

委託試験成績（令和4年度）

担当機関名 部・室名	岩手県農業研究センター 生産環境研究部 土壌肥料研究室																																																															
実施期間	令和3年度～令和4年度、継続																																																															
大課題名	IV 環境保全を配慮した生産技術の評価・確立																																																															
課題名	岩手県の水稲栽培におけるリモートセンシング結果を用いた生育診断技術の確立																																																															
目的	<p>マルチスペクトルカメラ搭載ドローンによる水稲生育診断技術を活用し、生育に応じた適切な施肥管理を行うことにより、環境に配慮しつつ高品質な良食味米を安定的に生産できると期待される。</p> <p>そこで、今後面積拡大が見込まれる岩手県オリジナル良食味品種「銀河のしずく」について、マルチスペクトルカメラ搭載ドローンによる生育診断技術の確立を目指す。</p>																																																															
担当者名	桐山直盛、横田紀雄																																																															
<p>1. 試験場所 岩手県農業研究センター圃場</p> <p>2. 試験方法</p> <p>窒素施肥量を変えたグラデーション圃場を設置し、6月下旬～幼穂形成期の生育診断指標と画像解析値（NDVI 値、植被率、NDVI 値×植被率）の関係を確認する。また、画像解析に日数を要することから幼穂形成期前にドローン撮影を行い、幼穂形成期の生育量推定が可能か検討する。令和4年度は複数年（令和3、4年度）のデータを用いた検討を行う。</p> <p>(1) 供試機械名 マルチスペクトルカメラ搭載ドローン（P4M）</p> <p>(2) 試験条件</p> <p>ア 圃場条件 圃場1：細粒質腐植質停滞水グライ土水田 6.6a 圃場2：腐植質普通非アロフェン質黒ボク土水田 8.8a</p> <p>イ 栽培等の概要</p> <p>品種名 「銀河のしずく」</p> <p>移植日 圃場1 5/16 圃場2 5/23</p> <p>栽植密度 圃場1 21.3株/m² 圃場2 22.2株/m²</p> <p>ウ 試験区の構成と施肥</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">No.</th> <th rowspan="2">試験区名</th> <th colspan="3">基肥施肥量(kg/10a 成分)</th> </tr> <tr> <th>窒素</th> <th>リン酸</th> <th>カリ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>基肥N0</td> <td>0</td> <td>7</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>基肥N2</td> <td>2</td> <td>7</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>基肥N4</td> <td>4</td> <td>7</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>基肥N6</td> <td>6</td> <td>7</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>基肥N8</td> <td>8</td> <td>7</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>基肥N10</td> <td>10</td> <td>7</td> <td>10</td> </tr> </tbody> </table> <p>※1 施肥法：全層施肥 ※2 基肥N0区は圃場1のみ設置</p> <p>エ 試験規模 圃場1 1区 48 m² 2反復 圃場2 1区 72 m² 2反復</p> <p>オ 生育調査株数 1区 20株</p> <p>カ ドローン撮影日</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>回数</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> <th>8</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>撮影日</td> <td>6/20</td> <td>6/23</td> <td>6/25</td> <td>6/27</td> <td>7/1</td> <td>7/4</td> <td>7/6</td> <td>7/11</td> </tr> </tbody> </table> <p>キ 撮影条件 飛行高度：57m 速度：4.2m/s 太陽高度が30～65度の時間帯に撮影</p> <p>ク 幼穂形成期 圃場1 7/11 圃場2 7/15</p>									No.	試験区名	基肥施肥量(kg/10a 成分)			窒素	リン酸	カリ	1	基肥N0	0	7	10	2	基肥N2	2	7	10	3	基肥N4	4	7	10	4	基肥N6	6	7	10	5	基肥N8	8	7	10	6	基肥N10	10	7	10	回数	1	2	3	4	5	6	7	8	撮影日	6/20	6/23	6/25	6/27	7/1	7/4	7/6	7/11
No.	試験区名	基肥施肥量(kg/10a 成分)																																																														
		窒素	リン酸	カリ																																																												
1	基肥N0	0	7	10																																																												
2	基肥N2	2	7	10																																																												
3	基肥N4	4	7	10																																																												
4	基肥N6	6	7	10																																																												
5	基肥N8	8	7	10																																																												
6	基肥N10	10	7	10																																																												
回数	1	2	3	4	5	6	7	8																																																								
撮影日	6/20	6/23	6/25	6/27	7/1	7/4	7/6	7/11																																																								

3. 試験結果

(1) 水稻（銀河のしずく）の生育

6月23日及び幼穂形成期における水稻（銀河のしずく）の生育は、基肥窒素施用量が多いほど旺盛で、葉色は濃く、簡易栄養診断値〔草丈×莖数×葉色(SPAD)〕（以下「簡易栄養診断値」）は高い傾向であった（表1、表2）。

(2) 6月下旬～幼穂形成期のドローン撮影による画像解析値と水稻（銀河のしずく）生育指標の関係

6月下旬～幼穂形成期の撮影で得られたNDVI値、植被率、NDVI値×植被率と草丈、莖数、簡易栄養診断値、乾物重、窒素吸収量には、正の相関関係がみられ、その相関係数は高かった（表3）。

(3) 幼穂形成期のドローン撮影によるNDVI値及びNDVI値×植被率と水稻（銀河のしずく）幼穂形成期の簡易栄養診断値の関係

幼穂形成期の撮影で得られたNDVI値（ x ）と幼穂形成期の簡易栄養診断値の対数変換値（ y ）の関係から、0.1%水準で有意な回帰式 $y = 1.02x + 0.536$ が得られ、その決定係数は0.885と高かった（図1）。

同様に、幼穂形成期の撮影で得られたNDVI値×植被率（ x ）と幼穂形成期の簡易栄養診断値の対数変換値（ y ）の関係から、0.1%水準で有意な回帰式 $y = 1.83x + 0.576$ が得られ、その決定係数は0.887と高かった（図2）。

(4) 幼穂形成期5～20日前のドローン撮影による画像解析値と幼穂形成期的水稻（銀河のしずく）生育指標の関係

幼穂形成期5～15日前の撮影で得られたNDVI値、NDVI値×植被率と幼穂形成期の簡易栄養診断値、乾物重、窒素吸収量には、正の相関関係がみられ、その相関係数は高かった（表4）。

一方、幼穂形成期20日前の撮影で得られたNDVI値、NDVI値×植被率と幼穂形成期の簡易栄養診断値、乾物重、窒素吸収量には正の相関関係がみられたが、その相関係数は幼穂形成期5～20日前に比べ低下した（表4）。

また、幼穂形成期5～20日前の撮影で得られた植被率と幼穂形成期の簡易栄養診断値、乾物重、窒素吸収量には、正の相関関係がみられたが、その相関係数はNDVI値、NDVI値×植被率に比べ低かった（表4）。

(5) 幼穂形成期5～20日前のドローン撮影によるNDVI値と水稻（銀河のしずく）幼穂形成期の簡易栄養診断値の関係

幼穂形成期5～15日前の撮影で得られたNDVI値（ x ）と幼穂形成期の簡易栄養診断値の対数変換値（ y ）の関係から、0.1%水準で有意な回帰式が得られ、その決定係数は0.709～0.826と高かった（図3～5）。

一方、幼穂形成期20日前の撮影によって得られたNDVI値（ x ）と幼穂形成期の簡易栄養診断値の対数変換値（ y ）の関係から、0.1%水準で有意な回帰式が得られたが、その決定係数は0.365と低かった（図6）

4. 主要成果の具体的なデータ

表1 6月23日における生育調査結果 (R4)

試験区	圃場1 停滞水グライ土水田					圃場2 非アロフェン質黒ボク土水田				
	草丈 (cm)	茎数 (本/㎡)	葉色 (SPAD)	簡易栄養診断値 (草丈×茎数×葉色)	窒素吸収量 (g/㎡)	草丈 (cm)	茎数 (本/㎡)	葉色 (SPAD)	簡易栄養診断値 (草丈×茎数×葉色)	
基肥N0	1A	37.8	151	35.2	0.20 × 10 ⁶					
	1B	39.6	215	33.7	0.29 × 10 ⁶					
	平均	38.7	183	34.5	0.24 × 10 ⁶					
基肥N2	2A	37.0	252	35.9	0.33 × 10 ⁶	1.15	31.9	209	32.3	0.21 × 10 ⁶
	2B	38.0	338	35.3	0.45 × 10 ⁶	1.12	30.3	147	31.9	0.14 × 10 ⁶
	平均	37.5	295	35.6	0.39 × 10 ⁶	1.14	31.1	178	32.1	0.18 × 10 ⁶
基肥N4	3A	35.1	295	35.3	0.37 × 10 ⁶	1.65	31.9	255	36.0	0.29 × 10 ⁶
	3B	36.1	376	36.2	0.49 × 10 ⁶	1.37	31.1	192	33.3	0.20 × 10 ⁶
	平均	35.6	335	35.7	0.43 × 10 ⁶	1.51	31.5	224	34.7	0.25 × 10 ⁶
基肥N6	4A	33.8	402	38.3	0.52 × 10 ⁶	2.21	33.5	245	36.7	0.30 × 10 ⁶
	4B	36.9	422	38.4	0.60 × 10 ⁶	1.44	32.9	190	35.4	0.22 × 10 ⁶
	平均	35.3	412	38.4	0.56 × 10 ⁶	1.82	33.2	218	36.1	0.26 × 10 ⁶
基肥N8	5A	35.6	464	39.2	0.65 × 10 ⁶	2.33	36.7	319	36.4	0.43 × 10 ⁶
	5B	35.9	461	39.9	0.66 × 10 ⁶	1.50	32.9	240	36.9	0.29 × 10 ⁶
	平均	35.7	462	39.6	0.65 × 10 ⁶	1.92	34.8	279	36.6	0.36 × 10 ⁶
基肥N10	6A	39.7	436	41.6	0.72 × 10 ⁶	2.94	37.7	278	36.8	0.39 × 10 ⁶
	6B	37.7	462	38.9	0.68 × 10 ⁶	1.92	33.9	188	37.5	0.24 × 10 ⁶
	平均	38.7	449	40.3	0.70 × 10 ⁶	2.43	35.8	233	37.1	0.31 × 10 ⁶

表2 幼穂形成期における生育調査結果 (R4)

試験区	圃場1 停滞水グライ土水田					圃場2 非アロフェン質黒ボク土水田				
	草丈 (cm)	茎数 (本/㎡)	葉色 (SPAD)	簡易栄養診断値 (草丈×茎数×葉色)	窒素吸収量 (g/㎡)	草丈 (cm)	茎数 (本/㎡)	葉色 (SPAD)	簡易栄養診断値 (草丈×茎数×葉色)	
基肥N0	1A	67.7	234	36.6	0.58 × 10 ⁶	2.56				
	1B	68.5	320	36.2	0.79 × 10 ⁶	2.69				
	平均	68.1	277	36.4	0.69 × 10 ⁶	2.62				
基肥N2	2A	70.5	302	37.7	0.80 × 10 ⁶	3.69	66.7	374	31.5	0.79 × 10 ⁶
	2B	71.7	396	34.9	0.99 × 10 ⁶	3.41	63.4	404	31.5	0.81 × 10 ⁶
	平均	71.1	349	36.3	0.90 × 10 ⁶	3.55	65.0	389	31.5	0.80 × 10 ⁶
基肥N4	3A	71.1	340	38.7	0.94 × 10 ⁶	4.11	70.6	428	30.9	0.93 × 10 ⁶
	3B	75.0	434	38.0	1.24 × 10 ⁶	4.63	65.9	446	31.1	0.91 × 10 ⁶
	平均	73.0	387	38.3	1.09 × 10 ⁶	4.37	68.2	437	31.0	0.92 × 10 ⁶
基肥N6	4A	71.1	422	38.7	1.16 × 10 ⁶	5.18	71.8	441	32.1	1.02 × 10 ⁶
	4B	75.2	465	39.0	1.36 × 10 ⁶	4.65	69.9	382	31.6	0.84 × 10 ⁶
	平均	73.1	444	38.9	1.26 × 10 ⁶	4.91	70.8	411	31.9	0.93 × 10 ⁶
基肥N8	5A	74.2	493	40.1	1.46 × 10 ⁶	5.03	78.2	511	33.2	1.32 × 10 ⁶
	5B	76.0	512	40.6	1.58 × 10 ⁶	5.80	72.3	477	32.2	1.11 × 10 ⁶
	平均	75.1	502	40.3	1.52 × 10 ⁶	5.41	75.2	494	32.7	1.22 × 10 ⁶
基肥N10	6A	79.7	480	39.8	1.52 × 10 ⁶	7.05	78.4	448	32.7	1.15 × 10 ⁶
	6B	81.8	538	39.4	1.73 × 10 ⁶	5.63	72.5	412	32.7	0.98 × 10 ⁶
	平均	80.8	509	39.6	1.63 × 10 ⁶	6.34	75.4	430	32.7	1.06 × 10 ⁶

表3 6月下旬～幼穂形成期の撮影による画像解析値と水稻（銀河のしずく）生育指標の相関係数 (R3, R4)

	草丈	茎数	簡易栄養診断値	乾物重	窒素吸収量
NDVI値	0.750 ***	0.742 ***	0.908 ***	0.875 ***	0.881 ***
植被率	0.884 ***	0.558 ***	0.831 ***	0.871 ***	0.833 ***
NDVI値×植被率	0.781 ***	0.720 ***	0.917 ***	0.893 ***	0.882 ***

注) ***は0.1%水準で有意、n=85 (乾物重、窒素吸収量は n=61)

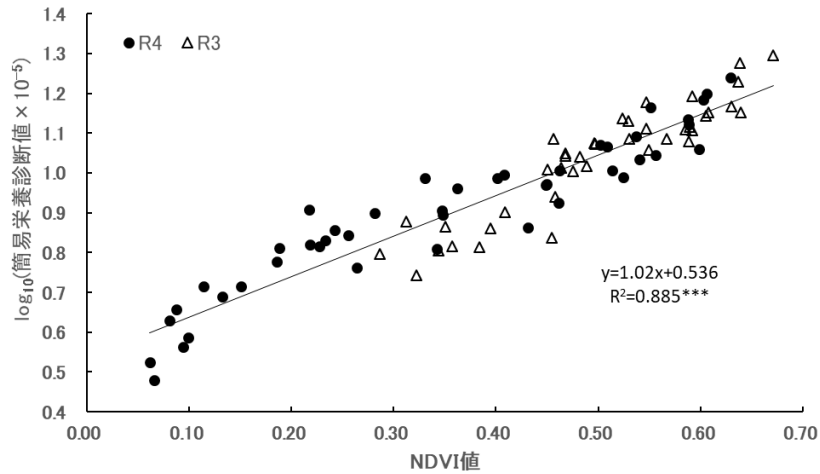


図1 6月下旬～幼穂形成期の撮影によるNDVI値と簡易栄養診断値の対数変換値の関係
注) ***は0.1%水準で有意、n=85

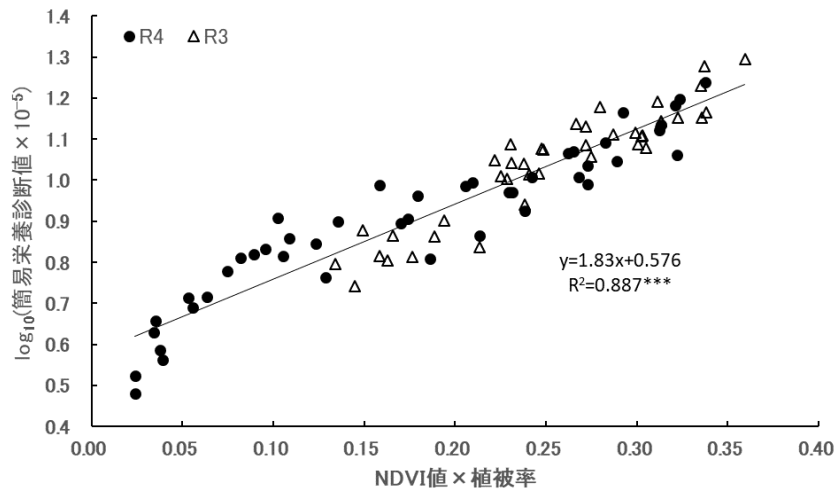


図2 6月下旬～幼穂形成期の撮影によるNDVI値×植被率と簡易栄養診断値の対数変換値との関係
注) ***は0.1%水準で有意、n=85

表4 幼穂形成期5～20日前の撮影による画像解析値と生育診断指標の相関係数(R3, R4)

撮影日		簡易栄養診断値	乾物重	窒素吸収量
幼穂形成期5日前	NDVI値	0.832 ***	0.910 ***	0.748 ***
	植被率	0.646 ***	0.812 ***	0.552 **
	NDVI値×植被率	0.827 ***	0.908 ***	0.735 ***
幼穂形成期10日前	NDVI値	0.799 ***	0.904 ***	0.841 ***
	植被率	0.593 ***	0.858 ***	0.771 ***
	NDVI値×植被率	0.782 ***	0.901 ***	0.835 ***
幼穂形成期15日前	NDVI値	0.899 ***	0.891 ***	0.733 ***
	植被率	0.645 ***	0.709 ***	0.590 **
	NDVI値×植被率	0.888 ***	0.896 ***	0.737 ***
幼穂形成期20日前	NDVI値	0.628 ***	0.777 ***	0.554 **
	植被率	0.705 ***	0.810 ***	0.702 ***
	NDVI値×植被率	0.652 ***	0.783 ***	0.573 **

注) ***は0.1%、**は1%水準で有意、n=42 (乾物重、窒素吸収量は n=26)

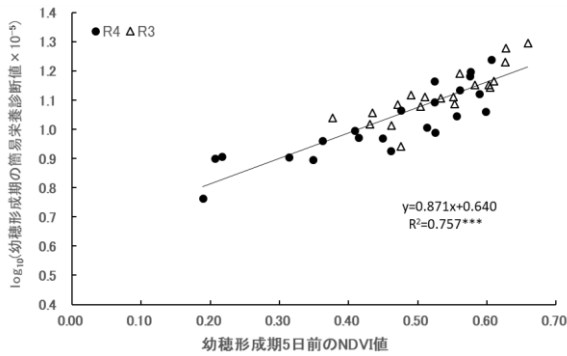


図3 幼穂形成期5日前の撮影によるNDVI値と簡易栄養診断値の対数変換値の関係
注) ***は0.1%水準で有意、n=42

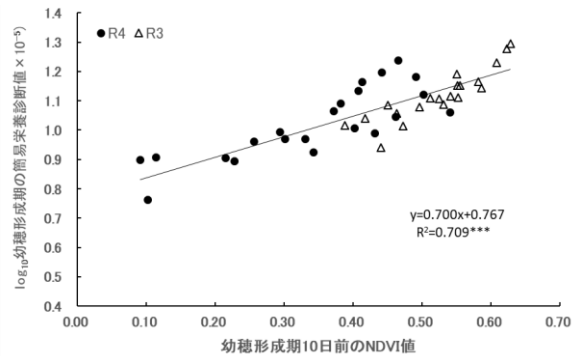


図4 幼穂形成期10日前の撮影によるNDVI値と簡易栄養診断値の対数変換値の関係
注) ***は0.1%水準で有意、n=42

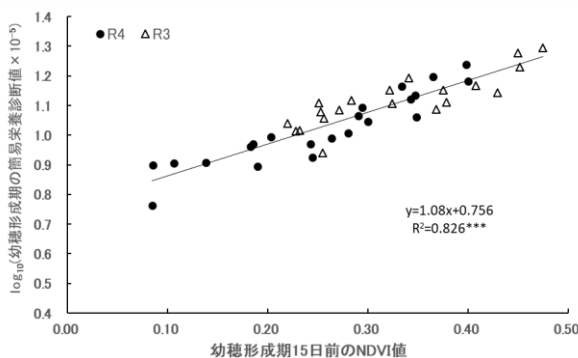


図5 幼穂形成期15日前の撮影によるNDVI値と簡易栄養診断値の対数変換値の関係
注) ***は0.1%水準で有意、n=42

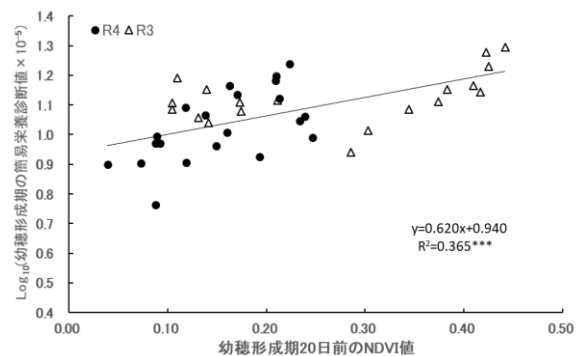


図6 幼穂形成期20日前の撮影によるNDVI値と簡易栄養診断値の対数変換値の関係
注) ***は0.1%水準で有意、n=42

5. 経営評価

水田内での調査や、窒素吸収量を把握するための分析等が不要となり、生育・栄養診断の省力化が期待できる。また、多数の圃場での診断が可能となり、適切な施肥管理を行うことで、環境に配慮しつつ、高品質な良食味米を安定的に生産できることが見込まれる。

6. 利用機械評価

使用したドローンは短時間での自動撮影が可能であり、生育・栄養診断の省力化が期待できる。

7. 成果の普及

得られた成果については、農業普及指導員等に情報提供する。

8. 考察

(1) 6月下旬～幼穂形成期のドローン撮影による水稻（銀河のしずく）生育診断指標の推定

6月下旬～幼穂形成期の撮影で得られたNDVI値、植被率、NDVI値×植被率から、草丈、茎数、簡易栄養診断値、乾物重、窒素吸収量の推定が可能であると考えられた。

(2) 幼穂形成期のドローン撮影による水稻（銀河のしずく）の栄養診断

幼穂形成期の撮影で得られたNDVI値及びNDVI値×植被率から、幼穂形成期の簡易栄養診断値の推定が可能であり、県の栄養診断基準(参考1)にあてはめることで、栄養診断が可能であると考えられた。

(3) 幼穂形成期 5～20 日前のドローン撮影による幼穂形成期の水稻（銀河のしずく）生育診断指標の推定

幼穂形成期 5～15 日前の撮影で得られた NDVI 値、NDVI 値×植被率から、幼穂形成期の簡易栄養診断値、乾物重、窒素吸収量の推定が可能であることが示唆された。

一方、幼穂形成期 20 日前の撮影によって得られた NDVI 値、NDVI 値×植被率から幼穂形成期の生育診断指標を推定するのは、精度が低く難しいと考えられた。

(4) 幼穂形成期 5～20 日前のドローン撮影による水稻（銀河のしずく）の栄養診断

幼穂形成期 5～15 日前の撮影で得られた NDVI 値から、幼穂形成期の簡易栄養診断値の推定が可能であり、県の栄養診断基準(参考 1)にあてはめることで、栄養診断が可能であることが示唆された。

一方、幼穂形成期 20 日前の撮影によって得られた NDVI 値から幼穂形成期の簡易栄養診断値を推定するのは、精度が低く栄養診断は難しいと考えられた。

参考 1 幼穂形成期の栄養診断結果への対応策(銀河のしずく)

診断区分		診断内容	穂肥の要否判定
簡易栄養診断値 (草丈×莖数×SPAD)	簡易栄養診断値の 対数変換値		
0.8～1.2×10 ⁶ 未満	0.9～1.08 未満	十分な生育量	幼穂形成期に窒素成分 2kg/10a 程度の追肥
1.2～1.4×10 ⁶ 未満	1.08～1.15 未満	生育量やや過剰	幼穂形成期に減肥を検討
1.4×10 ⁶ 以上	1.15 以上	生育量過剰、籾数過剰による品質低下の恐れ	無追肥

9. 問題点と次年度の計画

ドローン撮影による栄養診断結果を追肥の要否判断に利用するためには、撮影から解析までの期間を短縮する必要がある。

10. 参考写真



写真 試験圃場におけるドローン撮影の様子