

令和元年6月20日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2014～2018

課題番号：26242021

研究課題名（和文）被災博物館等の汚染ガスからみた資料と環境の安定化およびその評価手法の研究

研究課題名（英文）Safeguarding and evaluation techniques for storage environments and collections of museums and galleries considering gaseous pollutants by disasters

研究代表者

松井 敏也（MATSUI, TOSHIYA）

筑波大学・芸術系・教授

研究者番号：60306074

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 32,700,000円

研究成果の概要（和文）：津波や洪水などで被災した資料から揮発する成分を特定し、保管や安定化処理の違いによって異なることを明らかにした。被災した博物館の復興において室内空気成分をモニターした結果、空気質の特徴を明らかにし、資料の保管環境のリスクについて示した。また、全熱交換換気装置を被災資料収蔵空間に設置し、空気質の改善に成功した。段ボールや大型ビニール袋を用いた被災資料の一時的な簡易保管箱の環境安定性を評価した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

被災した博物館の空気質の特徴を捉え、復興に至るまでの過程で生じるリスクを示し、収蔵品が受けるダメージやその後の保管における挙動を推測することができた。災害の種類やレスキュー後の処理によって発生するリスクを明らかにし、簡易的なリスク軽減方法を提案するなど、資料の安定化処理技術構築のための知見を得た。また被災施設での収蔵環境の改質とその維持を試み、全熱交換換気装置を用いて改質に成功した。

研究成果の概要（英文）：Volatile components from the materials damaged by the tsunami and flood were identified. It was revealed that there are component differences according to how the materials were stored and what stabilization treatment they underwent. As a result of monitoring indoor air components during the reconstruction of the affected museum, the air quality characteristics and the risks posed by the storage environment were identified. Additionally, a total heat exchange ventilation system was installed in the storage space for affected materials, resulting in a successful improvement of air quality. The environmental stability of cardboard boxes and large plastic bags used as temporary storage for damaged materials was evaluated.

研究分野：文化財保存科学

キーワード：被災博物館 空気質 揮発成分 保存科学

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

被災文化財等の救済に関しては東日本大震災を機に「文化財レスキュー事業」が組織され、被災地でのレスキュー活動と一時保管が成果を収めている。震災後に関連学会では「文化財防災」分野が創設され、古地震記録や津波堆積物など過去の災害記録に関する研究発表がなされている。各国立文化財機構では被災文化財の応急処置法や保存処理方法の検討、資料燻蒸における注意喚起が実施され、被災地におけるレスキュー活動に大きく貢献した。さらに国が進める被災ミュージアム再興事業に沿って、各行政機関の支援もを行っている。しかし、資料の移動に伴う環境変化と、それに誘発される劣化作用に関する調査は行われていなかった。被災した資料と直接被災していないが被災空間にレスキューされるまで曝された資料の取り扱い区別がなされず、被災施設資料として包括的に取り扱われており、それら被災状況毎の資料の取り扱い方にまで言及するには至っていない。東日本大震災では津波がクローズアップされているが、毎年のおこる火災、洪水による被災では応急処置法の報告に限られ、それらの資料が被災時に吸着した物質の調査や被災後の経時変化をモニタリングした報告はなされていない。このように被災資料に関しては資料をどのように扱うかが検討されるもののその状態評価は視覚的な判断だけに留まっており、資料と周辺空気の間で起こる吸放質作用によるガスの収支については検討されてこなかった。

2. 研究の目的

被災した博物館などに収蔵された資料が、被災空間の汚染ガスを吸着することが確認されている。本研究ではそれら汚染空気成分の吸着特性を資料の材質、修復を含む来歴、被災パターン（火災、津波、直接被災、間接被災）ごとに整理し、被災後の資料の状態変化や一時保管先、再生ミュージアムなど新たな環境下で想定される再放出物質を明らかにすることと、それらの空気質の改質試験を目的とした。資料に吸着した汚染ガスの再放出は、保管先となる施設の体制を整備するうえでも非常に重要であり、それらの特性に適した抑制法の考案と現場での応急処理方法の提案をおこなう。これらの成果から、資料と施設の安定化と適切な資料保全を目指す。

3. 研究の方法

研究は次の4つの調査研究領域からなる。被災資料の情報収集調査、被災施設の環境調査、資料汚染ガス調査、空気質の改質研究。研究は博物館学、保存科学、建築環境、資料保存、空気環境の各分野の専門家で構成され、各研究領域は互いの成果を逐次活かしながら進める。調査の基幹となる災害パターンは火災と津波（洪水含む）による被災を主とする。

4. 研究成果

以下に各調査研究の成果を示す。

被災資料の情報収集調査

ア) 岩手・宮城・茨城・熊本など、全国各地で被災文化財等の救済・保存を実施する組織・団体を調査し、被災資料の置かれた状況と保管環境に関する課題、応急処置に向けた検討をおこなった。特に、東日本大震災で津波被害をうけた紙媒体資料を中心的に救済・保管する東北大学災害科学国際研究所において、異なる地域から救出した多様な被災資料の応急処置と一時保管について、ボランティア・ベースでクリーニングを進めるための技術的可能性と将来的に収蔵施設へ移管するための異分野連携と体制的課題について検証し、2016年にカナダ・モントリオールで開催された、American Institute for Conservation of Historic and Artistic Worksでの発表を通して文化財防災に関する体制の日米比較を踏まえた検討をおこなった。あわせてワークショップをおこない、被災資料救済と人材育成を想定した技術交流をおこなった。2016年に発生した熊本地震に関して、博物館等施設に保管されない多様な資料の保存論としての「現地資料保存論」を検討する必要性について議論を進めた。

以上の成果を踏まえ、1995年阪神・淡路大震災から現在にいたるまでの災害と資料保存について整理をおこない、今後の資料保存と継承に向けた技術的・体制的・学術的課題について「歴史文化資料の保存・継承に向けた課題と可能性」として検討・公表した。

イ) 想定される災害に対する被災文化財の一時受け入れについて

日頃文化財を扱っている立場である文化財担当者より、今後想定される災害に対する被災文化財の一時受け入れ（一時保管）について、奈良県内の機関から情報を収集した。その多くの施設ですでに収蔵能力が限界に近いとのことであった。収蔵余力は受け入れの可否に大きな影響がある。防災への備えは、文化財等の所蔵調査を進めているところもみられたが、「備えが必要だ」と認識しつつも具体化できていないところもみられた。応急的あるいは一時保管への対応については、施設的な余裕があればその範囲内で可能との意見が多く聞かれ、その場合の保管スペースは、一般収蔵庫や展示室通路、学校などの空き教室など検討の余地がある。一方、一時保管品の内容に懸念があることが明らかになった。被災の種類や被災の程度、被災文化財の質・量が把握できなければ、受け入れが難しいこと、また、既存収蔵品への物理的・化学的・生物的な被害が生じない、すなわち臭気や汚染ガス、虫菌害に対する二次汚染対策が施されていないと、汚染拡大が懸念されるとのことから、受け入れが難しいとのことであった。この点から、臭気や汚染ガスや虫菌害への対策は不可欠であることや、被災文化財の一時保管には被災文化財から二次的に発生する物質等を十分把握しなければならないことを、支援の担い手である受け入れ側からも求められていることが明らかになった。

被災施設の環境調査

東日本大震災で被災した文化財施設とその被災資料を保管している施設の空気環境、被災資料由来の揮発成分について以下の知見を得た。被災施設においては、出入り口の整備などで気密性が高まると、施設内の雰囲気アルカリ性に傾くことがわかった。復旧工事にあたっては吸排気ルートの確認とその汚染度に見合ったクリーニングが必要である。館の再利用において、一般的な博物館環境の基準ではなく、被災館の洗浄や新たな展示造作物などによる影響を加味した管理計画が必要であることが改めて明らかになった。また被災施設では、通常の収蔵庫では検出されない成分も含め多種多様な成分が大量に検出され、それらの多くは一定期間後減少するが、2-エチル-1-ヘキサノール(2E1H)など一部の成分が長期間残存し、かつ、それらは資料に吸着し、別の保管場所で再放出する可能性がある(図1)。コレクションを一時的に保管する仮設収蔵施設の調査をおこなった。建造当初はエチルベンゼンやトルエン、キシレンなどの塗料等に起因する成分が多く見られるが、換気を励行することによって、1年経過後にはほとんど検出されなくなった。

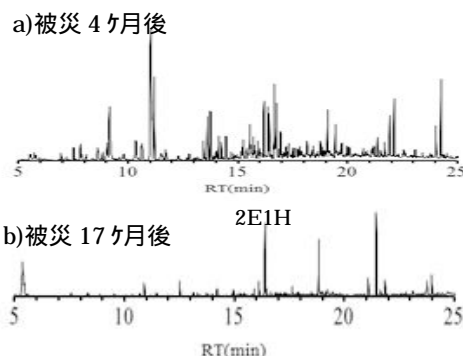


図1 津波被災施設の空気質

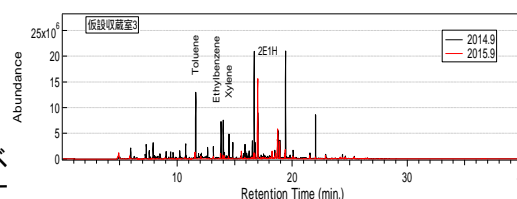


図2 仮設収蔵施設の空気質

しかし、2E1Hにおいて減少傾向は見られなかった(図2)。化学成分によっては残存しやすい成分があり、仮設収蔵空間の空気質において留意すべき結果を得た。

災害時の文化財管理施設や文化財避難先の仮管理施設では、施設全体の空調コントロールが不十分である場合がほとんどであるだけでなく、施設の密閉性が損なわれていることもあり、文化財に悪影響を及ぼす害虫の侵入が懸念される。こうした問題を解決するために、博物館・美術館等の害虫防除に関し、昆虫の光反応に対する忌避・誘引効果を利用した文化財害虫防除システムを模索した。消費電力の少ないLEDライトの使用を想定した害虫の光反応に関する基礎研究を行った。ヒメカツオブシムシは幼虫では負の走光性を示し、特に青色試験光および緑色試験光下において顕著な動きが見られた。以前よりヒメカツオブシムシは成長ステージによる走光性の転換が知られていたが、幼虫では453 nm ~ 539 nmの低波長域、成虫では539 nm ~ 576 nmの中波長域において最も光反応が高くなることが分かった。しかし、光反応の一般性を検証するために行ったヒメマルカツオブシムシの幼虫の反応実験では、可視光域における波長依存性が認められなかった。以上の研究から、可視光域の害虫トラップへの利用は、有効な種が限定されるものの、平常時の害虫防除マネジメントへの恒久的な使用だけでなく、災害時のインフラの復旧の見通しが立たない文化財管理施設や文化財避難先の仮管理施設における一時的な活用に役立てられる見通しが得られた。

資料汚染ガス調査

津波被災資料の一部に、乾燥処置後、異臭を発生し長期間消失しない資料が存在する。そのような資料は、取り扱う人間に対する影響(安全性、作業性)に加え、異臭成分自体が当該資料や周辺資料に与える影響が懸念されるが、詳細は不明であった。

におい嗅ぎGC-MS分析法を用いることで、本研究で初めて異臭成分として、数種類のアルデヒド類、ジアセチル、ジメチルスルフィドなどを同定した。異臭成分を文化財の材質となる金属や顔料に作用させた場合の影響について、高濃度の実験条件下では、津波被災資料では炭素数5以下のアルデヒド類の影響が大きいことが、実際の被災で検出される濃度のレベルでは、影響を与える可能性は小さいことを確認した。また、2015年に発生した東北・関東豪雨に際して、鬼怒川の氾濫により被災した民間所蔵資料の救済・乾燥を実施し、被災現場から救済の後に一時的に冷凍保管を施し、真空凍結乾燥法による乾燥過程で発生・残留する臭気について検討をおこなった。

乾燥方法・災害種別の異なる被災水損資料の揮発成分の差異について、1)真空凍結乾燥法は自然乾燥法に比較して、残存揮発成分が多い、2)真空凍結乾燥した津波被災資料はアルデヒド類が多いのに対し、洪水被災資料は、酸・エステル類が多く残存する、特に洪水の真空凍結乾燥資料は多量の有機酸が残存しており、その取り扱いには注意を要する。

これらにより、被災時における資料保管上の留意点が明らかになり、より安全な資料の保管に貢献できるものと考えられる。

空気質の改質研究

ア)ケミカル除去シートによる改質

浮世絵専門の小規模館である広重美術館では、館内の空気環境を調査する中で、覗き型展示ケースの空気質に問題があることが判明した。検知管を用いた測定では、ケース制作から20年以上経過してもなお、ケース内は有機酸とホルムアルデヒドが基準値を超える値を示した。2010年から特定の物質を吸着する性能を持つケミカル除去シートを2ヶ所の覗きケースに2枚ずつ試験的に導入して空気質の改善を試み有機酸(酢酸)量を減少させることができ、設置から約8年経ってもシートの効果は持続している。2017年に5カ所増設して計7カ所とし、酸性ガス用に加え一部にアルデヒドガス用のシートを導入した。いずれのシートでも有機酸とホルムアルデヒドが減少して環境の改善がみられたが、酸性ガス用の方がより有効であることがわかった(表1)。シートには特定以外の物質も吸着する性能があるため、酸性ガス用でもホルムアルデヒドが減少し、アルデヒドガス用でも有機酸の数値が低下した。ケミカル除去シートは、特別な機器や電源、日々の管理、大規模な改修を必要とせず、また自由な大きさに加工でき、小規模博物館・美術館においても導入しやすい環境改善の手段のひとつである。

表1 シートの効果の比較

シートの組み合わせ	ケース		設置前※	設置2ヶ月後
			2017/8	2017/10
酸性ガス用	③	有機酸(酢酸)	997	417
		ホルムアルデヒド	111	ND
酸性ガス用	④	有機酸(酢酸)	2737	1044
		ホルムアルデヒド	333	55
アルデヒドガス用	①	有機酸(酢酸)	2737	1182
		ホルムアルデヒド	333	55
シートなし	⑦	有機酸(酢酸)	-	1473
		ホルムアルデヒド	-	111

※ケース④⑦は2017年9月からのシート設置で、③は2010年4月から設置済である

イ) シリカゲルによる簡易的な汚染ガス吸着調査

奈良県立橿原考古学研究所附属博物館の展示ケースをモデルとして、シリカゲルによるアルデヒド類吸着を試行した。2.44 m³の覗き型ケースに対して、7.0kgのa型シリカゲルを設置した。シリカゲル設置直前(18.3)には97ppbであったアルデヒド濃度が、設置七日後(16.2)には46ppbまで低減した。一方、シリカゲル未設置の同型ケースにおいては、アルデヒドの減少はみられなかった。気温低下によるガス放散量の減少の影響も考慮する必要はあるが、シリカゲル設置によりアルデヒド濃度の減少を促すことが可能であると考えられる。

ウ) 簡易一時保管箱の評価

被災資料から発生する様々なガスは博物館や展示施設の収蔵庫に滞留するため、ケミカルフィルターや活性炭等を用いた吸着除去や換気による空気質の改善が必要となる。そのためには、適切な収蔵庫環境を完備し運営することが望ましい。しかしながら、被災地域では施設の復興にも時間を要する場合があることから、被災資料の安定した保管環境の構築を目指し、段ボールや大型ビニール袋など、入手および廃棄の容易な資材を用いた一時的な保管箱を試作し、年間を通じた箱内と設置室内の温湿度変化を調査した。図3に測定結果の例として「鯨と海の科学館」の仮設収蔵庫とその室内に設置した保管箱(調湿剤使用)の結果を示す。保管箱は、収蔵庫に設置した当初は覆いを設けなかったが、途中よりビニール袋で覆い防湿層とした。収蔵庫と保管箱の温度変化をみると、季節の経過に伴う変動と日較差において、これら両者に大きな違いは認められない。また、防湿層の有無も収蔵庫と保管箱で差異はない。一方、相対湿度は保管箱の使用により室内の大きな日変動が緩和された。特に防湿層を設けた後の緩和効果が著しい。このように箱内の湿度が安定した要因は、段ボールの内壁面および調湿剤(シリカゲル)の湿度調節作用として理解することができる。また、箱内の密閉性を高めることが重要な役割を果たすことが明らかである。

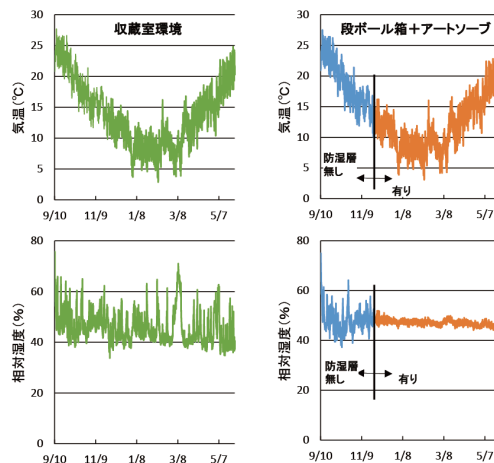


図3 収蔵庫と一時保管箱の温湿度変化 (期間: 2015/9/10 - 2016/2/14)

保管箱の密閉性確保は、被災資料から発生するガスの飛散防止に効果があり、さらに保管箱内部に汚染ガス吸着剤を使用することで被災資料への影響も軽減できるものと思われる。

エ) 全熱交換換気装置による改質

被災した小学校を被災資料等の収蔵施設に改修した施設において、改修の仕様別による温度湿度変化、空気質モニタリング調査を行ったところ VOC 量値が急激に増加していることが判明した。VOC は通常博物館などの空気質汚染指標項目とされていない。隔壁などを設けた2階の増加量は大きく、遮光カーテンだけ改修となった3階普通教室とは異なった挙動を示した。この原因については隔壁の有無などによる改修のレベルの違いや収蔵資料からの揮発量、温度湿度などを総合的に判断して結論を得たい。VOC の化学成分による分類からは、芳香族、脂肪族、有機酸などの物質が多くなることがわかった。その成分内容から、現地で行なわれた1階の改修(破損開口部への新たなドア、窓の新設、内装材の交換)や上層階の収蔵教室以外の部分的改修(内壁の設置等)の影響と考えられた。これらを受けて、市販のバッチ



図4 デシカント装置

タイプの除湿換気装置と、民間企業とで開発したロータータイプの除湿換気装置について、その除湿換気性能を実際の建物に導入して室内の相対湿度の安定性を検証した。また、デシカントローターや全熱交換機の空気汚染物質の移行についても実験的に明らかにした。そこで、臭気の激しい部屋にデシカント換気装置を導入した(図4)。その結果、臭気的大幅な低減が見られた。しかし、屋外の温度湿度の変動の影響を受けやすく、特に絶対湿度によって調湿の能力が左右されることなどが明らかになった。

導入外気と室内還気とを全熱交換した後にデシカントローターで除湿するロータータイプの除湿換気装置を札幌市内のローエネルギー住宅に導入し、年間を通して実証試験を行った。その結果、冬期加湿時の室内温湿度はそれぞれ21~22(平均21.3)45~46%RH(平均45.7%RH)、夏期除湿時はそれぞれ25.5~27.5(平均26.3)55~58%RH(平均56.3%RH)と相対湿度は非常に安定した値を保ち得ることを実証した。本試験の前年度に使用したバッチタイプの除湿換気装置に比べると除湿運転時の消費電力は大きくSCOPは低いものの、デシカントローター前段に全熱交換器を有しているため給気(SA)の温湿度の安定性は高まり、室内相対湿度の安定性はバッチタイプ使用時よりも高くなった。一方、冬期はほとんどの時間は加湿運転を行わなくとも全熱交換素子のみで湿気回収を行うことで十分なため、消費電力は格段に小さくなり、SCOPも10前後と非常に高い結果となった。同時に、室内相対湿度の安定性も非常に高いものが得られた。これは、冬期間の長い北海道や東北では非常に有利なことであり、バッチタイプに比べて夏期除湿時の消費電力量の多さをカバーできるものといえる。この結果からロータータイプの除湿換気装置は特に、東北や北海道の文化財収蔵庫などへの適用が優れていると進言できる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計9件)

- 1 MATSUI Toshiya, KAWASAKI Emi, Imme Huttemann, Air Quality Changes in a Museum Damaged by a Tsunami -Whale and Sea Museum, Iwate, Japan-, Journal of Conservation Science, 査読有、Vol.35, No.1, 2019, 51-60
- 2 天野真志、歴史文化資料の保存・継承に向けた課題と可能性、fulcrum、University of Michigan Library "Integrated Studies of Cultural and Research Resources"、査読有、2019、204-218
- 3 和田浩、東京国立博物館における展示ケース作製事例からみた展示環境保全の取組み、文化財の虫菌害、査読無、76巻、2018、28-33
- 4 和田浩、博物館における文化財の展示環境と保存技術、空気調和・衛生工学、査読有、92(5)、2018、3-8
- 5 天野真志、資料ネット活動の現状と今後-城歴史資料保全ネットワークの活動を中心に-、宮城考古学、査読無、20巻、2018、133-140
- 6 及川規、芳賀文絵、森谷朱、水損被災資料由来の揮発成分について -災害種別および処置法のちがいによる差異の検証-、東北歴史博物館研究紀要、査読無、20巻、2018、59-68
- 7 Yamagishi T, Kurimoto Y, Yamauchi S, A method for visualizing cesium ions adsorbed on wood charcoal using SEM and EDX, Wood Sci. Technol, 査読有、51巻、2016、413-4291 DOI 10.1007/s00226-016-0875-4
- 8 和田浩、遺物の保存環境、考古学と自然科学、査読無、71巻、2016、65-77
- 9 和田浩、松嶋雅人、矢野賀一、土屋貴裕、OLED光源を用いた面発光証明器具による伝統的な屋内光環境効果の復元、展示学、査読有、52巻、2015、22-27

〔学会発表〕(計49件)

- 1 Matsui Toshiya, Kawasaki Emi, Huttman Imme, Air Quality Changes in a Museum Damaged by a Tsunami, 13th Indoor Air Quality in Heritage and Historic Environments, 2018
- 2 栗本康司、片岡太郎、松井敏也、段ボール製一時保管箱の温湿度挙動とその効果、日本文化財科学会第34回大会、2017
- 3 小室綺夏、長野克典、石田卓也、古川修、岡本淳、稚内層珪質頁岩を用いたデシカント空調システムに関する研究 その29 デシカント換気装置の運用実験および実績を反映した簡易計算による省エネルギー評価、(公社)崛起調和・衛生工学会北海道支部 第52回学術講演会、2017
- 4 天野真志、自然災害への備えと緊急時対応~課題と可能性~、平成29年度NPO法人文化財保存支援機構「文化財保存修復をめざす人のための実践コース」、2017
- 5 及川規、芳賀文絵、松井敏也、河崎衣美、天野真志、栗原駿一、伏見拓朗、乾燥方法・災害種別の異なる被災水損資料の揮発成分について、文化財保存修復学会第39回大会、2017
- 6 及川規、芳賀文絵、松井敏也、河崎衣美、天野真志、栗原駿一、伏見拓朗、津波被災資料由来異臭成分とその文化財材質への影響、文化財保存修復学会第39回大会、2017
- 7 和田浩、文物保存環境温湿度規範、第三屆博物館保存修復工作坊・文物保存興永続発展、2016

〔図書〕(計1件)

- 1 平川新、天野真志 他、NPO法人宮城歴史資料ネットワーク、災害を超えて宮城における歴

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：栗本 康司
ローマ字氏名：KURIMOTO、 yasuji
所属研究機関名：秋田県立大学
部局名：木材高度加工研究所
職名：教授
研究者番号（8桁）：60279510

研究分担者氏名：和田 浩
ローマ字氏名：WADA、 hiroschi
所属研究機関名：独立行政法人国立文化財機構東京国立博物館
部局名：学芸研究部
職名：室長
研究者番号（8桁）：60332136

研究分担者氏名：長野 克典
ローマ字氏名：NAGANO、 katsunori
所属研究機関名：北海道大学
部局名：工学研究院
職名：教授
研究者番号（8桁）：80208032

研究分担者氏名：天野 真志
ローマ字氏名：ANANO、 masashi
所属研究機関名：国立歴史民俗博物館
部局名：研究部
職名：准教授
研究者番号（8桁）：60583317

研究分担者氏名：片岡 太郎
ローマ字氏名：KATAOKA、 taro
所属研究機関名：弘前大学
部局名：人文社会科学部
職名：講師
研究者番号（8桁）：80610188

研究分担者氏名：奥山 誠義
ローマ字氏名：OKUYAMA、 masayoshi
所属研究機関名：奈良県立橿原考古学研究所
部局名：企画部資料課
職名：指導研究員
研究者番号（8桁）：90421916

研究分担者氏名：及川 規
ローマ字氏名：OIKAWA、 tadashi
所属研究機関名：東北歴史博物館
部局名：学芸部
職名：研究員
研究者番号（8桁）：00754186

(2)研究協力者

なし