

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 23 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：2013～2016

課題番号：25257303

研究課題名(和文) アンコール遺跡群における砂岩浮き彫りの包括的な保存修復に関する研究

研究課題名(英文) Study on the Comprehensive Conservation of the Reliefs in the Bayon Temple of the Angkor Complex

研究代表者

松井 敏也 (MATSUI, Toshiya)

筑波大学・芸術系・准教授

研究者番号：60306074

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 32,800,000円

研究成果の概要(和文)：研究は保存科学のほか建築学、岩石学、微生物学、計測学など分野から実施された。遺跡と同質砂岩に各種の保存材料を投与し10年間の評価試験をおこなった。また回廊での試験施工評価も4年間モニタリングを行い、劣化部位のみの強度を回復することで、壁面の強度の一樣化に成功した。欠損部や充填などに用いる修復材料の評価も実施し、その標準仕様を得た。石材に硝酸イオンが高濃度で存在することが判明した。浮き彫りの表面に繁茂する地衣類では各所から水溶性成分が初めて検出され、そのクリーニング法が課題となった。浮き彫りのレーザー測量による経年変化からはここ数年の劣化を定量的に把握することに成功した。

研究成果の概要(英文)：Research on the reliefs of the Bayon Temple has been carried out not only in conservation sciences, but also in disciplines such as architecture, petrology, microbiology, and metrology. Various preservation materials were administered to sandstone samples of the same composition as the ruins, and a 10-year evaluation test was conducted. We also monitored a test construction at the corridor for 4 years, and succeeded in uniformizing the strength of the Bas-reliefs surface by restoring the strength at the deteriorated parts only. Repair and filling materials for restoration were evaluated, and standard specifications were obtained. The results revealed that a large amount of nitrogen and sulfur components were contained in the wall. Water-soluble components were discovered in the relief surface overgrown with lichens, and finding a proper cleaning method became a challenge. Using laser survey on the relief, we succeeded in quantitatively grasping the aging deterioration of the last years.

研究分野：文化財保存科学

キーワード：保存科学 浮き彫り 砂岩 強化 微生物 岩石 レーザー計測

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。しかし、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。こうした諸団体による研究の中で、申請者らは複数の研究分野を横断するより多角的な劣化評価と保存修復方法に関する工学的研究を継続している。本申請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におよぶ内廻廊の浮き彫りの全面的な写真記録がおさめられ、この写真記録により、20世紀前半に実施された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。

これまで保存科学、保存修復に関する研究から遺跡を構成する砂岩に対し、その劣化因子や劣化特性を明らかにしてきた。これまでの保存修復方法の研究は多様な要因により引き起こされる原因を素材と環境に求め、主に個別の事象を解明するにすぎなかった。アンコール遺跡は年間の観光者数が200万人を超え、それに付随する様々な活用が遺跡で行われている。申請者らが昨年独自に現地でも振動調査した際にも遺跡周辺の交通機関および観光客の発生する振動が遺跡構成砂岩に伝わっていることを確認した。これは修復材料に求められる特性は個々の遺跡の整備、活用状況を考慮に入れて選定しなければならないことを示している。

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、インドのアジャンター遺跡(コンクリートの使用による壁画への影響)や中国の麦積山石窟(セメントモルタルの使用による構造強化が塑像や壁画に与える影響)などの事例からも問題視され、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と考えた。

2. 研究の目的

研究代表者らは保存科学、保存修復に関する研究から遺跡を構成する砂岩に対し、その劣化因子や劣化特性を明らかにしてきた。だが、現地では寺院建造物の修復工事が急ピッチで行われている。本研究ではこれまでの研究で得られた浮

き彫りの保存科学的処置法を発展させると同時に、建造物の修復工事に伴う構造力学的な変化に起因する浮き彫りの劣化を多分野から調査し、その実践的課題を克服することを目的とする。これにより、従来の施工対象の材質に特化した保存処置に加えて、活用整備に伴う建造物の修復工事による影響を考慮した「浮き彫りの保存修復研究」の総合化を目指すものである。

最終的には主にこれら砂岩の劣化要因への保存科学的対策と建築学的修復工事による影響評価の2つの研究成果を融合させ、様々な整備、活用形態にも対応できる保存修復工法を導く。

3. 研究の方法

研究は次の(1)から(4)の調査研究領域からなる。文化財学、保存科学、建築学、岩石学、生物学、振動工学の各分野で構成され、各研究領域は互いの成果を逐次活かしながら進める。

(1)【建築学的調査】(3項目)

1-1) バイヨン内廻廊の石材配列調査、1-2) バイヨン中央塔の石材配列調査、1-3) 他寺院におけるパ・レリーフの調査

(2)【浮き彫りの劣化に関する調査】(2項目)

2-1) 石材の劣化、2-2) 着生生物による劣化

(3)【保存修復に関する調査】(3項目)

3-1) 着生生物のクリーニングに関する研究、3-2) 処理の経年劣化に関する研究、3-3) 浮き彫りへの施行試験

(4)【浮き彫りのモニタリング調査】(2項目)

4-1) 形状安定性評価、4-2) 劣化進行度調査

4. 研究成果

(1) 建築学的調査

1-1)、1-2)の石材配列調査では、個々の石材における劣化・損傷調査のための基礎資料として、石材配列図を作成した。作図には、各面の正対写真が必要とされるが、石材の目地がわかるほどの画質で、一面を撮影することは困難である。複数の写真を自動的に組み合わせ、寸法を与えることで、全体の計測を行える「写真測量技術」を導入した。特に、バイヨン内廻廊では、ドローンで撮影した上空の映像から、廻廊部分の屋根の石材配列伏図を作成。建築班で撮影した廻廊内観写真から、石材配列見上図を作成した。今後のパ・レリーフ保存の検討の一助として、廻廊の一部では、屋根見上～壁面～床面の撮影を行い、モデル化を試みている。また、バイヨン中央塔では、ドローン映像から、解析用の画像を各面でおおよそ100枚ずつ切り出した。解析された中央塔のモデルから、各面の正対画像を書き出し、視認できる建物や個々の石材の外形線を書き起こした。建物下部に不明瞭な箇所があるため、補足の写真撮影を行なっているが、今後これらの図化を行うとともに、建物の表面に施された装飾の外形線についても、図面上に加える予定である。作成図面には、個々の石材や各構成部分の保存のための修復および補強方法の判断や対策の指針策定を行う上での利用が、期待される。

1-3) 他寺院におけるパ・レリーフ調査として、パプーオンでの比較調査を行った。バイヨン内廻廊

南部、ゴープラ東側の一部に、「隠された子」のシーンが確認されるが、同様のモチーフがバプーンのゴープラにも確認される。両寺院におけるバレーフ配置の記録を基礎的研究として行った。

(2) 浮き彫りの劣化に関する調査

2-1)においてはバイコンの十字回廊 10 箇所、内回廊 13 箇所および外回廊 19 箇所の石材(砂岩)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い、X 線回折分析装置およびエネルギー分散型 X 線マイクロアナライザーを用いて塩類の同定を行なった。蛍光 X 線分析装置による化学組成分析の結果、多くの箇所から硫黄とリンが検出されるとともに、バナジウム、鉛、カルシウム、亜鉛が相対的に多く検出された。硫黄およびリンの検出から、これらの箇所における石材(砂岩)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。硫黄およびリンの検出量は外回廊と比べて十字回廊および内回廊で高くなっている。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いまだにあることが明らかになった。

X 線回折分析および X 線マイクロアナライザー分析の結果、硫黄は石コウ(CaSO₄ · 2H₂O)として、リンは、主として whitlockite (Ca₉(Mg,Mn)(PO₄OH)(PO₄)₈ · 20H₂O), berlinite (Al PO₄), wavellite (Al₃(PO₄)₂(OH)₃ · 5H₂O), brushite (CaH(PO₄) · 2H₂O)などとして存在していることが明らかになった。

クメール遺跡の石材やレンガ材表面では黒色化が見られるが、その原因は、主として藍色細菌(シアノバクテリア)の繁殖にある。しかしながら、これとは異なり、やや青みを帯び光沢を呈する黒色化が認められる。特に、アンコール遺跡の北東90kmの所に位置するコーケル遺跡でこの現象が顕著に認められる。このような黒色化は、アンコール遺跡を初めとして、クメール遺跡に全体に共通して多かれ少なかれ見られる現象であり、遺跡の景観を損ねるものである。

携帯型蛍光 X 線分析装置による非破壊分析の結果、この黒色化はマンガンの沈着によるものであることが明らかになった。X 線回折分析の結果、マンガンの多くは非晶質あるいは低結晶質の状態が存在しているが、一部には birnesite や todorokite の状態で存在していることが明らかになった。FE-SEM による観察の結果、多くは 100-300nm サイズの六角板状の形態を示しているが、一部で桿菌状の形態を示しており、マンガン酸化バクテリアの活動によりマンガンの沈着が生じた可能性が高いと推定される。このようなマンガン酸化物による黒色化は、シュウ酸水溶液を用いて容易に除去できることが予察的実験により明らかになった。

2-2)においては、着生生物(バイオフィルム, BF)の影響が考えられる。そこで、BF の微生物叢と BF に蓄積している化合物、更に寺院内に生息するコウモリとの関連を見ることにより、石材劣化との

相関を考察した。

塔(No.42)脇部屋壁面に着生する BF を、16S rRNA 遺伝子を対象にした次世代シーケンシング解析を行い微生物叢を推定したところ、約半分がシアノバクテリアで占められ光合成による有機物及び窒素固定によるアンモニアの供給が予想された。塔(No.26)東側回廊において、2014・2015年 8 月に人工降雨実験を実施し、屋根や壁の隙間を通り滴下する水に溶出される硝酸イオン及び硫酸イオンの有無を調べた。その結果、27 地点中、塔に近い 4 地点の試料において 160~580 mg/L の硝酸イオンおよび僅かではあるが硫酸イオンが検出され、7 地点において pH 4.5 前後の酸性を示した。遺跡内には現在もコウモリが多数生息しており、そのグアノ試料では 18 試料中 10 試料において高濃度の硝酸イオン(>1.1 g/kg)及び硫酸イオン(>120 mg/kg)が検出された。以上の結果、雨水が石材の隙間を通過する際にグアノ堆積物からこれらのイオンを溶出し酸性化することによって砂岩の劣化を促進すること、更に硫黄画分の供給源にもなっていると考えられる。硝酸イオン生成に関わる微生物を、アンモニア酸化酵素遺伝子(*amoA*)を対象に調べたところ、回廊や塔の床の堆積物では細菌よりもアーキアの寄与が高く、一方推定された菌種は BF の微生物叢からは検出されていないことから、堆積物と壁面に着生している BF では硝酸イオン生成に関わる微生物の分布は著しく異なることが示された(図 1)。BF の水抽出液にはアンモニアも検出されていることから、コウモリ排泄物あるいはシアノバクテリアの窒素固定を起点とする窒素循環がこれらの微生物によって引き起こされていることが明らかとなった。

石造文化財および修復基材に着生する主要な微生物を同定するため、真菌類の rDNA LSU の可変領域(D1/D2)を増幅・配列決定し、系統解析を行なった。その結果、バイコン遺跡の調査地においては、子囊菌としては、ケートチリウム目(Chaetothyriales), ダイダイキノリ目(Teloschistales), ボタンタケ目(Hypocreales), カブノディウム目(Capnodiales)に属する菌が多く検出された。特に、暴露実験に用いた擬岩にはケートチリウム目やボタンタケ目に属する真菌類やクロレラなどの藻類が見つかり、初期の黒ずみの原因であることが推定された。また、これらのグループは、高松塚古墳石室内外の微生物群集解析でも見つかっており、その生物学的特徴の解明によって、種特異的な防除法の開発が期待できる。

次に、強化剤・撥水剤・生物除去剤(光合成阻害剤)による処理後の着生微生物の動態を明らかにするため、次世代シーケンサーを用いた真菌・細菌の網羅的な群集系統解析(メタ 16S 解析, メタ ITS 解析)を初めて試みた。C-1(強化・撥水, 光合成阻害剤), C-10(強化, クリーニングのみ), O-11(強化・撥水)の3箇所5試験区において、2013年 12 月の処理から 2016年 8 月にかけて、合計 8 回のサンプリングを行ない、それぞれ DNA

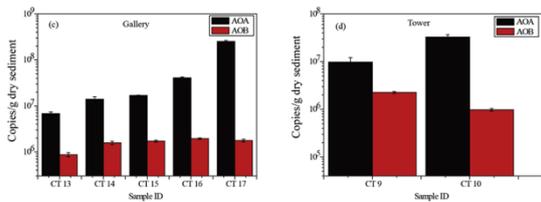


図 1 *amoA* 遺伝子を基にした回廊(左)及び塔(右)のアンモニア酸化アーキア(黒)及び細菌(赤)の分布. (Meng *et al.*, 2016)

を抽出後、細菌の 16S rDNA または真菌の rDNA ITS 領域を増幅・配列決定した。

(3) 保存修復に関する調査

3-1) 着生生物のクリーニング処置について、石材への負荷がより少なく、環境にも配慮した手法として熱の利用に着目し、イタリア・トリエステ大のチームが開発した WHAT (Wet HeAt Treatment) 法についてアンコール遺跡への利用を検討した。試験は寺院内の 7 箇所 10 点の転石(試験 1 から試験 7)および 1 点の柱(試験 8)で行った。水で地衣類および石材を湿らせ、水分の蒸発を防ぐためにプラスチックフィルムで密着させて包み、2 日間から 4 日間静置した後、プラスチックフィルムを取り外し、経年の枯死評価を行なった(図 2)。その結果、転石の試験において処理直後は多くの生物は変色し(図 2 右上)、4 ヶ月後にはほとんど自然に脱離しており(同左下)、1 年 4 ヶ月後の時点でも新たな着生はみられず(同右下)、WHAT 法の効果が認められた。一方で、照射量が少なく温度上昇が小さい場所での対応や、効率的なラッピング方法などが新たな課題となった。柱の試験 8 では東西南北 4 面に温度ロガー(Onset 社製, U23-003)を用いて処置環境を計測し(測定間隔 1 分)、試験前後に地衣類の一部をサンプリングし、蛍光顕微鏡観察(ライカ製蛍光フィルター I3[励起:450nm から 490nm, 吸収:515 nm 未満])によって藻類の自家蛍光の有無を観察し生死判断を試みた。最も高温となった南面(Max: 45.7°C, Min: 25.6°C, Avg: 33.8°C, σ : 6.1)において、試験前後の地衣類を採取(*Lepraria* sp., *Physciaceae* sp. #4, *Dirinaria aegialita*, *Pyxine* sp.)し、蛍光顕微鏡による藻類の自家蛍光観察を行った。この結果、2 ヶ月後には藻類は死滅し、地衣類は死滅に向かう状況となることがわかった。また、熱水処理による除去など、予備的に新たな除去方法を模索した。



図2 WHAT 法による着生生物の除去効果

3-2) においては浮き彫り修復材料の選定のための暴露試験を2007年から実施している。それらの計測から、暴露後10年近く経過しても処理剤の効果が持続していることが明らかになった。図3に結果の一例を示す。

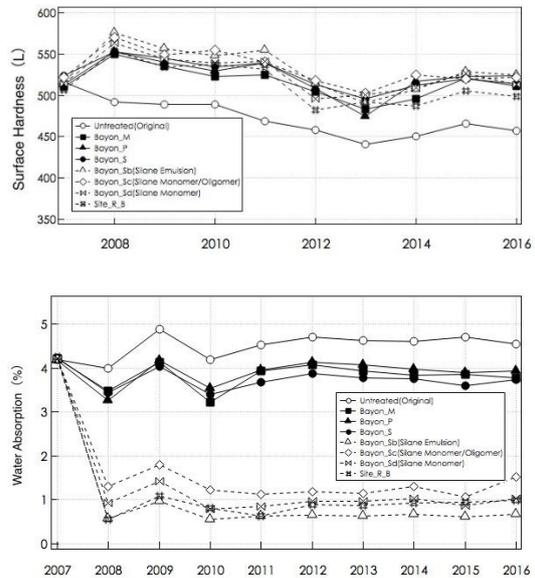


図3 強化剤と撥水剤による暴露試験(上:表面反発硬度、下:吸水率)

この試験の結果を受けて、3-3)においてバイオン寺院十字回廊および外回廊の一部において試験施工を実施し、その評価を行った。その結果、壁面の強度は一樣となり、その値はL値で 400~500 であった。

(4) 【浮き彫りのモニタリング調査】

4-1), 4-2)では浮彫の経年変化を観測するため、効率的に高精度な 3 次元形状計測を行う移動型レーザ計測システム(図4)を開発した。本システムはレーザプロファイラと全方位カメラによって構成され、同期された全方位画像とスライスの 3 次元頂点データを移動しながら取得する。カメラとプロファイラは事前に校正されており、全方位画像中に投影された頂点位置を連続する画像間で追跡し、奥行きと画像中の対応点の位置が整合するようなカメラの位置姿勢が求められる。得られたカメラ位置姿勢に応じて奥行きデータを並べることによって浮彫表面の 3 次元形状データを取得することができる。またこの位置姿勢を初期位置とし



図4 移動型レーザ計測システム

て反射率画像を作成し、カメラ画像との相互情報量が最大となるようグローバルに最適な位置姿勢が求められる。

図5は2013年8月と2016年3月に計測した3次元データ間の距離を可視化したものの例である。緑色の部分は変化が無い部分であり、赤色の部分は剥落によって形状が変化した部分である。本課題では計13か所で同様な計測を行った。これらの計測箇所の一部では、保存処理が施されており、この保存処理と経年変化の関係を解析することは今後の課題である。

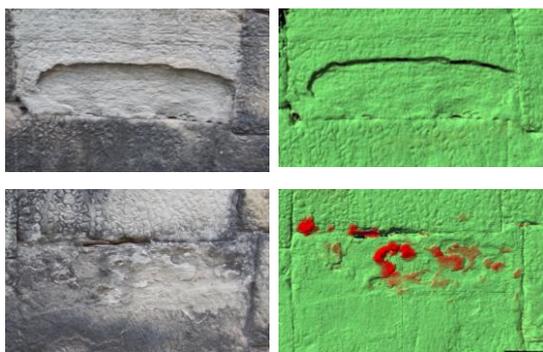


図5 3次元データによる浮彫経年変化の可視化

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 21 件)

- ① Ihara H, Hori T, Aoyagi T, Takasaki M, Katayama Y, Sulfur-oxidizing bacteria mediate microbial community succession and element cycling in launched marine sediment, *Front. Microbiol.*, 査読無, 8, pp.152, 2017年, DOI: 10.3389/fmicb.2017.00152
- ② Uchida E, Watanabe R, Osawa S, Precipitation of manganese oxides on the surface of construction materials in the Khmer temples Cambodia, *Heritage Science*, 査読無, 4, pp.1-17, 2016年, DOI: 10.1186/s40494-016-0086-1
- ③ Meng H, Luo L, Chan HW, Katayama Y, Gu JD, Higher diversity and abundance of ammonia-oxidizing archaea than bacteria detected at the Bayon Temple of Angkor Thom in Cambodia, *Int. Biodeter. Biodeg.*, 査読無, 115, pp.234-243, 2016年, <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2016.08.021>
- ④ Ogawa T, Kato H, Higashide M, Nishimiya M, Katayama Y, Degradation of carbonyl sulfide by Actinomycetes and detection of clade D of β -class carbonic anhydrase, *FEMS Microbiol Lett.*, 査読無, 363, pp.223, 2016年, DOI: 10.1093/femsle/fnw223
- ⑤ Okuda T, Lin F, Nakai S, Nishijima W, Katayama Y, Okada M, Effect of changes in the physicochemical properties of sand-alternatives on community structure in coastal sediments, *Ecological Engineering*, 査読無, 88, pp.177-185, 2016年, <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.12.025>
- ⑥ 下田 一太, 中川 武, サンボー・プレイ・クック遺跡群にみる初期クメール建築の多様性, *日本建築学会計画系論文集*, 査読有, pp.2923-2933, 2015年, <http://doi.org/10.3130/aija.80.2923>
- ⑦ Aoyagi T, Kimura M, Yamada N, Navarro RR, Itoh H, Ogata A, Sakoda A, Katayama Y, Takasaki M, Hori T, Dynamic transition of chemolithotrophic sulfur-oxidizing bacteria in response to amendment with nitrate in deposited marine sediments, *Front. Microbiol.*, 査読有, 6巻, pp. Article 246, 2015年, DOI: 10.3389/fmicb.2015.00426
- ⑧ Toshiya MATSUI, Masaaki SAWADA, Saihachi INOUE, Takao EBISAWA, Emi KAWASAKI, Yosuke ATOMI, Takeshi NAKAGAWA, A Study on Conservative Material for the Bas-Reliefs of the Bayon Temple in Angkor Monuments, *Proceedings of the International Conference on Conservation of Stone and Earthen Architectural Heritage*, 査読有, 1, pp.138-144, 2014年
- ⑨ Uchida E, Tsuda K, Shimoda I, Construction sequence of the Koh Ker monuments in Cambodia deduced from the chemical composition and magnetic susceptibility of its laterites, *Heritage Science*, 査読有, 2巻, pp.1-11, 2014年, DOI: 10.1186/2050-7445-2-10
- ⑩ 下田 一太, クメール建築の砂岩採石技法に関する考察, *日本建築学会計画系論文集*, 査読有, 705, pp.2543-2551, 2014年, <http://doi.org/10.3130/aija.79.2543>
- ⑪ Hori T, Kimura M, Aoyagi T, Navarro RR, Ogata A, Sakoda A, Katayama Y, Takasaki M, Biodegradation potential of organically enriched sediments under sulfate- and iron-reducing conditions as revealed by the 16S rRNA deep sequencing, *Journal of Water and Environmental Technology*, 査読有, 12, pp.357-366, 2014年, <http://doi.org/10.2965/jwet.2014.357>
- ⑫ Uchida E, Sato K, Cunin O, Toyouchi K, A reconsideration of the construction period of the cruciform terraces and the elevated causeways in the Angkor monuments, based on the magnetic susceptibility of the sandstone blocks., *Archaeometry*, 査読有, pp.1034-1047, 2013年, DOI: 10.1111/j.1475-4754.2012.00717.x
- ⑬ Uchida E, Shimoda I, Shimoda M, Consideration of the construction period of the Khmer temples along the east royal road to

Preah Khan of Konpong Svay and the provenance of sandstone blocks based on their magnetic susceptibility, *Archaeological Discover*, 査読有, pp37-48, 2013 年, DOI: 10.4236/ad.2013.12004

- ⑭ Ogawa T, Noguchi K, Saito M, Nagahata Y, Kato H, Ohtaki A, Nakayama H, Dohmae N, Matsushita Y, Odaka M, Yohda M, Nyunoya H, Katayama Y, Carbonyl sulfide hydrolase from *Thiobacillus thiooparus* strain THI115 is one of the β -carbonic anhydrase family enzymes, *J. Am. Chem. So*, 査読有, pp3818-3825, 2013 年, DOI: 10.1021/ja307735e

[学会発表](計 42 件)

- ① 内田悦生, 村杉元規, 黒田彩香, クメール遺跡から採取された鉄スラグおよび鉄鉱石野化学組成から推定される鉄鉱石の起源, 日本文化財科学会第 33 回大会, 2016 年 6 月, 奈良大学(奈良県・奈良市)
- ② Gu JD, Katayama Y. Involvement of microbes in culturale heritage protection at Angkor Thom, Cambodia. 44th Annual Meeting of American Institute for Conservation, 2016 年 5 月 15 日-18 日, Montreal(Canada)
- ③ 松井 敏也, 沢田 正昭, 井上 才八, 海老沢孝雄, 河崎 衣美, 跡見 洋祐, 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(3), 日本文化財科学会第 32 回大会, 2015 年 7 月 12 日, 東京学芸大学(東京都・小金井市)
- ④ 松井 敏也, 跡見 洋祐, 河崎 衣美, 沢田正昭, 振動による劣化予知と機能性修復材料の評価, 2015 東アジア文化遺産保存国際シンポジウム in 奈良, 2015 年 08 月 28 日, 奈良春日野国際フォーラム薨~I・RA・KA~(奈良県・奈良市)
- ⑤ 河崎 衣美, 松井 敏也, 原 光二郎, 川上寛子, 山本 好和, 石造文化遺産の着生地衣類から溶出する水溶性成分の影響, 2015 東アジア文化遺産保存国際シンポジウム in 奈良, 2015 年 08 月 28 日, 奈良春日野国際フォーラム薨~I・RA・KA~(奈良県・奈良市)

6. 研究組織

(1)研究代表者

松井 敏也(MATSUI,Toshiya)
筑波大学・芸術系・准教授
研究者番号:60306074

(2)研究分担者

原 光二郎(HARA,Kojiro)
秋田県立大学・生物資源科学部・准教授
研究者番号:10325938

中川 武(NAKAGAWA,Takeshi)
早稲田大学・理工学術院・名誉教授
研究者番号:30063770

池内 克史(IKEUCHI,Katsushi)
東京大学・大学院情報学環・学際情報学府・名誉教授
研究者番号:30282601

内田 悦生(UCHIDA,Etsuo)
早稲田大学・理工学術院・教授
研究者番号:40185020

片山 葉子(KATAYAMA,Yoko)
東京農工大学・(連合)農学研究科(研究院)・教授
研究者番号:90165415

下田 一太(SHIMODA,Ichita)
筑波大学・芸術系・助教
研究者番号:40386719

(3)連携研究者

澤田 正昭(SAWADA,Masaaki)
国士館大学・21 世紀アジア学部・教授
研究者番号:20000490