

## GPS-IR による水稻の高さ推定 Estimation of paddy rice height by GPS-IR

○鈴木 隆介\*, アフィクビンハスルディン\*, 小平 俊介\*\*\* 小林 大樹\*\*\*\*, 登尾 浩助\*\*  
SUZUKI Ryusuke, Afiq Bin Hasrudin, KODAIRA Syunsuke, KOBAYASI Daiki, NOBORIO Kosuke

### 1. 背景と目的

作物の生育状態推定は気候や水文学的モニタリングに活用され、収量の早期予測にも利用されている。近年、地球観測用の人工衛星の増加により、高い時間・空間分解能をもつリモートセンシング技術が作物管理法として開発されている。植生指数 (NDVI) を用いた光学的センシングは夜間や悪天候には不向きである上、地球観測用の人工衛星数が限られるので、経時的なデータ採取には制約がある。一方、GPS (Global Positioning System) 衛星はある1地点を常に4基以上のGPS衛星が観測できるように配置されているので、衛星データを利用できる時間帯に限りがない。また、GPS衛星が利用している周波数帯域は雲を透過するので天候によって観測が妨げられない。これらのメリットを持つGPSによる環境情報を計測する手法としてGPS-IR(GPS- Interferometric Reflectometry)の研究が進んでいる。GPS-IRにより、土壌水分量を計測した事例(Larson et al., 2008)植生水分量(Wan et al., 2015)を計測した事例が報告されている。これらは、地表面の状態変化をGPSの電磁波反射の変化として捉えていることから、植生水分量のみならず植生高さを計測可能と考えた。そこで、研究では水田の稲を対象にGPS-IRによる植生高さ推定を検証した。

### 2. 材料と方法

東京農工大学農学部附属広域都市圏フィールドサイエンス教育研究センターの実験水田において実験した。GPSアンテナ(GNSSチョークリングアンテナ, Trimble Inc.)を2023年6月1日から2023年7月31日まで地表面から高さ $H = 3.05\text{ m}$ に設置した。水位計(eTape liquid level sensor, MILONE Technologies, Inc.)を受信アンテナ直下の地表面に設置し、水田の水位を測定した。水位計はデータロガー(ZL6, METER GROUP, Inc)に接続し30分間隔でデータを取得した。GPS受信機から出力されたデータから衛星番号、仰角、SNRを抽出した。解析対象は実験区画内に反射点を持つ衛星番号12, 29, 32の仰角範囲 $5^\circ$ から $30^\circ$ とした。マルチパス信号は反射面の誘電率により周波数が変化し、計測されるSNR(Signal to Noise Ratio)に変化をもたらす。その変化は式(1)で表され、SNRは信号が反射する地表面の状態と関連づけることができる(Larson et al. 2010)。

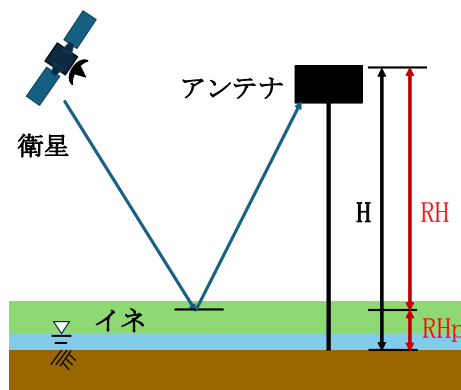


図1 検証の概要図  
Verification Overview

\*明治大学大学院農学研究科, Graduate School of Agriculture, Meiji University \*\* 明治大学農学部, School of Agriculture, Meiji University\*\*\*元明治大学大学院農学研究科

\*\*\*\*NTTアクセスサービスシステム研究所 NTT Access Network Service Systems Laboratories

キーワード: GPS-IR, 植生高さ, 水位,

$$SNR = A \cos\left(\frac{4\pi H}{\lambda} \sin E + \phi\right) \quad (1)$$

ここで、 $A$  は反射信号の振幅 ( $V V^{-1}$ ) ,  $H$  は受信アンテナの設置高さ (m) ,  $E$  は仰角 (rad) ,  $\lambda$  は搬送波の波長 (m) ,  $\phi$  は反射信号の位相 (rad) である. 式 (1) の SNR に Lomb-Scargle 法による周波数解析で空間周波数  $fm$  を算出、式 (2) により見かけの反射体高さ (RH) が算出可能である.

$$RH = \frac{1}{2} fm \lambda \quad (2)$$

アンテナ高さ  $H$  から  $RH$  を減じたものを見かけの植生高さ (RH<sub>p</sub>) とした.

$$RH_p = H - RH \quad (3)$$

### 3. 結果と考察

図 2 に衛星番号 12, 29, 32 の DoY に対する, RH<sub>p</sub> (m) と水位の実測値を示した. DoY165 までの生育初期段階において稲の葉による被覆はわずかであり, DoY180 には水面の大部分が覆われるほどに生長した. 水田の水位より低い値で上下したが, DoY180 前後から常に水位より大きい値を得た.

DoY170 以前で, RH<sub>p</sub> の値は水位以下で上下していたことから, 衛星から発信された搬送波は, 水面の数 cm 下で反射し受信アンテナへと到達する経路をたどったと考えられる. 水田の環境変化は水位変動とイネの生長であるため DoY180 以降の RH<sub>p</sub> の値の増加は植物の生長によるものである可能性が高く植生高さの変化を捉えていることが示唆された.

図 3 に RH<sub>p</sub> に対する実測の植生高さとの関係を示した. このうち DoY165, DoY192 の植生高さは実測データを 2 次式でフィッティングし、補間したものである. 使用したすべての衛星番号 12, 29, 32 において非常に有意な相関関係を示した.

植生高さは GPS-IR で解析した RH<sub>p</sub> と高い相関があることがわかった. 今回の結果は相関の確認に留まり, ほかの植物や土壌においても計測可能かは検討の余地がある.

#### 参考文献

- [1] K.M. Larson , E.E. Small , E. Gutmann , A. Bilich , P. Axelrad , J. Braun (2008), Using GPS multipath to measure soil moisture fluctuations: initial results, *GPS Solut.* 12:173–177 [2]Wei Wan, Kristine M. Larson, Eric E. Small, Clara C. Chew & John J. Braun(2015) , Using geodetic GPS receivers to measure vegetation water content [3] K. Larson, J. Braun, E. Small, V. Zavorotny, E. Gutmann and A. Bilich, "GPS multipath and its relation to near-surface soil moisture content", *IEEE J. Sel. Topics Appl. Earth Observ. Remote Sens.*, vol. 3, no. 1, pp. 91-99, Mar. 2010

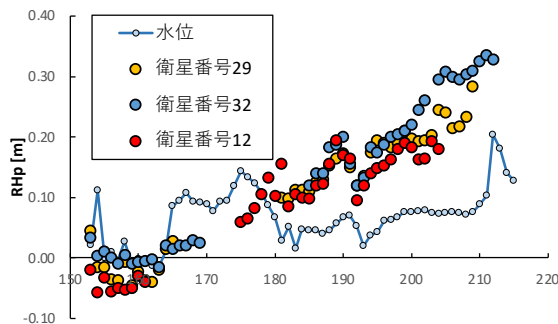


図 2 . DoY に対する RH<sub>p</sub> (m)  
Comparison of DoY and RH<sub>p</sub>

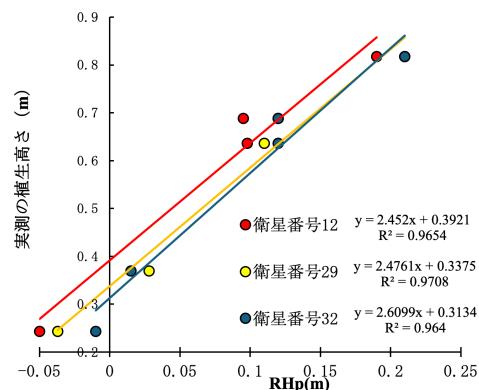


図 3 . RH<sub>p</sub> の測定値と草丈の実測値 (m)  
Measured RH<sub>p</sub> and actual Plant height.