

# みんなくりポジトリ

国立民族学博物館 学術情報リポジトリ National Museum of Ethnology

## 博物館の温湿度環境整備：これまでとこれから

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2022-12-15 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 園田, 直子 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="https://doi.org/10.15021/00009990">https://doi.org/10.15021/00009990</a>

# 博物館の温湿度環境整備

— これまでとこれから

園田 直子

(国立民族学博物館)

- |                |   |
|----------------|---|
| 1 はじめに         | 3.1 既存の建物での温湿度制御                          |
| 2 温湿度制御の考えかた   | 3.2 新規建造物での温湿度制御                          |
| 2.1 温湿度制御の指針   | 4 新型コロナウイルス感染症拡大防止の<br>なかでの環境整備 — 民博の事例から |
| 2.2 国際的なガイドライン | 5 さいごに                                    |
| 3 温湿度制御の現状     |   |

## 1 はじめに

博物館・美術館・図書館等の文化財を保存・活用する施設、あるいは歴史的建造物のようにそれ自体が文化財である施設（以下、博物館等）における温湿度環境の整備は、今日までいくつかの段階を経てきた。温湿度を自然の推移にまかせていた時期、暖房や冷房に（ときに過度に）依存した時期を経て、環境保全のために持続可能な対策を考える時期に入っている。

欧米の状況（Ankersmit et al. 2017: 4-6）をみると、20世紀初頭にセントラルヒーティングが導入され、1950年代から博物館等に普及していった。暖房の使用で室内が過乾燥になるのを防ぐために加湿すると、今度は内部で結露が発生するという問題が生じていた。20世紀後半の数十年間になると、より大きな容量（より厳密な温湿度制御）の空気調整（空調）システムが使われるようになり、エネルギーの需要は拡大していった。

近年、地球温暖化の問題を受けて、各国で温室効果ガス排出量の削減努力が求められている。博物館等では、温湿度制御の最適化をはかったり、建物の物理的構造を改良したり、あるいは再生可能エネルギーに替えたりすることで、エネルギー需要を削減する方法を模索している。日本では電気やガスなどのエネルギーの大半を化石燃料に頼っている現状があり、エネルギーの消費は温暖化の原因となる二酸化炭素の排出に結びつく。博物館等では、資料保存に配慮しながら、どこまで温湿度制御の条件を緩やかにできるか、いかに持続可能な方法で内部環境を整備できるかが問われている。

そして2020年、新型コロナウイルス感染症（COVID-19）の世界規模での蔓延という事態が起きた。国内外の博物館等は休館せざるをえない状況に陥り、2021年1月現在、開館にこぎつけていない館も多い。開館できた施設では、ひとが触れやすい場所等の消

毒の徹底とともに、「密閉」（窓がなかったり換気ができなかったりすること）、「密集」（ひとが集まること、少人数でも近い距離で集まること）、「密接」（手がとどく範囲で会話や運動をすること）を避けたかたちでの運用が求められている。密集と密接はフィジカル・ディスタンスに関係するが、密閉は空調による環境整備に関係する。博物館等の環境整備では、これまでは保存を軸にすえたうえで、環境保全の観点から省エネ対策を検討してきた。これらに加えて、換気の徹底という新たな条件が加わったのである。

20世紀後半以降、博物館等における温湿度環境の整備はこのように大きな流れのなかにある。本稿では、国内外の温湿度制御の指針を整理したうえで、博物館等での温湿度制御の現状をいくつかの事例をもとに概観する。最後に、新型コロナウイルス感染防止対策下での環境整備について、国立民族学博物館（以下、民博）の展示場の事例をもとに考察する。

## 2 温湿度制御の考えかた

温湿度の設定値（目標とする温湿度の値の選択）は、空調を考えるうえで重要な要素となる。すべての資料にとって最適な温湿度というのではなく、資料の材質、その資料がこれまで置かれていた環境、さらにはその国や地域の気候にも考慮することが必要である。

### 2.1 温湿度制御の指針

日本では、文化庁が定めた国宝・重要文化財の公開に際しての取り扱い要項（1996年7月12日裁定）に温湿度の調整に関する記載がある（文化庁文化財保護部美術工芸課監修 1998: 208-210）。温度は22℃を標準値としつつ、公開を行う施設が所在する地域の夏季や冬季の平均外気温に応じて緩やかな変動を認めている。湿度は年間を通じて一定に維持することとし、60% RH ± 5% RH を標準値としながら、金工品に関しては目安を55% RH 以下としている。2018年1月29日の改訂版では、温度の標準値は22℃ ± 1℃、湿度の標準値は55% RH ± 5% RH、金属製品は50% RH 以下、近代の洋紙を利用した文書・典籍類、図面類、写真類は50% RH ~ 55% RH 程度が目安とされている（文化庁）。

欧米の基準を、ロンドン、ナショナルギャラリーの科学アドバイザー、Thomson の *The Museum Environment*（第1版1978年、第2版1986年）から引用する。Thomson が湿度の上限を65% RH ~ 70% RH としたのは、これより高いと、カビの繁殖、金属製品のサビが懸念されるからである。湿度の下限は、木製品、骨、象牙、バスケタリー、羊皮紙あるいは厚みのある革製本などに亀裂、脆弱化、繊維の破損が生じさせないように、40% RH としている。Thomson は、ヨーロッパの国々にはこれらの中間の値である55% RH が通常選択されているとしたうえで、湿潤熱帯地方では65% RH（空気循環は必要、鉄製品や塩化物をふくむ青銅製品には高すぎる湿度）、乾燥地帯では40% RH ~ 45% RH（現

地の資料を展示する場合)は許容できるとしている。日本の古美術品の多くが20℃、65% RHの環境にあると指摘し、これがおそらく安全とされる湿度の上限であろうと述べている(Thomson 1986)。

なお、欧米の多くの博物館等が採用している20℃、50% RHという値は、北欧(オランダ)の暖房された部屋の年間の平均値(20.8℃、49.5% RH)に近い値であり、必ずしも恣意的というわけではない(Ankersmit et al. 2017)。

空調に関する国際学会である、米国暖房冷凍空調学会(American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, ASHRAE)は、空調関連のハンドブックを4年毎に更新し出版している。博物館やアーカイブに関する指針は、当初、温度21℃・湿度50% RH・最低限の変動という簡単なものであったが、1999年版以降、「博物館・図書館・アーカイブ」という独立した章が設けられ、2003年版ではさらに空気汚染物質に関する記述が加わった(Michalski 2007)。カナダ保存研究所のMichalskiが温度と湿度に関する事項を担当し、空調というエンジニアリング分野と保存分野の共同作業が実現している。

「博物館・図書館・アーカイブ」の章(ASHRAE 2011)に記載されている「コレクションを対象とした温度と相対湿度の仕様(Temperature and Relative Humidity Specifications for Collections)」の表では、一般の博物館・美術館・図書館・公文書の場合、湿度は50% RH(もしくは常設時における年間平均値)、温度は15℃~25℃を前提にしたうえで、温湿度の短期変動や季節ごとの設定調整(詳細については後述の2019年版参照)から、保存環境を最高のAAから、A、B、C、Dまでの5段階に分け、それぞれの環境がコレクションに与える影響(リスクとメリット)がまとめられている。借用資料の場合は、温湿度条件は貸借同意書に基づいた値、すなわち多くの場合21℃、50% RH(場合によっては55% RH、60% RH)としている。ここでいう短期変動とは、季節による設定値の差よりも小さい変動をさす。クラスAAは最も厳密な制御であるが、それだけにエネルギーの消費が高いこと、寒冷地の歴史的建造物では結露等の問題が生じることを指摘している。クラスAのエネルギー消費はクラスAAより少なく済み、また冬の湿度設定値を下げることで結露のリスクを抑えることができるとしている。クラスAは大半の博物館・美術館に最適であり、クラスBおよびクラスCは小・中規模の施設あるいは歴史的建造物でも対応可能な条件としている。クラスDはカビを防止するための、湿度条件のみである。表にはまた、アーカイブや図書館等の化学的に劣化しやすい資料を対象とした条件も記載されている。コールドストア(-20℃、40% RH、変動範囲±2℃、±10% RH)は、化学的に不安定な資料に数千年間の寿命をもたらす。寿命を決定づけるのは資料が収蔵庫外に置かれる時間であり、コールドストアの温度条件下では、資料が適切に梱包されていれば1ヶ月内の湿度変動は影響を与えないとしている。クールストア(10℃、30% RH~50% RH)では、化学的に不安定な資料でも1世紀以上もしくは

それ以上の寿命が望める。特別な金属コレクションはドライルームとしており、湿度は臨界値（通常30% RH）を超えてはならないとしている。

2019年版のハンドブック（ASHRAE 2019）では、当該表は、博物館等の通常のコレクションと、特定の条件下の資料（貸出、低温保管など）のふたつに分けられている。また、保存環境の段階は「クラス」ではなく「タイプ」に言い換えられている。博物館等の通常コレクションを対象にした表には、新たに長期の限界値の項目が加えられた。長期の限界値とは、大半の混合コレクションで許容できないほどリスクが高くなる限界のことを指し、相対湿度の上限（カビ発生のリスク）、相対湿度および温度の下限（有機物に機械的損傷がおきるリスク）、温度の上限（化学劣化が促進されるリスク）がそれぞれのタイプごとに記載されている。建物もしくは部屋の種類をまず見定め、制御のタイプがコレクションに与える影響を理解したうえで、該当する制御に一致する仕様（長期の限界値、季節による温度または湿度の調整、短期変動）が検討できる。以下に概略をまとめるが、詳細は（ASHRAE 2019）を参照していただきたい。

博物館等の用途で建てられた建物もしくは部屋の場合、制御タイプは厳密な順にAA、A（A1とA2の2種類）に分けられている。

#### ●タイプAA

- コレクションに与える影響：カビや急速な腐食は回避される。大半の資料や絵画に機械的損傷のリスクはない。相対湿度が臨界値を超えると、一部の金属、ガラス、鉱物は劣化する可能性がある。化学的に不安定なものは20℃で数十年以内に著しく劣化し、その速度は5℃上がることに倍増する。
- 長期の限界値：湿度35% RH 以下、湿度65% RH 以上、温度10℃ 以下、温度25℃ 以上は避ける。
- 湿度：年間平均値±5% RH（短期変動）
- 温度：年間平均値（公共の展示エリアでは人にとって快適な温度も可）±2℃（短期変動）、季節による調整±5℃

#### ●タイプA

- コレクションに与える影響：カビや急速な腐食は回避される。大半の資料、絵画、写真、図書に機械的損傷のリスクはない。非常に脆弱なものには機械的損傷を与えるリスクが少しある。化学的に不安定なものは20℃で数十年以内に著しく劣化し、その速度は5℃上がることに倍増する。
- 長期の限界値：湿度35% RH 以下、湿度65% RH 以上、温度10℃ 以下、温度25℃ 以上は避ける。

#### A1

- 湿度：年間平均値±5% RH（短期変動）、季節による調整±10% RH



- 温度：年間平均値（公共の展示エリアでは人にとって快適な温度も可） $\pm 2^{\circ}\text{C}$ （短期変動），季節による調整 $+5^{\circ}\text{C}$ / $-10^{\circ}\text{C}$

#### A 2

- 湿度：年間平均値 $\pm 10\%$  RH（短期変動）
- 温度：年間平均値（公共の展示エリアでは人にとって快適な温度も可） $\pm 2^{\circ}\text{C}$ （短期変動），季節による調整 $+5^{\circ}\text{C}$ / $-10^{\circ}\text{C}$

歴史的建造物を博物館等の用途に使用している（建物の保存をも考慮しなければならない）場合，制御タイプはBとCに分けられている。

#### ●タイプB

- コレクションに与える影響：カビや急速な腐食は回避される。寒い冬の間，化学劣化は進行しない。大半の資料やほとんどの図書に機械的損傷のリスクはない。ほとんどの絵画や写真，一部の資料や図書には機械的損傷のリスクは少しある。非常に脆弱なものには中程度の機械的損傷のリスクがある。キャンバス画のように，柔軟性のある塗料やプラスチックでできているものは寒くなるともろくなるため，低温時の取り扱いには注意が必要。化学的に不安定なものは $20^{\circ}\text{C}$ で数十年以内に著しく劣化し，その速度は $5^{\circ}\text{C}$ 上がることに倍増する。
- 長期の限界値：湿度 $30\%$  RH 以下，湿度 $70\%$  RH 以上，温度 $30^{\circ}\text{C}$  以上は避ける。
- 湿度：年間平均値 $\pm 10\%$  RH（短期変動），季節による調整 $\pm 10\%$  RH
- 温度：年間平均値 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ （短期変動），季節による調整 $+10^{\circ}\text{C}$ ，下限は $20^{\circ}\text{C}$

#### ●タイプC

- コレクションに与える影響：カビや急速な腐食は回避される。多くの資料やほとんどの図書に機械的損傷のリスクは少しある。ほとんどの絵画や写真，一部の資料や図書には中程度の機械的損傷のリスクがある。非常に脆弱なものの機械的損傷のリスクは高い。キャンバス画のように，柔軟性のある塗料やプラスチックでできているものは寒くなるともろくなるため，低温時の取り扱いにはタイプBよりもさらに注意が必要である。化学的に不安定なものは $20^{\circ}\text{C}$ で数十年以内に著しく劣化し，その速度は $5^{\circ}\text{C}$ 上がることに倍増する。
- 長期の限界値：湿度 $25\%$  RH 以下，湿度 $75\%$  RH 以上，温度 $40^{\circ}\text{C}$  以上は避ける。
- 湿度：一年とおして $25\%$  RH と  $75\%$  RH の間（ $65\%$  RH 以上を長期間継続しない）
- 温度：通常 $25^{\circ}\text{C}$  以下（ $30^{\circ}\text{C}$  をめったに超えない）

開放的な構造の建物，あるいは通常の歴史的建造物の場合，制御タイプはDである。

#### ●タイプD

- コレクションに与える影響：化学的に不安定なものは $20^{\circ}\text{C}$ で数十年以内に著しく劣

化し、その速度は5℃上がることに倍増する。逆に、寒い冬は寿命を延ばすことになる。カビや急速な腐食は回避される。ほとんどの資料や絵画に突然または累積的な機械的損傷のリスクが、低湿度での破損により高くなる。ただし、とくにベニヤ板、絵画、紙、写真では、高湿度での層間剥離や変形は回避される。

- 長期の限界値：湿度75% RH 以上は避ける。
- 湿度：確実に75% RH 以下（65% RH 以上を長期間継続しない）
- 温度の条件なし

一方、特定の条件下の資料を対象にした表には、一時的な展示エリア等（借用資料を対象）が新たに追加されている。条件は貸付契約書に規定されるとしたうえで、当該資料がこれまでにおかれていた環境、借主側の環境および輸送中のリスクを査定したうえで、貸主と借主の間で合意すべきとしている。展示ケースや額装、さらには調湿剤の使用によりマイクロクライメートを作り出し、資料をとりまく環境を大きく変化させないことにも言及されている。また、化学的に劣化しやすい資料に関する制御のタイプは、博物館等の用途で建てられた建物もしくは部屋の場合、クール、コールド、冷凍の三段階があげられている。それぞれ ISO Standard 18943: 2011に準拠する条件として、クール（温度8℃～16℃、湿度30% RH～50% RH）、コールド（温度0℃～8℃、湿度30% RH～50% RH）、冷凍（温度-20℃～0℃、湿度30% RH～50% RH）とされている。金属製品を対象にしたドライルームに関しては、相対湿度の具体的な値は表から削除され、本文をより詳しく参照するように誘導している。

## 2.2 国際的なガイドライン

2014年、国際文化財保存学会（International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works, IIC）と国際博物館会議・保存国際委員会（International Council of Museums - International Committee for Conservation, ICOM-CC）は、博物館等における環境のガイドラインに関する共同宣言（International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works）をだした。共同宣言では、エネルギー使用量の削減と、代替エネルギーの導入が推奨されている。また、気候変動を緩和するために炭素排出量を減らすべきであり、資料管理においては空調の活用を想定するのではなく、維持しやすい、省エネでの解決策が考慮されるべきとしている。補遺として、以下の国際間の資料や作品の貸借に関するガイドラインが掲載されている。

- フランスを中心に世界最大規模の博物館・美術館の長を集めたビゾ・グループ（The Bizot Group）（National museum directors' council）：キャンパス画、テキスタイル、民族資料など吸放湿性のある資料は、湿度40% RH～60% RH および温度16℃～25℃の範囲で一定に保ち、湿度の変動は24時間当たり±10% RH 以下としている。脆弱

な資料には、そのものの材質、保存状態、来歴に応じて、より厳密な湿度制御を必要とすることも付加されている。

- オーストラリア (The Australian Institute for Conservation of Cultural Material, AICCM) : 温度は $15^{\circ}\text{C}\sim 25^{\circ}\text{C}$  (変動は24時間あたり $\pm 4^{\circ}\text{C}$ )、湿度は $45\% \text{RH}\sim 55\% \text{RH}$  (変動は24時間あたり $\pm 5\% \text{RH}$ )としている。季節的な変動がある場合は、湿度は $40\% \text{RH}\sim 60\% \text{RH}$ の範囲内で徐々に推移することとなっている。
- アメリカ (The American Institute for Conservation, AIC) : 湿度の設定値は $45\% \text{RH}\sim 55\% \text{RH}$  ( $\pm 5\% \text{RH}$ )とし、年間では $40\% \text{RH}$ と $60\% \text{RH}$ の範囲内におさめるようにとしている。温度は $59^{\circ}\text{F}\sim 77^{\circ}\text{F}$  ( $15^{\circ}\text{C}\sim 25^{\circ}\text{C}$ )が許容できるとしている。

この宣言は、文化財の保存修復に関する二大国際学会であるIICとICOM-CCが共同で出したという点で評価できる。というのも欧米の博物館等からの借用資料には、しばしば $20^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、 $50\% \text{RH}\pm 5\% \text{RH}$ の借用条件が付随するからである。民博でも、夏に開催した展示の借用資料に、上記の条件がついてきた経験が2回ある。2004年の特別展では、借用した貴重書を密閉型の展示ケースに入れたうえで、独自に考案した温湿度制御装置と空気循環ダクトを組み合わせた装置(日高他 2009; Sonoda et al. 2017)を24時間稼働させることで、展示室の温度が $25^{\circ}\text{C}$ のときでも、ケース内の温度を $20^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ の範囲におさめた。2017年の特別展では、借用先と事前に話し合い、温度設定を $25^{\circ}\text{C}$ にするという了承を得たうえで展示を開催した。会期中の温湿度はともに借用条件を満たしたことは確認している(Sonoda 2019)。欧米からの借用資料の場合は、展示期間が夏にかからないようにする、あるいは脆弱な材質でできている資料でなければ、2017年の特別展のときのように $25^{\circ}\text{C}$ の温度設定を了承してもらうというのが、環境にやさしく、かつ経済的で現実的な選択ではないだろうか。

### 3 温湿度制御の現状

温室効果ガス排出量の削減努力や節電が求められるなか、博物館等ではどのように温湿度制御の問題に取り組んでいるのか、いくつかの事例を紹介する。なお、海外の事例は国際シンポジウムのなかでも予防保存をテーマにした2018年のIICトリノ大会での報告をもとにする。

#### 3.1 既存の建物での温湿度制御

日本では、かつては校倉や土蔵などの建物を利用して、壁材の効用で温湿度の変動を抑えてきていた。奈良の正倉は校倉造り<sup>1)</sup>で知られるが、現在、正倉院宝物は西宝庫(1962年竣工)と東宝庫(1953年竣工)に分納されている。いずれも鉄筋コンクリート



造の二階建て高床式の建物で、空調は週日の午前9時から3時間（宝物点検時は6時間）稼働している。湿度は60%RH～64%RHを目標とし、温度は外気に合わせるという、自然の推移にゆだねる温湿度管理である<sup>2)</sup>。宝物が現在でも極めて良い保存状態であることは、宝庫が高床式であることや、宝物が専用の保管容器に納められていることで温湿度の変動が緩和されていることもあるが、勅封制度により開封を年1回に限るなどの手厚い保存措置によるところが大きいといえよう。

1977年に開館した民博は、焼きものタイルで覆われた外壁をもつ、鉄骨鉄筋コンクリート造りの4階建ての建物で、省エネを念頭においた構造ではない。また、化石燃料以外のエネルギーの利用が想定されているわけでもない。2011年、東日本大震災を契機に節電の要請を受け、温湿度条件を見直すことになった。いくつかの試行を経た後、2014年度からは、温湿度の推移が比較的安定している収蔵庫を対象に、外気が比較的安定している春と秋の中間期には空調を停止し、温度と湿度を緩やかに変化させるといふ、新しい空調条件を取り入れている（Sonoda 2015, 2019; Sonoda et al. 2017, 2018）。冷房開始の目安は、温度が26℃（冷房の温度設定値）以上、あるいは湿度が65%RH以上になったときである。これにより、外気温にもよるが、平均すると冷房の開始時期を遅らす効果もたらされた。暖房開始の目安は、収蔵庫のスタッフが作業するには寒いと感じるとき、あるいは湿度が40%RHを下まわるときである。なお、湿度の目標値は、年間通して52%RH±5%RHである。温湿度の推移が比較的安定している収蔵庫（一般収蔵庫7部屋のうちの5部屋）での中間期の空調停止とともに、照明のLED化により大きな節電効果が得られている（Sonoda 2019）。

高湿度対策として、保存の観点で暖房を用いるという考えかたがある。ここでいう暖房は、相対湿度を適切な範囲におさめることを目的に稼働させるのであり、ひとの居心地の良さのためではない。英国のナショナルトラスト傘下の歴史的建造物では、1994年から保存の観点からの暖房を取り入れており、その後の経緯をBladesらがまとめている（Blades et al. 2018）。それによると、導入当初は、冬の室内温度を外気より6℃高く設定することで、湿度50%RH～65%RH（目標値58%RH）を目指した。冬、閉館しているときには問題はなかったが、2000年代に入り冬でも開館する施設がでてくると、やはり寒すぎた。そこで、湿度の許容範囲の下限を50%RHから40%RHに下げること、室温を15℃～18℃まで上げる、快適さをより高めるための暖房を実施することになるが、湿度を40%RH以上に維持するために温度が16℃以下になってしまう日が多く続いている。温度の上限として推奨されているのは、冬は18℃、夏は22℃である。夏の高湿度対策として24℃～25℃の温度を許容するという案もでたが、高温高湿ということで採用されていない。2009年、ナショナルトラストは、エネルギー対策として、2020年までに使用エネルギーの50%を再生可能エネルギーに変換する目標をたてた。また、湿度設定を2%RH上げると年間のエネルギー消費量を12%～15%減できるという計算から、保存の

観点からの暖房の湿度目標値を58% RH から60% RH (場合によっては62% RH) まで上げるようにしているという。

### 3.2 新規建造物での温湿度制御

新たに建設する博物館等では、建物の構造・設備の計画段階から、自然環境への配慮をおこなうことができる。日本では2005年10月に、国内で4番目の国立博物館、九州国立博物館が開館した。九州国立博物館では、エネルギー使用の削減と、周囲の自然環境との共存を目指し、太陽光発電、雨水利用、地熱など自然エネルギーを活用するとともに、空調、消火設備、害虫駆除対策、これらすべてにオゾン層破壊物質の使用を避けるなど、徹底した環境保全対策を講じている。収蔵庫に杉材を使用しているが、製材時に電気乾燥により殺虫殺卵殺菌処理を施すとともに、管理や施工時の清浄度を徹底することで、化学薬剤による初期燻蒸を回避することにも成功している。また、市民ボランティア、NPO法人、専門業者との間で資料管理の活動を協働するなど、地域社会に開いた博物館になっている (Honda 2019)。

デンマークでは、低コスト、かつエネルギー使用を極力減らした収蔵庫の実用化が進んでいる。断熱効果があり、気密性が高く、軽量なつくりの建物を採用し、床下の地面が蓄熱槽の役割を果たしている。建物の断熱効果が高いため、内部温度の日変動はほぼなく、年間でも外気温に準じて緩やかに(半分程度に緩和されて)推移する。冬、内部温度は外気温より高く、加湿や除湿せずとも、適切な相対湿度が維持されるという。夏は、内部温度は外気温より低くなるため、外気が建物内部に流入すれば湿度が上がり、除湿が必要となる。建物の気密性が高い場合には外気流入は少ないので、除湿機を断続的に稼働させることで対応できる。給電には太陽光発電パネルを利用している (Padfield et al. 2018)。

1980年代以降にデンマークで建てられた低エネルギーの収蔵施設は、これまで5段階を経て改良されてきた。このうち最新の3段階を代表する3つの収蔵施設(2003年のヴァイレ、2005年のリーベ、2013年のヴァイレの各収蔵施設)を対象に、収蔵施設としての性能、建設費、エネルギー消費量を比較した調査がある (Knudsen and Lundbye 2017)。これらの収蔵施設はいずれも床を断熱せず、地熱を利用している。違いは、2003年のヴァイレの収蔵施設の壁は厚いコンクリート、2005年のリーベの収蔵施設の壁は厚いレンガだが、2013年に完成したヴァイレの収蔵施設の壁はうすいが気密性の高い構造ということである。これらの収蔵施設のうち最新のヴァイレの収蔵施設は、保存環境が最も安定し、また建設費も最も安く、エネルギー消費量も最も少なかったという結果が得られている<sup>3)</sup>。

サンフランシスコ近代美術館は、2016年、総面積を2倍以上にする拡張プロジェクトを行った (Sterrett and Piantavigna 2018)。空調はプロジェクトの重要な項目であり、サンフランシスコの気候条件および所蔵コレクションの種類(材質)を考慮した結果、温度

の目標値は年間 $22.5^{\circ}\text{C} \pm 1.5^{\circ}\text{C}$ 、湿度の目標値は夏季 $55\% \text{RH} \pm 5\% \text{RH}$ 、冬季 $45\% \text{RH} \pm 5\% \text{RH}$ としている。写真資料には、IPIの推奨する温湿度条件として、コールド ( $4.5^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ,  $40\% \text{RH} \pm 5\% \text{RH}$ ) とクール ( $13^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ,  $45\% \text{RH} \pm 5\% \text{RH}$ ) を採用している。市のグリーン建築基準法に準じて、エネルギー効率の最大化と、二酸化炭素排出量の最小化を目指して空調設備等を更新するとともに、照明をLED化したところ、単位面積あたりのエネルギー使用量は拡張プロジェクト前に比べて37%減に抑えられたという。

## 4 新型コロナウイルス感染症拡大防止のなかでの環境整備 — 民博の事例から

2020年、世界中で新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) が猛威をふるった。世界の博物館の約95%が休館を余儀なくされ (International Council of Museums)、日本の博物館等もまた例外ではない。民博では2020年2月28日より臨時休館し、6月18日からは時間を短縮して、7月9日からは通常時間で開館した<sup>4)</sup>。

コロナ禍での開館においては、保存科学に新たな課題が提示されることになる。資料管理ではこれまで、ものの保存、ひとの安全、自然環境の保全に留意してきた。これらに加えて、感染症拡大防止対策として、ひとが触れやすい箇所の定期消毒とともに、密閉・密集・密接を避ける対策が求められている。博物館等での環境整備にあてはめると、展示場のように窓の開放ができない (あるいは難しい) 空間では、機械換気により必要換気量を確保して、密閉を避けることが求められる。

ここでは民博において、密閉・密集・密接を避けるために本館展示場の収容可能人数をどのように定めたか、そして換気の徹底による換気量増加が室内の温湿度環境にどのような影響を与えたかを検証した結果<sup>5)</sup>を抜粋する。

本館展示場 (第1～8展示場、第6展示場は存在しない) では、平常時、外気導入ダクトの手動ダンパーは開度40%程度、排気ダクトの手動ダンパーは開度30%程度 (開・閉の二択しかない第8展示場のみ給気・排気ダンパーは開度100%) で運用してきた。臨時休館後、6月18日に再開した際には、展示場のいずれのダンパーも開度100%にした。その条件下で、実際の換気量 (風速測定検知口での風速測定 ( $\text{m/s} \times 3,600$ )  $\times$  ダンパー断面 ( $\text{m}^2$ ) を計測し、一人あたりの毎時必要換気量 ( $30\text{m}^3/\text{h}$ ) で割り、換気量をもとにした収容可能人数を計算した。一方、展示場の通路面積からフィジカル・ディスタンス (一人あたり $1.5\text{m} \times 1.5\text{m}$ ) の観点でわりだした収容可能人数を計算した。両者を比較したうえで、最も収容可能人数が少ない、第1展示場における換気量をもとにした収容可能人数 (101人) を選択し、端数を切り捨てた100人を、展示場ごとの収容可能人数として採用している。なお、開館中は、インフォメーションスタッフおよび巡回要員が、展示場入口および展示場内の観覧者数を確認し、必要に応じて入場制限をおこなう体制

をとっている。

本館展示場では、温度は、夏期 $26^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 、冬期 $22^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 、中間期毎週 $0.5^{\circ}\text{C}$ ずつ移行、湿度は年間通じて $50\% \text{RH} \pm 10\% \text{RH}$ を目標にしている。展示場の空調機はそれぞれ大型の4管のAHU（エアハンドリングユニット）で管理されている。熱源（温水と冷水）は蓄熱槽方式であり、深夜電力で温水と冷水を蓄熱槽に製造し、昼間の不足分はガス吸収式冷温水発生装置で追い炊きしている。加湿方式は、第1～5展示場は蒸気噴出し（ボイラー）式、第7展示場は滴下浸透気化式、第8展示場は噴霧超音波式である。空調は昼間8時間（9：00～17：00）であるため、空調の停止時・稼働時に、温度や湿度に変動が生じる。換気量増加が展示場の温湿度環境に与える影響を検証するにあたっては、中央監視盤に記録されている展示場の温湿度データを、換気優先時（2020-2021：2020年6月18日～2021年3月17日、休館日も空調稼働）と、過去3年間の平常時の当該期間（2019-2020、2018-2019、2017-2018それぞれの同時期、休館日は空調停止）と比較した。その結果、温度および相対湿度の日較差（最大値、平均値）には、換気量増加による顕著な影響はみられず、換気優先時でも、平常時と同等程度には室内の環境が制御できているといえる。とはいえ、昼間8時間の空調運転に通常の換気量での空調時よりも多くのエネルギー（ガス・電気）を消費しており、省エネを重視してきた流れに逆行していることは否めない。今後も引き続き、データを蓄積し、長期的視野から検証を続けていく所存である。

## 5 さいごに

20世紀後半以降、博物館等の環境整備はいくつかの段階を経てきた。本稿では、環境保全を念頭にした持続可能な環境整備に焦点をあてるとともに、新型コロナウイルス感染症防止対策下での課題に言及した。

最近では緩和される傾向にあるが、欧米の博物館等からの借用資料にはしばしば $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 、 $50\% \text{RH} \pm 5\% \text{RH}$ という温湿度条件が付加される。日本は、ヨーロッパや北米とは異なり、温暖湿潤気候帯に属している。多くの都市においては、秋から冬、春にかけてならばこの条件を満たすことは容易であるが、夏は必ずしもそうではない。室内温度を $20^{\circ}\text{C}$ に設定すると、外気温との差が大きくなるので、観覧者にとっても快適な環境ではなくなる。熱帯地方に属する国であれば、なおさらである。Tseらは、バンコク、クアラルンプール、マニラ、シンガポールの年間の温湿度記録を提示したうえで、 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 、 $50\% \text{RH} \pm 5\% \text{RH}$ という条件は、東南アジアにおいては、環境的、経済的、社会的にみて持続不可能としている（Tse et al. 2018）。

現実的で「持続可能」な解決策が見いだすためには、欧米と気候条件が異なる日本、あるいは欧米以外の国において、展示場や収蔵庫がどのような温湿度条件下にあるのか、

そして資料の保存状態はどうであるのか、これらの客観的事実とデータを検証し、その結果を国内だけでなく、海外に向けて発信していく努力が必要である。

ここでASHRAEの表に戻ると、日本の博物館等の環境は、空調設備がある施設ならば、大半はタイプAないしタイプB、少なくともタイプCに相当すると考えられる。このうち一番制御が厳しくないのがタイプCである。タイプCの条件がコレクションに与える影響をみると、通常の（特別に脆弱な材質で構成されているのではない）資料であれば、損傷が起きるリスクは低いといえる。一方、日本には梅雨、台風など高湿度に傾きやすい気候条件がある。空調（もしくは除湿機）による制御がない場合、あるいは設備があっても空気が滞留するような場所では、タイプCはもとより、タイプDの条件さえ満足させることは難しく、カビを発生させないための格段の注意が必要となる。

新型コロナウイルス感染症防止対策として、博物館等の公共施設では換気を徹底している。換気量増加が室内の温湿度環境に与える影響を、民博の本館展示場の実測値に基づいて検証したところ、温度、相対湿度ともに、その日較差に顕著な違いはみられず、昼間8時間の空調運転により換気優先時でも環境が制御できていると言える。しかし、換気優先時に消費するエネルギー（ガス・電気）量は多く、これまでの省エネを重視してきた流れに逆行しているといわざるをえない。

持続可能な資料管理は、資料をとりまく環境を適切に保つことを目的とするのは当然ながら、環境保全、省エネルギー、経済的効果、感染症対策など、複合的な要因も考慮しなければ成り立たない。新型コロナウイルス感染症対策として密閉空間を避けるために換気量を増やすと、温湿度制御により多くのエネルギーを費やさざるをえなくなる。博物館の内部環境整備においては、必要換気量を確保しながら、どのように省エネルギー対策と折り合いをつけていくのか、新たな課題に向き合っている。

## 注

- 1) 正倉は、北倉、中倉、南倉の三倉に仕切られており、このうち北倉と南倉が校倉造り、中倉は板倉造りである。
- 2) 正倉院の温湿度管理については、高畑誠「正倉院における資料保存と環境整備」を参照のこと。
- 3) デンマークの取蔵施設については、末森薫「地中熱を利用した博物館取蔵施設の動向——デンマークモデル」の取蔵施設の特徴と環境評価」を参照のこと。
- 4) 新型インフルエンザ等対策特別措置法に基づく「緊急事態宣言」の発出を受け、2021年4月25日から6月23日まで再び臨時休館した。
- 5) 2021年の文化財保存修復学会第43回大会において、「新型コロナウイルス感染症対策としての換気量増加が室内環境に与える影響——国立民族学博物館の事例から」（園田直子・日高真吾・末森薫・河村友美子・橋本沙知・和高智美『文化財保存修復学会第43回大会研究発表集』pp. 350-353）の発表をおこなった。



## 参照文献

〈日本語〉

文化庁

国宝・重要文化財の公開に関する取扱要項

(平成8年7月12日文化庁長官裁定, 平成30年1月29日改訂)

[https://www.bunka.go.jp/seisaku/bunkazai/hokoku/pdf/r1401204\\_01.pdf](https://www.bunka.go.jp/seisaku/bunkazai/hokoku/pdf/r1401204_01.pdf) (2020年8月19日閲覧)

日高真吾・園田直子・小川兼

2009 特許第4427650号「展示ケース用の可搬型空気循環式恒温恒湿システム」平成21年12月25日。

文化庁文化財保護部美術工芸課監修

1998 『文化財保護行政ハンドブック—美術工芸編』東京：ぎょうせい。

〈外国語〉

Ankersmit, B. and M. H. L. Stappers

2017 *Managing Indoor Climate Risks in Museums* (Cultural Heritage Science Series). Cham, Switzerland: Springer International Publishing. DOI 10.1007/978-3-319-34241-2

ASHRAE

2011 Museums, Libraries and Archives (Chapter 23). ASHRAE Handbook, Heating, Ventilating, and Air-Conditioning Applications, SI Edition, pp. 23. 1-23. 22. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers. [https://www.academia.edu/22524538/2011\\_ASHRAE\\_HANDBOOK\\_HVAC\\_Applications\\_SI\\_Edition](https://www.academia.edu/22524538/2011_ASHRAE_HANDBOOK_HVAC_Applications_SI_Edition) (2020年6月25日閲覧)

2019 Museums, Galleries, Archives, and Libraries (Chapter 24). 2019 ASHRAE Handbook, Heating, Ventilating, and Air-Conditioning Applications, SI Edition, pp. 24. 1-24. 46. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers.

Blades, N., K. Lithgow, S. Staniforth, and B. Hayes

2018 Conservation Heating 24 Years On. *Preventive Conservation – The State of the Art- IIC 2018 Turin Congress Preprints (Studies in Conservation 63(1): S15-S21)*. <https://doi.org/10.1080/00393630.2018.1504457>

Honda, M.

2019 Creation of a New National Museum to Meet the Environmental Needs of the Twenty-First Century: Kyushu National Museum. In N. Sonoda (ed.) *Conservation of Cultural Heritage in a Changing World* (Senri Ethnological Studies 102), pp. 25-37. Osaka: National Museum of Ethnology.

International Council of Museums

Ensuring Cultural Heritage Security During Lockdown: A Challenge for Museum Professionals and Police Services.

<https://icom.museum/en/covid-19/resources/ensuring-cultural-heritage-security-during-lockdown-a-challenge-for-museum-professionals-and-police-services/> (2020年8月3日閲覧)

International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works

Environmental Guidelines – IIC and ICOM-CC Declaration.

- [https://www.iiconservation.org/sites/default/files/news/attachments/5681-2014\\_declaration\\_on\\_environmental\\_guidelines.pdf](https://www.iiconservation.org/sites/default/files/news/attachments/5681-2014_declaration_on_environmental_guidelines.pdf) (2020年4月23日閲覧)
- Knudsen, L. R. and S. R. Lundbye  
2017 Performance of Danish Low-Energy Museum Storage Buildings, *ICOM-CC 18<sup>th</sup> Triennial Conference, Copenhagen, Denmark, 4-8 September, 2017 Preprints* (1515\_200\_KNUDSEN\_ICOM-CC\_2017.pdf).
- Michalski, S.  
2007 The Ideal Climate, Risk Management, the ASHRAE Chapter, Proofed Fluctuations, and Towards a Full Risk Analysis Model. Contribution to Experts Roundtable on Sustainable Climate Management Strategies, The Getty Conservation Institute. [http://www.getty.edu/conservation/our\\_projects/science/climate/paper\\_michalski.pdf](http://www.getty.edu/conservation/our_projects/science/climate/paper_michalski.pdf). (2020年5月27日閲覧)
- Padfield, T., M. Ryhl-Svendsen, P. K. Larsen, and L. A. Jensen  
2018 A Review of the Physics and the Building Science Which Underpins Methods of Low Energy Storage of Museum and Archive Collections. *Preventive Conservation: The State of the Art- IIC 2018 Turin Congress Preprints (Studies in Conservation 63(1): S209-S215)*. <https://doi.org/10.1080/00393630.2018.1504456>
- Sonoda, N.  
2015 Museum Environment Control for Sustainable Collection Management. In N. Sonoda, K. Hirai, and J. Incherdchai (eds.) *Asian Museums and Museology 2014: International Workshop on Museology in Thailand* (Senri Ethnological Reports 129), pp. 27-35. Osaka: National Museum of Ethnology.  
2019 Sustainable Collection Management in a 1970s Building: A Case Study of the National Museum of Ethnology, Osaka. In N. Sonoda (ed.) *Conservation of Cultural Heritage in a Changing World* (Senri Ethnological Studies 102), pp. 39-55. Osaka: National Museum of Ethnology.
- Sonoda, N., S. Hidaka, and K. Suemori  
2017 Challenges of and Reflections on Sustainable Climate Control at the National Museum of Ethnology, Japan. *ICOM-CC 18<sup>th</sup> Triennial Conference, Copenhagen, Denmark, 4-8 September, 2017 Preprints* (1522\_618\_SONODA\_ICOM-CC\_2017.pdf).  
2018 Continuous Efforts over 10 Years for Storage Re-organization at the National Museum of Ethnology, Japan. *Preventive Conservation – The State of the Art- IIC 2018 Turin Congress Preprints (Studies in Conservation 63(1): S234-S241)*. <https://doi.org/10.1080/00393630.2018.1471886>
- Sterrett, J. and R. Piantavigna  
2018 Building an Environmentally Sustainable San Francisco Museum of Modern Art. *Preventive Conservation – The State of the Art- IIC 2018 Turin Congress Preprints (Studies in Conservation 63(1): S242-S250)*. <https://doi.org/10.1080/00393630.2018.1481324>
- Thomson, G.  
1986 *The Museum Environment* (second edition). London: Butterworth-Heinemann.
- Tse, N., A. M. Labrador, M. Scott, and B. Balabar  
2018 Preventive Conservation: People, Objects, Place, and Time in the Philippines. *Preventive Conservation – The State of the Art- IIC 2018 Turin Congress Preprints (Studies in Conservation 63(1): S274-S281)*. <https://doi.org/10.1080/00393630.2018.1476963>