

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 10 日現在

機関番号：10101

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25550005

研究課題名(和文) 小型飛翔体搭載用偏光観測カメラの開発

研究課題名(英文) Development of polarization camera for micro-satellite and drone

研究代表者

高橋 幸弘 (Takahashi, Yukihiro)

北海道大学・理学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：50236329

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：飛翔体からの偏光観測は、樹種の判別や雲・エアロゾル粒子の粒径分布の推定等の応用に大きなポテンシャルを持つが、従来型は装置のサイズ、重量などの点で飛翔体搭載に適さず、普及は進んでいない。本研究では、可動部や電気素子を一切用いない画期的な偏光計測技術を応用し、超小型衛星やドローンにも搭載可能な偏光カメラの開発を行った。10x10x20cmの軽量・コンパクトな試験機を完成させ、実験室での撮像実験の結果、完全な偏光情報を導出できることを確認した。さらに生きた植物と模造品との違いを検知する等、高い性能を認めた。本研究により、小型飛翔体による偏光情報のリモート観測に目処を立てることができた。

研究成果の概要(英文)：Though polarimetry from satellite or airplane has a great potential in identifying tree species or in measuring size of the cloud particle, this methodology has not been common since the conventional polarization camera is too large, heavy and complicated. In this study, we succeeded in developing a small and light polarization camera with a dimension of 10 x 10 x 20 cm suitable for micro-satellite or small drone, using new technology of polarimetry which doesn't need moving device. Basic optical performance was confirmed in the laboratory experiment. Also it was found that this polarization camera has a high ability to distinguish a living plant from an imitation. In summary the methodology of new type of polarization camera applicable to the micro-satellite/drone use was established.

研究分野：光学リモートセンシング

キーワード：偏光計測 飛翔体搭載 リモートセンシング

### 1. 研究開始当初の背景

津波や洪水など広域の災害監視や、気候変動を理解するための気象や森林植生などの地球規模の環境計測の重要性は年々高まっている。人工衛星など飛翔体を利用したリモートセンシングは、そうした目的を達成する数少ない手段として期待されている。しかしながら、様々な物理・化学量を直接測る「その場計測」に比べ、得られる情報の種類や精度が限定されてくることも事実である。近年では、従来のRGBの3色撮像に加え、詳細なスペクトル情報が得られる分光撮像カメラが一部の衛星に搭載されるようになっており、成果をあげつつある。しかし、それでも情報量の不足は否めず、リモートセンシング普及の妨げの要因になっている。ここで注目されるのが光の偏光観測である。偏光観測は、反射体の表面の詳細特に形状に関する情報を提供する、スペクトル観測を補う重要な手段である。しかしながら、従来の偏光計測は、偏光板をモーターで回転させる方法が主流であり、サイズ、重量がかさむ上、モーターの回転に時間を要した。そのため、リソースが限られる上に移動を伴い、さらに故障を嫌う衛星など飛翔体への搭載は、極めて限られており、その応用可能性の検討も必ずしも十分ではないというのが現実である。

### 2. 研究の目的

今回の研究では、分担者の発明である、可動部や電気素子を一切用いずに偏光の完全な情報(4個のストークスパラメータ全て)を2次元画像で得られる技術を応用することで、小型・軽量で完成後の制御・調整が不要な偏光カメラを開発し、その基本性能を試験観測で確認し、小型飛翔体による偏光情報のリモート観測に目処をつけることが目的である。

### 3. 研究の方法

研究代表者の所属する理学研究院と分担者の所属する工学研究院が有する2つの光学実験室で、偏光素子を用いた偏光カメラの開発を両者の密接な連携の下に遂行した。

最初に、将来の衛星搭載を念頭に置いた、サバール板を用いた偏光計のプロトタイプ的设计を行った。同原理によるこれまでの偏光計は大型のものが多かったため、衛星に搭載できる大きさにする必要があった。また衛星に利用できる機器についても制約があるため、それらのパラメータに最適化を行った。これらを踏まえて、衛星搭載用のプロトタイプ的设计を進めた。

製作と平行して、同原理に基づく偏光計の実験室モデルを用いて、散乱物体測

定の基礎実験を行った。これまでの同原理による偏光計の実証実験は、主に、光を直進透過させる透明物体を用いて行われており、リモートセンシングが対象とするような強散乱体への適用はあまり行われていなかった。そこで、強散乱体を測定試料としたときにどのような問題が生じるか、さらにはそれについてどのように解決すべきかについて詳細な検討を行った。その上で、それらの問題について克服策を検討し、装置全体を設計、製作した。

完成した装置を用いた実験室での試験撮像を行い、光学的な基本性能の評価を行った。また生きた植物と模造品を使って、それらの違いが見分けられるかの実験を行った。

### 4. 研究成果

強散乱体を測定試料としたときにどのような問題が発生するかを検討した結果、物体の照明条件によってはスペックルが大きな障害となりうることを見出し、それを受光ないし照明条件の調整によって緩和できることを示した。

完成した装置を用いて、室内で試験撮像実験を行った。図1に、試験のためのセットアップの状況(透過光)を示す。図2の組み合わせ偏光素子を挿入して撮像を行った。

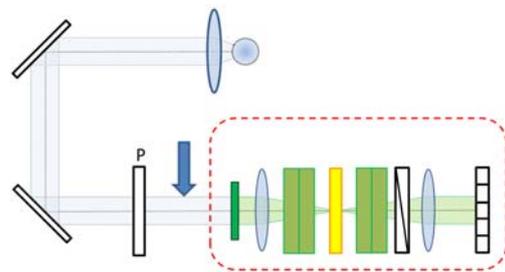


図1. 試験のためのセットアップの状況(透過光)

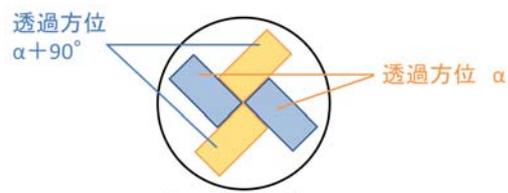


図2. 組み合わせ偏光素子

撮像結果を図3に示す。この光強度画像を処理することによって、各ストークスパラメータを復調し2次元で表現することに成功した。次に、図4のセットアップで、散乱体の撮像を行い、サンプルの角度(入射光/反射光)を適切に調整することで、金属片のような鏡面反射を含む対象でも、偏光情報が適切に得られることを確認した。

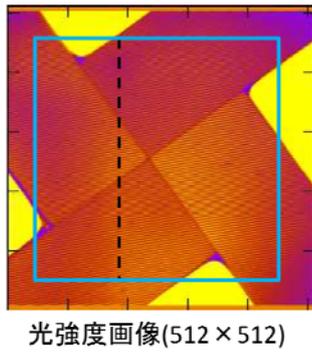


図 3. 透過光で撮像された組み合わせ偏光素子の光強度画像

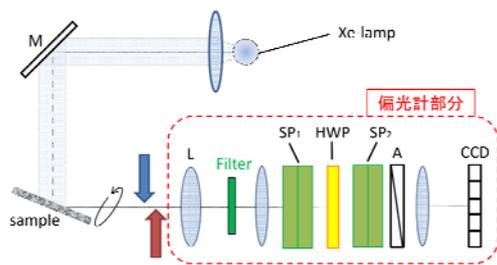


図 4. 反射光の撮像試験

この画像の解析から、新たに開発されたカメラで、設計通り完全な偏光情報（4個のストークスパラメータ）を導出できることが確認できた。

さらに生きた植物と模造品の比較のための撮像を行った。セットアップを図 5 に示す。

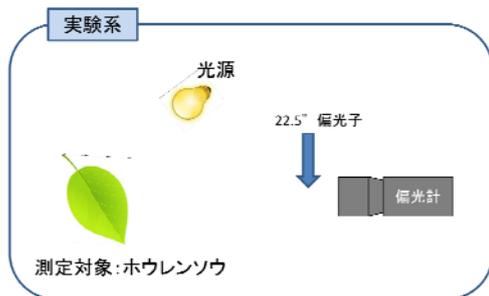


図 5 植物の撮像実験

得られた光強度画像（図 6）と、復調されたストークスパラメータの画像（図 7）を示す。

通常のカメラ画像では判別できないそれぞれの葉脈の状態について、違いを検知できることが明らかになった。

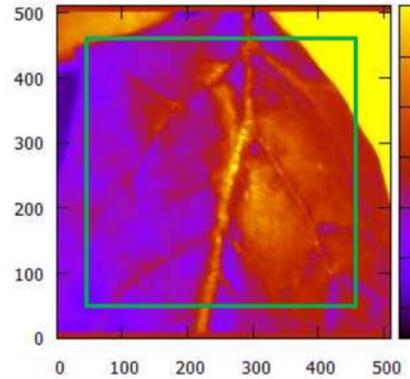


図 6. ほうれん草の光強度画像

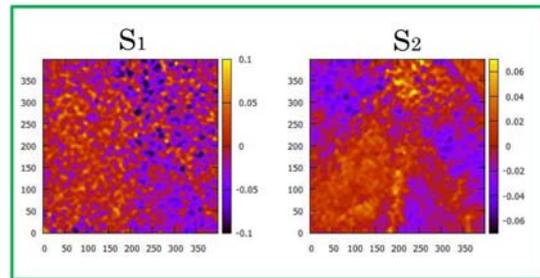


図 7. ほうれん草のストークスパラメータ画像 (S1, S2)

本研究によって、本体の大きさが 10 x 10 x 20cm 余りと小型ながら精密な偏光情報を可動部無しで取得できる計測装置の開発に成功し、その基本性能を確認することができた。これにより、小型飛行体による偏光観測に目処を立てることができ、衛星搭載モデルの設計・製作に入れる段階となった。

一方、宇宙飛行体機器としての環境耐性試験及びフィールドでの試験観測を実施することを予定していたが、これは 27 年度以降の課題となった。

#### 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)

〔雑誌論文〕(計 1 件)

岡 和彦, "空間キャリアを用いたチャンネルド偏光計測法に基づくスナップショット偏光分布計測," 光学, 査読有(解説記事), Vol. 44 (2015)

〔学会発表〕(計 5 件)

高橋幸弘, "Roles of Asian Micro-satellite Consortium", 日本地球惑星科学連合 2015 年大会, 2015 年 5 月 25 日, 千葉幕張メッセ

栗原純一, 高橋幸弘, "Liquid crystal tunable filter technology for the multispectral remote-sensing by micro-satellite", 日本地球惑星科学連合 2015 年大会, 2015 年 5 月 25 日, 千葉幕張メッセ

Oka, K., "Robust wavelength-scanning interferometer based on channeled spectropolarimetry (招待講演)", ISOT2014 International Symposium on Optomechatronic Technologies, 2014 年 11 月 6 日, Hotel Deca in Seattle, Seattle, WA, USA

Oka, K., "Snapshot Imaging Polarimetry Using Spatial Carriers (招待講演)", ISOT2013 International Symposium on Optomechatronic Technologies, 2013 年 10 月 29 日, Ramada Plaza Jeju Hotel, Jeju, Korea

岡 和彦, "干渉屋から見た偏光計測 (招待講演)," 第 51 回光波センシング技術研究会, 2013 年 6 月 5 日, 東京理科大学 森戸記念館, 東京都新宿区

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計 0 件)

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

高橋 幸弘 (TAKAHASHI, Yukihiro)  
研究者番号: 50236329

### (2)研究分担者

岡 和彦 (OKA, Kazuhiko)  
研究者番号: 00194324