

スマート農業技術導入手引き書 (水田作)

ドローン測量を用いた水田における
均平化技術の活用のための手引き

令和6年3月

実施グループ名: 農地均平化技術普及促進グループ
(活用支援ID: 援C05)

代表機関: (株)スカイマティクス

目次

はじめに.....	3
第1部 この手引き書の概要.....	5
1.この手引き書で取り上げる営農体系と品目.....	5
2.この手引き書で取り上げるスマート農業技術活用産地支援の項目.....	5
3.この手引き書で取り上げる技術.....	5
4.産地の現状と取り組む目的.....	5
5.期待される成果.....	5
6.この手引き書の活用面と留意点.....	6
第2部 スマート農業技術活用産地支援を成功に導くポイント.....	7
1.この手引き書で伝えたいポイント.....	7
2.地域(産地)における取組の手順.....	7
3.導入技術の定着のための要件.....	9
第3部 スマート農業技術活用産地支援の取組内容と実施状況(ケーススタディ).....	10
1.空撮及び画像データ解析の方法.....	10
(1)撮影の依頼.....	10
(2)撮影方法.....	10
(3)ドローン撮影.....	11
(4)撮影中の注意事項.....	12
(5)撮影した画像の確認.....	12
(6)解析方法.....	12
(7)データの閲覧及び解釈.....	13
2.空撮画像の効果的な使用方法.....	13
(1)従来にない田面凹凸の可視化技術とそのメリット.....	13
(2)空撮の実際と高さ情報の測量.....	14
(3)空撮写真からのオルソ画像作成、2次元画像への落とし込み.....	14
(4)凹凸情報の活用.....	14
3.凹凸形状に合わせた推奨する均平方法.....	17
(1)機械による高低差の発生.....	17
(2)栽培管理や乾燥による地盤低下.....	19
(3)合筆跡：2ほ場以上の畦畔を取り払い、合筆した際にできたほ場の高低差.....	19
(4)ランダム：高低差がランダムに発生.....	20
4.均平化方法について.....	20
(1)レーザーレベラー.....	20
(2)ブルドーザー.....	23
(3)整地キャリア.....	25
5.均平化の効果.....	27
(1)スクミリンゴガイの被害低減.....	27
(2)除草剤の回数削減.....	30

(3) 収量や品質	31
(4) 均平化による労働時間の削減効果、水管理や除草時間など	32
(5) 水田均平化の費用や時間について	33
第4部 参考情報	35
1. 現地指導のタイムライン	35
2. 現地指導で用いた技術	36
3. アンケートの様式	37
(1) 5月に生産者へ実施したアンケート	37
(2) 11月に生産者へ実施したアンケート	38
この手引き書の著作権について	39
この手引き書の問い合わせ先	39

はじめに

千葉県の水田地帯では、農業生産者の高齢化や担い手不足が深刻化している。そのため、集落営農組織の設立などで少数の担い手に農地が集積し、規模拡大が進んでいる。それに伴い、ほ場基盤の整備が行われて大区画ほ場の造成も進んでいる。このような背景から、生産者は、ほ場の管理に十分な時間をかけて対応することが困難となっている。その結果、スクミリンゴガイ(ジャンボタニシ)の被害増加や雑草繁茂、水稻生育の不均一化などのほ場の均平不足に起因する課題が多くなっている。

このように、ほ場の均平化作業は、大規模化する現状にあって必須なものである一方で、生産者が手軽に実施する体制は整っていない。また、作業を実施する時間は冬季に限られていることから、短期間で全てのほ場を均平化することは不可能である。そのため、不均平な農地を選択せざるを得ないが、ほ場ごとの均平程度を施工前に把握する手段がない。加えて、ほ場の均平化を促進するためには、レベラー作業機等の導入が精度や効率の点では望ましいが、作業時間、費用及び均平精度などが明確でないことが課題である。

本事業を実施した地域は、基盤整備が遅れており、かつ10~30a程度の比較的小さいほ場が多いため、均平化作業が普及していない。その上、農地の高低差傾向を確認する方法は、「湛水時の目視確認」である。そのため、雑草が繁茂しているほ場やスクミリンゴガイの被害の大きいほ場を夏季の間に確認し、その記憶を頼りに均平作業を実施する農地を選定している状況である。このため、均平化作業を行っても、ほ場内の高低差が大きく、スクミリンゴガイの発生と食害が多い。この地域において、ドローン測量や均平化作業を実施した結果、均平化により農地の高低差を解消し、作業性の改善やスクミリンゴガイの食害抑制効果が確認でき、ケーススタディとして有用な事例が得られた。しかし、レベラー作業機やトラクターダンプ等を用いた均平作業は、耕作者自身が農地管理の一環として行うことが原則であるが、生産者の事業規模によっては導入が過剰投資となる場合がある。また営農組織は、一般にそれらの機械を所有していない。それらのことから、ブルドーザー、レベラー作業機についてはオペレーターへの作業委託を、トラクターダンプについては機械をレンタルし、自身で均平作業を実施した。

本手引き書は、上記の活動を通じて得られた結果を基に、全国の生産現場で、ほ場の均平化を高い精度で効率的にしていくことを目的に作成した。併せて、除草剤の効果低減や水稻の生育のばらつきなど、農地の均平不足が原因で生じるその他の弊害に対する改善効果についても検証したので、ここにその支援プロセスを報告する。

令和6年3月

支援実施グループ代表者 兼 活用推進担当者

野中 翔平

(株)スカイマティクス RaaS事業部)

・ 免責事項

- 当該実施グループ及び農研機構は、利用者が本手引き書に記載された技術を利用したこと、あるいは技術を利用できないことによる結果について、一切責任を負いません。
- 本手引き書に掲載された情報の正確性や完全性について、当該実施グループ及び農研機構は保証するものではありません。機械を利用することによる効果については、作物を栽培する地域、気候条件及び土壌条件等より変動することに留意してください。
- 製品の基本的な取扱いについては、製品に付属する取扱説明書を参照してください。
- 本手引き書中の図表、写真、イラストには農研機構が著作権を保有しているもの、第三者から転載・引用の許諾を得て掲載しているものが含まれます。複製には許諾が必要となります。

第1部 この手引き書の概要

1. この手引き書で取り上げる営農体系と品目

- ・水田作

2. この手引き書で取り上げるスマート農業技術活用産地支援の項目

- ・導入した(又はする)スマート農業技術の有効・効果的な活用(導入技術活用型)

3. この手引き書で取り上げる技術

- (1) ドローン測量と農地高低差解析
- (2) ほ場の均平化作業方法

4. 産地の現状と取り組む目的

農事組合法人「細草R・C」は、千葉県九十九里平野の中央部に位置する大網白里市細草地区において、水田約30haで水稻の栽培管理を行う集落営農組織である。本組織を含めた山武地域の多くの水稻経営体では、ほ場の均平作業を、入水後の代かき時に、水張り整地による方法で行っている。しかし、この方法では、水分を含んだ土を運ぶこととなるため作業負担が重く、作業者の経験や技能に頼るところが大きい精度にばらつきが生じやすい。さらに、高齢化の進展に伴い、一経営体当たりの作付面積が増加しており、一ほ場当たりにかける労力も限定されている。このため、均平化が不十分なほ場が多くなり、スクミリングガイの被害増大や除草剤の効果低下が生じている。このため、農薬の多投入や防除作業の増大、水稻の収量や品質が低下するなど水稻の栽培体系全体に悪影響が生じている。

そこで、本事業では、ほ場の均平化を促進するため、ドローン測量と農地高低差解析を組み合わせ対象ほ場を選択するとともに、費用対効果に優れた均平化方法を実施できる体系の作成に取り組んだ。

5. 期待される成果

(1) 均平作業の最適化

本事業において活用したスマート農業技術は、農地毎に「高低差マップ」を作成し、農地毎に均平程度を明らかにするものである。同技術により広域的に農地の均平度を調査することで、優先的に均平化を図るべき農地を選定できるようになり、結果的に均平作業の最適化ができる。

(2) 水稻の生育、収量の安定化

田面の均平精度の向上により浅水管理の徹底が図られ、スクミリングガイによる食害を防止できる。また、田面の均平度の向上は除草剤の効果の安定化にもつながり、雑草被害を受けていた部分が解消されることによる収量の増加が期待できる。

(3) 栽培管理の省力化

農地ごとの均平度を予め把握できることで、均平作業の効率化につながる。さらに、田面の均平精度の向上は、水稻の生育が均一化することによる追肥作業の省略や、初中期一発剤でとりこぼした雑草の抜き取り作業又は後期剤散布作業の省略にもつながり、水稻の栽培管理全体で省力化効果が得られる。

(4) 環境負荷低減

浅水管理の徹底によりスクミリングガイの食害活動が沈静化することで、これまで食害期間に複数回使用していた農薬の散布回数(千葉県防除基準としては現行3回)を削減できる。また、除草剤も初中期一発剤の効果が向上することで、散布回数を削減することができる。

(5) 経営収支の向上と地域水田農業の持続的発展

水稻の収量向上、経費削減及び省力化で、経営収支の向上が図れる。これらの効果により、本組織の経営の安定化と地域の水田農業の持続的発展につながる。

6. この手引き書の活用面と留意点

(1) 普及を想定している経営体の条件

経営体の規模により装備する機械(トラクタ、レベラー作業機、土運搬用機械等)が異なる。機械類を取得するには費用が多くかかるため、地元業者に委託を行うなどの工夫が必要である。

(2) 手引書と同様の効果を再現するための条件

装備する機械(トラクタ、レベラー作業機、土運搬用機械等)、ほ場規模(30a~1ha)、ほ場の形状(矩形、不整形)、均平前の最大高低差等の条件による作業能率や作業コストは第3部に示した。

なお、第3部で紹介するスクミリングガイの被害軽減については事例紹介であり、一般的な防除方法として確立してはいない点に留意すること。

(3) 他の経営体に応用するための具体的な方策

自前で作業する場合に必要なとする機械、作業請負企業等について、第3部に提示した。

第2部 スマート農業技術活用産地支援を成功に導くポイント

1. この手引き書で伝えたいポイント

本手引き書は、全国の水稲生産者及び指導機関に向けて、水稲栽培の共通の課題である農地の均平化を実現するための手段及び体系を説明するものである。

本事業の実施先である細草R・Cは、除草剤の効果を最大化する、水稲の生育を均一化するという従来の均平化ニーズに加え、スクミリングガイの食害の抑制という固有の課題を有している地域であり、その被害の度合いから均平化に対する生産者の課題意識が高く、また同地の普及指導機関においてもスクミリングガイ対策の研究・対策技術の普及が進められていた経緯もあり、本事業支援の対象とした。

均平化の課題意識は、地域性や生産者の考え方に依存する部分が強く、細草R・Cと同様に均平化に対する課題意識の高い地域や生産者を対象に展開を図っていく必要がある。

実際に、千葉県内の生産者を調査すると、スクミリングガイの被害を抑制したい、均平化により除草剤の効果を最大化したい、生育を均一化し収量を上げたいなどと考え、そのためには水を張った際に管理が均一にできる程度の均平化が必要であると意見がある。

また、ほ場整備事業完了後数年が経過した地域で見られるほ場の不等沈下や、簡易なほ場整備工事として畦畔除去を行った結果、元の高低差の影響が顕在化し問題となっている地域があり、このような地域で水稲及び高収益作物等の転作作物の安定生産を図る上で、潜在的なケースを含めて本技術が活用できると考えられる。

以上のような当産地及び活用が想定される産地における先進的な農業者や営農指導機関、普及指導機関等の関係機関が本技術を核として、それぞれの営農条件や課題に応じて栽培・生産体系を改善・確立する際に参考としていただきたい。なお、本事業で用いた測量技術や解析技術を使用する場合、10ha以上の面積を同時に行わないと、単価が非常に高くなる。そのため、集落や農業団体などで、地域として取り組むことを推奨する。

2. 地域(産地)における取組の手順

(1) 地域で計画を立てよう!

- 生産者へのヒアリングや夏場には場巡回の結果を基に座談会を実施
 - スクミリングガイ、稲の生育不良などほ場の不均平による問題があるか?
 - ほ場を大規模化したいか?などの問題の把握と生産者との共有



(2) ドローンで測量し、解析結果を活用!

- 10月ごろ 耕うん作業(秋耕し)を実施し、刈取残渣を漉き込む。



- 地域の測量会社に委託し、測量用ドローン¹で写真測量用の撮影を実施
- 撮影画像を画像データ解析システム(注 第4部参考情報を参照)へアップロードし、自動解析
- ほ場の均平化状況を確認して、生産者と一緒に、ほ場の優先順位をつける

(3)均平化作業を実施しよう!

- 12~2月 現地検討会で切土・盛土の作業を生産者が研修
 - ほ場の条件(湿田)や均平化に合わせて、機械を選択(合筆したい場合はブルドーザーなど)
 - 適した機械を持っていない場合は、地域内の土建事業者や機械を所有している生産者に委託する
- 3月 自主施工 生産者が持っている機械で施工
 - 農地毎の高低差解析結果を参考にしながら農機(ロータリー、ハロー等)による水張り整地作業を実施

(4)均平化したほ場の状態を確認しよう!

- 5月 雑草の発生状況を調査
- 6~7月 生産者にアンケート調査
スクミリングガイによる被害状況をドローンで調査
- 8月 水稻の収量や品質を調査
- 10月 生産者にアンケート調査

作業面での効率性、収穫実績等のデータに基づき、農業経営に対する改善効果を分析し、生産者と共有した。

(5)来年度の計画を作成しよう!

- 自分のほ場にあった均平化方法の確認
- 除草剤の使用回数や水管理時間の削減等、作業性の軽減
- 費用対効果の確認
- 次年度への反省を活かした計画作成やオペレーションを効率化



均平化を地域ぐるみで継続して促進できる体制を確立

¹ 測量用ドローン:RTK(Real Time Kinematic)による高精度な位置情報の取得と、写真に付与する位置情報をカメラセンサーの中心位置へと補正できるドローンを示す

3. 導入技術の定着のための要件

(1) ほ場の条件

大規模で区画整備ができていないほ場が向く。また、区画整備時には、畦畔を崩してほ場を大規模化するが、合筆前のほ場間の高低差が大きく、冠水した水が泳ぐため、均平かを行わないと除草剤の効果が低下する。その際に、本システムを用いると、合筆の際に高低差がわかるため、効率的に均平化をすることが可能となる。

(2) 地域でドローン測量と解析ができる仕組みの構築

均平化にあたり、地域の事業者への業務委託することで、ドローン測量による高低差解析及び均平化作業が可能である。

(3) 均平化を普及するための取組について

本プロジェクトにおいては、地域の事業者への委託により高低差解析及び均平化作業を実施している。生産者にアンケート調査したところ、均平化にかかる経費は30,000円/10aが限界とのこと（均平化を5年に1度行うと仮定、収量が1俵増加したと仮定）である。そのため、均平化するほ場の選定や均平化方法（作業委託、機械レンタル等）について、事前に検討しておく必要があると考えられる。

第3部 スマート農業技術活用産地支援の取組内容と実施状況 (ケーススタディ)

1. 空撮及び画像データ解析の方法

(1) 撮影の依頼

撮影依頼者は、システム上で対象農地を選択し、撮影の依頼をする。

撮影から解析に至るまでがサービスに含まれる。

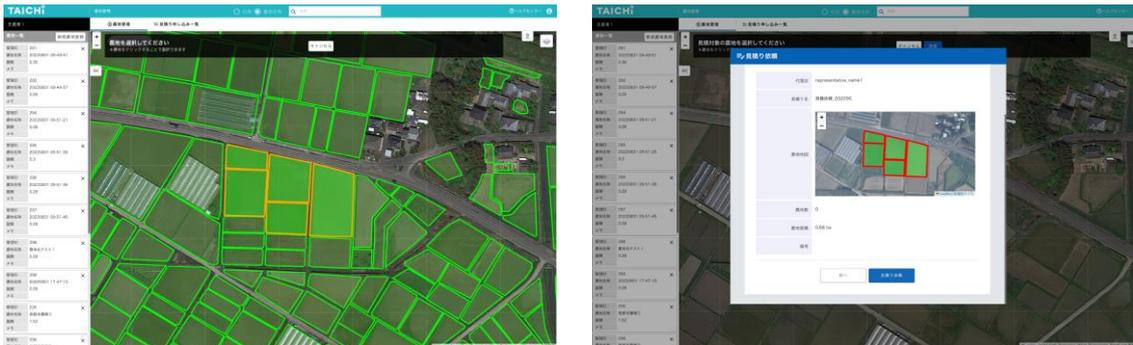


図1 画像データ解析システムの撮影依頼画面

(2) 撮影方法

撮影は、作業請負企業等が実施する。

① 使用に適したドローン(注 第4部参考情報を参照)

7ページ脚注1に示した性能を持つ「測量用ドローン」

② 撮影におけるドローンの設定

ドローンの自動航行アプリの設定は、下記の通りとする。

- ・オーバーラップ率:85%
- ・サイドラップ率:75%
- ・撮影高度:50~55m
- ・飛行速度:指定なし(デフォルト値)
- ・撮影モード:等距離撮影
- ・高度補正:オフ
- ・ジンバル角度:-90度(直下撮影)
- ・歪み補正:オフ

フライトプランは図2のように、対象とするエリアよりも1フライトコース程度余分にコースを設定する。

そのように撮影することで、解析対象エリア内が高い精度で処理される。

逆に、解析対象エリアの内側だけでは解析精度が低下するため、撮影範囲は余裕をもって設定することとする。

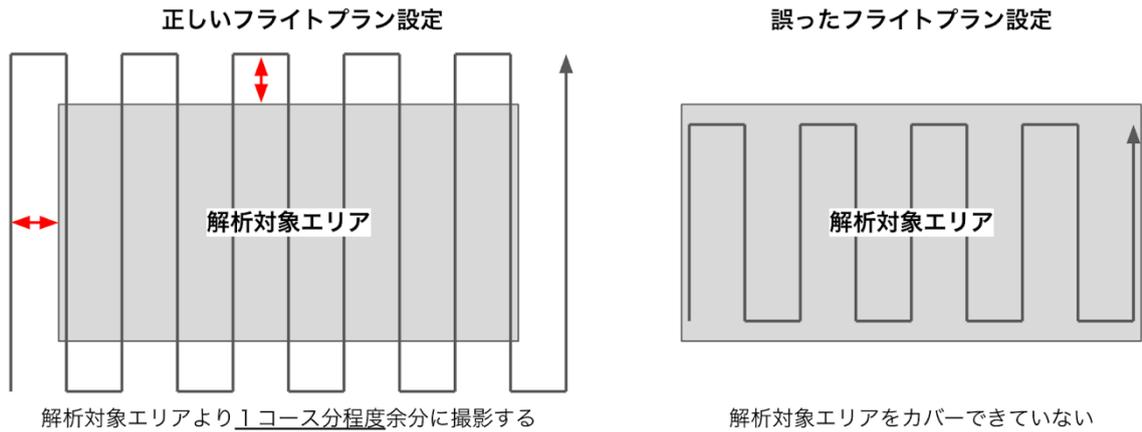


図 2 フライトプランの設定

(3) ドローン撮影

ドローン撮影は、①直下画像の撮影と ②斜め画像の撮影の2通りを実施する。

① 直下画像

設定したフライトプランに基づき自動飛行により撮影を実施する。

② 斜め画像

この画像には、解析精度を高める効果がある。

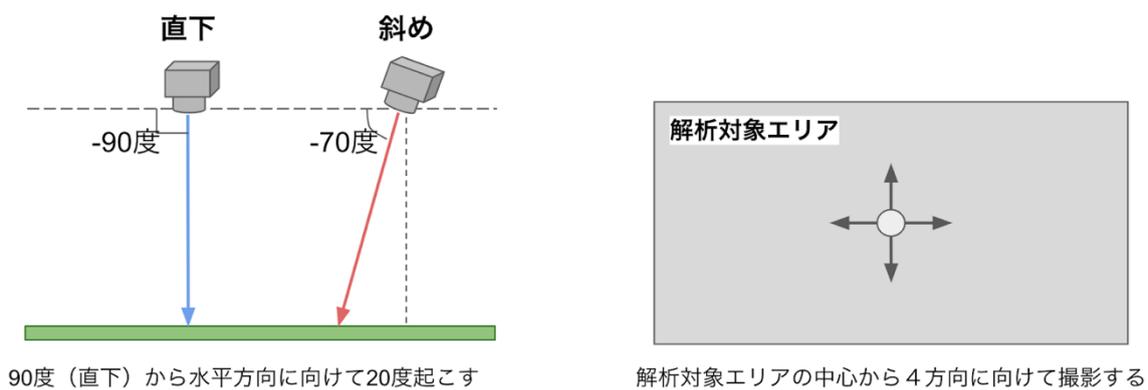
図 3のように、カメラの角度を -70 度（直下から水平方向に向けて 20 度起こす）に設定し、解析対象エリアの中心から4方向に向かって1枚ずつ、計4枚の画像を撮影する。

撮影高度は直下画像と同じ 55 mとする。

斜め画像は手動（マニュアル飛行）での撮影になる。

直下画像の撮影が終わり次第、機体を解析対象エリアの中心に移動し、カメラ角度を -70 度に傾けて撮影を実施する。

バッテリーに余裕があれば、機体を降さず撮影するとスムーズである。



90度（直下）から水平方向に向けて 20 度起こす

解析対象エリアの中心から4方向に向けて撮影する

図 3 斜め撮影

(4) 撮影中の注意事項

- 撮影中にRTK接続が切断してしまうことがある。
 - その場合は、すぐに撮影を一時停止しRTKの接続の復旧を待つか、もしくは最初から撮影をやり直す。
 - 1枚でもRTK測位できていない写真が解析に使用された場合は、高低差解析の精度へ悪影響を及ぼす。
 - RTKの接続状態については、ドローンの送信機に表示されたり、音声でアナウンスされたりするため、その情報を見逃さない、聞き逃さないこと。

(5) 撮影した画像の確認

- 撮影した後、必ずその場にて撮影した画像に問題がないかを確認する。
- ドローンで撮影した画像を PC で確認し、撮影した画像に問題（ブレやピンボケ画像が多い、画像データが記録されていないなど）がある場合、再度撮影を実施する。
- 画像に直下画像、斜め画像以外の画像（離陸前に撮影した画像、上空でカメラが水平の状態に撮影した画像など）が含まれている場合、それらの画像を削除する。

解析精度に影響を及ぼす画像の例を、図 4 に示す。



カメラ角度が水平状態で撮影された画像



ブレやピンボケが強い画像

図 4 解析に影響を及ぼす画像の例

(6) 解析方法

撮影した画像を画像データ解析システムへアップロードし、地形データ作成を実行する。



図 5 画像データ解析システムへのアップロード

(7) データの閲覧及び解釈

解析完了後、データは解析依頼者のアカウントへ送られる。

図5のように、農地高低差の分布を可視化することができる。

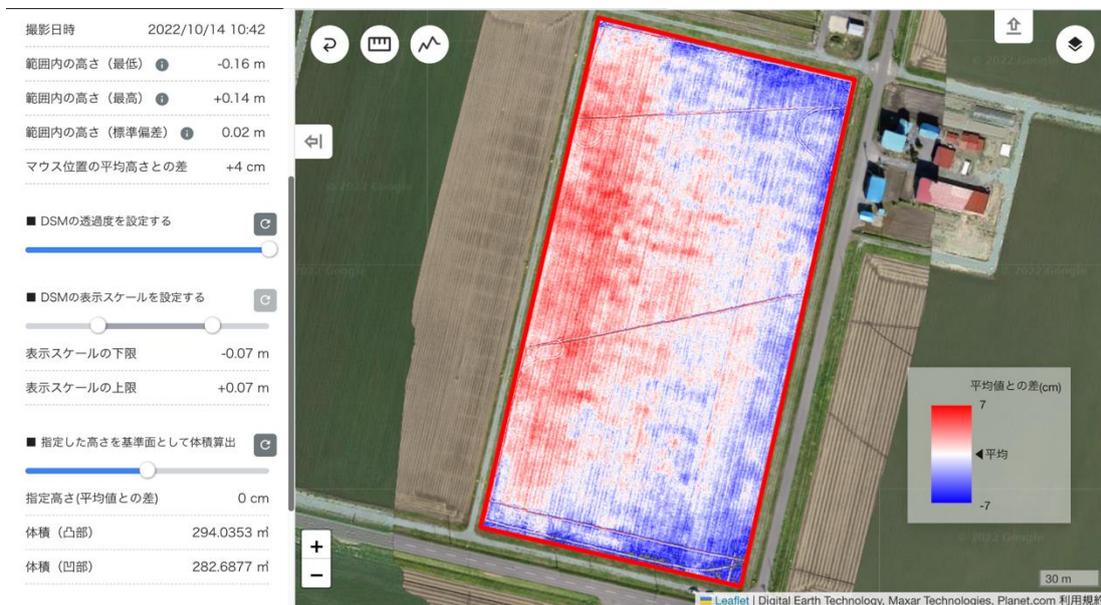


図 6 均平調査結果の画面

2. 空撮画像の効果的な使用方法

システムを含め、空撮画像の使用方法を解説する。

(1) 従来にない田面凹凸の可視化技術とそのメリット

水稻栽培において田面の均平を保つことは基本的な技術ではあるものの、注目される場面は意外にも少なかった。

水田が均平かどうか、または田面の凹凸の状況については、入水直後の水田に「沼」と「島」が現れることによって一時的にはその現状が分かるものの、それ以外の時期には田面の状況を把握することは極めて難しく、そもそも評価する技術が無い、というのが実状だった。

昨今の試験研究の結果、水稻栽培が可能な水田ではあっても、均平が崩れ、場所による凹凸のばらつきが大きい場合には、顕在的・潜在的な諸々の障害が発生するのを許してしまい、大きな収量減や生産者に過剰な作業を強いる結果につながっている可能性があることが明らかになりつつある。

例として、スクミリングガイによる食害は田面凹部に集中し、年によっては数割規模の大きな減収に直結する。

田面凸部では湛水状態を維持できず、除草剤の効果が十分に得られない。

田面の高低差は肥効にも影響し、生育の不揃いや減収につながる。

凹凸部の高低差が大きい水田ではより頻繁な水管理作業が必要となる。

これらの諸問題の解決に向けて、田面の均平を確認することには大きなメリットがある。

近年のスマート技術の発展は目覚ましく、その農業シーンにおけるその大きな貢献のひとつとして、空撮画像の活用により、田面の凹凸の状況が正確に、かつ容易に、可視化できるようになったことが挙げられる。

まずは田面の凹凸の状況を把握・評価し、その状況に応じた適切な対策を講じることにより、合理的な栽培

や、害虫・雑草に対する効果的な総合防除が可能となる。

本項では空撮画像の利活用の実際について、要点を紹介していく。

(2) 空撮の実際と高さ情報の測量

ドローンをはじめとする UAV (Unmanned Aerial Vehicle) による空撮画像は、日常生活においても目にする機会が増えた。

この技術において特筆すべき点は、特に測量用ドローン(7ページ参照)において、RTK 測位によって取得された精度の高い「高さ情報」が含まれて保存されていることである。

この技術により、地上で改めて高さを測量する作業(例えば標定点の測量など)を省略できる。

田面の凹凸をセンチメートル刻みで可視化し均平を評価するための作業は、対象となる水田に対して、互いに重なり合った複数の測量精度の高さ情報を含んだ空撮画像を撮影することから始まる。

通常、ドローンによる撮影は、解析の他の工程と比較して短時間で済む。

そのため、凹凸を評価したい対象水田に対しての撮影は、荒天時を除けばいつでも実施可能である。

(3) 空撮写真からのオルソ画像作成、2次元画像への落とし込み

画素に正確な高さ情報を含んだ複数の空撮画像から、写真測量解析ソフトを活用し、「DSM (Digital Surface Model: 数値表層モデル)」と呼ばれる高低差を2次元に(画像のピクセル値を標高データで)表現した画像を生成できる。

この画像を、高低差に応じて異なる色に着色することで、田面の凹凸が可視化できる。

画像データ解析システムによっては、これらが確立されたシステムとなっており、利用者はそのような諸々の画像処理を行うことは不要となる。

便利である一方で、利用者はこのような一連の流れにより田面の高低差が2次元画像化されていることについて、理解しておいた方がよい。

(4) 凹凸情報の活用

1) 画像データの読み取り

対象となる水田における、画像データ解析システムによる解析結果の事例を図7に示す。

この事例では、ほ場内地表面の平均値との差の高さが、凡例のカラーバーに対応し着色されている(標高の絶対値ではない)。

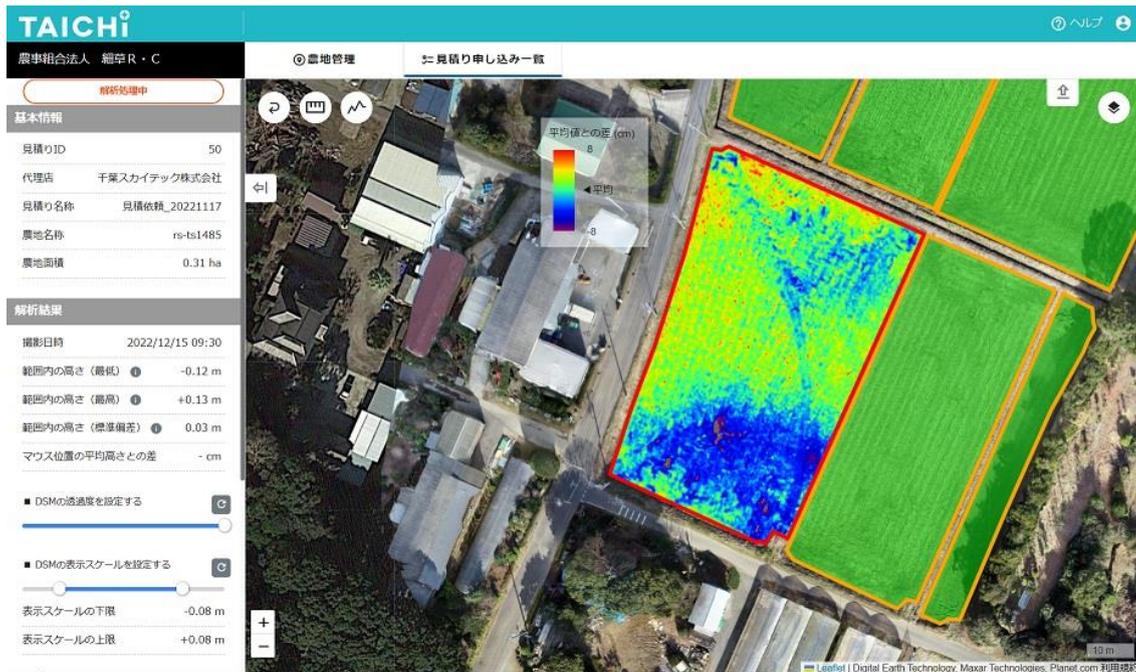


図 7 画像データ解析システムによる対象水田における解析事例

事例ではカラーバーの中央値はほ場全体の高さの平均値(=0.00m)となっており、この例では寒色ほど平均値よりも低く、暖色ほど平均値より高いことを示し、また DSM の「表示スケール」の設定において、下限が平均-0.08m、上限が+0.08m と設定されている。システムにもよるがこの値の設定は変更可能である。また、下限、上限をそれぞれ下回る、上回る部分については着色されず、元画像が映る設定となっている。

図 7 の例では画像下半分のは場に寒色の部分が広がり、相対的に田面が低いこと、反対に上半分では暖色の部分が広がり、相対的に田面が高いことが読み取れる。

また、この事例での解析結果には「範囲内の高さ(最低)」が-0.12m、「同(最高)」が+0.13m とあり、ほ場全体では 0.25m (=25cm) の高低差が認められることが分かる。

この差が小さいほ場ほど、全体として均平に近いことが示唆された。

ほ場内での高低差のばらつきを示す指標として、「範囲内の高さ(標準偏差)」が 0.03m であることが示されており、この値が大きいほどほ場内に存在する地点間の高低差のばらつきの度合いが大きいことが示唆される。

注意が必要なのは、標準偏差では同じ値を示している2ほ場でも、低い場所や高い場所がほ場内に一様に分散して分布している場合には、ほ場全体としては高低差の偏りが少ないほ場となり、反対に低い場所や高い場所がそれぞれまとまって集中的に分布している場合には、ほ場内での高低差の偏りが大きいほ場となる、という点である。

例えば、全体に均平なほ場で、本来の標準偏差は低い場合であっても、プラウをかけた後など、土塊による高低差が発生するような場合には標準偏差の値は大きくなる。

こうしたシステムにおいては、目視レベルでは高低差の大きい場所が感覚的に把握しやすいものの、2次元に見られる凹部、凸部の集中の度合いについては、それらを評価する新たな数値指標の検討が必要である。

なお、図には例示しないが、対象ほ場に対して均平作業を実施する際に参考となる土の移動量(高さ何 cm

以上または以下の部分)について、その体積 (m³/10a) を算出することも可能であり、作業量の目安を事前に検討することができる。

2) 撮影時期に応じた画像データの利用

田面の均平度を評価する際には、収穫終了後、数回の耕うんを経て二番穂が生えていない状態の水田において作成された画像データを用いるのが望ましい。

解像度の高い空撮画像を用いて解析を行うことによるデメリットでもあるが、田面の障害物の情報が拾われてしまうと正確な均平の評価が難しいためである。

一方で、試験研究目的においては、生育中の水稻の群落をドローンで撮影し、その高低差を把握することにより生育の状況やそのばらつきを評価することも可能となる(5-(2)にて後述)。

また、栽培期間中の欠株の分布を視覚的にとらえることも可能であり、これを用いて諸障害の発生個所、特にスクミリングガイによる被害についてはその発生程度を確認することにもつながり、凹部にその被害が集中していることが確認される(図8)。

なお、高低差画像を元画像の写真と照らし合わせると、凸部において雑草と見られる異種の植物の生育が旺盛であることも分かる場合があり、活用の用途は広い。

各ほ場(上段と下段)における田面の高低差(着色画像)と生育中の欠株の分布(○で囲んだ部分)を図示した。

上段ほ場においては、高低差の解析後、均平化を実施しておらずスクミリングガイによる被害が発生した。

下段ほ場においては、生育中に被害が発生した部位の田面が低かったことが、事後の解析より明らかとなった。

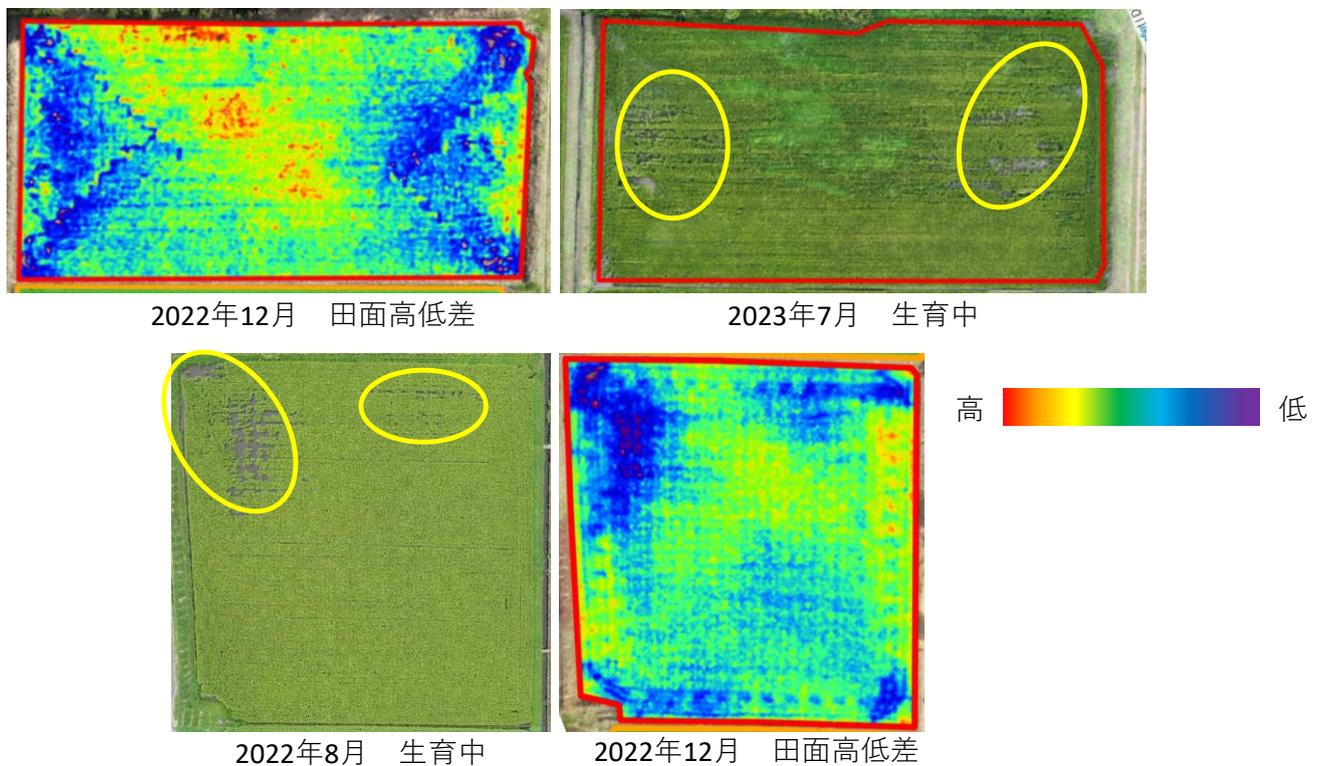


図8 生育中水田に見られる欠株の状況と対応する高低差解析事例
円形は、スクミリングガイによる被害個所を示す。

3) 均平化作業における活用

対象ほ場の田面の状況が把握できると、それを参考に均平化に取り組むべきか否か、または複数のほ場間において均平化に取り組む優先順位の判定に活用することができる。

後述のとおり、均平化作業は労力的にも簡単ではなく、取り組む際の条件も限られ、高低差の解析ほどには手軽に実施できるものではない。

そのため、あらかじめその実施判断についての検討材料となる点において、高低差画像データは非常に有益である。

RTK 搭載レベラー等を活用して均平化を実施する場合、対象ほ場の凹凸状況がどの程度であったかに関する情報は、作業終了後に結果として得られることがあるが、この情報は均平化作業の開始前に得られてこそ、その情報の価値が高い。

田面の状況に関する事前情報が全くない場合、レベラーのオペレーターは、作業の開始後はまずほ場内を縦横に走り回り、凹凸の概ねの状況を把握してから実作業に入る。

一方で、事前に高低差がある場所が把握できていると、オペレーターは即座に実作業に取り掛かることができる。

レベラーが使えない場面でも、あらかじめ高低差の情報があれば、トラクターバケットや整地キャリアなどを用いて作業を行うことも可能となる。

3. 凹凸形状に合わせた推奨する均平方法

ほ場の高低差は凹凸の形状により発生原因が異なる。

凹凸の形状を高低差解析システムで判断し、形状に合った均平方法を選択する。

凹凸の形状と推奨する均平方法は以下とおりである。

(1) 機械による高低差の発生

① 四隅の偏り

推奨する均平方法：**整地キャリア**→代かき(水張り整地)

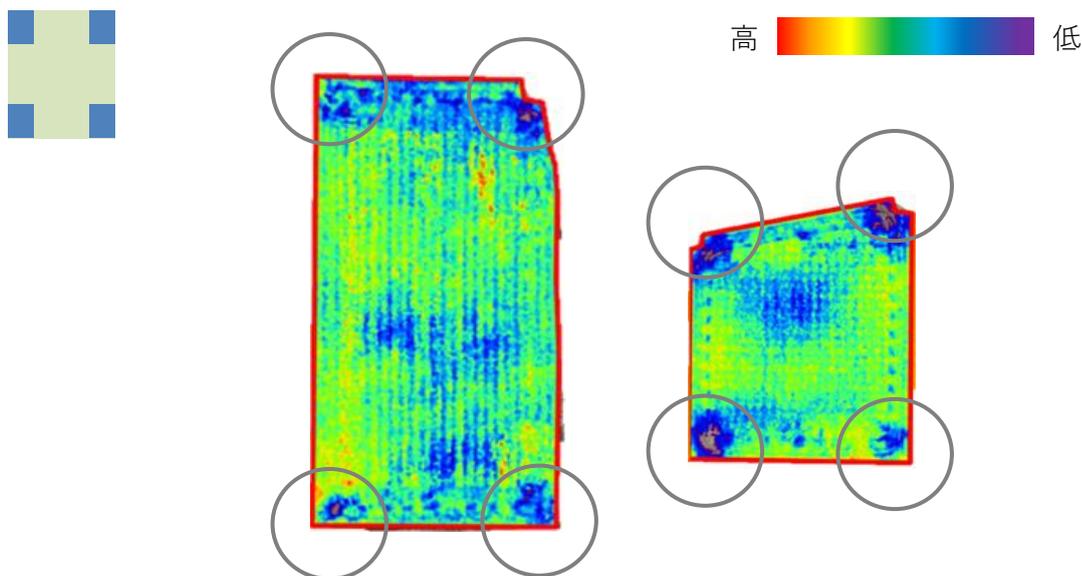


図 9 四隅の偏りの様子

② 短辺のみの偏り

推奨する均平方法: 整地キャリア→代かき または フロントローダー→代かき

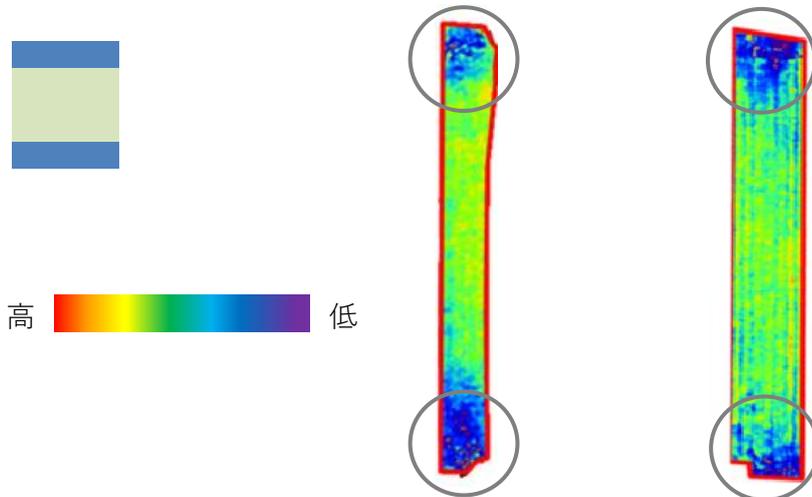


図 10 短編のみの偏りの様子

③ V字型の溝

推奨する均平方法: レベラー

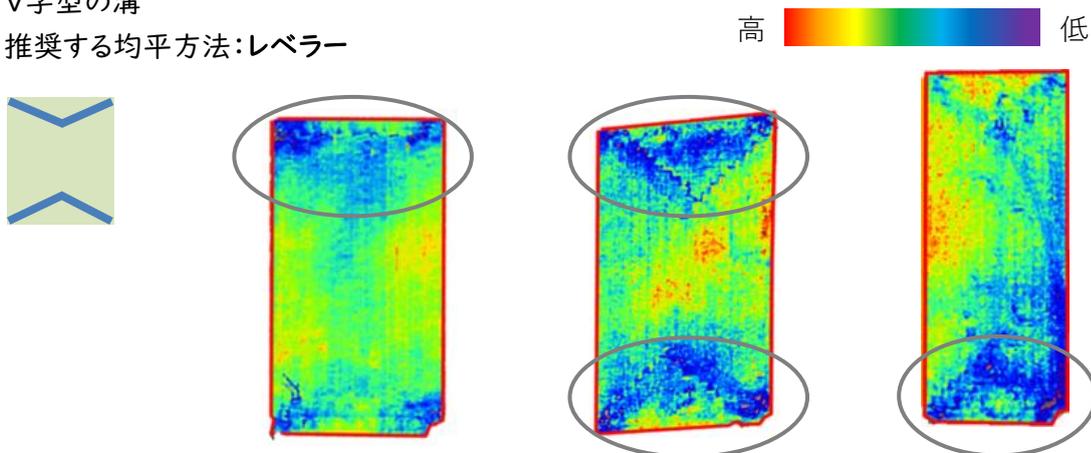


図 11 V字型の溝が発生した高低差の分布

- なお、(1) (3) が両方見受けられる場合は、四隅まで施工が可能な「直装型のレベラー」による均平作業が推奨される。
- また、(1) (2) において、溝や偏りが局所的で有れば「代かき(水張り整地)」のみで可能だが、走行を繰り返すことで、硬板の破壊や土を過剰に練る恐れがある。
- そのため、入水前にできるだけ均平作業を行うことで、代かき時の水張り整地を最小限にとどめることができる。

(2) 栽培管理や乾燥による地盤低下

- 泥水流出や、排水性に起因する水尻付近・排水路付近の溝や凹凸
- 推奨する均平方法: 凹凸部分が広範にわたる場合は「レベラー」
 - 部分的であれば、「整地キャリア」又は「フロントローダー」→「代かき」

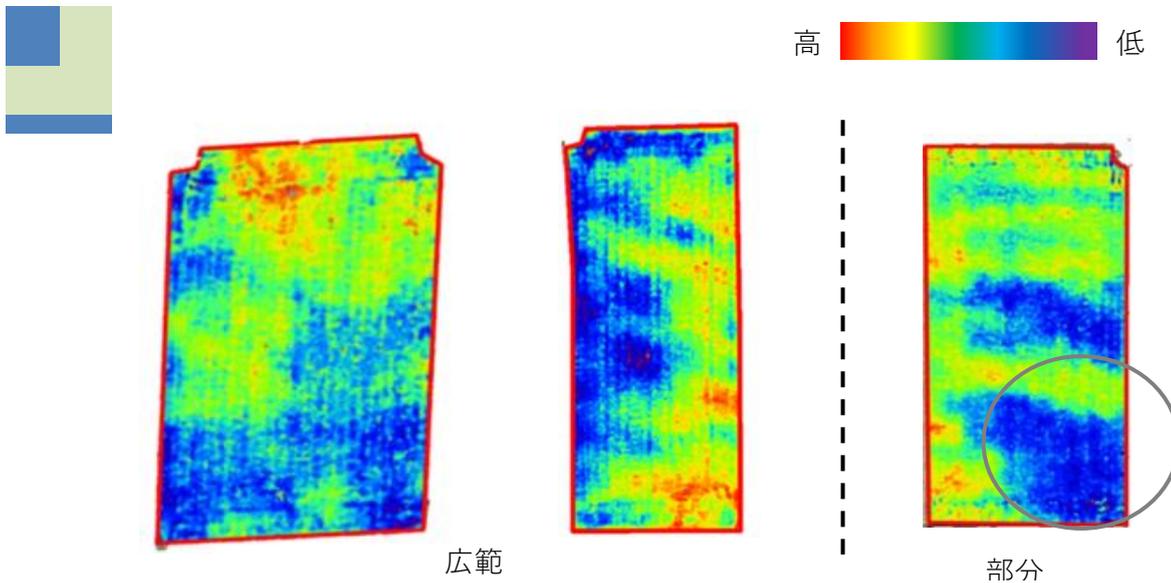


図 12 栽培管理や乾燥による地盤低下が発生した高低差の分布

(3) 合筆跡：2ほ場以上の畦畔を取り払い、合筆した際にできたほ場の高低差

- 推奨する均平方法: 「レベラー」

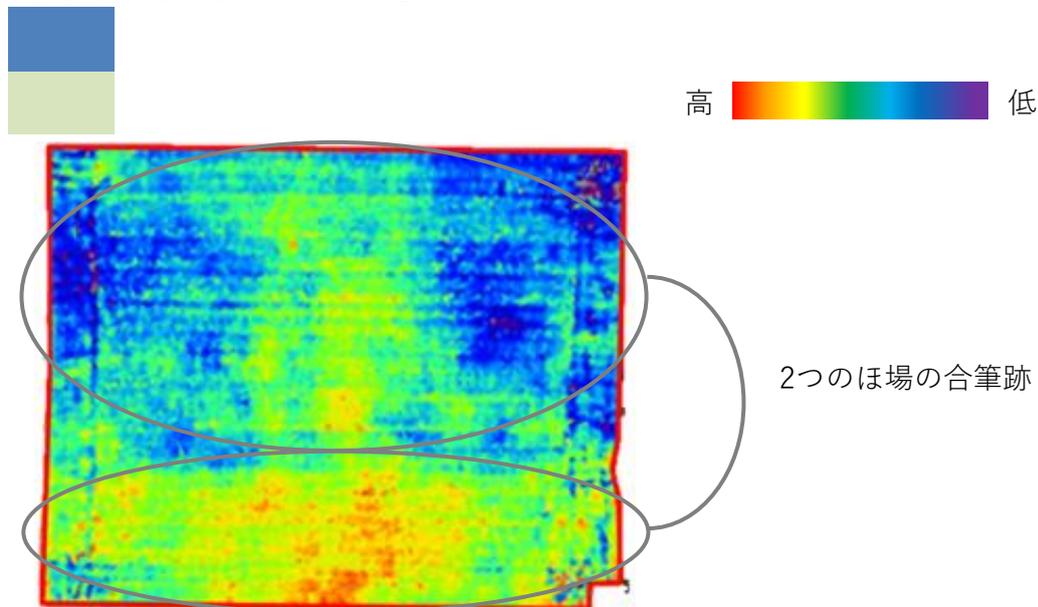


図 13 合筆跡における高低差の分布

(4) ランダム：高低差がランダムに発生

- 推奨する均平方法：「レベラー」

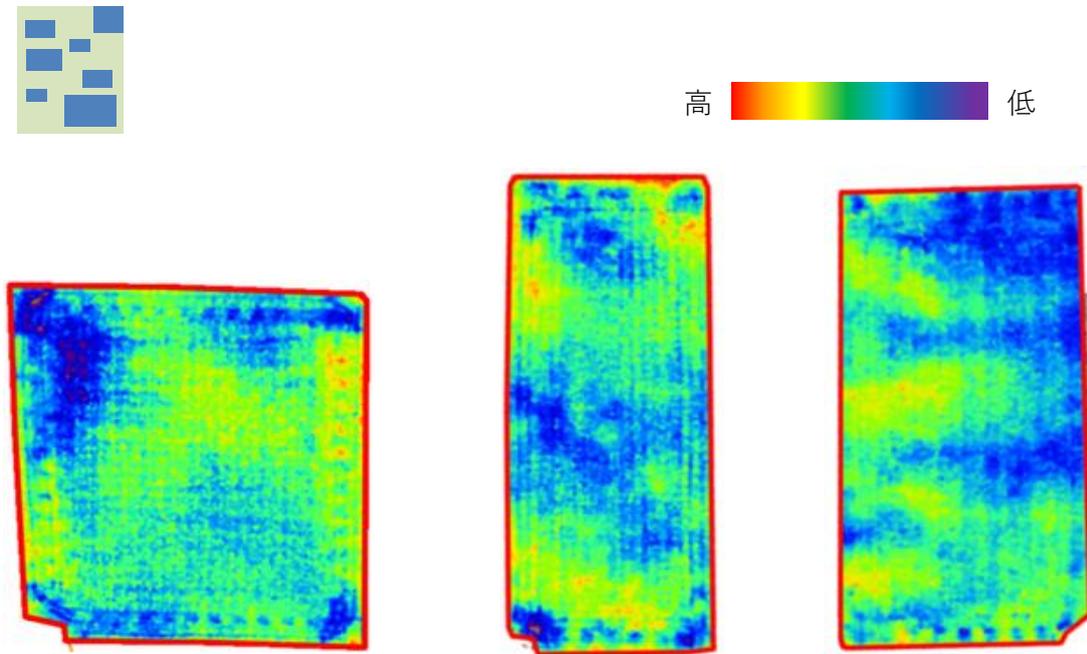


図 14 ランダムに発生した高低差の分布

4. 均平化方法について

試験した3種（レーザーレベラー、ブルドーザー、整地キャリア）の作業内容や留意点、均平化作業の前後の写真、経費を含めたコストパフォーマンス、生産者のコメントについて、下記の通り示す。

(1) レーザーレベラー

- 作業時間：0.5時間/10a
- 作業人員：1人
- 使用機材：ブ라우、レーザーレベラー、レーザー発光器
- 向いているほ場： V字 合筆 一部のみ ランダム



- 特徴：
 - 操作性：○ コスト：○ 省力：◎ 均平度：◎
 - 留意点：
 - ◇ 高低差の大きさ、土壌水分、土質により作業時間に変動がある。
 - ◇ 土壌水分が多いほ場では、排土板に土がつき、ほ場を荒らすことがあるため、ほ場が乾いてから均平化作業を行う。
 - ◇ プラウ耕で土を起こしきれない場合は、プラウ耕後にバーチカルハロー等により、土塊を崩す作業が必要になる。

- 高低差解析マップを使用するメリット：
 - 予め作業方法（走行方向）を設定できるため、レベラーを装着しない状態での走行が不必要で、省力的である。
 - 走行方向の目安が分かるため、効率的である。
 - 事前には場の状態が把握できるため、作業時間の検討がつく。

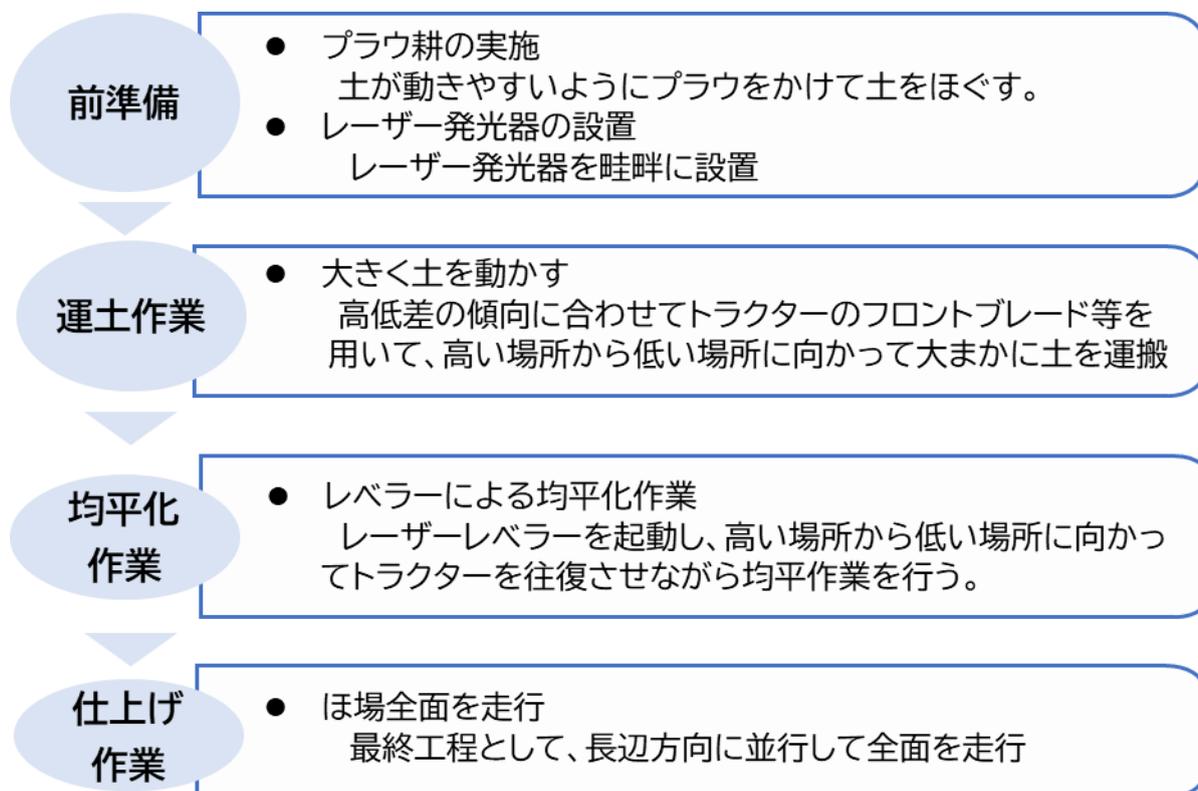


図 15 レーザーレベラーの作業工程



運土作業



均平化作業

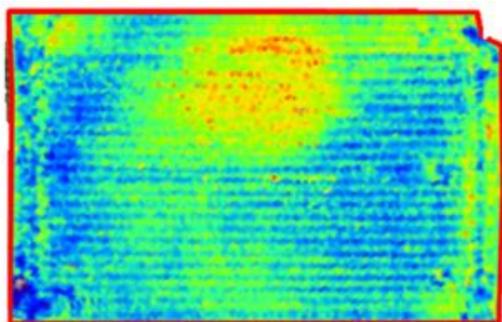


仕上げ終了時のほ場

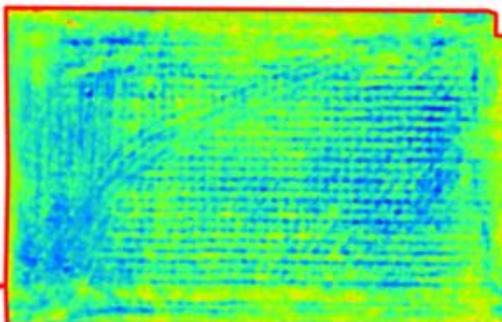


仕上げ作業

図 16 レーザーレベラーの作業中の様子



施工前のほ場の状態



施工後のほ場の状態

高  低

図 17 レーザーレベラー作業前後の高低差

(2)ブルドーザー

- 作業時間:1.6時間/10a
- 作業人員:5人
- 使用機材:ブルドーザー
- 向いているほ場: 合筆



- 特徴
 - 操作性:△ コスト:△ 省力:△ 均平度:○
 - 留意点:
 - ◇ 高低差が大きく、ほ場面積が大きいほ場での作業に向いている。
 - ◇ より省力的で正確に作業を行う必要がある場合は、レーザー機能付きブルドーザーの使用を検討する。
 - ◇ 土壌水分が多い場合は、キャタピラタイプのタイヤを使用することでほ場内の走行が容易になる。
- 高低差解析マップを使用するメリット:
 - 予め平均的な高さの位置がわかることから、基準となる場所が決めやすい。
 - 高低差が分かることから、作業に入る前に農地内での動きが予想できる。

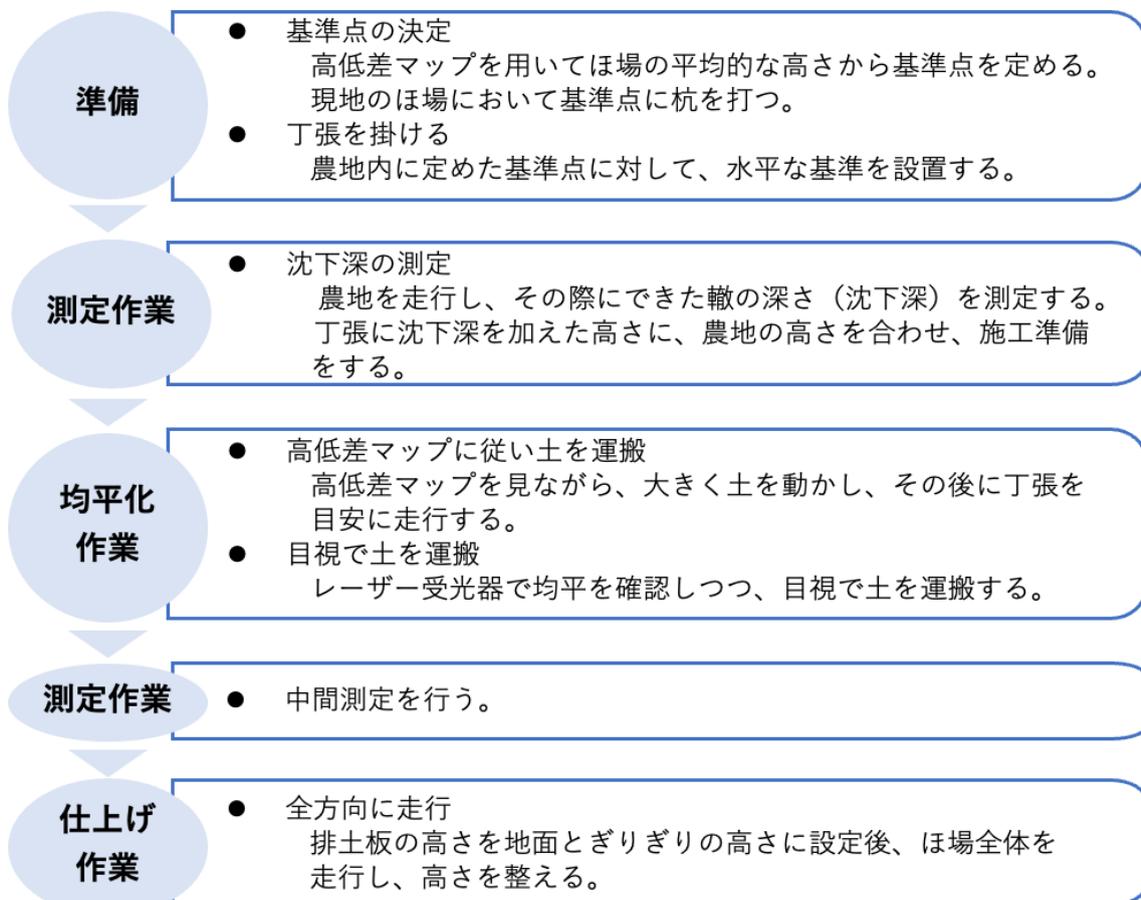


図 18 ブルドーザーの作業工程



沈下深の測定



丁張を目安に走行

図 19 ブルドーザーの作業中の様子①

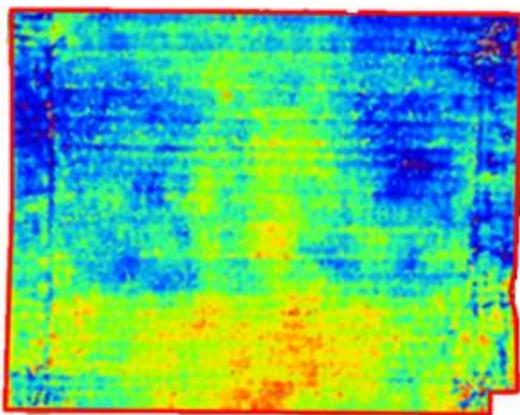


低い位置に土を動かしながら
均平にしていく

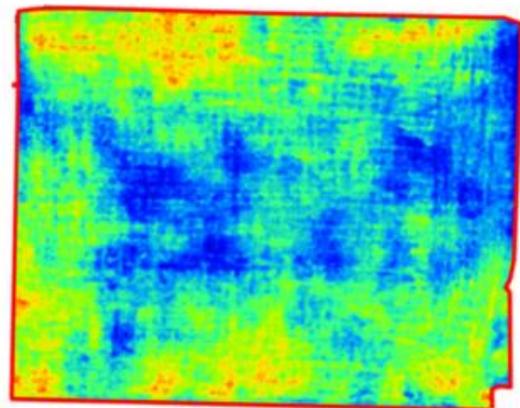


仕上げ作業

図 20 ブルドーザーの作業中の様子②



施工前のほ場の状態



施工後のほ場の状態

図 21 ブルドーザー作業前後の高低差

(3) 整地キャリア

- 作業時間:2.2時間/10a
- 作業人員:1人
- 使用機材:整地キャリア
- 向いているほ場: 四隅 短編 一部のみ



- 特徴:
 - 操作性:◎ コスト:◎ 省力:△ 均平度:○
 - 留意点:
 - ◇ 土を削る際に速度が遅すぎると、キャリア内に入らないことがある。
 - ◇ トラクターの耕うん方向と平行に削ることで、その後の補正が簡易になる。
 - ◇ 一度に運土できる量を最初に確認することで、効率よく運土ができる。
 - ◇ 後進での整地作業は、機械が故障する恐れがあるので、必ず前進で作業する。
 - ◇ 土壌水分によって、運土量が異なる。乾いたほ場の方が走行も簡易で、運土量も多くなる。
 - ◇ 遠隔ダンプ装置を装着すると、省力的になる。
 - 高低差解析マップを使用するメリット:
 - ◇ 水張りによる高低差の把握をする必要がないため、借り受けて間もないほ場でも作業を行うことができる。
 - ◇ 高低差発生箇所を詳細に把握できるため、削る部分の調整が容易になる。

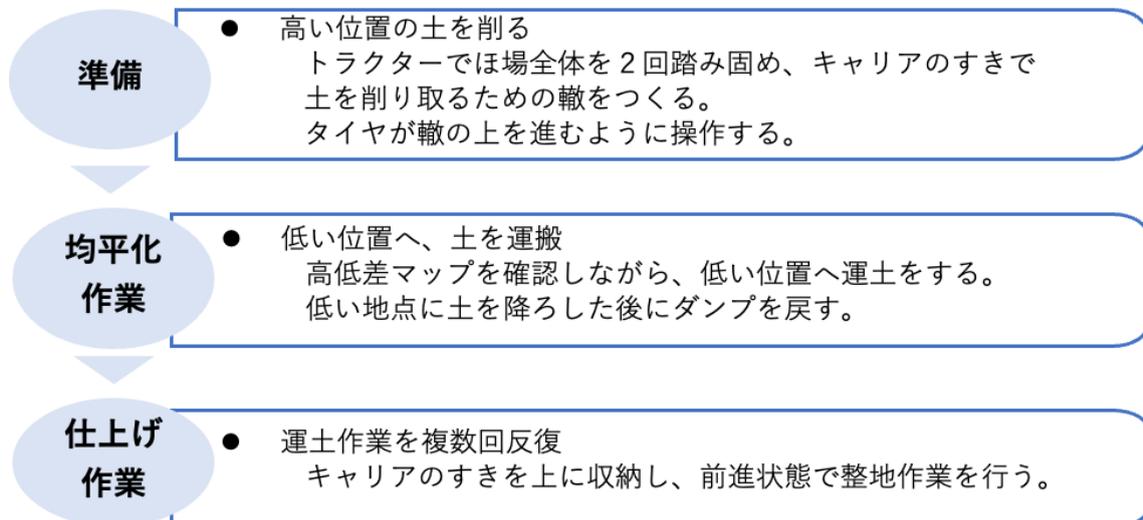


図 22 整地キャリアの作業工程



高い位置をマップで確認しながらコストや削土

低い位置に運土

図 23 整地キャリアの作業の様子①

*富士トレーラー製作所 整地キャリアを使用



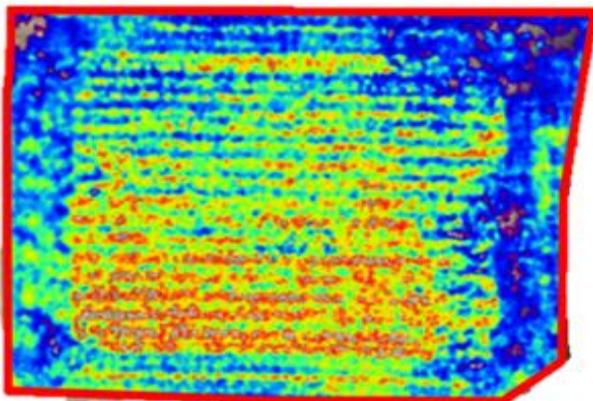
運土作業を反復



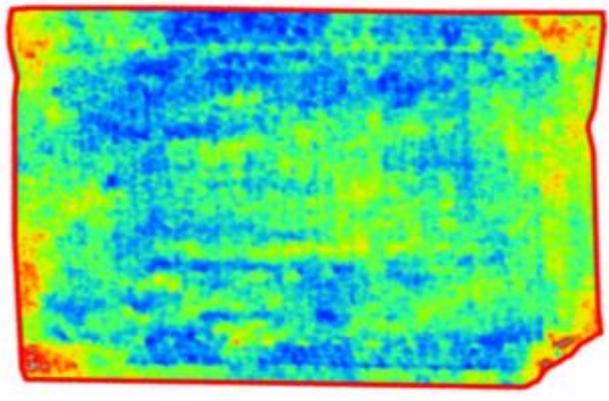
仕上げ作業後のほ場

図 24 整地キャリアの作業の様子②

高  低



施工前のほ場の状態



施工後のほ場の状態

図 25 整地キャリア作業前後の高低差

5. 均平化の効果

(1) スクミリングガイの被害低減

1) スクミリングガイによる苗被害の低減

スクミリングガイは「水中」で植物を摂食する。

そのため、水が深い部分に定植されたイネは食害を受けやすくなる。

例として、被害がない水田は全体が均平だが、被害が甚大なほ場では、田面の凹凸が激しい傾向が顕著である。

そこで、被害が発生した部分の田面を均平に近づけたことで、特定の部分に食害が集中するのを回避することができた。

その実例を図 28のとおり示す。

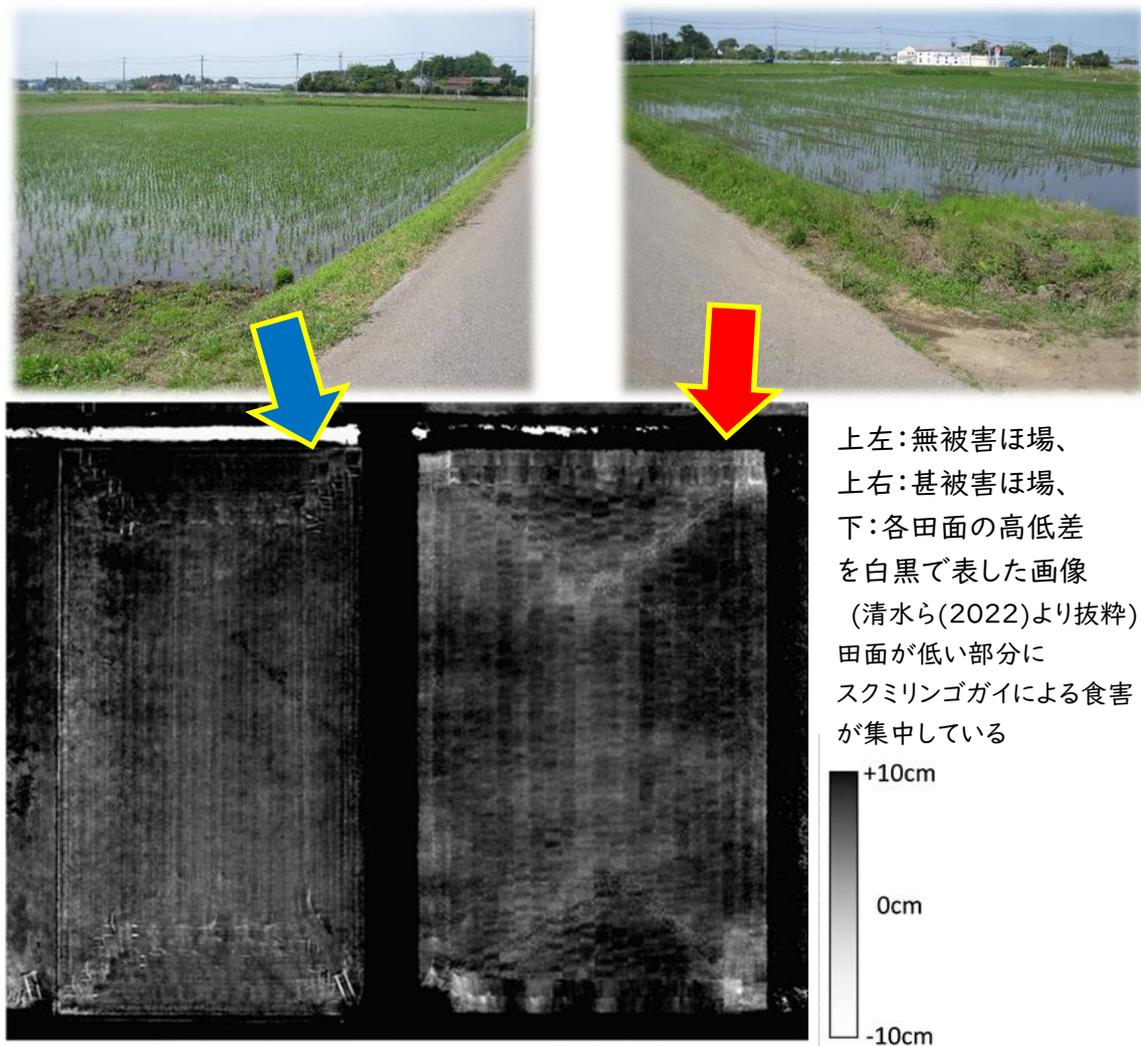


図 26 スクミリングガイによる被害状況の違い



図 27 スクミリングガイに被害を受けている様子

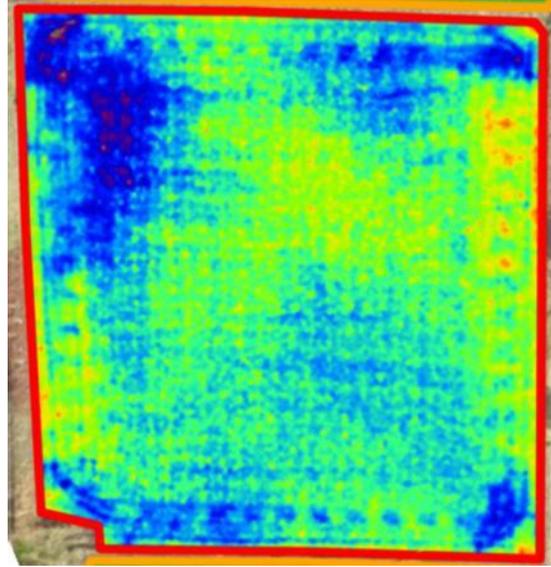
均平作業前

2022年8月



被害は水深が低いところに集中

2022年12月



高低差解析結果

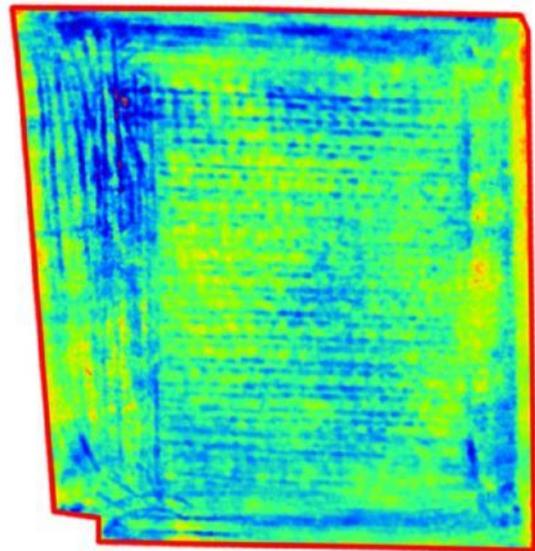
均平作業後

2023年3月



無被害で栽培可能

2023年3月



高低差が低減

図 28 レーザーレベラーによる均平化とスクミリングガイ被害低減効果の実例
円形は、スクミリングガイによる被害個所を示す。

(2) 除草剤の回数削減

雑草発生の抑制効果について、均平を実施したか否かでどのような違いがあったのかを、今回の事例にて報告する。

① 均平化を実施していない場合

均平化を実施していないほ場では、水を張ったときに、田面の高い部分が水面から露出してしまった。水面から露出した部分においては除草剤の効果が切れやすく、雑草が発生しやすい状態になった。この水田ではヒエが繁茂し、水稻の生育が抑制された。

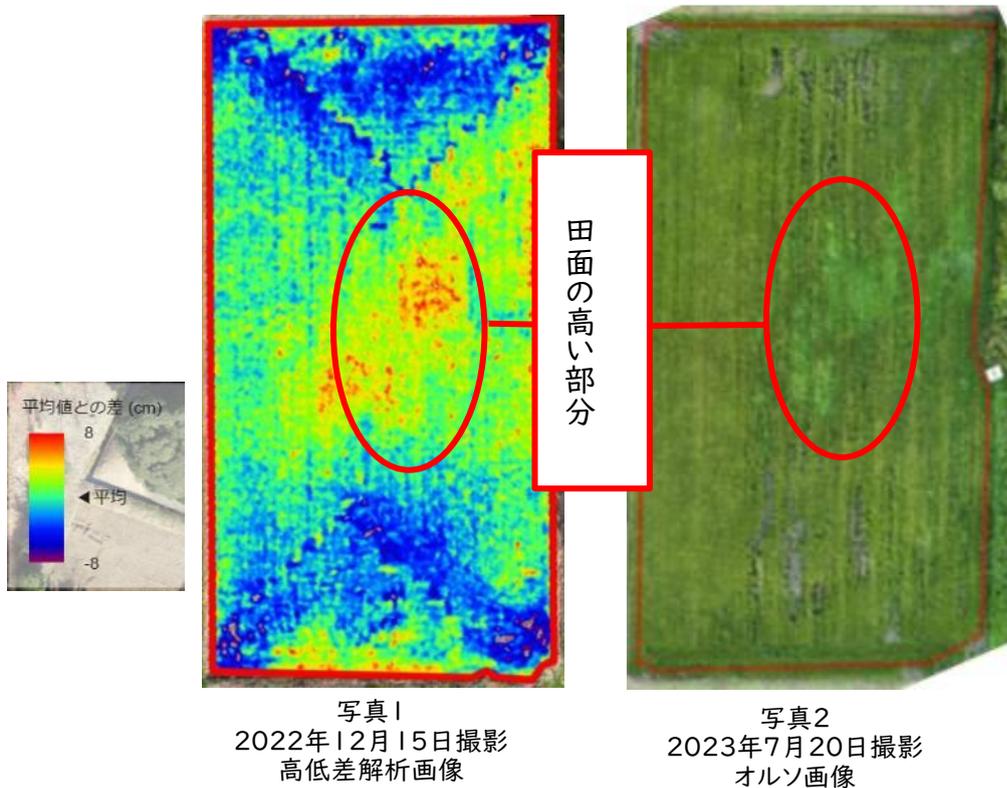


写真3
2023年8月9日
ほ場 写真1、2
赤楕円の部分を撮影

図 29 均平化を実施していないほ場の例

また、均平化作業を行っていないほ場内で、田面の高い部分と低い部分の雑草をそれぞれ調査した結果、雑草の発生量が大きく違っていたことがわかった。



図 30 雑草の発生量の違い

② 均平化を実施した場合

均平作業別に田面の高い部分の雑草発生量を調査した。いずれの均平作業でも雑草発生量は少なく、除草剤の効果が長く効いたことで生育後半まで雑草の発生が抑えられていた。

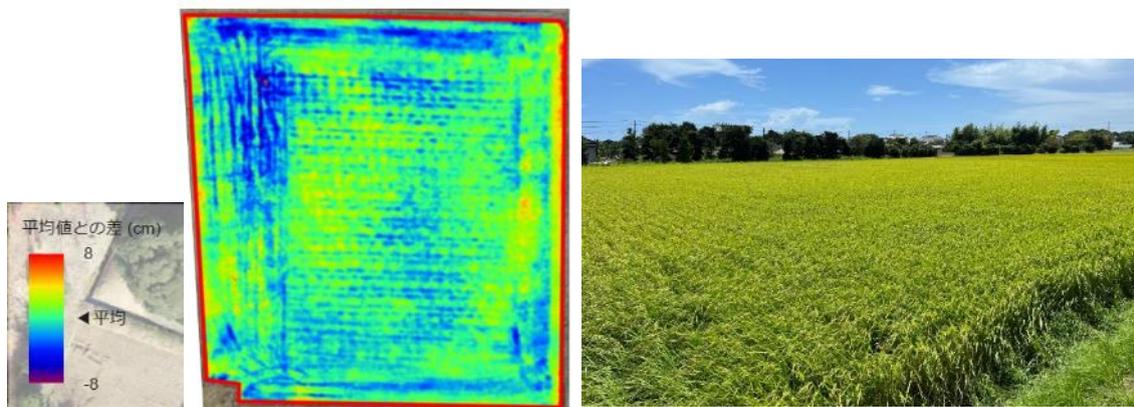


図 31 均平化を実施したほ場の例

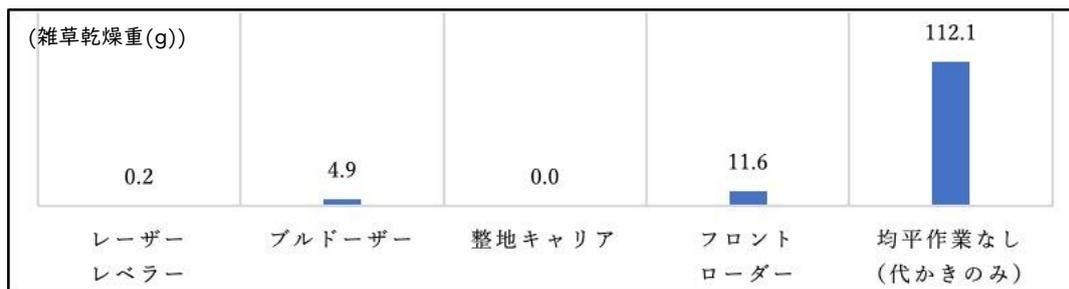


図 32 雑草乾燥重の違い

(3) 収量や品質

水深の管理がうまくいかないと、浅水・深水の部分ができしまい、その結果として、スクミリンゴガイの被害、除草剤の効果、地温、および窒素発現量に影響を及ぼすことがわかった。

今回の調査対象ほ場では、ほ場が高いところでは草丈が低く、ほ場が低いところでは草丈が高くなることがわかった。つまり、ほ場を均平化すること(ほ場の高いところをなくすこと)は、収量・収益の向上が期待できることが考えられた。

本ケーススタディでは、均平化处理によるほ場の高低の条件だけではなく、気象条件の違いによる影響もあって単純に比較はできないが、調査したほ場の均平精玄米重でみると、均平作業前から均平作業後で223kg/10a増加した。2023年は極端な高温条件で平均収量が前年に比べて下がる傾向にあったなかで増収したことは、均平化の効果が有効であったと考えられる。経済的な効果をもみても、収量が223kg/10a増加することで、販売収入が44,532円/10a増加するであろうと試算された。

※精玄米重は54地点の稈長と坪刈り6地点の稈長と精玄米重との関係を用いて推定、10a当たり収入は、令和5年の生産者米価(12,000円、聞取りによる)から計算した。

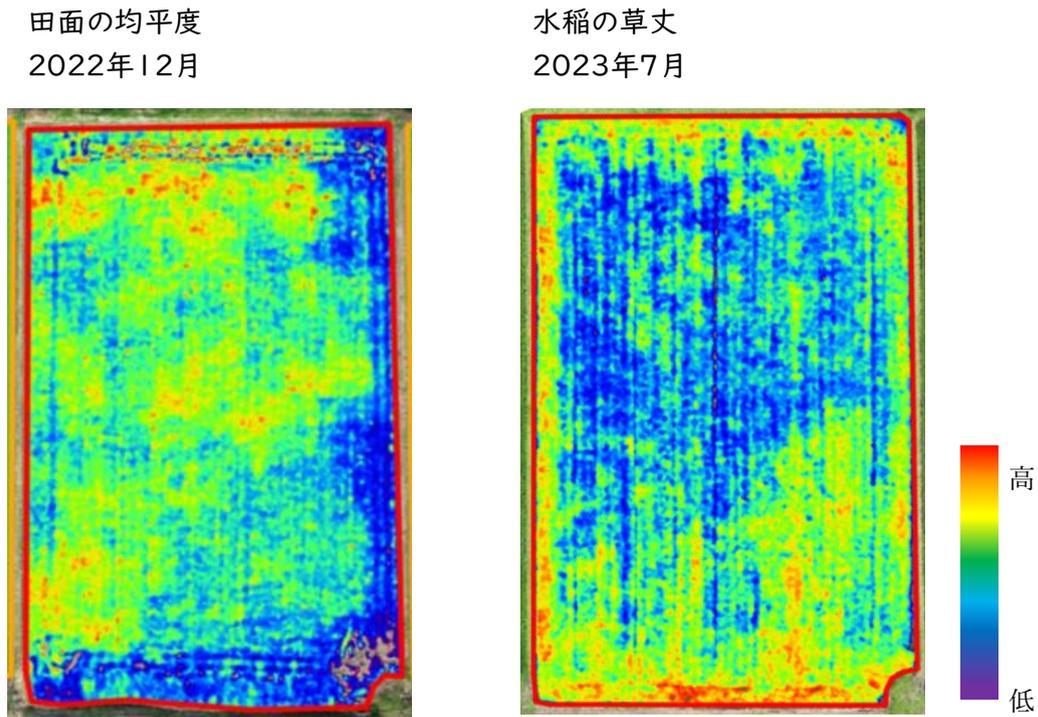


図 33 田面の均平度と水稻の草丈の関係

(4) 均平化による労働時間の削減効果、水管理や除草時間など

生産者が保有している整地キャリアやフロントローダーを用いて作業したブルドーザーとレーザーレベラーは作業時間が短くなり、労働時間の削減効果が見られた。

自主施工は全体の作業時間が増加したが、整地作業以外は慣行栽培よりも短くなったことから、整地作業の効率化が行えれば労働時間削減効果が期待できる。

※ブルドーザーほ場で耕うんの時間が極端に短くなっているのは、1筆の面積が比較的大きく、ほ場の形状も真四角であったためであると考えられる。

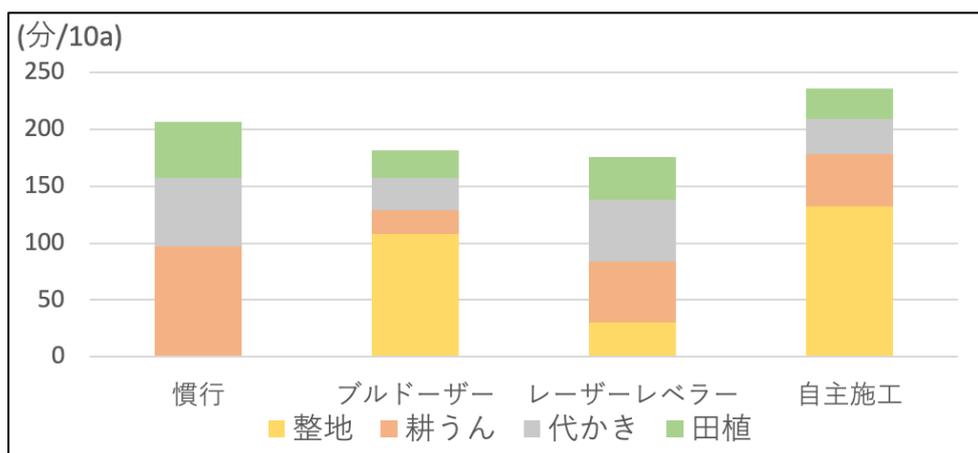


図 34 均平化に関連した作業の労働時間

(5) 水田均平化の費用や時間について

本事業では、ドローンを用いて空撮画像を撮影し、その解析データに基づいて、ほ場の状態にあった機械を用いて均平化作業を行った。費用や時間について、以下に記する。

1) ほ場の空撮や解析コスト

本事業では、地元の業者にドローンによる空撮を委託し、画像データ解析システムでほ場解析を行った。本事例では、10~30haと広い範囲のほ場を撮影したため、費用は400円/10aであった。ドローンによる撮影は、人件費が占める部分が大いため、ほ場面積が少ないとコストが上昇する可能性がある(表1)。

また、ほ場解析サービスは、本事例の場合で1,000円/10aと面積に関わらず定額であった。

上記をまとめると、ほ場解析には1,400円/10aの費用がかかった。一方で、ドローン撮影を委託したため、作業時間は画像データ解析システムの操作以外かからなかった。

表 1 ほ場解析の経費

	作業業態	10a当たり費用(円)	備考
ほ場解析サービス	委託	1,000	10~30haの場合
ドローンでの撮影料	委託	400	10~30haの場合
合計(税込み)		1,400	

2) ほ場の均平化費用と作業時間

作業を委託した場合、レーザーレベラーは31,289円/10aで最も安かった。一方で、ブルドーザーを用いた場合は、57,471円/10aと、レーザーレベラーと比べ高かった。

表 2 均平化作業に関する経費

機械	作業業態	委託費用	作業人数	実施面積	備考
ブルドーザー(湿地用)	委託	57,471円/10a	3人	87a	2日間
レーザーレベラー	委託	31,289円/10a	1人	136a	2日間

生産者が保有している整地キャリアやフロントローダーを用いて作業した場合の作業時間は、整地キャリアでは1.4時間/10a、フロントローダーでは2.3時間/10aであった。

表 3 均平化作業に関する時間

機械	作業業態	作業時間	作業人数	実施面積	備考
整地キャリア	自主	1.4時間/10a	1人	87a	
フロントローダー	自主	2.3時間/10a	1人	117a	

上記の結果から、ほ場の状態により、適する機械が異なるため、委託費用や作業時間を参考に、均平方法を検討する必要があると考えられた。そのためには、ほ場の状態を把握する解析が必要である。

第4部 参考情報

1. 現地指導のタイムライン

日付	現地実施の概要
10/11	農地高低差解析システムを利用した圃場均平作業のスケジュール、依頼事項、調査内容等を説明した。 また、当面必要な作業である秋耕の方法についても説明した。
11/11~17	農地高低差解析システムにより測定する圃場を選択し、システムへの農地情報登録を支援した。
11/30	農地高低差解析システムを利用した圃場均平作業のスケジュール、依頼事項、調査内容等を説明した。
1/5	農地高低差解析システムにより作成された圃場の高低差画像を基に、圃場の均平程度について各役員が抱えている圃場条件の実感やスクミリングガイの被害について確認した。 高低差画像は圃場の高低差等の条件を正しく反映し、また、田面が低い部分とスクミリングガイの被害が発生している部分が概ね一致していることを確認した。
1/10	農地高低差解析システムにより作成された圃場の高低差画像を基に、高低差が大きく、スクミリングガイの被害が発生している圃場を均平作業候補圃場として選定した。
1/27	整地キャリアを用いた均平化作業の自主施工実演会を実施した。 同地域において整地キャリアを先進的に導入し、田面の均平化によるスクミリングガイ対策に効果を上げている生産者を講師に招き実演も交えて利用方法を説明頂いた。
2/5~3/5	整地キャリアを用いて均平化作業（生産者による自主作業）を実施した。
4/14	2022年度の均平化作業の結果について、率直な意見を確認した。 作業後の解析結果また圃場の状態を見る限り、レーザーレベラー→ブルドーザー→整地キャリアの順にて効果が実感できた。 2023年度の検証方法について、現地調査とアンケートにより方針を決定することで合意した。 スクミリングガイの発生状況、雑草の発生状況、収量について調査を実施した。
6/13	対象圃場に対しての雑草調査を実施。 スクミリングガイによる被害状況も確認。
6/15	対象圃場を視察し、均平作業方法の違いによる生育、被害状況を確認した。 対象圃場の生産者を集め、アンケートを実施した。
7/20	対象圃場の幼穂形成期と成熟期についてドローン空撮を実施した。 対象圃場の地上部でスクミリングガイの被害状況を調査した。 対象圃場の地上部で雑草の発生状況を調査した。
8/23	水稻が成熟期になり、収穫作業が始まった。 対象圃場について坪刈りを行うとともに、ライスセンターで全量収量を調査。
10/31	2回目のアンケート調査、本年度の均平作業の圃場を選定した。

2. 現地指導で用いた技術

(1) 使用した機器

画像データ解析システム：TAICHI(スカイマティクス社)

ドローン：Phantom4RTK、Mavic3Enterpriseなど(DJI社)

(2) 農地高低差解析システムの利用方法

本事業ではスカイマティクス社と日産化学社が共同開発した農地高低差解析システム「TAICHI」を使用した。現在ではサービス提供停止されており、使用できなくなってしまった。そのため、同社のドローン測量サービス「KUMIKI」を代替利用することで、各現場では適用していただきたい。

参考までに、「TAICHI」の解析料金は、1000円/10aであった。一方で、ドローン撮影は面積よりも飛行回数による計上のため、対象面積が狭いと面積あたりの費用は高くなる。

現在では「TAICHI」は使用できないが、スカイマティクス社のドローン測量サービス「KUMIKI」を代替利用することができ、同様の高低差解析を実施可能である。

(3) 「TAICHI」サービス終了に伴う留意点

本事業では農地高低差解析システム「TAICHI」を使用した。現在ではサービス提供停止されており、使用でない。

そのため、同社のドローン測量サービス「KUMIKI」等の測量サービスを代替利用することで、各現場では適用していただきたい。

「KUMIKI」の契約や使用料金については、同社へ問い合わせしていただきたい。

スカイマティクス社ホームページ：<https://skymatix.co.jp/>

「KUMIKI」紹介ページ：<https://smx-kumiki.com/>

問い合わせ先：sales@skymatix.co.jp

3. アンケートの様式

(1) 5月に生産者へ実施したアンケート

高低差解析システムに関する活用度アンケート

Q1 **ブルドーザー**による均平化を受けられた生産者へお伺いします。
農地の均平化について、どの程度満足していますか？

- A. 大変満足している B. 満足している C. 満足していない D. 全く満足していない

Q2 Q1の回答の理由をお聞かせください。

Q3 **レーザーレベラー**による均平化を受けられた生産者へお伺いします。
農地の均平化について、どの程度満足していますか？

- A. 大変満足している B. 満足している C. 満足していない D. 全く満足していない

Q4 Q3の回答の理由をお聞かせください。

Q5 **自主施工**を行う上で、高低差解析情報は活用できましたか？

- A. 大変活用できた B. 活用できた C. 活用できていない D. 全く活用できていない

Q6 Q5の回答の理由をお聞かせください。

Q7 均平化作業の結果について、どの程度その効果を実感できていますか？
該当する欄に○を書き入れてください。

	大変効果を感じている	やや効果を感じている	あまり効果を感じていない	全く効果を感じていない
ブルドーザーによる均平化委託 (対象者のみ)				
レーザーレベラーによる均平化委託 (対象者のみ)				
整地キャリアによる自主施工				

Q8 Q7で効果を感じられたという方にお伺いします。
「効果を感じられた」のは、どのような点についてですか？

(例 水を張った時に平らになったことを感じた、代掻き作業が行いやすくなって作業時間が短縮された、等)

Q9 2023年度も高低差解析＋均平化作業を発注／実施したいと思われませんか？
該当する欄に○を書き入れてください。

	委託料を支払っても利用したい	補助金が出るなら利用したい	補助金が出ても利用しない
ブルドーザーによる均平化委託 (対象者のみ)			
レーザーレベラーによる均平化委託 (対象者のみ)			
整地キャリアによる自主施工			

ご協力ありがとうございました。

(2) 11月に生産者へ実施したアンケート

高低差解析システムに関する活用度アンケート

氏名 _____

※**ブルドーザー**による均平化を受けられた生産者へお伺いします。

以下の各項目について、均平化の効果をどの程度感じられたか教えてください。

	大変効果を感じている 大変作業が楽になった	やや効果を感じている 少し作業が楽になった	あまり効果を感じていない あまり作業性は変わらない	全く効果を感じていない 全く作業性は変わらない
田植作業				
代かき作業				
除草剤の効き				
排水性				
水の張り具合				
ジャンボタニシの被害				
生育の揃い				
収穫作業				
収量				

具体的に教えてください（とくに活用できた点、効果を感じた点等）例：均平化を行っていないほ場より収量が多かった

※**レーザーレベラー**による均平化を受けられた生産者へお伺いします。

以下の各項目について、均平化の効果をどの程度感じられたか教えてください。

	大変効果を感じている 大変作業が楽になった	やや効果を感じている 少し作業が楽になった	あまり効果を感じていない あまり作業性は変わらない	全く効果を感じていない 全く作業性は変わらない
田植作業				
代かき作業				
除草剤の効き				
排水性				
水の張り具合				
ジャンボタニシの被害				
生育の揃い				
収穫作業				
収量				

具体的に教えてください（とくに活用できた点、効果を感じた点等）例：均平化を行っていないほ場より収量が多かった

※**自主施工**により均平化作業を行った生産者へお伺いします。

以下の各項目について、均平化の効果をどの程度感じられたか教えてください。

	大変効果を感じている 大変作業が楽になった	やや効果を感じている 少し作業が楽になった	あまり効果を感じていない あまり作業性は変わらない	全く効果を感じていない 全く作業性は変わらない
田植作業				
代かき作業				
除草剤の効き				
排水性				
水の張り具合				
ジャンボタニシの被害				
生育の揃い				
収穫作業				
収量				

具体的に教えてください（とくに活用できた点、効果を感じた点等）例：均平化を行っていないほ場より収量が多かった

この手引き書の著作権について

本手引き書の著作権は国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構に帰属します。

この手引き書の問い合わせ先

(株)スカイマティクス

E-mail sales@skymatix.co.jp

WebSite <https://skymatix.co.jp/>

本事業は、農林水産省「スマート農業技術活用産地支援事業」(事業主体:国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構)により実施されました。

農研機構スマート農業実証プロジェクトホームページ

<https://www.naro.go.jp/smart-nogyo/>