

# (一社)日本リモートセンシング学会九州支部 平成 30 年度研究発表会

開催日：平成 31 年 3 月 3 日

開催地：長崎大学工学部

## 目次

Rice crop monitoring with Sentinel-1 dual polarization SAR data in Miyazaki Japan, Emal Wali, Masahiro Tasumi1, Hiroki Umeno, Asep Denih, Keita Nagato, Masao Moriyama	1
さまざまな地表面における SAR 後方散乱係数の特徴, 長渡溪太, 多炭雅博, 森山雅雄	7
Use of handy-held NIR sensor to estimate water status of leaves and soils, Hanif Afzali, Aya Nishiwaki	11
Sentinel-1B の SAR 画像を用いたアイダホ州の大規模農地における作物分類の試み, 梅野大樹, 多炭雅博, 森山雅雄	19
近年におけるさとうきびの台風被害について, 神田英司	25

# Rice crop monitoring with Sentinel-1 dual polarization SAR data in Miyazaki Japan

○Emal Wali<sup>1</sup>, Masahiro Tasumi<sup>1</sup>, Hiroki Umeno<sup>1</sup>, Asep Denih<sup>1</sup>, Keita Nagato<sup>1</sup>, Masao Moriyama<sup>2</sup>

**Abstract:** This study analyzed the relationship between SAR backscatter coefficients and rice biophysical parameters (plant height, leaf area index, total dry biomass, and green vegetation cover). We used Sentinel-1 satellite imagery, to investigate the potential of utilizing SAR satellite observation to monitor rice crop. Rice crop is typically cultivated during rainy seasons, where land surface monitoring is difficult by optical sensors. The result of this study indicated that SAR backscatter signals seem to react to the change in crop height in the beginning of cultivation, and then the target of reaction gradually shifted to changes in vegetation cover. The result also indicated that SAR backscatter observations have potential to monitor all of the investigated biophysical parameters, especially during the vegetative stages, before the backscatter signals reach to saturate for many biophysical parameters. VH signal presented better performance than VV signal.

**Keywords:** VH & VV polarization; sentinel-1; synthetic aperture radar (SAR); rice crop monitoring

## 1. Introduction

A staple food feeding about half of the world population is rice. Estimates show that upon reaching to the mid-twenty first century, one of the biggest challenges is to feed 9 billion people of the world (Sasaki and Ashikari 2018). Therefore, to address this challenge, cereal grain production especially systematic rice monitoring plays an important role for sustainable development and ecological planning. Several different types of remote sensing technologies could be used to measure rice growth parameters such as leaf area index (LAI), plant height, biomass, canopy (Chen et al. 2007; Liew et al. 1998). These parameters could help us better manage the crop development conditions and ultimately increase rice production. In comparison to optical sensors, synthetic aperture radar (SAR) has the capability to capture images at night and in all weather conditions. Therefore, SAR data is more suitable and useful in areas that are characterized by frequent cloud cover and precipitation (Wu et al. 2011; Torbick et al. 2017).

The interaction mechanism between the radar waves and vegetation canopy has three components 1) volume scattering, 2) scattering from the ground made by vegetation layer, and 3) multiple scattering between the volume and ground (Bouvet, Le Toan, and Nguyen Lam-Dao 2009). X and C-bands are suitable to retrieve canopy biophysical parameters because images produced from short wavelength of SAR such as X and C-bands, mainly interacts with the top portion of the canopy layers (Chakraborty et al. 2005). The relationship between rice growth parameters and radar backscattering coefficient was studied by Kurosu et al. (1995). They used the C-band VV polarization data

from European Remote Sensing (ERS-1) satellite. However, few studies were carried out in the past using C-band SAR data. These studies are mainly focusing on the relationship between the backscatter energy from rice field and rice growth parameters. In all these studies, the SAR data availability is limited in terms of time series. Sentinel-1 radar platform launched by European Space Agency is able to provide timely and precise high-resolution data (Rucci et al. 2012).

In this study, we introduce the monitoring of rice growth parameters with multi-temporal Sentinel-1 VH and VV polarization SAR images. Plant height, LAI, canopy, and the biomass were acquired in the fieldwork, and coefficient of determination between the parameters and the backscattering coefficient derived from SAR data, was investigated.

## 2. Materials and Methods

### 2.1. Study area

The study field is located in Kibana Agricultural Science Station of the University of Miyazaki, in Miyazaki prefecture of Japan (Fig. 1). The climate conditions in Miyazaki is humid subtropical with hot and humid summers and cool winters. In Miyazaki, the average annual temperature is 17.1 °C and annual rainfall is 2,550 mm (Fig. 2). The study area lies at a base elevation of approximately 21 m above sea level and it is located at 31°50'14.17" North and 131°23'56.35" East. Rice is the major staple food in this area. A popular Japanese rice variety *Oryza sativa* 'Koshihikari' and 'Hinohikari' are mostly cultivated around this area. Former variety, which has planted in the study field of this study, is typically planted in early season (transplants in late March to early April and harvest in late July), and the later variety is planted in normal season (transplants in June and harvest in October).

<sup>1</sup> University of Miyazaki (1-1, Gakuen Kibanadai-Nishi, Miyazaki 889-2192, Japan; E-mail: emal.wali@yahoo.com)

<sup>2</sup> Nagasaki University (1-14, Bunkyo-machi, Nagasaki City, Nagasaki, 852-8521, Japan)

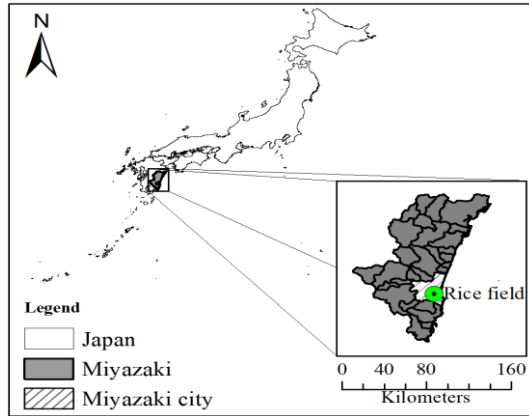


Figure 1: Location of study area.

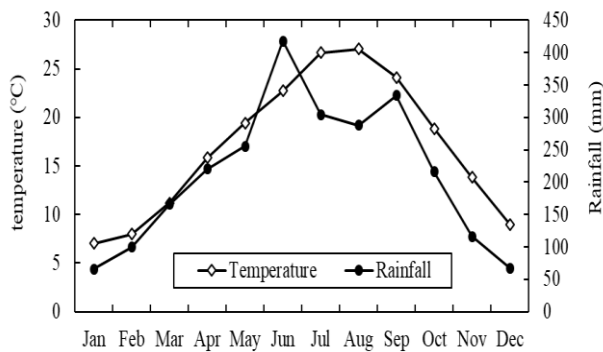


Figure 2: Annual average temperature and rainfall in Miyazaki, Japan

Fig. 3 represents the rice development stages in the study area. The vegetative stage last for about 50 days, while the reproductive and flowering stages last for 45 and 20 days respectively. The number of days may change under different weather condition and cultivation practices.

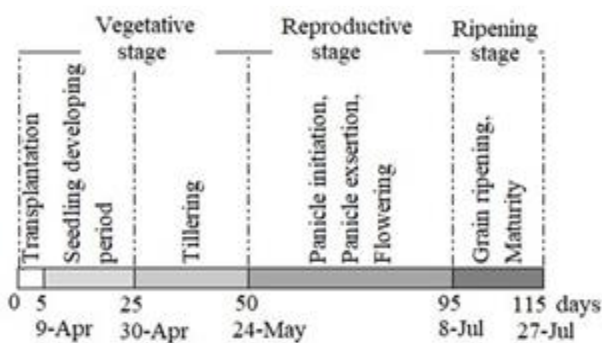


Figure 3: Rice crop growth states in Miyazaki, Japan

## 2.2. Data analysis

Sentinel-1 ground range detected (GRD) data of dual polarization (VV and VH polarization), acquired with

interferometric wide (IW) mode, were used in this study to investigate the potential of monitoring rice crop biophysical parameters. Ten SAR images were preprocessed using ESA's open source Sentinel-1 Toolbox (Nguyen et al. 2016). The process includes radiometric calibration, terrain flattening and geometric correction. We resampled the grid orbit data to a 10 m grid. LAI was measured by sampling the rice crop leaves in every 12 days. ImageJ software (Abramoff et al. 2004) was used to compute LAI values by sampled leaves. Fractional green canopy cover of rice plant was measured using Canopeo (Patrignani and Ochsner 2015). Canopeo is a smartphone application, in which, the fractional green canopy cover is a key variable for canopy development, light interception, and partitioning of evapotranspiration.

## 2.3. Data collection

Ten Sentinel-1B time series images of the study area were acquired during the entire cultivation season from April 2018 to July 2018 with dual-polarization (VH/VV) IW swath mode. The acquired images were used to analyze the relationship between the biophysical parameters of rice and the temporal variation of SAR backscatter at different polarizations. The dates of the acquired images were; 10 April, 22 April, 4 May, 16 May, 28 May, 9 June, 21 June, 4 July, 15 July and 27 July 2018. Field survey were conducted almost simultaneously to the data of image acquisition, to obtain ground-measured LAI, vegetation cover (percentage), plant height (m) and oven dried biomass ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ) of rice crop, which correspond to the satellite SAR observation. Table 1 summarizes the mean values of the field data.

Table 1: Field measurements of rice biophysical parameters for ten observation dates in 2018.

Obs. date	Leaf area Index	Vegetation cover (%)	Plant height (m)	Dry biomass ( $\text{kg}/\text{m}^2$ )
Apr. 10	0.02	0.18	0.09	0.003
Apr. 22	0.03	3.13	0.15	0.005
May 4	0.07	6.38	0.22	0.015
May 16	0.30	17.47	0.29	0.074
May 28	0.73	47.74	0.41	0.187
Jun. 9	1.18	73.59	0.58	0.452
Jun. 21	2.16	81.81	0.73	1.077
Jul. 4	2.17	89.03	0.75	1.722
Jul. 15	2.77	80.24	0.77	2.484
Jul. 27	1.91	31.49	0.78	3.450

### 3. Results and discussion

#### 3.1. Temporal changes of rice biophysical parameters

Figure 4 shows measured biophysical parameters of rice crop (crop height, LAI, green vegetation cover, and total dry biomass) in the study field. Crop height was constantly increased for around 72 days (middle of reproductive stage) after transplant. The green vegetation cover was gradually increased in the early vegetative stage, and was rapidly increased during the late vegetative stages. The vegetation cover stayed in maximum during the reproductive stage, and then rapidly dropped in the ripening stage when the plant turned yellow. The trend of LAI was similar to the green vegetation cover, with some delays in the timing. The total dry biomass did not significantly increased during the vegetative stage, and constantly increased during the reproductive and the ripening stages.

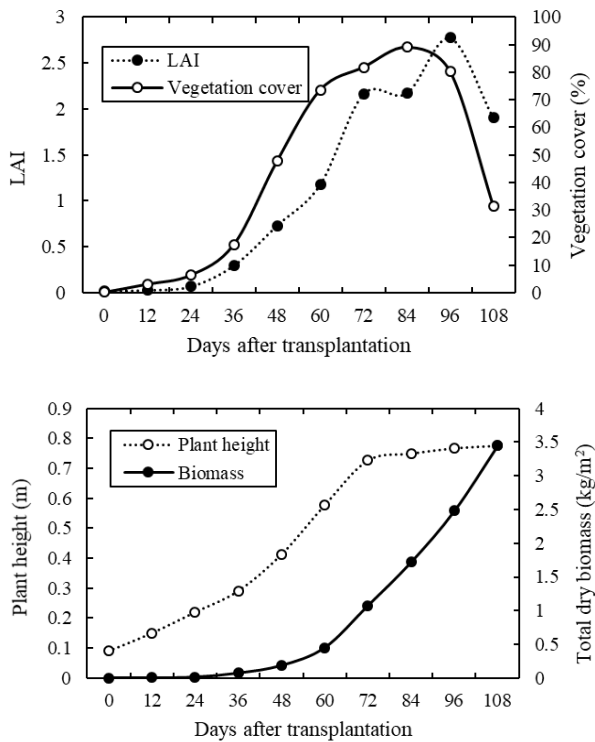


Figure 4: Temporal variations of LAI and Vegetation cover (top) and crop heights and biomass (bottom), after transplantation.

#### 3.2. Temporal variation of backscatter and rice biophysical parameters

Fig. 5 shows the temporal variation of VH and VV-bands backscattering coefficients. The numbers are the averages of  $4 \times 7$  pixels of the study field. During the whole life cycle of rice, the total backscattering

coefficient is higher for VV than VH. Both of VH and VV backscatter coefficients were low during the initial period of the rice cultivation. During this period, vegetation cover was kept in low (Fig. 4), and fields are flooded with water. The backscattering coefficients were increased during the late vegetative stage, and became stable after 50 days (VV) or 60 days (VH). This results agrees with previous studies (Wu et al. 2011; Shao et al. 2001; Chen et al. 2007).

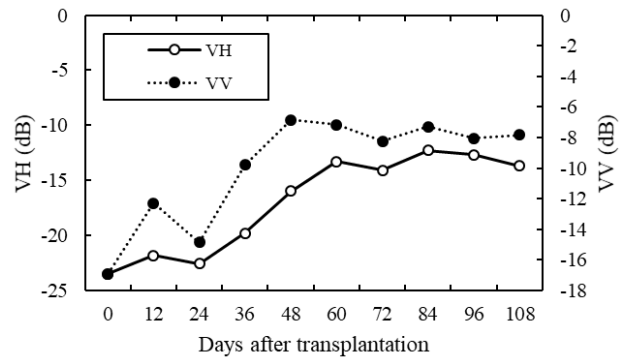


Figure 5: Temporal variation of radar backscattering coefficient and rice age after transplantation

The relation between  $\sigma^0\text{VH}$  or  $\sigma^0\text{VV}$  and rice growth parameters are shown in Fig. 6. The relationship obtained in this study basically agrees with other studies (Wu et al. 2011 and Chakraborty et al. 2005) using RADARSAT-2 and RADARSAT-1 S1 data for plant height and biomass. However, as a unique attempt of this study, Fig. 6 explains the relationship between  $\sigma^0\text{VH}$  or  $\sigma^0\text{VV}$  and rice growth parameters not by a single function but as a combination of two linear lines, assuming that two different types of relationship available during the entire cultivation period, and the intersections of the two lines potentially have biophysical meanings. As shown in Fig. 6, two linear lines followed the observation values well. R-square of the second (i.e. later season's) regression lines had small numbers because the slopes were small. To statistically evaluate the fitness of the lines to the observation values, root mean squared error might be a better term than R-square. Discussion on the result shown in Fig. 6 is made in the next section.

#### 3.3. Discussion for SAR backscattering reactions to rice biophysical parameters

The two linear relationships between rice biophysical parameters and the SAR backscattering signals, as shown in Fig. 6, might have important meaning upon monitoring rice cultivation via satellite SAR observation. According to Fig. 6a, the backscatter signal was

constantly increased as crop height increased, until crop height reaches to 0.4 (VV) or 0.6 (VH) m. The backscatter turned to be insensitive to the crop height after it reached to the threshold height of 0.4 or 0.6 m. Considering the crop growth stages (Fig. 3) and the development of crop height (Fig. 4), this result implies that SAR backscatter can explain rice crop height during the vegetative stage linearly, but not in the reproductive and ripening stages, because SAR signal reaches to level of “saturation” during these later stages of cultivation.

About the LAI (Fig. 6b), backscatter signals increased until LAI reaches to 0.7 (VV) or 1.2 (VH). Fig. 4 shows that LAI slowly developed until LAI 0.7, and then started rapidly growing after LAI 0.7. A large difference of backscatter signals occurs when there is a small difference in LAI, and vice versa. It implies that SAR backscatter signals might be reacting biophysical parameter(s) other than LAI of rice crop. Even if backscatter signals are not directly changed by LAI, Fig. 6b indicates that backscatter signals have a potential to explain the small changes in rice crop LAI, when LAI is less than 0.7 (VV) or 1.2 (VH).

Backscatter signals were very sensitive to the total biomass (Fig. 6c), where biomass reaches up to 0.3 (kg/m<sup>2</sup>), and then “saturate”. However, Fig. 4 indicates that biomass started to increase after it exceeded about 0.3

(kg/m<sup>2</sup>). This implies that SAR was not observing biomass but observing any other biophysical parameter. About the green vegetation cover (Fig. 6d); threshold was at about 50% vegetation cover. The increment of vegetation cover was small and non-linear in the beginning of the cultivation (Fig. 4). However, SAR backscatter signals were linearly increased (Fig. 6). A possible assumption to explain this result might be that SAR backscatter signals responded to biophysical parameters other than vegetation cover in the beginning of the cultivation season. Not like the previously discussed other biophysical parameters, VH did not saturate to vegetation cover. VH was kept increasing as the vegetation cover increased, although the sensitivity somewhat degraded after the vegetation cover reached to 50%. VH might be able to monitor the vegetation cover for the entire cultivation season. As a caution, this study adopted not “total” but “green” vegetation cover, by convenience in monitoring. Assuming that SAR backscatter signals are sensitive more to structure than to greenness of vegetation (where, greenness further relates to chlorophyll and leaf water contents). Moreover, comparison of backscatter signals with total vegetation cover (includes yellow leaves) might be more appropriate term to investigate, which is a future topic of this study.

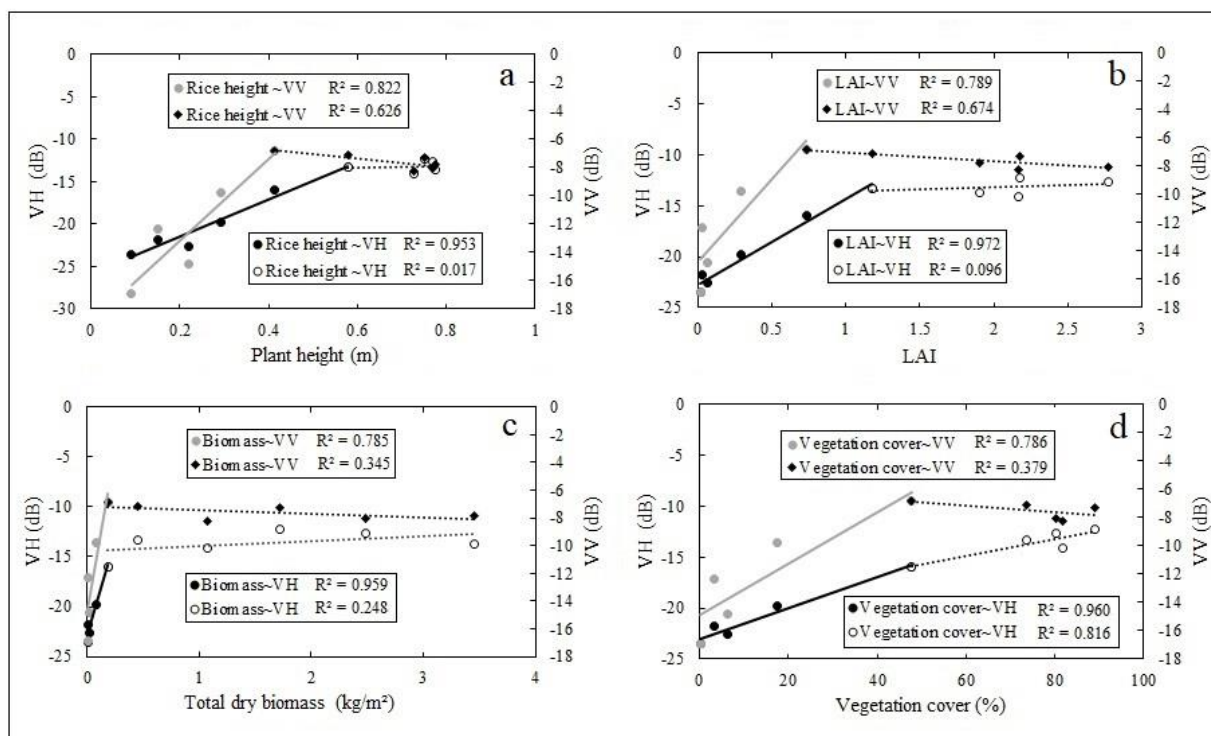


Figure 6: Backscattering coefficient as a function of rice (a) plant height, (b), LAI, (c) biomass and (d) canopy.

As a summary of the discussion, we assume that SAR backscatter signals primarily reacted to crop height in the vegetative stage, and then reacted more to vegetation cover in the following stages. In the beginning of the cultivation season, rice crop grows more vertically than horizontally, as confirmed by Fig. 4, where, only crop height had significant increment from beginning of the cultivation season. This vertical change (i.e. height) of plant condition might have affected the condition of radar reflectance. Once the height reached to about 0.3 m, horizontal growth of the plant is promoted, as represented as the rapid growth of LAI and vegetation cover in Fig. 4. In this period, the primary target of SAR signal response might have gradually shifted from the plant height to vegetation cover. VH showed higher potential than VV to explain vegetation cover. In addition, during the beginning of the cultivation season, where SAR backscatters had linear relationships to the biophysical parameters, VH tended to have higher R-square values than VV, implying that VH is superior to monitor rice biophysical conditions than VV.

#### 4. Conclusions

The objective of this research was to study the relationship between SAR backscatter coefficients and rice biophysical parameters using Sentinel-1 satellite imagery. Results indicated that SAR backscatter signals seem to react to the change in crop height in the beginning of cultivation, and then the target of reaction gradually shifted to changes in vegetation cover. Because all of investigated biophysical parameters (i.e. crop height, LAI, total dry biomass, and green vegetation cover) have specific correlations. SAR backscatter observations have potential to monitor all of these parameters, especially during the vegetative stages, before the backscatter signals reach to saturate for many biophysical parameters. The result also implied that VH is superior to monitor rice crop than VV.

#### Acknowledgements

This study was supported by JSPS KAKENHI Grant Number JP18K05886.

#### References

Abramoff, M.D., Magalhaes, P.J., Ram, S.J. 2004. "Image Processing with ImageJ". *Biophotonics International* 11 (7): 36-42.

Bouvet, A., T. Le Toan, and Nguyen Lam-Dao. 2009. "Monitoring of the Rice Cropping System in the Mekong Delta Using ENVISAT/ASAR Dual

Polarization Data." *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 47 (2): 517–26. doi:10.1109/TGRS.2008.2007963.

Chakraborty, M., K.R. Manjunath, S. Panigrahy, N. Kundu, and J.S. Parihar. 2005. "Rice Crop Parameter Retrieval Using Multi-Temporal, Multi-Incidence Angle Radarsat SAR Data." *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 59 (5). Elsevier: 310–22. doi:10.1016/J.ISPRSJPRS.2005.05.001.

Chen, Jinsong, Hui Lin, and Zhiyuan Pei. 2007. "Application of ENVISAT ASAR Data in Mapping Rice Crop Growth in Southern China." *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters* 4 (3): 431–35. doi:10.1109/LGRS.2007.896996.

Kurosu, T., M. Fujita, and K. Chiba. 1995. "Monitoring of Rice Crop Growth from Space Using the ERS-1 C-Band SAR." *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 33 (4): 1092–96. doi:10.1109/36.406698.

Nguyen, Duy Ba, Alexander Gruber, and Wolfgang Wagner. 2016. "Mapping Rice Extent and Cropping Scheme in the Mekong Delta Using Sentinel-1A Data." *Remote Sensing Letters* 7 (12): 1209–18. doi:10.1080/2150704X.2016.1225172.

Patrignani, Andres, and Tyson E. Ochsner. 2015. "Canopeo: A Powerful New Tool for Measuring Fractional Green Canopy Cover." *Agronomy Journal* 107 (6). The American Society of Agronomy, Inc.: 2312. doi:10.2134/agronj15.0150.

Rucci, A., A. Ferretti, A. Monti Guarnieri, and F. Rocca. 2012. "Sentinel 1 SAR Interferometry Applications: The Outlook for Sub Millimeter Measurements." *Remote Sensing of Environment* 120 (May). Elsevier: 156–63. doi:10.1016/J.RSE.2011.09.030.

Sasaki, Takuji, and Motoyuki Ashikari, eds. 2018. *Rice Genomics, Genetics and Breeding*. Singapore: Springer Singapore. doi:10.1007/978-981-10-7461-5.

Shao, Yun, Xiangtao Fan, Hao Liu, Jianhua Xiao, S Ross, B Brisco, R Brown, and G Staples. 2001. "Rice Monitoring and Production Estimation Using Multitemporal RADARSAT." *Remote Sensing of Environment* 76 (3). Elsevier: 310–25. doi:10.1016/S0034-4257(00)00212-1.

Torbick, Nathan, Diya Chowdhury, William Salas, and Jiaguo Qi. 2017. "Monitoring Rice Agriculture across Myanmar Using Time Series Sentinel-1 Assisted by Landsat-8 and PALSAR-2." *Remote Sensing* 9 (2). Multidisciplinary Digital Publishing

Institute: 119. doi:10.3390/rs9020119.

## さまざまな地表面における SAR 後方散乱係数の特徴

### The characteristic of SAR backscatter on various types of land surfaces

○長渡溪太<sup>1</sup>・多炭雅博<sup>1</sup>・森山雅雄<sup>2</sup>

Keita Nagato, Masahiro Tasumi, Masao Moriyama

**Abstract :** This study investigates the characteristics and the temporal trend of SAR backscatter signals for three types of tennis court, water surface, forests, and a residential area. VV and VH images by Sentinel 1A was analyzed for these surfaces for the period of January 4, 2018, to December 6, 2018. Among the investigated surfaces, water surface had the lowest backscatters and the residential area had the highest. Tennis courts and the forest area had in between the water surface and the residential area. The trend in the backscattering intensity might be explainable by the difference of surface roughness. Not like the paddy rice fields investigated in the previous study, no clear temporal trend was observed in this study for all investigated surfaces, probably because the surfaces observed in this study did not have any significant change in the surface structure throughout a year. The result found in this study can contribute to the land surface monitoring using SAR technology in future.

**Keywords :** SAR, backscatter, land surface monitoring, Sentinel 1

#### 1. はじめに

合成開口レーダ (SAR) は、光学センサと比較して昼夜や天候の影響を受けずに地表面の観測が可能であり、森林バイオマスの推定や画像判読による災害発生場所の抽出など、さまざまな地球環境の変化を調べるために用いられている。筆者らはこれまで、宮崎大学の実習田を調査対象地として、水田における後方散乱係数の推移やその特徴について調べた (長渡ら, 2018)。本研究では、森林や住宅地など、水田以外の様々な地表面における後方散乱係数を調べ、その特徴を把握することを目的とする。また、本研究により得られた地表面ごとの後方散乱研究の特徴の、水田 (長渡ら, 2018) との違いについての考察も加える。

#### 2. 調査方法

本研究には、2018 年 1 月 4 日～同年 12 月 6 日の SAR (Sentinel-1A) の画像を使用した。また、調査対象地として、宮崎大学内のテニスコート、ため池 (大池) の水面、宮崎神宮社叢、一ツ葉海岸林、それと一般的な住宅地として木花台南地区の計 5 か所を選定し、調査対象期間中のそれぞれの地点における後方散乱係数とその時間的推移を調べた。以下に各地点の概要と調査方法の詳細を示す。

##### (1) テニスコート

宮崎市南部の宮崎大学木花キャンパス内に位置する。全部で 12 面あるコートのうち、ハードコート 3 面、オムニ (人工芝) コート 3 面、土のコート

3 面を調査対象とした。各コートにおいて縦 3 ピクセル、横 4 ピクセルの計 12 ピクセル分 (南北 30m × 東西 40m) の後方散乱係数を調べ、その平均値を各テニスコートにおける後方散乱係数とした。

##### (2) 大池

宮崎市清武町木原に位置するため池であり、池の周縁に樹木が並び、周辺は田畑や住宅が点在している。この池の水面範囲内の、縦 3 ピクセル、横 5 ピクセルの計 15 ピクセル分 (南北 30m × 東西 50m) の後方散乱係数を調べ、その平均値をこの池における後方散乱係数とした。

##### (3) 宮崎神宮社叢

宮崎神宮は宮崎市中心部の神宮町に位置する。地表面傾斜による影響を受けない森林自体の後方散乱係数の推移を調べるため、平地に立地しある程度大きな森林面積を持つ神宮内の社叢を対象地とした。服部ら (2010) によると、宮崎神宮の樹林地の面積は約 16ha で、このうち照葉人工林が約 11.9ha、針葉人工林が約 3.8ha を占めている。照葉人工林はおよそ 100 年前に植樹され、主にクスノキやイチイガンなどから構成されており、その林冠は高さ 20m 以上、平均胸高直径は 0.5m に達する。また、針葉人工林は 45 年前に植栽され、主にスギ、ヒノキ、オガタマノキなどで構成されていることがわかっている。本研究では拝殿の東側にある、針葉人工林主体の区画を対象とした。この区画は一斉植栽が行われているため樹高はほぼ均一で、樹冠部分の凹凸も比較的少ないものと考えられる。また、この人工林に生育しているスギやヒノキは常緑樹であり葉を一年中つけていることから、季節による葉の状態の変化は小さい。縦 4 ピクセル、横 4 ピクセルの計 16 ピクセル分 (南北 40m × 東西 40m) の後方散乱

<sup>1</sup> 宮崎大学農学部  
(〒889-2155 宮崎県宮崎市学園木花台 1-1)  
(連絡先 Tel; 0985-58-7991、  
E-mail; tasumi@cc.miyazaki-u.ac.jp )

<sup>2</sup> 長崎大学工学部



係数を調べ、その平均値を宮崎神宮社叢における後方散乱係数とした。

#### (4) 一ツ葉海岸林

一ツ葉海岸林は宮崎市東部の海岸沿いに南北約10kmにわたって広がっており、飛砂や潮害の防止等を目的としたクロマツの海岸林である。面積は約830haで、大部分が国有または県有の公園であり、阿波岐原森林公園を構成している(一川ら, 2008)。本研究ではこの森林も、地表面傾斜の影響を受けない針葉樹林として選定した。森林内の縦4ピクセル、横4ピクセルの計16ピクセル分(南北40m×東西40m)の後方散乱係数を調べ、その平均値をこの森林における後方散乱係数とした。

#### (5) 木花台南地区

木花台南地区は宮崎市南部に位置し、丘陵地に造成された住宅街である。住宅のほとんどが二階建ての一軒家であり、高さはほぼ均一で約7~9m程度である。この地区のうち縦4ピクセル、横4ピクセルの計16ピクセル分(南北40m×東西40m)の後方散乱係数を調べ、その平均値をこの住宅地における後方散乱係数とした。

### 3. 結果と考察

調査対象期間における各調査地点の後方散乱係数の推移は以下の通り。

#### (1) テニスコート

テニスコートにおける後方散乱係数の推移を図1に示す。テニスコートにおいて、VVの値(図1-A)はどのコートも1月と6月の値が大きく、8月~10月の期間は観測日毎に値が変動する傾向がみられた。一方、VHの値(図1-B)は調査期間中どのコートも大きな変動はみられず、-15~-20dB程度のほぼ一定の範囲の値をとっていた。テニスコートの素材の違いによる影響は大きくは見られないが、ハードコートと比較して、人工芝や土のコートはVVの値の変動がより大きく出ていることがわかる。テニスコートは平坦面のため後方散乱係数の変動は小さいと考えられるが、コートの素材が人工芝や土の場合は多少の凹凸が生じる。今回画像を使用したSentinel-1Aは比較的波長の短いCバンドを使用しており、表面の小さな違いにも反応しやすいため、テニスコートのような比較的平坦な場所においても、表面が人工芝や土の場合はハードコートに比べてVVの変動がより大きく出たのかもしれない。

#### (2) 大池

大池における後方散乱係数の推移を図2に示す。

池の水面ではVV、VHともに値に大きな時間的変動は見られず、一定の範囲内で推移していた。また、全体的に値としては-15dBを下回っており、他の土地利用が行われている場所よりも小さい値をとる。池や水田の湛水面などの静水面では、SARから照射されたマイクロ波は鏡面反射により前方に反射するため、SAR方向への反射はほとんど発生せず、後方散乱係数は小さくなる。そのため、この池の水面も同様に波風があまり立たない滑らかな面であると考えることができる。

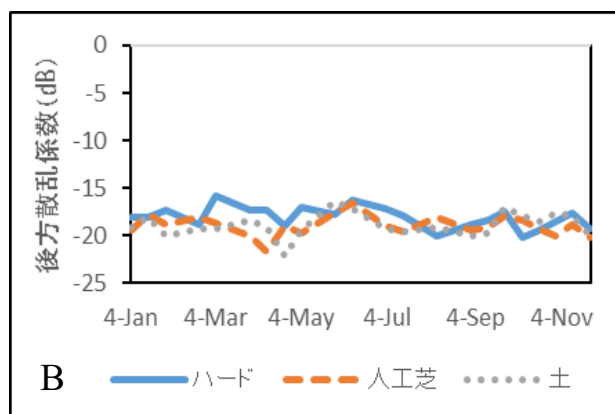
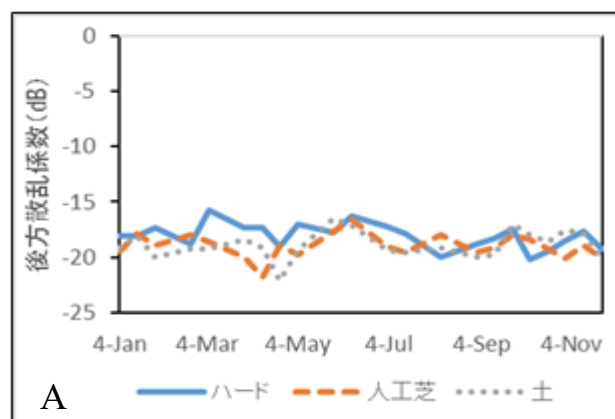


図1 テニスコートにおける後方散乱係数の推移  
(A: VV、B: VH)

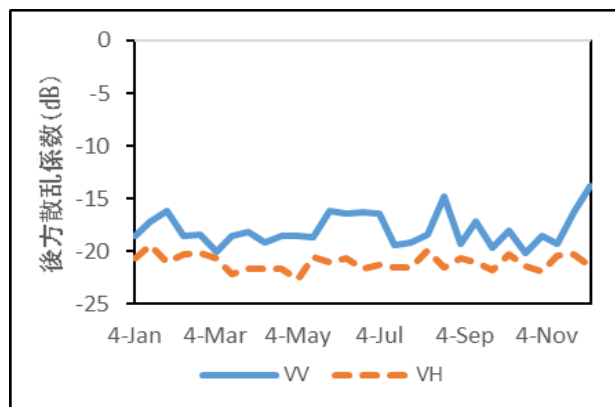


図2 大池における後方散乱係数の推移

### (3) 宮崎神宮社叢

宮崎神宮社叢の後方散乱係数の推移を図3に示す。VVは主におおよそ-8~-12dB、VHは-12~-16dBの範囲を推移し、どちらも年間を通して値に大きな季節変動は見られない。宮崎神宮社叢内の対象区域は、前述のとおり、樹高の揃った、かつ樹冠の立体構造に季節変化の少ない常緑針葉樹林なので、後方散乱係数は大きく変動しなかったのではないかと考える。

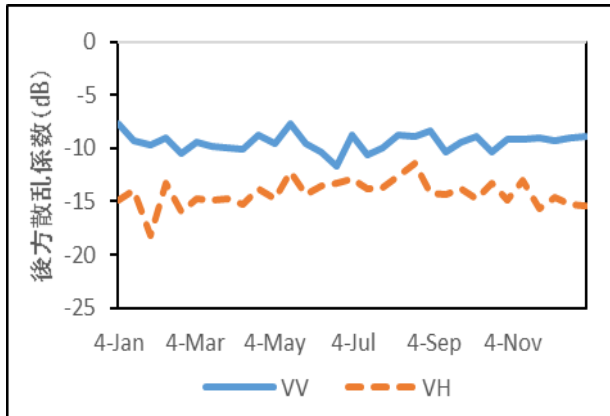


図3 宮崎神宮社叢における後方散乱係数の推移

### (4) 一ツ葉海岸林

一ツ葉海岸林における後方散乱係数の推移を図4に示す。VVはおおよそ-6~-10dB、VHは-10~-16dBの範囲を推移しており、宮崎神宮社叢内に比べて値が大きく、変動の幅も大きい。また、VVは5月~7月、VHは8月~10月頃に後方散乱係数がピーク値を取っており、どちらも冬季にはやや小さくなる傾向がみられた。一ツ葉海岸林ではクロマツが大半を占め、樹齢は1~160年のものであり幅が広い。若干ではあるがクロマツ以外の樹種も林内には見られる。樹齢の個体差が大きいことから、林冠は多少の凹凸が生じていると考えられ、それが宮崎神宮よりも後方散乱係数が大きくなる要因になったのかもしれない。また、クロマツは常緑樹であるが、冬季にはクロマツ以外の樹木が落葉し、散乱要素である葉の量が減少することが、冬季の後方散乱係数の減少につながっている可能性がある。

### (5) 木花台南地区

木花台南地区住宅街における後方散乱係数の推移を図5に示す。VVはおおよそ-2~-6dB、VHは-10~-12dBの範囲で推移し、両者とも値に大きな変動は見られなかった。また、VV、VHともに他の調査地点に比べて後方散乱係数の値が平均的に見て大きかった。水野ら(2014)によると、一般的に住宅などの人工構造物では二重散乱が発生し、SAR方向

へマイクロ波がより大きな反射として返ってくるため、後方散乱係数の値は大きくなる。これは本研究結果と合致した。また、住宅のような人工構造物は水稻や樹林などの自然物のように構造が変化しないことが、VV及びVHの後方散乱係数の時期による違いがそれほど見られなかった原因かもしれない。

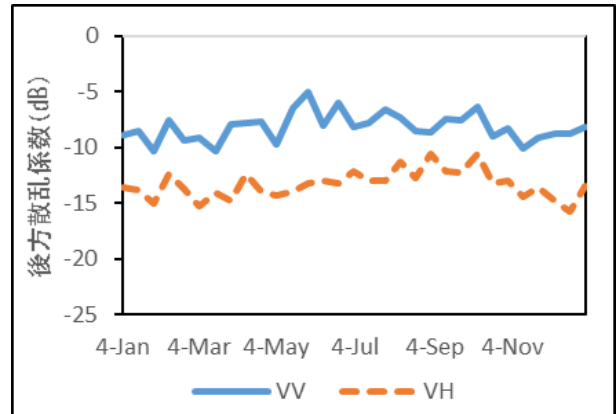


図4 一ツ葉海岸林における後方散乱係数の推移

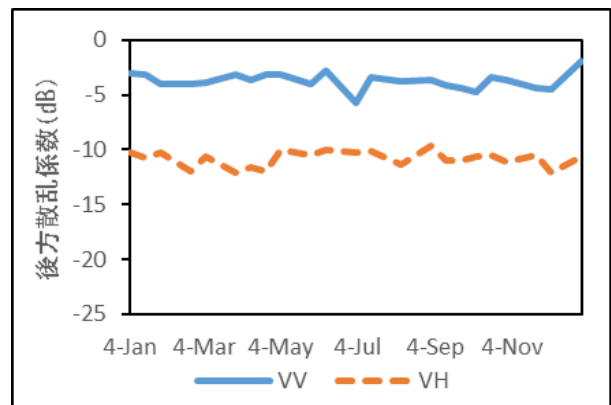


図5 木花台南地区における後方散乱係数の推移

以上の結果から、後方散乱係数の平均値や変動については地表面の土地利用の形態ごとに特徴がみられることが分かった。特に住宅などの人工構造物は後方散乱係数の値が大きく、水田の湛水面や池などの静水面においては値が小さく出ることから、SARの衛星画像を利用してこれらを他の地表面と区別することができる可能性がある。また、前回の調査(長渡ら, 2018)において、水田の後方散乱係数は田植え時期に最も値が小さくなり、その時点から収穫期までの間、イネが成長するにつれて値が大きくなっていくことが分かった。この宮崎大学の実習田と今回の各調査地点との調査結果を比較すると、本研究で対象とした地表面において、実習田のように明確な後方散乱係数の時系列トレンドを示した地表面は無く、図4に示したクロマツ林にやや時系列

トレンドらしきものが認められたのみである。今回の調査では、裸地、水面、常緑の森林や住宅地といった、地物の立体構造に時系列による差がそれほど無い地表面を対象としたことが原因であると思われる。今後、例えば森林においては落葉樹林等の季節による立体構造の変化が期待できる場所も含めて調査したい。

今回はいくつかの地表面における後方散乱係数の特徴を確認することができた。今後はさらに調査対象範囲を広げ、地表面ごとの後方散乱係数の特徴を整理し、SAR 衛星画像を利用した地表面モニタリング技術の発展につなげたい。

#### 謝辞

本研究は JSPS 科学研究費 補助金（科研費）JP18K05886 の助成を受けた。

#### 引用文献

- 1) 一川由菜, 小川義則, 河村健 (2008) . 一ツ葉海岸林における取り組みについて, 林野庁九州森林管理局, 平成 20 年度森林の流域管理システム推進発表大会要旨, 3 pages
- 2) 長渡溪太, 梅野大樹, Wali E., 多炭雅博, 森山雅雄 (2018) . 宮崎大学実習田における SAR の後方散乱係数と稲の生長との関係, 日本農業気象学会九州支部・日本生物環境工学会九州支部 2018 年合同大会, 27, pp.80-83
- 3) 服部保, 岩切康二, 南山典子, 黒木秀一, 黒田有寿茂 (2010) . 宮崎神宮社叢の種多様性の特性, 保全生態学研究 15:47-59
- 4) 水野正樹, 神山嬢子, 江川真史, 佐藤匠, 蒲原潤一 (2014) . 2 偏波 SAR 画像による大規模崩壊及び河道閉塞箇所の判読調査手法 (案), 国土技術政策総合研究所資料第 791 号, 国土交通省国土技術政策総合研究所, 32 pages

## Use of handy-held NIR sensor to estimate water status of leaves and soils

○ Hanif Afzali <sup>1</sup>, Aya Nishiwaki <sup>1</sup>

**Abstract:** The near infrared (NIR) reflectance is expected to provide the rapid, non-destructive and accurate measurements of water status in the field. A total of 40 reflectance spectra (between 1550 and 1950 nm) from different leaves and soils were measured in the laboratory with an inexpensive handy-held Spectral Engines NIRONE Sensor S2.0. The result of drying experiment of leaves showed that there are close relationships between the water percentage of leaves and spectrum parameters. The best calibration model was derived from NIR absorption parameter with standard. The result of linear regression analysis showed significant effects of spectrum parameters on water percentage of leaves, and significant interaction between plant species. This result suggested that different calibration model for water percentage of leaves is needed for each plant species. The results of drying experiment of soils also indicate that there is close linear relationship between the water percentage of soil and spectrum parameters. The best calibration model was derived from normalized difference index (NDI) using two band. The result of linear regression analysis showed significant effects of spectrum parameters on water percentage of soils, and significant interaction between soil types in Japan. This result suggested that different calibration model for water percentage of soil is needed for each soil type. These results showed that an inexpensive handy-held NIR sensor can be applied to measure the water status in real time monitoring from living leaf and soil around living root. These calibration models obtained from this study should provide the rapid, non-destructive and accurate measurements of water percentage of leaves and soils in the field.

**Keywords:** calibration model, NDI, near infrared spectroscopy, NIRONE Sensor, water percentage

### 1. Introduction

The accurate monitoring system of water status in the field is needed to develop an effective irrigation plan (Peñuelas et al. 1993) because the water scarcity is one of the important constraints for sustainable crop production, particularly in arid area such as Afghanistan. Whereas, water availability for agricultural production in most parts of Afghanistan is limited due in part to short seasonal precipitation and unimproved irrigation channels (Mancosu et al. 2015, Parwani 2018). Since the supply of water is limited, efforts have been made to economize the consumption of water, especially in regions where the supply is critical (Seckler et al. 1998, Dinar & Yaron 1992). For production of horticultural crops in arid and semiarid region, water shortage is one of the main restrictions (Tsfaye et al. 2011).

The land evapotranspiration is affected by soil moisture which is a focal procedure in the climate system and a chine of the water, carbon cycle and energy (Falloon et al. 2011, Garten et al. 2009, Holsten et al. 2009, Jung et al. 2010, Wan et al. 2007). The moisture availability in the soil is a pre-requisite for nutrient movement in the plant (Dobriyal et al. 2012). Then, the estimation of accurate water content of soil is essential to make irrigation planning in the field of agriculture (Peñuelas et al. 1993).

Water amount in the plants is one of the most common biochemical parameters, which effects efficiency of photosynthesis and crop productivity (Zhang et al. 2012).

The oven drying method is used to measure the water content of materials (O’Kelly 2004). This method can measure very accurate water content but this destructive method can’t use for real time monitoring of water content. The non-destructive measurement of soil water content by using a probe is widely used for real time monitoring with a minimal disturbance of soil (Noborio 2001). However, this method can’t measure the water content of leaves.

We thought that the near infrared (NIR) reflectance is expected to use for real time monitoring of water contents not only soils but also leaves such as spectroscopy analysis in agriculture fields (Fan et al. 2010, Gillon et al. 2004).

The water contents would be estimated by using the regression models of relationships between reflectance of near infrared light and water contents, but it is known that reflectance of near infrared light is changed by wavelengths and/or other factors such as component of materials not only water (Gillon et al. 2004). Then, it would be needed to select adequate wave length for providing the non-destructive and accurate measurements of water contents. The water absorption is significantly stronger in the 1500-2500 nm region than that in the 900-1300 nm region (Gao

<sup>1</sup> University of Miyazaki (1-1, Gakuen Kibanadai-Nishi, Miyazaki 889-2192, Japan; E-mail: [nishiwaki@cc.miyazaki-u.ac.jp](mailto:nishiwaki@cc.miyazaki-u.ac.jp))

1996, Zhang et al. 2012). The outstanding absorption features of liquid water centered near 970 nm, 1200nm, 1450nm and 1940nm were used to measure the water contents (Curran 1989, Gao 1994, Pu et al. 2003, Li 2006). Some spectroscopy devices were used to measure the water content of leaves but it should be difficult to measure the water content of soils in the field. Because, these devices can't be used at deep soil layer around living root.

Spectral Engines NIRONE Sensor is an inexpensive small NIR spectroscopy device that would be applied to measure the water status in real time monitoring from living leaf and soil around living root, by inserting to soil. These water contents should be correlated to physiological traits of plants. There is no study for water contents of leaves and/or soils by using such types of spectroscopy devices because this device is developed to use in the factory (Spectral Engines homepage).

Therefore, the aim of this study is to examine the spectral absorption property and features as indicators of water status, and to investigate the feasibility of rapid and non-destructive measuring of water contents of leaves and soils by using NIR sensor.

## 2. Materials and Methods

## 2.1. Study sites

The first experiment was conducted in the laboratory of experimental farm of University of Miyazaki Japan from 17 to 28 May and 02 to 11 August 2018. The study site located at 31°49'45.19" north latitudes and 131°24'38.77" east longitudes with 35 m elevation above sea level.

The study site has approximately 2500 mm mean annual precipitation and humid condition (Weather Spark homepage).

The second experiment was conducted from first to 8<sup>th</sup> September 2018 in Badam Bagh Agricultural Research Station, Kabul Afghanistan. It is located at 34°33'05.30" north latitude, and is 69°07'06.42" east longitude with 1810 m elevation above sea level. Kabul has dry climatic condition (Weather Spark homepage).

## 2.2. Device for recording data

Spectral Engines NIRONE Sensors is designed with micro electro mechanical system, including two integrated light sources (Spectral Engines homepage). This spectral sensor can be adapted and controlled via PC by using USB communication board that can be applied to measure the water status in real time

monitoring from materials. This device is fully comparable to the laboratory instruments in a small size (W x L x H) 25 x 25 x 17.5 mm<sup>3</sup>, light weight (15g) and cheap cost around 2000\$, with bulb life of near five years (Spectral Engines homepage).

NIRONE Sensors work at the near infrared (NIR) across the whole wavelength range from 1100 to 2450 nm, that can operate only at selected wavelengths (Spectral Engines homepage). Therefore, we selected the Spectral Engines NIRONE Sensor S2.0 which wavelength range from 1550 to 1950 nm because this range covered high water absorption band (Photo 1).

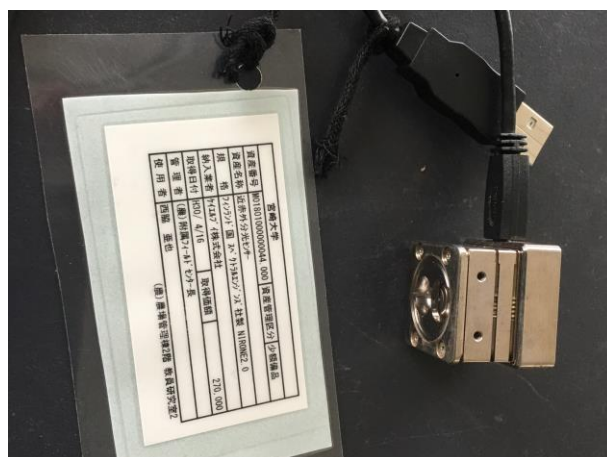


Photo 1: Spectral Engines NIRONE Sensor S2.0.

### 2.3. Data collection

Leaves of eggplant (*Solanum melongena*), cherry blossom (*Prunus speciosa*) and Camellia (*Camellia japonica*), were collected from plants, and different soil types such as Greenhouse soil (light black colored volcanic ash soil), Bora (yellow colored volcanic ash soil) and Andosol (dark black colored volcanic ash soil) were prepared from the field of experimental farm of University of Miyazaki Japan. Leaves of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill). from open field and greenhouse, apple (*Malus pumila*), cherry (*Prunus avium*) and apricot (*Prunus armeniaca*) were collected from plants, and different soil types like Compost, Silt Soil and Loam Soil were prepared from Badam Bagh Agricultural Research Station of Kabul Afghanistan. All of leaves were healthy and homogeneous in color without visible symptoms of damage. In order to minimize water loss during the transfer of the samples to the laboratory, leaves and soils were immediately enclosed in a plastic bag after being picked. Then all the leaves and soil samples were placed in opened plastic bags on a laboratory bench to desiccate slowly (Photo 2). Using handy-held device, the reflectance



spectra were obtained every day until the leaves and soils were air-dried (Photo 3). Each sample was weighted every day by electronic balance. Before the daily measuring of spectra from the samples, a baseline spectrum of lamp was recorded with a standard white board.



Photo 2: The drying experiment for leaves and soils.



Photo 3: Measuring the reflectance spectra (between 1550 and 1950 nm) from soil in the laboratory with an inexpensive handy-held Spectral Engines NIRONE Sensor S2.0.

While the measurements were completed, the leaves and soils were oven dried at 80 °C for 48 h to obtain the dry mass. The water content (water percentage) was calculated using equation (1).

$$\text{Water percentage} = (FW - DW) / (FW) \times 100 \quad (1)$$

Where  $FW$  is fresh weight and  $DW$  is dry weight.

The relative NIR values ( $R-NIR_x$ ) were calculated from reflectance values in each wavelength of sample and white standard board (sample/standard).

$$R-NIR_x = (NIR_x \text{ of sample}) / (NIR_x \text{ of standard}) \quad (2)$$

The relative absorption index in the wavelength 1940nm was calculated from reflectance values of white standard board and sample (standard/sample).

$$\text{Standard}/NIR_{1940} = (NIR_{1940} \text{ of standard}) / (NIR_{1940} \text{ of sample}) \quad (3)$$

The normalized difference index (NDI) was calculated using the equation

$$NDI_{a:b} = (NIR_a - NIR_b) / (NIR_a + NIR_b) \quad (4)$$

Where,  $NIR_a$  and  $NIR_b$  are reflectance values in the wavelength at  $a$  nm and  $b$  nm, respectively.

$$NDI_{1650:1940} = (NIR_{1650} - NIR_{1940}) / (NIR_{1650} + NIR_{1940}) \quad (5)$$

$$\text{Standardized } NDI_{1650:1940} = (R - NIR_{1650} - R - NIR_{1940}) / (R - NIR_{1650} + R - NIR_{1940}) \quad (6)$$

## 2.4 Data analyses

The statistical analysis was made a linear regression analysis with an ANCOVA considering the soil types and/or plant species as categorical variables by using software R 3.5.1. The model for each variable's response was selected by according the highest  $R^2$  value.

## 3. Results and discussion

### 3.1 Spectral absorption features

As shown in Figure 1. and Figure 2., the samples of both leaves and soils of low water percentage have relative high reflectance in the region of 1550–1950 nm, compared with samples of high water percentage. In another word, there was negative correlation between water percentage and relative near infrared reflectance in soil and leaf.

It might be because of simulated increase of light absorption with water percentage. In addition, it can be revealed that the near infrared reflectance spectra especially from 1550-1950 nm wavelength from different samples, the absorption of light by water percentage of samples were highest at around 1940 nm and lowest at around 1650 nm.

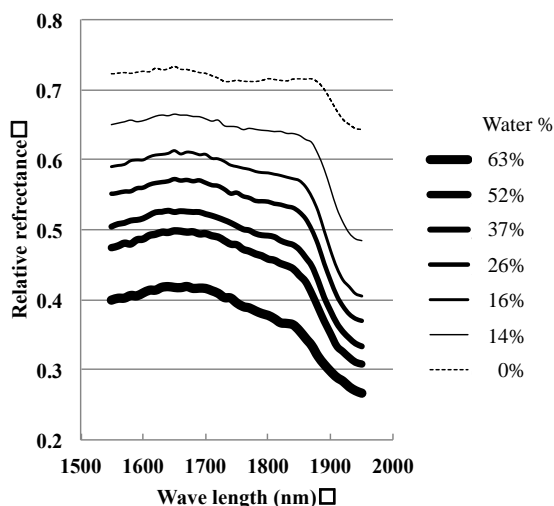


Figure 1: Spectral absorption features of Cherry blossom leaves. □

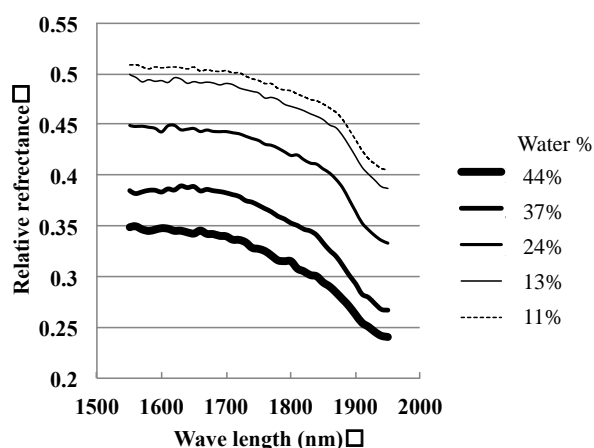


Figure 2: Spectral absorption features of Andosol. □

### 3.2 Relationships between spectrum parameters and water percentage of leaves

The result of linear regression analysis showed significant effects of spectrum parameters on water percentage of leaves (Figure 3). The best calibration model was derived from NIR absorption parameter with standard (Standard/NIR<sub>1940</sub>). The normalized difference index (NDI<sub>1650:1940</sub>) also showed high  $R^2$  value, but in the case of high water percentage leaves (over 50 percentage), this index value did not change by change of water percentage. It is the problem for estimating water percentage of living leaves.

The ANCOVA analysis showed significant difference of regression models between plant species (Table 1). This result suggested that different calibration model for water percentage of leaves is needed for each plant species.

### 3.3 Relationships between spectrum parameters and water percentage of soils

The results of drying experiment of soils indicate that the best calibration model was derived from normalized difference index (NDI<sub>1650:1940</sub>) using two bands. The result of linear regression analysis showed significant effects of spectrum parameters on water percentage of soils, but no significant interaction between soil types in Afghanistan (Table 2). This result suggested that same calibration model for water percentage of soil is needed for any soil types in Afghanistan.

However, the result of linear regression analysis showed significant effects of spectrum parameters on water percentage of soils, and significant interaction between soil types in Japan (Table 2). And, the intercept and slope of each regression line is quietly different between two sites (Table 2). This result suggested that different calibration model for water percentage of soil is needed for each soil type.

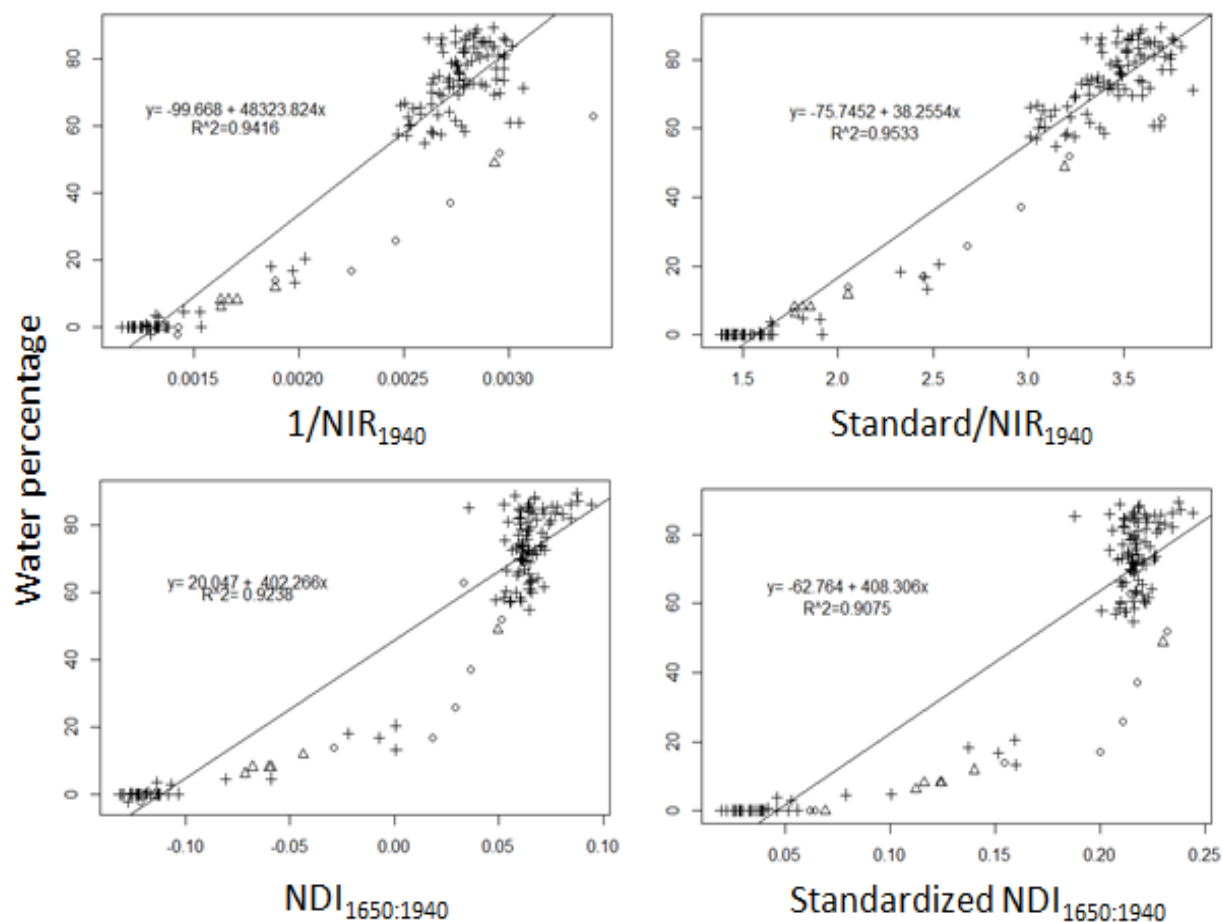


Figure 3: Relationships between spectrum parameters and water percentage of leaves.

Eggplant (+), Camellia (○), Cherry blossom (△).

Table 1: Results of linear regression analysis between spectrum parameters and water percentage of leaves

Spectrum parameters	Country	$R^2$	$P$	Intercept	Slope	ANCOVA test among plant species ( $P$ )
$1/NIR_{1940}$	Afghanistan	0.792	<0.001	-103.8	51279.6	<0.01
	Japan	0.942	<0.001	-99.7	48323.8	<0.001
$Standard/NIR_{1940}$	Afghanistan	0.787	<0.001	-107.3	43.0	<0.01
	Japan	0.953	<0.001	-75.7	38.3	<0.001
$NDI_{1650:1940}$	Afghanistan	0.715	<0.001	20.3	443.9	<0.05
	Japan	0.924	<0.001	21.5	402.5	<0.001
$Standardized\ NDI_{1650:1940}$	Afghanistan	0.715	<0.001	-50.7	446.3	<0.05
	Japan	0.908	<0.001	-62.8	408.3	<0.001



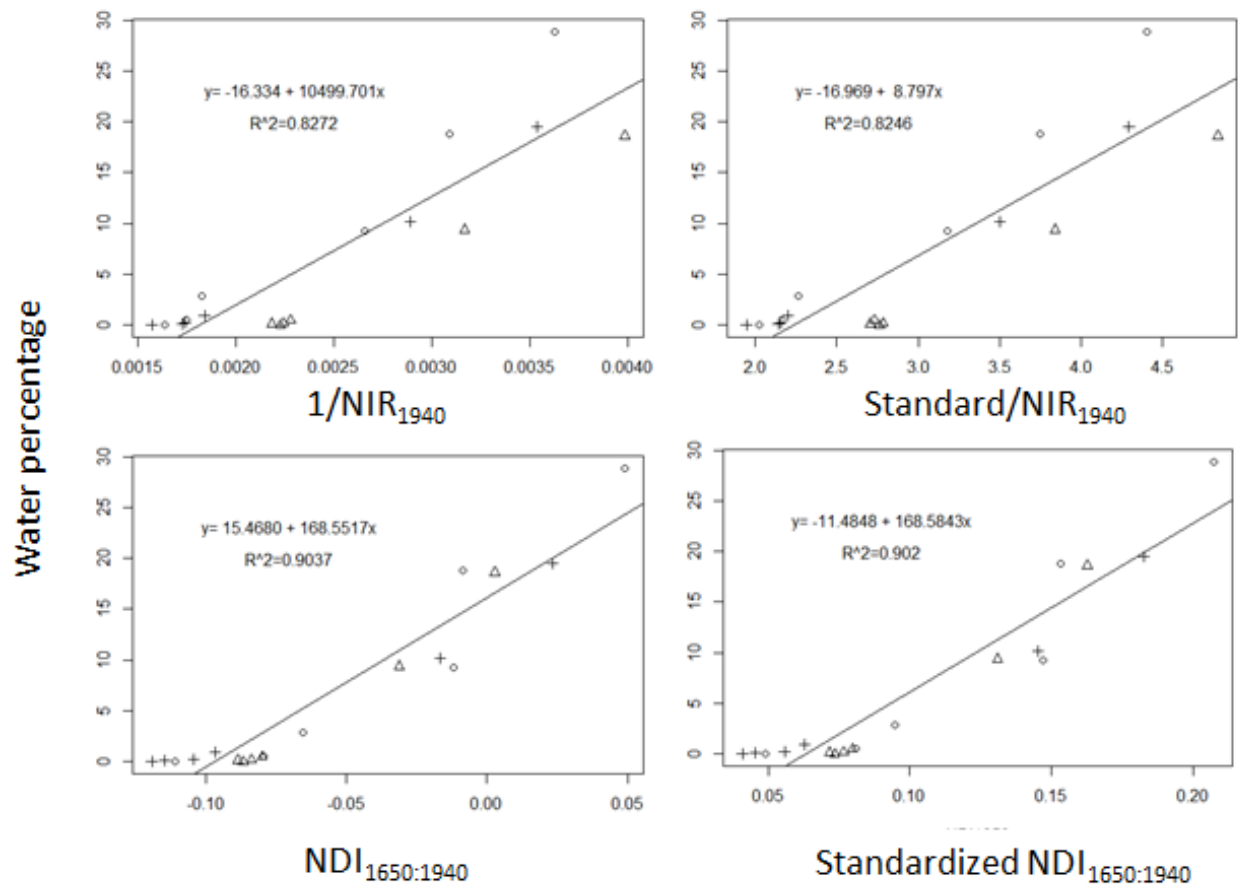


Figure 4: Relationships between spectrum parameters and water percentage of soils. Compost (○), Silt (△), Loam (+).

Table 2: Results of linear regression analysis between spectrum parameters and water percentage of soils.

Spectrum parameters	Country	R <sup>2</sup>	P	Intercept	Slope	ANCOVA test among soil types (P)
1/NIR <sub>1940</sub>	Afghanistan	0.827	<0.001	-16.3	10499.7	0.277
	Japan	0.837	<0.001	-40.1	20256.7	0.059
Standard/NIR <sub>1940</sub>	Afghanistan	0.825	<0.001	-17.0	8.8	0.285
	Japan	0.831	<0.001	-28.6	16.0	<0.001
NDI <sub>1650:1940</sub>	Afghanistan	0.904	<0.001	15.5	168.6	0.676
	Japan	0.834	<0.001	39.5	361.5	<0.001
Standardized NDI <sub>1650:1940</sub>	Afghanistan	0.902	<0.001	-11.5	168.6	0.693
	Japan	0.826	<0.001	-34.2	365.9	<0.001

#### 4. Conclusions

The result revealed that the absorption of light by water percentage of samples were highest at around 1940 nm and lowest at around 1650 nm. The result of linear regression analysis showed significant effects of spectrum parameters on water percentage of leaves and soils. And significant interaction between plant species and between soil types. This result suggested that different calibration model for water percentage of leaves and soils is needed for each plant species and each soil type. The best calibration model was derived from NIR absorption parameter with standard, and normalized difference index (NDI<sub>1650:1940</sub>) using two bands, for leaves and soils respectively.

These results showed that an inexpensive handy-held NIR sensor can be applied to measure the water status in real time monitoring from living leaf and soil around living root. And, these calibration models obtained from this study should provide the rapid, non-destructive and accurate measurements of water percentage of leaves and soils in the field.

#### References

- Curran, P. J. 1989. Remote sensing of foliar chemistry. *Remote sensing of environment*, 30(3): 271-278.
- Dinar, A., and Yaron, D. 1992. Adoption and abandonment of irrigation technologies. *Agricultural economics*, 6(4): 315-332.
- Dobriyal, P., Qureshi, A., Badola, R., and Hussain, S. A. 2012. A review of the methods available for estimating soil moisture and its implications for water resource management. *Journal of Hydrology*, 458: 110-117.
- Fan, Q., Wang, Y., Sun, P., Liu, S., and Li, Y. 2010. Discrimination of Ephedra plants with diffuse reflectance FT-NIRS and multivariate analysis. *Talanta*, 80(3): 1245-1250.
- Falloon, P., Jones, C. D., Ades, M., and Paul, K. 2011. Direct soil moisture controls of future global soil carbon changes: An important source of uncertainty. *Global Biogeochemical Cycles*, 25(3).
- Gao, B. C., and Goetz, A. F. 1994. Extraction of dry leaf spectral features from reflectance spectra of green vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 47(3): 369-374.
- Gao, B. C. 1996. NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote sensing of environment*, 58(3): 257-266.
- Garten, C. T., Classen, A. T., and Norby, R. J. 2009. Soil moisture surpasses elevated CO<sub>2</sub> and temperature as a control on soil carbon dynamics in a multi-factor climate change experiment. *Plant and Soil*, 319(1-2): 85-94.
- Gillon, D., Dauriac, F., Deshayes, M., Valette, J. C., and Moro, C. 2004. Estimation of foliage moisture content using near infrared reflectance spectroscopy. *Agricultural and Forest Meteorology*, 124(1-2): 51-62.
- Holsten, A., Vetter, T., Vohland, K., and Krysanova, V. 2009. Impact of climate change on soil moisture dynamics in Brandenburg with a focus on nature conservation areas. *Ecological Modelling*, 220(17): 2076-2087.
- Jung, M., Reichstein, M., Ciais, P., Seneviratne, S. I., Sheffield, J., Goulden, M. L., et al. 2010. Recent decline in the global land evapotranspiration trend due to limited moisture supply. *Nature*, 467(7318): 951.
- Li, M. Z. 2006. Spectroscopy Analysis Technology and Application. *Science Press*.
- Noborio, K. 2001. Measurement of soil water content and electrical conductivity by time domain reflectometry: a review. *Computers and electronics in agriculture*, 31(3): 213-237.
- Mancosu, N., Snyder, R., Kyriakakis, G., & Spano, D. (2015). Water scarcity and future challenges for food production. *Water*, 7(3): 975-992.
- O'Kelly, B. C. 2004. Accurate determination of moisture content of organic soils using the oven drying method. *Drying Technology*, 22(7): 1767-1776.
- Parwani, S. 2018. Is the water scarcity a bigger threat than the Taliban in Afghanistan <https://thediplomat.com/> (2019.2.19)
- Peñuelas, J., Filella, I., Biel, C., Serrano, L., and Save, R. 1993. The reflectance at the 950–970 nm region as an indicator of plant water status. *International journal of remote sensing*, 14(10): 1887-1905.
- Pu, R., Ge, S., Kelly, N. M., and Gong, P. 2003. Spectral absorption features as indicators of water status in coast live oak (*Quercus agrifolia*) leaves. *International Journal of Remote Sensing*, 24(9): 1799-1810.
- Seckler, D., D. Molden, and R. Barker. 1998. *World Water Demand and Supply, 1990 to 2025: Scenarios and Issues*. Research Report 19, International

Water Management Report .

Spectral Engines homepage. NIRONE SENSORS product brochure.  
<https://www.spectralengines.com/products/modules/> (2019.2.19).

Tesfaye, T., Tesfaye, K., and Woldetsadik, K. 2011. Clay pot irrigation for tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) production in the north east semiarid region of Ethiopia. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics (JARTS)*, 112(1): 11-18.

Wan, S., Norby, R. J., Ledford, J., and Weltzin, J. F. 2007. Responses of soil respiration to elevated CO<sub>2</sub>, air warming, and changing soil water availability in a model old - field grassland. *Global Change Biology*, 13(11): 2411-2424.

Weather Spark homepage. <https://weatherspark.com/> (2019.2.19)

Zhang, Q., Li, Q., and Zhang, G. 2012. Rapid determination of leaf water content using VIS/NIR spectroscopy analysis with wavelength selection. *Journal of Spectroscopy*, 27(2): 93-105.

## Sentinel-1B の SAR 画像を用いたアイダホ州の大規模農地における作物分類の試み

## Crop type classification using Sentinel-1B SAR imagery for large fields in Idaho

○梅野大樹<sup>1</sup>・多炭雅博<sup>1</sup>・森山雅雄<sup>2</sup>

Hiroki Umeno, Masahiro Tasumi, Masao Moriyama

**Abstract** : This study investigates the characteristics of SAR VH and VV imagery on center-pivot cropping fields in Idaho, to investigate the potential usage of SAR backscatter imagery to advanced agricultural monitoring. With the help of NDVI time series observed by Landsat 8, alfalfa, beans, corn and sugar beet fields were identified in the study area. The time series SAR backscatter signals by Sentinel-1B had specific characteristics for each agricultural crop field, which implies that the SAR-based crop monitoring and crop type classification is possible. The result of a test classification using SAR VH and VV had some agreement with NDVI based crop classification, implies that SAR is potentially useful for crop classification, although better understanding of the characteristics of SAR backscatter and more investigation in application methods are needed in future.

**Keywords** : Sentinel-1B, SAR, crop type classification, Agricultural monitoring

## 1. はじめに

農業における研究は経済、環境予測の重要な役割を担っている。作物生産の予測には作物生育期の正確なデータを集めることが必要であり、年間を通じた継続的な圃場状態の観測が求められる。近年では衛星画像を利用したリモートセンシング技術に応用した作物分類や作物生育の継続的なモニタリングが行われている。しかし衛星の光学センサによる地表面観測は雲の影響を大きく受けるため、雲、霧が発生しやすい地域では地表面の継続観測が難しい。一方、雲を透過するマイクロ波を利用した合成開口レーダー (SAR) 観測は、天候に左右されず、また衛星自らが照射するレーダーの反射を計測する仕組みのため夜間の観測も可能である。したがって近年では、SAR を用いた圃場作物分類について多くの論文が報告されている (Whelen and Siqueria, 2017; Yang et al., 2018)。しかし、SAR 偏波の値である後方散乱係数のみを用いた作物分類の報告は少なく、後方散乱係数を固有ベクトルに分解した散乱分解解析 (Cloud and Potter, 1996) やモデルベースで分解した散乱分解解析 (Freeman and Durden, 1998)、また LAI や OSAVI などの指標と組み合わせた作物分類が中心に行われている。

そこで本研究では Landsat8 OLI 観測センサから NDVI を算出し、NDVI と Sentinel-1B に搭載された C バンド後方散乱係数 (VH、VV) との間に相関があるのか、また NDVI を用いてあらかじめ作物分類を行ったデータを元に教師付き分類を行い、後方散乱係数による作物分類はどの程度可能であるか調査した。

本研究に使用する SAR 画像を事前に確認したところ、本研究で使用する画像は 50m 程度の位置のずれがみられたため、この程度の位置のずれを考慮する必要のない、圃場サイズが大きいセンターピボット (半径 400m 程度) を主な調査対象とした。

## 2. 研究データと研究方法

## 2-1. 研究対象地とサンプル地点

アメリカアイダホ州ミニドカ地域 (42.8N 113.7W) におけるセンターピボット圃場 (半径 400m 程度) を 20 圃場 (A-J および 1-10)、サンプル圃場として選定した (図 1a)。圃場 A-J は NDVI 値の時系列推移の詳細な解析を通して各圃場における作物種を決定した。圃場 1-10 は、作物種がわかっている圃場 A-J を教師とした作物分類を行った際の、分類精度の検討用に選定したものである。また、後述のように後方散乱係数のノイズの原因を調査するため、農地以外からサンプル地点 4 地点 (K-N) を選定した (図 1b)。

## 2-2. 正規化植生指数 (NDVI)

本研究で使用する NDVI は、2017 年の Landsat 8 OLI 観測センサから Band3 (R: 赤波長の反射率) Band4 (NIR: 近赤外波長の反射率) を使用して NDVI を算出した。

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (1)$$

2017 年の対象地域における Landsat 全画像 22 枚のうち 10 枚 (4/15, 5/1, 6/18, 7/4, 8/5, 8/21, 9/6, 10/24, 11/25, 12/11) は雲の影響がなく、NDVI の算出ができた。詳細な検討を加える圃場 A-J については、各サンプル圃場からそれぞれ 20 ピクセル (1 ピクセルは 30m×

<sup>1</sup> 宮崎大学農学部  
(〒889-2155 宮崎県宮崎市学園木花台 1-1)  
(連絡先 Tel: 0985-58-7991、  
E-mail: [tasumi@cc.miyazaki-u.ac.jp](mailto:tasumi@cc.miyazaki-u.ac.jp))

<sup>2</sup> 長崎大学工学部

30m) の NDVI 値を抽出し、それらの平均 NDVI 値を各サンプル圃場の NDVI 値とした。



図 1a. サンプル圃場位置図



図 1b. 農地以外のサンプル地点 (K&L = フィードロット、M = 池、N = 裸地)

### 2-3. 後方散乱係数 (VH、VV 偏波)

本研究では Sentinel-1B に搭載された 2017 年の C バンド後方散乱係数 (VH、VV) の全画像 22 枚 (1/6, 2/23, 3/7, 3/19, 4/12, 4/24, 5/6, 5/18, 5/30, 6/11, 6/23, 7/5, 7/17, 8/10, 8/22, 9/15, 10/9, 10/21, 11/2, 11/14, 11/26, 12/20) を使用した。詳細な検討を加える圃場 A-J については、各サンプル圃場からそれぞれ 20 ピクセル (1 ピクセルは 10m×10m) の VH 偏波と VV 偏波における後方散乱係数を抽出し、それぞれの平均値を各サンプル圃場の後方散乱係数とした。

### 2-4. NDVI による作物分類教師データの作成

NDVI を利用した作物分類は多くの論文で報告されている (萬ら, 2005; Zheng et al, 2015; Ouzemou et al, 2018)。本研究では、圃場 A-J (図 1a) を対象に NDVI 値の時系列推移を詳細に解析し、波形が類似してい

るサンプル圃場を 4 つの異なる作物グループとして分類した (図 2)。またこれら 10 圃場 (A-J) について、Tasumi et al. (2005) にて報告されている本研究対象地における作物種ごとの NDVI の時系列推移データを参考に作物種を決定した。

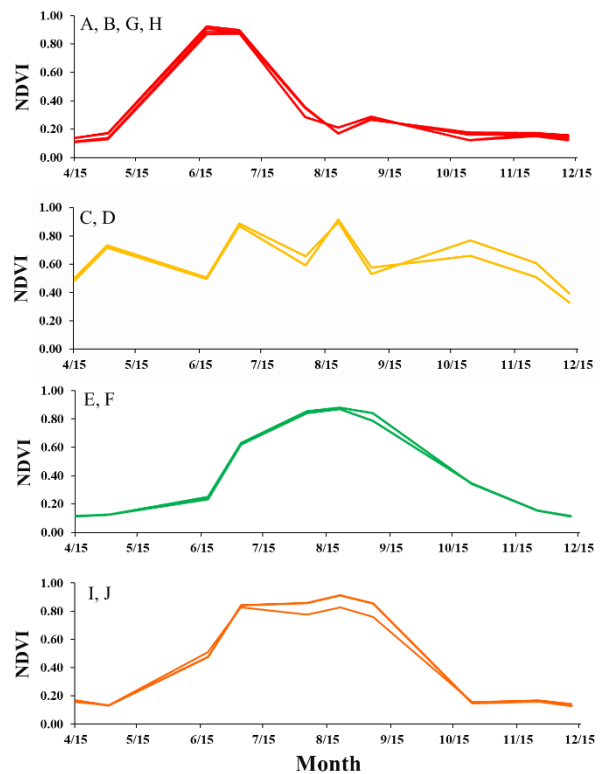


図 2. 4 つの作物グループにおける NDVI 特性

### 2-5. VH、VV 偏波と NDVI との関係調査

VH 偏波と VV 偏波の経時推移を圃場サンプル 10 地点 (A-J) と、圃場以外のサンプル 4 地点 (K-N) についてそれぞれ調査した。また、VH 偏波、VV 偏波と NDVI の間に何らかの相関関係があるのかどうか調べた。相関関係の有無を調べる際の留意点として、Landsat 画像から読み取った NDVI と Sentinel 1B 画像から読み取った後方散乱係数とは、データ取得のタイミングおよびデータ数に違いがあるため、この 2 つのデータを同期させる形で相関関係を調査することはできない。そこで本研究では、NDVI 観測日に最も近い後方散乱係数データを合計 10 日間分 (4/12, 5/6, 6/23, 7/5, 8/10, 8/22, 9/15, 10/21, 11/26, 12/20) 選択し、それらを NDVI 値と対応させることにより両者の相関の有無を調べた。

### 2-6. SAR 画像データを利用した作物分類

SAR 画像データを利用した作物分類の可能性検討には、以下の解析手順を取った。まず 2-4 節で作物種を決定したサンプル圃場 10 圃場を教師データとし、



NDVI、SAR (VH および VV) それぞれの時系列データセットを用いて教師付き分類を行った。この際インプットデータとなる SAR 画像としては、2-5 節で述べた 10 画像ではなく、2-3 節にリストした 22 画像全てを使用した。こうして作成した NDVI、VH および VV による 3 種類の作物分類図を、分類精度検討用に選定した 10 圃場 (図 1a, 圃場 1-10) を使用し、分類精度の検討を行った。

### 3. 結果と考察

#### 3-1. VH、VV 偏波の時系列推移

NDVI 値の時系列推移の詳細検討により作物種のわかっている圃場サンプル 10 地点 (A-J) について、VH 偏波の時系列推移を作物グループごとに示す (図 3)。VH 偏波は作物ごとにそれぞれ特徴を持ち、同一作物グループ内でのグラフ波形は類似していた。これは、作物分類に VH の時系列推移データが利用できる可能性があることを示している。

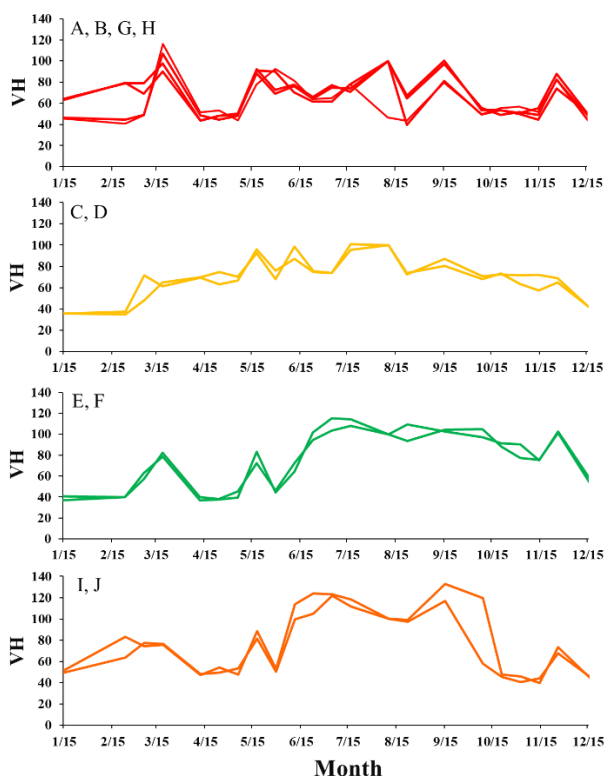


図 3. 初期精度検証用 10 圃場における VH 偏波の時系列推移 (A, B, G, H:エンドウ、C, D:アルファルファ、E, F:サトウダイコン、I, J:トウモロコシ)

同様の解析を VV 偏波についても行った (図 4)。こちらも VH 偏波と同様、作物種ごとに時系列推移に特徴があり、また同一作物グループ内でのグラフ

波形は類似していたため、作物分類に利用できる可能性がある。

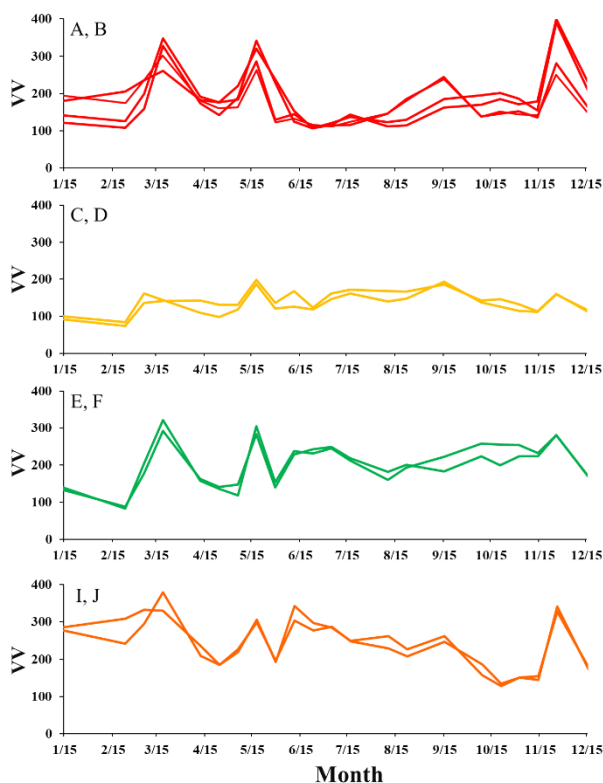


図 4. 初期精度検証用 10 圃場における VV 偏波の時系列推移 (A, B, G, H:エンドウ、C, D:アルファルファ、E, F:サトウダイコン、I, J:トウモロコシ)

VH 偏波 (図 3)、VV 偏波 (図 4) に示したほぼ全てのサンプルで、3/19、5/18、11/26 にグラフの尖形がみられた。長渡ら (2018) が報告したように SAR の後方散乱係数が、作物の立体構造に深く関わる草丈や葉面積指数等と何らかの関係があるものと見込まれるが、図 3 および図 4 で見られた尖形は作物の立体構造変化からは説明できず、大気、あるいは地表面状態、またはセンサ状態等に起因する何らかのノイズである可能性がある。念のためこの尖形がセンターピボット圃場のみで見られる現象かどうかを確認する目的で、センターピボット以外のサンプル 4 地点の後方散乱係数においても同様の尖形が見られるかどうか調べた。結果は図 5 に示しており、VH 偏波、VV 偏波ともに、フィードロットについては 5/18、11/26 の尖形はみられたが、3/19 はみられなかった。池と裸地では、尖形はみられなかった。この尖形の原因は今回の調査ではわからなかった。今後さらに文献調査も含めて検討する。

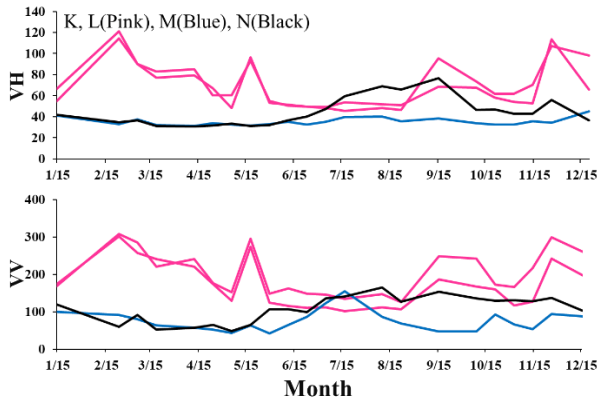


図 5. センターピボット以外の対象地点 (K, L:フィールドロット、M:池、N:裸地) における VH 偏波 (上図)、VV 偏波 (下図) の時系列推移

### 3-2. VH および VV 偏波と NDVI との関係

作物種ごとの VH 偏波と NDVI の関係を図 6 に示す。

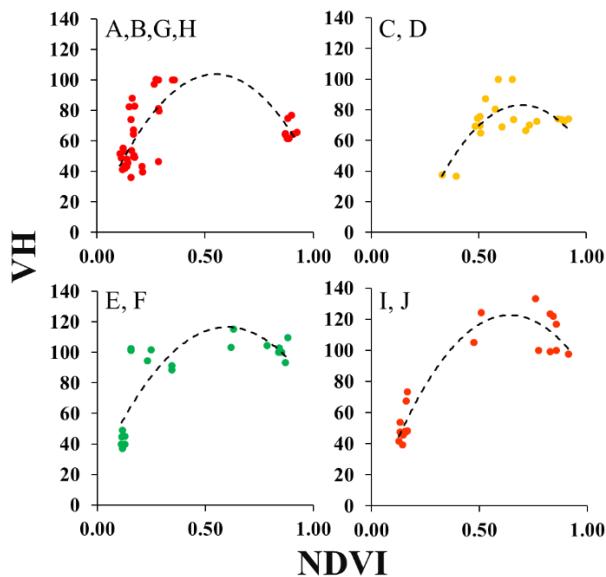


図 6. 作物種ごとの VH 偏波と NDVI の関係 (A, B, G, H: エンドウ、C, D: アルファルファ、E, F: サトウダイコン、I, J: トウモロコシ)

エンドウは  $0.4 \leq \text{NDVI} \leq 0.8$  のデータが欠如しているため、関係性の判断がやや曖昧になるが、今回対象となった全ての作物種において、VH 偏波は NDVI に対して二次関数曲線 (図 6)、あるいは Wali et al. (2019) が提案するような 2 つの線形関係の組合せ (NDVI 値が低い段階では正の直線関係、その後 VH が一定値に収束する) のように見受けられた。NDVI と VH の関係を図 6 に示すような二次関数曲線で表現した場

合のアルファルファ、エンドウ、サトウダイコン、トウモロコシのそれぞれの決定係数は、0.55、0.45、0.67、0.91 であった。

VV 偏波と NDVI の関係について図 7 に示した。

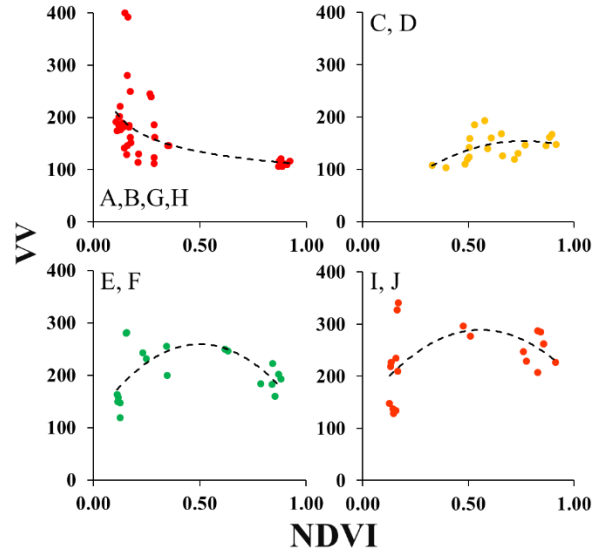


図 7. 作物種ごとの VV 偏波と NDVI の関係 (A, B, G, H: エンドウ、C, D: アルファルファ、E, F: サトウダイコン、I, J: トウモロコシ)

調査対象の全ての作物種において、VV 偏波と NDVI の間には何らかの関係があるように見受けられた。アルファルファ、サトウダイコン、トウモロコシでの決定係数はそれぞれ、0.22、0.35、0.22 だった。エンドウは他の 3 種の作物とは違った関係になっており、これを対数関数で表現した場合、決定係数は 0.40 であった。本研究では VH 偏波の方が VV 偏波よりも非線形曲線の決定係数は大きい値を示した。この結果から、VH 偏波は VV 偏波よりも作物の成長をよりよく示すことが考えられる。Yang et al. (2018) においても、VH 偏波の方が VV 偏波よりも作物成長をより詳細にあらわすことができると報告されており、本研究結果はこのような既往の報告とも一致した。

図 6 および図 7 に示した結果には、前述の尖形を示したデータの影響も含まれている。また NDVI 値の低い領域においては、実際の圃場状態が作付け前の裸地状態の場合と、収穫前の作物が枯れた状態で存在している場合、また収穫後の枯れた作物体が一部圃場に残っている状態の全てが含まれていると思われる。本解析においてはこれらの不確定要素が含まれているものの、作物ごとに異なる NDVI と VH あるいは VV の関係が読み取れたことは、雲や霧などの影響により光学センサでは作物分類が難しい地域において、SAR 画像が作物分類を含む作物の生育モ

ニタリングに役立つ可能性を示唆している。今後は尖形の原因究明や圃場状態による後方散乱係数のより詳細な検討、また長渡ら（2018）が水稻に対して行ったような草丈、要面積指数（LAI）、植物面積指数（PAI）と後方散乱係数との関係調査等、より綿密な検討を行う必要がある。

### 3.3. SAR 画像を利用した作物分類精度評価

NDVI による作物分類結果を図 8a に示す。また、精度検証用に選定した 10 圃場（圃場 A-J）を教師とした、VH 偏波と VV 偏波を入力データとした教師付き作物分類結果を図 8b および図 8c に示す。

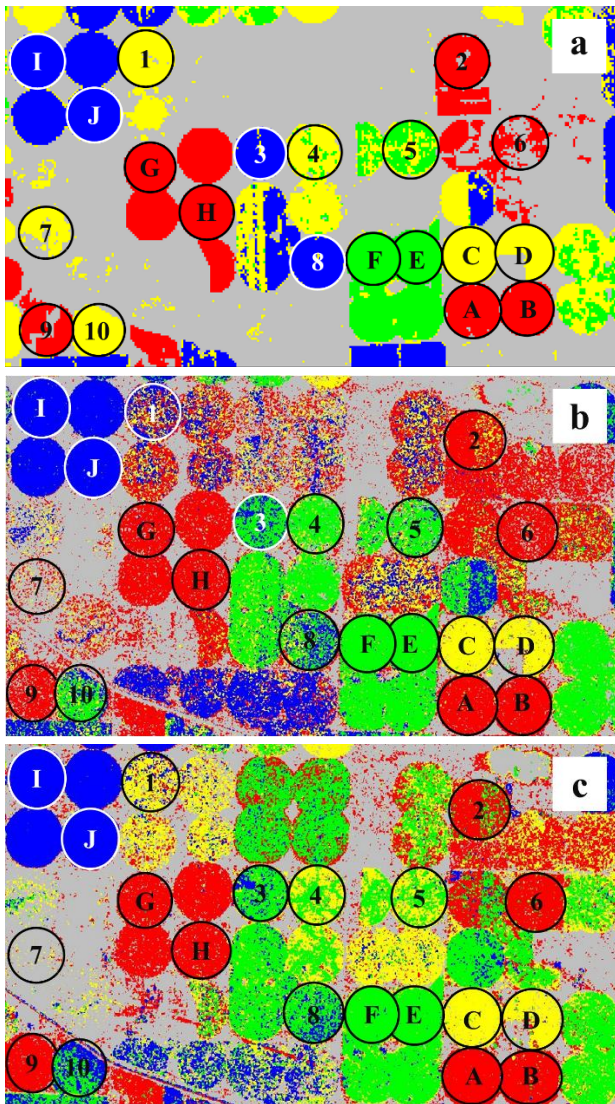


図 8. (a) NDVI、(b) VH、(c) VV を使用して作成した作物分類図—エンドウ（赤）、アルファルファ（黄）、サトウダイコン（緑）、トウモロコシ（青）とその他の土地被覆（灰色）

この作物分類結果について、分類精度の検討用に選定した 10 圃場（圃場 1-10）に注目し、NDVI、VH

偏波および VV 偏波による作物分類図ではそれぞれの作物種に分類されているかを読み取り、表 1 にまとめた。なお、特に SAR 画像による作物分類図を中心に、1 圃場あたり複数の作物種に分類されているピクセルが入り組んで混在している圃場も見られるが、表 1 では各圃場において優勢な作物種がある場合、それをその圃場の作物種とし、2 種がほぼ均等に混在している場合については 2 種類併記とした。また目視により 1-2 種類に決定困難な圃場については作物種「不明」とした。

表 1. NDVI、VH 偏波、VV 偏波における 10 圃場における作物分類結果

圃場番号	NDVI	VH	VV
1	アルファルファ	不明	アルファルファ
2	エンドウ	エンドウ	エンドウ
3	トウモロコシ	サトウダイコン	サトウダイコン
4	アルファルファ	サトウダイコン	サトウダイコン
5	サトウダイコン	サトウダイコン	サトウダイコン
6	エンドウ	エンドウ	エンドウ
7	アルファルファ	不明	不明
8	トウモロコシ	サトウダイコン or トウモロコシ	サトウダイコン
9	エンドウ	エンドウ	エンドウ
10	アルファルファ	サトウダイコン	サトウダイコン or トウモロコシ

NDVI と同一作物に分類された圃場は、VH 偏波で 4 圃場（圃場番号 2, 5, 6, 9）、VV 偏波では圃場番号 1 を含む合計 5 圃場であった。作物ごとの特徴として、NDVI、VH、VV 全てでエンドウに分類された圃場は合致していた。これは図 2 に示すように、エンドウは他の 3 種の作物に比べて生育期間が極端に短く、時系列解析による分類が容易だったためと考えられる。その他の 3 圃場については、SAR 画像を元にした分類結果間になかなか高い一致が見られたものの、NDVI と SAR 間の不一致が目立った。

今回対象とした 4 種の作物の中で、アルファルファ以外の 3 種は植え付けから収穫まで NDVI がなだらかな曲線で表されるが、アルファルファのみ NDVI 値の急な変動がみられる（図 2）。アルファルファはこの 4 種の中では特殊な作物で、飼料用作物のため、植え付け後にある程度成長すれば刈り取り、また成長すれば刈り取り、というサイクルを 1 年のうち 3-4 回繰り返す。刈り取りのタイミングも圃場毎に不均一なため、時系列分析による作物分類の難易度は比較的高い。またサトウダイコンとトウモロコシは生育時期や期間が似ており、これら 2 作物の分類は難易度が高い。NDVI による分類結果を真値と仮定した場合の SAR 画像のサトウダイコンとトウモロコシとの取り違い（圃場番号 3, 8）は、SAR 画像がある程度の精度で、作期ごとの作物分類ができたと捉えることもできる。

特筆すべき事項として、圃場番号 6 のように、NDVI



では一部分類が不確かな圃場を SAR が明確に分類した例が見られた。本研究で検討対象圃場に選定していない圃場においても、NDVI ではこれら 4 種以外の作物に分類されている、または分類が困難であった圃場 (= 灰色) で、SAR 画像は 4 種のうちのいずれかの作物に割り当てている圃場が多数存在する。本研究では現場検証を行っていないため、SAR 画像による分類の成否は不明であるが、SAR 画像は上手く使用することで、乾燥地においても NDVI を上回る (NDVI 観測の欠測が多い湿潤域においてはさらに有利な) ツールになる可能性がある。

作物分類の精度は、分類担当者の技術やコツ等によっても変わるため、今後は、尖形を示す画像を入力値から除く (もし尖形がノイズであった場合)、分類に最適なピクセルサイズを検討する (1 圃場に多種の作物種が混在したのは 10m では細かすぎた可能性がある)、等も含めた検討を含め、SAR 画像による作物分類精度の改善に取り組みたい。

#### 4. おわりに

本研究ではアメリカアイダホ州のセンターピボット圃場を対象に、Landsat による NDVI 観測と、Sentinel-1B の後方散乱係数 (VH 偏波、VV 偏波) 観測とを比較し、SAR 画像の作物種ごとの特性と作物分類への利用可能性を検討した。SAR の後方散乱係数は作物種ごとに時系列的な特徴が認められ、作物分類や作物モニタリングへの利用可能性が示唆された。作物分類においては、現地実地調査を伴わない本研究からは結果や考察の信頼性確保が不十分なものの、作付け時期に特徴のあるエンドウを NDVI による分類と同等精度で分類でき、作期の近いサトウダイコンやトウモロコシについても、概ね他作物との分類ができた。SAR 画像による作物分類の精度向上は、様々な改善の余地があるため、今後更なる調査を進め、精度向上に努めたい。

#### 謝辞

本研究は JSPS 科学研究費 補助金 (科研費) JP18K05886 の助成を受けた。

#### 引用文献

1. Cloude, S. R. and Pottier, E. "A review of target decomposition theorem in radar polarimetry, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing" 34(2), pp.498-518, 1996.
2. Freeman, A. and Durden, S. L. "A Three-Component Scattering Model for Polarimetric SAR Data, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing" 36(3), pp.963-973, 1998.
3. Ouzemou, J. E., Harti, A. El., Lhissou, R., Moujahid, A. El., Bouch, N., Ouazzani, R. El., Bachaoui El. M. and Ghmari, A. El. "Crop type mapping from pansharpened Landsat 8 NDVI data: A case of a highly fragmented and intensive agricultural system, Remote Sensing Applications: Society and Environment" 11, pp.94-103, 2018.
4. Tasumi, M., Allen, R. G., Trezza, R. and Wright, J. L. "Satellite-based energy balance to assess within-population variance of crop coefficient curves" Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 131(1), pp.94-109, 2005.
5. Wali, E., Tasumi, M., Umeno, H., Denih, A., Nagato, K., Moriyama, M. "Rice crop monitoring with Sentinel-1 dual polarization SAR data in Miyazaki Japan". Proceedings of the 2018 Annual Congress of the Remote Sensing Society of Japan, Kyushu Branch, (in printing), 2019.
6. Whelen, T. and Siqueira P. "Use of time-series L-band UAVSAR data for the classification of agricultural fields in the San Joaquin Valley" Remote Sensing of Environment, 193, pp.216-224, 2017.
7. Yang, H., Pan, B., Wu W. and Tai, J. "Field-based rice classification in Wuhua county through integration of multi-temporal Sentinel-1A and Landsat-8 OLI data" International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 69, pp.226-236, 2018.
8. Zheng, B., Myint, S. W., Thenkabail P. S. and Aggarwal R. M. "A support vector machine to identify irrigated crop types using time-series Landsat NDVI data" International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 34, pp.103-112, 2015.
9. 長渡溪太, 梅野大樹, Emal, W., 多炭雅博, 森山雅雄 "宮崎大学実習田における SAR の後方散乱係数と稲の生長との関係" 日本農業気象学会九州支部・日本生物環境工学会九州支部 2018 年合同大会, 27, pp.80-83, 2018.
10. 萬和明, 田中賢治, 池淵周一 "NDVI 時系列解析による全球作物分類図の作成" 水工学論文集, 49, pp.379-384, 2005.

# 近年におけるさとうきびの台風被害について

神田英司

Remote sensing of the typhoon damage in sugar cane field

Eiji Kanda

Keywords: Sugar Cane, Remote Sensing, NDVI

## 1. はじめに

さとうきびは主に南西諸島で栽培されているが、近年収量変動が大きく、また収量や糖度が低下傾向にある。台風や干ばつ、近年の気温傾向、農業人口の減少・高齢化、それに伴う戸当たりの栽培面積の増加、栽培管理の機械化など様々な要因が複雑に影響していると考えられる。

そこで、本研究では、徳之島、宮古島におけるさとうきびの糖度についてとくに2017年の台風の影響を中心に解析を行ったので報告する。

## 2. 方法

2017年の台風21号、台風22号、2018年の台風8号、10号を対象に衛星画像による台風被害診断の可能性を検討した。台風の通過前後に観測されたSentinel-2A/2Bの画像を使用した。南西糖業より徳之島の生産者搬入データ(2016年～2017年:受入農家別、生産地区、受入日、糖度など)を、沖縄糖業、宮古製糖より宮古島平良、城辺、下地、上野地区の生産者搬入明細データ(2013年～2017年:圃場別、原料区、糖度など)を入手した。画像解析で得られた正規化植生指数(以下、NDVI)と台風被害、糖度分布の関係について検討した。

なお、統計解析にはR、地理情報処理にはQGIS、ArcGIS Proを用いた。

## 3. 結果

徳之島の南西糖業での平成29年度の買入糖度は、12.49で過去最低であった。買入平均糖度が13.87であった平成28年度はほぼ全集落で糖度13.5以上であったのに対し、平成29年度は集落別集落別の糖度分布をみると島の西側に糖度12.5以下の集落が多かった(図1)。これは吹き返しの南西の風が強くなった10月28日18:00以降、降水がみられず、潮風害が中心と推察される。台風通過前の8月30日と通過後11月28日のSentinel-2の衛星画像より算出した光合成活性と生育量と関係する正規化植生指数(NDVI)の差は島南部の伊仙では0程度、天城町を中心とする西側の集落を中心に-0.2～-0.3程度となり、葉や茎の損傷が1か月では回復していないとみられた(図2)。

2018年7月の台風被害を宮古島でみると島の内陸中東部の長間区では春植が遅れたさとうきび圃場で7月9日にNDVIが0.444であったが、7月29日には0.363、8月8日に0.198と被害が大きくなった(図3)。しかし、7月9日のNDVIが0.571まで進んでいた東南部の吉野区の圃場では、7月29日に0.326となったが、8月8日には0.398と回復し始めていた。これは葉の損傷と茎の損傷の違いによるものと思われる。

本研究は農研機構生研支援センター「イノベーション創出強化研究推進事業」の支援を受けて行った。

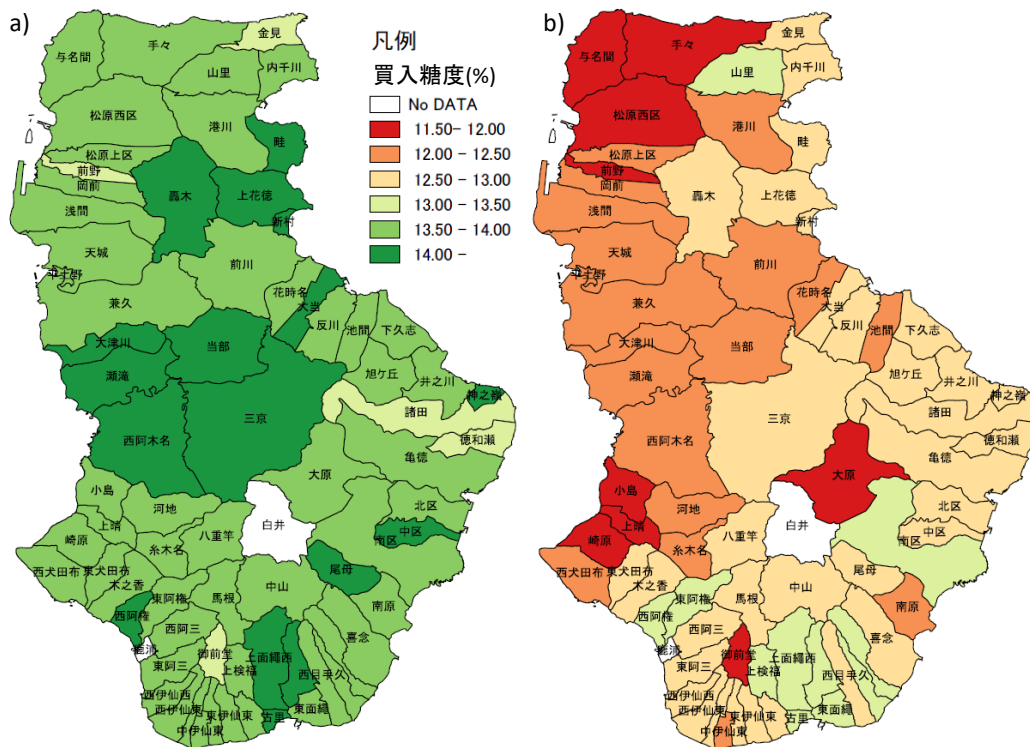


図1 集落別買入糖度(徳之島)

a) 平成 28/29 年、b) 平成 29/30 年

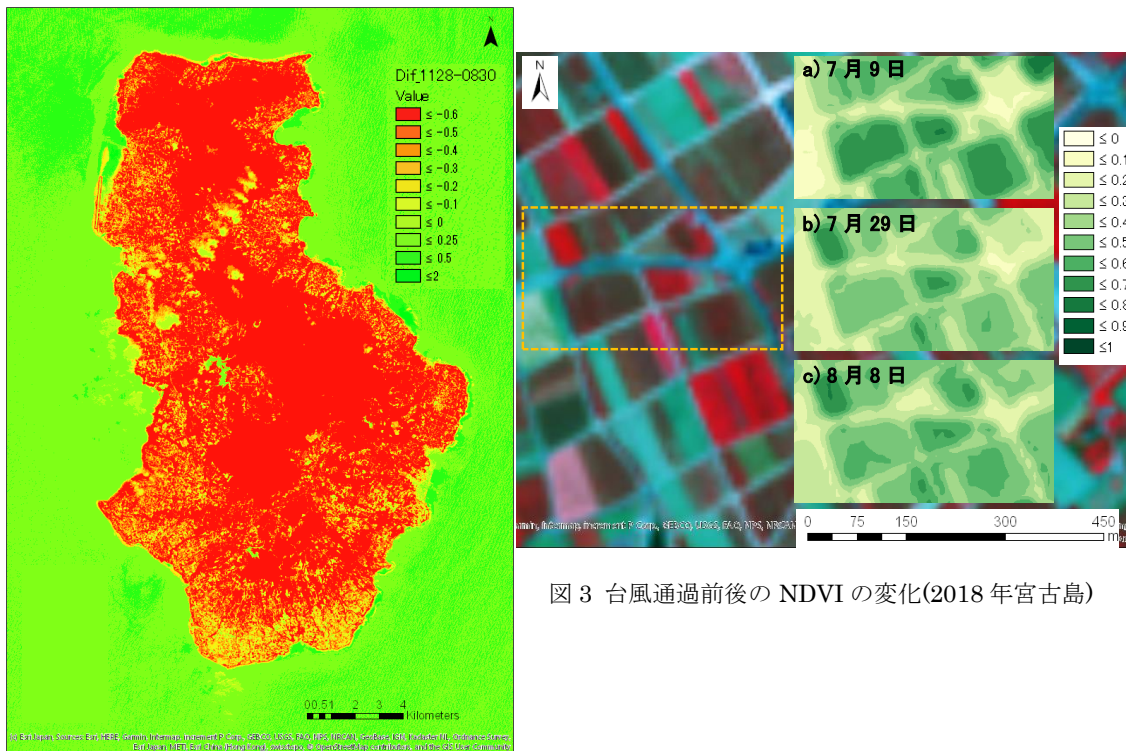


図3 台風通過前後の NDVI の変化(2018 年宮古島)

図2 台風通過前後の正規化植生指数の差  
(2017 年徳之島)