

令和 4 年 6 月 17 日現在

機関番号：32644

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K20440

研究課題名（和文）イメージング光散乱計の改良 -沿岸域海色リモートセンシング技術の向上研究-

研究課題名（英文）Improvement of an imaging volume scattering meter for coastal regions

研究代表者

丹 佑之（Tan, Hiroyuki）

東海大学・理系教育センター・講師

研究者番号：90770909

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、試作光散乱計に蛍光雑音対策を施し、今後の沿岸域用海色リモートセンシング技術の精度向上を目指した。主な研究成果は以下の通りである。試作光散乱計の受光センサ側ならびに入射光側に高透過率の光学フィルタを同期配置することで、蛍光雑音を除いた光散乱測定が可能となった。本測器の信号雑音比を改善する必要があるが、本研究成果は沿岸海水による蛍光雑音を取り除いた光散乱特性の基礎データベース構築の可能性を示した。以上の成果によって、今後の沿岸域海色リモートセンシング技術の開発における1つの指針を提示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

我が国では「持続的養殖生産確保法」を制定し、漁場・養殖場環境の維持管理を図っている。この目的を達成するには、対象海域における植物プランクトン現在量の継続モニタリングが必要である。従来の調査船を用いた定期的な現場試料採取と専門家による分析では、人手や予算的に非現実的である。養殖による水産資源の生産・維持・管理、さらには消費者に安全・安心な水産物の供給を行うため、沿岸域における海色リモートセンシングが期待されている。本研究成果を基にした沿岸域海色リモートセンシング技術をドローンや定点カメラに応用することで、より効率的な漁場・養殖場など沿岸域における広域モニタリングシステムが構築できる。

研究成果の概要（英文）：The main motivation of this study is to improve the prototype imaging scattering meter for dealing with the fluorescence noise, aiming at facilitating the ocean color remote sensing technology applying for coastal regions. The main point of the present output is summarized as follows;

The improved imaging scattering meter could efficiently obstruct the fluorescence noise by mounting an optical bandpass filter in front of an optical sensor, as well as a corresponding set in front of an incident beam. The imaging scattering meter presented in this study has a chance for establishing a database of optical scattering properties by coastal waters in order to stimulate the coastal ocean color remote sensing algorithm development, also it is still necessary to overcome the low signal-to-noise ratio of the instrument.

研究分野：海洋光学

キーワード：光散乱 海色 リモートセンシング 沿岸 植物プランクトン

1. 研究開始当初の背景

リモートセンシング技術は、対象物の時空間変動を瞬時に広域モニタリングできる。定点カメラやドローンに代表される無人航空機の発達およびその簡便さにより、我々はより身近にリモートセンシング技術を活用することが可能となった。海洋国家である我が国の漁業や養殖業を持続・発展させるために、水産資源の一次生産者である植物プランクトンの広域モニタリングシステムが期待されている。海色リモートセンシングとは海の色から海洋環境パラメータを推定する技術であり、植物プランクトン現在量の継続的な広域調査で有用な役割を果たしている。しかし、漁業・水産業にとって重要な沿岸域に海色リモートセンシング技術を適用させるのは未だ困難である。沿岸域の懸濁物質組成は河川などからの流入の影響を受け時空間的に変動しやすい。そのため外洋域と比較して、沿岸域における海色リモートセンシングによる海洋環境パラメータの推定精度は低いのが現状である。この問題を解決するため、沿岸海水に懸濁している物質による光散乱特性が要求されている。

海の色は懸濁している物質の種類とその濃度によって変化するため、海は同じ場所であっても日々様々な色を呈する。この海の色は懸濁物質による光学的特性（光散乱特性と光吸収特性）で決まる。海色リモートセンシングで特に重要なのは、海色データから懸濁物質情報を抽出する海色情報処理システムである。懸濁物質による光散乱特性と光吸収特性は、その基礎データとして用いられる。光吸収特性に関する研究は進められている。一方、光散乱測定は困難であるため、沿岸海水物質の光散乱特性に関する知見は限られている。そのため世界的に現在の海色情報処理システムは光吸収特性をベースに作られている。すなわち光散乱特性を基礎データとして組み込んだ次世代海色情報処理システムを構築することで、沿岸域における海色リモートセンシング技術を向上できる可能性がある。光散乱特性に関する知見不足を解消するため、近年も光散乱計の開発が進められている。しかし、沿岸海水には多くの蛍光物質が含まれ、その物質濃度構成の割合も不明である。現行の光散乱計は蛍光雑音対策が施されていないため、沿岸海水の光散乱測定では測定誤差となる。また測定後の蛍光雑音補正は困難である。従って蛍光雑音を遮断しつつ光散乱を測定することが望ましい。この問題が解決できれば、沿岸域用海色リモートセンシング技術の精度向上に大きく貢献できると考えられる。

これまでに申請者は、上記のことを踏まえ沿岸域を中心とした海色リモートセンシングの基礎研究に照準を合わせて研究を行ってきた。例えば光散乱特性の知見不足問題を解決するため、本研究の先行研究となる光散乱特性を瞬時に測定できる多波長イメージング光散乱計（試作機）を開発している。この結果から植物プランクトンによる光散乱特性は、その種類ごとにそれぞれ異なることを確認した。また可視域における光散乱特性が海色にどのように影響するか、など新たな知見を得、海色情報システムにおける光散乱特性の重要性を確認している。また、同試作機に改良を施すことで、蛍光雑音対策が行える可能性を確認している。以上の特色ある背景を生かした本研究は、沿岸域用海色リモートセンシング技術の向上および構築に有効な成果を創出する高いポテンシャルを有する。

2. 研究の目的

本研究は、実計測結果を基にした、より高精度な沿岸域海色リモートセンシング技術の向上を目指すことを目的とする。そのために、光散乱特性を瞬時に計測できる試作機を改良し蛍光雑音対策を施し、海色情報処理用基礎データベースを構築できる基盤形成を目指す。

3. 研究の方法

1) 試作光散乱計の改良（蛍光雑音対策の実施）:

高透過率な特定の波長の光のみを通す光学フィルタを利用し、試作光散乱計に蛍光雑音対策を施す。フィルターホイールに取り付けた計12可視域波長の光学フィルタを入射光側と受光センサ側にそれぞれ設置する。高精度な位置制御が可能なステッピングモータを用いて、両光学フィルタ波長を同期させ、センサに到達する蛍光雑音を遮断する。

2) 測器が持つ機械定数の決定:

試作光散乱計は測定する散乱角によって受光センサが見る体積が変化する（体積は入射光幅と受光センサの視野角で決まる）。また試作光散乱計は鏡面加工された反射体を組み合わせて製作されている。そのため測定する散乱角において鏡面反射率が均一とは限らない。従って計測器がもつ機械定数は散乱角の関数として実験で求める必要がある。蛍光物質が溶媒に懸濁している場合、その蛍光光の角度分布は等方（角度に対し均一）である。よって蛍光による出力値変化は、測器が持つ各角度における機械定数と仮定できる。本研究では蛍光物質を用いて実験から機械定数を求めた。

3) 改良型光散乱計の基本性能評価:

Latex 標準粒子（無色、純水中分散）およびメタノールなど光学的に純粋な水による光散乱特

性は、光散乱理論から数値計算することが可能である。また、メタノールの光散乱強度は自然海水などに比べ極めて小さく、その測定は非常に困難である。そこで本研究では、Latex 粒子およびメタノールによる光散乱強度分布を測定し、数値計算結果とグラフの形状を比較した。最後に沿岸海水による光散乱強度分布を測定し、蛍光雑音対策の有無の違いによる光散乱強度分布への影響を調べた。これらの結果を基に改良型光散乱計の有効性を検証した。

4. 研究成果

1) 試作光散乱計の改良 (蛍光雑音対策の実施):

図1に本研究で試作機に行った蛍光雑音対策の様子(光源側)を示す。光源とサンプルの間に特定の波長のみを通過する計12個の光学フィルタを配置している。この光学フィルタを用いて光源から発生した多色光(白色光)から単色光を取り出しサンプルに照射する。ステッピングモータを用いてフィルタ-ホイールを回転させることで単色光の波長を変更することが可能である。同システムを受光センサ側にも同期配置している。その結果として受光センサに到達する蛍光は遮断され、受光センサは入射光と同一波長の散乱光のみを検知する。

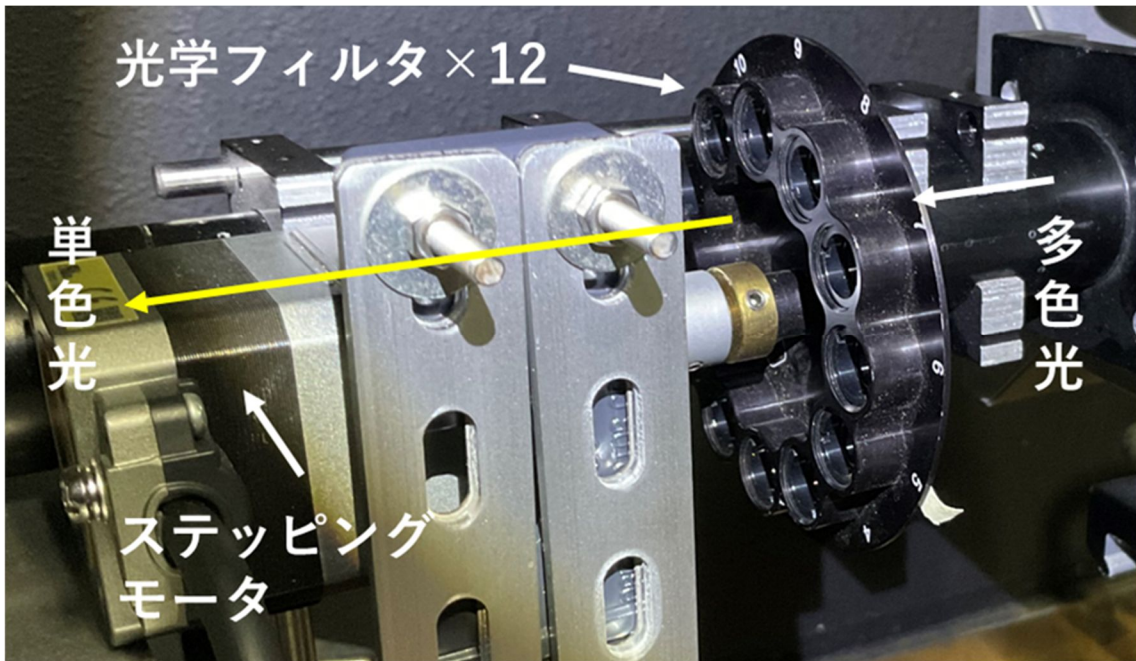


図1 試作光散乱計に施した蛍光雑音対策の様子(光源側)。同システムを受光センサ側に同期配置している。

2) 測器が持つ機械定数の決定

図2に実験的に求めた本測器の機械定数の結果を示す。入射する平行光線および受光センサの視野角が完全に平行であり、かつ試作光散乱計の鏡面反射率が全散乱角において均一であると仮定する。このとき測器がもつ機械定数と測定角度のグラフ形状はsin関数の逆数であると仮定できる。実験結果より本測器の機械定数は $1/\sin$ 関数とほぼ一致していた。

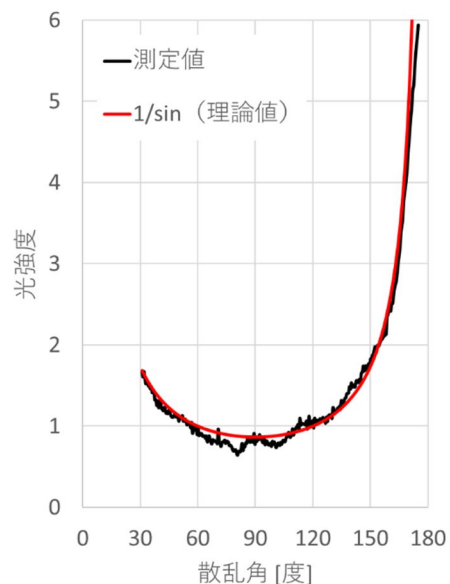


図2 改良型光散乱計の機械定数の角度分布(60度で規格化)。励起波長:500 nm、測定波長:525 nm

3) 基本性能評価:

Latex 標準粒子による光散乱強度分布の測定結果と数値計算結果の比較を図3に記す。光散乱理論を用いて計算されたLatex 標準粒子のログスケールにおける光散乱強度分布の特徴は、次の通りである。特徴 : 30~90度にかけて直線的に右肩下がりで減少する。特徴 : 90度付近が最も低くなる。特徴 : 120度付近に小さなピークを形成する。特徴 : 130度付近にもピークを形成するが、その強度は120度付近のものに比べ低くなる。特徴 : 135度から150度にかけて直線的に右肩下がりで減少する。その勾配は特徴に比べ緩やかである。特徴 : 150度から180度にかけて直線的に右肩上がりが増加する。測定結果はこれら

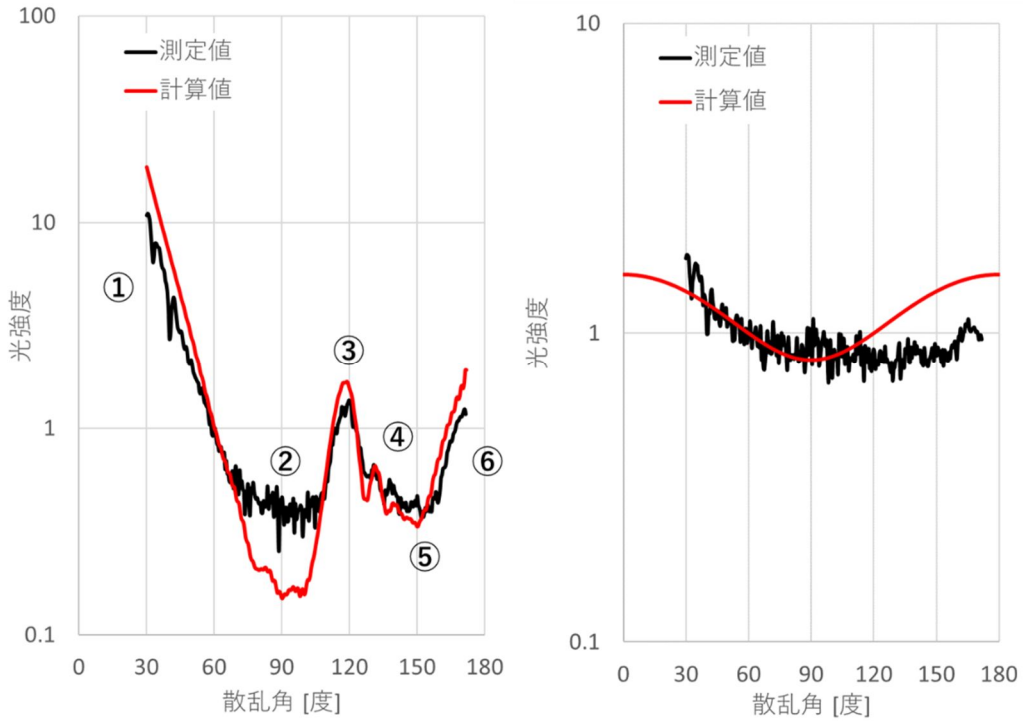


図3 (左) Latex 標準粒子による光散乱強度分布 (測定値) と光散乱理論より求めた計算値との比較 (60 度で規格化)。図中の数値は Latex 標準粒子による光散乱分布の特徴に対応 (本文参照)。Latex 粒子径: 14.7 μm 、測定波長: 550 nm。

図4 (右) メタノールによる光散乱強度分布 (測定値) と光散乱理論より求めた計算値との比較 (90 度で規格化)。測定波長: 白色光

の特徴と一致していた。ただし特徴 において計算値と違いが生じていた。

メタノールによる光散乱強度分布の測定結果と数値計算結果の比較を図4に記す。メタノールの光散乱強度は自然海水などに比べ極めて小さい。単色光では十分な出力信号を得られなかったため白色光を用いて測定した。メタノールの光散乱強度分布は、図4に示すように90度に関して左右対称となる。測定値は30度~90度付近は計算結果と類似しているが、120度以降は差が出ていた。

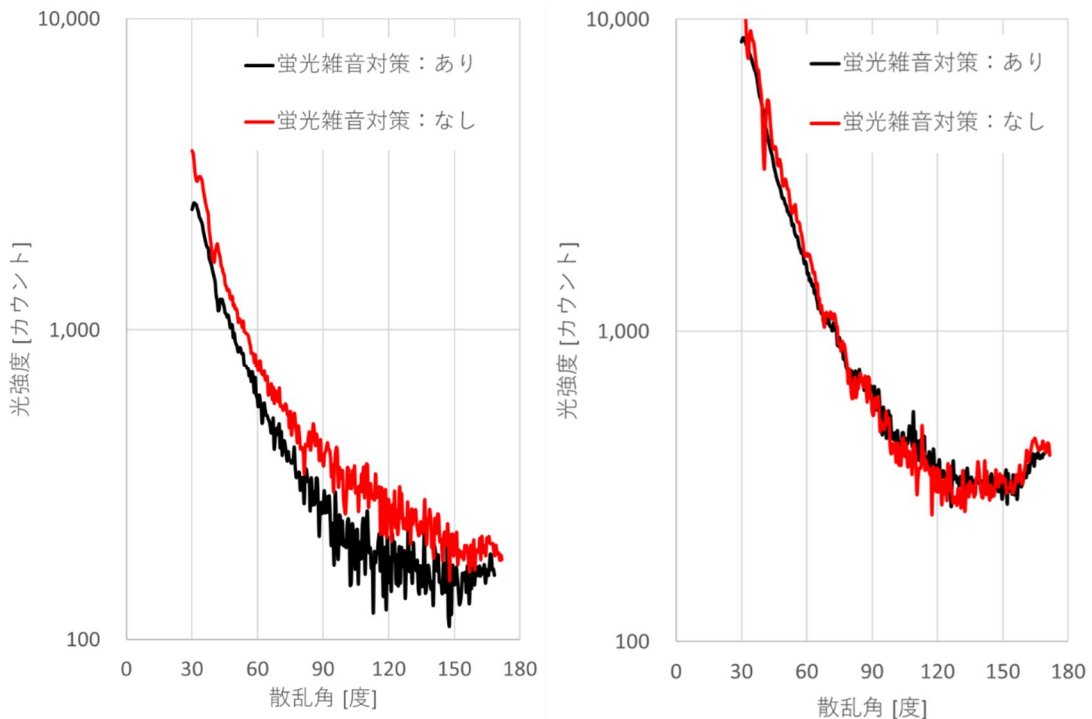


図5 沿岸海水による蛍光雑音対策の有無における光散乱強度分布の違い。測定波長: 425 nm (左図)、650 nm (右図)。サンプル: 静岡県清水区 三保海岸沿岸

図5に三保沿岸海水による蛍光雑音対策の有無における光散乱強度分布の違いを記す。測定波長 650nm では蛍光雑音対策の有無による光散乱強度に大きな違いは見られなかった。またグラフの形状においてもほぼ近似していた。しかし測定波長 425nm では光散乱強度に蛍光と思われる影響が見られた。蛍光対策ありの光散乱強度は蛍光対策なしと比べ、全体的に約5%高くなっていた。ただしグラフの形状に関しては大きな違いが見られなかった。

これらの結果から試作光散乱計に施した蛍光雑音対策は機能しており、本測器は蛍光雑音を遮断しつつ光散乱を測定が可能である。しかしメタノールなど光学的に純水な水における光散乱測定においては信号雑音比が低く十分な出力信号を得られておらず、計算結果と違いが生じている。この問題を解決すべく現在迷光対策や光散乱出力信号の増幅に取り組んでいる。沿岸域における海色リモートセンシング技術を向上させるためには、沿岸海水による蛍光雑音を取り除いた光散乱特性の基礎データベースを構築し、その特性を反映させた次世代海色情報処理システムが必要であると思われる。今後の大きな課題は、沿岸海水による光散乱特性の時空間的な変化を捉えるべく、ルーティン的な光散乱の観測手法を確立するという点にある。その意味で蛍光雑音対策を施した光散乱計の開発は大きな意義があり、今後の研究推進における重要な方向性の1つである。

また本研究で得られた結果から、ドローンを用いた沿岸域におけるルーティン的な海色データの観測手法に関する論文を投稿し出版された。また、この論文内容に関し国際学会で発表を行った。これは、本研究の基礎的研究に位置づくものであり、次世代海色情報処理システム開発において重要である。

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 Tan Hiroyuki, Oishi Tomohiko, Tanaka Akihiko, Katsumata Takaaki, Niki Masato	4. 巻 111970M
2. 論文標題 Multi-band optical imaging sensor for coastal ocean color remote sensing	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of SPIE	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） 10.1117/12.2542607	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1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Tan Hiroyuki, Oishi Tomohiko, Tanaka Akihiko, Katsumata Takaaki, Niki Masato
2. 発表標題 Multi-band optical imaging sensor for coastal ocean color remote sensing
3. 学会等名 SPIE Future Sensing Technologies, 2019, Tokyo, Japan（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
---------------------------	-----------------------	----

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