

令和 3 年 6 月 9 日現在

機関番号：12102

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2020

課題番号：19K13416

研究課題名（和文）文化遺産建造物の3次元復元における時系列変化の可視化

研究課題名（英文）Visualization of time-lapse imaging by 3D reconstruction on cultural heritage buildings

研究代表者

宍戸 英彦（Shishido, Hidehiko）

筑波大学・計算科学研究センター・助教

研究者番号：50782067

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、50～100年前に撮影された文化遺産建造物の画像と現在の画像とのマッチング精度を向上させる手法を提案した。自己符号化器（オートエンコーダ）とGuided Matching手法を用いることで、問題点の解決法を提案した。また、自己符号化器を利用することで、建造物の経年による劣化や破損、あるいは改築・改変によって同じ位置に原型と異なる画像特徴が検出される問題を排除し、Guided Matching手法によって得られた正対応を再探索することで、建造物の対称性に由来する誤対応問題を解決した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

文化遺産建造物の50年～100年前の写真は、様々な角度からの多数の画像は存在しない。任意の年代の疎らな角度からの数枚の画像が存在する文化遺産建造物が多い。本研究は、1枚の昔の画像を情報源として、現在の画像情報とつなぎ合わせることで、時系列変化映像の生成を目的とした。従って、本研究結果によって、多くの文化遺産建造物へ適用を可能とし、過去と現在の比較を視覚的に把握することを可能とした。この知見は、考古学の分野において、文化遺産建造物の保存を目的とした活動の貴重な資料となり、多大な貢献が期待できる。

研究成果の概要（英文）：In this research, a method to improve the matching accuracy between the image of a cultural heritage building taken 50 to 100 years ago and the current image was proposed. A solution to that problem was proposed by using an autoencoder and a Guided Matching method. By using the self-encoder, the problem that image features different from the prototype are detected at the same position such as deterioration or damage due to aging of the building, or remodeling / modification has been eliminated. By re-searching for the positive correspondence obtained by the Guided Matching method, the false matching problem due to the symmetry of the building was solved.

研究分野：コンピュータビジョン

キーワード：画像マッチング 文化遺産建造物 自己符号化器 クラウドソーシング 深層学習

## 1. 研究開始当初の背景

本研究では、50～100年前に撮影された文化遺産建造物の画像と現在の画像とのマッチング精度を向上させる手法を提案する。経年による劣化や破損によって同じ位置に原型と異なる画像特徴が検出され、勾配強度を手がかりとしたマッチング処理精度が低下する問題に取り組む。

画像情報を用いた画像の重ね合わせ手法は、コンピュータビジョンの重要な研究テーマとされている。中でも、様々な角度から撮影された多数の画像を用いた3次元点群の推定及びカメラ位置姿勢推定に基づいた画像重ね合わせに関する研究に注目が集まっている。その処理過程に含まれる画像特徴量を用いたマッチング処理に関しても、異なる解像度の画像マッチング、過去と現在で撮影された画像のマッチングなど、多岐にわたる画像マッチングの研究が盛んに行われている。

考古学分野では、文化遺産建造物の保存活動として、遺跡表面に付着した地衣類などの生物が、表面に掘られたレリーフなどの形状変化に与える影響に関する調査が行われている。現状、考古学者が目視観察で地衣類の繁殖経過を確認しているが、観察の効率化・定量的分析の観点からICT技術の導入が期待されている。我々は、アンコールトム・バイヨン寺院の柱に繁殖する地衣類の観察支援を目的として、半年～1年前の画像と現在の画像の重畳処理に取り組み、背景物体・日照条件・撮影カメラの位置姿勢の変動といった画像間のマッチング処理精度を低下させる要因の解決に成功している。

従来の研究で対象とする画像では、撮影期間が約半年程度であるため、建造物の状態変化はほとんど生じていない。本研究では、文化遺産建造物の50～100年前に撮影された画像と現在の画像群を用いて、過去と現在の写真の間の画像マッチング処理の実現を目的とする。過去と現在の文化遺産建造物の写真には、建造物の経年による劣化や破損、あるいは改築・改変によって同じ位置に原型と異なる画像特徴が検出され、勾配強度を手がかりとしたマッチング処理精度を低下させる要因が含まれている。また、建造物の劣化ではなく、写真そのものの経年劣化や、撮影機器の発展に伴う記録媒体変更の影響も考慮すべき課題となる。さらに、建造物是对称性を多く有するため、その影響への対策も必要となる。

## 2. 研究の目的

本稿では、自己符号化器（オートエンコーダ）と Guided Matching 手法を用いることで、上述した問題点の解決法を提案する。自己符号化器を利用することで、建造物の経年による劣化や破損、あるいは改築・改変によって同じ位置に原型と異なる画像特徴が検出される問題を排除する。Guided Matching 手法によって得られた正対応を再探索することで、建造物の対称性に由来する誤対応問題を解決する。

## 3. 研究の方法

二つの画像の見え方が大きく異なる場合に起こる特徴点の対応が取得できない問題に対して、Crowdsourcing を用いることで過去画像と同じ位置・同じ向きで撮影された現在の画像を容易に入手する手法によって解決を図る。生成されたタイムラプス映像を考古学者が分析する。タイムラプス映像を分析することによって劣化の要因が天候に起因するものなのか、戦争による破壊・火災から起因するものなのかを特定する。さらに、タイムラプス映像よりもさらに古い年代の状態の予測や、未来の状態を予測することで劣化要因を究明する。この処理の流れを繰り返すことによって、これまでの写真や設計図からでは分からなかったことを探索する新しい分析法が確立され、様々な文化遺産建造物に適用できることから予防的保存活動を加速させる。本研究では、クラウドソーシングを利用した画像収集方法及び、古い写真と現在の写真の画像マッチング手法を提案する。

図1に示すように、文化遺産建造物の保存活動として、クラウドソーシングを活用した画像収集、タイムラプス映像の生成、考古学者による分析の流れを説明する。

1. インターネット越しに待機している不特定多数の群衆（ワーカ）にタスクをアウトソーシングする。考古学者が注目している文化遺産建造物の50～100年前に撮影された画像と同じ位置・同じ向きで撮影された現在の画像の撮影を依頼する。
2. ワーカは1の条件において現在の画像の撮影を行う。撮影機器は携帯端末に搭載されたカメラなどの民生品を用いることが可能である。ワーカは撮影画像のアップロードを行う。
3. 収集した古い写真と現在の撮影画像を用いてタイムラプス映像を生成する。タイムラプス映像を生成するために、自己符号化器を活用した画像マッチング手法を利用する。
4. 生成されたタイムラプス映像を考古学者が分析する。考古学者は、50～100年前に撮影された画像と現在の画像が高精度に重ね合わせられている映像を観察することによって、歴史的な変化の考察を可能とし、得られた知見によって文化遺産建造物を保存するための方法を考案する。

処理フロー1～4を繰り返すことで、様々な文化遺産建造物を対象とした画像を取得できる。タイムラプス映像は、時系列変化映像であることから、撮影のタイミングが異なる画像が多いと

詳細な変化を観察できる映像となる。したがって、処理フローを繰り返す場合は、撮影のタイミングが異なる画像の取得が求められる。このように、生成したタイムラプス映像から対象とする文化遺産の劣化状態を可視化し、予防的保存活動を実現する。

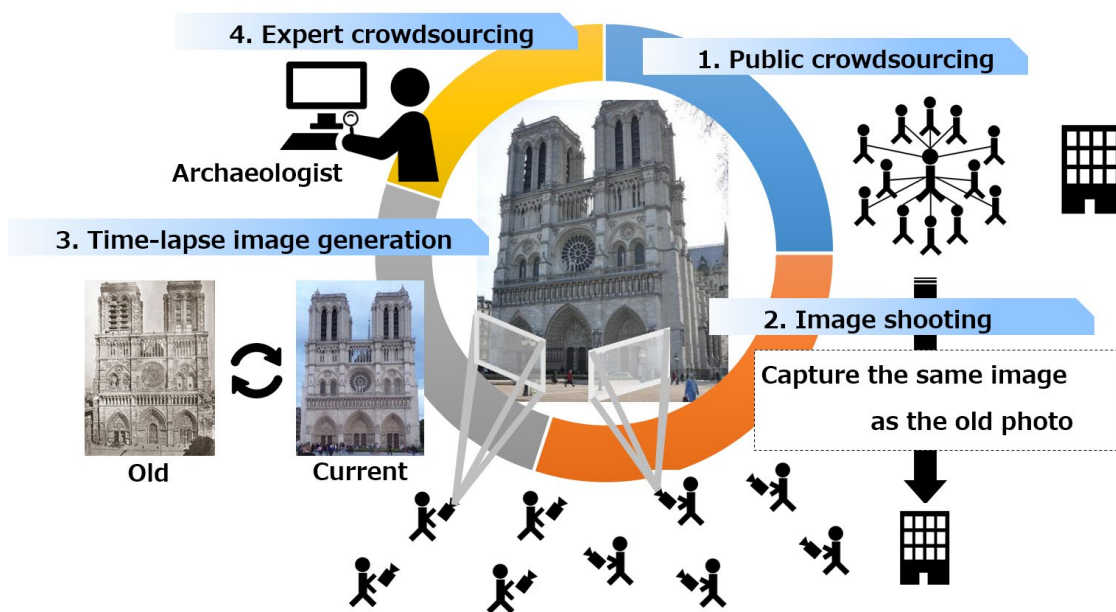


図1. 文化遺産建造物の保存活動の流れ（クラウドソーシングを活用した画像収集とタイムラプス映像を用いた建物分析）

#### 4. 研究成果

##### (1) 自己符号化器を活用した画像マッチング手法

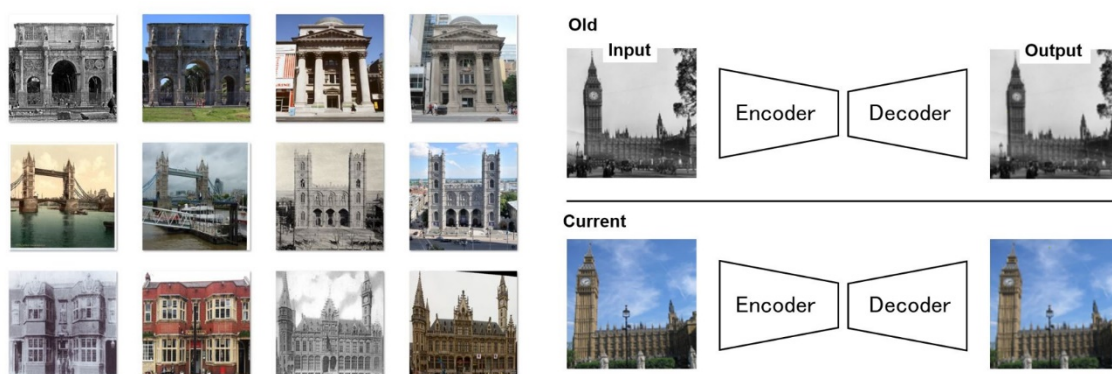


図2. 左：文化遺産建造物の画像データセット（50～100年前までに撮影された画像と現在の画像がペアになっている）、右：2枚の入力画像（過去と現在の写真）に自己符号化器を適用した結果

本研究では、文化遺産建造物の過去と現在の画像マッチングに自己符号化器（オートエンコーダ）を活用する。自己符号化器を適用した出力画像の解像度を段階的に変化させることで画像特徴点の誤対応が低減する。さらに、FAST 特徴量を用いた Guided Matching 手法を適用することで、過去と現在の画像間の対応探索処理の精度を向上する。

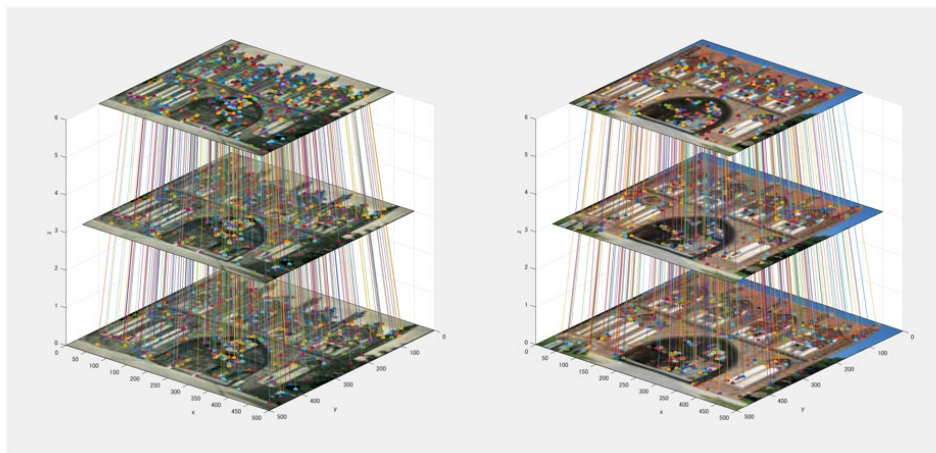
本研究で利用する文化遺産建造物の画像データセットを図2左に示す。文化遺産建造物の画像データは、50～100年前に撮影された現存する建造物の画像と現在の画像の47種類の組み合わせで構成される。過去の画像データはグレースケール画像やイラスト、絵画などを画像化したデータである。過去と現在の画像はほぼ同じ位置から撮影されているが全く同一ではなく、解像度も異なる。

自己符号化器とは、ニューラルネットワークの構造を使った次元圧縮手法であり、一度小さい次元にエンコードし、エンコードしたデータを元に入力データが再び構築される。従って、エンコードされたデータは、入力画像より小さい次元数でデータを表現できる。図2右に示すように、2枚の入力画像（過去と現在の写真）に対して、ぼやけた出力画像が生成されている。このような解像度の低い出力画像は、入力画像よりも画像特徴量は低減するが、勾配強度の強い特徴点が残る性質を持つ。従って、建造物の経年による劣化や破損、あるいは改築・改変によって同じ位置に原型と異なる画像特徴が検出され、勾配強度を手がかりとしたマッチング処理精度が低下

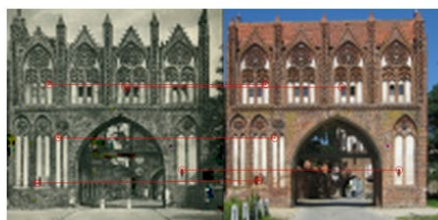


する問題に対して、2枚の入力画像（過去と現在）の次元を小さくし、画像特徴量を十分に取得できる門や柱などの建造物を構成する勾配強度の強い特徴量だけを残すことで解決を図る。データセットを500画素×500画素にリサイズ後、自己符号化器を適用する。

図3. (i) 自己符号化器を適用した出力画像の解像度を段階的に変化 (ii) 画像解像度を段階的に変化させて得られた特徴量を用いた過去と現在の画像マッチング結果 (iii) Guided



(i)



(ii)



(iii)

Matching を適用して得られた画像特徴の正対応の結果

## (2) Guided Matching 手法の応用

本研究では、特徴点の検出には FAST 特徴量を用いる。前節の手法にて入力画像に自己符号化器を適用した場合、出力画像は画像全体において勾配強度が弱まる傾向にあるため、SIFT などの画像特徴量によって検出可能な特徴点が減少する。FAST 特徴量は、コーナー領域以外の点も多く検出する一方で、人工建造物の角領域の特徴点を検出できる。3次元復元を実施する場合の画像マッチング処理では高速なマッチング処理が求められ、FAST 特徴量が適切である。

前節の手法を適用してもなお画像特徴の誤対応は存在する。そこで図3(i)に示すように、自己符号化器を適用した出力画像の解像度を段階的に変化させることで画像特徴点の誤対応の低減に取り組む。自己符号化器を適用した出力画像500×500画素に対して、400画素×400画素及び300画素×300画素へのリサイズ処理を施す。次に、3段階のサイズの入力画像に対して画像マッチングを施す。図3(i)左はデータセット（過去）に対する画像マッチング結果を示し、図3(i)右はデータセット（現在）に対する画像マッチング結果を示す。各々のマッチング結果には、誤対応がほとんど含まれていないことが確認できる。この特性を利用し、前節のマッチング結果の中から画像サイズの異なる画像間でもマッチングが取れる特徴点を選択することにより、誤対応を除去する。

前節の手法にて検出した画像特徴点を用いて画像マッチングを施す。図3(i)の過去と現在の画像マッチング結果を図3(ii)に示す。点数はそれほど多くないが、過去の画像と現在の画像間の正対応が得られていることがわかる。この画像特徴の正対応を手がかりに、対応点によって得られるベクトルを利用して画像特徴の再探索を行う Guided Matching を用いて、誤対応を除去する。始めに、図3(ii)に示す画像特徴の正対応のベクトルを計算する。次に、図3(i)左に示す過去の画像に対して検出した画像特徴点から計算した正対応のベクトルを当てはめることで、図3(i)右に示す現在の画像にマッピングする。現在の画像にマッピングされた位置を中心に、検索半径内で一致する画像特徴量を探索する。この時の探索半径は5画素とした。探索結果から記述子類似性に基づく順位付けが行われる。類似性1位の特徴点（現在の画像）から、過去の画像に対して計算した正対応のベクトルを当てはめ、再び検索半径内で一致する画像特徴量を探索する。探索の結果、類似性が一致する画像特徴量を正対応と定める。以上のアルゴリズムを図3(i)の過去と現在の画像の特徴点へ適用させることで、画像特徴の正対応を算出する。最終的に算出した画像特徴の正対応の結果を図3(iii)に示す。このように、建造物形状が対称性を有する場合に誤対応が多く発生する問題を解決する。

(3) 自己符号化器を活用した画像マッチング手法の評価実験

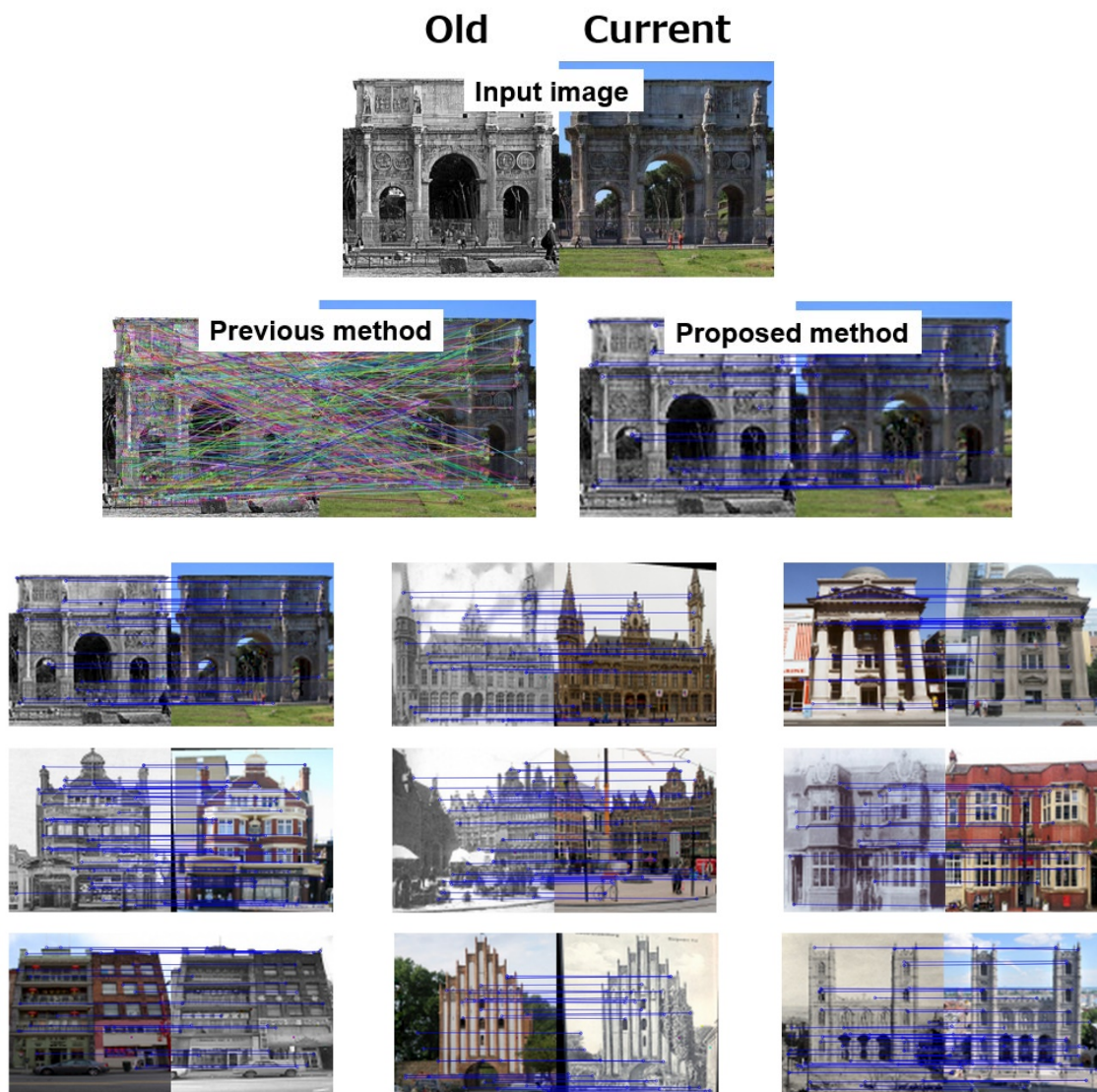


図4. 文化遺産建造物の画像データセットに提案手法を適用した結果

提案手法の有効性を示すために、図2に示す文化遺産建造物の画像データセットを用いて、提案手法を適用した。適用した結果を図4に示す。イラスト、絵画などのキャプチャ画像に対しても提案手法は良好な画像マッチングを実現している。また、建造物の大きさや構造などが異なる幅広いデータセットに有効であることが確認できる。次に、既存手法との比較実験を実施した。既存手法では、A-KAZE 特徴量を使用し、KNN (K-Nearest Neighbor algorithm) マッチング手法を文化遺産建造物の画像データセットに適用した。KNNは探索空間から最近傍のラベルをK個選択し、多数決でクラスラベルを割り当てるアルゴリズムである。

図4上段に入力画像、中段左に従来手法をデータセットへ適用した結果、中段右に提案手法をデータセットへ適用した結果を示す。従来手法では、画像特徴の誤対応が多いことから、レリーフなどの模様における勾配強度のマッチングが取れない問題や、建造物に対称性がある場合に多くの誤対応が存在する問題を解決できていない。一方で提案手法は、自己符号化器を適用すると、門や柱などの建造物を構成する勾配強度の強いFAST特徴量が取得できることを示している。さらに、Guided Matching手法から勾配強度の強い正対応を求め、その情報を活用して画像中の正対応を再探索する手法は、建造物に対称性がある場合に発生する誤対応の問題においても良好に画像マッチングできることを示している。

本研究では、50~100年前に撮影した画像と現在の文化遺産建造物の画像群の間の画像マッチング手法を考案した。自己符号化器を適用した出力画像の解像度を段階的に変化させることで画像特徴点の誤対応の低減に取り組んだ。さらに、FAST特徴量を用いたGuided Matching手法を適用することで、過去と現在の画像において画像特徴点の正対応の推定を実現した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Shishido Hidehiko, Kawasaki Emi, Kawamura Youhei, Matsui Toshiya, Kitahara Itaru	4. 巻 13
2. 論文標題 Accurate Overlapping Method of Ultra-Long Interval Time-Lapse Images for World Heritage Site Investigation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal on Computing and Cultural Heritage	6. 最初と最後の頁 1~18
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1145/3373357	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 穴戸 英彦, Hansung Kim, 北原 格	4. 巻 31
2. 論文標題 文化遺産建造物を対象とした撮影時期の異なる画像マッチング手法	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 画像ラボ	6. 最初と最後の頁 50-56
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 該当する

1. 著者名 穴戸 英彦, 河崎 衣美, 川村 洋平, 松井 敏也, 北原 格	4. 巻 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 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Yui Yoshikawa, Hidehiko Shishido, Masashi Suita, Yoshinari Kameda, Itaru Kitahara
2. 発表標題 Shot Detection Using Skeleton Position in Badminton Videos
3. 学会等名 International Workshop on Advanced Imaging Technology（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hidehiko Shishido, Hansung Kim, Itaru Kitahara
2. 発表標題 Super Long Interval Time-Lapse Image Generation for Proactive Preservation of Cultural Heritage Using Crowdsourcing
3. 学会等名 The 3rd IEEE Workshop on Human-in-the-loop Methods and Human Machine Collaboration in BigData (IEEE HMDData 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 穴戸 英彦, Hansung Kim, 北原 格
2. 発表標題 文化遺産建造物における自己符号化器を活用した撮影時期の異なる画像マッチング手法
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

〔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

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		
英国	University of Surrey		