

令和 6 年 6 月 7 日現在

機関番号：17401
研究種目：基盤研究(C)（一般）
研究期間：2018～2023
課題番号：18K11357
研究課題名（和文）不均一性を前提とした海中浮遊物の利用による環境負荷の低い三次元水流計測システム

研究課題名（英文）Three-dimensional water flow measurement system with low environmental impact using heterogeneous underwater floating objects

研究代表者
戸田 真志（Toda, Masashi）

熊本大学・半導体・デジタル研究教育機構・教授

研究者番号：40336417
交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：環境保全や水産業支援において、海中生物の生態を解明する上で、環境情報、特に水流情報が重要な意味を持つ。しかし、空間的に高密度且つ長時間の水流計測は極めて困難である。本研究では、水中に常時存在し、水流追従性の高い、藻類等の海中微小体（海中浮遊物）を利活用することで、「観測対象への影響が軽微で」「環境に優しく」「空間的に密で」「継続的に計測が可能な」水流情報を計測するシステムを開発した。具体的には、カメラにて海中の浮遊物を追跡し、その移動ベクトルから局所的な水流情報を推定するシステムの開発を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、水中に常時存在し、水流追従性の高い特徴を有しながら、今まで有効活用されていなかった藻類等の海中浮遊物を、センサとして利活用する試みである点で独創性が高く、従来困難であった、環境に優しく、空間的に密で、継続的に計測が可能な水流計測システムの実現を試みた意味にて、学術的、社会的な意義が高い。本研究で注目した「計測空間に常在し、流れへの追従性が高いものを、視覚的に追跡する」アプローチは、水中のみならず屋内/屋外計測へも転用可能である。本研究では海中/水中を対象としたが、本研究の成果は陸上/空中を含めた環境計測全般へと幅広い展開が期待できる。

研究成果の概要（英文）：Environmental information, especially water flow information, is important in elucidating the ecology of marine organisms in the context of environmental conservation and fisheries support. However, it is extremely difficult to measure water flow at high spatial density and over a long period of time.

In this research, by utilizing underwater microscopic bodies (sea floating objects) such as algae, which are always present in water and have a high ability to follow water currents, we have developed a system that measures water flow information of "minimum impact on the observation target", "environmentally friendly", "spatially dense" and "the system which can be measured continuously". Specifically, we developed a system that tracks floating objects in the sea using cameras and estimates local water flow information from their movement vectors.

研究分野：画像計測

キーワード：水流計測 複数物体追跡 カルマンフィルタ 三次元 海中微小体 3D-PTV

1. 研究開始当初の背景

「持続可能な漁業」への質的転換が喫緊の課題である水産分野や、近年重要性が叫ばれる海洋環境の保全分野では、海とそこに生息する生物種の状況や生態の把握は不可欠である。しかし、ヒトデ等、海中生物種の生態は未だ明らかでない部分も多く、長期モニタリング実験やその考察への期待は大きい。このような生物モニタリングを行う際には、観察対象の成長計測、動態計測に加え、その影響因子としての水中/海中環境の計測が必須である。水産分野では、海水温、塩分濃度等、様々な計測を行っているが、とりわけ水流情報は、そこに存在する水中生物に対して物理的且つ直接的な影響を与える刺激因子であり、生物の成長状況や活動状況を考察する上で、極めて重要である。

水流は、屋外実験では潮流や風(波)、水槽実験では海水の給水/循環等の外的要因の他、環境内の岩や海藻、何より観察対象による渦流/乱流など、大変複雑であり、特に注目すべき観察対象の近傍では、空間的に極めて密な計測が求められる。一方観察対象の移動や姿勢変化等により水流の状況は大きく変化するため、実験期間中の継続的な計測も必要である。

従来、水流の計測は「流速計を用いる方法」が一般的である。この方法は、継続的な計測は可能なものの、空間的な計測密度は一般に粗であり、例えば対象生物周辺の乱流を細かく捉えることができない。一方、水中にトレーサ粒子を流し、各粒子の移動ベクトルから局所的な水流情報を得る PIV(Particle Image Velocimetry)や PTV(Particle Tracking Velocimetry)は、空間的に密な計測が可能であるが、トレーサ粒子を継続的に流し続ける必要があり、長期に渡る計測は現実的でない。トレーサとしては、微粉末や着色液を用いることが多いが、いずれも人工的なものであり、観測対象生物や栽培環境への影響も懸念される。

2. 研究の目的

本研究は、水中に常時存在し、水流追従性の高い特徴を有しながら、今まで有効活用されていなかった藻類等の海中浮遊物を、センサとして利活用する試みである点で独創性が高く、従来困難であった、環境に優しく、空間的に密で、継続的に計測が可能な水流計測システムの実現を目指すものである。

3. 研究の方法

本研究では、カメラにて海中の浮遊物を追跡し、その移動ベクトルから局所的な水流情報を推定するシステムの開発を行う。海中浮遊物の大きさや形状等に関するバラツキを考慮した、高精度に水流を推定可能な仕組みの開発が中心課題となる。水流情報は三次元情報であるため、複数台のカメラを利用し、ステレオ視にて 3D-PTV システムとして構築する。

海中浮遊物は自然物であるが故に、人工的なトレーサ粒子に比べて大きさや形状、重量等のバラツキが大きく、その差異によって同じ水流中でも異なる動きを示す。そこで画像処理技術を用いて、海中浮遊物の比重や形状を非接触で推定する技術を開発する。また海中浮遊物は、短時間に自身の回転や瓦解(分割)により形状特徴が激しく変化するため、追跡が難しい。これに対し、安定して動きを推定可能な手法を検討する。

4. 研究成果

本研究で主たる対象としているのは、藻等の海中浮遊物であるが、一方で海中には動物体として、魚類や浮泥等が存在しており、水流に追従する海中浮遊物の検出には、魚類や浮泥等の影響を除外する必要がある。本研究では、

- ・藻等の海中浮遊物は、魚類等に比して、高速に移動する
- ・魚類、浮泥等は、海中浮遊物に比して低速で(ゆっくりと)移動する
- ・水中映像では、上二者が混在して構成されている

との仮定を設定した上で、両者の分離をトラッキング技術とカルマンフィルタを組み合わせることで実現した。観測映像から海中浮遊物を除外することで鮮明度の高い高品質な映像が得られ、一方で除外した海中浮遊物は、高密度な流れ情報分布と解釈できる。このように、高品質映像と高密度流れ情報を同時推定する仕組みとして設計し、実装した。

(1) シミュレーション実験

本実験では、映像からの浮遊物除去とそれを用いた流れ情報の取得を評価するために、水中



図1 背景画像

に浮遊物が漂っている状況を模したシミュレーション動画を作成し、シミュレーション実験を行った。動画の背景として標準画像 Bridge、観測物体として標準画像 Lenna を使用する。Bridge と Lenna を合成した背景画像を図 1 に示す。

次に、前景となる浮遊物として 5×5 ピクセルの小さなモザイク画像を使用する。モザイク画像は 1 ピクセルごとにランダム関数を使用して輝度を決定したものを複数枚用意した。背景画像のサイズが 320×240 ピクセルであり、背景全体を覆うために前景画像を 3072 枚使用し 1 枚ずつ背景画像の左上から敷き詰め、全体に霞がかかったような画像を作成した。作成したシミュレーション画像を図 2 に示す。また、背景の上限輝度は 100、前景の上限輝度は 60 としており、輝度値がオーバーフローしないよう調整した。



図 2 シミュレーション画像

画像内の前景は毎フレーム 5 ピクセルずつ x 軸正の方向に移動させ、左端からは新しいモザイク画像が入ってくるように設定し、常に画像全体に霞がかかっているような状況を作成した。前景の移動量はトラッキングの探索範囲内に収まっている。1~60 フレームの間は定常状態とし、Lenna は移動しないが、61 フレーム以降、Lenna は 20 フレームごとに y 軸正の方向に 1 ピクセルずつ移動させ、徐々に変化する背景を再現した。この条件で 600 フレームの動画を作成した。

シミュレーション動画に提案手法を適用し、浮遊物除去と流れ情報取得の性能を定性的に確認した。図 3 は、浮遊物を右方向に一定速度で移動させた場合の流れ情報の推定結果である。なお、流れ情報は赤色の矢印にて画像中に示している。流れ情報が正しく推定できていることがわかる。図 4 は、浮遊物を上から下に移動させた場合、図 5 は左斜め上方から右斜め下方に向けて移動させた場合、図 6 は、各浮遊物がランダムに移動している場合の、それぞれ流れ情報推定結果である。いずれも正しく推定できていることがわかる。



図 3 流れ情報の推定結果（右方向）



図 4 流れ情報の推定結果（縦方向）



図 5 流れ情報の推定結果（斜め方向）



図 6 流れ情報の推定結果（ランダム）

(2) 実海域映像を用いた実験

提案手法を実際の海中画像に対して適用してみた。図 7 は、海底映像での流れの推定結果である。この映像では底質が砂泥であるため、水中カメラが着底した際に、周囲の砂泥が巻き上がって水中に追従して移動する。本実験結果では、移動する砂泥が検出できており、結果的に海底部

の流れ情報が推定できている様子がわかる。なお、図7において、左上の画像は入力画像、右上の画像は入力画像から浮遊物ある砂泥を除去した鮮明度の高い高品質画像、右下の画像は除去された海中浮遊物、左下の画像は海中浮遊物の動き情報から推定された流れ情報を示している。上述の通り、本提案は、高品質映像と高密度流れ情報を同時推定する仕組みとなっていることを示すものである。図8は、サンゴ礁における海中映像から流れ情報を推定したものである。

以上、水中に常時存在し、水流追従性の高い特徴を有しながら、今まで有効活用されていなかった藻類等の海中浮遊物を、センサとして利活用することで、「観測対象への影響が軽微で」「環境に優しく」「空間的に密で」「継続的に計測が可能な」水流情報を計測するシステムの開発に関する試みについて説明した。

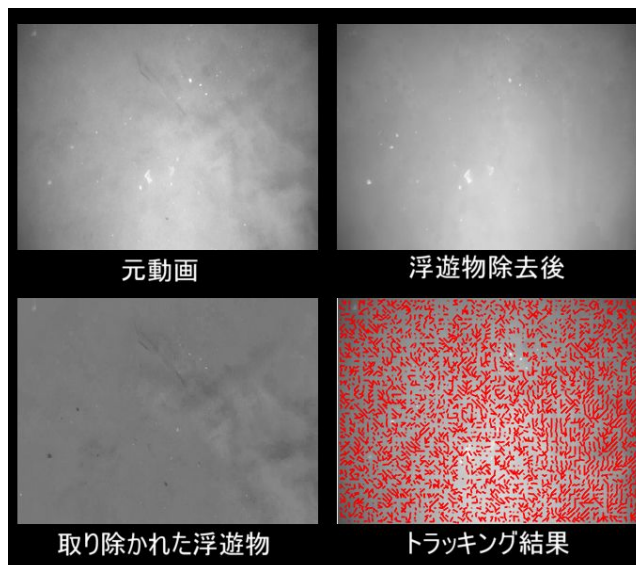


図7 流れ情報の推定結果（海底映像）

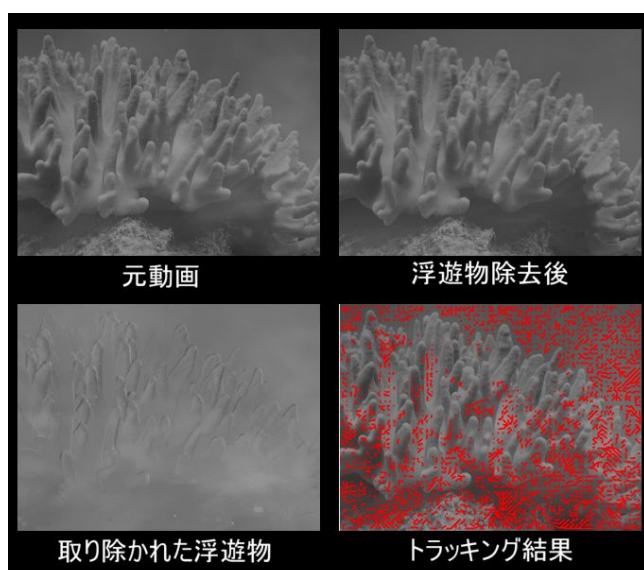


図8 流れ情報の推定結果（サンゴ礁映像）

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計13件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 5件）

1. 発表者名 戸田真志, 長瀬龍洋, 右田雅裕, 榎本洗一郎, 依谷賢悟
2. 発表標題 複数動物体追跡技術を用いたマグロ養殖漁業における魚数計測
3. 学会等名 2022年電気学会電子・情報・システム部門大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 長瀬龍洋, 右田雅裕, 榎本洗一郎, 戸田真志, 依谷賢悟
2. 発表標題 複数物体追跡技術を用いた魚類計数システムの高度化
3. 学会等名 情報処理学会火の国情報シンポジウム2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Shota Takaki, Masahiro Migita, Masashi Toda
2. 発表標題 Robust underwater sediment estimation using frequency analysis of environmental sounds
3. 学会等名 2021 IEEE 10th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shota Takaki, Masahiro Migita, Masashi Toda
2. 発表標題 Study on Bottom Sediment Classification by Complementary Use of Seafloor Images and Environmental Sounds
3. 学会等名 International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT) 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shota Takaki, Masahiro Migita, Masashi Toda
2. 発表標題 Research on robust sediment estimation by fine tuning that complementarily uses seafloor images and environmental sounds
3. 学会等名 International Workshop on Frontiers of Computer Vision (IW-FCV) 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shota Takaki, Masahiro Migita, and Masashi Toda
2. 発表標題 Study on the use of acoustic information to realize estimation of bottom sediment in water that is robust against secular change
3. 学会等名 The 15th International Student Conference on Advanced Science and Technology (ICAST2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 江頭誠, 右田雅裕, 榎本洗一郎, 小室孝, 戸田真志, 衆原康裕, 手塚尚明
2. 発表標題 カルマンフィルタを用いた海中画像の鮮明化に関する検討
3. 学会等名 第22回 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Makoto Egashira, Masahiro Migita, Koichiro Enomoto, Takashi Komuro, Masashi Toda, Yasuhiro Kuwahara, Naoaki Tezuka
2. 発表標題 Investigation of Influence of Change of Noise Variance in Removing Floating Matter from Underwater Images Using Kalman Filter
3. 学会等名 The 7th Asia International Symposium on Mechatronics(AISM2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 江頭誠, 右田雅裕, 榎本洗一郎, 小室孝, 戸田真志, 柴原康裕, 手塚尚明
2. 発表標題 トラッキング精度判定とカルマンフィルタによる水中動画の画質改善
3. 学会等名 動的画像処理実利用化ワークショップ(DIA2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 江頭誠, 右田雅裕, 榎本洗一郎, 小室孝, 戸田真志, 柴原康裕, 手塚尚明
2. 発表標題 トラッキング精度判定を用いたカルマンフィルタによる高ノイズ映像の画質改善と水中動画への応用
3. 学会等名 ビジョン技術の実利用ワークショップ(ViEW2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 江頭誠, 右田雅裕, 榎本洗一郎, 小室孝, 戸田真志, 柴原康裕, 手塚尚明
2. 発表標題 逐次分散変更を利用したカルマンフィルタによる水中映像の画質改善
3. 学会等名 ビジョン技術の実利用ワークショップ (ViEW2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 江頭誠, 右田雅裕, 榎本洗一郎, 小室孝, 戸田真志, 柴原康裕, 手塚尚明
2. 発表標題 カルマンフィルタの分散調整による水中映像からの浮遊物除去性能の検証
3. 学会等名 動的画像処理実利用化ワーク ショップ(DIA2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Makoto Egashira, Masahiro Migita, Koichiro Enomoto, Takashi Komuro, Masashi Toda, Yasuhiro Kuwahara, Naoaki Teduka
2. 発表標題 Removing Floating Matter from Underwater Images Using Kalman Filter
3. 学会等名 2019 8th International Conference on Informatics, Electronics & Vision (ICIEV) (国際学会)
4. 発表年 2018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

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