

紙質類文化財の保存に関する微生物学的研究

(第1報) 紙の褐色斑 (foxing) から糸状菌の分離

新 井 英 夫

1. はじめに

絵画・古文書等の紙質類文化財は、種々の劣化現象を呈する。そのなかに、わが国では「星」、欧米では「foxing」と称し、紙質類に褐色の斑点を形成する現象がある。この現象は、欧米で古く1919年から知られており¹⁾、その原因として糸状菌の可能性があると記載も認められている。わが国では、foxingの発生した絵画等は、美術品としての価値が著しく低下し、紙に発生すると紙質を低下するので、foxingの発生を警戒してきた。しかし、原因が未だに判然としないので、なすすべのないのが現状である。欧米でのfoxingに関する知見も大同小異であるが、foxingの原因究明のための研究が行われている。たとえば、foxingの形成要因として鉄化合物主因説が存在していたが、foxing部位の鉄分析を実施して、鉄化合物の蓄積が認められないことが判明した²⁾。その他、foxingの原因は生物と無関係とか、塩素系漂白剤を使うようになった1780年以後に発生している³⁾等諸説紛紛としている。最近、foxingを蛍光顕微鏡で観察すると、必ず糸状菌の菌糸が認められると報告された⁴⁾。しかし、foxing要因糸状菌の分離については、未だ報告がない。

東京国立文化財研究所は、昭和49年(1964)から3年間、特別研究として「軸装等の保存及び修復に関する科学的研究」を実施した⁵⁾。このとき、筆者は紙質文化財の生物劣化の調査研究を担当し、紙にfoxingという劣化現象の存在していることを知った。筆者は、特別研究終了後も機会あるごとにfoxingの発生した試料を収集し、実験を重ねてきたが、確信が持てぬままに時を過していた。近年、筆者がfoxingの発生した紙を、種々の水分環境に保って観察していたとき、ある条件に保つと確実に紙の褐色斑(foxing)部位に、特異的に糸状菌の発生することが判明した。その結果、筆者はfoxing部位に糸状菌の生細胞が生息しているという確信を持つに至り、これを手掛かりにしてfoxingの形成要因および形成機構を究明し、foxing防除対策の確立に資することを目的として、foxingの微生物学的研究を推進することにした。

本報告では、foxing部位の走査型電子顕微鏡による観察結果およびfoxing部位からの糸状菌の分離について述べた。

2. Foxingの発生した試料の収集

Foxingは、絵画・古文書・書籍等紙類を素材とするあらゆる文化財に見出すことができる。たとえば、美術館などで古い画家のデッサンを展示しているときには、デッサンを画いた紙のいたるところに褐色斑点(foxing)が認められる。古文書・書籍においておやである。Foxingが、高価な日本画などに発生すると、その絵の価値は著しく低下する。また、画家の購入した紙にfoxingが発生していると、^{ドクサ}礬水を引いてもfoxing部位は礬水が抜けて絵の具を使えないという。したがって、foxingは、文化財および紙保存の立場からきわめて厄介な存在である。筆者は、つぎのようなfoxingの発生している試料を収集した。すなわち、

- (1) 桐箱の中に約20年保存していた楮の和紙。

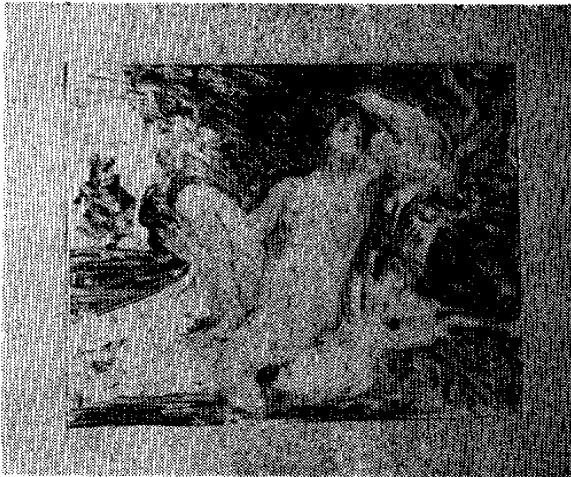


図-1 版画に発生した foxing
Fig. 1 Foxing found on a woodcut painting.

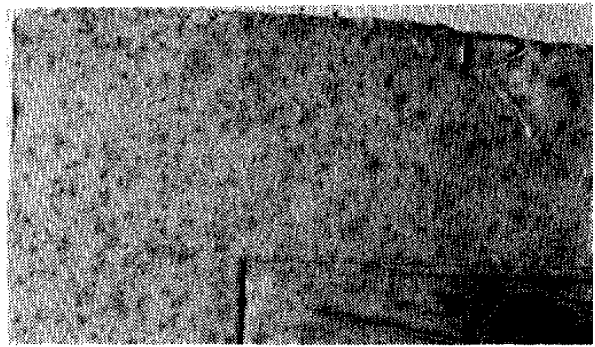


図-2 版画の foxing (図-1) の拡大図
Fig. 2 Enlarged view of foxing shown in Fig. 1.

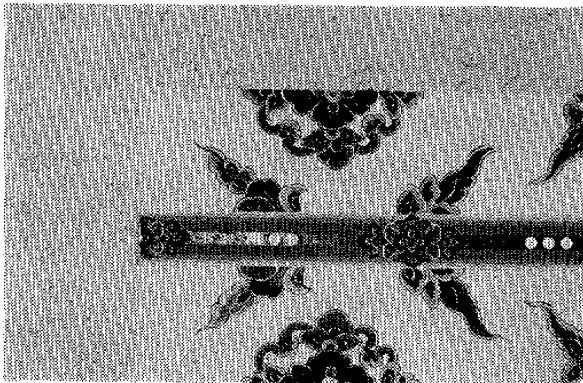


図-3 建築彩色復元模写画 (麻紙) の foxing
Fig. 3 Foxing found on the replica decorative artworks (hemp paper).

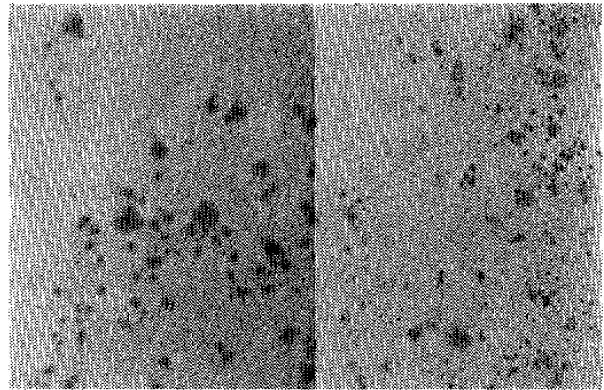


図-4 建築彩色復元模写画の foxing の拡大図
Fig. 4 Enlarged view of foxing shown in Fig. 3.

- (2) 大正6年頃フランスで購入し、以後日本で保存していた版画(図-1, 2)。
 (3) 小場恒吉画伯等が、昭和30~35年にかけて雲肌厚口麻紙に宇治の平等院鳳凰堂の建築彩色を復元模写した。この「建築彩色復元模写画」は、額装にして昭和47年(1972)から同院宝物館に収蔵・展示されて現在に至っている。昭和52年(1977)頃から模写画面上に foxing が目立つようになり、昭和57年(1982)に foxing の修復を実施した雲肌厚口麻紙(図-3, 4)。

3. Foxing の観察

筆者は、foxing の発生した雲肌厚口麻紙(以後麻紙と略記する)について、foxing を形成していない部位と foxing を形成している部位を、走査型電子顕微鏡 JSM-50A (以後 SEM と略記する) で観察した。SEM の試料の調製は、つぎのとおりである。すなわち、試料とする紙片を一辺 5 mm の正方形に切りとり、試料台上にドータイトで固定してから、2%オスミウム酸水溶液で1昼夜室温で処理した。この試料を carbon-gold で十分に蒸着した後、SEM で観察した。

その結果、foxing を形成していない部位の SEM 像は、麻紙の繊維のみが交錯している画像が得られた(図-5)。ところが、foxing を形成している部位の SEM 像は、300倍では、麻紙の繊維に多数の付着物が観察され、繊維表面が著しく汚染されている。同一視野をさらに

拡大すると、麻紙の繊維に糸状菌の菌糸が絡まりつき、糸状菌の分生子(無性胞子)等の散在している様子が観察された(図-6)。これより、紙の foxing 部位は、明らかに糸状菌によって異常を呈しているといえる⁶⁾⁷⁾。

4. 文化財に発生する糸状菌の水分活性

文化財は、その材質とそれらが置かれた環境と期間によって各種の微生物が着生し、種々の劣化現象を示す。微生物の生育には、養分・水分・温度が必須の条件であるが、なかでも文化財の保存環境と密接な関係にあるのが水分と温度である。わが国の気温は、通常 0~35°C の範囲にあるが、水分は、埋蔵・屋外の立地条件・収蔵・展示等それぞれの環境によって、文化財およびその周辺の湿度条件に直接または間接に微妙な影響を与える。したがって、文化財に発生する糸状菌の研究は、その来歴とくに水分環境に留意する必要がある。

微生物は、繁殖するとき水分の存在が必須の条件である。微生物が繁殖する物体と、その環境下の水と微生物の関係を表わすのに水分活性(water activity) という概念がある。

水分活性(以後 Aw と略記する)は、純水の蒸気圧を P_0 とし、水溶液の蒸気圧を P として $A_w = P/P_0$ で表わされる。したがって、 P が純水の場合は、 $A_w = 1$ であるが、水分を吸収する物質が加わると、その物質に応じて P の値が低下する。また、 P が無水物の場合は、 $A_w = 0$ となる。

一般に糸状菌は、繁殖に 100% の水分を必要とするもの、水分が 95% 以下でなければ繁殖できないもの、その中間の性質をもつもの、の 3 グループに大別することができる。筆者らは、これらに非好稠性糸状菌(non-tonophilic fungi)、絶対好稠性糸状菌(absolute tonophilic fungi)、条件的好稠性糸状菌(facultative tonophilic fungi) という名称を与えて区別している。絵画等美術工芸品には、主として絶対好稠性と条件的好稠性に属する糸状菌が発生している。絶対好稠性糸状菌の分離や実験は、通常の糸状菌と異なる方法を工夫する必要がある。

5. Foxing から糸状菌の分離

Foxing の発生した紙から糸状菌を分離するとき、従来は foxing 部位を無菌的に平板培地に

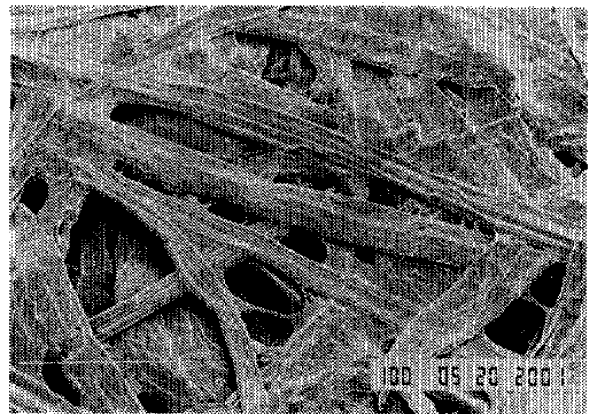


図-5 麻紙の白色部位の走査型電子顕微鏡像
Fig. 5 Scanning electron micrograph showing unfoxed areas of the hemp paper. Bar=100 μ m

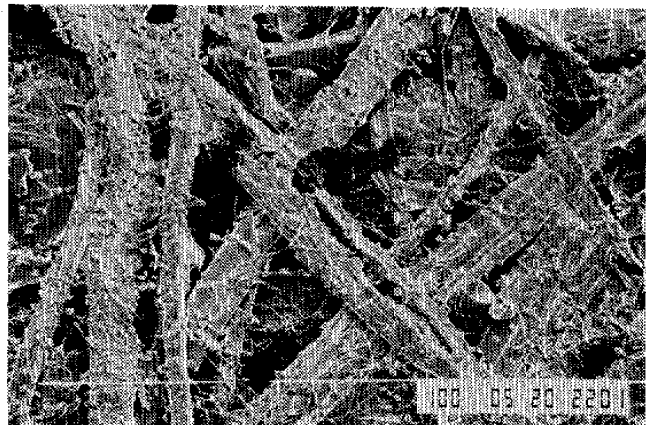


図-6 麻紙の foxing 部位の走査型電子顕微鏡像
Fig. 6 Scanning electron micrograph showing foxed areas of the hemp paper. Bar=100 μ m

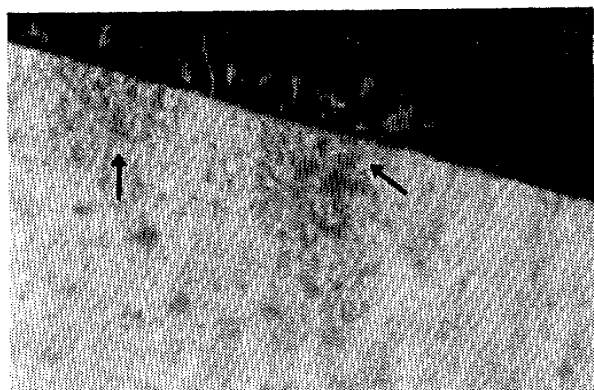


図-7 Foxing 部位に特異的に発生した糸状菌 (Aw=0.84, 25°C, 30日培養した foxing 部位の紙片)

Fig. 7 Fungal growth on the parts of foxing after 30 days incubation at Aw=0.84, 25°C.



図-9 培養後の foxing 部位の走査型電子顕微鏡像

Fig. 9 Enlarged view of fungal growth shown in Fig. 8. Bar=10 μm

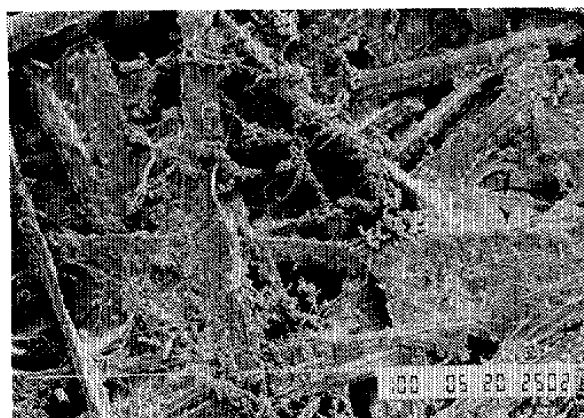


図-8 培養後の foxing 部位の走査型電子顕微鏡像 (Aw=0.84, 25°C, 30日培養)

Fig. 8 Scanning electron micrograph of foxing after 30 days incubation at Aw=0.84 and 25°C. Bar=10 μm

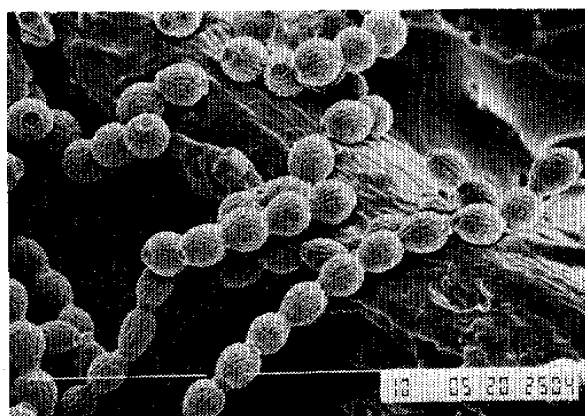


図-10 培養後の foxing 部位の *Aspergillus* sp. 分生子の走査型電子顕微鏡像

Fig. 10 Conidia of *Aspergillus* sp. growing on the foxed areas shown in Fig. 8. Bar=10 μm

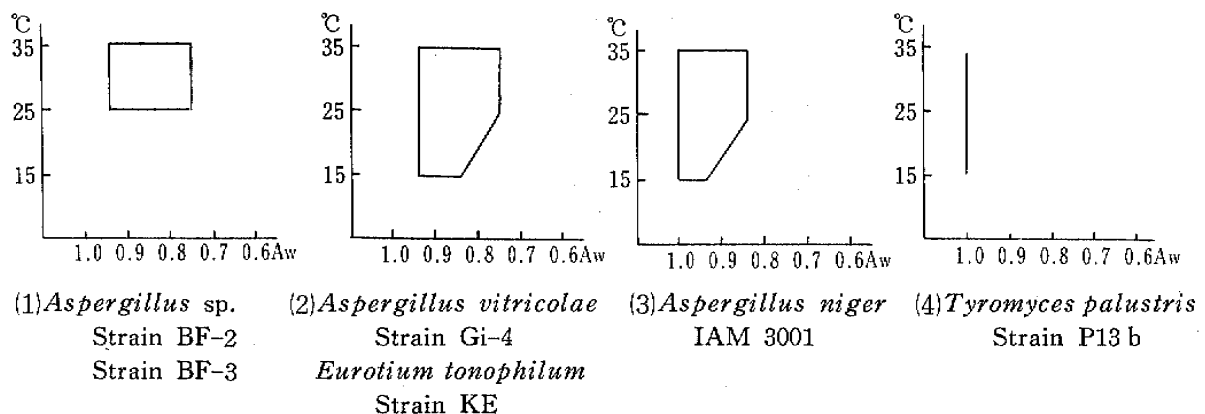
接種して分離しようとしてきた。しかし、この方法では、紙に付着している生育可能なすべての糸状菌が、平板培地に分離されるので、果して foxing 形成部位の糸状菌を分離しているかどうか判別が困難であった。

筆者は、Aw を 0.94, 0.84, 0.75 に調整したデシケータの一種内に foxing の発生した麻紙を保って観察していると、Aw=0.94 で 25°C に保ったとき 4~7 日後に、Aw=0.84 で 25°C に保ったとき 25~30 日後に foxing 上にも糸状菌の分生子頭が特異的に発生しているのを発見した (図-7)。これを SEM で観察すると、糸状菌の分生子が麻紙の繊維上に著しく増殖しているのが明らかとなった (図-8, 9, 10)。筆者は、foxing 上に発生した糸状菌の分生子頭を、40% 蔗糖入り 1.25% 麦芽汁寒天培地に直接移殖して純粋培養株とし、foxing 要因糸状菌の分類学的研究ならびに foxing 形成要因および foxing 形成のメカニズムを究明したいと考えている。現在までに foxing から分離した糸状菌は、*Aspergillus glaucus* group と *Aspergillus restrictus* group に属する菌株が大部分を占めている。

6. Foxing 糸状菌のクリモグラフ

文化財の材質には吸湿性のものがあり、これらは置かれた環境の空気中の水分を吸収して、糸状菌の繁殖に好適な条件を形成する。したがって、糸状菌が繁殖しているとき、その環境の水分条件は、発生した糸状菌に適していることを示している。その糸状菌の生育可能な水分活性範囲が判明すれば、かつてその糸状菌が繁殖していた環境条件(湿度)を知ることができる。換言すれば、文化財に発生した糸状菌の水分活性を測定すれば、その文化財の保存環境の履歴を知ることが可能となる。さらに、それら糸状菌の発生を防ぐために必要な保存環境の湿度条件を設定することもできる。それゆえに、糸状菌の水分活性は、文化財の保存環境のモニターとしてきわめて有効な指標となる。

筆者は、各種文化財から分離した糸状菌の水分活性を測定し、各菌株のクリモグラフ(気候図)を作成して保存環境の解析に応用している。筆者が foxing から分離し、foxing の要因糸状菌と考えている菌株について、クリモグラフを作成して図-11に示した。比較のために、標準菌株のクリモグラフもあわせて示した。



- (1) 麻紙の foxing から分離した糸状菌
Fungi isolated from foxing on the hempen paper.
- (2) 絶対好稠性糸状菌に属する標準菌株
Standard strains belonging to absolute tonophilic fungi.
- (3) 条件的好稠性糸状菌に属する標準菌株
A standard strain belonging to facultative tonophilic fungi.
- (4) 非好稠性糸状菌に属する標準菌株
A standard strain belonging to non-tonophilic fungi.

図-11 糸状菌のクリモグラフ
Fig. 11 Climographs of fungi

その結果、建築彩色復元模写画の foxing から分離した *Aspergillus* spp. strain BF-2 と strain BF-3 の2株は、絶対好稠性糸状菌に属し、しかも 15°C では生育しないことが判明した。したがって、本菌株が麻紙に繁殖したとき、平等院宝物館の収蔵・展示環境は、25~35°C 相対湿度 85% RH 前後であったと考えられる。今後、平等院の建築彩色復元模写画は、foxing の発生を防御する当面の手段として、宝物館の収蔵・展示環境の湿度を常時 70% RH 以下に保つ対策が必要である。

7. 考 察

紙の foxing は、洋の東西を問わず高温多湿な環境および空気の流通の悪い環境で発生し易

いことが、経験的に知られている。欧米諸国では、古くから foxing の研究が行われているが、未だ foxing 部位から要因糸状菌と考えられる菌株を分離したという報告はない。近年、蛍光顕微鏡で foxing 部位を観察すると、糸状菌の菌糸が認められると報告⁴⁾された。その報告で、糸状菌の胞子はいたるところに存在しているので、foxing の真の要因菌を培養法で分離するのは難しく、顕微鏡による証明法を推奨している。そして、1842年と1919年の書籍11冊の foxing を顕微鏡法で研究した結果、foxing の糸状菌は、紙の礬水に生育し、セルロースに生育しているのではないと判定している。

宇治の平等院は、日本画家小場恒吉画伯に依頼して昭和30年(1955)から数年の歳月を費し、鳳凰堂内部の建築彩色を復元的に雲肌厚口麻紙に模写して、60面(100×200 cm および100×100 cm)の模写画の額装を昭和37年(1962)に完成した。この建築彩色復元模写画は、一時的に京都国立博物館に保管され、昭和47年(1972)から新築の平等院宝物館(昭和40年竣工)に収蔵・展示されて現在に至っている。昭和57年(1981)に同模写画を詳細に点検すると、foxing が画面全体に著しく発生しているので、修復処置が実施されることになった。そのときの調査報告によれば、建築彩色復元模写画の foxing は、昭和52年(1977)頃から目立つようになったということである。そして、foxing の原因を追求して根本的な対策を立てという方針が決定され、foxing の発生した麻紙の一部が筆者に送付されたのである。

Foxing 部位から糸状菌の分離は、筆者も当初常法にしたがって試みていた。しかし、従来の方法では、紙に付着している糸状菌がすべて分離されるので、foxing の要因糸状菌の判別ができず研究が進展しなかった。近年、foxing 部位にのみ糸状菌を発生させる方法を見出したので、foxing の微生物学研究が進め易くなった。すなわち、foxing 要因糸状菌が、絶対好稠性糸状菌に属することが判明したからである。これによって、foxing 要因糸状菌は、空気中の水分を吸収して繁殖し、水分100%では発芽しない特徴を有し、養分は空気中の塵埃で十分供給されるので、本菌に適した水分と温度環境、すなわち85% RH 前後、25~35°C が形成されると、本菌は紙の表面で徐々に増殖し得る。紙の繊維からひげのように出ている細かい繊維が、糸状菌の代謝で消失し、水分や礬水が通り易くなるのかもしれない。Foxing が、絶対好稠性糸状菌に起因する紙の劣化現象と理解したとき、これまでの紙の foxing に関する経験的知見が、合理的に説明し得るものと考えられる。

8. おわりに

紙の foxing 部位から直接糸状菌を分離することが可能となり、分離菌株が絶対好稠性糸状菌に属していたのは、きわめて興味ある事実であった。筆者は、今後この研究方法によって、foxing 形成のメカニズムの追求と foxing の修復方法を究明し、紙質類文化財の保存と修復に寄与したいと考えている。

本研究の実施にあたっては、foxing の発生した試料を提供して下さった各位に御礼申し上げます。とくに、平等院の宮城住職と関係者の方々ならびに宇佐美松鶴堂社長宇佐美直八氏らのご協力でご送付頂いた平等院鳳凰堂の建築彩色復元模写画に発生した foxing 試料が、本研究推進の糸口となったことを明記して深甚の謝意を表します。また、昭和57年度日本大学農獣医学部醸酵研究室の伊藤賀子、金子博の両君に負うところが大きかった。記して感謝の意を表するものである。

文 献

- 1) Sée, P., Les Maladies du Papier Piqué (Doin, Paris, 1919).
- 2) Press R. E., Observations on the Foxing of Paper, Int. Biodetn. Bull. 12, 27—30 (1976)
- 3) Baynes-Cope D., Some observations on foxing at the British Museum Research Laboratory, Int. Biodetn. Bull. 12, 31—33 (1976).
- 4) Meynell G. G. and R. J. Newsam, Foxing, a fungal infection of paper, Nature, 274, 466—468 (1978)
- 5) 東京国立文化財研究所, 表具の科学, 1951
- 6) 新井英夫, 紙の褐色斑点病について, 第12回文化財保存修復研究協議会, 講演(昭和58年3月1日)
- 7) 新井英夫・金子博・伊藤賀子: 紙の褐色斑点病究明への細管式等速電気泳動法の試み, 島津科学器械ニュース, 191, 24—27 (1983)

Microbiological Studies on the Conservation of Paper
and Related Cultural Properties

(Part 1) Isolation of Fungi from the Foxing on Paper

Hideo ARAI

The formation of brown spots on paintings and cultural properties made of paper, a phenomenon called “Hoshi” (literally, stars) in Japanese and “Foxing” in English, is one kind of deterioration greatly feared by museums and archives because of its irreparable nature.

In recent experiments, the author succeeded in making fungi grow on such brown spots (Fig. 7), and is now working on methods of isolating fungi from these brown spots (foxing), as well as studying their growth mechanisms and potential means of control.

In the case of foxing found on the Byōdō-in Temple Hō-ō-dō's replica decorative artwork painted in 1955 (Fig. 3 and 4), scanning electron microscopy was used to examine and photograph foxing fungal growth for further observation (Fig. 5—10). Fungi was then isolated from the foxing, and the main strains were identified by their water activity(A_w) as *Aspergillus glaucus* group and *Aspergillus restrictus* group, both belonging to the absolute tonophilic fungi (Fig. 11).