

## 〔報告〕 東本願寺阿弥陀堂の生物劣化調査

藤井 義久<sup>\*1</sup>・藤原 裕子<sup>\*1</sup>・須田 達<sup>\*2</sup>・鈴木 佳之<sup>\*2</sup>・  
喜友名 朝彦<sup>\*3</sup>・杉山 純多<sup>\*4</sup>・小峰 幸夫<sup>\*5</sup>・木川 りか・川野邊 渉

### 1. はじめに

浄土真宗大谷派東本願寺（京都市）には大型の木造建築物として、御影堂と阿弥陀堂がある。このうち阿弥陀堂（本堂に相当）は、明治13年（1880年）に起工し、明治28年（1895年）に完成した仏堂である。建物は東面しており、屋根は瓦葺きの単層入母屋造、間口52m、奥行き47mで、仏堂の大きさとしては全国7位の大型木造建築物である。

2004年3月から2008年12月にかけて行われた御影堂修復の後、平成23年（2011年）の「宗祖親鸞聖人七百五十回御遠忌」法要後には、阿弥陀堂の修復工事が始まる予定である。現在、工事に先立ち、耐震診断などの構造調査や耐久性調査などが実施されつつある。本報告では、これまで実施した耐久性調査の概要を報告する。

### 2. 調査概要

耐久性の調査では、主要な構造部材について腐朽や虫害などの生物劣化の発生状況を把握し、劣化部位の強度低下の他、堂内外の温湿度や木部含水率などの計測を行なった。調査の概要は表1のとおりである。

### 3. 調査結果の概要

#### 3-1. 阿弥陀堂床下における生物劣化の発生状況（一次診断）

図1に阿弥陀堂床下の構造部材にみられた生物劣化の症状や劣化を誘発する症状を示し、図2から8にそれらの発生分布を示す。木部にみられた虫害としては、シロアリの食害の痕跡が1ヶ所（北西方面）と、シバンムシ類と推定される甲虫類の被害の痕跡が散見された（図2）。また礎石に発生した結露水のしみ上がりによって発生すると考えられる柱と床東足元の白化現象は、堂の南半部に集中してみられた（図3）。これは土壤の湿気が高いことと関連付けられる。主として担子菌類に属する木材腐朽菌類の菌糸と関連付けられる白い綿状・膜状の付着物や、明らかな腐朽部位の分布を図4および5に示す。これらの腐朽様の症状は床下全体に広く分布しており、木材表面に付着した菌類の胞子が、材表面に発生した結露水によって発芽、成長した結果と考えられる。しかしこれらの付着物の発生や腐朽は木部の表面に留まり、強度低下をもたらすような劣化には至っていない。その他の木部表面にみられた菌糸様の付着物には、黒や黄色のスス状あるいは粉末状のものがああり、これらは堂の北半分や背面（西面）近くに分布していた（図6, 7）。これらについては、採取し同定を試みた結果（後述）、木材腐朽菌類の可能性が低いことが示唆された。しかしこれらも腐朽菌と同様の環境で発生、生育すると考えられ、主として通気が悪く、湿気の滞留しやすい堂の背面近くに分布したと考えられる。また

\*1 京都大学大学院農学研究科

\*2 立命館大学グローバル・イノベーション研究機構、

\*3 (株)テクノスルガ・ラボ

\*4 (株)テクノスルガ・ラボ千葉分室

\*5 公益財団法人文化財虫害研究所

堂の外縁近くでは、雨水が直接あるいは土壌を通じて木部に浸潤し（図8）、部材に水しみとして浸潤し、これにより腐朽が発生しやすくなると考えられる。

表1 調査概要

生物劣化調査（一次診断、二次診断および三次診断）	
調査期間	平成 21 年 3 月 18, 25, 26, 27, 30, 31 日、4 月 6, 8, 9, 18 日、 6 月 4, 11 日、8 月 25, 27 日、9 月 4 日 平成 22 年 8 月 11, 23 日、10 月 16 日
実施内容	<ul style="list-style-type: none"> <li>●一次診断 床下・堂内・小屋裏の主要構造部材の生物劣化調査（腐朽および虫害の診断）を実施した。診断は視診・触診・打診および突刺し診で行い、同時に写真撮影などの記録を行なった。</li> <li>●二次診断 床下・堂内・小屋裏の主要構造部材の含水率を計測した。 また小屋組南東部における劣化部位について、穿孔抵抗測定を行い、部材の欠損や強度低下を評価した。</li> <li>●三次診断 床下で採取された菌糸などの検体について、菌種の同定などの精密診断をおこなった。また小屋裏で検出された甲虫について種の特特定などの精密診断を行なった。</li> </ul>
温湿度の連続計測	
調査期間	平成 20 年 11 月から継続中
実施内容	堂内の下記 9 箇所においてロガーを用いて温湿度を 30 分毎に自動計測した。ロガーに記録されたデータはおよそ 1 ヶ月に 1 回回収し、保存および分析を行なった。測定箇所は床下 6 箇所（中央、東、北東、北西、南東、南西）、小屋裏 2 箇所（下層、上層）および堂内 1 箇所とした。

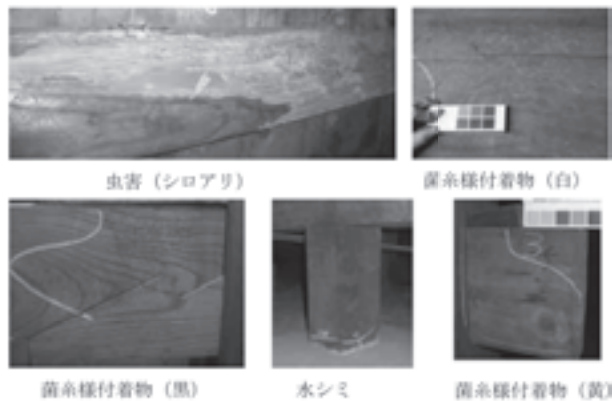


図1 生物劣化およびそれを誘発する症状

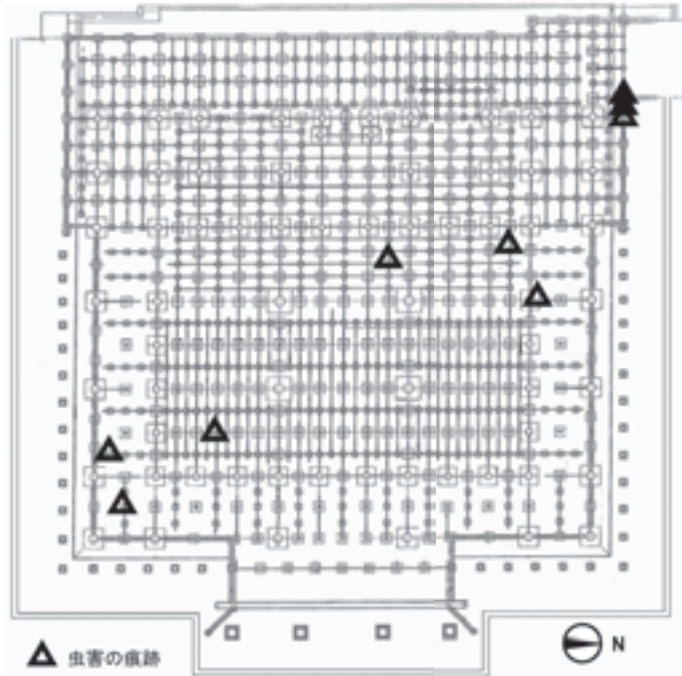


図2 床下における生物劣化と関連する兆候の分布 1  
(シロアリおよび甲虫)

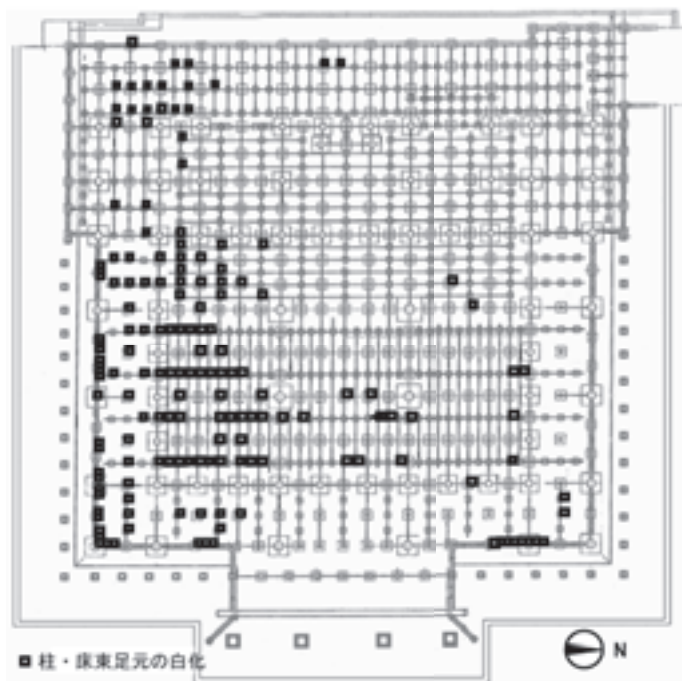


図3 床下における生物劣化と関連する兆候の分布 2  
(柱・床東足元の白化)

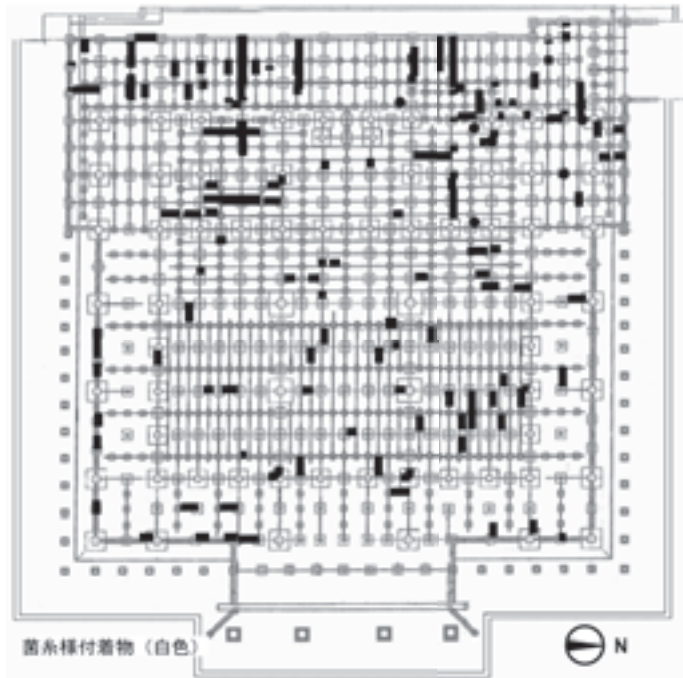


図4 床下における生物劣化と関連する兆候の分布3  
(菌糸様附着物 (白色))

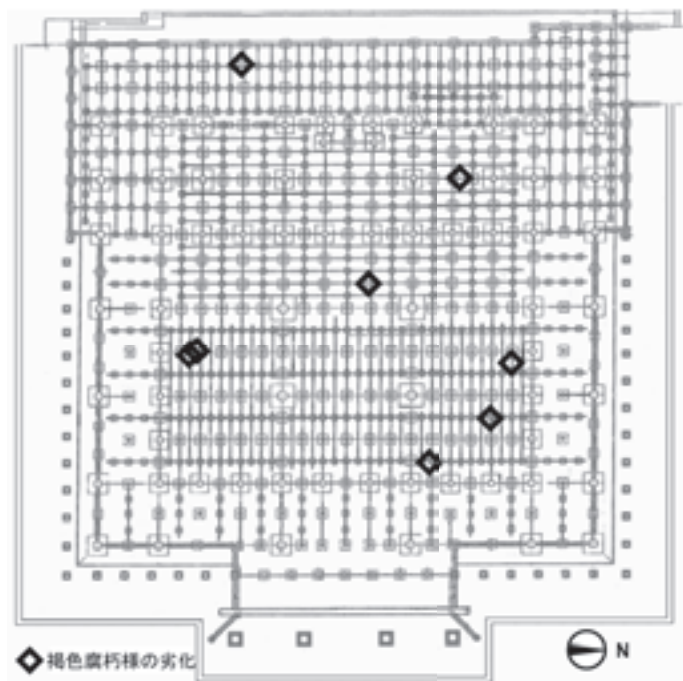


図5 床下における生物劣化と関連する兆候の分布4  
(褐色腐朽様の劣化)

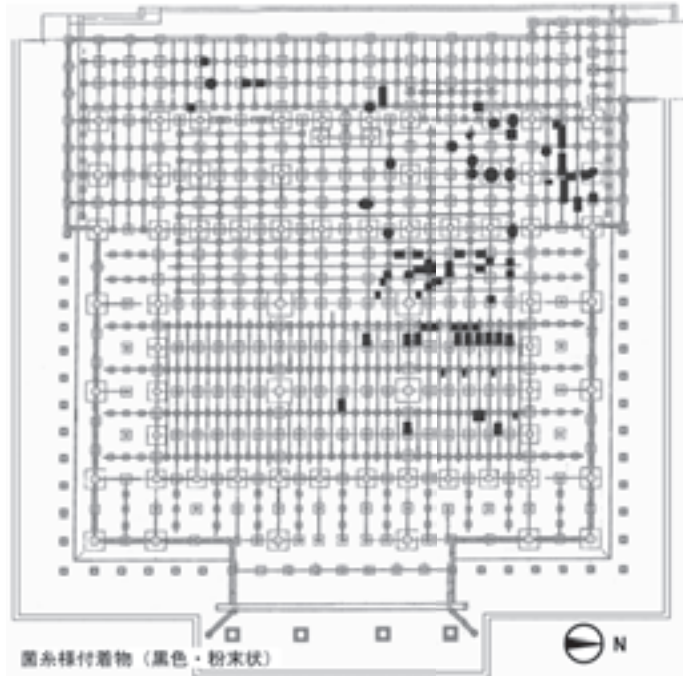


図6 床下における生物劣化と関連する兆候の分布5  
(菌糸様付着物 (黒色・粉末状))

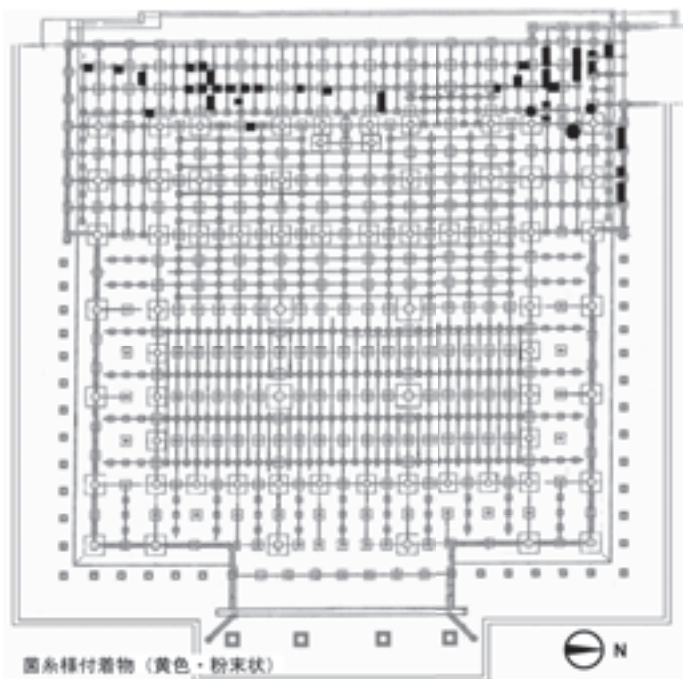


図7 床下における生物劣化と関連する兆候の分布6  
(菌糸様付着物 (黄色・粉末状))



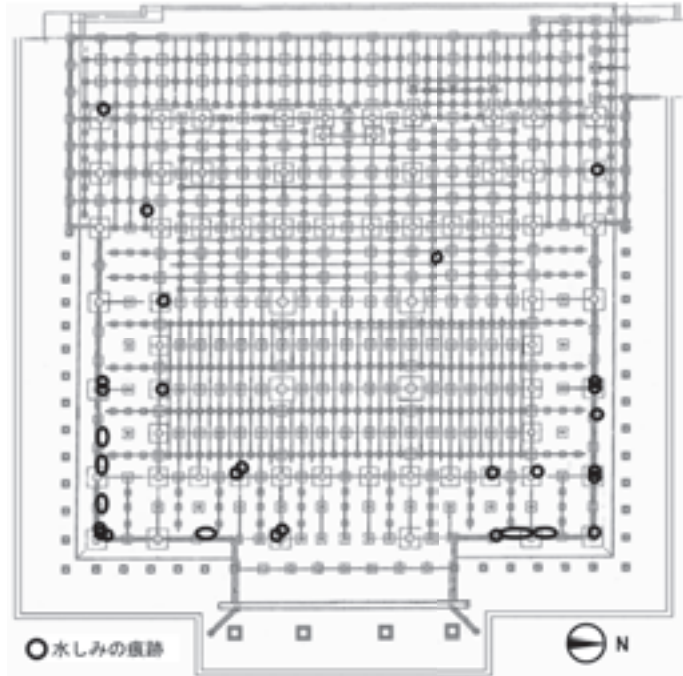


図8 床下における生物劣化と関連する兆候の分布7  
(水しみの痕跡)

### 3-2. 床下部材の含水率分布 (二次診断)

床下に配置されている構造部材のうち、柱および床束について含水率を測定した結果の例を図9および10に示す。図9から堂の中央から北面あるいは南東方向に広がる領域で含水率が20～30%に及んでいることがわかる。堂の背面(西面)は全面漆喰壁で、ここでの換気状態は必ずしも良好ではないが、背面ちかくの含水率は10～15%程度であった。また正面(東面)の正面階段の裏側では含水率がやや高くなる傾向が認められた。床下木部の含水率は、土壌の水分状態、雨水の浸潤や換気状態などの影響を受け、複雑な分布を示し、建物の構造と単純に関連付けて議論することはできない。一方、柱や床束の高さ方向の含水率の平均値の分布から、土壌に近い部位ほど含水率が高くなる傾向が認められた。このことは土壌からの水分が含水率に有意に影響していることを示唆している。しかし、いずれの領域においても、腐朽が急速に促進されるような高含水率の値(30%以上)は認められなかった(図10)。

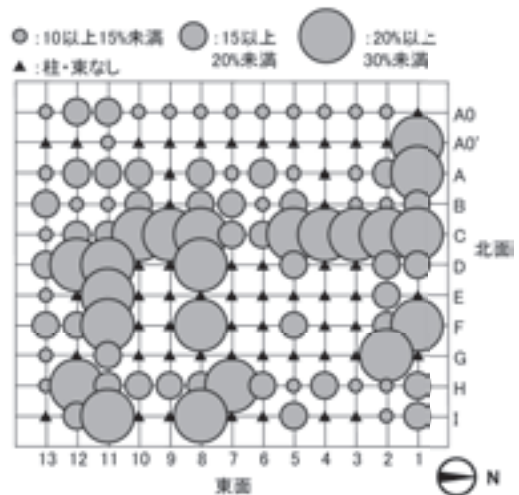


図9 阿弥陀堂床下柱・床束下端から100mmの位置の含水率分布  
(東面1～13は南北の通り、北面A0～Iは東西の通りを表す)

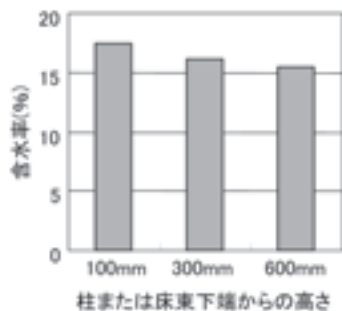


図10 阿弥陀堂床下柱・床東下端からの高さの差による含水率の変化

### 3-3. 小屋組み部材の強度調査（二次診断）

一次診断において腐朽症状のみられた小屋組部材（南東部の母屋束および桁材，図11）について，細いドリルを用いた穿孔抵抗測定を行い，部材の強度低下を評価した（図11，12）。

この装置は先端径3mmのネズミ歯錐を回転させながら一定の送り速度で前進させ，これによって木材を穿孔した時の穿孔抵抗（トルク）を測定する装置である。部材の密度，強度や空洞の存在によって変動するトルクを穿孔深さ300mmまで測定できる。

穿孔抵抗測定を行った部位は，屋根の南東角，降棟の先端から隅木におよぶ範囲の小屋組材であり，南妻面の破風尻に相当する。降棟の先端付近とその周囲に雨漏りが発生しており，屋根から浸潤した水分によって，小屋組に腐朽が生じている。穿孔抵抗の変化から桁材などの内部の強度低下が評価できる（図12）。

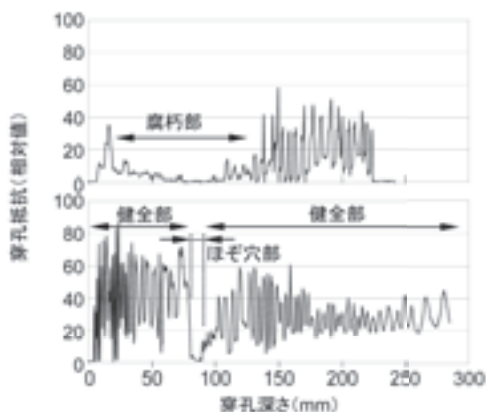


図12 穿孔抵抗測定結果の例

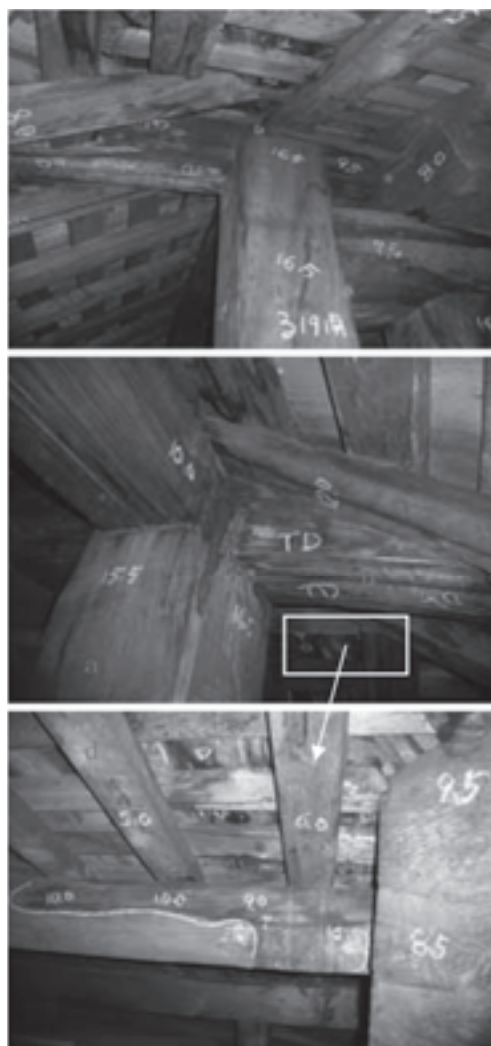


図11 小屋裏の腐朽部位  
a～eは部材の識別記号

### 3-4. 採取した菌類付着物および昆虫の同定（三次診断）

床下で検出した菌糸様付着物（白色，黒色，黄色）について，光学顕微鏡観察，培養試験およびDNA解析を行ない，菌種の同定を試みた。顕微鏡による形態観察の結果，白色，黒色の付着物については，菌類の菌糸や分生子と考えられる構造が多数見られたので，カビ類であると判定されたが，分類群が特定できる特徴が認められず，高次分類群の同定には至らなかった。黄色の菌類については，三角形の分生子を形成する非常に特徴的な形態から，アナモルフ菌類の *Balaniopsis triangularis*<sup>4)</sup> と推定された。この菌類は，木材表面などに生育することが知られているが，培地上での培養が難しいといわれている<sup>4)</sup>。今回，次に培養法による分離を試みたが，菌体がかかなり古く，菌体の乾燥および劣化が激しかったこともあり，培養できなかった。そこで，各菌糸様付着物（白色，黒色，黄色）から直接DNAを増幅することにより，DNA解析をこころみましたが，目的とする領域のDNAが増幅されず，帰属分類群を特定することはできなかった。おそらく，検体を採取した時点で菌体はかなり古い状態であったと推測された。

小屋裏部材の表面直下で採取された甲虫について，詳しく観察した結果ヒラタキクイムシ科の甲虫（おそらくヒラタキクイムシ）と判定された。

### 3-5. 温湿度の測定結果

本調査では，堂内の9箇所で長期間にわたる温度と湿度（相対湿度）の計測を行い，この変化の傾向と生物劣化の兆候との関係を考察した。図13に阿弥陀堂における温湿度計の設置位置を示す。温湿度計として，有線タイプのもの4台と無線タイプのもの5台を用いた。各点での温湿度は30分に1回の頻度で計測し，これを記録および保存し，適宜回収して分析を行なった。図14に阿弥陀堂の床下（6箇所），堂内（箇所）および小屋裏（2箇所）で測定した月間平均気温および湿度の1年間の変化を示す。

床下の温度は年間を通じて11℃から27℃の範囲で変化し，相対湿度は50～90%の間で変

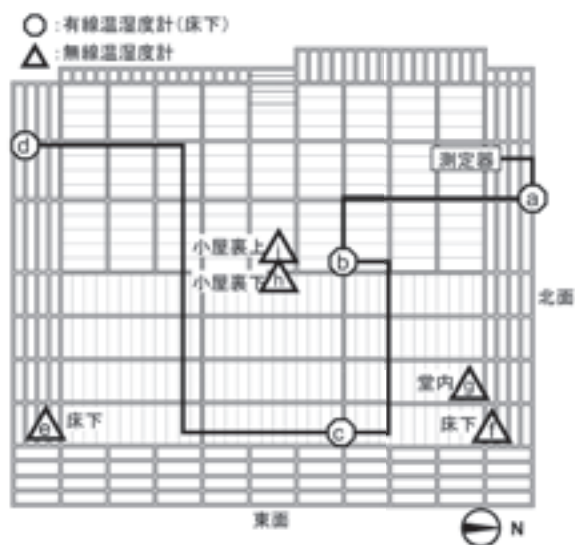


図13 阿弥陀堂における温湿度計の設置位置



化している。また温度・相対湿度とも最高値は8月に出現している。室内温度とび小屋裏の温度との差は小さいものの、いずれも床下の温度よりも年間の変化が大きく、夏季で約5度高く、冬季で約5度低くなった。また湿度については、冬季には床下、室内および小屋裏とも50から60%の値をとるが、春から夏季にかけては床下の湿度が突出的に高くなり90%程度にまで上昇することがわかった。夏季に湿度が高く、木部表面での結露などが発生しやすいため前述のような菌類の発生を促しているものと思われる。

図15に床下の6箇所において得た温湿度の年間データから得た温度が25℃以上かつ湿度が90%以上になる時間帯(30分)の発生頻度分布を示す(ただし測定点にfについては該当時間帯がなかったので図化していない)。この温度・湿度環境はいわば高温多湿で生物劣化が促進されやすい環境の指標となりうると考えられ、この高温多湿時間帯の発生頻度と他の調査結果との関連を検討した。いずれの領域でも、7月から8月にかけて高温多湿時間帯の発生頻度が上昇するが、その仕方は床下の位置によって異なった。外周に近いa,e,およびfでは頻度が低く、堂中央のbや前面の階段の裏にあたるcの位置では、通気が悪く、高温多湿となりやすいことがわかる。最も高温多湿時間帯の頻度が高かったのは測定位置dであった。この領域は堂南西にあった池に近いためか床下の土壌の湿り気も高く、礎石の結露によると考えられる束や柱の足元の白化が比較的多く頻発している領域で(図3)、木部の含水率は必ずしも高くはないが(図9)、菌類の発生は比較的多い(図4,7)。しかしこれらの相関関係は必ずしも強いわけではなく、今後、温湿度や含水率の変化や分布と生物劣化の兆候との関連は今後より詳しく検討する必要がある。

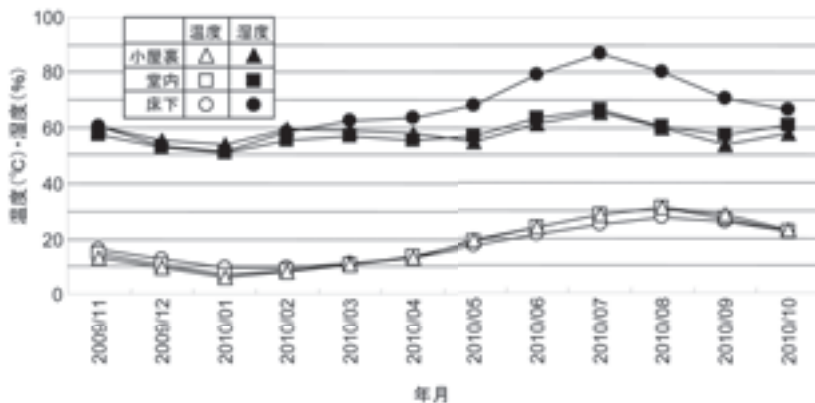
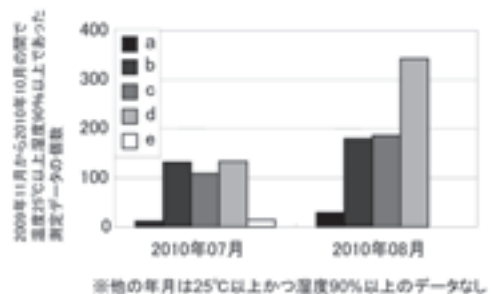


図14 阿弥陀堂小屋裏・室内および床下における温湿度変化  
(2009年11月～2010年10月)

図15 阿弥陀堂床下において温度25℃以上かつ湿度90%以上になる時間帯(30分)の発生頻度(図中a, b, c, d, eは、図13参照)



## 4. おわりに

本調査の結果、阿弥陀堂の主要構造部材となっている木部の生物劣化の現況や、環境の状態などが概ね明らかになった。調査した範囲においては、本堂には大きな腐朽や虫害や認められなかった。また本堂の床下、堂内や小屋裏の環境は生物劣化を急速に誘発するような状態にもなかった。しかし屋根小屋組や床下の一部には雨漏りによる顕著な腐朽やシロアリ食害の部位も例外的に認められた。小屋組を中心にまだ未調査の範囲もあるため、今後は解体などの修理に応じて調査を行い、建築の構造、材料、施工技術や環境と劣化との関係を検討する必要がある。

### 参考文献

- 1) Yoshihisa Fujii, Yuko Fujiwara, Rika Kigawa, Tatsuru Suda, and Yoshiyuki Suzuki: Characteristics and diagnosing technology of biodegradation in wooden historical buildings. A case study on Amida-do in Higashi Hongan-ji Temple in Kyoto. Proc. of WCTE2010, Riva del Garda, June 20-24 (2010)
- 2) 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, 48, 215-222 (2009)
- 3) 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) - 日光輪王寺における虫害を事例として -, 保存科学, 48, 183-190, (2010)
- 4) De-Wei Li, Bryce Kendrick, David Spero, and Claire Macdonald : *Balaniopsis triangularis* sp. nov. from indoor environments. Mycotaxon, 105, 105-110 (2008)

キーワード：仏教寺院 (Buddhist temple); 木造建築 (wooden building); 生物劣化 (bio-degradation); 診断 (diagnosis); 菌類 (fungi)

## Survey of Bio-degradation in the Amida-do Hall of Higashi-Honganji

Yoshihisa FUJII<sup>\*1</sup>, Yuko FUJIWARA<sup>\*1</sup>, Tatsuru SUDA<sup>\*2</sup>  
Yoshiyuki SUZUKI<sup>\*2</sup>, Tomohiko KIYUNA<sup>\*3</sup>, Junta SUGIYAMA<sup>\*4</sup>  
Yukio KOMINE<sup>\*5</sup>, Rika KIGAWA and Wataru KAWANOBE

Most of the historical buildings in Japan including temples, shrines, castles and houses are made of traditional timber frame constructions and are often exposed to the risk of bio-degradation such as decay and insect attack, mainly by termites and other wood-attacking insects. Amida-do Hall in Higashi-Honganji temple in Kyoto is one of the largest wooden Buddhist buildings in Japan. Results of survey of biodegradation in Amida-do Hall were reviewed and the characteristics of biodegradation were summarized. Methods for the survey biodegradation including non-destructive techniques are also summarized in this report. The result of a long-term measurement of temperature and relative humidity at 9 points under the floor, in the hall and in the roof structure is also introduced.

---

<sup>\*1</sup> Graduate School of Agriculture, Kyoto University

<sup>\*2</sup> Ritsumeikan Global Innovation Research Organization

<sup>\*3</sup> TechnoSuruga Laboratory Co., Ltd.

<sup>\*4</sup> TechnoSuruga Laboratory Co., Ltd, Chiba office

<sup>\*5</sup> Japan Institute for Insect Damage to Cultural Properties