

UAV 搭載デジタルカメラ画像を用いた
樹木の二方向性反射特性
Bidirectional reflectance distribution factor(BRDF) of trees
using UAV-mounted digital camera images

高知工科大学大学院
工学研究科基盤工学専攻
社会システム工学コース
国土情報処理工学研究室
1265059 若吉慧門
指導教員 高木方隆
副指導教員 佐藤慎司
論文副審査 赤塚慎

2024 年 1 月 17 日

論文要旨

衛星リモートセンシングでは、衛星に搭載したさまざまな観測周波数のセンサから表層や地表からの反射光の観測を行っている。多時期の観測データを使用して解析を行うことで植生の季節変化と温暖化の影響について評価することが可能であり、時には将来予想にも活用される。しかし、衛星データの観測値には、観測位置と光源位置(太陽位置)の二方向性による地物の反射特性が大きく影響している。二方向性反射特性(Bidirectional reflectance distribution factor: 以下「BRDF」と呼ぶ)とは、ある特定の角度で入射する光源方向とカメラの観測方向により異なる対象物体の反射量の変化の様子を表したものである。多時期の観測データを使用して解析を行う際、観測位置と光源位置が常に同じであることは多くない。光源位置の問題として、太陽高度は年間変動があるため、反射量が見かけ上変化してしまう。衛星解析の現状として、観測地表面を等方散乱体と仮定して解析を行うことは多く、BRDFの影響が考慮されないまま解析が行われている。観測地表面は、環境や物体の状態によって近似的に等方散乱を起こすことはあるが、地表面に完全な等方散乱体は存在しない。特に植生を対象とした場合、植生の分布密度や種類、形状によって散乱の性質が変化するため、近似的に等方散乱とはならず、非等方散乱体として扱わなければならない。したがってBRDFは、観測地表面の物体やその状態、環境の違いによって衛星データの観測値に複雑な影響をもたらしている。

植生リモートセンシングにおいて、BRDFは対象物体の三次元構造との関わりが深いことが示唆されており、植生の物理量と関わりが大きく期待されていることから植生のBRDFを捉えることを目的としたBRDFの実測的研究が行われている。これまでの実測的研究では、衛星やヘリ、航空機に搭載した分光放射計を用いた計測だけであり、樹木のBRDFに影響を与える要素を詳細に追求した研究はない。BRDFに影響を与える要素を明らかにするために分光放射計に比べて高い地上分解能での観測が必要である。そこで近年のUAV技術の発展から、比較的安価なUAV搭載デジタルカメラを使用したBRDF観測手法に着目した。本研究はUAVに搭載したデジタルカメラを用いたBRDF観測の高精度化に向けた画像校正手法を構築し、樹木のBRDFに影響を与えている要素を明らかにすることを目的とした。

本研究でパッドピクセルと周辺減光に対する校正手法が構築できた。このことからフルサイズセンサカメラのRaw画像を用いた高精度なBRDF解析が可能となった。校正後の画像を用いたBRDF解析結果は、対象樹木のBRDFは、多くが後方散乱性(BRDFの傾きが負)を示した。負の傾きを示す要因は主に「葉の色の変化」と「影割合の変化」であった。太陽の順光側で観測した時に、葉の反射は大きく、影割合が小さい傾向にあり、結果的にBRDFは負の傾きを示した。しかし、一部のBRDFが正の示すものもあった。その要因は、樹木の順光側で葉群密度が低く、逆光側で葉群密度が高いことによる影割合の減少からBRDFが正の傾きを示す傾向が見られた。BRDFに影響を与える他の大きな要素として、「葉身の大きさ」「解析対象面の向き」が考えられるが、この二つの要素の影響については、傾向を明らかにすることができなかった。これらのことから、BRDFは葉の色の変化と影割合の変化の両方の影響を大きく受けることから葉の特徴と樹木の物理的特徴を捉えられていることが言える。

BRDFには、本研究で対象とした要素に加えて「葉の向き」や「葉の表面材質」「葉の健康状態(湿潤状態)」が複合的に影響し合っていることが考えられる。BRDFに影響を与える要素を明らかにするためには、少なくとも葉身よりも細かな地上分解能での高解像度なBRDF観測が必要である。さらに今後、植生の物理的指標としてBRDFを用いるためには、光源位置の影響を明らかにするために多時期での考察が必要である。

Abstract

Satellite remote sensing involves the observation of reflected light from the surface layer and the earth's surface with various observation frequencies mounted on satellites. Using multi-temporal observation data for analysis, it is possible to evaluate seasonal changes in vegetation and the effects of global warming, and sometimes it is also used for future forecasting. However, satellite data is greatly affected by the reflectance characteristics of surface objects due to the angle nature of the observation position and the light source position (the position of the sun). Bidirectional reflectance distribution factor (BRDF) is defined as BRDF (Bidirectional Reflectance Distribution Factor) is a measure of how the reflectance of an object varies depending on the angle of the incident light source and the direction of the camera. When analyzing multi-temporal observation data, the observation position and the light source position are not always the same. The problem with the source position is that the solar altitude fluctuates throughout the year, causing apparent changes in reflectance. In the current situation of satellite analysis, the surface of the observation site is often assumed to be an isotropic scatterer, and analysis is performed without considering the effect of BRDF. Although the surface of the observed land can be approximately isotropically scattered depending on the environment and the state of the objects, there is no perfect isotropic scatterer on the ground surface. In particular, when vegetation is the target, the nature of the scattering changes depending on the distribution density, and shape of the vegetation, so the scattering is not approximately isotropic and must be treated as an anisotropic scatterer. Therefore, the influence of BRDF has a complex effect on the satellite data due to differences in the objects on the surface of the observation site, their conditions, and the environment.

In the case of vegetation remote sensing, it has been suggested that BRDF is closely related to the three-dimensional structure of the target object. Therefore, the BRDF has been studied to capture the BRDF of vegetation. Previous studies have only used spectroradiometers on board satellites, helicopters, and airplanes, and have not investigated in detail the factors that affect the BRDF of each tree. In order to clarify the influence on the BRDF, observations with a higher ground resolution than spectroradiometers are needed. Therefore, we focused on the BRDF observation method using a relatively inexpensive UAV-mounted digital camera based on the recent development of UAV technology. The objectives of this study are to develop an image calibration method to improve the accuracy of BRDF observation using a UAV-mounted digital camera, and to clarify the factors that affect the BRDF of trees.

A calibration method for bad pixels and vignetting has been established, enabling highly accurate analysis using full-lens raw images. The BRDF analysis results showed that the BRDF of the target trees were mostly backscattered (negative BRDF slope). The main reasons for the negative slope were "leaf color change" and "shadow ratio change. When observed in the sunlit side, the leaf reflection tended to be larger and the shadow fraction smaller, resulting in a negative slope of the BRDF. However, some BRDFs were positive. The reason for this is that the trees tended to have lower leaf density on the forward-lit side and higher leaf density on the back-lit side, which reduced the shadow fraction, resulting in a positive BRDF slope. The other major factors affecting the BRDF are the size of the leaf blade and the orientation of the plane under analysis. We were not able to determine trends in the effects of these two factors. From these results, it can be said that the BRDF is greatly affected by both leaf color change and shadow ratio change, thus capturing both the leaf characteristics and the physical characteristics of the tree.

In addition to the factors studied in this study, leaf orientation, leaf surface material, and leaf health (wetness) may have a combined effect on the BRDF. High-resolution BRDF observations with ground resolution at least finer than leaf blade resolution are needed to clarify the factors that affect BRDF. Furthermore, in order to use BRDF as a physical indicator of vegetation in the future, it is necessary to consider multiple time periods in order to clarify

the influence of light source location.