

委託試験成績（令和2年度）

担当機関名 部・室名	長野県農業試験場 作物部・環境部																				
実施期間	令和2年度～3年度、新規																				
大課題名	V 情報処理等先端技術の活用による高生産システムの確立																				
課題名	リモートセンシングによる水稲可変施肥マップ（追肥）を活用した長野県オリジナル品種の高品質・高位安定栽培技術の確立																				
目的	<p>長野県オリジナル品種、酒造好適米「山恵錦」及び「風さやか」について、リモートセンシングによる水稲可変施肥マップ（追肥）を活用した収量および品質の高位平準化栽培技術を確立する。</p> <p>1. 幼穂形成期のドローン、リモートセンシングによる葉色および生育マップの作成。2. NDVIとSPAD値等のデータを収集し、幼穂形成期の生育診断指標値を作成。3. 施肥マップにより、無人ヘリによる可変施肥の実施。4. 収量コンバインによるほ場間の収量変動の把握と翌春の可変施肥田植え機による基肥の最適化。</p>																				
担当者名	作物部 上原 泰 環境部 諸 人誌																				
<p>1. 試験場所 ①長野県大町市 (株)ヴァンベール平出ほ場 ②長野県須坂市 長野県農業試験場ほ場</p> <p>2. 試験方法</p> <p>I 現地における県オリジナル品種「山恵錦」の生育・収量・品質とセンシングデータの関係</p> <p>(1) 供試機械名：可変施肥仕様田植機(ヤンマーYR8D)、センシング用ドローン(DJI P4M)、可変施肥対応無人ヘリ(ヤンマーYF390AX)、収量コンバイン(ヤンマーYH6115)</p> <p>(2) 試験(実証)条件</p> <p>ア. 圃場条件 ① 中粗粒質灰色低地土</p> <p>イ. 栽培等の概要 品種名 山恵錦</p> <p>試験区構成</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">作業施肥体系</th> <th style="text-align: left;">使用機械</th> <th style="text-align: left;">施肥体系</th> <th style="text-align: left;">可変、 府可変</th> <th style="text-align: left;">ほ場 数</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>可変田植(一発)</td> <td></td> <td>基肥一発</td> <td>可変</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>可変田植(分施)</td> <td>可変施肥田植機</td> <td>分施</td> <td>不可変</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>慣行</td> <td></td> <td></td> <td>不可変</td> <td>3</td> </tr> </tbody> </table> <p>使用肥料</p> <p>水稲基肥一発 3015 : N:P;K=30:14:15(速効性 10.8%、緩効性 19.2%)、 あるぷす清流 : N:P;K=14:22:11、 NKC707 : N:P;K=17:0:17</p> <p>移植日・施肥日 : 4月28日、29日、追肥 ; 7月10日(無人ヘリ)</p> <p>ウ. 調査項目</p> <p>可変施肥田植機施肥量、無人ヘリ施肥量、センシング(特別解析含む) : 6月15日(分けつ期)、7月3日(幼穂形成期)、8月18日(穂揃期)、SPAD値、生育調査 : センシング時、収量調査(窒素含有率含む) : 9月1日(坪刈り)、9月3日(収量コンバイン)</p> <p>エ. 耕種概要等</p> <p>除草剤 : エリジャン乳剤、ゲパート1キロ粒剤</p> <p>土壌改良資材 : ニューゴールドライト(粒状ケイカル肥料) 100kg/10a</p> <p>II 県オリジナル品種「風さやか」の生育・収量・品質とセンシングデータの関係性の把握</p> <p>(1) 供試機械名 : センシング用ドローン(DJI P4M)</p> <p>(2) 試験条件</p> <p>ア. 圃場条件</p>		作業施肥体系	使用機械	施肥体系	可変、 府可変	ほ場 数	可変田植(一発)		基肥一発	可変	2	可変田植(分施)	可変施肥田植機	分施	不可変	4	慣行			不可変	3
作業施肥体系	使用機械	施肥体系	可変、 府可変	ほ場 数																	
可変田植(一発)		基肥一発	可変	2																	
可変田植(分施)	可変施肥田植機	分施	不可変	4																	
慣行			不可変	3																	

土壌：褐色低地土

イ. 栽培等の概要 品種名：「風さやか」

試験区構成

番号	基肥 N	追肥 N
1	0	0
2	0	1.5
3	0	3
4	0	4
5	2	0
6	2	1.5
7	2	3
8	2	4
9	4	0
10	4	1.5
11	4	3
12	4	4
13	6	0
14	6	1.5
15	6	3
16	風さやか基肥一発	-

移植日 : 5月27日

栽植密度 : 22.2 株/m²

施肥日 : 基肥 : 追肥 : 7月28日

N:P:K= (試験区で調整) :7:7 kg/10a

Nは硫酸、Pは重焼燐、Kは塩化カリウムで施用

基肥一発区は「風さやか専用一発肥 (N:P:K=18:18:10) を使用した。

施肥は本代かき時に手散布で実施した。

ウ. 調査項目

- ・センシング：マーカーによる局所的なセンシングを7月13日（幼穂形成期）、8月18日（穂揃期）に実施した。
- ・生育調査：センシング時に草丈、茎数、SPAD値を調査した。
- ・水稻窒素吸収量：センシング時に試料採取し、調整後CNコーダーで分析を行った。
- ・成熟期調査：9月10日に稈長、穂長、穂数を調査した。
- ・収量調査：10月2日に手刈りで坪刈りを実施した。
- ・品質調査：穀粒判別機により整粒歩合、未熟粒率、タンパク含量等の玄米品質を測定した。

エ. 耕種概要等

除草剤：ピラクロン1キロ粒剤、フォローアップ1キロ粒剤

Ⅲ 現地における県オリジナル品種「風さやか」の生育・収量・品質とセンシングデータの関係性の把握（基肥一発肥料、地力の異なる条件が与える影響の評価）

ア. 圃場条件

土壌：灰色低地土

イ. 栽培等の概要 品種名：「風さやか」

試験区構成

処理区名	肥料現物投入量 窒素投入量	
	kg/10a	
地力低-施肥少	13.3	5.4
地力低-施肥中	16.8	6.9
地力低-施肥多	27.4	11.2
地力高-施肥少	12.9	5.3

※地力低の圃場においては、約40aの圃場を三分割し、施肥の量を変えてグラデーション圃場を設置した。地力高-施肥少区は、地力がセンシングに与える影響を評価するため、地力の異なる離れた場所の水田を選定し、地力低-施肥少区と同等の施肥量となるように施肥を行った。

試験区面積：25m²（5m×5m、マーカー解析はその区内の1.5m×1.5mで設置）

各施肥処理について25m²×4か所の調査区を設けた（4反復）。

基肥資材：「大北N41」

（NPK=41-0-0、内LP-30:25.3, LP-70:25.3, LPS-80+LPS-100:49.4%）

移植日 : 5月8日

栽植密度：地力低圃場16.6株/m²、地力高圃場15.7株/m²

施肥日 : 5月8日に側条施肥で実施

ウ. 調査項目

- ・センシング：センシング（特別解析含む）を6月15日（分けつ期）、7月3日（幼穂形成期）、8月18日（穂揃期）に実施した。
- ・生育調査：センシング時に草丈、茎数、SPAD値を調査した。
- ・水稻窒素吸収量：センシング時に試料採取し、調整後CNコーダーで分析を行った。
- ・成熟期調査：9月15日に稈長、穂長、穂数を調査した。
- ・収量調査：9月29日に手刈りで坪狩りを実施した。
- ・品質調査：穀粒判別により整粒歩合、未熟粒率、タンパク含量などの玄米品質を測定した。

エ. 耕種概要等

除草剤：エリジャン乳剤、ゲパート1キロ粒剤

土壌改良資材：ニューゴールドライト(粒状ケイカル肥料) 100kg/10a

3. 試験結果

I 現地における県オリジナル品種「山恵錦」の生育・収量・品質とセンシングデータの関係

(1) ドローンセンシングと生育調査の関係

分けつ期、幼穂形成期、穂揃期にドローンのセンシング（マーカー解析）と生育調査を実施した。センシングと生育調査の関係をみると、分けつ期のすべての項目と幼穂形成期のNDVIとSPAD値（図I-1）、NDVI×植被率とSPAD値×草丈×茎数は有意な相関関係にあった。

成熟期の窒素含有率との関係では、幼穂形成期（7月3日）のNDVI、植被率、NDVI×植被率との相関係数が最も高かった。幼穂形成期のNDVIとSPAD値は有意な相関関係であった。

(2) 幼穂形成期と植被率と酒造好適米品質の関係

幼穂形成期のNDVI、NDVI×植被率は、整粒率、胴割率と有意な相関関係がみられた。酒造好適米で重要な品質項目である心白率は、幼穂形成期の植被率と有意な相関関係がみられ、（図I-2）植被率0.51以上で心白率が高くなった。蛋白質含有率は全センシングデータと有意な相関はみられなかった。

(3) 作業施肥体系別の生育、収量のばらつき

作業施肥体系別の収量コンバインの収穫量データをみると、変動係数は、可変田植（分施）と可変田植（一発）が慣行より低かった（図I-3）。穂揃期のドローンセンシングNDVIのばらつきは収量コンバインデータの収穫量変動係数と同傾向を示した。

II 県オリジナル品種「風さやか」の生育・収量・品質とセンシングデータの関係性の把握

(1) 生育パラメータと植物体窒素吸収量の関係

7月、8月の調査全体で解析すると、生育指標やSPAD値は植物体のN吸収量と相関が弱い傾向にあったが、NDVIまたはNDVI×植被率は高い正の相関を示した（図II-1 a, b）。一方で植被率については、草丈×茎数×SPAD値で算出した生育指標と有意な正の相関関係にあるものの（図II-1 c）、窒素吸収量とは明瞭な関係を示さなかった（ $r^2=0.11$, $p > 0.05$ ）。

調査時期別のNDVI、NDVI×植被率と植物体の窒素吸収量の関係は、どちらも正の相関を示していたが、その傾向は8月よりも7月の調査結果で顕著であった。

(2) 時期別の生育パラメータと玄米収量、籾数の関係

7月のSPAD値、生育指標は収量と明瞭な傾向を示さなかった。他方、窒素吸収量、NDVI、植被率、NDVI×植被率はそれぞれ有意な正の相関を示した（データ省略）。8月はSPAD値、生育指標、窒素吸収量、NDVI、NDVI×植被率のそれぞれが玄米収量と正の相関を示し、収量に対してはNDVI及びNDVI×植被率との関係が高い相関を示した（図II-2）。また、7月のNDVI×植被率と収量の関係から追肥前にこの値が0.3以下であり、その後も追肥が十分になされないと、収量が（本試験の中では）低くなる傾向にあった（図II-3）。

(3) 時期別の生育パラメータと玄米タンパクの関係

7月の生育パラメータは玄米タンパク含有率と明瞭な関係を示さなかった（データ省略）。一方で8月は植被率以外のパラメータで有意な正の相関を示した（図II-4）。

(4) 時期別の水稻生育パラメータと玄米未熟粒率の関係

7月の生育パラメータは未熟粒率と明瞭な関係を示さなかった（データ省略）。一方で8月は

NDVI×被植率が未熟粒率と有意な正の相関を示した（図Ⅱ-5）

Ⅲ 現地における県オリジナル品種「風さやか」の生育・収量・品質とセンシングデータの関係性の把握（基肥一発肥料、地力の異なる条件が与える影響の評価）

(1) 水稻の生育パラメータと植物体窒素吸収量の関係

SPAD 値は植物体 N 吸収量と明瞭な関係が得られなかった（データ省略）。一方で生育指標は植物体窒素吸収量と正の相関があった（図Ⅲ-1）。NDVI、植被率、NDVI×植被率は植物体窒素吸収量と高い正の相関を示した。また、センシングの時期別にみると、6月の植被率、NDVI×植被率、7、8月のNDVI、植被率、NDVI×植被率で窒素吸収量と有意な正の相関を示した。植物体窒素吸収量と相関が高かったのは6月の植被率（ $R^2=0.76$ ）であり、追肥直前の7月は有意な正の相関ではあるものの、 R^2 値は0.49にとどまった（図Ⅲ-1 中央下）。

(2) 時期別の水稻生育パラメータと玄米収量、籾数の関係

6月、7月の生育パラメータと収量の関係は明瞭な傾向を示さなかった。一方で8月のNDVI、NDVI×植被率と収量の間には有意な正の相関がみられた（図Ⅲ-2）。追肥前の7月のNDVI×植被率と玄米収量の関係は図Ⅲ-2 右に示した。地力少-施肥少区は低収量となり、ばらつきは大きいものの、施肥量の増加に伴って収量が増加する傾向であり、NDVI×植被率の挙動と連動していた。一方で、地力高-施肥少区では、7月時点のNDVI×植被率の値が高いにもかかわらず、比較的低収量となった。

(3) 時期別の水稻生育パラメータと玄米タンパクの関係

8月のNDVI、植被率、NDVI×植被率はタンパク含量と有意な正の相関を示した（図Ⅲ-3）が、6月、7月のセンシングデータとは明瞭な関係を示さなかった（データ省略）。

(4) 時期別の水稻生育パラメータと玄米未熟粒率の関係

7月のNDVI、植被率、NDVI×植被率は玄米の未熟粒率と有意な正の相関を示した。特に、NDVI、NDVI×植被率とは強い相関を示した（図Ⅲ-4）。一方で、6月、8月のセンシングデータとは明瞭な関係を示さなかった。

4. 主要成果の具体的データ

I 現地における県オリジナル品種「山恵錦」の生育・収量・品質とセンシングデータの関係

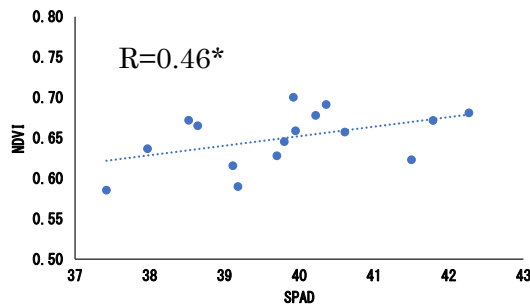


図 I - 1 幼穂形成期の SPAD 値と NDVI の関係 * : 5%の危険率で有意

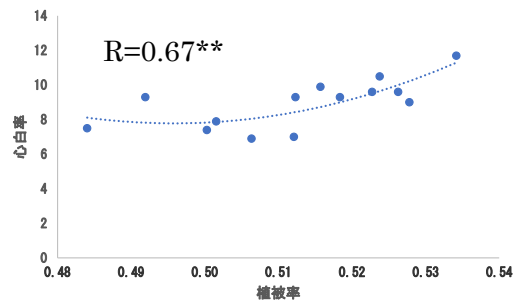


図 I - 2 幼穂形成期の植被率と心拍数の関係

※心拍率は穀粒判別機（S社 RGQI20A 型）による。** : 1%の危険率で有意

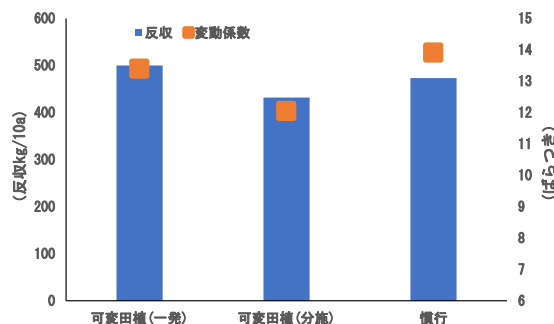


図 I - 3 収量コンバインによる収穫量と変動係数 ※ほ場数 9

II 県オリジナル品種「風さやか」の生育・収量・品質とセンシングデータの関係性の把握

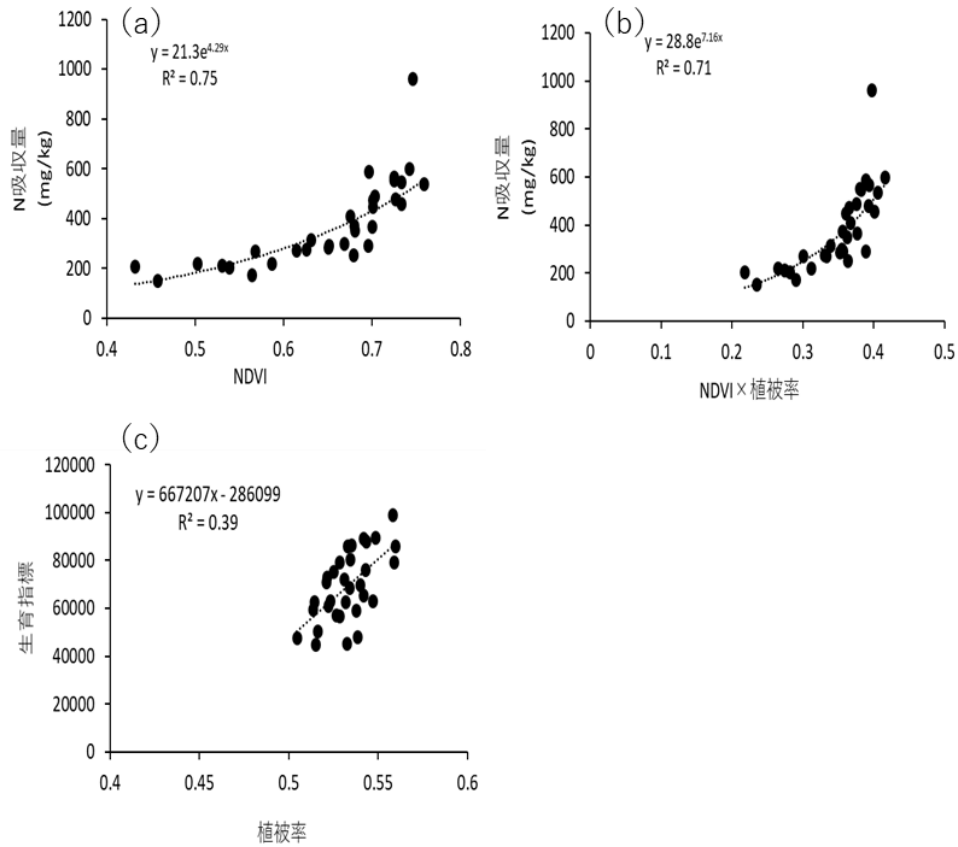


図 II-1 植物体の生育パラメータと植物体中養分の関係

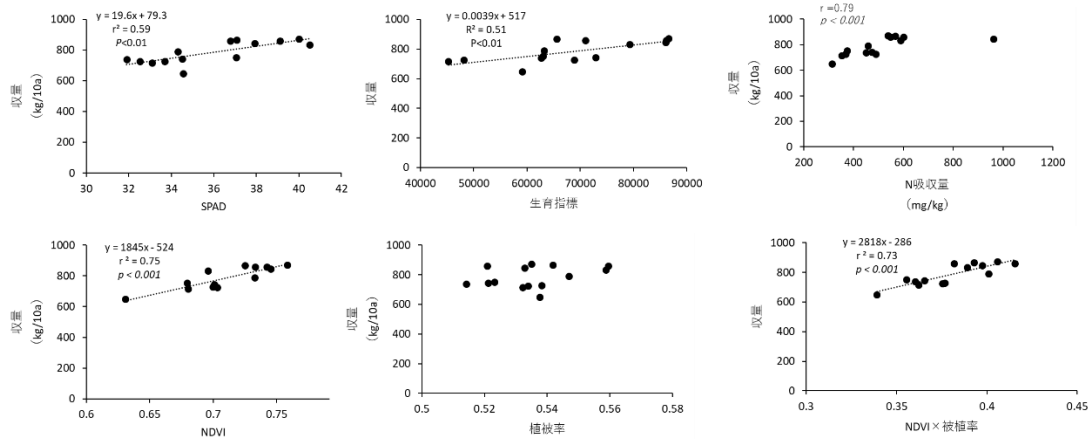


図 II-2 8月の各生育パラメータと収量の関係

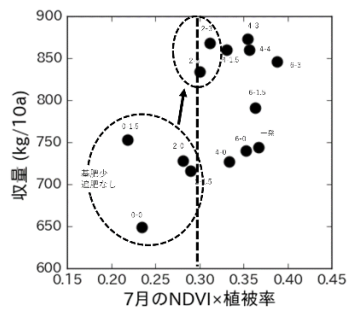


図 II-3 7月のNDVI×植被率と収量の関係

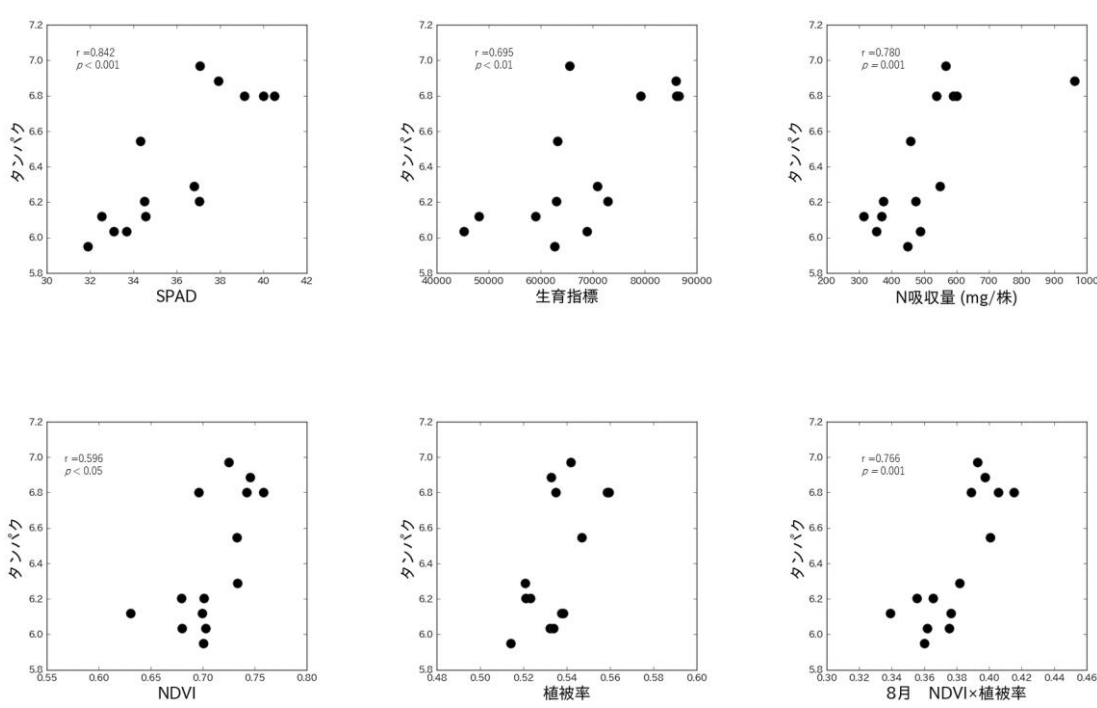


図 II-4 8月の各生育パラメータと玄米タンパクの関係

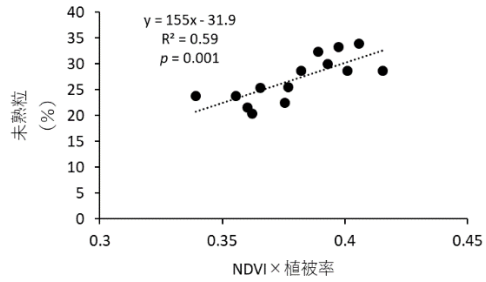
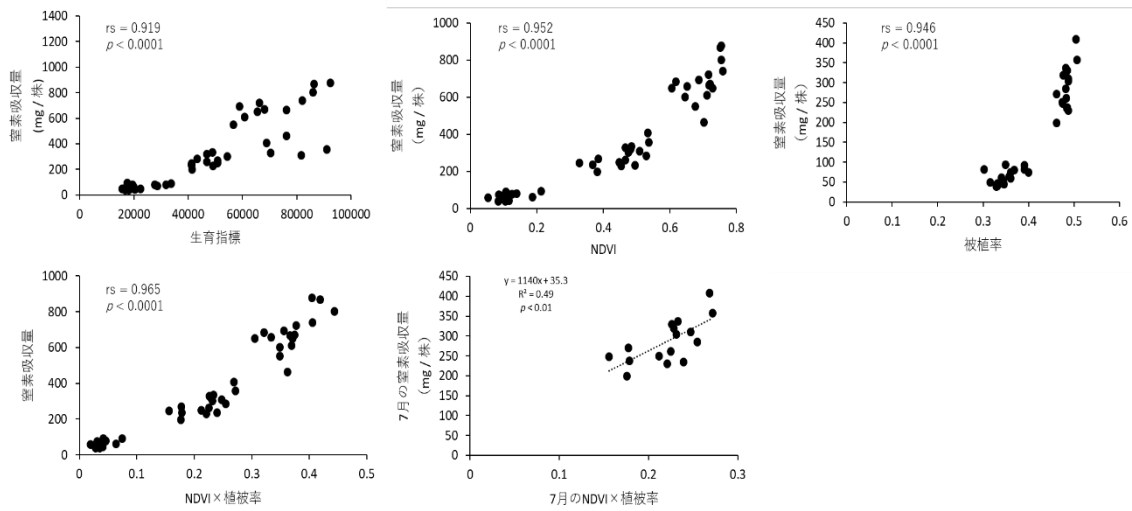


図 II-5 NDVI×植被率と未熟粒の関係

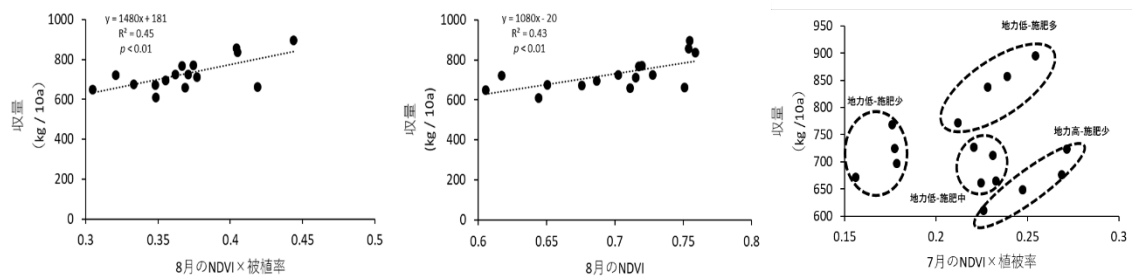
III 現地における県オリジナル品種「風さやか」の生育・収量・品質とセンシングデータの関係性の把握（基肥一発肥料、地力の異なる条件が与える影響の評価）

表 III-1 大町圃場の土壌理化学性

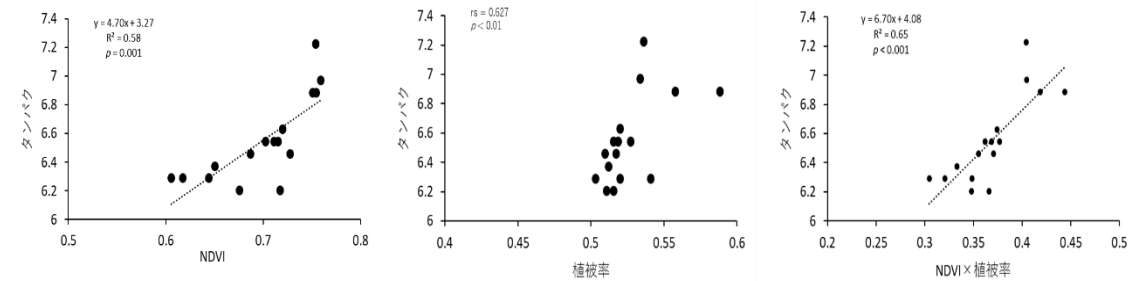
	pH	可給態リン酸 (Truog法) (mg P ₂ O ₅ /100g)	交換性加里 (mg K ₂ O/100g)	交換性石灰 (mg CaO/100g)	交換性苦土 (mg Mg/100g)	可給態窒素(40°C 1週間湛水培養) (NH ₄ -N mg/100g)
地力低-施肥少	5.79 ± 0.00	29.4 ± 1.1	10.0 ± 2.1	73.8 ± 10.5	10.2 ± 1.9	3.63 ± 0.46
地力低-施肥中	5.81 ± 0.06	29.1 ± 2.2	10.2 ± 1.2	75.9 ± 14.8	9.1 ± 1.6	3.63 ± 0.82
地力低-施肥多	5.78 ± 0.01	33.2 ± 1.9	10.8 ± 2.8	87.4 ± 7.4	10.7 ± 0.4	2.85 ± 0.57
地力高-施肥少	5.73 ± 0.02	39.3 ± 4.9	15.3 ± 0.9	146 ± 9	14.4 ± 1.0	4.51 ± 0.96



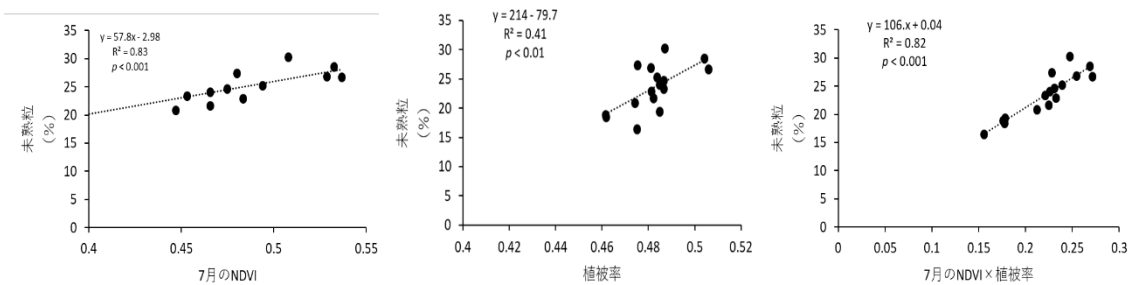
図III-1 植物体の生育パラメータと植物体窒素吸収量の関係



図III-2 時期別の水稻生育パラメータと玄米収量の関係



図III-3 時期別の水稻生育パラメータと玄米タンパクの関係



図III-4 時期別の水稻生育パラメータと玄米未熟粒率の関係

5. 経営評価

作業機について、各作業時間を調査した。可変ブロードキャストによる施肥は2分36秒/10aと田植時側条施肥体系に比べ省力的であった。次年度体系別の作業時間を示す。

6. 利用機械評価

可変施肥田植機の精度（実施肥量/目標施肥量×100）は99%、無人ヘリは96%で、設定通りの施肥が可能であった（図6-5）。

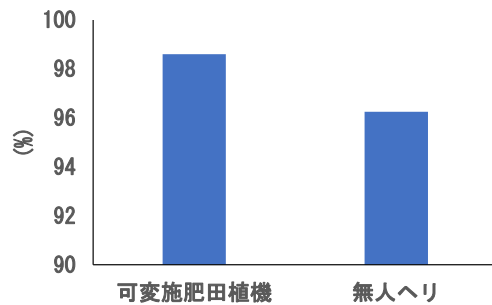


図6-5 施肥の精度

※精度 = (実施肥量 / 目標施肥量 × 100)

7. 成果の普及

令和2年9月2日にリモートセンシングの検討会（出席者36名）を開催し、本試験の概要を紹介した。令和2年12月11日大北（大町市、北安曇郡）地区水田作検討会（出席者38名）において、本試験の概要を説明した。

8. 考察

I 現地における県オリジナル品種「山恵錦」の生育・収量・品質とセンシングデータの関係

- (1) ドローンによるセンシングは、分けつ期（田植後45日後）、幼穂形成期において、NDVI、植被率と生育調査（SPAD値、草丈、茎数）と有意な相関関係がみられたことから、ドローンによるセンシングは有効な生育診断方法と考えられた。
- (2) 幼穂形成期のNDVI、NDVI×植被率と整粒率、胴割粒率、植被率と心白率は有意な相関関係がみられた。ドローンセンシングデータから山恵錦の高品質栽培指標作成の可能性が示された。
- (3) 可変施肥田植機の分施肥体系及び一発基肥体系は、センシングによる幼穂形成期のNDVIのばらつき及び収量コンバインにおける収穫量の変動係数が慣行（可変なし）より低いことから、可変施肥による生育と収穫量の平準化効果がみられた。
- (4) 可変施肥田植機、無人ヘリによる可変追肥は、それぞれ目標施肥量の99%、96%の施肥投入となり、高い施肥精度であった。

II 県オリジナル品種「風さやか」の生育・収量・品質とセンシングデータの関係性の把握

- (1) 全期間のセンシングデータからはNDVIとNDVI×植被率はN吸収量と高い正の相関を示し、窒素吸収量の推測指標として使用できる可能性がある。
- (2) 7月のNDVI×植被率と収量の関係から、この値が0.3以下でその後も追肥が十分になされないと収量が伸びない傾向があった。このことから、本試験を行った圃場では、NDVI×植被率が0.3を目安に追肥の実施、またはその量を検討する必要があると考えられた。
- (3) 8月のNDVIおよびNDVI×植被率の値は収量、玄米タンパク含量、未熟粒割合などと正の相関を示した。このことから、8月のセンシングデータは風さやかにおいて成熟後の品質予測の指標となる可能性がある。

III 現地における県オリジナル品種「風さやか」の生育・収量・品質とセンシングデータの関係性の把握（基肥一発肥料、地力の異なる条件が与える影響の評価）

- (1) 全期間のセンシングデータを用いて解析を行うと、NDVI、植被率、NDVI×植被率は強い正の相関を示しており、植物体の養分状態を把握する上で、有用な指標となりうると考えられた。
- (2) 1発肥料を用いているため、解析が困難であるが、7月のセンシングデータを施肥管理別に評価すると地力低圃場では施肥量の増加とともに収量が増加する傾向にあった。一方で地力高圃場ではNDVI×植被率が高値を示しているにもかかわらず、収量は上がらず、未熟粒も増加している。このことから、今回試験した大町圃場においては、7月前半におけるNDVI×植被率の値は、地力の同じ圃場内ならば基準になりうるが、地力の高い他の圃場などにおいては、同じ尺度による肥

培管理の参考値とすることが難しいと考えられた。

9. 問題点と次年度の計画

- (1) 2年度の試験を継続し、年次変動を確認する。
- (2) 2年間の試験から「山恵錦」「風さやか」のドローンセンシングデータの品質・高位安定栽培指標を作成する。

10. 参考写真

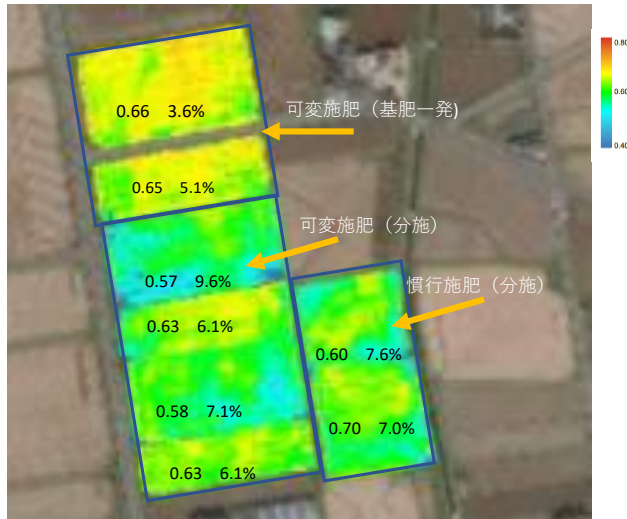


図 10-1 幼穂形成期のドローンセンシング画像

※数字は NDVI とばらつき (標準偏差)



図 10-2 センシング (マーカー解析) 対象圃場の様子