

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 22 日現在

機関番号：82620

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2014

課題番号：23300328

研究課題名(和文)文化財展示収蔵施設の実状に即したカビ調査技術と制御に関する研究

研究課題名(英文) Research on practical investigation techniques and countermeasures for mold problems in environments with cultural objects

研究代表者

木川 りか (Kigawa, Rika)

独立行政法人国立文化財機構東京文化財研究所・その他部局等・その他

研究者番号：40261119

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、文化財のカビの被害の原因と問題点を明確にし、適切な調査法、カビの生理的性質に基づいた制御法、施設的环境整備法について検討した。とくに津波で被災した紙資料等については、カビによる資料への影響と人体への健康被害のリスクの双方について検討し、知見をまとめ広く公表した。また、寺社等や古墳など環境制御の難しい現場における対策について検討を行い、常に高湿度にある古墳公開施設においては、紫外線照射等と徹底清掃による対応を継続し、有効性を検討した。一連の研究を通じ、いわゆる博物館施設だけではなく、一般的に微生物のコントロールが難しい場所でのカビの制御法に一定の方向性を見出すことができた。

研究成果の概要(英文)：In this research project, we aimed at clarifying causes of mold problems of cultural objects and specifying subsequent serious damages by the mold outbreaks. Also appropriate measures to detect mold problems, control measures based on physiological characteristics of molds, specific feasible ways for environmental modification were major topics. Especially tsunami affected paper based objects of the Great East Japan Earthquake 2011 were investigated in detail, from both aspects of damage to objects and risk on human health, and the results and information were promptly reported to public. Also detailed monitoring of microbes, both qualitative and quantitative, were performed in typical places of historic buildings or underground tumuli, together with analysis of temperature, relative humidity and absolute humidity. Based on the measurement data, specific control measures including environmental modification were taken, to be most appropriate to each circumstance.

研究分野：保存科学

キーワード：文化財 微生物劣化 カビ

1. 研究開始当初の背景

文化財の保存においては、プリベンティブ・コンサベーション(予防保存)の考え方に則ると、必要がなければ薬剤の使用などは極力控え、環境条件の制御を第一に考えるべきである。このような基本的方針は、1998年に発行された国際図書館連盟(IFLA)による冊子や、カナダ保存研究所(CCI)による Technical Bulletin などでも明確に強調されている。環境条件の整備によるカビの制御でもっとも基本となるのは、水分、すなわち湿度を制御すること、カビの栄養源となる材料や、汚れ、ほこりなどを極力減らすことである。

環境条件の制御の効果は自明ではあるが、高温高湿なわが国においては、理想的な条件に環境が制御された美術館、博物館などを除いては、重要な文化財の保存を目的とした施設であっても、必ずしも状況が十全に整備されているとは言い難い。とくに、近年の予算削減、効率化の影響もある中で現状では困難に直面している現場も少なくない。

文化財展示収蔵施設の現場での問題点としては、(1)カビの被害の可能性や危険性を知りたい場合に、どのような調査が有効か、またその調査結果から何がわかるのかについて、現場の担当者と施工業者との間で必ずしも明確な共通認識が形成されていない。カビが著しく発生したような場合、大切な収蔵品のカビの被害だけではなく、観客や職員の健康被害につながる危険性があるが、どのような調査結果から危険だといえるのか明確な基準が提示されていない。(2)60%RH以下に湿度条件を維持すれば、カビの発生は抑制されるが、現実にもそのような条件を整備することが難しい場合、どのくらいの湿度でどの程度のカビのリスクがあるのかについて、理論的な概要はあるものの必ずしも実験データが多く存在しているわけではない。(3)修復材料やほこりがカビの発生に関わることが大きな問題として認識されつつあるが、リスクがどのくらい増大するのかについて、実験データが十分に集積されているわけではない、などの状況が背景としてあった。

以上をふまえ、本研究では文化財施設における有効なカビの調査のあり方・方法を収蔵品への被害リスク、および人体へ健康被害のリスクの両面から検討し、具体的にそれぞれの施設で何を改善すればよいのか、施設の環境整備を含む制御方法を提示することを目指した。

2. 研究の目的

文化財の生物被害のうち、カビによる被害は高松塚古墳壁画のカビによる劣化の問題を契機に非常に深刻な課題として認識され

ている。わが国の文化財は絵画、工芸品など非常に繊細なものが多いが、カビによる被害はその美観を損ね、また物理的、化学的な劣化をも促進することからきわめて重要な問題であり、その予防と制御が望まれる。本研究では、文化財の展示収蔵施設におけるカビの被害の原因と問題点の実状を明確にした上で、カビの生理的性質に基づいたカビの制御、また被害の早期発見のための調査法、および施設の環境整備のあり方についても研究を行うことを目的としている。

3. 研究の方法

(1)文化財展示収蔵施設の現状把握および有効なカビの調査方法の検討

文化財展示収蔵施設における収蔵品のカビの被害、人体への健康被害リスクの両面について、カビの問題へ関心が高いいくつかの文化財展示収蔵施設に協力を仰ぎ、施設における浮遊菌濃度、浮遊菌の種類、付着菌などについて施設の清掃状況、温湿度の状況などとあわせて調査を実施した。また、現場の担当者から得られた意見などをもとに、わかりやすく効果的な制御法を確立することを目指した。

収蔵品自体へ被害を及ぼすカビについては、これまでの文献立情報とも比較検討のうえ、そのカビが文化財や資料の材質の分解性をもつかどうかを調べ、そのカビが該当する資料に主に発生した原因を明らかにするように努めた。また、人体への健康被害例が報告されている *Aspergillus fumigatus*, *Stachybotrys* 属などのカビがどの程度検出されるのか、また人体へ健康被害を及ぼすリスクのあるカビが検出された場合には、環境衛生の面からどのようにすれば人体へ及ぼすリスクを回避できるかについて検討を行った。

(2)相対湿度とカビの発生の関係、修復材料やほこりなどとカビの発生度の関係の検討

文化財展示収蔵施設においては、特に湿度が高く、カビが恒常的に発生しているような場所を除き、好乾性のカビが検出されることが多い。このような好乾性のカビであっても、60%RH未満では、生育しないことが知られているが、最近の猛暑、高温多湿の状況のなかでは、年間を通じて相対湿度を60%RH未満に保つことは簡単なことではない。そこで、60%RH、65%RH、70%RH、75%RH、80%RHなどの環境条件で、文化財展示収蔵施設で多くみられるカビが生育するには、実際にどのくらいの期間がかかるのか、これまでに検出されたカビの中から、重要な好乾性カビを選定し、実験を実施した。

また、糊、膠などの修復材料が添加された場合についても、そうでない場合と比較して、どの程度、カビの発生の速度が早くなるのかについて検討を行った。ほこりなどの汚れに

については、有機物を含む微粒子が資料の表面に付着している状態と考えられるので、まずは有機物が直接的に付加された場合を調べることとして、修復材料を添加した場合について検討した。

(3)カビの調査と併行した施設の詳細な温湿度環境の調査

外気の影響が大きく、環境制御が難しい寺社建造物などの現場においては、温度、相対湿度をもとに、区画ごとの絶対湿度の値についても詳細な調査を実施し、環境条件とあわせたカビのリスク評価について考察を深めた。

また、その環境を制御するための区画化や、従来にはなかった方法での湿度制御の可能性を検討した。

(4)具体的な改善方法の検討

代表的な問題点を抱えるいくつかの現場において、調査結果をもとに、具体的に何を改善すればよいか、施設の環境整備の条件設定や施設改修の方向性、薬剤の利用法という点で、的確な方策に結びつく制御方法を検討した。また、環境衛生という点でも、空気清浄の観点から清掃や資料のクリーニングに使用する掃除機に高性能フィルター付きのものを使用することや、空気清浄機の使用も視野に入れて、望ましい環境をできるだけ低コストに実現できる方法を模索した。

4. 研究成果

(1)文化財展示収蔵施設の現状把握および有効なカビ調査方法の検討

カビ調査方法の基礎的検討

いくつかの文化財展示収蔵施設と協力して浮遊菌濃度、浮遊菌の種類、付着菌などについて調査を実施した。浮遊菌調査とあわせ、パーティクルカウンターによる粒径分布別の粉塵調査を組み合わせ、それら調査の相関について検討を行った。

パーティクルカウンターを用いた調査を実施し、文化財施設を想定した試験的閉鎖空間で粒径分布別の粉塵量と浮遊カビ数の相関性を経時的に調査検討した。その結果、現場によってはエアースンプラーによるカビ数との相関性は粒径2-5 μm で優位に相関している傾向が見られた。

被災文化財の保管・クリーニング作業施設の浮遊菌環境の現状把握

2011年の東日本大震災において津波で被災した文書・紙資料の凍結乾燥、クリーニングを実施している奈良文化財研究所等や東北地方の自治体と協力して浮遊菌濃度、浮遊菌の種類、付着菌などについて作業施設の状況を調査した。被災文化財においてカビが発生している文書資料のクリーニングを実施してい

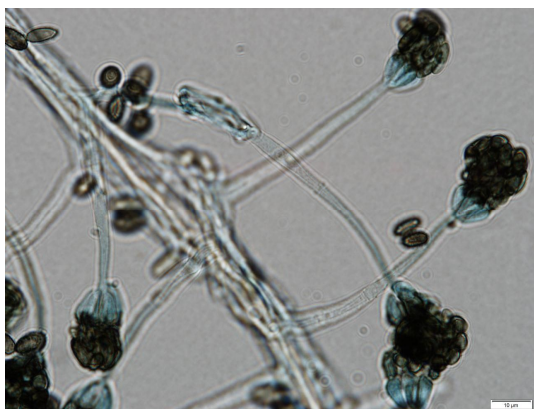
る現場では、資料へのリスクの高いカビ、人体へのリスクのあるカビ双方について調査を進めた。

濡れている時間が長かった紙資料では、資料、人体にリスクがある*Stachybotrys*属のカビが広範にみられた。乾燥が進んだ状況では、*Penicillium*属のカビによる汚染が進んでいる場合もあった。また一連の調査を通じて、津波で被災した文書・紙資料にはセルロース分解能のある*Stachybotrys*属や塩耐性を示す*Penicillium*属のカビが多く発生することがわかった。また、被災した日本画の掛け軸や植物標本の台紙に発生したカビを調査したところ、やはり*Penicillium*属のカビが多くみられるという結果が得られた。海水で被災した紙資料からは、きわめて高い耐塩性を有するカビが分離されることがわかり、場合によっては20%の塩分でも生育できるものもあった。雨水や河川の氾濫などによる淡水での水濡れの場合と比較すると、津波被災資料の場合は耐塩性という点で、検出される微生物に強いセレクションがかかっていることが明らかになった。

カビで汚染された資料を扱ったりクリーニングしたりする場所で人体への健康被害を予防するため、防塵マスクや防護服、手袋などの着用、作業場の区画化、粉塵のHEPAフィルター式掃除機による吸引、空気清浄機の導入など、具体的な対策を明確に示し、情報公開に努めた。これらの情報は、報告として和文、英文で出版するとともに、ホームページでも公開した。



Stachybotrys 属のカビが発生した水損資料



Stachybotrys 属のカビの顕微鏡写真
(左下のバーは10 μm)

(2) 相対湿度とカビの発生の関係、修復材料とカビの発生の関係についての実験の実施

60%RH～80%RHの環境条件で、文化財展示収蔵施設で多くみられるカビが生育するには、実際にどのくらいの期間がかかるのか、好乾性カビや文化財を加害するカビとして重要と考えられるカビを選定し、実験を行った。また、なんらかの修復材料が添加された場合にどの程度、カビの発生の速度が早くなるのかについても同様に検討した。日本画の紙本、絹本の試料を用いて実験を行ったところ、膠着材がない場合はカビが発生するまでかなりの長時間を要するが、糊や膠などの膠着材を使用した際、明確にカビの発生速度が速くなることが示された。

(3) カビの調査と併行した施設の温湿度環境の調査

温度や相対湿度の計測値をもとに絶対湿度の値を解析し、その結果を活用することによって、区画間の空気の流通の有無を知ることができる。この情報を用いて、いくつかの現場において、区画間の空気の流通の程度や、外気から受ける影響の程度を解析し、最終的に扉などによって空間を分離したり、空調や換気をする際の外気取り込み率を、季節に応じてしぼるなどの対策で環境を改善した。

(4) 寺社等や古墳など、環境制御の難しい現場における対策についての検討

微生物にとっての環境要因の制御としての温湿度制御が実質不可能である、あるいは困難な現場においてカビなどの微生物の発生を抑制することは難しい課題である。寺社などにおける文化財の保存環境において、冬季にわざわざ温度を高くする必要がない場合、温度を制御せず、湿度だけを制御してカビを予防する方法が望まれる場合も多い。そこで、湿度のみを制御することを目的に、既存のデシカント式除湿システムを低温環境でも稼働できるようにする基礎的なシステムの検討を進め、そのシステムを用いた実験が実施された。その結果、湿度が高くなる梅雨時や夏季などに有効な対策になり得ることが示された。

また常に高湿度にある古墳環境ではきわめて微生物が繁殖しやすい状況にあるが、できるだけ有機物の殺菌剤を使用せず、紫外線照射などの方法で微生物制御を実施したのち、徹底清掃を組み合わせる対応を試験的に実施した。また、その有効性について評価を行うため、継続的にデータを収集した。数年にわたる微生物環境のモニタリングデータをもとに、除菌清掃や各種対策の有効性を検討した結果、該当する現場における微生物検出数に応じて除菌清掃などの対策の実施の有無を決定するための基準値を設定することができた。

また、培養法、非培養法によってさまざま

な現場の菌類相について調査を進めたところ、人体に対して病原性があることが報告されている種を含む*Exophiala*属などの菌類が石材などから検出される場合があることも明らかになった。このことを踏まえ、頻繁に作業を行う関係者の装備についても望ましい対策を考察した。

(5) 総括

本研究の総括として、いわゆる博物館施設だけではなく、空調設備を有しない施設、古墳環境など微生物のコントロールが一般的に難しい場所でのカビ等、微生物の制御法に一定の方向性を見出すことができた。

東日本大震災で被災した文化財を保管する現場では、カビの発生がないかどうかの監視やモニタリングがひきつづき課題となっている。本研究においては、通常の施設に加え、これら被災文化財を保管する施設に向けても、取扱いや管理上で注意すべき点について、ホームページなどを通じ、要点をまとめた情報を順次提供することができた。また、空調がない施設や常に高湿度下におかれている古墳環境などにおいてカビの発生を防止するために、文化財を保管する現場のセキュリティや安全性にも留意しながら、かつ、エネルギーコストを考慮しつつ、どのような制御のシステムが望ましいのか、ひきつづき検討が必要であると考えている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計16件)
以下には主なものを示す

木川りか、佐野千絵、佐藤嘉則、犬塚将英、早川典子、古田嶋智子、山梨絵美子、田中淳、森井順之、岡田健、石崎武志、水・塩水で被災した資料の殺菌燻蒸の注意点：資料中の水分・塩分による副生成物の生成量の調査結果について（報告）、保存科学、査読有、51巻、2012、pp.121-133

佐藤嘉則、森井順之、木川りか、太田英一、中別府良啓、中山俊介、川野邊渉、霧島神宮の塗装部分から分離された糸状菌の諸性質、保存科学、査読有、51巻、2012、pp.47-58

高島浩介、久米田裕子、佐藤嘉則、木川りか、高妻洋成、奈良文化財研究所における被災文書の保管・クリーニング作業場所の微生物環境調査、保存科学、査読有、52巻、2013、pp.159-166

木川りか、喜友名朝彦、立里臨、佐藤嘉則、杉山純多、キトラ古墳から分離された微生物の紫外線(UV)耐性試験結果について、保存科学、査読有、52巻、2013、pp.91-105

Ji-Dong Gu, Rika Kigawa,
Yoshinori Sato, Yoko Katayama,
Addressing the microbiological problems
of cultural property and archive
documents after earthquake and tsunami,
International Biodeterioration &
Biodegradation, 査読有、85, 2013,
pp.345-346

Rika Kigawa, Yoshinori Sato,
Microbial damage of tsunami-affected
objects in the Great East Japan
Earthquake 2011 and problems with
fungicidal fumigation, Proceedings of
the International Symposium on the
Conservation and Restoration of Cultural
Property 2012, NRICPT, 2014, 査読無、pp.
35-49

Yoshinori Sato, Mutsumi Aoki,
Rika Kigawa, Microbial deterioration of
tsunami-affected paper-based objects,
Proceedings of the International
Symposium on the Conservation and
Restoration of Cultural Property 2012,
NRICPT, 2014, 査読無、pp. 51-65

Kosuke Takatori, Toru Shimizu,
Atsuko Takahashi, Yuko Kumeda,
Investigation of indoor air-borne
microbial particles in cultural asset
facilities, Proceedings of the
International Symposium on the
Conservation and Restoration of Cultural
Property 2012, NRICPT, 2014, 査読無、pp.
135-144

小野寺裕子、古田嶋智子、佐藤嘉則、
稲葉政満、木川りか、津波等海水に浸水し
た紙資料のスクウェルチ・ドライイング法
- 処理後の塩分残留量の調査結果について
-、保存科学、査読有、53 巻、2014、
pp.225-231

Yoshinori Sato, Mutsumi Aoki,
Rika Kigawa, Microbial deterioration of
tsunami-affected paper-based objects: A
case study, International
Biodeterioration & Biodegradation, 査読
有、88, 2014, pp.142-149

久米田裕子、坂田淳子、高鳥浩介、
木川りか、佐藤嘉則、佐久間大輔、津波に
よる被災植物標本のカビ被害調査、保存科
学、査読有、54 巻、2015、pp.75-82

佐藤嘉則、犬塚将英、森井順之、矢
島國雄、木川りか、虎塚古墳公開保存施設
の管理方法変更による微生物汚染状況の推
移、保存科学、査読有、54 巻、2015、
pp.121-132

高鳥浩介、柳田連太郎、久米田裕子、
高橋淳子、早川典子、加藤雅人、佐藤嘉則、
木川りか、紙本、絹本の湿度差によるカビ
発生、保存科学、査読有、54 巻、2015、
pp.133-144

犬塚将英、森井順之、石井茉依、吉
田東明、日岡古墳の保存施設内における温
熱環境の調査、保存科学、査読有、54 巻、
2015、pp.27-36

〔学会発表〕(計 8 件)
以下には主なものを示す

小野寺裕子、佐藤嘉則、谷村博美、
佐野千絵、古田嶋智子、林美木子、木川りか、
津波等で被災した文書等の救済法としての
スクウェルチ・ドライイング法の検討、文化
財保存修復学会、2012.6.30-7.1、日本大学

佐藤嘉則、森井順之、木川りか、太
田英一、中別府良啓、中山俊介、川野邊渉、
霧島神宮の塗装部位から分離された糸状菌
の分類および生理学的性質について、文化財
保存修復学会、2012.6.30-7.1、日本大学

佐藤嘉則、木川りか、青木睦、赤沼
英男、大林賢太郎津波被災した紙質文化財等
から分離した微生物の諸性質、文化財保存修
復学会第 35 回大会、2013.7.20-21、東北大
学

小野寺裕子、古田嶋智子、木川りか、
佐藤嘉則、稲葉政満、津波等海水に浸水し
た紙資料のスクウェルチ・ドライイング法 処
理後の塩分残留量の調査結果について、文
化財保存修復学会第 35 回大会、2013.7.20-21、
東北大学

木川りか、喜友名朝彦、立里臨、佐
藤嘉則、杉山純多、キトラ古墳石室における
微生物制御：石室から分離された微生物の紫
外線 (UV) 耐性試験結果について、文化財保
存修復学会第 35 回大会、2013.7.20-21、東
北大学

〔その他〕

木川りか、佐藤嘉則、コラム・シリ
ーズ 文化財レスキュー活動 (3) 水損文化

財の生物被害と応急処置に向けての取り組み、TOBUNKEN NEWS 56 pp.28-29 14.11

木川りか、佐藤嘉則、凍結乾燥でカビを撃退、被災地の文書を救え（記事の取材に対応）、朝日新聞グローブ 菌のちから 2013.2.17. G-6

木川りか、文化財の生物被害の現状と対策 6 土中にある漆喰壁画に取り得る対策とは - 高松塚古墳壁画の生物劣化の経過と要因、防菌防黴、40 巻、2012、pp.505-519

木川りか、コラム 殺菌燻蒸について、日本画・書跡の損傷 - 見方・調べ方、東京文化財研究所、2013、pp.54-56

ホームページ

被災文化財救援の初期対応の選択肢を広げる-生物劣化を極力抑え、かつ後の修復に備えるために-

<http://www.tobunken.go.jp/~hozon/rescue/rescue20110510.html>

被災文化財について殺菌燻蒸、およびその後のクリーニングを実施する場合の注意点

<http://www.tobunken.go.jp/japanese/rescue/110706.pdf>

海水で濡れた資料を殺菌燻蒸することによる発がん性物質発生のリスクの調査結果について

<http://www.tobunken.go.jp/japanese/rescue/110829.pdf>

<重要> 被災文化財における人体への健康被害の可能性のあるカビの取扱い、および予防に関する注意点

<http://www.tobunken.go.jp/japanese/rescue/20120319.pdf>

被災文化財等一時保管施設の環境管理について（今後のカビ防止の観点から）

<http://www.tobunken.go.jp/japanese/rescue/111212.pdf>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

木川りか (KIGAWA, Rika)
独立行政法人国立文化財機構・東京文化財研究所・保存修復科学センター・生物科学研究室長
研究者番号：40261119

(2) 研究分担者

高鳥 浩介 (TAKATORI, Kosuke)
東京農業大学・農学部・教授
研究者番号：50270624

久米田 裕子 (KUMEDA, Yuko)
大阪府立公衆衛生研究所・感染症部・課長
研究者番号：10250317

犬塚 将英 (INUZUKA, Masahide)
独立行政法人国立文化財機構・東京文化財研究所・保存修復科学センター・主任研究員
研究者番号：00392548

佐藤 嘉則 (SATO, Yoshinori)
独立行政法人国立文化財機構・東京文化財研究所・保存修復科学センター・研究員
研究者番号：50466645