

文化庁と大学・研究機関等との共同研究事業

「文化財の保護活用を進めるための科学調査研究」に関する業務報告

事業期間

2020年9月1日—2021年3月31日

筑波大学
松井敏也

1. はじめに

歴史的建築物・構造物は文化財指定・登録を含めると一万数千件となり、今後ますます増加の一途をたどる。これらの文化財の活用は、観光や地域活性の一翼を担うであろうことは、改正された文化財保護法が目指す“活用”を重視した政策からも明らかなことである。近年、歴史的建造物・構造物はそれらの本来の用途で活用されるだけでなく、美術館や博物館化、飲食店やイベントスペースとして活用されることが多くなってきている。所有者等は活用に際し保存活用計画等を策定するが、建物や構造物の場合、活用によって文化財が持つ価値を損なわない事が求められている。活用による建物等の内装材や構成素材に及ぼす影響を評価する基準やそれらを裏付けるデータは不足している現状である。

本研究はユニークベニユーによる文化財の活用が、会場となる文化財を構成する素材に及ぼす影響を自然科学的手法によって明らかにすることを目的とする。文化庁によればイベント等への活用に寄る文化財への影響調査を希望する都道府県および市町村は多く、ユニークベニユーによる活用に対する自然科学調査とその評価の重要性が増していると考えられる。本報告では次に挙げる文化遺産を対象に活用時の環境変化を把握した結果を報告する。

2. 対象遺産

- ①京都文化博物館別館 [京都市] (国重要文化財)
- ②元離宮二条城二の丸御殿台所 [京都市] (国重要文化財)
- ③旧萩藩校明倫館 [萩市] (国史跡) 内、萩・明倫学舎本館
- ④旧萩藩御船倉 [萩市] (国史跡)
- ⑤熊谷家住宅 [大田市] (国重要文化財)
- ⑥白川郷中野家住宅 [白川村] (岐阜県重要文化財)
- ⑦白川郷旧遠山家住宅 [白川村] (国重要文化財)
- ⑧牛久シャトー本館 [牛久市] (国重要文化財)
- ⑨富岡製糸場西置繭所 [富岡市] (国宝)

3. 使用機器

計測に使用した機器は次の通り。各遺産で計測した項目は異なり、本報告でデータ記載のない場合はその計測を実施していないことを示す。

温度湿度 CO2 データロガー：Onset 社 HOBO MX1102A
微小粒子状物質 (PM) 計測：Purple Air 社 PA-II Dual Laser Air Quality Sensor
有機ガス TVOC 計測：TENAX 管 GC-MS 分析
有機酸計測：北川式検知管

4. 各遺産での結果

- ①京都文化博物館別館 [京都市] (国重要文化財)

・CO₂計測結果

図1にCO₂挙動（日最大値）を示す。新型コロナ対策（2020年2月以降）による休館および換気や密を避けたイベントの開催により、CO₂濃度の高い開館日は多くない。本事業以前より記録していたデータと併せたCO₂データを図2に示す。新型コロナ流行前は換気に注意を要する1000ppmを大きく上回る日が多く、翌日以降へのCO₂の蓄積も懸念されていた。今回の調査では来館者人数の制限、換気の励行、イベント内容の見直しなどにより、CO₂濃度が抑制されていることが見て取れる。

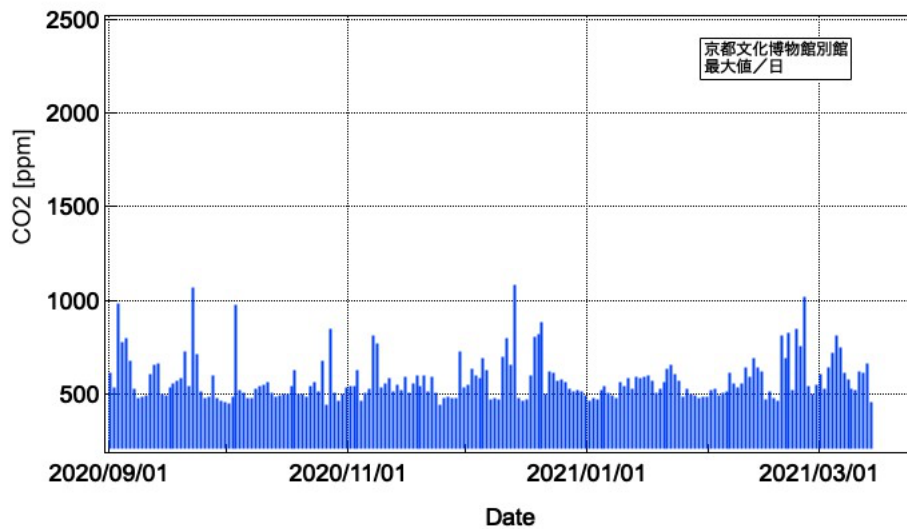


図1 京都文化博物館別館のCO₂挙動（日最大値）

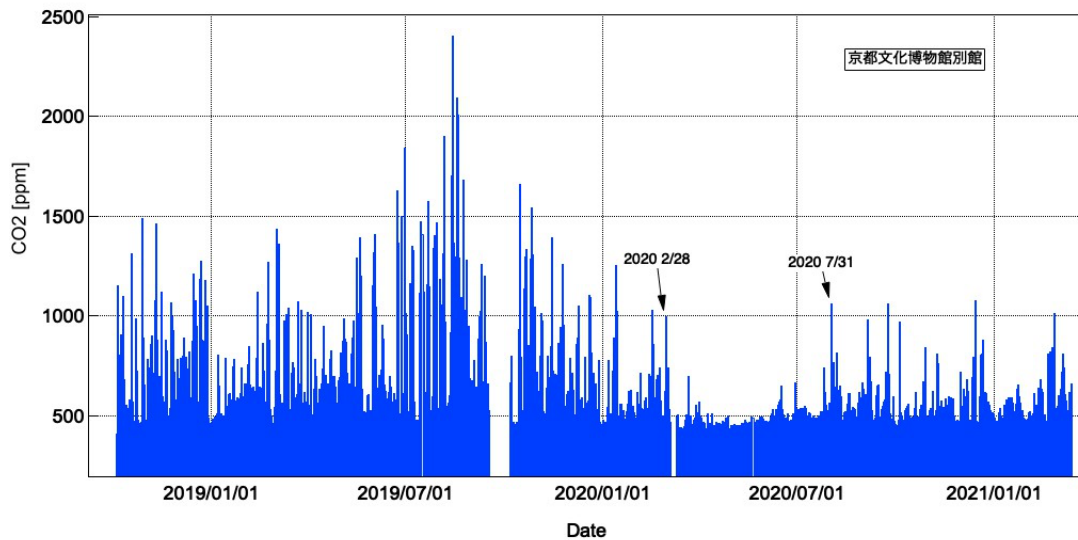


図2 京都博物館別館 CO₂ 挙動の新型コロナ影響前後

・微小粒子状物質計測結果

図3にPM計測結果を示す。12/21午後2時ころを中心に非常に高い計測値が得られた。館に

よるとこれは休館日を利用した害虫駆除作業日に当たり、日付が変わることにはほぼ沈降し、作業前の基底状態に戻っていることがわかる（図4）。

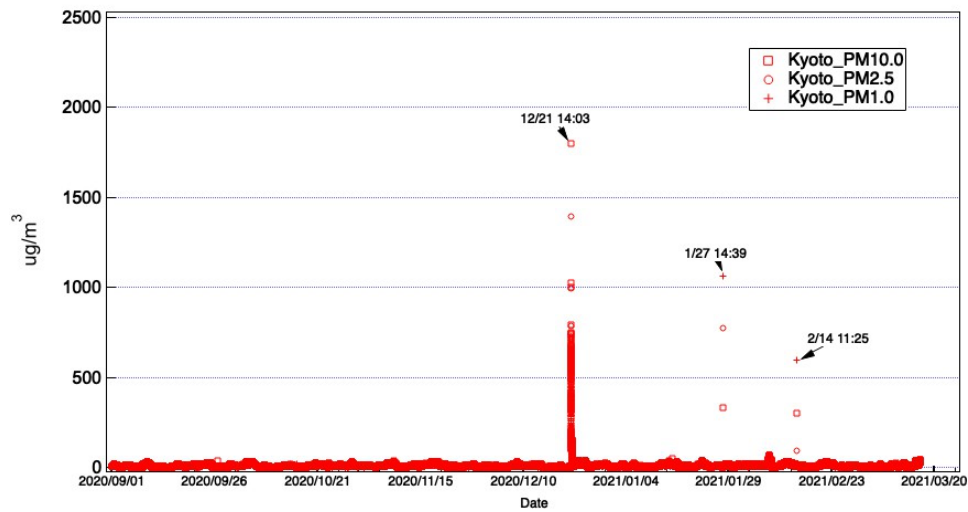


図 3 京都文化博物館別館の PM 挙動

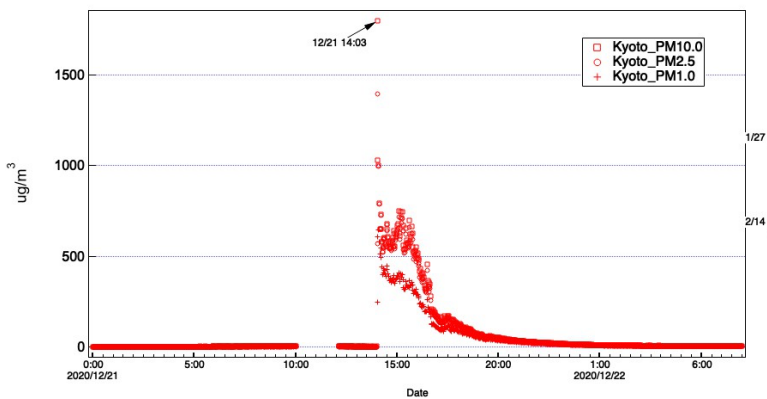


図 4 京都文化博物館別館 12/21 の PM 挙動

・有機ガスTVOC計測結果

京都文化博物館別館で開催されたアート・クラフトマーケット（2021年3月12日（金）—14日（日））における全揮発有機ガス（TVOC）の経時変化調査を行った。計測は3月13日午後1時半、午後7時、14日朝6時 から各90分間空気をTENAX捕集した。

測定点：2点

(1) 金庫前（外気相当。コントロール測定）

(2) 別館1階カウンター（3/13 13:30 START 分, 19:00 START 分, 3/14 6:00 START 分）
測定結果を表1に示す。コントロールとなる屋外（金庫前）のTVOC量は非常に少なく5.5 μg/m³であった。同時間室内は約8倍の量が検出された。その日の閉館（17時）並びに出展者の退出がほぼ終了し屋外との扉の開閉がなくなった時間ではおよそ2割の減少が見られた。その後、空調機が停止したまま翌日朝6時からの計測ではさらに3割のTVOC量の

表1 測定結果

No	測定点	TVOC (μg/m ³)		
		3/13 13:30 START 分	3/13 19:00 START 分	3/14 6:00 START 分
1	金庫前	5.5	—	—
2	別館1階	44.7	36.0	25.4

減少が見られた。

これら GC-MS のスペクトルを図5に示す。さらに成分の増減を確認するために各測定間の差分を表した図を図6に示す。ベースラインに対して、プラス値は減少量が大いことを示し、マイナス値はその成分が増加したことを示す。

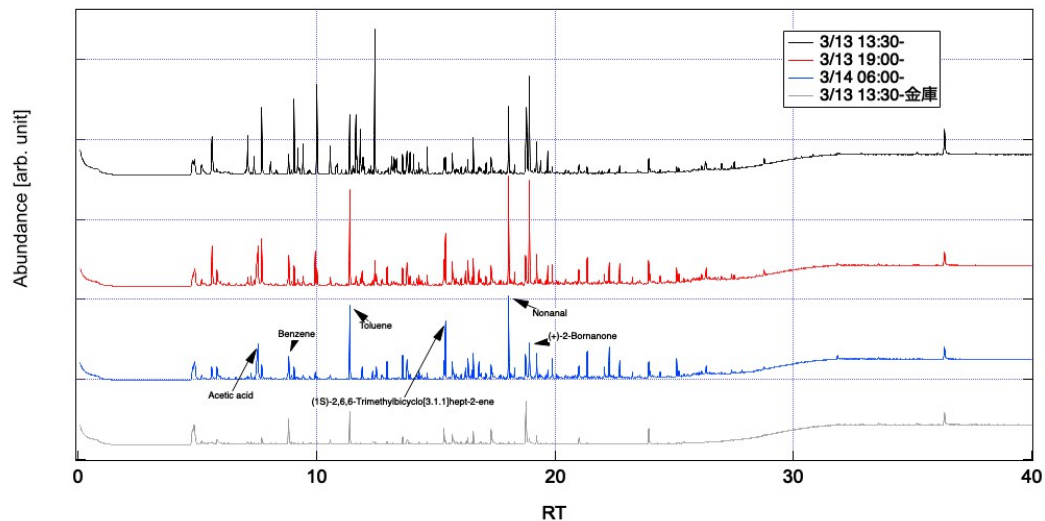


図5 京都文化博物館別館イベント 3/13-14 の GC-MS 分析結果

活用時間中は Heptane や Hexane など有機溶媒や石油系のニオイの挙動が大きいことがわかる。これは計測箇所の近くに皮革製品を扱う出展ブースの影響によるものであろう。閉館後には大きく減少している。閉館時には Acetic acid や Nonanal、Toluene、Acetate が多く、それらは翌日にかけて大きな変化はなく、残留していることがわかる。また、2-Bornanone や Benzene、(1S)-2,6,6-Trimethylbicyclo[3.1.1]hept-2-ene など残留しやすい傾向がある。このように揮発有機ガスのモニタリングを把握することが可能であった。

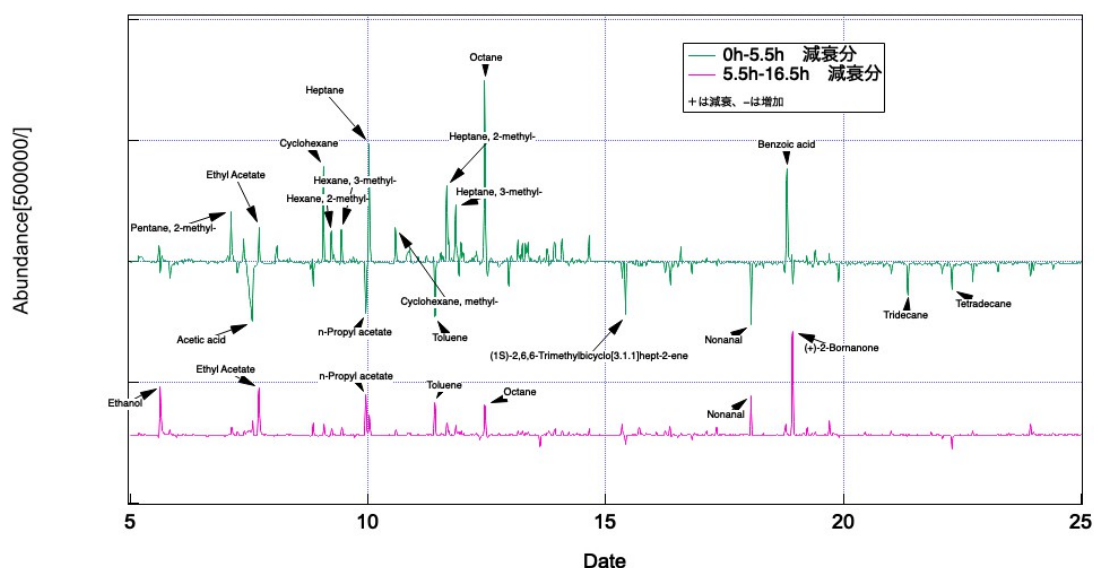


図 6 京都文化博物館別館イベント 3/13-14 における TVOC 変化

②元離宮二条城二の丸御殿台所 [京都市] (国重要文化財)

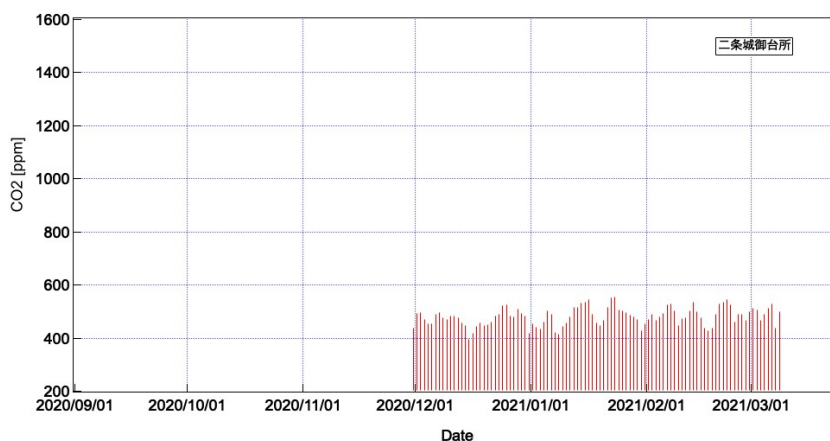


図 7 元離宮二条城二の丸御殿台所の CO₂ 挙動 (日最大値)

図 7 に CO₂ 挙動 (日最大値) の計測結果を示す。イベントは開催されるものの、建物内部へ立ち入るものではなく、開放された入り口より中を望む形式を取ることが多く、イベントによるものと思われるピークは見られていない。

③旧萩藩校明倫館 [萩市] (国史跡) 内、萩・明倫学舎本館

本館多目的復元教室に設置した。図 8 に一日あたりの CO₂ 挙動 (日最大値) を示す。400 後半から 500ppm が平時の基底値と考えられるが、図中にマークした日は倍近い値を計測した。これらは何かしらのイベントの影響によるものと考え、その内容を市に照会した。

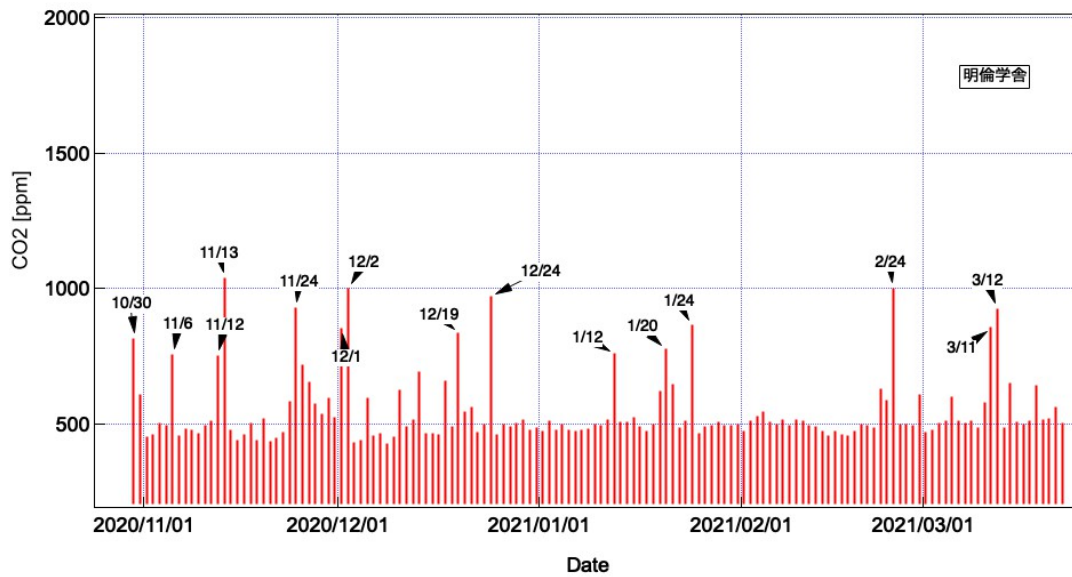


図 8 萩・明倫学舎本館多目的復元教室内の CO₂ 挙動（日最大値）

表 2 にマークアップした日のイベント内容を示す。一般来館者数と CO₂ 挙動（日最大値）のグラフを図 9 に示す。人数が多くても CO₂ 濃度は高くなりず、本館への来場者数が本計測箇所を与える影響は現状では低いと考えられる。一般来館者の多目的復元教室の利用状況は不明であるが、長時間の滞在はないものと思われる。次に 2020 年 11 月 12 日、13 日に実施された当該教室を利用した座学イベントに注目した。12 日は 12 時から 13 時までの昼食利用と 13 時半から 16 時まで座学（30 人×2 回）が行われている。13 日も 13 時半から 16 時まで同じ規模で座学が実施された。この時の経時変化を図 10 に示す。12 日は 15 時ころの 752ppm をピークに徐々に低下し、16 時半の終了後基底値に戻っている。13 日も 15 時ころに 1038ppm を示しその後低下し、12 日と同様に基底値に戻っている。同じ規模の座学であるが両日で CO₂ 濃度の違いについては、同時に測定している相対湿度と温度の変化から考えると 13 日は換気効率がすこし悪くなったと見ることもできる。いずれにしても建築物衛生法で基準となる 1000ppm を超える値を 14 時 40 分から 15 時に計測しているが、速やかに低下しており問題ないと言える。同時に計測している PM 値には大きな変化はなかった。図 11 に PM 計測結果を示す。

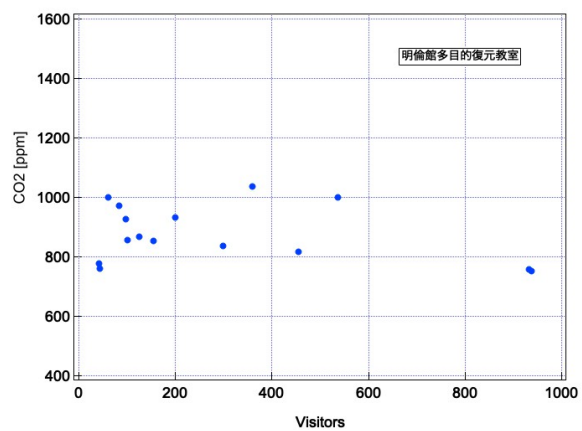


図 9 萩・明倫学舎における来館者数と CO₂ 濃度分布

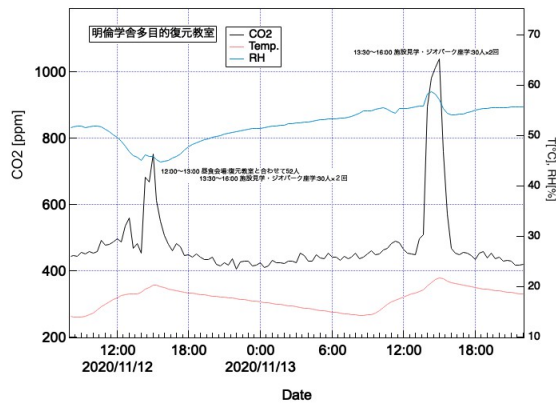


図 10 萩・明倫学舎における CO₂、温度、湿度挙動

表2 イベント内容

日付時刻	CO ₂ , ppm	イベント内容
2020/10/30	816	(来館者数 454 人)
2020/11/5	757	13:00~14:00 ふるさと学習:19 人 (来館者数 932 人)
2020/11/12	752	12:00~13:00 昼食会場:復元教室と合わせて 52 人 13:30~16:00 施設見学・ジオパーク座学:30 人×2 回 (来館者数 938 人)
2020/11/13	1038	13:30~16:00 施設見学・ジオパーク座学:30 人×2 回 (来館者数 360 人)
2020/11/24	931	(来館者数 200 人)
2020/12/1	853	(来館者数 154 人)
2020/12/2	1001	(来館者数 537 人)
2020/12/19	838	12:00~17:00 クリスマスリース作り (来館者数 298 人)
2020/12/24	971	9:30~12:00 定例会:20 人 (来館者数 84 人)
2021/1/12	760	(来館者数 43 人)
2021/1/20	777	9:30~17:00 ワークショップ (来館者数 41 人)
2021/1/24	867	(来館者数 125 人)
2021/2/24	1000	9:00~12:00 活動報告会 (来館者数 61 人)
2021/3/11	856	9:00~12:00 研修会:25 人 (来館者数 100 人)
2021/3/12	926	9:00~12:00 研修会:20 人 (来館者数 97 人)

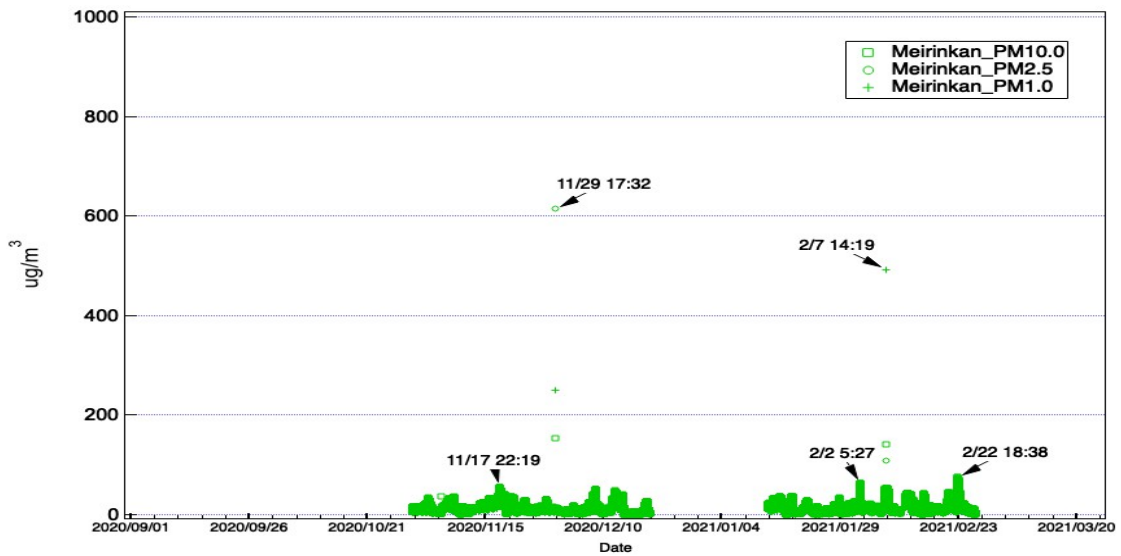


図 11 萩・明倫学舎における PM 挙動

11月29日17:32、2月7日14:19はそのタイミングのみ大きな値を示しており、なにかしらの塵埃の計測が行われたか、エラーの可能性が高く現時点では判断ができない。

④旧萩藩御船倉 [萩市] (国史跡)

図 12 に CO₂ 挙動 (日最大値) を示す。1月22日は昼頃から上昇し始め、翌日23日お昼後すぐに急激に減少している。また3月19日午前2時に1035ppmを記録した。御船倉の1月22・23日及び3月19日の周辺状況をヒアリングしたところ以下の回答を得た。これらの日のCO₂挙動の原因については不明である。1/22-23のCO₂データを図13に示す。

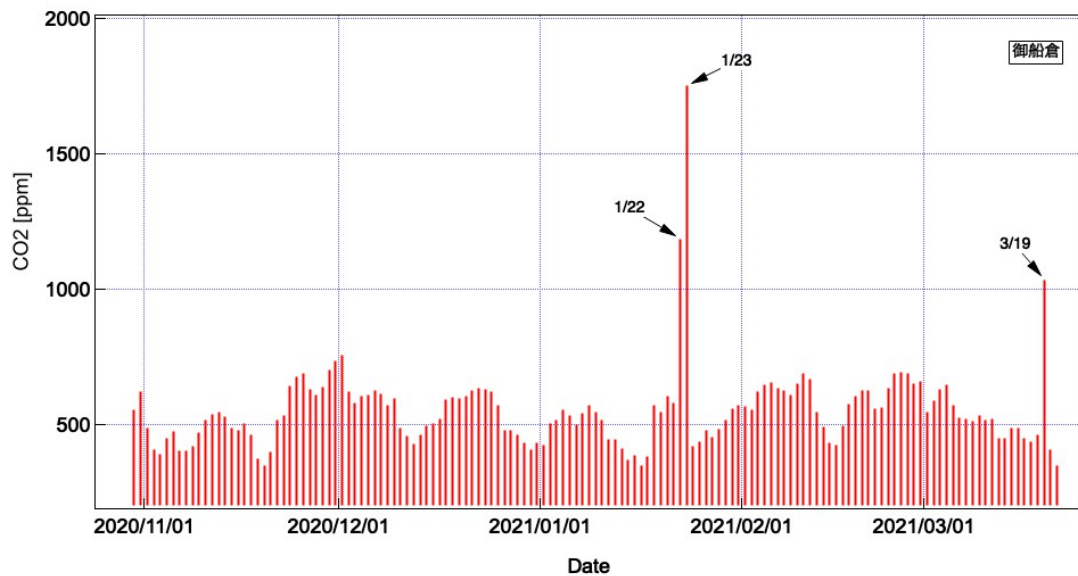


図 12 萩藩御船倉の CO₂ 挙動 (日最大値)

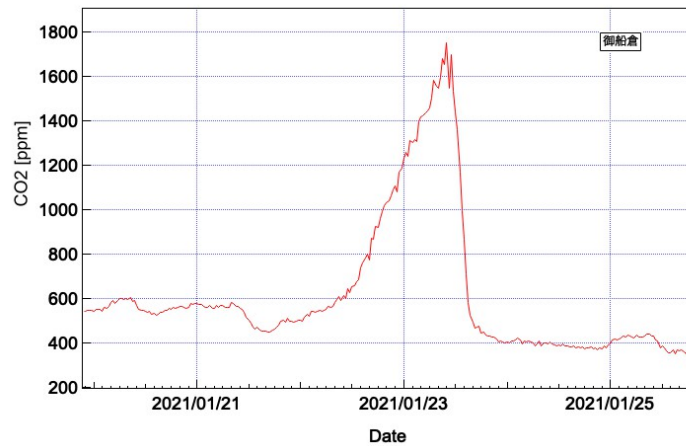


図 13 萩藩御船倉の1/22-23のCO₂挙動

- ・当該日には御船倉を開閉しての見学無し。
- ・当該日には御船倉周辺において(町内清掃活動等も含めた)イベントは無し。

(参考データ：御船倉に近接した伝建公開施設山村家山中家の来訪者数)

- 1月22日 山村家住宅：6名、山中家住宅0名
- 1月23日 山村家住宅：0名、山中家住宅0名
- 3月19日 山村家住宅：2名、山中家住宅1名

⑤熊谷家住宅 [大田市] (国重要文化財)

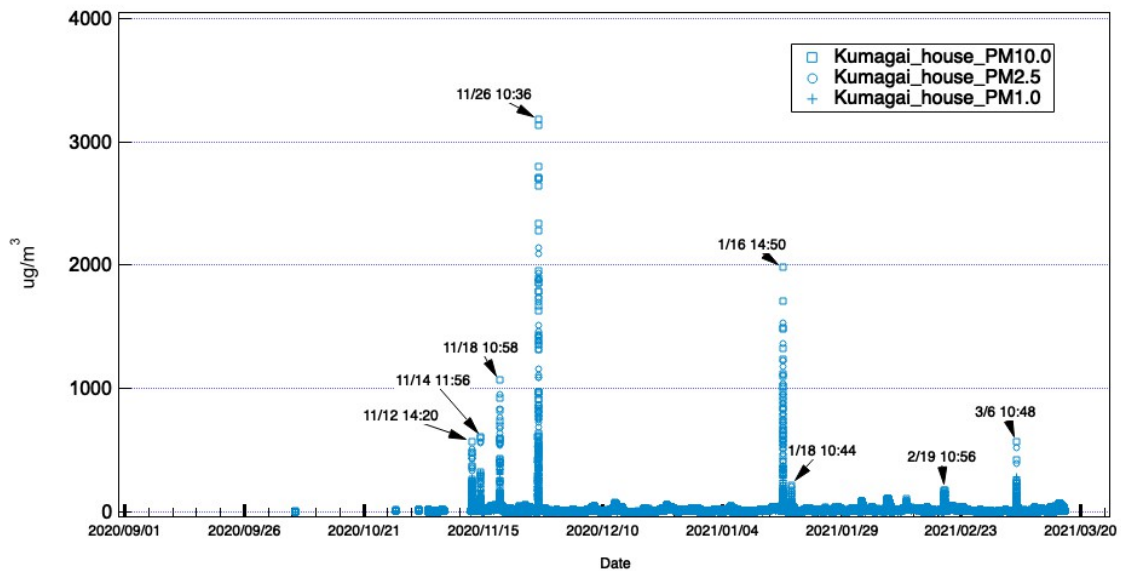


図 14 熊谷家のPM計測結果

図 14 に PM 計測結果を示す。2020 年 11 月 12 日、14 日、18 日、26 日、2021 年 1 月 16 日に高濃度の PM が記録されており、特に 2020 年 11 月 26 日と 2021 年 1 月 16 日は測定

値が 2000ug/m³以上と非常に高い値を記録した。高濃度の PM が記録された日のイベント内容についてヒアリングした結果、以下の回答を得た。

- ・ 2020/11/12 : 洗濯体験（屋外）と見学 37 名
- ・ 2020/11/14 : かまど体験と見学 7 名
- ・ 2020/11/18 : かまど体験と見学 9 名
- ・ 2020/11/26 : かまど体験と見学 18 名
- ・ 2021/1/16 : かまど体験と見学（撮影） 4 名
- ・ 2021/1/18 : 特別な行事なし
- ・ 2021/1/19 : 特別な行事なし
- ・ 2021/2/19 : 特別な行事なし
- ・ 2021/3/6 : かまど体験と見学 8 名
- ・ かまど体験時間：午前 9 時半～午後 2 時（4.5 時間）

高濃度であった日には主にかまど体験が実施されていることがわかった。WHO によると石炭コンロや固形燃料による調理によって 1 m³あたりの PM2.5 は 2000～3000ug に達すると報告されている（WHO 2014）ことから、熊谷家における高濃度の PM はかまど体験に起因していることが考えられる。

⑤白川郷中野家住宅 [白川村]（県重要文化財）

図 15 に一日あたりの CO₂（日最大値）を示す。ほとんどの日で 400ppm から 500ppm を示した。9/19、9/20、10/5、11/26 の 4 日間 CO₂ の上昇が認められた。

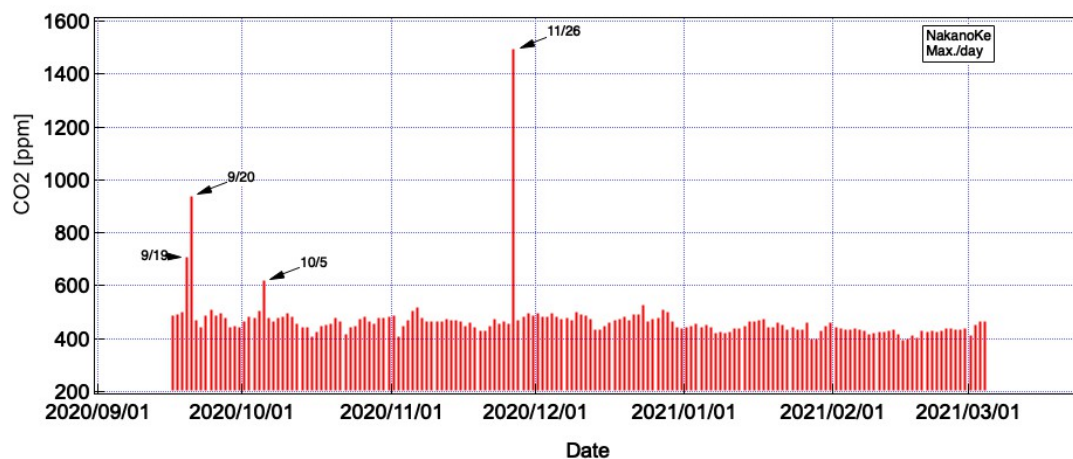


図 15 白川郷中野家住宅の CO₂ 挙動

これらの日のイベントについて以下の回答を得た。

9 / 19（土）～9 / 22（祝）民家園長月のライトアップ

9/19 日中 106 人、夜間 114 人

9/20 日中 349 人、夜間 151 人

9/21 日中 497 人、夜間 166 人

9/22 日中 95 人、夜間 33 人

※但し当該計測家への出入りは不明

10/5 (月) 草木染体験学習 60 名

10/31 (土) ~ 11/3 (祝) 民家園紅葉ライトアップ

12/29 (火) ~ 1/3 (日) 年末年始営業

1/26 (火) ~ 2月28 (日) 緊急事態宣言下による臨時休園

図 16 左に 9 月 19 日 20 日、同右に 11 月 26 日の CO₂ 挙動を示す。回答では 9 月 19-20 日の当該家屋への出入りは不明とのことであったが、人の出入りはあったものと考えられる。建物の自然換気により速やかに基底状態にまで戻っており、人の出入りによる屋内の空気質への影響はあまりないと考えられる。11 月 26 日は観光 PR 動画撮影のため、囲炉裏に火を入れて撮影が行われたとのことであった。おそらく火入れ後急激に CO₂ が上昇し、あとは徐々に基底状態にまで戻っている。囲炉裏への火入れによる室内 CO₂ の上昇と緩和についての挙動が把握できた。

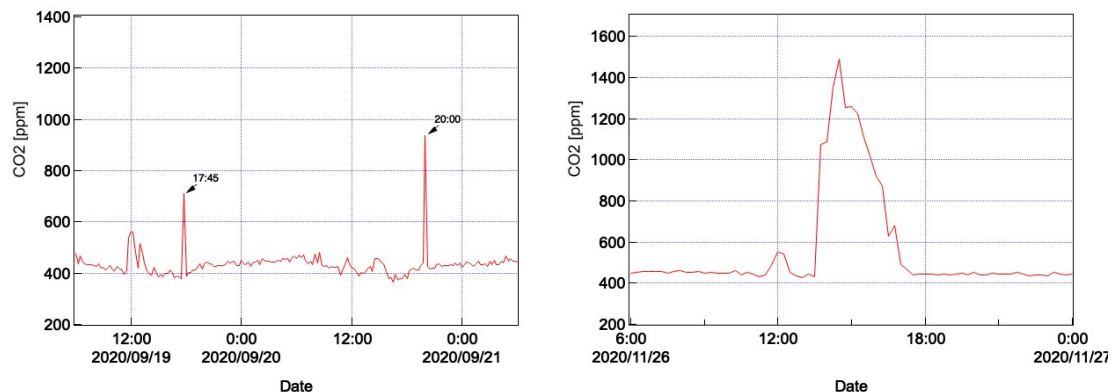


図 16 白川郷中野家住宅における 9/19-21 (左図)、11/26 (右図) の CO₂ 挙動

図 17 に PM 計測結果を示す。ここでも 9/19 と 11/26 に大量の PM 粒子が見られた。図 18 右に 9/19、同左に 11/26 を示す。両日とも PM₁₀ が著しく高くなっており、囲炉裏の火入れに伴うススを検知したものであると思われる。閉館後の挙動は不明であるが、翌日以降の上昇が認められず、室内に沈着したか屋外へ換気されたかであろう。

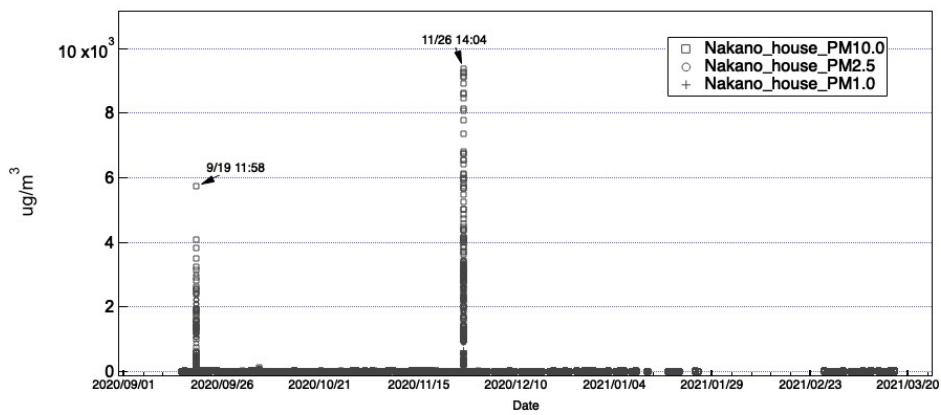


図 17 白川郷中野家住宅における PM 挙動

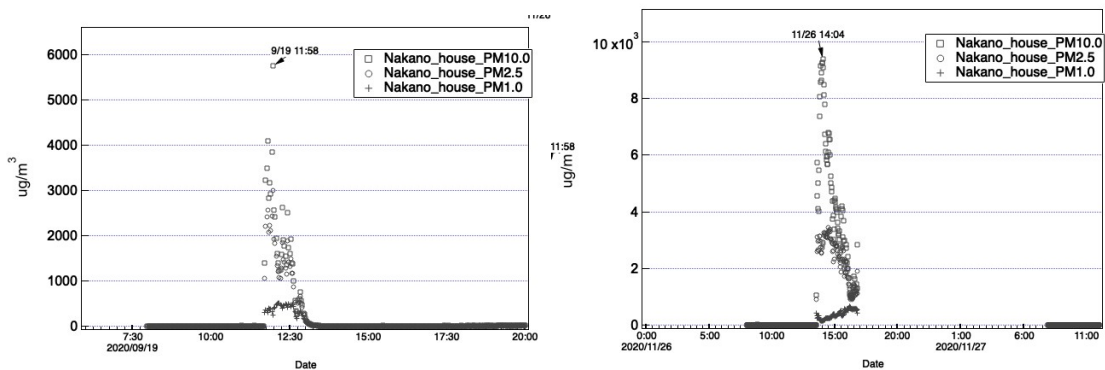


図 18 白川郷中野家住宅における 9/19 (左図)、11/26 (右図) の PM 挙動

⑥白川郷旧遠山家住宅 [白川村] (国重要文化財)

図 19 に CO₂ 挙動 (日最大値) を示す。管理者によると 9 月 10 月は基本的に平日に囲炉裏に火を起こし、土日はたまに火を起こさないことがあるとのこと。11 月-2 月は寒いので基本的に開館日に囲炉裏と石油ストーブを使っているとのことであった。イベント内容は通常の施設見学と白川村郷土料理のすったて汁づくり体験が主となる。図 20 に来館者数と CO₂ 濃度分布図を示す。青色はすったて汁づくり体験時を示す。データ数が少ないが 2 つの分布軸が見て取れそうである。これは今後のデータの集積によって特徴がつかめるであろう。

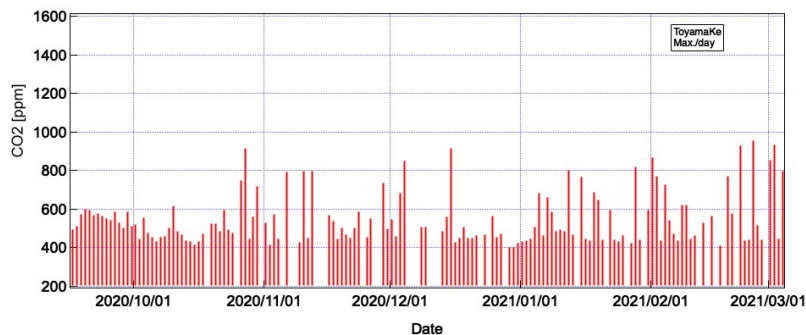


図 19 白川郷遠山家住宅の CO₂ 挙動

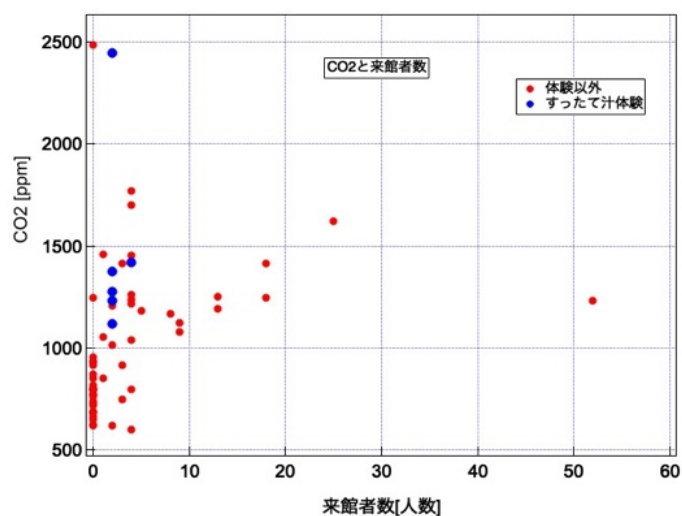


図 20 遠山家におけるイベントと CO₂ 濃度分布

⑦牛久シャトー本館 2 階 [牛久市] (国重要文化財)

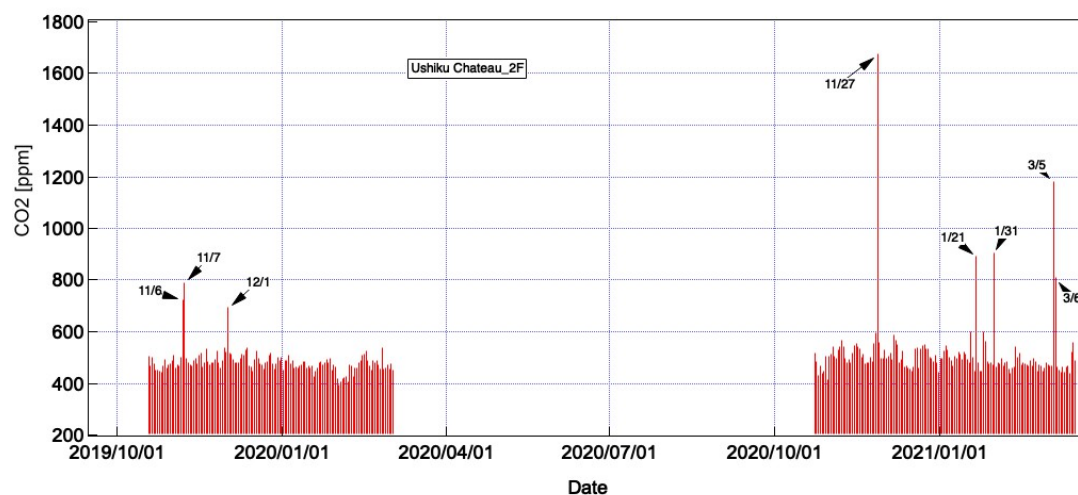


図 21 牛久シャトー本館 2 階の CO₂ 挙動

図 21 に計測した本館 2 階の CO₂ 挙動 (日最大値) を示す。管理者によると、11/6(約 15 名)、11/7(約 80 名) は館内見学、11/27(約 20 名)は会議開催 (図 22 左)、3/5-6 は撮影の為の貸し出し (図 22 右) があったとのことである。11 月 27 日の会議は 1600ppm まで上昇するものの速やかに翌日午前 1 時ころまでに減衰している。その一方、3 月 5 日の撮影では最大 1200ppm 程度であるが減衰は緩やかで翌日お昼ころまでかかって減少している。

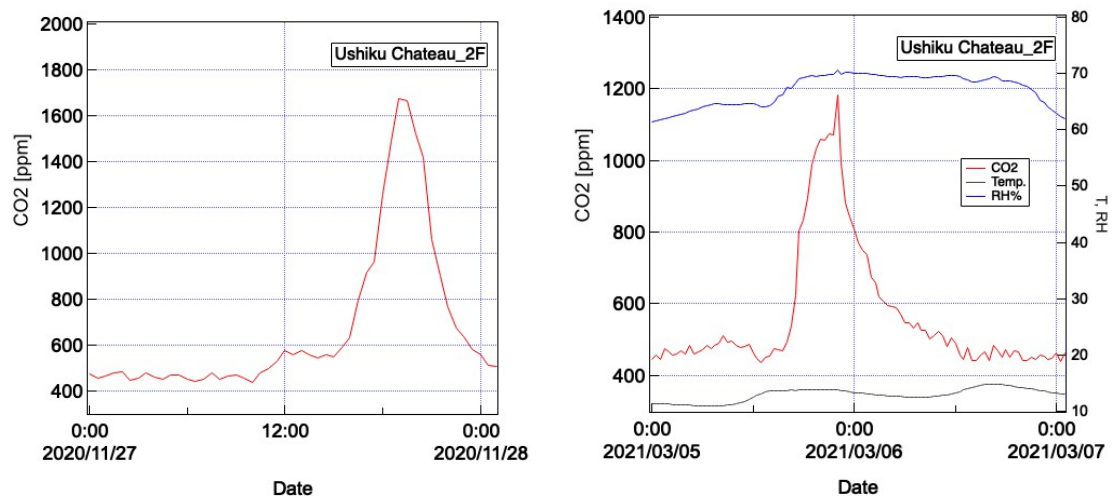


図 22 11月27日(左)と3月5-6日(右)のCO₂挙動

図 23 に PM 計測の結果を示す。いくつかピークが認められるが上記のイベントとの関係は見られなかった。

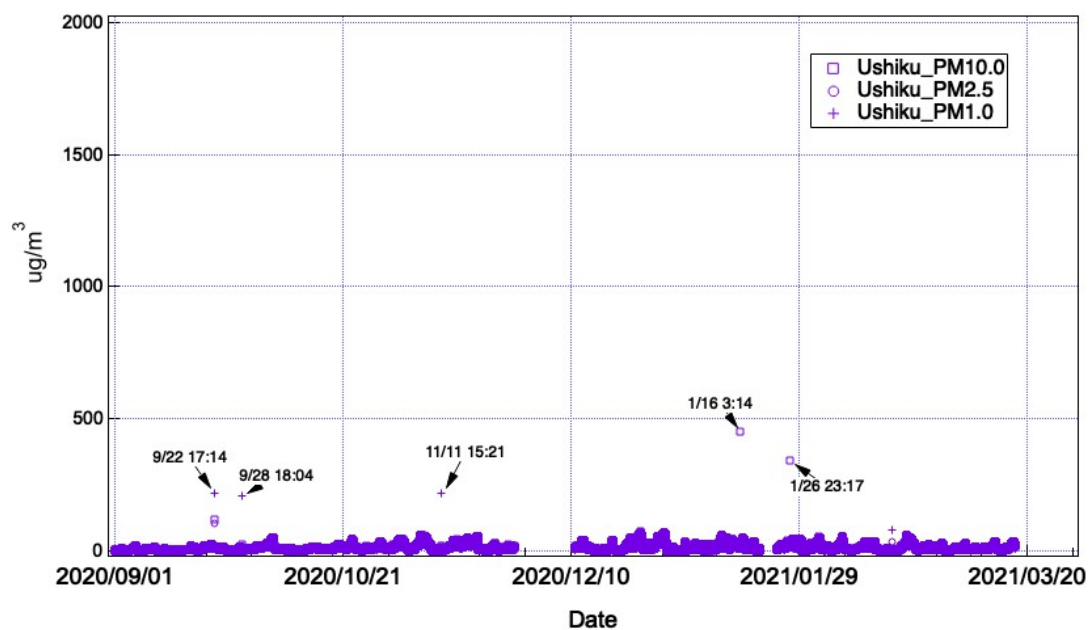


図 23 牛久シャトー本館2階のPM挙動

⑧富岡製糸場西置繭所 [富岡市] (国宝)

図 24 に CO₂ 挙動を示す。西置繭所は保存整備され、ハウスインハウスを採用している。ホール内は活用ホール室内を、ホール外は活用ホールと建物壁の間の空間の CO₂ 濃度を示している。

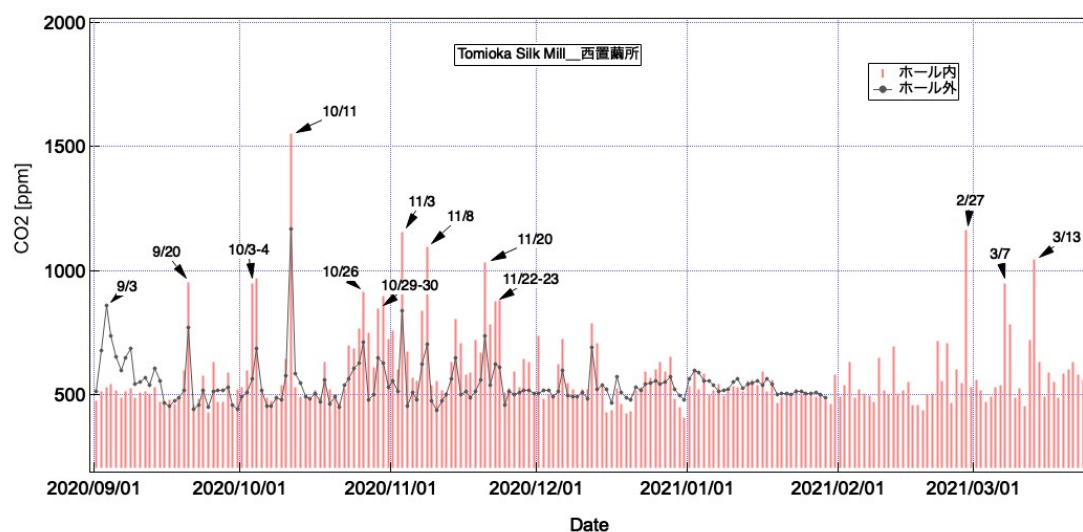


図 24 富岡製糸場西繭置所ホール内外のCO₂挙動

管理者から得られた図中のピークを記録した日のイベント形態と人数を以下に示す。

9/20	模擬ブライダル	約 40 人
10/3	グランドオープン記念イベント (浪曲)	約 50 人X3 回
10/4	グランドオープン記念イベント (演劇)	約 50 人X3 回
10/11	コンサート	100 人以上
10/26	控室	約 30 人
10/29-30	展示準備	約 20 人
11/3-23	展示	常時開放
2/27	コンサート	100 人以上
3/7	講演会	80 人以上
3/13	e-スポーツ・撮影	約 35 名

イベント時の経時変化などの状況は把握できていないが、10/11、2/27 の 100 人以上の来館者があったコンサート開催時の CO₂ 挙動を次図 25 に示す。最大値が 1000ppm を超えるが速やかに基底状態に戻っており、換気が効率的に行われていることを示している。

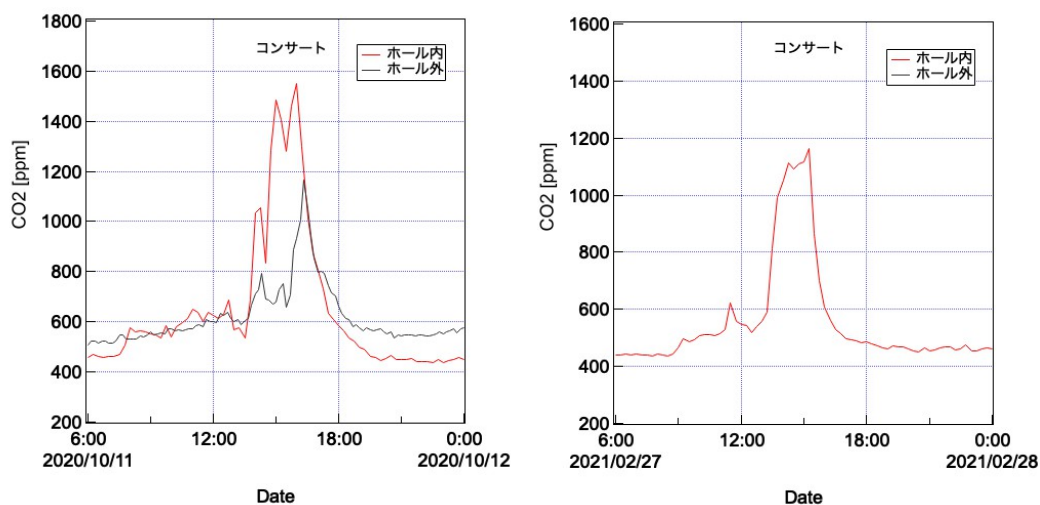


図 25 ホール内コンサート開催時（左 10/11、右 2/27）の CO₂ 挙動

さいごに

本事業は活用におけるイベントの影響を定量的に把握し、活用による変化を管理者や所有者が知ることによりよい活用を促進することを目的としている。しかしながら新型コロナによる影響で観光客の激減、イベントの縮小、中止などの影響を受け、従前行われてきた活用形態の挙動を把握することができなかった。

このような特殊な状況下でのデータは未活用の状態でも、従前の活用下の状態でもないデータとして貴重であると言え、今後の活用をすすめる上での知見となるであろう。

今後、新型コロナ流行が収まり、以前の状態に戻ればイベント開催の内容とその動線、滞在時間などとの比較調査が望まれる。