

委託試験成績（令和3年度）

担当機関名 部・室名	福島県農業総合センター 作物園芸部・稲作科
実施期間	平成30年度～令和3年度、終了年度
大課題名	V 情報処理等先端技術を活用した高生産システムの確立
課題名	ドローンリモートセンシングによる追肥診断技術を活用した水稲県オリジナル品種の収量、品質向上
目的	上空からのNDVI値による生育診断及び食味値の推定技術が開発されてきているが、福島県オリジナル品種である「天のつぶ」「里山のつぶ」については、データがなかったため、平成30年度～令和2年度の3年間により、NDVI値による生育指標値を作成した。令和3年度は、新しい県オリジナル品種である「福笑い」について、NDVI値と玄米タンパク質含有率等のデータを収集し、良食味・高品質米生産のための生育診断指標値を作成する。また、「福笑い」の可変追肥による所内及び現地ほ場での生育ムラ改善の実証を行い、生育指標値の有効性を検証する。
担当者名	鈴木寛人
<p>1. 試験場所 福島県農業総合センター内ほ場（福島県郡山市） 現地農家ほ場（福島県安達郡大玉村）</p> <p>2. 試験方法 本年は、センター内において、窒素施肥量の異なるグラデーションほ場を設置し、最高分けつ期及び幼穂形成期、穂ばらみ期、出穂後20日・40日のNDVI値と、幼穂形成期の生育量（草丈、茎数、葉色）、玄米タンパク質含有率、収量等との相関を調査し、NDVI値による「福笑い」の生育指標値を作成した。また、所内及び現地ほ場にて、昨年度作成した「福笑い」のNDVI値の指標値（暫定版）を基に可変追肥を行い、収量品質への影響を調査した。</p> <p>(1) 供試機械名 ドローンマルチスペクトルカメラ（P4 Multispectral）</p> <p>(2) 試験条件 ア. センター内ほ場（グラデーションほ場、可変追肥ほ場） ア) 圃場条件：水田ほ場（灰色低地土） イ) 栽培等の概要 a. 品種名：福笑い b. 耕起：トラクタによるロータリ耕、4月12日 c. 代掻き：荒代4月30日、5月6日、植代5月10日 d. 播種：播種機により播種、播種日：4月20日、播種量：乾籾150g/箱 e. 育苗：稚苗 f. 施肥量：表1、2のとおり g. 移植：機械移植、移植日：5月22日 栽植密度：60株/坪、植付本数：3～5本/株 h. 除草：手散布、農将軍フロアブル（5月18日） 動力散布機による散布、コメット1キロ粒剤（6月8日） i. 病虫害防除：種子消毒：テクリードCフロアブル 3月25日 播種時：ダコニール1000、タチガレエースM液剤、カスミン粒剤 ルーチンパンチ箱粒剤 いもち病防除：コラトップ粒剤5 7月19日 カメムシ防除：キラップフロアブル 8月11日</p>	

イ. 現地農家ほ場（可変追肥ほ場）

(ア) 圃場条件 水田ほ場（灰色低地土）

(イ) 栽培等の概要

- a. 品種名：福笑い
- b. 耕起：トラクタによるロータリ耕、4月13日
- c. 代掻き：荒代5月10日、植代5月11日
- d. 播種：播種日：4月13日、播種量：乾粳 350g/箱
- e. 施肥量：基肥量は表2のとおり
- f. 移植：機械移植、移植日：5月13日
栽植密度：55株/坪
- g. 除草：ソルネット 1kg 粒剤（5月13日）
ベンケイ 1kg 粒剤（5月24日）
- h. 病虫害防除：種子消毒：タフブロック（4月8日）
移植時：ツインターボ箱粒剤08
カメムシ防除：スタークル豆つぶ（8月24日）

ウ. 窒素吸収量：幼穂形成期に植物体の窒素濃度と乾物量から算出した。

エ. NDVI 値、植被率の測定及び可変追肥方法

マルチスペクトルカメラを搭載したドローンにより、最高分げつ期、幼穂形成期、穂ばらみ期、出穂期 20 日後、40 日後の 5 回測定した。可変追肥区では、幼穂形成期の NDVI 値に基づいて可変追肥を行い、可変追肥未実施の区と収量及び品質を比較した。

(3) 試験区の構成

表 1 グラデーションほ場

区名	窒素施肥量(kg/a)			追肥量
	基肥量			
	N	K ₂ O	P ₂ O ₅	N
0-0	0	0	0	0
4-0	0.4	0.4	0.4	0
6-0	0.6	0.6	0.6	0
8-0	0.8	0.8	0.8	0
4-1	0.4	0.4	0.4	0.1
6-1	0.6	0.6	0.6	0.1
0-2	0	0	0	0.2
4-2	0.4	0.4	0.4	0.2
6-2	0.6	0.6	0.6	0.2
8-2	0.8	0.8	0.8	0.2
12-2	1.2	1.2	1.2	0.2

追肥は7月21日に実施
区の面積:28㎡/区、2反復

表 2 可変追肥ほ場

試験場所	区名	窒素施肥量(kg/a)		
		基肥量		
		N	K ₂ O	P ₂ O ₅
所内	2-0	0.2	0.2	0.2
	4-0	0.4	0.4	0.4
	6-0	0.6	0.6	0.6
	8-0	0.8	0.8	0.8
	2-可変追肥	0.2	0.2	0.2
	4-可変追肥	0.4	0.4	0.4
	6-可変追肥	0.6	0.6	0.6
	8-可変追肥	0.8	0.8	0.8
現地	現地ほ場①	0.4	0.6	0.72
	現地ほ場②	0.4	0.6	0.72

追肥は7月21日に実施
区の面積:所内は38㎡/区、2反復
現地は30a/ほ場

3. 試験結果

(1) NDVI 値と生育量等との関係

基肥量が多い区及び追肥区ほど㎡収量が多くなり、施肥体系別の収量は多くなる傾向が見られた。また、玄米タンパク質含有率は基肥が多い区及び追肥区で高くなる傾向が見られた（表3）。

幼穂形成期（7月16日）の生育量は、基肥量が多い区ほど大きくなる傾向が見られた。また、NDVI 値も基肥量が多い区ほど高くなる傾向が見られた（表4）。

幼穂形成期（7月16日）の NDVI 値は、生育量（草丈×茎数×葉色）や窒素吸収量と高い相関が見られた（図1、2）。また、穂ばらみ期（8月4日）及び出穂40日後（9月21日）の NDVI 値は、玄米タンパク質含有率と相関が見られた（図3、4）。

最高分げつ期の NDVI 値は、幼穂形成期の NDVI 値と高い相関が見られた（図5）。

最高分げつ期～出穂40日後の NDVI 値と葉色についても相関が見られた（図6）。

(2) NDVI 値に基づいた可変追肥による収量への影響

表2に示した試験区にて、幼穂形成期のNDVI値を基に施肥マップを作成し、NDVI値0.60以下の場合には0.2kg/a、0.60~0.68の場合は0.1kg/a、0.68以上は追肥を実施しない計画であった(表5)。しかし、幼穂形成期頃の演算の不具合によりNDVI値が低く算出されたため、正確な可変追肥が実施できなかった。その後補正されたNDVI値が算出された。

所内および現地試験について、幼穂形成期の生育量と補正後のNDVI値の関係がグラデーション圃場のプロットと概ね一致した(図7)。また、可変追肥を実施した区は、可変追肥を実施しなかった区に比べ、収量が多い傾向であったが、バラツキは大きかった(図8)。

(3) NDVI 値による生育指標値の作成

収量55~60kg/aを確保するためのm²粒数は30,000粒程度であった(図9)。また、m²粒数が30,000粒を超えると、登熟歩合や整粒歩合が大きくなり低下する傾向が見られた(図10、11)。

幼穂形成期のNDVI値とm²粒数とに相関が見られ、NDVI値が0.56以下の場合追肥をすることにより、m²粒数が30,000粒程度になった。一方、NDVI値が0.67以上の場合追肥をしなくともm²粒数が30,000粒程度になった(図12)。

以上の結果から、収量55~60kg/a、登熟歩合85%以上、整粒歩合80%以上、玄米タンパク質含有率6.4%以下にするためのm²粒数は30,000粒程度であり、30,000粒を確保するためのNDVI値による生育指標値を作成した(表6)。

幼穂形成期のNDVI値が0.56以下であれば0.2kg/aの追肥が必要であり、0.67以上であれば追肥は必要ないと考えられる。NDVI値が0.56~0.67の間である場合は0.1~0.15kg/a程度の追肥が必要であると考えられる。

また、穂ばらみ期のNDVI値が0.75以下であれば、玄米タンパク質含有率は6.4%以下になると考えられた。

4. 主要成果の具体的なデータ

表3 グラデーションほ場における収量、収量構成要素及び食味品質

区名	出穂期 (月日)	成熟期 (月日)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/m ²)	精玄米重 (kg/a)	m ² 粒数 (百粒)	千粒重 (g)	登熟歩合 (%)	食味値	玄米タンパク 質含有率(%)	味度値	整粒歩合 (%)	玄米 品質
0-0	8/10	9/26	73.2	19.0	350	50.5	258	24.2	80.7	78.0	5.9	90.0	79.7	5.5
4-0	8/10	9/27	79.5	19.1	400	56.2	302	24.1	77.2	77.5	6.0	88.3	77.9	6.0
6-0	8/10	9/27	75.1	18.7	369	50.1	263	24.2	78.7	77.0	6.0	87.5	73.3	4.0
8-0	8/10	9/28	80.2	18.9	435	55.5	310	23.8	75.3	77.5	5.9	89.7	77.2	6.0
4-1	8/10	9/29	80.8	19.9	386	58.6	315	24.3	76.4	76.8	6.0	88.4	76.5	6.5
6-1	8/10	9/28	78.3	20.0	401	57.5	294	24.5	79.8	76.0	6.1	87.7	75.1	5.0
0-2	8/10	9/28	76.0	20.3	357	57.8	285	24.9	81.7	76.5	6.0	88.3	71.3	6.0
4-2	8/10	9/29	81.8	20.5	405	61.2	329	24.6	75.5	75.3	6.2	84.6	71.2	7.0
6-2	8/10	9/28	80.0	20.2	384	60.7	315	24.7	78.2	75.5	6.1	86.0	72.4	6.0
8-2	8/11	9/29	83.7	19.9	434	64.0	341	24.4	76.7	76.0	6.1	86.6	74.6	8.5
12-2	8/11	9/29	86.4	20.3	438	65.1	362	24.2	74.5	75.3	6.2	85.9	75.6	8.5

注) 精玄米重、千粒重は、網目1.9mm以上、水分は15%調整
 注) 食味値、玄米タンパク質含有率は、サタケ米粒食味計(RLTA10B)
 注) 玄米品質は、JA福島さくら農産物検査員による10段階評価[1(1等上)~9(3等下)、10(規格外)]
 注) 整粒歩合は、サタケ穀粒判別器(RGQ120A)による測定値

表4 グラデーションほ場における幼穂形成期頃の生育量

区名	7月16日の生育量					
	①草丈 (cm)	②茎数 (本/m ²)	③葉色 (SPAD502)	①×②×③ 生育量(×10 ⁴)	窒素吸収量 (mg/株)	NDVI値
0-0	67.0	22.0	34.7	5.11	240	0.480
4-0	74.6	26.8	35.9	7.18	326	0.624
6-0	69.4	24.9	36.0	6.22	307	0.551
8-0	76.0	30.1	36.3	8.29	407	0.678
4-1	73.4	26.4	37.4	7.24	—	0.627
6-1	70.8	26.1	37.2	6.87	—	0.600
0-2	67.9	22.3	37.1	5.61	247	0.489
4-2	73.1	26.9	37.5	7.36	351	0.605
6-2	72.1	25.1	37.3	6.77	332	0.606
8-2	75.4	28.7	36.7	7.94	408	0.675
12-2	78.1	29.7	36.4	8.43	443	0.680

注) 追肥は7月21日の実施

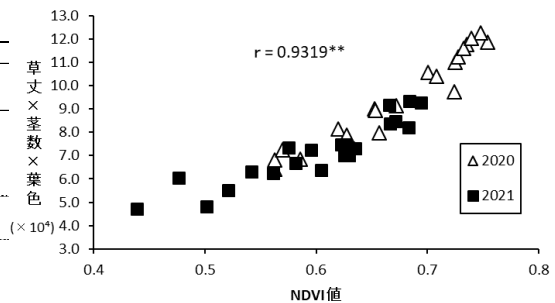


図1 幼穂形成期のNDVI値と生育量との関係

rは相関係数、**は1%水準で有意、n=42

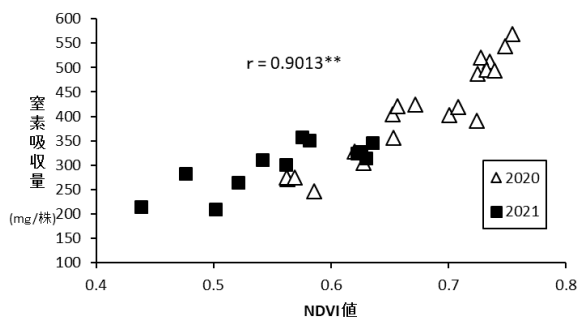


図2 幼穂形成期のNDVI値と窒素吸収量との関係
rは相関係数、**は1%水準で有意、n=38

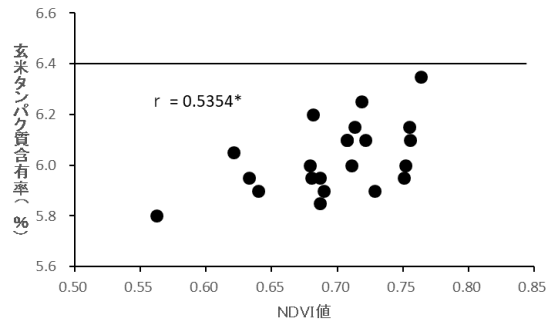


図3 穂ばらみ期のNDVI値と玄米タンパク質含有率との関係
rは相関係数、*は5%水準で有意、n=22、2021年データ

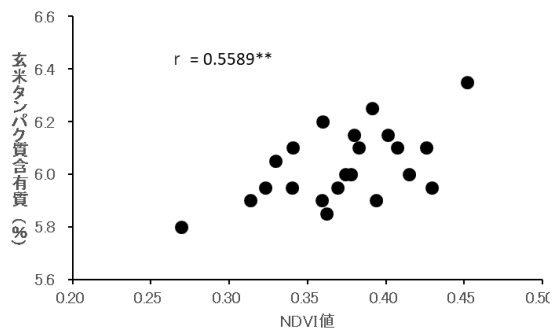


図4 出穂40日後のNDVI値と玄米タンパク質含有率との関係
rは相関係数、**は1%水準で有意、n=22、2021年データ

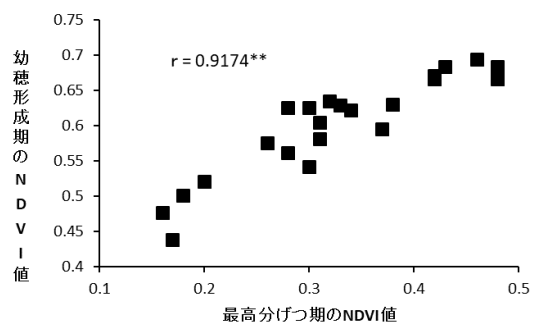


図5 最高分けつ期のNDVI値と幼穂形成期のNDVI値との関係
rは相関係数、**は1%水準で有意、n=22、2021年データ

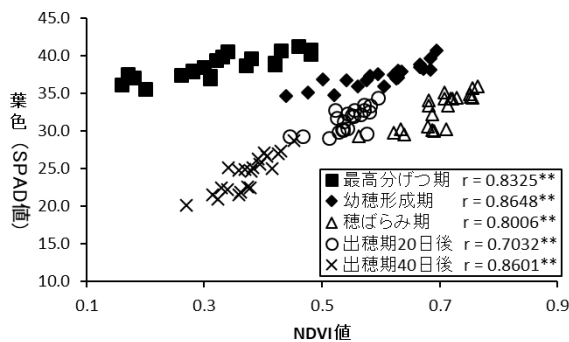


図6 最高分けつ期～出穂後40日のNDVI値と葉色との関係
rは相関係数、**は1%水準で有意、各時期n=22、2021年データ

表5 可変基肥量

NDVI値	窒素散布量 (kg/a)
0.60以下	0.2
0.60～0.68	0.1
0.68以上	0

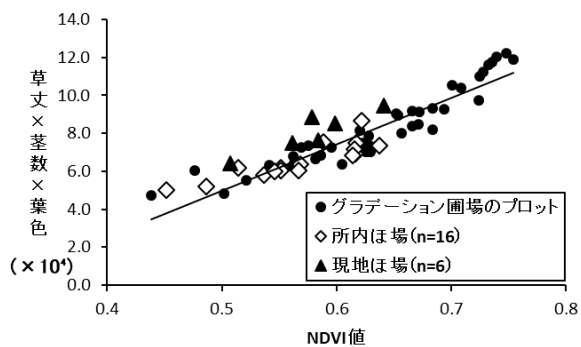


図7 幼穂形成期のNDVI値と生育量との関係

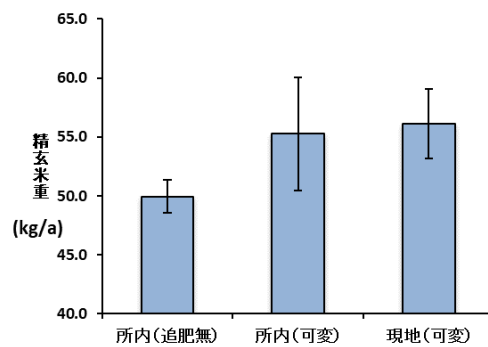


図8 無追肥と可変追肥による精玄米重の全処理区の平均の差
エラーバーは標準偏差

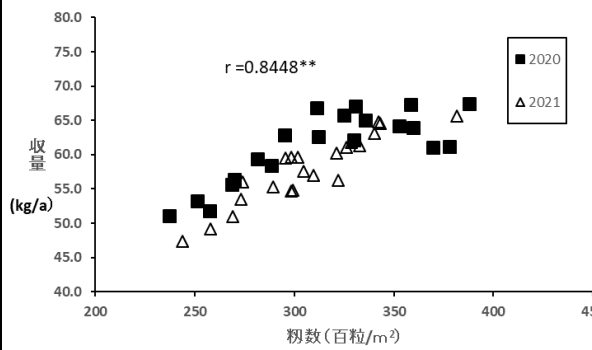


図9 m²粒数と収量との関係
rは相関係数、**は1%水準で有意、n=42

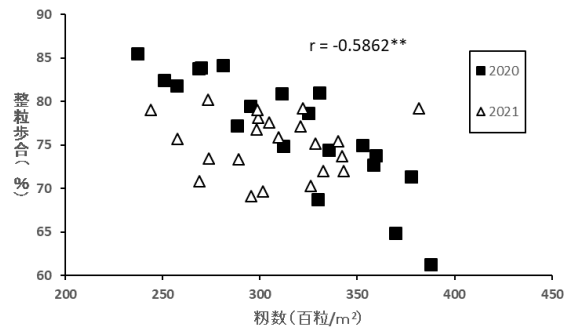


図10 粒数と整粒歩合との関係
rは相関係数、**は1%水準で有意、n=42

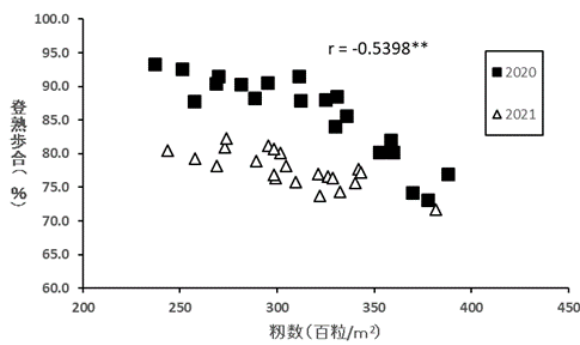


図11 粒数と登熟歩合との関係
rは相関係数、**は1%水準で有意、n=42

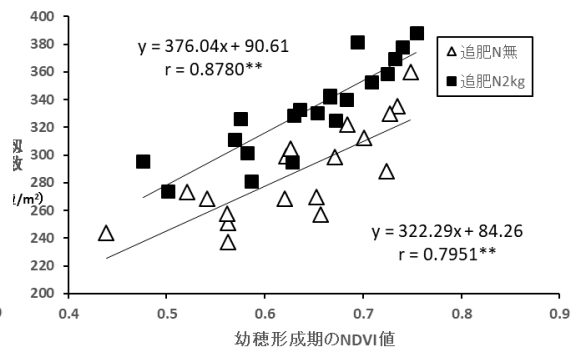


図12 幼穂形成期のNDVI値とm²粒数との関係
2020~2021年のデータ
rは相関係数、**は1%水準で有意
追肥N無区 n=18、追肥N2kg区 n=20

表6 「福笑い」のNDVI値による生育指標値

		NDVI値	0.56以下	0.56~0.67	0.67以上
幼穂形成期	草丈×莖数×葉色 (cm) (本/株) (SPAD502)		65,000以下	65,000~90,000	90,000以上
	窒素吸収量(mg/株)		294以下	294~409	409以上
追肥量(kg/a)			0.2	0.1~0.15	0
穂ばらみ期 NDVI値			0.75以下		
成熟期	収量		55~60kg/a		
	玄米タンパク質含有率		6.4%以下		
	整粒歩合		80%以上		
	登熟歩合		85%以上		
	m ² 粒数		30,000粒		

5. 成果の普及

1月の成績検討会において、普及指導員等に成果を伝える。
成果をとりまとめ、NDVI値による生育指標を公表する。

6. 考察

「福笑い」について、2年間にわたって幼穂形成期のNDVI値と生育量（草丈×茎数×葉色）及び窒素吸収量と高い相関が見られたことから、幼穂形成期のNDVI値から生育量を推定することが可能であると考えられた。また、穂ばらみ期、出穂40日後のNDVI値と玄米タンパク質含有率との間に相関が見られたことから、収穫前に玄米タンパク質含有率を推定することが可能であると考えられた。最高分げつ期と幼穂形成期のNDVI値に高い相関が見られたことから、最高分げつ期のNDVI値を用いることで、幼穂形成期の生育予測を行うことができる可能性がある。最高分げつ期～出穂40日後のNDVI値と葉色に相関が見られたことから、生育期間を通してNDVI値による葉色の推定が可能であると考えられた。

昨年度作成した暫定版の指標値を基に可変追肥を実施したが、NDVI値の演算の不具合により、正確な可変追肥が実施できなかつたため、生育指標値に基づいた可変追肥の有効性は確認できなかった。一方で、所内及び現地において幼穂形成期の生育量とNDVI値の関係はグラデーションほ場のプロットと概ね一致したため、現地においても幼穂形成期のNDVI値から生育量を推定できることが示唆された。

2020～2021年度の結果を踏まえ、「福笑い」のNDVI値による生育指標値を作成した。

7. 問題点と次年度の計画

最高分げつ期と幼穂形成期のNDVI値の関係等について年次で変化するか調査する必要がある。また、最高分げつ期のNDVI値を用いて、幼穂形成期の生育予測ができるか検証する必要がある。

今年度で試験終了となる。

8. 参考写真



参考写真1 使用したドローン（P4 Multispectral、ヤンマーアグリジャパンより貸与）



参考写真2 ドローンリモートセンシングの様子
※実際の撮影高度は上空57m