

委託試験成績（平成25年度）

担当機関名 部・室名	千葉県農林総合研究センター 生産技術部・水田作研究室																																
実施期間	平成25年4月～26年3月																																
大課題名	大規模水田営農を支える省力・低コスト技術の確立																																
課題名	無人ヘリコプタを利用した生育量の計測技術の評価																																
目的	生育情報測定装置を無人ヘリコプタに搭載し、上空から圃場を撮影することによって、葉が吸収しやすい赤と、反射しやすい近赤外の反射率から算出される正規化植生指数（以下、NDVI）を計測し、NDVI で実際の生育量を評価できるか検証する。																																
担当者名	望月篤																																
<p>1. 試験場所 千葉県千葉市 千葉県農林総合研究センター生産技術部水田作研究室</p> <p>2. 試験方法 無人ヘリに搭載した生育情報測定装置で品種、移植時期及び施肥窒素量の異なる試験圃場を撮影し、50cmメッシュのNDVIを算出した。撮影に要した時間を調査し、実際に10aの圃場で30株の生育調査を行った際に要した時間と比較した。また、撮影直後に生育調査を行い、調査地点におけるNDVIと生育量との関係性を評価した。また、収穫時に稈長、粒数、収量、整粒歩合及び倒伏程度の調査を行い、調査地点における幼穂形成期のNDVIとの関係から、NDVIの穂肥管理への利用について検討した。</p> <p>(1) 供試機械名 無人ヘリコプタ（ヤンマーヘリ&アグリ社 AYH-3 高高度飛行可能タイプ） 搭載カメラ 2眼方式デジタルカメラ （農研機構 中心波長：赤635nm、近赤外820nm、半値幅：約80nm CCD実行画素数：約140万画素、画角：長辺方向69.4度 短辺方向54.2度）</p> <p>(2) 試験区 供試品種：「ふさおとめ」、「ふさこがね」、「コシヒカリ」 移植期：4月10日、4月19日、4月25日、5月15日、6月3日（5処理） 基肥窒素量：3kg/10a(全ての移植期) 0kg/10a(4月19日移植のみ)、 1.5kg/10a(5月14日、6月3日移植のみ) 6kg/10a(4月10日、4月19日、4月25日移植のみ)</p> <p>(3) 耕種概要</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">播種日 (月/日)</th> <th rowspan="2">移植日 (月/日)</th> <th colspan="2">施肥窒素量(kg/10a)</th> <th rowspan="2">栽培圃場</th> </tr> <tr> <th>基肥</th> <th>穂肥</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3/19</td> <td>4/10</td> <td>3,6</td> <td>3</td> <td>圃場1</td> </tr> <tr> <td>3/27</td> <td>4/19</td> <td>0,3,6</td> <td>3</td> <td>圃場2</td> </tr> <tr> <td>4/3</td> <td>4/25</td> <td>3,6</td> <td>3</td> <td>圃場1</td> </tr> <tr> <td>4/24</td> <td>5/15</td> <td>1.5,3</td> <td>3</td> <td>圃場3</td> </tr> <tr> <td>5/14</td> <td>6/3</td> <td>1.5,3</td> <td>3</td> <td>圃場3</td> </tr> </tbody> </table> <p>注1) 圃場1及び圃場3は隣接圃場、圃場面積は各筆10a 2) 穂肥は出穂15～19日前に施用</p> <p>(4) 調査項目 ア NDVIの調査時（6月22日及び7月7日）</p>		播種日 (月/日)	移植日 (月/日)	施肥窒素量(kg/10a)		栽培圃場	基肥	穂肥	3/19	4/10	3,6	3	圃場1	3/27	4/19	0,3,6	3	圃場2	4/3	4/25	3,6	3	圃場1	4/24	5/15	1.5,3	3	圃場3	5/14	6/3	1.5,3	3	圃場3
播種日 (月/日)	移植日 (月/日)			施肥窒素量(kg/10a)			栽培圃場																										
		基肥	穂肥																														
3/19	4/10	3,6	3	圃場1																													
3/27	4/19	0,3,6	3	圃場2																													
4/3	4/25	3,6	3	圃場1																													
4/24	5/15	1.5,3	3	圃場3																													
5/14	6/3	1.5,3	3	圃場3																													

- NDVI、NDVI 調査の作業時間、葉面積、稲体の地上部乾物重、草丈、茎数、葉色
- イ 成熟期
- 籾数、稈長、倒伏程度、稲体の地上部乾物重、収量、整粒歩合
- ウ その他
- 幼穂形成期の「コシヒカリ」30 株（10 株×3 か所）の草丈、茎数及び葉色の調査に要した作業時間（10a 圃場）

3. 試験結果

(1) 作業時間

- ・ NDVI の調査に掛かる延べ作業時間は平均で 0.14 時間/10a であった。但し、作業時間は、ヘリの浮上から、撮影、着陸までの実作業時間であり、圃場間の移動時間やヘリの点検等の準備は含まない（表 1）。
- ・ 10a の圃場において 30 株（連続した 10 株×3 か所）の草丈、茎数及び葉色の調査を行った際の延べ作業時間は 0.61 時間/10a であった（表 1）。

(2) 全試験区の NDVI と撮影時の生育量との関係

- ・ 各品種の NDVI と、草丈、茎数、葉面積指数及び地上部乾物重との間には正の相関が認められ（図 1）、それぞれの相関係数は、各品種とも 1%水準で有意であった（表 2）。

(3) 幼穂形成期の NDVI と籾数及び稈長との関係

- ・ 籾数は少なすぎると減収、多すぎると外観品質の低下を、稈長は長すぎると倒伏を招くため、品種ごとに適正な籾数及び稈長の目安が定められている。幼穂形成期に NDVI が調査できた試験区（4 月 10 日、4 月 19 日、4 月 25 日移植の試験区、「ふさおとめ」、「ふさこがね」は 6 月 22 日調査、「コシヒカリ」は 7 月 7 日調査）における NDVI と稈長、籾数との相関係数は、各品種とも 1%で有意であった（表 3）。
- ・ 各品種とも、幼穂形成期の NDVI が小さい試験区で、適正な籾数の目安を下回り、収量が少なくなる傾向が認められた（図 2、3、4）。また、「ふさこがね」及び「コシヒカリ」においては、幼穂形成期の NDVI が大きい試験区で、適正な籾数の目安を越え、整粒歩合が低くなる傾向が認められた（図 3、4）。
- ・ 「コシヒカリ」では幼穂形成期の NDVI が大きいと、適正な稈長を上回り、倒伏程度が大きい傾向が認められた（図 4）。

4. 主要成果の具体的データ

表 1 NDVI の測定に要した作業時間

調査項目	調査日	試験圃場	圃場面積 (a)	作業人数 (人)	作業時間 (時間)	延べ作業時間 (時間/10a)
NDVI	6月22日	圃場1・3	20	2	0.12	0.12
		圃場2	10	2	0.15	0.31
	7月7日	圃場1・3	20	2	0.09	0.09
		圃場2	10	2	0.11	0.22
		平均	15	2	0.11	0.14
草丈・茎数・葉色	7月7日	圃場3	10	3	0.20	0.61

注 1) 圃場 1・3 は隣接圃場のため、同時に調査した

2) 草丈、茎数、葉色は、幼穂形成期の「コシヒカリ」30 株を実際に測定した際に要した時間

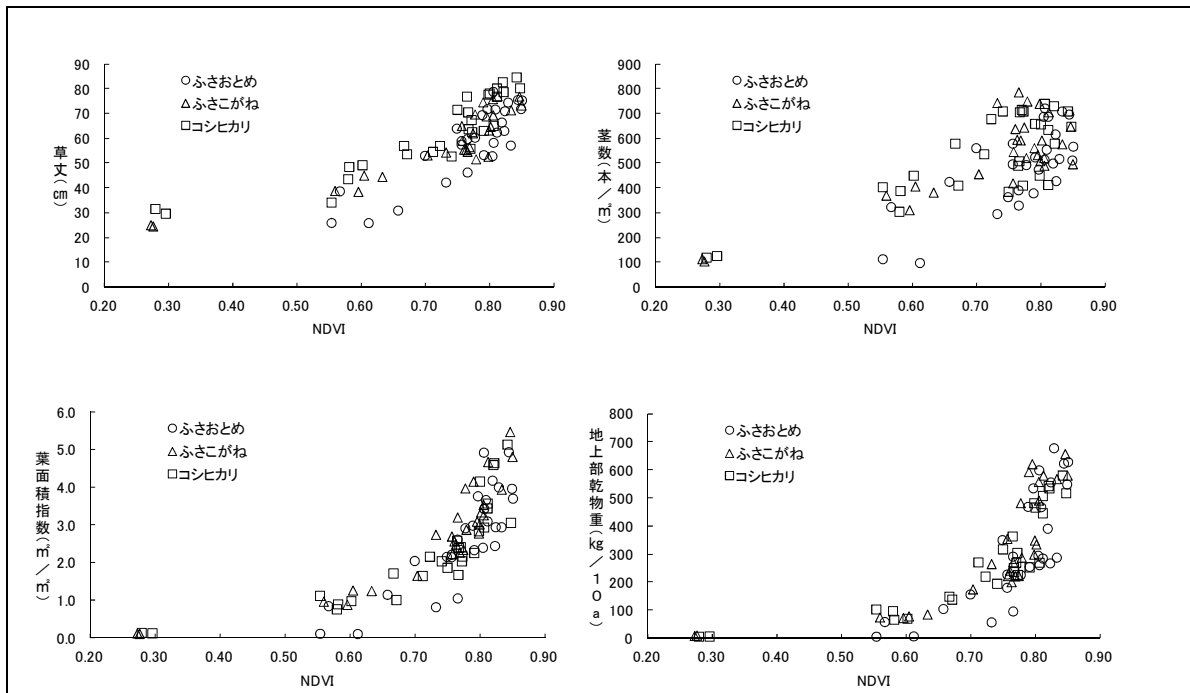


図1 NDVI と草丈、茎数、葉面積指数及び地上部乾物重

表2 NDVI と草丈、茎数、葉色、葉面積指数、地上部乾物重との相関係数（単相関）

品種	草丈	茎数	葉色 (SPAD値)	葉面積 指数	地上部 乾物重
ふさおとめ	0.86 **	0.73 **	0.29	0.83 **	0.76 **
ふさこがね	0.89 **	0.82 **	-0.15	0.83 **	0.74 **
コシヒカリ	0.88 **	0.80 **	-0.43	0.79 **	0.80 **

注1) **は1%水準で有意であることを示す

2) 各品種 n=28(但し、葉色のみは n=26)

表3 幼穂形成期における NDVI と成熟期の稈長及び籾数との相関係数（単相関）

品種	稈長	籾数	収量
ふさおとめ	0.81 **	0.85 **	0.73 **
ふさこがね	0.77 **	0.75 **	0.78 **
コシヒカリ	0.88 **	0.73 **	0.79 **

注1) **は1%水準で有意であることを示す

2) 各品種、4月10日、4月19日、4月25日移植の試験区のデータを使用。「ふさおとめ」、「ふさこがね」は6月22日、「コシヒカリ」は7月7日に調査

3) 各品種 n=10

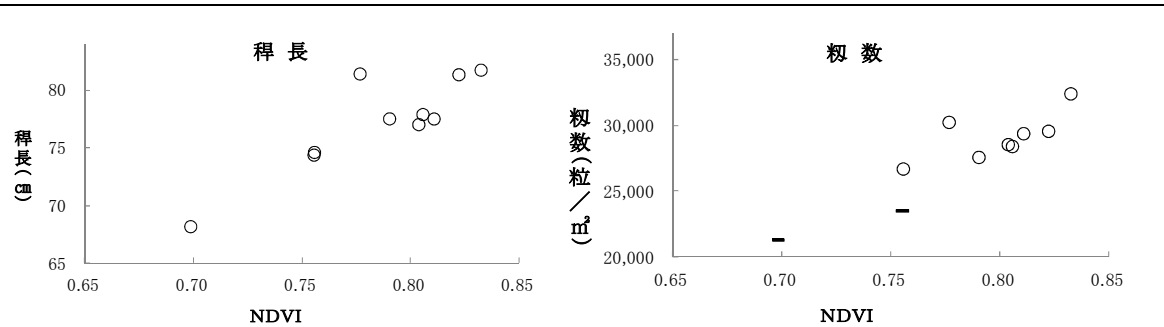


図2 「ふさおとめ」における幼穂形成期のNDVIと成熟期の稈長及び粒数との関係
 注1) - は収量が550kg/10a以下を示す
 2) 「ふさおとめ」の適正な生育の目安は、稈長が80cm以下、粒数が28,000~32,000粒である

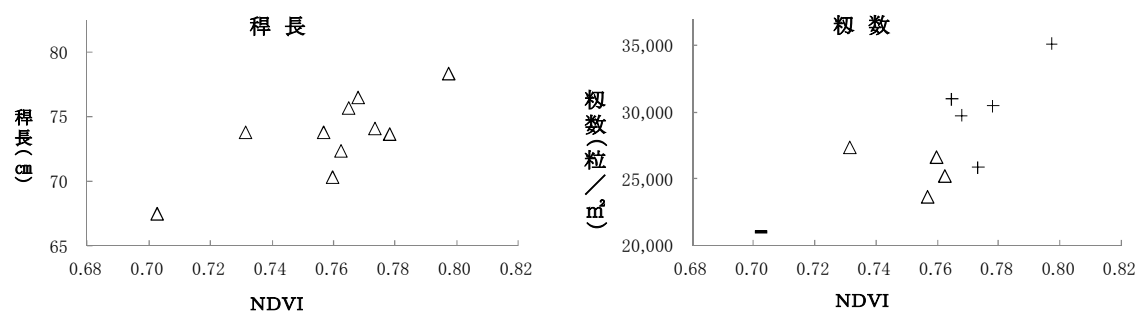


図3 「ふさこがね」における幼穂形成期のNDVIと成熟期の稈長及び粒数との関係
 注1) - は収量が550kg/10a以下、+ は整粒割合が80%未満を示す
 2) 「ふさこがね」の適正な生育の目安は、稈長が80cm以下、粒数が27,000~31,000粒である

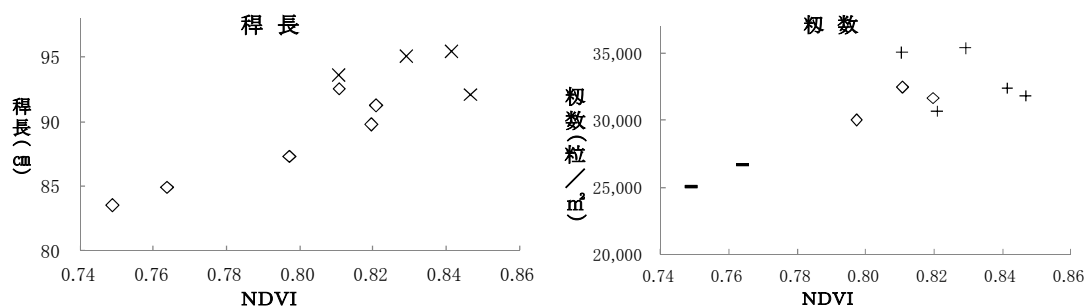


図4 「コシヒカリ」における幼穂形成期のNDVIと成熟期の稈長及び粒数との関係
 注1) - は収量が550kg/10a以下、+ は整粒割合が80%未満、×は倒伏程度0~5の6段階評価中4以上を示す
 2) 「コシヒカリ」の適正な生育の目安は、稈長が90cm以下、粒数が30,000~32,000粒である

5. 経営評価

- (1) NDVIは圃場内の草丈、茎数、葉面積指数及び地上部乾物重を評価するのに有用であると考えられる。このため、幼穂形成期のNDVIに応じて穂肥の施用方法を変えることで、倒伏や粒数の過不足による減収や外観品質の低下を軽減することができると考えられる。本年度の試験で各品種のNDVIと生育量との関係から、今後、幼穂形成期のNDVIに応じて穂肥の施用方法を変えた試験区と慣行栽培の試験区を設け、本技術導入の効果を検証していく。
- (2) NDVIの測定に要した延べ作業時間0.14時間/10aであり、10aの圃場で30株(10株×3か所)の生育調査に要した時間と比べ77%少なかった。

6. 利用機械評価

本測定機器は、生産者に普及している薬散用の無人ヘリコプタに搭載することが出来ないため、新たに専用の無人ヘリコプタを購入する必要がある。また、50m程度の上空から撮影するため、薬散用の無人ヘリコプタ用の免許では本測定機を搭載した無人ヘリコプタの操縦はできない。無人ヘリコプタによる本測定機の利用を普及させるためには、生産者がすでに装備している無人ヘリコプタでの利用が可能になる必要があると考えられる。

7. 考察

(1) 作業人数・時間

実測によって圃場内の生育量を把握するには、筆ごとに連続した10株×3ヶ所以上の生育調査を行う必要があると考えられる。しかし、生産者は複数の圃場を管理しているため、それぞれの圃場の生育量を実測するのは労力的に困難であり、達観や、圃場内のごく一部の稲株の生育調査により圃場の生育状況を推定している状況にある。更に大区画圃場になると圃場全体の生育量を把握することはより困難になると考えられる。本試験では、NDVIの測定に要した延べ作業時間は、0.14時間/10aであり、10株×3ヶ所の生育調査に比べ作業時間が77%少なかった。1度の撮影で60a程度の圃場のNDVIが測定できるので、1筆の圃場面積が大きい、もしくは、圃場が隣接していれば作業時間はより短縮されることが考えられる。

(2) NDVIと撮影時の生育量との関係

本試験の結果より、草丈、茎数、葉面積指数及び地上部乾物重をNDVIで評価出来ると考えられる。ただし、今後、栽培地域や年次を変えて栽培し、NDVIと草丈、茎数、葉面積指数及び地上部乾物重との関係が本試験の結果と同様であるかについて検証する必要がある。

(3) 幼穂形成期のNDVIと稈長及び籾数との関係

本試験の結果より、幼穂形成期のNDVIと稈長及び籾数の関係から、穂肥の施用方法を決定する指標としてNDVIが利用出来ると考えられる。しかし、稈長及び籾数は、地力窒素の発現程度や幼穂形成期以降の気温からも影響を受ける。このため、土壤肥沃度や移植時期毎に、NDVIの結果に基づいた穂肥の施用方法をそれぞれ検討する必要があると考えられる。

8. 問題点と次年度の計画

幼穂形成期のNDVIと稈長や籾数との相関が高く、NDVIが穂肥の施用方法を決定する上で有用であると考えられた。しかし、実証試験が行われていないので、次年度は本年度の試験で得た各品種のNDVIと生育量との関係から、幼穂形成期のNDVIに応じて穂肥の施用方法を変えた試験区と慣行栽培の試験区を設け、本技術導入の効果を検証していく。また、土壤肥沃度や幼穂形成期以降の気象条件が異なる場合、NDVIに基づいた穂肥の施肥方法も異なると考えられる。このため、次年度は、千葉市以外の地域にも試験圃場を設け、異なる土壌、異なる時期に幼穂形成期を迎えた場合についてのNDVIの利用方法について検討する。

9. 参考写真

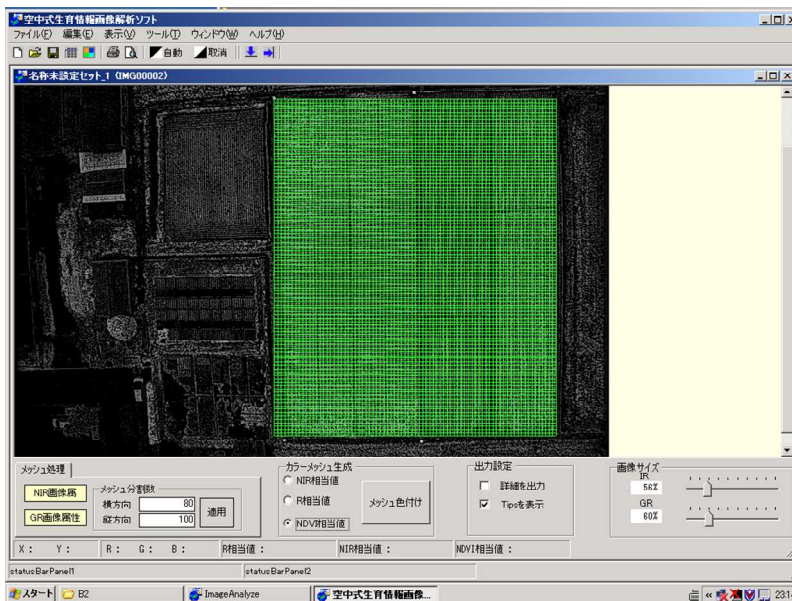


生育測定装置（無人ヘリコプタの下腹部）



NDVI を調査している状況

ヘリの操縦を担当するオペレータと画像を撮影するオペレータの2人で作業



撮影された画像

画像内で NDVI の必要な圃場範囲を指定し、各メッシュの NDVI を算出する