

令和 2 年 4 月 28 日現在

機関番号：11401

研究種目：基盤研究(B) (海外学術調査)

研究期間：2016～2019

課題番号：16H05636

研究課題名(和文) アンコール遺跡群における予防的保存に資する劣化・変形・環境観測システムの構築

研究課題名(英文) Development of monitoring system for Bayon temple preservation and conservation

研究代表者

川村 洋平 (Kawamura, Youhei)

秋田大学・国際資源学研究所・教授

研究者番号：40361323

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,300,000円

研究成果の概要(和文)：世界遺産(WHS)に登録される遺跡は顕著な普遍的価値の適切な保持、維持管理を必要としている。情報通信技術(ICT)を活用することで、長期的かつ持続的な遺跡のモニタリングを実現できる可能性がある。システム設計の具体例として、バイヨン寺院(アンコール・トム、カンボジア)を選定した。浮き彫りに対し、3次元モデルを準リアルタイムに再作成・アーカイブするための計測・データ回収・解析を行うシステムを統合的に開発することを目標とし、Wi-Fiアドホック無線通信の信頼性の検証を行い、遺跡保全モニタリングシステムを提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、アンコール・トムのバイヨン寺院を対象として遺跡保全モニタリングシステムを提案した。採用するWi-Fiアドホック通信システムの性能をバイヨン寺院周辺で検証し、データの回収に十分な性能を得た。この提案する遺跡保全モニタリングシステムを使用することで長期的かつ持続的な遺跡のモニタリングを実現させることが分かった。今後の遺跡の保全に有効な遺跡モニタリングシステムの方法論を提案できたと考える。

研究成果の概要(英文)：Historical monuments, archaeological sites and their surrounding structures found in World Heritage Sites (WHSs) all throughout the world have great cultural or physical significance. However, many of these WHSs are subject to decay and destruction from both natural and man-made events such as tourist activity. The study believes that it is possible to realize long-term and sustainable WHS monitoring by utilizing Information and Communication Technology (ICT). In this study, Bayon temple was selected as an application of the proposed monitoring system. The progressive deterioration of bas-reliefs found in the ruins require rapid and high-frequency monitoring; by utilizing fixed camera photography with multiple viewpoints, three-dimensional models holding color information are created and archived on a real-time basis measurement and communication system. Based on measured performance of the communications system, a schematic design of the monitoring system for WHSs has been developed.

研究分野：計測工学、鉱山工学

キーワード：予防的保存システム 劣化・変形・環境観測システム Wi-Fi アドホック すれ違い通信 遺跡保全モニタリングシステム 浮き彫り 3次元モデル

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

世界中に存在する世界遺産 (WHS) では、自然的要因と人為的要因による劣化進行が問題となっている。劣化進行が深刻でその救済が希求されている遺跡に対して、多くの研究者が保全修復研究に取り組んでいる [1-3]。遺跡の構成資産である「記念工作物」・「考古学的遺跡」と周囲の建造物は、顕著な普遍的価値の適切な保持、修理又は復旧、維持管理、防災及び危機管理に関する体制の充実が必要とされており、またそのモニタリングシステムが強く求められている。遺跡の顕著な普遍的価値を確実に保護するためには、資産に影響を与える要因を詳しく分析し、そのモニタリングを検討する必要があるとされている [4-6]。著者らは、遺跡保全の損傷個所の判定および、損傷状態の可視化および日々のモニタリングを目的としてデジタル技術の導入を構想している。著者らはこれまで、遺跡の石材表面に付着した苔類などの様々な生物によるレリーフの形状劣化を防ぐための保存方法の研究を行っている [2-3]。また、2017 年からは遺跡の多視点映像撮影を行い、観測対象を 3 次元復元することで損傷個所を同定するという新たな研究もはじまっている [1]。さらに世界遺産に選定された遺跡の多くには、膨大な数の観光客 (アンコール遺跡群においては年間百万人) が訪れることから、「遺跡観光」と「持続可能な発展」の二つのコンセプトを包含した「持続可能な観光」という概念が注目を集めている。それを実現するために、情報技術 (ICT) を活用することで、長期的かつ持続的な遺跡のモニタリングを実現できる可能性がある。長期的かつ持続的なモニタリングシステムの構築により、最小限に人力を抑えながら、それぞれ異なる監視要件を持つ遺跡に応じたモニタリングが可能となる。また、遺跡に応じたセンサ変更により対応・拡張が可能である。つまり、遺跡保全モニタリングシステムのグランドデザインおよびデザインコンセプトが最も重要といえる。

2. 研究の目的

システム設計の具体例として、バイヨン寺院 (アンコール・トム、カンボジア) を選定した。劣化進行が早く、高頻度なモニタリングが必要とされている浮き彫りに対し、固定カメラを用いて継続的な差分の把握を目的とした多視点撮影を行う。3 次元モデルを準リアルタイムに再作成・アーカイブするための計測・データ回収・解析を行うシステムを統合的に開発することの一つ目の目標とした。データ回収 (通信) では現地調査員がストレスなく日常業務のなかで自然に回収するシステムを構築することが二つ目の目標である。これは急速に進む ICT 化を遺跡に結ぶシステムであり、各種計測データを一元管理および回収・日本まで転送することで、管理の難しい巨大遺跡のストレスのない持続的なモニタリングを可能とする。

本研究では、データの回収にスマートフォンに標準搭載されている Wi-Fi アドホック無線通信を採用した。提案する遺跡保全モニタリングシステムのデータ回収手法として利用できるかを検証した。このとき、受信信号強度 (RSSI)、通信速度および通信距離を通信の性能指標とした。また、具体的な遺跡保全モニタリングシステムを検討し、その実現可能性を検証した。

3. 研究の方法

3.1 遺跡保全とモニタリングシステム

提案する遺跡保全システムは固定カメラと環境計測センサのデータを用い浮き彫り劣化の検知のための 3D モデルの更新や環境モニタリングを行う。図 1 に提案する遺跡保全モニタリングシステムのシステムデザインを示す。固定カメラと環境計測センサとデータログおよび現地調査員が持つスマートフォンはアドホック通信 (Wi-Fi アドホック、Wi-Fi ダイレクト) に対応しており、中継用のデータログや現地調査員の“動き”と“すれ違い”によるアドホック通信によってインフラ設備の無い遺跡周辺のデータをインフラ設備の整った都市部のオフィス (現地) へと測定データを回収する。その後、通信インフラに基づく通信でインターネットを介してクラウド上で回収したデータを公開する。これにより、従事者はオフィス (遠隔地と現地) で解析作業も確認作業も行えるようになる。例として、カンボジアのアンコール遺跡群について考える。

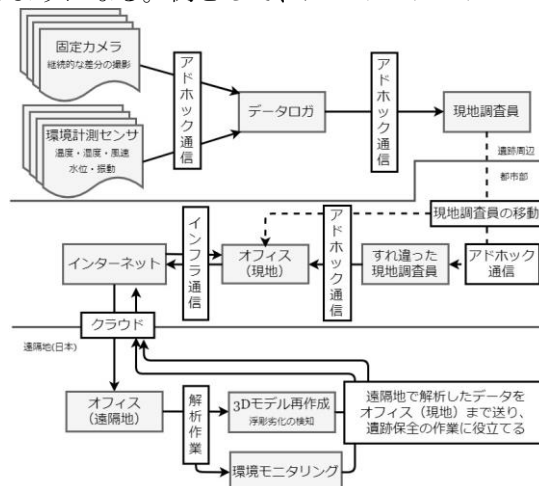


図 1 提案する遺跡保全モニタリングシステムのシステムデザイン

アンコールには大きな遺跡だけで約 60 の遺跡が存在している。なかでもアンコール・ワットとアンコール・トムは、規模の大きさと回廊の壁面に彫られた浮き彫り芸術で有名である。1992 年にユネスコの「世界文化遺産」に登録され、緊急の救済措置が必要とされる「危機にさらされている世界遺産リスト」にも登録された。現在では、カンボジアの文化遺産を守るためにユネスコなど国際機関の協力を得てフランスや日本、アメリカ、中国など世界から数多くのチームが保存・修復に携わっている。

ICT をモニタリングに取り入れることは遺跡保全に限らず様々な監視対象で行われている。本研究で提案する ICT を活用した遺跡保全モニタリングシステムは、劣化の進行が早く、高頻度なモニタリングが必要とされている浮き彫りに対し、多視点による固定カメラ撮影を行い、色情報を保有する 3 次元モデルを準リアルタイムに再作成・アーカイブするための計測・データ回収・解析を行うシステムを統合的に開発する。また、通信インフラの脆弱な場所においては、遺跡モニタリングシステムの中でもデータログに蓄積されたデータを回収する際の通信システムが課題であり、現地調査員が手作業でデータの回収を行っているのが現状である。データログの設置されている場所は不安定な高所も多く、作業安全性の確保も急務である。そのためデータの回収（通信）では現地調査員がストレスなく日常業務の中で自然にデータを回収するシステムを構築する。これにより各種計測データを一元管理し日本まで転送することで持続的なモニタリングを可能とする。このとき必要に合わせて他の監視要件もセンサを使用し、データログへ蓄積しておく。例として気温、湿度および振動（環境因子）などが挙げられ、容易に拡張させることが可能である。また、このシステムは独自の通信インフラを使用するため煩雑なセットアップをせず、どの遺跡にも利用可能である。

3.2 Wi-Fi アドホックによる遺跡保全のためのデータ回収

本研究では提案する遺跡保全モニタリングシステムのデータ回収に Wi-Fi アドホックを提案する。Wi-Fi アドホックとは、IEEE 802.11 無線 LAN の動作モードのひとつで、端末同士で P2P (peer to peer) 通信を実現する。Wi-Fi アドホックなどといった無線通信では“無線が届かないことがある”という問題があり、その解決方法としてマルチホップ通信がある。また、マルチホップ通信とは、バケツリレー方式でデータを伝達させることで通信範囲を拡大できる技術である。端末同士がバケツリレー方式で通信をすることで自身の圏外にいる端末のデータも共有できる (Delay Tolerant Network : DTN)。また、端末の動きによってデータの共有もできる。Wi-Fi アドホックはマルチホップ通信をネットワークに活用する。さらに、ほとんどのスマートフォンが対応しているため、現地調査員のスマートフォンにアプリを入れるだけで提案する遺跡保全モニタリングシステムへの導入が可能である。

提案する Wi-Fi アドホック無線通信システムのデータ回収のおおまかな流れは、まず初めに計測対象に Wi-Fi アドホック対応のセンサを設置し、データログへと各センサからの計測データを集約する。そうしてデータログに集約させたデータを現地調査員の“動き”で回収する (データログに現地調査員が近づくことでデータ伝送)。その後、現地調査員はデータの入ったスマートフォンを持ち事業所のサーバーの近くへと移動することで通信システムの一役を担う。このとき、現地調査員の“動き”だけでなく、“すれ違い”も通信システムの一役を担う (現地調査員がお互いの通信範囲内に入った際にデータ伝送)。この通信の性能次第でシステムとして利用できるかが判断できる。このシステムによる無線通信は準リアルタイムでの通信である。現地調査員の“動き”や“すれ違い”を利用し遺跡からデータを回収することで遺跡全域をカバーする通信機器を設置する必要がなく設備投資の無駄も削減できる。事実、遺跡保全モニタリングにおいては、注視すべき場所が変化していくことから最小限の範囲に機材を設置したいと考えるためである。そのため、この Wi-Fi アドホックの通信性能次第では持続的なモニタリングを取り入れるために導入を検討する可能性が高いといえる。

4. 研究成果

4.1 遺跡保全のためのデータ回収の通信試験

本研究の初期段階として、Wi-Fi アドホックに対応した通信機器とスマートフォンを使用し、データの送受信試験を行った。その時の実験の様子を Wi-Fi アドホック無線通信モニタリングシステムは複数の子機 (通信機能付きカメラ) で撮影した画像を親機 (通信機能付きデータログ、図 2 参照) に転送してスマートフォンが近づいて通信距離に入った際にデータを転送し、バケツリレーのように他のスマートフォンに転送していくというシステムである。本研究で画像データを親機で送ることとしたのはデータ容量をコントロールし易いためである。親機と子機ともに、Raspberry Pi 3 と GW-300S KATANA モジュールを使用し、IEEE 802.11 a/ac/b/g/n 規格を使用することとした。さらに送信電力を最大にして通信試験を行った。また子機にはカメラモジュールとして Sony IMX219PQ センサを使用した。このモジュールの解像度は、1 (MB) のサイズの画像ファイルを取得して送信するために削減された。この通信試験に使用されたスマートフォンは、IEEE802.11 a/ac/b/g/n の多入力多出力 (MIMO) 対応の iPhone 6s である。また、通信実験の際には IEEE802.11n (2.4GHz 帯) を使用した。

通信試験のために、画像データは親機に送られ、事前に保存する。次に、親機からスマートフォンにデータを送受信した。遺跡保全モニタリングにおける Wi-Fi アドホック通信の性能を評価するには、通信距離と通信速度、およびデータの安定性で評価する必要がある。これらの値は、

RSSI および通信速度を測定することによって判断される。また、予備実験として植生が少ないケースとして秋田大学構内と水分の多いケースとして川のそばで通信試験を行った。この時の通信結果を図3に示す。図3より、通信距離は秋田大学構内で130 (m)、川のそばで70 (m)であった。このように、電波減衰は周囲の状況から変化することが分かったため、現地での通信試験が必要だと考えた。

バイヨン寺院周辺で行った Wi-Fi アドホック無線通信試験では親機とスマートフォンは地上から1 (m) の高さに固定し、スマートフォンを親機から10 (m) 間隔で縦横方向に移動させた。次に、移動させた後に情報端末 (通信機能付きデータログとスマートフォン) 間で通信を行い、RSSI と通信速度を測定した。各測定地点で、データを100回送受信して通信の安定性を適切に評価した。図4にバイヨン寺院周辺の通信結果を示す。これらの通信試験の結果に基づいて、壁のない見通せる範囲では通信距離が120 (m) 程度であると結論づけられる。このときの通信速度は2.2~2.5 (MB/s) である。また、バイヨン寺院の外壁などがある場合、通信距離は先述の120 (m) よりも短くなることが分かった。



図2 バイヨン寺院周辺の通信試験の様子

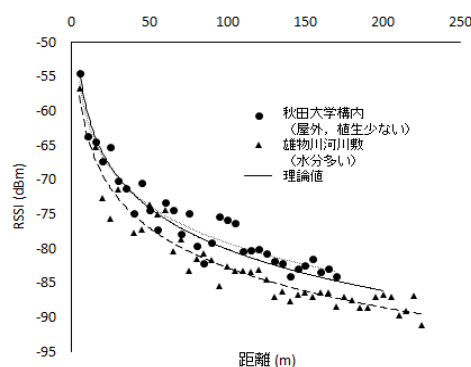


図3 日本国内での通信試験結果

4.2 提案する遺跡保全モニタリングの検討

4.2.1 バイヨン寺院を例とした運用例

提案する遺跡保全モニタリングシステムの対象例としたバイヨン寺院 (アンコール・トム) における通信性能の検討を行う。Fig. 6 に遺跡保全モニタリングシステムのための通信システムにおけるデータ回収概念 (バイヨン寺院) を示す。対象のバイヨン寺院 (アンコール・トム) の遺跡上部にデータログを置くと仮定し、通信試験の結果よりデータログの通信距離を60 (m) と設定した。このとき通信速度は16~20 (Mbps) である。バイヨン寺院のような海外の遺跡では、社会インフラ事情からセンサを設置してもデータ回収に手間がかかり、有効なモニタリングを行うことが難しくなっている。通信システムの概要は、まず初めに各センサで取得したデータをデータログに集約させる。次に、現地調査員がデータログの通信範囲内にいる間、データ回収が行われる。さらに、現地調査員が他の現地調査員と“すれ違い”の際にもお互いの持つデータを受け渡し、情報を共有していく。その後、いずれかの現地調査員が通常インフラの整ったオフィスに戻る。そして、オフィスのサーバーでデータが吸い上げられる。この“動き”と“すれ違い”によって回収されたデータがオフィス (現地) のサーバー (通常インフラ) を介してインターネット上のクラウドにアップロードされる。したがって、遠隔地の日本でも確認できるようになり、遠隔地でのモニタリングが可能となる。今回の研究対象としたバイヨン寺院 (アンコール・トム) において遺跡保全モニタリングをするために計測項目としていたものが風速・温度・湿度・水位・振動 (地盤環境および構造物環境) ・写真画像である。写真以外は、少ないデータ容量のテキストデータとして保存される。写真画像データは解像度にもよるが1枚当たり1~4 (MB) となる。この写真画像データは観測対象の3次元復元を行うために活用される。

ここからは具体的な数字を使いバイヨン寺院 (アンコール・トム) を対象とした場合の提案する遺跡保全モニタリングシステムの活用方法を検討する。Fig. 6 に示したように、バイヨン寺院 (アンコール・トム) の外周は120 (m) 四方であり、都市部から30 (km) 程離れており、通常インフラの整っていない地域である。風速・温度・湿度などといった計測項目を取得する環境計測センサから取得される様々なデータ (テキストファイルや写真あるいは動画) を通信範囲内のデータログに集約 (あるいは中継用データログを設置) し、現地調査員が通る道路の近くに設置されたデータログから回収される。中継用データログを60 (m) ごとに置くことで近くの道路を通過する自動二輪車に乗った現地調査員が時速40 (km/h) の速度で走行した場合に120 (m) の通信範囲を通過する11 (s) 間で22~28 (MB) のデータの通信が可能である。この一度に通信可能なデータ総量は、取得したいデータのサンプリング周波数、頻度にもよるが、テキストファイルのみならず画像ファイルも確実に送るために十分なデータ転送量といえる。さらに、現地調査員の動きを管理することや、中継地点 (データログ) とスマートフォンの個数を増やすなど工夫をすることが可能である。

4.2.2 バイヨン寺院を例とした遺跡保全モニタリングシステム運用例

今研究で提案する遺跡保全モニタリングシステムの運用例としてバイヨン寺院 (アンコール・

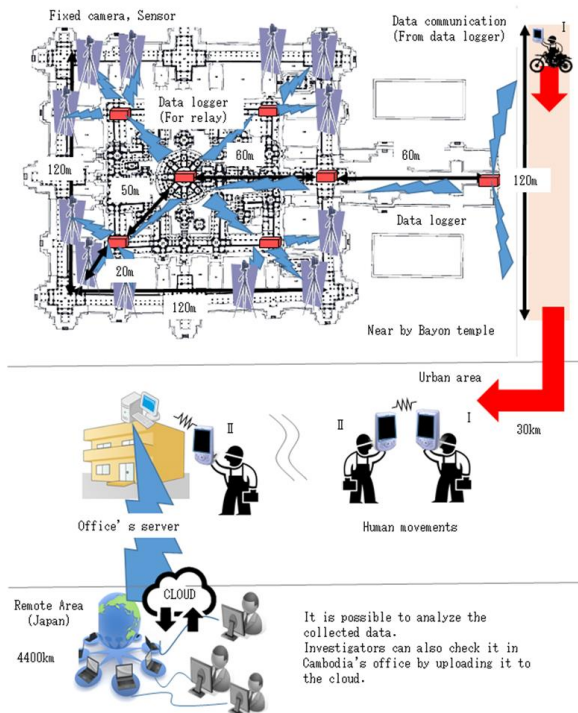


図4 遺跡保全モニタリングシステムのための通信システムにおけるデータ回収概念 (バイヨン寺院)

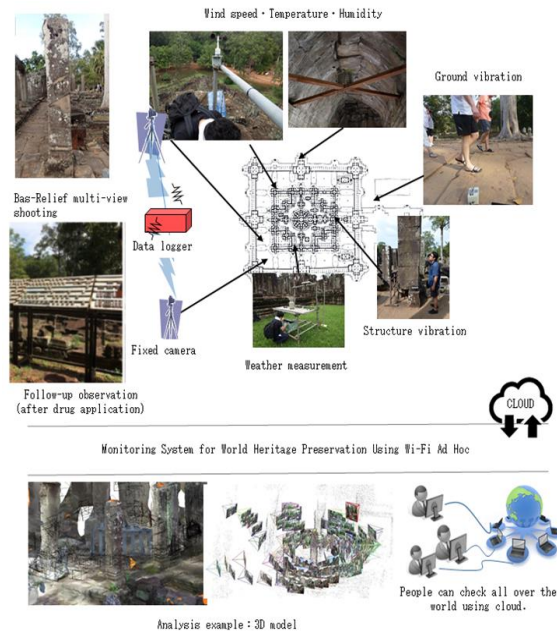


図5 提案する遺跡保全モニタリングシステム (バイヨン寺院)

トム)の遺跡内を対象とした。具体的には、環境計測センサ(風速・温度・湿度・振動)を設置し、環境モニタリングおよび固定カメラによる浮き彫り多視点撮影をし、3Dモデルの再作成や遺跡の石材表面に薬剤を塗った後の経過観察を行う。バイヨン寺院の支柱の損傷状態を可視化のために、撮影タイミングの異なる画像の重層手法を使用する。今研究で提案するモニタリングシステムは初めに出来上がった3Dモデルに対して継続的に多視点撮影を行うことで差分を把握し3Dモデルを再作成し、経過の観察を可能することを一つの目的としている。これまで、表面の浮彫の形状劣化の要因調査として、遺跡の石材と同じ石材に様々な薬剤を塗布し、目視によって鮮苔類経過の確認を行っている。しかしながら、経過観察のために専門家がカンボジアに渡航し、目視観察できるのは年に数回が限度である。ここで、定点カメラによる複数枚の画像を重層することで、目視以上の詳細な観察・分析が期待できるとされている。このシステムのデータ通信にはアドホック通信を利用し、現地調査員の“動き”や“すれ違い”によって遺跡周辺から都市部のオフィスへとデータを回収する。その後、世界中で解析、確認を可能とするためにクラウドにデータをアップロードする。上記のように、遠隔地でのモニタリングは、手間とお金のかかるものであったがこの提案する遺跡保全モニタリングシステムを使用することで長期的かつ持続的な遺跡のモニタリングを実現できる。このWi-Fiアドホック無線通信は、通信インフラが脆弱な場所において安定したネットワークを構築するために適していると考えられる。この方法論は今後の遺跡保全のモニタリングに有効であるといえる。

4.3 おわりに

採用するWi-Fiアドホック通信システムの性能を検証したのち、バイヨン寺院(アンコール・トム)を例とした遺跡保全モニタリングシステムを構築(提案)した。バイヨン寺院の遺跡内に環境計測センサ(風速・温度・湿度・振動)を設置し、環境モニタリングおよび固定カメラによる浮き彫り多視点撮影をし、3Dモデル作成や遺跡の石材表面に薬剤を塗った後の経過観察をおこなえるモニタリングシステムである。これまでの要素研究をひとつのシステムに集約可能なモニタリングシステムが構築できた。以上のように、今後の遺跡の保全に有効な遺跡モニタリングシステムの方法論を提案できたとと言える。

文献

[1] H. Shishido.; Y. Ito. Y. Kawamura. T. Matsui. A. Morishima. I. Kitahara. Proactive Preservation of World Heritage by Crowdsourcing and 3D Reconstruction Technology. The First IEEE Workshop on Human-Machine Collaboration in BigData (HMDData2017). 2017, p. 4426-4428.
 [2] 宍戸 英彦; 河崎 衣美. 伊藤 豊. 川村 洋平. 松井 敏也. 森嶋 厚行. 北原 格. 超微速度撮影画像を対象とした重畳処理の高精度化. 第21回 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2018). 2018, PS2-3. 4 pages.
 [3] 池田 啓; 川村 洋平. トンゴル ゼドリック. 伊藤 豊. ジャン ヒョンドウ. スマートマイニングのためのWi-Fiアドホックによる地下坑内通信技術. 日本情報地質学会. 2018, 29 巻, 1 号, p. 3-11.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計22件（うち査読付論文 21件 / うち国際共著 7件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Hyongdoo Jang, Itaru Kitahara, Youhei Kawamura, Yasunori Endo, Erkan Topal, Ryo Degawa & Samson Mazara	4. 巻 なし
2. 論文標題 Development of 3D rock fragmentation measurement system using photogrammetry	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Mining, Reclamation and Environment	6. 最初と最後の頁 なし
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1080/17480930.2019.1585597	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 該当する
1. 著者名 Youhei Kawamura, Yoshio Moriyama, Hyongdoo Jang	4. 巻 11
2. 論文標題 Web-GIS Based Visualization System of Predicted Ground Vibration Induced by Blasting in Urban Quarry Sites	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Geographic Information System	6. 最初と最後の頁 17-31
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 宍戸 英彦, 河崎 衣美, 伊藤 豊, 川村 洋平, 松井 敏也, 森嶋 厚行, 北原 格	4. 巻 2
2. 論文標題 クラウドソーシングと3次元復技術による世界遺産の予防的保存	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 信学技報	6. 最初と最後の頁 77-82
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 池田 啓, 川村 洋平, トンゴル ゼドリック, 伊藤 豊, ジャン ヒョンドウ	4. 巻 29
2. 論文標題 スマートマイニングのためのWi-Fi アドホックによる地下坑内通信技術	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 情報地質	6. 最初と最後の頁 3-11
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 該当する

1. 著者名 Mohammad Ali Moridi, Mostafa Sharifzadeh, Youhei Kawamura, Hyong Doo Jang	4. 巻 73
2. 論文標題 Development of wireless sensor networks for underground communication and monitoring systems (the cases of underground mine environments)	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Tunnelling and Underground Space Technology	6. 最初と最後の頁 127-138
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 該当する

1. 著者名 穴戸 英彦、河崎 衣美、伊藤 豊、川村 洋平、松井 敏也、森嶋 厚行、北原 格	4. 巻 PRMU2017
2. 論文標題 クラウドソーシングと3次元復技術による世界遺産の予防的保存	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 IEICE Technical Report	6. 最初と最後の頁 77-82
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 S.YAMADA, M.ARAYA, A.YOSHIDA, T.OHISHI	4. 巻 171
2. 論文標題 Structural stability evaluation study applying wind tunnel test and monitoring of Bayon main tower, Angkor Thom in Cambodia	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Studies, Repairs and Maintenance of Heritage Architecture XV, WIT Transactions on The Built Environment	6. 最初と最後の頁 287-296
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 Ryusuke Miyamoto, Koichi Mizutani, Tadashi Ebihara, and Naoto Wakatsuki	4. 巻 56
2. 論文標題 Ultrasonic inspection method for billet using time-of-flight deviation of bottom echo and its performance evaluation in numerical simulations	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 07JC09
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 Mohammad Ali Moridi, Youhei Kawamura, Mostafa Sharifzadeh, Emmanuel Knox Chanda, Markus Wagner, Hirokazu Okawa	4. 巻 71
2. 論文標題 Performance analysis of ZigBee network topologies for underground space monitoring and communication systems	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Tunnelling and Underground Space Technology	6. 最初と最後の頁 201-209
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.tust.2017.08.018	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 Mohammad Ali Moridi, Mostafa Sharifzadeh, Youhei Kawamura, Hyong Doo Jang	4. 巻 73
2. 論文標題 Development of wireless sensor networks for underground communication and monitoring systems (the cases of underground mine environments)	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Tunnelling and Underground Space Technology	6. 最初と最後の頁 127-138
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.tust.2017.12.015	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 池田 啓, 川村 洋平, トンゴル ゼドリック, 伊藤 豊, ジャン ヒョンドゥ	4. 巻 29
2. 論文標題 スマートマイニングのためのWi-Fi アドホックによる地下坑内通信技術	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 情報地質	6. 最初と最後の頁 3-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.6010/geoinformatics.29.1_3	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 Youhei Kawamura, Hyongdoo Jang, K. Ohta, Y. Inagaki	4. 巻 -
2. 論文標題 Development of a Landslide Observation System Using ZigBee Wireless Communication Technology	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 SUSTAINABILITY AND RESILIENCY IN GEOTECHNICAL ENGINEERING	6. 最初と最後の頁 542-550
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) http://dx.doi.org/10.1061/9780784480120.055	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 該当する

1. 著者名 Itaru Kitahra, Shogo Atsumi, Ryo Degawa, Yohiei Kawamura, Hyongdoo Jang, Yuichi Ohta	4. 巻 -
2. 論文標題 3D Model Reconstruction of Rocks on a Slope for Simulating Rock Fall	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 SUSTAINABILITY AND RESILIENCY IN GEOTECHNICAL ENGINEERING	6. 最初と最後の頁 508-517
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) http://dx.doi.org/10.1061/9780784480120.052	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 該当する

1. 著者名 出川諒、亀田能成、川村洋平、Hyongdoo Jang, 北原格	4. 巻 116
2. 論文標題 粒度分布推定のための発破ずり3次元モデルの生成手法	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 信学技報	6. 最初と最後の頁 197-202
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 該当する

1. 著者名 Rui Wang and Youhei Kawamura	4. 巻 43
2. 論文標題 Development of climbing robot for steel bridge inspection	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Industrial Robot: An International Journal	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) http://dx.doi.org/10.1108/IR-09-2015-0186	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 松井 敏也	4. 巻 71
2. 論文標題 保存処理の動向と展望—無機質遺物—	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 考古学と自然科学	6. 最初と最後の頁 19-28
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 宍戸英彦、河崎衣美、川村洋平、松井敏也、北原格	4. 巻 9, 730
2. 論文標題 アンコール遺跡群における地衣類の時系列変化画像の重畳	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 考古学ジャーナル	6. 最初と最後の頁 29-33
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 H.Shishido, E.Kawasaki, Y.Ito, Y.Kawamura, T.Matsui, I.Kitahara	4. 巻 -
2. 論文標題 Time-Lapse Image Generation using Image-Based Modeling by Crowdsourcing	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 2018 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)	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) DOI:10.1109/BigData.2018.8622254	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 H.Ikeda, Y.Kawamura, Z.Tungol, M.Moridi,	4. 巻 Vol.55, No.3
2. 論文標題 Implementation and Verification of a Wi-Fi Ad Hoc Communication System in an Underground Mine Environment	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Mining Science	6. 最初と最後の頁 505-514
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) DOI:10.1134/S1062739119035843	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 M.Moridi, M.Sharifzadeh, H.Jang, Y.Kawamura	4. 巻 -
2. 論文標題 An Automated Underground Space Monitoring and Communication System Based on Wireless Sensor Networks	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 MPES2019, SSGG	6. 最初と最後の頁 255-261
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.1007/978-3-030-33954-8_32	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 H. Ikeda, Y. Kawamura, H. Jang, E. Mokhtar, J. Yokokura, Z. Tungol	4. 巻 -
2. 論文標題 Development of an Underground In-Situ Stress Monitoring System for Mining Safety Using Multi Sensor Cell and Wi-Fi Direct Technology	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 MPES2019, SSGG	6. 最初と最後の頁 .236-244
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.1007/978-3-030-33954-8_30	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 川村洋平、池田啓、宍戸英彦、河崎衣美、北原格、丸太寛之、里知樹、松井敏也	4. 巻 No.736、2月号
2. 論文標題 バイオン寺院における予防的保全に資する劣化・変形・環境観測システムの構築	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 考古学ジャーナル	6. 最初と最後の頁 29-34
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 -

〔学会発表〕 計20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; 原 光二郎; 澤田 正昭; 井上 オハ
2. 発表標題 アンコール遺跡バイオ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 Yi Qiu Xin; Shishido Hidehiko; Kameda Yoshinari; Kitahara Itaru
2. 発表標題 Bullet-Time Book: Augmentation of Visual Information in Figures by Bullet-Time Video Display
3. 学会等名 The 2nd Asia-Pacific Workshop on Mixed and Augmented Reality (APMAR) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 査 万志; Hyongdoo Jang; 宍戸 英彦; 亀田 能成; 北原 格
2. 発表標題 岩石の多視点画像から推定した3次元点群のクラスタリング
3. 学会等名 情報処理学会第78回全国大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宍戸 英彦; 河崎 衣美; 伊藤 豊; 川村 洋平; 松井 敏也
2. 発表標題 クラウドソーシングと3次元復元技術による世界遺産の予防的保存
3. 学会等名 電子情報通信学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 池田 啓、川村 洋平、横倉 潤、モクタ ヌルエリシャピンティ、ジャン ヒョンドゥー
2. 発表標題 Wi-Fi Direct を用いた地下坑内変位・応力モニタリングシステムの提案
3. 学会等名 資源素材学会2018年度春季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森山 最岳、川村 洋平
2. 発表標題 ANNとWeb-GISを用いた都市部碎石場における発破に起因する地盤振動の可視化システム
3. 学会等名 資源素材学会2018年度秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 タングル ゼドリク、川村 洋平、北原 格
2. 発表標題 3D写真測量を用いた岩石掘削サイズ分布計測システムの開発
3. 学会等名 資源素材学会2018年度秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山田俊亮
2. 発表標題 バイヨン寺院の保存修復に関する構造研究を通じて
3. 学会等名 Seokguram International Academic Symposium 2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hidehiko Shishido, Yutaka Ito, Youhei Kawamura, Toshiya Matsui, Atsuyuki Morishima, and Itaru Kitahara
2. 発表標題 Proactive Preservation of World Heritage by Crowdsourcing and 3D Reconstruction Technology
3. 学会等名 HMData2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 池田 啓、Zedrick Paul Lizardo Tungol、川村 洋平
2. 発表標題 アドホックモードを用いた地下鉱山内通信システムにおける電波減衰傾向に関する基礎実験
3. 学会等名 資源素材学会平成29年度秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Matsui Toshiya; Emi Kawasaki; Masaaki Sawada
2. 発表標題 New Results of Conservation Science Reseach at the Bayon temple in Cambodia
3. 学会等名 International Symposium of Stone Conservation (国際学会)
4. 発表年 2017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(5) - 太陽熱を利用した地衣類のクリーニングー
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 Youhei Kawamura, Hyongdoo Jang, K. Ohta, Y. Inagaki
2. 発表標題 Development of a Landslide Observation System Using ZigBee Wireless Communication Technology
3. 学会等名 Geo-Chicago (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Itaru Kitahra, Shogo Atsumi, Ryo Degawa, Yohiei Kawamura, Hyongdoo Jang, Yuichi Ohta
2. 発表標題 Reconstruction of Rocks on a Slope for Simulating Rock Fall
3. 学会等名 Geo-Chicago (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Ryo Degawa, Hyongdoo Jang, Youhei Kawamura, Itaru Kitahara, Erkan Topal, and Yasunori Endo
2. 発表標題 A Conceptual Study for Development of 3D Rock Fragmentation Analysis System with Stereo-photogrammetry Technologies
3. 学会等名 ARMS9 (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 松井 敏也; 澤田 正昭; 井上 才八; 海老澤 孝雄; 河崎 衣美
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(4)～選定処理剤の現場施工について～
3. 学会等名 日本文化財科学会第33回大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 河崎 衣美; 松井 敏也
2. 発表標題 石造文化遺産の着生地衣類が生成する石材溶解成分の分布に関する研究
3. 学会等名 日本文化財科学会第33回大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 佐々木 練平、川村 洋平、竹内 音、北原 格
2. 発表標題 鉾山開発現場における坑内環境の三次元モデル構築技術の開発及び実証
3. 学会等名 資源素材学会平成31年度秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 池田啓, 川村洋平, 横倉潤, 宍戸英彦, 河崎衣美, 伊藤豊, 北原格, 丸太寛之, 里知樹, 松井敏也
2. 発表標題 ICTを活用した予防保全のためのアンコール遺跡群バイオン寺院を対象としたモニタリングシステムの開発
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 Hajime Ikeda, Youhei Kawamura, Nur Elisha Binti Mokhtar, Jun Yokokura, Cawood Frederick
2. 発表標題 Study on Implementation of Wi-Fi Direct Utilizing Smart Mining in Monitoring Stress States in Underground Mines in South Africa
3. 学会等名 Fourth South Africa-Japan University Forum (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

Kawamura Lab http://kawamuralab.jp/ 筑波大学 研究者総覧 松井敏也 https://trios.tsukuba.ac.jp/researcher/0000002091 筑波大学 研究者総覧 北原格 https://trios.tsukuba.ac.jp/researcher/0000001021 筑波大学 研究者総覧 水谷孝一 https://trios.tsukuba.ac.jp/researcher/0000001032 Mining Technology Lab http://kawamuralab.jp/ 筑波大学 プロジェクト http://nc.heritage.tsukuba.ac.jp/project/ch-save/ Mining Technology Lab http://kawamuralab.jp/ 画像情報研究室 http://www.image.esys.tsukuba.ac.jp/ 保存科学研究所の活動 http://honzonkagaku.blog.so-net.ne.jp/

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	伊藤 豊 (ITO YUTAKA) (00633471)	秋田大学・国際資源学研究所・講師 (11401)	

6. 研究組織（つづき）

	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	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	水谷 孝一 (MIZUTANI KOICHI) (50241790)	筑波大学・システム情報系・教授 (12102)	
研究分担者	松井 敏也 (MATSUI YOSHIYA) (60306074)	筑波大学・芸術系・教授 (12102)	
研究分担者	北原 格 (KITAHARA ITARU) (70323277)	筑波大学・計算科学研究センター・准教授 (12102)	
研究分担者	山田 俊亮 (YAMADA SHUNSUKE) (80580076)	安田女子大学・家政学部・助教 (35408)	
研究分担者	河崎 衣美 (KAWASAKI EMI) (60732419)	奈良県立橿原考古学研究所・企画部資料課・主任技師 (84602)	
研究分担者	新谷 真人 (ARAYA MASATO) (30434319)	早稲田大学・理工学術院総合研究所（理工学研究所）・名誉教授 (32689)	