

令和 5 年 6 月 2 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(A) (海外学術調査)

研究期間：2017～2021

課題番号：17H01628

研究課題名(和文) アンコール遺跡群における石材劣化の新展開とその集学的研究

研究課題名(英文) A new development of stone deterioration and multidisciplinary research on conservation in Angkor monument group

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) 31,700,000円

研究成果の概要(和文)：バイヨン寺院浮き彫りの保存と劣化について、以下の成果が得られた。保存処理薬剤の評価を行い、2007年からのモニタリングの結果、さまざまな強度と透水性を砂岩に付与できることを示した。回廊で試験した箇所の壁面の硬度は概ね1.6倍となり、表面硬度のばらつきは約1/3になり、処理石材の表面を均質に強化することができた。クリーニングについてもより環境に配慮した手法を開発した。また微生物による劣化メカニズムが明確となり、保存処理後の変化も把握した。バイヨン寺院における危険個所に関する記録の更新作業と水利施設・機能に関する悉皆調査を実施した。バイヨン全体での参拝・排水計画を改める課題などが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

巨大な遺跡はその症状もさまざまであるが、建築史、岩石学、環境学、微生物学、保存科学などからなる総合的アプローチによる2007年からの長期にわたる研究成果は他に類を見ず、遺跡の保存に関する長期的な変動を初めて示す貴重なデータを得た。特に砂岩の劣化に関する微生物の役割が一層明らかになり、これまでの化学的、物理的風化を劣化の主とする保存の考え方を大きく変革させるものになった。クリーニングについてもより環境に負荷をかけない手法が開発されたことは社会的意義が大きい。これらの成果をもとに、現地専門家を交えたワークショップを複数回開催し、技術交流と若手人材育成に努めた。

研究成果の概要(英文)： The following results were obtained regarding the conservation and deterioration of the Bayon temple bas-relief.

Conservation treatment agents were evaluated, and monitoring since 2007 has shown that various strengths and permeabilities can be imparted to the sandstone in Bayon temple. The hardness of the stone surfaces in the areas tested in the corridor was generally 1.6 times greater, the variation in surface hardness was about 1/3, and the treated stone surfaces were homogeneously strengthened. A more environmentally friendly cleaning method was also developed. The mechanism of deterioration by microorganisms was clarified, and changes after conservation treatment were also understood. A comprehensive survey was conducted on the Bayon temple, including updating the records of hazardous areas and the water facilities and their functions. Issues to be addressed in the revision of the worship and drainage plans for Bayon as a whole were clarified.

研究分野：文化財保存科学

キーワード：保存科学 石造文化財 劣化メカニズム 浮き彫り 微生物 クリーニング

1. 研究開始当初の背景

アンコール遺跡群の修復には複数の国々が参画しており、その中石材劣化に特化した事業を行っているのは、申請者が所属する日本国政府アンコール遺跡救済チームの他に、多くの団体がある。だがアンコール遺跡群の石材は同じ砂岩であるものの劣化特性や建築構造、倒壊状況など寺院遺構によって環境条件が異なるほか、劣化対策や遺跡全体の修復整備、活用を考慮した修復材料の開発には至っていない。本研究の主たる対象となるバイヨン寺院に関しては1900年代に全長300mにおよぶ内回廊の浮き彫りの全面的な写真記録がおさめられ、写真記録により、20世紀前半の修復処置が確認されるほか、劣化が進行していることが明らかに看取され、その対応が国際社会に広く求められている。

一方、大規模な遺跡における修復では建築構造学的な課題をクリアにしなければならないばかりか、建造物の修復では欠損部の充填や建物の経年劣化に対する構造補強のために新たな現代材料が付与されることがある。これらの新材料が劣化し、他の構成資産に影響を及ぼすことは近年問題視され、ここアンコール遺跡群においても例外ではない。すなわち浮き彫りの保存修復には多角的な研究の総合化が必要であり、残された課題であった。このようなことから、遺跡の価値を保持しつつもその表面に施された芸術的、美術的価値の高い浮き彫りを保存するためには、建築構造学分野と保存科学分野が相互に補完し合うことはもとより、多角的な評価法の確立と浮き彫りの包括的な保存修復の理論構築が必要であることが背景である。

2. 研究の目的

浮き彫り砂岩はすでに経年劣化により弱まり、かつ自然環境や観光客、建築構造など様々な劣化因子に曝されているが、建造物の修復工事により現在の構造に起因するストレスからは解放されることになる。しかし修復後の新たな建築構造、活用形態などによる応力が発生し、劣化が生じる恐れがあり、これら修復前後の浮き彫りの変化を1.形状安定性の評価、2.生物叢、水分挙動などの特性評価、3.微気象変動などから明らかにする。また本研究は従来型の保存科学的研究を、建築学など他分野と融合させ、総合化を図る試みである。これらにより、保存科学的視点のもつミクロな現象解析と処理方法を建築構造学的なマクロな修復方法に反映させることは、それぞれの分野で特化した手法を融合させることに繋がり、“劣化を科学的に解明し、その対策を工学的にアプローチする”新たな研究領域「保存修復工学」が拓けることを目的とする。

3. 研究の方法

次の調査研究からなる。保存状態調査研究、劣化機構研究、保存工法研究である。研究は文化財学、保存科学、建築学、岩石学、生物学、環境学、文化財計測学の各分野で構成される。

4. 研究成果

(1) 保存状態調査研究

本科研の主要対象遺構であるバイヨン寺院においては本科研の協力団体である日本国政府アンコール遺跡救済チーム(JSA)/JAPAN- APASARA Safeguarding Angkor(JASA)が

長年修復を続けてきた。これまでに南北経蔵の修復、東面の景観整備の他、中央塔の構造安定化、内回廊バスレーフの保存に関する研究を行うと共に、パイオン全体の水利設備に関する整備作業も検討されており、その一環としてパイオン内の排水設備のメンテナンス計画やパイオン北東池の整備のための散乱石材整理作業、パイオン南側での排水機構に関する考古調査等が進められている。アプサラ機構による修復活動について現状確認を随時行い、技術協力を行うと共に、我々の方でも独自でパイオン危険個所に関する記録の更新作業を行った。またアプサラ機構によるパイオン周辺および内部における水利設備の整備作業が活発化していることから、パイオンを中心とした水利施設・機能に関する悉皆調査を実施した。

その結果、パイオン周辺においては環濠の存在に直接つながる痕跡は表層では見つからなかった。他方で北東部において砂岩の石列を伴うため池の痕跡と思われる痕跡が2箇所確認された。また Banteay Prei、Banteay Kdei においても同様に北東部にラテライトの石列を伴うため池の痕跡が確認された。その他の寺院でも北東部にため池らしき痕跡が複数確認できたことから、今後これらの特徴に関してさらに検討を進める必要がある。その他寺院内部の排水施設の調査として第3テラス上の副祠堂における排水溝の配置を調査を行った結果、それぞれ異なる痕跡を有していた。これらの副祠堂は配置計画および装飾の特徴より、それぞれ異なる信仰対象に資する祠堂であると考えられることから、今後その参拝形式も含めた上での検討が必要となってくる。そしてその上で中央祠堂、内外回廊も含めたパイオン全体での参拝・排水計画を改めて検討する必要があるであろう。

(2)劣化機構研究

岩石学的アプローチ

パイオンの十字回廊 10 箇所、内回廊 13 箇所および外回廊 19 箇所の砂岩材劣化箇所において携帯型蛍光 X 線分析装置による化学組成分析を行なうとともに、析出塩類の採取を行なった。蛍光 X 線分析装置による化学組成分析の結果、多くの箇所から S と P が検出された。これらの化合物の同定からこれらの箇所における砂岩材劣化では、コウモリの排泄物に起因する塩類析出が重要な役割を果たしていると考えられる。S および P の検出量は外回廊と比べて十字回廊および内回廊で多くなっている。このことは十字回廊および内回廊の多くが屋根で覆われ、塩類が雨水で流されにくいことを示している。外回廊では全ての箇所で屋根が崩落しているが、それにも関わらず、以前に棲んでいたコウモリの排泄物の影響がまだにある。また、パイオンの内回廊および十字回廊に析出している石こうを 6 箇所から採取し、Sr および S の同位体比測定を行った。測定の結果、石こうの Sr 同位体比 (Ca の起源) はコウモリの排せつ物と砂岩材にあることが判明した。他方、S の同位体比は主としてコウモリの排せつ物の同位体比の範囲に入っており、S の起源がコウモリの排せつ物にあることが明らかになった。パイオン 42 塔に接する十字回廊において、含水率測定を 2017 年から継続して行った。測定にはケツト科学研究所製の HI-500 を使用した。砂岩材の含水率は全体的には雨季に高く、乾季に低くなる傾向が見られた。含水率は雨季・乾季を問わず 42 塔に接する北西角付近で高いことから、42 塔に降った雨水が北西角から侵入していることが推測される。

携帯型蛍光 X 線分析装置による測定の結果、パイオン外回廊では、Pb の含有量が、新鮮な砂岩材と比べて数倍高いことが明らかになった。

微生物学的アプローチ

浮彫りの劣化に関わる生物要因に、着生微生物（バイオフィーム、BF）の関与がある。窒素循環に着目した遺伝子解析により BF 微生物の特性の解明を、更に遺跡から分離した真菌を石材へ接種し長期培養することで、BF による砂岩の劣化を可視化しその過程をシミュレートした。浮彫りの表面、特にバイオンの塔周辺の壁面の BF において高濃度に検出される硝酸塩は、コウモリ由来のアンモニアがアンモニア酸化能を持つアーキア及び細菌の作用によって生成されたものである。窒素循環に関わる酵素遺伝子の解析をもとに BF の微生物叢を更に詳細に調べた結果、アンモニアから硝酸塩までの反応を同一種の細菌で行える Comammox も関与することが示された。更に、最近発見された異化型硝酸還元 (DNRA) 細菌による逆反応の存在も明らかとなり、アンモニア酸化によって生成された硝酸塩が再びアンモニアへ戻る事、脱窒により N_2 として大気へ移行するプロセスよりも、このアンモニア再生反応が勝っていることが BF への硝酸塩の蓄積と関連し、浮彫りの劣化要因となっている可能性が示された。微生物による砂岩の劣化過程をシミュレートするために、アンコール・ワット及びバイオンの石材の劣化部位から分離された *Aspergillus* sp. AW1 株及び *Paecilomyces* sp. BY8 株を、表面を研磨した砂岩のテストピースにそれぞれ接種し、無機塩培地を添加した条件で半年～1年間静置培養後、表面の形状計測を行なった。砂岩由来の低濃度の有機物しか存在しない条件下で、供試菌株はテストピース表面を覆う程に増殖し、顕微鏡観察によって空洞状の構造の形成が確認された。

浮彫り表面等にしばしば観察される白色繊維状物質の発生の経時変化と BF の着生状態への影響を調べた。その結果、白色繊維状物質はチャタテムシと呼ばれる 1～2 mm の大きさの微小昆虫の巣であることが確認された。チャタテムシは地衣類や菌類を餌とすることが知られている。巣を構成する丈夫な繊維によって地衣類が剥がれる様子も確認され、土着の昆虫による自然の BF 除去プロセスの存在が示唆された。

浮き彫りおよび修復基材に着生する主要な地衣類を同定するため、地衣類の rDNA ITS 領域を増幅・配列決定し、分子同定解析を行なった。その結果、*Dirinaria consimilis* や *Pyxine meissnerina*, *Leprocaulon* sp. の配列を決定したほか、代表的な白色の固着地衣である *Cryptothecia subnidulans* の DNA バーコード配列を初めて明らかにした。次に、微生物の劣化メカニズム調査を包括的に行うため、塔 (No. 42) 脇部屋壁面の計 35 ポイントを設定した。保存修復処理前後の着生微生物の動態を明らかにするため、3 度 (2017, 2019, 2022) のサンプリングを行い、次世代シーケンサーにより細菌およびアーキア、真菌類それぞれの DNA バーコード配列を決定し、群集系統解析を行った。

(3) 保存工法に関する調査

2007 年から実施している処理石材はおよそ 10 年で処理前の硬さまで低下した。表面硬度は処理の有無に関わらず毎年一定の低下が確認されている。強化剤と透湿調整剤を併用した処理石材についても同様な結果となった。強化剤に透湿調整剤として 3 種類の撥水素材を表面塗布した。表面反発硬度への影響は少なく、吸水率のみを小さくし、その後 10 年経過してもおなじ水準で推移していることが確認できた。保存処理材料の気温による挙動を把握するためにアコースティック・エミッション (AE) の計測を実施した。結果から、日射などによる高温からの冷却時に砂岩本来の破損音は強化剤および透湿調整剤で大きく緩和されるものであった。

暴露試験の結果を受けて、回廊の一部で試験を行った。使用した強化剤は標準的な配合比である強化剤を用い、透湿調整剤にはシラン系モノマー・オリゴマー混合薬剤を採用した。クリーニングには塩化ベンザルコニウム水溶液 (使用濃度 0.1～1%) を用いた。試

験後6年が経過し、施工した6箇所の壁面の硬度は概ね1.6倍となり、表面の硬度のばらつきは約1/3になった。処理石材の表面を均質に強化することができた。また透湿調整剤を塗布した箇所は周辺石材の水分量と同じ程度に保つことができた。

塔 42 北側回廊において修復処置試験では隣接する塔 N42 内部のクリーニング、回廊屋根からの漏水防止処置、回廊のクリーニングなどを実施した。屋根の目地詰め擬石処置は一時的なものであり、今後計画される本格的な整備時には除去できるようにした。目地詰め擬石は砂、石灰、粘土、水、着色剤から成り、砂はシエムリアップ近郊で採取できるものから選択した。充填性、成形性、耐候性、作業性の評価から採択し、現在まで良好な経過である。

3 箇所について処置前から処置後 28 ヶ月までのバクテリアおよび真菌の変化を解析した。バクテリアに関しては、3 箇所共に強化または透湿調整処置前と 28 ヶ月後までで大きく生物叢が変化していることが明らかとなった。真菌に関しては、各箇所異なる挙動を示した。保存処理を行う場合、表面の汚れを除去する必要がある。

2つのクリーニング法を研究した。生物が代謝するアレロパシー成分を使う方法と微生物の生育環境の閾値(threshold)を超えるストレスをかける方法である。後者の WASH 法(Water Apply Solar-heat cleaning method)は水と太陽熱を利用した微生物のクリーニング方法であり、一定期間湿熱環境を創出することによって微生物に損傷を与える方法²⁾である。この方法は薬品を一切使わず最もエコロジカルな方法として、2015 年より試験を開始し、経過を観測した。1 年後には処置面全体の除去がほぼ完了していた箇所があったほか、他の試験箇所では 2 ヶ月後には全種において共生藻の死滅を確認した。地衣類は光合成による栄養獲得ができず、死滅に向かう状況にあることが示された。温水を用いた試験は 3 年後にはほぼ除去がなされた。

(4) まとめ

本研究により、パイヨン寺院浮き彫り砂岩の劣化メカニズムに関して新たな知見を得ることができた。特に硫黄やリンが主たる要因となっていること、微生物叢の関与が大きいことが判明した。保存処理剤により石材を均質に強化することが可能となった。処理剤の長期計測から経年変化を把握できたことは今後の遺跡の管理計画に対し有効である。また浮き彫りの保存には屋根からの漏水対策や表面汚れの除去が必要である。必要に応じて取り除くことが可能な漏水防止用屋根充填材を地元の素材から選定した。クリーニングに関しては従来薬剤や物理的除去が主流となっていたが、本法ではより環境に負担をかけない手法を開発し、その評価をした結果、非常に有効であることが判明した。

これらの成果は現状の劣化に対して行われた研究の成果であるが、今後の活用や整備計画によっては新たな課題が表出することは十分に考えられる。さらには信仰の対象としての役割も考慮した遺産保存の必要性がさらに高まっている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 13件 / うち国際共著 4件 / うちオープンアクセス 12件）

1. 著者名 Ichita SHIMODA, Etsuo UCHIDA, Kojiro TSUDA	4. 巻 2
2. 論文標題 Estimated construction order of the major shrines of Sambor Prei kuk based on an analysis of bricks.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Heritage	6. 最初と最後の頁 1941-1959
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/heritage2030118	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Etsuo Uchida, Motoki Murasugi, Ayaka Kuroda, Yusu Lu	4. 巻 2
2. 論文標題 Chemical compositional signatures of constituent Minerals of iron slags and ores from the Khmer monuments.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Heritage	6. 最初と最後の頁 1724-1738
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/heritage2020105	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Ihara H, Aoyagi T, Hosono H, Takasaki M, Katayama Y.	4. 巻 34
2. 論文標題 Stratification of sulfur species and microbial community in launched marine sediment by an improved sulfur-fractionation method and 16S rRNA gene sequencing	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Microbes & Environments	6. 最初と最後の頁 199-205
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1264/jsme2.ME18153	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Zhang G, Gong C, Gu L, Katayama Y, Someya T, Gu JD	4. 巻 143
2. 論文標題 Biochemical reactions and mechanisms involved in the biodeterioration of stone world cultural heritage under the tropical climate conditions	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Biodeterioration & Biodegradation	6. 最初と最後の頁 104723
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ibiod.2019.104723	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Liu Xiaobo, Meng Han, Wang Yali, Katayama Yoko, Gu Ji-Dong	4. 巻 133
2. 論文標題 Water is a critical factor in evaluating and assessing microbial colonization and destruction of Angkor sandstone monuments	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 International Biodeterioration & Biodegradation	6. 最初と最後の頁 9~16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ibiod.2018.05.011	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Whelan ME et al, Katayama Yoko... (他41名、 20番目)	4. 巻 15
2. 論文標題 Reviews and syntheses: Carbonyl sulfide as a multi-scale tracer for carbon and water cycles	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Biogeosciences	6. 最初と最後の頁 3625~3657
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/bg-15-3625-2018	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Ihara H, Hori T, Aoyagi T, Hosono H, Takasaki M, Katayama Y	4. 巻 -
2. 論文標題 Stratification of sulfur species and microbial community in launched marine sediment as revealed by improved sulfur-fractionation method and 16S rRNA gene sequencing	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Microbes and Environments	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Uchida Etsuo, Sakurai Yuichiro	4. 巻 6
2. 論文標題 Construction Sequence of the Koh Ker Monuments Constrained by the Chemical Composition and Magnetic Susceptibility of Its Bricks	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Archaeological Discovery	6. 最初と最後の頁 173~185
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4236/ad.2018.62009	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ihara Hideyuki, Hori Tomoyuki, Aoyagi Tomo, Takasaki Mitsuru, Katayama Yoko	4. 巻 8
2. 論文標題 Sulfur-Oxidizing Bacteria Mediate Microbial Community Succession and Element Cycling in Launched Marine Sediment	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Frontiers in Microbiology	6. 最初と最後の頁 152
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fmicb.2017.00152	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ogawa T, S Hattori, K Kamezaki, H Kato, N Yoshida, Y Katayama	4. 巻 32
2. 論文標題 Isotopic fractionation of sulfur in carbonyl sulfide by carbonyl sulfide hydrolase of Thiobacillus thioparus TH115	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Microbes and Environments	6. 最初と最後の頁 367 ~ 375
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1264/jsme2.ME17130	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Meng Han, Katayama Yoko, Gu Ji-Dong	4. 巻 117
2. 論文標題 More wide occurrence and dominance of ammonia-oxidizing archaea than bacteria at three Angkor sandstone temples of Bayon, Phnom Krom and Wat Athvea in Cambodia	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 International Biodeterioration & Biodegradation	6. 最初と最後の頁 78 ~ 88
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ibiod.2016.11.012	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Xu Hai-Bo, Tsukuda Mao, Takahara Yu, Sato Tsutomu, Gu Ji-Dong, Katayama Yoko	4. 巻 126
2. 論文標題 Lithoautotrophical oxidation of elemental sulfur by fungi including Fusarium solani isolated from sandstone Angkor temples	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 International Biodeterioration & Biodegradation	6. 最初と最後の頁 95 ~ 102
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ibiod.2017.10.005	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 河崎衣美、松井敏也	4. 巻 16-2
2. 論文標題 顕微赤外分光法による石造文化遺産着生地衣類の成分分布 - カンボジア・アンコール遺跡の地衣類について -	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Lichenology	6. 最初と最後の頁 136
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Uchida Etsuo, Mizoguchi Akinori, Sato Hiroya, Shimoda Ichita, Watanabe Ryota	4. 巻 5
2. 論文標題 Determining the construction sequence of the Preah Vihear monument in Cambodia from its sandstone block characteristics	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Heritage Science	6. 最初と最後の頁 1-15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40494-017-0155-0	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計38件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 8件)

1. 発表者名 河崎衣美、松井敏也
2. 発表標題 石造文化遺産に着生する地衣類から溶出した水溶性成分分析とその評価の試み
3. 学会等名 日本文化財科学会第36回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 河崎衣美
2. 発表標題 屋外の石造文化財に付着する地衣類の対策
3. 学会等名 地衣学会第18回大会
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 MATSUI Toshiya, SAWADA Masaaki, KAWASAKI Emi
2 . 発表標題 Conservation and Restoration Materials for the Bas-Relief of the Bayon Temple, Cambodia
3 . 学会等名 2019 Daejeon International Symposium on Conservation of Cultural Heritage in East Asia (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 KAWASAKI Emi, MATSUI Toshiya, ATOMI Yousuke, AIKAWA Yu, OKANO Masae, YUKI Masanori
2 . 発表標題 Investigation for Conservation and Utilization of Buildings Made with Bricks: A Case of Tomioka Silk Mill
3 . 学会等名 2019 Daejeon International Symposium on Conservation of Cultural Heritage in East Asia (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Toshiya MATSUI, Masaaki SAWADA, Emi KAWASAKI
2 . 発表標題 Cleaning and Conservation of Bas Reliefs of the Bayon Temple, Cambodia
3 . 学会等名 SYMPOSIUM ON CONSERVATION, INHERITANCE AND DEVELOPMENT OF ROCK AND SOIL RELICS IN CHINA (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 M. Kamakura, H. Ikuta, B. Zheng, Y. Sato, M. Kagesawa, T. Oishi, K. Sezaki, T. Nakagawa, K. Ikeuchi
2 . 発表標題 Preah Vihear Project: Obtaining 3D point-cloud data and its application to spatial distribution analysis of Khmer temples
3 . 学会等名 3rd ACM SIGSPATIAL International Workshop on Geospatial Humanities (GeoHumanities ' 19) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 Takeshi OISHI
2. 発表標題 Cyber-Archaeology: 3D Scanning and Visualization of Historical Sites through Mobility Systems
3. 学会等名 Japan Korea Workshop on Next Generation Robotics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ryoichi Ishikawa, Yoshihiro Sato, Takeshi Oishi, Katsushi Ikeuchi
2. 発表標題 A profiler-camera fusion scanning system with direct based motion and calibration parameter correction
3. 学会等名 第22回 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 A. Hirata, R. Ishikawa, M. Roxas, T. Oishi
2. 発表標題 LIDAR Upsampling Based on Semantically-Guided Propagation
3. 学会等名 第22回 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomoki Kajikawa, Hiroshi Okochi, Takanori Nakano, Kojiro Shimada
2. 発表標題 The impact of particulate matters on the formation and chemistry of tropical heavy rain accompanied by squall
3. 学会等名 11th Asia Aerosol Conference (AAC2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomoki Kajikawa, Hiroshi Okochi, Kojiro Shimada, Takanori Nakano, Etsuo Uchida, Masahide Ishizuka, Takeshi Nakagawa, Toshiya Matsui, Toyoaki Arai, Satoru Udagawa, Poty Lay, Peou Hang
2. 発表標題 Air pollution and its impact of tropical heavy rainwater and dew water chemistry in Siem Reap - Angkor region of Cambodia
3. 学会等名 8th International Conference on Fog, Fog Collection and Dew (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤原博伸, 大河内博, 須合俊貴, 内山竜之介, 中野孝教, 鴨川仁
2. 発表標題 ゲリラ豪雨生成機構解明のための多点観測対応型自動雨水採取装置の開発
3. 学会等名 第28回環境化学討論会 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤原博伸, 大河内博, 須合俊貴, 内山竜之介, 中野孝教, 鴨川仁
2. 発表標題 ゲリラ豪雨生成機構解明のための多点観測対応型自動雨水採取装置の開発 (2)
3. 学会等名 第60回 大気環境学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 梶川友貴, 大河内博, 中野孝教, 島田幸治郎, 内田悦生, 中川武, 松井敏也, 石塚充雅, 荒井豊明, 宇田川智, PHORSDA Phu, LAY Poty, HANG Peou
2. 発表標題 カンボジア・シェムリアップ アンコール地域における大気汚染と熱帯性豪雨の化学組成に及ぼす影響
3. 学会等名 第60回 大気環境学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 内田悦生・杜睿・中村勇太・武山達
2. 発表標題 アンコール遺跡に使用されている硬砂岩材
3. 学会等名 日本文化財科学会第36回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 猪原英之、堀知行、青柳智、高崎みつる、片山葉子
2. 発表標題 海洋由来津波堆積物内の無機硫黄形態及び硫酸化細菌の鉛直プロファイル
3. 学会等名 微生物生態学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Katayama Y、Gu Ji-Dong
2. 発表標題 Active Microbial Population for N and S Transformation Colonized on Angkor Sandstone Monuments in Cambodia
3. 学会等名 International Biodeterioration and Biodegradation Symposium 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Gu Ji-Dong、Katayama Y
2. 発表標題 Active Microbial Population for N and S Transformation Colonized on Angkor Sandstone Monuments in Cambodia
3. 学会等名 International Biodeterioration and Biodegradation Symposium 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 河崎衣美、松井敏也、原光二郎、澤田正昭、井上才八
2. 発表標題 アンコール遺跡バイヨン寺院浮き彫りの保存材料に関する研究(6) -保存処理石材における微生物叢の推移-
3. 学会等名 日本文化財科学会第35回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 内田悦生、杜睿、中村勇太
2. 発表標題 クメール遺跡に使用されている砂岩材の地域変化
3. 学会等名 文化財保存修復学会第35回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takeshi OISHI
2. 発表標題 Cyber Archaeology and Robotics
3. 学会等名 Korea Japan Workshop on Next Generation Robotics
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石川涼一、大石岳史、池内克史
2. 発表標題 センサフュージョンによるオドメトリを用いたLiDARとカメラのキャリブレーション
3. 学会等名 第21回 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ryoichi Ishikawa、Takeshi Oishi、Katsushi Ikeuchi
2. 発表標題 LiDAR and Camera Calibration using Motion Estimated by Sensor Fusion Odometry
3. 学会等名 International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 梶川友貴, 大河内博, 中野孝教, 島田幸治郎、内田悦夫、中川武、松井敏也、石塚充雅、LAY Poty、HANG Peou
2. 発表標題 アンコール遺跡周辺の大気汚染と熱帯性豪雨の特徴
3. 学会等名 東京理科大学 研究推進機構 総合研究院 大気科学研究部門 第3回 成果報告会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 青柳智、Navarro Ronald、眞弓大介、羽部浩、片山葉子、高崎みつる、堀知行
2. 発表標題 硝酸還元条件における津波打上海底堆積物の嫌気分解機構
3. 学会等名 第69回日本生物工学会大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 片山葉子
2. 発表標題 大気中の硫化物の発生と分解の新規プロセス
3. 学会等名 環境微生物系学会合同大会2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 青柳智、Navarro Ronald、眞弓大介、羽部浩、片山葉子、高崎みつる、堀知行
2. 発表標題 硝酸塩添加で引き起こされる津波打上げ海底堆積物中の微生物間相互作用
3. 学会等名 環境微生物系学会合同大会2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 正木啓仁、小坂優介、松下保彦、片山葉子
2. 発表標題 Trichoderma harzianum THIF08株の大気硫黄化合物、硫化カルボニル、を硫黄源とする新規同化経路
3. 学会等名 環境微生物系学会合同大会2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 猪原英之、堀知行、青柳智、高崎みつる、片山葉子
2. 発表標題 津波堆積物に由来する海洋性硫黄酸化細菌の生理的性質とCOS分解
3. 学会等名 環境微生物系学会合同大会2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中村聡美、古賀雅貴、龍田典子、上野大介、片山葉子、染谷孝
2. 発表標題 アンコール遺跡パイヨン寺院の石材劣化におけるコウモリグアノ及び硫黄酸化微生物の寄与
3. 学会等名 環境微生物系学会合同大会2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takeshi OISHI
2. 発表標題 Dense and Accurate 3D Mapping System for Mobile Robot with Laser Range Sensors
3. 学会等名 Microsoft Academic Day 2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大石岳史
2. 発表標題 レーザ計測による大規模構造物の3次元デジタル化と解析
3. 学会等名 3D考古学の再挑戦－遺跡・遺構の非破壊調査研究
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 河崎衣美、松井敏也
2. 発表標題 顕微赤外分光法による石造文化遺産着生地衣類の成分分布 - カンボジア・アンコール遺跡の地衣類について -
3. 学会等名 日本地衣学会第16回大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 河崎衣美、原光二郎、松井敏也、澤田正昭、井上才八、海老澤孝雄
2. 発表標題 アンコール遺跡パイヨン寺院浮き彫りの保存材料に関する研究(5)-太陽熱を利用した地衣類のクリーニング-
3. 学会等名 日本文化財科学会第34回大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Matsui Toshiya
2. 発表標題 Conservation of Bayon Temple in Angkor,Cambodia
3. 学会等名 International Meeting for Saving Archaeological Heritage in Saqqara
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Matsui Toshiya
2. 発表標題 New challenges to the conservation of stone at the Angkor sites of Cambodia.
3. 学会等名 Congreso Centroamericano de Arqueologia en El Salvador
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Matsui Toshiya、Emi Kawasak、 Masaaki Sawada
2. 発表標題 New Results of Conservation Science Reseach at the Bayon temple in Cambodia
3. 学会等名 2017 International Symposiumu of Stone Conservation
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 内田悦生、桜井雄一郎、杜睿、山本真吾
2. 発表標題 アンコール時代における東王道沿いでの石材の供給
3. 学会等名 文化財保存修復学会第34回大会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	大河内 博 (OKOCHI HIROSHI) (00241117)	早稲田大学・理工学術院・教授 (32689)	
研究分担者	原 光二郎 (HARA KOJIRO) (10325938)	秋田県立大学・生物資源科学部・准教授 (21401)	
研究分担者	中川 武 (NAKAGAWA TAKESHI) (30063770)	早稲田大学・理工学術院・名誉教授 (32689)	
研究分担者	内田 悦生 (UCHIDA ETSUO) (40185020)	早稲田大学・理工学術院・教授 (32689)	
研究分担者	下田 一太 (SHIMODA ICHITA) (40386719)	筑波大学・芸術系・准教授 (12102)	
研究分担者	河崎 衣美 (KAWASAKI EMI) (60732419)	奈良県立橿原考古学研究所・企画学芸部資料課・主任研究員 (84602)	
研究分担者	大石 岳史 (OISHI TAKESHI) (80569509)	東京大学・生産技術研究所・准教授 (12601)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	石塚 充雅 (ISHIZUKA MITSUMASA) (80839126)	早稲田大学・理工学術院総合研究所（理工学研究所）・その他（招聘研究員） (32689)	
研究分担者	片山 葉子 (KATAYAMA YOKO) (90165415)	独立行政法人国立文化財機構東京文化財研究所・保存科学研究センター・客員研究員 (82620)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関