

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年3月31日現在

機関番号：12614

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2011

課題番号：20560745

研究課題名（和文） 蛍光と偏光散乱画像を用いた海洋生物群観測手法の研究

研究課題名（英文）

A study of oceanographic laser sensing using fluorescence and polarization

研究代表者

山岸 進（YAMAGISHI SUSUMU）

東京海洋大学 産学・地域連携推進機構・客員教授

研究者番号： 20422579

研究成果の概要（和文）：本研究は、ライダーにより水中の微粒子や生物群を計測するためのフィジビリティ・スタディである。微粒子による光散乱の偏光特性を観測するとともにミー散乱を基にシミュレーションした値と比較・検討し、適用条件を推定した。別途、生物のレーザー誘起蛍光を観測するとともに資料を収集した。In-situ 計測のためパルスレーザーを使用した偏光画像観測装置を製作し、計測機能を確認した。水中における背景光成分を推定し、信号雑音比を評価した。

研究成果の概要（英文）：This is a feasibility study for developing for measuring underwater particulates and bio-group using a lidar techniques in which polarization and fluorescence are applied. For this purpose, we have investigated polarized diffusion images scattered by particulates and presumed scattering images by a simulation. Also data of laser induced fluorescence of fishes were obtained. Then we have developed a polarized imaging system using the pulse laser, and estimated its SNR in underwater conditions.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2009年度	500,000	150,000	650,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
年度			
総計	3,800,000	1,140,000	4,940,000

研究分野：海洋環境

科研費の分科・細目：総合工学・船舶海洋工学

キーワード：海洋探査、海洋環境、ライダー、Mueller matrix

1. 研究開始当初の背景

海洋調査は主として船舶による音波、トロール、サンプリングによって行われてきた。しかし、種や海域を限ったとしても、時間と労力を要する困難な仕事であり、移動の速い

群は調査船を避けてしまう等の問題があった。また、海洋生物のなかには、透明体でカモフラージュするものがあり、その多くは偏光特性を有することが知られている。偏光を用い

たライダー (Lidar) によれば、遠隔からこれらの対象をより迅速に計測できると期待される。しかし、光計測は、境界面、散乱や吸収の影響が大きく、更に、水中に浮遊する粒子、気泡、生物群等、質やサイズが極めて多様で、それらの水中光観測へ与える影響には未知な部分が多く、開発に際しては、事前にこれら进行评估する必要がある。

2. 研究の目的

偏光散乱の実測を行うと共に散乱の偏光特性をシミュレーションし、計測手法の適用条件を推定する。装置計測精度の向上と処理の高速化改良を実験で確認し、この結果を基に In-situ 計測に適用できる偏光画像観測手法を開発する。並行して種を同定するためのレーザ誘起蛍光データを収集する。

光減衰の大きい水中において、信号から有効な情報を抽出するには、多様な雑音要因を総合的に評価することが不可欠である。浅海域の主要な背景光要因である太陽光強度について、静的な自然光を評価し、海洋環境に適用できる計測手法とその要件を算定する。

3. 研究の方法

次の研究を実施した。

(1) 室内実験で、懸濁粒子にレーザを照射し、入射スポット周辺の偏光散乱画像を観測するシステムを製作した。本装置は照射光と受光系の偏光状態を自由に設定できるように設計し、両者を適宜組み合わせで取得した画像から、偏光特性を Mueller Matrix の形で算出した。この手法により Mueller Matrix 要素に及ぼす粒子特性及び多重散乱の影響を明らかにして、識別手法としての有効性評価した。

(2) 一方、散乱画像の偏光状態をシミュレーションし、実験で得られた値と比較して計算

モデルの有効性を確認した。このシミュレーションを使って、測定対象の散乱パラメータの変化に対する Mueller Matrix 要素の変化を算出し、計測手法の適用限界を推定した。

実験で取得した微粒子の偏光観測結果と種を同定するためのレーザ誘起蛍光スペクトル計測結果及び文献資料をデータ・ベース化した。

(3) 上記の偏光特性計測手法の有効性を確認した後、In-situ 計測に適用するための装置を開発した。実海域では変化の速い現象を捉える必要があるため、光源としてパルスレーザを用いて、対象の後方散乱光を計測することが有効と考えられる。装置は偏光特性 (Stokes-Vector) を決定するために必要な 4 画像を同時に取り込めるようなフィルター・セットを備えた計測システムとし、実験を行った。

(4) 計測システムの設計には事前の SNR (信号雑音比) の評価が必要である。野外計測の雑音要因の重要な成分である水中における太陽光強度を、偏光を考慮した水中光放射伝達を計算により推定し、これに基づき適用手法とその要件を算定した。

4. 研究成果

得られた成果は以下である。

(1) 懸濁粒子の後方散乱画像を観測して、偏光特性を Mueller Matrix の形で表示した。実験で求めた Mueller Matrix 要素とシミュレーション結果を比較検討して粒子計測手法への適用を検討した。

図 1 (a) は、標準試料 (1 μm : Latex) 水溶液に偏光 (水平) した細いビーム (波長 633nm、直径約 2mm) を照射し、交差 (垂直) 検光子を通して観測した画像である。画像の中心部はミラーに開けたビーム入射穴のため欠落

している。上部の細い線はOptical maskの懸垂線である。

図1(b)はRayleigh散乱を想定して計算によりシミュレーションした画像である。Rayleigh散乱のパターンの特徴が粒径 $1\mu\text{m}$ の標準試料でも維持されていることが分かる。

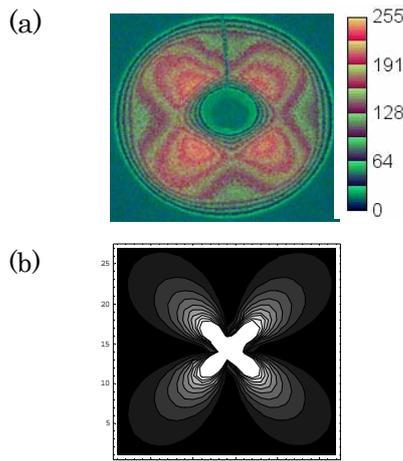


図1 観測画像とシミュレーション

Mueller Matrix 16要素に対応する各画像を詳細に比較検討するため、光強度を数値化して、クローバ・パターンの中心を軸とした円周上の値を円周角に沿ってプロットした。

図2は、標準粒子($15\mu\text{m}$ 、 $0.5\mu\text{m}$)、豆乳、プランクトンの偏光特性(M_{12})を比較したものである。グラフの縦軸は M_{11} (入射部無偏光、受光部無検光子)で正規化した値、横軸は円周角を示す。豆乳、プランクトン(約 $4\mu\text{m}$)の振幅は近い値を示し、大、小の標準粒子の振幅の中間の値を示している。このように16要素の中でも、 M_{12} と M_{21} 要素は粒子サイズ(球形)の影響が明瞭であり、偏光画像から粒子の大きさを判別できると考えられる。

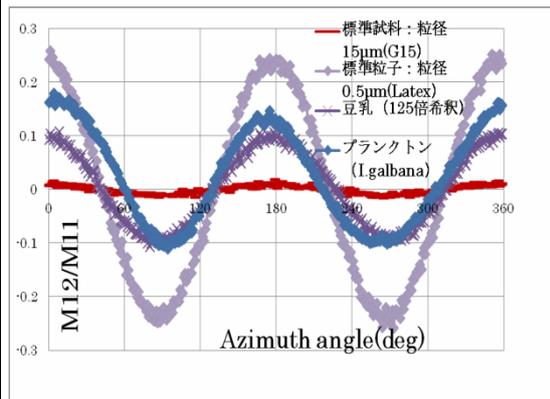


図2 Mueller Matrix 要素 M_{12} の強度分布

(2) シミュレーションにより、計測手法の適用限界を粒子パラメータの観点から推定した。図3は、球形粒子のミー散乱を想定して Mueller Matrix 要素 M_{12}/M_{11} をモンテ・カルロ法によりシミュレーションしたものである。グラフの縦軸は M_{12}/M_{11} 、横軸はクローバ・パターンの中心から半径方向($\phi=90^\circ$)距離を示す。粒子径が大きくなると振幅変化が小さくなることが示されており、粒径に対する要素 M_{12} の測定結果図2の傾向と良く一致していることが分かる。この計算結果から、粒子径の影響が明瞭に表れる度合いを推定することができる。

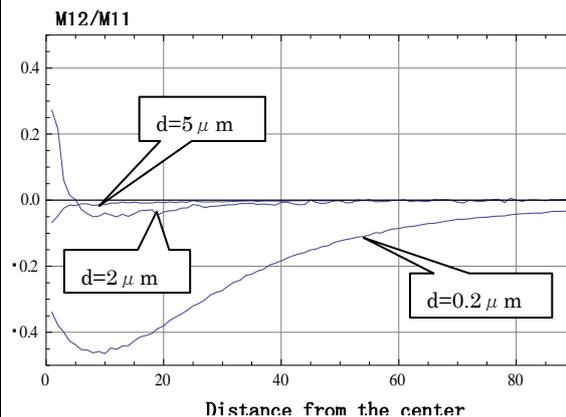


図3 M_{12} 強度分布シミュレーション

これ等の計算結果及び微粒子の偏光観測結果をデータ・ベース化し、検索可能にして

保存した。また、Lidar 観測において、ピークパワーの十分高いパルスレーザを用いれば誘起蛍光を観測することが可能で、種特有の蛍光スペクトルから同定情報を取得することができる。本研究では蛍光スペクトル計で海洋生物（プランクトン、イカ、甲殻類等）のレーザ誘起蛍光を計測するとともに文献等で収集した資料をデータ・ベース化した。

(3) 実海域での In-situ 計測に適用するためには、変化の速い現象を捉えることが必要とされるため、光源としてパルスレーザを用いて、対象の後方散乱光を計測することが有効と考えられる。

予備実験で、高さ 20m の実験塔でライダーによる画像取得実験を行い、直下のプールで遊泳する鯉を画像観測できることを確認した。このシステムを改良し、パルスレーザ (Nd:YAG 532nm) を光源とし、受光部は偏光特性 (Stokes-Vector) を決定するために必要な 4 画像を同時に取り込めるフィルター・セットを備えた装置とした。

画像間のずれを演算補正し、チェス・ターゲットを用いて検証実験を行うことにより精度向上を図った結果、In-situ 計測で、画像の偏光状態をパルスレーザで観測できることが分かった。

図 4 は、異なる偏光子を前置した受光部 (4 眼カメラ) で取得した画像を演算処理したものである。No.1 は垂直偏光素子、No.2 は水平偏光素子、No.3 は 45° 偏光素子、No.4 は円偏光素子を装着している。ターゲットとして中央に硝子板を傾けて設置した。No.1、No.2、No.3 は変化が少ないが、No.4 に大きな違いがみられる。透明なターゲット (透明硝子) を偏光画像として顕在化でき、偏光計測の効果が確認された。

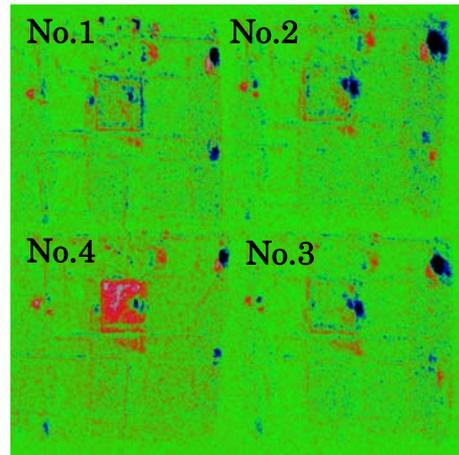


図 4 硝子ターゲットの偏光計測

(4) 計測システムの SNR 評価を行うには、信号強度と背景光強度及びそれ等の揺らぎ成分を推定しなければならない。

受信強度は対象までの距離、レーザ光強度、検知器感度、計測対象の散乱係数、水質及びライダーの減衰係数 (α) によって決まる。このライダーの減衰係数はビーム拡がり角、受光視野角、水質によって変化する。ビーム拡がり角が大きい場合、多重散乱効果を考慮した拡散減衰係数に近い値となる。また、視野角が大きいと受信信号は強くなるが、背景光強度も強くなり、SNR に及ぼす効果は状況によって異なる事となる。

一方、背景光となる水中散乱光強度は太陽高度、水面、水質の影響を受け、偏光を考慮しない場合に比して、最大約 30% の差があるとの報告がある。

図 5 は、ライダーの減衰係数 α をパラメータとして、深度に対する SNR を試算したものである。 α は水質とレーザビームの特性と受光視野角に大きく依存する。ビームが非常に細い場合はビーム減衰係数にほぼ等しく、広がりを持つ場合は放射伝達における拡散減衰係数に近い値となる。

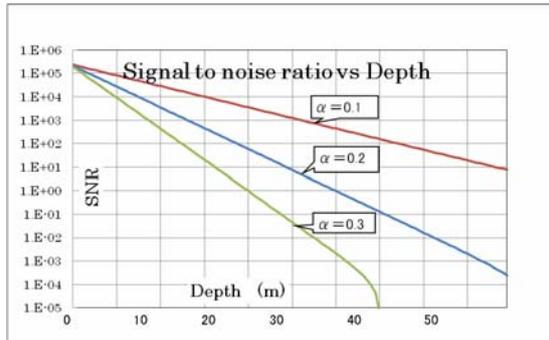


図5 信号雑音比と深度

揺らぎ成分は表面状態によって大きく変化する。また、背景光強度は太陽高度、天候によって大きく変化する。このため、観測システムは、状況に合わせた調整可能な機能が必要と考えられる。また、SNRの改善には、受光部に狭帯域フィルター使用、あるいはモジュレーションを用いた受光システムを組む等の工夫が有効と考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計6件)

1. 山岸 進、村山利幸、懸濁液の後方散乱偏光解消度の測定、第29回レーザーセンシングシンポジウム、2011年9月8日、石川県七尾市
2. 樋富和夫、山之内博、篠野雅彦、山岸進、海上漂流物質のRGBカラーモデルによる分類法についてⅢ、第29回レーザーセンシングシンポジウム、2011年9月8日、石川県七尾市
3. 山岸 進、村山利幸、懸濁粒子の後方散乱偏光強度分布の測定、第28回レーザーセンシングシンポジウム、2010年9月9日、滋賀県大津市
4. 樋富和夫、山之内博、篠野雅彦、山岸進、村山利幸、荒川久幸、海上漂流物質のRGB

カラーモデルによる分類法についてⅡ、第28回レーザーセンシングシンポジウム、2010年9月9日、滋賀県大津市

5. 山岸 進、村山利幸、2次元後方散乱Mueller Matrixの測定：誤差の評価、第27回レーザーセンシングシンポジウム、2009年9月9日、那須
6. 山岸 進、村山利幸、懸濁粒子の後方散乱偏光強度分布の測定、第26回レーザーセンシングシンポジウム、2008年9月9日、北九州市

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山岸 進 (YAMAGISHI SUSUMU)
東京海洋大学・産学・地域連携推進機構・客員教授
研究者番号：20422579

(2) 研究分担者

村山利幸 (MURAYAMA TOSHIYUKI)
東京海洋大学・海洋工学部・教授
研究者番号：50200308

荒川久幸 (ARAKAWA HISAYUKI)
東京海洋大学・海洋科学部・教授
研究者番号：40242325

(3) 連携研究者

樋富和夫 (HITOMI KAZUO)
海上技術安全研究所・上席研究官
研究者番号：70415800