

# 合成開口レーダを用いた栽培体系別水稻穂含水率の推定モデル作成 Creating estimation model of rice ear moisture ratio each of cultivation system using synthetic aperture radar

○山谷 祐貴\*, 杉浦 夏帆\*, 小林 伸行\*\*, 谷 宏\*\*\*

○Yamaya Yuki\*, Sugiura Natsuho\*, Kobayashi Nobuyuki\*\*, Tani Hiroshi\*\*\*

## 1. 緒論

水稻作において、穂含水率のような生育指標を取得することは、農作業の適切な管理、収穫適期の予測、品質や収量の向上などを行うために重要となる。しかし、生育指標を圃場ごとに継続的かつ広域的に計測することは、人の手による調査では限界がある。したがって、これまでの調査手法を代替する新たな生育指標の取得方法の確立は、農業地域における課題となっている。

有望な生育指標の収集手段として期待される技術に、衛星リモートセンシングがある。特にマイクロ波を使用した能動型センサである合成開口レーダ (SAR, Synthetic Aperture Radar) は、近年生育指標の推定に利用されつつある。SAR は自身で照射したマイクロ波を観測するため、昼夜を問わず観測が可能であり、大気や天候の影響を受けずにデータを取得できる。したがって、確実に安定した精度の結果を得られる手法であることから、生育指標の推定に有効であると考えられる。

本研究では、Cバンド SAR である RADARSAT-2 を利用し、水稻におけるマイクロ波への散乱特性を考察した。また、穂含水率の推定可能性を評価し、高い精度で推定するモデルの作成と検証を行った。特に、移植栽培、乾田直播栽培の2種類の栽培体系の圃場をそれぞれ対象圃場として選定し、各々の栽培体系に即したモデルの作成を行うことで、モデルの高精度化を検討した。

## 2. 研究方法

(1) 対象地域および対象作物 対象地域は、北海道岩見沢市の稲作を主体とした農業地帯である。対象作物は水稻であり、移植栽培と乾田直播栽培がある。本研究は2017年から2019年までの3年間実施した。対象とした圃場数は各年11~12圃場である。

(2) 使用データ 本研究では、Cバンド SAR である RADARSAT-2 の4偏波データを使用した。衛星データの観測時期、入射角、衛星進行方向を表1に示す。各データからは、各偏波 (HH, HV, VV) の後方散乱係数を算出した。そのほか、本研究では2種類の散乱成分分解手法を使用し、散乱成分を算出した。散乱モデル分解法 (Van Zyl *et al.*, 2011) により2回散乱 (Pd), 体積散乱 (Pv), 表面散乱 (Ps) を、固有値解析法 (Cloude and Pottier, 1996) によりエントロピ (H), アニソトロピ (A), アルファ角 ( $\alpha$ ) を算出した。以上の3手法で求めた計9変数を、解析に使用した。

表1 衛星画像取得時期と現地調査日

Table 1. Acquisition date of satellite data and ground truth

取得時期	入射角	衛星進行方向	現地調査日	
2017年	08月26日	FQ9 (28.0~29.8°)	Ascending	08月26日
	08月29日	FQ11 (30.2~32.0°)	Descending	08月29日
2018年	08月21日	FQ9 (28.0~29.8°)	Ascending	08月24日
	08月24日	FQ11 (30.2~32.0°)	Descending	
2019年	08月20日	FQ11 (30.2~32.0°)	Descending	08月20日
	08月26日	FQ19 (38.3~39.8°)	Ascending	08月27日

\* 北海道大学大学院農学院, Graduate School of Agriculture, Hokkaido University

\*\* 株式会社スマートリンク北海道, Smart Link HOKKAIDO Inc.

\*\*\* 北海道大学大学院農学研究院, Research Faculty of Agriculture, Hokkaido University

[キーワード] リモートセンシング, 測量・GIS, IT, 農地環境

(3) 解析方法 モデルは、SAR の 9 変数と 2~3 のダミー変数を説明変数とし、穂含水率を目的変数とした。ダミー変数は、衛星データの入射角 (FQ)、衛星進行方向 (AD)、栽培体系 (S) を区別するための変数である (表 2)。穂含水率を算出するため、各圃場で現地調査を行った (表 1)。各圃場 3 地点で坪刈りし、乾燥前後の質量変化をもとに算出した。また本研究では、圃場単位で穂含水率を把握するため、圃場境界を示す GIS データから SAR 変数の平均値を抽出した。モデルには重回帰分析を用い、ステップワイズ法で説明変数を選択した。

表 2 使用したダミー変数  
Table 2. Dummy variables used in the analysis

ダミー変数	0	1
入射角 FQ	FQ9/11	FQ19
衛星進行方向 AD	Ascending	Descending
栽培体系 S	直播	移植

### 3. 結果と考察

(1) 全圃場によるモデルの作成 まず、全ての圃場を対象として、モデルの作成を行った (表 3)。説明変数には、SAR の 9 変数のほか、FQ と AD のダミー変数を加えた。

表 3 各モデルの決定係数、RMSE、標準偏回帰係数  
Table 3. R<sup>2</sup>, RMSE and standardised partial regression coefficient of each model

	R <sup>2</sup>	RMSE (%)	標準偏回帰係数
全圃場	0.167	7.32	-0.367H-0.255FQ
直播のみ	0.605	5.69	0.446HV-0.551Pd-0.439H+0.649A-0.590FQ
移植のみ	0.258	3.78	0.806Pv+0.487A+0.552FQ
全圃場 (S使用)	0.541	5.43	-0.241Pd+0.505Pv-0.324H+0.255A-0.685S

その結果、高い決定係数は得られなかった (R<sup>2</sup>=0.167)。このモデルではエントロピが選択されたが、この変数は散乱のランダム性を示す変数であり、穂水分の変化により地表面での散乱の形態が変化したためであると考えられる。また、衛星データの入射角を示すダミー変数も選択され、入射角の大小はモデルに影響を及ぼす要因となることが示唆された。これは、垂直構造である水稻において、入射角の差異によってレーダの反射の形態が異なるためであると考えられる。

(2) 栽培体系別でのモデルの作成 次に、移植栽培の圃場と直播栽培の圃場で別々にモデルを作成した (表 3)。その結果、全圃場によるモデルよりも高い決定係数が得られた。移植栽培では僅かな向上にとどまったが、直播栽培では特に高い精度が得られた (R<sup>2</sup>=0.605)。直播栽培において精度が向上した理由として、植え方が密なために畝の方向の影響が少なかったことや、同一品種の圃場が多かったことが考えられる。移植栽培では直播栽培より精度が低かったが、ゆめぴりかの圃場で特に外れ値がみられたため、これらを区別することでより精度が向上すると考えられる。

(3) 栽培体系のダミー変数を加えたモデルの作成 最後に、全ての圃場を対象に、栽培体系を表すダミー変数 S を含めて再度モデルの作成を行った (表 3, 図 1)。その結果、(1) と比較して大幅に高い決定係数が得られた (R<sup>2</sup>=0.541)。したがって、移植栽培か直播栽培かの差異は、モデルの精度向上のための重要な要因となると考えられる。このモデルでもエントロピが選択されており、他に 2 回散乱や体積散乱などの値が選択された。2 回散乱は植生の垂直構造と、体積散乱は植生の大小や水分量とそれぞれ関係があるため、垂直構造である水稻の状態を捉えたり、その水分率を捉えたりするために重要な変数であったと考えられる。

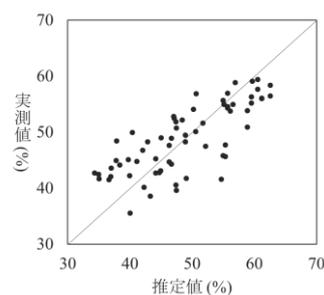


図1 栽培体系のダミー変数を加えたモデル  
Figure 1. Model of all fields using dummy variable S

### 4. 結論

本研究では、C バンド SAR データを用いて水稻の穂水分率を推定するモデルを作成した。すべての圃場を対象としてモデルを作成した結果、高い決定係数は得られなかった。そこで、栽培体系ごとに分けて各々モデルを作成した結果、決定係数が向上した。特に直播栽培のモデルでは 0.6 を超える決定係数が得られた。また、すべての圃場を対象としたモデルに、栽培体系を示すダミー変数を加えたことにより、高い決定係数を示した。