

委託試験成績（平成30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～平成32年度、新規開始
大課題名	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	ほ場上空からのNDVI値計測による水稲の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」等のデータがないため、生育診断への活用が進んでいない状況にある。そこで、「天のつぶ」及び「里山のつぶ」の生育診断に使われているSPAD値とNDVI値を比較し、NDVI値による生育診断指標値を明らかにし、ドローンリモートセンシングによる追肥診断技術を開発することで、県オリジナル品種の収量、品質の向上を図る。
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の葉色と玄米タンパク質含有率の相関を調査する。また、NDVI値による「天のつぶ」「里山のつぶ」の生育指標値（暫定版）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</p> <p>ア. 圃場条件：水田ほ場（灰色低地土）</p> <p>イ. 栽培等の概要</p> <p>(ア) 品種名：天のつぶ、里山のつぶ</p> <p>(イ) 耕起：トラクタによるロータリ耕、4月16日～20日</p> <p>(ウ) 代掻き：荒代5月10日～12日、植代5月17日～18日</p> <p>(エ) 播種：播種機により播種、4月27日、播種量：乾粃 150g/箱</p> <p>(オ) 育苗：稚苗（24日育苗）</p> <p>(カ) 施肥量：2（3）のとおり</p> <p>(キ) 移植：機械移植、天のつぶ5月21日、里山のつぶ5月25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</p> <p>(ク) 除草：手散布、スマートフロアブル（天のつぶ：5月22日） スマートフロアブル（里山のつぶ：5月28日）</p> <p>(ケ) 病虫害防除：種子消毒 テクリードCフロアブル 3月26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月24日 カメムシ防除：キラップフロアブル 8月17日</p> <p>ウ. 窒素吸収量：幼穂形成期と穂ばらみ期の2回、植物体の窒素濃度と乾物量から算出した。</p> <p>エ. NDVI値、植被率の測定（ファームアイ株式会社） 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11日）及び穂ばらみ期（7月30日）の2回測定した。</p>	

(3) 試験区の構成 (グラデーションほ場)

区名	施肥量(kg/a)			
	基肥量			窒素追肥量 幼穂形成期
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
2-0	0.2	0.2	0.2	0
6-0	0.6	0.6	0.6	0
8-0	0.8	0.8	0.8	0
12-0	1.2	1.2	1.2	0
2-2	0.2	0.2	0.2	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：「天のつぶ」は7月19日、「里山のつぶ」は7月20日に実施
区の面積：「天のつぶ」は53m²/区、「里山のつぶ」は27m²、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

グラデーションほ場の結果を表1、表2に示した。

基肥量が多い区及び追肥区ほどm²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1)。また、玄米タンパク質含有率は基肥量が多い区ほど高くなる傾向が見られ、整粒歩合は基肥量が多い区及び追肥区で低くなる傾向が見られた(表1)。

幼穂形成期(7月11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2)。7月11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m²茎数が多くなるほど高くなる傾向が見られた(図1、図2)。7月11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、図4)。穂ばらみ期(7月30日)のNDVI値は、玄米タンパク質含有率と相関が見られた(図5)。

以上の結果から、「天のつぶ」の幼穂形成期の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。

イ NDVI 値による生育指標値の作成

収量60~65kg/a以上を確保するためには、m²籾数は33,000~35,000粒程度であり(図6)、m²籾数が35,000粒以上になると、登熟歩合や整粒歩合が80%以下になる傾向が見られた(図7、図8)。幼穂形成期(7月11日)のNDVI値とm²籾数とに相関が見られ、NDVI値が0.67以下の場合に追肥をすることにより、m²籾数が35,000粒程度になった(図9)。一方、NDVI値が0.72以上の場合追肥をしなくともm²籾数が33,000粒程度になった(図9)。

以上の結果から、収量60~65kg/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m²籾数は33,000~35,000粒程度であり、35,000粒を確保するための幼穂形成期のNDVI値の生育指標値を暫定的に表3のとおり作成した。

幼穂形成期のNDVI値が0.67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0.67~0.72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。

(2) 里山のつぶ

ア NDVI 値、植被率と生育量との関係

基肥量が多い区ほどm²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4)。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4)。

幼穂形成期(7月11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5)。7月11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m²茎数が多くなるほど高くなる傾向が見られた(図10、図11)。7月11日のNDVI

値は、生育量（草丈×莖数×葉色）や窒素吸収量と高い相関が見られた（図 12）。穂ばらみ期（7月30日）のNDVI値と玄米タンパク質含有率との間には相関が見られなかった（データ省略）。

以上の結果から、「里山のつづ」の幼穂形成期の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。

イ 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、m² 粒数は 33,000 粒程度であり、m² 粒数が 35,000 粒以上になると、登熟歩合が 90% 以下になる傾向が見られた（データ省略）。また、m² 粒数が 33,000 粒以上になると、整粒歩合が 80% 以下になる傾向が見られた（データ省略）。

幼穂形成期（7月11日）のNDVI値とm²粒数とに相関が見られ、m²粒数 30,000~33,000 粒を確保するためのNDVI値は追肥の有無に関わらず 0.62~0.65 程度であった（図 13）。幼穂形成期（7月11日）のNDVI値が 0.66 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 14）。

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、倒伏程度 200 以下にするための m² 粒数は 30,000~33,000 粒程度であり、30,000~33,000 粒を確保するための幼穂形成期の NDVI 値の生育指標値を暫定的に表 6 のとおり作成した。幼穂形成期の NDVI 値が 0.62 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 0.62~0.65 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。

4. 主要成果の具体的データ

表 1 「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 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
2-0	8/9	9/25	73.0	17.2	388	54.9	269	23.0	89.4	79.0	5.9	80.2	87.2	3.0
6-0	8/9	9/25	75.0	16.9	499	57.2	297	23.3	82.9	80.5	5.8	83.2	85.4	2.5
8-0	8/10	10/2	76.4	17.3	531	57.3	324	23.3	76.7	79.5	5.9	82.6	80.9	4.0
12-0	8/10	10/2	82.9	16.8	559	69.4	375	23.0	81.0	77.8	6.2	80.7	71.3	5.0
2-2	8/9	9/25	76.5	19.4	407	55.9	315	23.2	76.5	78.5	6.0	80.1	84.9	4.5
6-2	8/9	9/25	79.6	17.8	494	61.6	366	23.4	72.6	78.5	6.0	80.5	81.4	4.5
8-2	8/10	10/2	78.8	18.1	542	69.9	428	23.3	70.3	78.3	6.1	80.9	79.1	5.0
12-2	8/10	10/2	83.1	18.2	586	68.3	435	23.0	68.6	76.3	6.3	78.8	71.3	6.0
基肥量	—	—	**	n.s	**	**	**	n.s	n.s	*	*	n.s	**	—
追肥	—	—	*	*	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。

表 2 「天のつづ」グラデーションほ場における7月11日及び7月30日の生育量

区名	7月11日の生育量				7月30日の生育量	
	草丈 (cm)	莖数 (本/m ²)	葉色 (SPAD502)	窒素吸収量 (mg/株)	葉色 (SPAD502)	窒素吸収量 (mg/株)
2-0	66.7	437	43.8	252	32.6	320
6-0	68.8	572	45.5	310	33.6	342
8-0	71.6	600	45.6	411	33.8	460
12-0	74.4	620	46.1	528	39.1	579
2-2	69.1	423	44.5	273	37.2	396
6-2	71.4	521	46.2	308	38.7	473
8-2	71.7	575	46.6	346	39.2	563
12-2	76.8	613	47.1	430	41.5	607
基肥量	**	**	*	**	n.s	**
追肥	—	—	—	—	**	*
基肥量×追肥	—	—	—	—	n.s	n.s

注) 追肥は7月19日の実施
 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。

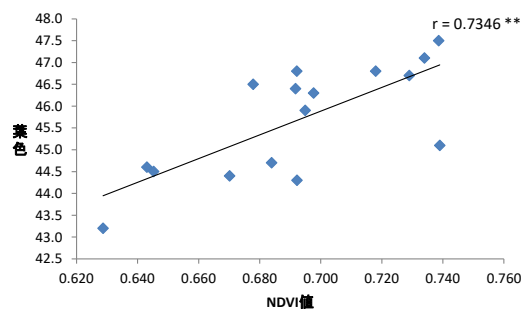


図1 「天のつぶ」NDVI 値と葉色の関係（7月11日）
r は相関係数、**は1%水準で有意、n=16

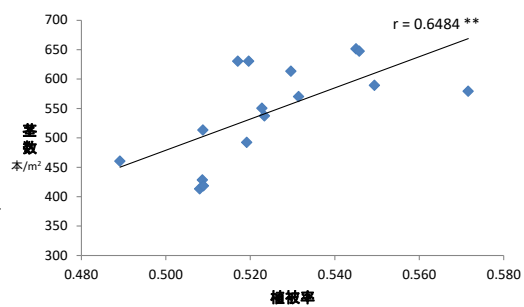


図2 「天のつぶ」植被率と茎数の関係（7月11日）
r は相関係数、**は1%水準で有意、n=16

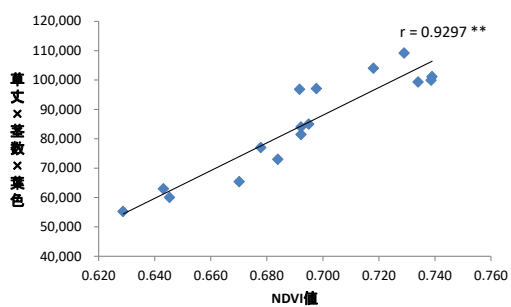


図3 「天のつぶ」NDVI 値と生育量の関係（7月11日）
r は相関係数、**は1%水準で有意、n=16

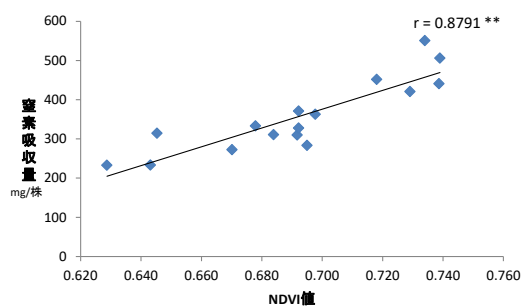


図4 「天のつぶ」NDVI 値と窒素吸収量の関係（7月11日）
r は相関係数、**は1%水準で有意、n=16

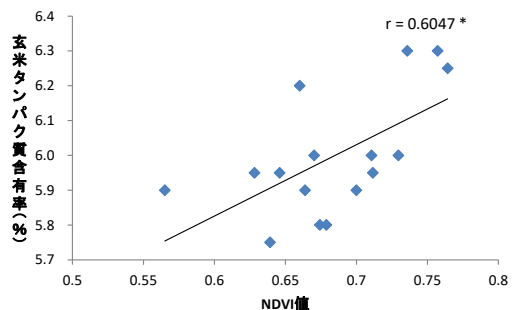


図5 「天のつぶ」NDVI 値と玄米タンパク質含有率（7月30日）
r は相関係数、*は5%水準で有意、n=16

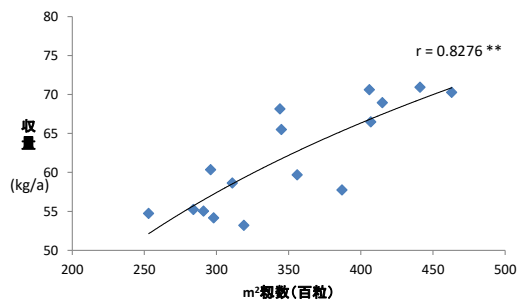


図6 「天のつぶ」 m² 粒数と収量の関係
r は相関係数、**は1%水準で有意、n=16

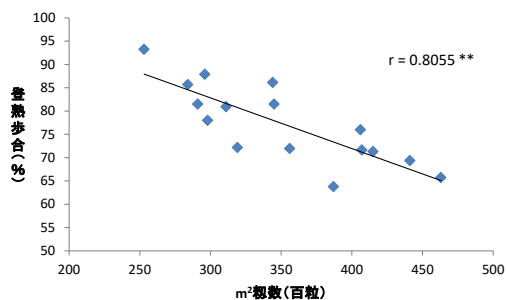


図7 「天のつぶ」m² 粒数と登熟歩合の関係
r は相関係数、**は1%水準で有意、n=16

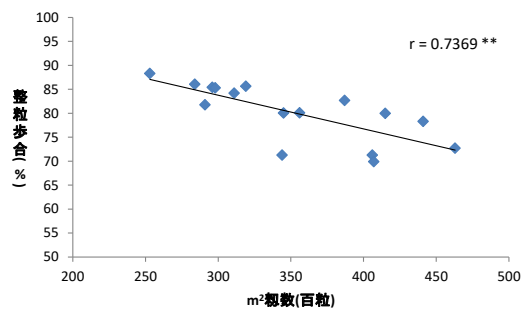


図8 「天のつぶ」m² 粒数と整粒歩合の関係
r は相関係数、**は1%水準で有意、n=16

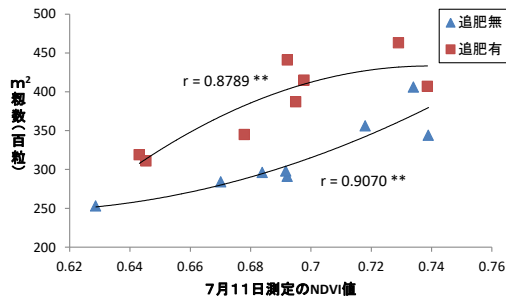


図9 「天のつぶ」幼穂形成期のNDVI値とm²穂数の関係

rは相関係数、**は1%水準で有意、n=8

追肥有区は7月19日に0.2kg/a施用

表3 「天のつぶ」幼穂形成期のNDVI値による生育指標値(暫定版)

成 熟 期	収 量	60~65kg/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	80%以上		
	m ² 穂数	33,000~35,000粒		
	NDVI値	0.67以下	0.67~0.72	0.72以上
幼穂形成期	草丈×茎数×葉色	80,000以下	80,000~100,000	100,000以上
	窒素吸収量(mg/株)	300以下	300~450	450以上
	追肥量(kg/a)	0.2	0.1~0.15	0

表4 「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 ²)	精玄米重 (kg/a)	m ² 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
2-0	8/6	9/23	76.3	18.3	326	59.6	254	24.9	93.9	74.5	6.4	82.3	83.3	3.5
6-0	8/7	9/24	81.6	17.6	418	66.4	285	24.5	95.1	78.5	6.0	85.0	84.2	4.0
8-0	8/8	9/29	87.6	17.9	494	80.6	354	24.3	93.8	79.0	6.0	84.3	82.5	4.5
12-0	8/11	10/5	95.1	18.5	518	78.9	391	23.6	85.4	76.0	6.4	79.8	67.5	6.0
2-2	8/6	9/23	77.9	19.1	355	67.6	284	25.3	94.0	72.5	6.7	79.4	82.6	3.5
6-2	8/7	9/27	84.4	18.6	410	71.9	306	25.0	94.1	76.5	6.3	84.3	86.8	3.5
8-2	8/9	10/1	88.0	18.0	462	77.5	352	24.6	89.8	76.5	6.3	83.3	77.2	4.5
12-2	8/11	10/5	94.8	18.4	473	73.6	364	23.9	84.7	73.0	6.7	77.0	69.0	6.0
基肥量	-	-	**	n.s	**	**	**	**	**	n.s	n.s	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	*	-

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I(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。

表5 「里山のつぶ」グラデーションほ場における7月11日及び7月30日の生育量

区名	7月11日の生育量				7月30日の生育量	
	草丈 (cm)	茎数 (本/m ²)	葉色 (SPAD502)	窒素吸収量 (mg/株)	葉色 (SPAD502)	窒素吸収量 (mg/株)
2-0	54.9	353	42.9	153	32.1	242
6-0	61.6	490	43.8	259	30.1	340
8-0	64.0	571	45.4	363	31.6	470
12-0	68.7	587	46.8	508	36.7	627
2-2	56.4	380	42.6	175	36.9	376
6-2	60.9	463	42.7	293	34.4	481
8-2	63.6	530	45.1	308	35.4	560
12-2	67.5	558	46.0	490	42.2	674
基肥量	**	**	**	**	*	**
追肥	-	-	-	-	*	*
基肥量×追肥	-	-	-	-	n.s	n.s

注) 追肥は7月20日の実施

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。

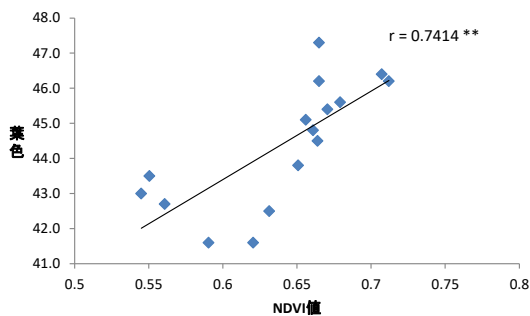


図10 「里山のつぶ」NDVI値と葉色の関係(7月11日)

rは相関係数、**は1%水準で有意、n=16

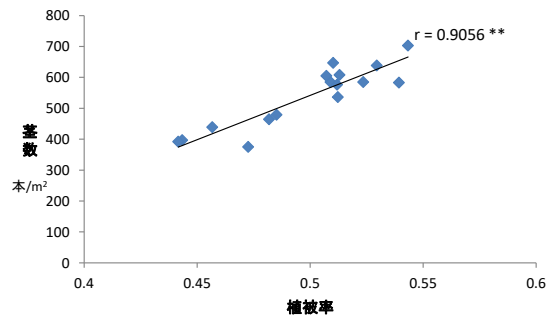


図11 「里山のつぶ」植被率と茎数の関係(7月11日)

rは相関係数、**は1%水準で有意、n=16

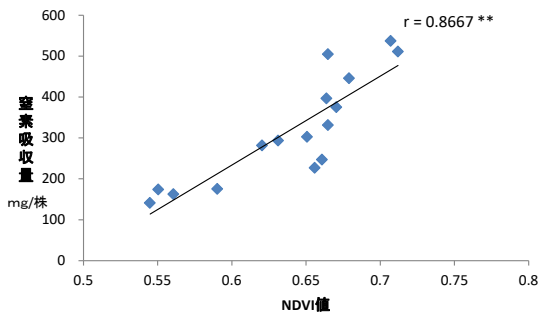


図 12 「里山のつづ」 NDVI 値と窒素吸収量の関係（7月 11 日）
r は相関係数、**は 1%水準で有意、n=16

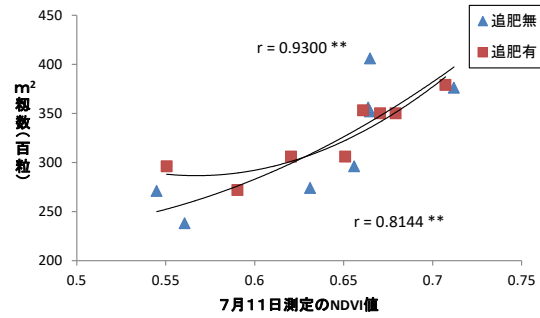


図 13 「里山のつづ」 幼穂形成期の NDVI 値と m² 粒数の関係
r は相関係数、**は 1%水準で有意、n=8
追肥有区は 7 月 20 日に 0.2kg/a 施用

表 6 「里山のつづ」幼穂形成期の NDVI 値による生育指標値(暫定版)

成 熟 期	収 量	65~70kg/a		
	玄米タンパク質含有率	6.4%以下		
	整粒歩合	80~85%		
	登熟歩合	85~90%		
	m ² 粒数	30,000~33,000粒		
	倒伏程度	200以下		
幼 穂 形 成 期	NDVI 値	0.62 以下	0.62~0.65	0.65 以上
	草丈×茎数×葉色	60,000 以下	60,000~90,000	90,000 以上
	窒素吸収量(mg/株)	300 以下	300~400	400 以上
	追肥量(kg/a)	0.2	0.1~0.15	0

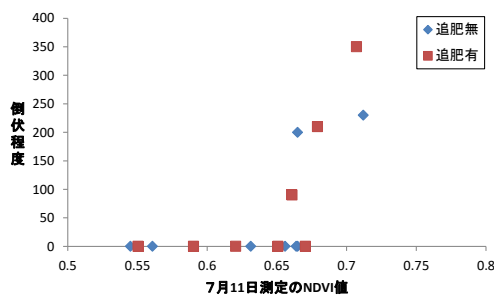


図 14 「里山のつづ」 幼穂形成期の NDVI と倒伏の関係
r は相関係数、**は 1%水準で有意、n=8
追肥有区は 7 月 20 日に 0.2kg/a 施用

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）及び植比率と茎数には相関が見られた。また、両品種とも幼穂形成期の 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は可能であると考えられた。しかしながら、穂ばらみ期の NDVI 値と玄米タンパク質含有率の関係については、天のつづについては傾向がみられたが、「里山のつづ」については相関が見られなかった。一方、データは示していないが、葉色（SPAD 値）と玄米タンパク質の関係性を見ると、成熟期頃の SPAD 値と玄米タンパク質含有率に相関が見られた。今後、成熟期頃の NDVI 値と玄米タンパク質含有率の関係を検討する必要があると思われる。

今年度、「天のつづ」「里山のつづ」の幼穂形成期の NDVI 値による生育指標値を暫定的に作成したが、精度を向上させるためには、複数年の結果が必要であり、次年度も継続してデータを収集していく予定である。

6. 問題点と次年度の計画

平成 31 年度は、グラデーションほ場を設置して各種データを収集し、NDVI 値による生育診断指標値の精度を向上させる。また、玄米タンパク質含有率と成熟期の NDVI 値との関係性を調査し、品質向上のための食味値の推定指標値を明らかにする。さらに、32 年度には基肥時の可変施肥によるほ場の地カムラ改善の実証を行う（機械による可変施肥）ため、31 年度は現地生産者ほ場を用いて、30 年度に作成した指標値によるリモートセンシングと土壌診断によりほ場内の地カムラを把握する。

