

M-019

NIRスペクトルを用いた水深計測による農業灌水のスマート化 Smartening for agriculture irrigation on water depth measurement applying NIR spectrum

中川 善継[†]
Yoshitsugu Nakagawa

佐野 宏靖[†]
Hiroyasu Sano

高田 淑朗[‡]
Toshiro Takata

1. はじめに

長きにわたる生産労働人口が減少する中、農業従事者の不足を補い、かつ労働負担を軽減する方策として農業のスマート化が注目を集めている。近年、温暖化の進行による異常気象の影響により、ゲリラ豪雨や干ばつなどが各地で発生している。作物の生育は、太陽光と水、生育が促進する温度などさまざまな条件下で一定期間をかけて成長する。特に、天候や作物の生育に応じた灌水管理は、栽培において不可欠である。日々の作業である灌水作業はその見回りも含め時間を要する労働の一つであり、工夫の契機として電磁弁を自動化し制御するなどの省力化がその第一歩となる。一方、太陽光をはじめとする光源から降り注ぐ光スペクトルは、可視光の波長領域のほか、目で感じることのできない近赤外線 (NIR: near infrared) 等の波長領域において植生や水の分布を把握することが可能となってきた。本研究では、可視光よりも波長の長い近赤外帯域の光スペクトルを用いて水位を計測することにより、農作物にとって欠かすことのできない水供給網をリモートセンシングする技術について検討する。水路を流れる水の流れの変化は、その地点の水深の変化に左右される。天候の変化や雨水に依存するモニタリングの有力候補として農業水利に資するシステムの実現が期待できる。

2. 水管理とカメラ撮像

農業用人口の減少と農地の縮小を食い止める方策として、農業経営の集約、大規模化が競争力を上げる一方で、集約化が難しい小区画に分散或いは傾斜地で農業を維持する二極化が進んでいる。灌漑の整備が難しい後者においては、溜池等の上流から水路を確保することは、耕作地の維持と栽培する農作物の成長に欠かせない源である。さらに近年、気象の激甚化に伴う山間部での土砂水害をはじめ、多発するゲリラ豪雨によって水路に土砂が堆積し、知らず知らずのうちに水の流れが細り遮断することで、農作物の成長に影響を与えるばかりか、復旧にかかる突如の労力による農業従事者の妨げとなる。

これらの諸問題に対し、光スペクトルを用いた分布の定量化を目指す技術の導入による水田等の灌水経路を含む水路の流れの状態を面的に把握し、水管理の効率化に寄与する研究が数多く行われている。特に、近年では UAV (unoccupied aerial vehicle) を用いた空撮によるリモートセンシング^[1]がその可視化に大きく寄与^[2]している。UAV に搭載したカメラは主に可視光波長から赤外波長に至る帯域に対し、フィルタを通すことによって分光可能複で数波長を取り出すマルチバンドスペクトルまたはより分解能の高いハイパースペクトルの画像群を取り出すことができる。

[†] (地独) 東京都立産業技術研究センター Tokyo Metropolitan Industrial Technology Research Institute
[‡] のぞみ株式会社 Nozomi Corporation

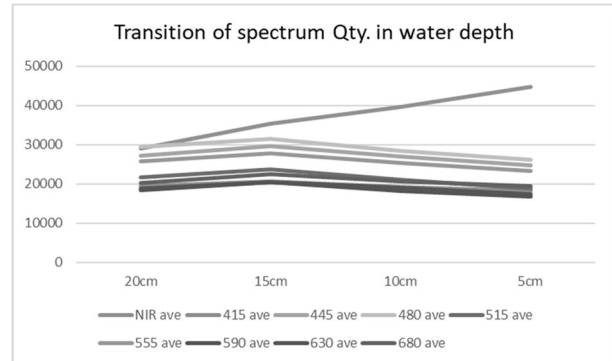


図1 光スペクトルによる水深計測の推移

類似の手法としてこれまで衛星画像から得られた画像データを適用し、広域または分解能可能な範囲の地図上の区画の植生、水分を画像データで算出する方法がある。事業者が提供する複数の衛星から周期的に撮像したデータと過去データを含めて分析することが可能である。UAVは、サービス事業者による操縦操作の下、より区画分解能の高い撮像が可能で、衛星が雲に遮られる場合においても利用可能であり、さらにスペクトル撮像以外の目的で農業散布等の戦略的な活用も可能である。

一方、UAVは、主にサービス事業者が操縦可能な障害物が付近にないことを想定した平地部や、森林高さを超える上空から撮像するため、障害物付近や枝葉が生い茂る森林内での航行にはより高度な制御技術の搭載が必要である。また、中小の農業事業者にとってかかるコストが無視できないという問題が生ずる。彼らのニーズは、水路のどの地点が枯渇し水流の妨げとなっているか、必要な灌水が可能かを見極めることであり、より安価で簡易な手法を望む。本手法は、該当する地点に設置あるいは移設が可能なモニタリングポストと成り得る。



(左) Multi-spectral Sensor AS7341
(出典: ams-osram.com/)

(右) プロトタイプ試作

図2 光スペクトルモジュールと試作



図 3 水路実験計測

2.1 近赤外 (NIR) スペクトル

水田や水路の計測においては、UAV が行動可能な領域を面的に把握する場合、領植生の域と水の領域の分布を把握する NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)、NDWI (Normalized Difference Water Index) がある。特に水指標においては、NDWI の計測が多用される。一般に、地表の物体は、これら種類によって波長帯域ごとに電磁波の反射の強さが変化する。水は、波長が長くなるに従い反射が弱くなり、土は波長が長くなるに従い反射が強くなる傾向がある。作物は、光合成色素の働きにより可視域の電磁波を吸収し、近赤外域の電磁波を強く反射する特性を持つとされる^[1]。

代表的な計測の中でこれらを算出するにあたり、受光素子にフィルタをかけて抽出可能であり、スペクトル波長の赤 (red) 波長帯域 (620-780nm)、近赤外 (nearfield infrared) 波長帯域 (780-1000nm)、短波長赤外 (shortwave infrared) 波長帯域 (1000-2500nm) が用いられる。これら計測の対象は主に航空、衛星のほか UAV が飛行可能な空中で撮像された画像をもとにその領域内の分布、性質、傾向を把握するのに役立つ。本手法は、撮像画像を対象とするものではなく、すでに水路が把握されている中で、特定の対象箇所における水深とその変化をモニタリングすることを対象とする点が異なる。

2.2 計測プロトタイプ

本手法にあたり、可視光域と近赤外域の波長帯域を計測可能なマルチスペクトル対応の半導体センサ (ASM 製、図 2) を使用する。本センサはデジタル半導体であり、アレイ状に配置されたセルごとに透過波長の異なるシリコン製

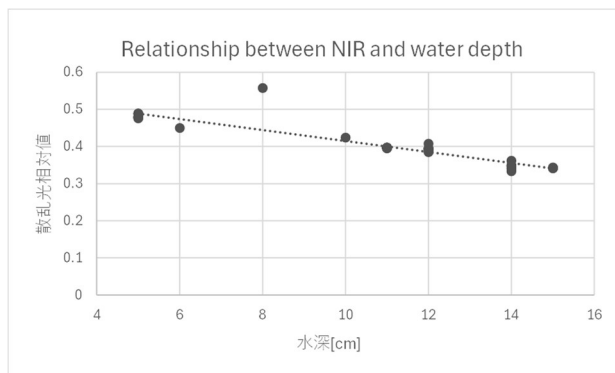


図 4 散乱光 NIR 比と水深の関係

フィルタを通して光の反射率を計測する。カメラセンサ同様、光を捉えるため露出と撮像時間を設定することで、太陽光の強さに応じた制御が可能となる。太陽光は広範囲な光波長を含む散乱光からなるが、本センサ内にバンドパスフィルタを通さない散乱光を計測するチャンネルを持っており、近赤外域が貢献している割合を想定的に算出することが可能である。また、太陽光は、日の出から日中にかけてスペクトル照射が強く、太陽の高さが同じであっても曇天時の陰りや、雲が遮るだけでさえ急激に照射強度が変化し低下する。また、日が沈む頃には晴天であっても照射強度は大きく低下する。このとき、先述の露出制御により、ゲインを増幅させることができ、明暗の激しい変化に対応可能な自動露出制御を行うことが本センサの利点となる。本プロトタイプは自動制御機能をプログラムし搭載している。

3. 水深計測

図 1 は可視光波長帯域から近赤外波長帯域までの 9 つのスペクトル波長が計測可能な半導体センサを用いて、水深の高さ 5cm から 20cm までの 5cm 刻みで水深計測の推移を示したものである。NIR (910nm) を用いた水深計測は、他の可視光帯波長 (400~700nm) と比べ、線形性を有し水深との相関性が高い特性を示すことがわかる。

プロトタイプを用いて水路 (図 3) に対し 42 地点で計測を行った。計測対象とした水路は最大深さが 20cm 程度であり、経路の地点によって水深が異なる。散乱光に対する NIR の想定的な反射率を用いることで、太陽光からの照射の強さ (絶対値) が変化しても水深との関係性を評価する。計測した測定結果は図 4 に示すとおり、実地によっても計測した水深範囲内において凡そ水深は線形性を示していることがわかる。このように水深が灌水に影響を与える箇所をモニタリングポストとして計測器を設置し継続的な観測を行うことで時系列的な変化、水位を把握することができる。一般に、水路は雨量や乾燥による水量の変化に加え、気象変化に伴い水路に堆積、流入する土砂量の変化が水深の変化に影響する。農業用地を熟知している農業従事者が水路管理の要衝となる地点にこのセンサを設置して定期的なりモートセンシングを行うことで水田や農業用地に供給する水量を簡易に把握し、監視することが可能となる。

4. おわりに

本研究は、可視光よりも波長の長い近赤外帯域の光スペクトルを用いて水位を計測する手法とその特徴について述べた。衛星画像や UAV を用いた手法に対し、簡易にそして安価にシステム構築しやすいことが挙げられる。特に、森林が生い茂る中に水路がある場合においては、上空からの詳細を得ることは難しく、本技術の利用が優位となる。

参考文献

- [1] 丹羽 英之, “UAV で撮影した画像から算出した水指標による水田の水深予測”, 応用生態工学, 25(2), pp.87-96 (2023).
- [2] 山崎 陽生, 武田 龍弥, 岡田 将治, “マルチスペクトルデータを用いた河川濁度計測手法に関する基礎的研究”, 土木学会論文集, Vol.80, No.16 23-16026 (2024).
- [3] 市川 真人, “近,中 赤外放射率に対する水の浸透深さと屈折率の分光特性”, 照明学会, 第 73 巻, 第 10 号, 1989