

〔報告〕 日光の歴史的建造物を加害するシバンムシ類の 殺虫処理方法の検討

木川 りか・小峰 幸夫*・鳥越 俊行*²・原田 正彦*³・今津 節生*²・
本田 光子*²・三浦 定俊*・川野邊 渉・石崎 武志

1. はじめに

平成20年、栃木県日光市にある輪王寺の三仏堂（本堂・国指定重要文化財）において、解体修理中の部材にオオナガシバンムシ *Priobium cylindricum* による被害が確認され¹⁾、平成21年には大猷院霊廟二天門（国指定重要文化財）においてクロトサカシバンムシ *Trichodesma japonicum* とチビキノコシバンムシ *Sculptotheca hilleri* が確認された²⁾。また、2010年には日光の木造建造物約70棟において粘着トラップを用いた大規模な昆虫調査を実施したところ³⁾、上述以外に新たに別の種類のシバンムシが確認された^{4, 5)}。

オオナガシバンムシによる被害で部材の強度の低下が発見された輪王寺三仏堂では、今後約10年間にわたって半解体修理が実施されることとなった。解体修理等の際には一般に使用できる部材はできるだけ残し、今後も建物の部材として使用される。したがって、修理後の建物で同様の昆虫による被害の再発を防ぐためには、再利用される部材の内部に昆虫の幼虫や卵などが残っていた場合にも、それらを確実に殺虫できる方法で事前に処理を行っておくことが肝要である。

本稿では、解体修理に伴って再使用される部材、建材の確実な殺虫処理方法について検討した結果について報告し、また、厚い漆塗装が施されている建造物全体の被覆殺虫処理が可能であるか、その効果が十分に得られるかどうかということについても考察を行った。

2. 三仏堂の半解体修理に伴う殺虫方法の課題

2-1. 再使用する部材の殺虫処理

三仏堂においては昭和29-36年にも半解体修理が実施されている。その当時の記録写真を精査すると著しい虫害破損様の状況がみられ、その破損状況の記録内容は平成20年に確認されたオオナガシバンムシによる被害状況ときわめて類似していることが指摘されている⁶⁾。したがって、昭和の修理も同様の昆虫による被害が原因である可能性が考えられる⁶⁾。

昭和29-36年の修理においては、虫害で傷んだ箇所を部材から部分的に除去したのち、新材ではぎ木をしたものなどが使用された。また、この当時は、ガス燻蒸などによる部材の殺虫も行われていなかった。

平成20年に発見されたオオナガシバンムシによる被害材のうち、昭和の修理ではぎ木をされた部材をみると、江戸時代の当初材部分のほうに昭和30年代に継いだ材部分よりも激甚な被害がみられ、それが部分的に昭和材のほうに波及している状況が確認された^{1, 7)}。一見、健全にみえる部分に虫の卵などが入り込んでいるか否かについては、目視での判断はきわめて難しい。当時健全にみえて活用された古材の内部に虫の卵などが入っていた可能性も考えられる。

*公益財団法人文化財虫害研究所

*²九州国立博物館

*³財団法人日光社寺文化財保存会

このようなことから、被害の再発を防止するためには、再使用する部材にオオナガシバンムシなどの幼虫、卵などが侵入している可能性を考え、事前に100%の殺虫効果が得られる方法でもれなく殺虫を行っておく必要があるといえる。

2-2. 三仏堂の事例の特殊性による殺虫処理の課題

三仏堂のオオナシバンムシによる被害が発見され、半解体修理が計画された際には、まず建物全体を被覆し、ガス燻蒸剤（フッ化スルフリル）によって殺虫処理することが検討されていた。三仏堂ほど大型ではなく、また漆塗装のない民家等の殺虫においては、この方法は従来から十分な実績がある方法である。

しかし、三仏堂は美しい厚塗りの漆塗装が施された非常に大型の建造物であり（図1：口絵参照）、屋根までの高さは24mを超える。また、内部の約15mの高さの巨大な柱をはじめとして、部材全体にこのほか分厚い漆塗装が施されている（図2：口絵参照）。

このようなきわめて大型の歴史的建造物のガス燻蒸については、国内ではほとんど前例がなく、実施するとすれば、参拝される方々を想定した十分な立入り禁止区域の設定、周囲の天然記念物林などの植生へ影響を及ぼさないような実施方法の策定、広い空間や材の内部でガス濃度の十分かつ均一な保持が技術的に可能かどうかなど、周到な検討が必要となる。

とくに前述の有効ガス濃度の保持の問題については、殺虫燻蒸剤フッ化スルフリルは、通常、木材内部などへのガス浸透性はよいとされているが、厚塗りの漆塗装の内部まで燻蒸剤がむらなく浸透して殺虫濃度を達成できるかどうかについては、具体的なデータや知見がない。さらに、柱や土台などの下部の材は、含水率が高く、しっとりと水分を含んでいる状況のものがあり、水に溶けにくい性質のフッ化スルフリルは、高含水率の状況では材中への浸透が遮断されてしまう。したがって、建物が建ったままで全体の被覆燻蒸を行ったとしても、建物すみずみの材までくまなく十分な殺虫効果を得られるかどうかについては疑問が残る。

さらには、オオナガシバンムシの被害の国内の歴史的建造物、指定物件での発見事例は今回が初めてであり、この昆虫の生態についての報告はおろか、文化財殺虫用の燻蒸ガスや方法が有効であるかどうかについてもデータがない。

また、フッ化スルフリルの殺虫効果は温度にきわめて依存しやすく、一般に15℃を下回ると殺虫は難しくなる。したがって、20℃以上の温度になる夏季の実施が望まれるが、日光山内は冷涼な気候なため、7月でも20℃前後の気温であることが多い。このような温度条件で十分な殺虫効果が発揮できるかについても、温度と処理時間の両面からの検討が必要である。



図1 輪王寺三仏堂（2008年7月）



図2 輪王寺三仏堂内部の柱（2009年8月）

3. 部材などの殺虫試験方法

本報告では、オオナガシバンムシに対する殺虫処理の効果と漆塗装の部材中へのガス浸透性と殺虫効果の問題について検討するため、まず以下の項目について試験を行った。

- (1) オオナガシバンムシの被害材について、100%の殺虫効果が得られる方法の検討（オオナガシバンムシによる被害材を用い、実験を実施）
- (2) 三仏堂に用いられている厚さの漆塗膜を施した材の内部の供試虫に対する殺虫効果の検討（漆塗装部材を作成してモデル実験を実施）

3-1. シバンムシによる被害材を用いた殺虫効果の試験

まず、2008年の三仏堂の修理の際に回収されたオオナガシバンムシによる被害材を用いて、部材中に入っている虫に対する殺虫効果を検討した。

殺虫方法としては、二酸化炭素処理とフッ化スルフリル（商品名：ヴァイケーン）によるガス燻蒸処理の2種類を検討した。

被害材による検討では、オオナガシバンムシによる被害材を主に検討したが、その後、日光山内の屋内の被害調査の際に得られた、クロトサカシバンムシ、もしくはチビキノコシバンムシによる被害材と推定される木材ブロック片についても、一部、検討を行った。

殺虫試験においては、まずX線CTによって材内部を観察し、幼虫などが多く入っている被害材を選定した。また、できるだけ同じ条件の材について「処理」、「未処理」の結果を比較するために、可能な限り、ひとつの被害材ブロックを2つに切断し、一方を「処理区」、もう一方を「未処理区」として使用し、実験を行った（図3）。



図3 「処理区」「未処理区」用に2つに切断された被害材

3-2. 漆塗装モデル木材ブロックを用いた殺虫効果の試験

三仏堂の大柱などのように、分厚い漆塗装が施されている大型の木材の内部に虫が入っている可能性も想定し、漆塗装された木材内部へのガスの浸透性、すなわち殺虫効果を検討した。

この場合も、上記の被害材の実験と同様に、二酸化炭素処理とフッ化スルフリルによるガス燻蒸処理の2種類について検討した。

木材などに被害がみられる場合は通常“虫孔”があるため、燻蒸剤のガスは虫孔のない材よりもかなり浸透しやすいと考えられる。しかし、ことのほか分厚い漆塗膜で覆われている巨大

表1 漆塗装木材ブロック

名称	作成条件	重量
a.	塗装なし、30cm角ケヤキ材	20.2 kg
b.	漆塗装あり、30cm角ケヤキ材 5cm四方の木目出し*（2か所、向かい合う2側面）	21.4 kg
c.	漆塗装あり、30cm角ケヤキ材 5cm四方の木目出し*（1か所、1側面）	21.7 kg
d.	漆塗装あり、30cm角ケヤキ材 全面にわたって漆塗装	21.8 kg

*木目出しについては、b、c、dについて、一度全面を漆塗装したのち、5cm角の側面領域（木目面）の漆塗膜をたたき落とし、木目を露出させたもの。

な建物の被覆燻蒸を想定した場合、部位によるガスの浸透ムラも予想される。実際に、三仏堂の場合には、厚い漆塗装でおおわれている直径約70cm、高さ約15mの巨大な柱（図2）が多く存在し、一般的な知見がなりたつものかどうか、予測できなかった。そこで、漆塗膜に囲まれ、ガスが浸透しにくい状況を想定したテストサンプルを作成し、モデル実験を行うことにした。

漆塗装モデル木材ブロックは、三仏堂の柱に使用されている材と同じ樹種であるケヤキ材を用い、30cm角の木材ブロックに漆塗装を全面に施したもの、一部の塗装を窓状にはがしたものの、まったく塗装をしないものなど、4種類のものを作成した（表1、図6）。部分的に塗装をはがしたサンプルを作成した理由は、三仏堂の柱などの漆塗装を部分的にでもはがせば、内部にガスが浸透しやすくなり、建物全体の被覆燻蒸で十分な殺虫効果が得られるようになるかどうかについて、可能性を検討するためである。

この木材ブロックの上面（小口面）の中心から、直径2cm、長さ15cmの穴を材の中心部に向かってあけ、その中に供試虫（図4）を入れた。供試虫の封入は、ゴム栓（サイズ5号）+シリコンコーキング剤+アルミテープによって行った。



図4 木材の中に入れる前の供試虫（コクゾウ成虫および卵、幼虫、蛹を含む被害玄米）



図5 供試虫を封入するためのゴム栓の検討

供試虫としては、(公財)文化財虫害研究所において、ガス燻蒸などの殺虫効果判定に使用されているコクゾウの成虫20匹、および卵、幼虫、蛹などを含む約3gの被害玄米を各処理区で2セットずつ用いた。ゴム栓については、当初はシリコンゴムの栓を用いたが、のちにシリコンゴムは二酸化炭素を比較的透過しやすいことが判明したため、数種類のゴム栓について検討を行った(図5)結果、2回目の実験以降は、二酸化炭素などのガスを透過しにくいフッ素ゴムの栓を採用した。

また、木材ブロック中の供試虫と比較する対照として、同様の供試虫をガラス瓶に入れて通気性のよいフタをしたもの(ガス交換100%)、フッ素ゴムのフタをしたもの(ガス交換をほぼ完全に遮断)を用意し、殺虫効果を比較した。

3-3. 殺虫処理方法と条件

<二酸化炭素処理>

テントを用い、およそ60-70%容量の二酸化炭素濃度になるように二酸化炭素を導入し、およそ25℃に温度設定した室内で2週間維持した(図6:口絵参照)。試験は2009年の11月11日~25日、および2009年12月8日~22日の2回にわたって実施した。



図6 二酸化炭素処理の実施例 (2009年11月)

<フッ化スルフリル処理>

日光で実際に処理を行うと考えられる夏季(7月)の気温を想定し、20℃前後で実験を実施することとした。

1回目の実験条件

2010年1月12日~21日の間に実施した。冬季で気温がきわめて低い時期であったため、処理に際しては、ファンヒーターで約2m³のチャンバー内を加熱して、処理中は約20℃を維持した(図7)。フッ化スルフリルのガス濃度は、50-70g/m³で、24時間、48時間、72時間をそれぞれ維持する3条件について実験を実施した。

ただし、フッ化スルフリルの特徴としては、やや殺卵力が弱いことが指摘されている。1回目の実験の時期は冬であったため、卵が材に含まれているかどうかは未知数である。このため、成虫が産卵した直後が想定される夏季にも実験を実施検討する必要があると考えられた。

2回目の実験条件

2010年9月13日~17日に実施した。このときは、逆に気温が非常に高い時期であったため、

処理に際しては、日光の冷涼な7月の気温を想定し、エアコンが装備された約12m³の移動燻蒸車の中で処理を実施した(図8)。処理温度は、20～25℃、フッ化スルフリルのガス濃度は、約50g/m³で72時間維持した。



図7 フッ化スルフリル燻蒸処理の実施例
(2010年1月)



図8 フッ化スルフリル燻蒸処理の実施例 (2010年9月)

3-4. 殺虫効果判定方法

<被害材中のシバンムシに対する殺虫効果判定>

以前報告した方法^{7,8)}と同様の測定条件により、X線CTで時間をおいて複数回測定し、画像を重ね合わせることで内部の幼虫の移動の有無(活動度)を検出する方法により行った。

<漆塗装モデル木材ブロック中のコクゾウ(供試虫)に対する殺虫効果判定>

処理を行ったのち、木材ブロックの中から、弱い吸引機を用いて供試虫成虫およびその他のステージが入った被害玄米を回収し、まず成虫を分離して生死の割合を判定した。そのうち、1週間おき、もしくは10日おきに被害玄米を観察し、羽化してきた成虫数を計数するとともに、成虫をとりぞく作業を行い、8週間以上観察を継続した。この場合、玄米から羽化してきた成虫数が処理の際の、蛹、幼虫、卵の生存数と考えられる。

4. 部材などの殺虫試験結果

4-1. シバンムシ被害材を用いた結果

X線CTにより、内部の幼虫の移動の有無（活動度）を検出して、生死を判定した結果を表2～4に示した。

まず、二酸化炭素殺虫処理（60-70%容量，二酸化炭素，25℃，2週間）を行ったところ，処理を行った部材中での幼虫の移動は観察されなかったのに対して，未処理の被害材では，幼虫が活発に移動していることがわかった（表2）。以上のことから，二酸化炭素処理は，被害材の被害面や木目が露出している状態であればオオナガシバンムシが加害している部材の殺虫に有効であると考えられる。

表2 シバンムシによる被害材を用いた二酸化炭素殺虫処理の検討結果

部材片*	由来、主な加害虫	処理	X線CTによる幼虫などの移動度の観察結果（5日間の変化）	部材中の虫の移動(活動)の有無
Q-1	三仏堂、2008年 オオナガシバンムシ	未処理 (対照)	幼虫の移動を検出	+
Q-2	三仏堂、2008年 オオナガシバンムシ	二酸化炭素処理 25℃、2週間	幼虫の移動なし	-

*Q-1, Q-2はひとつの部材を処理の前に2片に切り分けたもの。

・二酸化炭素処理は，2009年11月11日～25日に実施された。

・X線CTによる測定は，処理後に22℃の部屋で保管しておいた部材について2009年12月2日と12月7日の2回にわたって実施。観察結果の詳細および画像は文献8）に掲載。

次に，フッ化スルフリル（商品名：ヴァイケーン）による燻蒸の効果を検討した。

まず，約20℃においてフッ化スルフリルのガス濃度を50-70g/m³に維持する条件で，それぞれ24時間，48時間，72時間の処理を実施した結果を表3に示す。燻蒸処理を実施しなかった対照の被害材では，活発な幼虫の移動が観察された（表3，5-1，Y-2）のに対し，24時間の処理では，かなりの効果はみられたものの，一部の幼虫が移動しており，活動が検出される場合があった（表3，X-1）。48時間では，幼虫の移動は検出されなかったが（表3，X-2，Y-1），72時間の処理を行った部材の幼虫と比較すると，72時間の処理の場合には，いずれもCT画像で部材内の幼虫の身体が干からびたように縮んでいる様子が観察されており（表3，5-2，C-1），72時間の処理のほうが，より確実な殺虫処理を行えると判断された。

したがって，被害面や木目が露出しているような部材の状態であれば，25℃，2週間の二酸化炭素処理，20℃，48時間あるいは72時間の，50-70g/m³のフッ化スルフリル燻蒸は，いずれもオオナガシバンムシの幼虫の殺虫に有効であった。

しかし，より確実な殺虫を行うのであれば，72時間のフッ化スルフリル燻蒸が部材の殺虫には有効であると考えられる。

そこで，再度，オオナガシバンムシ以外のシバンムシによる被害材も加えて，72時間のフッ化スルフリル燻蒸の効果を検討した。

表4に示すように，未処理の材（Q-1，Y-2，A-2）では，幼虫が活発に移動しているのに対して，処理した被害材ではいずれも幼虫の移動が検出されなかった。今回は，クロトサカシバ

表3 シバンムシによる被害材を用いたフッ化スルフリルガス燻蒸の検討結果（1回目）

部材片	由来、主な加害虫	処理	X線CTによる幼虫などの移動度の観察結果（約70日間の変化）	部材中の虫の移動度（活動度）
5-1	三仏堂、2008年 オオナガシバンムシ	未処理 （対照）	活発な幼虫の移動を検出	++
Y-2	三仏堂、2008年 オオナガシバンムシ	未処理 （対照）	活発な幼虫の移動を検出	++
X-1	三仏堂、2008年 オオナガシバンムシ	フッ化スルフリル 24時間処理	一部の幼虫に移動しているものあり	+
C-2	三仏堂、2008年 オオナガシバンムシ	フッ化スルフリル 24時間処理	幼虫の移動なし	—
X-2	三仏堂、2008年 オオナガシバンムシ	フッ化スルフリル 48時間処理	幼虫の移動なし	—
Y-1	三仏堂、2008年 オオナガシバンムシ	フッ化スルフリル 48時間処理	幼虫の移動なし	—
5-2	三仏堂、2008年 オオナガシバンムシ	フッ化スルフリル 72時間処理	幼虫の移動なし （幼虫が縮んでいる）	—
C-1	三仏堂、2008年 オオナガシバンムシ	フッ化スルフリル 72時間処理	幼虫の移動なし （幼虫が縮んでいる）	—

- ・燻蒸処理は、2010年1月12日～21日に実施された。
- ・X線CTによる測定は、処理後に22℃の部屋で保管しておいた部材について2010年1月28日と2010年4月13日の2回にわたって実施。

ンムシ、チビキノコシバンムシが多く捕獲された建物から得られた被害材についても殺虫効果を検討し、これらの場合も同様に処理後に幼虫の活動は確認されなかったものの、これらの部材中には幼虫が1匹ずつしか検出されなかったため、オオナガシバンムシの幼虫ほど多くの個体について再現性を確認することはできなかった（表4、P、D）。

4-2. 漆塗装モデル木材ブロックと供試虫（コクゾウ）を用いた結果

三仏堂で行われている漆塗装の工程と同様に作成していただいた漆塗装モデル木材ブロック中に供試虫のコクゾウを封入して処理を行ったのち、成虫の生死、および被害玄米からその後羽化してくる成虫の個体数（すなわち、蛹、幼虫、卵の生存数）を計数した結果を表5～8に示した。

まず、二酸化炭素処理の結果を検討したところ、通気性の良いフタをした容器に入れた供試虫サンプルでは、供試虫の生存が確認されなかったのに対し、30cm角のケヤキ木材ブロックに封入した場合は、すべての木材ブロック片でのちに被害玄米から成虫の羽化が観察され、蛹、幼虫、卵のいずれかのステージの虫が生き残ったことがわかった（表5、6）。

未処理の供試虫サンプルと比較すると、塗装なしの木材ブロックの場合は、かなり殺虫された割合は高かったが、少数の個体が生き残ることが判明した（表5、表6、木材ブロックa）。また、全面を漆塗装したブロックでは、かなりの割合の虫が生き残り（表5、6、木材ブロッ

表4 シバンムシによる被害材を用いたフッ化スルフリルガス燻蒸の検討結果（2回目）

部材片	由来、主な加害虫	処理	X線CTによる幼虫などの移動度の観察結果（11日間の変化）	部材中の虫の移動（活動）の有無
Q-1	輪王寺三仏堂、2008年 オオナガシバンムシ	未処理 （対照）	幼虫 11 匹、すべて移動	+
Y-2	輪王寺三仏堂、2008年 オオナガシバンムシ	未処理 （対照）	幼虫 11 匹、すべて移動	+
A-2	輪王寺三仏堂、2008年 オオナガシバンムシ	未処理 （対照）	幼虫 2 匹以上、1 匹移動	+
5-1	輪王寺三仏堂、2008年 オオナガシバンムシ	フッ化スルフリル 72時間処理	幼虫 6 匹以上、位置変わらず	-
A-3	輪王寺三仏堂、2008年 オオナガシバンムシ	フッ化スルフリル 72時間処理	幼虫 4 匹以上、位置変わらず	-
O	輪王寺三仏堂、2008年 オオナガシバンムシ	フッ化スルフリル 72時間処理	幼虫 15 匹以上、位置変わらず	-
F	輪王寺三仏堂、2008年 オオナガシバンムシ	フッ化スルフリル 72時間処理	幼虫 16 匹以上、位置変わらず	-
P	東照宮神廐舎、2010年、 チビキノコシバンムシ他	フッ化スルフリル 72時間処理	幼虫 1 匹、位置変わらず	-
D	輪王寺大猷院二天門、 2009年 クロトサカシバンムシ	フッ化スルフリル 72時間処理	幼虫 1 匹、位置変わらず	-

- ・燻蒸処理は、2010年9月13日～17日に実施された。
- ・X線CTによる測定は、処理後に22℃の部屋で保管しておいた部材について2010年9月27日と2010年10月8日の2回にわたって実施。

クd)、一部の漆塗装をはがしたブロックでも、この傾向は変わらなかった（表5、6）。表5の条件では、封入をシリコン栓で行ったが、表6の実験ではより二酸化炭素を透過しにくいフッ素ゴム栓を用いた。その結果、全面漆塗装をした木材ブロックの場合は、成虫までもが生き残ることがわかった（表6、木材ブロックd）。また、この結果をみる限り、5cm角の範囲で漆塗膜をたたき落とし、木目出しをした面を1か所ないし、2か所側面に作っても、さほどガスの浸透性や殺虫効果が劇的に向上するわけではなく、やはり内部の供試虫がかなりの割合で生き残ることがわかった。

次に、表7にフッ化スルフリル燻蒸の実験結果を示す。殺虫効果は24時間、48時間、72時間の順に高まり、72時間の処理ではかなりの割合の供試虫が殺虫された。しかし、それでも漆塗装がある木材ブロックの場合には、供試虫が生き残ることがわかった（表7）。

なお、このときの実験においては、漆塗装木材ブロックのうち、1か所木目出しを行ったサンプルで、ほかのサンプルに比べて不自然に高い殺虫効果が得られたが、二酸化炭素処理の時の結果と比較しても、この結果はおそらく供試虫を封入する過程で、ガスの通り道ができてしまっていた（封入する穴の一部の面が以前のコーキング剤などで汚れて粗面であったなど）と

表5 漆塗装木材ブロック, および供試虫コクゾウを用いた二酸化炭素殺虫処理試験結果 (1回目)

処理	供試虫の配置	処理直後の成虫 生存数 / 全個体数	羽化数				羽化数 合計
			14日後	28日後	42日後	56日後	
二酸化炭素処理	通気性のふたをしたガラス瓶内	0 / 41	0	0	0	0	0
	塗装なし、 木材ブロック a 内	0 / 36	0	1	2	0	3
	漆塗装 (2か所木目出し) 木材ブロック b 内	0 / 37	2	34	7	12	55
	漆塗装 (1か所木目出し) 木材ブロック c 内	0 / 36	3	24	13	5	45
	全面漆塗装、 木材ブロック d 内	0 / 36	3	49	20	10	82
未処理	通気性のふたをしたガラス瓶内	55 / 57	60	55	28	23	166

処理は2009年11月11日～25日に実施, 木材ブロックへの虫の封入は, シリコン栓+シリコンコーキング剤+アルミテープで行う。

なお, 網掛け部分は, 供試虫の生存が確認されたことを示す。

表6 漆塗装木材ブロック, および供試虫コクゾウを用いた二酸化炭素殺虫処理試験結果 (2回目)

処理	供試虫の配置	処理直後の成虫 生存数 / 全個体数	羽化数				羽化数 合計
			14日後	28日後	42日後	56日後	
二酸化炭素処理	通気性のふたをしたガラス瓶内	0 / 40	0	0	0	0	0
	塗装なし、 木材ブロック a 内	0 / 38	1	0	1	0	2
	漆塗装 (2か所木目出し) 木材ブロック b 内	0 / 37	6	15	6	6	33
	漆塗装 (1か所木目出し) 木材ブロック c 内	0 / 37	3	13	6	4	26
	全面漆塗装、 木材ブロック d 内	8 / 38	10	16	15	7	48
未処理	通気性のふたをしたガラス瓶内	45 / 45	25	24	21	28	90

処理は2009年12月8日～22日に実施, 木材ブロックへの虫の封入は, フッ素ゴム栓+アルミテープで行う。

なお, 網掛け部分は, 供試虫の生存が確認されたことを示す。

表7 漆塗装木材ブロック, および供試虫コクゾウを用いたフッ化スルフリル処理試験結果 (1回目)

フッ化スルフリル燻蒸処理時間	供試虫の配置	処理直後の成虫生存数 / 全成虫個体数	羽化数 10日後	羽化数 20日後	羽化数 30日後	羽化数 40日後	羽化数 50日後	羽化数 60日後	羽化数 70日後	羽化数 合計
24時間	通気性のふたをしたガラス瓶	0/40	0	0	0	0	0	0	0	0
	塗装なし、ブロック a	0/37	0	0	0	0	0	0	0	0
	漆塗装 (2か所木目出し) ブロック b	28/38	1	35	23	8	12	32	15	126
	漆塗装 (1か所木目出し) ブロック c	0/40	0	0	0	0	0	0	0	0
	全面漆塗装、ブロック d	8/40	0	6	3	2	0	0	0	11
未処理	フッ素ゴム栓をしたガラス瓶	47/48	117	90	13	13	47	10	4	284
48時間	通気性のふたをしたガラス瓶	42/43	99	92	11	9	49	14	1	275
	塗装なし、ブロック a	0/40	0	0	0	0	0	0	0	0
	漆塗装 (2か所木目出し) ブロック b	0/37	0	0	10	6	0	13	52	81
	漆塗装 (1か所木目出し) ブロック c	0/41	0	0	0	0	0	0	0	0
	全面漆塗装、ブロック d	0/39	0	0	8	8	1	2	50	69
未処理	フッ素ゴム栓をしたガラス瓶	31/39	4	86	62	3	52	69	5	281
72時間	通気性のふたをしたガラス瓶	38/41	11	102	70	1	63	39	0	286
	塗装なし、ブロック a	0/39	0	0	0	0	0	0	0	0
	塗装なし、ブロック a	0/40	0	0	0	0	0	0	0	0
	漆塗装 (2か所木目出し) ブロック b	0/41	0	0	3	2	0	0	0	5
	漆塗装 (1か所木目出し) ブロック c	0/41	0	0	0	0	0	0	0	0
未処理	全面漆塗装、ブロック d	0/40	0	0	6	3	0	0	0	9
未処理	フッ素ゴム栓をしたガラス瓶	3/40	15	102	32	1	83	32	6	271
未処理	通気性のふたをしたガラス瓶	40/40	25	106	29	9	42	19	8	238

燻蒸処理は2010年1月12日～21日に約20℃で、約50～70g/m³の濃度で実施、木材ブロックへの虫の封入は、フッ素ゴム栓+シリコンコーキング剤+アルミテープで行う。なお、網掛け部分は、供試虫の生存が確認されたことを示す。

表8 漆塗装木材ブロック, および供試虫コクゾウを用いたフッ化スルフリル処理試験結果 (2回目)

フッ化スルフリル燻蒸処理時間	供試虫の配置	処理直後の成虫生存数 / 全成虫個体数	羽化数 10日後	羽化数 20日後	羽化数 30日後	羽化数 40日後	羽化数 50日後	羽化数 60日後	羽化数 70日後	羽化数 合計
72時間	通気性のふたをしたガラス瓶	0/40	0	0	0	0	0	0	0	0
	塗装なし、ブロック a	0/39	0	0	0	0	0	0	0	0
	漆塗装 (2か所木目出し) ブロック b	0/41	0	0	0	0	0	0	0	0
	漆塗装 (1か所木目出し) ブロック c	34/37	18	30	17	1	0	0	0	66
	全面漆塗装、ブロック d	31/40	34	26	7	5	2	0	0	74
未処理	フッ素ゴム栓をしたガラス瓶	39/40	40	24	10	4	1	0	0	79
未処理	フッ素ゴム栓をしたガラス瓶	38/41	35	29	11	6	6	1	0	88
未処理	通気性のふたをしたガラス瓶	44/44	38	37	7	3	0	0	0	85

燻蒸処理は2010年9月13日～17日に約20～25℃、約50g/m³の濃度で実施、木材ブロックへの虫の封入は、フッ素ゴム栓+シリコンコーキング剤+アルミテープで行う。なお、網掛け部分は、供試虫の生存が確認されたことを示す。

いうような、何らかの実験上の欠陥があった可能性が考えられる。

次に、再度、フッ化スルフルリルで72時間の処理を行い、検討した結果を表8に示した。この実験においても、全面漆塗装した木材ブロック、またはそれに準じた条件では、かなりの供試虫が生き残ることがわかった。この場合には、漆塗装木材ブロックのうち、木目出しを2か所行ったサンプルで不自然に高い殺虫効果が得られたが、この結果についても、前回と同様な実験的な欠陥の可能性を考慮する必要がある。

以上のことから、解体した部材の状態のように、被害面や木目が広い範囲で露出している場合には、今回検討した殺虫方法は有効であるが、厚い漆塗装で囲まれた分厚いケヤキ材などの内部では、条件によっては、内部の虫が生き残る可能性がかなりあると考えられる。

5. 三仏堂を現在加害しているシバンムシ類の殺虫方法について

以上において、二酸化炭素処理とフッ化スルフルリル燻蒸の2通りの方法について、被害材への殺虫効果、漆塗装モデル材内部の虫への殺虫効果を検討してきた。

二酸化炭素処理は、処理期間も2週間と長く、大型の建物の処理は実際問題として困難であり、部材の殺虫を目的とした方法の候補として検討したものである。二酸化炭素処理では、被害面の露出した被害材の中のオオナガシバンムシ幼虫の殺虫は可能であったが、密度の高い30cm角のケヤキ材ブロックに封入した供試虫の場合は、漆塗装がない場合でも一部が生き残る結果となった。

フッ化スルフルリル燻蒸については、被害面が露出した部材中のシバンムシ幼虫の殺虫は20℃、72時間の処理で可能であったが、ケヤキ材のように密度が高く、かつ分厚い漆塗装が施されている材については、材の小口面や被害面が露出されている状況でないと100%の殺虫は困難であることがわかった。いいかえれば、この事例のように分厚い漆塗装が施されている大型の建造物の場合で、さらに部分的に含水率の高い部材がある場合、建物が建ったままでの全体の被覆燻蒸は加害虫の数をある程度減らすという意味では有効であるが、100%の殺虫を保証することはできないと考えられる。

したがって、今後、シバンムシを材中に残さないためには、半解体修理の過程で、再利用する予定のあるすべての部材について、解体した部材の状態（すなわち、小口や被害面を十分露出させた状態で）必ず殺虫処理を実施し、もれなく処理を行っておくことが必須の要件となる。また、部材の状態で殺虫処理をするにあたっては、土台や柱の根本など、水分を多く含む部分は事前によく乾かしておき、フッ化スルフルリルが浸透しやすい条件にしておくことが望まれる。このため、修理の工程とあわせ、部材の殺虫スケジュールについても、遺漏のないよう周到に計画することが望まれる。

また、殺虫後に、今後の新たな侵入、再加害をできるだけ防止することも大切であるため、修理で使用する材の表面やジョイント部に、木材用防虫防腐剤を塗布または加圧注入するなどして、虫に食われにくくする処理を施しておくことも重要である。

オオナガシバンムシによる被害では、木材の繊維方向への著しい虫の移動、ジョイント部から他の部材への虫の移動などが主な拡散方法として観察されている⁶⁾ため、このような薬剤処理を事前実施しておくことで、部材間の虫の移動の防止にある程度効果があるのではないかと考えられる。

6. まとめ

本報告では、おもにオオナガシバンムシに加害された部材の有効な殺虫方法について検討し、修理が予定されている建物における今後の殺虫処理の方法についてについて考察した。その結果、三仏堂のように分厚い漆塗装のある大型の建造物の場合、部材の状態にして木材の小口面や被害面が露出させた状態でないと、漆塗装の内部まで完全に殺虫することは困難であることが示唆された。すなわち、通常行われてきた建物全体の被覆燻蒸では、この場合100%の殺虫は困難であることが予想される。したがって、修理後の建物内部に虫を残さないためには、修理計画にあわせ、周到に各部材の殺虫処理を実施することが大切である。また、殺虫を実施した部材を修理で用いる際には、再加害の予防のために、防虫処理材の塗布も重要である。以上のことを、2011年1月27日、日光にて行われた調査結果報告会においても提言した。

今年度の調査^{3~5)}により、オオナガシバンムシをはじめとする木材を加害するシバンムシ類は、さまざまな場所の建造物で広く捕獲されていることから、通常は屋外にも棲息しているものが建物の中へも飛来してきている可能性が示唆されている。また、2009年度と今年度の日光における調査結果^{3~5)}から、日光においてシバンムシなどの成虫が羽化、飛翔するのは5~7月ごろが主であると推定されるが、そのような成虫の新たな侵入、繁殖の時期にあわせた対策が重要と考えられる。

例えば、当面、被害があまり顕著ではない建物については、蒸散性殺虫（防虫）剤を成虫が羽化する時期（5月初めから7月ごろ）に使用して、産卵などの生殖活動を抑制するという方法などが考えられる。また、このような蒸散性殺虫（防虫）剤と粘着トラップを組み合わせることによって、羽化した成虫を捕獲し、個体数を減らしていくことによって、加害スピードを遅くしていくという方向性も考えられよう。

いずれにしても、どのような種類の薬剤が効果があるのか、また、それらの安全な運用方法などについて今後検討が必要である。

また、現地調査においては、ここで検討したシバンムシ類の被害のみならず、土台、床下などでは高湿度の場所で、シロアリの被害や、キノコなど木材腐朽菌の被害がみられた建物も少なくなかった。シバンムシ類への対策とあわせ、このような場所では、必要に応じてシロアリに食害されにくいとされる樹種（クリなど）の木材を使用する、土壌、木部防蟻防腐処理を行う、などの対策や、維持管理のための定期点検なども必要となろう。

謝辞

本稿をまとめるにあたり、調査結果の公表を快くご許可いただきました日光山輪王寺、二荒山神社、東照宮の関係者の方々に深く感謝いたします。二酸化炭素処理、フッ化スルフルル処理の実施にあたりましては、日本液炭株式会社、二俣賢氏、中部資材株式会社燻蒸部の守口哲哉氏に大変お世話になりました。また、実験用サンプルの準備などでは、豊田明美氏に多大なご助力をいただきました。記して感謝いたします。

引用文献

- 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, 48, 207-213 (2009)

- 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, 49, 173-181 (2010)
- 3) 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害虫調査について, 保存科学 50, 111-121 (2011)
- 4) 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, 50, 123-132 (2011)
- 5) 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, 50, 133-140 (2011)
- 6) 原田正彦, 木川りか, 小峰幸夫, 藤井義久, 藤原裕子, 川野邊渉: 輪王寺本堂の虫害破損について, 保存科学, 49, 165-171 (2010)
- 7) 木川りか, 鳥越俊行, 今津節夫, 本田光子, 原田正彦, 小峰幸夫, 川野邊渉: X線CTスキャナによる虫損部材の調査, 保存科学, 48, 223-231 (2009)
- 8) 鳥越俊行, 木川りか, 原田正彦, 小峰幸夫, 今津節夫, 本田光子, 川野邊渉: X線CTによる被害材の調査と害虫の活動検出への応用, 保存科学, 49, 191-196 (2010)

キーワード: 殺虫処理 (Insect eradication); 二酸化炭素処理 (Carbon dioxide treatment); フッ化スルフリル (Sulfuryl fluoride); ヴァイケーン (Vikane[®]); 日光 (Nikko); 歴史的建造物 (historic buildings); 漆塗装 (Urushi paint); シバンムシ (death watch beetle); オオナガシバンムシ (*Priobium cylindricum*); クロトサカシバンムシ (*Trichodesma japonicum*); チビキノコシバンムシ (*Sculptotheca hilleri*)

Tests on Insect Eradication of Wooden Blocks Damaged by Wood-boring Anobiids in Historic Buildings in Nikko

Rika KIGAWA, Yukio KOMINE^{*}, Toshiyuki TORIGOE^{*2}, Masahiko HARADA^{*3},
Setsuo IMAZU^{*2}, Mitsuko HONDA^{*2}, Sadatoshi MIURA^{*}, Wataru KAWANOBE
and Takeshi ISHIZAKI

A very rare anobiid species in Japan, *Priobium cylindricum*, was found by chance in the restoration work of the Sambutsu-do of Rinnohji temple in 2008. Severe damage was found in some structural wooden pieces of the temple. The damage was very severe in hard (heart) wood: a powdery state and many holes of various sizes were seen. However, damage was not clear when seen from the red painted layer of urushi. At another structure, Daiyu-in Nitenmon, anobiids, *Trichodesma japonicum* and *Sculptotheca hilleri*, were trapped by adhesive ribbons in 2009. Since adhesive ribbons turned to be effective tools in investigating signs of infestation, extensive survey of insects with adhesive traps (about 27,000 ribbons) in about seventy historic buildings in the Nikko World Heritage site was performed from the end of April to August, 2010. Several species of anobiid were found on the adhesive traps. Some of them had caused infestation at certain buildings.

At the Sambutsu-do of Rinnohji temple, extensive restoration is now planned for the next ten years. In the process, it is very important to completely eradicate all anobiid insects inside the wooden pieces which would be reused in the restoration. For the purpose, experiments on CO₂ treatment and sulfuryl fluoride (Vikane[®]) fumigation were performed.

Firstly, tests were performed on actual wooden blocks from the structure damaged by *Priobium cylindricum*. Effects of the treatments were examined by X-ray CT (computer tomography) scanning, and comparing the 3D images to detect activity of the larvae. Secondly, tests were performed on dense wooden blocks (30 x 30 x 30 cm, about 20kg) with thick urushi painted layer on the surface using test insects *Sitophilus zeamais*.

As a result, it was shown that damaged wooden blocks were effectively treated by CO₂ treatment and Vikane[®] fumigation, but they did not achieve 100% mortality of test insects inside the dense wooden blocks with thick urushi layer.

From these results, it is supposed that eradication of insects in damaged wooden blocks with no urushi painted surfaces is effective, but large-scale fumigation of the whole building would not achieve 100% mortality of anobiid insects inside the wooden blocks covered with thick urushi layer, especially large pillars 15m in height and with diameter of about 70cm.

It would also be important to use residual insecticide on the surface (or into some depth) of the wooden pieces, which will be used for the restoration of the building, to prevent further invasion and damage by the anobiids.

^{*} Japan Institute for Insect Damage to Cultural Properties ^{*2} Kyushu National Museum

^{*3} Nikko Cultural Assets Association for the Preservation of Shrines and Temples