

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 5 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K12944

研究課題名(和文) 簡易写真測量とGISの狭域運用による火山・地震性地形変動と人間活動の関係性の研究

研究課題名(英文) The study of relationship between volcanic/seismic terrain variation and human activity with the use of an easy method photogrammetry and narrow GIS

研究代表者

岩城 克洋 (IWAKI, Katsuhiko)

東京大学・大学院総合文化研究科・特任研究員

研究者番号：70588227

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、火山性・地震性地形変動が人間活動に与える影響を考古学的に分析するための手段として、データを迅速かつ簡便に収集するための写真測量をはじめとする各種計測技術と、局地的な各種動態を分析し、結果を視覚化するためのGISの狭域運用を含むデータ分析技術を開発し、さらにこれらデータを調査中に即時活用できる運用システムを確立することを目的とした。まず、発掘調査現場における計測作業の基幹技術としてSfMを利用することで、計測作業の省力化と精度の向上を可能にし、結果として取得される情報量を大幅に増加させることに成功した。さらにオルソ画像を同日中にフィードバックするような運用方法も可能にした。

研究成果の概要(英文)：For analyze the relationship between volcanic/seismic terrain variation and human activity, this study is intended to establish the following systems: the easy method photogrammetry for fast and easy data collection; the narrow operation GIS for analyze and visualize the local dynamic state; and the real time feedback system of measured data for the archaeological excavation fields. At first we prescribed the use of SfM (Structure from Motion) as a critical technology to the archaeological measurements and therefore achieved a labor-saving of measurement and an accuracy enhancement. As a result, it made good on increase in data obtained. And another thing, we made it possible to feedback the ortho images on the same day at the archaeological excavation fields.

研究分野：考古学

キーワード：情報考古学 写真測量 SfM

1. 研究開始当初の背景

日本における考古学研究の進展は、その対象とする事物・時代のすそ野を広げ、膨大な研究資料の蓄積を生み出す結果をもたらした。さらには、新しい発想や着眼点に基づく研究も増え、そのことが発掘調査現場に要求される収集データの質・量を増大させた。このような状況の中で、写真測量やトータルステーション、さらには GPS、3D スキャナー、分光測色計と、測量学・計測学の進歩を受けた新しい技術が次々に導入され、測量・計測の精度が大幅に向上してきた。しかしながら、これらの技術は基本的に高価な機材を必要とするうえ、運用に専門的な知識を要求され、かつ実際の使用時には手順が煩雑で多くの時間を費やさざるを得ないことが多い。研究代表者の岩城はイタリアのソマ・ヴェスヴィアーナ遺跡で、研究分担者の山田と研究協力者の柳澤は北海道礼文町浜中 2 遺跡や中標津町当幌川遺跡などで、それぞれ火山性・地震性堆積物が介在する遺跡の発掘調査をすすめてきたが、土石流の切り合いなど複雑な堆積状況をうけて測量・計測の作業量が増大するなかで、より小回りのきくデータ収集技術と計測から可視化・分析までをリアルタイムに行えるシステムの必要性を痛感した。そのため、平成 24～平成 26 年度に上述の各遺跡の発掘調査において、プログラムベースで簡易写真測量を試行し、データを持ち帰って従来の技法で計測したデータと比較検討した結果、十分実用に耐えうる成果を得られたので、改めてこの研究計画を立案した。その後、実際に研究を開始する段階において、写真測量の分野で SfM (Structure from Motion) と呼ばれる技術を応用した計測手法が急速に発展し、フリーのソフトウェアも現れるなど、コスト面での障壁がほぼなくなるという状況になった。このため、より精度が高く、取得される情報量も格段に多いこの技術を取り入れた研究へと計画を軌道修正することとした。

2. 研究の目的

計測技術としての SfM の精度や有用性は、すでに従来の写真測量の技術を代替するものとして測量分野などでの利用が進んでいることで証明されている。考古学の分野にこの技術を応用することの利点としてあげられるのは、この技術がおそらくほとんどの調査・研究機関が現状ですでに保有しているであろう機材を中心に展開するものであり、かつ運用が非常に簡便であるという特色をもっていることである。これらの技術が実用上十分な機能を有しているということになれば、発掘調査の現場作業環境を大きく改善するであろうし、今まで時間的制約などから見送られてきていたようなデータも収集される方向に変化することが期待される。そうな

れば、本研究が試験運用で例示するような新しい視点の研究成果の増加を助けることになると考えられる。

3. 研究の方法

本研究では、考古学の分野に SfM による計測を応用することの利点をより鮮明にするために、いくつかの特殊な環境下での試験運用を行うこととする。これらの特殊な環境下での問題点を克服することができれば、一般的な環境下での運用は簡単であるからである。北海道と千葉の調査現場では、小規模な調査環境における各種の制約からくる問題点を、北海道の調査現場ではさらに気象条件に恵まれない調査環境における各種の制約からくる問題点を、イタリアの調査現場では、少人数・大深度・複雑な立体構造物といった各種要因からくる問題点を、それぞれ検討し、対応策を構築したい。そのうえで、一般論としての三次元計測の利点を実地検証を通じて、証明していく。具体的には、①システムの機動性・汎用性を高めることによって、様々な局面・資料に対して三次元計測で従来の計測手法を代替することを可能にする（計測作業の三次元計測化）。②①の結果として、計測・実測作業の省力化と精度の向上を同時に実現する（省力化と精度向上）。③取得データを利用することによって、調査報告における提示データの情報量の増加と客観性の向上を目指す（情報量増加と客観性向上）。以上の 3 点を軸に、北海道・千葉・イタリアの各遺跡において、実地検証を行い、汎用的に三次元計測手法を用いるための環境整備を行う。

4. 研究成果

(1) 三次元計測の手法と考古学

現在三次元計測の手法として主要なものとしては、3D レーザースキャナを用いた直接的な計測と、ステレオ写真測量の原理から発展した Structure from Motion (SfM) の技術を用いた間接的な計測の二つがあげられる。高密度の点群データを生成するタイプとしては、3D レーザースキャナによる計測手法が先行して発展してきた。その後、SfM を用いる計測手法における技術革新も進み、現在では、精度において二つの手法間の差はほとんどないと言える状況になってきている。この二つの手法それぞれの特質を、考古学計測に用いるにあたって重要であると考えられる要素について比較してみた（表 1）。精度と確実性という計測作業の目的の根本に関わる部分については、3D レーザースキャナによる計測のほうがやや優れている。これは、3D レーザースキャナによる計測作業が計測の成否を作業の時点で確認できるのに対し、SfM による作業が、写真撮影後のソフトウェアによる処理作業が完了する段階まで、計測

	3D レーザー スキャナ	SfM
精度	◎	◎
確実性	◎	○
コスト	×	○/△
機動性	△/○	○
計測困難な 対象物・状況	有	有
計測作業及び 事後処理の難易度	△	△/○

表1 レーザースキャナと SfM の特徴比較

作業の成否を判断できないという点が影響している。つまり、3D レーザースキャナによる計測作業が、うまくいかなかった場合に即座に再計測することによって最終的な失敗を回避できるのに対し、SfM による計測作業は、作業経過によっては、最終的に失敗するリスクが残るということである。一方で、コストや機動性、作業の難易度といった、導入および運用のしやすさという部分については、SfM による計測のほうが優れていると考えられる。コストに関しては、3D レーザースキャナそのものの機材としての単価がいまだに非常に高価なのに対して、SfM 処理を行うソフトウェアの単価は安価になってきており、無料で提供されているものもあるという状況になっている。機動性に関しても、遺物資料などを室内で計測するような場合は別として、発掘調査現場で遺構を計測する場合などは、3D レーザースキャナが大型の機器本体を三脚に据えて計測するのに対して、SfM は通常のカメラによる手持ち撮影で対応できることが多いというように、SfM による計測のほうが取り回しが楽である。最終的には、他の諸条件はともかく、3D レーザースキャナによる計測はコスト面での障壁が高すぎて、導入はまだ現実的ではないという環境がほとんどであろう。本研究では以上のような理由から、小規模な発掘調査に伴う各種計測作業及びその後の資料整理作業に伴う各種計測作業において、情報の三次元化を計る場合に現時点で最も有用な技術体系として SfM を用いることとした。ここで個別の事例分析に入る前に確認しておくこととして、三次元計測の導入に伴う利点のうち省力化と情報量増加は、どちらに主眼を置くかによって三次元計測の二つの異なる利用法が考えられるということがある。省力化に主眼を置いた利用法としては、高密度点群データからオルソ画像を生成することを目的とした作業工程が考えられる。これはオルソ画像もしくはそのトレース図が従来の測量

図・実測図を代替することを目的としており、得られる主要な成果物は二次元情報である。一方情報量増加に主眼を置いた利用法としては、高密度点群データにテクスチャを貼り付けて 3D モデルを生成することを目的とした作業工程が考えられる。これは 3D モデルそのものを閲覧できる状態で提供することを目的としており、得られる成果物は三次元情報である。以下の各項では、それぞれの事例においてこの二つの利用法のうちのいずれかを適用して分析を進めていく。

(2) 発掘調査現場における各種計測
発掘調査現場における従来の計測作業の主なものとしては、遺構あるいは分布範囲・遺物出土状況等の平面図、遺構立面図、遺構断面図、土層断面図、出土遺物の点あげ作業などがあげられる。これらのうち、分布範囲平面図や土層断面図等は基本的に対象とする面に凹凸は無いことから、オルソ画像生成工程による計測作業の省力化を目指すのが有効である。一方、対象が遺構や遺物の出土状況である場合、3D モデルを生成することによって、平面図・立面図・断面図を一元化して代替するのが省力化と情報量増加の両側面から有効である。遺物の点あげ作業に関しては、本研究で取り上げている三次元計測手法で代替する内容の作業ではないので扱わない。計測作業の前提条件として、SfM による計測を目的とした写真を撮影する場合に注意すべき事項とその理由を表にした(表2)。この表であげた注意事項は、基本的に

注意事項	理由
① なるべく撮像面が対象物の被撮影面に正対する状態で撮影する	正対していない場合、余計な補正が必要になり、アライメントに失敗する確率が増加するため
② 収差の影響によるアライメントの失敗を防ぐために極端な広角側での撮影を避ける	広角側の収差の影響が強い部分は、処理時に自動的にカットされた上、歪み補正の低下を招くため
③ 撮影する撮影カメラ同士では重複率が60%以上重複するように撮影する	規定の重複率を満たしていない場合、アライメントの成功率が低下するため
④ 対象物の再現対象となる面については全ての部分で最低でも2カット以上以上に寄り込んでいない部分は点群が形成されず、情報には不足するようになる	2カット以上に寄り込んでいない部分は点群が形成されず、情報には不足するようになる
⑤ 色調・明暗差の発生を防ぐため、同一の対象物に対する撮影は全て同じ露光条件でかつ時間を空けずに一度に撮り取る	生成されるテクスチャに色ムラや明暗差が発生し、アライメントの成功率にも悪影響を及ぼすため
⑥ 対象物に影や反射光が入り込む状態での撮影は避ける	当然、完成する3Dモデルのテクスチャにも影が入るうえ、アライメントの成功率も極度に低下するため
⑦ 特徴点の全くないような平坦な面角が発生する状況は避ける	アライメントに失敗する可能性が高いため
⑧ 撮影時は移動の軌跡に沿って連続して撮影し、撮影位置が不規則に変化するような状況は避ける	アライメント処理の段階で、ファイル名の連番や撮影時間の連続性を撮影位置関連の参考情報として利用しているため

表2 SfM における撮影条件

SfM による処理を目的とした写真撮影であれば全てに該当するものであるが、オルソ画像生成のみを目的とする場合でテクスチャ情報そのものを閲覧する必要が無い場合に限り、⑤と⑥についてはある程度無視することが可能である。発掘調査現場における SfM 向けの写真撮影において重要になってくる要素は、撮影時のカメラの位置どりと光線条件の制御である。カメラの位置どりについては、表2にあげたところの①～④、⑦の注意事項が関連してくる。各種分布範囲等の平面図であれば、その時点での発掘底面に正対する位置として調査区上方の空中が最適であるし、土層断面図であれば、対象となる断面の反対側の調査区壁面ぎりぎりの位置が最適である。撮影者が手持ちの状態のカメラをこれらの撮影位置に持っていくのは非常に困難であるので、解決策として撮影用ポールにつけ

たレンズスタイルカメラをwi-fi接続で遠隔制御して撮影することとした。光線条件の制御については、表2にあげたところの⑤、⑥の注意事項が関連してくる。晴天時であれば対象面に樹木の影が入り込むような状況があれば、土層断面図の場合はトレンチ上部と最深部における明度の差が大きいということも問題になる。また、午前中の早い時間や夕方の撮影に関しては、色温度の変化が及ぼす影響も問題になる。これらに対する解決策として、まず、撮影は基本的にRAWで行い、各撮影時点においてカラーチャートの写し込みを行うことで、現像時点で色調の調整を行った。さらに、生成される3Dモデルに座標を設定するために、画角内に基準点を写し込み、これら基準点の座標値を別途計測するという作業を行った。写し込み基準点は、調査区底面を対象とする撮影の場合は調査区外地表面に設置したマーカーを、土層断面図用の撮影の場合は断面内に設置した小型の傘釘や画角内の特徴点を、それぞれ用いた。これらの対策を講じたうえで生成した3Dモデルから抽出したオルソ画像の現場での利用の一例を示す(図1)。例示したものは、

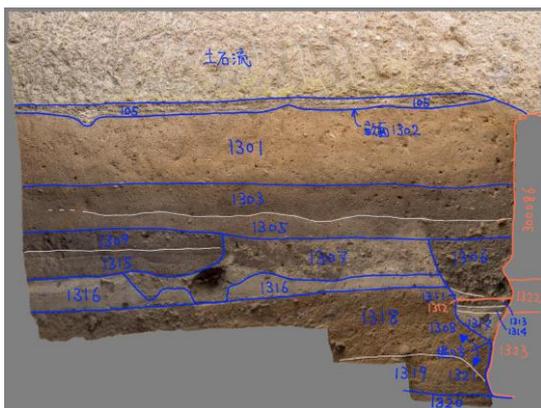


図1 オルソ画像の現場における利用例

イタリア/ソンマ・ヴェスヴィアーナ遺跡における土層断面で、幅約7m、高さ約5m程度の大きさのものが、生成したオルソ画像を現場にフィードバックして、タブレット上で分層線を作図したもので、オルソ生成から作図までの作業は完全に一人で行った。この例から見ても、この手法による計測作業が、人的コストの面から見ても時間的コストの面から見ても省力化に大きく寄与することは検証できた。今後は、精度と確実性、さらには現場での即応性を向上することによって、実用性を高める必要がある。

3) 出土遺物の計測

出土遺物を資料化する手段の主なものとしては、遺物実測図、拓本、写真撮影などがあげられる。SfMによる計測作業によって3Dモデルを生成する場合、3Dモデルそのものを提示することによってこれら全てを代替することが可能になるわけだが、現時点では、撮

影時点での照明設定に制約が多く、遺物表面の細かい凹凸等の再現性がやや弱い。これらの再現性に関しては、現状では拓本や通常撮影された写真のほうが有利である。SfMによる出土遺物の3Dモデル生成工程は煩雑かつ時間のかかる作業が多いため、省力化には全く寄与しない。検証作業は、専ら情報量増加の側面を意識して行ったわけだが、3Dモデルそのものの品質については、浜中2遺跡出土資料での作業から始めて沼浦海水浴場遺跡出土資料での作業において一定の水準に達したうえで、品質を落とさずに作業時間を短縮することもある程度は実現できた。3Dモデルの特質を二次元の平面上に表現することはできないが、参考例として、3Dモデルから生成したオルソ画像による六面図の一例を示した(図2)。上述のとおり、3Dモデルそ



図2 浜中2遺跡出土牙偶六面図

のものの外形的な品質は一定の水準に達しているため、今後は表面の微細な凹凸に対する再現性を高めていく必要がある。

4) 周辺地形測量

周辺地形測量については、従来の平板測量やトータルステーションを用いた測量をSfMによる計測手法で代替するために、UAV空撮を試行した。UAV空撮に関しては、飛行場所や気候条件などによる制約が非常に厳しく、考古学計測としての周辺地形測量に有用であるかどうかは、未知数であると言わざるを得ない。今回試験的に作成した沼浦地区全体のオルソ画像を成果として例示しておく(図3)。



図3 沼浦海水浴場遺跡周辺オルソ画像

5) 資料の提示と悉皆報告

前項までの各種検証によって、考古学における各種計測をSfMによる計測で代替し、情報

を三次元化するための条件は整った。いまだに、SfM による計測に向かない状況や対象物は残されているが、それらは今後の技術革新などによって少しずつ解消していくものと考えられる。少なくとも、SfM による計測を導入することによって、取得される情報量が増加したことは間違いない。報告という形でこれら増加した情報を広く有効に利用してもらうためには資料の提示方法が重要になってくる。この場合、3D モデルそのものを直接閲覧できることが望ましいことから、紙媒体の印刷物上に提示することは不可能である。現状で広く普及していると考えられる環境のもとで、最大限 3D モデルの情報量を活用できるプラットフォームは 3D-PDF しかない。このため、浜中 2 遺跡の第 5 次調査概報と沼浦海水浴場遺跡の第 1 次調査報告書では、付属 DVD-ROM 内に 3D-PDF データを格納することとした。これら 3D-PDF データは、デフォルトで設定用紙サイズ上原寸大になるように調整してある。このことで、より簡単に受け手の側が三次元情報を活用できるものと考えられる。また沼浦海水浴場遺跡の第 1 次調査報告書においては、付属 DVD-ROM 内に拓本と通常撮影の写真データも格納することで、動物遺存体を除く全ての出土遺物について何らかの形の画像資料を提示することとした。この資料の悉皆報告と 3D モデルの提示の組み合わせによって得られる情報量増加の効果は今後の研究で検証していくこととした。

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 3 件)

①岩城 克洋「SfM による考古学計測情報の三次元化とその利点」『北海道利尻富士町 沼浦海水浴場遺跡 第 1 次発掘調査報告書』(査読無)、2017 年、143-149

②山田 俊輔「鹿角製刀剣装具の系列」『日本考古学』第 42 号 (査読有)、2016、21-33

③岩城 克洋「ローマ期 CCF における“tegame”と“teglia”“testo”の関係性」『古代』137 号 (査読有)、2015、141-161

[学会発表] (計 3 件)

①岩城 克洋「SfM による三次元計測・測量技術の考古学における利活用」、国際シンポジウム「火山噴火罹災地の文化・自然環境復元」-ソノマ・ヴェスヴィアーナ 2015/2016-、2017 年 2 月 18 日、東京大学 (東京都・目黒区)

②クラウディア・アンジェレッリ、松山聡、岩城克洋、杉山浩平「ソノマ・ヴェスヴィアーナ “アウグストゥスの別荘” 遺跡における

古代末期のワイン関連施設とパラディウス『農業論』(5 世紀)に見られる類似施設について」、国際シンポジウム「火山噴火罹災地の文化・自然環境復元」-ソノマ・ヴェスヴィアーナ 2015/2016-、2017 年 2 月 18 日、東京大学 (東京都・目黒区)

③岩城 克洋「SfM による 3D モデル生成とその利用」、平成 28 年度君津地方公立博物館協議会 第 1 回研修会、2016 年 10 月 31 日、木更津市郷土博物館 金の鈴 (千葉県・木更津市)

[図書] (計 2 件)

①岩城 克洋 他 (編)、礼文・利尻島遺跡調査の会、北海道利尻富士町 沼浦海水浴場遺跡 第 1 次発掘調査報告書、2017、152 ps.

②岩城 克洋 他 (編)、礼文・利尻島遺跡調査の会、北海道礼文町 浜中 2 遺跡 第 5 次発掘調査概報、2016、71 ps.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岩城 克洋 (IWAKI, Katsuhiko)
東京大学・大学院総合文化研究科・特任研究員
研究者番号：70588227

(2) 研究分担者

山田 俊輔 (YAMADA, Shunsuke)
千葉大学・文学部・准教授
研究者番号：10409740

(3) 研究協力者

柳澤 清一 (YANAGISAWA, Seiichi)