

イノベ 見て歩き

連載：第2回

地震で崩壊した熊本城の石垣修復を支援 3Dデータによる独自の画像照合技術で

上瀧 剛

Koutaki Gou

熊本大学 大学院先端科学研究部 教授
2017年～21年 A-STEP 研究責任者

社会実装につながる研究開発現場を紹介する「イノベ見て歩き」。第2回は、独自の画像照合技術を用い、2016年の熊本地震で崩壊した熊本城の石垣修復を支援した熊本大学大学院先端科学研究部の上瀧剛教授を訪ねた。

「森と水の都」に甚大な被害 元に戻すには10年以上かかる

東に阿蘇外輪山、西に有明海を望み、中心部には阿蘇山の根子岳を源流とする白川が流れる「森と水の都」熊本県熊本市。自然の恩恵を受けて発展を遂げてきた同市を、2016年4月14日にマグニチュード(M)6.5・震度6弱、16日にM7.3・震度6強の巨大地震が襲った。後に「平成28年(2016年)熊本地震」と命名された震災は、住宅の倒壊や土砂崩れ、避難生活のストレスによる震災関連死などの甚大な被害をもたらした。

とりわけ熊本市民に衝撃を与えたのが、熊本城の崩壊だ。加藤清正が1607年に築城して以来、長年親しまれてきた天守閣は屋根瓦と鯨が壊れ、城を取り囲む石垣の約3割におよぶ数万個もの石材が崩落した(図1)。震災後、ただちに熊本城復旧基本計画が策定され、市を挙げて動き出した。しかし、石垣の修復には大きな困難が伴った。重要文化財保全の観点から、全ての石材を寸分違わず元に戻す必要があったからだ。同じような形・大きさ・色の石材を目視で判別し修復するには、熟練の石工職人の手でも10年以上かかるとされていた。

そこで立ち上がったのが、熊本大学大学院先端科学研究部の上瀧剛教授だ。震災直後の16年5月に、熊本

大学内で復興支援プロジェクトが発足した際に、教員同士で知見を持ち寄った。上瀧さんは当時、見本画像と撮影した画像を比較し、同一のものであるかを高速かつ正確に照合する画像処理技術の研究をしていた。「ベルトコンベアー上の部品を特定するために使っていましたが、この技術を石垣にも応用できるのではないかと考え、石垣照合システムの開発を始めました」。

前後の写真を比較し位置特定 立ちはだかった「武者返し」

早速、震災前と震災後の石垣の写真を比較し、崩落した石材1つ1つの元の位置を特定しようとした。しかし、画像データに問題があった。震災前の写真は補修工事の記録用として撮影された解像度の低い2次元(2D)データだったのだ。「そのため、新たに撮影した高精度3次元(3D)データとは画質レベルが大きく異なり、うまく照合できませんでした」と上瀧さんは当時を振り返る。

そこで熊本市熊本城調査研究センターから、06年に補修した熊本城北側にある「百間石垣」

の図面と、崩落後の画像の提供を受けた。同時に、異なる位置から撮影した3Dデータで位置関係を推定する「Iterative Closest Points(ICP)アルゴリズム」で、独自の画像照合システムを構築した(図2)。そのプロトタイプで5個の崩落した石材を検証したところ、正しい石材の位置を全て特定することに成功した。

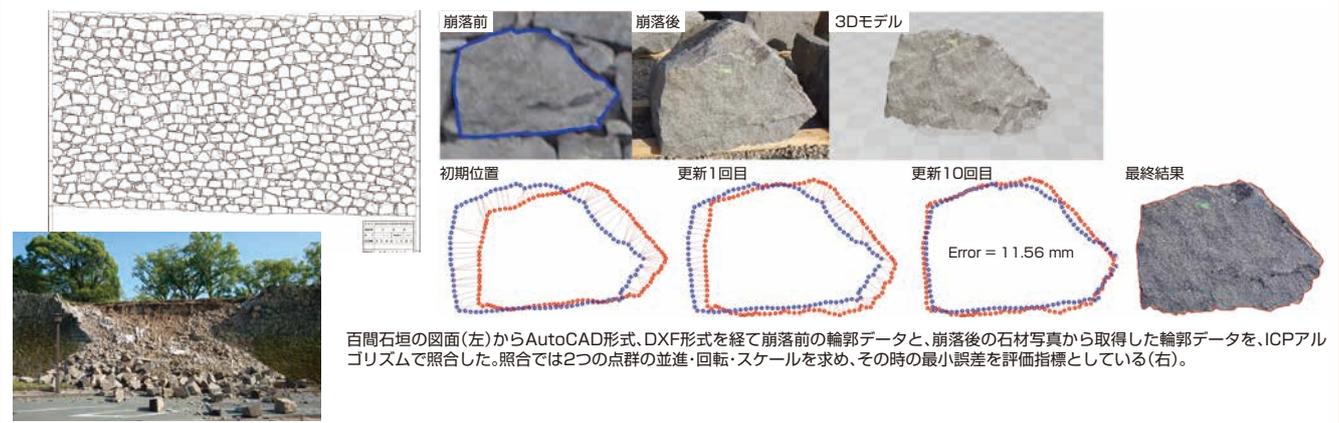
画像の照合で最も悩まされたのが、熊本城独特の「武者返し」だ。武者返しとは、上に向かえば向かうほど反り返りが急角度になっている石垣の構造である。難攻不落とうたわれた名城ならではの造りだが、今回の石垣照合においても「大きな壁」となった。「武者返しの部分は画像データがゆがんでしまい、正しい位置の石材とマッチしなかったのです。作業現場の人たちと原因を探る中で、

図1 崩落した飯田丸五階櫓の石垣



地震により、赤枠部分の石材が落下した。

図2 ICPアルゴリズムによる画像照合



武者返しの反りを考慮していなかったことに気づきました」と上瀧さんは苦笑する。

また、散らばった石材の中には、崩落する前の写真と明らかに一致しないものがあった。検討を重ねていく中で、石垣内部にあり表面から見えない「詰石」が崩落したものとわかった。今回の照合では、崩落前後の石材の緯度・経度の座標も活用した。「石材は重いので、ほとんどは石垣の真下に落ちます。その位置で崩落前の場所を推定しました」。照合に使えるような方法はなんでも使ったと上瀧さんは話す。

候補も見つけることができた。

A-STEPでの成果は、熊本城の復旧工事の図面に採用された他、学術分野でも高く評価され、画像認識分野で世界的に有名な科学雑誌に掲載された。しかし、掲載までの道のりは険しかった。「1日でも早く復旧に応用できるよう既存の技術を組み合わせた成果だったため、雑誌社からは新規性がないと言われましたが、あきらめずに何度もこの成果の重要なポイントを説明しました。最終的には実際の復旧に活用されたことを評

価していただきました」。

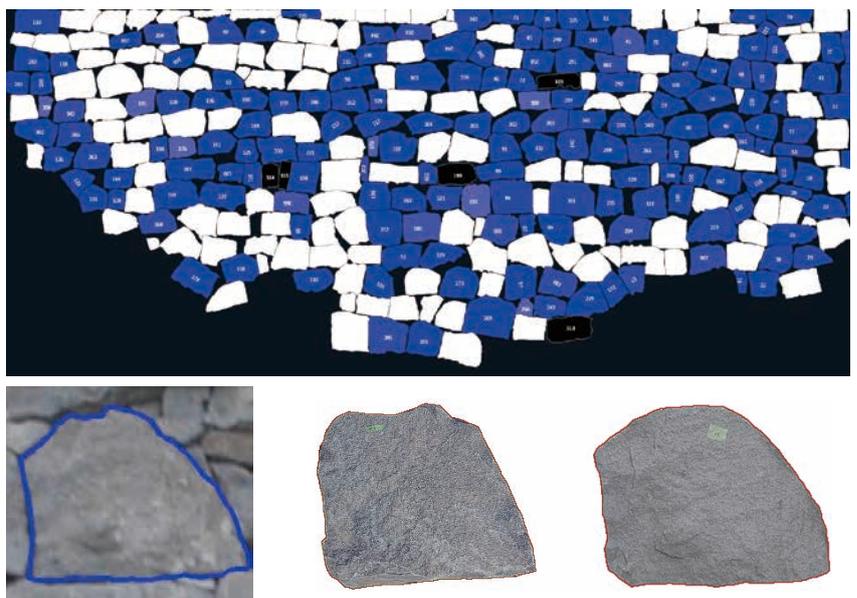
プロジェクトに携わる中で、多くの熊本市民が熊本城に誇りと愛着を持ち、復旧工事に高い関心を持っていることを肌で感じたという上瀧さん。「私自身も、なじみある熊本城の復旧に関われたことは貴重な経験になりました。熊本城の完全修復には30年かかるとも言われていますが、石垣照合システムがその一端を担えれば光栄です」。復旧作業が進む熊本城下で、上瀧さんの挑戦は続く。

(TEXT:横井まなみ、PHOTO:伊藤彰浩)

A-STEPでシステムの精度向上 飯田丸五階櫓で9割の正答率

17年に、企業と共同研究で技術の実用化を目指すJSTのA-STEPに採択され、上瀧さんは凸版印刷と共同で石垣照合システムの精度向上に取り組んだ。同社が保有していた崩落前の石垣のデジタルデータからデータベースを作成し、崩落後の画像データをICPアルゴリズムで自動照合することで、石材の位置を特定する新システムを開発した。このシステムで「奇跡の一本石垣」として注目された飯田丸五階櫓の南面312個、東面159個の石材を照合した結果、約9割の正答率を達成(図3)。また、石材を新たに43個特定し、17個の

図3 A-STEPで実証された石垣照合システム



飯田丸五階櫓の石垣崩落後写真を基に、石垣照合システムで照合した(上)。システムが候補として提示した順位が高いほど青色が濃くなっている。崩落前の石材(左下)に対し、人の目視では誤った石材(下中央)を対応付けていたが、システムは正しい石材(右下)を提示した。