

## 合成開口レーダを用いた作物の収穫適期の予測に関する研究 Prediction of optimum harvest time of crops using SAR

○平野祐規\*, 杉浦夏帆\*, 山谷祐貴\*, 小林伸行\*\*, 木村篤史\*\*\*, 谷宏\*\*\*\*  
○Yuki Hirano\*, Natsuho Sugiura\*, Yuki Yamaya\*, Nobuyuki Kobayashi\*\*,  
Atsushi Kimura\*\*\*, Hiroshi Tani\*\*\*\*

### 1. はじめに

農作業効率や生産コストの観点から、作物の生育情報をモニタリングし、その収穫適期を予測することは重要である。コムギの穂含水率は、一般に出穂期後一カ月頃から一定の割合で減少することが知られており、この性質を利用して成熟期と収穫適期の予測が可能である。合成開口レーダ(SAR)はマイクロ波を用いた能動型センサであり、天候や昼夜を問わず観測が可能で、作物の生育情報の広域的な取得が期待されている。したがって、SARによりコムギの穂含水率が推定できれば、広域の圃場を対象に収穫適期を予測し、効率的な収穫が可能になる。本研究は、SARから取得したデータを用いてコムギの穂含水率推定モデルを構築し、それをもとにした収穫適期マップの作成を目的とする。

### 2. 方法

(1) **研究の対象** 北海道十勝地方の清水町と芽室町、及び空知地方の岩見沢市で栽培されるコムギを対象とし、2015年から2019年で延べ66圃場にて生育調査を行った。

(2) **衛星データ** SAR搭載衛星であるRADARSAT-2(4偏波Cバンド)から取得したデータを用いた。2015年から2019年の計20シーンを使用し、観測は南から北へ向かう上昇軌道(Asc)および逆方向の下降軌道(Des)で行われた。また平均入射角が30°付近のFQ9, 10, 11, および40°付近のFQ19, 20で撮像した。十勝ではFQ10, 20, 岩見沢ではFQ9, 11, 19で観測した。取得したデータから、後方散乱係数(HH, HV, VV)に加え、散乱モデル分解による表面散乱成分(Ps), 2回反射成分(Pd), 体積散乱成分(Pv), およびCloude-Pottier法を用いた固有値解析によるエントロピー(H), アニソトロピー(A), アルファ角( $\alpha$ )の計9変数を算出した。

(3) **現地調査** 衛星の観測に合わせ、1圃場あたり3地点で坪刈りを行い、乾燥前後の重量変化から穂含水率を算出した。また、生育調査として各圃場にて自然草高, LAI, SPAD, 土壌水分をそれぞれ5回ずつ測定し、その平均値を各圃場の測定結果とした。

(4) **データの解析** 生育情報とSARパラメータの相関分析を行い、それぞれの関係性を評価した。また、コムギの穂含水率を目的変数、SARデータから得た9変数を説明変数として重回帰分析を行った。モデルに使用する変数選択にはAIC(赤池情報量基準)を評価指標とし、変数減少法によるステップワイズ法を用いた。また、推定精度を評価する指標として $R_f^2$ (自由度調整済み決定係数)およびRMSEを用いた。

\* 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.

\*\*\* 株式会社パスコ PASCO Corporation

\*\*\*\* 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

### 3. 結果と考察

(1) 散乱形態の変化 十勝で観測した穂含水率の変化と  $\alpha$  の関係を図 1 に示す。 $\alpha$  は含水率が 60% になるまでは  $45^\circ$  付近まで減少し、その後、穂含水率に関係なく一定となる傾向がみられた。 $\alpha$  は  $0^\circ \sim 90^\circ$  で変化し、値に応じてどの散乱プロセスが支配的かを表す。 $\alpha$  が小さいときは植生表層における一回反射（表面散乱）に対応する。一方、 $\alpha = 45^\circ$  付近のときは土壌や植生などの媒体内部における多重反射（体積散乱）を意味するこのことから、コムギ圃場における支配的な散乱形態が表面散乱から体積散乱へ変化すると考えられる。

(2) 重回帰分析 全データを用いて重回帰分析を行ったが、モデルの精度が低かった。そこで軌道や入射角に応じたデータセットで再解析した（表 1）。岩見沢および十勝の双方において  $R_f^2$  値が最も大きくなったのは入射角の大きい Asc データのみで作成したモデルであった。これは入射角の大きい方が地表面からの影響が減少し、植生の情報を捉えやすくなったためと考えられる。しかし、モデルの精度は依然低く、選ばれた変数に共通点はなかった（表 2）。これは変化する散乱形態を十分に評価できなかつた点と岩見沢の低穂含水率時のデータが少ない点が原因と考えられる。そこで、モデルを穂含水率の高低でデータを分割すると、精度が向上し共通する変数が得られ、HH と Pd が穂含水率の推定に重要なパラメータであることがわかった（表 3）。

### 4. まとめ

本研究では生育情報と SAR パラメータの関係を評価することで、コムギの穂含水率の変化に伴う圃場におけるマイクロ波の散乱形態の変化を明らかにした。また、Asc 軌道の入射角が大きい場合での観測は地表面の影響を受けにくく、SAR によるコムギのモニタリングに適している可能性が高いことがわかった。コムギの穂含水率の推定に関しては、全データを用いると含水率の変化を正確に捉えることはできなかった。しかし、穂の含水率に応じ、2 時期に分割してモデルを作成することにより推定精度が向上した。また、HH と Pd が重要なパラメータであることがわかった。

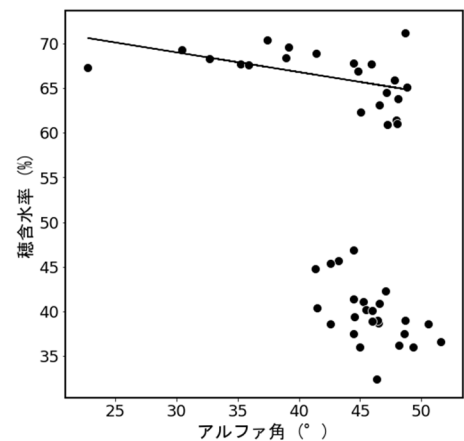


図 1 穂含水率とアルファ角の関係 (十勝 FQ20 Asc)

Fig.1 Relationship between MER and  $\alpha$  angle (Tokachi FQ20 Asc)

表 1 精度が向上したデータセットと精度  
Table1 Improved dataset and accuracy

	使用データ	$R_f^2$	RMSE
岩見沢	全データ	0.34	10.5
	Asc	0.49	10.1
	FQ19Asc	0.55	9.2
十勝	全データ	0.20	12.0
	Asc	0.26	11.6
	FQ10Asc	0.28	10.4
	FQ20Asc	0.60	8.0

表 2 選択された変数と標準偏回帰係  
Table2 Selected variables and standard partial regression

		HH	HV	VV	Pv	Ps	H	A
岩見沢	FQ=19		1.2	-0.5		-0.4		
十勝	FQ=20	-1.6			0.6	0.4	-0.6	0.4

表 3 選択された変数と標準偏回帰係およびモデルの精度  
Table 3 Selected variables and standard partial regression coefficients and model

		$R_f^2$	RMSE	HH	HV	Pd	Ps	H	A	$\alpha$
岩見沢	高穂含水率	0.78	2.1	1.1		-0.65		-0.40		
十勝	高穂含水率	0.68	1.6	0.65		-1.3	-0.70			
十勝	低穂含水率	0.45	2.3		-0.53	-0.29			-0.42	-0.54