されており、多量の粉末状の虫粉（虫糞と木粉）が詰まっていた（図 2-7、図 2-8）。



図 2-6 漆塗装のある被害材の様子



図 2-7 被害の様子



図 2-8 天井部分の被害の様子

屋根裏の梁についても、一見表面は堅牢に見える部分でも、ドリルで穴をあけると、おびただしい虫粉がでてくることが判明した。また小屋裏全域にわたって虫粉が随所にみられたことから、被害は建物全体にわたって顕著におよんでいると考えられた。小屋裏の梁には、一部の部材に表面にカタツムリあるいはナメク

ジの這った痕跡などもみられ、この材が以前、屋外の水気の多い場所に置かれていたことが示唆された。一方、床下では、直径 7mm から 8mm の大きな穴が多数あいていた。その周辺では、生きたカマドウマ科 Rhaphidophoridae 1 個体 (図 2-9) と、カミキリムシ科 Cerambycidae ハナカミキリ亜科 Lepturinae の死骸 (種不明) 数個が確認できた。カマドウマ科の昆虫は成虫になっても翅をもたず、野外では石や落葉の下、洞窟など薄暗く湿った場所に生息している。雑食性であり、文化財への被害として掛軸の糊付けした布地の部分を加害したという事例が知られている⁴⁰⁾。野外では薄暗く湿った場所に生息している。床下で発見したハナカミキリ亜科の死骸は傷みが激しく種の同定までには至らなかった。しかし、床下の木材の脱出孔の大きさを考えると、この昆虫と関連がある可能性も示唆される。また、昆虫類による被害のほかに、カビの繁殖も確認された (図 2-10)。



図 2-9 床下で確認されたカマドウマ科の一種



図 2-10 被害材に発生しているカビの様子

3) 仏像の現地調査結果

2008年9月6日は日光三社権現本地仏（木彫像）三体の調査を行った。木製の
大仏三体を主に背面より観察したところ、多数の虫孔が確認された(図2-11)。
虫孔だけでは、いつ、どのような昆虫が加害したのかは判断できないが、虫孔は
多数確認されたため、これらはおそらく長い年月をかけて加害されてきたもの
と思われる。当日は来観者が多かったため、大仏の周辺は一部しか観察できな
かったが、周辺には、昆虫やその死骸、虫粉等は確認されなかった。



図 2-11 大仏背部で確認された虫孔

2.2.4 まとめ

2008年の修理において、輪王寺三仏堂で解体した材からオオナガシバンムシ
が発見され、オオナガシバンムシによる被害が建物の広範囲に認められた。オオ
ナガシバンムシによる被害の事例は、文化財建造物では初めての事例と考えら
れる。仏像については、外側から観察しただけでは現在進行中の被害かどうか、
また内部でどの程度被害がすすんでいるのかは判断できなかった。非破壊調査
としては、X線撮影などが候補としてあげられるが、仏像の厚みがかなりあるこ
とから、大規模な装置が必要であり、現地で簡易な装備で撮影した場合、虫孔な
どを正確にとらえることは難しい可能性がある。したがって、当面の対策とし
ては、建物を燻蒸する際に、同時に仏像についても燻蒸処理を行えば、害虫が侵入
していたとしても今後の被害は止めることができると考えられる。また、燻蒸に
よって殺虫を行ったのちも、燻蒸処理には残効性がないため、再加害を防ぐた
めに、必要に応じて適宜、薬剤処理を施したり、モニタリングを継続的に行う必要

がある。特に柱の根本は木口が露出していないため、燻蒸剤が浸透しにくい可能性がある。したがって、根元の部分は木材保存剤をよく浸透させるなどの方法を併用する必要があると考えられる。

2.3 輪王寺三仏堂および周辺 2 棟のシバンムシ科甲虫の調査

2.3.1 調査の経緯

オオナガシバンムシの被害が果たしていつ頃から発生していたかを確認するため、輪王寺三仏堂の過去の修理履歴や修理記録写真（ガラス乾板）などを調査した。その結果、昭和の大修理（1954 年から 1961 年）の修理記録写真にはすでに虫孔やその被害を確認することができたこと、修理は材の繊維方向にそって取り替えられており、この様子は 2008 年のオオナガシバンムシの被害と類似していたことなどから、オオナガシバンムシは昭和の大修理以前から輪王寺三仏堂に生息していた可能性が示唆された⁴¹⁾。本調査では輪王寺三仏堂では実際にオオナガシバンムシがいつ、どの程度発生しているのか、輪王寺三仏堂およびその周囲の文化財建造物にオオナガシバンムシが生息しているか否かを確認することを目的とした。

2.3.2 調査方法

オオナガシバンムシの成虫が発生しているかを確認するために捕虫テープによる捕獲調査と灯火採集調査（以下、ライトトラップと称する）および目視調査を行った。場所は輪王寺三仏堂（図 2-2）のほか、その周辺にある輪王寺護法天堂（重要文化財、図 2-12）と大猷院霊廟二天門（重要文化財、図 2-13）である。



図 2-12 輪王寺護法天堂



図 2-13 輪王寺大猷院靈廟二天門

1) 捕虫テープによる捕獲調査

オオナガバナムシ成虫を捕獲するため、市販の飛翔性昆虫捕獲用捕虫テープ（図 2-14）を用いる方法を試みた。捕虫テープは 30cm から 45cm 間隔に設置（図 2-15）し、設置個数は輪王寺三仏堂小屋裏に 388 本、床下に 664 本、護法天堂小屋裏に 300 本、大猷院靈廟二天門に 198 本である。設置期間は本堂小屋裏では 2009 年 6 月 19 日から 8 月 26 日、本堂床下では 2009 年 7 月 7 日から 10 月 8 日、護法天堂では 2009 年 7 月 8 日から 11 月 30 日、二天門小屋裏では 2009 年 7 月 9 日から 8 月 27 日であった。なお、三仏堂小屋裏と二天門には作業用に白色 LED ライトを一定時間点灯した。



図 2-14 捕虫テープ



図 2-15 捕虫テープ設置の様子

2) ライトトラップ調査

ライトトラップは昆虫が夜間に光に集まる習性を利用した調査法で、自然環境調査（野外生物調査）ではよく行われている。文化財保存分野ではあまり利用されていないが書籍害虫であるザウテルシバンムシを、ライトトラップを利用して捕獲した例があるため⁴²⁾、今回ライトトラップを用いてオオナガシバンムシの捕獲を試みた。ライトトラップには、「カーテン法」と「ボックス法」の2種類がある。カーテン法は白布を見とおしのよい場所に張り、その前で光を点灯し、光とその反射光を利用して昆虫を誘引する方法である。一方、ボックス法は光に誘引された昆虫を光の下に置いたボックス（捕獲器）で捕獲する方法である。

今回、カーテン法では光源として蛍光灯（40W）、市販の捕虫用蛍光ランプ（40W、ピーク波長 352nm）および白熱灯を発電機で点灯して使用した（図 2-16）。調査は2009年8月4日と8月27日に、輪王寺三仏堂周辺で行った。

一方、ボックス法は蛍光灯付きライトに捕虫用蛍光ランプ（6W、ピーク波長 352nm）を取り付けたもの（図 2-17）を使用し、8月27日に設置して28日に回収してオオナガシバンムシの捕獲の有無を確認した。設置場所は輪王寺三仏堂小屋裏と床下、護法天堂外周および大猷院霊廟二天門小屋裏に各1箇所とした。なお、調査地は国立公園の特別保護地区であるため、自然公園法を遵守して調査を行った。



図 2-16 ライトトラップ「カーテン法」設置の様子



図 2-17 ライトトラップ「ボックス法」

3) 目視調査

各建物の内部や外周を中心に懐中電灯で照らしながら、オオナガシバンムシの生きた昆虫や死骸、虫糞、虫孔、食痕などの有無を調べた(図 2-18)。現場で同定困難な昆虫類については採取して事務所に持ち帰り顕微鏡等で観察した。目視調査は 2009 年 7 月 28 日から 30 日と 8 月 27 日から 28 日に行った。



図 2-18 目視調査の様子

2.3.2 結果および考察

捕虫テープの設置場所，設置期間およびオオナガシバンムシの捕獲個体数を表 2-1 に，ライトトラップ「ボックス法」で捕獲された昆虫類を表 2-2 に示した．

表 2-1 粘着トラップの設置場所，設置期間およびシバンムシ科甲虫の捕獲個体数

設置場所	設置日数（設置期間）	捕獲個体数		
		オオナガシバンムシ	クロトサカシバンムシ	チビキノコシバンムシ
三仏堂小屋裏	22 日（6 月 19 日から 7 月 11 日）	164	0	0
	46 日（7 月 11 日から 8 月 26 日）	245	0	0
三仏堂床下	6 日（7 月 7 日から 7 月 13 日）	52	0	0
	23 日（7 月 13 日から 8 月 5 日）	73	0	0
	36 日（8 月 5 日から 9 月 10 日）	165	0	0
	28 日（9 月 10 日から 10 月 8 日）	0	0	0
護法天堂小屋裏	145 日（7 月 8 日から 11 月 30 日）	0	0	0
	6 日（7 月 9 日から 7 月 15 日）	0	0	3
二天門小屋裏	10 日（7 月 15 日から 7 月 25 日）	0	1	52
	33 日（7 月 25 日から 8 月 27 日）	0	1	10

表 2-2 ライトトラップ「ボックス法」で捕獲された昆虫*

場所	目名	科名	種名
三仏堂東側	チョウ	—	ガ類の複数種
	ハチ	ヒメバチ	キイロトガリヒメバチ
護法天堂（正面）	トンボ	トンボ	アキアカネ
		ゴミムシ	ゴミムシ科の1種
		コガネムシ	ムネアカセンチコガネ
		コガネムシ	ナガチャコガネ
		クチキムシ	ホソクロクチキムシ
	チョウ	ゾウムシ	ゾウムシ科の1種
		ヤガ	ギンボジリンガ
		ヒトリガ	ヒメキホソバ
	トビケラ	ヒトリガ	キベリネズミホソバ
		トビケラ	ムラサキトビケラ
		—	トビケラ類の1種

*、三仏堂小屋裏および二天門小屋裏では昆虫は捕獲されなかった。

1) 輪王寺三仏堂小屋裏および床下の結果

輪王寺三仏堂小屋裏では、捕虫テープを設置して 22 日後と 68 日後に捕獲個体数を調査した。その結果、22 日後ではオオナガシバンムシの成虫が 164 個体、68 日後ではオオナガシバンムシの成虫が 245 個体捕獲され、調査終了までに 409 個体捕獲された。三仏堂小屋裏に設置したライトトラップボックスからはオオナガシバンムシはもとより、そのほかの昆虫もまったく捕獲されなかった。また、目視調査でも生きたオオナガシバンムシを発見することはできなかった。三仏堂床下では捕虫テープを設置して 6 日後と 29 日後、65 日後、93 日後に捕獲個体数を調査した。その結果、6 日後ではオオナガシバンムシは 52 個体、29 日後では 73 個体、65 日後では 165 個体、93 日後ではオオナガシバンムシの成虫は捕獲されなかった。三仏堂床下に設置したライトトラップボックスからはオオナガシバンムシは捕獲されなかったが、小型のガ類やハチ類などが採取された。これらはいずれも木材を加害する昆虫ではない。目視調査の結果、ライトトラップボックスを設置した付近でオオナガシバンムシの成虫 1 個体を採取した。このことは床下で発生したオオナガシバンムシの成虫は外部へ飛翔している可能性があると考えられる。なお、オオナガシバンムシの生きた成虫はもとより、その交尾、産卵などの行動については解明できなかった。ライトトラップカーテン法を用いた調査の結果、カメムシ類、コガネムシ類、アリ類、ハエ類、ガ類などが採取されたが、オオナガシバンムシの成虫は確認されなかった。

オオナガシバンムシ成虫の発生時期については捕虫テープの捕獲個体数や目視調査からすると、9月中旬には成虫の発生は終了しているのを確認できたが、発生の初期については文献に記載されている時期の6月から8月³⁷⁾よりももう少し早い時期ではないかと考えられる。

2) 護法天堂の結果

護法天堂は、三仏堂のすぐ裏手にあり、オオナガシバンムシの被害を受けている可能性があるかと予想していた。しかし、設置した捕虫テープ 300 本のうちオオナガシバンムシが捕獲された捕虫テープは 1 本もなかった。また建物近くに設置したライトトラップボックスにはトンボや甲虫などは捕獲されたが、木材を加害する昆虫は採取されなかった。

目視調査の結果、オオナガシバンムシは確認されなかったが、正面階段のほか、柱や束柱、根がらみなど建物下部材がヤマトシロアリと腐朽菌によってかなり広範に加害されていることがわかった(図 2-19)。ヤマトシロアリは日本全土に広く分布するわが国で最も一般的なシロアリで、寒さには比較的強いが、乾燥に弱く常に湿った木材や土中で生活しており、腐朽とともに発生していることが多い。本建物の場合、敷地、特に裏面や側面では排水が悪く、雨水が建物にかかるなど多湿な環境であることによって被害が起こったものと考えられる。

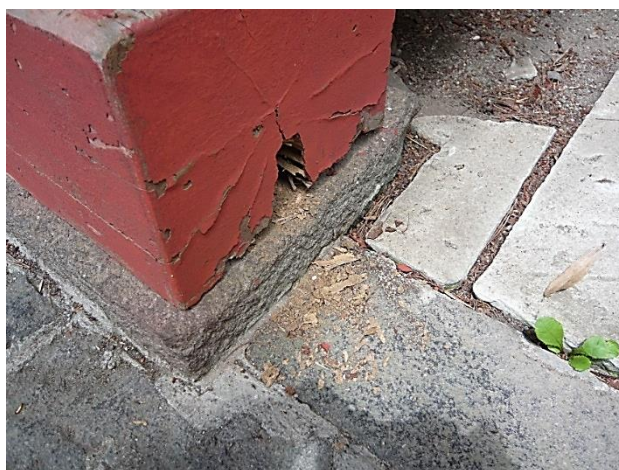


図 2-19 護法天堂正面で確認されたヤマトシロアリの食痕

3) 大猷院霊廟二天門の結果

大猷院霊廟二天門で 49 日間設置した捕虫テープから、大型のシバンムシ 2 個

体と小型のシバンムシ 65 個体が捕獲された。大型のシバンムシの外見は、(a)体背面は黒色や茶褐色、白色等の毛が密生している、(b)前胸背板は微毛で覆われて中央部は突出する、(c)上翅には毛による模様が確認されるなどの点からオオナガシバンムシとは明らかに異なるシバンムシであった。一方、小型のシバンムシは体長が 1mm から 2mm とオオナガシバンムシに比べて明らかに小さいシバンムシであった。

目視調査の結果では、大猷院霊廟二天門小屋裏には 3mm から 5mm ほどの虫孔が多数確認され、生きた大型のシバンムシ 1 個体を捕獲、その死骸も多数採取された。また、小屋裏に放置してあった角材から幼虫と脱出に失敗し死亡していた大型シバンムシを採取した。念のため床面にある塵や埃などを電気掃除機で採集して分離を行った結果、大型のシバンムシが多数採取された。これらを同定した結果、大型のシバンムシはクロトサカシバンムシ *Trichodesma japonica* と判明した。また小型のシバンムシは捕虫テープ以外では採取されなかったことと、標本が破損していたものの同定の結果、チビキノコシバンムシ *Sculptotheca hilleri* であった。

クロトサカシバンムシ (図 2-20) は体長 4.5mm から 7.0mm で前胸背板の突起は鋭く突出し、その頂点の毛束は黒褐色をしている³⁶⁾。分布は北海道、本州、四国、九州、伊豆諸島である³⁶⁾。糞の形状は、円筒形で長く片方が狭いもの、両方が狭いものなどが多い (図 2-21)。この糞の特徴はケブカシバンムシの糞とかなり似ている²⁹⁾。詳しい生態は不明であるが、屋外性では樹洞内で確認されていること⁴³⁾から幼虫は朽木や倒木などに生息すると考えられる。形態が類似しているトサカシバンムシ *Trichodesma fascicularis* は食材性で、社寺の近く³⁵⁾、校舎、公民館などで時にケブカシバンムシ同様の被害をおよぼすことが知られており⁴⁴⁾、クロトサカシバンムシも同様に繁殖に適した材があればそこで被害が発生すると考えられる。これまで国内の文化財建造物からクロトサカシバンムシの被害は報告されていない。



図 2-20 クロトサカシバンムシ
成虫（体長 6.2mm）



図 2-21 クロトサカシバンムシの糞（1 目盛り
は 1mm）

チビキノコシバンムシ（図 2-22）は別名をチビケシバンムシといい、体長は 1.6mm から 2.0mm. 体色は濃褐色，触角や附節は黄褐色，短毛が密生する．上翅に密な点刻列があり⁴⁵⁾，頭部下面には触角を収納する空間が存在する³⁶⁾．分布は本州である．生態等についてはまったく不明である．関連文献を調査した限りでは過去に古い文化財の木質部から採取されている⁴⁵⁾以外の報告はなく，これまで国内外の文化財建造物への被害報告はない．今回の調査では材の表面を中心に被害が集中していた．



図 2-22 チビキノコシバンムシ
成虫（体長 1.7mm）

2.3.3 まとめ

オオナガシバンムシの発生場所は、輪王寺三仏堂に限られ、調査した護法天堂と大猷院霊廟二天門では発生が認められなかった。輪王寺三仏堂以外の文化財建造物ではヤマトシロアリやクロトサカシバンムシ、チビキノコシバンムシによる被害が確認された。

2.4 日光二社一寺におけるシバンムシ科甲虫の大規模調査

2.4.1 調査の経緯

輪王寺三仏堂や周辺の建物には、オオナガシバンムシやクロトサカシバンムシ、チビキノコシバンムシが多数捕獲され、一部にはその被害は激甚になっていることが予測された。2009年の調査においてシバンムシ科甲虫の生息数モニタリングに捕虫テープによる捕獲調査が有効であることがわかったため、さらに2010年4月から11月にかけて捕虫テープを用いた大規模な捕獲調査を行った。調査は栃木県日光市山内地区、中宮祠地区、中禅寺地区の3地区にある文化財建造物72棟で行った。調査に使用した捕虫テープの総本数は27,021本で、それらは主に小屋裏と床下の2箇所の空間に均等に設置した³⁴⁾。捕虫テープの設置や回収は日光社寺保存会が行い、回収した捕虫テープの同定や計数は、東京文化財研究所で行った。その結果、調査対象とした文化財建造物のほとんど全てで甲虫が捕獲された。捕虫テープの粘着性や輸送中に捕獲した甲虫が破損すること

もあり同定が困難の場合もあったが、シバンムシ科甲虫はこれまでのオオナガシバンムシ、クロトサカシバンムシ、チビキノコシバンムシ以外に 2 種確認された。捕獲個体数はどの種も同数程度が得られたわけではなく、建物ごとに異なる傾向がみられた。また、捕虫テープごとのシバンムシ科甲虫の捕獲個体数を調査した結果、輪王寺三仏堂では設置した捕虫テープにまんべんなくオオナガシバンムシとチビキノコシバンムシが捕獲されており、大猷院霊廟二天門では建物中央部にクロトサカシバンムシの捕獲が集中しているなど、種類によって異なっていた⁴⁶⁾。本節では捕虫テープによる捕獲調査で新たに得られたシバンムシ科甲虫 2 種の種類とその特徴を明らかにすることと、オオナガシバンムシ、クロトサカシバンムシ、チビキノコシバンムシの新たな捕獲場所、2010 年 6 月に日光山輪王寺飛地境内(中禅寺)立木観音堂で行った目視調査について述べる。なお、新たな捕獲場所(建造物名)やその捕獲個体数は林の論文⁴⁷⁾(共著)を引用した。

2.4.2 中禅寺立木観音堂の調査とその結果

2010 年 5 月 10 日に中禅寺立木観音堂で確認された被害写真を実見し、昆虫については同定を行い、現地調査を 6 月 18 日に行った。調査は主に目視によるもので、虫孔や虫粉が発生しているところを中心に昆虫やその死骸、食痕の有無を確認した。

柱の被害写真(図 2-23)を確認した結果、オオナガシバンムシの加害と似ており、硬い年輪部分を残し食害された状況であった。また死骸を観察した結果、一見オオナガシバンムシに似ているが、(a)体色は黒褐色、(b)前胸背板に橙黄色の毛が密生している、(c)触角先端 3 節が他の節より顕著に大きい、などの点で異なっており、図鑑や文献などの種の情報を基に詳細に調査した結果、エゾマツシバンムシ *Hadrobregmus pertinax* であることが判明した。2010 年 6 月 18 日に中禅寺の現地調査を行った。その結果、立木観音堂の柱の一部に虫孔と被害が観察された。被害部分はオオナガシバンムシと同様に粉末状をしており、硬い年輪部分を除いて、心材、辺材に関係なく食害されていた。床下にはエゾマツシバンムシの死骸が被害部分から確認され(図 2-24)、エゾマツシバンムシが加害しているものと断定した。立木観音堂の近くにある鐘楼では、調査中の捕虫テープにエゾマツシバンムシが捕獲されており、また、手すりに生きた成虫が確認され、枡の部分にはオオナガシバンムシの被害によく似た被害が確認された(図 2-25)。



図 2-23 中禅寺立木観音堂の柱の被害



図 2-24 中禅寺立木観音堂床下部分で確認されたエゾマツシバンムシの死骸



図 2-25 中禅寺鐘楼の被害の様子

1) エゾマツシバンムシについて

エゾマツシバンムシ (図 2-26) は、体長 4.6mm から 6.2mm で触角先端 3 節は大きく、第 3 節から第 8 節は短くて弱い鋸歯状をしている。前胸背板は中央と基部両側、前角内側がへこみ、後角付近に黄金毛域をもつ³⁶⁾。分布は北海道、本州である³⁶⁾。海外ではヨーロッパやサハリン、シベリアに分布している。日本における生態は、北海道での記録ではエゾマツの倒木に棲み、成虫は 6 月から 7 月に出現するという。そしてヨーロッパではマツ類の他、モミ、トウヒなどを加害し、特に内部が菌類に侵されて柔らかくなった材を好むという³⁵⁾。オーストラリアでの観察では、成虫は 5 月から 6 月に出現して、交尾後、メスは木の割れ目や虫孔に 1 個ずつ産卵すること、孵化した幼虫は木材の中を不規則に心材や辺材の区別なく食害すること、幼虫で越冬し翌春、材表面近くで蛹化、2 週間から 3 週間で成虫となり材から脱出すること、成虫の生存期間は 2 週間から 3 週間であることが報告されている³⁵⁾。現在のところ、国内で文化財建造物を加害したという記録がなく、本事例がはじめてである。なお、類似するオオナガシバンムシとの主な相違点は図 2-27 のとおりである。



図 2-26 エゾマツシバンムシ成虫
(1 目盛りは 1mm)



オオナガシバンムシ

- (a)触角の先端3節はほかの節より大きくなるがその程度は弱い（黒丸）
- (b)前胸背の後角に毛斑はなく（白丸），全身黄白の細毛でおおわれる
- (c)体色は赤褐色から暗赤褐色



エゾマツシバンムシ

- (a)触角先端3節が他の節より大き（黒丸）
- (b)前胸背の後角に橙黄色の毛斑がある（白丸）
- (c)体色は黒色から黒褐色

図 2-27 オオナガシバンムシ（左）とエゾマツシバンムシ（右）の相違点

2.4.3 捕虫テープによる捕獲調査で得られたシバンムシ科甲虫と、その新たな捕獲建物について

1) アカチャホソシバンムシについて

アカチャホソシバンムシ *Oligomerus japonicus* (図 2-28) は 1982 年 Sakai により新種として記載された種⁴⁸⁾でヨーロッパに分布する *Oligomerus ptilinoides* と近縁である。体長は 4.0mm から 7.1mm で、体色は赤褐色、触角は 10 節で先端 3 節は著しく伸長する。分布は北海道、本州、四国である³⁶⁾。これまで文化財建造物による被害の報告はないが、今回の調査では三仏堂西側の鐘楼（12 個体）、中禅寺鐘楼下（3 個体）と愛染堂小屋裏（1 個体）、東照宮五重塔（18 個体）で捕獲された。



図 2-28 アカチャホソシバンムシ
成虫 (1 目盛りは 1mm)

2) オオナガシバンムシについて

オオナガシバンムシ (図 2-5) は、今回の調査では小屋裏で 349 個体、床下で 135 個体確認された。2009 年の調査では小屋裏 409 個体、床下で 290 個体確認されており、前回に比べて捕獲個体数は少なかった。オオナガシバンムシが確認された箇所は他に輪王寺大猷院本殿床下 (18 個体)、大猷院相の間床下 (2 個体)、大猷院別当所龍光院床下 (10 個体)、法華堂床下 (2 個体)、慈眼堂拝殿床下 (2 個体)、護法天堂床下 (5 個体)、二荒山神社本殿床下 (1 個体)、拝殿小屋裏 (1 個体) 滝尾神社拝殿床下 (34 個体)、別宮本宮神社拝殿小屋裏 (6 個体)、東照宮鐘楼床下 (2 個体)、五重塔小屋裏 (5 個体) 奥社拝殿床下 (30 個体)、仮殿拝殿 (2 個体) などであった。二ケタ以上の数のオオナガシバンムシが捕獲された輪王寺大猷院本殿、大猷院別当所龍光院、滝尾神社拝殿、奥社拝殿などを除いて、大部分の文化財建造物では捕獲個体数は数個体程度であった。

3) クロトサカシバンムシについて

クロトサカシバンムシ (図 2-20) は今回の調査では輪王寺大猷院霊廟二天門では 134 個体捕獲された。他に大猷院奥院拝殿 (2 個体)、慈眼堂経蔵小屋裏 (1 個体)、慈眼堂鐘楼小屋裏 (1 個体)、慈眼堂阿弥陀堂小屋裏 (3 個体)、観音堂小屋裏 (4 個体) と床下 (4 個体)、二荒山神社滝尾神社本殿床下 (1 個体)、滝尾神社拝殿小屋裏 (3 個体) と床下 (1 個体)、滝尾神社楼門小屋裏 (8 個体)、末

社朋友神社本殿床下（1 個体），別宮本官神社拝殿小屋裏（1 個体），東照宮鐘楼床下（2 個体），鼓楼床下（1 個体），中神庫床下（1 個体），下神庫床下（5 個体），西浄小屋裏（4 個体）で確認され，被害が確認されている二天門以外では捕獲個体数は少なかった。

4) チビキノコシバンムシについて

チビキノコシバンムシ（**図 2-22**）は，今回の調査でほとんどの文化財建造物で捕獲された．そのうち捕獲個体数が 500 個体以上の建造物は輪王寺大猷院別当所龍光院床下（4604 個体），三仏堂床下（539 個体），常行堂小屋裏（658 個体），法華堂床下（522 個体），慈眼堂拝殿床下（1651 個体），二荒山神社滝尾神社拝殿小屋裏（574 個体），東照宮神厩舎小屋裏（874 個体），五重塔床下（519 個体），本地堂床下（851 個体）である．これらのうち一部の建造物では著しく木粉や虫孔が観察された（**図 2-29**）．



図 2-29 チビキノコシバンムシ被害の様子

2.4.4 まとめ

日光の文化財建造物を調査した結果，木材を加害するシバンムシ科甲虫としてエゾマツシバンムシ，アカチャホソジバンムシ，オオナガシバンムシ，クロトサカシバンムシ，チビキノコシバンムシが確認された（**表 2-3**）．エゾマツシバンムシは中禅寺の立木観音堂の柱の一部を加害しており，生きた成虫も確認された．エゾマツシバンムシの被害状況はオオナガシバンムシのものとよく似ていた．アカチャホソシバンムシについては被害をおよぼしているか否かは今回の調査で判断は難しいが一部の建物で確認された．

一部の個体が文化財建造物に侵入して産卵したとしても、すべてが孵化するわけではなく、温度や湿度、材質などの発生の条件がすべて整ったときにはじめて孵化・成長することができる。オオナガシバンムシでは輪王寺三仏堂が、クロトサカシバンムシでは大猷院霊廟二天門がそのような例と考えられる。一方、チビキノコシバンムシは今回の調査ではほとんどの建物で捕獲されたが、それは発生の条件がオオナガシバンムシやクロトサカシバンムシの発生の条件より単純である可能性があり、どの文化財建造物でも発生し、害虫化しやすい昆虫であるのではないかと考えられる。

シバンムシ科甲虫の成虫の発生時期は、記載の論文や前回の調査、今回の調査から判断して、日光では5月から7月ごろと考えられ、成虫の期間も1か月未満と短いと考えられる。捕虫テープを設置してシバンムシ類を捕獲調査する場合は4月下旬から5月には設置を開始するほうがシバンムシ科甲虫の成虫を確実に捕獲できると考えられる。

シバンムシ科甲虫の被害の報告が少ないのは、被害が発見されても加害種を究明するような十分な調査が行われずに駆除措置が行われていたためと考えられ、今後、他の建造物を調査することによりもっと多くの被害や別種の加害種が判明するのではないかと期待される。

表 2-3 日光の文化財建造物で確認したシバンムシ科甲虫と特徴

種名	学名	体長* (mm)	特徴*
オオナガシバンムシ	<i>Priobium carpini</i>	4.6-6.2	体色は赤褐色から暗赤褐色で、黄白色の細毛でおおわれる。 触角先端3節は、ほかの節より大きくなるが、その程度は弱い。
クロトサカシバンムシ	<i>Trichodesma japonica</i>	4.5-7.0	前胸背板の突起は鋭く突出し、その頂点の毛束は黒褐色をしている。
チビキノコシバンムシ	<i>Sculptothea hilleri</i>	1.6-2.0	体色は濃褐色で、上翅に密な点刻列がある。 頭部下部に、触角を収納する空間が存在する。
エゾマツシバンムシ	<i>Hadrobregmus pertinax</i>	4.6-6.2	体色は黒色から黒褐色で、前胸背板の後角に橙黄色の毛斑がある。 触角先端3節は、ほかの節より大きくなる。
アカチャホソシバンムシ	<i>Oligomerus japonicus</i>	4.0-7.1	体色は赤褐色で、触角先端3節は著しく伸長する。

*, 引用文献^{35,36,37)}をもとに作成。

第3章 湿度制御温風処理における殺虫効果判定法の確立

はじめに

栃木県日光市にある輪王寺三仏堂のオオナガシバンムシによる被害材を用いて、穿孔抵抗測定やCT スキャンによる材内部の調査を行った結果^{49,50,51,52)}から、幼虫は材の内部で生息していることが判明した。また昭和の大修理以降、燻蒸による殺虫処理は行われていないことから、当初材から新しい材にシバンムシが移った可能性があり、進行性の虫害が発生していることが判明した。その後、日光市山内地区・中宮祠地区・中禅寺地区を対象とした捕虫テープによる捕獲調査を行った結果では、クロトサカシバンムシ、チビキノコシバンムシ、アカチャホソシバンムシ、エゾマツシバンムシなどのシバンムシ科甲虫の捕獲とその被害が確認され^{47,53)}、これらの結果から、まず害虫の駆除が必要であることが認識された。

文化財建造物のシバンムシ科甲虫の駆除法として、最も一般的なものでは薬剤による処理で、主に燻蒸による方法と木材保存剤を直接塗布したり吹き付ける方法である。輪王寺三仏堂における燻蒸による殺虫効果の検証に向けて、オオナガシバンムシ幼虫の生息が確認された被害材や漆塗り塗装を施した材を用いてフッ化スルフルルによる処理実験を行った。その結果、材の木口面や被害面が露出されていないと材内部の殺滅は困難であることが判明した⁵⁴⁾。燻蒸以外の駆除法では、文化財収蔵施設で使用されているピレスロイド系蒸散性薬剤をシバンムシ科甲虫が発生している文化財建造物内に設置することによりして殺虫効果が検証された。その結果、気密性の不十分な文化財建造物内では十分な殺虫効果を得られないことが判明した⁵⁴⁾。以上の結果から輪王寺三仏堂は燻蒸を行い、燻蒸後は木材保存剤を使用して予防する必要があると結論づけられた。

燻蒸における安全性の課題については、燻蒸期間中は三仏堂や周辺建物について完全立ち入り禁止とすること、警備員の配置、参拝者や近隣住民に対して状況説明を行うことなどの対策がとられた⁵⁵⁾。燻蒸作業員に対しても清浄空気発生機の設置と空気供給、緊急脱出用携帯ボンベの設置、監視用足場の設置などの安全対策が行われ、輪王寺三仏堂は2013年7月に、大猷院霊廟二天門は8月にそれぞれ燻蒸が行われた^{55,56)}。日光は大勢の観光客が集まるため燻蒸を何度も行うことは難しく燻蒸のみでは限界があった。そのため木材保存剤による駆除が検討され、木材保存剤がどの程度浸透するか試験が行われた。その結果、薬剤

の浸透範囲は健全な部材では注入した箇所から周辺のみにとどまり、材深部にまで効果的に薬剤が浸透することはなく、注入や浸透による駆除法では限界があることが判明した⁵⁷⁾。

そこで新たな方法として湿度制御温風処理が検討された。これまでの高温処理を文化財建造物に適用する場合、加温や冷却によって木材の含水率が変化しひずみや変形、亀裂や塗装皮膜の剥離などの課題から難しい。一方で湿度制御温風処理は、木材の含水率が変化しないよう湿度を調整し膨張・収縮を防きながら、55℃から60℃の温度にさらして木材内部の害虫を死滅させるため、文化財建造物に適応できると考える。湿度制御温風処理の実用化を検証する場合、材質への影響とともに殺虫効果判定を確立する必要がある。湿度制御温風処理の殺虫効果判定の確立を目的としてまず、1節ではその殺虫効果判定の基本的考え方と湿度制御温風処理の殺虫効果判定に用いる供試虫について検証した結果について述べる。2節では供試虫の上限致死温度と処理時間の関係について試験を行ったのでその結果を述べる。

2017年に日光山輪王寺飛地境内（中禅寺）の愛染堂において文化財建造物としては国内初となる湿度制御温風処理が行われた。3節では湿度制御温風処理の殺虫効果判定と捕虫テープによる捕獲調査による殺虫効果のモニタリングの検証を行ったのでその結果について述べる。4節では2018年に中禅寺鐘楼で国内2例目となる湿度制御温風処理が行われた際に、再び愛染堂と同様の方法で供試虫を用いた殺虫効果判定と捕虫テープによる捕獲調査を行い、殺虫効果判定の有用性について評価を行ったのでそれについて述べる。

3.1 殺虫効果判定法の基本的考え方

殺虫効果判定を行う場合は、現に加害している害虫の種類を調べて、その害虫を供試虫として用いるのが最も適切であると考えられる。しかし殺虫処理のために加害種を調査して、それを供試虫として用いることは現実的ではない。そこで、加害種と同等の耐性を持つ種を供試虫として殺虫効果判定を行うことが適当であると考えられる。

日光にある文化財建造物において実際に被害をおよぼしている害虫はシバンムシ科甲虫であるが、木材を加害するシバンムシ科甲虫の人工飼育の研究は進んでおらず、いまだ確立されていない。野外におけるシバンムシ科甲虫の幼虫の成育期間や成虫の発生時期などの生態も不明で、供試虫としていつでも手に入

る甲虫類ではない。シバンムシ科甲虫の上限致死温度と時間の試験について、ヨーロッパ原産のシバンムシであるイエシバンムシ *Anobium punctatum* では 46°C から 54°C で処理した場合、46°C で 2.5 時間、47°C で 1.5 時間、48°C で 1 時間、52°C では 5 分で幼虫が 100% 致死に至ったこと⁵⁸⁾が報告されている。文化財建造物の処理の場合、殺虫効果だけでなく高温による材質への影響を考慮すると処理の加温はできるだけ最小限にするべきである。そのような観点から 54°C 程度の高温耐性をもち、かつ人工飼育が確立されている害虫が湿度制御温風処理の供試虫として適切であると判断した。

文化財分野における燻蒸の殺虫効果判定にはコクゾウムシ *Sitophilus zeamais* が供試虫として使用されている。コクゾウムシは文化財を加害することがないこと、薬剤に対して一定の抵抗力があり一般的な文化財害虫の殺虫効果の指標となること、繁殖力が高く飼育しやすいこと、成長期間が供試虫として用いるのに適当であること、などの理由から使用されている²⁵⁾。湿度制御温風処理は 50°C 以上に加温するが、コクゾウムシは 35°C の飼育では繁殖せずにやがて死滅する⁵⁹⁾こと、45°C に 4 時間以上さらすと供試した多くの幼虫と成虫が死亡するという報告⁶⁰⁾があることから、コクゾウムシの高温耐性はそれほどなく湿度制御温風処理の供試虫には不適であると断定し、ほかの害虫で高温耐性のある種類について調査を行った

その結果、アフリカヒラタキクイムシ *Lyctus africanus* に着目した。アフリカヒラタキクイムシはコウチュウ目ヒラタキクイムシ科に属し、体長は 2.5mm から 4.0mm で体色は茶褐色をしており、熱帯から亜熱帯地域にかけて広く分布する甲虫である (図 3-1)。日本では 1981 年に大阪府高槻市と茨木市の民家での発生例⁶¹⁾が報告されてから、近年では西日本から東北地方まで被害の発生が認められている害虫である⁶²⁾。アフリカヒラタキクイムシは人工飼育が可能で、幼虫が 59°C で 1 分、54°C では 24 分で致死することが報告⁶³⁾されていることから、コクゾウムシに比べて温風 (高温) に対して耐性があると考えられた。このアフリカヒラタキクイムシを湿度制御温風処理の供試虫として用いるために次の試験を行った。

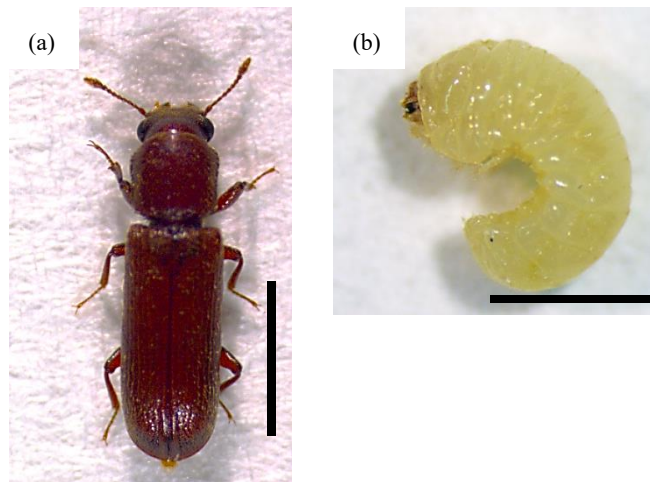


図 3-1 供試虫として用いたアフリカヒラタキクイムシの成虫(a)と幼虫(b) (バーの長さは2mm)

3.2 湿度制御温風処理に用いる供試虫の高温耐性試験

3.2.1 植卵人工飼料の作製

アフリカヒラタキクイムシは2016年に京都大学生存圏研究所居住圏環境共生分野の吉村剛博士から譲り受けて、東京文化財研究所にて累代飼育を行っている。累代飼育は、京大式人工飼料（デンプン50%・酵母粉末24%・ラワン木粉またはセルロール粉末26%）⁶⁴⁾を用い、25°C、55%RHの恒温恒湿器内で飼育している個体を用いた。

直径10cm、深さ8cmのガラス製の腰高シャーレの底部にろ紙を敷き、あらかじめ直径約3cm高さ約2cmに成形して十分に乾燥させた人工飼料{50%(w/w)可溶性デンプン、和光純薬工業;24%(w/w)ビール酵母粉末、自然健康社;26%(w/w)粉末セルロース、バルブスター}を2個とアフリカヒラタキクイムシ成虫のオス10個体、メス10個体を入れて15日間接触させて産卵させた。その後成虫を取り除き人工飼料を16日間飼育後、再び別の成虫のオス10個体、メス10個体を入れて10日間産卵させた。その後成虫を取り除いた人工飼料（以下、これを植卵人工飼料とする）を試験に使用した。ここで、植卵を2回行った理由は、アフリカヒラタキクイムシの近縁種で木材害虫のヒラタキクイムシ *Lyctus brunneus* の生態（卵期7日間前後、幼虫期45日から60日）⁶⁵⁾に基づき、湿度制御温風処理の時点で卵と幼虫が植卵人工飼料に入るように調整したためである。

3.2.2 上限致死温度と処理時間の試験

植卵人工飼料に含まれるアフリカヒラタキクイムシの卵と幼虫の上限致死温度と処理時間の関係を明らかにするため、次の試験を行った。まず、植卵人工飼料を各温度に設定した恒温恒湿器（エスペック社製）に10個ずつ設置して、経過時間ごとに植卵人工飼料を取り出して別の容器に移して25°C、55%RHで飼育した。処理31日後から10日ごとに羽化した成虫の個体数を計数し、101日経過後まで行った。

温度は40°Cから60°Cまで2°C毎とし、処理時間は0.5時間から5時間まで0.5時間毎に設定した。40°Cから48°Cの試験は1回、50°Cから60°Cまでの試験は繰り返し3回実施した。なお、湿度はいずれの処理においても83%RHで行った。

3.2.3 結果と考察

各温度と処理時間におけるアフリカヒラタキクイムシの成虫の累積羽化個体数を表3-1に示した。累積羽化個体数は、10日ごとに計数し101日までに羽化した個体の総数を示した。なお、予備試験において、54°Cで0.5時間処理をしたときに101日経過後に成虫の羽化が確認されたものが飼育期間の最長であり、151日経過後まで計数を行ったが101日経過後からあらたに羽化する個体はなかったため、飼育期間の上限を101日経過後とした。40°Cから48°Cにおいては101日以降もあらたに羽化する個体が認められるが、これは羽化した成虫が取り除かれる前に産卵した2世代目以降の個体と考えられる。

まず、40°Cから48°Cの各温度の結果を見ると5時間処理しても成虫の羽化が確認された。温度処理をしていない場合（25°C、55%RH）では、101日間飼育すると羽化する成虫の累積個体数が平均92個体（植卵人工飼料15個で行った試験の平均値）であったことから、40°Cから48°Cの温度域では5時間の処理では大きな影響を受けないと考えられる。

50°Cでは処理時間3時間から100%の致死となる処理区があり、3反復の試験ですべて100%致死に至ったのは3.5時間以上の処理区であった。さらに、52°Cでは処理時間1時間で100%致死となる処理区があり、1.5時間以上では3反復の試験ですべて100%致死に至った。54°Cでは0.5時間の処理で成虫の羽化が認められたが、1時間以上の処理で100%致死に至った。そして56°C、58°C、60°Cでは0.5時間の処理で100%致死に至った。

これらのことから、人工飼育の容易さと高温に対する耐性という点におい

て、湿度制御温風処理の殺虫効果判定にアフリカヒラタキクイムシを用いることは妥当であるという結果が得られた。

表 3-1 アフリカヒラタキクイムシを含む植卵人工飼料の処理温度と処理時間と累積羽化個体数*

処理温度** (°C)	処理時間 (時間)									
	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
40	98	111	122	104	116	116	110	101	122	85
42	128	110	88	124	96	95	129	105	115	108
44	88	117	113	136	123	134	101	112	94	101
46	71	65	79	75	49	77	60	76	88	68
48	89	100	61	74	81	78	70	61	71	57
50	75	85	97	54	41	5	0	0	0	0
	36	71	31	26	4	0	0	0	0	0
	28	27	19	7	2	0	0	0	0	0
52	87	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	42	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	26	7	0	0	0	0	0	0	0	0
54	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
56	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
58	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

*, 数値は処理後 101 日までに発生した成虫の累積個体数を示す。

**、各温度における相対湿度は 83%RH とした。

3.2.4 まとめ

アフリカヒラタキクイムシの上限致死温度を調査した結果、イエシバンムシの上限致死温度と同等かそれ以上の高温耐性があることが判明した。高温耐性と人工飼育の容易性の点からアフリカヒラタキクイムシは湿度制御温風処理の殺虫効果判定に使用することが使える。しかし、アフリカヒラタキクイムシは、日光の文化財建造物においては実際に被害をおぼしているシバンムシ科甲虫と

は異なるため、高温耐性などの性状が一致しない可能性がある点が課題であり、今後はこれらのシバンムシ科甲虫の人工飼育を確立し、上限致死温度に関する調査を進める必要がある。

3.3 中禅寺愛染堂における殺虫効果の検証

3.3.1 効果検証の経過

日本の文化財建造物は、複雑な建築構造で表面に漆や彩色が施されていることが多く、湿度制御温風処理を日本で実用化するには殺虫効果のみならず木材や漆、彩色への影響など様々な課題を検討して日本の文化財に適した独自の湿度制御温風処理に変える必要がある。これまでに文化財建造物での適用に向けたシステム開発のため、基礎研究として湿度制御温風処理室を作製し、処理中の部材内の温度分布、漆仕上げ材の表面ひずみの計測などが行われた^{66,67)}。その基礎研究の結果を基に、実際の建造物を想定した温湿度制御ユニットを作製して、小型の木造建造物での処理試験を経て、2017年11月に栃木県日光市にある中禅寺愛染堂（未指定、処理容積約350 m³、**図 3-2**）で、国内で初となる文化財建造物の湿度制御温風処理に至った^{68,69)}。

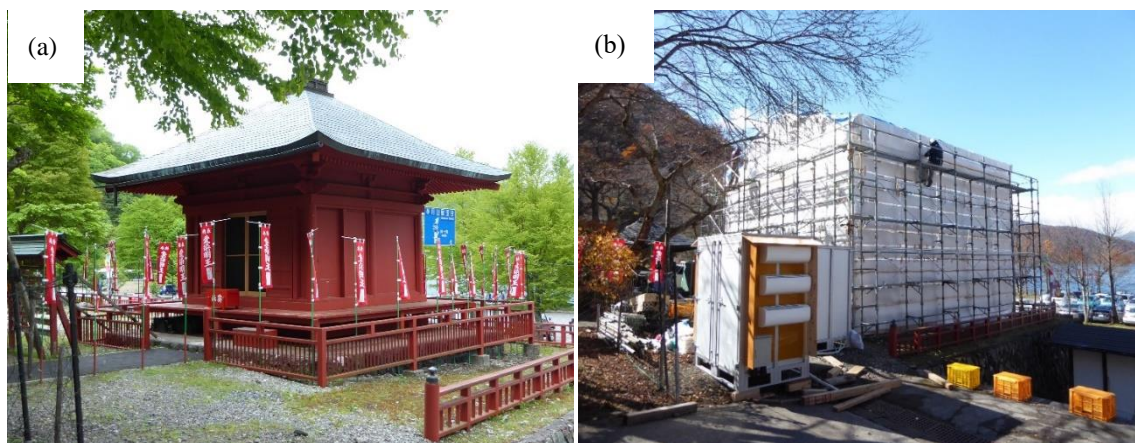


図 3-2 中禅寺愛染堂(a)と湿度制御温風処理時の様子(b)

本節では、愛染堂において湿度制御温風処理が行われた際に、供試虫を用いた殺虫効果判定と捕虫テープによる殺虫効果のモニタリング調査を行い、湿度制御温風処理の殺虫効果の検証を目的として調査を行った結果について述べる。

3.3.2 調査方法

1) 供試虫を用いた殺虫効果判定

最初にアフリカヒラタキクイムシの幼虫と卵が含まれる植卵人工飼料を作製した。次に一辺が 30cm のケヤキ角材の末口を上にして中央部から中心部にむけて直径 3cm 深さ 16cm の穴を開け、穴の底部に作製した植卵人工飼料をいれた。その後、直径 3cm 長さ 14cm のケヤキ材の丸棒を穴に入れて栓をした。加工部分から熱が伝わらないように縦横が 30cm、厚さ 10cm のポリスチレンフォームの断熱材（スタイロフォーム、ダウ化工）を被せてアルミテープ（スーパーアルミテープ VH、共同技研化学）で木材との接触面を塞いだ（以下、これを殺虫効果判定試験材とする、**図 3-3**）。設置の際は、断熱材が下になるように設置した（**図 3-4**）。

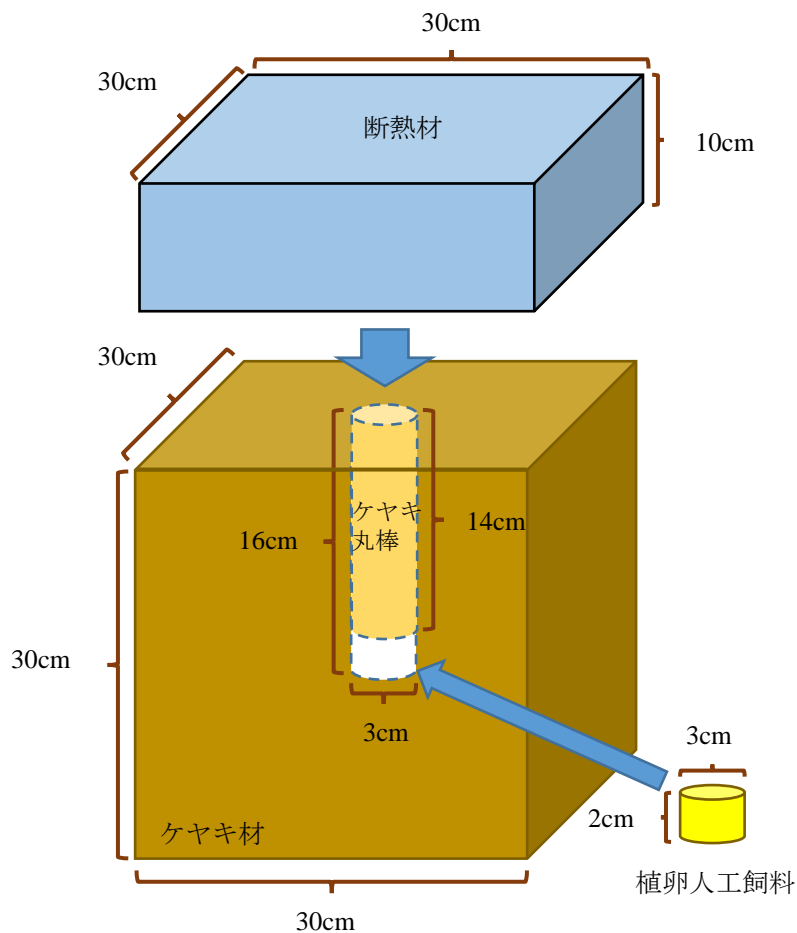


図 3-3 湿度制御温風処理の用いた殺虫効果判定試験材の模式図



図 3-4 中禅寺愛染堂に設置した殺虫効果判定
試験材

2) 捕虫テープによる捕獲調査

湿度制御温風処理の前後の期間に捕虫テープを設置して捕獲された木材害虫の種類と個体数について調査することで、湿度制御温風処理の殺虫効果についての評価を試みた。捕虫テープによる調査の方法は先の報告⁴⁷⁾に準じて行った。捕虫テープは愛染堂の堂内 {小屋裏, 壇上, 地袋中, 室内 (正面右, 正面左)} に合計 102 本の捕虫テープを設置した (図 3-5)。設置期間は湿度制御温風処理前の 2017 年 6 月 1 日から 8 月 31 日, 湿度制御温風処理後の 2018 年 6 月 1 日から 8 月 31 日までとした。その後回収した捕虫テープに捕獲された昆虫類の同定と個体数の集計を行った。

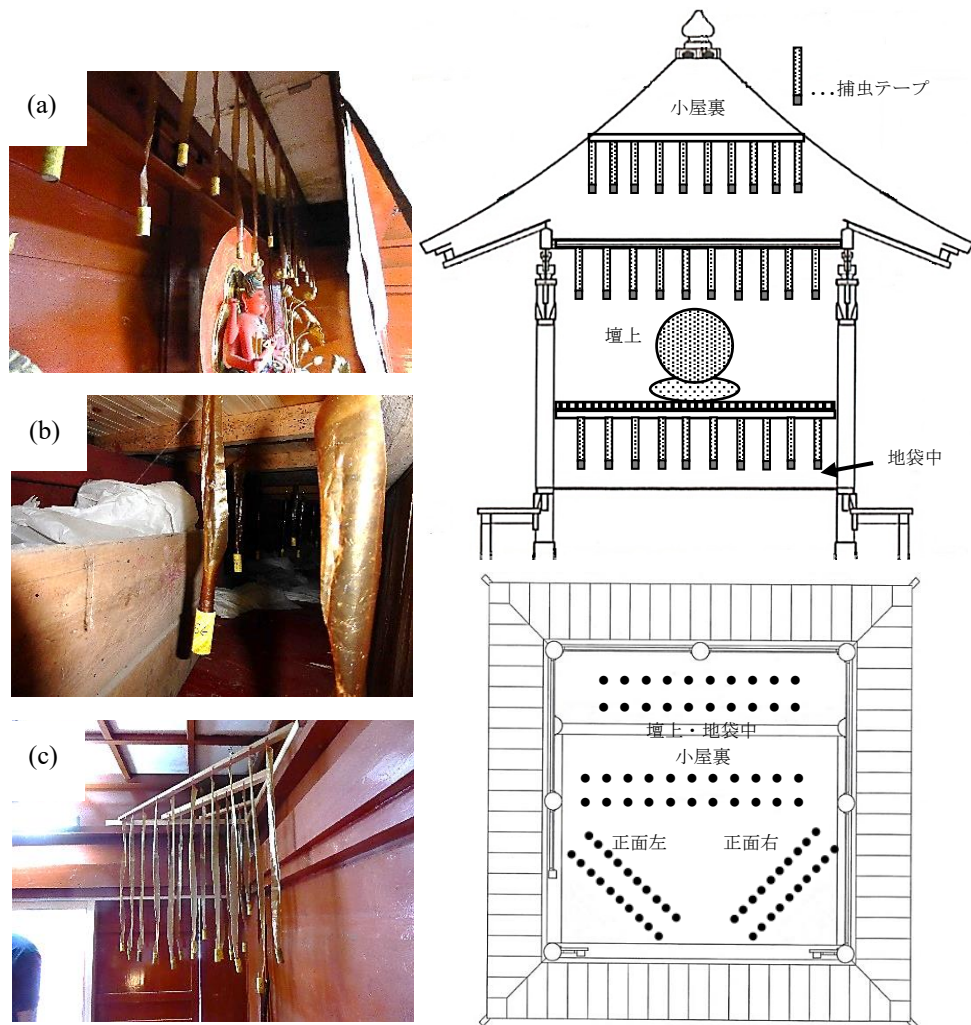


図 3-5 中禅寺愛染堂内の捕虫テープ設置個所と各箇所 {壇上(a), 地袋中(b), 正面左(c)} の様子

3.3.3 湿度制御温風処理と処理後の殺虫効果判定

1) 供試虫による効果判定

湿度制御温風処理は、2017年11月3日から11月16日の14日間行われ、その間愛染堂の堂内の温湿度は、処理開始時は18°C, 73%RHで4.5日かけて60°C, 83%RHにまで昇温・加湿した。60°Cに到達後3日間保持し、その後4日かけて10°C, 73%RHまで降温・除湿した⁶⁹⁾。なお、湿度制御温風処理のシステムの仕様や使用機材等の詳細は別に報告^{68,69)}があるため、ここでは割愛する。湿度制御温風処理終了後に殺虫効果判定試験材の内部にある植卵人工飼料を取り出し容器に移し25°C, 55%RHで31日間飼育して羽化した成虫の個体数を計数した。

また、処理区と同様に作製した殺虫効果判定試験材を 25°C に設定した研究室内において 18 日間おいたものを対照区とし、同様に 25°C, 55%RH で 31 日間飼育して羽化した成虫の個体数を計数した。

3.3.4 結果と考察

1) 殺虫効果判定の結果

処理区においては、湿度制御温風処理後に植卵人工飼料を 31 日間飼育し、羽化する成虫を確認した結果、成虫の発生は全く見られなかった。その後湿度制御温風処理後 56 日間まで観察したが、成虫が発生することはなかった (図 3-6a)。一方、対照区の植卵人工飼料からは湿度制御温風処理後 31 日間で合計 44 個体の成虫の発生が見られた (図 3-6b)。このことから処理区に設置した植卵人工飼料内の卵や幼虫は、殺虫効果判定試験材の内部まで目的とする温度に至ったために、高温によって死滅したものと考えられる。

なお、予備的な調査として、殺虫効果判定試験材の内部に植卵人工飼料と一緒に蛹と成虫を各 10 個体入れて、処理区と対照区の両方で致死を確認したところ、いずれの処理区でも死亡が確認された。対照区においても蛹と成虫が死亡した理由は不明だが、供試虫を直接殺虫効果判定試験材の中に入れる方法は適切ではないことが確認された。これらのことから、植卵人工飼料を用いて行う必要があることが本研究によって示された。

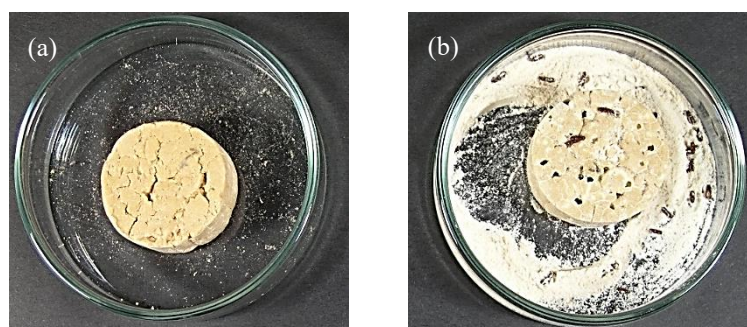


図 3-6 中禅寺愛染堂の湿度制御温風処理区(a)と対照区(b)の植卵人工飼料の成虫発生の様子

2) 捕虫テープによる捕獲結果

捕獲調査の結果を表 3-2 に示す。湿度制御温風処理前にあたる 2017 年に行った調査では、シバンムシ類甲虫は合計でエゾマツシバンムシが 2 個体、アカチ

ヤホソシバンムシが 50 個体捕獲されたが、湿度制御温風処理後にあたる 2018 年の調査では、シバンムシ科甲虫は合計でエゾマツシバンムシが 3 個体、チビキノコシバンムシが 1 個体捕獲された。アカチャホソシバンムシは木材を加害する害虫で、成虫の捕獲数から推測すると 2017 年は建物の部材に生息していた幼虫が成虫となって部材から脱出した個体が捕虫テープに捕獲された可能性が高いと考えられる。一方、2018 年は湿度制御温風処理により部材内部に生息するアカチャホソシバンムシの個体が死亡したため、設置した捕虫テープに捕獲されなかったと考えられる。エゾマツシバンムシやチビキノコシバンムシはともに捕獲数が少ないことから、屋外環境から侵入した個体が捕獲されたと推察される。

捕虫テープは設置した場所のすべての昆虫を捕獲することはできないものの、日常的なモニタリング調査を通じて被害の早期発見を行う目的にのみならず、殺虫処理の効果判定にも用いることが可能であることが示唆された。

表 3-2 捕虫テープによる捕獲調査の概要と結果

設置場所 (愛染堂)	設置 本数	2017 年 6 月 1 日から 8 月 31 日			2018 年 6 月 1 日から 8 月 31 日			
		シバンムシ科* (個体数)	その他甲虫 (個体数)		シバンムシ科* (個体数)	その他甲虫 (個体数)		
小屋裏	22	エゾマツ (1)	ハナノミ科 (3) ゴミムシ科 (1)		エゾマツ (1)	ハナノミ科 (2)		
正面右	20	エゾマツ (1)	コメツキムシ科 (1)		エゾマツ (2)	ハナノミ科 (2)		
		アカチャホソ (11)	カツオブシムシ科 (4) ハナノミ科 (1)			カツオブシムシ科 (4)		
正面左	20	アカチャホソ (22)	ジョウカイボン科 (1)		-	カツオブシムシ科 (2)		
			カツオブシムシ科 (3)			ハナノミ科 (1)		
			ハナノミ科 (2)			ゴミムシダマシ科 (1)		
地袋中	20	-	ハナノミ科 (1)		チビキノコ (1)	ハナノミ科 (1)		
壇上	20	アカチャホソ (17)	ジョウカイボン科 (1)		-	-	ハナノミ科 (3) ハムシ科 (1)	
			コメツキムシ科 (4)					
			カツオブシムシ科 (1)					
			ハナノミ科 (1)					

*、種名は「シバンムシ」を省略。

3.3.5 まとめ

湿度制御温風処理が愛染堂で行われた際にその殺虫効果の検証のため、殺虫効果判定試験材を用いた殺虫効果判定と湿度制御温風処理前後に行った捕虫テープによる捕獲調査を行った。供試虫にはアフリカヒラタキクイムシを選定し、卵と幼虫が入るように調整した植卵人工飼料を調整した。これを 30cm×30cm×30cm のケヤキ材の中央部に封入して湿度制御温風処理の処理空間

内に設置した。湿度制御温風処理後に一定期間飼育したところ、処理区の植卵人工飼料からは成虫の発生は全く見られなかった。一方、捕虫テープを用いた捕獲調査では、シバンムシ類成虫の発生が見られる時期の6月から8月に同条件で処理前後に設置して捕獲された昆虫類の種類と個体数を調査した。その結果、湿度制御温風処理前の2017年に多数捕獲された木材害虫のアカチャホソシバンムシが湿度制御温風処理後の2018年には捕獲されなかった。これは湿度制御した温風処理によって木材内部に生息するアカチャホソシバンムシの殺虫効果が得られたことを示す調査結果であると考えられる。

3.4 中禅寺鐘楼における殺虫効果の検証

3.4.1 効果検証の経緯

中禅寺愛染堂の湿度制御温風処理で用いた殺虫効果判定法⁷⁰⁾は、人工飼料中の卵や幼虫が高温に曝されるが、この系におけるアフリカヒラタキクイムシの上限致死温度と処理時間に関する詳細な情報は不足しており、供試虫として実用化を進めるための課題である。また、捕虫テープによる捕獲調査においても、殺虫処理の効果判定を目的として用いられた実例が乏しいため、湿度制御温風処理の前後での調査を再度実施し、有用性を評価することが課題である。

そこで、2018年に中禅寺鐘楼（以下、鐘楼とする、**図 3-7**）（未指定、処理容積約1,200 m³）で国内2例目となる湿度制御温風処理が行われる際に、再び愛染堂と同様の方法で捕虫テープによる捕獲調査を行い、殺虫効果判定の有用性について評価を行った。

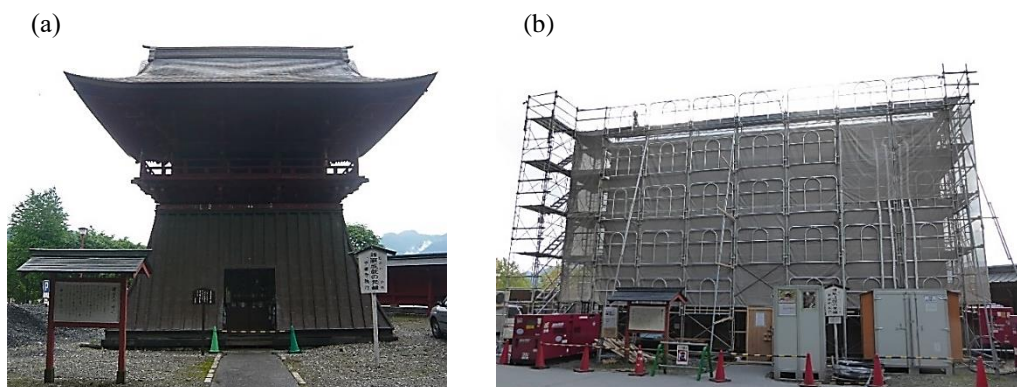


図 3-7 中禅寺鐘楼(a)と湿度制御温風処理時の様子(b)

3.4.2 実験および調査方法

1) 殺虫効果判定試験材の作製

愛染堂の殺虫効果判定法と同様に、アフリカヒラタキクイムシの卵と幼虫が含まれる植卵人工飼料を調製し、植卵人工飼料を 30cm×30cm×30cm のケヤキ材の中央部にいれてケヤキ材の丸棒で栓をした。さらに加工部分は断熱材で木材との接触面を塞いだ。

2) 捕虫テープによる捕獲調査

湿度制御温風処理前の 2018 年と処理後の翌 2019 年に同一期間に捕虫テープを設置して捕獲される木材害虫の種類と個体数について調査し、湿度制御温風処理の殺虫効果の評価を行った。捕虫テープは鐘楼の内部(小屋裏, 上層, 下層)に合計 216 本設置した(図 3-8)。その後回収した捕虫テープに捕獲された昆虫の同定と個体数の集計を行った。設置期間は湿度制御温風処理前の 2018 年 4 月 6 日から 8 月 30 日, 湿度制御温風処理後は 2019 年 4 月 6 日から 8 月 30 日までとした。

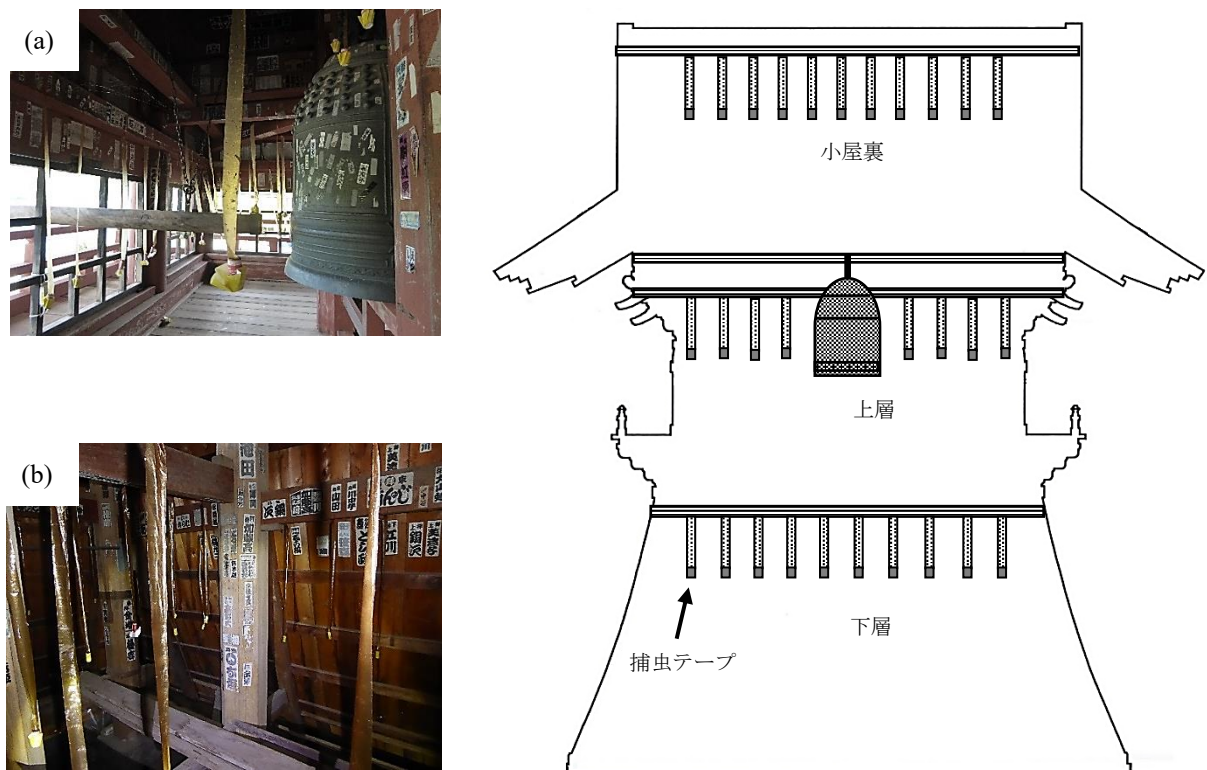


図 3-8 中禅寺鐘楼内の捕虫テープ設置個所と上層(a)と下層(b)の様子

2) 鐘樓の湿度制御温風処理における殺虫効果判定の検証

2018年9月11日から9月22日の12日間、鐘樓の湿度制御温風処理が行われた。その間の処理温度と湿度の推移は次のとおりである。処理開始時は24℃、77%RHで、その後4日間をかけて60℃、84%RHにまで昇温・加湿し、60℃、84%RHに到達後3日間温湿度を保持し、そこから4日間をかけて20℃、76%RHまで降温・除湿した。なお、鐘樓の湿度制御温風処理の詳細は別に報告⁷¹⁾があるため、ここでは概要を述べるに留める。

殺虫効果判定試験材は、湿度制御温風処理前の9月11日に鐘樓内部に設置した(図3-9)。その後、9月22日の処理終了後に殺虫効果判定試験材の内部にある植卵人工飼料を取り出して飼育容器に移し、25℃、55%RHで101日間飼育して羽化した成虫の個体数を計数した。また、対照として同じ方法で作製した殺虫効果判定試験材を処理期間と同等の18日間25℃に維持した室内に置いて羽化した成虫の個体数を計数した。



図 3-9 中禅寺鐘樓内部に設置した殺虫効果判定試験材

3.4.3 結果と考察

1) 湿度制御温風処理における殺虫効果

鐘樓の湿度制御温風処理後に殺虫効果判定試験材から植卵人工飼料を取り出して101日間飼育し、羽化する成虫を確認した結果、羽化する成虫は確認されなかった(図3-10a)。一方、対照とした植卵人工飼料からは31日経過後ですでに合計49個体の成虫の羽化が確認された(図3-10b)。このことから、鐘樓の湿度制御温風処理では、内部に設置した30cm×30cm×30cmのケヤキ角材の中心部

分まで供試虫のアフリカヒラタキクイムシが 100%致死に至る温度上昇が達成され、かつ保持されたと考えられる。

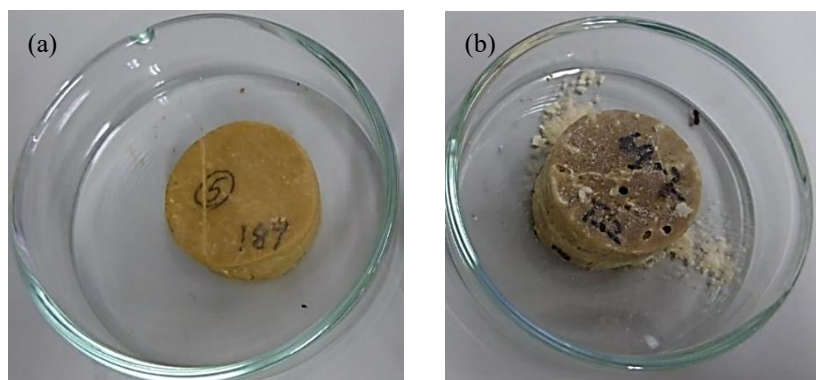


図 3-10 中禅寺鐘楼の湿度制御温風処理区(a)と対照区(b)の植卵人工飼料の成虫発生の様子

2) 捕虫テープによる捕獲結果

捕虫テープによる捕獲調査の結果を表 3-3 に示す。湿度制御温風処理前にあたる 2018 年の調査では、シバンムシ科甲虫ではエゾマツシバンムシが合計で 47 個体、アカチャホソシバンムシが合計で 1 個体捕獲されたが、湿度制御温風処理後にあたる 2019 年の調査では、シバンムシ類はエゾマツシバンムシが 1 個体のみの捕獲であった。エゾマツシバンムシの成虫の捕獲数 (47 個体) から推測すると 2018 年は建物の部材に生息していたエゾマツシバンムシの幼虫が羽化して捕虫テープに捕獲された可能性が高いと考えられる。一方、2019 年は湿度制御温風処理により部材内部に生息するエゾマツシバンムシの幼虫が死滅 (あるいは減少) したため捕獲数が 1 個体となったと考えられる。処理後に捕獲された 1 個体のエゾマツシバンムシは、建物の構造や処理状況によって、湿度制御温風処理が行き届かずに残った幼虫が羽化した個体であるか、屋外から侵入した個体であるかは本調査からは判別ができない。この点については今後の検討課題である。現時点においては、捕虫テープによる捕獲調査とアフリカヒラタキクイムシを用いた殺虫効果判定とあわせて総合的に殺虫効果判定を行う必要があることが示唆された。

表 3-3 中禅寺鐘楼で実施した捕虫テープによる捕獲調査の結果

設置場所 (鐘楼)	設置 本数	2018年4月6日から8月30日(処理前)		2019年4月6日から8月30日(処理後)				
		シバンムシ科* (個体数)	その他甲虫 (個体数)	シバンムシ科* (個体数)	その他甲虫 (個体数)			
小屋裏	40	-	コメツキムシ科	(1)	エゾマツ	(1)	ジョウカイボン科	(2)
			ハナノミ科	(4)			ハナノミ科	(4)
			キクイムシ科	(1)				
上層	108	エゾマツ アカチャホン	ゴミムシ科	(1)	-		ゴミムシ科	(3)
			コメツキムシ科	(1)			コメツキムシ科	(2)
			カツオブシムシ科	(3)			ジョウカイボン科	(13)
			ハナノミ科	(1)			ゴミムシダマシ科	(1)
							ハナノミ科	(3)
下層	68	エゾマツ	ゴミムシ科	(1)	-		コメツキムシ科	(3)
			ジョウカイボン科	(1)			ジョウカイボン科	(1)
			カツオブシムシ科	(3)			ハナノミ科	(5)
			ハナノミ科	(1)				
			ハムシ科	(1)				

*、種名は「シバンムシ」を省略.

3.4.4 まとめ

2018年に鐘楼の湿度制御温風処理を行った際の殺虫効果を、アフリカヒラタキクイムシを用いた殺虫効果判定法と捕虫テープによる捕獲調査から判定した.

捕虫テープによる捕獲調査では、建物外からの侵入個体が捕獲される可能性があることや設置した場所のすべての昆虫を捕獲することができないという課題があるため、本法のみで殺虫効果判定を行うことが出来ないことが本研究によって示された. しかしながら、実際に被害をおよぼしていると考えられるエゾマツシバンムシの有意な減少が確認されたことは重要な点である.

第4章 シバンムシ科甲虫の新規モニタリング手法

はじめに

シバンムシ科甲虫は成虫期間が短く、建造物で被害を確認しても加害種の生体を発見することは難しいため、屋根裏や床下に捕虫テープを長期間設置し、生息数のモニタリング調査が行われてきた。一方で、シバンムシ科甲虫が羽化して木材から脱出した跡である脱出孔や材内に溜まった幼虫期の虫糞の特徴を調査することで加害種の生物種を類推することが出来れば、脱出孔と虫糞の形態情報も虫害調査を行う上での有益な情報となる。現地調査において、いくつかのシバンムシ科甲虫では形態的に特徴のある虫糞が認められていたため、本章1節では脱出孔の形状と虫糞の触感や顕微鏡による形態観察を通して生体痕跡と加害種との関連性について検討を進めることとした。

第3章では人工飼育が可能なアフリカヒラタキクイムシを供試虫として湿度制御温風処理の殺虫効果判定を行ったが、本来は実際の加害種であるシバンムシ科甲虫を用いる方が適切であるという課題が残されていた。木材を加害するシバンムシ科甲虫は自然界でまとまって採集できるような生息地は知られておらず、人工飼育も確立していないため供試虫として用いることが出来ていない。人工飼育を行うためには生体の捕獲が必要であるが、幼虫は建造物の材内にいることと、成虫は発生期間が短いことから目視調査での捕獲には限界があった。そこで、本章2節では生息数のモニタリング調査と同時にトラップで捕獲した甲虫を生きたまま回収できる調査方法として、衝突板トラップ（フライト・インターセプション・トラップ）⁷²⁾の適応可能性について検証した。

本章3節では、DNAバーコーディングに基づくシバンムシ科甲虫の同定法について検討した。シバンムシ科甲虫の生息数モニタリング調査において、これまで目視や捕虫テープで捕獲されたものは、学術的に信頼のある種の記載情報（形態的情報、生態的情報）と比較し、それと一致するかどうかで同定作業を行ってきた。しかし、形態的な特徴が類似する甲虫も多く、昆虫分類の専門知識を有する者でも正確な同定が困難な場合や時間を要する場合もある。また、完全な形を保ったままの個体ではなく、形態が著しく損傷した個体、歩脚や翅などといった体節の一部しか得られない場合、形態的特徴が乏しい卵や幼虫のみしか得られない場合もあり、これらからでは形態的特徴を基に同定を行うことは困難であった。このような課題を克服する技術として分子生物学的な手法を利用した

DNA バーコーディングに着目した。DNA バーコーディングとは、特定領域の DNA 塩基配列 (DNA バーコード, DNA barcode) を種の情報を盛り込んでいる識別子として利用して、DNA 塩基配列の決定と既知種の DNA 塩基配列で構成されているデータベースとの照合から種の同定を行う手法である⁷³⁾。DNA バーコーディングを応用すれば、形態的特徴に依存することなく、体節の一部から DNA を抽出し、DNA 塩基配列情報に基づき種を同定することが可能になることが期待される。

4.1 シバンムシ科甲虫各種間の虫糞形状比較

4.1.1 虫糞形状による加害種同定の可能性

木材内部を加害するシバンムシ科甲虫の被害が進行すると、木材内部から成虫が脱出した後にできる脱出孔や孔道内にあった幼虫の虫糞が脱出孔近傍で確認できるようになる。シバンムシ科甲虫は成虫期間が短く、被害現場を調査しても生体を発見することは難しい。しかし、脱出孔や虫糞の特徴を調査することで加害種の生物種をある程度まで類推することができ、実際に虫糞を利用した加害種の推測について試みられている⁷⁴⁾。

ここでは、まず 4 種類のシバンムシ科甲虫がそれぞれ加害した木材から採取された虫糞を標本試料に位置付けて、その形状を記載することとした。そして、加害種が特定されていない建造物で虫糞を採取し、4 種類のシバンムシ科甲虫の虫糞と比較することで、虫糞から加害したシバンムシ科甲虫の種の推定を行った。さらに、同じ建物で実施した捕虫テープの捕獲調査結果を参照することで、虫糞形状比較によるシバンムシ科甲虫の推定の妥当性を評価した。

4.1.2 調査方法

1) シバンムシ科甲虫の虫糞形状観察

2008 年から 2010 年の調査結果^{53,75,76)}から、オオナガシバンムシは輪王寺三仏堂、クロトサカシバンムシは大猷院霊廟二天門、エゾマツシバンムシは中禅寺立木観音堂から虫糞を採取した。また、チビキノコシバンムシは被害が顕著であった輪王寺慈眼堂拝殿から採取した。採取方法は、成虫の発生した解体材や建物内部に保管してあった被害材、成虫の死骸が材内で確認された部材を切断して内部に存在する虫糞を刷毛で採取し、実体顕微鏡下で観察した。また、加害種が特定されていない建造物から同様の方法で虫糞を採取し、実体顕微鏡下で虫糞の

形状を観察し、既知の4種のシバンムシ科甲虫の虫糞形状と比較した。

4.1.3 結果および考察

1) 4種のシバンムシ科甲虫の虫糞形状

オオナガシバンムシの虫糞は、肉眼では粉状をしており、手で触ると顆粒の存在を感じないほどであった。実体顕微鏡で観察した結果、虫糞は微粉状でほとんど形が定まっておらず、虫糞とかじり屑が混在している状態が観察された(図4-1)。

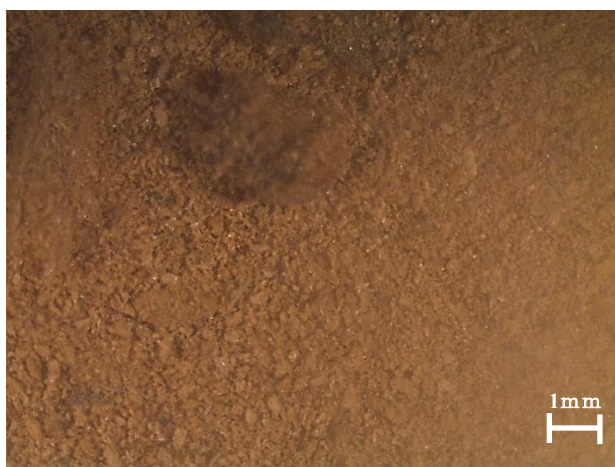


図4-1 輪王寺三仏堂で採取したオオナガシバンムシの虫糞

クロトサカシバンムシの虫糞は、オオナガシバンムシの虫糞とは明らかに異なり、肉眼でも粗粒状であることが確認できた。また、手でさわっても粉砕することはほとんどなかった。実体顕微鏡で観察した結果、虫糞は円筒状をしており、長径は約1mmで両端あるいは一端が細くなっているものが多いことが観察された(図4-2)。観察した一部の虫糞について、虫糞同士が接着されているものが確認されたが、これはおそらく蛹室に使用されたものと考えられる。このような虫糞の特徴はケブカシバンムシの虫糞とよく似ている²⁹⁾。ケブカシバンムシの脱出孔は直径約3mmの円形で、通常は虫糞を排出しないが、時折虫糞が排出されることがある。



図 4-2 大猷院霊廟二天門で採取したクロトサカシバンムシの虫糞

エゾマツシバンムシの虫糞は、肉眼では微粉状をしており、手で触っても顆粒の存在は感じないほどであった。実体顕微鏡で確認した結果、形状はオオナガシバンムシのものとよく似ており、微粉状で形状が定まっておらず、虫糞とかじり屑が混在していた（図 4-3）。虫糞はオオナガシバンムシとエゾマツシバンムシは共に 1mm 以下と非常に小さいが、オオナガシバンムシの虫糞よりエゾマツシバンムシの虫糞のほうが少し大きい様に観察された。



図 4-3 中禅寺立木観音堂で採取したエゾマツシバンムシの虫糞

チビキノコシバンムシの虫糞は、肉眼では粉状をしており、手で触っても顆粒

の存在を感じないほどであった。実体顕微鏡で観察した結果、粒径は0.1mm以下と非常に小さく、形状は球形のものが多く一部長円形のものが混在していた(図4-4)。



図4-4 輪王寺慈眼堂拝殿で採取したチビキノコシバンムシの虫糞

2) 文化財建造物から採取された虫糞との比較

2010年の調査で多数のオオナガシバンムシが捕獲された文化財建造物は、輪王寺大猷院本殿、大猷院別当所龍光院、二荒山神社滝尾神社拝殿、東照宮奥社拝殿などであった⁴⁷⁾。その中で、輪王寺大猷院本殿から採取した虫糞はオオナガシバンムシの虫糞形状と類似していた(図4-5)。



図4-5 輪王寺大猷院本殿で採取した虫糞

一方、二荒山神社滝尾神社拝殿から採取した虫糞は、クロトサカシバンムシやチビキノコシバンムシの虫糞形状に類似していたが、オオナガシバンムシの虫糞に類似したものは含まれていなかった（図 4-6）。これは、虫糞を採取する際に、オオナガシバンムシの被害材から虫糞が採取されなかったためと考えられる。



図 4-6 二荒山神社滝尾神社拝殿で採取した虫糞

大猷院奥社拝殿，慈眼堂経蔵，慈眼堂鐘楼，慈眼堂阿弥陀堂，観音堂，二荒山神社滝尾神社本殿，滝尾神社拝殿，滝尾神社楼門，未社朋友神社本殿，別宮本宮神社拝殿，東照宮鼓楼，中神庫，下神庫，西浄ではクロトサカシバンムシが捕獲され⁴⁷⁾，このうち，二荒山神社滝尾神社楼門，東照宮中神庫から採取した虫糞はクロトサカシバンムシの虫糞形状に類似していた（図 4-7，図 4-8）。



図 4-7 二荒山神社滝尾神社楼門で採取した虫糞



図 4-8 東照宮中神庫で採取した虫糞

チビキノコシバンムシは2010年の調査ではほとんどの建造物で捕獲されており，500個体以上捕獲された建造物は輪王寺大猷院別当所龍光院，三仏堂，常行堂，法華堂，慈眼堂拝殿，二荒山神社滝尾神社拝殿，東照宮神厩舎，五重塔，保存会管理の本地堂（薬師堂）であった⁴⁷⁾．これらのうち二荒山神社滝尾神社拝殿，東照宮神厩舎で採取した虫糞は，チビキノコシバンムシの虫糞形状に類似していた（図 4-6，図 4-9）．一方，捕獲個体数は少ないものの，二荒山神社本殿，輪王寺大猷院拝殿，東照宮下神庫，仮殿相の間，仮殿拝殿から採取された虫糞は，チビキノコシバンムシの虫糞形状に類似していた．



図 4-9 東照宮神厩舎で採取した虫糞

4.1.4 まとめ

4種のシバンムシ科甲虫の虫糞について形状を観察し、その特徴を記載した。チビキノコシバンムシの虫糞は粒径が0.1mm以下と非常に小さく、他のシバンムシ科甲虫の虫糞とは異なっていた。実際に文化財建造物から採取された虫糞の比較ではチビキノコシバンムシと推察される虫糞と一致するものがあった。しかしオオナガシバンムシとエゾマツシバンムシ、クロトサカシバンムシとケブカシバンムシの虫糞は類似しているように観察されたが、客観性をもった科学的な数値データを得るにはいたっていない。これらについては、脱出孔の大きさや虫の分布域など虫糞形態に他の情報も追加して総合的に考慮した方がよいと考えられる。

4.2 衝突板トラップを用いたモニタリング手法の実用性評価

4.2.1 生体捕獲の必要性

これまで行われた現地での加害種の分布調査では、飛翔性昆虫捕獲用の捕虫テープ（ハエ取り紙）が利用されてきた。しかし、捕虫テープによる調査では、粘着面に埃等が付着するため、長期間設置すると粘着力が落ちて捕獲が困難になることや捕獲された生物にカビが発生したり、粘着物が付着したりして形態同定が困難になるなどの問題があった。また、生きたまま捕獲することができないため、捕獲後に飼育をすることで生態を調査したり、人工飼育を行い殺虫効果判定等の試験に供試したりすることは出来なかった。

そこで、昆虫類をモニタリングする調査手法として用いられるフライト・インターセプション・トラップ（Flight Interception Trap 以下、FIT と表記する）を使用した調査手法に着目した。FIT は、「衝突板トラップ」とも呼ばれ、飛翔している昆虫を障害物（透明の板など）に衝突させて落下したものを捕獲する手法である⁷²⁾。合板工場における甲虫類のモニタリング調査に用いられた事例報告がある⁷⁷⁾。ここでは、FIT を文化財建造物の建物内部で用いることが可能かを検討し、シバンムシ科甲虫を生きたまま捕獲することを目的として調査を実施した。

4.2.2 調査方法

1) FIT トラップと目視によるシバンムシ科甲虫の生態調査

FIT の原理は、次のとおりである。飛翔している昆虫が障害物にぶつかり、翅や脚を縮めて落下する。それを設置してある受け皿で捕獲する。受け皿には捕

殺や腐敗防止の目的で、プロピレングリコールや酢酸等の薬品を入れて設置する。市販のトラップも販売されている（例えば、十字型衝突板トラップ・HOGA製など）が、ここでは捕獲後の同定や生態観察などのため生きたまま捕獲することを目的としたため、次のようなトラップを作製した。

装置は大きく分けて「衝突部」と「捕獲器」に分かれる（図 4-10）。衝突部は幅 100cm の市販のポリエステル製シートを長さ 130cm に切り、一辺を漏斗状に包み粘着テープで固定した。包んだ先端を捕獲器が入るように切りとり捕獲器をはめた。一方捕獲器は、開口部が直径 10cm のプラスチックカップの内部に脱脂綿を敷き、捕獲された生物が脱出しないように、開口部には市販の漏斗を取り付けた。

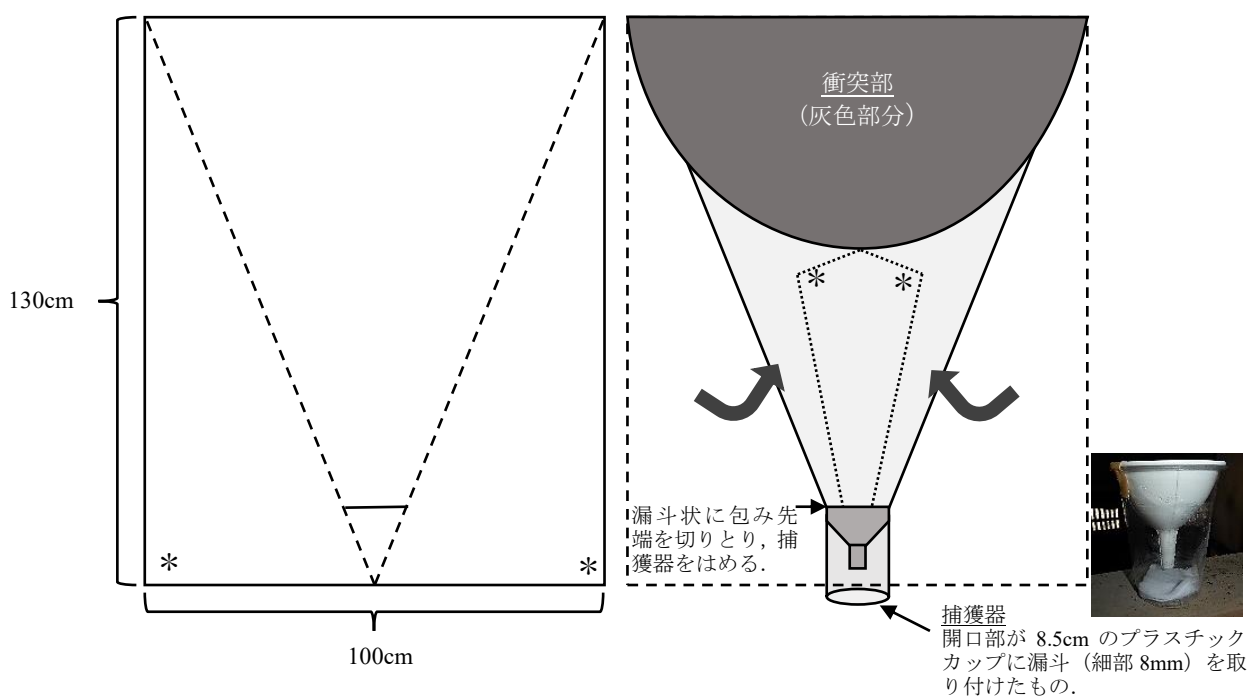


図 4-10 調査に用いた FIT の模式図

2010 年に行った調査の結果⁴⁷⁾に基づき、シバンムシ科甲虫による被害が進行中と考えられる輪王寺大猷院霊廟本殿・相の間・拝殿，東照宮五重塔，輪王寺三仏堂西側の鐘楼，中禅寺鐘楼の 4 棟に FIT を設置した（図 4-11，図 4-12）。設置個数は全棟合わせて 49 個，設置期間は 2016 年 6 月 16 日から 8 月 8 日で，その間に 1 週間から 2 週間ごとに捕獲器の交換を行った（表 4-1）。また，中禅寺鐘楼で発生しているエゾマツシバンムシについて，現地での生態観察を行ったあと人工飼育下での行動様式の観察を行った。



図 4-11 FIT の設置場所 {(a)輪王寺大猷院霊廟本殿・相の間・拝殿, (b)東照宮五重塔, (c)輪王寺三仏堂西側の鐘楼, (d)中禅寺鐘楼}



図 4-12 FIT 設置の様子

4.2.3 結果と考察

1) FIT と目視による生態調査

FIT 調査の結果，調査対象としたシバンムシ科甲虫では，チビキノコシバンムシ，エゾマツシバンムシ，アカチャホソシバンムシを捕獲することができた（表 4-2）。

表 4-1 FIT による捕獲調査の概要

設置場所	設置個数	設置期間 (2016 年)
輪王寺大猷院霊廟本殿・相の間・拝殿 (本殿の床下のみ設置)	20	6月16日から6月30日(14日間)
東照宮五重塔	16	6月30日から7月7日(7日間)
輪王寺三仏堂西側の鐘楼 小屋裏	5	7月7日から7月16日(9日間)
中禅寺鐘楼 下層	8	7月16日から7月28日(12日間)

表 4-2 設置期間ごとの FIT に捕獲された生物類 (2016 年)

設置場所	6月16日から6月30日			6月30日から7月7日			7月7日から7月16日		
	シバンムシ科 ^{*,**}	その他甲虫 ^{**}	その他生物	シバンムシ科 ^{*,**}	その他甲虫 ^{**}	その他生物	シバンムシ科 ^{*,**}	その他甲虫 ^{**}	その他生物
輪王寺大猷院 霊廟本殿・ 相の間・拝殿	—	—	ヨコバイ類, ハエ類, ガ類	—	—	ハエ類	—	コメツキ ムシ科1	ヨコバイ類, ガ類, ハエ類
東照宮 五重塔	—	—	カメムシ類, ガ類	—	—	ガ類, ハエ類	チビキノコ (生2・死1)	—	ガ類, ハエ類
輪王寺三仏堂 西側の鐘楼 小屋裏	—	—	—	アカチャホソ (生1)	—	ハエ類	チビキノコ (死1)	—	ハエ類, クモ類
中禅寺鐘楼 下層	—	カツオブシ ムシ科2	ハエ類	エゾマツ (生1)	ヒョウホン ムシ科1	ハエ類	エゾマツ (生1)	ハネカクシ 科1	ガ類, クモ類
設置場所	7月16日から7月28日			7月28日から8月8日					
	シバンムシ科 ^{*,**}	その他甲虫 ^{**}	その他生物	シバンムシ科 ^{*,**}	その他甲虫 ^{**}	その他生物			
輪王寺大猷院 霊廟本殿・ 相の間・拝殿	チビキノコ (生1・死3)	ヒョウホン ムシ科1, クチキムシ 科1	カメムシ類, ヨコバイ類, ハエ類	チビキノコ (生4・死7)	ハネカクシ 科1	カマドウマ類, ヨコバイ類, ハエ類			
東照宮 五重塔	チビキノコ (死3)	—	ハエ類	チビキノコ (死1) アカチャホソ (生1)	—	ガ類			
輪王寺三仏堂 西側の鐘楼 小屋裏	チビキノコ (死1)	—	ハエ類	チビキノコ (死1)	—	ハエ類			
中禅寺鐘楼 下層	—	—	ヨコバイ類	アカチャホソ (生1)	—	ハエ類			

*, 種名は「シバンムシ」を省略，生死の別を（生）・（死）で表記。

**, 捕獲数を表記。

捕獲したシバンムシ科甲虫の生死については、エゾマツシバンムシとアカチャホソシバンムシはいずれもすべての個体で生きてそのまま捕獲された（図 4-13, 図 4-14）。エゾマツシバンムシやアカチャホソシバンムシなどの比較的大型のシバンムシ科甲虫がすべて生きてそのまま捕獲することができたのに対して、チビキノコシバンムシ（図 4-15）のような小型のシバンムシについては生きていた個体は少なく、ほとんどが死個体であった。捕獲器内部の環境状態（温度や湿度）に対して虫体の大きさが生存に関係している可能性があり、捕獲された後に長期間生存させるための工夫が必要であると考えられた。



図 4-13 エゾマツシバンムシ成虫



図 4-14 アカチャホソシバンムシ成虫
(体長 5.2mm)



図 4-15 チビキノコシバン
ムシ成虫

今回作製した FIT (図 4-10) は衝突部と捕獲器が片面のみに付属しており、反対面に衝突しても捕獲されない構造であった。広範囲に設置する場合は、FIT 2 つ衝突部を外側にして合わせて設置するか、両面に衝突部と捕獲器が取り付けられるような改良が必要である。また、カミキリムシなど比較的大型な種類を捕獲する場合は、捕獲器の漏斗部分の口を大きめにするなど、調査対象とする生物によって捕獲器の形状を変更すると汎用性が高くなると考えられる。

チビキノコシバンムシは 2016 年 6 月 16 日から 6 月 30 日、6 月 30 日から 7 月 7 日の期間は捕獲されなかったが、7 月 7 日から 7 月 16 日の期間は 5 個体、7 月 16 日から 7 月 28 日は 8 個体、7 月 28 日から 8 月 8 日の期間は 13 個体捕獲することができた。この結果から、気象の年変動が影響するものの、調査地においてはチビキノコシバンムシ成虫の発生時期は 7 月頃からと推測することができる。一方、エゾマツシバンムシは、6 月 30 日から 7 月 7 日から 7 月 16 日に各 1 個体捕獲された。

目視調査の結果、6 月 16 日は 16 個体、6 月 30 日は 6 個体、7 月 7 日は 4 個体、7 月 16 日は 2 個体の計 28 個体のエゾマツシバンムシを捕獲することができた。しかし、7 月 28 日と 8 月 8 日の調査ではエゾマツシバンムシを捕獲することはできなかった。2010 年に実施した調査では中禅寺の立木観音堂で 5 月 10 日と 6 月 18 日にエゾマツシバンムシ成虫が確認されたこと⁷⁶⁾から、エゾマツシバンムシの成虫は 5 月中旬にはすでに発生しており、6 月になると発生量が減少し

て、7月の下旬には成虫の発生は終息すると推測された。FIT 調査では捕獲数が少なかったが、目視調査によって 28 個体もの個体を捕獲したため、FIT で捕獲される個体数が減少したのではないかと考えられる。

捕獲したエゾマツシバンムシを人工飼育下で観察すると、飼育容器壁面の水滴(結露水)を積極的に吸水する行動、交尾行動、コーリング姿勢(calling position: 異性を呼ぶ姿勢)、成虫は摂食行動をとらないなど若干の生態的情報が得られたが、産卵行動は見られず人工飼育(繁殖)には至らなかった(図 4-16)。

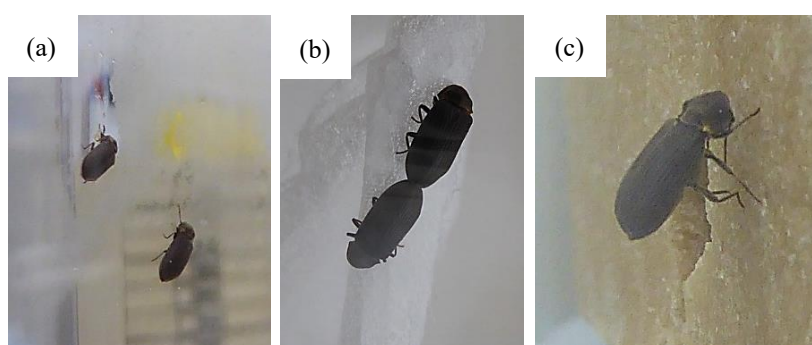


図 4-16 エゾマツシバンムシの各行動{(a)吸水行動, (b)交尾行動, (c)コーリング様姿勢}

4.2.4 まとめ

FIT により文化財建造物に発生しているシバンムシ科甲虫の捕獲を試みたところ、1 週間から 2 週間に 1 回捕獲器を交換する頻度で比較的大型のシバンムシ科甲虫は生きたまま捕獲することができた。捕獲個体には、捕虫テープとは異なり粘着物質がついていないため、同定作業はより容易に行うことができた。今回は、成虫個体を多数飼育したが産卵行動は確認できず、人工飼育(繁殖)までには至らなかった。しかし、FIT を用いることで生きたままシバンムシ科甲虫を捕獲することが可能となったことは、飼育方法が確立していない虫の生態や生活史の解明にもつながるとともに、殺虫効果判定等の「供試虫」として利用することができ、今後の文化財分野における虫害対策の研究に繋がるものと評価できる。

4.3 シバンムシ科甲虫の DNA バーコーディングに基づく同定法

4.3.1 DNA 情報を用いた加害種同定の必要性

DNA バーコーディングは、従来の形態同定とは異なり DNA 塩基配列の情報

を基に種の同定を行う方法である。専門知識が無くても一定の分類学的情報が得られる有用なツールであるが、基盤となる情報は、専門家による形態同定とその標本の DNA 塩基配列のデータベースへの登録の上に成り立っているため、データベース上に既知種の DNA 塩基配列情報が登録されていなければ活用することが出来ない。既知種の DNA 塩基配列データベースは、世界で多数の機関や組織が参画する国際プロジェクト (The International Barcode of Life Project: iBOL) によって年々拡充されているが、シバンムシ科甲虫では未登録の種も数多く含まれており、シバンムシ科甲虫の正確な形態同定を行い、その標本の DNA 塩基配列を決定し、国際的なデータベースに登録を行う必要がある。

そこで本節では、日光の文化財建造物で被害を及ぼした 5 種類のシバンムシ科甲虫：オオナガシバンムシ、クロトサカシバンムシ、チビキノコシバンムシ、エゾマツシバンムシ、アカチャホソシバンムシを対象とし、種の記載情報に基づき同定を行った後、DNA 塩基配列情報を決定し、それを国際的なデータベース (Barcode of Life: <https://www.boldsystems.org/>) に登録することで、DNA バーコーディングによる同定手法を確立することを目的とした。

4.3.2 調査方法

1) DNA 証拠標本の収集

オオナガシバンムシと考えられる 2 個体は、北海道虻田郡洞爺湖町の木造建築物に発生したもので、2020 年 7 月に松橋雄大氏によって採取された個体を譲り受け、本試験に用いた。クロトサカシバンムシと考えられる 2 個体は、斉藤明子氏が東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林千葉演習林において実施した研究により、2020 年 6 月に演習林内の古い木造建築物から発生していると思われる個体を譲り受け、本試験に用いた。チビキノコシバンムシと考えられる 1 個体は、日光山内で 2016 年 7 月に採集した個体を用いた。本個体は前節で用いた FIT によって捕獲された個体である。エゾマツシバンムシと考えられる 2 個体とアカチャホソシバンムシと考えられる 2 個体はいずれも日光市で、それぞれ 2018 年 7 月と 2019 年 7 月に採集した個体を用いた。

これらの個体は、実体顕微鏡下で形態的特徴を観察し、それぞれの種の情報 (形態的情報, 生態的情報) と比較し、同定作業を行った。また、必要に応じて、博物館の同定標本を借用し形態的特徴の比較を行い、同定作業を行った。

同定後に、各個体に個体番号を付与し、形態同定の根拠とならない翅や歩脚の

ごく一部を DNA 抽出用の試料とした。その後、純エタノールで個体番号とともに液浸し、DNA 証拠標本として-30°Cで保存した。

2) 試料からの DNA 抽出と塩基配列の決定

滅菌済みの 1.5 mL 容マイクロチューブ (Watson, Tokyo, Japan) に試料 (形態同定の指標とならない体節の一部) を入れて-80 °Cにて 1 日から 2 日間凍結させた。その後、充電式振動ドライバドリル HP458D (Makita, Anjo, Japan) の先端にホモジナイザーペッスル (Watson) を装着し、凍結した状態のままの試料をインパクトドライバの最大出力で素早く破碎し、試料が微細化したことを目視にて確認して DNA 抽出の前処理とした。前処理後の試料は、DNeasy Blood & Tissue Kit (Qiagen, Hilden, Germany) の標準的なプロトコールに従って DNA 抽出を行った。ただし、Protease K 処理は 56 °Cにて 3 時間以上行った。抽出した DNA は紫外可視分光光度計 DU640 (Beckman Coulter, Brea, CA, USA) を用いて濃度を定量した。

PCR 反応は、EmeraldAmp PCR Master Mix (Takara Bio, Kusatsu, Japan) または TaKaRaEx Taq (Takara Bio) を使用して全量 50 μ L の反応系で行った。このとき抽出 DNA は 50-100 ng となるよう反応系に加えた。プライマーは動物の DNA バーコーディングで用いる一般的なプライマーセットであるミトコンドリアのシトクロム C 酸化酵素サブユニット I (COI) 遺伝子の一部 (648 塩基) を増幅する LCO1490 (5'-GGTCAACAAATCATAAAGATATTGG-3') と HCO2198 (5'-TAAACTTCAGGGTGACCAAAAAATCA-3')⁷⁸⁾を使用した。PCR 増幅の反応条件は、98 °Cにて 2 分間の変性後、98 °C (10 秒)、55 °C (30 秒)、72 °C (40 秒) を 30 サイクルとした。ここで得られた増幅産物 1 μ L を鋳型 DNA として、同じ条件で 2 回目の PCR 増幅を行った。また、TaKaRa Ex Taq を用いた PCR 増幅の場合は、94 °Cにて 3 分間変性させた後、94 °C (20 秒)、50 °C (20 秒)、72 °C (30 秒) を 39 サイクル行い、最後に 72 °Cで 5 分間伸長反応を行う条件とした。なお、PCR 増幅は簡易な手法で行えることを目的に、EmeraldAmp PCR Master Mix を用いて行ったが、増幅産物が得られない場合には TaKaRa Ex Taq を用いて行った。

PCR 後に、Midori Green Advance (NipponGenetics, Tokyo, Japan) を添加して染色し、アガロースゲル電気泳動にて分離して、目的とする増幅産物の有無を確認した。増幅が確認された産物は、NucleoSpin Gel and PCR Clean-up キット

(Macherey-Nagel, Düren, Germany) にて精製を行い、マクロジェン・ジャパンに委託して塩基配列を決定した。

4.3.3 結果と考察

1) DNA 証拠標本の作製

形態同定の結果、それぞれ個体番号 20TBK-129, 20TBK-132 の 2 個体はオオナガシバンムシ, 個体番号 20TBK-117, 20TBK-118 の 2 個体はクロトサカシバンムシ, 個体番号 19TBK-054 の 1 個体はチビキノコシバンムシ, 個体番号 19TBK-044, 19TBK-046 の 2 個体はエゾマツシバンムシ, 個体番号 19TBK-064, 19TBK-065 の 2 個体はアカチャホソシバンムシと同定した (表 4-3)。形態同定後の標本は、画像記録を行い (図 4-17), 歩脚あるいは翅の一部を採取した後、個体番号とともに純エタノールに液浸した状態で-30 °Cで保存した。

表 4-3 DNA バーコーディングに用いたシバンムシ科甲虫の同定

個体番号	採集地	採集年月日	採集者	標本作製日	和名	学名	DNA 抽出使用部位 (個数)
20TBK-129	北海道虻田郡洞爺湖町	2020.7.27	松橋雄大	2020.9.4	オオナガシバンムシ	<i>Priobium carpini</i>	前脚・中脚・後脚 (各 2 本)
20TBK-132	北海道虻田郡洞爺湖町	2020.7.27	松橋雄大	2020.9.4	オオナガシバンムシ	<i>Priobium carpini</i>	前脚・中脚・後脚 (各 2 本)
20TBK-117	千葉県鴨川市坂本	2020.6.4	斉藤明子	2020.6.25	クロトサカシバンムシ	<i>Trichodesma japonica</i>	前脚・中脚・後脚 (各 2 本)
20TBK-118	千葉県鴨川市坂本	2020.6.4	斉藤明子	2020.6.25	クロトサカシバンムシ	<i>Trichodesma japonica</i>	前脚・中脚・後脚 (各 2 本)
19TBK-054	栃木県日光市山内	2016.7.14	小峰幸夫	2019.5.28	チビキノコシバンムシ	<i>Sculptothea hilleri</i>	前翅・後翅 (各 1 枚)
19TBK-044	栃木県日光市中宮祠	2018.7.23	小峰幸夫	2020.7.8	エゾマツシバンムシ	<i>Hadrobreghmus pertinax</i>	前脚 (2 本)
19TBK-046	栃木県日光市中宮祠	2018.7.23	小峰幸夫	2020.7.8	エゾマツシバンムシ	<i>Hadrobreghmus pertinax</i>	前脚・中脚・後脚 (各 2 本)
19TBK-064	栃木県日光市山内	2019.7.24	小峰幸夫	2019.7.26	アカチャホソシバンムシ	<i>Oligomerus japonicus</i>	前翅・後翅 (各 1 枚)
19TBK-065	栃木県日光市山内	2019.7.24	小峰幸夫	2019.7.26	アカチャホソシバンムシ	<i>Oligomerus japonicus</i>	前翅・後翅 (各 1 枚)

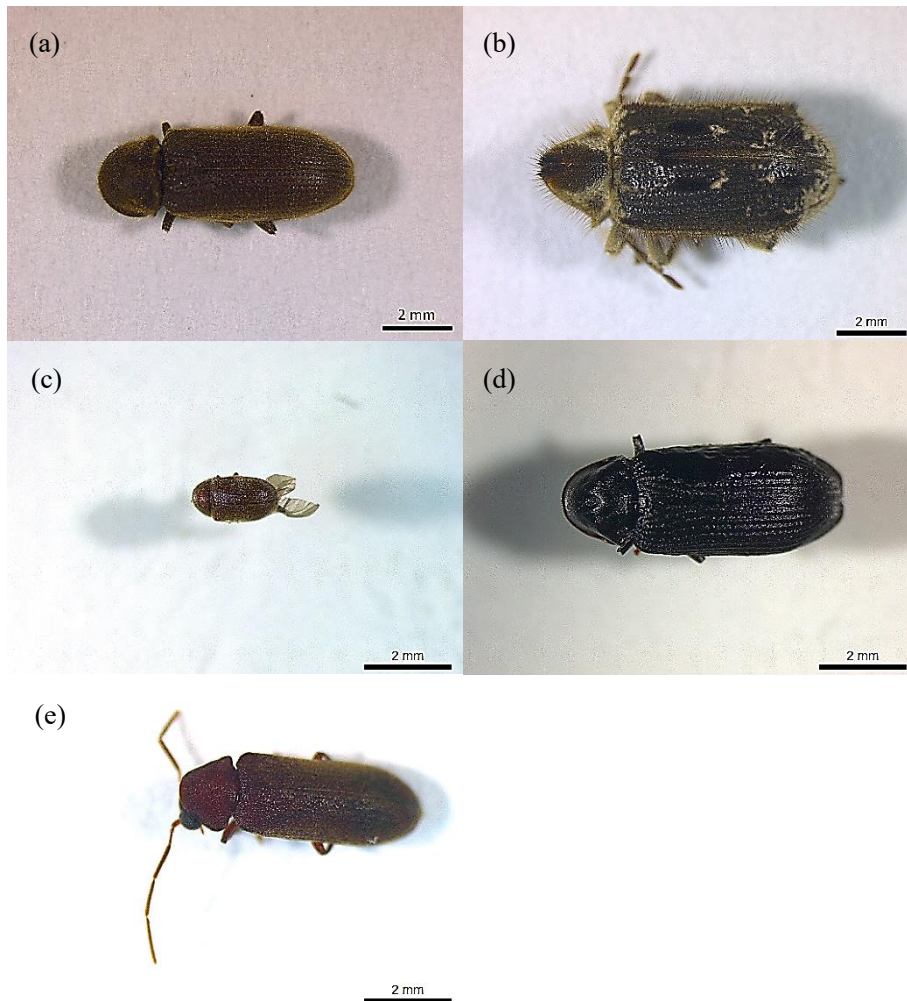


図 4-17 シバンムシ科甲虫の形態写真 {(a), オオナガシバンムシ 20TBK-132; (b), クロトサカシバンムシ 20TBK-117; (c), チビキノコシバンムシ 19TBK-054; (d), エゾマツシバンムシ 19TBK-044; (e), アカチャホソシバンムシ 19TBK-065}

2) DNA 塩基配列の決定と系統解析

個体番号 20TBK-129, 20TBK-132 の 2 個体の COI 遺伝子塩基配列を決定した。得られた塩基配列を，アメリカ国立生物工学情報センター（National Center for Biotechnology Information [NCBI]）の提供する BLAST (Basic Local Alignment Search Tool : <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/BLAST/>)を用いて既知種のデータベースと照合した。その結果，データベースにある既知のオオナガシバンムシの COI 遺伝子部分配列と高い相同性（99%）を示した（表 4-4）。また，同属の別種である *P. sericeum* とは相同性（88%）は低い結果となった。

表 4-4 個体番号 20TBK-129, 20TBK-132 と既知種の COI 遺伝子部分配列との
 相同性

学名	個体番号	アクセッション番号	相同性 (%)
<i>Priobium carpini</i>	ZFMK-TIS-2505281	KU916651	656/657 (99%)
<i>Priobium carpini</i>	FFOH00126_0101 K	U494206	656/657 (99%)
<i>Priobium carpini</i>	ZFMK-TIS-2535989	KU910595	656/657 (99%)
<i>Priobium carpini</i>	BC ZSM COL 01934	JF889649	656/657 (99%)
<i>Priobium carpini</i>	BFB_Col_FK_12693	KM444876	656/657 (99%)
<i>Priobium carpini</i>	ZFMK-TIS-2505280	KU912542	655/657 (99%)
<i>Priobium carpini</i>	ZFMK-TIS-2535988	KU916326	654/657 (99%)
<i>Priobium carpini</i>	ZFMK-TIS-2505725	KU919006	654/657 (99%)
<i>Priobium carpini</i>	BFB_Col_FK_12698	KM442427	640/641 (99%)
<i>Priobium sericeum</i>	BIOUG10059-H10	KR131355	525/600 (88%)

個体番号 20TBK-117, 20TBK-118 も同様に得られた COI 遺伝子塩基配列の相同性検索を行った (表 4-5). その結果, 相同性の高い既知近縁種がデータベースには存在せず, 最も近縁の既知種はマツノマダラカミキリ *Monochamus alternatus* やセスジダルマガムシ属の一種 *Ochthebius uniformis* であったが, いずれも相同性 (86%) は低かった. 今回得られたクロトサカシバンムシの COI 遺伝子塩基配列は, NCBI のデータベースに登録されていない新規の情報であると考えられる. 国内においてクロトサカシバンムシの属する *Trichodesma* 属には, 他にイシガキトサカシバンムシ *T. uruma*, ナミモントサカシバンムシ *T. kirishimana*, トサカシバンムシ, チュウジョウトサカシバンムシ *T. michioi* の 4 種が記載されているが⁷⁹⁾, いずれも NCBI のデータベースに塩基配列は登録されていなかった.

表 4-5 個体番号 20TBK-117, 20TBK-118 と既知種の COI 遺伝子部分配列
 との相同性

学名	個体番号	アクセッション番号	相同性 (%)
<i>Monochamus alternatus</i>	not described	NC_050066	551/640 (86%)
<i>Monochamus alternatus</i>	ANYL 09010	GU003928	550/640 (86%)
<i>Ochthebius uniformis</i>	IBE-AN437	LT991392	538/623 (86%)
<i>Monochamus alternatus</i>	Cer0019	FJ559001	549/640 (86%)
<i>Monochamus alternatus</i>	CA12_3.01	KY357735	543/632 (86%)

個体番号 19TBK-054 もまた相同性の高い既知近縁種がデータベースには存在せず、最も近縁の既知種は *Sculptotheca puberula* であった (表 4-6)。チビキノコシバンムシと同属ではあるが相同性は低く (89%)、今回得られた COI 遺伝子塩基配列は、NCBI のデータベースに登録されていない新規の情報であると考えられる。

表 4-6 個体番号 19TBK-054 と既知種の COI 遺伝子部分配列との相同性

学名	個体番号	アクセッション番号	相同性 (%)
<i>Sculptotheca puberula</i>	BIOUG24399-E08	MG054316	508/574 (89%)
<i>Dyschirius dejeanii</i>	BIOUG<CAN>:09CHUCOL-CV172	HQ983167	540/655 (82%)
<i>Dyschirius dejeanii</i>	BIOUG<CAN>:05-CTATBI-0729	HM430211	540/655 (82%)
<i>Zelia wildermuthii</i>	BIOUG<CAN>:09BBDIP-0053	GU804032	540/656 (82%)
<i>Ornixola caudulatella</i>	G10caud	HM392527	538/655 (82%)

個体番号 19TBK-044, 19TBK-046 は相同性検索の結果、既知のエゾマツシバンムシと比較的高い相同性 (96 %-97 %) を示した (表 4-7)。

表 4-7 個体番号 19TBK-044, 19TBK-046 と既知種の COI 遺伝子部分配列との相同性

学名	個体番号	アクセッション番号	相同性 (%)
<i>Hadrobregmus pertinax</i>	ZFMK-TIS-2515790	KU918973	636/657 (97%)
<i>Hadrobregmus pertinax</i>	ZFMK-TIS-2533768	KU915162	636/657 (97%)
<i>Hadrobregmus pertinax</i>	ZFMK-TIS-2533769	KU914402	636/657 (97%)
<i>Hadrobregmus pertinax</i>	ZFMK-TIS-2515783	KU916833	635/657 (97%)
<i>Hadrobregmus pertinax</i>	ZFMK-TIS-2524724	KU914613	635/657 (97%)
<i>Hadrobregmus pertinax</i>	ZFMK-TIS-16429	KU912628	635/657 (97%)
<i>Hadrobregmus pertinax</i>	ZFMK-TIS-2505581	KU906361	635/657 (97%)
<i>Hadrobregmus pertinax</i>	ZMUO<FIN>:005391	KJ962127	628/657 (96%)
<i>Hadrobregmus pertinax</i>	BC-PNEF-PSFOR0576	KM286260	394/406 (97%)
<i>Hadrobregmus pertinax</i>	ZMUO<FIN>:001847	KJ962879	393/406 (97%)

個体番号 19TBK-064, 19TBK-065 は、形態同定ではアカチャホソシバンムシと同定されたが、COI 遺伝子部分配列の相同性検索では同属の *Oligomerus brunneus* が最も近縁な既知種であった (表 4-8)。その相同性は 89%であったこ

とから、アカチャホソシバンムシもまた NCBI のデータベースに登録されていない新規の情報であると考えられる。

表 4-8 個体番号 19TBK-064, 19TBK-065 と既知種の COI 遺伝子部分配列との
 相同性

学名	個体番号	アクセッション番号	相同性 (%)
<i>Oligomerus brunneus</i>	BC ZSM COL 02243	JF889815	585/658 (89%)
<i>Oligomerus brunneus</i>	ZFMK-TIS-2511579	KU908043	585/658 (89%)
<i>Oligomerus brunneus</i>	ZFMK-TIS-2511584	KU906696	585/658 (89%)
<i>Oligomerus brunneus</i>	BFB_Col_FK_12357	KM445802	584/658 (89%)
<i>Oligomerus brunneus</i>	ZFMK-TIS-2532282	KU919571	583/658 (89%)
<i>Oligomerus brunneus</i>	ZFMK-TIS-2509654	KU915436	583/658 (89%)
<i>Oligomerus brunneus</i>	ZFMK-TIS-2509644	KU915169	583/658 (89%)
<i>Oligomerus brunneus</i>	ZFMK-TIS-2509645	KU915081	583/658 (89%)
<i>Oligomerus brunneus</i>	ZFMK-TIS-2532304	KU913244	583/658 (89%)
<i>Oligomerus brunneus</i>	ZFMK-TIS-2509643	KU911824	583/658 (89%)

本研究で得られたすべての個体の同定情報とバーコード情報は、国際的な DNA バーコード塩基配列データベースである BOLD に登録を行った (表 4-9)。

表 4-9 DNA バーコーディングデータベースへの登録情報

個体番号	和名	学名	BOLD ID (Barcode Index Number)	COI 遺伝子部分配列 アクセッション番号
20TBK-129	オオナガシバンムシ	<i>Priobium carpini</i>	CDBLM034-20	LC597543
20TBK-132	オオナガシバンムシ	<i>Priobium carpini</i>	CDBLM037-20	LC597543
20TBK-117	クロトサカシバンムシ	<i>Trichodesma japonica</i>	CDBLM032-20	LC597542
20TBK-118	クロトサカシバンムシ	<i>Trichodesma japonica</i>	CDBLM033-20	LC598880
19TBK-054	チビキノコシバンムシ	<i>Sculptotheca hilleri</i>	CDBLM018-19	LC492871
19TBK-044	エゾマツシバンムシ	<i>Hadrobregmus pertinax</i>	CDBLM028-20	LC597539
19TBK-046	エゾマツシバンムシ	<i>Hadrobregmus pertinax</i>	CDBLM029-20	LC597538
19TBK-064	アカチャホソシバンムシ	<i>Oligomerus japonicus</i>	CDBLM030-20	LC597540
19TBK-065	アカチャホソシバンムシ	<i>Oligomerus japonicus</i>	CDBLM031-20	LC597541

4.3.3 まとめ

従来からの形態的・生態的特徴の記載に基づき分類を行う同定方法の諸課題を解決するため、DNA 塩基配列情報に基づき同定を行う DNA バーコーディングを日光の文化財建造物で被害を及ぼした 5 種類のシバンムシ科甲虫の同定に応用するための検討を進めた。今回、3 種類のシバンムシ科甲虫（クロトサカシバンムシ、チビキノコシバンムシ、アカチャホソシバンムシ）が NCBI のデータベースに登録されていないことを確認し、本研究で得られた情報を基に新規に登録を行った。DNA 抽出の試料としては、体節のごく一部のみで塩基配列を決定することが出来たことから、僅かな試料でも同定が可能であることを示すことが出来た。今回登録した情報によって今後は歩脚や翅などといった体節の一部、形態的特徴が乏しい卵や幼虫からでも種の同定を行うことが出来るようになることが期待される。さらに、4.1 節で検討した虫糞では、その形状から一定程度の種の類推が可能であることが示されたが、虫糞は消化管を通る過程でその生体の DNA を含むため、この塩基配列を決定することで種の同定が可能となることも期待される。

第5章 結論

本研究では、文化財建造物におけるシバンムシ科甲虫の被害と正確な調査およびモニタリングを行い、加害種を体系的に把握するとともに、シバンムシ科甲虫の新規な駆除対策の効果検証法を確立することを目的として、供試虫の選定や効果検証を行った。さらに新規な虫害の調査やモニタリングの手法を検討した。

2008年の修理において、輪王寺三仏堂で被害を受けた部材の一部からオオナガシバンムシが発見され、オオナガシバンムシによる被害が建物の広範囲に認められた。2009年の調査の結果ではオオナガシバンムシの被害は輪王寺三仏堂に限られ、護法天堂や大猷院霊廟二天門では確認されなかったが、大猷院霊廟二天門ではクロトサカシバンムシによる被害が確認され、チビキノコシバンムシによる被害が輪王寺三仏堂と大猷院霊廟二天門で確認された。2010年の日光二社一寺における大規模調査の結果では木材を加害するシバンムシ科甲虫として、オオナガシバンムシ、クロトサカシバンムシ、チビキノコシバンムシ、エゾマツシバンムシ、アカチャホソシバンムシが確認された。これまで文化財建造物を加害するシバンムシの多くはケブカシバンムシとして考えられたが、日光二社一寺の調査ではケブカシバンムシはまったく捕獲されず、様々なシバンムシ甲虫が確認される結果となった。そして、一部の文化財建造物ではシバンムシ科甲虫の被害が甚大で、早急に殺虫処理をして被害の進行を止める必要があると認識された。

燻蒸は一度にほぼ確実に殺虫することができるが、安全性の課題や日光のような大勢の観光客が集まる場所で何度も行うことは難しく、殺虫処理を燻蒸だけに頼るのは限界である。また木材保存剤による浸透試験では、薬剤の浸透範囲は健全な部材では注入した箇所から周辺のみにとどまり、材深部にまで効果的に薬剤が浸透することはないという結果が得られ、薬剤の注入や浸透による駆除は完全ではないことが判明した。

新たな殺虫処理法である湿度制御温風処理の供試虫としてアフリカヒラタキクイムシに可能性を見出して、卵と幼虫を含む植卵人工飼料の上限致死温度と処理時間の関係について試験した。その結果、40℃から48℃の温度域では5時間の処理はアフリカヒラタキクイムシには大きな影響を与えないことが判明した。アフリカヒラタキクイムシは、日光の文化財建造物においては実際に被害をおぼしているシバンムシ科甲虫とは異なるため、高温耐性などの性状が一致し

ない可能性がある点が課題であり、本来なら被害をおよぼしているシバンムシ科甲虫の人工飼育を確立し、上限致死温度に関する調査を進める必要がある。しかしながら、アフリカヒラタキクイムシは人工飼育の容易さと高温に対する耐性という点において、湿度制御温風処理の効果判定に用いることができる利点があると考え、2017年と2018年に行われた湿度制御温風処理の殺虫効果判定の供試虫に用いてその有用性について評価を行った。

湿度制御温風処理は中禅寺愛染堂と鐘楼で行われ、殺虫効果判定試験材を用いた殺虫効果判定と湿度制御温風処理前後に行った捕虫テープによる捕獲調査を行った。供試虫はアフリカヒラタキクイムシを選定し、卵と幼虫が入るように調整した植卵人工飼料を作製した。これを30cm角のケヤキ材の中央部に封入して湿度制御温風処理の処理空間内に設置した。湿度制御温風処理後に一定期間飼育したところ、処理区の植卵人工飼料からは成虫の発生は全く見られなかった。一方、捕虫テープを用いた捕獲調査では、建物外から侵入した個体が捕獲される可能性があることや設置した場所のすべての昆虫を捕獲することができないため、本法のみで殺虫効果判定を行うことができないことが示唆された。現時点において湿度制御温風処理の殺虫効果判定にはアフリカヒラタキクイムシを供試虫として用いた判定と捕虫テープによる捕獲調査の両方を行い、総合的に殺虫効果判定を行う必要があると考える。

シバンムシ科甲虫の被害の特定や調査法の確立を目的として以下の調査を行った。日光二社一寺で捕獲されたシバンムシ科甲虫のうち4種のシバンムシ科甲虫がそれぞれ加害した木材から採取された虫糞の形状を調査した。その結果、チビキノコシバンムシの虫糞は他のシバンムシ科甲虫3種とは異なり、オオナガシバンムシとエゾマツシバンムシ、クロトサカシバンムシとケブカシバンムシの虫糞は類似していたが、より正確な加害種を特定するには脱出孔の大きさや虫の分布域など虫糞以外の情報を考慮したほうが良いと考える。加害種が特定されていない文化財建造物から採取された虫糞の比較では、虫糞から推察されるシバンムシの種と2010年に行った捕獲調査で確認されたシバンムシの種が一致するものもあった。シバンムシ科甲虫は自然環境に多く生息しており、虫糞形状がすべての種で解明されているわけではないので、虫糞形状のみでは加害種を特定することは出来ないものの、ある程度の加害種の推察が可能であると考える。

文化財建造物における加害種の分布調査の新たな手法として FIT の実用性評

価を行った。その結果、シバンムシ科甲虫のうち大型のシバンムシ科甲虫を生きのまま捕獲する場合は、設置後 1 週間から 2 週間に 1 回捕獲器を交換する頻度で可能であることが判明した。また捕獲個体は、捕虫テープとは異なり粘着物質がついていないため、同定作業はより容易に行うことができた。今回エゾマツシバンムシの成虫個体を多数捕獲したが産卵行動は確認できず人工飼育（繁殖）までには至らなかった。しかし、FIT を用いて生きのままシバンムシ科甲虫を捕獲することが可能となったことは、飼育方法が確立していない害虫の生態や生活史の解明にもつながることとともに、殺虫効果判定等の「供試虫」として使用することができ、今後の文化財分野における虫害対策の研究に繋がるものと評価できる。

形態的・生態的特徴の記載に基づき分類を行う同定方法の諸課題を解決するため、DNA 塩基配列情報に基づき同定を行う DNA バーコーディングを日光の文化財建造物で被害をおよぼした 5 種のシバンムシ科甲虫の同定に適用するため検討した。その結果、クロトサカシバンムシ、チビキノコシバンムシ、アカチャホソシバンムシが NCBI のデータベースに登録されていないことを確認し、本研究で得られた情報を基に新規に登録を行った。DNA 抽出の試料では体節のごく一部のみで塩基配列を決定することができたことから、僅かな試料でも同定が可能であることを示すことができた。

文化財を加害する害虫の研究は他の害虫に比べて非常に遅れており、本研究が文化財建造物や一般の木造建築物に被害をおよぼす害虫研究の発展の一助となることを望む。

参考文献

- 1) 新井英夫, 森八郎, 原田豊秋. 重要文化財増上寺三解脱門の燻蒸. 保存科学. 1972, no. 9, p. 55-61.
- 2) 林長閑. 過剰肢があるケブカシバンムシの幼虫. 家屋害虫. 1990, vol. 12, no. 1, p. 20-21.
- 3) 斎藤幸恵, 信田聡, 太田正光, 山本博一, 多井忠嗣, 大村和香子, 槇原寛, 能城修一, 後藤治. 古材の劣化調査 福勝寺本堂 (重要文化財) 垂木用材の食害と材質. 木材学会誌. 2008, vol. 54, no. 5, p.255-262.
- 4) 森八郎, 新井英夫. 町田郷土資料館におけるバイケン燻蒸. 保存科学. 1974, no.12, p. 103-108.
- 5) 新井英夫, 森八郎. 書籍の生物劣化とその防除. 保存科学. 1975, no. 14, p. 33-43.
- 6) 小峰幸夫. 身近に見られるシバンムシ類の種類とその調査方法. 寄せ蛾記. 2016, vol. 162, no. 3-10.
- 7) 田中和夫. 静岡県下で発生したオオナガシバンムシによる建造物被害の一例. 家屋害虫. 1984, vol. 19-20, p. 22-26.
- 8) 山野勝次. 千葉市で発生したオオナガシバンムシによる建築物被害の 1 例. しろあり. 1995, vol.102, p. 36-38.
- 9) 梅沢謙二, 宮ノ下明大, 酒井雅博. 茨城県の市営住宅の一室に発生したオオナガシバンムシ *Priobium carpini*. ペストロジー. 2013, vol.28, no. 1, p. 25-27.
- 10) 文化庁文化財部. 文化財の生物被害防止に関する日常管理の手引き. 2001, 36p.
- 11) 全国国宝重要文化財所有者連盟. 文化財保存・管理ハンドブック〔三訂版〕—建造物編—. 株式会社便利堂. 2013, 118p.
- 12) 文化財虫菌害研究所. 文化財の殺虫・殺菌処理標準仕様書 2019 年版. 株式会社外為印刷. 2018, 120p.
- 13) 川越和四, 規矩地耕一郎, “第 14 節文化施設における害虫対策の実際”. 環境衛生管理技術大系 ネズミ・害虫の衛生管理. 株式会社フジ・テクノシステム. 1999, p. 669-691.
- 14) 三浦定俊. 臭化メチルの使用規制について. 文化財の虫菌害. 1999, no, 38, p. 3-8.
- 15) 森八郎, 熊谷百三. 文化財に対する燻蒸剤の薬害について I 金属に及ぼす

- 影響. 古文化財の科学. 1954, no. 8, p.17-21.
- 16) 森八郎, 熊谷百三. 文化財に対する燻蒸剤の薬害について II 顔料に及ぼす影響. 古文化財の科学. 1955, no. 11, p. 21-28.
 - 17) 森八郎. 文化財に薬害の少ない燻蒸剤. 文化財の虫菌害. 1982, no. 5, p. 52-60.
 - 18) 木川りか, 宮沢淑子, 小泉雅子, 佐野千絵, 三浦定俊, 木村広, 富田文四郎. 各防虫剤, 防黴剤, 燻蒸剤等の顔料・金属に及ぼす影響. 文化財保存修復学会誌. 1991, no. 43, p. 12-21.
 - 19) 森田実. 文化財の毀損事故—文化財の燻蒸事故を中心に—. 文化財の虫菌害. 2010, no. 60, p. 2-4.
 - 20) 木川りか. 自然誌標本の DNA に対する燻蒸剤等各種殺虫殺菌処理の影響. 文化財の虫菌害. 2007, no. 54, p. 10-13.
 - 21) 木川りか. 燻蒸処理に代わる文化財害虫の殺虫法. 文化財の虫菌害. 1998, no. 36, p. 5-8.
 - 22) R.S. Thomson. The Effect of the Thermo-Lignum Pest Eradication Treatment on Leather and Other Skin Products. LCC Paper. 1995, p. 5-8.
 - 23) Gail, Gali, Beiner.; Ticca, M.A. Ogilvie. Thermal methods of pest eradication: their effect on museum objects. The Conservator. 2005, vol. 29, no. 5, p. 5-18.
 - 24) Florian, Tscherne.; Nikolaus, Wilke.; Bernhard, Schachenhofer.; Karen, Roux.; Giorgios, Tavlaridis. The Thermo Lignum Ecological Insect Pest Eradication Process: The Effects on Gilded and Painted Wooden Objects. 2016, vol. 7, no. 1, p. 295-300.
 - 25) 山野勝次. 燻蒸効果判定用昆虫テストサンプルについて. 文化財の虫菌害. 1993, no. 26, p. 33-36.
 - 26) 山野勝次. 写真でわかるシロアリの被害・生態・調査. 株式会社国際文献印刷社. 2005, 80p.
 - 27) 森八郎. 国宝・重要文化財閑谷学校の虫害調査. しろあり. 1974, no. 22, p. 103-108.
 - 28) 森八郎, 新井英夫, 町田和江. 斯道文庫など書庫内で採取された昆虫と書籍害虫のカタログならびにその代表的食痕・虫糞と防除法. 家屋害虫. 1979, no. 1・2, p. 57-76.
 - 29) 山野勝次. 文化財主要害虫の食痕と糞の特徴. 文化財の虫菌害. 2003, no. 46, p. 39-49.

- 30) 神保宇嗣, 吉武啓, 伊藤元己. DNA バーコーディングによる同定支援システムと JBOLI 構想. 日本生態学会誌. 2008, no.58, p. 123-130.
- 31) 井上晶次, 熊澤慶伯. 名古屋市を中心とした愛知県及び近隣県産ゾウムシ類の DNA バーコーディング. なごやの多様性. 2017, no. 4, p. 23-29.
- 32) 今藤夏子, 奥田しおり, 大林夏湖, 上野隆平, 高村健二. DNA バーコーディングを目的としたユスリカ DNA 抽出方法の比較. 陸水学雑誌. 2017, no. 78, p.13-36.
- 33) Philips, T, K.; K, L, Bell. “6.4 Ptiniidae Latreille, 1802”. Handbook of Zoology. Arthropoda Insecta. Coleoptera Beetles. Morphology and Systematics vol. 2. De Gruyter. 2010, p. 217-225.
- 34) 原田正彦, 野村牧人, 木川りか, 小峰幸夫, 林美木子, 川野邊渉, 石崎武志. 栃木県日光山内・中宮祠・中禅寺の歴史的建造物を対象とした捕虫テープによる広域虫害調査について. 保存科学. 2011, no. 50, p. 111-121.
- 35) 酒井雅弘. しろあり以外の建築害虫 (2) 家屋内で発生するシバンムシの分類と生態. しろあり. 1981, vol. 46, p. 33-48.
- 36) 酒井雅博. “シバンムシ科”. 原色日本昆虫図鑑 (III). 保育社, 1985, p. 138-144.
- 37) 酒井雅弘. “シバンムシ”. 家屋害虫事典. 日本家屋害虫学会編. 井上書院, 1995, p. 272-274.
- 38) 田中和夫. 乾材を害する日本産シバンムシ類の概説. 家屋害虫. 1985, vol.25-26, p. 61-71.
- 39) Francisco Espanol Coll. “*Priobium carpini*” Fauna Iberica Vol. 2. Museo Nacional de Ciencias Naturales Consejo Superior de Investigaciones Cientificas. 1992, p. 94-95.
- 40) 森八郎, 新井英夫. 軸装の昆虫による被害について. 保存科学. 1981, no. 20, p. 27-33.
- 41) 原田正彦, 木川りか, 小峰幸夫, 藤井義久, 藤原裕子, 川野邊歩. 輪王寺本堂の虫害破損について. 保存科学. 2010, no. 49, p. 165-171.
- 42) 狩野啓子, 上宮健吉, 宮原信孝. 化学薬剤を用いない防虫保存用品の開発. 文化財保存修復学会第 30 回記念大会研究発表要旨集. 2008, p. 250-251.
- 43) 亀澤洋. 甲虫の生息場所としての「乾燥した樹洞」について. SAYABANE. 2013, no. 11, p. 4-14.

- 44) 酒井雅博. “食材性甲虫類とその仲間”. 日本動物大百科第 10 卷 昆虫 III. 平凡社, 1989, p. 130-131.
- 45) 山野勝次. “チビキノコシバンムシ”. 文化財害虫事典 2004 年改訂版. 株式会社クバプロ. 2004, p. 99.
- 46) 林美木子, 木川りか, 原田正彦, 小峰幸夫, 川野邊渉, 石崎武志. 日光の歴史的建造物における捕虫テープに捕獲された甲虫の建物内分布の解析と考察. 保存科学. 2012, no. 51, p. 201-209.
- 47) 林美木子, 小峰幸夫, 木川りか, 原田正彦, 川野邊渉, 石崎武志. 日光の歴史的建造物において捕虫テープ (ハエ取り紙) に捕獲された甲虫の集計方法と調査結果. 保存科学. No. 50, 2011, p.123-132.
- 48) Masahiro Sakai. Studies on the Anobiidae (Coleoptera) from Japan and Neighboring Countries III. A Review of the Genus *Oligomerus* Redtenbacher of Japan. Special issue to the memory of retirement of emeritus professor Michio Chûjô. Association of the Memorial Issue of Emeritus Professor M. Chûjô. 1982, p. 43-49.
- 49) 藤井義久, 藤原裕子, 原田正彦, 木川りか, 小峰幸夫, 川野邊渉. 穿孔抵抗測定法を用いた文化財建造物の構造部材の虫害評価に関する一考察 日光輪王寺における虫害を事例として. 保存科学. 2009, no. 48 p, 215-222.
- 50) 木川りか, 鳥越俊行, 今津節生, 本田光子, 原田正彦, 小峰幸夫, 川野邊渉. X線 CT スキャンによる虫損部材の調査. 保存科学. 2009, no. 48, p. 223-232.
- 51) 藤井義久, 藤原裕子, 原田正彦, 木川りか, 小峰幸夫, 川野邊渉. 穿孔抵抗測定法を用いた文化財建造物の構造部材の虫害評価に関する一考察 (第 2 報). 一日光輪王寺における虫害を事例として一. 保存科学. 2010, no. 49 p, 183-190.
- 52) 鳥越俊行, 木川りか, 原田正彦, 小峰幸夫, 今津節生, 本田光子, 川野邊渉. X線 CT による被害の調査と害虫の活動検出への応用. 保存科学. 2010, no. 49 p. 191-196.
- 53) 小峰幸夫, 林美木子, 木川りか, 原田正彦, 三浦定俊, 川野邊渉, 石崎武志. 日光の歴史的建造物で確認されたシバンムシ類の種類と生態について. 保存科学. 2011, no. 50, p. 133-140.
- 54) 木川りか, 原田正彦, 小峰幸夫, 林美木子, 川越和四, 原田典子, 長谷川利行, 川野邊渉, 石崎武志. 日光の歴史的建造物における木材害虫・シバンムシ類の効果的な捕獲方法の検討. 保存科学. 2012, no. 50, p. 173-198.
- 55) 原田正彦, 木川りか, 小峰幸夫, 藤井義久. 重要文化財輪王寺本堂の大規模

- 被覆ガスくん蒸ー実施までの経緯の概要ー. 保存科学. 2014, no. 53, p.215-224.
- 56) 日光社寺文化財保存会.“輪王寺本堂・輪王寺大猷院霊廟二天門の被覆ガス燻蒸の実施について”.2013, <http://www.nikko-bunkazai.or.jp/sys/83.shtml>.
- 57) 小峰幸夫, 木川りか, 川越和四, 原田正彦, 三浦定俊. 日光山輪王寺の虫損部材を用いて行った木材保存剤の浸透試験. 保存科学. 2013, no. 52, p. 113-117.
- 58) Hansen LS.; Jensen KMV.; Upper Lethal Temperature Limits of the common furniture beetle *Anobium punctatum* (Coleoptera: Anobiidae). International Biodeterioration Biodegradation. 1996, no. 37, p. 225-232.
- 59) 岩田泰幸. 殺虫処理効果判定用テストサンプルの高温耐性の検討. 文化財の虫菌害. 2017, no. 74, p. 21-26.
- 60) 原田豊秋. 食糧害虫の生態と防除. 光琳書院, 1971, 527p.
- 61) 岩田隆太郎. ケブトヒラタキクイムシおよび本邦未記録種アフリカヒラタキクイムシの発生例, 家屋害虫. 1982, no. 13・14, p. 60-63.
- 62) 古川法子, 吉村剛, 今村祐嗣. ヒラタキクイムシ類による家屋被害調査ー加害種および発生地域の特定制定ー. 木材保存. 2009, vol. 35, no 6, p. 260-264.
- 63) Cymorek, S. Über notwendige Temperatur-Zeit-Verhältnisse zum Abtöten von *Lyctus*-Larven bezogen auf die Heißverleimung von Türen. Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung. 1971, no. 57, p. 50-57.
- 64) 岩田隆太郎. ヒラタキクイムシの生態と飼育 (2) 飼育法. 家屋害虫. 1992, vol. 14, no. 1, p. 28-41.
- 65) 岩田隆太郎. ヒラタキクイムシの生態と飼育 (1) 生態. 家屋害虫. 1990, vol. 12, no.2, p. 143-149.
- 66) 木川りか, 北原博幸, 秋山純子, 赤田昌倫, 藤井義久, 藤原裕子, 岩橋神奈子, 泊智子, 光山文枝, 山崎久美子, トム ストラング, 本田光子, 今津節生. 博物館展示資料の加湿温風による殺虫処理についてー山笠土台部材の処理事例ー, 文化財保存修復学会第 38 回大会研究発表要旨集. 2016, p. 132-133.
- 67) 竹口彩, 藤原裕子, 藤井義久, 木川りか, 佐藤嘉則, 古田嶋智子, 犬塚将英. 湿度制御した温風処理による漆仕上げ材の表面ひずみの測定, 保存科学. 2017, no. 56, p. 165-174.
- 68) 原田正彦, 現場レポート 栃木県日光二社一寺建造物保存ー湿度制御した温風処理による新たな殺虫方法の検討ー. 文建協通信. 2017, no. 130, p. 120-122.

- 69) 藤井義久, 原田正彦, 北原博幸, 藤原裕子, 木川りか, 佐藤嘉則, 小峰幸夫, 犬塚将英, 古田嶋智子, 日高真吾, 斉藤明子, 福岡憲. 湿度制御した温風処理による甲虫類の駆除—社寺建築における効果の検証. 文化財保存修復学会第40回大会研究発表要旨集. 2018, p. 46-47.
- 70) 小峰幸夫, 佐藤嘉則, 原田正彦, 北原博幸, 木川りか, 藤井義久. 湿度制御した温風処理における殺虫効果の検証. 保存科学. 2019, no. 58, p. 21-28.
- 71) 藤井義久, 原田正彦, 北原博幸, 藤原裕子, 木川りか, 佐藤嘉則, 小峰幸夫, 犬塚将英, 古田嶋智子, 日高真吾, 斉藤明子, 福岡憲. 湿度制御した温風処理による甲虫類の駆除—社寺建築における効果の検証・続報—. 文化財保存修復学会第41回大会研究発表要旨集. 2019, p.292-293.
- 72) Lubomir, Masner.; Henri, Goulet. A new model of flight-interception trap for some hymenopterous insects. Entomological News. 1981, no. 92, p. 199-202.
- 73) Paul D, N, Hebert.; Alina, Cywinska, Shelley L, Ball.; Jeremy R, deWaard. Biological identifications through DNA barcodes. Proceedings of the Royal Society of London B. 2003, vol. 270, no.1512, p.313-321.
- 74) 高畑誠, 酒井雅博, 木川りか, 山野勝次. シバンムシ科甲虫の虫糞形状比較, 文化財保存修復学会第28回研究発表要旨集. 2006, p. 24-25.
- 75) 小峰幸夫, 木川りか, 原田正彦, 藤井義久, 藤原裕子, 川野邊歩. 日光山輪王寺本堂におけるオオナガシバンムシ *Priobium cylindricum* による被害事例について. 保存科学. 2009, no. 48, p. 207-213.
- 76) 小峰幸夫, 原田正彦, 野村牧人, 木川りか, 山野勝次, 藤井義久, 藤原裕子, 川野邊歩. 日光山輪王寺本堂におけるオオナガシバンムシの発生状況に関する調査について. 保存科学. 2010, no. 49, p. 173-181.
- 77) 槇原寛, 大村和香子, 井上国雄. 合板工場において捕獲された甲虫類 (I) — フライニング・インターセプション・トラップの利用—. 環動昆. 2007, vol. 18, no. 2, p. 97-101.
- 78) Folmer, O.; M, Black.; W, Hoeh.; R, Lutz.; R, Vrijenhoek. DNA primers for amplification of mitochondrial cytochrome *c* oxidase subunit I from diverse metazoan invertebrates. Molecular Marine Biology and Biotechnology. 1994, vol. 3, No. 5, p. 294-299.
- 79) Masahiro, Sakai. *Trichodesma michioi* (Coleoptera, Anobiidae, Anobiinae), a New Anobiid Species from the Ryukyus, Japan. Elytra. 2005, vol. 33, no. 1, p. 42-46.

本学位論文は以下の学術論文の内容に基づいて書かれたものである。

1. 小峰幸夫, 木川りか, 原田正彦, 藤井義久, 藤原裕子, 川野邊渉. 日光山輪王寺本堂におけるオオナガシバンムシ *Priobium cylindricum* による被害事例について. 保存科学. 2009, no. 48, p. 207-213.
(第2章, 2節)
2. 小峰幸夫, 原田正彦, 野村牧人, 木川りか, 山野勝次, 藤井義久, 藤原裕子, 川野邊渉. 日光山輪王寺本堂におけるオオナガシバンムシの発生状況に関する調査について. 保存科学. 2010, no. 49, p.173-181.
(第2章, 3節)
3. 小峰幸夫, 林美木子, 木川りか, 原田正彦, 三浦定俊, 川野邊渉, 石崎武志. 日光の歴史的建造物で確認されたシバンムシ類の種類と生態について. 保存科学. 2011, no. 50, p.133-140.
(第2章, 4節)
4. 小峰幸夫, 木川りか, 林美木子, 原田正彦, 三浦定俊, 川野邊渉, 石崎武志. 日光の歴史的建造物で採取した虫糞調査: シバンムシ科甲虫各種間の虫糞形状比較. 保存科学. 2012, no. 51, p. 191-199.
(第4章, 1節)
5. 小峰幸夫, 木川りか, 川越和四, 原田正彦, 三浦定俊. 日光山輪王寺の虫損部材を用いて行った木材保存剤の浸透試験. 保存科学. 2013, no. 52, p. 113-117.
(第3章, はじめに)
6. 小峰幸夫, 原田正彦, 齊藤明子, 佐藤嘉則, 木川りか, 藤井義久. 日光の歴史的木造建造物における新たなモニタリング手法の実用性の検討. 保存科学. 2017, no. 56, p.77-88.
(第4章, 2節)
7. 小峰幸夫, 佐藤嘉則, 原田正彦, 北原博幸, 木川りか, 藤井義久. 湿度制御した温風処理における殺虫効果の検証. 保存科学. 2019, no. 58, p. 21-28.
(第3章, 3節)
8. 小峰幸夫, 佐藤嘉則, 原田正彦, 北原博幸, 木川りか, 藤井義久. 湿度制御

温風処理における殺虫効果判定法の開発. 保存科学. 2020, no. 59, p. 1-8.

(第3章, 2節, 4節)

9. 小峰幸夫, 篠崎(矢花)聡子, 佐藤嘉則, 原田正彦, 斉藤明子, 木川りか, 藤井義久. 文化財建造物を加害したシバンムシ科甲虫の DNA バーコーディングに基づく同定法. 保存科学. 2021, no. 60 投稿予定.

(第4章, 3節)

謝辞

本論文の作成ならびに現地調査について懇切なご指導とご教示を賜りました、京都大学大学院農学研究科教授藤井義久博士に心より感謝申し上げます。また本論文を取りまとめるにあたりご教示を賜りました、京都大学生存圏研究所教授吉村剛博士、奈良文化財研究所副所長ならびに京都大学大学院人間・環境学研究科教授高妻洋成博士に心より感謝申し上げます。

本研究の現地調査や研究内容について長年にわたりご教示を賜りました、九州国立博物館博物館科学課長木川りか博士、日光社寺文化財保存会上席主任技師原田正彦氏、京都大学大学院農学研究科研究員藤原裕子博士、東京文化財研究所保存科学研究センター生物科学研究室長佐藤嘉則博士、トータルシステム研究所代表北原博幸博士に心より感謝申し上げます。日光山輪王寺、二荒山神社、東照宮の関係者の方々には調査と結果の公表を快く承諾いただきました。心より感謝申し上げます。文化財虫菌害研究所理事長三浦定俊氏を始め職員の方には心より感謝申し上げます。日光社寺文化財保存会、東京文化財研究所、国立民族学博物館、文化財建造物保存技術協会の各団体には心よりお礼申し上げます。

現地調査や試料、論文の提供にご協力いただきました、日光社寺文化財保存会技師野村牧人氏、環境文化創造研究所主席研究員川越和四氏、千葉県立中央博物館主任上席研究員斉藤明子氏、文化財虫菌害研究所研究員岩田泰幸氏、東京文化財研究所川野邊渉氏、林美木子博士、東北芸術工科大学教授石崎武志博士、松橋雄大氏に心より感謝申し上げます。

捕虫テープによる捕獲調査の集計や DNA バーコーディングの実験にご協力いただきました、九州国立博物館博物館科学科研究員渡辺祐基博士、東京文化財研究所客員研究員片山葉子博士をはじめ、生物科学研究室の篠崎（矢花）聡子博士、小野寺裕子氏、荒川理佐氏、岡部迪子氏、中村舞氏、池田華衣氏に心より感謝申し上げます。

故山野勝次博士には文化財分野における調査や文化財害虫の特徴、殺虫処理の知識だけでなく、文化財建造物の現地調査における立振舞いなど、文化財研究のあらゆることについてご教示いただきました。心より感謝申し上げます。

最後に、これまで私を応援してくれた両親と家族に心から感謝いたします。ありがとうございました。

2021年 小峰幸夫