

委託試験成績（令和3年度）

担当機関名 部・室名	秋田県農業試験場 企画経営室																																							
実施期間	令和3年度～4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	生産技術およびほ場の収量ポテンシャルを最大限に発揮するためのセンシング技術活用手法の開発																																							
目的	稲作経営の大規模化により、水稻生産の省力化・低コスト化が進んでいる。実需の面では、低下価格帯の中外食向け業務用米のニーズが高まっているが、省力・低コスト生産だけでは、利益率が低く、経営の安定化が見込めないため、省力・低コスト技術の制約の中で最大収量を実現するとともに、ほ場の収量ポテンシャルを最大限に発揮する必要がある。そこで、リモートセンシングデータを活用した多収のための生育診断指標を開発する。また、収量マップデータと合わせて翌年の基肥量について検討し、収量の高位安定化を図る。																																							
担当者名	スマート農業班 主任研究員 石田頼子																																							
<p>1. 試験場所 秋田県農業試験場大区画ほ場 1ha×3筆</p> <p>2. 試験方法</p> <p>(1) 供試機械名：マルチスペクトラルカメラ付きドローン（PHANTOM4MultiSpectrum、DJI 社） 車速連動仕様ブロードキャスト（MP410EX、ニプロ、全層施肥のみ） マッピングコンバイン（YH6115、ヤンマーアグリジャパン社）</p> <p>(2) 試験条件</p> <p>【試験1】密苗を用いた省力多収生産のための生育指標の開発</p> <p>ア. 圃場条件 面積1ha グライ土（H-1）</p> <p>イ. 栽培等の概要</p> <p>①品種名 めんこいな</p> <p>②施肥 基肥全層施肥（追肥なし）</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>ほ場</th> <th>試験区</th> <th>窒素施肥量 (kg/a)</th> <th>内容</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="12">H-1</td> <td rowspan="2">N0</td> <td>1</td> <td rowspan="2">無肥料</td> </tr> <tr> <td>2</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">N4</td> <td>1</td> <td rowspan="2">基肥一発型肥料</td> </tr> <tr> <td>2</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">N6</td> <td>1</td> <td rowspan="2">基肥一発型肥料</td> </tr> <tr> <td>2</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">N8</td> <td>1</td> <td rowspan="2">基肥一発型肥料（N0.6）+速効性肥料（N0.2）</td> </tr> <tr> <td>2</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">N10</td> <td>1</td> <td rowspan="2">基肥一発型肥料（N0.6）+速効性肥料（N0.4）</td> </tr> <tr> <td>2</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">N12</td> <td>1</td> <td rowspan="2">基肥一発型肥料（N0.8）+速効性肥料（N0.2）</td> </tr> <tr> <td>2</td> </tr> </tbody> </table> <p>※基肥一発型肥料：ゆとりL588、速効性肥料：硫加磷安11号</p> <p>③播種・育苗 播種量 250g/箱、無加温出芽</p> <p>④移植 栽植密度 50 株/坪、植付本数 4 本/株</p> <table border="1"> <caption>表1 移植時の苗質とマット強度</caption> <thead> <tr> <th>育苗日数</th> <th>草丈 cm</th> <th>葉齢 葉</th> <th>乾物重 g/100本</th> <th>マット強度 N</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>24～25</td> <td>12.6</td> <td>2.6</td> <td>1.1</td> <td>153.0</td> </tr> </tbody> </table> <p>⑤病虫害・雑草防除 種子消毒：テクリードCフロアブル、育苗期：ビームゾル、移植時：スタウトパディート箱粒剤 他適宜実施</p> <p>⑥収穫 マッピングコンバインによる収穫</p> <p>ウ. 調査項目 生育調査（草丈・茎数・SPAD 値）、生育時期別 NDVI 値・植被率（1m メッシュデータ）、収量調査（坪刈り・マッピングコンバイン計測値）</p> <p>エ. 撮影条件 飛行速度 4.3m/s、航路上オーバーラップ率 78%、航路間オーバーラップ率 37%、飛行高度 57.0m、撮影時間帯 8 時～9 時</p>		ほ場	試験区	窒素施肥量 (kg/a)	内容	H-1	N0	1	無肥料	2	N4	1	基肥一発型肥料	2	N6	1	基肥一発型肥料	2	N8	1	基肥一発型肥料（N0.6）+速効性肥料（N0.2）	2	N10	1	基肥一発型肥料（N0.6）+速効性肥料（N0.4）	2	N12	1	基肥一発型肥料（N0.8）+速効性肥料（N0.2）	2	育苗日数	草丈 cm	葉齢 葉	乾物重 g/100本	マット強度 N	24～25	12.6	2.6	1.1	153.0
ほ場	試験区	窒素施肥量 (kg/a)	内容																																					
H-1	N0	1	無肥料																																					
		2																																						
	N4	1	基肥一発型肥料																																					
		2																																						
	N6	1	基肥一発型肥料																																					
		2																																						
	N8	1	基肥一発型肥料（N0.6）+速効性肥料（N0.2）																																					
		2																																						
	N10	1	基肥一発型肥料（N0.6）+速効性肥料（N0.4）																																					
		2																																						
	N12	1	基肥一発型肥料（N0.8）+速効性肥料（N0.2）																																					
		2																																						
育苗日数	草丈 cm	葉齢 葉	乾物重 g/100本	マット強度 N																																				
24～25	12.6	2.6	1.1	153.0																																				

オ. 試験スケジュール

- ①種子浸種：4/19～、②施肥日：4/21、③耕起日：4/23、④催芽：4/23～24、⑤播種日：4/26、⑥代かき：5/13、⑦移植日：5/19、⑧撮影・生育調査日：6/10、6/24、6/29、7/6（最高分げつ期）、7/14（幼穂形成期）、7/26（減数分裂期）、⑨成熟期調査日：9/6、⑩坪刈り日：9/15～16、⑪コンバイン収穫日：9/28

【試験2】ほ場間の生育のバラツキを改善するためのほ場管理手法

ア. 圃場条件 面積 1ha×2筆 グライ土 (H-2、H-3)

イ. 栽培等の概要

- ①品種名 めんこいな
②施肥 基肥一発型肥料（ゆとり L588）、1.0Nkg/a、側条施肥
③播種・育苗 播種量 250g/箱、無加温出芽
④移植 栽植密度 50 株/坪、植付本数 4 本/株
⑤病虫害・雑草防除 種子消毒：テクリードCフロアブル、育苗期：ビームゾル、移植時：スタウトパディート箱粒剤 他適宜実施
⑥収穫 マッピングコンバイン (H-3) による収穫

ウ. 調査項目 生育調査（草丈・茎数・SPAD 値）、生育時期別 NDVI 値・植被率（1m メッシュデータ）、収量調査（坪刈り・マッピングコンバイン）

エ. 撮影条件 飛行速度 4.3m/s、航路上オーバーラップ率 78%、航路間オーバーラップ率 37%、飛行高度 57.0m、撮影時間帯 8 時～9 時

オ. 試験スケジュール

- ①種子浸種：4/19～、②耕起：4/23、③催芽：4/23～24、④播種日：4/26、⑤代かき日：5/13～14、⑥移植：5/19～20、⑦撮影・生育調査：6/10、6/24、6/29、7/6（最高分げつ期）、7/14（幼穂形成期）、7/26（減数分裂期）、⑧成熟期調査日：9/7、⑨坪刈り日：9/17、⑩コンバイン収穫日：10/4（H-3）、10/7（H-2）

3. 試験結果

【試験1】

- (1) NDVI 値・植被率・NDVI 値×植被率の推移は、いずれも生育時期が進むにつれて増加していたが、NDVI 値は幼穂形成期以降の増加が緩やかとなり、生育ムラで生じた NDVI 値の幅が小さくなることから、NDVI 値が飽和する可能性が示唆された。また、植被率は最高分裂期以降で小さな増加にとどまった（図 1）。
- (2) 生育時期別 NDVI 値と草丈・茎数・SPAD 値の関係は、草丈・茎数が全体的に高い関係性を示したが、6/10 の草丈・茎数は試験区差が小さかったことから NDVI 値も差が生じなかった。また、草丈に対して 7/26（減数分裂期）の NDVI 値は小さく、茎数はズレることがわかった。SPAD 値は生育時期別では関係性が見られるものの、生育時期全体での関係性は見られなかった（図 2）。
- (3) 生育時期別の NDVI 値・植被率・NDVI 値×植被率と生育指数（草丈×茎数）の関係は、それぞれ高い関係性を示した。生育指数が増加すると NDVI 値は 0～0.8 の幅で増加したが、NDVI 値が 0.6 以上になると飽和する傾向であった。植被率は 0.3～0.55 の小さい幅で増加し、NDVI 値×植被率は 0～0.5 の幅で増加したが、NDVI 値と同様の傾向がみられた（図 3）。
- (4) 生育指数の幅が小さい 6/10 を除外した H-1 ほ場の NDVI 値と生育指数の関係を示したところ、線形 $y=59.247x$ （切片 0）（ $R^2=0.9641$ ）、指数 $y=6.9694e^{2.6197x}$ （ $R^2=0.8406$ ）の回帰式で表すことができ、高い相関を示した（図 4）。
- (5) 図 4 で示した回帰式を他ほ場（H-2、H-3）に適用したところ、H-2、H-3 ほ場の NDVI 値と回帰式から算出した生育指数の推定値と H-2、H-3 ほ場の生育指数の実測値の関係は、直線回帰および指数回帰それぞれで示すことができた（図 5）。

【試験2】

- (6) 7/6、7/14、7/26 の生育時期別の NDVI 値とコンバイン収量の関係は、生育時期が進むにつれて高い相関関係を示し、収量の推定が可能であることが示唆された（図 6）。

- (7) マッピングコンバインで得られたコンバイン収量と坪刈り収量を比較したところ、高い相関関係を示した (図 7)。
- (8) H-3 ほ場の NDVI 値マップ (7/14) とマッピングコンバインの収量マップを図 8 に示す。NDVI 値マップの生育ムラと収量マップの収量ムラは同じ傾向であった。収量は 70.2kg/a ~104.4kg/a、平均収量 84.7kg/a、標準偏差は 7.3kg/a であり、ほ場全体で高い収量レベルであった (図 8)。
- (9) H-1 ほ場の収量構成要素と坪刈り収量を表 2 に示す。施肥量を変えた試験区の生育差に応じた収量差を表しており、施肥量が多くなると精玄米重も多くなるが、登熟歩合が低下した。外観品質は何れの区も 1 等であった (表 2)。
- (10) H-2、H-3 ほ場の収量構成要素と坪刈り収量を表 3 に示す。両ほ場とも穂数と登熟歩合に差がみられたが、精玄米重は同じレベルであった (表 3)。

4. 主要成果の具体的データ

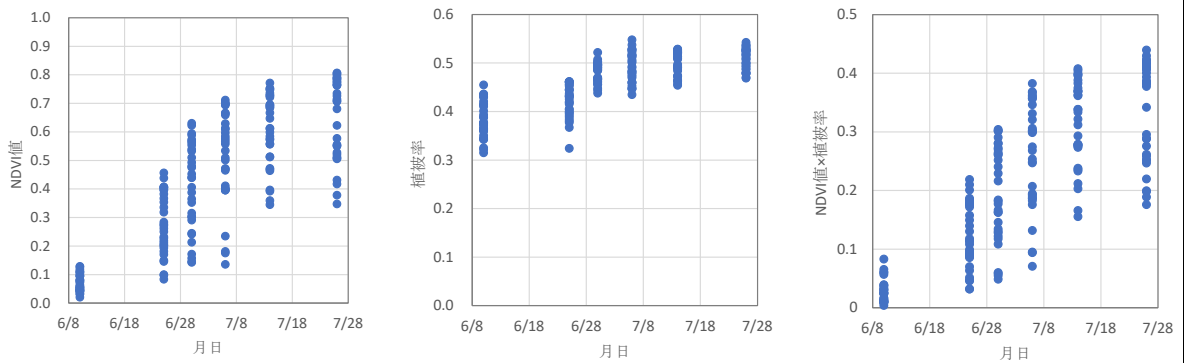


図 1 NDVI 値・植被率・NDVI 値×植被率の経時変化(H-1)
(左:NDVI 値、中央:植被率、右:NDVI×植被率)

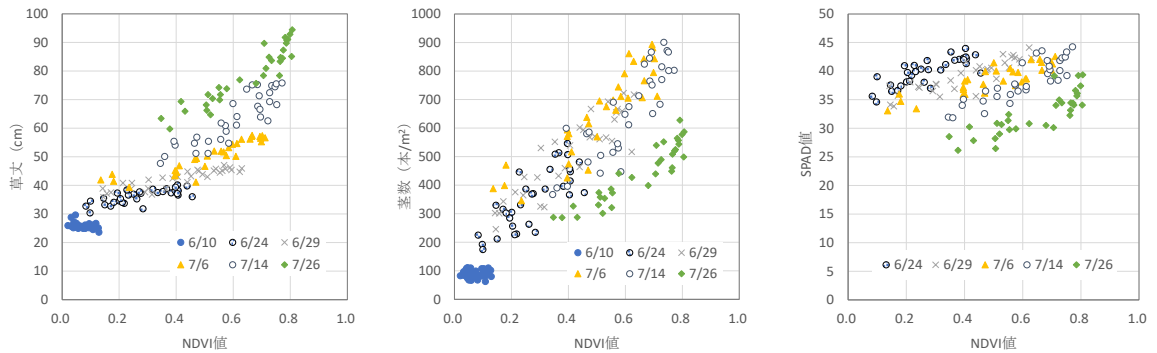


図 2 生育時期別 NDVI 値と草丈・茎数・SPAD 値の関係 (H-1)
(左:草丈、中央:茎数、右:SPAD 値)

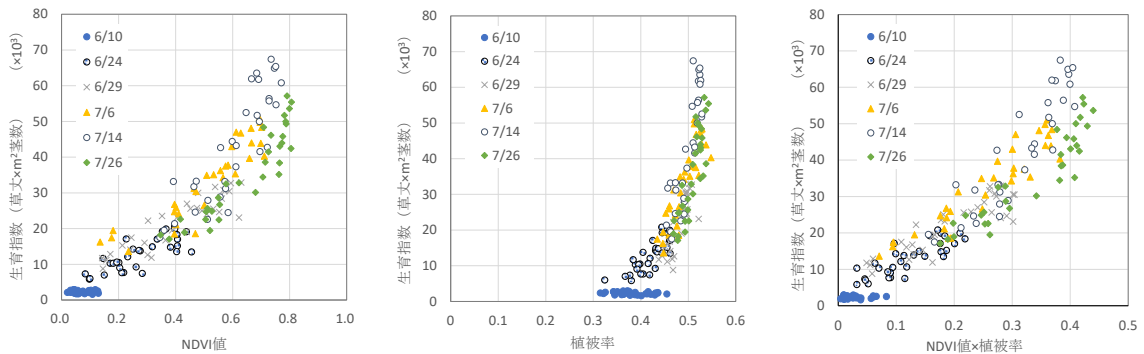


図 3 生育時期別 NDVI 値・植被率・NDVI 値×植被率と生育指数の関係 (H-1)
(左:NDVI 値、中央:植被率、右:NDVI 値×植被率)

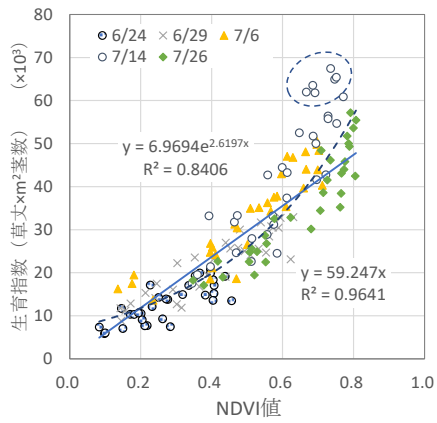


図4 NDVI値と生育指数の関係(H-1)
注1) 切片は0とした

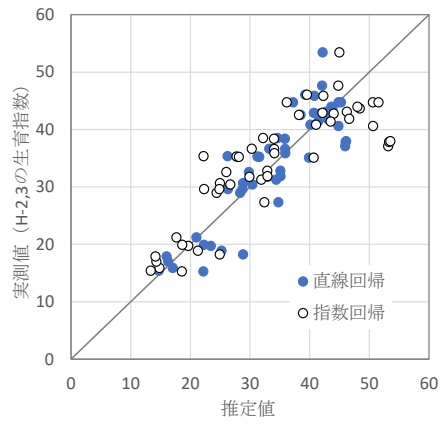


図5 NDVI値から推定した生育指数と実測値との関係
注1) 推定値は図4の回帰式とH-2,3のNDVI値から算出
注2) 実測値はH-2, H-3の生育指数を使用
注3) 6/24, 6/29, 7/6, 7/14, 7/26調査データ

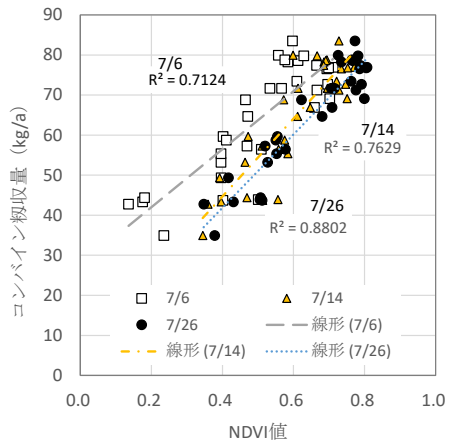


図6 生育時期別NDVI値とコンバイン収量の関係(H-1)
注1) コンバイン収量は水分補正なし

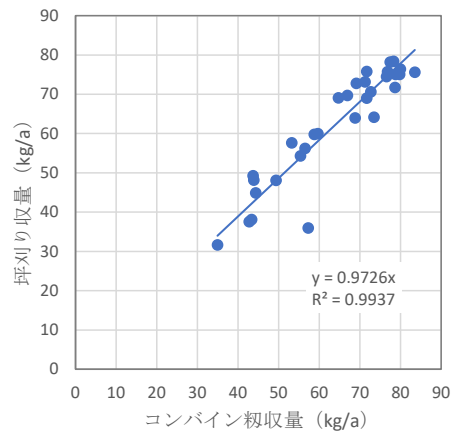


図7 コンバイン収量と刈り取り収量の関係(H-1)
注1) 切片は0とした
注2) 刈り取り収量は精玄米重で15%水分補正あり
注3) コンバイン収量は水分補正なし

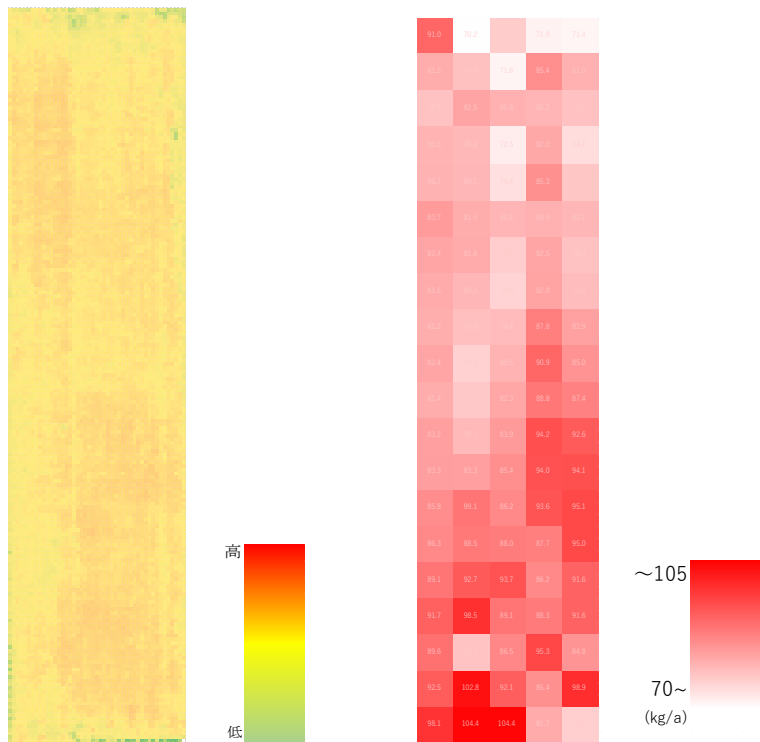


図8 NDVI値マップ(7/14撮影)(左)と収量マップ(H-3)(右)
注1) NDVI値マップ: CSV解析1mメッシュ、収量マップ: 10mメッシュ

表2 試験区毎の収量構成要素と坪刈り収量

試験区	稈長	穂長	穂数	一穂粒数	総粒数	登熟歩合	精玄米重	千粒重	玄米タンパク質	外観品質
ほ場H-1	cm	cm	本/m ²	粒/本	×10 ³ 粒/m ²	%	kg/a	g	%	(1-9)
N0-1	63.0	17.6	282.0	64.4	18.2	91.3	38.0	23.5	5.1	1.3
N0-2	68.9	17.7	333.5	73.0	24.3	90.4	50.4	23.6	5.3	1.5
N4	70.5	19.1	364.6	76.1	27.8	85.4	56.8	23.8	5.2	1.0
N6	83.8	19.3	488.0	78.0	38.1	79.4	73.4	24.1	5.8	1.3
N8-1	82.4	19.0	465.0	76.8	35.7	76.1	71.6	24.0	6.1	1.0
N8-2	74.0	17.3	395.8	69.5	27.6	87.4	62.3	23.7	5.3	1.0
N10	89.6	19.3	516.5	76.7	39.7	68.9	74.1	23.7	6.3	1.5
N12	90.2	19.4	553.1	78.9	43.7	68.3	74.8	23.7	6.2	2.3

注1) 玄米タンパク質 (%) は玄米窒素含有率に5.95を乗したものの。

注2) 外観品質は穀物検定協会東北支部調べ。カメムシ斑点米、胴割れ粒は除く。

表3 ほ場毎の収量構成要素と坪刈り収量

試験ほ場	稈長	穂長	穂数	一穂粒数	総粒数	登熟歩合	精玄米重	千粒重	玄米タンパク質	外観品質
	cm	cm	本/m ²	粒/本	×10 ³ 粒/m ²	%	kg/a	g	%	(1-9)
H-2	80.5	19.8	476	78.0	37.1	76.2	75.4	24.1	5.9	1.6
H-3	82.5	19.5	448	80.7	36.0	81.7	75.4	24.4	6.0	1.4

注1) 玄米タンパク質 (%) は玄米窒素含有率に5.95を乗したものの。

注2) 外観品質は穀物検定協会東北支部調べ。カメムシ斑点米、胴割れ粒は除く。

5. 経営評価

基肥可変施肥を行うことで、収量の底上げが期待できることから、次年度検討する。

6. 利用機械評価

- ・マルチスペクトラルカメラ付きドローンでの撮影時間は、4ha で7~8 分間であった。また、今年度の結果からドローンセンシングによる NDVI と水稻生育には高い相関があった。
- ・マッピングコンバインの粒収量は、NDVI 値および坪刈り収量とそれぞれ高い相関関係を示したことから、収量ムラの把握や次年度の基肥量の検討に有用であると考えられた。

7. 成果の普及

次年度の成果も含めドローンセンシングを活用した事例としてデータを蓄積し、関係機関への研修会等で情報提供を行う。

8. 考察

- ・密播苗疎植栽培における“めんこいな”の NDVI 値と生育指数（草丈×茎数）の関係は、高い相関を示し、リモートセンシングデータを活用した生育指標の可能性が示唆された。
- ・NDVI 値とマッピングコンバインの粒収量は生育時期が進むにつれて高い相関を示したことから、NDVI 値は生育指標と合わせて追肥の判断に有効であると考えられた。
- ・収量マップデータよりほ場ムラが明らかになったことから、次年度は収量の低い箇所に増肥する基肥可変施肥を行うことで収量の底上げが可能と考えられた。

9. 問題点と次年度の計画

- ・リモートセンシングデータを活用するためには、複数年度のデータを蓄積し、精度を高める必要がある。
- ・生育時期が進むと NDVI 値が飽和する傾向がみられたことから、活用するリモートセンシングデータの時期を検討する必要がある。
- ・次年度も今年度と同様に、施肥レベルを変え、生育差をつけたほ場を設定し、“めんこいな”の密播苗疎植栽培における NDVI と生育の関係を明らかにする。
- ・ほ場ムラに対応するため基肥可変施肥を検討し、収量の高位安定化を図る。

10. 参考写真



写真1 移植直後のほ場



写真2 収穫の様子



写真3 収穫時の籾搬出の様子

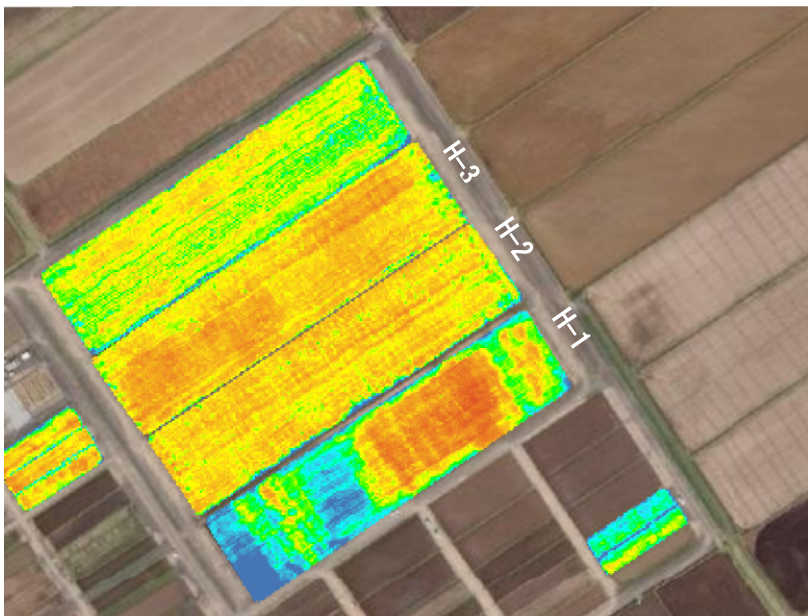


写真4 幼穂形成期のドローンセンシングによるNDVI画像