

委託試験成績（令和3年度）

担当機関名 部・室名	長野県農業試験場 作物部、環境部
実施期間	令和2年度～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	リモートセンシングによる水稲可変施肥マップを活用した、長野県オリジナル品種の高品質・高位安定栽培技術の確立
目的	<p>長野県で普及が進んでいる主食用うるち米「風さやか」及び酒造好適米「山恵錦」に対して、マルチロータによるリモートセンシング、可変ブロードキャスタ及び可変施肥田植機による可変施肥（基肥）、無人ヘリによる可変施肥体系の導入による、スマート農業技術を活用した高品質・高位安定栽培生産体系を確立する。</p> <p>1 前年のリモートセンシングによる施肥（基肥）マップによる可変ブロードキャスタ及び可変施肥田植機による可変施肥（基肥）。</p> <p>2 NDVI 値と SPAD 値等のデータを収集し、幼穂形成期の生育診断指標を作成。</p> <p>3 生育マップから施肥マップ（追肥）を作成し、無人ヘリによる可変施肥（追肥）の実施。</p> <p>4 収量コンバインによるほ場間及びほ場内の収量変動の把握。</p> <p>5 グラディエーションほ場試験による NDVI 値及び植被率の指標作成。</p>
担当者名	作物部 上原 泰、環境部 諸 人誌

1. 試験場所

- ① 長野県大町市常盤（株）ヴァンベール平出 ほ場（標高 750m）
- ② 長野県須坂市小河原 長野県農業試験場育種部ほ場（標高 360m）

2. 試験方法

前年度試験の概要

前年度試験では、可変施肥による生育、収量の平準化効果がみられた。また、NDVI 値は生育指標（草丈×茎数×SPAD 値）及び収量と正の相関を示しており、植物体の養分状態を把握する上で、有用な指標となりうると考えられた。

（1）供試機械名：可変ブロードキャスタ（MGCPM）、可変施肥田植機（YR8D）、センシング用ドローン（P4M）、可変施肥対応無人ヘリ（YF390AX）、収量コンバイン（YH6115）」

I 長野県オリジナル品種「風さやか」の幼穂形成期の生育診断基準値の設定を目的としたセンシングデータと各生育パラメータ及び収量の関係性の把握

（1）試験条件

ア. 圃場条件

- ① 中粗粒質灰色低地土 ② 褐色低地土

イ. 栽培等の概要 品種：風さやか（主食用うるち米）

表1 2020年の栽培及び処理の概要

圃場名	年度	場所	面積	区制	移植日	収穫日	使用肥料	肥培管理	センシング及び生育調査実施日
大町圃場A	2020年	①	36m <sup>2</sup>	3処理4反復	5月8日	9月29日	大北N41 (N-P-K = 41-0-0 %)	Nのみ大北N41で各処理区に5.4、6.9、11.2kg施用 PKは無施用	6/15 7/3 8/19
大町圃場B	2020年	①	36m <sup>2</sup>	1処理4反復	5月8日	9月29日	大北N41 (N-P-K = 41-0-0 %)	Nのみ大北N41で5.3kg施用 PKは無施用	6/15 7/3 8/19
試験場内圃場	2020年	②	16m <sup>2</sup>	16処理無反復	5月27日	9月29日	硫安、重焼燐2号、塩化加里、風さやか専用一発	Nは基肥-追肥で、0-0、0-1.5、0-3、0-4、2-0、2-1.5、2-3、2-4、4-0、4-1.5、4-3、4-4、6-0、6-1.5、6-3、風さやか専用一発で施用PKは成分で7kgずつ施用	7/13 8/17

大町圃場の施肥は側条施肥で実施した（両年とも基肥一発肥料を施用したため追肥はなし）。

表2 2021年の栽培及び処理の概要

圃場名	年度	場所	面積	区制	移植日	収穫日	使用肥料	肥培管理	センシング及び生育調査実施日
大町圃場A	2021年	①	36m <sup>2</sup>	3処理3反復	5月8日	9月27日	大北一発S80 (N-P-K=19-18-11%)	各処理区に水稲一発大北S80をN成分で5.1、6.7、11.5kg施用	7/14 8/19
大町圃場B	2021年	①	36m <sup>2</sup>	1処理3反復	5月8日	9月27日	大北一発S80 (N-P-K=19-18-11%)	水稲一発大北S80をN成分で5.0kg施用	7/14 8/19
大町圃場C	2021年	①	36m <sup>2</sup>	1処理3反復	5月8日	9月27日	大北一発S80 (N-P-K=19-18-11%)	水稲一発大北S80をN成分で5.0kg施用	7/14 8/19
試験場内圃場	2021年	②	16m <sup>2</sup>	16処理無反復	5月25日	9月28日	硫安、重焼燐2号、塩化加里、風さやか専用一発	Nは基肥で0、2、4、6kg、追肥に0、1、5、3kgの組み合わせで施用 PKは成分で7kgずつ施用	7/12 8/18

ウ. 調査項目

- ・センシング：2020年は分げつ期、幼穂形成期前、穂揃期、2021年は幼穂形成期前、穂揃期に、マーカーによる局所的なセンシングを実施した。
- ・生育調査：センシング時に草丈、茎数、SPAD値を調査した。
- ・水稲窒素吸収量：センシング時に試料採取し、植物体を70℃で乾燥後粉碎し、CNコーダーで分析を行った。
- ・成熟期調査：両年とも9月上旬に稈長、穂長、穂数を調査した。
- ・収量調査：それぞれの圃場において表1、2に記載の収穫日に坪刈りを実施し、乾燥後全重、精玄米重を測定した。
- ・品質調査：穀粒判別機により整粒歩合、未熟粒率、タンパク含量等の玄米品質を測定した。

II 「山恵錦」の生育、収量、品質とセンシングデータの関係

(1) 試験条件

ア. 圃場条件 ①中粗粒質灰色低地土

イ. 栽培等の概要 品種名：山恵錦（酒造好適米）

表3 2020年、2021年の栽培及び処理の概要

区名	年度	ほ場数	移植日	収穫日	使用肥料	肥培管理 (10a当たり)	センシング及び生育調査実施日
基肥一発	2020年	2	4月28日	9月3日	水稲基肥-3015 (N-P-K=30-14-15%)	水稲一発大北S80をN成分で9.9kg施用	6/15 7/3 8/19
分施	2020年	4	4月28日	9月3日	アルプス清流 (N-PN-K=14-22-11%) NKC707 (N-P-K=17-0-17%)	アルプス清流をN成分で6.3kg施用 NKC707をN成分で2.6kg施用 (7/10)	6/15 7/3 8/19
プロキヤス	2021年	2	4月28日	9月3日	大北一発S80 (N-P-K=19-18-11%)	水稲一発大北S80をN成分で10.2~12.2kg施用	6/30 8/17
基肥一発	2021年	4	4月28日	9月3日	大北一発S80 (N-P-K=19-18-11%)	水稲一発大北S80をN成分で10.5~10.9kg施用	6/30 8/17
分施	2021年	3	4月28日	9月3日	アルプス清流 (N-PN-K=14-22-11%) NKゴールドパワー (N-P-K=20-0-14%)	アルプス清流をN成分で6.7~7.0kg施用 NKゴールドパワーをN成分で3.4~3.7kg施用 (7/9)	6/30 8/17

ウ. 調査項目

施肥量（移植日、追肥日）、センシング（特別解析含む）、幼穂形成期（6月30日）、穂揃期（8月17日）。生育調査：センシング時、成熟期調査（8月17日）、収量調査（9月3日）。

3. 試験結果

I 長野県オリジナル品種「風さやか」の幼穂形成期の生育診断基準値の設定を目的としたセンシングデータと各生育パラメータ及び収量の関係性の把握

(1) 現地（長野県大町市）と農業試験場における2か年の栽培試験から、本県オリジナル

品種「風さやか」栽培時の NDVI 値は生育指標、窒素吸収量と強い正の相関を示した（表 I-1）が、SPAD 値とは有意な相関を示さなかった。植被率は生育指標、窒素吸収量と正の相関を示した（表 I-1）ものの、茎数及び SPAD 以外の相関係数は NDVI 値の方が高かった。また、肥培管理上重要な生育診断時期である幼穂形成期のみを抜き出して評価しても NDVI 値は、生育指標及び窒素吸収量と強い正の相関を示した（表 I-2、図 I-1）。

(2) 農業試験場における 2 か年の幼穂形成期の NDVI 値と玄米収量は有意な正の相関を示していた（図 I-2）。本試験期間 2 か年の NDVI 値からの風さやかの収量推定式を作成すると、玄米収量=439.8×(NDVI 値)+466.9 となった。本県の「風さやか」の目標収量値 686 kg/10a に対応する NDVI 値は 0.5 であった。

## II 「山恵錦」の生育、収量、品質とセンシングデータの関係

- (1) 幼穂形成期及び穂揃期の NDVI と SPAD 値、穂揃期の NDVI 値と桿長+穂長の間には、有意な相関関係がみられた（データ略）。
- (2) 「山恵錦」の収量は、低収年であった 2020 年より 2021 年は、分施肥系 659kg/10a、基肥一発体系 657kg/10a と高い収量となった（図 II-1）。収量の変動係数は、2020 年より 2021 年は低下し、可変施肥による平準化効果がみられた（図 II-2）。
- (3) 幼穂形成期の NDVI 値と収量の関係を図 II-3 に示す。2021 年の幼穂形成期における NDVI 値及びそのばらつきと収量には、以下の有意な回帰式が得られた。
- 2022 年：収量=611×NDVI 値-7×ばらつき+371  
 (n=9、自由度修正決定係数  $r^2=0.75$ 、P 値=0.0065)
- 参考：2020 年：収量=285×NDVI 値-9.5×ばらつき+352  
 (n=6、自由度修正決定係数  $r^2=0.56$ 、P 値=0.13)
- 複数年の有効な回帰式が得られれば収量の予測、追肥の可否及び量の決定が可能となり、収量の高位安定化に大きく寄与できる。
- (4) 酒造好適米の品質項目である心白率について、2021 年の幼穂形成期の NDVI 値と有意な負の相関関係がみられた（図 II-4）。また、タンパク質含有率は、2 年ともに幼穂形成期の NDVI 値と有意な相関関係がみられた（図 II-5）。これらの関係から、NDVI 値は 0.7 を上限に高めていくと酒造好適米の品質向上となると推察された。
- (6) 幼穂形成期の NDVI 値は、2021 年より 2020 年は変動が大きく、年次のばらつきがみられた。
- (7) ブロードキャストの可変施肥は、可変施肥田植機と比較すると穂揃期の NDVI 値のばらつきはやや高く、収量コンバインの変動係数は差が小さかったが、観察では生育のばらつきがみられた（データ略）。

## 4. 主要成果の具体的データ

### I 長野県オリジナル品種「風さやか」の幼穂形成期の生育診断基準値の設定を目的としたセンシングデータと各生育パラメータ及び収量の関係性の把握

表 I-1 「風さやか」における幼穂形成期前、出穂期の NDVI 値及び植被率と各生育パラメータの相関行列

	NDVI	植被率
草丈	0.863 ***	0.656 ***
茎数	0.072	0.186 *
SPAD	0.005	-0.066
生育指標	0.742 ***	0.621 ***
窒素吸収量	0.847 ***	0.707 ***
NDVI		0.689 ***

相関係数は spearman の順位相関係数を示した。\*は  $p < 0.05$ 、\*\*は  $p < 0.01$ 、\*\*\*は  $p < 0.001$  を示す。

表 I-2 「風さやか」における幼穂形成期前の NDVI 値及び植被率と各生育パラメータの相関行列

	NDVI	植被率
草丈	0.753 ***	0.575 ***
茎数	0.494 ***	0.604 ***
SPAD	0.396 **	-0.007
生育指標	0.826 ***	0.712 ***
窒素吸収量	0.820 ***	0.666 ***
NDVI		0.796 ***

相関係数は spearman の順位相関係数を示した.\*は  $p < 0.05$ 、\*\*は  $p < 0.01$ 、\*\*\*は  $p < 0.001$  を示す。

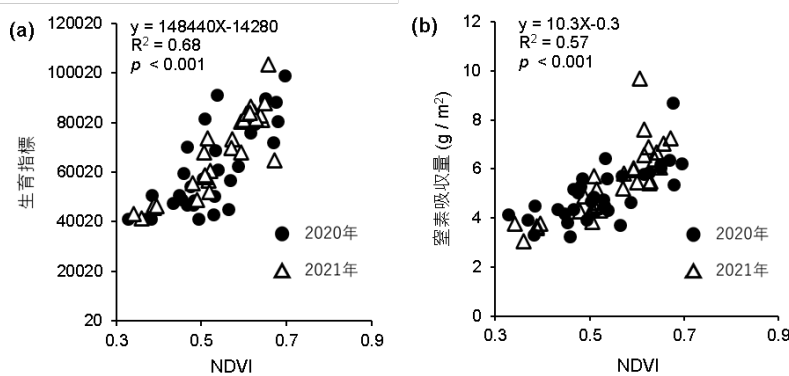


図 I-1 「風さやか」栽培時における幼穂形成期の NDVI 値と生育指標、窒素吸収量の関係。

NDVI 値と生育指標（草丈×茎数×SPAD 値）の関係 (a)、NDVI 値と窒素吸収量の関係 (b)。

水稻の窒素吸収量は作物体を 70℃で一晩乾燥後粉碎し、CN コーダーで分析した。

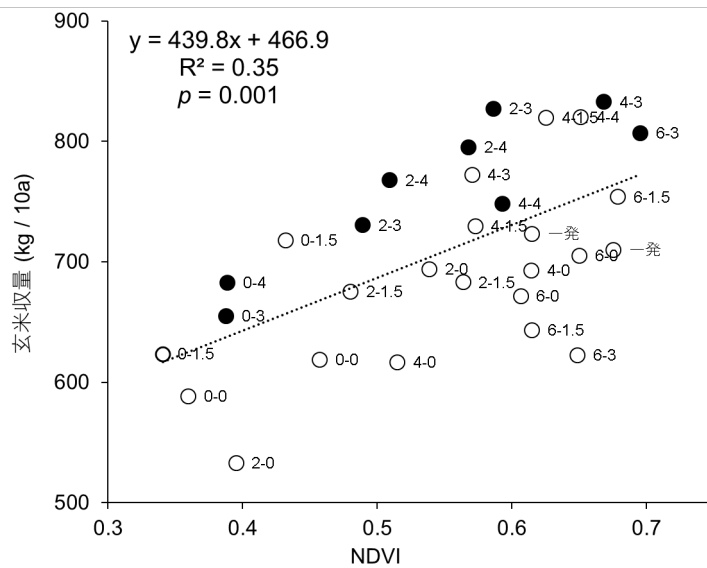


図 I-2 「風さやか」栽培時における幼穂形成期の NDVI 値と玄米収量の関係。

図中のラベルは基肥量(kgN/10a)-追肥量(kgN/10a)を示す。●はタンパクの値が県基準値の 6.5 より大きく、○は 6.5 以下を示す。

## II 「山恵錦」の生育、収量、品質とセンシングデータの関係

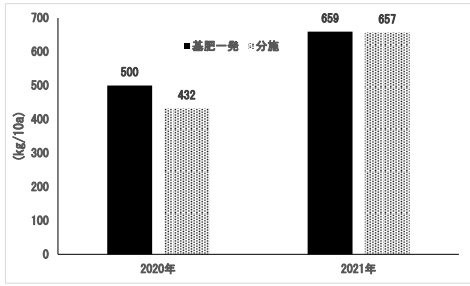


図 II-1 施肥体系別の収量の推移

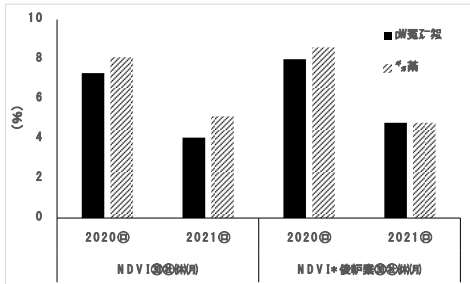


図 II-2 穂揃期の NDVI 値、NDVI 値×植比率のばらつきの推移

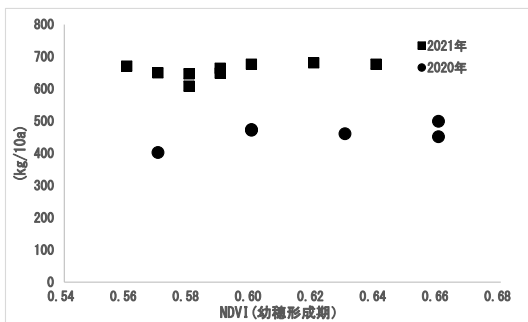


図 II-3 NDVI 値と収量の関係

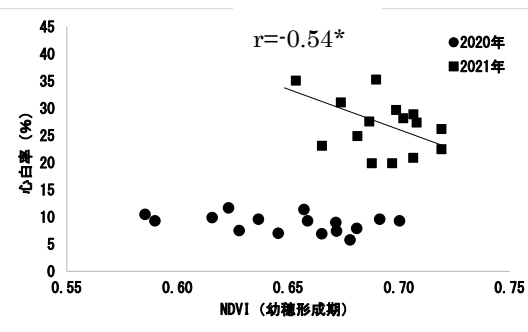


図 II-4 NDVI 値と心白率の関係

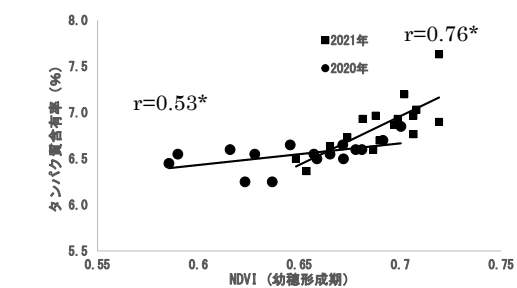


図 II-5 NDVI 値とタンパク質含有率の関係

## 5. 経営評価

山恵錦について、可変施肥田植機と収穫量マッピング機能付きコンバインによる試験体系と機能のない同等機種の慣行体系について、経営規模 50ha の減価償却費を試算しセンシング費用を加味して経費を検討した。試験体系の 10a 当たり費用は 12,787 円、慣行体系は 10,486 円で、試験体系は 2,393 円上回った。経費を同等とするためには、試験体系は、山恵錦を 12kg/10a (2020 年の概算払金算出根拠) 増収する必要がある。本試験体系により、品質向上が認められ、販売価格に反映されることを期待したい。

## 6. 機械利用評価

目標施肥量に対する実散布量は、ブロードキャストは 98.9%、可変施肥田植機は 99.8%、RC へリ (追肥) は 92.3% と高い精度で施肥が行えた。2020 年度に供試した収量コンバインは、試験実施経営体の評価が高く、2021 年度購入し、2021 年の試験で使用させて頂いた。6 月 30 日のドローンセンシングは、急激な天候変化による天候エラーとの報告を頂いた。

天候変化時に撮影可否の判断ができるオペレータ育成及びエラー時の即時対応可能な体制整備が必要と思われた。但し、通常解析結果の詳細マップと特別解析結果から抽出した NDVI 値を照合した結果、通常解析結果も有効と判断した。

## 7. 成果の普及

課題 I の「長野県オリジナル品種「風さやか」の幼穂形成期の生育診断基準値の設定を目的としたセンシングデータと各生育パラメータの関係性の把握」で得られた成果の一部は本県の令和 3 年度普及に移す農業技術 (技術情報) として提案を予定している。

## 8. 考察

### I 長野県オリジナル品種「風さやか」の幼穂形成期の生育診断基準値の設定を目的としたセンシングデータと各生育パラメータ及び収量の関係性の把握

(1) 本県オリジナル品種である「風さやか」栽培時の NDVI 値は生育指標 (草丈×茎数×SPAD 値)、窒素吸収量と強く正の相関を示し、その傾向は肥培管理上重要な生育診断時期である幼穂形成期前においても明瞭であった。このことから、「風さやか」栽培時においても水稻生育診断に NDVI 値の利用は有効であると考えられた。

一方で、植被率と各生育パラメータとの関係は、NDVI 値と同様の傾向を示すものの各パラメータとの相関係数は茎数を除いて NDVI 値との関係の方が高かった。また、植被率の値は NDVI 値と比べて狭い範囲に集約するため、その関係式は後半で解像度が低かった。そのため、「風さやか」において各パラメータの推定とそれをもとにした肥培管理の検討を目的とする場合は、NDVI 値の利用が有効と考えられた。

(2) 求めた推定式より、NDVI 値が 0.5 以下の場合には目標収量に満たない可能性が示唆された。一方で本試験中 2 か年においては、NDVI 値が 0.5 以下であっても、3kg 以上の追肥を行うとタンパク値が目標の 6.5% を超えてしまう場合があった。そのため、幼穂形成期前の NDVI 値が 0.5 を切るような場合は、1.5 kg 以上 3kg 未満の追肥を行うか、次年度以降生育前半の生育量が確保できるように基肥の設計を変える必要があると考えられた。

### II 「山恵錦」の生育、収量、品質とセンシングデータの関係

(1) 幼穂形成期の NDVI とそのばらつきから収量が予測可能で、複数年に当てはまる回帰式が得られれば、収量の予測、追肥の可否及び量の決定が可能となり、収量の高位安定化に大きく寄与できる。但し、NDVI の年次変動がみられるため、3 年間データにより回帰式が得られるか検討が必要である。

(2) 酒造好適米の品質項目である心白率、タンパク質含有率と NDVI 値は有意な相関関係がみられ、目標の NDVI が設定可能と思われ、ドローンセンシングが酒造好適米の品質向上に有効と考えられる。

(3) 以上から、ドローンセンシングは、長野県オリジナル品種の高品質・高位安定栽培に寄与できる。

(4) SPAD 測定等生育、収量調査は労力から調査点数は限定されるが、ドローンセンシング及び収量コンバインは広範囲で多くのほ場で精密なデータ収集可能であり、精度の高い品質、収量予測が可能となると思われる。

### 9 問題点と次年度の計画

2020 年は低収年となり、2021 年は平年並みの収量となり、変動が大きかった。NDVI 値も2カ年で変動幅の違いがみられた。3カ年の試験により、NDVI 値等から収量の予測式、収量及び最適な品質が得られる NDVI 値指標の作成を目指す。

### 10. 参考写真



写真1 試験ほ場で生産された「山恵錦」の日本酒

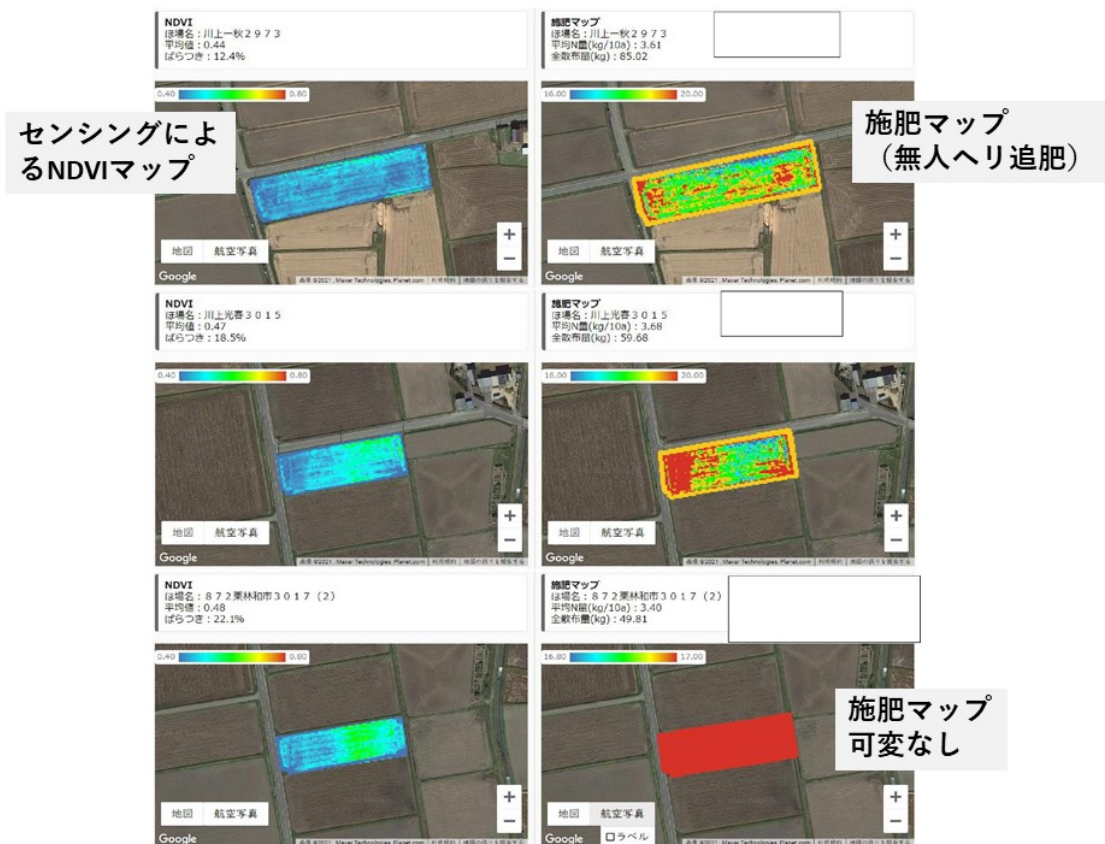


写真2 NDVI マップと施肥 (無人ヘリ追肥) マップ

