

第5章. 文化財資料の劣化保存状態の調査

5.1. 目的

文化財保存の環境基準を設定するには環境と劣化との関係が基礎になるが、文化財を温度や湿度などが変化する実環境下に置き試験することはできない。それに代わる方法として、現状の資料劣化が過去長期間に亙りその収蔵環境下に置かれた結果であると見なし、環境と劣化との関係を推定することが考えられる。そのような調査を数多くの事例に行い、環境条件と劣化程度との間に相関が得られるならば、それに基づき環境基準を作成することができる。そのような評価手法の可能性について検討する。

5.2. 研究の方針：環境基準作成の考え方と手順

5.2.1. 手順

- (1)収蔵施設と収蔵物の選定
- (2)収蔵施設の内外環境（収蔵物の周辺環境）の計測
- (3)収蔵施設・収蔵ケース内外および収蔵物の温湿度シミュレーションモデルの作成
- (4)過去の履歴調査と代表年気象・運用データの作成
- (5)代表年気象・運用データを入力とする温湿度シミュレーション
- (6)収蔵物の劣化程度の評価
 - ・専門家による劣化評価
- (7)収蔵物の1年間の温湿度解析結果と劣化の関係評価
 - ・(5)(6)を総合して、収蔵物の状態値（およびその履歴）と劣化程度との関係を決定

5.2.2. 考え方

以上の手順の考え方の中心は、収蔵物の温湿度（およびその履歴）と劣化程度の関係の明確化であり、周辺環境の及ぼす影響はそれを入力とした収蔵物の温湿度履歴を解析することにより間接的に評価される。

5.3. 検討事項

5.3.1. シミュレーションモデル

- ・日本の木造収蔵施設や地上に建つRC造収蔵施設などでは、1年間のシミュレーションで十分周期定常に近い状況が得られるだろう。地下建造物では数年の計算が欲しい。
- ・温湿度の変化幅、変化速度などは典型的な建物についてのシミュレーションで十分推定できるのではないか？建物の類型化が必要
- ・収蔵物の温湿度履歴のシミュレーションも、条件によっては収蔵ケース内の温湿度環境が分れば十分な精度で推定できる可能性がある。その場合には、収蔵ケースや収蔵物の組込みは必要ではないかもしれない。

5.3.2. 劣化と収蔵物温湿度履歴との対応：評価指標の選択

- ・年平均（温度・湿度）
- ・年周期の振幅（温度・湿度）
- ・数日周期の振幅（温度・湿度）
- ・時間レベルの変化の変動幅・出現頻度
- ・Fourier 解析をベースとするが、特異な値をどう考慮するか。
- ・劣化程度の評価尺度をどうするか。

5.3.3. 収蔵物における多様性

(1)収蔵物の種類

- ・収蔵物は多岐に亙り、その温湿度状態も異なるため、収蔵物の種毎の検討が必要

(2)地域や収蔵施設の違い

- ・同様な収蔵施設や収蔵物でも、収蔵施設の存在する地域や過去の履歴が大きく異なる場合には以上の検討が必要。それにより劣化－温湿度履歴に関するデータが豊富となる。

(3)人為的な変化

- ・虫干しなどの通常の状態とは異なる環境状況の影響も考慮要（シミュレーションも）

5.3.4. 文化財修理報告書の利用

5.4. 資料情報用テンプレート（検索カード）

5.4.1. 検索カード作成の目的

- ・文化財保存の環境基準作成のためのデータベース作成
- ・文化財とその周辺環境の温湿度状態のシミュレーションのための入力データ
- ・温湿度環境が文化財劣化に及ぼす影響のシミュレーションモデルの妥当性検証データ

5.4.2. 検索カード作成の方針

(1)資料（収蔵物）毎に1枚

(2)基本的な記載項目と構造：シミュレーションを可能とする情報

- ・時系列的構造⇒年表（収蔵場所の遷移）：非定常シミュレーション
- ・収蔵物が保管された周辺（保管状況）環境下で、収蔵物が経験してきた（であろう）状態変化をシミュレートできるような情報を与える。
⇒付属資料：初期状態，気象データ，材料物性値，資料に関する記録・写真など
温湿度環境以外の劣化に関係する要因：天災，人災，補修・修復
- ・現在の状態記述（計算の再現目標）⇒形態，重量，温度・含水率，ひび割れ・剥離・粉状化，褪色，塩析出，腐食，シミ，虫食い，硬度，成分分析結果，構造分析結果

(3)劣化状況の記述：シミュレーションの妥当性検証

- ・劣化程度に関する記録資料（補修，修復）
- ・専門家の評価⇒評価の根拠を同時に記述

(4)参考資料

- ・文献：古記録，研究資料，カタログ

(5)同種資料に関するデータ：モデル化の妥当性検証

- ・同様な材料・形式の資料，同様の気象条件下の資料，同様な収蔵設備・収蔵容器内の資料など，同様な条件の資料を対照データとしてリストアップ

5.4.3. 検索カードの例

5.5. 検索カード（データベース）作成のための基礎情報の調査

5.9. 第5章のまとめと今後の課題

文化財保存の環境基準を設定するための基礎となる環境と劣化との関係を，現状の資料劣化が過去長期間に亙りその収蔵環境下に置かれた結果であると見なして推定する方法の可能性について検討した。

5.2 では先ず環境基準作成の考え方と手順を提案した。

5.3 では本研究で検討すべき事項を列挙した。すなわち，シミュレーションモデル，劣化と収蔵物温湿度履歴との対応，収蔵物における多様性，文化財修理報告書の利用である。

5.4 では，文化財保存の環境基準作成のためのデータベース作成用として，資料情報用テンプレート（検索カード）を提案し，検索カード作成の方針について述べた。

5.5 では，検索カード（データベース）を作成するために，基礎情報収集を当博物館において行った。担当者へのヒアリングに基づき，劣化進行調査の対象資料の候補をリストアップし，各文化財の特性，辿った経緯，劣化評価の観点，今後すべきことについて追補した。

5.6～5.9 では，調査対象候補資料の中から特に数点の資料を選択し，調査，測定などを加えより詳細な検討を行った。

典型的な文化財について基本的な情報が得られたが，今後は環境基準作成へ向けて，より詳細なデータの収集を行うと共に，得られたデータに基づいた熱水分と劣化進行のシミュレーションを行うことが必要である。

第6章. 今年度のまとめと今後の課題

第1章では、研究目的を述べた。

第2章では、空調機の間欠運転を行っている美術館の展示室を対象とし、室の温湿度測定や空調機周りの各種データの分析により、まず室内環境と熱源のエネルギーの現状を把握した。その結果、夏季の再熱除湿にかかる消費エネルギーが大きいこと、空調機とパッケージエアコンの併用により、湿度制御が不安定になることや、動作のミスマッチが生じること、蓄熱水槽が効率的に利用できていないことなどを明らかにした。

さらに、冬季の収蔵庫設定温度の変更による室内温湿度の変化についても検討した。冬季の暖房設定温度を下げることで、空調吹出し温度が低下し室温との差が小さくなること、それに伴って吹出し口付近の極端な乾燥を緩和できることを確認した。その効果は地下にある室で顕著であったが、負荷の大きい地上の室では小さかったため、建物全体としての省エネルギー効果は明確には見られなかった。

高温多湿な日本の気候条件下では、特に湿度を所定の範囲に保つことが難しい。設備機器の更新を伴わない空調運用設定の最適化は、より少ない消費電力で保存環境を構築するための方策のひとつといえる。今後は、解析モデルを作成し、運用方法の変更や設備の簡易な更新などによる省エネルギー効果を定量的に求め、管理者への提案に繋げたい。また、従来のAHUを用いず、パッケージエアコンと除加湿器を用いた制御方法など、別の方法を用いた場合の保存環境の安定化と省エネルギー性の検討も行う予定である。

第3章では、除湿機稼働により、収蔵室の相対湿度は一部を除き60%以下で維持できていること、また除湿機設置から距離が離れ、床に近いほど温度が低く相対湿度が高い傾向が確認された。なお、収蔵室の壁裏の共同溝に接する空間の相対湿度は2023年6月から9月まで一時的に80程度まで湿度が下がるもののそれ以外は90%以上を維持し年間を通じて高温であった。

カビサンプラーによるカビの菌数は、収蔵庫室内については2023年3月より8月の方が概ね少なくなっていた。ただし壁裏の共同溝に接する空間では3月と8月では殆ど差がなくカビの菌数は多かった。

DNAシーケンサーにより、各部のカビの種の同定を行った結果、以下が明らかとなった。

収蔵庫内は、やや乾燥にも強い *Aspergillus* 属、中程度の湿度湿度を好む *Penicillium* 属が同定された。

収蔵庫室内と共同溝の空気層に共通してみられるが、廊下と屋外からは同定されていないカビ (*Aspergillus penicillioides*) が同定された。共同溝の空気層と室内空気の間で空気の交換がなされていることが示唆される。

廊下と収蔵庫で共通のカビ (*Aspergillus protuberus*, *Aspergillus tamaris*, *Penicillium citrinum*) が同定された。収蔵庫で稼働している除湿機は、室内が負圧になるため、隙間の

多い扉のガラリから廊下から空気を持ち込まれた可能性が示唆される。

また、共同溝の空気層では *Sistotrema brinkmannii*, *Trametes versicolor* という腐朽菌が2種類同定された。このことから、土壌と接している箇所があるのではないかと考えられる。

この収蔵庫では、除湿機運転により空間が低湿に保たれており現時点で目視のカビ発生等は確認されていないがカビの胞子が俵っていることが分かった。

胞子の発生源が十分分かっていないため、収蔵庫内の壁、床など高湿となる部位の把握、差圧計測等による隣室空間からの空気の流動の影響の把握を実施する。また複数年度に亘って季節ごとのカビ菌量や種の違いを確認し通年の挙動の特性を把握しておき、サーキュレータの配置場所や、隣室空間からの空気の流動を考慮した対策の検討が必要であると考えられる。

第4章では、収蔵室内の非一様な温湿度分布が、収納ケース内の温湿度に与える影響を明らかにすることを目的とした。関西に建つ博物館の収蔵室を対象として、3種類の収納ケースについてその内部とケース近傍の温度、収蔵室内の温度分布を詳細に測定した。その結果、以下の結論を得た。

- (1) 収納ケース内の温度は、外壁との距離と床面からの高さにより異なる。
- (2) 収蔵室内空気の温度も外壁との距離と床面からの高さにより異なり、その分布は季節により異なる。従って、1個の代表室温を用いて収納ケース内温度を計算する際には注意が必要である。
- (3) 収納ケース近傍の温度はケース内温度に近く、従って、近傍温度を収蔵室内温度と見なすことによりケース内温度を推定することができる。(この収蔵室で用いられているケースの温度調整能力は低く、収納ケースによる温度変動の緩和は期待できない。)
- (4) 二重壁内部の空気流動も考慮した CFD 解析を行い、収蔵室内空気の温度分布を計算した。水平方向および垂直方向の温度分布をほぼ再現する結果を得たが、水平方向分布についてはまだ改善の余地がある。
- (5) 収蔵室内温度分布の測定と CFD 解析により、二重壁が室内温度の非一様性に及ぼす影響の大きいことを明らかにした。空調を前提とした二重壁構造の設計には十分な配慮が必要であり、断熱・吸放湿性利用の改善について十分検討すべきである。

収納ケース内外の温度の関係をより詳細な測定により確認すること、その結果に基づいてケース内湿度の予測精度を検討すること、二重壁構造の壁体を考慮した CFD モデルの改善による収蔵室内温度分布の再現が今後の課題である。

第5章では、文化財保存の環境基準を設定するための基礎となる環境と劣化との関係を、現状の資料劣化が過去長期間に亘りその収蔵環境下に置かれた結果であると見なして推定する方法の可能性について検討した。

5.2 では先ず環境基準作成の考え方と手順を提案した。

5.3 では本研究で検討すべき事項を列挙した。すなわち、シミュレーションモデル、劣化と収蔵物温湿度履歴との対応、収蔵物における多様性、文化財修理報告書の利用である。

5.4 では、文化財保存の環境基準作成のためのデータベース作成用として、資料情報用テンプレート（検索カード）を提案し、検索カード作成の方針について述べた。

5.5 では、検索カード（データベース）を作成するために、基礎情報収集を当博物館において行った。担当者へのヒアリングに基づき、劣化進行調査の対象資料の候補をリストアップし、各文化財の特性、辿った経緯、劣化評価の観点、今後すべきことについて追補した。

5.6～5.9 では、調査対象候補資料の中から特に数点の資料を選択し、調査、測定などを加えより詳細な検討を行った。

典型的な文化財について基本的な情報が得られたが、今後は環境基準作成へ向けて、より詳細なデータの収集を行うと共に、得られたデータに基づいた熱水分と劣化進行のシミュレーションを行うことが必要である。