

# 東日本大震災による津波被災紙中に存在する糸状菌の同定

## Identification of Filamentous Fungi in Paper Damaged by Tsunami of the Great East Japan Earthquake

東京大学大学院<sup>\*1</sup> 農学生命科学研究科

東嶋健太<sup>\*2</sup>, 和田朋子, 五十嵐圭日子,  
江前敏晴, 鮫島正浩, 磯貝 明

Kenta Higashijima<sup>\*2</sup>, Tomoko Wada,  
Kiyohiko Igarashi, Toshiharu Enomae,  
Masahiro Samejima and Akira Isogai

Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo<sup>\*1</sup>



東嶋健太



和田朋子



五十嵐圭日子



江前敏晴



鮫島正浩



磯貝 明

### Abstract

We are developing a new easy-to-use method for rescuing flood-damaged paper by using salt water.

In this study, filamentous fungi in paper damaged by tsunami of the Great East Japan Earthquake were identified by the method which can detect sensitively filamentous fungi in a small sample and the results were discussed for practical use of the salt water method. No filamentous fungi were detected in tsunami-damaged paper without mud sampled in paper products storage in the Ishinomaki mill of Nippon Paper Industries Co., Ltd., but *Penicillium* fungi were mainly detected in paper undamaged by tsunami sampled in the same place. This suggests that the effect of salt water on the inhibition of fungal growth for osmotic pressure would appear after paper was wetted by tsunami until it dried.

On the other hand, various filamentous fungi were detected in tsunami-damaged paper with mud sampled in the same place. Tsunami-damaged paper with mud was likely to bring about fungal growth at high relative humidity, probably because numerous bacteria and fungi live in mud that is very rich in nutrition. This result shows mud on flood-damaged paper must be washed away with salt water or fresh water to remove fungi and nutrition. *Alternaria* fungi were mainly detected in paper damaged by tsunami and left for about 3 months outside the Hachinohe mill of Mitsubishi Paper Mills Limited. The salt amount in tsunami-damaged paper left out-

<sup>\*1</sup>〒113-8657 東京都文京区弥生 1-1-1/1-1-1 Yayoi, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8657, Japan

<sup>\*2</sup>E-mail: kenta-higashijima@ojipaper.co.jp

side was considered to decrease because the salt was removed by rain and dew condensation. So, the effect of salt water on preventing fungal growth was lost and fungi such as *Alternaria* fungi grew on tsunami-damaged paper left outside. This result shows that the decrease in the salt concentration must be avoided during the emergency conservation of flood-damaged paper with salt water.

**Keywords** : filamentous fungi identification, mold, salt water method, seawater, tsunami-damaged paper

分類 : Y<sub>0</sub> その他, Y<sub>7</sub> 生物学・バイオテクノロジー

## 1. 緒 言

2011年3月11日に発生した東日本大震災による津波で、大量の紙媒体文書類が津波被災した。集中豪雨による洪水や地震による津波によって水害被災した紙文書類や紙文化財の緊急の課題はカビの繁殖を抑えることである。カビは適度な水分があれば、紙の成分（セルロース、デンプン、合成高分子）を栄養分として繁殖する他、空气中に飛散している塵や埃なども栄養分としながら紙を足場としてだけ利用することもある。行政文書や図書類などの紙文書類の場合、カビが繁殖することにより、記載文字の判読ができなくなる可能性や、不衛生で異臭を伴うため保管の意欲が失せて乾燥後も捨てるを得なくなる可能性がある。紙文化財の場合は、カビの菌糸や代謝物に由来する着色によって美術的価値が著しく損なわれる上、長期的な保管中に紙の物理的・化学的劣化が進行することが予想される。

現在では、水害被災した紙文化財は真空凍結乾燥法によって対処することが望ましいとされている。しかし、真空凍結乾燥法は電源、大きな冷凍装置、乾燥工程に移るまでの長期にわたる冷凍保管、および高価な乾燥装置が必要となるため、被災地や発展途上国では現実的な方法とは言い難い。またエタノールを紙に噴霧することでカビの繁殖を抑える方法が文化財修復家の間で一般的な対処法として用いられている。しかし、エタノール噴霧によりバクテリアは死滅するが、カビや酵母は死滅しない。2004年に国宝高松塚古墳壁画にカビが大量発生し、西壁「白虎」の著しい劣化が報道され関心を集めたが、この事件をきっかけにエタノール噴霧はカビの繁殖抑制に実質的な効果がなく、カビを完全に殺菌するためには数十分間高濃度のアルコールに浸漬する必要があることや、低濃度のアルコールでは微生物の栄養源（炭素源）として利用される可能性があることが認知されるようになった<sup>1-4)</sup>。またエタノールは毒性と引火性があるため、大量の水害被災紙を救済するために長期間の作業が予想される場合には取り扱いに十分な注意が必要とされる。

そこで著者らは水害被災した紙文書類や紙文化財をすぐに完全に乾燥できない場合において、紙を塩水に浸漬するという簡便な処置でカビの繁殖を防ぐ緊急保存法の確立を目指している。これまでの研究から、海水塩や塩化ナトリウムで調製した濃度3.5%以上の塩水に紙を浸漬することで、塩水の浸透圧の効果によりカビの繁殖をほとんど抑えられることが明らかとなった<sup>5-7)</sup>。また、塩水に浸漬した紙を取り出し、水で洗浄する脱塩処理または吸水紙で拭き取る脱塩処理により、紙に残存する塩を効果的に除去できる

ことが明らかとなった<sup>8)</sup>。この塩水による緊急保存法のアイデアは、2004年にインドネシアのアチェ地区の大津波で水没した16トンの土地台帳が濡れたまま熱帯で2ヶ月以上放置されたにもかかわらず、カビがほとんど繁殖しなかったという報告<sup>9)</sup>から得た。高濃度塩の作用によるカビの抑制であると推定し、これを技術に進展させることを立案した。

本研究では、まず東日本大震災で市街地を襲った津波の塩濃度を推定するために、被災地周辺の海水の塩濃度測定を行った。次に、カビの繁殖の確認は目視だけでは不完全と考え、和田らが開発した非特異的DNA増幅法を利用して極微量の糸状菌を同定できる手法<sup>10,11)</sup>を用いて、東日本大震災による津波被災紙中の糸状菌の存在の確認および菌種同定を行った。得られた結果から現在開発中の塩水保存法の実用化に関する考察を行った。なお、糸状菌とは、紙に繁殖する主要な菌として知られる子のう菌（カビ）と担子菌（キノコ）の総称である。また、非特異的DNA増幅法とは、Phi 29 DNAポリメラーゼを用いてゲノムDNAに含まれる特定の塩基配列ではないすべての配列領域を増幅する手法のことである。この手法は、少量の試料中に存在する極微量の糸状菌を検出および菌種同定できる手法であり、前報ではわずか1mg程度の木粉からの菌種同定に成功した<sup>10)</sup>。

## 2. 実 験

### 2.1 試料採取地周辺の海水の塩濃度測定

2011年5月12日に日本製紙石巻工場付近で採取した海水と2011年6月21日に三菱製紙八戸工場付近で採取した海水の塩濃度を屈折率計(MASTER-S/MillM, 株アタゴ)および自動温度補正付き電導度計(YK-31 SA, Lutron Electronic Enterprise Co., Ltd.)で測定した。それぞれの海水の採取地点をFig.1の地図上で×印で示す。日本製紙石巻工場付近で海水を採取した地点は、旧北上川河口から約1km、定川河口から約3km離れていた。三菱製紙八戸工場付近で海水を採取した地点は、五戸川の河口と馬淵川の河口からそれぞれ約3km、奥入瀬川の河口から約5km離れていた。

### 2.2 津波被災紙試料の採取

2011年5月12日に日本製紙石巻工場の倉庫内で塗工紙(Coated paper)と上質紙(Fine paper)の2種類の紙試料から、(a)津波に浸水した部分、(b)津波による浸水を免れた部分、(c)津波に浸水して泥が付着している部分をそれぞれ採取した。塗工紙と上質紙の成分等の詳細についてはTable 1に示す。採取地点をFig.1の地図上で○印



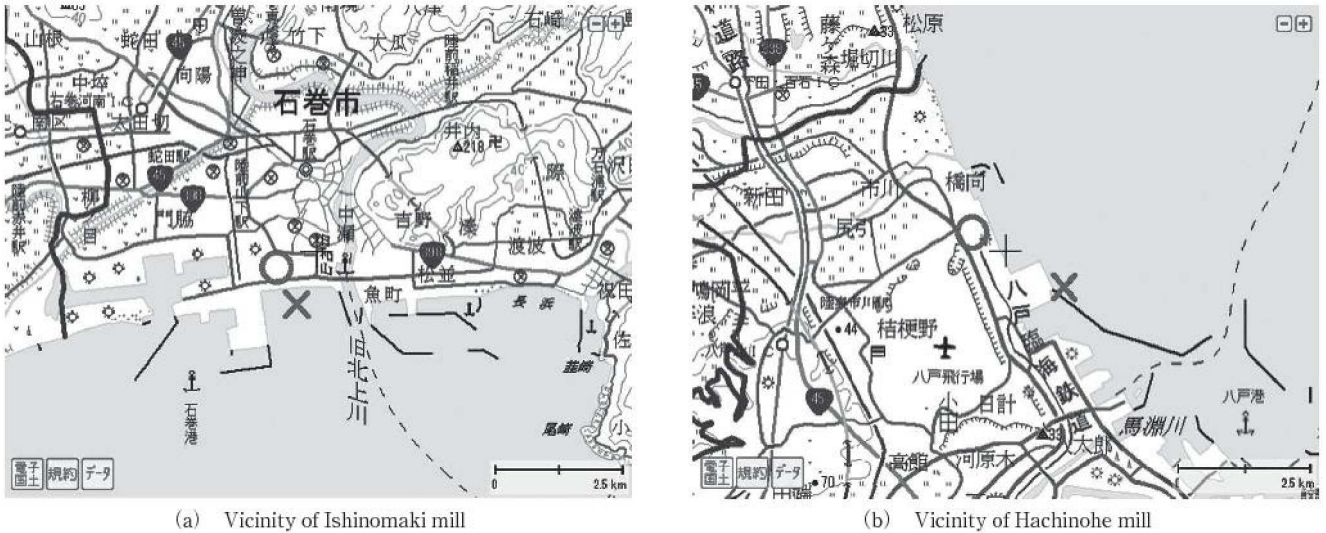


Fig. 1 Sampling spots of seawater and tsunami-damaged paper (maps provided from Digital Japan Web System®). The cross mark indicates sampling spot of seawater. The red circle mark indicates sampling spot of tsunami-damaged paper.

Table 1 Details of coated paper and fine paper sampled in Ishinomaki mill

Kind of paper	Coated paper	Fine paper
Basis weight (g/m <sup>2</sup> )	64.0	81.4
Fiber furnish	BKP(HBKP(main)+SBKP) 85%+DIP 15%	HBKP
Pigment	GCC (main)+Kaolin clay	None
Binder	Latex and oxidized starch	None
Coat weight (g/m <sup>2</sup> )	19~20 (total of both sides)	0



Photo. 1 Paper products storage where tsunami-damaged papers were sampled in Ishinomaki mill.

で示す。採取場所の写真を Photo. 1 に示す。採取した紙試料は屋内にあったので、海水や泥には触れていたが、その後の雨には当たっていない。

2011年6月21日に三菱製紙八戸工場の敷地内で、津波によって倉庫から外に流されて約3か月間屋外放置されていた(d)非塗工紙(Uncoated paper)の紙試料を採取した。この紙試料の成分等の詳細は非公表である。採取地点を Fig. 1 の地図上で○印で示す。この試料は一部雨水に濡

れた形跡 (Photo. 2 の下部) があり、その部分にカビの繁殖が観察できた。

石巻工場で採取した計6種の紙試料と八戸工場で採取した1種の紙試料を菌の同定試験のために50mm×50mmの試験片に切り取って、糸状菌同定試験に供した。石巻工場で採取した上質紙(c)と八戸工場で採取した非塗工紙(d)は、明らかに複数種の菌が繁殖していたため、3つの試験片から菌を同定したが、他の試料は1試験片ずつ菌同



Photo. 2 Tsunami-damaged Uncoated paper left outside Hachinohe mill for 3 months.

定を行った。菌同定を行った試験片の写真を Photo. 3 に示す。

### 2.3 非特異的 DNA 増幅法を利用した担子菌類の同定

和田らが開発した非特異的 DNA 増幅法を利用した同定手法を用いて<sup>10</sup>, 2.1 で採取した津波被災紙試料中に存在する糸状菌の同定を行った。実験スキームは Fig.2 に示す通りである。はじめに, 各試験片をマルチビーズショッカー (安井器械株) を用いて, 液体窒素下, 2,500 rpm で 8 分間粉碎した。その後, DNeasy Plant Mini Kit (樹キアゲン) を用いて, 説明書に従い粉碎後の試料からゲノム DNA を抽出した。その後各ゲノム DNA 抽出液を鋳型として, Phi 29 DNA ポリメラーゼ (RepliPHI™, EPICENTRE) を用いて非特異的に, つまりゲノム DNA のすべての塩基配列領域に, 増幅反応を行った<sup>10</sup>。非特異的増幅後の反応液 1 μL を鋳型として, Fig.2 に示した rDNA の ITS region (Internal Transcribed Spacer region : ITS 領域) を糸状菌に特異的なプライマー対を用いて, 和田らの報告<sup>11</sup>の通りに PCR (Polymerase Chain Reaction) 増幅した。DNA の増幅が確認できた PCR 産物のみから DNA 断片をベクター (pCR® 4 Blunt-TOPO vector, インビト

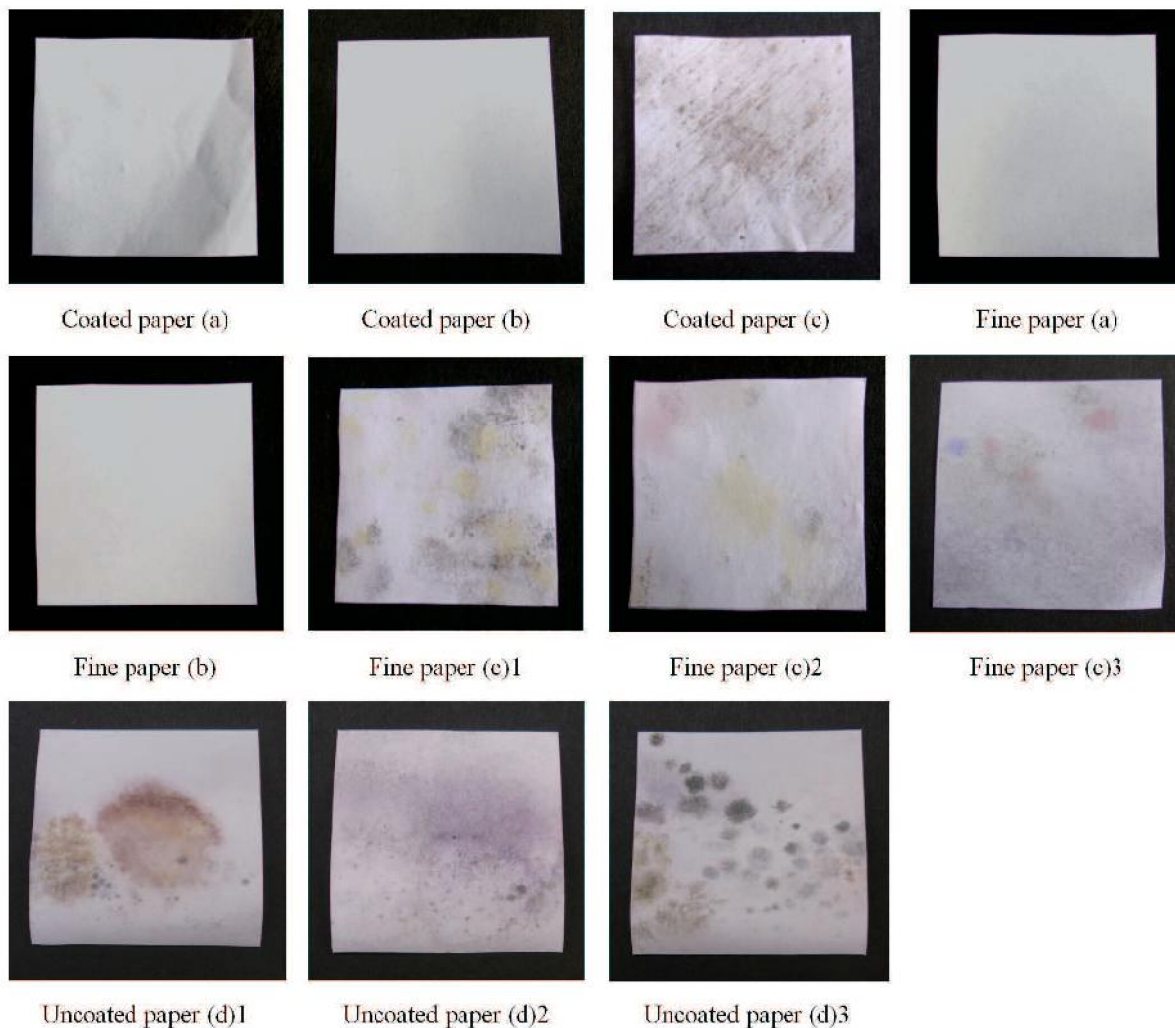


Photo. 3 Paper samples for identification of filamentous fungi. Coated paper and fine paper were sampled in paper products storage in Ishinomaki mill. Uncoated paper was sampled in outside of Hachinohe mill. (a) Paper damaged by tsunami without mud, (b) Paper undamaged by tsunami, and (c) Paper damaged by tsunami with mud. (d) Paper damaged by tsunami and left outside for 3 months.



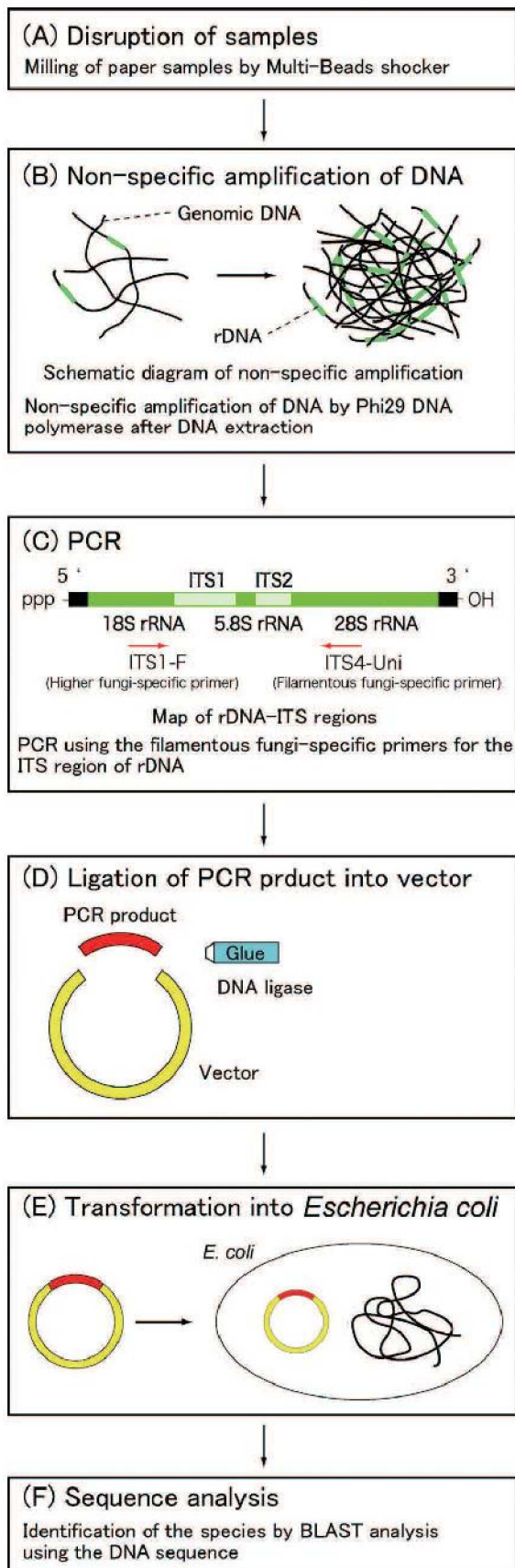


Fig. 2 Experimental scheme of identification of filamentous fungi in paper.

ロジェン(株) にライゲーション (DNA リガーゼを使って DNA 断片同士をつなげる反応) し, さらに大腸菌 (*Escherichia coli*, JM 109 Competent cells, タカラバイオ(株)) の形質転換を行った。なお, ベクターとは遺伝子を組み込む相手として用いられる DNA のことであり, DNA リガーゼとは DNA の切れ目をつなぐ酵素のことである。このようにして得たコロニー 12 個を任意に選択し, TempliPhi DNA Amplification Kit (GE ヘルスケアバイオサイエンス(株)) を用いてプラスミド DNA の増幅を行った。増幅されたプラスミド DNA を鋳型に DTCS クイックスタートキット (ベックマン・コールター(株)) を用いてシーケンス反応を行い, DNA シーケンサー (CEQ 8800, ベックマン・コールター(株)) によって ITS 領域の塩基配列を決定した。得られた塩基配列を用いて, 米国立医学図書館の生物工学情報センター (National Center for Biotechnology Information, NCBI) の相同性検索アルゴリズム (Basic Local Alignment Search Tool using a nucleotide query, BLASTN; <http://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>) による解析を行った。その際, 検索パラメータは, 全てデフォルトで行った。BLAST 検索による解析結果の中で最も相同性の高かった菌を近縁の種として同定した。

### 3. 結果と考察

#### 3.1 試料採取地周辺の海水の塩濃度

外洋の海水の塩濃度は 3.1% から 3.8% であるが, 日本製紙石巻工場および三菱製紙八戸工場付近で採取した海水は, 近くの河口から流れ出る淡水と混じって外洋の海水の塩濃度よりも低く, カビの繁殖がほとんど抑えられる塩濃度 3.5%<sup>5,7)</sup> よりも低いことが明らかとなった (Table 2)。そのため東日本大震災で市街地を襲った津波は, 外洋の塩濃度よりやや低い沿岸部の海水が, 川の水と市街地の生活排水や工場排水と混ざったものであったと推察される。したがって, 市街地を襲った津波の塩濃度は場所によってばらつきがあり, 河口付近や河口の上流では塩濃度の低い海水か河川水であったことが予想される。紙が津波に浸っても, その塩濃度が低い時には塩水の浸透圧によるカビ抑制効果が十分働かないため, 紙にカビが生えてしまう可能性がある。

#### 3.2 石巻工場で採取した津波被災紙の菌同定結果

石巻工場で採取した 6 種の津波被災紙の紙試料から切り取った試験片を Fig. 2 のスキームに従って PCR まで行った後, PCR 産物を電気泳動させた時に得られた写真を Photo. 4 に示す。両端は分子量マーカー ( $\phi$ X 174 Hae III digest, タカラバイオ(株)) であり, 左端 2 番目から右へ順に塗工紙 (a), (b), (c), 上質紙 (a), (b), (c) 1, (c) 2, (c) 3 の検体である。この結果から塗工紙 (b), および上質紙 (c) の 3 検体全てから糸状菌だと推定される 600-800 bp 付近のサイズでバンドが検出された。目的のサイズの単一バンドが検出された検体から糸状菌の同定を行った結果を Table 3 に示す。Population は検出された個体数, Sequence length は解読できた塩基配列の長さ, Accession Number は BLAST 検索による解析結果の中で最も相同性

Table 2 Salt concentration of sampled seawater

Sampling spots of seawater	Refractometry	Electric conductivity
Vicinity of Ishinomaki mill	2.1%	2.07%
Vicinity of Hachinohe mill	2.8%	2.73%

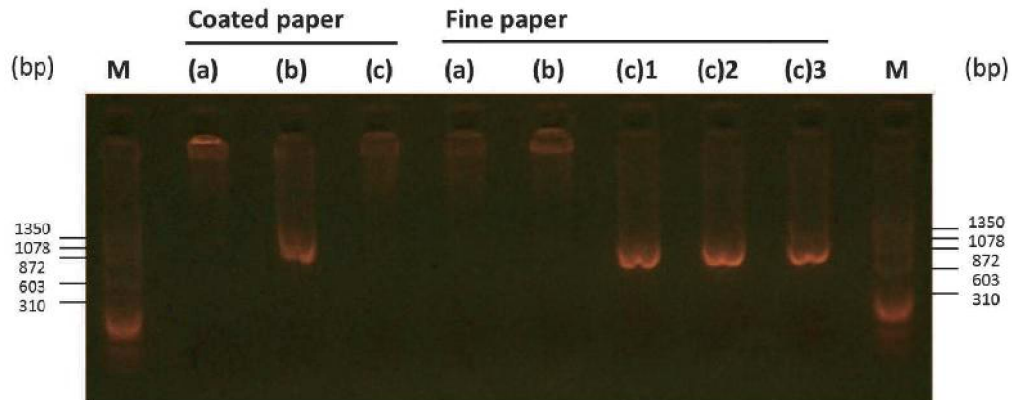


Photo. 4 Electrophoresis of PCR products prepared using filamentous fungi-specific primers. (a) Paper damaged by tsunami without mud, (b) Paper undamaged by tsunami, and (c) Paper damaged by tsunami with mud. M : Size marker

Table 3 Kind of filamentous fungi detected in paper samples

Sample	Population	Sequence length	Accession Number	Species	Sequence homology
Fine paper (a)	0	—	—	—	—
Coated paper (a)	0	—	—	—	—
Fine paper (b)	0	—	—	—	—
Coated paper (b)			GQ 161752.1	<i>Penicillium dipodomyicola</i>	100
	8	603	EU 833212.1	<i>Penicillium chrysogenum</i>	100
			AF 455544.1	<i>Penicillium commune</i>	100
	1	509	JN 198455.1	<i>Acremonium</i> sp.	99
	1	472	GU 910192.1	<i>Uncultured Malasseziales</i>	97
	1	238	JF 793539.1	<i>Penicillium chrysogenum</i>	87
	1	452	GU 910192.1	<i>Uncultured Malasseziales</i>	88
Fine paper (c)1	2	507	JF 440581.1	<i>Alternaria alternata</i>	99
Fine paper (c)2	7	376	EU 497953.1	<i>Acremonium strictum</i>	99
	2	563	EF 540755.1	<i>Geomyces pannorum</i>	99
	2	472	HQ 711617.1	<i>Alternaria tenuissima</i>	99
	1	315	HQ 212337.1	<i>Uncultured Mrakia</i>	99
Fine paper (c)3	7	582	GQ 161752.1	<i>Penicillium dipodomyicola</i>	99
	3	554	AY 873967.1	<i>Geomyces pannorum</i>	98
	2	597	AY 873967.1	<i>Geomyces pannorum</i>	88
Coated paper (c)	0	—	—	—	—



の高かった菌の個体の番号, Sequence homology は試験片から得られた各菌の塩基配列と最も相同性の高かった菌の個体の塩基配列との合致率を表す。

津波に浸水した塗工紙 (a) および上質紙 (a) の試料では, 菌は検出されなかった。津波による浸水を免れた塗工紙 (b) および上質紙 (b) の試料では, 塗工紙 (b) のみ *Penicillium* 属菌を中心とした糸状菌が検出された。塗工紙 (b) では, 8 個体は同じ塩基配列であり, BLAST 検索で 3 種の菌 (*Penicillium dipodomyicola*, *Penicillium chrysogenum*, *Penicillium commune*) と 100% の相同性であった。塗工紙 (b) では 12 個体中 8 個体が *Penicillium* 属菌であったことから, *Penicillium* 属菌がこの紙試料の優占種 (生物群集の中で個体数または現存量が多い種) であることが判明した。*Penicillium* 属菌 (アオカビ) は湿気のある場所で紙によく生え, 種の違いによって青緑色, 緑色, 黄色, 黄褐色, 褐色など様々な色に紙を着色し, 色素は沈着する。一度沈着した色素を取り除くことは困難であるため, これらの菌は紙製品や紙文化財にとって有害な菌であると言える<sup>12)</sup>。塗工紙 (b) では *Penicillium* 属菌を中心とした糸状菌が検出されたのに対して, 塗工紙 (a) および上質紙 (a) ではいずれも糸状菌が検出されなかったことから, 紙試料の種類に関係なく, 津波に一度浸水することで菌の繁殖が抑えられた可能性が示唆された。

上質紙 (c) では, 3 つの試験片それぞれにおいて *Alternaria* 属菌, *Penicillium* 属菌, *Acremonium* 属菌が優占種として検出された。泥中には非常に多くのバクテリア・菌が存在し, かつ豊富な栄養分が存在するため, 泥の付着した津波被災紙は湿度が高くなると菌が非常に成長しやすい状態であったことが考えられる。土壌 1 g には,  $10^8 \sim 10^9$  個の微生物が存在し<sup>13)</sup>, 海底から数百メートル下の堆積物にも  $1 \text{ cm}^3$  あたり  $10^6 \sim 10^8$  細胞のバクテリアがいることが知

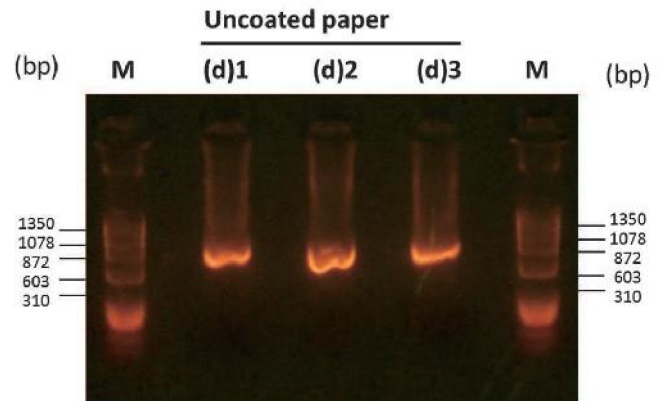


Photo. 5 Electrophoresis of PCR products prepared using filamentous fungi-specific primers. (d) Paper damaged by tsunami and left outside for 3 months. M : Size marker

られている<sup>14)</sup>。

### 3.3 八戸工場で採取した津波被災紙の菌同定結果

3.2 と同様に, 八戸工場で採取した津波被災紙の紙試料から切り取った試験片を Fig. 2 のスキームに従って PCR まで行った後, PCR 産物を電気泳動させた時に得られた写真を Photo. 5 に示す。両端は分子量マーカであり, 左端 2 番目から右へ順に非塗工紙 (d) 1, (d) 2, (d) 3 の検体である。この結果から非塗工紙の 3 検体全てから糸状菌だと推定される 600–800 bp 付近のサイズでバンドが検出された。目的のサイズの単一バンドが検出された検体から糸状菌の同定を行った結果を Table 4 に示す。

非塗工紙 (d) の試料では, 3 つの試験片において *Alternaria* 属菌を中心とした糸状菌が検出された。非塗工紙 (d) 1, (d) 3 では *Penicillium* 属菌が検出された。石巻工場で採

Table 4 Kind of filamentous fungi detected in paper samples

Sample	Population	Sequence length	Accession Number	Species	Sequence homology
Uncoated paper (d)1	4	408	AB 667801.1	<i>Alternaria alternata</i>	100
	3	477	JF 491202.1	<i>Alternaria solani</i>	100
	1	519	JN 572056.1	<i>Epicoccum</i> sp.	98
	1	527	AF 444629.1	<i>Leucosporidiella creatinivora</i>	99
	1	429	JN 038503.1	<i>Alternaria</i> sp.	96
	1	204	JF 491202.1	<i>Alternaria solani</i>	98
	1	446	JN 572058.1	<i>Penicillium</i> sp.	98
Uncoated paper (d)2	12	566	AB 667801.1	<i>Alternaria alternata</i>	100
Uncoated paper (d)3	5	610	GU 566303.1	<i>Alternaria alternata</i>	100
	4	622	AF 444417.1	<i>Guehomyces pullulans</i>	99
	2	533	JF 704118.1	<i>Penicillium</i> sp.	99
	1	265	FJ 210489.1	<i>Alternaria</i> sp.	96



取した津波被災紙においても, *Alternaria* 属菌と *Penicillium* 属菌は検出されており, 少なくともこの2つの菌は, 紙に繁殖しやすく着色をもたらす原因菌であることが判明した。*Alternaria* 属菌 (ススカビ) は植物 (野菜) の病原菌として知られ, 胞子が大きくて尖っているためアレルギー性鼻炎や喘息などを引き起こすアレルゲンとしても知られている。非塗工紙 (d) の試料は, 八戸工場の敷地内で約3か月間屋外放置されていた間に, 雨水や結露などの影響で紙上の塩が流出し塩濃度の著しい低下が起こって, 浸透圧によるカビ抑制効果が紙全体に十分発揮されなかったためカビが生えたと考えられる。

なお, 紙の繊維組成や塗工層の成分はカビの繁殖に影響を及ぼしている可能性があり, その点に関しては今後の検討課題である。

#### 3.4 塩水法の実用化に向けた具体的な処置法の考察

3.1の試料採取地周辺の海水の塩濃度測定結果から, 沿岸部の海水の塩濃度は, 近くの河口から流れ出る淡水と混じってカビの繁殖がほとんど抑えられる塩濃度3.5%よりも低い可能性が高いことが明らかとなった。また海水には多くのバクテリアが存在し, 生活排水, 工場廃水, 油などが混じっている可能性がある。そのため採取した海水を保存塩水として使用する場合は, そのまま使用するのではなく, 塩濃度を高くする処置や海水を浄化する処置が必要であることが明らかになった。

3.2の石巻工場の津波被災紙の菌同定結果から, 紙に泥が付着したままだと, 泥中の多種の菌や豊富な栄養分の存在によって紙にカビが生えやすくなることが明らかとなった。このことから洪水や津波によって水害被災した紙に泥が付着している場合は, 紙に付着した泥を, 真水で洗い流した後にすぐに完全に乾燥させるか, 塩水で洗い流した後に紙を塩水に浸漬させて緊急保存するのが望ましいことが判明した。

3.3の八戸工場の津波被災紙の菌同定結果から, 紙が一度海水に浸水しても屋外放置された場合には, 雨水や結露などの影響で紙上の塩が流出し塩濃度の著しい低下が起こって, 浸透圧によるカビ抑制効果が紙全体に十分発揮されなくなり, 紙にカビが生えてしまう可能性があることが示唆された。このことから水害被災した紙を塩水に浸漬して緊急保存する際には, 塩濃度の低下に気を付ける必要があることが判明した。

塩濃度3.5%以上の塩水に紙全体を浸漬しておく処置は, 塩水の浸透圧によるカビ抑制効果が紙全体に働き, 好気性菌には酸素の遮断によるさらなる抑制効果があり, その後の水洗浄及び吸水紙での拭き取りによる脱塩が可能であるため, 緊急保存の1つの選択肢として有効な処置であると考えられる。

## 4. 結 論

日本製紙石巻工場および三菱製紙八戸工場付近で採取した海水は, 近くの河口から流れ出る淡水と混じって外洋の海水の塩濃度よりも低く, カビの繁殖がほとんど抑えられる塩濃度3.5%よりも低いことが明らかとなった。そのた

め東日本大震災で市街地を襲った津波の塩濃度は, 場所によってばらつきがあり, 河口付近や河口の上流では塩濃度の低い海水が河川水であったことが予想された。

日本製紙石巻工場の倉庫内で津波に一度浸水し自然乾燥した塗工紙および上質紙の試料では菌は検出されなかったが, 倉庫内で津波による浸水を免れた塗工紙の試料では *Penicillium* 属菌を中心とした糸状菌が検出された。津波に一度浸水したことで塩水の浸透圧によるカビ抑制効果が発現し, 紙が濡れてから乾燥するまでにカビの繁殖が抑えられた可能性が示唆された。一方, 倉庫内で津波に浸水して泥が付着したまま自然乾燥した上質紙の試料では多種の糸状菌が検出された。泥中には非常に多くのバクテリア・菌が存在し, かつ豊富な栄養分が存在するため, 泥の付着した津波被災紙は湿度が高くなると菌が非常に成長しやすい状態であったことが考えられる。この結果から洪水や津波で水害被災した紙に泥が付着している場合は, 泥中に存在する菌や栄養分を除くために塩水か真水で泥を洗い流す工程が必要であることが判明した。

三菱製紙八戸工場の敷地内で津波に浸水し約3か月間屋外放置された非塗工紙の試料では *Alternaria* 属菌を中心とした糸状菌が検出された。屋外放置された津波被災紙は, 雨水や結露などの影響で紙上の塩が流出し, 塩濃度の著しい低下が起こったためカビが生えたと考えられる。この結果から塩水保存中には塩濃度の低下に気を付ける必要があることが判明した。

#### 謝 辞

津波被災した紙試料および工場周辺の海水を採取して頂きました日本製紙株式会社石巻工場の佐藤友治氏, 辻洋二氏, 三菱製紙株式会社八戸工場の菊池結衣氏に深く感謝申し上げます。本研究は, 公益信託吉田学記念文化財科学研究助成基金平成22年度研究助成, ソルト・サイエンス財団2010年度研究助成, 三井物産環境基金2011年度東日本大震災復興助成の支援を受けました。この場をお借りして, 深く感謝申し上げます。

#### References

- 1) 木川りか, 佐野千絵, 喜友名朝彦, 立里臨, 杉山純多: 保存科学 49, 231 (2009)
- 2) 木川りか, 佐野千絵, 間瀬創, 喜友名朝彦, 立里臨, 西島美由紀, 杉山純多: 保存科学 48, 167 (2009)
- 3) 佐藤隆一, 和田英己, 滝沢真紀, 横田勝弘: 医学と薬学 49, 713 (2003)
- 4) 梶浦工, 青木孝夫, 福武勝彦: 基礎と臨床 31, 23 (1997)
- 5) 東嶋健太, 江前敏晴, 五十嵐圭日子, 堀千明, 磯貝明, 坂本勇: 第78回紙パルプ研究発表会要旨集, 紙パルプ技術協会, 東京, 2011, P 156
- 6) Kenta Higashijima, Chiaki Hori, Kiyohiko Igarashi, Toshiharu Enomae, Akira Isogai: Studies in Conservation "First aid for flood-damaged paper using salt-water-Effect of saltwater on mold growth inhibition-" Accepted 22 November, 2011. (in press)
- 7) 江前敏晴, 東嶋健太: Cellulose Communications 18 (3), 124 (2011)



- 8) 東嶋健太, 江前敏晴: 第62回日本木材学会大会要旨集. 日本木材学会, 札幌, P 60
- 9) 坂本勇: 土地家屋調査誌 639 (4), 5 (2010)
- 10) 和田朋子, 加治佐平, 田中計実, 五十嵐圭日子, 鮫島正浩: 木材保存 35 (2), 57 (2009)
- 11) 和田朋子, 五十嵐圭日子, 鮫島正浩: 木材保存 36 (5), 200 (2010)
- 12) 木川りか, 佐野千絵, 石崎武志, 三浦定俊: 保存科学 46 209 (2007)
- 13) 西尾道徳: 土壤微生物の基礎知識, 農山漁村文化協会 1989, 25
- 14) R. J. Parkes et al: Nature 371, 410 (1994) (受理: 2012.2.16)

JAPAN TAPPI JOURNAL accepts scientific papers written either in Japanese or in English. We, JAPAN TAPPI, translate them into the other of the two languages (Japanese into English and English into Japanese) and print them in addition to the originals under the permission of the authors. We believe that this service of translation will help our subscribers to find and understand the scientific value of the original paper more clearly, and will contribute to the development of science and technology in the paper industry.

- The copy right of the translated version belongs to JAPAN TAPPI.
- If there is any inconsistency between the two versions, the original is always true.
- JAPAN TAPPI is not responsible to any outcomes based on the translated version.