

令和 2 年 7 月 1 日現在

機関番号：32704

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K18534

研究課題名（和文）小型水中ロボットと写真測量を用いた水中3D地図作成技術の確立

研究課題名（英文）Making precise under water 3D map using small ROV (Remotely Operated Vehicle) and photogrammetry

研究代表者

田林 雄 (Tabayashi, Yu)

関東学院大学・経営学部・講師

研究者番号：30549837

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：精細な地図が作成されていない水中環境に写真測量技術（SfM）と小型水中ロボット（sROV）を導入することで、地図作成技術を確立する研究を推進した。研究では撮影技術と機体オペレーション技術の確立、精度検証を経たのちに実際の対象物について調査を実施し、水中植物や礫、水中地形の変化について高精細な測量を実施した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究によってこれまで難しかった浅い水域の地形や植生、礫などを測定することが可能になった。また、こうした領域は今後の気候変動で環境が大きく変化することが見積もられ、本研究の結果は環境モニタリングや炭素貯留量を見積もる際にも重要な知見となると考える。

研究成果の概要（英文）：We have conducted research to establish mapping technology by introducing photogrammetry technology (SfM) and small underwater robot (sROV) into the underwater environment where detailed maps have not been created. After establishing the imaging technology and operation technology, we studied accuracy of the survey. We, then, surveyed and made high definition model of underwater plants, gravel, and underwater topography. Changes in underwater topography were also investigated.

研究分野：自然地理学，環境計測

キーワード：sROV SfM 水中写真測量 バイオマス 礫径

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

水中の地形や対象物の高精細な 3次元 (3D) 地図や 3D モデルを生成することは非常に困難であった。水の中では作業効率が著しく低下し、機材も防水性を考慮する必要があるためである。また、現場でデータを取得しても 3D モデルにするまでに膨大な作業が必要であったことも要因である。しかし、対象物に対して移動しながら撮影したデジタル写真を用いて、3D 地図や 3D モデルを生成する技術 (Structure from Motion; SfM) が実用化されて写真測量に必要な技術・費用・時間の面での障壁が大幅に軽減された。また、最近、機動性の高い小型水中ロボット (small Remotely Operated Vehicle; sROV) が開発されて少人数で容易に海や川、湖沼の水中写真を撮影することが可能になった。sROV を用いて水中を撮影して、これによって SfM 測量 (水中 SfM 測量) を実施することで、水中の精細な 3D モデルの生成が期待される。

水中の高精細な 3D 地図や 3D モデルを作成しても、水流によって湖底・河床・海底は絶えず変化してしまう。しかし、sROV は可搬で大掛かりな設備も必要ないため、高い頻度で撮影することが可能で、変化する水中の環境をタイムラグなくモデル化することが可能である。また、本技術を確立することで以下のような事象にも応用できる。

sROV および SfM 測量を用いた水中環境の 3D モデル化の応用

- ・河川からの物質の流出量の把握：河川からの物質の流出量 (フラックス) はある物質の濃度に河川流量を乗じることで求められる。河川流量は河川断面に流速を乗じて得られるのだが、河川断面は限られた時間で計測するために限られた水深から概算されることが多い。本測量技術が応用されれば精細な断面積が算出され、断面積が精緻に求められる。
- ・水中環境の場所の把握：ある水環境の場において魚がどの程度いるのか、底生生物がどの程度いるのかといった個体数は詳細に記録されるが、それがどういった場にいるか詳細に記録されることは少ない。本測量技術で精緻な生息域の 3D データが得られる。
- ・水中バイオマス量の把握：水草や海藻のバイオマス量を把握することは容易ではなかった。しかし本技術の適用で、精確なバイオマス量の見積もりが期待される。また、浅い沿岸域は生物生産が盛んであるものの船の座礁の危険があるため調査が難しい場所が多いが、sROV は移動が可能である。今後、気候変動によって沿岸域は海水準の変化にさらされやすく、炭素量がどの程度蓄積しているか把握するためにも有効である。

2. 研究の目的

本研究に先立ってこの技術を予察的に進めた結果、いくつか課題が明らかになってきたので、これらの課題を解決する形で研究を進めた。研究の目的は、水中 SfM 測量の(1)機体の操作・撮影技術の確立、(2)精度検証、(3)様々な場所での適用性の検証である。

- (1)技術確立：sROV を用いた撮影によって得られたデジタル写真から鮮明な 3D モデルが撮影できることはわかってきたが、3D にするには対象について範囲を重複させて撮影する必要がある。しかし、水中では地上とは異なり sROV の機体の詳細な場所を確認することが容易ではないことから、重複撮影できず 3D モデルに抜けができてしまうことがあった。
- (2)精度検証：地上において SfM 測量の技術進行は著しいものの、水中においては適用事例が少なく、生成された 3D モデルがどの程度の精度を有しているのか不明であった。
- (3)様々な場所での適用性の検証：1)や 2)においてある程度技術が確立しても条件が変われば精細なモデルが作成できない可能性もあるので条件の異なる水環境において検証を行う必要がある。

3. 研究の方法

sROV を用いて野外調査を実施し、撮影した写真を用いて計算機で 3D モデルを作成したのちに解析を行った。sROV 底部には防水ケースに収めたコンパクトデジタルカメラを取り付けて、インターバル撮影 (一定時間間隔でシャッターを押す撮影) を行った。sROV の機体が揺れると写真もブレてしまう恐れがあるため、撮影に際しては波浪が少ない条件を選択した。また、水中の濁りも鮮明な写真が撮れない原因となるので濁度の低い水環境で調査を実施した。

- (1)技術確立：研究の初期は sROV に多数のカメラを搭載して撮影範囲のオーバーラップする領域を大きくすることを計画したが、機体バランスが変わって制御することが難しくなる点、写真データが大量に蓄積されこれらのハンドリングが容易ではない点が明らかになった。そこで、複数台のカメラで同時に撮影することは断念し、sROV の制御技術によってブレがなく十分にオーバーラップした写真を良好な撮影条件の蓄積に努めた。
- (2)精度検証：陸上の撮影は手取りのカメラやドローン (UAV; Unmanned Aerial Vehicle) による撮影から精度検証がされている。干満の潮位差がある程度ある海域において、干潮時に手取りやドローンによる撮影をし、満潮時に sROV による撮影をして、干潮時の写真位によるモデルを正しいとして満潮時の 3D モデルの精度検証を行った。

(3)様々な場所での適用性の検証： 調査は海岸や湖沼において行った。海岸では海底が砂、礫、岩石の切り出した場所等で行った。湖沼では河川の流入部や植生が生えている場所等で行った。

4. 研究成果

(1) 撮影時の機体の制御について

良好な機体制御の条件の特定は撮影の度に設定を変えながら手探りで進めた。以下はその結果として本研究の終了時に適切と考えられたポイントを挙げる。

sROV は機体の重心バランスによって挙動の安定性が異なるので、重心の変化に大きな影響を与えない位置を探してカメラを取り付けるようにした。また、**sROV** は潜水艇であるため潜航しての撮影が可能であるが、撮影者からどの位置を航行したのか把握することが困難であるため撮影範囲をオーバーラップさせて航行することが難しいので機体の一部を水面に出して航行させた。また、**sROV** の移動は対象物の写真のブレを防ぐために極低速 (< 時速 **1km**) で行った。

(2) 精度検証

山口県の秋穂湾は瀬戸内海に位置し比較的波浪の影響が少なく、干満差が大きい。礫を対象に複数の観測点を設定し、干潮時と満潮時にそれぞれ撮影を行った。図1に示したのは **sROV** による満潮時の **3D** モデルで、図2は干潮時の手取り写真のモデルである。また、用いたカメラは同一のものである。モデルは精細なものが作成でき、特徴的な点(礫の角など)をいくつか選択して2つのモデルにおいて長さを比較したところ、よく一致した。3つの地点のデータを合わせても誤差は**2.6%**と良好であった(図3; **Dry** は干潮、**Wet** は満潮を示す)。

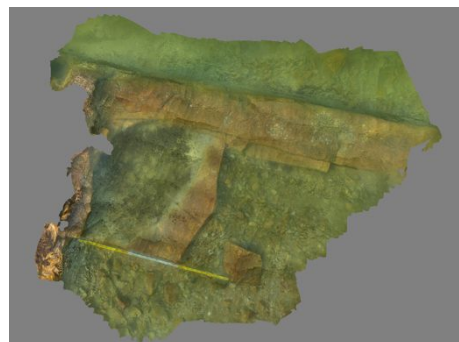


図1 地点Aの満潮時の**3D**モデル(箱尺は**3m**)



図2 地点Aの干潮時の**3D**モデル(箱尺は**3m**)

(3) 様々な場所での適用性の検証

水草を対象に水中植物のモデル化を試みた。群馬県の菅沼においてバイカモをモデル化したが、精細な**3D**モデルが作成できた。ただし、大きく繁茂したものに対してはカメラとの距離が十分に確保できず、モデル化が難しいものもあった。また、水中植物は水流によって動くことが多く、動きの大きい植物は複数の異なる写真において同一の形状をしておらず、結果的にモデルが困難なものもあった。

礫の**3D**モデルは非常に鮮明なものが生成された。これは礫が水中で形状を変えず、複数の写真のなかで同一の礫を同定しやすい点や、平滑な面が少なく特長的な点を同定しやすい点などによる。海岸においても湖沼においても精細な**3D**モデルが作成できた。**SfM**測定では複数の写真に現れる特徴的な点を頼りに、正確な位置に写真を並べ、**3D**モデルを作成するため、同じ規格のタイルを敷き詰めた人工の池では特徴点がうまく選定されずにモデル化が困難であった。一方で、砂浜では、これと同様に特徴点の選定が困難でモデル化が難しいと当初は考えられたが、精細な**3D**モデルが作成できた。

やや広い範囲(約**5m x 20m**)の湖底地形の**3D**モデル化も作成できた(図4)。調査地点は群馬県の菅沼の河川が湖に流入する場所である。湖底地形の測量はこれまでも音波探査やレーザー探査等によって実施されてきたが、水中**SfM**ではモデルのテクスチャが得られる点が大きな違いである。もちろん鮮明な写真が得られるような透明度の高い水環境が条件となるが、ここから湖底を構成する物質の由来なども明らかになる可能性がある。同一地点を定点観測して**3D**モデルを作成することで、礫の移動や地形形成プロセスの解明についても寄与しうる測量方法であるといえる。

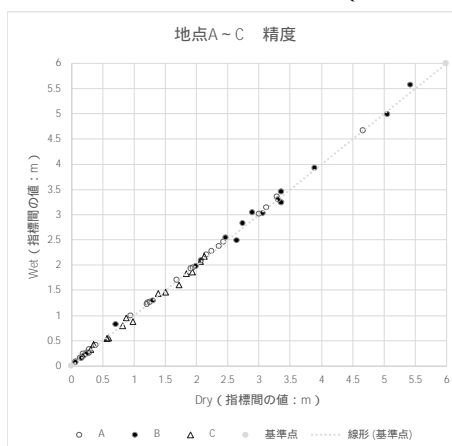


図3 干潮時と満潮時の**3D**モデル比較

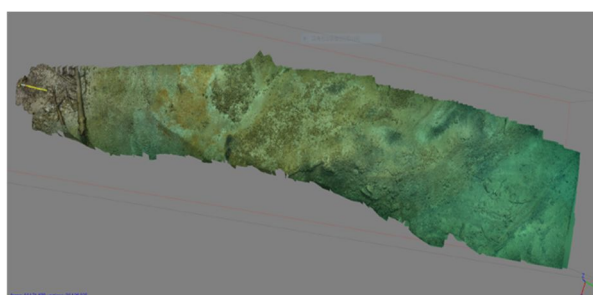


図4 湖沼流入河川近くの湖底の**3D**モデル(箱尺は約**1m**)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 田林雄・小室隆
2. 発表標題 ROV を用いた水中の地物・地形測量
3. 学会等名 日本陸水学会
4. 発表年 2018年～2019年

1. 発表者名 小室隆・田林雄
2. 発表標題 UAVを用いた山口県美濃が浜の微地形観測
3. 学会等名 日本地理学会
4. 発表年 2018年～2019年

1. 発表者名 田林雄、小室隆
2. 発表標題 小型水中ロボット（sROV）を用いた水中植生および地形の測量
3. 学会等名 日本地理学会
4. 発表年 2017年～2018年

1. 発表者名 田林雄・小室隆・今城克稔
2. 発表標題 小型水中ロボット（sROV）を用いた水中地形・地物測量とその精度
3. 学会等名 第11回GIS-Landslide研究集会および第7回高精細地形情報シンポジウム
4. 発表年 2019年～2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Hiroyuki Obanawa and Yu Tabayashi et al., In Shinya Shimokawa, Tomokazu Murakami and Hiroyoshi Kohno (Eds.)	4. 発行年 2020年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 273
3. 書名 Geophysical Approach to Marine Coastal Ecology	

〔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	小室 隆 (Komuro Takashi) (40782561)	国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所・港湾空港技術研究所・専任研究員 (82627)	