

被災文化財と科学

佐野千絵*

1 はじめに

文化財とは我が国の歴史、文化等の理解のために欠くことのできないものであり、有形・無形を問わず、過去の生活・文化・習俗すべてが含まれる。現在では景観や修理技術・材料にも拡張されている。これらの文化財に対して、科学的な手法あるいは科学的な思考で、文化財の歴史や保存について研究する広領域分野である。ここでいう科学とは自然科学・人文科学・社会科学のすべてであり、科学から除かれるのは人間の内面を探る哲学（美学を含む）である。

保存科学という言葉は1964年時点では、文化財保存科学と記されており、この段階では上段の内容をすべて含んでいた[1]。文部省科学研究費特定研究「古文化財に関する保存科学と人文・自然科学」を終えて設立された日本文化財科学会（1982年）が科研費を通して認知度を上げ、現在では保存科学の上位概念として文化財科学があるように認識されつつある。

博物館美術館の運営には、歴史学・美術史学・考古学背景の学芸員が多いが、自然史専門の学芸員、保存環境や保存施設設計のための理学・工学系研究者、運営管理のための法学・社会学、修理のための技術者や修復倫理の研究者など、さまざまな分野が関わる。筆者は文化財科学・保存科学研究者で、物質としての文化財の側面（材料・構造・製作技法）とその文化財の持つ歴史的側面（いつ・どこで・誰が・何のために・どのように使ったか）について、化学者の立場から自然科学的手法を用いて情報を集め判断する研究をおこなってきた。自然科学的に客観的なデータからその物質の寿命について考え保存環境を整える、また修理に

* 独立行政法人国立文化財機構東京文化財研究所・名誉研究員

において文化財全体のバランスを考えて修理材料や方法を考える研究領域が狭義の保存科学で、筆者が主に研究してきた内容である。一方、文化財の文化資源・観光資源としての利活用については、歴史学・美術史学・考古学背景の研究者と自然科学背景の研究者がチームを組んで検討する場面も増えてきており、その成果は博物館の展示にも利用されている。

文化財の保存管理において近年の自然災害増加による影響も大きく、減災のための調査研究や被災資料の保管環境・処置方法に関する研究も進みつつある。本稿では、筆者が関係した東北太平洋沖地震被災資料に関するいくつかの事例についてまとめる。

2 東北太平洋沖地震被災資料に対する調査研究活動

(1) 福島の博物館資料のレスキュー

2011年3月11日東北太平洋沖地震に伴う福島第一原子力発電所事故の影響は、博物館美術館関係者にとっても大きな衝撃であった。博物館等に勤務する学芸員の学術的専門分野は、『令和元年度日本の博物館総合調査報告書』（令和2年9月、公益財団法人日本博物館協会）の集計（有効回答館数 2314館、回収率55.4%、[2]）によると大きく文系に偏り、自然科学系の博物館の割合は非常に少なく（10%以下）、放射性物質への知識は少なく、情報を求めて右往左往していた。当時、博物館関係者の資料の保存環境問い合わせ窓口として東京文化財研究所は知名度を獲得していたが、放射線取扱主任者資格を持つものが3名（放射化学、放射線計測など）いることは知られておらず、東京文化財研究所に質問が来ることはなかった。3月中旬には海外美術館は日本への美術品の貸し出しを禁止し、フランスは放射線計測技術者が計測器を持って来日し貸し出していた絵画の表面汚染密度を測定し、早々に美術品を自国に持ち帰った。福島県立美術館は4月後半に内気循環で展示を再開し、計測器を入手後は自分たちで考えて屋内外の計測を実施記録し、除染について検討していた。6月になってようやく福島県担当者から東京文化財研究所に質問が寄せられてきた。その内容は、絵画材料に影響はあるか、汚染された文化財は展示できなくなるのか、除染はどのようにしたら良いか、とい

うものであった。これらの質問に対して、博物館内外でのガンマ線量から推測して絵画材料の変色はないと予想されること、放射線量は減衰して展示可能になること、除染は文化財価値によって判断が変わるので一般物と同様の方法を採用しないように、と回答した。

自然災害による被害に対して、国の行政が主導して国内に呼びかけ救援体制を作ったのは、1995年兵庫県南部地震の時が初めてである。2011年3月29日の宮城県からの救援要請を受けて、文化庁の声掛けで、東北地方太平洋沖地震被災文化財等救援委員会が4月15日に立ち上げられた（～2013年3月31日まで、事務局：東京文化財研究所、以下では救援委員会と略称）。この委員会活動の方向性を決定するメンバーの中に、放射線に詳しい専門家が含まれていないことを憂えて、筆者は以下の文書を3月30日に意思決定に関わる2名に宛てて個人名で提出した。「タイトル：原発事故による放射性物質汚染の拡大防止と救援作業者の障害防止の観点

文化財の価値を考えた場合、放射線防護の原則と照合しても救援行為は正当である。しかし、同時にその行為は汚染の拡大防止と公衆の安全を確保しなければならない。近隣に一時保管場所を設置し、広域移動を行う前に全点サーベイを行い、表面汚染密度について暫定的な情報を得る必要がある。

イ レスキューの範囲：行為の正当化を保証できる文化財を対象とする

ロ 待避勧告地区は対象外とする

ハ 宮城県、福島県、茨城県については、汚染のおそれのある文化財として、国立大学等の協力を得て県内に一時保管場所を作り、サーベイして安全であることを確認した後に、文化財を広域移送し安全な場所に保管する。一定の表面汚染密度限度を超える文化財については、一時保管場所にて封鎖し、原則として放射線量の減衰を待ってから移送する。この基準とする数値については、別に定める。

ニ レスキュー作業について救援作業者の放射線防護上の安全確保のため、国立大学等の資格者に協力を求める。

ホ 各工程について安全に遂行するため、文化財保護分野の第一種放射線取扱主任者免状を持つものを参画させ、その意見を尊重する。」

この段階では、文部科学省が発表している周辺各地でのダストサンプリング結果や環境試料（土壌）の計測値を参考に、ヨウ素131の4～8半減期以上の時間を経てから、防塵服、活性炭入りマスク（防塵性能の高いもの）、手袋、サーベイメータの装備で5月の連休明けには現地入りできると考えていた。

事故当時、警戒区域内に3つの町立博物館があった。RC造りで壁厚が20cm以上あったが、一部には亀裂があり、屋内外の線量は不明であった。地震直後の停電で屋内外の換気はなく、窓ガラスの割れも多くはなく、シャッターの不調は一部であったがほぼ閉まっていたので、屋内汚染は著しくないと推測した。警戒区域内での活動は、当初は県文化財課職員と町担当職員のみでできる範囲で搬出する方向で検討されていた。

救援委員会ができて、関係者会合があって初めて、世間の放射線、放射性物質への忌避感の強さを知った。学生時代からツールとして利用していた身にとって、文系の学芸員に向けて、放射線の基礎から理解してもらうまでの障壁の高さは予想以上だった。その強い忌避感を受けて、文化財のために特別なルールを作らない方が良くと考え、事故時点で既存の法令や基準、ガイドライン等に準拠した搬出ガイドラインを決定するのに約半年を要した。2011年8月22日に基本方針案をまとめ、11月7日に関係団体を集めて以下のとおり了承された。

イ. 放射線防護の観点からの作業者管理 放射線取扱作業者に準じた教育訓練と健康診断を実施する；作業者の被ばく量低減のため現地の放射線量の事前調査を行う；労災認定要件に該当する取扱いを各派遣元で準備する；平常時の一般公衆線量限度1ミリシーベルト（mSv）／年を保証されない場合は活動しない；被ばく量を計測する；自主的に参加する人に限る

ロ. 放射性物質で汚染された文化財搬出による汚染拡散防止 輸出量の基準値（表面汚染密度限度）を超えない資料のみ搬出する

イについては、「モノ」のために人が被曝することは想定されており、被災文化財救援作業では、平常時の防護基準を援用するのが妥当と考えた。また線量限度についても放射線作業者ではないので、平常時の一般公衆の線量限度である年間1 mSv 以下であることを保証されない場合には、レスキューを実施しないとす。

口の数値を決めるまでにはさまざまな意見があった。放射性同位元素で汚染された資料を移動させることは、移動先への汚染拡大や取り扱い作業員への健康影響の点で、注意深く検討する必要があった。住民避難の段階でのスクリーニングの値、住民の生活支援のための物資の持ち出し基準、通常の輸出入の基準、3つの値のどの数値を選択するかを決定する必要があった。文化財レスキュー後の資料を通常通り展示活用するために、誰もが装備なしに取り扱っても問題ないと認識してもらえるよう、通常の輸出入の基準を採用するのが良いと判断した。

2011年10月には福島県内各所の実測データも参考にできるようになった。安積歴史博物館、郡山市立美術館（以上、郡山市）、須賀川市立博物館（須賀川市）、福島県立美術館（福島市）などで、屋内外の線量計測を実施したところ、企画展示室など文化財の所在する奥まったところでは線量が低いことが分かった(図1)。

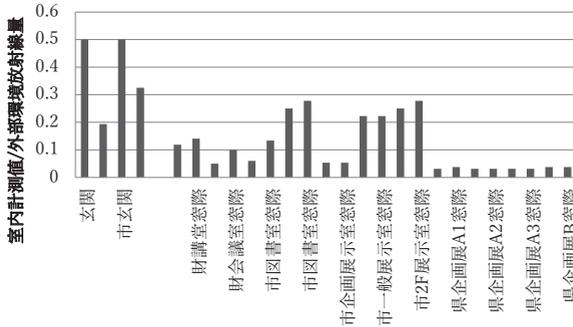


図1 いくつかの福島県内博物館施設の外部環境と室内の放射線量の比

最終的に救援委員会が現地での放射線量をもとに明確な運用規定を定め、レスキュー実施を呼びかけ、全国からの参加協力を得た。文化財の維持管理のため、福島県内で管理可能な場所まで移動可能な文化財を搬出する『福島被災文化財レスキュー』が2012～2013年度に実施された。2012年度は東京文化財研究所、東京国立博物館、奈良文化財研究所、九州国立博物館、文化庁など国内11組織と県内7組織が入り、警戒区域内での活動は、延べ21回、226名が参加した。

この2年間で、3町立博物館の98%の資料を搬出した。詳細は救援委員会活動報告書および筆者の論考、ガイドブックを参照されたい[3-5]。

(2) 津波被災資料の処置後の臭気の問題

地震に伴って発生した津波によって、地域の貴重な資料群が海水損した。岩手県立博物館では2011年4月、陸前高田市立図書館所蔵の古文書を皮切りに被災資料の救出作業を開始し、それらの応急処置、安定化処置、修復作業を継続して行った。全壊した陸前高田市博物館所蔵資料56万点のうちレスキューされた点数は46万点、2020年度末での処理点数はおよそ半数の23万点であった。

岩手県立博物館で行っている紙資料の安定化処置は、概括すると4段階に分けられる。まず、被災地から救出してきたそのままの状態、あるいは乾燥後に泥落としを行った〔未処理〕段階。次に、乾燥後の資料を水に浸け、泥をさっと落とした〔一次洗浄〕段階。その後、洗剤や次亜塩素酸ナトリウムによる除菌・殺菌、脱塩、そして燻蒸を行った〔安定化〕段階。最後に、安定化処置を行った資料に修復処置を施した資料が〔抜本修復〕段階となる。

しかし、安定化処置を行った紙資料からすばい悪臭が発生し、修復作業の現場で問題となった。異臭が問題となったのは主に、〔一次洗浄〕〔安定化〕段階の資料で、〔未処理〕のものからは泥臭いカビ臭がする。なお、保管中の資料は不織布あるいは封筒に包まれた状態で、数点から数十点ずつ中性紙箱に入れて保管されている。

この異臭の原因も津波という汚れた海水に関係していることが予想されたため、岩手県立博物館の協力を得て修復作業中の紙資料を取納したボックス内の空気をサンプリングし、ガスクロマトグラフ質量分析計を用いて臭気を分析した。また汚れの由来について情報を得るため、処置前の資料の泥状の残渣物について化学分析（糖、アミノ酸、脂肪酸）を実施した[6]。

分析の結果、臭気成分は酢酸、プロピオン酸、酪酸が主で、いわゆるヘドロ臭であった。一次洗浄の残渣物の分析では、遊離糖、トリグリセリド・遊離脂肪酸・構成脂肪酸いずれも検出限界以下で、レスキューした時点で微生物分解を受けていたことが明確になった。遊離アミノ酸、構成アミノ酸は検出され、一般的に分

解が遅れるとされるたんぱく質の分解が残渣物内に存在していることが分かった。

これらアミノ酸成分組成と、被災港湾の主要水産物（生食皮つき魚類等）のアミノ酸成分データ（「日本食品標準成分表 2015 年版（7訂）」）を参照データとして階層クラスター分析すると、付着した汚れのアミノ酸組成と被災港湾主要水産物のそれとは相関があった[7]。残渣の化学成分分析結果を受けて、悪臭がでた資料に対しての2回目の処置として、カルボン酸を除去する処置と残存したタンパク汚れを除去する処置、すなわちキッチン洗剤による水洗を推奨した。また安定化処置で長時間の水浸処置を行っていたが、処置水の細菌数増加が著しい[8]ことから、泥落とし時点での汚れ除去に注力して1次洗浄までの処置をしっかりと行うことを推奨した。

(3) 津波被災資料の脱塩の終点決定のための検討

岩手県立博物館の指導で陸前高田市博物館の修理作業所で行われていた安定化処理作業においては、脱塩作業終了の目安に、塩化物イオン濃度が「旧生出小学校（安定化処置作業を行っていた場所）の水道水と同じ塩化物イオン濃度（6 ppm[6 mg/L]）以下であること」とされてきた。その値の厳しさゆえに脱塩処理に長時間を要し、紙資料に負担がかかっているのではと懸念された。

この項では、2019年度陸前高田市受託「被災資料有害物質発生状況調査業務」内で脱塩の終了点を決定するための調査研究として実施した、脱塩終了の根拠に資すると考えられる、通常環境下で保管されてきた古書が含む塩分量に関する試験についてまとめる。

<試験1>古書の含む塩分量

古本屋で市販の古書から塩分等を抽出し、検討することとした。陸前高田市博物館被災資料には多くの教科書が含まれており、試験対象に教科書を選択した。その理由は①発行所、発行年が明確であること、②発行年ごとの差異はあるものの、紙質がその時代を代表していると考えられること、③陸前高田市立博物館所蔵資料と同時代の資料を入手しやすいこと、である。使用した試料を図2、表1に示す。すべての資料の発行所は東京である。



図 2 試験に用いた試料群

表 1 試料の概要および抽出水中の各イオン濃度 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)

	発行年月	重量 /g	Cl^-	Br^-	SO_4^{2-}	Na^+	NH_4^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}
小学音楽 六年生	昭和 24 年 10 月	57.2	42.4	21	20.4	26.2	14.6	5.4	5.3	26.4
コントロール			24.2	12.2	18.0	20.9	n.d.	3.1	5.0	22.5
水道水			25.7	12.6	18.2	20.6	n.d.	2.7	5.0	22.3
算術書第一学年	明治 38 年 2 月	104.8	46.5	n.d.	172.4	40.9	31.7	27	8.0	42.2
算術書第二学年	明治 38 年 2 月	104.4	42.2	n.d.	164.2	39.2	24.4	22.3	7.5	43.5
算術書第四学年	明治 38 年 2 月	105.3	63.8	n.d.	181.1	58.8	37.7	39	7.3	43.7
高等国語二下	昭和 22 年 9 月	54.6	41.7	n.d.	85.3	28	27.5	9.8	11.4	30.3
高等国語二下	昭和 22 年 9 月	57.9	37.6	n.d.	97.1	31.5	39.5	9.9	11.3	30
新女子音楽教科書 第一編	昭和 9 年 3 月	217.4	221.4	n.d.	227.9	125	37.1	49.5	14.7	117.2
新女子音楽教科書 第二編	昭和 9 年 3 月	216.1	138.5	n.d.	233.2	87.3	138.4	35.4	8.2	122.8

抽出手順は以下のとおりである。

- ① 400 mL の水道水に資料を 3 時間浸漬（安定化処理作業で推奨する浸漬時間）
- ② バットに載せたザルの上で余剰水を自然落下させる（約 300 mL 落下）、このうち 100 mL を分別採取（絞り水 A）
- ③ バットに載せた状態で減圧し、その絞り水（サクシオン）の全液量を採取（絞り水 B、液量約 20 mL）。

コントロール（表 1）は、①～③の手順を古書なしで行ったコールドランで得られた水である。

試験に用いた書籍の一部はすでに真空凍結乾燥して復して、見た目は原状に復した。

絞り水 A と絞り水 B を混合した混合試料を、各成分が検量線範囲に入る濃度に希釈し、1mL を分析に用いた。測定には、イオンクロマトグラフ Dionex ICS-5000 を使用した。分離条件は表 2 のとおりである。

表 2 分析条件

	anion	cation
分離カラム	IonPac AS20	Ion Pac CS12A
溶離液	水酸化カリウム	メタンスルホン酸
グラジエント	0.003 mol/L (0-6 min)	0.020 mol/L
	0.003 - 0.030 mol/L (6-15 min)	
	0.030 - 0.040 mol/L (15-20 min)	
	0.040 mol/L (20-23 min)	
流量	1.0 mL/min	
試料導入量	25 μ L	
サブレッサー	AERS500	CDRS600
検出器	電気伝導度検出器	

結果は表 1 のとおりである。これは、約 300 mL の自然落下水のうち 100 mL を分取した絞り水 A と、サクシオンで得られた絞り水 B 20 mL を混合した溶液中の塩化物イオン濃度である。また表 1 の水道水は、東京上野にある東京文化財

研究所で蛇口から採取した水道水である。高い塩化物量は表紙にコーティングのあった試料で見られた。

この方法では書籍全体の塩化物量について正確に算出できないが、サククションすると繊維内の汚れも抜けてくることから、この見積もりは高めの値になっていると考えた。400 mL中の絞り水の濃度が分かると仮定すると、書籍中の塩化物量は5～80 mgであった。

以上より、通常的环境下で保管されていても、書籍中には一定量の塩が含有されていることは明らかになった。

<試験2>現代の紙の含む塩分量

現代の紙について、楮紙（名称不明、2000年代前半に購入、以後「楮紙」と呼称）、楮紙（細川紙、以後「細川紙」と呼称）に含まれる塩分含有量を求めた。JIS P 8144:2006「紙、板紙及びパルプ—水溶性塩化物の測定方法」を参考に、しかし試料量の限界から紙0.25 gを脱イオン水50 gに常温で浸漬し、24時間後に攪拌し、試験液1 mLをイオンクロマトグラフで分析した（各3サンプル、2回・別日に計測）。

結果は表3のとおりである。100 gの紙の塩分量に換算すると、楮紙、細川紙では28～48 mgの塩分が含まれていることがわかった。

表3 現代の紙から抽出した anion 量 (mg/L)

	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	Br ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻
機械漉き楮紙	0.793	n.a.	0.113	0.902	0.008
楮紙	1.440	0.065	0.666	1.766	0.593
細川紙	2.390	0.027	0.274	0.714	0.479

以上、脱塩の終了点を決定する参考にするため、古書の含有する塩化物濃度を定量した。定量できた濃度は書籍によって異なったが、通常的环境下で保管されていたいずれの古書も、すでに塩化物を含有していることが明らかになった。

塩の由来は、第一に製紙の段階で用いられた水と推測され、次に、保管環境や書籍として使用することで塩の含有量が変化すると推測される。

海水損を受けた書籍の脱塩の終了点を決定するには、より多数の資料について情報を収集し、慎重に検討することが必要である。書籍を水に濡らした実験の後でおよその重量を計測すると、書籍の重量とほぼ同じ重さの水を吸うことが分かった。この条件で「高等国語二下」の塩含有塩量の少ない書籍を例に概算すると、5 mg の塩化物が 57.9 g の書籍に含まれ、十分に濡れた状態での水の量は書籍の重量の同量の 57.9 g、塩化物イオン濃度はおよそ 86 ppm となる。処理に用いた水の塩化物イオン 6 ppm に比べて、書籍に元から含まれる塩化物イオン量は相当高く、脱塩処理終了の目安を 50 ppm とするのは十分に安全側の終了目安であると考えられる。

また修理現場では、塩化物イオンセンサーを校正して正確に使用することは難しく、作業者にとって負担となっていた。終了目安を 50 ppm に上げることで、半定量イオン紙やテストストリップ、バックテスト、ドロップテストなど、より簡便な検査方法で終了点を下回ったか確認できる点も、修理作業現場における現実的な解決策の一つと考えた。脱塩作業については、塩の溶解速度は速く、3回程度の水浸で脱塩可能なことをデータとともに示し、処置作業改善を提案した。

3 おわりに

本稿では東北太平洋沖地震で被災した福島の資料群のレスキューと、岩手県内で水損した資料群の処置における問題点解決に果たした保存科学に関わる調査研究内容をまとめた。一点物の美術品の保存管理と、多数の雑多な資料群の保存管理は、人・材料・スペース・時間・技術（＝コスト）の点で異なる対応となる。しかしいくつかのベターな方法を組み合わせ、文化財の寿命を少しでも全うできるように検討し、管理しやすい方策を立案することも保存科学者の仕事である。東北太平洋沖地震で海水損した多量の資料群の処置方法の研究を通して、海水損した資料群への修理技術は発展し、海外からも日本の修理技術公開を求められている[9]。保存科学は化学者として華々しい成果を上げにくい、その調査研究は長く受け継がれ、再評価され、今後も文化財保存に役に立つことであろう。国民の財産である文化財保存について、みなさまからのご支援をお願いして、本稿を閉める。

文献

- [1] 関野克、文化財保存科学研究概説、保存科学1号, 1-6頁, (1964)
- [2] 『令和元年度日本の博物館総合調査報告書』 公益財団法人日本博物館協会, (2020)
<https://www.j-muse.or.jp/02program/pdf/R2sougoutyousa.pdf> (参照 2024-10-31)
- [3] 東北地方太平洋沖地震被災文化財等救援事業活動報告書、平成23年度、平成24年度ほか、<https://www.tobunken.go.jp/japanese/rescue/report/> (参照 2024-10-31)
- [4] 佐野 千絵・北野 信彦・早川 典子・杉崎佐保恵・松田隆嗣・伊藤匡・桧垣正吾・久保謙哉・石崎武志、福島第一原子力発電所事故に伴い環境中に放出された放射性物質への対応：文化財の放射線対策と除染の考え方、文化財保存修復学会誌 58, 17-37頁, (2015)
- [5] 独立行政法人国立文化財機構文化財防災センター・監修 佐野千絵、『文化財の放射線対策ガイドブック 2021』(2021)
- [6] 佐野 千絵・内田 優花・赤沼 英男、津波被災紙資料から発生する臭気の実験と発生メカニズムの推定、保存科学 56号, 121-133頁, (2017)
- [7] 佐野 千絵・赤沼 英男、津波被災資料に付着した汚れの成分分析とその由来、保存科学 58号, 139-14頁, (2019)
- [8] 内田 優花・佐野 千絵・赤沼 英男、津波被災紙資料の洗浄水の分析—塩化物イオン濃度と細菌数—、保存科学 57号, 169-179頁, (2018)
- [9] Mikiko Hayashi, Chie Sano, “Initiatives and improvements of stabilization processing for tsunami-damaged documents from the viewpoint of microbial control”, Support/Trace, 2020-9, (2020)