

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 5 月 27 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K00991

研究課題名（和文）水中ドローンに搭載可能なフォトグラメトリ専用のアクセサリの開発と実地試験

研究課題名（英文）Development and field examinations of the photogrammetry-scanning device for small size ROVs

研究代表者

山船 晃太郎（Yamafune, Kotaro）

九州大学・比較社会文化研究院・共同研究者

研究者番号：60899516

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究ではダイバーが潜れない水深や危険な場所で、フォトグラメトリを用いた水中文化遺産のデジタル3Dモデルを作成するために、水中ドローンに搭載可能なフォトグラメトリ専用のアクセサリ（水中カメラと水中ライト一体型）の開発を目的とした。本研究の1年目に水深100mでの作業可能なタイプ（カメラ5台＋ライト8機）、2年目に水深200mでの作業可能なタイプ（カメラ5台＋全方位LEDライト）、そして3年目にはカメラと水中ライトの数を減らした簡易型（カメラ2台＋ライト4機）の、研究目的に合わせた3種類の水中ドローン用のフォトグラメトリ用アクセサリを制作し、実地試験を通じてその有効性を実証できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発した水中ドローンに搭載可能なフォトグラメトリ用アクセサリは、ダイバー（人間）による潜水が不可能な水深、又は作業が困難な環境・海域での、水中文化遺産等のデジタル3Dモデル作成を可能とした。この成果により、これまで研究不可能な個所に位置していた水中文化遺産の研究が可能になり、より多くの水中文化遺産の情報をデジタルアーカイブ化し、次世代に残すことが可能となった。水中考古学における研究対象の幅を広げたとと言える。更に本アクセサリを使用すれば、潜水による作業が必要とされないため、潜水資格を有しない陸上遺跡研究を行っている研究者達にも、水中文化遺産研究の門戸を広げることになる。

研究成果の概要（英文）：This research aims to develop specialized photogrammetry accessories (integrated underwater cameras and lights system) that can be mounted on underwater drones to create digital 3D models of underwater cultural heritage sites at depths and in hazardous locations where divers cannot safely operate. In the first year of the research, a model capable of operating at a depth of 100 meters (equipped with 5 cameras and 8 lights) was developed. In the second year, a model capable of operating at a depth of 200 meters (equipped with 5 cameras and omnidirectional LED lights) was created. By the third year, a simplified model with fewer cameras and underwater lights (equipped with 2 cameras and 4 lights) was developed to meet the research questions and objectives. The effectiveness of these three types of photogrammetry accessories for underwater drones was demonstrated through field testing.

研究分野：水中考古学 船舶考古学

キーワード：フォトグラメトリ 水中ドローン ROV 水中文化遺産 水中考古学 海事考古学 船舶考古学 沈没船

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

1960年代にスクーバダイビング機材の発明により、考古学者が水中遺跡に潜れるようになり産まれた学問である「水中考古学」。考古学としては比較的新しい分野ではあるのだが、水中という無酸素の環境にあるために陸上で発見される遺跡より保存状態が良いのが特徴である。その保存状態の良さからこれまでに陸上の遺跡では残らなかった遺構・遺物の研究により私達の歴史理解に貢献している。近年ではこれまで主流だった「沈没船」遺構の他にも地震で沈下し水没した港や町の遺構、海面上昇により水没した先史時代の遺構など、その研究範囲は多岐にわたる。しかしながら、この水中考古学の現地調査で一番の難しさが作業時間の制限である。潜水病の関係でダイバーが水中で活動する時間は限られてしまう。その為水中考古学における記録作業には短期間でできるだけ多くの情報を正確に取得するための方法が重要とされる。

これまで手実測で行われてきた記録作業にかわり、2010年頃から注目され始めたのがフォトグラメトリというデジタル写真から精巧なデジタル3Dモデルを作成する技術である。精巧な遺構の3Dモデルは遺構自体のデジタルコピーとして活用可能で、2020年までに欧米のほぼ全ての水中発掘にこのフォトグラメトリという技術が使用されるにいたっている。しかしながらダイバーに水中カメラを持たせての写真撮影には依然として水深と活動時間という2つの限界が障害になっている。

これまで潜水艇やROVs(大型水中ドローン)などに搭載されたカメラなどから、付随的にフォトグラメトリ3Dデジタルモデルが作成された事例は幾つかあるが、潜水艇や大型のROVsの運用には開発や専門の調査船が必要であり1回の調査でも数千万~数億円の単位が資金が必要であり、海洋資源調査会社や海外の資金力のある財団などによって行われてきた事例はあるが、学術調査では現実的ではなかった。またこれらは3Dデジタルモデル作成を主とした調査ではなく、作成された3Dモデルも精巧なものではなかった。本研究ではこれまでにない安価な水中ドローン(30万円~80万円)に装着できるフォトグラメトリ専用カメラと水中ライト一体型のアクセサリの作成を目的とし、これまでの水中考古学の障壁であった水深と作業時間の問題を解決する。

2. 研究の目的

活動に制限のあるダイバーに代わりフォトグラメトリ用の写真撮影を行うことのできる水中ドローン搭載可能な外付けの専用アクセサリを開発する。水中ドローンの操縦性の問題点を解決するために複数のタイムラプス撮影機能のあるアクションカメラをそれぞれ別の角度に搭載し、最小限の動きでフォトグラメトリに必要な各写真のオーバーラップを実現させる。さらに水中でクリアな画質の写真を撮影するために、水中ライトを出来るだけ多くアクセサリに搭載できるようにする。これら水中ドローンに搭載可能なフォトグラメトリ専用のアクセサリを開発し、水深100m付近にある水中文化遺産の撮影を行い、これまでに実現不可能であった深度に存在する水中文化遺産の3Dデジタルモデルを作成し、水中考古学における記録作業の幅を広げる。これらの課題をクリアするのに、これまでの海外事例のように何千万円もの費用がかかるような新たな水中ドローンを開発するのではなく、市販で安価(30万~80万円)な水中ドローンに搭載できる外付けのフォトグラメトリ専用のアクセサリとして開発する。大きさも限りなく小さく抑えることにより、各地への調査への持ち運びを可能にし、調査船以外のどの小型船からでも運用できるようにものを開発するのが本研究の目的である。

3. 研究の方法

水中ドローンに装備可能なフォトグラメトリ専用アクセサリの設計と、試作機の開発を行う。試作機の完成後は大学の室内プール等で数回の試運転を行い、水中ドローンの操作訓練と、取得した写真データの管理と3Dモデルへのデータ処理のマニュアルを作成、研究チーム内で共有する。

本研究では試作機の開発と運用試験は九州大学内のプールで行った。

協力して研究できる(本アクセサリの運用試験が可能である)水中遺跡や水中地形から、対象の水深や範囲などを考慮し、本アクセサリを海にて実地運用する。

本研究期間内では鳥取県沖の駆逐艦蕨の船首部(水深97m)、船尾部(水深195m)、与那国島沖の水中地形(水深0m~30m、全長約300m)、米国バーモント州のシャンプレーン湖でUSSスピットファイア号(水深40m~50m)、北マリアナ諸島サイパン島でLVT(米国水陸両用車両)のフォトグラメトリによる3Dモデル作成を行った。

それぞれの実地運用試験をへて課題を見つけ、その課題をクリアできるように調整と開発を進めていく。

本研究期間中に1号機を開発。水深100mでの運用が可能であった。さらに深い位置にある水中文化遺産の3Dモデルによる記録を目指し、World Scan Project(株)と日本海洋事業(株)の協力を得て、水深300mまで運用可能な2号機を開発した。しかしながら開発と運用コストの高額化と、全方向に向けたカメラによる不必要なデータ量の過多を考慮し、それまでの簡易型である3号機を開発し、開発と運用コストを低額化することが出来た。

国際学会や研究会、更に本研究の代表研究者が国内外で行っているフォトグラメトリワークショップにて、本研究で開発したアクセサリの開発と運用方法を、水中考古学関係の研究者や学生、測量技術者達と共有し、多くの研究者が同様に水中文化遺産の水中ドローンでの記録作業が可能となるような状況を整える。

4. 研究成果

本研究の初年度に水中カメラ5台と水中ライト8機を取り付けた1号機を開発。小型水中ドローンのChasing M2に搭載し鳥取県沖に沈む駆逐艦蕨と、沖縄県の与那国島の海底地形ポイントにて実地試験を行い、フォトグラメトリによるデジタル3Dモデルの作成に成功した。1号機はアクセサリ本体の下部にタイムラプス撮影機能のある5台のアクションカメラを前後左右下部に向けた状態で搭載した。また水中でも撮影に十分な光量を得るために8機のビデオライトを備え付けた。カメラとライトが重くなるため、アクセサリ本体部位は浮力材で作成した。(図1)

1年度目後半と2年度目は水深300mまで運用可能な2号機を開発。2号機には1号機と同様の5台の水中カメラシステムに加え、全方位LEDライトを加え、水深300mまで潜水可能なBlueROV2に搭載するためにBlueROV2専用のフレームに水中ライトのバッテリーを搭載した。この2号機で鳥取県沖の水深195m地点に沈む駆逐艦蕨の船尾部分の3Dモデル作成を行った。(図2)しかしながら2号機は開発と運用が1号機より高額になり、さらに水中カメラでの取得データも過多となった。そのため他の研究機関や研究者にとって本研究を模倣しての実用が難しいと判断した。

そこで2年度目後半と最終年度では簡易型モデルとして3号機を開発した。3号機は水中カメラ2台と水中ライト4機を搭載し、Chasing M2に搭載できる形状をとった。また本アクセサリの総重量の軽量化により水中ドローンの操縦性の著しい向上が得られた。加えて水中カメラによる取得データも簡易化され、運用が安価で簡単となった。(図3)この3号機を使い米国のバーモント州でUSSスピットファイア号、北マリアナ諸島サイパン島でLVT(米軍の水陸両用車両)の3Dモデル作成を行った。

これらの成果(開発と運用の方法論)は本研究期間中に3度の国際学会と、国内外で8回開催されたフォトグラメトリワークショップ等で、水中考古学を含めた各分野の研究者達と共有された。

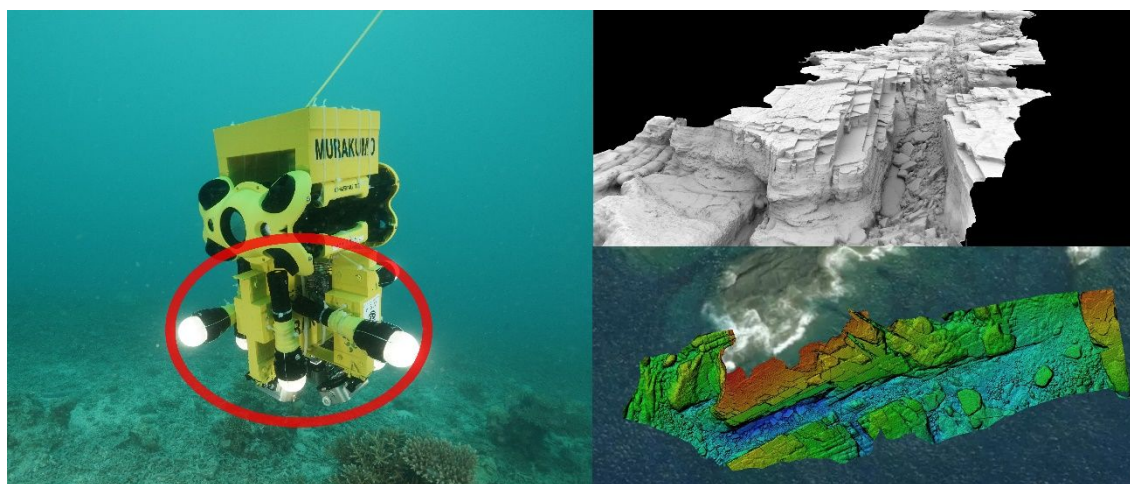


図1.(左)本研究で開発した水中ドローン搭載用のフォトグラメトリ専用アクセサリの1号機。(右上下)1号機で作成した与那国海底地形のデジタル3Dモデル。



図 2.(左)本研究で開発した水中ドローン搭載用のフォトグラメトリ専用アクセサリの 2 号機。
(右) 2 号機で作成した駆逐艦 藤 (船尾部) のデジタル 3D モデル。

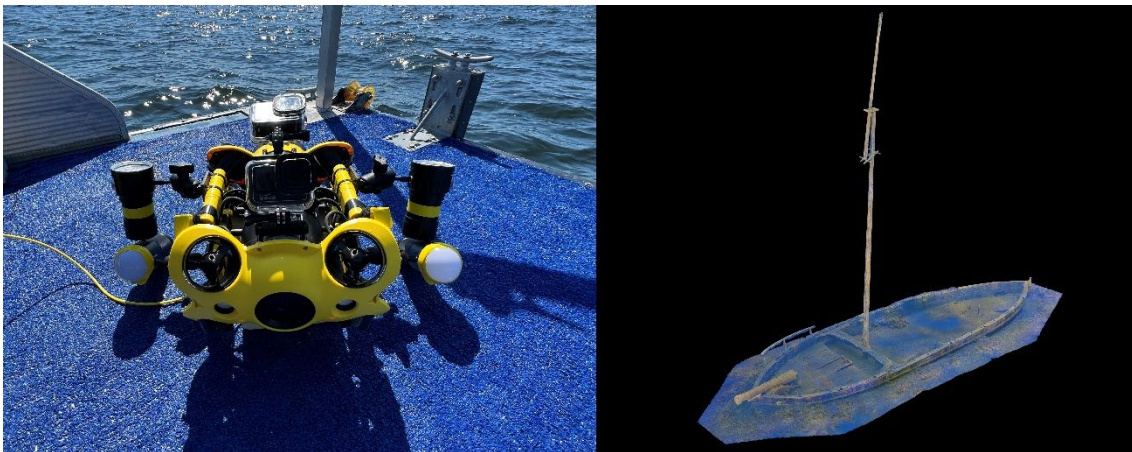


図 3.(左)本研究で開発した水中ドローン搭載用のフォトグラメトリ専用アクセサリの 3 号機。
(写真は上下さかさまで置かれている状態)
(右) 3 号機で作成した USS スピットファイア号のデジタル 3D モデル。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Kotaro Yamafune, Yasumasa Ichikawa, Chris Sabic, George Schwarz, Kevin Crisman
2. 発表標題 Cheap ROV-based Photogrammetry Survey Methodology
3. 学会等名 Society for Historical Archaeology Annual Conference 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kotaro Yamafune
2. 発表標題 Photogrammetry-based Deviation Analysis of WWII Wrecks in Saipan: Methodology, Explanations, and Results
3. 学会等名 Society for Historical Archaeology Annual Conference 2024 (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Kotaro Yamafune, Irena Radic Rossi
2. 発表標題 Photogrammetry-Based Site Monitoring System Against Treasure Hunting Activities
3. 学会等名 The Seventh World Archaeology Congress on Underwater Archaeology (国際学会)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 山船 晃太郎	4. 発行年 2021年
2. 出版社 新潮社	5. 総ページ数 224
3. 書名 沈没船博士、海の底で歴史の謎を追う	

1. 著者名 小野 林太郎、木村 淳、菅 浩伸、片桐 千亜紀、中西 裕美子、山船 晃太郎、吉崎 伸、石村 智、日下 宗一郎、坂上 憲光、佐々木 蘭貞、鉄 多加志、中川 永、林原 利明、丸山 真史、山本 遊児、Shinatria Adhityatama、Julien Fortin、Sam Meacham	4. 発行年 2022年
2. 出版社 グラフィック社	5. 総ページ数 240
3. 書名 図説 世界の水中遺跡	

〔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
研究 分 担 者	菅 浩伸 (Kan Hironobu) (20294390)	九州大学・比較社会文化研究院・教授 (17102)	

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
---------	---------