

令和 5 年 6 月 30 日現在

機関番号：25403

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19K12047

研究課題名(和文) 光の散乱・吸収を考慮した海中動画の色補正と物体形状復元

研究課題名(英文) Color restoration of underwater images taking account of scattering and absorption

研究代表者

馬場 雅志 (Baba, Masashi)

広島市立大学・情報科学研究科・講師

研究者番号：30281281

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)：海中で撮影された画像は、光の散乱や吸収の影響により地上で観測された場合と色合いが異なる。撮影された対象物体の色は対象物の材質や腐食の状態を推定するために利用されるので、水中画像の色補正を行うことは重要である。本研究では、太陽光が到達しないような海底でライトを利用して撮影された画像を対象に、使用したライトの光が水中で散乱・吸収されることによって色調が変化することに対して、その現象を忠実に再現し逆の処理を施すことにより色調補正を行う手法を提案した。色調補正においては、RGBのみを考慮するのではなくスペクトルを考慮することにより高精度に補正できることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

太陽の光が届かない海底で撮影されて画像は、地上で撮影された画像や太陽光が届く浅い海中で撮影された画像とは異なっている。そのため、画像から霧や霞の影響を除去する研究や太陽光を前提とした水中画像の色調補正とは異なったアプローチが必要である。本研究は、海底においてライトを利用して撮影された画像を対象に、ライトの光が水中で散乱・吸収されることによって色調が変化することに対して、その現象を忠実に再現し逆の処理を施すことにより色調補正を行うものである。今回は、呉市が2016年に行った戦艦大和の潜水調査時に撮影された動画像に対して適用したが、同様な潜水調査の画像や映像に適用することが可能である。

研究成果の概要(英文)：Underwater images have different color compared to those taken on the ground due to the effects of light scattering and absorption. It is important to perform color correction of underwater images because the color is used to estimate the material and corrosion state of the object.

In this study, we proposed a method of color correction for images taken using lights on the seafloor, where sunlight does not reach, by faithfully reproducing and reversing the phenomenon of color tone changes caused by scattering and absorption of the light used in the water. We confirmed that color tone correction can be performed with high accuracy by considering not only RGB but also the spectrum.

研究分野：コンピュータグラフィックス

キーワード：色調補正 海中画像 光の散乱・吸収 奥行き画像 Structure from Motion スペクトルレンダリング インパースレンダリング

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、研究者個人に帰属します。

## 1. 研究開始当初の背景

海中で撮影された画像は、光の散乱や吸収の影響により地上で観測された場合と色合いが異なる。撮影された対象物体の色は対象物の材質や腐食の状態を推定するために利用されるので、水中画像の色補正を行うことは重要である。例えば、呉市は2016年に海底に沈む戦艦大和の潜水調査を実施し、約50時間の映像と約7000枚の画像を撮影したが、これらの映像や画像はすべて青緑がかった色であり本来の物体色とは異なっている(図1参照)。

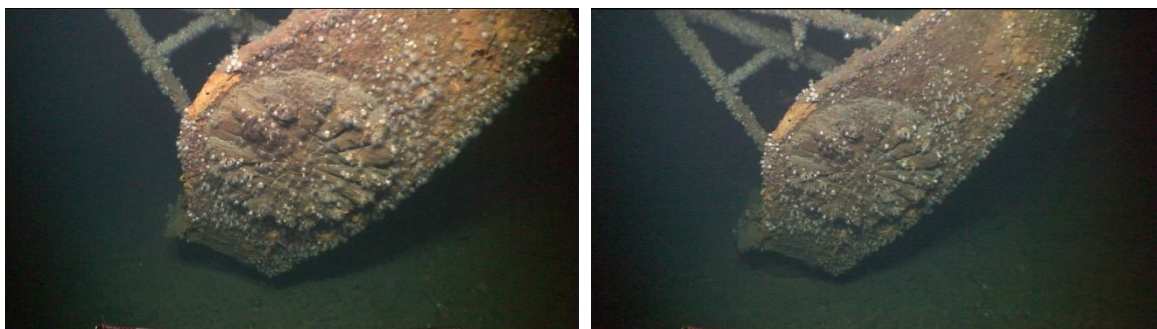


図1：戦艦大和の水中画像(資料提供：大和ミュージアム)

太陽の光が届かない海底で撮影されて画像は、地上で撮影された画像や太陽光が届く浅い海中で撮影された画像とは異なっている。そのため、画像から霧や霞の影響を除去する研究や太陽光を前提とした水中画像の色調補正とは異なったアプローチが必要である。

## 2. 研究の目的

本研究では、太陽光が到達しないような海底でライトを利用して撮影された画像を対象に、使用したライトの光が水中で散乱・吸収されることによって色調が変化することに対して、その現象を忠実に再現し逆の処理を施すことにより色調補正を行う。ここで、色調補正を行うためには画像中の撮影物体までの距離を表す奥行き画像が必要である。そのため、海中で撮影された動画像に対して Structure from Motion (SfM)により物体形状と撮影されたカメラ位置を復元し、カメラ位置から復元された物体を投影することによって奥行き画像を作成する。色調補正時には、物体までの距離に応じて補正を行うことで地上において撮影されたような画像を生成する。

## 3. 研究の方法

本研究では、光の散乱・吸収を考慮した海中動画像の色調補正を行うために、以下の3項目について研究を行った。

### (A) 光の散乱・吸収の影響を取り除く補正手法の確立

水中での光の散乱・吸収による影響を正確に再現し、その影響を取り除くことにより画像の色調補正を行う手法を確立する。光の散乱・吸収は光の周波数に強く依存するため、RGBでの散乱・吸収特性でなく、スペクトルを考慮し各波長成分に対して補正を行う色調補正手法を検討した。

#### (B) 水中撮影動画画像から奥行き画像を作成する手法の確立

水中での光の散乱・吸収の影響は、距離に大きく依存する。そのため、色調補正には物体までの距離を表す奥行き画像が必要である。これまでの研究では、この奥行き画像を手動で作成していたが大変な労力であり、また、動画画像に適用するためには奥行き画像を自動的に作成する手法を確立する必要がある。今回、SfMにより復元した形状を使って、輪郭が滑らかで穴のない奥行き画像を作成する手法を提案した。

#### (C) 撮影された画像からの海水の散乱・吸収パラメータ推定

水中の散乱・吸収パラメータは、撮影時にカラーチャートのような特別な器具を使用して同時に撮影するか、別途パラメータを計測するなどの必要があり、撮影後の画像のみからは求められない。そこで、撮影された画像のみから海水の散乱・吸収パラメータを推定する方法を検討した。ここでの散乱・吸収パラメータは、RGBのみでスペクトルを考慮したものではないが、ある程度有効な色調補正が可能であることを確認した。

### 4. 研究成果

#### (A) 光の散乱・吸収の影響を取り除く補正手法の確立

平成 31 年度には、世界中の海水を 10 カテゴリーに分類しその光学的特性を調べた関連研究のデータをもとに、撮影画像の奥行き画像を手動で与え、色調補正し光学的パラメータの比較検討を行った。その結果、比較的濁りの少ない海水のデータを使用して色調補正を行った結果が良好であることが分かった。

令和 2 年度には、光の散乱・吸収の影響を取り除く色調補正手法を改良し、スペクトルを考慮した手法への変更を行った。光の散乱・吸収は光の周波数に強く依存する。そのため、スペクトルを考慮し光の各波長成分に対して補正を行う色調補正は、RGB 色空間での色調補正に比べてより厳密で精度の高い補正を行うことができる。

令和 3 年度には、光の散乱・吸収の影響を取り除く色調補正の手法をさらに改良した。令和 2 年度に行った研究において、光の散乱・吸収現象を考慮した水中画像をスペクトルレンダリングにより作成することにより、RGB のみを考慮するよりも補正結果が良いことを示した。しかしながら、この研究では光の in-scattering 成分のみを考慮しており光の散乱・吸収現象のすべてを考慮していなかった。今回、光の散乱・吸収現象のすべてにおいて、スペクトルを考慮した散乱光除去を行う手法の有効性を確認した。

令和 4 年度には、スペクトルを考慮して光の散乱・吸収の影響を除去するために、海水を撮影した RGB 画像から海水の分光散乱特性を取得する手法を開発した。この手法では、水槽に充填した海水を撮影した RGB 画像から RGB 散乱特性を取得し、分光散乱特性に変換する。さらに、カメラ低感度領域に対して分光散乱特性の外挿処理を行い、推定精度の向上をはかった。シミュレーション実験によりスペクトルを考慮した色調補正を行う方が RGB 散乱特性を用いた色調補正に比べてより高精度な色調補正結果を得られることを確認した。

## (B) 水中撮影動画から奥行き画像を作成する手法の確立

先行研究で行った SfM により復元した点群データをキューブにより立体化する手法に比べて、点群の凹包処理によってポリゴンを生成する手法では、生成した奥行き画像において物体に穴が空いたり輪郭が凹凸になったりせず、撮影物体の形状に合致した奥行き画像を生成することができた。結果の一例を図 2 に示す。

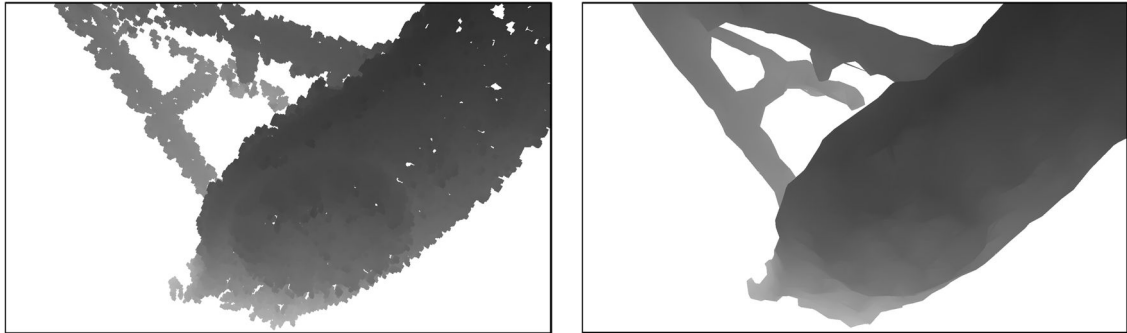


図 2：奥行き画像（左：従来手法 右：提案手法）

## (C) 撮影された画像からの海水の散乱・吸収パラメータ推定

上記項目の(A)で述べた補正手法も含めて従来の色調補正手法では、世界中の海水を 10 カテゴリーに分類しその光学的特性を調べた関連研究のデータを使用したり、新たに海水を撮影した RGB 画像から RGB 散乱特性を取得したりしていた。しかしながら、すでに撮影されている画像に対しては実験により散乱特性を計測することができないため、撮影された画像のみから海水の散乱・吸収パラメータを推定する手法が必要である。そこで、SfM により復元された特徴点と画像の RGB 値を用いて散乱特性を推定する手法を開発した。この手法により、撮影された画像以外のデータを使用せずに色調補正が可能とも確認した。図 3 に提案手法により推定した散乱・吸収パラメータを使用して作成した色調補正結果と補正結果を利用して SfM により復元した 3 次元形状を示す。海水による光の散乱・吸収により青緑がかった色となっていた戦艦大和の艦首部分が、赤錆により赤茶色になっていることが確認できる。

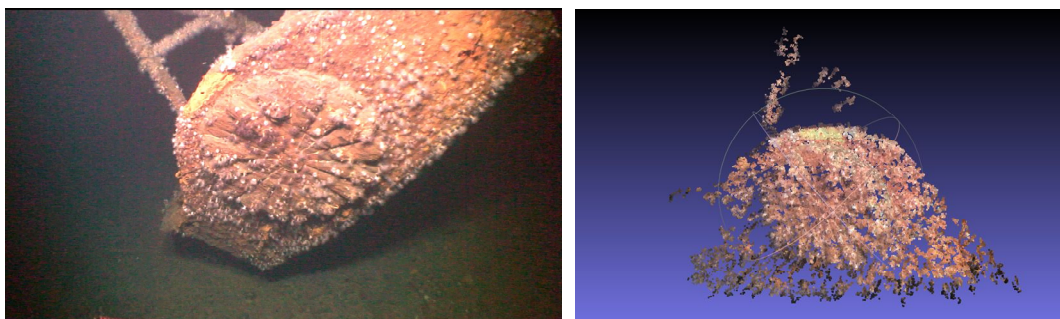


図 3：色調補正結果（左：結果画像 右：形状復元結果）

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Wakasugi Tomoya, Higaki Toru, Raytchev Bisser, Kaneda Kazufumi, Baba Masashi	4. 巻 1
2. 論文標題 Acquiring spectral scattering properties of seawater from an RGB image	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 International Workshop on Advanced Imaging Technology (IWAIT) 2023	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1117/12.2666634	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件／うち国際学会 1件）

1. 発表者名 若杉智也, Bisser Raytchev, 金田和文, 馬場雅志
2. 発表標題 異なる光源下における水中画像の色調補正に関する検討(続報)
3. 学会等名 画像電子学会 第299回研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 若杉智也, Bisser Raytchev, 金田和文, 馬場雅志
2. 発表標題 異なる光源下における水中画像の色調補正に関する検討
3. 学会等名 画像電子学会 第295回研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 戸田 義孝, 山本 弥大, 橋本 修平, 馬場 雅志, 古川 亮, 宮崎 大輔
2. 発表標題 水中画像色補正のための奥行画像の作成
3. 学会等名 Visual Computing 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshiaki Yamamoto, Kouhei Omote, Kazufumi Kaneda, Toru Tamaki, Bisser Raychev and Masashi Baba
2. 発表標題 Physically Based Color Restoration of Underwater Images Considering Scattering and Absorption
3. 学会等名 The 6th IEEE International Conference on Image Electronics and Visual Computing (IEVC 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔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	金田 和文  (Kaneda Kazufumi)  (30185946)	広島大学・先進理工系科学研究科(工)・教授    (15401)	

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