2版

様　式　C－19、F－19、Z－19　(共通)

科研費 KAKENHI

科学研究費助成事業　　研究成果報告書

平成 28 年　6 月 22 日現在

機関番号：32658
研究種目：若手研究(B)
研究期間：2013～2015
課題番号：25870765
研究課題名（和文）文化的資源の復元に向けた過去のデジタル写真による３次元形状把握手法の開発

研究課題名（英文）Development of 3D Data Acquisition by using Ancient Digital Images for Reconstruction of Cultural Resources

研究代表者
國井　洋一（KUNII, YOICHI）

東京農業大学・地域環境科学部・准教授

研究者番号：10459711

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，現存しない歴史的建造物を復元するための3次元情報取得を目的とし，スマートフォンによる歴史的建造物の効率的計測手法および、1枚の古写真を用いての3次元形状把握手法の開発を行った．古写真による3次元形状把握において対象とした建造物は，写真上において遠近法の二点透視法に近い構成で写し込まれている旧帝国劇場である．旧帝国劇場の写真上からは2点の消失点を推定し，さらに画角の推定や長さの指標としての人物の身長の利用により，撮影に用いたカメラの画面距離，撮影点から対象物までの奥行き距離等の推定値を順次求め，それらの推定値より旧帝国劇場の表面の各点に対する3次元座標を算出した．

研究成果の概要（英文）：In order to acquire 3D information for reconstruction of vanished historical structure, efficient measurement method by using smartphone and grasp of 3D shape of such structure was attempted by using an ancient picture. This kind of method was applied for an ancient picture of the Old Imperial Theater. The Old Imperial Theater in the picture is constituted by two-point perspective. Therefore, estimated value of focal length of camera, length of camera to the Old Imperial Theater and some parameters were calculated by estimation of field angle, using body height as an index of length and some geometrical information. Consequently, 3D coordinate of 120 measurement points on the surface of the Old Imperial Theater were calculated respectively, and 3DCG modeling of the Old Imperial Theater was realized.

研究分野：造園学、空間情報学

キーワード：古写真　歴史的建造物　3次元情報　3DCGモデリング　写真測量　スマートフォン

１。研究開始当初の背景

　申請者は従来、写真測量の技術を文化的資源に対して適用し、歴史的建造物や自然公園に対する非接触型の３次元計測手法を提案してきた。本研究ではこれらの技術をさらに発展させ、原形が失われた文化的資源の３次元形状を把握し、復元を支援する手法の開発を目的とした。

　日本における文化的資源は、重要文化財や名勝として指定されているものが数多く存在し、保存や保全が促進されている。しかしながら、日本は地震や台風などの自然災害が多いため、そのような文化的資源が被災することも少なくない。特に東日本大震災においては、太平洋沿岸部において貴重な文化的資源に対する津波の被害が多数起きた。また、文化的資源の被災は天災だけにとどまらず、邸宅の火災などといった人災によるものも存在する。その一方で、文化的資源は長年にわたって存在しているものが大半であることから、経年による老朽化は定常的に発生する。そのような文化的資源に対する元の形状を、形状が変化する以前に撮影されたデジタル写真を用いて、可能な限り正確かつ簡便に把握する手法の開発を目指すこととした。

２。研究の目的

　本研究では、上記のような要因によって原形が損なわれた文化的資源に対する復旧や復元を支援するために、文化的資源が損壊や変形する以前に撮影されたデジタルカメラ等による写真を用いた３次元計測手法を開発する。申請者が従前に開発した手法は計測対象に対する複数の撮影写真を用いる必要がある。そこで、本研究では損壊した文化的資源を対象とするため、原形が変わる前の文化的資源に対して撮影された写真を収集する。それにより、収集した写真を用いて写真測量の技術による３次元計測を試みることとした。

３。研究の方法

（１）計測手法の開発

　本研究の中核部分となる計測アルゴリズムの開発を実施する。従前より、申請者は文化的資源に対する計測手法の開発に取り組んできた。その従来手法は一台のみのデジタルカメラを用いるものであり、文化的資源に対する複数枚の写真を一台で撮影することで計測を実施する手法であった。本研究の目標は、文化的資源が被災する前に撮影された写真を用いるものであるため、異なる撮影方法によるデジタル写真での計測手法を検討する。申請者らが所有するデジタルカメラやスマートフォンを使用し、それらによるサンプル写真を用いて開発を進める。

（２）開発手法の性能検証

　上記における手法開発が完了次第、本手法の性能検証を実施する。すなわち、開発した手法による形状把握がどれだけの再現性を持つものかを調べるために、大きさや形が既知の物を計測し、計測結果の精度を検証する。また、実際に撮影した写真を用いて本手法が機能するかどうかを調べるために、３次元形状把握を随時試みる。その際、図面や模型が現存する文化的資源を対象とすることにより、得られる３次元形状が正しいかどうかの検証を実施する。さらに、得られた３次元データを用いての３次元モデリング処理を実施する。

４。研究成果

（１）スマートフォンによる３次元計測手法

　本研究では計測手法開発の一環として、スマートフォンによって撮影された写真ならびに GPS 測位情報を活用し、現地調査において歴史的建造物に一切接触せず簡易な計測するためのソフトウェアを開発した。さらに、スマートフォンを用いて歴史的建造物の現地調査を行った後、開発したソフトウェアによって求められた３次元座標を検証し、ソフトウェアの実用性および将来性について考察した。すなわち、開発手法はスマートフォンの GPS による位置情報と撮影画像情報を用いるものである。図１は解析の様子を示したものである。

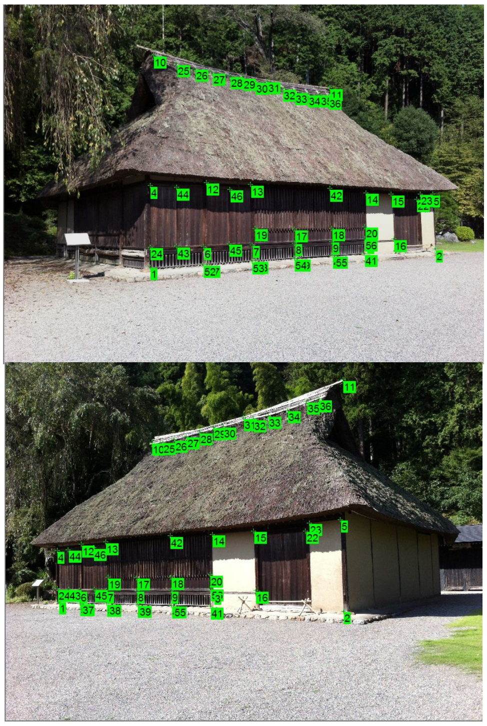

図１　スマートフォンによる歴史的建造物の計測

（埼玉県日高市・高麗家住宅の例）

　結果としては、計測精度として最大で 1m 以上、標準偏差で約±0.4m と低水準の結果になった。その要因としては、スマートフォンによる GPS 測位は単独測位によるものであるため、最大で±10m程度の誤差が生じるとされている。この誤差要因を縮減するために、本研究の開発ソフトウェアにおいては GPS 測

位データから得られる距離の換算値を最終成果とはせず、初期値として用いてさらに最終標定を実施しているが、それのみでは調整不可能な程度の誤差が生じているものと推測される。現在、日本では GPS 測位の精度向上のために準天頂衛星の運用が計画されているが、この誤差要因はハードウェアの性能向上と共にこのようなインフラ整備によっても解決が見られるものと推測される。

さらに、オートフォーカスによる焦点距離の不安定化も考えられる。通常、単一のカメラによって複数写真による写真測量を実施する場合、撮影毎の内部標定要素を一定とするために、オートフォーカスや手ぶれ補正機能といった、カメラ内部での自動処理機能を全て無効に設定して撮影を実施する。本計測で用いたスマートフォンのカメラは、自動的にオートフォーカスで撮影される仕様となっており、マニュアルフォーカスに切り替えることが不可能である。そのため、特に撮影毎の焦点距離の挙動には大きく影響したと考えられる。現状の開発ソフトウェアにおいては、複数の撮影写真に対する焦点距離を、すべて同一として処理するモードと可変とするモードでの切り替えができる機能を搭載させた。しかしながら、焦点距離可変のモードでは未知量が増える分、計算の解が不安定になるため、結果として同一とするモードの方が少ない誤差であった。今後は可変のモードでも安定解が得られるよう、さらに改良する必要があると考えられる。

（2）古写真による 3 次元計測手法

本研究では古写真 1 枚のみを使用し、対象とする建造物の 3 次元情報を取得する方法を考察した。対象物として図 2 に示した「旧帝国劇場」の写真を使用した。旧帝国劇場は明治維新以降の日本が多く取り入れた西洋文明を象徴する劇場であり、1911 年（明治 44）に建築された。その後、旧帝国劇場は 1965 年（昭和 40）に解体され、現在の帝国劇場は 1966 年（昭和 41）に建築されたものである。なお、図 2 の写真について得られた情報は、撮影時期が明治・大正期であることのみであり、詳細な撮影日時や撮影者、カメラの機種等は全て不明である。本研究では、このように写真に対する情報が乏しい状況において、対象物の 3 次元情報取得に取り組むこととした。

図 2　旧帝国劇場の古写真

具体的な手法としては、使用した写真に写し込まれている旧帝国劇場が遠近法における二点透視法で構成されていると仮定し、2 点の消失点の推定を行った。具体的には、写る建造物と地面との境界面、建造物の屋根面などを実際の空間での平行線と仮定した。さらに、写真上におけるそれらの平行線を延長させ、左右に 1 点ずつ現れる直線の交点を消失点として推定した。

さらに、画面座標の取得から画面距離を推定し、奥行きを含めた 3 次元座標の算出を行った。2 次元平面から 3 次元座標を求めるためには、写真上にて実距離の指標が必要となる。しかしながら、写真に写し込まれている壁面、柱、窓などの建造物の部位については大きさが不明である。そこで、写真に写し込まれている通行人に着目し、通行人の身長、この写真を写したカメラから通行人までの奥行き距離を指標として、以降の提案手法による 3 次元情報の算出に用いた。具体的には、この通行人を大正時の男性平均身長である 1.55m と仮定し、写真を写したカメラから通行人までの奥行き距離を算出した。

以上により図 3 に示した旧帝国劇場に対する計 120 点の 3 次元座標を取得し、さらには図 4 に示すような 3DCG モデルの作成を行った。

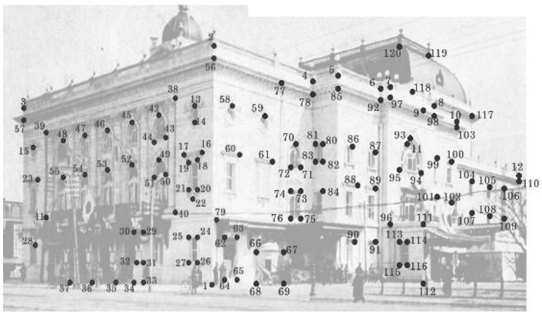

図 3　写真上の測点

図 4　旧帝国劇場の 3DCG モデリング

以上により算出した 3 次元情報の妥当性を調べるために、本研究では早稲田大学演劇博物館に展示されている旧帝国劇場の模型を測定した。この模型は、当時使われた設計図を元に実物の 1/50 スケールで作成されているものである。この模型に対してコンベックスにより計 6 箇所の長さを実測し、本研究で得られた 3 次元情報から同じ箇所の直線距離

を求めることで両者の比較を行った。結果として、標準偏差で±4.4m 程度の誤差を生じた。ここでの誤差の要因としては、画角に対するコーン説の適用や、長さの指標として人物の身長を適用したことが考えられる。そのため、カメラに関する情報や明確な長さの指標等があれば、精度の向上は見込めると思われるが、本研究のように情報の乏しい写真を用いての試みでは、上記程度の水準であることが示されたといえる。

（３）まとめ
本研究課題においては、写真測量技術による現存しない建造物の再現を目指し、主にスマートフォンを用いた計測手法の開発と古写真を用いた 3 次元形状再現に取り組んだ。その結果、いずれの成果においても精度面に課題が残る結果となったが、3 次元座標を導出するという目標に対しては、一連の手法を確立できたと考えている。
今後は精度面の向上を図ることが重要となるが、再現すべき時代の景観に対する必要精度を十分に見定めた上で取り組みたいと考えている。

５。主な発表論文等
（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 4 件）
Yoichi KUNII(2015): Development of 3D Measurement Method for Historical structure by using Smartphone, ICOMOS 18th General Assembly Heritage and Landscape as Human Values - Conference Proceedings, pp.586-590（査読有り）

熊崎理仁，國井洋一(2015): レーザ測量データによる図化および景観シミュレーションに関する研究，東京農業大学農学集報 60(2)，pp.93-102（査読有り）
http://ci.nii.ac.jp/naid/110009957635

國井洋一，坂本遼(2015): 失われた建造物に対する１枚の古写真のみを用いた３次元情報の取得に関する研究－旧帝国劇場を事例として－，東京農業大学農学集報 60(2)，pp.85-92（査読有り）
http://ci.nii.ac.jp/naid/110009957634

國井洋一，金井大輔(2015): 個人庭園における平板測量との比較による地上レーザ計測の有用性の検証，ランドスケープ研究 78 増刊，造園技術報告集(8)，pp.82-85（査読有り）

〔学会発表〕（計 5 件）
長島有汰，國井洋一(2015): 日本庭園における石造物の写真測量による調査に関する研究，平成 27 年度日本造園学会関東支部大会，pp.83-84

熊崎理仁，國井洋一(2015): レーザ測量データによる庭園の構成要素の 3D モデル化に関する研究，平成 27 年度日本造園学会関東支部大会，pp.85-86

Rihito KUMAZAKI, Yoichi KUNII(2015): Drawing and Landscape Simulation for Japanese Garden by Using Terrestrial Laser Scanner, Joint Workshop with ISPRS WG IV/7 and WG V/4 INDOOR-OUTDOOR SEAMLESS MODELLING, MAPPING AND NAVIGATION(Digital Proceedings)

坂本遼，國井洋一(2014): 現存しない建造物に対する古写真を用いた３次元情報の取得について，平成 26 年度日本造園学会関東支部大会，pp.84-85

國井洋一(2014): スマートフォンを用いた建造物の簡便計測について，平成 26 年度日本写真測量学会年次学術講演会，pp.77-78

〔その他〕
東京農業大学教員・研究情報ＵＲＬ
http://dbs.nodai.ac.jp/html/386_ja.html

６。研究組織
(1)研究代表者
國井　洋一（Yoichi KUNII）
東京農業大学・地域環境科学部・准教授
研究者番号：10459711