

博物館資料に対する紫外線の影響

長谷川純子¹・村田昌也²・大栗美菜²・飯田恵実³・植地岳彦⁴

[Sumiko Hasegawa¹・Masaya Murata²・Mina Ooawa²・Megumi Iida³ and Takehiko Ueji⁴: The Effects of Ultraviolet Light on Museum Materials]

摘要：博物館等の展示施設において、資料に対して紫外線を含む光の状態を適切に把握し、劣化リスクの軽減を目的とした調査を徳島県内の複数の施設で実施した。異なる保存環境を有する施設における紫外線および照度の影響を中心に、展示環境が資料の劣化進行に与える影響を評価した。その指標の一つとして大正期の洋紙印刷物のインクの変化を数値化し、劣化を具体的に検証した。試料の劣化を最小限に抑えるためには、温湿度の管理、紫外線の遮断、照度の調整、定期的な環境監視が必要であり、施設ごとの特性に応じた対応が求められる。

キーワード：紫外線、可視光線、温度、湿度、博物館資料、洋紙の劣化

1 研究の目的

光は博物館資料（以下、「資料」とする）の劣化促進因子であり、資料保存に際しては、特に影響が大きい紫外線が資料に照射することがない環境を整備する必要がある。多くの資料は、遮光された収蔵庫内で保存されることから、収蔵期間中に資料が光によって劣化する可能性は極めて低いと言える。しかし、資料が展示される場合、光の影響を避けることは困難であることから、展示環境における光の状態を適切に把握し、劣化リスクを評価することは重要である。

本稿では、鳴門市ドイツ館、徳島市立考古資料館、徳島県立近代美術館、徳島県立博物館における、展示場所などの光の状況について調査し、資料保存の観点から評価を行う。また、近代の印刷物を試料とし、光による資料の劣化進行について検証する。今回の調査対象である4施設は、異なる環境条件を有するため、資料の劣化要因を多角的に評価することが可能で、展示環境が試料に与える影響を比較し、それぞれの条件下での劣化傾向を明確にすることができる。そのため、各施設における劣化要因の評価は、施設環境の批判ではなく、試料保存の観点から劣化因子を分析するためのものである。

以上のことから、環境条件の違いが資料保存に及ぼす影

響を解明し、特に近代の印刷物を例として、劣化抑制に向けた保存計画の構築に寄与することを本研究の目的とする。

2 経緯と経過

可視光や紫外線といった光が劣化促進など資料に影響を与えることは、博物館等にとって基礎的な知識である。特に、展示施設において資料を照らす光の問題は重要であり、文化庁は重要文化財を展示する際の照明について、「国宝・重要文化財の公開に関する取扱要項（平成30年1月29日改訂）」の中で指針を示している⁽¹⁾。なお、紫外線については、具体的な数値基準は示されていないが、蛍光灯・LED照明についても、紫外線を防止する処置が必要であるとしている。博物館等ではこれを目安に、照度計や紫外線強度計で計測しながら展示照明を調整し、更には定期的に光の状態を確認しながら、光による資料の劣化を最小限に留めるよう、管理運営を実施することになる。

徳島県における資料保存に関する研究はまだ限られているが、洋紙に対する脱酸処理および劣化促進試験を対象とした初期的な調査が行われている。本研究は、この分野における知見を発展させる試みとして、脱酸処理が施された

2024年12月5日受付、12月21日受理。

¹ 鳴門市ドイツ館、〒779-0225 徳島県鳴門市大麻町松東山田55-2。Naruto German House, 55-2 Higashiyamada, Oasacho, Naruto, Tokushima 779-0225, Japan

² 徳島市立考古資料館、〒779-3127 徳島県徳島市国府町西矢野10番地の1。Tokushima Archaeological Museum, 10-1, Nishiyano, Kokufu-cho, Tokushima, Tokushima 779-3127 Japan

³ 徳島県立近代美術館、〒770-8070 徳島県徳島市八万町文化の森総合公園。The Tokushima Modern Art Museum, Bunka-no-Mori Park, Tokushima 770-8070, Japan

⁴ 徳島県立博物館、〒770-8070 徳島県徳島市八万町文化の森総合公園。Tokushima Prefectural Museum, Bunka-no-Mori Park, Tokushima 770-8070, Japan

大正期洋紙が紫外線や照度の強弱によってどのような影響を受けるかを中心に調査を行ったものである。なお、本研究の背景に関連するデータや分析の一部については、共同著者である長谷川が執筆を進めており、2025年発行予定の論文にて詳細が公開される予定である。

今回、共同調査を実施している各施設は、いずれも建設から30年前後が経過⁽²⁾しており、施設の随所に当初の姿から変化した部分が見受けられる。例えば、「展示室内の展示台に張られた白色の布クロスが茶色に変色したまたは色あせた」事例が挙げられる。これらの変色は、可視光だけでなく設計上は存在しないはずの紫外線が原因ではないかと推察される。布クロスの変色の原因が展示環境に起因する場合、同じ場所に展示されている資料も同じ原因で変化が生じている可能性がある。しかし、その変化は数年単位にわたるゆっくりとしたものであるため、このような展示室内の経年変化を把握しながらも原因の特定や資料への影響を明確にするには至っていない状況であった。

2022年度に、徳島県立博物館は、課題調査として「生物の紫外線発光に関する調査」（徳島県立博物館、2023）を実施した。この調査により紫外線照射器や紫外線強度計を新たに導入したことをきっかけに、2023年度から、展示室周辺を中心に紫外線の状況についての調査を開始した。また、徳島県内の鳴門市ドイツ館、徳島市立考古資料館および徳島県立博物館に隣接する徳島県立近代美術館にも協力を呼びかけ、同時進行で調査を行なっている。

それぞれの施設で予備調査を実施した後、2023年10月から本調査を開始した。2024年10月で1年が経過した後も、調査を継続している。

また、本調査と平行し、大正期に発行された洋紙に印刷された「東京名所 上野公園櫻花満開之図」を試料として、脱酸処理の有無および紫外線や光に着目した展示環境と試料劣化に関する調査も行っており、この調査も継続中である。

3 調査の方法

(1) 予備調査

各施設の展示環境において、光の影響が懸念される場所について、照度及び紫外線強度、気温、相対湿度の測定を行った。測定は、データロガー（T&D社製 TR-74Ui）を使用し、施設の任意の場所で、数日から十日程度、1分間～15分間程度の間隔で測定とデータの記録を行った。測定結果から本調査の場所を決定した。

(2) 本調査

予備調査結果から決定した調査場所にデータロガーを設置し、およそ1年間、照度、紫外線強度、温度、湿度を継続測定し、データを記録した。なお、測定結果は各施設のデータを取りまとめた上で分析と評価に用いるだけでなく、実際の管理運営に反映させるため各施設が独自に分析・評価を行い、対策を実施している。

(3) 大正時代の印刷物の劣化試験

本調査で設置したデータロガーの側に、試料となる紙片を設置した。紙片は、酸性劣化が進行する一枚の洋紙印刷物を切断したものである。切断した紙片について、脱酸処理の有無及び処理法によって、①未脱酸・未劣化、②水性脱酸処理・未劣化、③非水性脱酸処理・未劣化、の3種類に分類した。それぞれの紙片には、赤、青、灰、青緑色のインクで着色された部分があるほか、インクが付着していない無地の部分があり、測色計・彩色差計を用いて、色の経時変化を測定することで、資料の劣化を評価した。

測定には、徳島県立工業技術センター設置の分光測色計/色彩色差計 CM-3700D（コニカミノルタジャパン株式会社製）を使用した（図1）。この装置は、色彩の明度や色差を高精度で測定するものであり、およそ半年ごとの測定結果から、経時変化を分析した。また、県博物館のポータブル色差計 TES-3250（TES Electrical Electronic Corp. 製）でも、約1ヶ月ごとに測定を実施し、短期における変化を観察している。



図1. 分光測色計・色彩色差計による調査の様子

4 調査対象施設の概要と調査成果

(1) 鳴門市ドイツ館（以下、「ドイツ館」とする）

①所在地

徳島県鳴門市大麻町松字東山田 55-2

②運営

鳴門市立の施設で、指定管理者によって管理運営されているドイツ館は、第一次世界大戦中の「板東俘虜収容所」でのドイツ人捕虜の活動や地域住民との交流に関する資料

を保存・展示している。また、所蔵資料の保存および調査研究に関しては、市が直営で実施しており、ドイツと日本の文化交流の拠点としても重要な役割を果たしている。

③ 展示資料と施設

ドイツ館は、板野郡板東町(現鳴門市大麻町)にあった「板東俘虜収容所」に関する歴史的資料を保存し、日独の親善を深める目的で 1972 年に設立された。その後、施設の老朽化や収蔵資料の増加を受け、1994 年に現在の新施設に新築移転された。

館内は 2 階建てで、1 階にはエントランスホールや大会議室を備え、2 階を展示室とし、ドイツ人捕虜が制作した「収容所新聞」や「コンサートプログラム」、楽器などの資料を展示している。また、収容所の模型や『第九』初演の様子を再現する「第九シアター」など、当時の歴史や文化を視覚的・体験的に学べる展示を整備している。

1 階のエントランスホールや大会議室を含めた建築面積は 1,192.58m²、2 階の展示室の延床面積は約 680m²に及ぶ。常設展示室 1 には自然光が入らない設計となっており、展示資料が光による劣化を受けにくい環境が整備されている。一方、ロビーやその他の施設では自然光が入り込む構造が一部に見られ、この点が保存環境上の課題となっている。

展示資料には、保存環境に敏感な洋紙とそのインクの色材、布、木製の楽器を含む多様な素材があり、適切な温湿度や照度の管理が必要である。また、収容所内で制作された 298 点の印刷物は徳島県指定有形文化財に指定されており、その文化的価値は極めて高い。

④ 展示環境に関する課題

今回、常設展示室の展示ケース内に試料を設置したが、このケースにはいくつかの課題が見受けられる。まず、展示ケースは壁面と一体化した構造を持つが、温湿度管理機能が十分ではない。そのため、ケース内部の環境は季節や天候の変化に影響を受けやすく、資料保存に必要な安定した状態を維持することが困難な状況である。また、常設展示室 1 と 2 の間に設けられた吹き抜け構造の影響で、開館時には外気が館内に流入しやすい。これにより、展示室全体の気密性が低下し、温湿度の安定性が妨げられる一因となっている。

さらに、照明に関しても改修や改善の履歴があるものの、依然として課題が残されている。具体的には、2017 年 7 月に LED 照明への変更が行われ、その後、2018 年には照度の改善を図るため、LED 照明を 2 列から 1 列に変更した。また、ケースの天井全てにピュアマットを設置するなど照明による影響を軽減するための対策も実施した。2021 年には、今回試料を設置したコーナーの天井に、光の拡散や

遮光効果を目的とした乳白色のプラスチックダンボールを設置するなど、照明環境の改善に取り組んでいる。

しかし、これらの改修にもかかわらず、細かな照度の調整が難しく、照明器具の種類や配置によるばらつきが残っている。このように、展示ケース内部においては光の影響が完全には排除されておらず、さらなる改善が課題である。

⑤ 予備調査

予備調査では、展示ケースやロビー、資料室など、館内の主要エリアで照度、紫外線強度、温湿度を測定した。この調査結果をもとに、光環境や保存条件に課題がある箇所を特定し、本調査の測定場所を選定した。

⑥ 本調査

最終的に、調査対象として選定したのは、収容所開所当時の洋紙の原資料を展示する常設展示室 1 の展示ケース内であった(図 2、図 3)。このケースは、収容所の歴史的意義を伝える重要な資料を保護・公開する場であり、資料保存環境における課題をより具体的に把握するためのデータ収集に、最適な場所であった。調査期間は 2023 年 11 月



図 2. ドイツ館常設展示室の展示ケース



図 3. データロガー及び試料の設置の様子

10日から2024年10月23日までの11ヶ月間で、15分間隔でデータを取得した。

⑦測定結果

調査の結果、紫外線強度は全調査期間を通じて検出されなかった。このことは、鳴門市ドイツ館常設展示室1の展示環境における紫外線対策が適切に行われていることを示している。紫外線は資料の劣化を促進する主要因であるため、この結果は展示品の保存環境として非常に良好であると評価できる。

照度に関しては、15分単位での測定結果から、最大で148lxを記録したことが確認された。特に、開館時間中の9時から17時にかけて照明器具が点灯することで照度が上昇する一方で、夜間（19時から翌朝5時）の照度はほぼ0lxを保っており、光による影響が最小限に抑えられていることがわかる。しかし、日中に照度が、洋紙の資料保存に推奨される基準値（50lx以下）を超える時間帯があることが課題として挙げられる。このため、より厳密な光管理の実施が求められる。

温度については、夏季（7月～8月）に最高30.7℃を記録し、冬季（12月～1月）には最低14℃を記録した。季節による温度変動が大きいことが明らかとなっており、資料への影響を抑えるため、より安定した温度管理が重要であると考えられる。

湿度に関しては、年間平均相対湿度46.7%を基準に、最低31%から最高62%の範囲で推移している。特に夏季（7月）は湿度が高く、冬季（12月～1月）は湿度が低下する傾向が確認された。近代の紙資料にとって乾燥は劣化リスクを高めるため、適切な湿度調整が必要である。特に、冬季における低湿度への対策が今後の課題といえる。

⑧展示環境課題の解決について

ドイツ館における展示環境の調査結果から、いくつかの課題が明らかとなった。紫外線が検出されなかった点は評価できる一方、照度や温湿度に関する管理のさらなる強化が必要である。

まず、照度に関しては、平均値が約45lxで安定しているものの、これは日中と夜間の値の差を反映した結果である。特に日中の平均照度は約135lxに達しており、夜間の0lxと大きな乖離がある。展示資料が洋紙であることを考慮すると、近代の洋紙の資料保存に最適な照度はLED照明使用時でも50lx以下に抑えることが望ましい。現在の日中の照度水準では、資料保存環境として適切とは言えず、さらなる照度管理が必要である。この問題を改善するためには、展示室の窓や照明設備に遮光フィルムを設置し、調光可能なLED照明の導入や照明機器の適切な配置を検討することが有効と考えられる。

温湿度については、季節による変動が大きく、夏季には高温多湿、冬季には低温低湿の傾向がある。この変動が展示資料に与える悪影響が懸念される。現時点では、温湿度の変動を抑えるため、展示室に加湿器や除湿器を設置して温湿度の調整を行い、さらに資料の劣化を防ぐため、定期的に原資料の入れ替えや展示中の書籍のページ変更を行う。

(2) 徳島市立考古資料館（以下、「考古資料館」とする）

①所在地

徳島県徳島市国府町西矢野10-1 阿波史跡公園

②運営

公益社団法人徳島市シルバー人材センター（設置者：徳島市）

③展示資料と施設

徳島市立考古資料館は徳島市教育委員会が所蔵する縄文～中世にかけての考古資料約700点を展示している。

展示資料のほとんどが実物で土器・石器が主体になるが、獣骨や貝殻といった動物遺存体、保存処理を済ませた木製品や鉄製品のほか、合成樹脂製の複製品も一部展示している。紙資料のように紫外線による劣化を強く意識しなくてはならない資料は少ない。

考古資料館は一部鉄筋造りを含む鉄筋コンクリート平屋建てで、延床面積は802.5㎡、このうち展示室の面積は200㎡である。当館の建物はだまかに北側の棟と南側の棟に分ける事ができる。北側の棟は西から展示室、展示什器の倉庫、バックヤード・荷解き室、収蔵庫で構成され、南側の棟は西から収容人数約80人の研修室、会議室、図書室、職員事務室、トイレ、職員用の給湯室・休憩室で構成されている。この二つの棟のほぼ中心部分をラウンジもかねた幅広の通路でつなぎ、通路の南端は南側の棟よりも突き出した形状になり、ここが資料館の入り口になる。北を天に見立てると“土”の字を天地逆にしたような平面形を呈している（図4）。南側の棟と通路には窓ガラスを設置して自然光が直接入る構造になっているが、北側の棟については展示什器の倉庫から屋外にでる通用口とバックヤードの車両出入口を除いて自然光が直接入る設備はない。また、通路と北側の棟の接続部分は床から天井に至る仕切りをS字形状に設けており、この仕切りによって通路の窓から入る自然光は遮られる構造になっている。さらに展示室の入り口には観音開きの扉があり、閉館時はこの扉を閉めている。展示室は東側に入り口があり、南壁・西壁・北壁に沿って露出型の展示台を設けており、南側と北側の展示台の前方に覗き込み型の展示ケースを設置している。展示室入り口には人感センサーが取り付けられており、45分間に

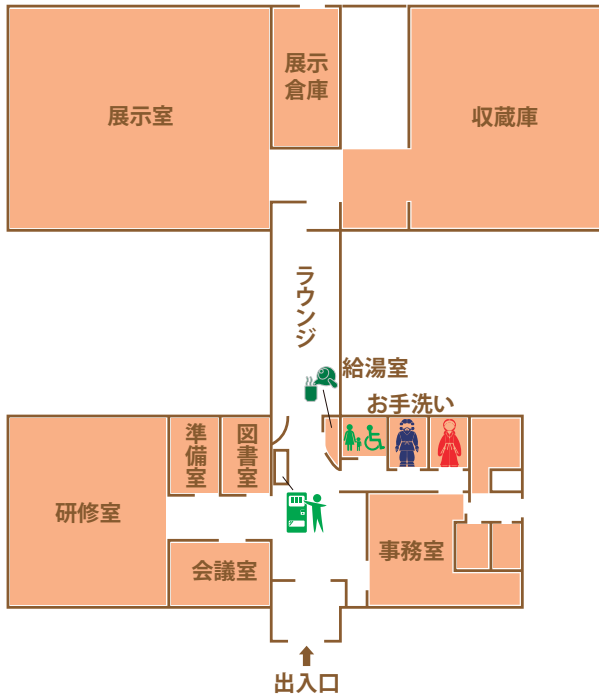


図4. 考古資料館のフロア平面図

わたって人の動きを検知しなかった場合、展示室内の照明を全て落とす仕組みになっている。そのため開館時間中であっても常に照明が点灯しているとは限らない。休館日の展示室は照明を落としたうえで入り口を閉じ完全無人の状態になるが、燻蒸などの作業や企画展の準備を休館日に行っており、その際には照明は点灯している。

1998年に開館して以来展示室の照明は、蛍光灯は紫外線吸収膜付の美術・博物館用蛍光灯（Panasonic FLR40S・L-EDL・NU/M）を使用し、スポットライトにはハロゲン灯（Panasonic ハロゲン電球ダイクロビーム）を用いていた。しかし2016年度に老朽化とみられる蛍光灯安定器の故障が相次ぎ、故障した安定器の代替品も生産終了していたことから、故障した箇所を蛍光灯形のLED電灯（DNライティング SCF-LED1245HL30-APD）に交換した。2019年度にも蛍光灯安定器の故障が相次いだことから、年度末に展示室内全ての蛍光灯を2016年度に交換したものと同一のものに入れ替え、併せてスポットライトについてもLEDタイプのスポットライト（大光電機 LZS92536YBV）に切り替えた。

④展示環境に関する課題

当館の展示環境については長年記録が残されていなかった。そのため温湿度については2021年より温湿度ロガー（HIOKI LR5001）を用いて記録と環境評価を行うようになった。しかし照度や紫外線強度については開館以来観測を行った記録も形跡も無く、それらの環境については学芸員も把握していなかったことから、紙資料の借用について

は長年借用を見送ってきた経過がある。また展示室照明器具の完全LED化を済ませたことで現状の照明環境について明確な数値で把握する必要があった。

⑤予備調査

展示室内の展示台3か所（南側・西側・北側）で照度、紫外線強度、温度、湿度の測定を行った。紫外線はどこからも検出されなかった。照度は、南側と北側の展示台では月ごとの平均でおよそ260lxである。これは後述する本調査時の数値よりやや高めであった。またLEDスポットライト4基と蛍光灯形LED電灯4本の間接照明を用いている西側の展示台では最大で1,027lxを観測した。

⑥本調査

データロガーは南側展示台と西側展示台の角に当たる位置に露出させた状態で設置した（図5、図6）。この場所に設置したのは展示台直上の蛍光灯形LED電灯とLEDスポットの光が当たる位置であり、なおかつ展示物の影を避けて試料を設置できる場所であったためである。

調査は2023年11月15日から行い、測定間隔は15分間とし、翌月初頭にデータを回収しており、現在も継続している。ただし、本調査期間中の記録が一部欠落している。

⑦測定結果

予備調査も含めて全期間にわたって紫外線は検出されなかった。

照度については15分間隔で1カ月間データを確実に記録できた2024年6月、7月、10月の記録について述べていく。15分間隔で記録した場合、1日あたり96回記録をとることになる。96回の記録から最大値と最小値、平均値、積算値を出し、これらの値を基に一ヶ月間を通した最大値と最小値、平均値、積算値で分析した。観測期間中の各月の平均最大値は6月が484.01lx、7月は457.87lx（4日）、10月は518.81lxであった。さらに開館日に限定してみると平均最大値は6月が538.14lx、7月が546.03lx、10月が



図5. 考古資料館でのデータロガー設置の様子

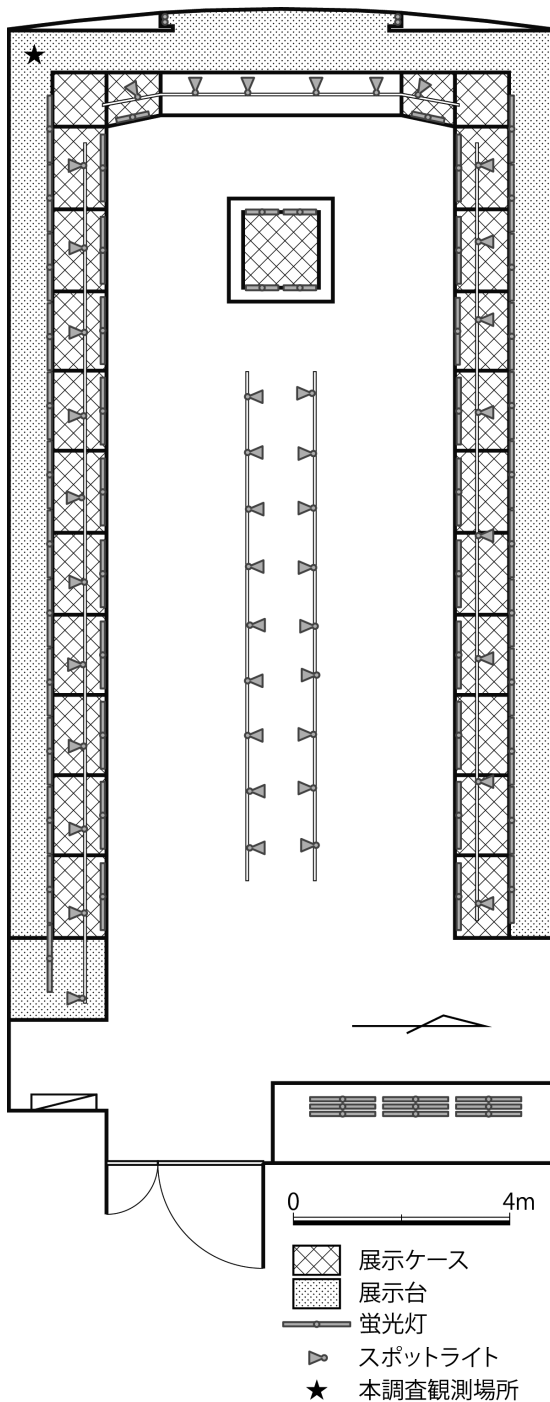


図6. 考古資料館の測定位置図

574.74lxであった。最小値については各月とも0.1lxに満たない数値であり、考古資料館の照度についてはおおきな差は無く安定していると言える。

平均積算値を見ると6月は14039.20lx、7月は14589.08lx、10月は17684.26lxで開館日に限定すると6月は16041.66lx、7月は17260.89lx、10月は17684.26lxであった。積算値になるとばらつきがみられるが、これは開館時間中ではあるが無人のため照明が落ちていた時間の長さや因果関係にあり、照明器具に起因するものではない。

開館時間中に照明が落ちている時の展示室の照度については0.1lxで、閉館中に展示室の扉を閉めて照明を落とした時とはほぼ同じ状態であることも分かった。

⑧まとめ

今回は15分間隔で一か月間安定してデータをとることができた2024年6月、7月、10月分について述べた。1分間隔で記録したデータを見ても当館の照度は550lx前後で安定しており、また、紫外線強度については皆無であったことを考慮すると、外からの自然光の影響は全く受けていない環境であることが分かった。ただし、この結果は展示室の最も奥まった位置での観測であり、入り口付近の照度については今後あらためて観測する機会を設けたい。

(3) 徳島県立近代美術館（以下、「近代美術館」とする）

①所在地

徳島県徳島市八万町向寺山 徳島県文化の森総合公園

②運営

徳島県（徳島県観光スポーツ文化振興センター）県立近代美術館

③展示資料と施設

近代美術館は、「人間」をテーマにした近代・現代の絵画、彫刻、多様な発展を遂げている現代版画、そして徳島県にゆかりのある作品を中心とした、特色のあるコレクションを収集している。

収集の基本方針として、現代美術の動向を国際的視野で捉え、21世紀への展望を開くことを目的に、国内外の優れた作品を収集している。また、現代美術の背景を理解するために近代美術も併せて収集し、近代以降に活躍した徳島ゆかりの作家の作品も対象としている。さらに、一次資料を深く理解するために二次資料も収集の対象とする。

収蔵作品は油彩画、日本画、彫刻、版画、写真、映像など、様々な技法や材料を用いたものが含まれる。特に現代美術作品には、伝統的な制作方法にとらわれず、異素材の組み合わせや合成樹脂の使用など、新しい表現が多く見られる。なお、合成樹脂の一部は紫外線の影響を受けて変質しやすいため、保管および展示に際して注意が必要とされる。

1990年の開館以来、展示室1（690㎡）、展示室2（204㎡）、展示室3（947㎡）のほか、美術館ロビー（243㎡）、屋外展示場（1001㎡）、彫刻の小径など、多様な展示空間で作品を公開している。

展示室2、展示室3は自然光が入ることはない。屋外展示場と彫刻の小径は、屋外環境のため、耐候性のある金属、石材などの作品を設置している。

美術館ロビーには、西側にガラス張りの壁面があり、東

側には展示室1と展示室2の入口付近に屋外展示場へつながるガラス張りの風除室がある。午前中は東側から、午後は西側から強い外光が差し込む。さらに、展示室1内にも、屋外展示場へつながる風除室があり、展示レイアウトによっては封鎖して外光が入らない状態にすることが可能である。

また、展示室3内には休憩室が設けられており、展示内容によっては光の影響を受けにくい作品や展示関連資料を設置することもある。

④展示環境に関する課題

室内展示環境において紫外線の影響を受ける可能性がある場所として、展示室1内の風除室、美術館ロビーの風除室、美術館ロビー、展示室3内の休憩室が挙げられる。これらの場所には、作品への影響を考慮して紫外線カットフィルムが貼られている。しかし、これらに関する紫外線の通年データは十分に揃っていない。

展示室3の休憩室にはガラス張りの壁面が二面あり、屋外は高い壁面に囲まれた空間となっているため、空気が滞留しやすく、冬季には結露が生じることがある。この休憩室は展示スペースとしても利用されることがあるが、その環境について十分に把握されていないため、調査を実施する必要がある。

⑤予備調査

室内展示環境において、紫外線の影響を受ける可能性のある場所で予備調査を実施した。

外光が入るガラス壁面では紫外線が検出された。紫外線は午前8時頃から検出され、各測定場所とも外光が最も強く差し込む時間帯に紫外線が最も強く検出され、午後4時には検出されなくなった。なお、閉館後の午後5時以降には照度、紫外線ともに検出されなかったため、外光に紫外線が含まれていることが確認された。各測定場所とも、ガラス壁面から建物側へ2mほど移動すると紫外線は検出されなかったことから、外光の紫外線による作品への影響はほとんどないと考えられる。

展示室3内の休憩室では、外光による紫外線を検出したが、隣接する展示室3には紫外線の影響はなかった。しかし、休憩室では毎年結露が発生していることから、外光が急激な温度や湿度の変化を引き起こしている可能性があると考えられる。

以上の結果より、本調査は休憩室に年間を通じてデータロガーによる紫外線および照度、温度、湿度について測定と記録を実施し、その特徴を分析することとした。

⑥本調査

データロガーは、展示室3休憩室内、東側ガラス壁面の密接する位置に設置した。このガラス壁面には紫外線カッ

トフィルムが貼られており、一定の紫外線透過を防ぐ効果が期待できる。データロガーの隣には、洋紙劣化の調査に係る試料を設置した(図7、図8)。



図7. 休憩室内風景



図8. 測定風景

調査期間は2024年1月1日から継続中で、本稿では2024年10月8日までのデータを使用した。測定間隔は15分間とした。

⑦測定結果

紫外線は、5分単位の測定結果では日中の時間帯にのみ検出され、 $0.001 \text{ mW/cm}^2 \sim 0.19 \text{ mW/cm}^2$ の範囲内で検出された。一日の中でも10～11時頃(4～10月)が最も値が高い(0.04 mW/cm^2 以上)。月ごとの平均値では7月の値が高く(0.08 mW/cm^2)、6月・7月・8月では 0.006 mW/cm^2 を越えた。逆に1月が低い値(0.0009 mW/cm^2)であった。

照度は、基本的に紫外線強度と連動した値を記録した。15分単位の測定結果では 0.02 lx から 38530 lx を記録した。夜間は19時から翌日5時までの値が平均 11 lx 以下と低い。日中の6時から17時までが 150 lx 以上となり、11時には

10000lx を超える。月ごとの平均値では最低が 1 月の 200lx で、6 月から 9 月は 1000lx を超えるなど年間を通して非常に高い。

気温は、最低気温は 13℃、最高気温は 27℃を記録し、年間を通じて月の平均温度は 13℃から 27℃の間で推移している。

相対湿度は 7 月に最高の 73%，8 月に最低の 42%を記録する。月平均では、1 月と 2 月は 70%を超え、7 月から 9 月にかけて 50%を下回る。冬季に高湿度の環境が続くことが確認できる。

⑧展示環境課題の解決について

展示室 3 休憩室では、日中に紫外線が差し込んでいることを確認した。照度も一時的に 10000lx を超え、平均照度も 835lx となる。このため、設置する作品等は強い光の影響を受けても問題のないものを選択する必要がある。特に照度、紫外線が高い夏季にはロールスクリーンを使用が推奨される。

一方、冬季の結露については、1 月～3 月の照度が著しく低下し、それに伴いガラス壁面付近の温度の低下及び湿度の上昇が推測される。また、ガラス壁面際で非常に高い湿度を記録したが、建物内側の壁面で測定したデータロガーでは平均 53%と安定した値が確認される。したがって、冬季に展示空間として使用する際は、ガラス壁面から距離をとって展示物を設置する必要がある。

(4) 徳島県立博物館（以下、「博物館とする」）

①所在地

徳島県徳島市八万町向寺山 徳島県文化の森総合公園

②運営

徳島県（徳島県観光スポーツ文化部文化の森振興センター県立博物館）

③展示資料と施設

県博物館は、動物、植物、地学、考古、歴史、民俗、美術工芸の 7 つの分野がある総合博物館である。1990 年の開館以来、次の 4 つを基本方針として資料収集と展示を行っている。

- ・徳島の自然と人文に関する資料の全てを収集の対象とする。
- ・地域に根ざしたテーマを設定し、計画的かつ集中的な収集をする。
- ・徳島の概要あるいは特性を把握するため、世界を対象とした比較資料の収集をめざす。
- ・一次資料のみならず、すべての二次資料をも収集の対象とする。

資料の材質としては、保存環境の変動に敏感な紙資料、

反対にそれほど影響を受けないとされる鉱物や化石資料など実に多様な実物資料のほか、復元品や模造品など合成樹脂製品もある。

展示施設は 1990 年に開館した。常設展示室と企画展示室がある。企画展示室は重要文化財公開承認施設で建物の 1 階中央部にあり、構造上自然光は入らない。展示面積は 325㎡である。

常設展示室は建物 2 階にあり、面積は 2495㎡。2021 年 8 月に展示更新しリニューアルオープンした。資料が展示されている展示室内は自然光が入らない構造となっている。しかし、館の入り口周辺の「ロビーゾーン」では、東側がガラス壁面となっており、午前中は非常に明るく、午後には隣接する近代美術館の壁面に日光が反射し、間接的に差し込むこともある。「ロビーゾーン」には、徳島を資料で総合的に紹介する「徳島まるづかみ」が設置されている。ただ、設計段階から自然光の影響が懸念されていたことから、光の影響を受けやすい資料については実物ではなく模造品などを展示している。また、「県民コレクション」は、ガラス天井となっており自然光が差し込む。リニューアル前は休憩コーナーとして利用されており、資料を展示することは想定していなかった構造であった。リニューアルにあたっては、県民との協働活動を紹介する「県民コレクション」として利用されるが、内容によっては資料の展示を想定している。



図 9. 博物館「ロビーゾーン」のすぐ横には自然光が入り込むガラス壁面がある。



図 10. 博物館「県民コレクション」での試料設置の様子

④展示環境に関する課題

常設展の「ロビーゾーン」および「県民コレクション」では、自然光が差し込む(図9, 図10)。常設展を充実させるため展示拡張スペースとしての活用は難しいと思われるが、具体的なデータがないことから、検討の余地が残っている。

⑤予備調査

「ロビーゾーン」において、ガラス壁面を透過して館内に入る外光から紫外線を検出した。紫外線は10時から約1時間で最も強く検出され、16時ごろに検出されなくなった。照度の測定値が、午前中に高く、閉館後の17時以降に検出されなくなることから、紫外線は外光に含まれていることがわかる。ただ、ガラス壁面の際から2mほど建物内側に移動すると紫外線は検出されないことから、「ロビーゾーン」から入った紫外線が常設展に影響を与えることはないと考えられる。

「県民コレクション」では天窓から入ってくる外光から紫外線を検出した。隣接する常設展「徳島の自然と暮らし」や「地球と生命の歴史」では紫外線を検出しなかったことから、影響は「県民コレクション」に限られる。

以上の結果より、本調査は紫外線の影響がより大きい「県民コレクション」で年間を通じてデータロガーによる紫外線および照度、温度、湿度について測定と記録を実施し、その特徴を分析することとした。

⑥本調査

データロガーは、「県民コレクション」の床面に置いたガラスケース内に設置した(図11)。ケースのガラスは紫外線を透過するタイプであり、センサーまで紫外線が到達していることが確認できる。なお、同じケース内に、洋紙劣化の調査に係る試料を設置した。

調査期間は2023年10月1日から継続中で、本稿では2024年10月23日までのデータを使用した。測定間隔は15分間とした。



図11. データロガーと紙試料設置の様子

⑦測定結果

紫外線は、15分単位の測定結果では夜間は検出されなかった。日中は6時から(4月～9月)18時まで(5月～8月)の間で $0.001\text{mW/cm}^2 \sim 0.016\text{mW/cm}^2$ の範囲で検出された。1時間ごとの平均値では、10時～13時の値が高い(各時 0.005mW/cm^2 以上)。月ごとの平均値では4月から8月の値が高く、6月・7月・4月では 0.0024mW/cm^2 を越えた。逆に1月・12月が低い値(0.0007mW/cm^2)であった。

照度は基本的に紫外線強度と連動した値を記録した。15分間隔の測定結果では 0.04lx から 2425lx を記録した。夜間は19時から翌日5時までの値が平均 8lx 以下と低い。まれに $10 \sim 300\text{lx}$ 以上を記録するが、展示替えなどの作業実施が要因である。日中の7時から17時までが 135lx 以上となり、11時には 1000lx を超える。月ごとの平均値では最低が12月の 135lx で、4月から8月は 300lx を超えるなど年間を通してかなり高い。

気温は、最低気温は 14°C 、最高気温は 28°C を記録し、年間を通じて月の平均温度は 19°C から 27°C の間で推移している。

相対湿度は7月に最高の73%、12月と1月に最低の27%を記録する。月平均では、7月と9月は60%を超え、11月から5月にかけて50%を下回る。やや低湿度の環境が長く続く。

紫外線強度・照度ともに、5月に数値が下がり、天候が原因と考えられたが、日照時間との関連性は見られず、原因は不明である。

⑧展示環境課題の解決について

「県民コレクション」で、日中に紫外線が入り込んでいる状況が確認された。照度も平均すると照度 262lx を測ることから、可視光が強い状況にあり、資料の展示には適さない。「県民コレクション」を展示場所として使用するには、照度を下げ、紫外線をカットするために遮光などによる改善が必要である。

(5) 測定結果

紫外線強度、照度、温度、湿度の測定結果のグラフを図12から図19で示す。

5 大正時代の印刷物の劣化試験

(1) 試験の概要

調査対象施設において、紫外線などの光が資料に対してどのような影響を及ぼすかを具体的に考察するため、大正時代の印刷物を試料とし、色彩変化を測定した。測定には、

CM3700 および TES3250 の 2 種類の測定機器を用い、データを収集して劣化の状態を評価した。これらの機器には、以下の特性がある。CM3700 は高精度の色彩計測が可能であり、主に L*（明度：黒から白）、a*（赤緑成分：赤から緑）、b*（黄青成分：黄から青）を正確に測定する。また、TES3250 は実用性を重視した簡易的な色彩測定が可能であり、 ΔE （色差）を含む変化の傾向を把握する際に有効である。測定データの整合性を確保するため、両機器による測定は、同一の試料および条件下で実施し、L*、a*、b* の差分および ΔE （色差）の計算結果を元データと突き合わせ、一貫性を確認した。

以下では、測定結果を基に、未脱酸、水性脱酸、非水性脱酸の 3 つの処理状態と、各施設の環境条件が劣化に与える影響についてまとめる。

(2) 試料の概要

試料には、共著者の一人である長谷川が所有する「東京名所 上野公園櫻花満開之図」と呼ばれる大正時代の印刷物を採用した。この試料を以下の 3 つに分類し、それぞれの施設に設置した。

- 未脱酸・未劣化：脱酸処理を施していない原状態の紙片。
- 水性脱酸処理・未劣化：水性溶液による脱酸処理を施し酸性度を中和した紙片。
- 非水性脱酸処理・未劣化：非水性溶液による脱酸処理を施し酸性度を中和した紙片。

これらの試料は、赤、青、灰、青緑色のインクで着色された部分と無地部分を含み、異なる色素や紙の状態に対する劣化影響を観察することが可能である。試料の経時変化を測定するために色差計を使用し、L*、a*、b* の数値変化から劣化進行を評価した。

(3) 各施設における環境条件と試料の劣化傾向

調査対象となった施設では、それぞれ異なる温湿度や照度条件が確認された。これらの環境が試料に与えた劣化の傾向について以下に示す。

①ドイツ館

調査環境

年間を通じての平均温度は 22.5℃、相対湿度は 46.7% であったが、温度は夏季に 30.7℃、冬季に 14℃ と季節変動が大きい。湿度は 31% から 62% の範囲で推移し、特に冬季の低湿度が目立つ。照度は日中に最大 148lx を記録し、135lx 以上の状態が続くが、紫外線は検出されない。全体として、環境条件は適切に維持されているが、季節ごとの

変動が試料に与える影響については留意が必要である。

1 日の変動については、8 月は温度が 1 日で 25 ～ 30℃ と 5℃ の変動幅を示し、湿度は 47 ～ 50% と安定している。一方、1 月は温度が 15 ～ 19℃ と低めで安定し、湿度も 36 ～ 38% と一定している。

試料の劣化傾向

未脱酸試料

CM3700 の測定では、無地試料の明度（L* 値）は 2023 年 10 月の 78.91 から 2024 年 10 月の 80.49 (+1.58) へと上昇している。一方で、a* 値は 2023 年 10 月の 2.32 から 2024 年 10 月の 1.63 (-0.69)、b* 値も 16.63 から 15.14 (-1.49) へと減少している。これにより、明度の増加とともに赤みと黄色みが減少する傾向が観察された。

TES3250 の測定でも同様の傾向が確認され、L* 値は 2023 年 10 月の 79.69 から 2024 年 10 月の 83.30 (+3.61) へと上昇し、a* 値は 4.36 から 7.04 (+2.68) へ増加、b* 値は 16.98 から 14.50 (-2.48) へ減少している。

青色部分について、CM3700 の L* 値は 2023 年 10 月の 58.94 から 2024 年 10 月の 57.38 (-1.56) へと低下している。また、b* 値も 2023 年 10 月の 3.42 から 2024 年 10 月の -0.20 (-3.62) へと減少しており、青色の退色が進行していることが観察される。

TES3250 の測定では、L* 値が 2023 年 10 月の 58.10 から 2024 年 10 月の 58.47 (+0.37) へとわずかに増加しているが、b* 値は 1.52 から -1.65 (-3.17) へと減少しており、退色の傾向が見られる。

CM3700 と TES3250 の測定結果を比較すると、一部の指標において逆の変化が観察される。例えば、無地部分の a* 値では、CM3700 では減少 (-0.69) が観察される一方、TES3250 では増加 (+2.68) が記録されている。また、青色部分の L* 値においても、CM3700 では低下 (-1.56) が見られるが、TES3250 ではわずかな増加 (+0.37) が報告されている。

このような結果の違いは、実験条件や測定装置の特性の違いに加えて、変動そのものが比較的小さいことが理由の一つとして考えられる。L* 値や a* 値の変化幅がわずかである場合、装置の測定精度や感度、試料表面の微細な違いが結果に影響を与え、装置間で異なる挙動が記録される可能性がある。

特に、L* 値や a* 値の変化幅が 1.5 以下の範囲に留まる場合、微小な変化が装置のアルゴリズムや測定条件によるばらつきとして記録される可能性が高い。このため、観測された変動が真の劣化を反映しているのか、あるいは測定

精度の限界による誤差なのかについては、さらなる検討が必要である。

水性脱酸処理試料

CM3700 の測定では、水性脱酸処理を施した無地試料の L^* 値は 2023 年 10 月の 80.37 から 2024 年 10 月の 81.46 (+1.09) へ上昇した。一方で、 a^* 値は 2023 年 10 月の 1.73 から 2024 年 10 月の 1.16 (-0.57) へ減少し、 b^* 値も 14.50 から 13.31 (-1.19) へと低下した。これにより、未脱酸試料と比較して色彩の変化が緩やかな傾向が観察された。

TES3250 の測定では、 L^* 値が 2023 年 10 月の 82.39 から 2024 年 10 月の 84.84 (+2.45) へと上昇し、 b^* 値は 16.68 から 12.73 (-3.95) へ低下した。また、 a^* 値は 1.98 から 7.24 (+5.26) へ増加したが、全体的な色調の変化に一貫した傾向が見られた。

青色部分に関しては、CM3700 の測定で L^* 値が 2023 年 10 月の 55.01 から 2024 年 10 月の 57.44 (+2.43) へと上昇し、 b^* 値は 2023 年 10 月の -0.74 から 2024 年 10 月の -1.23 (-0.49) へと変化した。TES3250 の測定でも、 L^* 値が 2023 年 10 月の 56.98 から 2024 年 10 月の 56.29 (-0.69) へとわずかに減少し、 b^* 値が -1.08 から -3.86 (-2.78) へと変化している。

非水性脱酸処理試料

CM3700 の測定では、非水性脱酸処理を施した無地試料の L^* 値は 2023 年 10 月の 79.32 から 2024 年 10 月の 80.89 (+1.57) へ上昇した。一方、 a^* 値は 2023 年 10 月の 1.98 から 2024 年 10 月の 1.22 (-0.76) へ減少し、 b^* 値は 16.15 から 14.49 (-1.66) へ変動した。これらの変化は、明度の上昇と色成分の減少が観察されたことを示している。

TES3250 の測定では、 L^* 値が 2023 年 10 月の 82.49 から 2024 年 10 月の 85.00 (+2.51) へ上昇し、 a^* 値は 2.92 から 6.04 (+3.12) へ増加、 b^* 値は 16.39 から 12.76 (-3.63) へ減少した。これにより、無地試料における明度と色成分の変化が確認された。

青緑色部分について、CM3700 の測定で L^* 値は 2023 年 10 月の 43.87 から 2024 年 10 月の 57.17 (+13.30) へ大きく上昇した。一方で、 b^* 値は 14.45 から 11.75 (-2.70) へと減少しており、青緑色部分における明度の上昇と b^* 値の変化が観察された。TES3250 の測定でも、 L^* 値は 2023 年 10 月の 45.32 から 2024 年 10 月の 57.34 (+12.02) へ上昇し、 b^* 値は 13.79 から 16.23 (+2.44) へ変化した。これらの結果は、青緑色部分における明度と色成分の変動を示している。

非水性脱酸処理を施した青緑色部分の測定結果では、明度 (L^* 値) の上昇が確認される一方で、黄青成分 (b^* 値)

の挙動には測定装置間で差異が見られる。この試料は白地に青の斑点が入った構造を持つため、測定時に試料表面のどの部分が計測対象となるかによって結果にばらつきが生じる可能性がある。

しかし、同様の現象が他の試料でも観察されることから、測定条件や装置特性が影響している可能性も否定できない。測定データの変動が試料の実際の変化を反映しているのか、または測定環境に起因するのかを判断するには、測定装置の特性解析や試料位置の統一、繰り返し測定の実施が必要と考えられる。

結論

ドイツ館での調査結果から、脱酸処理を施した試料の中には、明度や色成分の変化幅が小さいものも見られたが、一部の指標では未脱酸試料の方が安定性を示している場合もあった。特に TES3250 での測定結果において、 b^* 値の変化幅は未脱酸試料の方が小さいケースが確認された。これらの結果は、脱酸処理の効果が試料や測定条件によって異なる可能性を示しており、一概に劣化抑制効果を断定することは難しい。また、ドイツ館の環境条件（温湿度の季節変動や照度の影響）が試料に与える影響も考慮し、今後さらなる検討を重ねる必要がある。

②考古資料館

調査環境

考古資料館における環境条件は以下のとおりである。年間平均温度は約 18.66℃、平均湿度は 49.87% である。夏季(7～9月)には平均温度が 28～29℃、湿度が 55～58% と高い値を示し、冬季(1～3月)には平均温度が 12～16℃、湿度が 43～47% まで低下する。このように、季節による温湿度の変動幅が大きい環境である。

照度については、年間平均が約 171lx であり、紫外線は検出されなかった。

1 日の変動については、8 月は温度が 26～30℃、湿度が 56～60% と温湿度ともに安定している。一方、1 月は温度が 12～13℃、湿度が 45～46% と低めで安定している。

試料の劣化傾向

未脱酸試料

無地部分は、CM3700 データにおいて、 L^* 値（明度）が 78.6 から 79.74 (+1.14) とわずかに上昇し、TES3250 でも 80.71 → 82.29 (+1.58) と類似の傾向が確認された。一方、 b^* 値（黄青軸）が低下しており、黄変の進行が示唆された。灰色部分では、CM3700 および TES3250 の両データにおいて、 L^* 値がそれぞれ 54.33 から 56.97 (+2.64) と上昇、

および、55.47 から 53.57 (-1.9) と低下した。赤色部分では、CM3700 では L* 値が 70.7 から 69.67 (-1.03) へ低下し、TES3250 では 70.89 → 72.18 (+1.29) と上昇した。赤色部分の明度は比較的安定しており、a* 値（赤緑軸）の変化も僅かであった。

水性脱酸試料

水性脱酸処理を施した試料は、未脱酸試料と比較して劣化の進行が抑制されたことが確認された。無地部分は、CM3700 では L* 値が 80.4 から 82.01 (+1.61)、TES3250 では 81.26 から 83.19 (+1.93) と明度の上昇が確認された。また、a* 値および b* 値の変動は小さく、両装置で色彩の安定性が維持されていた。青色部分は、CM3700 では L* 値が 45.9 から 47.14 (+1.26)、TES3250 では 41.71 から 45.06 (+3.35) と明度が上昇した。TES3250 データでは a* 値が -16.33 から -18.43 と変化し、鮮やかな青色が保持されていた。赤色部分は、明度 (L* 値) の上昇が顕著であり、CM3700 では 62.7 から 61.39 (-1.26)、TES3250 では 68.01 → 71.93 (+3.92) と赤色の鮮やかさが維持されていた。

非水性脱酸試料

非水性脱酸処理試料では以下の結果が得られた。無地部分は、LCM3700 では L* 値が 76.2 から 78.17(+1.94)、TES3250 では 76.26 から 81.51 (+5.25) と明度が上昇した。また、a* 値および b* 値の変動が小さく、色彩の保持効果が高いことが示された。また、灰色部分は、L* 値は CM3700 で 51.9 から 53.33 (+1.39)、TES3250 で 50.51 から 53.7 (+3.19) と僅かに変化が見られた。赤色部分は、CM3700 では L* 値が 73.8 から 74.40 (+0.61)、TES3250 では 73.89 から 75.82 (+1.93) と僅かに上昇した。また、赤色部分の a* 値について、CM3700 ではわずかな低下 (a* 値: 9.3605 から 9.2961, -0.0644) が見られたが、TES3250 では a* 値が上昇 (a* 値: 15.89 から 16.75, +0.86) した。

結論

考古資料館での調査結果に基づき、未脱酸試料および脱酸処理試料のいずれにおいても、明度や色彩の変動は比較的小さく、全体的に劣化進行が抑制されている傾向が確認された。特に、未脱酸試料では明度や色彩の安定性が高く、顕著な変化は観察されなかった。一方で、脱酸処理試料では処理方法や試料の色によって明度や色彩の変化が異なる傾向がみられた。例えば、水性脱酸処理試料では青色や赤色部分で明度の維持が認められ、非水性脱酸処理試料では灰色部分で同様の傾向が確認された。

これらの結果から、考古資料館の試料は全体として劣化

が進行しにくい環境下にあることが示唆される。ただし、試料ごとの脱酸処理効果の違いや色彩の変動については、引き続き詳細な検証が必要である。

③ 近代美術館

調査環境

近代美術館の環境調査において、測定期間の平均温度は 26.94℃、相対湿度は 44.16% であることが確認された。夏季 (7～9 月) の平均温度は 27℃ 近くに達し、特に 8 月は 27.85℃ を記録した。一方、10 月には 24.56℃ まで低下し、季節変動が顕著である。湿度に関しては、夏季には相対的に低く、42.21% (8 月) と記録されたが、10 月には 50.31% まで上昇した。

照度については、年間平均が 1233.23lx と高い値を示し、夏季には特に照度が増加し、7 月には 1584.69lx を記録した。紫外線強度は、年間を通じて平均 0.00622 mW/cm² であった。

1 日の変動については、8 月は温度変化が小さい一方、湿度は 40～50% の範囲で 10% ほどの変動が見られた。

試料の劣化傾向

未脱酸試料

未脱酸試料では、時間の経過とともに明度 (L* 値) が変化した。無地部分において、CM3700 データでは、77.97 から 82.36 (+4.39) と、全期間を通じて明度が上昇している。同様に TES3250 でも 80.3 から 81.23 (+1.2) と類似した傾向を示した。これらの結果から、使用した測定機器によって若干の差が生じているものの、全体的に明度が上昇していることが示唆された。また、黄青成分 (b* 値) についても 17.07 から 20.01 (+2.94) と変化が見られた。

灰色部分では明度が 52.11 から 45.92 (-6.19) と大幅に低下し、黄青成分 (b* 値) もわずかに変動した。赤色部分では、CM3700 で明度が 70.03 から 77.79 (+7.86) へと大幅に上昇し、a* 値は 12.19 から 6.51 (-5.68)、b* 値が 16.75 から 11.48 (-5.27) へと低下し、劣化傾向が確認された。

水性脱酸処理試料

水性脱酸処理を施した試料では、未脱酸試料と比較して劣化が緩やかであることが期待されるが、実際には明度や色彩成分の変動が顕著であり、効果は限定的である可能性が高い。CM3700 での測定結果では、赤色試料の明度 (L* 値) が 70.03 から 74.83 (+4.8) と上昇している。同様に、赤緑成分 (a* 値) は 6.91 から 3.78 (-3.13) と一貫して低下しており低下傾向が確認された。黄青成分 (b* 値) は 13.86 から 8.36 (-5.5) と色相の変化が顕著であることを

示している。

さらに、青色部分においても明度（L* 値）が 71.29 から 75.54（+4.25）と上昇し、黄青成分（b* 値）が 6.67 から 0.02（-6.65）と急激に低下している。この変動幅は、脱酸処理の保存効果が限定的であることを裏付けるものである。

また、TES3250 での測定結果では、明度（L* 値）が 71.93 から 74.86（+2.93）へ上昇し、赤緑成分（a* 値）は 17.19 から 14.12（-3.07）へ、黄青成分（b* 値）は 17.91 から 13.01（-4.9）へ低下した。この結果から、赤緑成分および黄青成分の低下により、試料の色相が変化したことが示唆される。特に、赤緑成分と黄青成分の顕著な低下が確認され、この結果から色相の変化が生じていることが示唆される。明度の上昇と相まって、試料の色味が変化したことがわかる。

非水性脱酸処理試料

非水性脱酸処理試料では、明度（L* 値）および色彩成分の変動が観察され、劣化抑制効果が限定的である可能性が示唆された。CM3700 による測定結果では、青緑色部分の黄青成分（b* 値）は 6.67 から -0.77（-7.44）と低下し、明度（L* 値）の変動は 29.16 から 30.54（+1.38）とわずかに上昇している。また、灰色試料では、明度（L* 値）が 52.11 から 56.80（+4.69）と上昇し、黄青成分（b* 値）が 21.29 から 19.44（-1.85）と若干の変動が見られた。このことから、非水性脱酸処理が、色彩の安定性を完全には保証しないことも示された。

無地部分において、明度（L* 値）は 76.01 から 56.80（-19.21）と大きく変動しており、黄青成分（b* 値）は 18.17 から 9.36（-8.81）と一貫して低下している。この変化は、非水性脱酸処理が洋紙の劣化を完全には抑制できていないことを示している。特に、2024 年 5 月から 2024 年 10 月にかけて明度が急激に低下していることから、保存環境や測定条件の影響が考えられる。

結論

本調査の結果、近代美術館における試料の劣化傾向と保存処理の効果について、いくつかの重要な知見が得られた。まず、保存環境における高温・高照度が試料の明度変化や色彩成分の変動に寄与する要因であることが示唆された。特に夏季の環境条件は、劣化を加速させる可能性が高いことが明らかとなった。

未脱酸試料については、材質や色相による劣化の進行に差異が見られ、灰色部分が特に劣化の影響を受けやすいことが分かった。水性および非水性脱酸処理試料においては、

いずれも保存効果が限定的であることが確認され、特に赤色や青色の試料における色相変化が顕著であった。このことから、現行の保存処理方法では劣化の進行を十分に抑制することが難しいことが示された。

さらに、測定結果の変動には、測定機器や保存環境の影響が含まれている可能性があり、これらを考慮したデータの再評価が必要であることが示唆された。今後の研究では、異なる保存処理法の比較や、長期間にわたる試料保存効果の再検討を進めることが重要である。

④博物館

調査環境

徳島県立博物館における環境条件は年間平均温度 22.75℃、相対湿度 50.01% である。季節ごとの変動幅が大きく、夏季（7～9 月）には平均温度が 25.99～26.57℃、湿度が 58.12～64.19% に達する一方、冬季（1～3 月）には温度が 18.34～20.02℃、湿度が 40.71～43.51% と低い値を示す。このように、温湿度の季節変動が試料に与える影響が懸念される。照度は年間平均 266.27lx であり、特に夏季（6～8 月）には 317～376lx と高照度の期間が観察された。紫外線強度は平均で 0.00166 mW/cm² が検出された。

1 日の変動については、8 月は温度が安定しており、湿度は 50～60% の範囲で 10% の変動が見られる。1 月は温度が 16～17℃、湿度が 44～45% と低めで安定している。

試料の劣化傾向

未脱酸試料

未脱酸試料では、保存期間中に明度（L* 値）の上昇が確認され、劣化の進行が示唆される。CM3700 の測定結果によれば、無地部分の明度（L* 値）は 79.18 から 82.02（+2.84）と上昇した。また、青色部分では明度（L* 値）が 56.01 から 68.90（+12.89）の大幅な上昇を示し、赤色部分の明度は 74.58 から 77.22（+2.64）と少々上昇した。特に青色部分において、明度の上昇が顕著であり、退色が進行していると考えられる。

一方、TES3250 の測定結果では、無地部分の明度（L* 値）が 80.07 から 85.63（+5.56）へと上昇し、青色部分では 55.36 から 60.04（+4.68）と上昇が見られた。赤色部分では 75.59 から 81.01（+5.42）と上昇しており、TES3250 のデータでも劣化が進んでいることが確認された。

水性脱酸処理試料

水性脱酸処理を施した試料では、未脱酸試料と比較して劣化の進行が抑制されていることが示された。CM3700 では、無地部分では明度（L* 値）が 80.48 から 83.50（+3.02）

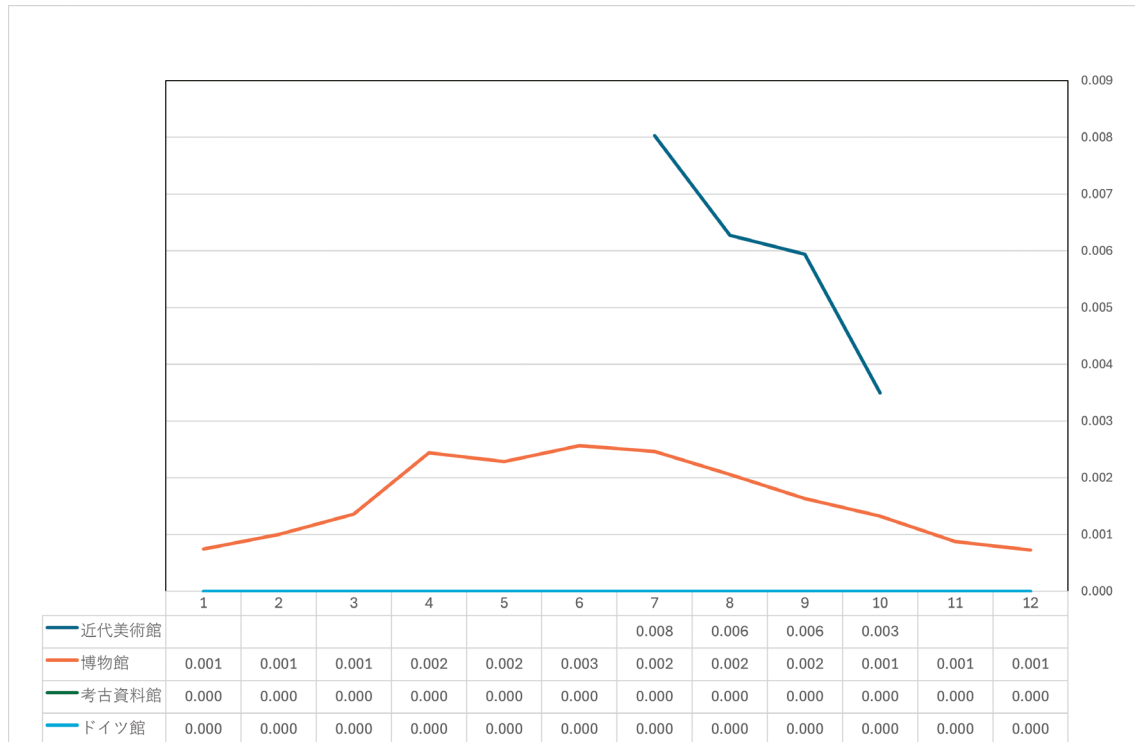


図 12. 紫外線強度（月平均）の変動

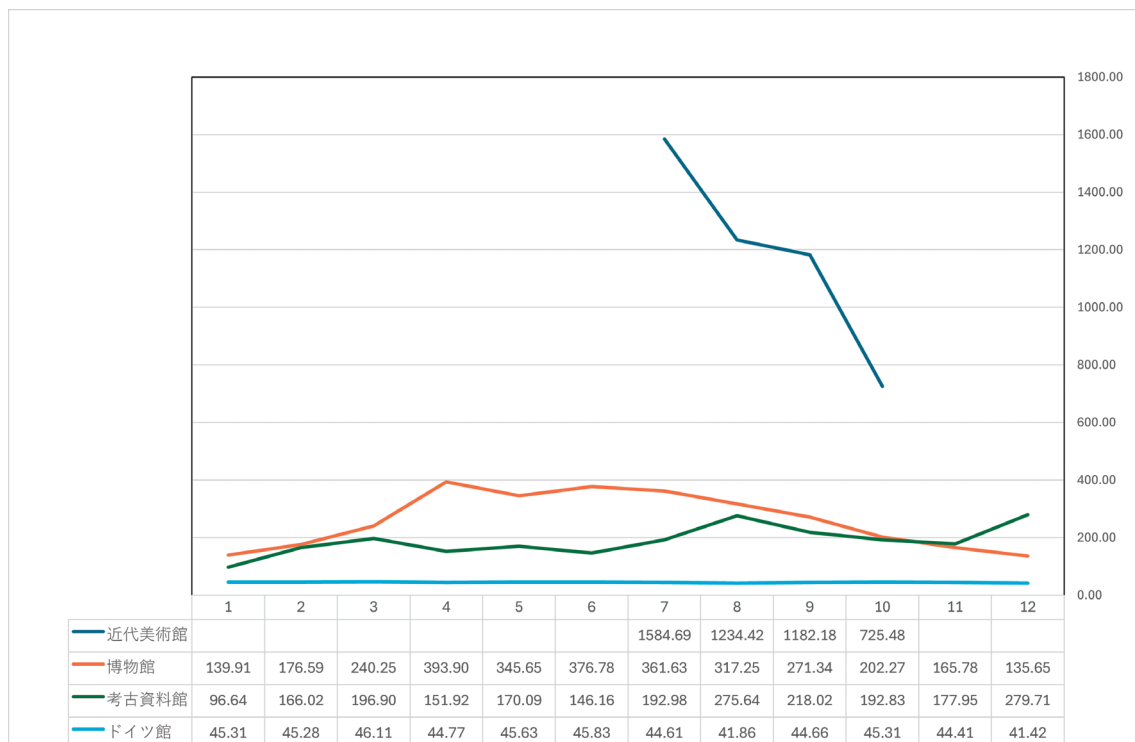


図 13. 照度（月平均）の変動

と上昇したが、 a^* 値および b^* 値の変動は限定的であり、色彩の安定性が保たれている。青色部分では明度 (L^* 値) が 68.84 から 71.51 (+2.67) と上昇し、退色は抑制されている傾向が見られる。赤色部分では明度 (L^* 値) が 70.85 から 77.39 (+6.54) と比較的大きな上昇を示しており、特に赤色部分で劣化が進行している可能性がある。

TES3250 の測定では、無地部分の明度 (L^* 値) が 83.10 から 87.27 (+4.17) と上昇したが、 a^* 値の変化は軽微で、色の安定性が維持されている。青色部分では 70.09 から 74.27 (+4.18)、赤色部分では 73.94 から 80.80 (+6.86) の上昇が見られた。これらの結果から、赤色部分については水性脱酸処理が明度変化を十分に抑制できていない可能性



図 14. 温度（月平均）の変動

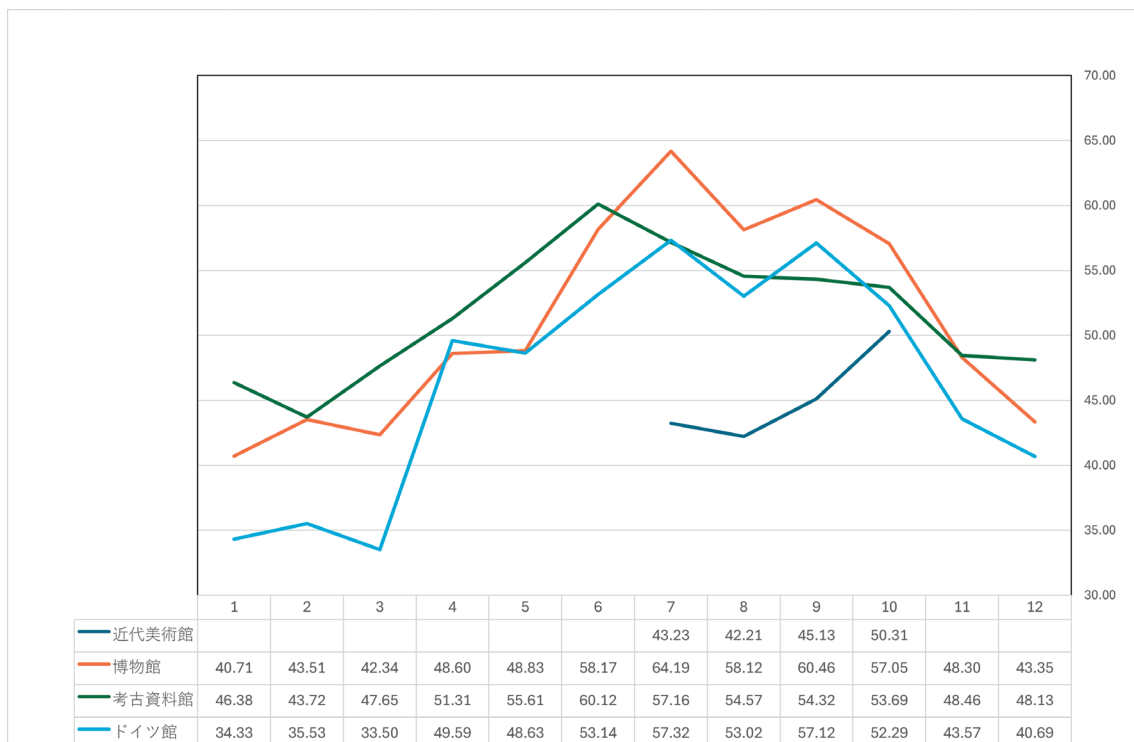


図 15. 湿度（月平均）の変動

がある。

非水性脱酸処理試料

非水性脱酸処理試料では、明度の変化がさらに小さく、劣化の進行が抑制されていることが確認された。CM3700では、無地部分では明度（L* 値）が 77.68 から 82.48 (+4.80)

と上昇し、青色部分では明度（L* 値）が 59.70 から 65.24 (+5.54) と上昇増加しているが、一定の鮮明さが維持されている。赤色部分では明度（L* 値）が 69.02 から 75.18 (+6.16) の上昇を示しており、全体的に一定の変化が観察されたが、劣化抑制が十分でない部分も見られる。

一方、TES3250 では、無地部分の明度（L* 値）が 80.78

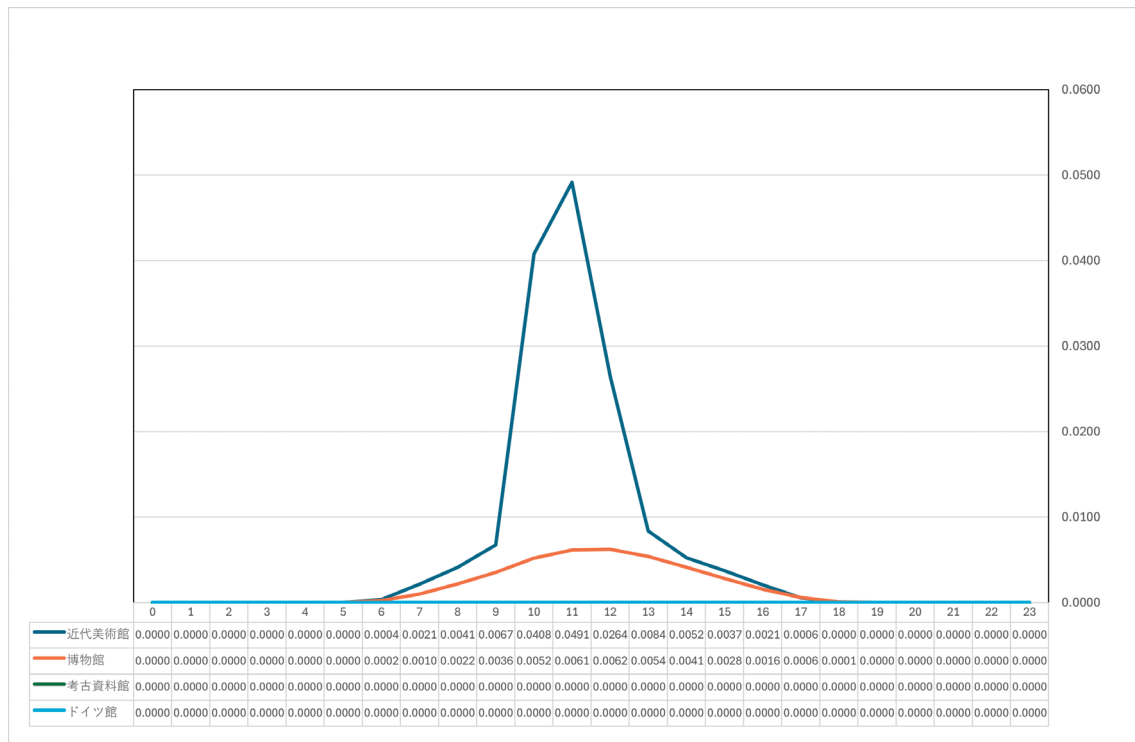


図 16. 紫外線強度（時間平均）の変動

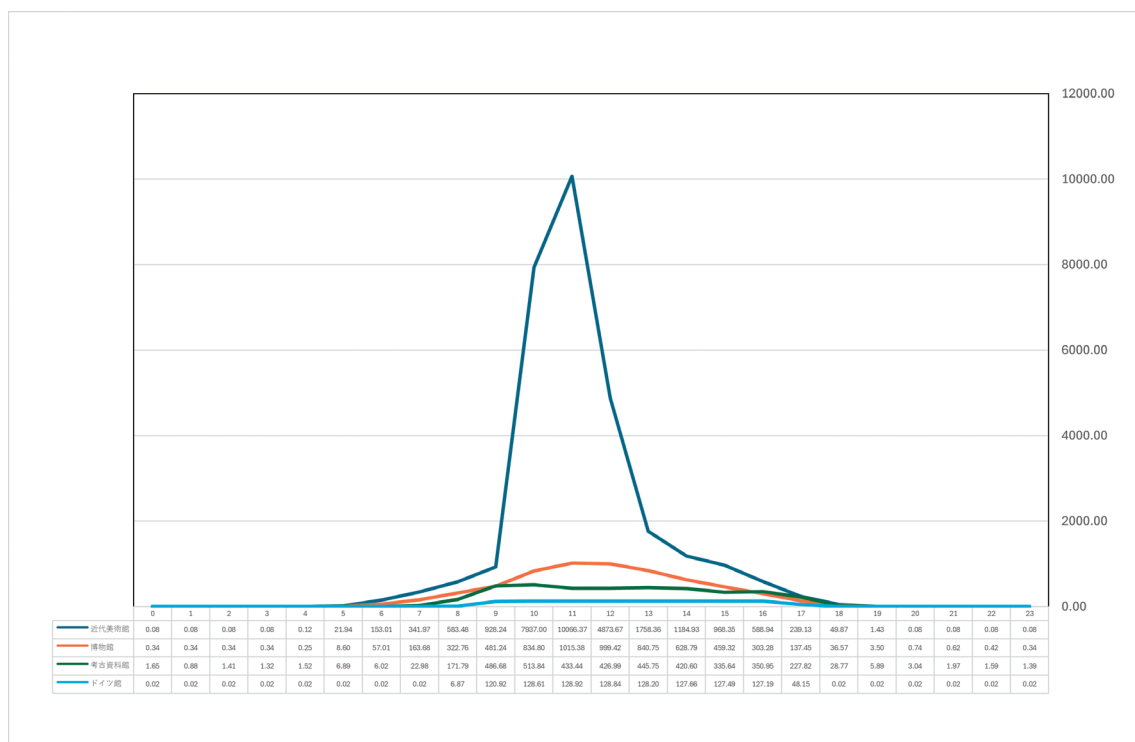


図 17. 照度（時間平均）の変動

から 85.90 (+5.12), 青色部分では 61.66 から 68.63 (+6.97) の上昇を示し, 赤色部分では 72.85 から 81.03 (+8.18) の上昇を示しており, 未脱酸試料と比較してすべての部分で劣化が進行していることが確認された。

結論

博物館での調査結果から, 脱酸処理試料は一部で劣化の進行が抑制される傾向が見られる一方で, 未脱酸試料よりも劣化が進行している部分も確認された。特に水性脱酸処理試料では, 青色および無地部分で劣化抑制が見られる一方で, 赤色部分では未脱酸試料を上回る明度の変化が観察さ

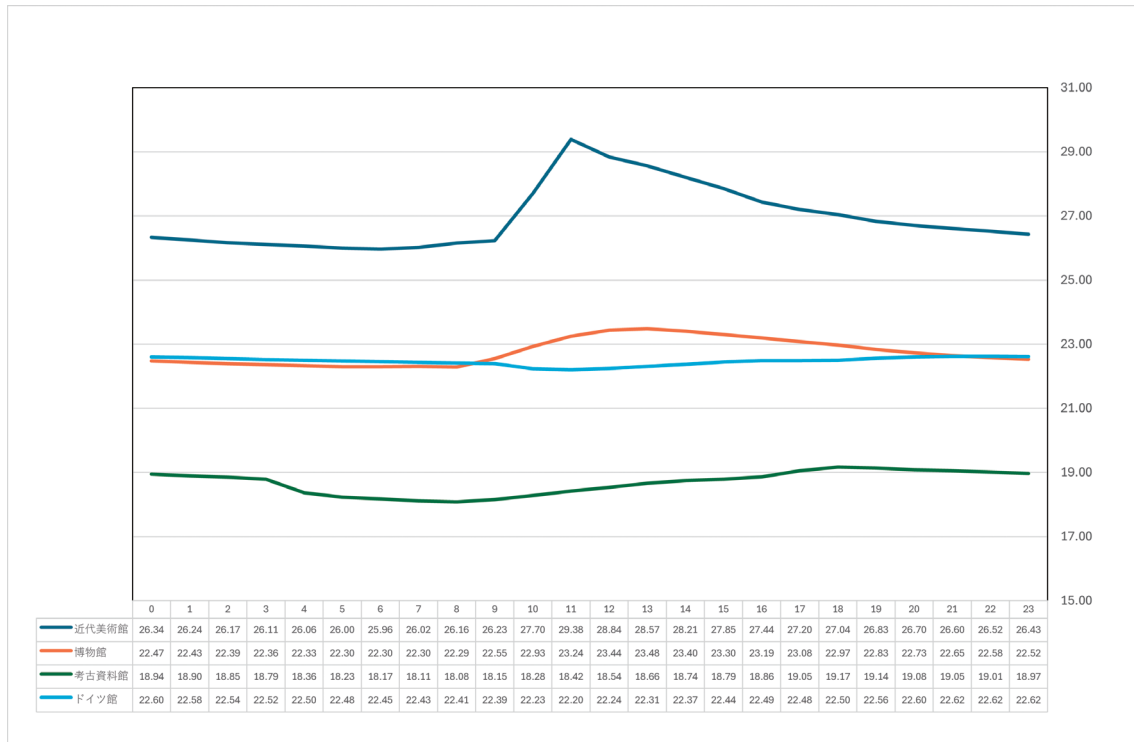


図 18. 温度（時間平均）の変動

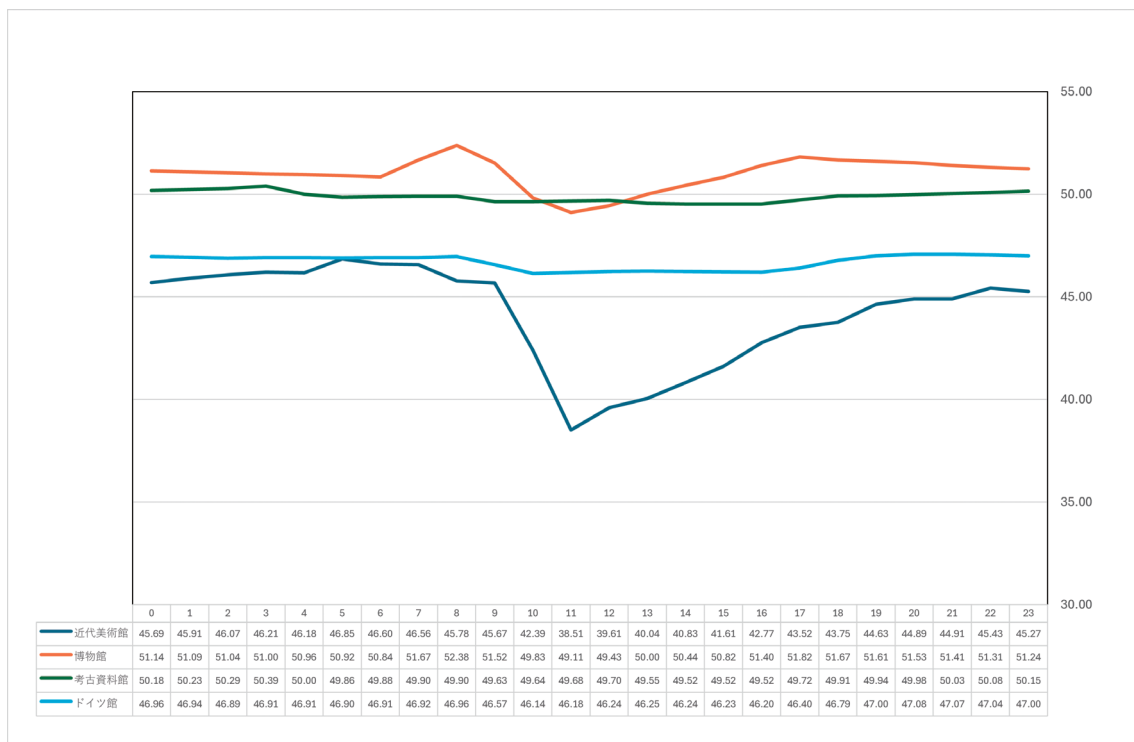


図 19. 湿度（時間平均）の変動

れた。非水性脱酸処理試料についても、赤色部分を中心に劣化が進行しており、効果が限定的であることが示された。また、調査環境として、大きな季節変動が試料に影響を与える可能性が示唆された。特に夏季には高照度（317～376lx）も観測され、これが試料の色彩変化に寄与している可能性がある。

以上の結果から、脱酸処理が劣化抑制に寄与する一方で、条件によっては未脱酸試料よりも劣化が進行することが確認され、環境条件と保存方法のさらなる検討が必要である。

（4）劣化要因の考察

① 環境条件と劣化の関連性

各館の環境条件を比較した結果、劣化の進行に影響を与える主な要因として以下の3点が推測される。

温湿度の季節変動

ドイツ館では、夏季に30.7℃、冬季に14℃と温度変動幅が最も大きかった。湿度も31%～62%と広い範囲で推移し、冬季の低湿度が青色試料の退色進行を助長した可能性がある水性脱酸処理を施した試料では退色が顕著であり、乾燥環境が光や酸素による劣化を加速させたと考えられる。

一方、考古資料館では、冬季に湿度が43%～47%と低下する一方、夏季には55%～58%と上昇し、極端な変動は見られない。この安定した環境下では青色部分の劣化が抑えられる傾向が見られた。ただし、灰色部分で暗化が進行する現象が観察され、湿度変動が試料の特定部分に影響を与えた可能性がある。

全体として、極端な低湿度や高湿度環境が長期間続く場合、試料にストレスを与え、物理的安定性に影響を及ぼし、劣化を促進する可能性が高い。

照度と紫外線

ドイツ館では、照度は最大148lxであり、近代の洋紙にとってはやや高めと考えられる。一方で、紫外線が全調査期間を通じて検出されなかった点は、保存環境において有利である。考古資料館では、年間平均照度が171lxであり、紫外線は検出されなかった。このため、照度や可視光線が無地や青色部分の退色を引き起こした一つの要因と考えられる。

一方、近代美術館では、年間平均照度が1233lxと非常に高く、紫外線も検出された（平均値：0.00622 mW/cm²）。このような環境では、全試料に対して、紫外線と可視光線が複合的に影響を与えた可能性がある。

博物館では、年間平均照度が266lxで、夏季には317～376lxの高照度が確認され、紫外線も微量ながら検出された（平均値：0.00166 mW/cm²）。青色部分では明度が大きく上昇し、無地部分でも明度の上昇が見られ、色味が変化した。これらの結果は、照度および紫外線への曝露は資料保存において重要な課題であり、これらが保存環境に与える影響を具体的に検証する上で、各施設に応じた保存対策が求められることを示している。

脱酸処理の効果とインクへの影響

水性脱酸処理と非水性脱酸処理では、試料の劣化抑制効果を十分に確認することができなかった。特に、無地部分においても、未脱酸試料と脱酸処理試料の間に顕著な差異

が見られず、劣化が抑制されない結果が得られた。

インクへの影響については、水溶性のインクや顔料を含む記録資料に対しては、非水性脱酸処理が適しているとされる。一方、本研究の結果からでは、水性脱酸処理と非水性脱酸処理の色差（ ΔE ）が、未脱酸試料よりも大きくなる事例が見られ、大正期の石版印刷に用いられたインクの化学的安定性に対する非水性脱酸の効果は、十分に実証されなかった。この現象は、この大正期の試料の特性と照度や紫外線の影響が大きいことを示唆している。

さらに、無地部分でも脱酸処理が劣化進行を抑制する効果は確認されなかった。これらの結果は、脱酸処理が紙およびインクの化学的安定性に必ずしも寄与していない可能性を示している。このように、特定の条件下において十分な効果が確認されず、さらなる検討が必要であることが示唆された。

したがって、保存環境の改善とともに、洋紙とインク素材に対する保護策や脱酸処理の効果を再評価し、さらに検討する必要がある。

②劣化進行の傾向

表1に各試料の劣化進行について比較を示す。

6 まとめ

本研究では、異なる保存環境を有する4つの施設における紫外線および照度の影響を中心に、展示環境が資料の劣化進行に与える影響を評価した。その指標の一つとして大正期の洋紙印刷物のインクの変化を数値化し、劣化を具体的に検証した。試料の劣化を最小限に抑えるため、以下の方法を実施することが推奨される。具体的には、温湿度の管理、紫外線の遮断、照度の調整、定期的な環境監視が必要であり、施設ごとの特性に応じた対応が求められる。

以下に主要な結論をまとめる。

1. 各施設における紫外線の強度と照度が異なり、特に紫外線が検出された近代美術館および博物館では、照度が高く、紫外線の影響が試料の退色進行に顕著に影響を与えた。
2. 照度が高い環境では、青色試料の退色が進行し、特に近代美術館では年間平均照度が1233lxに達し、青色および赤色部分に強い影響を与えた。紫外線強度が高く、照度が適切に管理されていない環境では、劣化が加速する可能性がある。

表 1. 試料の劣化進行比較

館名	試料の種類	明度 (L*) の変化	色差 (ΔE) の変化	備考	環境の影響の可能性
ドイツ館	未脱酸試料	わずかに上昇	小さい		
	水性脱酸試料	わずかに上昇	小さい		
	非水性脱酸試料	明度上昇	小さい	青色部分の明度が上昇	冬季の低湿度
考古資料館	未脱酸試料	わずかな変化	わずかな変化		
	水性脱酸試料	わずかな変化	わずかな変化		
	非水性脱酸試料	わずかな上昇	わずかな変化	無地の明度が上昇	照度の影響
近代美術館	未脱酸試料	明度低下および上昇	明確な変化	赤色部分が劣化傾向、灰色部分では明度が低下	高照度と紫外線
	水性脱酸試料	明度上昇	明確な変化	赤・青色部分が劣化傾向	高照度と紫外線
	非水性脱酸試料	明度上昇および低下	明確な変化	無地は明度低下、灰色部分は明度上昇	高照度と紫外線
博物館	未脱酸試料	大幅な上昇	小さい	青色部分は退色進行	夏季の高照度
	水性脱酸試料	明度上昇	明確な変化	赤色部分の明度が上昇	夏季の高照度
	非水性脱酸試料	明度上昇	明確な変化	無地・赤・青色部分が退色傾向	夏季の高照度

3. 水性脱酸処理および非水性脱酸処理は、紫外線および照度による劣化を完全に抑制する効果は確認できなかった。

4. 紫外線および照度の強さを管理することが、資料の劣化を抑えるためには極めて重要である。特に展示環境における紫外線遮蔽対策と照度制御の強化が求められる。

本研究の成果を基に、今後の保存計画には以下の点が求められる。各施設での紫外線および照度管理の強化が必要であり、特に展示室での紫外線遮蔽および照度制御の徹底が重要である。また、試料の性質や保存目的に応じて、個別の保存方法の選択が不可欠である。

さらに、本研究の結果から、水性および非水性脱酸処理が展示環境での劣化抑制に十分な効果を発揮しない可能性が明らかになったため、脱酸処理の再評価や改良も必要である。

本調査の結果を基に、今後も継続的な紫外線および照度、温湿度のモニタリングを実施する予定であり、これにより環境条件の変化に伴う劣化進行の詳細なデータを収集し、

より精密な保存対策を立案することが可能となる。また、新たな保存技術や改善策を試験的に導入し、その有効性を評価することで、資料保存における最適な手法を確立することを目指す。

今回の研究結果は、紫外線と照度が主に資料の劣化に与える影響が大きいことを示すとともに、脱酸処理がその影響を抑制するうえで十分でないことを明らかにした。脱酸処理の効果は試料やインクの種類によって異なる可能性があり、先行研究において、上質紙や中質紙においては劣化抑制効果が認められる一方、コート紙にはほとんど効果がないとされている（岡山隆之，2009）。本調査でも、試料やインクによる違いが脱酸処理の効果に影響を与えることが示唆された。

今後はこれらの要因をさらに詳細に検討する必要がある。これらの管理が資料保存において最も重要であることが確認された。本研究で得られた知見は、資料保存に関わる実務者や研究者にとって基盤情報として活用され、将来的な保存技術の発展に寄与することが期待される。

引用文献・参考文献

- ARNEY, J.S., 1979, JACOBS, A.J. and NEWMAN, R., The Influence of Deacidification on the Deterioration of Paper, JAIC, Vol.19, No.1, 34-41.
- ARNOLD, R.B. 2000, ASTM's Paper Aging Research Program, AIC The Book and Paper Group Annual, Vol.19.
- BOONE, T., KIDDER, L., and RUSSICK, S., 1998, Bookkeeper@ for Spray Use in Single Item Treatments, Paper delivered at the Book and Paper Specialty Group Session, AIC 26th Annual Meeting.
- TEYGELER, R., 2004, Preserving Paper - Recent Advances, Managing Preservation for Libraries and Archives. Current Practice and Future Developments, 83-112.
- 馬淵久夫他. 2004. 文化財科学の事典, 朝倉書店.
- 文化庁. 国宝・重要文化財の公開に関する取扱要項の改訂について. 文化庁ウェブサイト (平成 30 年), <https://www.bunka.go.jp/> (参照日: 2024 年 12 月 13 日)
- (財)元興寺文化財研究所. 2001. 国立公文書館所蔵公文書等保存状況等調査, 国立公文書館.
- (財)元興寺文化財研究所. 2002. 国立公文書館所蔵資料保存マニュアル, 国立公文書館.
- 長谷川純子. 大正期印刷物「板東俘虜収容所」資料に関する保存調査—蛍光 X 線分析, pH 測定, 脱酸処理と劣化促進試験を通して—. 青島戦ドイツ兵俘虜収容所研究誌 第 20 号 (2025 年刊行予定)
- 国立国会図書館収集書誌部. 2010. 国立国会図書館における平成 21 年度の大量脱酸性化処理試行に関する結果報告, 国立国会図書館.
- 三浦定俊, 佐野千絵, 木川りか. 2004. 文化財保存環境学, 朝倉書店.
- 岡山隆之. 2009. 大量脱酸性化処理の有効性調査 - 経年図書に対する脱酸性化処理の効果に関する調査 -. 国立国会図書館委託調査報告書
- 園田直子編. 2011. 紙と木の保存科学, 第 2 版, 岩田書店.
- 徳島県立博物館. 2023. 徳島県立博物館年報 第 32 号 (令和 4 年度) 徳島県立博物館.
- 吉田直人. 2018 光による資料への影響の抑制と白色 LED 展示照明の現状について. p. 22-27. 公益財団法人文化財虫菌害研究所.

図版出典

図 4 徳島市立考古資料館ホームページ「資料館フロア平面図」(<http://www.tokushima-kouko.jp/images/floor.png>)を利用.

注

照度は原則として 150lx 以下. ただし絵画の照度は 100lx 以下, 版画の公開日数は年間延べ 30 日以内で照度は 50lx 以下とする. 漆工品, 甲冑類の照度は 100lx 以下とする. 染織品の照度は 80lx 以下とする. 書跡・典籍・古文書: 照度は 100lx 以下とする. 近代の洋紙を利用した文書・典籍類, 図面類, 写真類などの照度は 50lx 以下としている.

2 各施設の建築年は, 徳島県立博物館, 徳島県立近代美術館は 1990 年, 鳴門市ドイツ館は 1993 年, 徳島市立考古資料館は 1998 年である.