

## 入場者数の展示室内環境への影響の検証を目的とした特別展覧会における室内滞留者数傾向の解析

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2023-04-05 キーワード (Ja): キーワード (En): exhibition environment   infection control   number of visitors   number of room occupants   ventilation capacity 作成者: 和田, 浩 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="https://doi.org/10.15021/00010036">https://doi.org/10.15021/00010036</a>

## 入場者数の展示室内環境への影響の検証を目的とした 特別展覧会における室内滞留者数傾向の解析

和田 浩\*

### Trend Analysis of the Number of Visitors Occupying a Special Exhibition Room to Verify Effects of Numbers of Visitors on Exhibition Room Environments

Hiroshi Wada

本稿では、文化財の保存状態に影響を及ぼさない展示環境を維持しつつ、展示室の換気状態を良好に保つ諸条件についての検証を試みた。まず、特別展覧会全般における入場者数にどのような傾向が見られるのかを中心に解析した。その結果、各日の入場者増加割合は、同日内で大きく変化しない、おおむね線形的な傾向を把握できた。次に、コロナ禍の下で開催した特別展覧会開催時におけるデータを解析した。これらの展覧会では、展示室内の滞留者数を直接カウントした。その数値を基に、平均滞留時間を推定すると、1.5時間から2時間であった。おそらく各展覧会において、この滞留時間に大差は生じないものと考えられる。上記のように把握できた特性を前提として、最後に空調機器能力と最大許容滞留者数についての検証を行った。その結果、滞留者数 800 人程度までは良好な換気状況と環境保全の両立を、余裕を持って維持できると考えられた。

As described herein, the author attempted to examine compatibility between good ventilation conditions in exhibition rooms and environmental preservation for cultural properties. First, general trends of the numbers of visitors to special exhibitions were analyzed. Findings indicate that the percentage increases in visitor numbers did not change significantly within the same day. Trends were roughly linear. Next, data from the special exhibitions held during the COVID-19 pandemic were analyzed. Visitors at these exhibi-

---

\*東京国立博物館

**Key Words** : exhibition environment, infection control, number of visitors, number of room occupants, ventilation capacity

**キーワード** : 展示環境, 入場者数, 滞留者数, 感染症対策, 換気能力

tions who occupied the exhibition rooms were counted directly. Based on these data, the average visitation time was estimated as 1.5–2 hr. According to the characteristics described above, the air conditioning equipment capacity and the maximum number of visitors allowed to occupy the room were verified. Results suggest the possibility of maintaining good ventilation conditions and environmental protection with an adequate margin of safety up to about 800 visitors.

1 はじめに	5 コロナ禍の下で開催した特別展覧会開催時におけるデータ解析
2 東京国立博物館の対応経緯	6 空調機器能力と最大許容滞留者数
3 換気能力と収容人数	7 おわりに
4 来館者数データの解析	

## 1 はじめに

展覧会で受け入れる入場者が多いほど、人間が文化財の展示環境に与える影響も必然的に大きくなることが予測される。入場者の増加は博物館経営の観点からは好ましい状況である一方、展示環境の保全が危ぶまれる状況は回避せねばならない。例えば膨大な入場者数が展示室の温湿度変動の原因となる危険性も考慮せねばならない。従って、許容可能な入場者数は目標とする展示環境によって決まることもある。また、運営側の責任として、過度な混雑状況は来館者同士の接触による事故にもつながるため、安全性の観点からも回避せねばならない事象である。

2020年に発生した新型コロナウイルス感染症の拡大とその対策において、博物館施設においても、いわゆる3密（密集、密閉、密接）を回避することが求められた。つまり、従来通りに入場者を受け入れることはできない状況となった。どの程度入場者を制限すればよいのかを検討するためには、展示室内の環境保全を実施しつつ、適切な換気を維持できる条件を導き出す必要がある。2021年に

入り、新型コロナウイルス感染症が拡大し、本稿を執筆し始めた2021年1月には、東京都に2度目の緊急事態宣言が発令された（2021年2月21日に解除）。本稿では、まず2020年前半にかけて東京国立博物館（東博）が実施した対応を振り返る。次に東博で開催した過去の特別展覧会における入場者数の傾向を把握するために、統計的な解析を試みた内容について論じる。また、会場内での滞留者数を正確に把握するため、コロナ禍の2020年に開催した特別展覧会では会場内の滞留者数を実測した。その数値から入場者がどれだけの時間会場に滞在していたのかを推測できたため、その検証内容について論じる。最後に、展示環境の評価をしつつ、東博の空調機器が持つ能力から許容可能な入場者数等の条件についての考察を加えた。仮に、空調機器の能力が強大で、エネルギー消費量への考慮も不要であれば、入場者数に関わらず、適切な換気と文化財保存環境の両立は比較的容易に維持されるため、本稿で述べる検証過程は不要とも思われる。しかし、現実的には大量の入場者を受け入れた場合には、特定の条件のみ満たし、両立の維持は難しい場合が多く、東博でも同様である。東博で開催される特別展覧会では特に入場者が多く、入場者の快適性および安全性と展示環境保全との両立の実現は毎回難しい課題となっている。さらに、そこには文化財保存のための環境維持という特殊性が加わっているため、理想的な設備を備えた場合であっても、自館の空調機器や建物の特性を把握し、許容範囲が一体どの程度であるかといった情報はリスクマネジメントという観点からも得ておく必要がある。また、近年は文化財保存環境の持続可能性という課題についても活発な議論が展開されている（Atkinson 2016）。どのように空調機器を稼働させるとどのような環境になるのか、という施設のスペックに対する評価は、今後もより重要性を増す。

こうした背景の中で、コロナ禍が発生し、空気感染予防のための手段として、室内の換気に焦点が絞られた。現在の換気状況は空気中の二酸化炭素濃度値により評価されるため、入場者数が、換気を左右する1つの重要な管理項目である。博物館施設では空調機器による換気が主となるが、建物特性による自然換気や日常的な運営実態も全体の換気状況に影響する。日常的な運営実態の影響とは、例えば、博物館施設の規模や立地によっては、とめどなく入場者が続く、待ち列が発生する、といった場合が日常的に存在し、入退場の扉等、開口部は開放状態が維持され、結果的に換気に影響すること等を指す。つまり、各博物館施設の換気

能力を空調機器のスペックだけで算出しようとする関連する因子が多すぎて、結果的に現実的ではない。したがって、こうした対応についての研究はケーススタディの積み上げにならざるを得ない側面を持っている。筆者は二酸化炭素濃度、入場者数、滞留者数、空調機器稼働状況といった各因子についてのデータを収集し、その解析によって、最大許容滞留者数という限界値を出し、1つの事例紹介ではなく、その一連の手法を本稿によって提示したいと考えた。本稿の学術的位置付けはそこに存在すると考えている。

## 2 東京国立博物館の対応経緯

これまで東博が行った対応の経緯を表1に簡単にまとめた。東博では2020年2月27日に全館臨時休館が始まり、結果的に6月1日まで続いた。その間、4月7日に東京都に1度目の緊急事態宣言が出されてから、5月26日に東京都が休業要請を緩和するまでの間、基本的には職員は自宅待機となった。自宅待機期間中、来るべき再開を想定した感染対策ガイドラインを内部で策定し、6月2日の平常展一部再開、6月30日の特別展開催、を経て7月21日に全面再開に至るのが2020年前半の経緯である。

表1 新型コロナウイルス感染症拡大に伴う東博の対応について

日付	周辺状況等	東博の対応に関する事項
2020年1月16日	・国内初の新型コロナウイルス感染確認	
2020年1月27日		・正門および各館入口付近に消毒液およびマスク着用を周知する案内を設置
2020年2月25日		・感染予防、拡散防止のため一部催し物の中止決定
2020年2月26日	・第14回新型コロナウイルス感染症対策本部開催	・2月27日から2週間程度の全館臨時休館決定 ・職員の在宅勤務や時差出勤、発熱等の症状の際の自宅療養が推奨
2020年2月27日	・全国の小中高・特別支援学校に3月2日から春休みまでの休校要請	・全館臨時休館開始
2020年3月12日	・WHOによるパンデミック認定	
2020年3月24日	・東京オリンピック延期決定	

和田 入場者数の展示室内環境への影響の検証を目的とした特別展覧会における室内滞留者数傾向の解析

日付	周辺状況等	東博の対応に関する事項
2020年3月25日	・東京都による外出自粛要請（解除は4月12日までに判断）	・東京都知事の要請を受け、3月25日、3月26日の職員の自宅待機が決定
2020年3月26日		・緊急幹部会議開催 ・職員の自宅待機4月12日まで延長（出勤の際は部長・課長承認による） ・一部業務（展示、貸与、特別観覧、修理等）については実施
2020年4月3日		・GW明けまでの職員自宅待機延長
2020年4月7日	・緊急事態宣言発令（7都道府県）	・全職員自宅待機指示（課長職以上含む） ・全業務縮小 ・一部職員へテレワーク用PCを配布
2020年4月8日		・4月中の展示替え作業の中止を決定
2020年4月14日		・政府および文化庁からの要請を受け、出勤者7割削減の取組みが開始 ・建物への入退場を平成館西玄関に限定 ・入館者の把握のため職員含め受付での記名を開始 ・非接触型検温の実施（37.5℃以上は入館不可） ・5月6日までミュージアムショップ（ウェブ販売含む）の休業が決定
2020年4月16日	・緊急事態宣言が全都道府県に拡大	
2020年4月20日		・2020年内の特別展開催予定（中止・延期）が告知
2020年4月22日		・緊急事態宣言の拡大に伴い、引き続き管理職を含めて自宅待機が原則とされる旨の事務連絡が発信 ・在宅勤務継続期間に限定して、重要事項に関するウェブ会議、ウェブ決裁の実施が決定
2020年4月23日	・文化庁から「接触機会の低減に向けた取組の周知」の事務連絡が発信 ・文化庁から「文化財所有者及び文化財保存展示施設設置者におけるウイルス除去消毒作業に係る対応について」の事務連絡が発信	
2020年5月4日	・新型コロナウイルス感染症対策本部にて緊急事態宣言の延長決定 ・文化庁から文化関係団体の長等へ宛てた事務連絡が発信（イベント自粛、施設の使用制限要請等の周知）	
2020年5月6日		・職員の自宅待機を5月31日まで延長
2020年5月8日		・緊急事態宣言発令中の物品等の発注について経理課の代理入力が認められる

日付	周辺状況等	東博の対応に関する事項
2020年5月14日	・日本博物館協会が「博物館における新型コロナウイルス感染症拡大予防ガイドライン」を発信	
2020年5月15日		・本部事務局から「緊急事態宣言」の一部解除について通達
2020年5月18日		・常勤職員へテレワーク用のiPadを支給 ・5月14日の“ガイドライン”を踏まえた東博の対応策を館内周知
2020年5月25日	・首都圏の「緊急事態宣言解除」を諮問委員会が了承	・「東博ガイドライン対応」最終版完成 ・「緊急事態宣言解除後の対応」最終版完成
2020年5月26日	・東京都の緊急事態宣言が解除 ・東京都が休業要請緩和を「ステップ1（博物館等の開館）」へ移行表明	・6月2日の開館（本館1階の一部、平成館考古展示室と法隆寺宝物館の1階）が決定 ・6月28日まで開館時間は10時30分から16時に ・滞在可能者数管理のため、オンラインによる事前予約制 ・勤務体制については、5月31日までは原則として現在の体制を継続し、6月1日からは、出勤者5割を目安とすることが決定 ・ウェブサイトに開館情報を告知
2020年5月28日		・「東博ガイドライン対応」の修正 ・当面の博物館の運営体制について発表 ・特別展「きもの」「鳥獣戯画のすべて」延期の発表 ・展示ケースとの距離を保つために、平成館考古展示室床に結界テープ設置
2020年5月29日		・本館1階展示室床に結界テープ設置
2020年6月1日		・5割を目安として出勤を開始 ・12時より来館予約開始 ・平成館西玄関に職員の入館を統一し、検温と名簿への記入が必須に ・法隆寺宝物館展示室床に結界テープ設置
2020年6月2日		・開館時間は10時30分から16時（最終入場15時30分） ・オンラインによる事前予約制にて、公開開始 ・本館1階（11室/12室/13室/16室/18室/ショップ）再開 ・平成館考古展示室再開 ・法隆寺宝物館1階（1室/2室/3室）再開 ・庭園の一部再開 ・東洋館1階レストランとレストラン入口のカフェ再開
2020年6月3日		・特別展「きもの」無料観覧券配布の禁止が通達 ・人事担当より（在宅勤務に関しての）就業上の取扱いについて通知
2020年6月17日		・本館1階（14室）再開

日付	周辺状況等	東博の対応に関する事項
2020年6月24日		<ul style="list-style-type: none"> <li>・本館1階(15室)再開</li> <li>・東洋館(8室以外)再開</li> <li>・法隆寺宝物館(4室/5室/6室)再開</li> </ul>
2020年6月29日		<ul style="list-style-type: none"> <li>・職員出勤時の入館者名簿への記入が免除</li> <li>・特別展「きもの」報道内覧会</li> </ul>
2020年6月30日		<ul style="list-style-type: none"> <li>・特別展「きもの」開催</li> <li>・東洋館ミュージアムショップ再開</li> </ul>
2020年7月6日		<ul style="list-style-type: none"> <li>・勤務体制は今後も現行の5割を維持と決定</li> </ul>
2020年7月7日		<ul style="list-style-type: none"> <li>・本館2階(1室/2室/3室/4室/便殿)再開</li> <li>・東洋館(8室)再開</li> </ul>
2020年7月13日		<ul style="list-style-type: none"> <li>・館内で感染者発生の場合には10日間の閉館の方針が決定</li> </ul>
2020年7月14日		<ul style="list-style-type: none"> <li>・本館と平成館との連絡通路が再開</li> </ul>
2020年7月15日		<ul style="list-style-type: none"> <li>・web会議システム「Teams」の利用開始</li> </ul>
2020年7月16日		<ul style="list-style-type: none"> <li>・テレワーク用WindowsPCの支給</li> </ul>
2020年7月21日		<ul style="list-style-type: none"> <li>・全面再開</li> </ul>

(筆者作成)

### 3 換気能力と収容人数

「建築物における衛生的環境の確保に関する法律」は通称「ビル管理法」または「ビル衛生管理法」と呼ばれており、博物館施設の管理者にとっては馴染みのある法令である。そこでは、「建築物環境衛生管理基準」に従って維持管理をすることが義務づけられており、当該基準の中に「機械換気設備を設けている場合の空気環境の基準」として、二酸化炭素の含有率が100万分の1,000以下つまり、濃度が1,000ppm以下の維持が明記されている。これは、人間の必要換気量が毎時約30m<sup>3</sup>であることから導きだされた基準で、換気状況の指針である。新型コロナウイルス感染拡大防止策においても、各種の商業施設向きにこの基準を目安に換気を確保するよう呼びかけられている(公益社団法人空気調和・衛生工学会新型コロナウイルス対策特別委員会2020;厚生労働省2022)。比較的大きな展示室を持つ博物館施設においても、上記の基準で換気を考えることがまずは必要となる。

したがって、空調機器の換気能力を見極めた上であれば、展示室に受け入れられる最大許容人数は、計算上求めることができる数値である。なお、最大許容人数とは、単位時間あたりに室内に滞留する入場者の数であり、1日の総入場者数とは異なる。つまり、入場者の滞留時間が短ければ、総入場者数と適度な換気の両



方を維持できる。一方、滞留時間が長ければ入場規制の対象にもなり得るため、適度な換気を維持しようとするれば、総入場者数の減少は受け入れざるを得ない。

東博では 2020 年前半に感染対策ガイドラインを検討するにあたり、上記のロジックで、展示室における換気能力の観点から入場者数をコントロールする手法を採用し、再開後に微修正を加えながら運用し、2022 年 6 月に至った。

#### 4 来館者数データの解析

東博が現在まで継続的に入手しているデータの内、室内環境については、空調機器のセンサーで感知した室内温湿度データと、同時に計測した二酸化炭素濃度データが存在する。図 1, 2 は一例として、2009 年に開催した特別展 A で計測したそれらのデータを並列して時系列にプロットしたものである。会期の序盤から二酸化炭素濃度基準値 1,000 ppm を超え、展覧会によっては 2,000 ppm に到達してしまう日が出現している状況が分かる。従来は不可抗力的で一時的なものとして看過されてきたが、コロナ禍の社会状況を鑑みると何らかの対策を講じる必要がある。なお、本稿で解析に用いた特別展覧会の一覧と記号との対照については

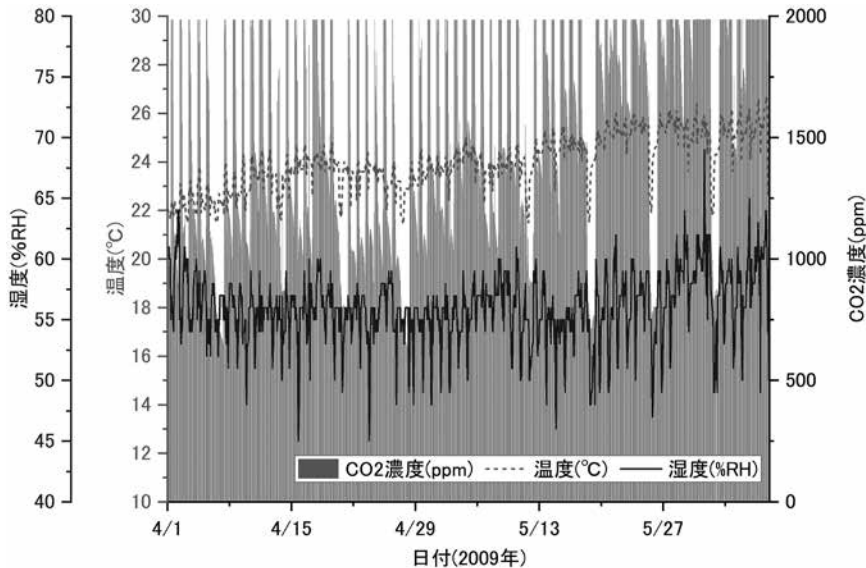


図 1 特別展 A の全会期における展示室内環境の時系列変化

和田 入場者数の展示室内環境への影響の検証を目的とした特別展覧会における室内滞留者数傾向の解析

表2を参照いただきたい。本稿に掲載した図1から図18は東博で取得したデータをもとに筆者が作成したものである。

東博の特別展会場入口にはチケットのもぎりを行うカウンターが設置されており、カウンターで集計された30分毎の入場者数が日別にファイリングされている。なお、出場者のカウントはなされていない。特別展A, B, C, D, E, F, G, Hにおけるカウンターでの集計について統計的解析を実施した。その内、特別展A, E, G, Hの結果が図2から図5に該当し、それぞれ30分毎の入場者数変化を全会期分プロットしたものである。入場者数がゼロになっている時刻が閉館時刻に該当し、夜間閉館実施日との違いが判別できる。紙面の都合上一部の結果のみ掲載するが、全ての特別展において傾向は同様であり、これらのプロット形式では入場者数がランダムに変動する印象が強くなり、傾向を把握し難い。

そこで、累積入場者の形式で同じデータ（図2～図5）を再加工したところ、図6から図9の結果が得られた。各日の入場者増加傾向（グラフの傾き）は16時頃まではほぼ一定であり、原点とその日の総入場者数を結ぶ直線でほぼ近似可能である。グラフの傾きは日によってばらつきがあるが、開館から30分毎に3回ほど入場者をカウントした点を直線で結び、16時頃まで延長すればおおよそその日の傾向を把握することができる。この入場者増加傾向の線形性は混雑による入場制限が行われた日や新型コロナウイルス感染症対策としての事前予約制に

表2 解析対象とした特別展覧会一覧

記号	展覧会名	開催期間	総入場者数(人)
A	興福寺創建1300年記念 「国宝 阿修羅展」	2009年3月31日(火) ～ 2009年6月7日(日)	946,172
B	特別展「鳥獣戯画—京都 高山寺の至宝—」	2015年4月28日(火) ～ 2015年6月7日(日)	239,115
C	興福寺中金堂再建記念 特別展「運慶」	2017年9月26日(火) ～ 2017年11月26日(日)	600,439
D	日中文化交流協定締結40周年記念 特別展「三国志」	2019年7月9日(火) ～ 2019年9月16日(月)	337,639
E	御即位記念特別展 「正倉院の世界—皇室がまもり伝えた美—」	2019年10月14日(月) ～ 2019年11月24日(日)	362,076
F	日本書紀成立1300年 特別展「出雲と大和」	2020年1月15日(水) ～ 2020年2月26日(水)	136,054
G	特別展「きもの KIMONO」	2020年6月30日(火) ～ 2020年8月23日(日)	91,830
H	特別展「桃山—天下人の100年」	2020年10月6日(火) ～ 2020年11月29日(日)	82,068

(筆者作成)

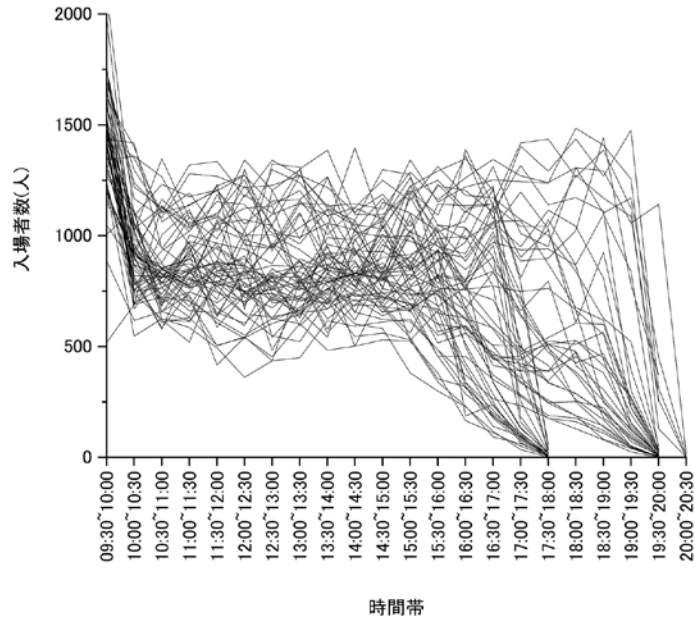


図2 特別展 A (2009 年 3 月 31 日～6 月 7 日) における 30 分毎に計測した入場者数の 1 日毎の変化

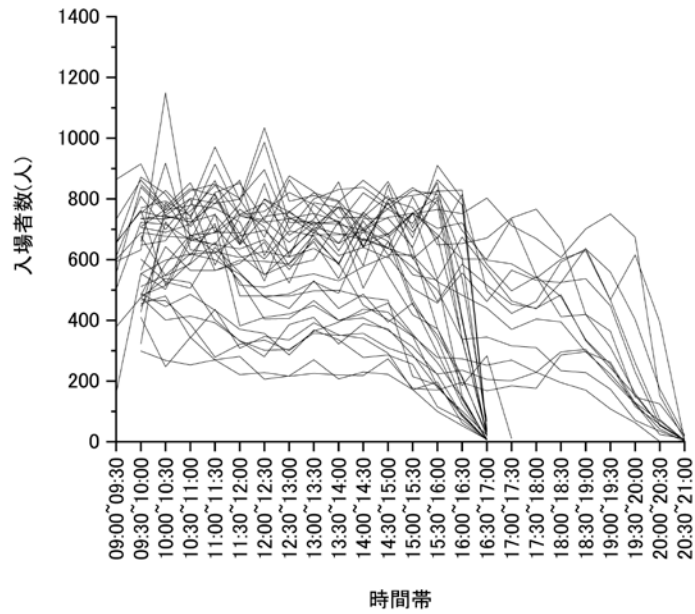


図3 特別展 E (2019 年 10 月 14 日～11 月 24 日) における 30 分毎に計測した入場者数の 1 日毎の変化

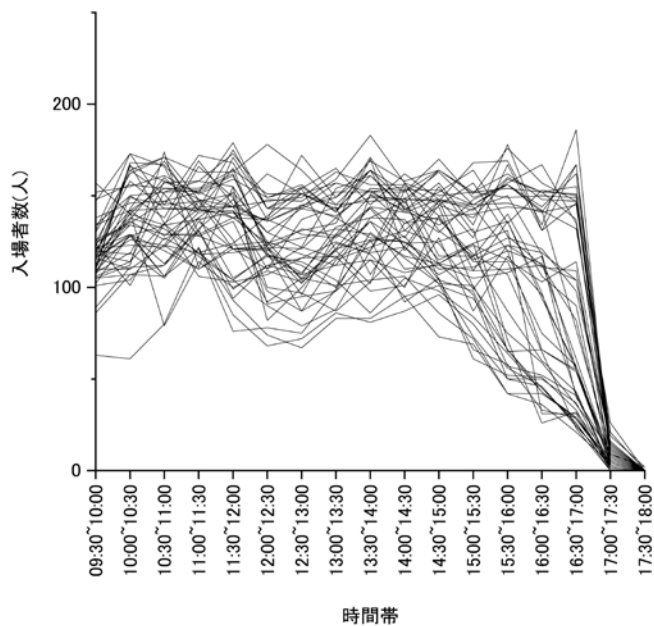


図4 特別展G（2020年6月30日～8月23日）における30分毎に計測した入場者数の1日毎の変化

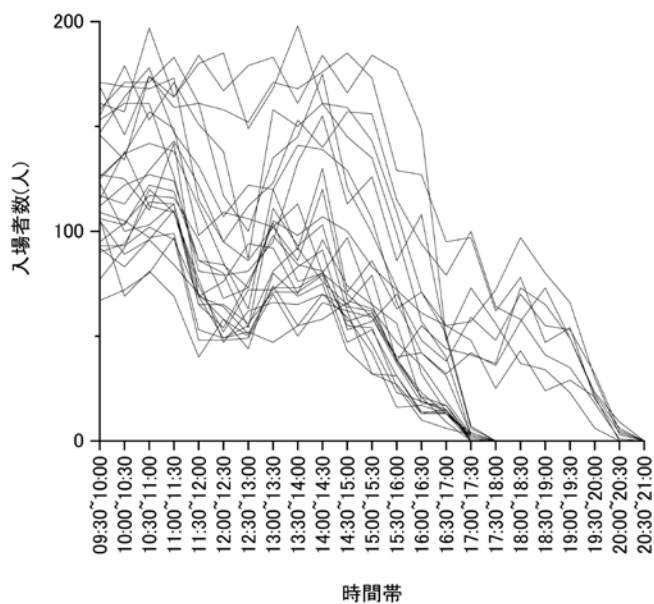


図5 特別展H（2020年10月6日～11月29日）における30分毎に計測した入場者数の1日毎の変化

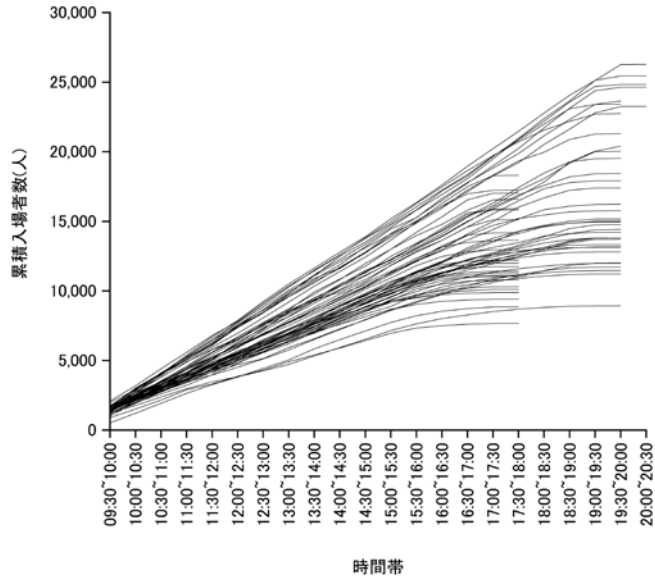


図 6 特別展 A (2009 年 3 月 31 日～6 月 7 日) における累積入場者数の 1 日毎の変化

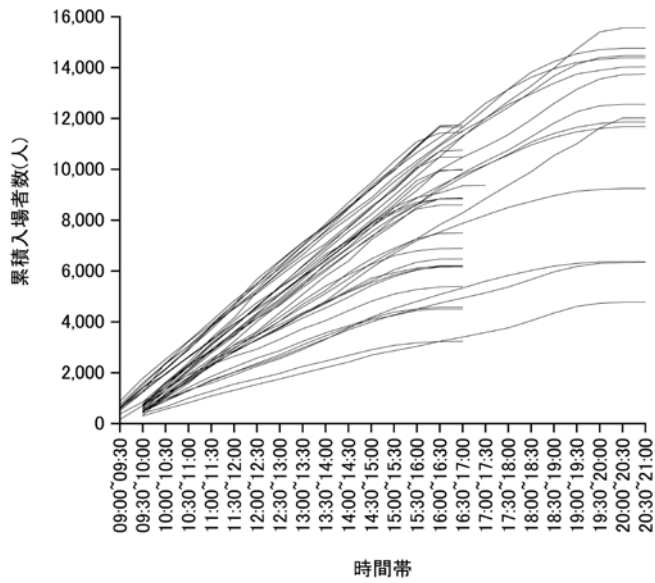


図 7 特別展 E (2019 年 10 月 14 日～11 月 24 日) における累積入場者数の 1 日毎の変化

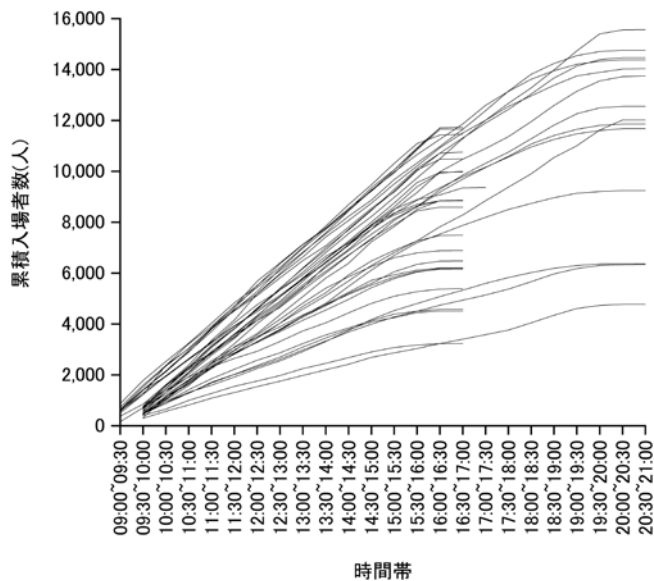


図8 特別展G（2020年6月30日～8月23日）における累積入場者数の1日毎の変化

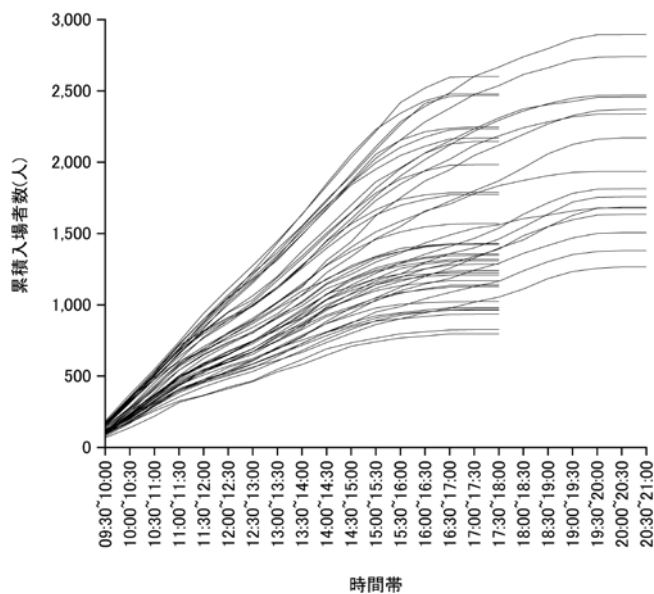


図9 特別展H（2020年10月6日～11月29日）における累積入場者数の1日毎の変化

よる入場時間枠指定が行われた展覧会ではより顕著に現れる。

この入場者増加傾向の線形性を前提とすれば、特別展覧会での経営的観点から 1 日当たりの目標総入場者数を設定した場合、開館時間との割り算で 30 分毎に受け入れたい入場者数を算出できることになる。一方で会場の換気の観点からの許容最大人数（会場における滞留者）は計算できるため、両者を満たすためには入場後何時間の滞在が妥当かを導くことができる。例えば、1 日当たり 4,500 人の入場者が目標値で、9 時間開館しているのであれば、30 分毎に 250 人を受け入れることになる。その施設での許容最大滞留者が 1,000 人であれば、入場者は最大 2 時間まで滞在できることになる。この例の場合、逆に考えると、2 時間で出場できるような展示レイアウトや解説文字数といった要素を工夫する必要がある。もちろん常にこうした予測が正確に成立するわけではないが、東博で開催する特別展覧会においては概算的に見積もることは可能であると考えられた。

以上の解析結果を現場で活用する際に未だ決定的に不足するデータが存在する。それは滞留時間と滞留者数である。ただ、滞留時間が分かれば滞留者数を算出可能で、その逆も成立するため、いずれか一方のデータを入手するのみで解析を進めることができる。展示室内で入場者を追跡し、滞留時間を計測することは現状の設備では不可能であったため、多少の誤差は許容しつつ、30 分毎に滞留者を手動カウントする方法でデータ収集を試みた。その詳細については次章で論じる。

## 5 コロナ禍の下で開催した特別展覧会開催時におけるデータ解析

本章では、特別展 G、および特別展 H で計測した展示環境のデータ解析について論じる。少々複雑なフォーマットになるが、展示室内の温度、湿度の他、滞留者実測数、二酸化炭素濃度、30 分毎の入場者数（もぎりでのカウント）、外気ダンパーの開口率、といった要素の変化を解析したものが図 10 から図 16 である。これらは両特別展の会期中から 1 日の総入場者数が多かった上位 3 日のデータを加工したものである。まず、滞留者数データについては、前章で述べたように、展示室内の滞留者数を手動でカウントしたものである。具体的には、30 分毎に監視スタッフが室内で滞在者数をカウントするという作業を実施した。各図

和田 入場者数の展示室内環境への影響の検証を目的とした特別展覧会における室内滞留者数傾向の解析

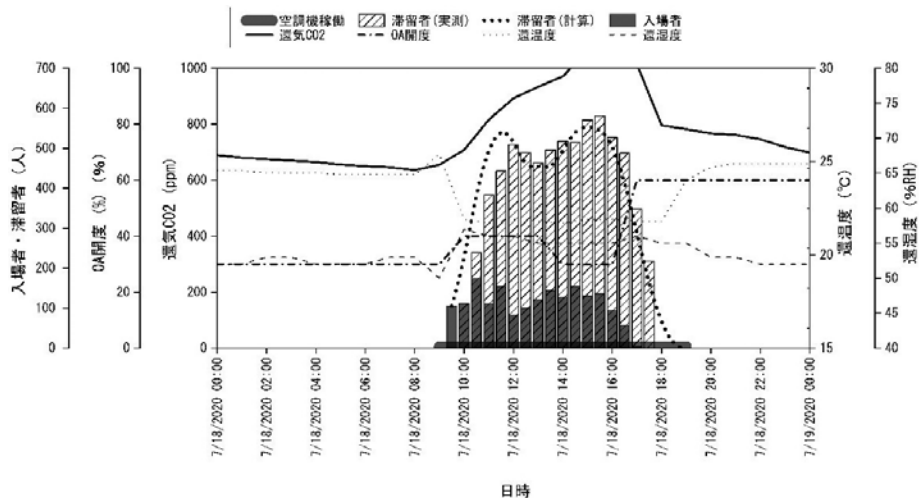


図 10 特別展 G (2020 年 7 月 18 日, 入場者数 1,807 人) の各計測値の 1 日の変化

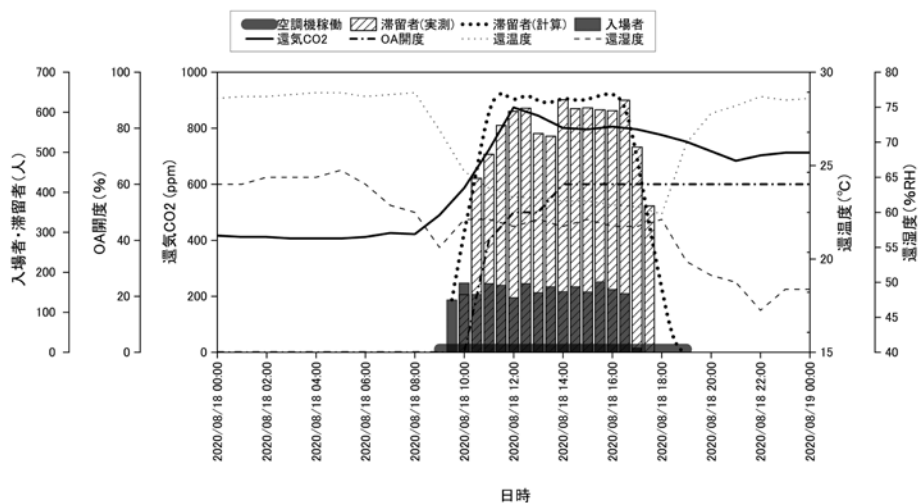


図 11 特別展 G (2020 年 8 月 18 日, 入場者数 2,369 人) の各計測値の 1 日の変化



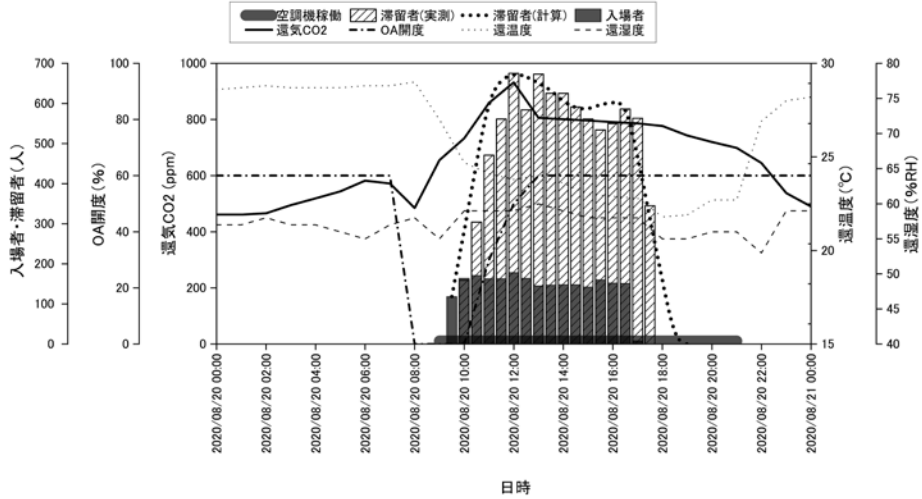


図 12 特別展 G (2020 年 8 月 20 日, 入場者数 2,322 人) の各計測値の 1 日の変化

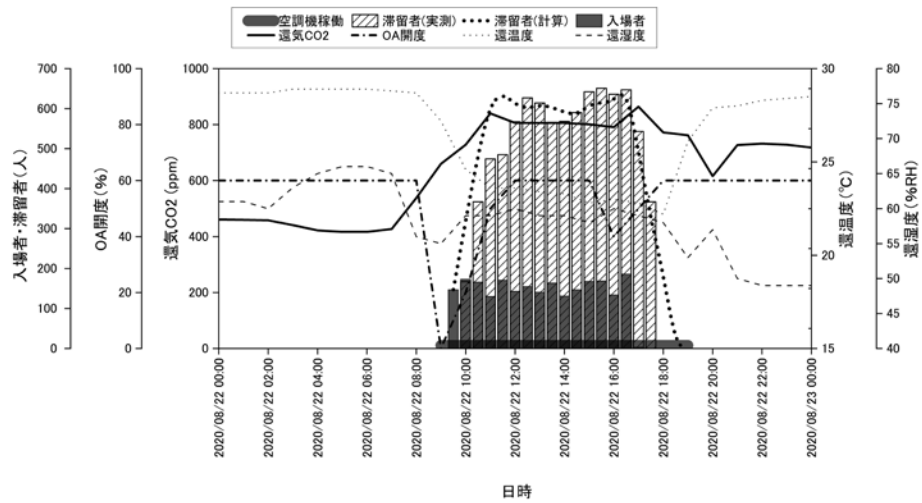


図 13 特別展 G (2020 年 8 月 22 日, 入場者数 2,328 人) の各計測値の 1 日の変化

和田 入場者数の展示室内環境への影響の検証を目的とした特別展覧会における室内滞留者数傾向の解析

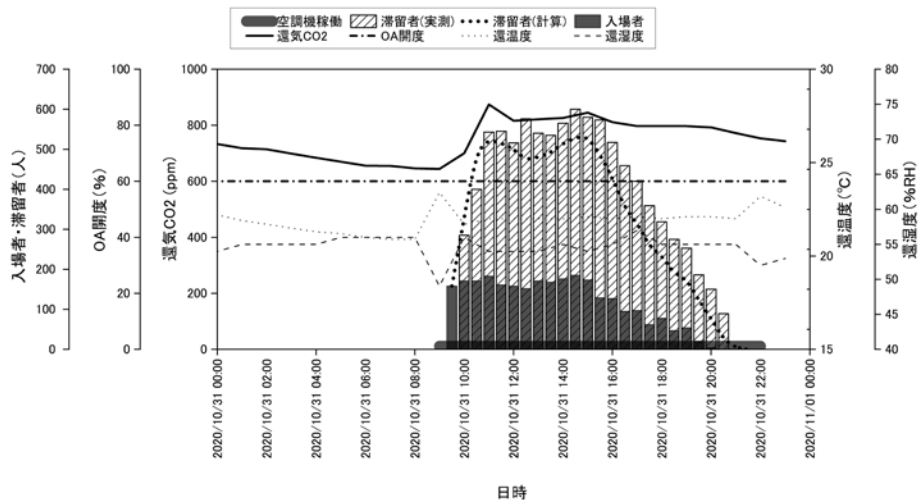


図 14 特別展 H (2020 年 10 月 31 日, 入場者数 2,740 人) の各計測値の 1 日の変化

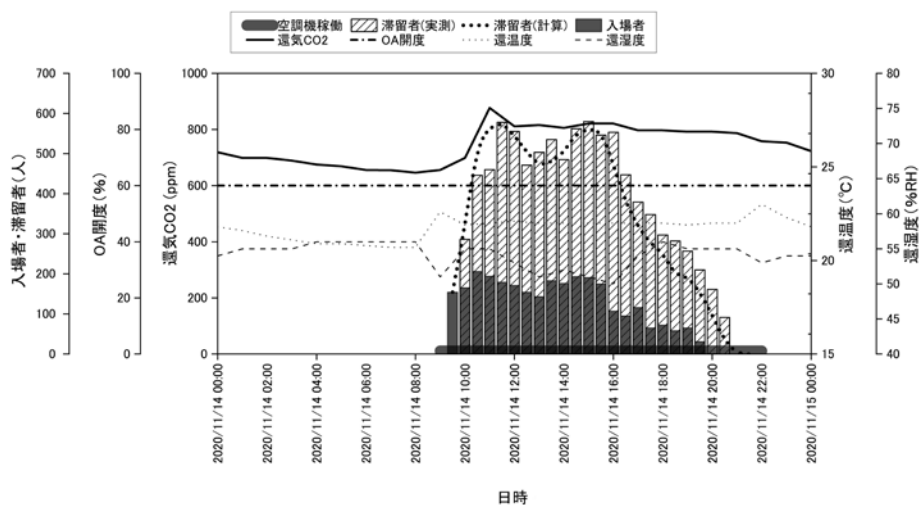


図 15 特別展 H (2020 年 11 月 14 日, 入場者数 2,894 人) の各計測値の 1 日の変化

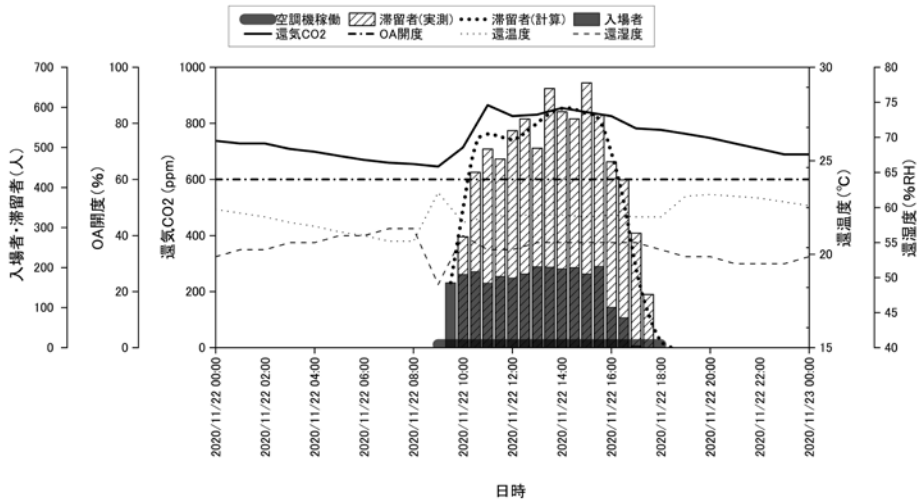


図 16 特別展 H (2020 年 11 月 22 日, 入場者数 2,600 人) の各計測値の 1 日の変化

にはその変化を棒グラフ状に表現した。外気導入ダンパーの開口率 (OA 開度) に関して補足説明を行うと、東博の空調機器は室内の二酸化炭素濃度を計測しながら、それを 1,000 ppm 以下に維持するよう、OA 開度を制御している。OA 開度が高いほど外気、つまり新鮮空気量が多くなるが、OA 開度が高すぎると結露等の問題が生じるため、最大で 60%に留まるように設定されている。

特別展 G および特別展 H の会期においては、温湿度 (還温度・還湿度: 空調リターンダクト内のセンサーで計測された温度と湿度) は概ね 20 °C から 25 °C, 50% RH から 55% RH の範囲内に収まっており、文化財保存環境として特段の問題は無かった。二酸化炭素濃度は 1,000 ppm を超えることがなく、良好な換気状況であったと評価できる。二酸化炭素濃度の変化は滞留者数の変化に追従しており、開館直後に OA 開度は上限の 60%に到達するが、滞留者数が横這い状態である時間帯は OA 開度を 60%に維持していても二酸化炭素濃度は開館前のレベルまでは下らない。より高い換気率を獲得するためには OA 開度をさらに上げる必要があるが、上記のとおりその日の外気条件を考慮せねばならないため、やや複雑な操作となる。また、空調機器は閉館後、1 時間程度稼働を続ける設定で運用していた。空調機器が完全停止した後の二酸化炭素濃度の下降は非常に緩やかになっていることが分かった。つまり、滞留者数がゼロとなった閉館後に数

時間程度空調を稼働することでより新鮮な空気への換気効果が期待できることが検証できた。

さて、滞留時間の推定手法であるが、図 10 から図 16 には「滞留者（計算）」と題したデータがプロットされている。この数値は 30 分毎の入場者全員が特別展 G においては 2 時間、特別展 H においては 1.5 時間滞在した後で退場したという仮定の下、室内にどれだけの人数が滞留することになるのかを計算した結果である。多少のずれは存在するものの、変動傾向としては概ね実測した滞留者とほぼ重なることが分かる。実際は滞在時間のバリエーションを複数検討した結果であるが、このことから特別展 G においては 2 時間、特別展 H においては 1.5 時間の平均滞留時間であったことがこの逆算的手法によって推定できたと考えている。滞留時間は陳列作品数や解説文字数等の諸要素に依存するものと考えられるが、一般的に考えて 1.5 時間から 2 時間というのは体力的な上限とも考えられる。また同じ場所を用いた特別展での展示物や造作物の質的なボリュームはそれ程変動しないはずであるため、滞留時間が極端に短くなることも想定し難い。したがって、過去に開催した特別展および今後開催する特別展においても滞留時間に大差の無い可能性も高い。この点については今後の特別展開催時にも同様の調査を実施することで明らかにする必要がある。

## 6 空調機器能力と最大許容滞留者数

前章の解析によって、滞留者数と二酸化炭素濃度の同期の様子は詳細に把握することができた。OA 開度の上限は 60% と固定した条件下で、結局のところ、東博の空調機器はどの程度の入場者を安全に受け入れることができるのか、本章で考察する。考察のためには、前章までの解析に用いた、滞留者数、二酸化炭素濃度、OA 開度の 3 要素がどのように分布していたのかを見る必要がある。OA 開度の上限は 60% であるため、その上限を保っていた場合にもかかわらず、二酸化炭素濃度が 1,000 ppm に迫る濃度で維持されていたのであれば、その時の滞留者数が換気という観点から見た空調機器の限界、すなわち最大許容滞留者数に近いものであったと推定できる。逆に、OA 開度が大きくないにもかかわらず、二酸化炭素濃度が十分低い場合、その時の滞留者数は、空調機器にとってまだ十分

な余裕があったと推定できる。この考察には滞留者数の実測値が必要であるため、実測を実施した展覧会 G と展覧会 H のみを用いることになる。その点では十分な事例が揃った状況とは言い難いかもしれないが、2つの展覧会の開催期間は合計 96 日であり、データの数としては少ないものではない。

上記の仮説を検証するにあたり、図 17、図 18 のような滞留者数、二酸化炭素濃度、OA 開度の 3 要素を同時にプロットした 3 次元分布図を作製した。この分布図は、実際に得られたデータ間は補完されており、全データを 3 次元の面として近似し、滞留者数 (X 軸) と OA 開度 (Y 軸) の座標上に Z 軸方向に二酸化炭素濃度を高さで表現したものである。二酸化炭素濃度の大きさは凡例の通りのグレースケールに従っている。まず、特別展 G のプロットである図 17 からは、OA 開度 30% 付近に、900ppm 程度と若干高い二酸化炭素濃度が計測されていたことが分かった。一方、OA 開度 60% の時の二酸化炭素濃度はほぼ 800 ppm に留まっている。なお、OA 開度 60% の条件下での最大滞留者数は約 750 人でその際の二酸化炭素濃度は約 950 ppm であった。こうした結果を見ると、空調機器の自動制御による判断で室内温度と室内湿度を安全範囲に維持しながらの最大限の換気をしており、それは効果的に実行できたものと評価できる。なお、特別展 G では一時的に二酸化炭素濃度が 1,000 ppm を超えたデータが 3 個存在した (図 17 では近似された 3 次元平面を構築するため、外れ値のようにデータ数の少ないものはプロットへの影響が減少する)。いずれも 2020 年 7 月 18 日 (図 10) であり、15 時、16 時、17 時と連続した時刻で、OA 開度は時刻順に 30%、30%、60% と変化し、二酸化炭素濃度は 1,260 ppm で一定であった。その際の滞留者数は時刻順に、570 人、527 人、348 人であり、それ程多くは無かった。当日の運転状況を確認したところ、何らかの原因で OA 開度が手動で 30% に固定されてしまった時間帯が発生してしまい、17 時に通常の制御に戻したという事が判明している。こうした一時的な状況を除くと、特別展 G の環境データのみからは、最大許容滞留者数として 750 人程度と考察した。

次に、特別展 H のプロットである図 18 を検証する。特別展 H の滞留者数は特別展 G よりも少なく、最大でも 700 人弱であり、その時の二酸化炭素濃度は約 850 ppm 弱、OA 開度が 60% であった。会期全体を通して、データは OA 開度 60%、二酸化炭素濃度 800 ppm から 850 ppm に集中して維持できていることが

和田 入場者数の展示室内環境への影響の検証を目的とした特別展覧会における室内滞留者数傾向の解析

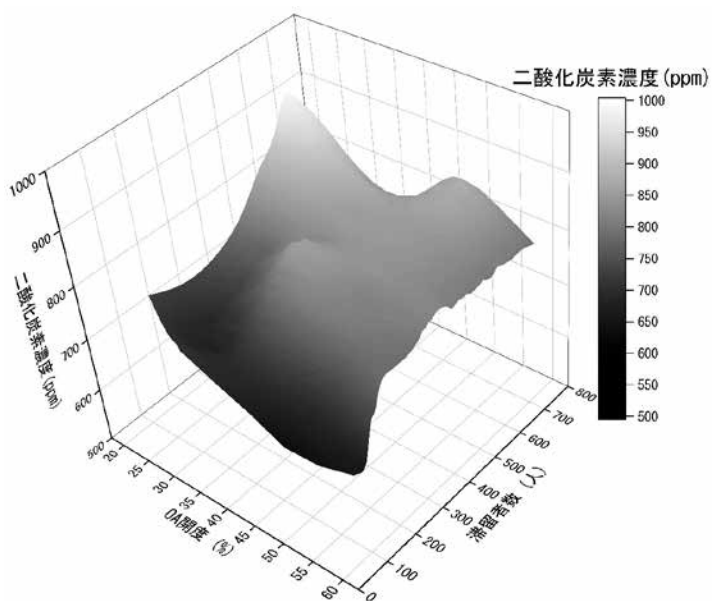


図 17 特別展 G (2020 年 6 月 30 日～8 月 23 日) で計測した, OA 開度, 室内二酸化炭素濃度, 滞留者数の 3 次元プロット

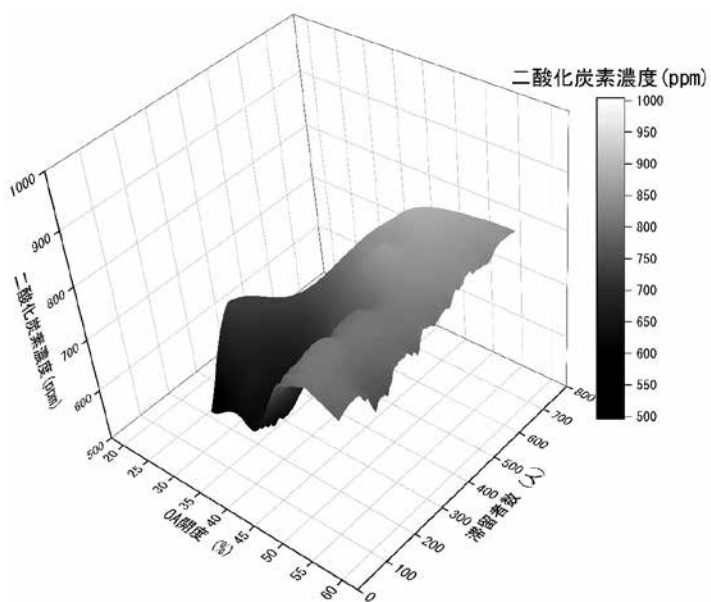


図 18 特別展 H (2020 年 10 月 6 日～11 月 29 日) で計測した, OA 開度, 室内二酸化炭素濃度, 滞留者数の 3 次元プロット

分かった。室内温湿度が許容範囲であれば、この季節（一般的に展覧会シーズンと言われる 10 月から 11 月）であれば OA 開度 60% に維持して換気優先の制御で概ね良いと考えられた。特別展 H の結果からは、おそらく OA 開度 60% であれば、滞留者数 800 人程度であれば、余裕を持って二酸化炭素濃度 1,000 ppm 未満を維持できると考察している。感覚的には滞留者数 1,000 人程度は許容可能と思えるが、未だ解析データの裏付けが得られておらず、今後のデータ収集と解析を進めることで精度を高めた考察を行いたいと考えている。

## 7 おわりに

本稿では、展示されている文化財の保存状態に影響を及ぼさない環境を維持しつつ、展示室の換気状態を良好に維持するための諸条件についての検証を試みた。まず東博の特別展覧会における入場者数にどのような傾向が見られるのかを中心に解析した結果を論じた。そして、換気状況の尺度としての室内二酸化炭素濃度と滞留者数の実測値との関係に、空調機器の稼働状況として OA 開度を加え、東博の特別展示室が許容可能な最大滞留者数についての考察を行った。本稿で検証したのは、空調機器の稼働に関する事項だけであるが、新型コロナウイルス感染症拡大防止策は、換気だけではなく、来館者同士の距離、衛生装備の配置、過度な密集が生じぬようなレイアウト上の工夫といった対策を組み合わせる総合的な対策を講じる必要があるとされている。また、ある博物館施設の事例が別の博物館施設にそのまま応用可能であるとは言い難い。その点について、本稿では、博物館施設における各種のデータ解析の方法論については示すことができたと考えている。個別の事例については個別のデータを用いて、同様の解析手法であれば応用は可能であり、方法論の提示という目的には到達できたものと考えている。

## 謝 辞

本研究の一部は、国立民族学博物館共同研究「博物館における持続可能な資料管理および環境整備—保存科学の視点から」（研究代表者：園田直子）の成果によるものである。

和田 入場者数の展示室内環境への影響の検証を目的とした特別展覧会における室内滞留者数傾向の解析

## 参考文献

Atkinson, J.

2016 Preventive Conservation and the Environment: Summary of IIC Hong Kong Congress Panel Discussion. *Studies in Conservation* 61(sup1): 3-11.

公益社団法人 空気調和・衛生工学会新型コロナウイルス対策特別委員会

2020 「商業施設, 事務所に関係する皆様へ」

<http://www.shasej.org/oshirase/2012/2020.12.09%20syougyo.pdf>

(2022年1月17日閲覧)

厚生労働省

2022 「『換気の悪い密閉空間』を改善するための換気の方法」

<https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/000618969.pdf> (2022年1月17日閲覧)