

委託試験成績（令和4年度）

|  |  |
|--|--|
| 担当機関名<br>部・室名  | 秋田県農業試験場<br>企画経営室 スマート農業班  |
| 実施期間   | 令和3年度～令和4年度 継続   |
| 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   | 技師 石川祐介  |
| <p><b>【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</b></p> <p>1. 試験場所 秋田県農業試験場大区画ほ場 1ha×3筆（H-1、H-2、H-3）</p> <p>2. 試験方法</p> <p>前年度と同様に、水稻の生育差をつけるためグラデーション施肥を行い、NDVI データを取得し、生育データ、収量データとの関係について検討した。</p> <p>(1) 供試機械名 マルチスペクトルカメラ付きドローン（PHANTOM4MultiSpectrum、DJI 社）</p> <p>(2) 試験条件</p> <p>ア. 圃場条件 面積 1ha グライ土 H-1(2021)、H-2(2022)</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 2021年：N0～1.2kg/a（基肥一発肥料＋速効性肥料を組み合わせた6区）<br/>2022年：N0、0.4、0.7kg/a（基肥全層施肥）、N1.0kg/a（基肥側条施肥）<br/>基肥一発型肥料：ゆとり L588（15-8-8）、追肥無し</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> <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<br/>移植時：スタウトパディート箱粒剤 他適宜実施</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）</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～10時</p> <p>オ. 試験スケジュール</p> <p>①種子浸種：4/19～、②施肥：基肥全層施肥 4/19、基肥側条施肥 5/18、③耕起 4/21、④催芽：4/25～26、⑤播種 4/27、⑥代かき 5/12、⑦移植 5/18～19、⑧撮影・生育調査日：6/9、6/23、7/5（最高分げつ期）、7/14（幼穂形成期）、8/1（減数分裂期）、8/10（出穂期）、⑨成熟期調査日：9/27、⑩坪刈り日：9/30、⑪コンバイン収穫：10/6</p> |  |

### 3. 試験結果

#### 【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

- (1) 2022年のNDVI値、植被率、NDVI値×植被率は、生育ステージが進むにつれて増加し、7月14日（幼穂形成期）でやや減少した後は、ゆるやかに増加した。また、生育ムラで生じたNDVI値の幅は、基肥一発型肥料+速効性肥料を組み合わせる全層施肥を行った2021年よりも狭かった（図1）。
- (2) NDVI値と草丈、茎数の関係は、生育時期別でみると正の関係性がみられた。SPAD値は、植被率が飽和する最高分げつ期、幼穂形成期、減数分裂期で正の関係性がみられた（図2）。
- (3) 生育期間全体のNDVI値と生育指数（草丈×茎数）は、正の関係性があり、単回帰式  $y=59.477x$  ( $R^2=0.9542$ )、指数回帰式  $y=6.8542e^{2.6319x}$  ( $R^2=0.8009$ ) が得られた（図3）。
- (4) 得られた回帰式を耕種概要が同様の隣接したほ場の調査区（2021：H2、H3、2022：H1、H3の合計n数120）に適用し、生育指数の推定値を算出した。実測値と比較したところ、RMSEは、単回帰式で4.9、指数回帰式で6.0であった（図4）。
- (5) NDVI値と窒素吸収量は、正の関係性があり、単回帰式  $y=9.6295x$  ( $R^2=0.9394$ )、指数回帰式  $y=0.3465e^{4.6297x}$  ( $R^2=0.8509$ ) が得られ、このことから窒素吸収量の推定が可能であると考えられた（図5）。
- (6) 生育時期別NDVI値と坪刈収量（精玄米重）は、いずれのステージでも正の関係性がみられ、収量66kg/aのときのNDVI値は、最高分げつ期で0.58、幼穂形成期で0.63、減数分裂期で0.70であった（図6）。

### 4. 主要成果の具体的データ

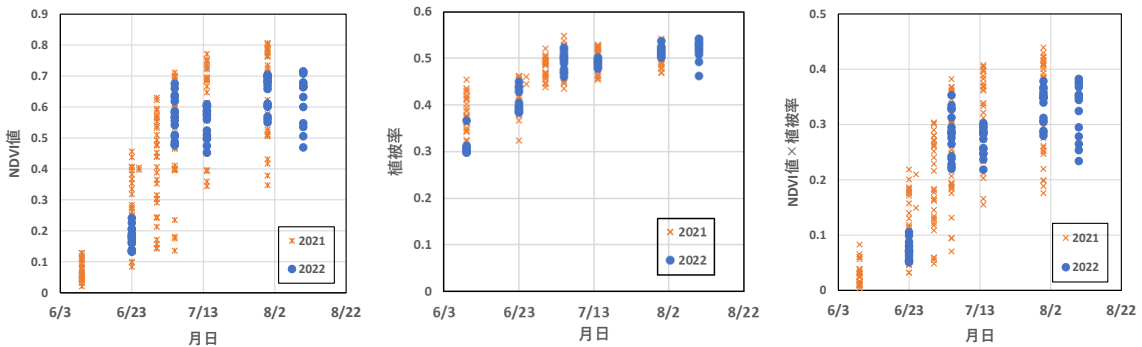


図1 NDVI値・植被率・NDVI値×植被率の経時変化（左：NDVI値、中央：植被率、右：NDVI×植被率）

注)2021～2022年のデータ

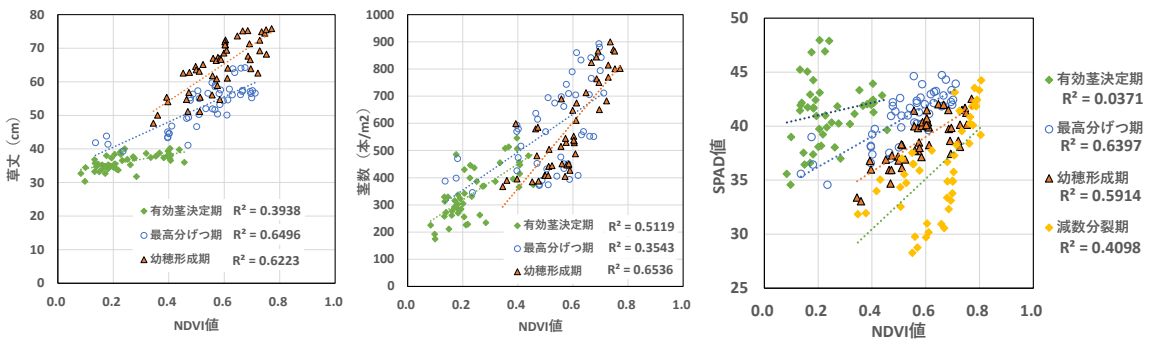


図2 NDVI値と草丈・茎数・SPADの関係（左：草丈、中央：茎数、右：SPAD値）

注)2021～2022年のデータ

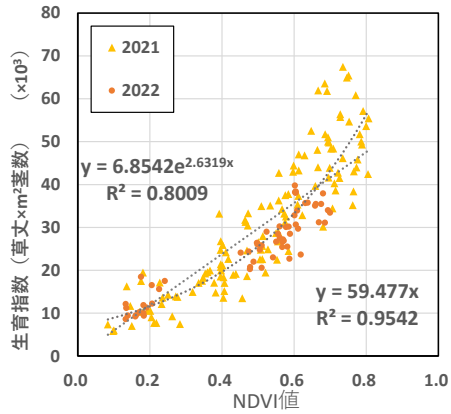


図3 NDVI値と生育指数の関係(2021~2022年)  
 注1) 単回帰および指数回帰は2年分のデータから算出  
 注2) 単回帰の切片は0とした

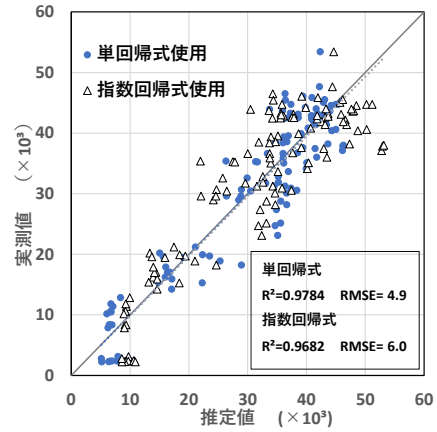


図4 NDVI値から推定した生育指数と実測値の関係(2021~2022)  
 注1) 推定値は、耕種概要が同様の隣接したほ場の調査区(2021: H2, H3, 2022: H1, H3, n=120)を適用し、生育指数の推定値を算出  
 注2) 図3回帰式に代入して得られた推定値と実測値の関係

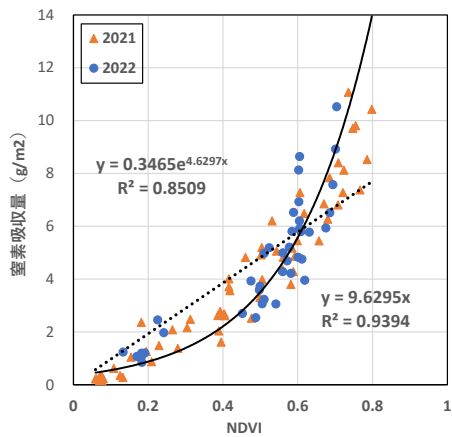


図5 NDVI値と窒素吸収量の関係(2021~2022年)  
 注1) 単回帰および指数回帰は2年分のデータから算出  
 注2) 単回帰の切片は0とした

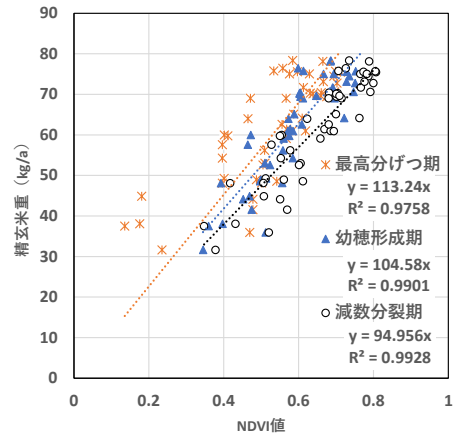


図6 生育時期別 NDVI値と坪刈り収量(精玄米重)の関係(2021~2022年)  
 注) 精玄米重は、15%水分換算  
 注) 切片は0とした

## 【試験2】収量マップデータを活用した基肥可変施肥による収量安定化技術

2022年度は、収量の安定化を目的として、マッピングコンバインで得られた前年の収量マップを基に、可変施肥ブロードキャストで基肥可変施肥を行った。

1. 試験場所 秋田県農業試験場大区画ほ場 1ha×3筆 (H-1、H-2、H-3)

### 2. 試験方法

(1) 供試機械名 マルチスペクトルカメラ付きドローン (PHANTOM4MultiSpectrum、DJI 社)  
可変施肥ブロードキャスト (MGC603PN、(株)IHI アグリテック社)  
マッピングコンバイン (YH6115、ヤンマー (株) 社)

### (2) 試験条件

ア. 圃場条件 面積 1ha グライ土 H-3

イ. 栽培等の概要

①品種名 めんこいな

②施肥・方法 N1. 1、1. 2、1. 3kg/a (可変施肥ブロードキャストによる基肥全層施肥)  
基肥一発型肥料：ゆとり L588、追肥無し  
設定散布幅 10m、長辺隣接往復散布、  
設定施肥量は、N1. 2kg/a (現物量 8kg/a) を基準に設定した。

### ③試験区の構成

2021年は、無倒伏であった。そこで2021年の収量マップを基に、ほ場全体の収量が84.7kg/aより低い連続したメッシュへN0. 1、0. 2kg/a増肥した(図8)。

- ・N1. 1kg区(増肥無し)：平均収量90.6kg/a、45メッシュ、76.8~104.4kg/a
- ・N1. 2kg区(N0. 1kg増肥)：平均収量83.1kg/a、6メッシュ、76.4~81.6kg/a
- ・N1. 3kg区(N0. 2kg増肥)：平均収量79.5kg/a、49メッシュ、70.2~91.0kg/a

ウ. 調査項目 施肥散布精度(ほ場全体の散布量、試験区毎の散布量)、生育調査(草丈・茎数・SPAD値)、幼穂形成期のNDVI値、収量調査(坪刈り・マッピングコンバイン計測値)

エ. 試験スケジュール コンバイン収穫日：2022年10月10日、その他は、試験1と同様

### 3. 試験結果

(1) 可変施肥ブロードキャストによるほ場全体の実散布量は、839.0kgで、設定値802.7kgとの差は、+36.3kg(104.5%)であった(表1)。

(2) 肥料散布後、各施肥区の肥料を回収した結果、N1. 1kg/a区、N1. 2kg/a区、N1. 3kg/a区の肥料回収量は、50.7g/m<sup>2</sup>、57.6g/m<sup>2</sup>、62.7g/m<sup>2</sup>で、回収率は69.2~72.3%であった。施肥基準としたN1. 2kg/a区を100としたときの比は、N1. 1kg/a区で88.0%、N1. 3kg/a区で108.8%と理論値に近かった(表2)。

(3) 長辺隣接往復で肥料散布したところ、トラクタの旋回部のほ場短辺付近で散布ムラがみられ、幼穂形成期に撮影したNDVI値マップ(7/14)の生育ムラ及び収量マップの収量ムラと一致した(図7)。

(4) 散布ムラがみられた両短辺5メッシュずつを除いた90メッシュの総収量は、7155kgで前年対比94%であった(表3)。なお、秋田県全体の作況指数は、2021年は102で、2022年は95と7ポイントの低下であった(データ省略)。

(5) N1. 1kg/a区、N1. 2kg/a区、N1. 3kg/a区のメッシュ平均収量は、それぞれ80.3kg/a、78.3kg/a、79.0kg/aで、前年対比は、それぞれ89%、94%、99%であった。可変施肥により増肥した2区の減収率が低かった(表3)。

(6) 各年次のほ場単収を100としたときのメッシュ毎の収量指数の度数分布をみると、97未満では、2021年のN1. 2kg区+N1. 3kg区が、35メッシュで、97.2%を占めたが、2022年では、12メッシュに減少し、その割合は52.2%であった。103以上では、2021年のN1. 2kg区+N1. 3kg区が0だったが、2022年では23メッシュに増加した(図8)。

(7) ほ場全体の収量に対するN1. 1kg/a区、区N1. 2kg/a区、N1. 3kg/a区の収量の割合は、それぞれ44.9%、6.6%、48.5%で、2021年よりも、試験区の面積割合と近似した。収量指数別のメッシュの度数分布と各試験区の収量割合の結果から、ほ場全体の均一化が図られたと考えられた(表4、図8)。

#### 4. 主要成果の具体的データ

**表1 可変施肥の設定値と実施用量**

| 区名      | 面積  | 設定散布量  | 設定散布量  | 実散布量  | 設定散布量との差 |       |
|---------|-----|--------|--------|-------|----------|-------|
|         | a   | kg/10a | kg/区面積 | kg/ほ場 | kg       | %     |
| N1.1kg区 | 45  | 73.3   | 330    | -     | -        | -     |
| N1.2kg区 | 6   | 80     | 48     | -     | -        | -     |
| N1.3kg区 | 49  | 86.7   | 424.7  | -     | -        | -     |
| 合計      | 100 | -      | 802.7  | 839.0 | +36.3    | 104.5 |

**表2 各施肥区の散布精度**

| 区名      | 設定値                       |              | 実測値                     |              |          |
|---------|---------------------------|--------------|-------------------------|--------------|----------|
|         | 理論散布量<br>g/m <sup>2</sup> | N1.2kg比<br>% | 回収量<br>g/m <sup>2</sup> | N1.2kg比<br>% | 回収率<br>% |
| N1.1kg区 | 73.3                      | 91.6         | 50.7                    | 88.0         | 69.2     |
| N1.2kg区 | 80                        | (100)        | 57.6                    | (100)        | 72.0     |
| N1.3kg区 | 86.7                      | 108.4        | 62.7                    | 108.8        | 72.3     |

注1) 肥料散布後、25cm×25cm範囲内の肥料を回収し、重量を計測した (n=8)。

注2) 回収率(%)は、回収量/理論散布量×100

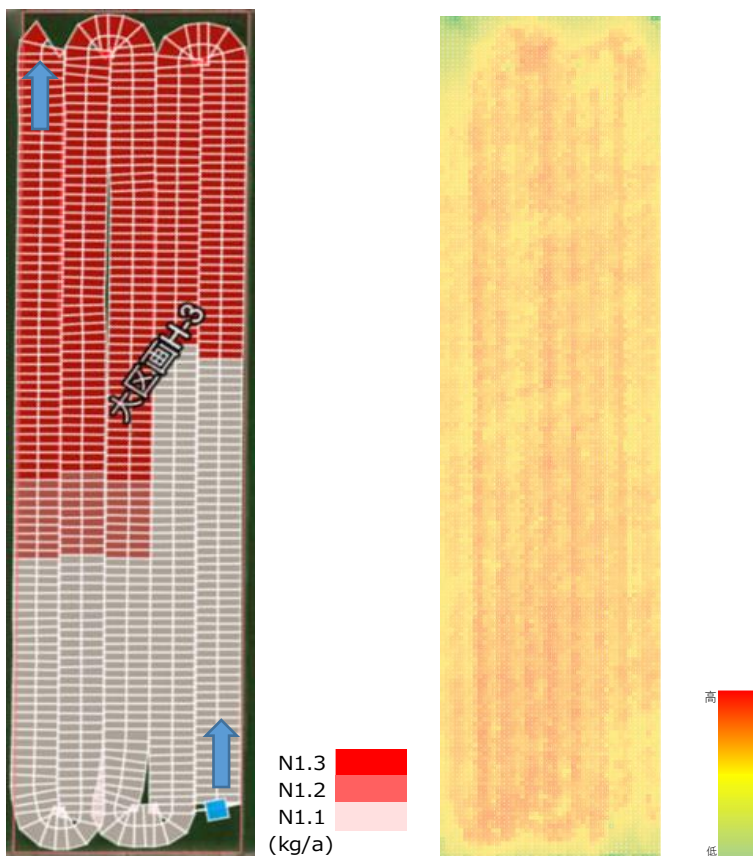


図7 可変施肥マップと幼穂形成期のNDVIマップの関係  
(左: 2022年可変施肥マップ、右: 2022年NDVIマップ)

|      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |       |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| 71.4 | 81.0 | 78.6 | 74.7 | 77.8 | 80.1 | 78.4 | 79.2 | 82.9 | 85.0 | 87.4 | 92.6 | 94.1 | 95.1 | 95.0 | 91.6 | 91.6 | 84.8 | 98.9  | 76.8  |
| 71.9 | 85.4 | 80.2 | 82.0 | 85.3 | 80.9 | 82.5 | 82.8 | 87.8 | 90.9 | 88.8 | 94.2 | 94.0 | 93.6 | 87.7 | 86.2 | 88.3 | 95.3 | 85.4  | 81.7  |
| 77.0 | 71.6 | 80.8 | 72.5 | 74.4 | 80.2 | 76.9 | 76.0 | 79.4 | 80.5 | 82.3 | 83.9 | 85.4 | 86.2 | 88.0 | 93.7 | 89.1 | 86.5 | 92.1  | 104.4 |
| 70.2 | 78.8 | 82.5 | 79.8 | 80.1 | 81.5 | 81.6 | 80.1 | 78.8 | 76.4 | 77.6 | 79.7 | 83.3 | 89.1 | 88.5 | 92.7 | 98.5 | 78.4 | 102.8 | 104.4 |
| 91.0 | 81.5 | 78.5 | 80.5 | 80.7 | 83.7 | 82.4 | 81.6 | 81.2 | 82.4 | 81.4 | 83.2 | 83.3 | 85.8 | 86.3 | 89.1 | 91.7 | 89.6 | 92.5  | 98.1  |

|      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 55.5 | 66.9 | 78.6 | 83.1 | 83.1 | 85.8 | 85.1 | 83.7 | 82.4 | 77.2 | 77.8 | 83.1 | 85.6 | 87.2 | 92.7 | 81.8 | 76.3 | 75.4 | 81.0 | 94.8 |
| 57.7 | 72.8 | 83.7 | 85.4 | 87.3 | 81.7 | 82.7 | 80.3 | 75.6 | 77.8 | 80.0 | 83.5 | 83.6 | 82.3 | 79.0 | 75.6 | 74.2 | 78.7 | 66.7 | 72.2 |
| 55.4 | 72.1 | 77.9 | 78.8 | 81.8 | 82.5 | 75.5 | 72.7 | 73.4 | 74.0 | 78.5 | 76.4 | 76.7 | 78.8 | 77.6 | 77.9 | 71.9 | 79.1 | 74.0 | 71.7 |
| 54.7 | 74.6 | 84.9 | 80.4 | 82.4 | 80.3 | 78.8 | 75.2 | 73.4 | 71.3 | 69.3 | 76.5 | 79.8 | 83.1 | 84.2 | 86.5 | 70.4 | 70.7 | 81.2 | 78.8 |
| 58.7 | 60.6 | 73.8 | 86.7 | 85.3 | 94.9 | 81.8 | 79.3 | 79.2 | 77.4 | 77.6 | 79.0 | 81.6 | 85.9 | 89.4 | 88.2 | 90.0 | 79.2 | 84.6 | 83.5 |

③  
N1.3kg区

②  
N1.2kg区

①  
N1.1kg区



図8 2021収量マップ(上)と2022収量マップ(下)

注1) 収量マップ: 10mメッシュ

注2) メッシュ値の単位: kg/a

注3) 2021年の施肥量は、一律N1.0kg/10a(側条施肥)

注4) ①: N1.1kg区(45メッシュ)、②: N1.2kg区(6メッシュ)、③: N1.3kg区(49メッシュ)

注5) グラデーションの濃淡は、同じレンジに統一

表3 合計粗収量と各試験区毎の粗収量平均

| 作付年度    | 可変施肥の有無 | 使用メッシュ数 | 粗収量合計 kg/ほ場 | 粗収量平均 kg/a | N1.1kg区 kg/a | N1.2kg区 kg/a | N1.3kg区 kg/a | 最大 kg/a | 最小 kg/a | 標準偏差 kg/a |
|---------|---------|---------|-------------|------------|--------------|--------------|--------------|---------|---------|-----------|
| 2021    | 無       | 90      | 7626        | 84.7       | 90.3         | 83.1         | 79.9         | 103     | 72      | 6.3       |
| 2022    | 有       | 90      | 7155        | 79.5       | 80.3         | 78.3         | 79.0         | 95      | 61      | 5.8       |
| 前年対比(%) |         |         | 94          | 94         | 89           | 94           | 99           | 92      | 85      |           |

注1) 2021年の施肥量は、一律N1.0kg/a

注2) 100メッシュのうち、短辺上下5メッシュずつ計10メッシュを除外

注3) 収量マップの粗収量は、2カ年ともに水分補正なし

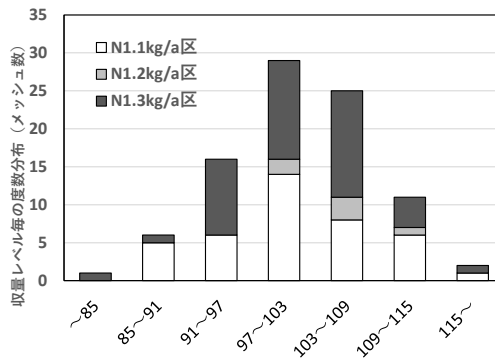
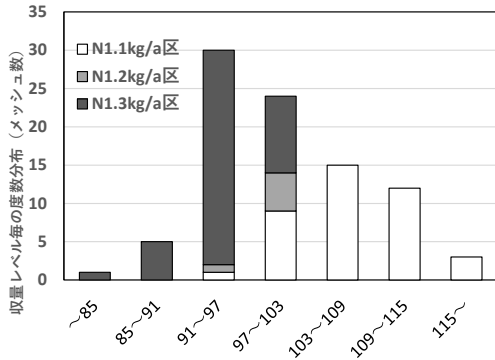


図8 収量指数別のメッシュ度数分布(2021年(左)、2022年(右))

注1) 100メッシュのうち、短辺上下5メッシュずつ計10メッシュを除外

注2) 2021年の施肥量は、一律N1.0kg/aであり、区名は、2022年に可変施肥された施肥量となっている。

**表4 試験区毎の面積比に対する籾収量比**

|         | 各試験区的面積             |       | 2021合計籾収量 |       | 2022合計籾収量 |       |
|---------|---------------------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
|         | m <sup>2</sup> /区面積 | 割合(%) | kg/区面積    | 割合(%) | kg/区面積    | 割合(%) |
| N1.1kg区 | 4,000               | 44.4  | 3612      | 47.4  | 3210      | 44.9  |
| N1.2kg区 | 600                 | 6.7   | 499       | 6.5   | 470       | 6.6   |
| N1.3kg区 | 4,400               | 48.9  | 3515      | 46.1  | 3475      | 48.5  |
| 合計      | 9,000               | 100   | 7626      | 100   | 7155      | 100   |

注1) 2021年の施肥量は、一律N1.0kg/a

注2) 100メッシュのうち、短辺上下5メッシュずつ計10メッシュを除外

注3) 収量マップの籾収量は、2カ年ともに水分補正なし

## 5. 経営評価

2022年の秋田県全体の作況指数は、95で、2021年から7ポイント減少しており、本試験においても、ほ場全体の籾収量は、前年対比94%と減収した。増肥したN1.2kg/a区とN1.3kg区の籾収量は、増肥していないN1.1kg区（前年対比89%）よりも収量の低下が抑えられたことから、ほ場全体の収量低下が抑えられたと考えられる。仮に可変施肥により増肥しなければ、増肥していないN1.1kg区と同等にはほ場全体の収量が低下した場合で試算すると、籾収量は376kg/ha低下し、販売額が51,600円/ha減少していたと推定される（玄米単価：12,000円/60kg、肥料単価：3200円/20kg袋、水分15%補正、籾すり歩合75%）。

今回の試験では、可変施肥によって施肥量が69.4kg/ha増加し、肥料代11,104円/haが掛かり増しになっており、可変施肥の効果は、差し引き40,496円/haと試算された。

## 6. 利用機械評価

### (1) 可変施肥ブロードキャスタ (MGC603PN)

ほ場全体の実散布量は、839.0kgで、設定値802.7kgとの差は、+36.3kg(104.5%)であった。肥料散布後、各施肥区の肥料を回収した結果（肥料回収率69.2~72.3%）、施肥基準としたN1.2kg/a区を100としたときの比は、N1.1kg/a区で88.0%、N1.3kg区で108.8%と理論値に近かった。

### (2) マルチスペクトルカメラ付きドローン (P4M)

今回の撮影条件下での撮影時間は、4haで7~8分で、バッテリー残量は、フル充電で使用した場合で60~70%と、バッテリー残量に余裕があった。

### (3) マッピングコンバイン (YH6115)

マッピングコンバインによる籾収量マップを基に、ブロードキャスタで基肥可変施肥を行った結果、ほ場内の収量の均一化が図られたことから、収量安定化技術として有効なツールであると考えられた。

## 7. 成果の普及

農業者や普及指導員、関係機関等へ情報提供していく。

## 8. 考察

### 【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

- ・生育期間全体のNDVI値と生育指数は、正の関係性があり、生育指標への活用が示唆された。
- ・生育期間全体のNDVI値と窒素吸収量は、正の関係性があり、このことから窒素吸収量の推定が可能であると考えられた。
- ・生育時期別NDVI値と坪刈収量（精玄米重）は、最高分げつ期、幼穂形成期、減数分裂期のいずれのステージでも正の関係性がみられたことから、収量の推定が可能であると考えられた。

【試験2】収量マップデータを活用した基肥可変施肥による収量安定化技術

- ・ほ場全体の籾収量は、作柄の影響で前年より低下したが、基肥可変施肥により増肥した区の減少率は低かったことから、ほ場の収量ポテンシャルの最大化を図ることができたと考えられる。
- ・ほ場全体の籾収量に対する N1. 1kg/a 区、区 N1. 2kg/a 区、N1. 3kg/a 区の籾収量の割合は、それぞれ 44.9%、6.6%、48.5%で、2021 年よりも、試験区の面積割合と近似した。収量指数別のメッシュの度数分布と各試験区の収量割合の結果から、ほ場全体の均一化が図られたと考えられた。

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、精度を確認する必要がある。
- ・収量マップの刈取開始位置、短辺刈り、旋回位置が含まれるメッシュは、収量の計測精度が低い印象である。

10. 参考写真



写真1 肥料流量計で比重を計測している様子



写真2 肥料散布時の様子



写真3 マッピングコンバインによる収穫作業の様子