

委託試験成績（平成30年度）

| | |
|--|--|
| 担当機関名 部・室名 | 鹿児島県農業開発総合センター 園芸作物部 作物研究室 |
| 実施期間 | 平成30年度～平成32年度、新規開始 |
| 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 | NDVI測定活用による暖地水稲生育予測診断技術の評価 |
| 目的 | 暖地地域においても、大規模化に対応した経営の効率化やリスク分散のため、食味重視の主食用品種に加え、様々な業務用品種の作付が増加しており、作型や用途に応じた品種毎の安定生産体系の再構築が求められている。そこで、暖地早期栽培における先端技術を活用した安定生産の栽培管理システムの構築を図るため、マルチスペクトルカメラを搭載したマルチコプターを用いて、異なる品種、施肥、土壌条件における水稲生育診断技術の精度について評価する。 |
| 担当者名 | 園芸作物部作物研究室 室長 福元 伸一 研究専門員 田之頭 拓 |
| <p>1. 試験場所 鹿児島県農業開発総合センター内ほ場</p> <p>2. 試験方法</p> <p>暖地早期栽培において、「コシヒカリ」と多収品種「とよめき」を供試し、施肥量（4水準）と土壌条件（2水準：黒ボク土・灰色低地土）の異なる区を組み合わせた試験区で、幼穂形成期に草丈、茎数、葉色値（SPAD値）を計測する。同時に、全天候型のNDVI測定カメラを搭載したマルチコプターを用いてNDVI値と植被率を測定し、実測値との関係を検討する。また、「コシヒカリ」はNDVI値に基づく可変施肥の検討も行う。</p> <p>(1) 供試機械名</p> <p>マルチコプター、コニカミノルタ製マルチスペクトルカメラ</p> <p>予備試験：無人ヘリ、穂肥用可変施肥機</p> <p>(2) 試験条件</p> <p>ア. 圃場条件 黒ボク土、灰色低地土（シラス砂壤土）水田各15a（うち可変施肥各2.5a）</p> <p>イ. 栽培の概要</p> <p>品 種 名 コシヒカリ（早期栽培用慣行品種）、とよめき（早期栽培用多収品種）</p> <p>育 苗 箱育苗（コシヒカリ：26日苗、とよめき：37日苗）</p> <p>播 種 期 平成30年3月16日（コシヒカリ）、3月5日（とよめき）150g/箱</p> <p>施 肥 平成30年4月5日 基肥：BBC284（N:P:K=12:18:14） 平成30年6月6日 穂肥：NKC77号（N:P:K=17:0:17）</p> <p>*可変施肥量：コシヒカリのみ。NDVI値を換算したSPAD値で、 30以下：N3、30～36：N2、36～38：N1、38以上：N0.5（kg/10a）</p> <p>移 植 期 平成30年4月11日（早期栽培）、株間15cm×条間30cm（70株/坪）</p> <p>NDVI測定 5月30日（幼穂形成期）、 6月19日（コシヒカリ出穂期、とよめき出穂1週間前）</p> <p>SPAD測定 5月16日、5月30日、6月6日、6月19日</p> | |

(3) 試験区の構成

| 品種 | 基肥窒素量 kg/10a | 穂肥窒素量 kg/10a | 土壌条件 |
|-------|-----------------|-----------------|--------|
| | 1 | | |
| コシヒカリ | 3 | 2 | 黒ボク土 |
| とよめき | 5 | (可変施肥*) | シラス砂壤土 |
| | 7 | *コシヒカリのみ | |

3. 試験結果

【試験 1】 暖地早期栽培における水稻の生育と NDVI 値との関係 (表 1)

(1) 幼穂形成期における NDVI 値および植被率と水稻の生育との関係

「コシヒカリ」では“葉色値 (SPAD 値) と NDVI 値”の相関は低かったが、土壌条件の違いがみられ、シラス砂壤土での相関は高かった (図 1、2)。“茎数と植被率”は相関がみられたが、より黒ボク土での相関が高かった (図 3、4)。“窒素吸収量と NDVI 値×植被率”は土壌条件の違いに関係なく高い相関であった (図 5)。「とよめき」は土壌条件の違いに関係なく、“葉色値 (SPAD 値) と NDVI 値”、“茎数と植被率”の相関は高く、特に“窒素吸収量と NDVI 値×植被率”の相関が高かった (図 6、7、8)。

(2) 出穂期における NDVI 値および植被率と収量、玄米タンパク質含有率との関係

「コシヒカリ」では“玄米重と NDVI 値×植被率”の相関は低かった (図 9)。“窒素吸収量と NDVI 値×植被率”の相関は高かった (図 10)。“玄米タンパク質含有率と NDVI 値”の相関は低かった (図 11)。「とよめき」では“玄米重と NDVI 値×植被率”の相関は非常に高く (図 12)、“窒素吸収量と NDVI 値×植被率”の相関も高かった (図 13)。“玄米タンパク質含有率と NDVI 値”の相関は低かった (図 14)。

また、葉色値 (SPAD 値) と NDVI 値”および“茎数と植被率”については幼穂形成期に比べて、相関が低くなる傾向がみられた。

【試験 2】 NDVI 値に基づく可変施肥と生育および収量との関係

(1) 可変施肥による葉色値 (SPAD 値) および NDVI 値の推移と関係

幼穂形成期から出穂期にかけての SPAD 値と NDVI 値の推移は異なる傾向を示し、SPAD 値は低くなる傾向がみられるのに対し、NDVI 値は高く推移した。また、可変施肥区の穂肥量が減るほど、定量区に比べて NDVI 値の増加は小さくなった (表 2)。

(2) 可変施肥による成熟期の生育との関係

可変施肥による稈長、穂長、穂数に大きな差は認められなかった。一方、倒伏については、可変施肥により倒伏程度が小さくなる傾向がみられ、基肥窒素 7kg/10a 区ではその傾向が大きかった (表 3)。

(3) 可変施肥と収量およびタンパク質含有率との関係

収量については、いずれの基肥区においても可変施肥区と定量施肥区の玄米重は同程度であった。一方、登熟歩合は定量施肥区に比べて可変施肥区は高くなる傾向がみられ、基肥窒素 7kg/10a 区では登熟歩合が 49.5%から 65.7%に大きく向上した。玄米タンパク質含有率については、いずれの基肥区においても可変施肥区が低くなった (表 4)。

4. 主要成果の具体的データ

(1) 幼穂形成期の生育と NDVI 値および植被率の関係

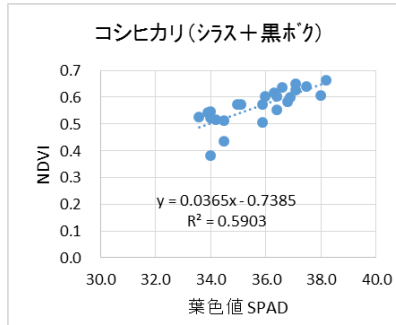


図 1 SPAD 値と NDVI 値
(コシヒカリ: 平均)

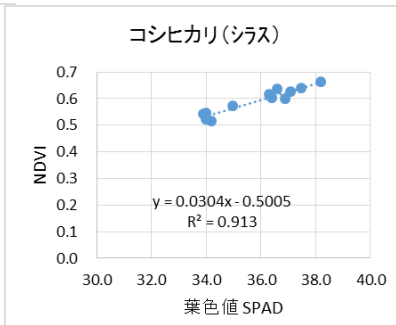


図 2 SPAD 値と NDVI 値
(コシヒカリ: シラス砂壤土)

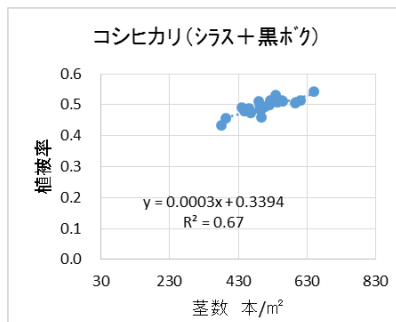


図 3 茎数と植被率
(コシヒカリ: 平均)

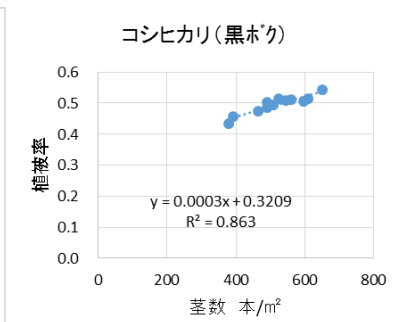


図 4 茎数と植被率
(コシヒカリ: 黒ホク土)

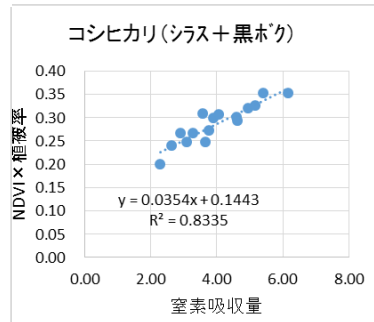


図 5 窒素吸収量と NDVI 値 × 植被率
(コシヒカリ)

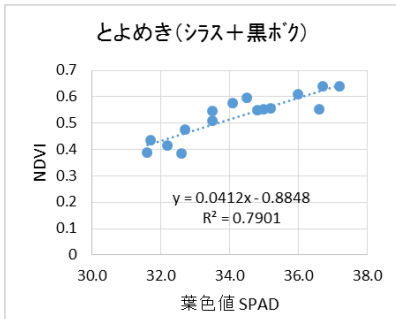


図 6 SPAD 値と NDVI 値
(とよめき)

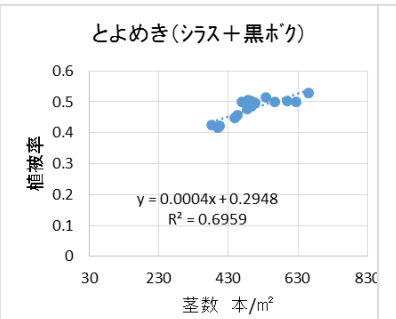


図 7 茎数と植被率
(とよめき)

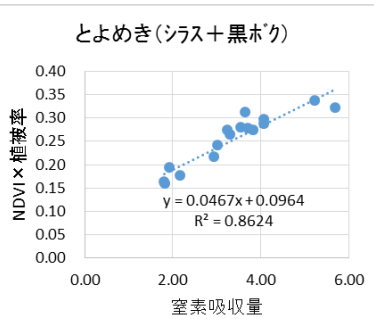


図 8 窒素吸収量と NDVI 値 × 植被率
(とよめき)

(2) 出穂期の NDVI 値および植被率と玄米重、玄米タンパク質含有率との関係

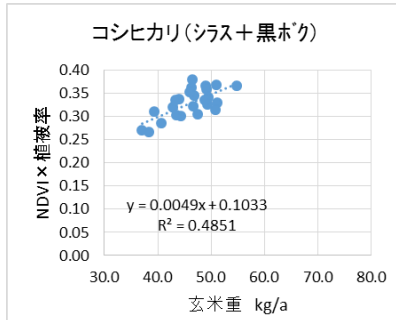


図 9 玄米重と NDVI 値 × 植被率
(コシヒカリ)

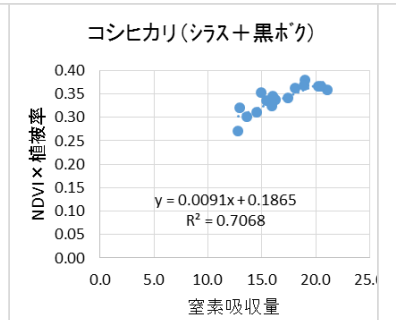


図 10 窒素吸収量と NDVI 値 × 植被率
(コシヒカリ)

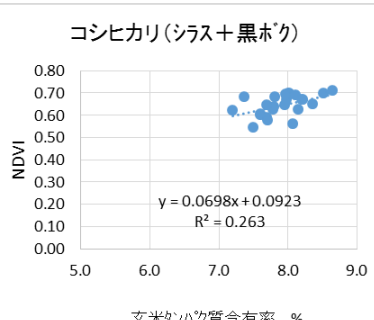


図 11 タンパク含有率と NDVI 値
(コシヒカリ)

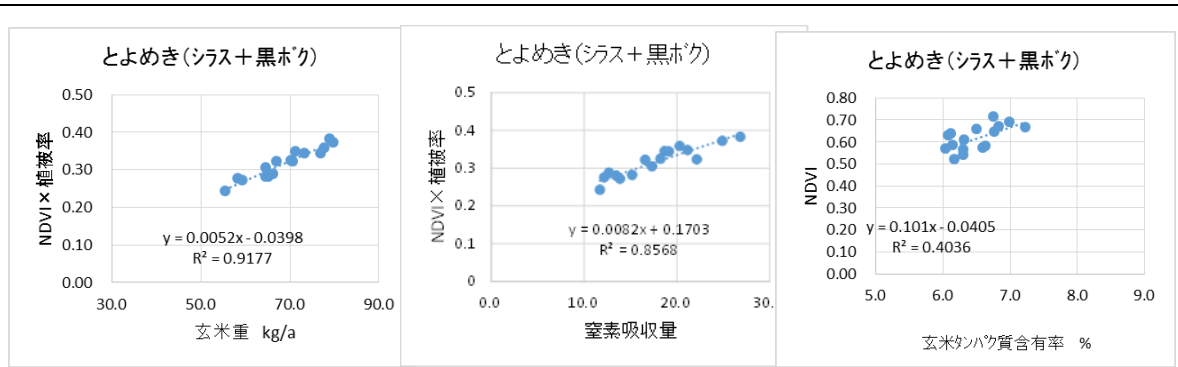


図 12 玄米重と NDVI 値×植被率 (とよめき) 図 13 窒素吸収量と NDVI 値×植被率 (とよめき) 図 14 タンパク含有率と NDVI 値 (とよめき)

表 1 水稻の生育と NDVI 値・植被率

| 品 土 種 壤 | 施肥 | SPAD値 | | NDVI値 | | 植被率 | | 茎数 (本/m ²) | 玄米重 (kg/a) | 玄米タン パク含有 率(%) | 窒素吸収量 | | |
|-----------------------|-------------|-------|------|-------|------|------|------|---------------------------|---------------|----------------------|-------|------|------|
| | | 5/30 | 6/19 | 5/30 | 6/19 | 5/30 | 6/19 | | | | 5/30 | 6/19 | |
| コ シ ヒ カ リ | シ ラ ス | N1+2 | 34.1 | 34.8 | 0.53 | 0.61 | 0.48 | 0.50 | 444 | 43.6 | 7.7 | 3.0 | 13.3 |
| | | N3+2 | 35.2 | 35.2 | 0.57 | 0.67 | 0.50 | 0.52 | 477 | 45.2 | 8.0 | 3.4 | 17.2 |
| | | N5+2 | 36.7 | 35.6 | 0.62 | 0.70 | 0.50 | 0.53 | 520 | 47.8 | 8.6 | 4.8 | 19.6 |
| | | N7+2 | 37.4 | 35.9 | 0.65 | 0.70 | 0.52 | 0.52 | 549 | 50.2 | 8.0 | 5.3 | 20.0 |
| と よ め き | 黒 ボ ク | N1+2 | 35.2 | 36.0 | 0.47 | 0.59 | 0.46 | 0.49 | 430 | 38.2 | 8.1 | 2.5 | 13.7 |
| | | N3+2 | 35.2 | 35.5 | 0.54 | 0.65 | 0.50 | 0.51 | 527 | 46.4 | 8.2 | 4.2 | 15.7 |
| | | N5+2 | 36.6 | 35.8 | 0.57 | 0.68 | 0.50 | 0.51 | 561 | 48.2 | 7.7 | 3.8 | 16.7 |
| | | N7+2 | 37.6 | 35.4 | 0.63 | 0.69 | 0.52 | 0.52 | 625 | 50.4 | 8.0 | 5.1 | 17.8 |
| と よ め き | シ ラ ス | N1+2 | 31.9 | 30.2 | 0.40 | 0.58 | 0.42 | 0.49 | 394 | 65.8 | 6.6 | 2.0 | 13.1 |
| | | N3+2 | 33.8 | 32.0 | 0.56 | 0.65 | 0.49 | 0.53 | 483 | 75.2 | 6.6 | 3.7 | 18.9 |
| | | N5+2 | 35.9 | 32.1 | 0.55 | 0.67 | 0.50 | 0.53 | 491 | 74.6 | 7.0 | 3.6 | 20.7 |
| | | N7+2 | 37.0 | 32.9 | 0.64 | 0.70 | 0.51 | 0.54 | 631 | 79.4 | 6.9 | 5.5 | 25.9 |
| と よ め き | 黒 ボ ク | N1+2 | 32.2 | 27.3 | 0.41 | 0.53 | 0.43 | 0.49 | 425 | 57.5 | 6.2 | 1.9 | 12.8 |
| | | N3+2 | 33.1 | 27.5 | 0.49 | 0.57 | 0.47 | 0.49 | 471 | 61.5 | 6.2 | 3.0 | 13.7 |
| | | N5+2 | 34.9 | 27.7 | 0.55 | 0.60 | 0.50 | 0.52 | 537 | 65.8 | 6.1 | 3.5 | 17.0 |
| | | N7+2 | 35.3 | 29.7 | 0.60 | 0.62 | 0.51 | 0.52 | 583 | 70.5 | 6.2 | 3.9 | 20.2 |

表 2 可変施肥：葉色値および NDVI 値の推移

| 試験区 | 推定追肥窒 素量 (kg/10a) | 葉色値 (SPAD値) | | | | NDVI値 | | |
|---------|-------------------------|-------------|------|------|------|-------|------|------|
| | | 5/30 | 6/6 | 6/19 | ③-① | 5/30 | 6/19 | ②-① |
| | | ① | ② | ③ | | ① | ② | |
| 基肥N1+定量 | 1.7 | 34.6 | 34.0 | 35.4 | 0.8 | 0.50 | 0.60 | 0.10 |
| 基肥N1+可変 | 2.0 | 34.5 | 33.2 | 34.5 | 0.0 | 0.45 | 0.56 | 0.11 |
| 基肥N3+定量 | 1.7 | 35.2 | 34.7 | 35.3 | 0.1 | 0.56 | 0.66 | 0.10 |
| 基肥N3+可変 | 2.0、1.0 | 34.0 | 33.6 | 33.9 | -0.1 | 0.55 | 0.61 | 0.06 |
| 基肥N5+定量 | 1.7 | 36.8 | 36.7 | 35.7 | -1.1 | 0.59 | 0.69 | 0.10 |
| 基肥N5+可変 | 1.0、2.0 | 35.9 | 35.2 | 34.3 | -1.6 | 0.58 | 0.64 | 0.05 |
| 基肥N7+定量 | 1.7 | 37.5 | 37.3 | 35.7 | -1.8 | 0.64 | 0.69 | 0.06 |
| 基肥N7+可変 | 1.0 | 36.8 | 36.2 | 33.1 | -3.7 | 0.62 | 0.63 | 0.01 |

表3 可変施肥：生育調査および成熟期調査

| 試験区 | 推定追肥窒素量 (kg/10a) | 生育調査(5/30調査) | | 成熟期調査 | | | 倒伏程度 |
|---------|---------------------|--------------|---------------------------|------------|------------|---------------------------|------|
| | | 草丈 (cm) | 茎数 (本/m ²) | 稈長 (cm) | 穂長 (cm) | 穂数 (本/m ²) | |
| 基肥N1+定量 | 1.7 | 53.4 | 437 | 71 | 17.8 | 374 | 0.0 |
| 基肥N1+可変 | 2.0 | 51.6 | 440 | 68 | 17.6 | 390 | 0.0 |
| 基肥N3+定量 | 1.7 | 56.4 | 502 | 75 | 17.5 | 430 | 0.5 |
| 基肥N3+可変 | 2.0、1.0 | 56.1 | 496 | 75 | 17.9 | 412 | 0.0 |
| 基肥N5+定量 | 1.7 | 60.3 | 540 | 79 | 17.9 | 473 | 1.0 |
| 基肥N5+可変 | 1.0、2.0 | 59.3 | 524 | 78 | 17.8 | 482 | 0.5 |
| 基肥N7+定量 | 1.7 | 61.5 | 587 | 81 | 17.5 | 505 | 2.0 |
| 基肥N7+可変 | 1.0 | 60.1 | 573 | 79 | 17.8 | 488 | 0.5 |

注) 倒伏程度は無(0)～甚(5)の6段階評価

表4 可変施肥：収量および玄米タンパク質含有率調査

| 試験区 | 推定追肥窒素量 (kg/10a) | 玄米重 | | 玄米タンパク質含有率 | | 穂数 (本/m ²) | 一穂 粒数 (粒) | 全粒数 (100粒/m ²) | 登熟 歩合 (%) | 千粒重 (g) |
|---------|---------------------|--------|-------|------------|-------|---------------------------|-----------------|-------------------------------|-----------------|------------|
| | | (kg/a) | 定量比 | (%) | 定量差 | | | | | |
| 基肥N1+定量 | 1.7 | 40.9 | (100) | 7.90 | 0.00 | 374 | 57.1 | 214 | 72.0 | 19.7 |
| 基肥N1+可変 | 2.0 | 39.5 | (97) | 7.54 | -0.36 | 390 | 54.4 | 212 | 75.9 | 20.5 |
| 基肥N3+定量 | 1.7 | 45.8 | (100) | 8.09 | 0.00 | 430 | 60.4 | 261 | 64.8 | 19.9 |
| 基肥N3+可変 | 2.0、1.0 | 45.1 | (99) | 7.83 | -0.26 | 412 | 57.7 | 238 | 72.4 | 20.0 |
| 基肥N5+定量 | 1.7 | 48.0 | (100) | 8.13 | 0.00 | 473 | 61.5 | 290 | 61.0 | 19.5 |
| 基肥N5+可変 | 1.0、2.0 | 48.1 | (100) | 7.89 | -0.23 | 482 | 60.1 | 291 | 63.4 | 19.9 |
| 基肥N7+定量 | 1.7 | 50.3 | (100) | 8.03 | 0.00 | 505 | 61.3 | 309 | 49.5 | 19.4 |
| 基肥N7+可変 | 1.0 | 51.0 | (102) | 7.45 | -0.58 | 488 | 63.5 | 310 | 65.7 | 19.6 |

注1) 定量比は各基肥定量区を100とした時の指数。定量差は各基肥定量区との差

2) 玄米タンパク質含有率は蒸留法による分析結果

3) 登熟歩合は、抜き取り株3株を比重選(比重1.06)で調査した。

5. 経営評価

可変施肥の費用対効果として、センシングおよび可変施肥にかかる作業委託料金を4,000円/10a、玄米の販売単価を239円/kgとして、今回の試験成績を基に試算した結果、10aあたり17kg以上の増収、または8.3円/kg以上の単価上昇が必要であった。また追肥作業の省力化が図れる。

6. 利用機械評価

マルチコプターによるNDVI測定自体は短時間であり、NDVI値の解析データや可変施肥シートなどの測定結果の速やかな活用により、効果的な生育管理に繋がる。また、無人ヘリによる追肥散布も短時間での作業が可能である。ただし、今回の試験では、定量2kg/10aの追肥散布も無人ヘリで実施したが、散布量は計画に対し82%～104%の散布実績となった。また、飛行方向に対して左側の圃場外への散布も確認された。追肥に供試した肥料が初めて使用するものであったことや、ほ場近くの障害物の影響が考えられた。

7. 成果の普及

初年度の結果であり、今後も継続して試験を実施し、水稻生育診断技術や可変施肥技術についての研究成果を蓄積していく。得られた研究成果は、地域振興局農政普及課など関係機関にも周知を図っていく。

8. 考察

(1) 暖地早期栽培における水稻の生育と NDVI 値との関係

“窒素吸収量と NDVI 値×植被率”は土壌条件の違いに関係なく「コシヒカリ」および「とよめき」ともに高い相関がみられた。幼穂形成期における“葉色値 (SPAD 値) と NDVI 値”と“茎数と植被率”についても概ね相関がみられた。ただし、「コシヒカリ」の黒ボク土における“葉色値 (SPAD 値) と NDVI 値”など相関が低くなった試験区もあり、さらなるデータの蓄積が必要である。出穂期における“玄米タンパク質含有率”については NDVI 値による推定は困難であると考えられた。また、「コシヒカリ」で“玄米重と NDVI 値×植被率”の相関が低くなったのは、倒伏による影響が考えられた。単年度の結果であるが、マルチスペクトルカメラを搭載したマルチコプターによる暖地早期水稻での生育診断および生育管理技術のための有用な基礎データが得られた。

(2) NDVI 値に基づく可変施肥

NDVI 値に基づく可変施肥により、倒伏程度や玄米タンパク質含有率は低くなり、登熟歩合が向上する傾向がみられたことから、暖地の早期水稻においても生育のバラツキに対応できる穂肥量の適正散布など生育管理の可能性が示唆された。ただし、今回の試験は初年目のため、当地域における「コシヒカリ」の NDVI 値のデータが無かったことから、NDVI 値に基づく可変施肥量の決定にあたっては、他地域の「コシヒカリ」での結果を基に推定した暫定的なものを使用した。そのため、今回の試験では可変施肥の効果はまだ十分に発揮できていないと考えられた。今回は予備試験のため、試験面積が小さく、詳しい解析まではできなかったため、今後も継続して検討する。

9. 問題点と次年度の計画

(1) 水稻の生育と NDVI 値等の関係や可変施肥技術について継続検討する必要がある。

10. 参考写真



写真1 マルチコプターによる空撮

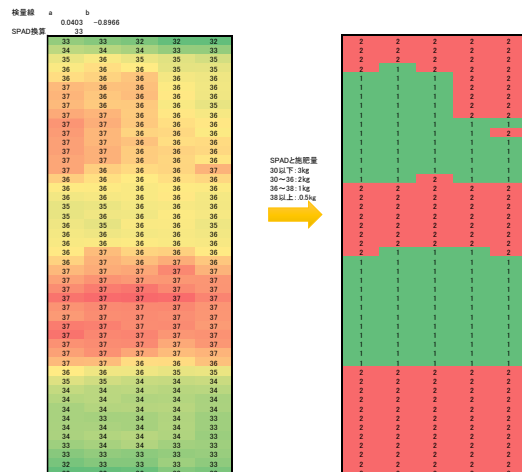


写真2 可変施肥量マップ

