

令和3年3月18日
第3回有識者会議

ドローンによるリモートセンシング技術 を活用した新しい営農指導の確立

全国農業協同組合連合会 兵庫県本部
営農企画部 営農振興課



1. 目的

(1) 精度が高く且つ省力的な生育診断(圃場の「見える化」)の実施。

(2) より正確な営農指導(施肥指導)による、水稻の収量アップ・品質向上を目指す。



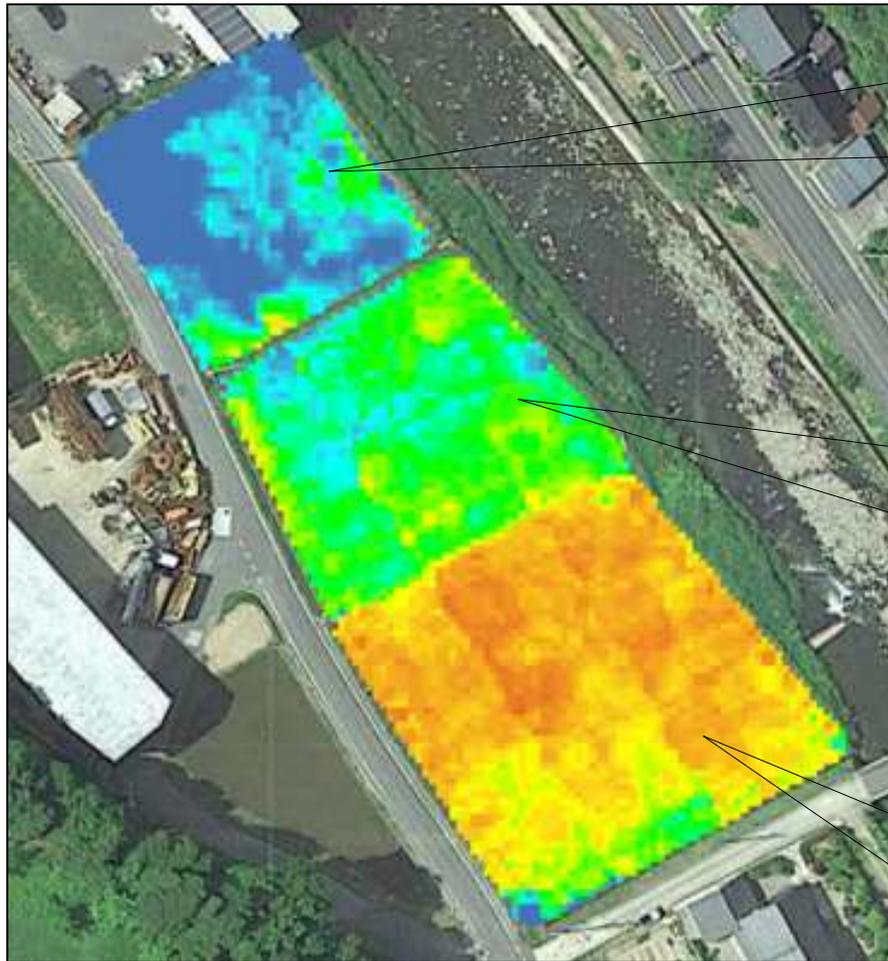
2. 実施内容①(スケジュール)

- ・7/7 センシング撮影(穂肥前)
- ・7/14 センシング結果を踏まえた穂肥検討会
- ・7/14 穂肥施肥
- ・7/30 センシング撮影(穂肥後)
- ・8/4 実演会の開催
- ・9/3 坪刈り、土壌採取
- ・10/20 収量調査
- ・11~2月 分析結果の解析
- ・2月 分析結果の共有

3. 実施内容②(計測項目)

- (1) NDVI値、植被率、NDVI値 × 植被率
【ドローンリモートセンシングによる計測】
- (2) SPAD値【現場での実測】
- (3) 収量【坪刈り調査による算出】
- (4) 土壌分析値
(ケイ酸、アンモニア態窒素、腐植、地力窒素等)
【坪刈り地点を土壌採取し分析】
- (5) 倒伏状況【目視による確認】

センシングマップ(左)と可視画像(右)の比較



- ・撮影日：2020/7/12撮影 FE田んぼ
- ・高度：57m
- ・NDVIマップ



①



②



③

4. 収量調査結果①

No.	品種	全重g (a)	籾重g (b)	藁重g (c=a-b)	籾/藁 比 (b/c)	粗玄米 重g (d)	精玄米重g		精玄米 率%	千粒重g		水分%	反収 kg/10a	水分補 正 反収 kg/10a	NDVI値	
							>1.85mm	1.85mm <		平均	水分補正				平均	7/7
1	コシヒカリ	4,420	2,325	2,095	1.11	1,900	1,725	175.0	90.8%	20.2	20.1	14.6	517.5	517.1	0.62	0.77
2	コシヒカリ	4,335	2,280	2,055	1.11	1,865	1,775	90.0	95.2%	21.4	21.5	14.2	532.5	534.4	0.55	0.72
3	コシヒカリ	4,380	2,305	2,075	1.11	1,895	1,830	65.0	96.6%	21.1	21.2	14.0	549.0	552.4	0.57	0.73
4①	コシヒカリ	3,385	1,765	1,620	1.09	1,450	1,415	35.0	97.6%	21.2	21.2	14.2	424.5	426.2	0.55	0.70
4②	コシヒカリ	3,095	1,665	1,430	1.16	1,375	1,350	25.0	98.2%	21.3	21.3	14.3	405.0	405.8	0.50	0.68
5	コシヒカリ	4,045	2,225	1,820	1.22	1,820	1,740	80.0	95.6%	21.8	21.9	14.2	522.0	523.8	0.52	0.73
6	コシヒカリ	3,960	2,000	1,960	1.02	1,610	1,560	50.0	96.9%	21.2	21.1	14.7	468.0	466.9	0.51	0.67
7	コシヒカリ	3,970	2,140	1,830	1.17	1,755	1,715	40.0	97.7%	21.4	21.5	14.2	514.5	516.1	0.53	0.74
8	コシヒカリ	4,015	2,115	1,900	1.11	1,735	1,685	50.0	97.1%	21.4	21.5	13.9	505.5	508.9	0.54	0.71
8	コシヒカリ	3,990	2,065	1,925	1.07	1,690	1,610	80.0	95.3%	21.3	21.4	14.2	483.0	484.7	0.53	0.69
10	コシヒカリ	3,930	2,205	1,725	1.28	1,820	1,695	125.0	93.1%	21.6	21.6	14.3	508.5	509.7	0.56	0.77
11	コシヒカリ	3,430	1,730	1,700	1.02	1,420	1,390	30.0	97.9%	22.3	22.4	13.8	417.0	420.6	0.47	0.64
12	コシヒカリ	3,970	2,200	1,770	1.24	1,805	1,755	50.0	97.2%	21.2	21.3	13.9	526.5	530.4	0.57	0.72
13	コシヒカリ	4,030	2,245	1,785	1.26	1,845	1,775	70.0	96.2%	21.3	21.4	14.0	532.5	535.6	0.55	0.71
14	コシヒカリ	3,950	2,130	1,820	1.17	1,750	1,705	45.0	97.4%	21.2	21.3	14.0	511.5	514.3	0.57	0.69
15	コシヒカリ	4,100	2,195	1,905	1.15	1,810	1,760	50.0	97.2%	21.7	21.7	14.2	528.0	529.9	0.58	0.76
16①	コシヒカリ	3,430	1,745	1,685	1.04	1,440	1,420	20.0	98.6%	21.1	21.3	13.7	426.0	429.8	0.37	0.58
16②	コシヒカリ	4,345	2,345	2,000	1.17	1,940	1,895	45.0	97.7%	21.8	22.0	13.6	568.5	574.7	0.50	0.74
17	コシヒカリ	3,745	2,030	1,715	1.18	1,675	1,650	25.0	98.5%	21.8	22.0	13.4	495.0	501.2	0.58	0.70
18①	コシヒカリ	4,315	2,300	2,015	1.14	1,870	1,760	110.0	94.1%	21.9	22.0	13.8	528.0	532.5	0.53	0.75
18②	コシヒカリ	3,685	1,935	1,750	1.11	1,590	1,535	55.0	96.5%	22.6	22.8	13.6	460.5	465.5	0.35	0.66
18③	コシヒカリ	3,165	1,585	1,580	1.00	1,295	1,260	35.0	97.3%	23.0	23.2	13.9	378.0	380.8	0.21	0.62

各坪刈り地点の収量は上記のとおり。穂肥を実施したNo.18の圃場の内、地図上でNDVI値が①高い、②低い、③中間の地点を選択し坪刈りを行った。結果としてはNDVI値が高かった①地点が3地点の内、一番収量が多い結果となった。また倒伏は実証圃場全般で5段階で平均3程度の倒伏が見られた。穂肥を施肥したNo.18の圃場の倒伏程度は①(NDVI値が高い地点)が3~4程度、②(低い地点)と③(平均地点)は2程度であった。 6

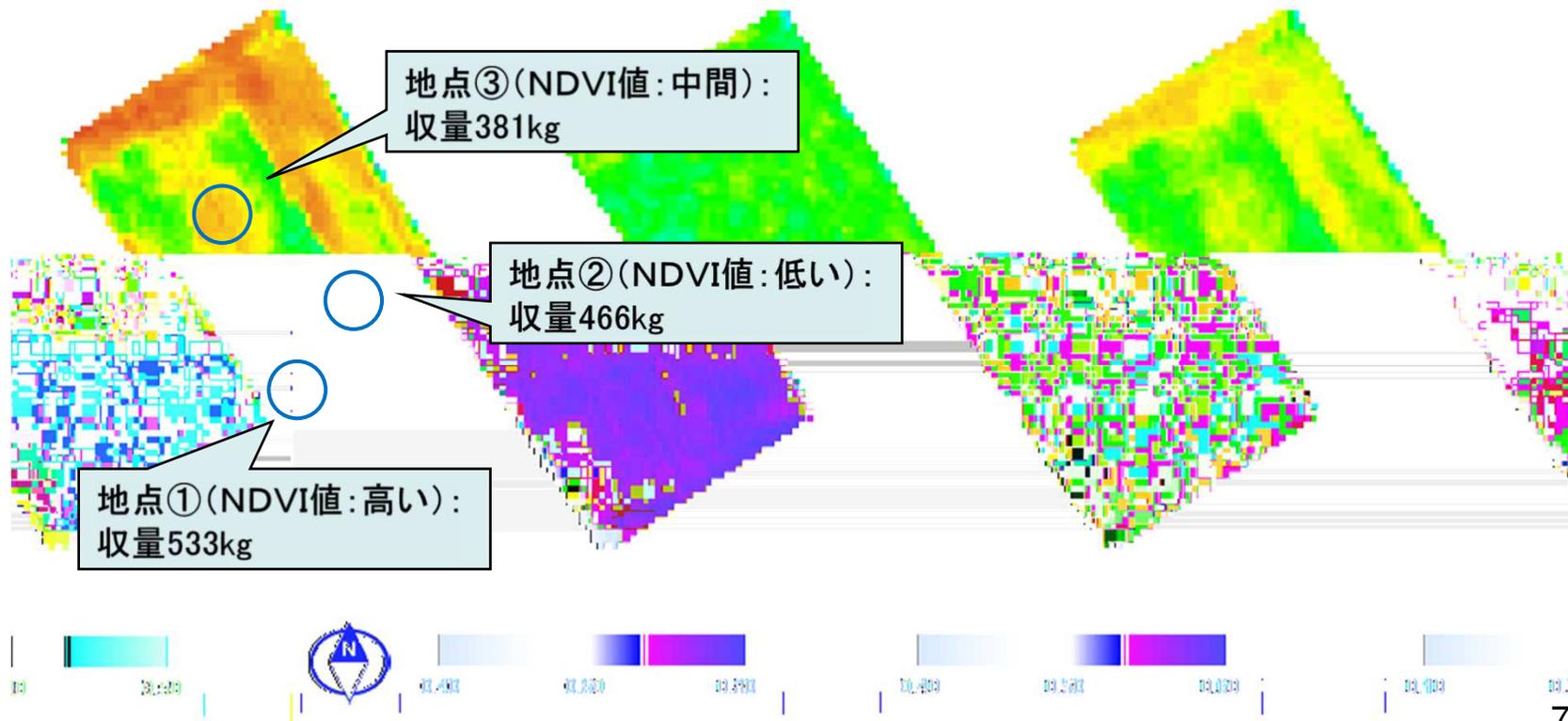
4. 収量調査結果②(補足: No.18圃場の坪刈地点)

センシング結果 (詳細マップ)

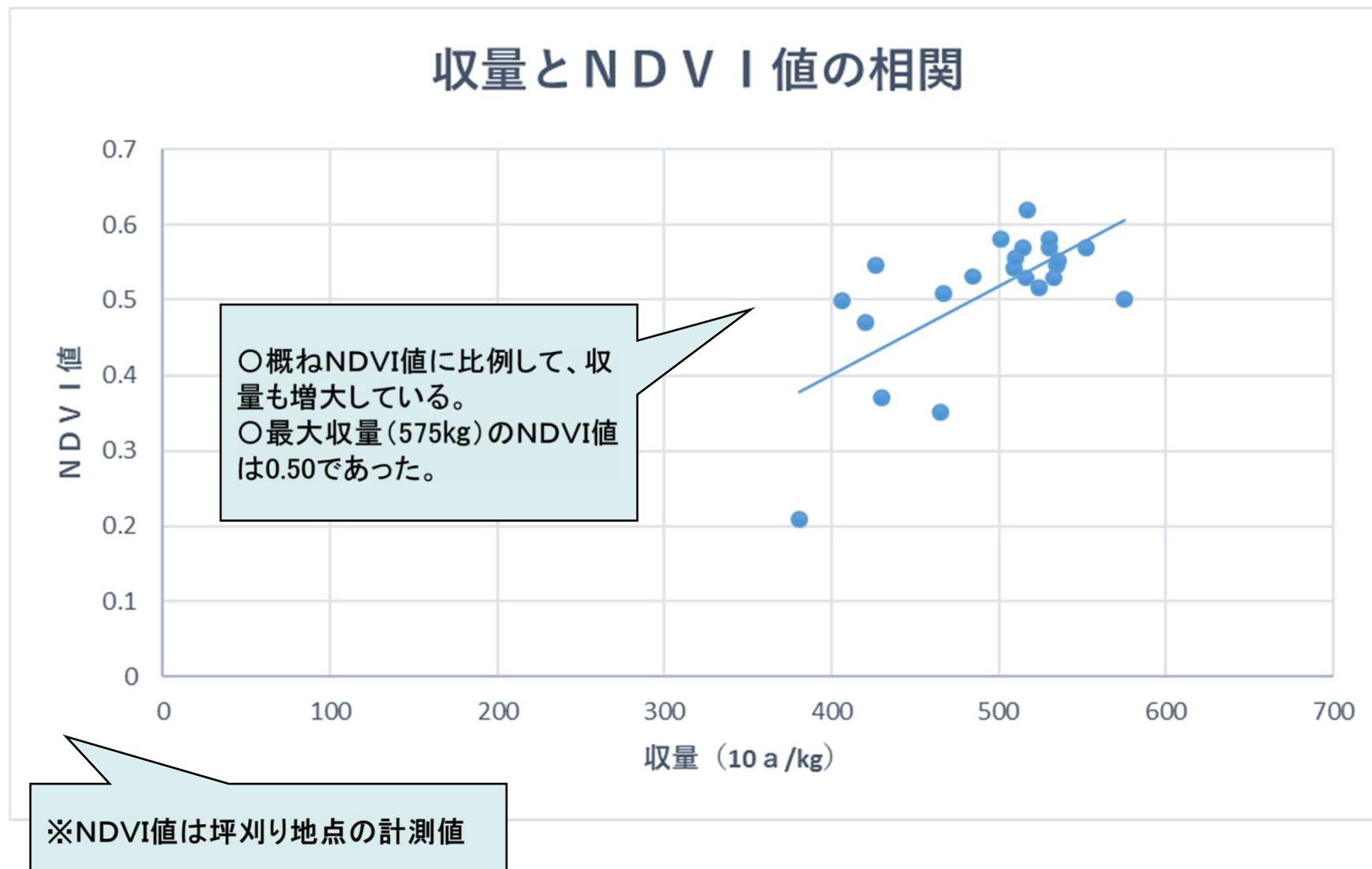
FarmEye

■No.18 兵庫県丹波市市島町下竹田高町 8 3 2、3 3 田植日: 撮影日: 20/07/30

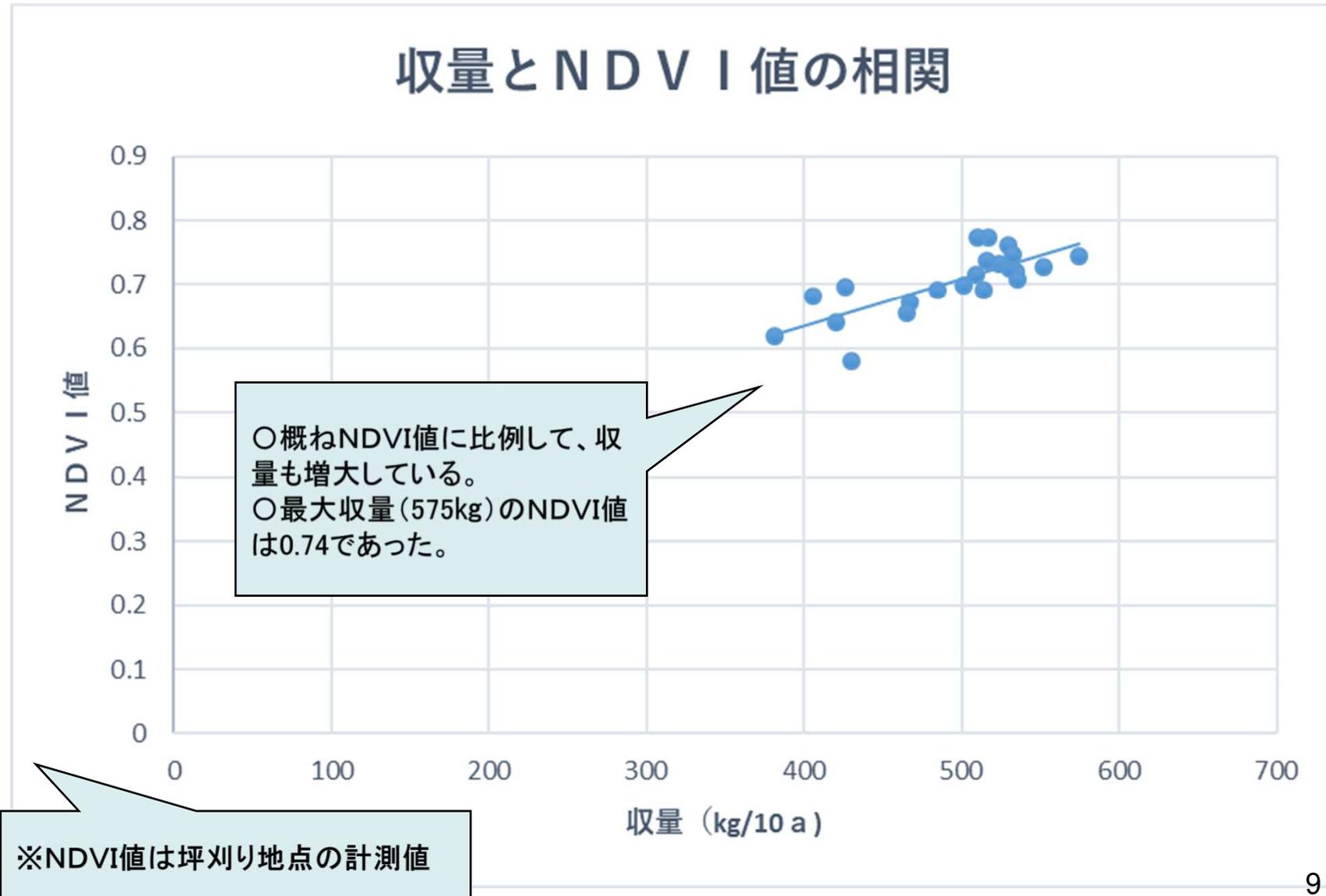
品種	面積 (a)	特栽/慣行/有機	栽植密度 (株/3.3m)	直播/移植	肥培管理
コシヒカリ	29.4	慣行	株	移植	一発元肥
NDVI (生育状況)		植被率 (寄り具合)		NDVI×植被率	
平均値	ばらつき	平均値	ばらつき	平均値	ばらつき
0.70	7.8%	0.51	2.1%	0.35	9.2%



5. 収量調査結果とNDVI値(7/7)の相関



6. 収量調査結果とNDVI値(7/30)の相関



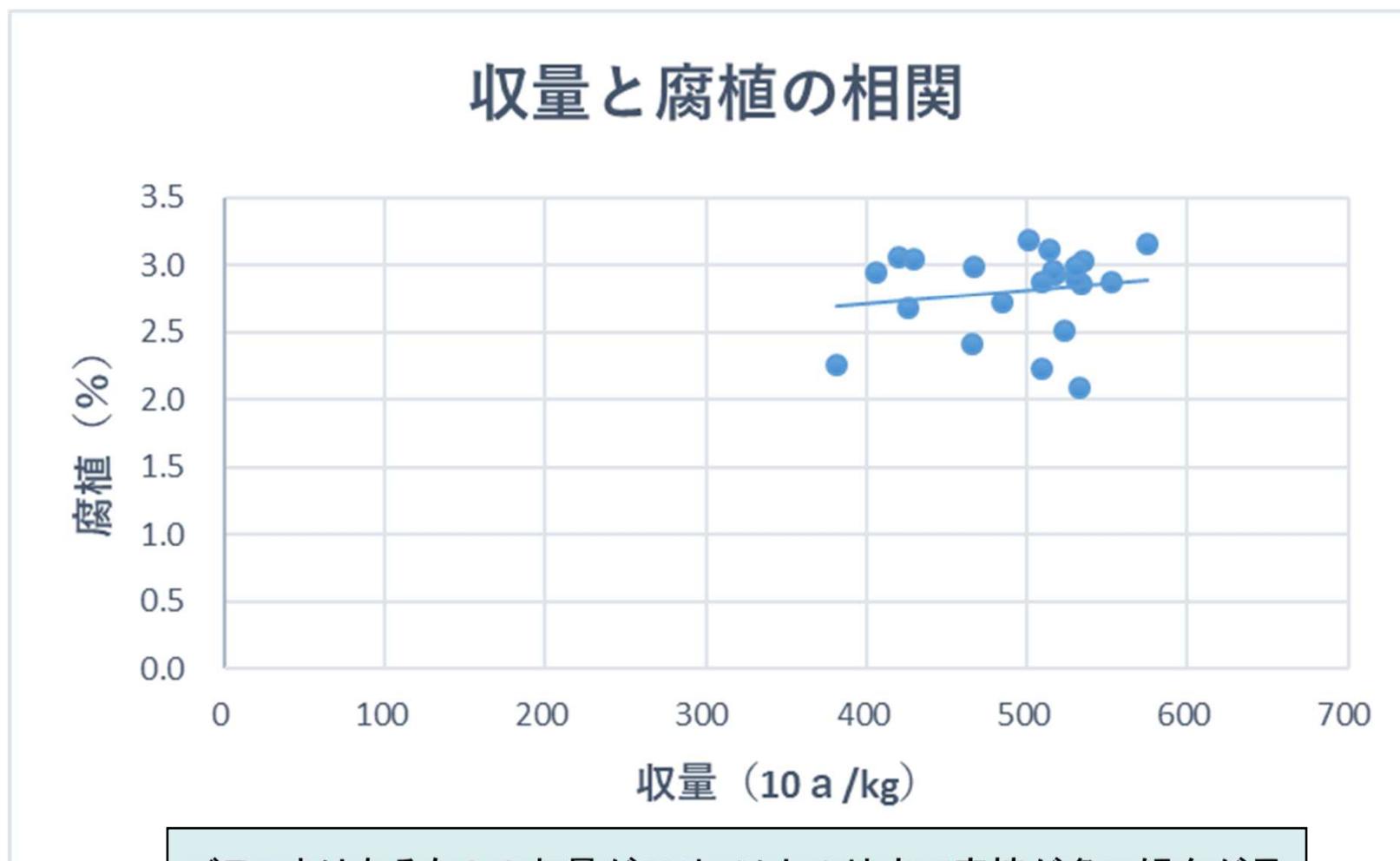
7. 土壌分析結果

圃場管理 No.	品種	土壌分析結果※分析センター記入										参考			
		pH[-]	EC[mS/cm]	可給態リン酸 [mg/100g]	交換性カリ [mg/100g]	交換性石灰 [mg/100g]	交換性苦土 [mg/100g]	CEC[me/100g]	可給態ケイ酸 [mg/100g]	アンモニア態窒素 [mg/100g]	腐植[%]	地力窒素(水田)[mg/100g]	収量 (kg/10a)	NDVI値 (7/7)	NDVI値 (7/30)
	兵庫県(水田)の目標値→	6.0~6.5		10~30	20~30	200~250	25~35	12以上	25以上		3~5				
1	コシヒカリ	6.1	0.07	29.4	35.7	179	19	16.2	8.8	2.47	2.9	24.9	517.1	0.62	0.77
2	コシヒカリ	6.2	0.05	30	24	194	23	14.6	8.9	2.20	2.9	21.2	534.4	0.55	0.72
3	コシヒカリ	6.5	0.05	65	17	250	31	16.0	10.9	1.83	2.9	18.2	552.4	0.57	0.73
4①	コシヒカリ	6.8	0.06	48	14	251	48	14.8	11.0	2.03	2.7	16.6	426.2	0.55	0.70
4②	コシヒカリ	6.6	0.05	46	8	218	33	18.9	10.3	2.0	2.9	14.7	405.8	0.50	0.68
5	コシヒカリ	6.8	0.06	73	7	286	28	14.8	20.3	1.4	2.5	16.6	523.8	0.52	0.73
6	コシヒカリ	6.7	0.06	51	23	272	26	17.0	15.3	1.7	3.0	16.7	466.9	0.51	0.67
7	コシヒカリ	6.5	0.05	37	10	236	17	14.9	11.7	1.7	3.0	26.4	516.1	0.53	0.74
8	コシヒカリ	6.5	0.06	37	13	234	15	14.2	9.8	1.7	2.9	23.8	508.9	0.54	0.71
9	コシヒカリ	6.7	0.07	49	26	281	23	15.4	13.4	1.7	2.7	22.9	484.7	0.53	0.69
10	コシヒカリ	6.4	0.06	36	11	202	17	14.1	8.9	1.9	2.2	19.2	509.7	0.56	0.77
11	コシヒカリ	6.7	0.05	40	29	243	12	13.2	10.1	1.9	3.1	19.8	420.6	0.47	0.64
12	コシヒカリ	6.2	0.05	24	6	179	8	13.5	9.9	1.7	2.9	26.5	530.4	0.57	0.72
13	コシヒカリ	6.3	0.06	39	8	242	9	15.4	9.1	1.4	3.0	21.3	535.6	0.55	0.71
14	コシヒカリ	6.5	0.06	45	9	261	14	14.6	17.8	1.5	3.1	25.9	514.3	0.57	0.69
15	コシヒカリ	6.1	0.06	26	18	189	19	16.4	7.6	1.9	3.0	20.2	529.9	0.58	0.76
16①	コシヒカリ	6.3	0.06	33	14	173	10	12.5	7.9	2.0	3.0	27.9	429.8	0.37	0.58
16②	コシヒカリ	5.9	0.05	24	10	164	7	16.9	8.2	1.6	3.2	30.0	574.7	0.50	0.74
17	コシヒカリ	6.2	0.05	40	7	208	12	14.9	8.6	1.5	3.2	24.1	501.2	0.58	0.70
18①	コシヒカリ	6.9	0.07	37	12	276	23	15.5	15.1	1.4	2.1	15.8	532.5	0.53	0.75
18②	コシヒカリ	6.8	0.06	33	9	265	23	14.3	10.4	1.6	2.4	16.5	465.5	0.35	0.66
18③	コシヒカリ	6.8	0.06	33	15	263	25	16.9	11.2	1.5	2.3	15.1	380.8	0.21	0.62

ケイ酸が目標値に比べ低かった。⇒倒伏した要因か？

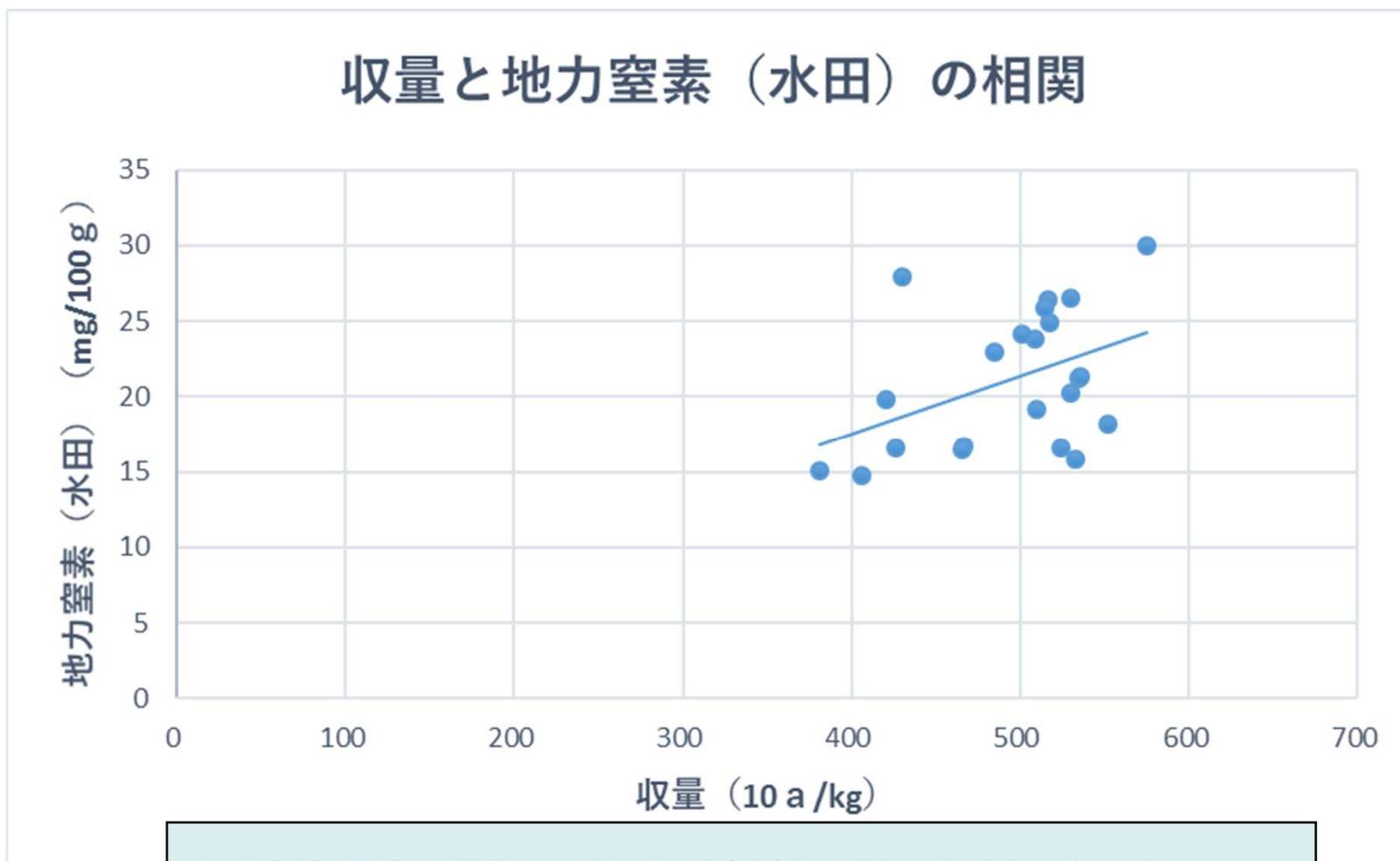
次年度は田植え前にも土壌分析を行う。

8. ①収量調査結果と土壌分析結果(腐植)の相関



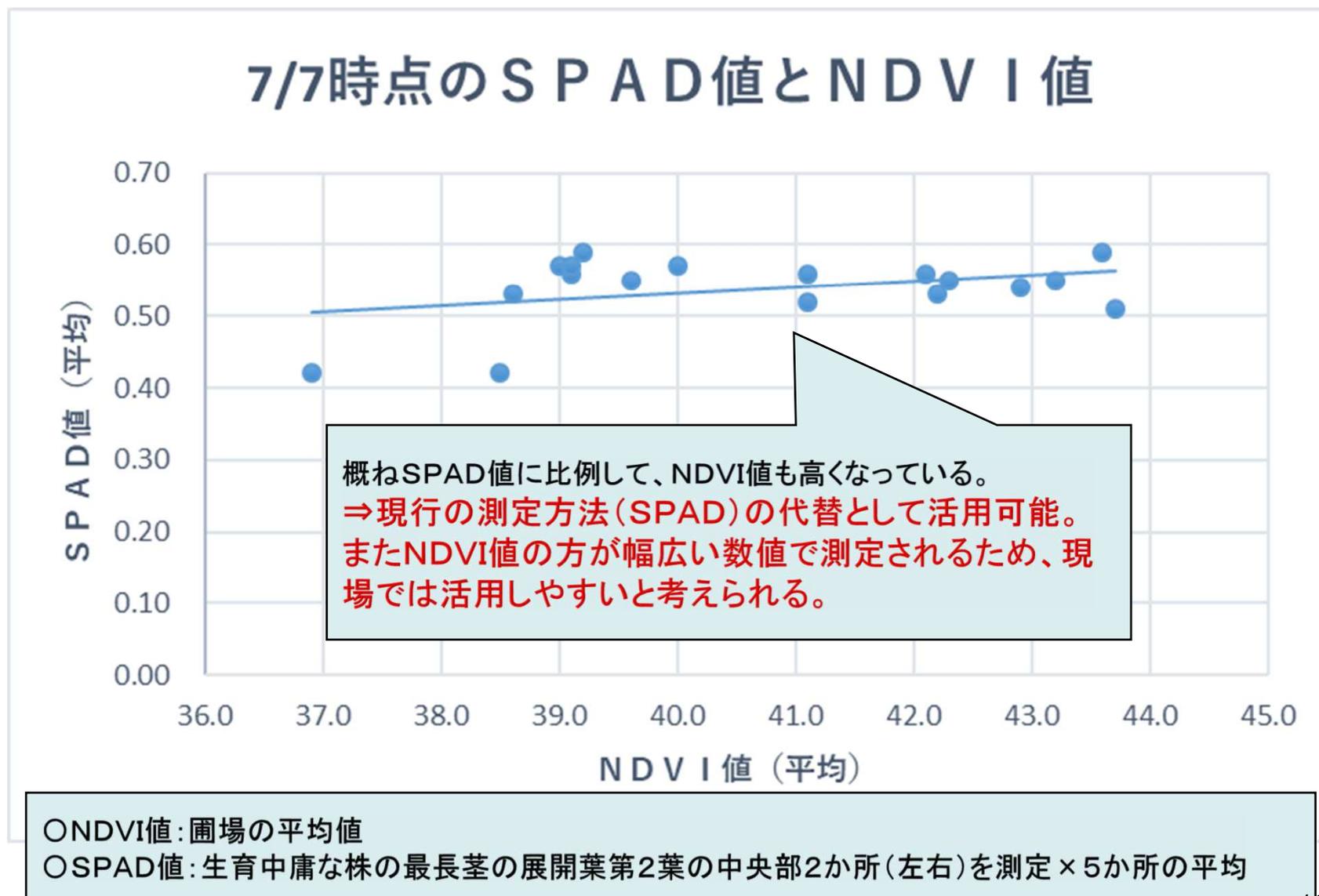
バラつきはあるものの収量が500kg以上の地点で腐植が多い傾向が見られた。

8. ②収量調査結果と土壌分析結果(地力窒素【水田】) の相関



地力窒素の増加に比例して、収量も増加している傾向であった。

9. 7/7時点のSPAD値とNDVI値の相関

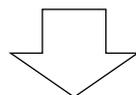


10. リモートセンシング費用

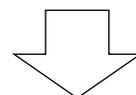
(1) 空撮・解析費用(10ha当り): 15万円

(2) 米販売代金(10ha当り): 約1,000万円

※10a当り10万円として試算

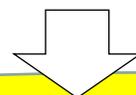


センシング費用は販売金額の約1.5%となる。



①センシング活用での的確な施肥による増収(1.5%以上)

②同面積をSPADや葉色板を使って生育診断する人件費・労力の削減(センシングによる生育状況の可視化が可能)。



コスト的にも十分に営農指導への活用可能

DSM等を活用したAIモデルによる倒伏予測マップの作成

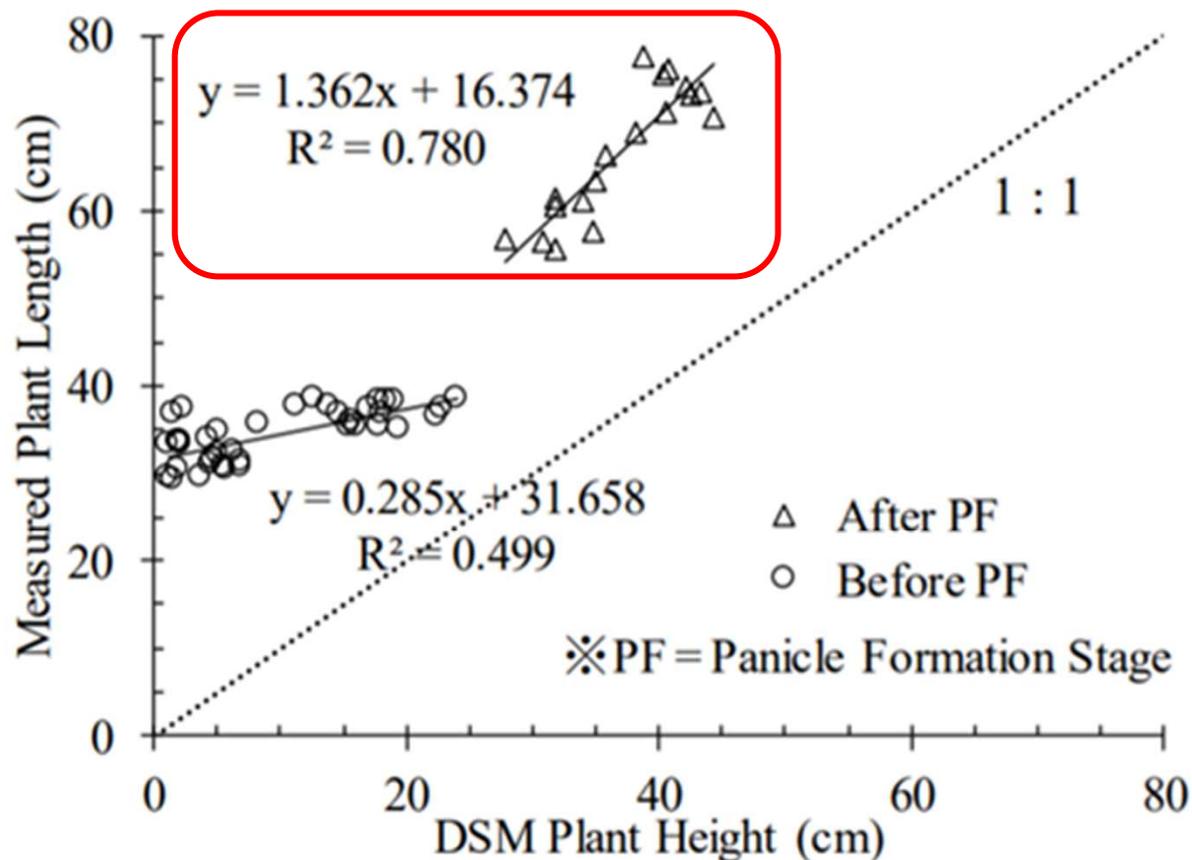
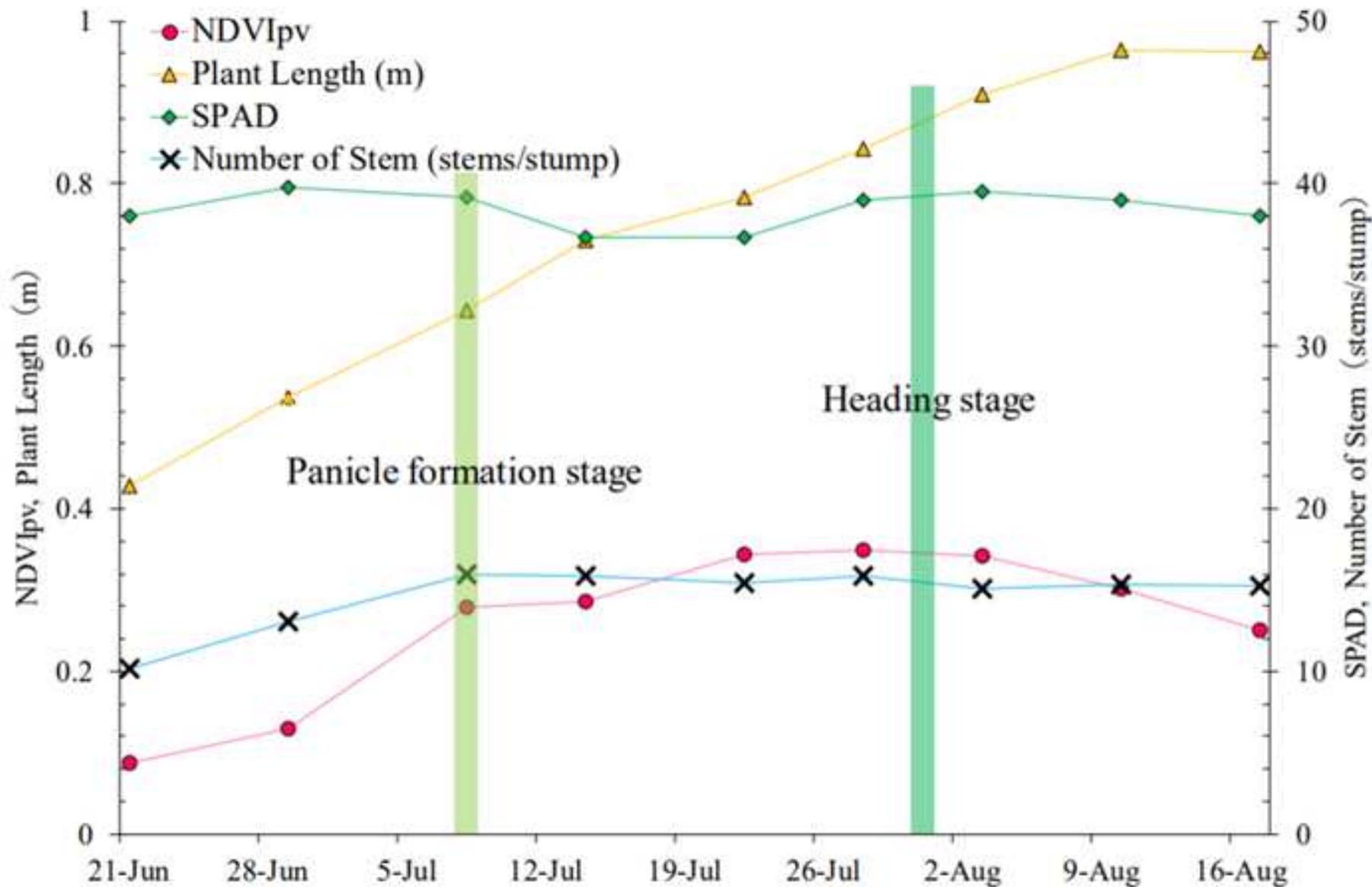


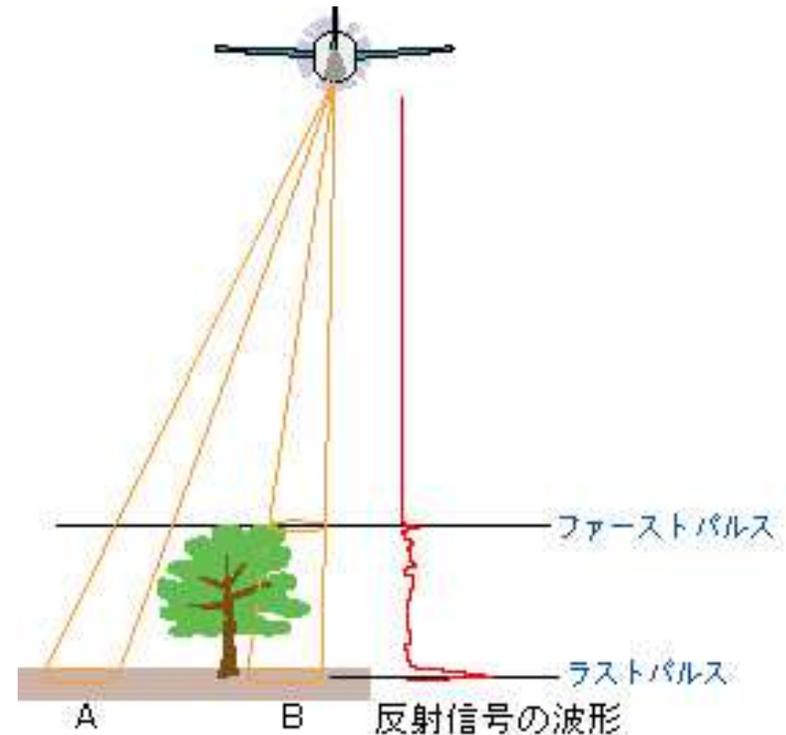
Fig.1. Correlation between measured plant length and DSM plant height.

(出典:「UAV リモートセンシングによる水稻生育パラメータの推定に関する研究 (1)」)



(出典:「UAV リモートセンシングによる水稻生育パラメータの推定に関する研究 (1)」)

DSMとは



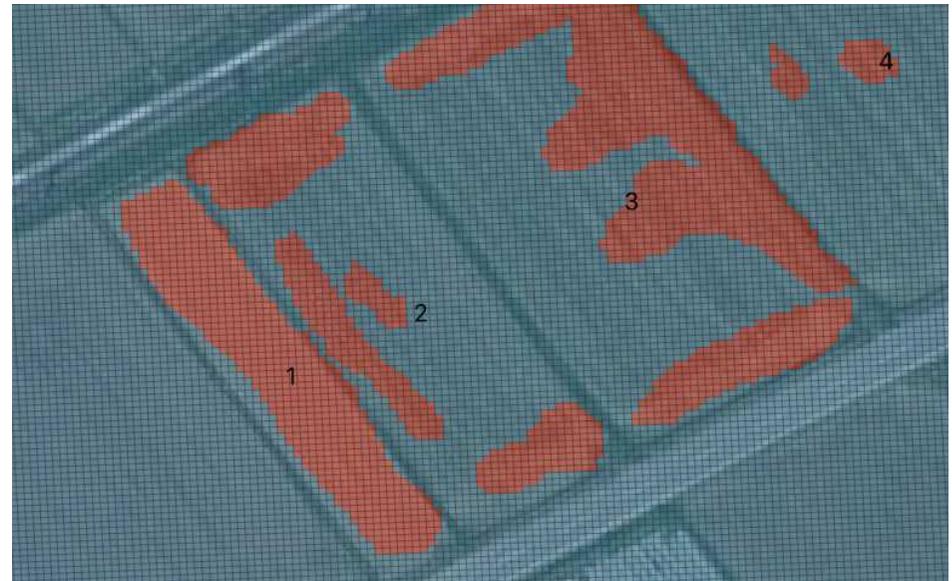
航空レーザ測量のレーザ光は、上のフット・プリントにでも見られるように地面ばかりでなく、建物や樹木の上で反射して戻ってきます。このため、航空レーザ測量で直接得られる高さのデータは、建物や樹木の高さを含んでいます。このような高さのデータよりグリッド化した地表モデルを数値表層モデル、通称DSM(Digital Surface Model)といいます。

(出典：https://www.gsi.go.jp/kankyochiri/Laser_senmon.html)

AIモデルの開発

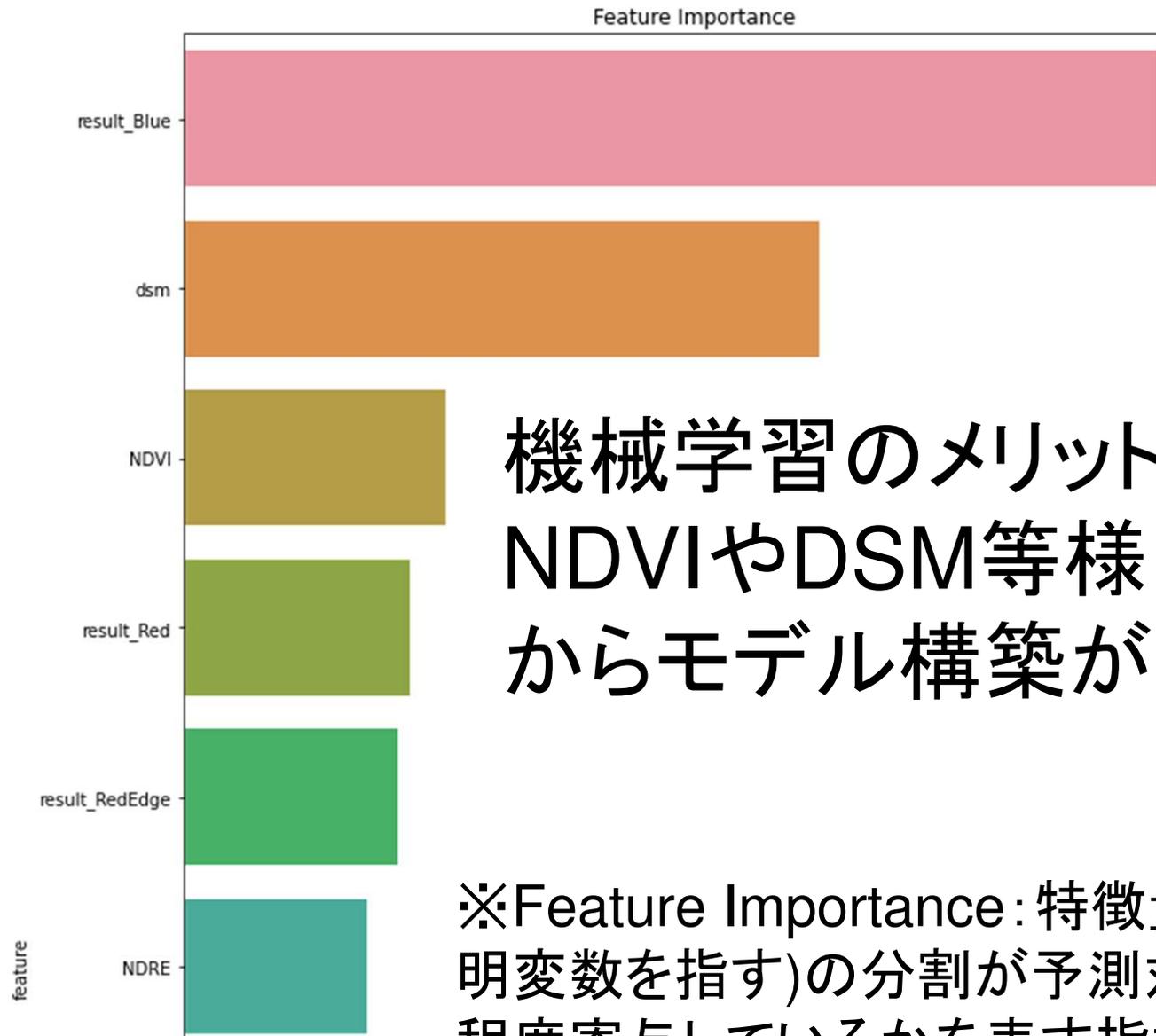
1. 圃場ポリゴンを1mメッシュに分割する
2. 1mメッシュ1つ1つにドローンで撮影した画像を見つつ倒伏しているか、していないかという正解データを付与する
3. 上記を全圃場に対して行う

約半分の圃場を訓練データに、テストデータは残りの圃場とした。訓練、テストデータは8月22日25日28日29日の計4日間の圃場毎の計測値を使って計算した指標を使った。



1mメッシュのイメージ図

AIモデルの開発



機械学習のメリットは、
NDVIやDSM等様々なパラメータ
からモデル構築が可能。

※Feature Importance: 特徴量(NDVIなどの説明変数を指す)の分割が予測対象の分類にどの程度寄与しているかを表す指標。

DSM等を活用した倒伏予測マップ

機械学習により倒伏予測マップの作成を行った。

今回は出穂以降のデータしか取れなかったため、精度検証はできていないが、来期は精度の向上・検証を行いたい。



8月29日時点の予測結果(青:倒伏リスク低、赤:倒伏リスク高)²⁰

11. まとめ①

(1) センシング撮影・解析により、生育状況の「見える化」「数値化」を実証できた。また穂肥診断の判断材料として活用できた。

⇒ 実用面・コスト面からも営農指導に活用可能

(2) 実演会を通じてセンシング内容を関係者に幅広く共有化できた。

この実演会を契機として他JAでの活用を進めることができた。

11. まとめ②

(3) 収量結果及びNDVI値の分析より

○NDVI値に比例して、収量も増大することが確認できた。

○収量(10a)は18圃場平均(494kg)、穂肥施肥したNo.18圃場(461kg)とも前年収量(450kg)を上回った。

○最大収量(575kg/10a)のNDVI値は0.50(7/7)、0.74(7/30)であった。

⇒NDVI値は上記の値を目標値とするが、実証圃場全般で倒伏が発生したため、更に実証を進め、**収量最大NDVI値及び倒伏に至る限界NDVI値**を見極める。

11. まとめ③

(4) 収量結果と土壌分析結果の相関より

○可給態ケイ酸・アンモニア態窒素との相関は得られなかったが、**腐植・地力窒素が高い方が収量も増加している傾向**となった。

⇒収量アップのためには、腐植・地力窒素を高める必要があるため、堆肥等の施用が重要である。

⇒また今回は収穫時の土壌採取であったため、次年度は田植前にも土壌診断を行い、その診断結果と収量との相関も確認したい。

12. 次年度に向けて

(1) 実証データをより明確なものにするため、**複数年(最低2年)の実証**が必要。同実証場所で継続して実証していく(JA・生産者とも合意済み)。

(2) 県下他JAにこの取組みを**水平展開し、普及促進**を行っていく。

13. 次年度計画(案)

(1) 継続追加実証

- ア. 令和2年度と同時期にドローンによるセンシングを実施
のうえ生育状況を確認し、穂肥(追肥)判断を行う。
- イ. 令和2年度で収穫後に土壌分析を実施しているため、
地力・施肥等の分野からも追跡を行い、収量増加への因果関係を調査する。

(2) 新規実証

- ア. 県下他地域におけるセンシング取組拡大
- イ. 取組内容
今年度実証内容に加え、分施体系(基肥+穂肥)圃場を選
定し、費用対効果を検証。
※センシング+穂肥による増収(収益増)－費用(センシ
ング費用・穂肥代・人件費)＝黒字となるモデルを構築

事業評価シート					
事業名		ドローンによるリモートセンシング技術を活用した新しい営農指導の確立			
現在の実施状況		<input type="checkbox"/> 外部委託で実施 <input checked="" type="checkbox"/> 社員・職員自身が実施 <input type="checkbox"/> 未実施 JA職員が水田に入り、SPAD（葉緑素計）や葉色板を使って、生育を診断している。			
現行手法の概要					
区分		成果		課題	
政策施策面	国の規制への適合性				
	地域規則の準備状況				
	実施手続きの容易性				
事業面	ビジネスモデルの明確性	大	JAの営農指導（穂肥診断）、生育状況の「見える化」に活用することができる。	解決中	但し、同一品種でなければ生育状況にバラつきがあるため、センシングのタイミングを考慮する必要がある。
	費用対効果の優位性	大	水田に直接入ることなく、また一度に広範囲の水稲の生育状況が把握できるため、可視化・省力化に繋がる。	解決中	センシングにあたっては、一定の面積（10ha以上）以上での実施でなければコストがかさむ。
	今回の実証コスト（1回の空撮・解析費用）：150千円/10ha				
	事業継続の確実性	大	今年度の実証圃場で来年度も取り組むことは合意済み。	解決中	費用対効果を明確にする必要がある。

技術面	機体性能の充足性				
	インフラの整備状況				
	データの活用可能性	大	収量とNDVI値の相関、SPAD値とNDVI値の相関を確認できた。	解決中	今年度の実証圃場全般で倒伏が見られたため、倒伏に至る限界NDVI値を見極める必要がある。
利用普及面	地域住民の受容性				
	他地域への展開可能性	大	次年度では他地域での取り組みを計画している。	解決中	地域別、品種別の生育データを集積する必要がある。
		大	課題解決に大いに貢献できる	解決中	解決策があり、解決に向けて進めている
		中	課題解決に貢献できるが、効果が限定的	実施待ち	解決策があるが解決に向けた動きがない
		小	課題解決への貢献はほとんどない	検討待ち	解決策は困難であり要件等