

〔報告〕 X線 CT スキャナによる虫損部材の調査

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

1. はじめに

木質文化財（彫刻、建造物）などにおいて、木材害虫による被害はしばしば見られるが、その被害状況については、通常、表面観察によって、虫穴があるか、木粉などが出ているかなどの状況証拠から判断されている。さらに、現在進行形で内部の被害が進んでいるかどうかについては、アコースティック・エミッションなどの調査手法で活動が検出できるようなシロアリの例^{1,2)}など一部の特殊な場合を除いては、やはり外部観察による状況証拠を総合して判断されていることが多い。すなわち、木粉や虫糞が継続的に出てくるかどうか、さらには周囲に羽化した昆虫がいたり、その死骸があるかどうかという状況からの判断である。明らかに生きている害虫が出てきた場合や、常に新たな虫粉が出てくる場合には被害が進行中であると判断されるが、それがはっきりしない場合も含め、被害の進行が疑われる場合には、必要に応じて燻蒸処理等により殺虫処理を行うのが通常である。内部での害虫による被害が想定される木質文化財について、このような外部からの観察だけでなく、内部の状況を簡便に、かつ非破壊的手法により観察することができれば、より正確な状況判断が可能となろう。

彫刻、建築部材のような木質文化財などの内部を詳細に観察する方法のひとつにX線 CT スキャナ（コンピュータ断層撮影、以下CT）がある。CTは、X線の透過度を立体表示できるため、医療の分野では内部観察手法として普遍的に用いられている装置である。本報告では、九州国立博物館に設置されている文化財用CT（Y. CT Modular320 FPD（YXLON International社製））^{3,4)}を用いて、部材などに潜む害虫の検出が可能かどうか調査を行った。なお、測定データの解析には、VGStudioMAX 1.21 x64版（Volume Graphics社）を用いた。

まず、人工的な試験系として、部材の中に生きた虫を入れ、それをCTで検出できるかどうかを検討した結果、木材内部で生きた虫を画像として検出できることがわかった。そこで、次に栃木県日光市にある輪王寺（重要文化財、世界遺産）本堂（三仏堂）のオオナガシバンムシに食害された部材を調査した。オオナガシバンムシによる歴史的建造物の被害は、わが国ではほとんど例がなく、オオナガシバンムシの生態については未知な部分が多い。したがって、本報告は、オオナガシバンムシの食害状況や被害材中での分布などについて、貴重な3次元情報を提供するものと考えられる。

2. 予備調査

2-1. 材料と方法

ヒメカツオブシムシ（*Attagenus japonicus*）の生きた幼虫、およびその脱皮殻（写真1）をそれぞれ5個体分ずつ準備し、10cm×10cm×20cmのスギの角材に直径約2cmの穴を10cmの深さに開けたもの（写真2）の穴の底部にピンセットで入れたのち、穴の開口部をシリコン栓で封じた。それぞれの角材を九州国立博物館のCT（写真3）で調査した。測定条件はX線照射装置の管電圧が100kV、管電流が5.3mA、測定時間は6分である。

なお、CTで用いられているX線検出装置の画素の大きさが0.2mmであることから、幅1

*九州国立博物館

*²財団法人日光社寺文化財保存会

*³財団法人文化財虫害研究所

mm 程度の虫は検出可能であると考えられる。X線の出力，測定時間並びに分解能は，対象資料により変更することが可能である。



写真1 ヒメカツオブシムシの生きた幼虫
(左) およびその脱皮殻 (右)

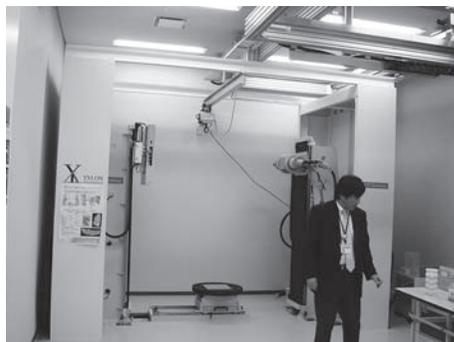
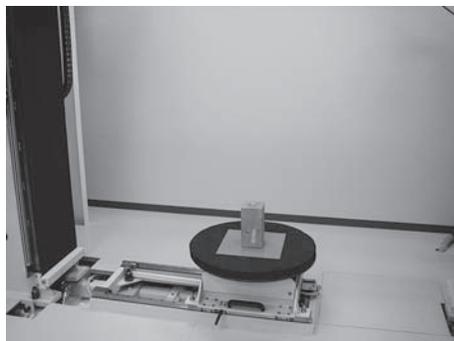


写真3 CT および試料の設置



写真2 幼虫または脱皮殻を封入した角材



2-2. 結果と考察

ヒメカツオブシムシの生きた幼虫を入れた角材のCT画像，および脱皮殻のみを入れた角材のCT画像を，図1～3に示す。これらは，いずれも今回得られた三次元画像をある面で切った三次元断面像である。

生きた幼虫5匹を入れた角材では，明らかにヒメカツオブシムシの幼虫とみられる像が検出された(図1～3，左の画像)。これに対し，脱皮殻だけの場合は，像の検出ができなかった(図1～3，右の画像)。

この結果の差異は，生体と脱皮殻との密度の違いによると考えられる。おそらくは，水分含量の違いなどによる空隙率の差によって幼虫は画像化できたが，密度の低い脱皮殻は画像化できなかったと推測される。この調査手法から，水分含量が比較的多く，ある程度密度が高い昆虫の生体（もしくは死んでいたとしても密度の高い状態にある昆虫の体）は検出できるものと考えられる。

さらに，生きた幼虫5匹を入れた角材の撮影結果を詳しく見ると，一部に幼虫の体長よりも長い像が検出されていることから，6分の撮影時間の間に一部の幼虫が移動していることが推測された(図3，左の画像)。虫の活動の検出については，経時的な撮影や，一定期間をおいた撮影などを取り入れ，今後検討していきたいと考えている。

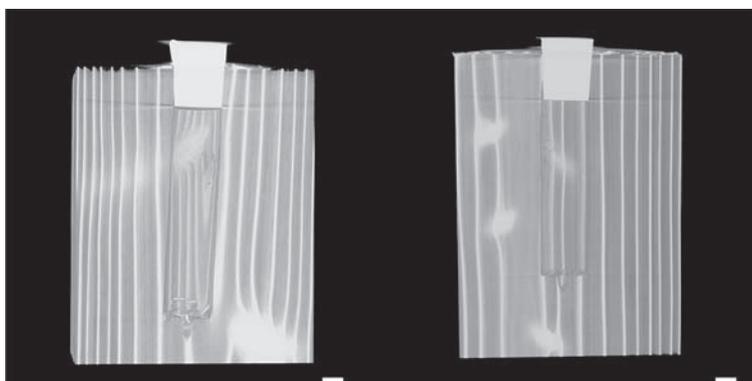


図1 ヒメカツオブシムシの幼虫を封入した角材（左），および脱皮殻を封入した角材（右）の木目方向三次元断面像の例。図中のバーはおよそ10mm。

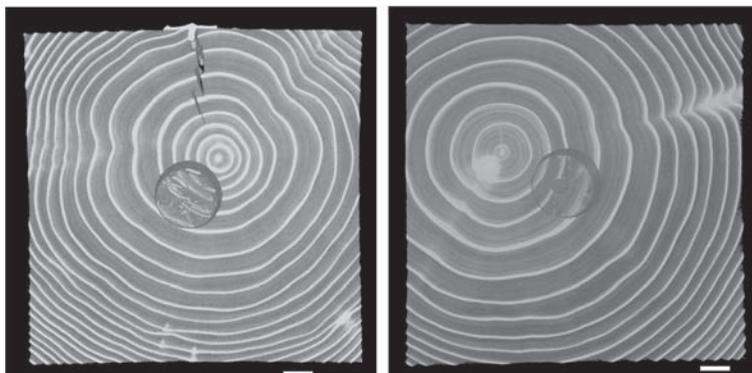


図2 ヒメカツオブシムシの幼虫を封入した角材（左），および脱皮殻を封入した角材（右）の小口方向三次元断面像の例。図中のバーはおよそ10mm。

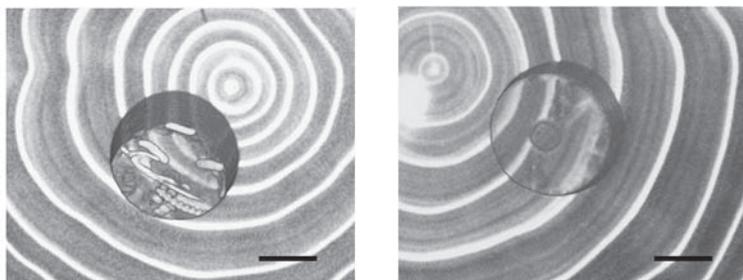


図3 小口方向三次元断面像拡大図

幼虫を封入した場合（左），および脱皮殻を封入した場合（右）。図中のバーはおよそ10mm。

3. 輪王寺部材の調査

3-1. 材料と方法

栃木県日光市にある輪王寺本堂で、2008年の部分解体修理に伴い発見された被害材の調査結果から、少なくとも一部はオオナガシバンムシ (*Priobium cylindricum*) による被害と考えられた⁵⁾。オオナガシバンムシによる歴史的建造物の被害は、わが国ではほとんど例がなく、オオナガシバンムシの生態については未知な部分が多い。したがって、本報告では、オオナガシバンムシの食害状況や被害材中での分布などについて詳しく調べるため、食害された部材をCTによって調査した。

被害材のうち、オオナガシバンムシの成虫がでてきた被害材1 (写真4)、およびやや小さな脱出孔が多く、被害材1と状況が異なるように見える別の被害材2 (写真5) について、CT調査を行った。測定条件はX線照射装置の管電圧が160kV、管電流が1.5mA、測定時間は6分、測定範囲はφ20cm×20cmである。2-1と同様に、CTで用いられているX線検出装置の画素の大きさが0.2mmであることから、幅1mm程度の虫は検出可能であると考えられる。

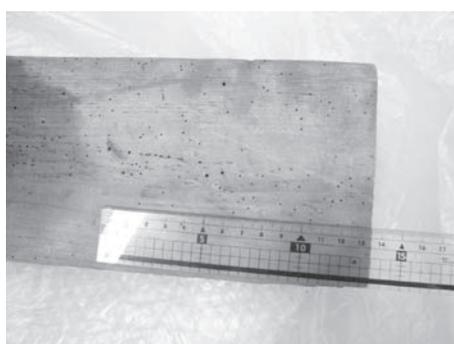
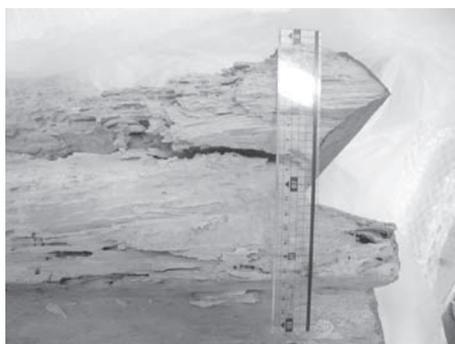
オオナガシバンムシが出てきた被害材1では、江戸時代の材 (以下当初材) 部分に被害が顕



写真4 被害材1 輪王寺本堂、裳階背面の大斗の虫損部材。江戸時代の当初材 (上方) は、昭和31年に継いだ剥ぎ木部分 (下方の板) よりも激甚な被害が見られる。およそ四角の範囲について今回CT調査を実施した。



写真5 被害材2 輪王寺本堂、裳階北面、飛檐垂木の先端約2尺部分。比較的小さい虫孔 (1mmから2mm) のみられた部材。およそ四角の範囲について今回CT調査を実施した。



著な傾向がみられた。漆塗装をしてある表面部は、被害が少ないように見える。また、材の芯の部分まで激しい被害が及んでおり、多量の粉末状の虫粉（虫糞と木粉）が詰まっている。

一方、被害材2では、部材にあいている虫孔の径が必ずしも一定ではなく、多くは1mm程度の小さな穴であるが、2mmほどの大きさの穴も見られた。

なお、博物館施設内での調査であるため、測定の際には害虫が逃げ出さないよう、いずれの部材も透明フィルム（エスカル、三菱ガス化学株式会社製）に密封した状態で測定を行った。

3-2. 結果と考察

被害材1の調査結果を図4～6に示す。

図4は、被害材1をある面で切った三次元断面像の一例であるが、丸で囲んだ部分に2つの白い点状の像がみえる。三次元画像において、近辺の断層面を連続的に観察した結果、これらの物体の長さは、およそ4～5mmであり、三次元画像において連続的に観察すると、写真6にみられるような幼虫のような形状を呈していることがわかった。このことから、ここで観察されるような白い点は、虫の身体の画像をとらえていると推測された。

図5には被害材1の三次元画像を小口方向のある面で切った断層面の例を示した。ここでも、虫の体と推定される白い部分（丸で囲んで示した）や、食害された大きな空隙にぎっしりと詰まった虫粉、また年輪方向、木目方向にあまり関係なく、食害されてできたトンネルの様子が観察される。虫であるかどうかは、三次元画像を連続的に観察することによって、形状とその大きさから推定した。各々の像の長さはおよそ3mm～6mmであった。

図6では、被害材1の三次元画像を木目方向のある面で切った断層面の例をいくつか示したものである。多いときには、一断層面に4箇所もの虫と推定される像が観察された。また、表面から脱出したときにあけられたとみられる大きな穴の様子も見える。虫は、虫粉が詰められた部分に入っていることもあれば、新しい木目の部分に観察されることもあった。

図5、図6に示したような三次元画像の断層面（垂直方向にそれぞれ約1,000枚）を順に調べた結果、被害材1の測定範囲（φ20cm×20cm）の範囲に、虫と推定される像およそ30個体が検出された。これらの体長は、およそ3mm～6mmであった。また、CTによる調査の直前に、同じ部材から生きたオオナガシバンムシの成虫が確認されていることから、これらは、



図4 被害材1をある面で切った三次元断面像の例。丸内の2箇所白い部分が虫と推定される。

図中のバーはおよそ50mm。



写真6 輪王寺本堂・北東隅柱・頭貫位置から発見された幼虫（体長約2mm）

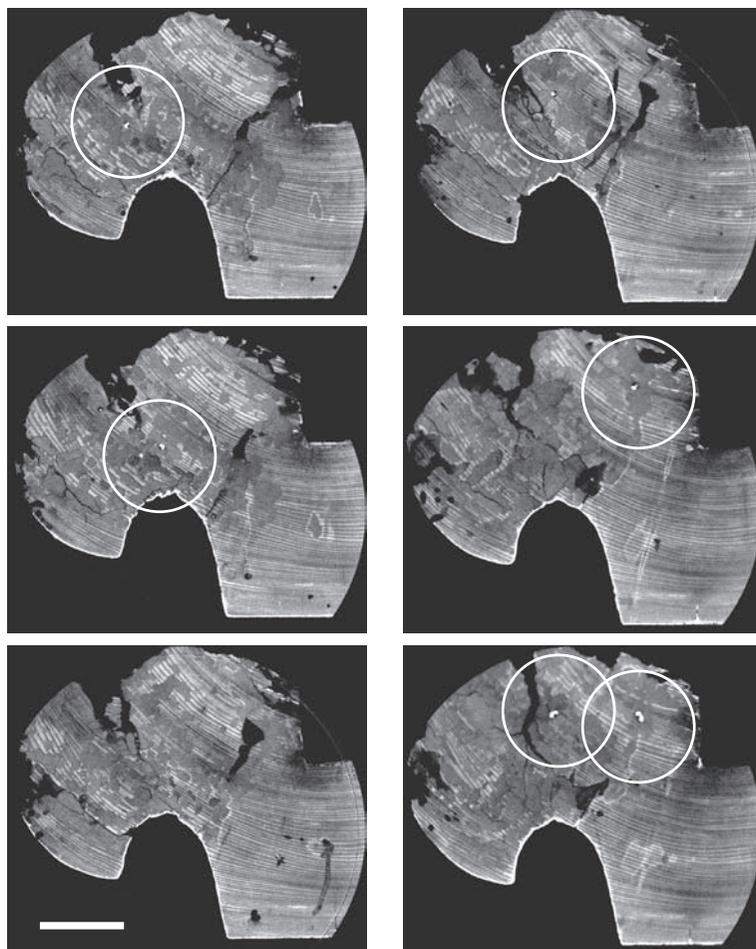


図5 被害材1の三次元画像の小口方向の断層像の例。虫の体と推定される像の例を丸で囲んで示した。図中のバーはおよそ50mm。

オオナガシバンムシの幼虫と推測される。

一方、被害材2の調査結果を図7に示した。

被害材2の場合は、外から見た印象も被害材1とやや異なるものであったが、CTの画像をみても、異なった特徴を示した。一部には、被害材1と同様に、おそらくオオナガシバンムシによるものと推定される大規模な食害による穴や粉のつまった様子が見受けられたが、ほとんどの小さな穴については、年輪と年輪の間の柔らかい部分を食害しているように見え、小口方向へ顕著に移動している様子はなかった。また、食害された空隙に、虫粉はあまりつまられていないように見える。また、こちらの被害材では、虫の体とみられる映像は少なく、数個体にとどまった。

シバンムシ科の昆虫は個体変異が甚だ大きく、オオナガシバンムシでもこれまでの報告では1.2~3mm, 1.3~3mmの脱出孔が確認されている^{6,7)}ため、被害材2の小さい穴の被害についてもオオナガシバンムシのものである可能性も考えられる。しかし、オオナガシバンムシの

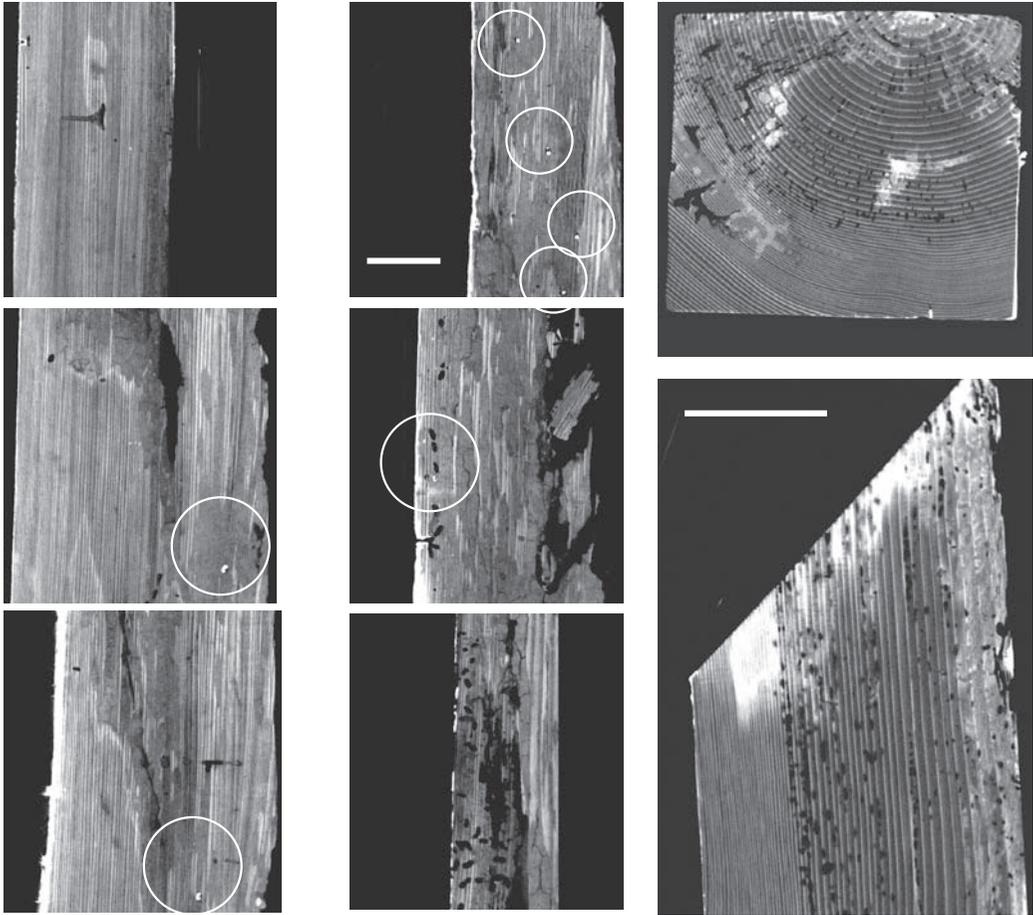


図6 被害材1の三次元画像の木目方向の断層像の例。虫の体と推定される白い像の例を丸で囲んで示した。図中のバーはおよそ50mm。

図7 被害材2の三次元画像を小口方向(上)と、木目方向(下)のある面で切った断層像の例。図中のバーはおよそ50mm。

生態については未知な部分が多く、また、被害材2からはオオナガシバンムシの成虫が確認されていない。よってオオナガシバンムシとは異なる昆虫によってあけられた可能性も考えられ、上述の結果からは加害虫は断定できなかった。

4. まとめ

今回、CTの調査により、部材などに潜む害虫の様子を正確に捉えることができることがわかった。今回の結果からは、密度の違いによって、生体もしくはそれに近い状態にある虫が画像でとらえられ、脱皮殻のような内部が空洞のものは画像で確認されなかった。虫が生きているかどうかの判別は、一回の調査では難しいが、経時的な撮影、あるいは時間をおいて何度か撮影するなど、時間的な変化をとらえられるような方法を今後検討していきたい。

また、日光山輪王寺(重要文化財)でオオナガシバンムシにより被害を受けた部材の調査を行った結果、生態がまだよく知られていないオオナガシバンムシによる被害の特徴について、

貴重な情報を得ることができたと考える。

謝辞

本稿をまとめるにあたり、公表を快くご許可いただきました輪王寺の関係者の皆様に深く感謝いたします。

引用文献

- 1) 藤井義久：アコースティック・エミッション (AE) によるシロアリ食害の検出－ AE 計測による樹木・木材加害昆虫の生態解析の可能性－, 日本環境動物昆虫学会誌, 12 (1), 21-31. (2001)
- 2) Gonzales de la Rosa, J. J., Puntonet, C. G. and Lloret, I.: An application of the independent component analysis to monitor acoustic emission signals generated by termite activity in wood. *Measurement* 37, 63-76. (2005)
- 3) 鳥越俊行, 今津節生, 楠井隆志：X線 CT を用いた木彫像の健康診断 文化財保存修復学会第30回記念大会研究発表要旨集, 200-201 (2008)
- 4) 今津節生：大型 X線 CT スキャナを活用した考古遺物の構造・技法調査『生産の考古学Ⅱ』倉田芳郎先生追悼論文集編集委員会, 同成社, pp.595-604 (2008)
- 5) 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, 207-214 (2009)
- 6) 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, 19-20, 22-26 (1984)
- 7) 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, 102, 36-38 (1995)

キーワード：CT (computed tomography)；生物劣化 (biodeterioration)；非破壊検査 (non-destructive inspection)；木質文化財 (wooden objects)；オオナガシバンムシ (*Priobium cylindricum*)

Detection of Insects in Wooden Objects by X-ray CT Scanner

Rika KIGAWA, Toshiyuki TORIGOE*, Setsuo IMAZU*, Mitsuko HONDA*
Masahiko HARADA*², Yukio KOMINE*³ and Wataru KAWANOBE

Damage by wood borer insects is often observed on wooden objects or wooden historic buildings. When we guess levels of damage inside the wooden objects, holes on the surface of wood or powders from the holes are important clues in accessing damage by observation. Sometimes “active” infestation is strongly suggested by the emergence of insects from the wooden holes, or by continuous production of wooden powders including insect frass and droppings. Though such observation is important, methods to observe the inside of objects would also be very effective in estimating the level of damage. X-ray CT (computer tomography) scanning is one of such non-destructive methods to look into conditions inside cultural objects. In this study, we were able to obtain very good images of insects and the damaged parts inside the wooden objects.

First, as a preliminary test, larvae of a dermestid (*Attagenus japonicus*) or their casting skins were put into two wooden pieces respectively. Consequently, only larvae were detected very clearly by CT in the wooden piece, but casting skins showed no significant signal. This suggested that active larvae (or insect bodies in similar condition) can be detected by CT probably owing to differences in density.

Then we observed the damaged structural wooden pieces from Rinnohji temple of Nikko (World Heritage) infested by a rare kind of anobiid, *Priobium cylindricum*. As a result, insects were detected inside the pieces very clearly. Also clear images of damaged parts inside the wooden pieces were shown. Such information would be important to know the characteristics of damage by the rare insect species, about which we do not have enough information for now.

*Kyushu National Museum, *² Nikko Cultural Assets Association for the Preservation of Shrines and Temples,
*³ Japan Institute for Insect Damage to Cultural Properties

