

## 太陽誘起蛍光のリモートセンシングによる広域画像技術の開発

増田 健二

静岡大学 技術部 教育研究支援系

### 1. はじめに

本稿では、クロロフィル(Chla)蛍光強度分布画像を得るために、画像スケーリング法における Chla 蛍光強度が存在する波長域と存在しない波長域の画像を取得し、2つの画像の差分から Chla 蛍光に対応する太陽光誘起蛍光 (Solar-Induced Fluorescence, SIF) 強度分布画像を取得する。SIF 分布画像から広域の生育状況 (光合成活性) の診断画像が得られる。従来の NDVI 法に比べて測定精度が大幅に向上したことを報告する。

SIF 強度分布画像から植物の生育状況を診断する新たな手法を開発し、特許に出願した (2023.11.15)。スマート農業の技術開発の一つに、ドローンに搭載したマルチスペクトルカメラで農産物の生育状況を診断する方法がある。生育状況の分析には NDVI データが用いられる。つまり、市販のマルチスペクトルカメラに SIF 画像を撮影するフィルタを装着することで、NDVI よりも高い精度で生育状況を診断できる。この発明は、実用化につながる注目すべき技術開発である。

### 2. 広域の SIF 画像取得<sup>[1]</sup>

冷却 CCD カメラに広角レンズ (焦点距離 10 mm) を直接取り付け、広角レンズの前にフィルタアダプターを取り付け、5枚のフィルタをスライドさせて画像を取得する (図 1(a))。SIF 画像測定に使用するフィルタは、蛍光強度のない波長域のフィルタ、蛍光強度のある波長域のフィルタである。また、正規化植生指標(NDVI)用のフィルタと可視光画像用のフィルタを使用する (図 1(b))。

SIF 強度分布画像から植物の生育状態を診断する新たな手法を発明し、特許に出願した (2023.11.15)。スマート農業の技術開発の一つに、ドローンに搭載したマルチスペクトルカメラで作物の生育状況を診断する方法がある。生育状況の分析には NDVI データが用いられる。市販のマルチスペクトルカメラに、SIF 画像を撮影するフィルタを装着することで、NDVI よりも高い精度で生育状況を診断することができる。



図 1 広域画像計測システム

### 3. 画像スケーリング法による SIF 画像取得方法

新たに開発した Chla 蛍光の画像取得に用いた画像スケーリング法について説明する。図 2 (a) の画像は、Chla 蛍光強度のない波長域の赤外反射光画像である。図 2 (b) の画像は、Chla 蛍光強度のある波長域の蛍光+赤外反射光の重畳画像である。フィルタの透過率と太陽光照射度の違いを補正するため白板強度比 ( $K=(a)画像/(b)画像$ ) を求める。白板強度比  $K$  を (b) の画像にかけたものから (a) の画像を差し引くことにより、図 2 (c) の SIF 強度分布画像が取得できる。図 2 (d) に RGB 画像を示す。

光合成有効放射強度(PAR)が適切光条件下(PAR<600)と強光条件下(PAR>1000)のSIFとNDVI画像を比較した。太陽光強度が光合成を律速しない適切光条件下においては、植物が吸収した光エネルギーのうち光合成反応に伴ってクロロフィル a(Chla)蛍光が放出される。図3 (a)の Chla 蛍光強度は、太陽光が垂直に降り注ぎ、PAR が最も高い樹冠の白枠の700countの高値からPARが最も低い裾野の黄色枠が 100count の低値まで、7倍の変化を示した。(e)の NDVI が樹冠の黒枠で 0.65、裾野の青枠で 0.5 と 1.3 倍の変化を示す。これは、NDVI が反射率から得られるため、変化率が小さく測定精度が低いのに対し、Chla 蛍光は強度差から得られるため、変化率が大きく測定精度が高いことを示している。強光条件下においては、光合成に使われなかったエネルギーのほとんどはカロテノイドで熱に変換されて放散され、一部は余剰エネルギーの蛍光として放出される。図3 (b)の Chla 蛍光強度はほぼゼロの紺色であり、(d)の余剰エネルギーの蛍光強度が増加していることが分かる。(f)の NDVI は減少している。

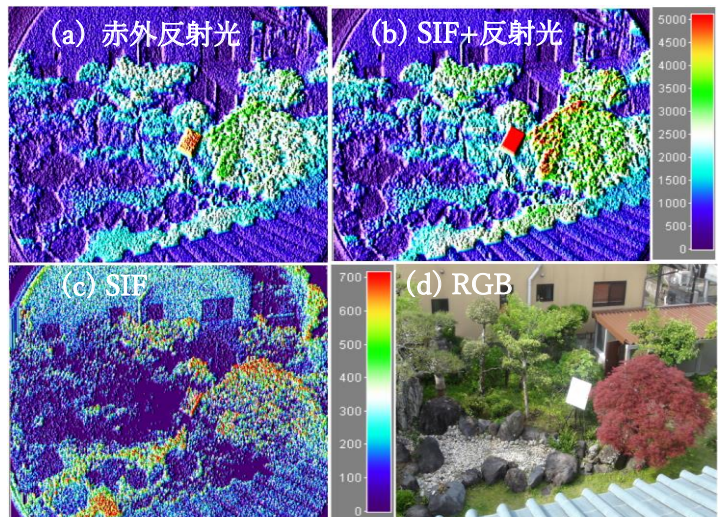


図2 画像スケーリング法を用いた SIF 画像取得

適切光(PAR:542  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) 強光(PAR:1356  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ )

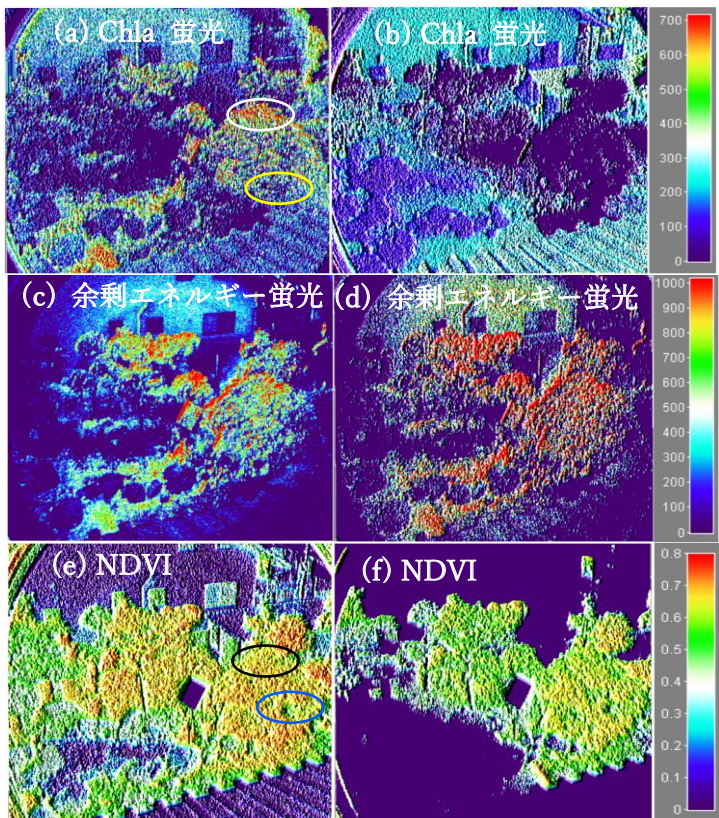


図3 適切光と強光条件下の SIF と NDVI の比較

#### 4. おわりに

本発明は、広角レンズと Chla 蛍光のピークに合わせたフィルタと蛍光強度のないフィルタと組み合わせて、画像スケーリング法により広域の太陽誘起蛍光(SIF)画像を取得し、植物の生育状況(光合成活性)を診断する新しい方法である。イネなどの直立

作物を測定する場合には、上空から撮影するよりも三脚固定型の本方法の方が植物の生育状況を高精度に診断できる。また、ドローンなどの垂直(真上)方向からのデータを同じマルチスペクトルカメラを用いて、水平方向から測定することによって補正することができる。

参考文献 [1] 増田健二:「技術開発した植生リモートセンシング計測手法と研究支援」技術報告(静岡大学技術部) 26 21-26 (2021) <https://doi.org/10.14945/00028126>

謝辞 本研究は、日本學術振興会科学研究費補助金・基盤研究C(課題番号 JP26340003)および千葉大学環境リモートセンシング研究センター共同研究プログラムの助成を受けた。