

紙質類文化財の保存に関する微生物学的研究

(第5報) Foxing から分離した糸状菌の生理的・形態学的性質,
foxing 形成機構および防除対策について

新 井 英 夫

1. は じ め に

絵画・書籍等の紙質類文化財には、褐色斑点 (foxing) の発生する劣化現象がある。前報で、昭和57年に送付を受けた雲肌厚口麻紙に模写して平等院宝物館に収蔵・展示していた建築彩色復元模写画に発生した foxing 試料 (以後麻紙と略記する) で、foxing 部位にのみ特異的に糸状菌を生育させることが可能になったと報告した⁽¹⁾。これは、筆者が昭和49年に foxing という紙の劣化現象の存在を知って以来、foxing の出現する経緯が、糸状菌の生育条件と密接に関連していると考えてきた筆者の仮説を実証する結果となった。

ここで、筆者は foxing の主たる形成要因が糸状菌と確信し、紙質類文化財の保存と修復に寄与することを目的とし、foxing の形成要因と形成機構を解明するための研究を推進している。すなわち、foxing 部位から分離した糸状菌の生理的および形態学的性質を研究し、foxing 要因糸状菌の種を同定した。さらに、foxing 要因糸状菌の菌学的性質と平等院宝物館内の保存環境 (温湿度) を1年間記録した結果に基づいて、foxing の形成機構を考察し、現時点における同館等での foxing の防除対策について報告する。

2. Foxing の走査電子顕微鏡像と X 線分析

Foxing の発生した紙は、ある水分環境で培養すると、白色部位には糸状菌が出現せず、foxing 部位にのみ糸状菌が生育する。これは繰返し実験しても必ず再現できるので、foxing 部位に糸状菌の生残細胞が生息していることを示している。麻紙の foxing 部位と白色部位を走査電子顕微鏡 (以後 SEM と略記する) で観察すると、麻紙の白色部位の SEM 像は、麻紙の繊維のみを示すが、foxing 部位の SEM 像は、麻紙の繊維に糸状菌の菌糸が付着している (図-1, 2)。さらに詳細に観察すると、麻紙の繊維上および周辺に、糸状菌の孢子または



図-1 麻紙の白色部位



図-2 麻紙の foxing 部位

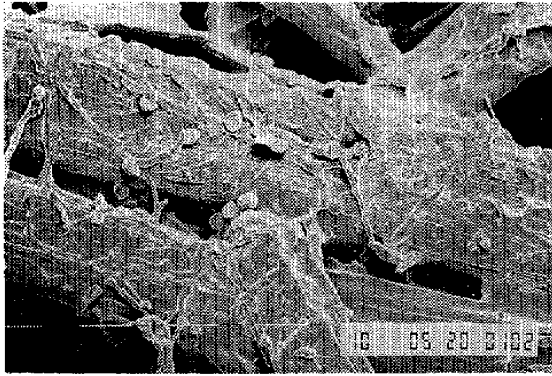


図-3 麻紙の foxing 部位の拡大

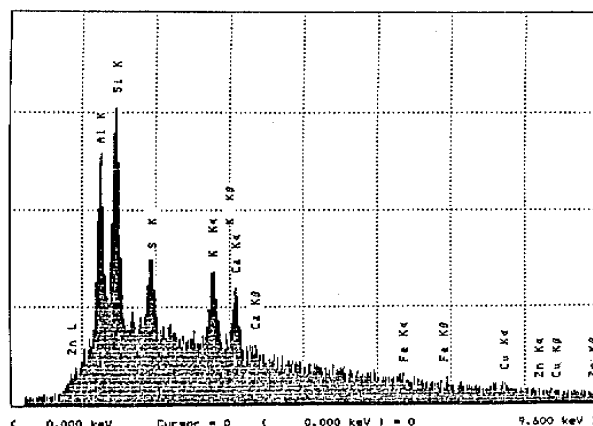
分生子が散乱していることも明らかとなった(図-3)。SEM 像の図-1と図-2を比較すれば, foxing 部位の紙の繊維が著しく汚染されている。つぎに, foxing 試料を水分活性 (water activity, Aw と略記する) 0.84,

25°C で30日間培養した foxing 部位には, 麻紙の繊維から原始林の樹木のように生育して分生子頭を形成した分生子柄が認められ, 同繊維上で分生子が盛んに増殖している様子を示す SEM 像が得られた(図-4)。これら foxing の SEM による観察結果は, 紙の foxing と糸状菌との間に密接な関連が存在していることを示している。

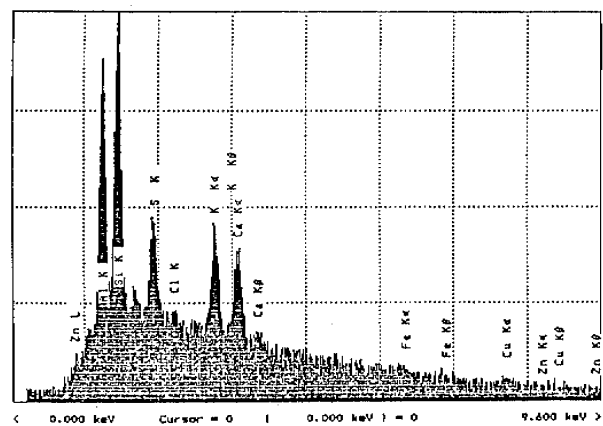
一方, foxing の鉄主因説が根強く存在しているので, 麻紙の foxing 部位の鉄, 亜鉛, 銅の分析も実施した。すなわち, SEM に付属するエネルギー分散形X線分析装置 Link-Q 200 J (以後 EDS と略記)による麻紙の foxing 部位の分析結果は, 同部位に鉄, 亜鉛, 銅のいずれも存在していないことを証明した(図-5)。



図-4 培養後の foxing 部位



(a) 麻紙の foxing 部位

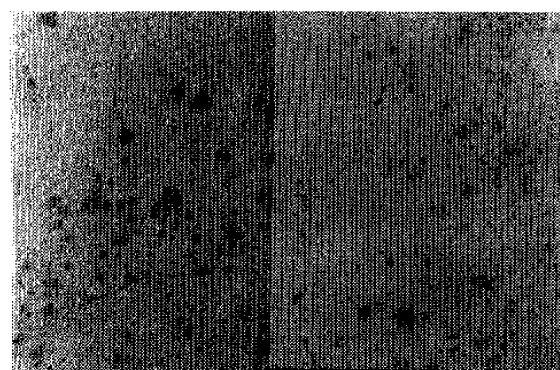
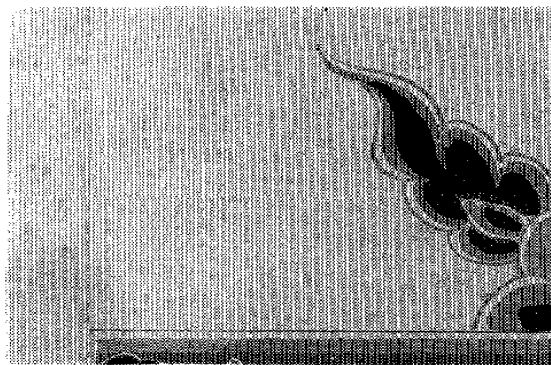


(b) 麻紙の白色部位(対照)

図-5 Foxing のX線分析

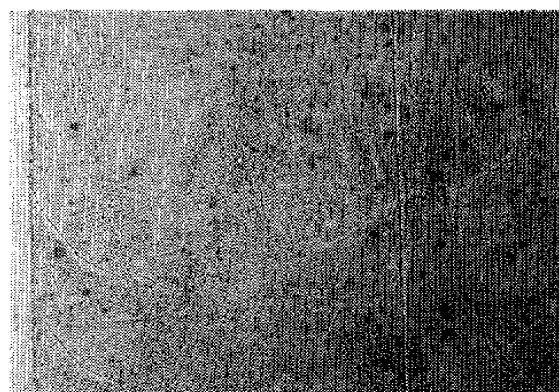
3. 供 試 菌 株

Foxing の試料は, 常時収集している。たとえば, 建築彩色復元模写画の雲肌厚口麻紙(図-6), 書籍の修復用に保存中の画仙紙(図-7), 洋書のパルプ紙(図-8)等である。これらの foxing 試料は, Aw 0.94 と 0.84 に調整したコンウエイユニット様の器で, 25°C, 7日ま

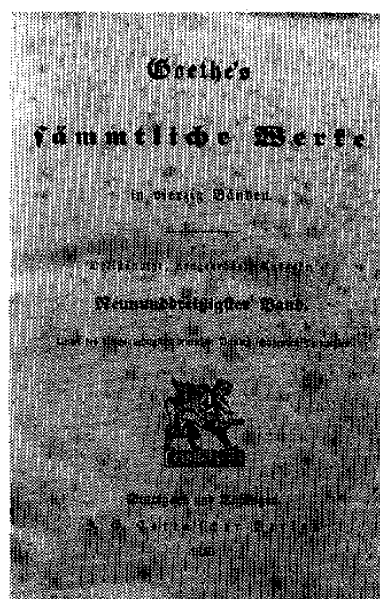


図—6 建築彩色復元模写画（麻紙）に発生した foxing（下の写真は foxing 部位の拡大図）

たは30日間培養後、実態顕微鏡で観察した。そして、foxing 部分のみに発生した糸状菌は、無菌的に40%蔗糖入り麦芽汁斜面寒天に移植し、その25菌株を本研究の供試菌株とした。



図—7 画仙紙に発生した foxing



図—8 洋書に発生した foxing

foxing 試料	供 試 菌 株
BF84	BF84-1, BF84-2, BF84-3, BF84-4
KF84-4	KF84-4-1, KF84-4-2, KF84-4-3, KF84-4-4, KF84-4-5, KF84-4-6, KF84-4-7
KF84-8	KF84-8-1, KF84-8-2, KF84-8-3, KF84-8-4, KF84-8-5, KF84-8-6
KF84-10	KF84-10-1, KF84-10-2, KF84-10-3
KF84-11	KF84-11-1, KF84-11-2, KF84-11-3
KF84-13	KF84-13-1, KF84-13-2

4. 供試菌株の生理的性質

文化財に着生して劣化要因となる糸状菌は、その文化財の置かれた環境、とくに水分(湿度)の影響を受ける。筆者は、文化財から採集した試料から糸状菌を分離するとき、分離法を工夫しかつ分離した菌株の水分活性を測定し、水分に対する挙動から3つのグループに大別している。すなわち、(1)非好稠性糸状菌： $A_w=1.00$ でのみ生育、(2)絶対好稠性糸状菌： $A_w<1.00$

でのみ生育, (3)条件的好稠性糸状菌: $A_w \leq 1.00$ で生育, の3グループである。

文化財の材質を微生物が劣化する要因として, 糸状菌等が繁殖するとき代謝生成する有機酸が影響している可能性があるので, 昭和54年以来糸状菌の生成する有機酸分析を実施している。Foxing から分離した供試菌株と foxing 部位の抽出液についても, 有機酸を分析して比較検討した。

4.1 供試菌株の水分活性

水分活性は, 塩類(硝酸カリウム, 塩化カリウム, 塩化ナトリウム, 硝酸アンモニウム, 硝酸マグネシウム)の飽和溶液で, A_w 0.94, 0.84, 0.75, 0.65, 0.55 を, 蒸留水で A_w 1.00 を調整した。すなわち, ガラス製の水分活性ビン(内径 11 mm, 外径 15 mm, 高さ 20 mm)に, 上記の各塩類の飽和溶液 1 ml と結晶を加え, 滅菌したカバーガラスで蓋をする。ビンの切口とカバーガラスは, 真空用グリースで密封する。つぎに, カバーガラスの内側に滅菌した10%ゼラチン(Difco Bact-gelatin)液を1滴塗布し, 一夜各温度の定温器内に保って, ゼラチン膜の水分をビン中の水分活性と平衡に達せしめる。それから, ゼラチン膜上に供試菌株の分生子または子のう胞子を接種し, 15, 25, 35°Cの定温器で14日間培養した。その間, 経時的に顕微鏡で観察し, 分生子等の発芽の有無, 生育状況を記録した。その後, 各供試菌株のクリモグラフ(climograph, 気候図)を作成し, 水分に対する挙動から絶対, 条件的, 非好稠性の3つのグループに大別した。

その結果, 供試した25菌株は, 7菌株が絶対好稠性糸状菌, その他の18菌株はすべて条件的好稠性糸状菌であった。

4.2 供試菌株の生成する有機酸

供試菌株の生成する有機酸は, つぎの方法で培養・抽出して測定を試料とした。すなわち, 約1×1cmのゼラチン膜を調製し, 各菌株の分生子または子のう胞子を数枚のゼラチン膜に接種し, A_w 0.94, 25°C, 14日間培養した。供試菌株を培養したゼラチン膜は, 0.5mlの蒸留水中に浸漬し, 15°C, 48時間抽出, 遠心分離した上澄液を凍結乾燥し, 150 μ lの蒸留水に再溶解し, これを有機酸の分析用試料とした。

表一 Foxing から分離した糸状菌の好稠性と生成する有機酸の関係

有機酸(μ g)		フマル酸	リンゴ酸	グルコン酸	乳 酸	酢 酸
A_w	菌株 No.					
絶 対 好 稠 性 ($A_w < 1.00$)	K F 84-8-1	2.05	19.03	1.61	—	0.38
	K F 84-10-2	1.57	6.76	—	—	—
	K F 84-11-3	—	9.01	—	—	—
条 件 的 好 稠 性 ($A_w \leq 1.00$)	K F 84-4-3	0.84	—	—	—	—
	K F 84-4-6	0.72	—	—	—	3.07
	K F 84-8-2	0.97	2.37	2.49	—	1.11
	K F 84-8-5	0.72	—	2.49	—	1.04
	K F 84-8-6	1.63	—	—	—	—
	K F 84-11-1	—	1.35	—	—	—
	B F 84-2	0.49	4.05	—	—	—
	B F 84-4	0.60	3.38	—	—	—

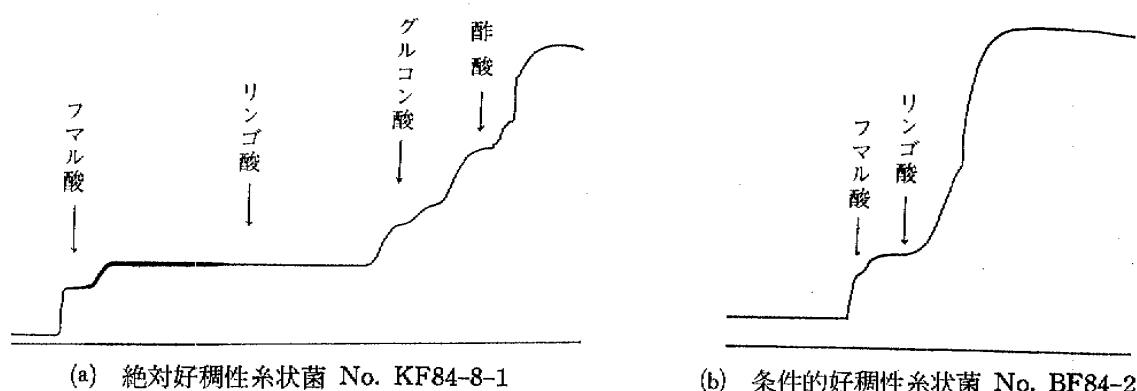


図-9 Foxing から分離した糸状菌の有機酸

島津細管式等速電気泳動の分析条件

リーディング液: 0.01 M HCl, 0.1% トリトン X-100, β -アラニン, pH 3.60

ターミナル液: 0.01 M n-カプロン酸

泳動電流: 250→100 μ A

キャブラリチューブ: 20 cm

有機酸は、島津細管式等速電気泳動装置 IP-2A で分析した。すなわち、イソタコフエログラムの Pu 値から有機酸の種類を同定し、横軸の距離から生成量を定量した結果を表-1 に示した。また、絶対好稠性糸状菌 strain KF 84-8-1 と条件的好稠性糸状菌 strain BF 84-2 のイソタコフエログラムを一例として図-9 に示した。この図と表から、foxing から分離した菌株は、フマル酸、リンゴ酸、グルコン酸、酢酸が検出された。これらの有機酸のなかで、リンゴ酸の生成量に特徴が認められた。すなわち、絶対好稠性糸状菌の7菌株が、その他の条件的好稠性糸状菌に比べてリンゴ酸を5~9倍生成した。しかし、条件的好稠性糸状菌では、検出された有機酸の生成量に特徴を示すものはなかった。

4.3 Foxing 部位の有機酸

Foxing が、糸状菌の繁殖によって形成

表-2 Foxing 部位の有機酸

foxing 試料	有機酸			
	フマル酸	リンゴ酸	酢酸	酸
画 仙 紙	+	+	+	+
麻 紙	+	+	+	+
パルプ紙(洋書)	-	+	+	+

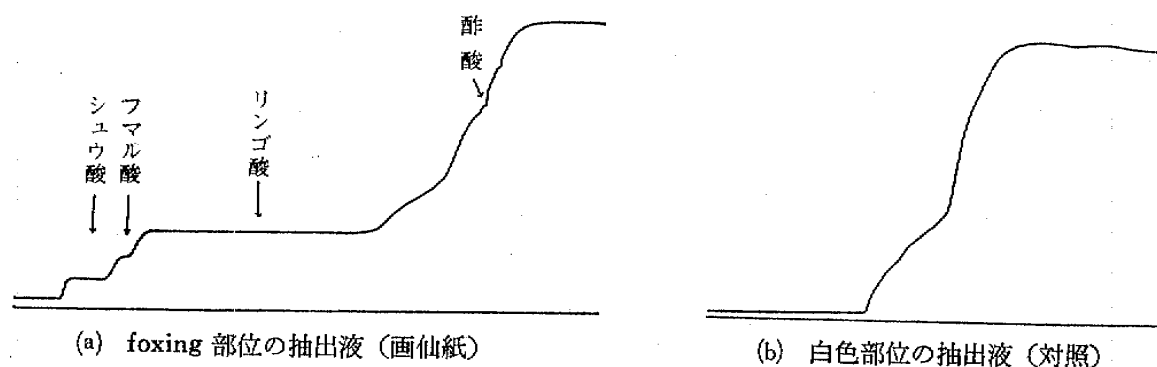


図-10 Foxing 部位の有機酸

島津細管式等速電気泳動の分析条件

リーディング液: 0.01 M HCl, 0.1% トリトン X-100, β -アラニン, pH 3.60

ターミナル液: 0.01 M n-カプロン酸

泳動電流: 250→100 μ A

キャブラリチューブ: 15 cm

されたものであるならば, foxing 部位に foxing 要因糸状菌の生成する有機酸が存在している筈である。そこで, 種々の foxing 試料の foxing 部位を, 10~15%アンモニア水で抽出し, これを凍結乾燥で濃縮, 再溶解して島津細管式等速電気泳動装置で分析し, その結果を表一2と図一10に示した。これより, foxing 部位には, フマル酸, リンゴ酸, 酢酸が共通して認められ, とくにリンゴ酸が多量に検出された foxing 試料も認められた。これは, foxing から分離した糸状菌の絶対好稠性糸状菌が, リンゴ酸の生成量で特徴を示したことに符合していた。

4.4 供試菌株による foxing の再現

雲肌厚口麻紙の8×8mmの紙片を作成して滅菌後, 供試菌株25株を接種して, Aw 0.94, 25°C, 35日間培養した。このとき, 紙片に褐変の認められた菌株は, KF 84-8-1, KF 84-8-4, KF 84-10-2, KF 84-11-3, KF 84-13-1, KF 84-13-2, で, いずれも絶対好稠性糸状菌であった(表一3)。

表一3 Foxing の再現性と供試菌株の好稠性および生成有機酸との関係

有機酸(μg)							foxing の 再現性
Aw.	菌株 No.	フマル酸	リンゴ酸	グルコン酸	乳 酸	酢 酸	
絶 対 好 稠 性 (Aw<1.00)	K F 84-8-1	2.05	19.03	1.61	—	0.38	(+)
	K F 84-8-4		未	測		定	(+)
	K F 84-10-2	1.57	6.07	—	—	—	(+)
	K F 84-10-3		未	測		定	(-)
	K F 84-11-3	—	9.01	—	—	—	(+)
	K F 84-13-1		未	測		定	(+)
	K F 84-13-2		未	測		定	(+)
条 件 的 好 稠 性 (Aw≤1.00)	K F 84-4-3	0.84	—	—	—	—	(-)
	K F 84-4-6	0.72	—	—	—	3.07	(-)
	K F 84-8-2	0.97	2.37	2.49	—	1.11	(-)
	K F 84-8-5	0.72	—	2.49	—	1.04	(-)
	K F 84-8-6	1.63	—	—	—	—	(-)
	K F 84-11-1	—	1.35	—	—	—	(-)
	B F 84-2	0.49	4.05	—	—	—	(-)
	B F 84-4	0.60	3.38	—	—	—	(-)

5. Foxing₁要因糸状菌の同定

Foxing 部位から分離した25菌株の糸状菌は, その水分に対する挙動から7菌株が絶対好稠性糸状菌で, 18菌株が条件的好稠性糸状菌に属することが判明した。そして, 絶対好稠性の7菌株は, 有機酸分析によってリンゴ酸の生成量がその他の18菌株に比べて著しく多いという特徴を示し, foxing 部位の有機酸分析結果でも同様な傾向が認められた。さらに, 供試菌株による foxing 再現実験では, 絶対好稠性の7菌株のみが褐色斑点を形成する結果を得た。

これらは, foxing 部位に生息する糸状菌のなかで, 絶対好稠性糸状菌が, foxing の形成に参与していることを示唆している。そこで, 供試菌株25菌株中の7菌株の絶対好稠性糸状菌を foxing 要因糸状菌と命名し, これらの種を同定した。

5.1 *Cleistothecia* を形成しない菌株群 (KF 84-13-2, KF 84-13-1, KF 84-10-3, KF 84-10-2)

本菌株群は、各種培地で25°C, 14日間培養したときの生育度を巨大集落の直径で表わすと、ツアベック寒天培地で0 cm, 20%蔗糖入りツアベック寒天培地で1.1 cm, 40%蔗糖入りツアベック寒天培地で2.6 cm, 20%蔗糖入り麦芽汁・酵母エキスを寒天培地 (MY 20) で2.2 cm, 40%蔗糖入り麦芽汁・酵母エキスを寒天培地 (M 40 Y) で3.8 cm であった。この結果は、水分活性の測定結果と一致する。すなわち、 A_w 1.00 では生育せず、 A_w 0.94 以下でのみ生育するので、本菌株群は絶対好稠性糸状菌に属する。

最適生育培地 M 40 Y での巨大集落は、菌叢がビロード状で、pale green~greenish white を呈し、裏面は pale olive となった。

本菌株群の形態は、分生子頭が初期に放射状で成熟すると分裂して円柱状を示す。1列のフィアライドは、頂囊の上部のみに形成され、 $1.6 \times 6.4 \mu$ 前後である。頂囊は亜棍棒状で直径は 12μ , 分生子柄は無色で平滑、分生子は初期に卵形ないし端を切った楕円形で、成熟するとたる形ないし球形となり、短くてつぶの大きなとげを形成し、径は $3.0 \sim 4.0 \times 5.0 \mu$ となる。

本菌株群は、その形態学的性質から *Aspergillus* 属に属する菌株である。そして、水分に対する挙動が絶対好稠性であるところから、*Asp. cremens* group, *Asp. glaucus* group, *Asp. restrictus* group のいずれかに属する。さらに、頂囊が亜棍棒状、1列のフィアライドが頂囊の上部のみに形成、分生子頭が初期に放射状で成熟して円柱形に分裂、分生子はたる形ないし球形となる性質より、*Asp. restrictus* group の *Aspergillus penicilloides* Spegazzini と同定した。

5.2 *Cleistothecia* を形成する菌株群 (KF 84-8-1, KF 84-8-4, KF 84-11-3)

本菌株群は、各種培地で25°C, 14日間培養したときの生育度を巨大集落の直径で表わすと、ツアベック寒天培地で0 cm, 20%蔗糖入りツアベック寒天培地で5.5 cm, 40%蔗糖入りツアベック寒天培地で8.6 cm, MY 20 で7.2 cm, M 40 Y で8.6 cm であった。この結果は、水分活性の測定結果と一致する。すなわち、 A_w 1.00 で生育せず、 A_w 0.94 以下でのみ生育するので、本菌株群は絶対好稠性糸状菌に属する。

最適生育培地 M 40 Y での巨大集落は、菌叢が密な綿毛状で、中心部に黄色の *cleistothecia* を形成し、その周囲は分生子頭の色調から pale green~pale blue green を呈し、裏面は pale yellow であった。

Cleistothecia は球形で直径が $220 \sim 380 \mu$, 菌株によって $120 \sim 200 \mu$ もある。子嚢胞子は直径が $6 \sim 10 \mu$ である。分生子頭は放射状で、1列のフィアライドは頂囊の上部のみに形成され、 $2.4 \times 9.6 \mu$ である。頂囊は亜棍棒状で直径 12μ , 分生子柄は無色で平滑、分生子は $2.4 \times 4 \mu$ の亜球形で表面にとげがある。

本菌株群は、水分に対する挙動が絶対好稠性で、形態学的性質では分生子頭が放射状、頂囊が亜棍棒状、1列のフィアライドが頂囊の上部のみに形成されるので、*Aspergillus glaucus* group に属する。しかし、黄色の *cleistothecia* を形成し、これがストロマ、ヒューレ細胞に包まれず、単なる細胞壁で構成されているので、本菌株群は子のう菌類の *Eurotium* 属に属する。本菌株群の子嚢胞子は、SEM で詳細に観察すると、レンズ状で、殻の表面は滑らかであり、隆起が低く、広い赤道面の溝が認められた。したがって、本菌株群は、*Eurotium herbariorum* (Wiggers: Fr.) Link と同定した。

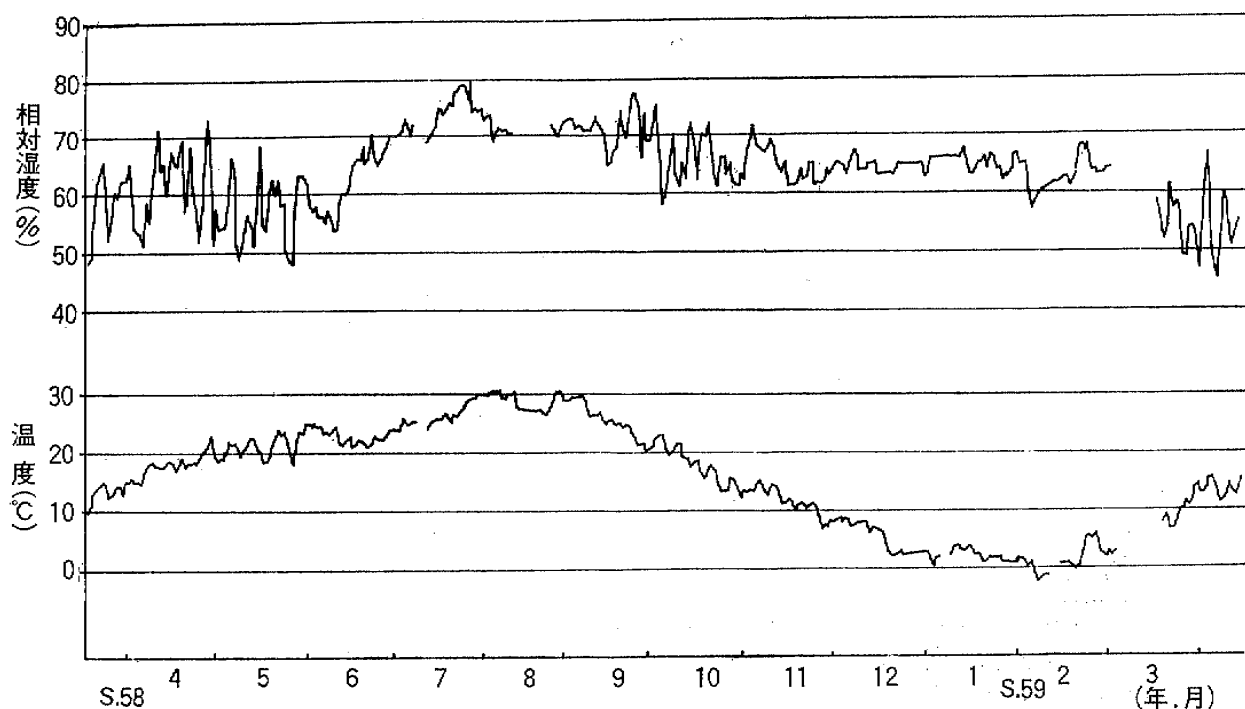
6. Foxing 形成機構の考察

筆者は、前述の実験結果から、foxing の形成には絶対好稠性の *Asp. penicilloides* と *E. herbariorum* 等が関与していると考えている。平等院の建築彩色復元模写画に foxing が発生した経緯は、前報⁽¹⁾で詳述した。その後の同模写画の保存環境の調査や foxing 要因糸状菌の生理的性質等の研究結果から、foxing 形成機構を以下のように考察した。

一般に、微生物による被害が発生すると、微生物はその材質の何かを養分として繁殖したと考える傾向がある。たしかに、木材腐朽菌や細菌等は、木材のセルロースやリグニンを分解し、蛋白質等の有機物を分解して、腐朽・腐敗しながら増殖する。しかしながら、微生物は、必ずその付着した材質の成分を分解しながら養分を摂取して繁殖するとは限らない。われわれの周囲に存在する、紙質類を含めたあらゆる物質には、空気中に浮遊する各種の微生物や微小な塵埃が付着している。そのなかの foxing 要因糸状菌のような絶対好稠性糸状菌は、その分生子や子のう胞子（以後胞子と略記する）が発芽するのに最適な温湿度の環境条件が形成されると、周囲に養分がなくても自らの胞子内の養分を使って発芽する。しかし、胞子内の養分には限度があるので、胞子から発芽した菌糸がその後何の養分にもありつけなければ、あわてて胞子を形成して生育を停止する。ところが、発芽した菌糸の伸びる方向に、目に見えないような塵やほこりでも存在すれば、これが養分供給源となり、さらに菌糸を伸長して繁殖する。しかし、通常の紙質類等の表面には、目に見えない塵埃が小さい粒子の単位で存在しているため、foxing 要因糸状菌は、紙質類の全面に蔓延するのではなく、小粒の塵埃を養分として生育可能な範囲の直径 2 ～ 5 mm 程度の集落を形成して発育が停止し、褐色の斑点になると考えるのが妥当であろう。

7. 平等院宝物館の保存環境と foxing 防除対策

平等院の建築彩色復元模写画は、昭和47年から同院宝物館に収蔵・展示され、その5年後か



図一11 平等院宝物館の年間温湿度記録

ら foxing が目立つようになったことになる。この麻紙が、どのような環境に5年間保存されていたかを知る必要があるので、同院宝物館内の温湿度を1年間記録して頂き、その結果を図-11に示した。これより、同院宝物館は、毎年7月から9月の間に、相対湿度が70~80% RH, 温度が20~30°Cに達している事実が判明した。一方、筆者が分離した foxing 要因糸状菌のクリモグラフ(図-12)は、最適生育条件が A_w 0.75~0.94 (相対湿度75~94% RHに相当), 25~35°Cに存在していた。したがって、平等院宝物館は、毎年7月から9月の3ヶ月間 foxing 要因糸状菌の生育にもっとも好適な環境を形成していたのである。

Foxing 要因糸状菌のクリモグラフは、これらの糸状菌が A_w 0.70 以下になると発芽能力が減退し、ほとんど休眠状態となることが明らかである。一般に、建造物内の広い空間の温湿度調整は、空気調節設備で行われるが、わが国の現状で空調設備を24時間稼動する機関は殆んどない。平等院宝物館の年間温湿度記録は、7月~9月の間を除けば、 A_w 0.70 以下を示している。したがって、この3ヶ月間だけ館内の相対湿度を70% RH以下に保つ努力をすれば、平等院宝物館における foxing の発生は防止可能となる。このような理由に基いて、平等院宝物館の foxing 防除対策は、7月~9月の間の同館内の相対湿度を70% RH以下にし得る能力の除湿機を設置するのが、もっとも現実的かつ具体的方法である。

その他に、筆者らが燻蒸後の糸状菌の発生を防除する方法として考案した環境制御法がある^{(2),(3)}。これは、ガス遮断性と防湿性が著しく高められた「二軸延伸ビニロンフィルム」と水分の吸放出の反応が敏速な「調湿紙⁽⁴⁾」を組合せる方法である。たとえば、平等院宝物館で展示しない建築彩色復元模写画は、あらかじめ50~70% RHの任意の湿度に調整した調湿紙と共に、二軸延伸ビニロンフィルムで密封すると、外界の温度が10~40°Cに変化し、たとえ相対湿度が80% RHの環境になっても、その袋内の湿度は最初に調整した湿度を一定に保つので、糸状菌の発生を防止できる。さらに、筆者らはこの環境制御法が糸状菌の発生防止のみならず、塵埃の付着を防ぎ、汚染空気との接触も遮断できるので、紙質類の保存のみならず広く文化財の保存にきわめて有効な方法と自負している。

この方法は、欧米で高い評価を受け、宮内庁書陵部図書館等でもその効果を認め、実地に活用している⁽⁵⁾。

8. お わ り に

紙質類文化財の foxing は、種々の要因で形成される。しかしながら、foxing の出現する経緯を考察すると、foxing の主たる形成要因は糸状菌と筆者は考えている。本研究の究極の目標は、foxing 要因糸状菌が繁殖するとなぜ褐色斑点が形成されるかを解明して、foxing の修復方法を確立するところにある。今後は、生化学的手法を導入して foxing 形成機構を究明する予定である。

おわりに、本研究の走査電子顕微鏡写真とX線分析は、日本電子K.K. 電子光学機器技術本部の鈴木俊明氏、実験では日本大学農獣医学部農芸化学科醸酵化学研究室的会田孝士、香椎健

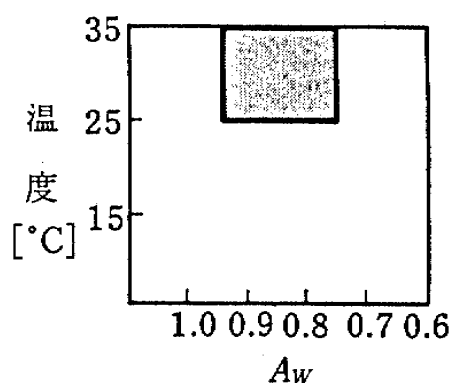


図-12 Foxing 要因糸状菌のクリモグラフ (気候図)

(*Aspergillus penicilloides* strain KF84-13-2, *Eurotium herbariorum* strain KF 84-8-1)

両君の協力を得たもので、ここに深甚の謝意を表します。

文 献

- (1) 新井英夫：紙質類文化財の保存に関する研究，（第1報）紙の褐色斑（foxing）から糸状菌の分離，保存科学，23，33—39（1984）
- (2) 新井英夫・森八郎：文化財の長期保存に関する研究，（第1報）同時二軸延伸ポリビニルアルコールフィルム of 文化財生物劣化防止への応用，古文化財の科学，25，89—102（1980）
- (3) 新井英夫・見城敏子・森八郎：文化財の長期保存に関する研究，（第2報）出土遺物等への BO-PVA フィルムの応用，保存科学，22，39—45（1983）
- (4) Kenjo T.: The Use of Nikka Pellets and Japanese Made Plain, The International Journal of Museum Management and Curatorship, 4, 65—72（1985）
- (5) 森 県：私信，昭和62年1月

Microbiological Studies on the Conservation of Paper and Related Cultural Properties

(Part 5) Physiological and morphological characteristics of fungi isolated from foxing, foxing formation mechanisms and countermeasures.

Hideo ARAI

The formation of foxing is one kind of deteriorations found on paper materials in museums and archives. Since the author succeeded in making fungi grow on foxing, he is now studying the causes and mechanisms of foxing in order to contribute to the conservation and restoration of paper artworks and archives.

An investigation of foxed areas by scanning electron microscope showed hemp fibers remarkably spoiled by fungal mycelia and conidia. Moreover, conidiophores grown from hemp fibers and a great number of growing conidia were observed in the incubated samples of hemp paper with foxing. After samples of foxing on various kinds of paper were incubated in a Conway's unit whose water activity was regulated to 0.94 and 0.84 at 25°C for 7 or 30 days respectively, 25 strains of fungi were isolated from the foxed areas. According to the water activity of each strain, these strains could be divided into two groups: 7 strains of absolute tonophilic fungi and the others of facultative tonophilic fungi. When these 25 strains were reinoculated on hemp paper, only the former group made brown spots and produced malic acid 5-9 times more than the latter group. The seven strains of absolute tonophilic fungi were identified as 4 strains of *Aspergillus penicilloides* Spegazzini and 3 strains of *Eurotium herbariorum* (Wigger: Fr.) Link. The author considers that the main causes of foxing are these and other related species.