

委託試験成績（令和元年度）

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2年度、継続
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」等のデータがなかったため、平成30年度に「天のつぶ」「里山のつぶ」のNDVI値とSPAD値等のデータを収集し、幼穂形成期の可変追肥のための生育診断指標値（暫定版）を作成した。令和元年度にはNDVI値による生育診断指標値を確定するとともに、品質向上のための食味値の推定指標値を明らかにする。また、令和元年度は所内ほ場を用いて、平成30年度に作成した指標値によるリモートセンシングを行い可変追肥による実証を行う。
担当者名	吉田直史
<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） 猪苗代町地域農業活性化センター内ほ場（福島県猪苗代町）</p> <p>2. 試験方法 本年は、センター内及び猪苗代町において、グラデーションほ場を設置し、幼穂形成期の生育量（草丈、茎数、葉色）とNDVI値、植被率の相関及び穂ばらみ期及び出穂後30日のNDVI値と玄米タンパク質含有率の相関を調査する。また、昨年度作成したNDVI値の指標値を基に可変追肥を実施し収量品質への影響を調査するとともに、NDVI値による「天のつぶ」「里山のつぶ」の生育指標値を作成する。</p> <p>(1) 供試機械名 ドローンマルチスペクトルカメラ</p> <p>(2) 試験条件 ア. 圃場条件：水田ほ場（灰色低地土） イ. 栽培等の概要 （ア）品種名：天のつぶ、里山のつぶ （イ）耕起：トラクタによるロータリ耕、4月16日～20日 （ウ）代掻き：荒代5月10日～12日、植代5月17日～22日 （エ）播種：播種機により播種、4月16日（里山のつぶ）、4月22日（天のつぶ） 播種量：乾粃 150g/箱 （オ）育苗：稚苗 （カ）施肥量：2（3）のとおり （キ）移植：機械移植、天のつぶ5月21日、里山のつぶ5月24日 栽植密度：70株/坪（天のつぶ）、60株/坪（里山のつぶ） 植付本数：3～5本/株 （ク）除草：手散布、スマートフロアブル（天のつぶ：5月23日） バッチリフロアブル（里山のつぶ：5月24日） （ケ）病虫害防除：種子消毒 テクリードCフロアブル 3月22日 播種時：タチガレエースM液剤、カスミン粒剤 移植時：Drオリゼダントツ箱粒剤 いもち病防除：コラトップ粒剤5 7月29日 カメムシ防除：キラップフロアブル 8月30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（ファームアイ株式会社）</p>	

マルチスペクトルカメラを搭載したドローンにより、幼穂形成期（7月17日）、穂ばらみ期（8月9日）及び出穂後30日（9月10日）の3回測定した。

### (3) 試験区の構成

表1 グラデーションほ場

区名	肥料の種類	窒素施肥量(kg/a)			
		基肥量			追肥量
		N	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	
0-0	普通化成	0	0	0	0
2-0	普通化成	0.2	0.2	0.2	0
6-0	普通化成	0.6	0.6	0.6	0
10-0	普通化成	1.0	1.0	1.0	0
14-0	普通化成	1.4	1.4	1.4	0
0-2	普通化成	0	0	0	0.2
2-2	普通化成	0.2	0.2	0.2	0.2
6-2	普通化成	0.6	0.6	0.6	0.2
10-2	普通化成	1.0	1.0	1.0	0.2
14-2	普通化成	1.4	1.4	1.4	0.2

表2 可変追肥ほ場

区名	肥料の種類	窒素施肥量(kg/a)		
		基肥量		
		N	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
0-0	普通化成	0	0	0
2-0	普通化成	0.2	0.2	0.2
6-0	普通化成	0.6	0.6	0.6
12-0	普通化成	1.2	1.2	1.2
0-可変追肥	普通化成	0	0	0
2-可変追肥	普通化成	0.2	0.2	0.2
6-可変追肥	普通化成	0.6	0.6	0.6
12-可変追肥	普通化成	1.2	1.2	1.2

追肥は幼穂形成期(7月23日)に実施  
普通化成は基肥にオール14、追肥に硫安を施用

追肥は幼穂形成期(7月23日)に実施  
普通化成は基肥にオール14、追肥に硫安を施用

区の面積:「天のつぶ」は53m<sup>2</sup>/区、「里山のつぶ」は27m<sup>2</sup>、2反復

### 3. 試験結果

#### (1) 天のつぶ

##### ア NDVI 値、植被率と生育量との関係

基肥量が多い区及び追肥区ほどm<sup>2</sup>籾数が多くなり、施肥体系別の収量は多くなる傾向が見られた(表3)。また、玄米タンパク質含有率は基肥量が多い区及び追肥区で高くなる傾向が見られ、整粒歩合は基肥量が多い区で低くなる傾向が見られた(表3)。

幼穂形成期(7月17日)の生育量は、基肥量が多い区ほど草丈が長く、茎数が多く、葉色が濃くなる傾向が見られた(表4)。また、7月17日のNDVI 値は、葉色が濃いほど高くなる傾向が見られ、植被率はm<sup>2</sup>茎数が多くなるほど高くなる傾向が見られた(図1、2)。

7月17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3、4)。

出穂後30日後(9月10日)のNDVI 値は、玄米タンパク質含有率と高い相関が見られた(図5)。

##### イ NDVI 値による可変追肥による収量への影響

幼穂形成期のNDVI 値を基に施肥マップを作成し、NDVI 値0.67以下の場合は0.2kg/a、0.67~0.687の場合は0.15kg/a、0.687~0.703の場合は0.1kg/a、0.703~0.72の場合は0.05kg/aの追肥を実施した(表5)。0.72以上は追肥を行わなかった(表5)。

可変追肥を実施した場合と実施しなかった場合の収量、収量構成要素、品質及び食味の結果について表6に示した。

可変追肥を実施しなかった区は、基肥量が少ないほどm<sup>2</sup>籾数が少なく、精玄米重は少なくなった(表6)。一方、可変追肥を実施した区は、全ての区で60kg/a以上の精玄米重が得られ、可変追肥を実施しなかった区に比べ、バラツキが少なかった(表6、図6)

##### ウ NDVI 値による生育指標値の作成

収量65~70kg/a以上を確保するためには、m<sup>2</sup>籾数は320~350百粒程度であった(図7)。

幼穂形成期(7月17日)のNDVI 値とm<sup>2</sup>籾数とに相関が見られ、NDVI 値が0.65以下の場合追肥をすることにより、m<sup>2</sup>籾数が320百粒程度になった(図8)。一方、NDVI 値が0.72以上の場合追肥をしなくともm<sup>2</sup>籾数が350百粒程度になった(図8)。

基肥量が多くなると、幼穂形成期のNDVI 値は高くなり、無施用区(基肥0)のNDVI 値は、0.568程度であった(図9)。

以上の結果から、収量65~70kg/a、登熟歩合80%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m<sup>2</sup>籾数は320~350百粒程度であり、320百粒を確保するための幼穂形成期のNDVI 値による可変追肥の生育指標値を作成した(表7)。

幼穂形成期の NDVI 値が 0.65 以下であれば 0.2kg/a の追肥が必要であり、0.72 以上であれば追肥は必要ないと思われた。また、NDVI 値が 0.65～0.72 の間である場合は 0.05～0.15kg/a 程度の追肥が必要であると思われた。

基肥量と幼穂形成期の NDVI 値を基に次年度の基肥量の目安を暫定的に作成した(表 8)。NDVI 値が 0.60 以下の場合、基肥量は 1.0kg/a、0.60～0.65 の場合は 0.8kg/a、0.65 以上の場合は 0.6kg/a 程度と考えられた。

## (2) 里山のつづ

### ア NDVI 値、植被率と生育量との関係

基肥量が多い区ほど m<sup>2</sup> 籾数が多くなり、精玄米重も多くなる傾向が見られた(表 9)。また、玄米タンパク質含有率は追肥区で高くなる傾向が見られ、整粒歩合は基肥量が多い区で低くなる傾向が見られた(表 9)。

7月17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 10、11)。

### イ NDVI 値による生育指標値の作成

データは示していないが、収量 65～70kg/a 以上を確保するためには、m<sup>2</sup> 籾数は 300 百粒～330 百粒程度であった。

m<sup>2</sup> 籾数が 350 百粒以上になると、整粒歩合が 80% 以下になる傾向が見られ、幼穂形成期(7月17日)の NDVI 値が 0.65 を超えると追肥の有無に関わらず倒伏程度が 200 を超えた(図 13)。

幼穂形成期(7月17日)の NDVI 値と m<sup>2</sup> 籾数とに相関が見られ、m<sup>2</sup> 籾数 300～330 百粒を確保するための NDVI 値は追肥の有無に関わらず 0.60～0.62 程度であった(図 12)。

以上の結果から、収量 65～70kg/a、登熟歩合 85～90%、整粒歩合 80～85%、玄米タンパク質含有率 6.4% 以下にするための m<sup>2</sup> 籾数は 300～330 百粒程度であり、300～330 百粒を確保するための幼穂形成期の NDVI 値の生育指標値を作成した(表 10)。

幼穂形成期の NDVI 値が 0.60 以下であれば 0.2kg/a の追肥が必要であり、0.65 以上であれば追肥は必要ないと思われた。また、NDVI 値が 0.60～0.65 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思われた。

基肥量と幼穂形成期の NDVI 値を基に次年度の基肥量の目安を暫定的に作成した(表 11)。NDVI 値が 0.50 以下の場合、基肥量は 1.0kg/a、0.50～0.55 の場合は 0.8kg/a、0.55 以上の場合は 0.6kg/a 程度と考えられた。

## 4. 主要成果の具体的データ

表3 「天のつづ」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 <sup>2</sup> )	精玄米重 (kg/a)	m <sup>2</sup> 籾数 (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	72.0	18.4	335	49.7	222	24.3	92.5	75.0	6.3	83.1	89.9	2.0
2-0	8/10	9/26	73.1	17.7	374	53.3	240	24.1	92.1	75.5	6.3	85.1	89.9	2.0
6-0	8/11	9/26	76.1	18.8	411	64.4	305	23.6	89.5	74.5	6.4	82.6	84.0	2.0
10-0	8/11	10/2	78.3	18.3	452	67.0	321	23.5	88.2	73.5	6.6	82.8	83.4	2.5
14-0	8/10	10/2	81.2	18.5	461	66.2	320	23.3	88.9	73.0	6.6	81.6	82.3	3.0
0-2	8/12	9/27	74.3	19.1	384	58.8	270	24.1	90.2	73.5	6.5	83.2	87.5	2.0
2-2	8/10	9/27	75.9	19.6	407	61.6	291	24.1	88.0	74.0	6.5	84.5	88.1	2.0
6-2	8/10	9/27	76.1	19.0	416	65.4	309	24.1	87.9	72.5	6.6	82.0	84.5	2.0
10-2	8/11	10/2	80.7	19.4	458	68.2	330	23.8	87.4	72.0	6.7	81.0	81.6	2.5
14-2	8/11	10/2	82.6	19.0	512	72.9	358	23.5	86.2	69.5	7.0	80.3	81.0	2.5
基肥量	—	—	**	n.s.	**	**	**	**	n.s.	**	**	n.s.	**	—
追肥	—	—	*	*	n.s.	*	**	n.s.	n.s.	**	**	n.s.	n.s.	—
基肥量×追肥	—	—	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	—

注) 精玄米重、千粒重は、網目1.8mm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

注) \*\*は分散分析により1%水準、\*は5%水準で有意であることを示す。

表4 「天のつぶ」グラデーションほ場における7月17日の生育量

区名	7月17日の生育量			
	草丈 (cm)	茎数 (本/m <sup>2</sup> )	葉色 (SPAD502)	窒素吸収量 (mg/株)
0-0	56.5	352	44.9	158
2-0	56.5	396	44.9	246
6-0	60.5	435	46.6	324
10-0	62.2	494	46.3	331
14-0	66.0	485	48.7	418
0-2	56.4	388	43.9	218
2-2	55.3	418	44.2	243
6-2	58.8	404	46.8	283
10-2	62.2	475	47.0	324
14-2	63.4	506	47.4	416
基肥量	**	**	**	**

注) 追肥は7月23日の実施  
注) \*\*は分散分析により1%水準で有意であることを示す。

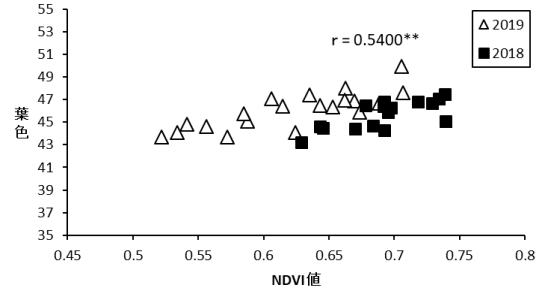


図1 「天のつぶ」幼穂形成期のNDVI値と葉色との関係  
rは相関係数、\*\*は1%水準で有意、n=36

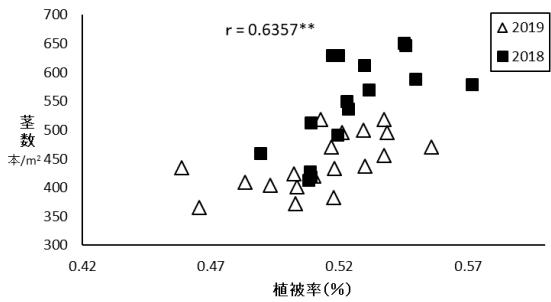


図2 「天のつぶ」幼穂形成期の植被率と茎数との関係  
rは相関係数、\*\*は1%水準で有意、n=36

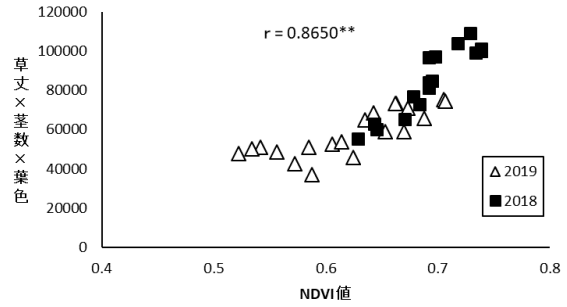


図3 「天のつぶ」幼穂形成期のNDVI値と生育量との関係  
rは相関係数、\*\*は1%水準で有意、n=36

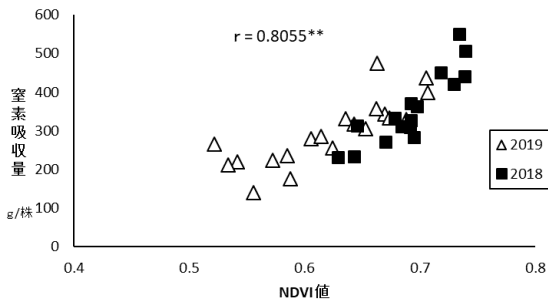


図4 「天のつぶ」幼穂形成期のNDVI値と窒素吸収量との関係  
rは相関係数、\*\*は1%水準で有意、n=36

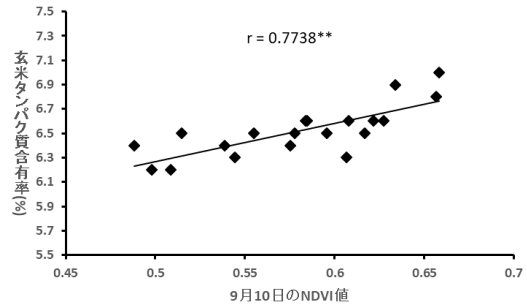


図5 「天のつぶ」出穂後30日のNDVI値と玄米タンパク質含有率との関係(2019年)  
rは相関係数、\*\*は1%水準で有意、n=36

表5 「天のつぶ」可変窒素追肥量

施肥マップ 色	NDVI値	散布量 (kg/a)
赤	0.67以下	0.2
黄色	0.67~0.687	0.15
緑	0.687~0.703	0.1
水色	0.703~0.72	0.05
青	0.72以上	0

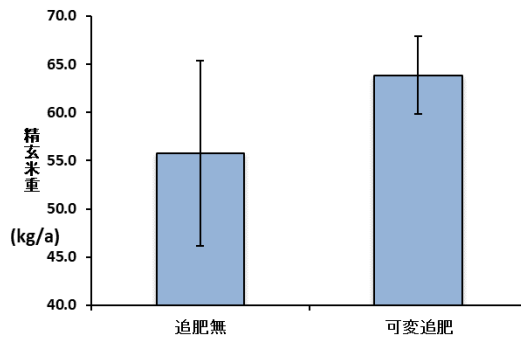


図6 「天のつぶ」無追肥と可変追肥による精玄米重の差  
エラーバーは標準偏差

表6 「天のつぶ」可変追肥ほ場の収量、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 <sup>2</sup> )	精玄米重 (kg/a)	m <sup>2</sup> 穂数 (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	72.9	18.6	349	48.5	223	24.3	89.9	76.0	6.2	85.7	90.6	2.0
2-0	8/10	9/26	71.3	17.6	353	46.6	212	24.4	91.1	78.0	6.0	85.6	86.5	2.0
6-0	8/10	9/26	76.2	18.1	455	65.4	297	24.1	92.0	77.0	6.0	87.8	87.0	2.0
12-0	8/10	10/2	78.1	17.3	487	62.6	284	24.0	92.3	76.0	6.2	85.8	83.9	2.0
0-可変追肥	8/10	9/27	74.1	19.7	369	60.0	267	25.0	90.2	76.0	6.2	84.2	88.8	2.0
2-可変追肥	8/10	9/27	75.5	19.0	383	61.1	276	24.6	90.0	77.0	6.2	84.5	84.4	3.0
6-可変追肥	8/11	9/27	77.9	18.9	461	65.6	319	24.2	85.3	76.0	6.3	82.9	81.4	3.0
12-可変追肥	8/11	10/2	79.8	18.2	494	68.7	332	23.6	87.8	77.0	6.2	83.6	80.0	3.0

注) 精玄米重、千粒重は、網目1.8mm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(RGQI20A)による測定値

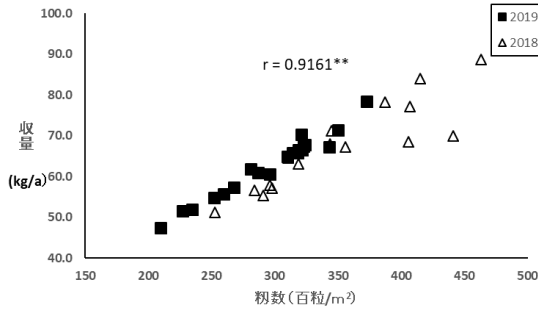


図7 「天のつぶ」 穂数と収量との関係

rは相関係数、\*\*は1%水準で有意、n=36

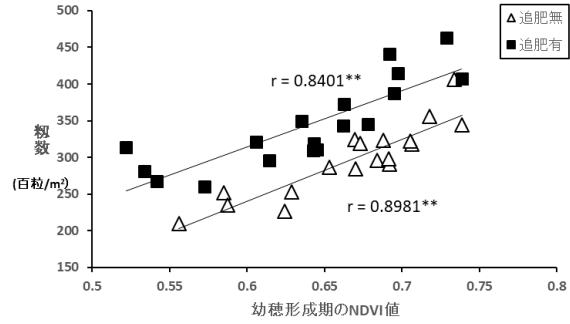


図8 「天のつぶ」 幼穂形成期のNDVI値と穂数との関係

rは相関係数、\*\*は1%水準で有意、n=18

表7 「天のつぶ」幼穂形成期のNDVI値による可変追肥のための生育指標値

成熟期	収量					
	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	80%以上					
m <sup>2</sup> 穂数	32,000~35,000粒					
幼穂形成期	NDVI値	0.65以下	0.65~0.67	0.67~0.69	0.69~0.72	0.72以上
	草丈×茎数×葉色 (cm)(本/株)(SPAD502)	69,000	69,000~ 75,000	75,000~ 80,000	80,000~ 89,000	89,000
	窒素吸収量(mg/株)	320以下	320~345	345~370	370~407	407以上
	追肥量(kg/a)	0.2	0.15	0.1	0.05	0

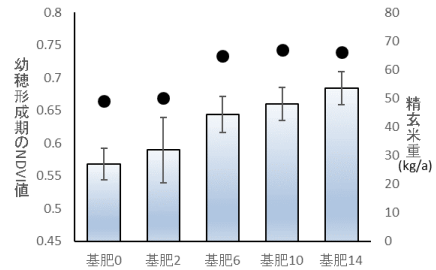


図9 「天のつぶ」 基肥量と幼穂形成期NDVI値との関係  
縦棒はNDVI値、●は精玄米重

表8 次年度の基肥窒素量の目安

幼穂形成期 NDVI値	基肥窒素量 (kg/a)
0.60以下	1.0
0.60~0.65	0.8
0.65以上	0.6

表9 「里山のつぶ」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 <sup>2</sup> )	精玄米重 (kg/a)	m <sup>2</sup> 穂数 (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	8/8	9/24	69.7	18.9	263	44.5	182	26.1	94.2	69.0	7.0	78.3	93.3	2.0
2-0	8/6	9/24	71.6	18.9	284	49.1	204	25.7	94.1	72.0	6.7	81.1	93.5	2.0
6-0	8/6	9/24	75.1	19.4	358	64.5	274	25.1	93.8	73.5	6.5	77.6	91.8	2.0
10-0	8/7	10/1	85.0	19.0	454	81.1	367	24.6	90.3	70.5	6.9	72.6	82.8	4.5
14-0	8/7	10/1	86.4	19.4	468	83.8	392	24.6	87.6	72.0	6.7	72.2	79.4	4.5
0-2	8/8	9/24	72.9	18.9	355	57.3	240	25.9	90.6	68.0	7.1	76.3	89.5	2.0
2-2	8/6	9/24	72.2	19.2	306	52.5	219	25.8	93.2	70.5	6.9	79.1	91.3	2.0
6-2	8/6	9/24	76.1	19.5	363	67.0	283	25.2	93.5	70.5	6.9	75.6	91.2	2.0
10-2	8/7	10/1	84.4	19.3	473	85.4	390	25.3	86.7	69.5	7.0	71.7	82.1	5.0
14-2	8/7	10/1	85.7	20.5	479	86.3	409	24.7	85.9	69.0	7.1	69.4	79.9	6.0
基肥量	—	—	**	**	**	**	**	**	**	*	n.s.	**	**	—
追肥	—	—	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	**	**	n.s.	n.s.	—
基肥量×追肥	—	—	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	—

注) 精玄米重、千粒重は、網目1.8mm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(RGQI20A)による測定値

注) \*\*は分散分析により1%水準、\*は5%水準で有意であることを示す。

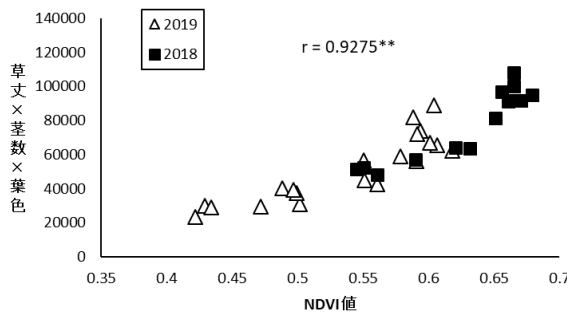


図10 「里山のつづ」 幼形期 NDVI 値と生育量  
r は相関係数、\*\*は 1%水準で有意、n=36

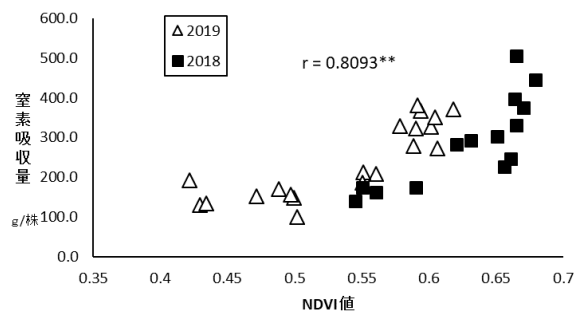


図11 「天のつづ」 幼形期の NDVI 値と窒素吸収量  
r は相関係数、\*\*は 1%水準で有意、n=36

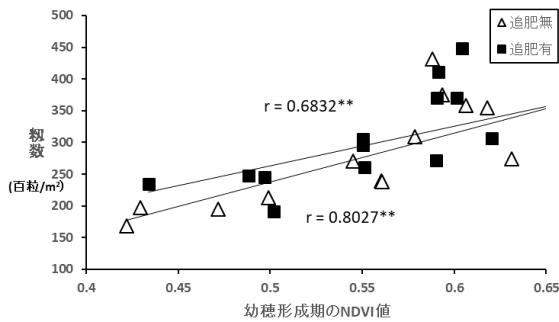


図12 「里山のつづ」 幼形期 NDVI 値と粒数  
r は相関係数、\*\*は 1%水準で有意、n=36

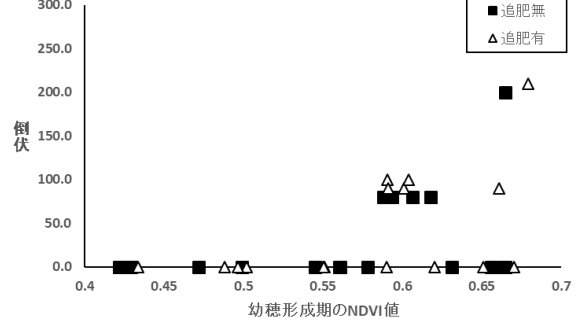


図13 「里山のつづ」 幼形期 NDVI 値と倒伏程度  
r は相関係数、\*\*は 1%水準で有意、n=36  
倒伏=程度 (0~4) × 面積率

表10 「里山のつづ」幼穂形成期のNDVI値による可変追肥のための生育指標値

成	収 量	65~70kg/a		
熟	玄米タンパク質含有率	6.4%以下		
期	整粒歩合	80~85%		
	登熟歩合	85~90%		
	m <sup>2</sup> 粒数	30,000~33,000粒		
	倒伏程度	200以下		
	NDVI値	0.60以下	0.60~0.65	0.65以上
幼	草丈 × 莖数 × 葉色	71,000以下	71,000~	87,000以上
穂	(cm) (本/株) (SPAD502)		87,000	
形	窒素吸収量(mg/株)	300以下	300~360	360以上
成	追肥量(kg/a)	0.2	0.1~0.15	0

表11 次年度の基肥窒素量の目安

幼穂形成期 NDVI値	次年度基肥量 (kg/a)
0.50以下	1.0
0.50~0.55	0.8
0.55以上	0.6

## 5. 考察

「天のつづ」「里山のつづ」ともに、幼穂形成期の NDVI 値と葉色 (SPAD 値) 及び植被率と莖数には相関が見られた。また、両品種とも 2 年間にわたって幼穂形成期の NDVI 値と生育量 (草丈×莖数×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は可能であると考えられた。また、出穂後 30 日の NDVI 値と玄米タンパク質含有率との間に高い相関が見られたことから、玄米タンパク質含有率を推定することは可能と考えられた。

今年度、「天のつづ」については、昨年度作成した指標値を基に可変追肥を実施したが、その結果収量は全ての区で 60kg/a 以上得られバラツキも少なかったことから、指標値は妥当と考えられた。昨年度と今年度の 2 か年の結果を踏まえ、幼穂形成期の NDVI 値による可変追肥の指標値を作成するとともに、次年度の可変基肥量の目安 (暫定版) を作成した。

## 6. 問題点と次年度の計画

令和 2 年度は、「天のつづ」「里山のつづ」については、3 か年のデータをまとめて、指標値の完成版を作成する。また、新たなオリジナル品種「福島 40 号」の NDVI 値による生育診断指標値を作成するとともに、品質向上のための食味値の推定指標値を明らかにする。「天のつづ」については、可変施肥マップによる基肥時の可変施肥と可変追肥によるほ場の地力ムラ改善の実証を行い、生育指標値の検証を行う。

