

水稲乾田直播栽培における前年整地の導入効果

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2019-03-22 キーワード (Ja): キーワード (En): lowland crop rotation, laser leveler, GNSS, aerial survey by UAV 作成者: 長南, 友也, 吉田, 晋一, 村上, 則幸 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24514/00002277

水稲乾田直播栽培における前年整地の導入効果

長南友也¹⁾・吉田晋一¹⁾・村上則幸²⁾

摘 要

北海道の水田輪作体系では、栽培期間の制約から耕起・播種・育苗・移植などの作業を春先の非常に短い期間に行わねばならず、このことが規模拡大の制約となっている。このため、育苗等の手間が省け、畑作物との相性も良い水稲乾田直播栽培に期待が寄せられている。しかし、乾田直播栽培での安定した発芽のためには田面の均平が重要であり、圃場によっては毎回均平作業が必要となる。そこで、春の均平作業の軽減を図り、秋まき小麦収穫後に整地する前年整地体系での春作業の軽減効果を明らかにした。その結果、前年整地の導入により、慣行体系に比べ春の整地作業時間（耕起と均平）を3割弱削減でき、さらに圃場の高低差マップにより作業者が事前に圃場の凹凸を把握できれば、慣行体系に比べ5割弱削減できると考えられた。

キーワード：水田輪作，レーザ均平機，衛星測位，無人航空機測量

目 次

I. 緒 言	53
1. 研究の背景と目的	53
2. 均平作業の必要性	53
3. 均平作業の手順と特殊性	53
4. 前年整地体系の原理	54
5. 本論文の構成	54
II. 圃場高低差の測定	55
1. 測定方法	55
1) トラバース（多角）測量	55
2) RTK-GNSS受信機搭載車両（GNSS車両）による測定	56
3) 無人航空機（UAV）によるレーザ測定	56
2. 高低差測定精度の検証	56
1) 調査時期および地点	56
2) 試験・調査方法	56
3) 結果および考察	57
(1) 生成マップの評価	57
(2) 高低差測定精度	57
(3) 利便性とコストの評価	57
3. RTK-GNSSの圃場均平度測定への適性評価	58
1) 実験方法	59

2) 試験結果および考察	59
4. 小括	60
III. 前年整地体系における均平度の評価および高低差マップの効果	60
1. 冬季の均平度の変動と前年整地の効果	60
1) 材料と方法	60
(1) 冬季の均平度の変動	60
(2) 前年整地が春先の均平状態に及ぼす効果	60
2) 結果および考察	60
(1) 冬季の均平度の変動	60
(2) 前年整地が春先の均平状態に及ぼす効果	61
2. 高低差マップが均平作業の効率化に及ぼす効果	61
1) 材料と方法	61
2) 結果および考察	63
IV. 高度差マップを利用した前年整地体系の経済・経営的な効果	64
1. 本編の目的と構成	64
2. 前年整地の実践経営の調査	64
1) 目的と方法	64
2) 結果および考察	64
3. モデル的な均平作業時間の設定	66
1) 目的と方法	66
2) 結果および考察	66
(1) 均平改善度ごとの均平作業時間の設定	66
(2) 各体系・各時点の均平度の設定	67
(3) 各体系の作業時間の設定と既往データ等との比較	67
4. 高度差マップを利用した前年整地体系の経済性評価	68
1) 目的と方法	68
2) 結果および考察	69
(1) 前年整地体系の生産費	69
(2) 前年整地体系における均平機の負担面積	69
5. 高度差マップを利用した前年整地体系の経営的評価	69
1) 目的と方法	69
2) 調査・試算の結果	69
(1) C法人の作業体系	69
(2) 慣行体系での大規模水田輪作経営の作業時間	72
(3) 前年整地体系での大規模水田輪作経営の作業時間	73
6. 本章のまとめ	73
V. 結言	74
1. 本論文で得られた知見のまとめ	74
2. 本論文の貢献と今後の展望および残された課題	75
謝辞	75
引用文献	76
Summary	78

I. 緒言

1. 研究の背景と目的

全道で農家人口の減少が続く中、特に水田作地帯の農家人口の減少率は畑作、酪農に比べて高く、水稲栽培においては規模拡大に対応した作業の省力化と、米価が下落傾向にある中での生産コストの低減が求められている（北海道農政事務所，2015）。このような中、育苗の手間・コストのかからない直播栽培への期待は大きく、北海道における栽培面積はH23年に1000haを超えて以降H28年度に1976haまで拡大しており、今後も拡大が予想される（北海道農政生産振興局農産振興課，2017）。

直播栽培には、慣行の移植栽培と同様に湛水してから播種する水稲湛水直播栽培と、入水前に小麦用播種機などを用いて播種する水稲乾田直播栽培（以下、乾田直播）がある。田畑輪換を含む水田輪作体系の中での畑作物栽培を考えると土壌構造を破壊しない乾田直播が適すると考えられている（北海道ら，2011b）。特に、北海道の空知地域や石狩地域の主要な水田作地帯では泥炭土など排水性の問題のある圃場が北海道水田面積の80%近くを占めており（北海道ら，2011a）、水田輪作体系を行う上で排水性の改善の点から乾田直播が期待されている。

泥炭土での乾田直播の技術的な課題として、有機物の分解による圃場の沈下が起こりやすく、特に畑作物の作付けで沈下量が大きい（橋本，2006）、水田輪作体系で圃場の均平が特に崩れやすいことがあげられる。そのため、乾田直播ではレーザ均平機を用いた均平作業が広く行われている（JAいわみざわ地域農業振興センター，2013b）。しかし、北海道は作業適期が短く、春の作業競合が著しいため、乾田直播の面積拡大のためには均平作業の省力化と作業時期の分散が重要と考えられる。

北農研では、水稲栽培の前作が秋まき小麦であることを前提として、小麦の収穫後に均平作業を行い、冬期の積雪と融雪により表面の土塊が溶けて細粒化することにより鎮圧と同様の効果を得られる、前年整地体系を提案している（牛木，2016）。この体系は条件によっては、春の均平作業を省略できるものの、春に再度手直し程度の均平作業が必要な場合もある。

そこで本論文では、前年整地と春の整地での均平作業時間や作業前後の圃場の均平度等から前年整地の導入による春作業の軽減効果を明らかにする。

2. 均平作業の必要性

乾田直播では、圃場均平により、1) 排水性が高まる、2) 苗立ちが均一化される、3) 除草剤がよく効く、4) 鳥害が軽減されるといった多面的なメリットが得られる（栗崎，伊藤，1999）。また、苗立ち確保の点から、水稲移植栽培よりも乾田直播で、暖地よりも寒地で高い水準の均平度が求められる。つまり、寒地における乾田直播はもっとも高精度な均平度が求められる（美唄市農業協同組合営農販売部米麦課編，2018）。その目標水準は、圃場内の高低差の標準偏差で1.2cm（最大高低差6cm，±2.5cm以内に96%の地点が入る）とされる（大下ら，1998）。

一般に、乾田直播や水稲無代かき移植栽培（以下、無代かき栽培）では、代かき作業を行わず、代わりに均平作業を行う。

均平作業の重要性が高い体系の典型例として「空知型輪作」が挙げられる（JAいわみざわ地域農業振興センター，2013a）。北海道内において、水稲単収が相対的に低く、なおかつ小麦単収が相対的に高い地域では、水田活用の直接支払交付金の下では10aあたり所得は水稲よりも小麦が高い（北海道地域農業研究所，2017）。南空知地域は泥炭地帯であるため、こうした地域の一つであり、小麦の生産が盛んで転作率は高い。しかし、小麦の連作や大豆との交互作により雑草や土壌病害虫の被害が大きくなっていった。このため、南空知地域では、小麦・大豆作に乾田直播や無代かき栽培を導入した田畑輪換を含む輪作が取り組まれ、「空知型輪作」と称され定着している。この体系では、排水性確保のため、代かきをしない乾田直播や無代かき栽培が選択される。しかし、畑作物の栽培期間中には、水稲栽培のような代かきや湛水をしないことや、泥炭地帯で沈下量が大きいことから、均平度が保ちにくいと考えられる。したがって、空知型輪作において畑作物から水稲作への復田時は、特に均平作業が重要と考えられる。

3. 均平作業の手順と特殊性

均平作業は一般的にレーザ均平機（レーザレベルとも呼ばれる）が用いられる。近年はレーザの代わりにGNSSを用いたGNSS均平機も普及しつつある（東北農業研究センター，2016）。

均平作業は次の手順が推奨されている（美唄市農業協同組合営農販売部米麦課編，2018）。1) 圃場区

画の大きさに応じて10-20mメッシュで平均標高、高低差と標準偏差を求める(高低の把握)。2) 10cm以上の差がある箇所において手動操作で土の移動を行う(運土1)。3) 田面の凹凸が比較的少ない状況で平均標高よりも1-2cm高いところにブレード(排土板とも呼ばれる)を設定して縦横走行、または回り走行で地ならしする(運土2)。4) 平均標高にブレードを設定して、土をわずかに動かしながら仕上げ均平を行う(仕上げ)。

1) に関しては、運土を行う前に圃場内を大まかに走行しながらブレードが土を抱えるか否かを見て、高低を大まかに把握するといった対応が一部の経営で取られている。また、前作が水稻の圃場では、代かき・田植え作業時や湛水時の不陸の有無によって圃場内の高低を把握し記憶している経営もある。

均平以外の多くの機械作業は、圃場全体を1回(ないし2回)作業機で通過することで完了する。このため、単位面積あたりの作業時間は主に車速と作業幅の関数として捉えることができ、作業時間のシミュレーションも行われている(溝田, 鶴岡, 2007)。これに対して、均平作業では圃場のどこを何回通過するかは、圃場ごとの高低によって異なる点で特殊である。このため、均平作業は圃場の均平度によって要する時間が大きく左右されると予想される。

乾田直播において求められる高低差は前節の通り±2.5cmである。この精度は、目視により把握するのが極めて困難である。このため1)の工程が必要である。しかし、1)は非常に大まかな把握でしかない。また、作業中に圃場内のどこが平均標高となって作業完了したのか分かりにくい。均平以外の多くの作業は作業痕から完了部分と未了部分が明確であるのに対して、均平作業はこの点でも特殊である。したがって、(1)無駄な走行が生じて効率的に作業できないおそれと、(2)高低を見落とし、均平が不十分のまま作業を終了するおそれがある。このことから、圃場内のどこがどの程度高いか低いかを詳細に図示したマップ(以下、高低差マップとする)の作成技術にニーズがあるといえる。

「北海道農業生産技術体系」(北海道農政部, 2013)によると乾田直播において、均平作業は最も時間を要する作業の一つである。均平作業は3.3hr/haとされ、播種(アッパーロータリ・カルチパッ

カー付き専用施肥播種機の使用を想定)の3.0hr/haよりも時間を要す。したがって、均平作業は乾田直播の面積拡大におけるボトルネックとなっている可能性が高い。

4. 前年整地体系の原理

図I-1に前年整地体系、図I-2に前年整地圃場の越冬による積雪、融雪後の土壌の変化を示す。図I-1に示すように、前年整地体系は秋まき小麦収穫後翌年に乾田直播を実施する圃場に適用できる。また、図I-2に示すように前年整地では、整地作業の分散効果だけではなく、均平後に積雪が溶けることによって、表面の土塊が細粒化し、ローラによる鎮圧と同様の効果が期待できる。

理想的には春先の均平と鎮圧作業を省略することが可能となり、作業負担軽減が期待できる。しかし、特に泥炭土では有機物の分解等によって越冬後に均平が崩れ、春に均平の手直しが必要となる場合がある。また、土壌条件や積雪条件によっては越冬後に土壌表面が固くなりすぎるため、播種作業に適する土壌の硬度となるよう、ハローなどによる整地が必要となる場合がある。以上のように前年整地体系は土壌条件などにより異なる工程を採る場合がある。既往の研究では、いずれの前年整地体系も慣行体系に比べて生育及び収量に差が無いことが確認されている(牛木, 2016, 牛木ら, 2014)。

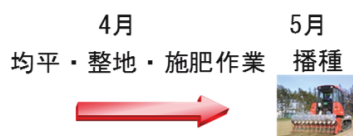
5. 本論文の構成

前年整地体系は、小麦の翌作の乾田直播において、春の均平作業を削減すると考えられる。しかし、均平作業時間は圃場の均平度によって異なると考えられる。このため、まず第II編では均平度の計測方法を検討する。なお、均平度計測方法の検討は高低差マップ作成技術の開発という側面も持つ。

第III編では前年整地体系を実践する経営において、第II編で検討した均平度の計測方法を用いて圃場均平度と均平作業時間を合わせて計測し、圃場均平度や作業時間に対する前年整地の効果を明らかにする。あわせて高低差マップの効果も検討する。

第IV編では、均平作業の重要性が特に高いと考えられる空知型輪作を主な対象とする。前年整地実践経営などの調査から前年整地体系に適性のある経営を特定する。その上で、実践経営のデータと第III編の調査結果を用いて、高度差マップを利用した前年

慣行体系



前年整地体系（前作秋播小麦）

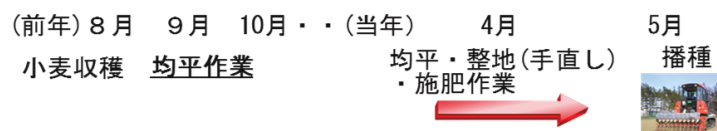


図 I-1 水稲乾田直播栽培の慣行体系と前年整地体系

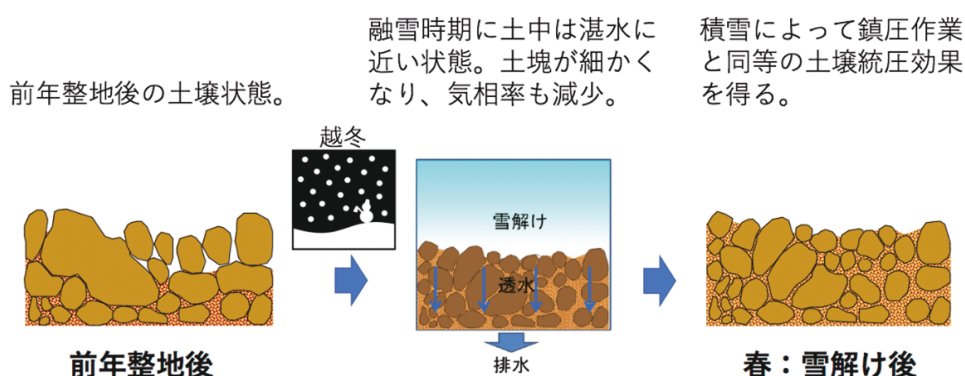


図 I-2 前年整地圃場の越冬による土壤変化

整地体系の経済・経営的な効果を明らかにする。

II. 圃場高低差の測定

均平作業については、作業時間とともに作業の精度（どの程度均平がとれているか）の面からも評価する必要がある。また、春の均平作業の要否判断についても圃場の高低差の測定が必要である。本編では、1) 測量、2) RTK-GNSS（リアルタイムキネマティック衛星測位）受信機搭載車両及び3) レーザプロファイラ（レーザによる距離計測装置）を搭載した無人航空機によるレーザ計測の3つの手法で圃場の高低差を測定し、高低差マップを生成した。そして、圃場測定における手法間の精度の相違等から、均平作業の前段階で必要な高低差の把握にあたり、各測定手法について、その実用性を検討した。さらに2) 及び3) の手法で利用する衛星測位については測位の経時変化を調べ、安定性を検証した。

1. 測定方法

本論文では3つの方法で圃場高低差を測定した。以下にそれら手法の概要を示す。

1) トラバース（多角）測量

既知点から出発して位置の分かっている点と未知の点を一続きの折線でつなぎ、トータルステーション等により線ごとに方位と距離を測定して位置を決定していく測量方法である。その方法は以下の、①一つの基準点から各点の位置を順次測定する解放トラバース、②最後に基準点までもどり、整合を確認する閉合トラバース及び③二つの基準点を結合させる結合トラバースの3方法がある（日本建設機械施工協会、2012）。今回は、最も精度が高いと考えられる③の結合トラバース法により実施した。

実際の作業は測量会社に依頼し、以下の手順で行った。

・中心点設置測量

圃場の長辺に平行となるよう測量起点、終点を設けて木杭を打設、測量起点にトータルステーションを設置し、終点方向に10mピッチの中心杭を設置した。

周辺の基盤整備等で利用した既存の仮基準点（KBM）を利用し、オートレベルによりKBMと測量起点の高さの差を観測して、測量起点に標高値を与えた。

・縦断測量

中心杭（10mピッチ）にオートレベルにより標高値を与えた。これは測量起点から終点までを往復観測により行った。

・横断測量（10mメッシュ測量）

中心杭にトータルステーションを設置し中心点方向の直交方向に10m毎の点について光波により標高値を求めた。これを中心杭毎に繰り返して行った。

2) RTK-GNSS受信機搭載車両（GNSS車両）による測定

高精度なGNSS（衛星測位）技術の利用は農業や建設等の分野において広がっており、農業ではガイダンスや自動操舵だけでなく均平作業機でも利用されている（若杉ら、2016）。RTK（リアルタイムキネマティック）-GNSSと呼ばれる方式では、基準局からの補正情報を用いて、誤差数センチ以内の精度での測位が可能とされている。

今回測定に使用したのは、写真Ⅱ-1に示す圃場高低差測定サービス用車両である。車両後方にRTK-GNSS受信機を搭載している。車両の姿勢などの影響は小さいとして補正は行わず、測位の結果を直接利用して高低差マップを生成した。なお高精度測位のための補正情報は圃場付近に設置したローカル基準局から得た。

3) 無人航空機（UAV）によるレーザ測定

航空機に搭載したレーザプロファイラと高精度GNSS受信機を利用して能率的に地形形状を測定する手法（横尾、2014）が知られている。有人の航空機ではなく無人航空機を利用することで低高度からの測定を行えるため、より高精度な地表面形状の測定が可能である。今回は農薬散布等に使用される農業



写真Ⅱ-1 RTK-GNSS受信機搭載車両

用無人航空機をベースに自律飛行機能を実装し、RTK-GNSS受信機とレーザプロファイラを装着したものを使用した（図Ⅱ-1）。

2. 高低差測定精度の検証

乾田直播予定圃場にて、上記の3種類の方法で高低差を測定し、その測定精度や測定時間を比較した。試験の概要などを以下に示す。

1) 調査時期および地点

2014年4月、北海道空知総合振興局管内A市の、前年の麦収穫後に整地した2カ所の圃場（1.6ha、0.9ha）。

2) 試験・調査方法

同一圃場を上記3方法にて高低差を測定してマップ化し、測定精度や利便性等から、測定方法の実用性を検討する。測定点間の間隔は以下の通り。

①測量（10m間隔）

トータルステーション：トプコン製 GTS-310 II
No. DY1254

オートレベル：トプコン製 AT-G2 自動レベル
No. AW0962

（いずれも測量機器検定品）

②GNSS車両測定（5m間隔走行、走行速度 約3m/s）

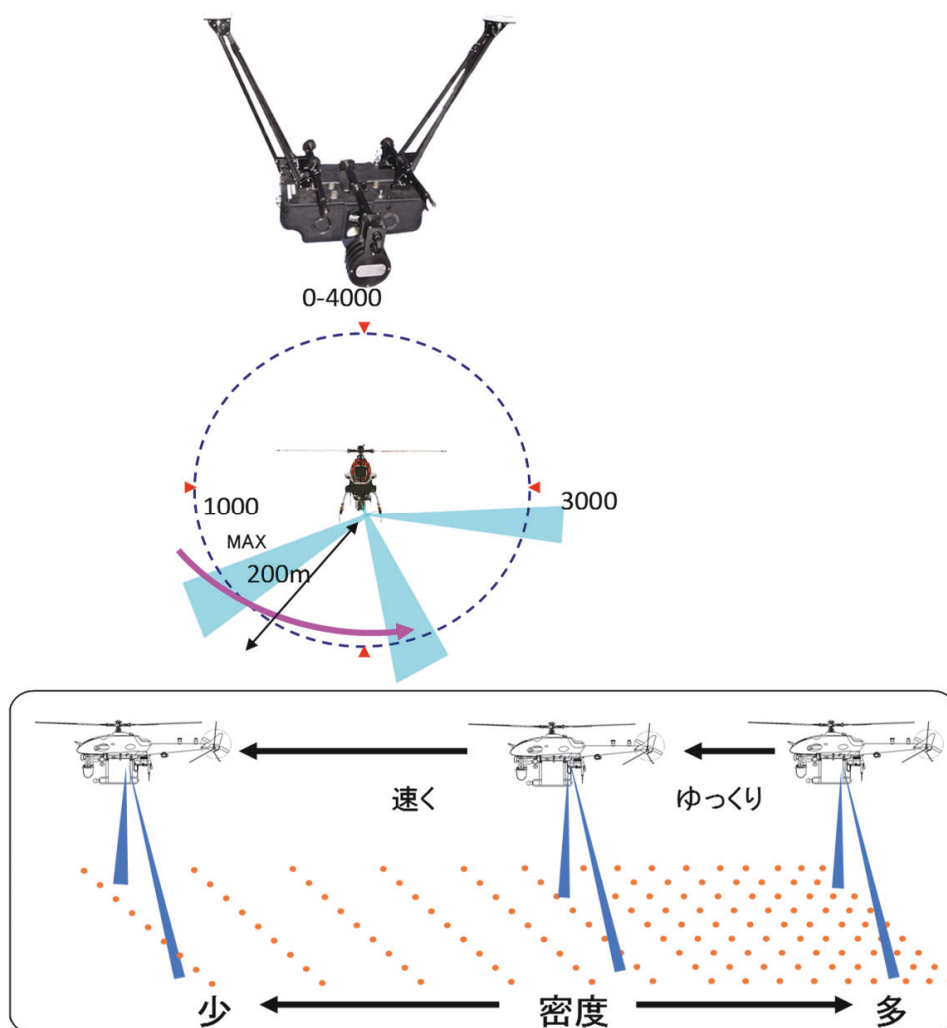
GNSS受信機：Trimble製 MS750（使用周波数L1/L2、利用衛星 GPS、データ取得頻度 1Hz）

通信装置：DTFX-3010

③無人航空機測定：ヤマハ発動機製 RMAX（最大高度150m、飛行速度2-5m/s、自律飛行により、あらかじめ設定した経路を自動的に飛行）

レーザプロファイラ：SkEyes製 SkEyes Box（最大スキャン幅 200m、最大測定頻度120KHz（12,000点/秒））

なお、①はトータルステーションが誤差±0.3cm、オートレベルが±0.07cm（1km往復標準偏差）②及び③についてはカタログ値より②が水平方向±1cm、垂直方向±2cm、③が誤差±2.5cmである。③については今回測定の飛行高度（高度30m）及び速度（4km/時）において測定点数は、1㎡あたり数点である。



図Ⅱ-1 無人航空機搭載のレーザプロファイラ（上）と測定方法（下）

注：ヤマハ発動機カタログより

3) 結果および考察

(1) 生成マップの評価

測定結果のマップを図Ⅱ-2に示す。測定点が多いことから、無人航空機測定では、トラクタの車輪の轍についても確認が可能である。分解能は異なるものの、測定点の平均標高を基準として、±5cm以内の面積割合を調査したところ、表Ⅱ-1に示すとおり測定方法間の相違は小さかった。

(2) 高低差測定精度

高低差の測定は、測量が最も一般的であり、信頼性が高い。その一方で、測定点数は各手法によって異なり、測量が最も少ない。そこで、測量を基準にして、GNSS車両と無人航空機の測定結果を評価した。

表Ⅱ-1に示すように無人航空機による計測における誤差の標準偏差は0.024mで、GNSS車両による0.078mよりも小さく、無人航空機による測定の方がGNSS車両を用いた場合と比べ精度が高かった。

(3) 利便性とコストの評価

表Ⅱ-2にそれぞれの手法での測定時間及び機材コスト等を示す。

測量はGNSS車両や無人航空機を用いた場合と比較して人員と時間を要し、大規模な測定には不向きと考えられた。一方、GNSS車両と無人航空機による1haあたりの高低差の測定時間を比較すると、無人航空機が40秒であったのに対し、GNSS車両では約10分であった。また、測定精度は無人航空機の方が高かった。したがって、ある程度まとまった地域を測定するには無人航空機が適していると考えられた。ただし、無人航空機の機材コストは約0.5～1億円でGNSS車両の約10～20倍に達することや、操作には最低でも2名（3名が望ましい）必要であるなど人員がかかることが課題とされた。

GNSS車両は無人飛行機よりも機材が安価で、1名での測定が可能のため、区画単位での測定に適す

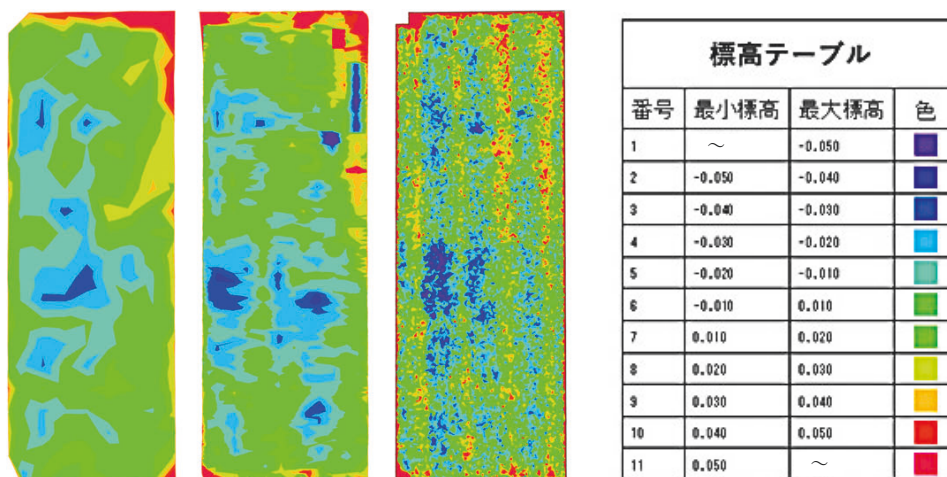


図 II-2 各測定方法で生成した高低差マップ（左：測量 中：GNSS車両 右：無人航空機）
 注：1) 無人航空機は高度20m, 4km/hr。凡例の単位：m。
 2) AutoCAD製のソフト「Civil3D」を用いて、測定点間を補間して作図した。

表 II-1 測定精度（測量との比較）および平均標高±5cm以内の割合

	平均標高に対する 高低差範囲 (m)	測量値との誤差の 標準偏差 (m)	平均標高±5cm 以内の測定地点 の割合 (%)
測量	-0.032, 0.037		96.1
GNSS車両	-0.032, 0.039	0.078	95
無人航空機	0.041, 0.066	0.024	96.3

注：比較点数140点。ただし無人飛行機は異常値1点を除く。

表 II-2 高低差の測定密度と測定時間、コストの比較

	測量	GNSS車両	無人航空機
測定密度 (測量を1とした比率)	10m間隔, 格子状 (1)	横5m, 進行方向3m間隔 (6.7)	点数/m ² (200-300)
必要な人員数	3名	1名	2名(できれば3名)
1ha当たり測定時間	約3時間	約10分	40秒
機材のコスト	約100万円～ (トータルステーション, その他)	約500万円 (車両+RTK-GNSS基準局・ 受信機)	約5000～1億円 (自律飛行無人航空機, レーザープロファイラ)

る。乾田直播の普及が進む地域でも乾田直播圃場は点在しているため、現段階ではGNSS車両が最も実用的な手法であると考えられる。問題点として、GNSS車両での測定では車両のサスペンションやタイヤの変形や轍による車両姿勢の変化等が測定に影響する可能性があるが、今回の測定において、目視ではこれらによる車体の上下動は見られなかった。

無人航空機の場合、良好な測定のためには①飛行中の機体姿勢の安定性、②正確な自己位置を得るための衛星測位の状態、③レーザープロファイラと機体の慣性計測装置(IMU)での姿勢計測とのキャリブ

レーションが重要である。①は天候の他、操作者の技量に依る。なお、③には高度な知識を要する。また、滞水ヶ所ではレーザーの反射がないため測定できない。以上の機材コストや人員ならびにキャリブレーションの問題から、まだ簡便な測定方法であるとは言い難い。しかし、ドローンの利用等により、操作の簡易化や機材の低コスト化が進めば、今後、測量に代替する可能性が十分考えられる。

3. RTK-GNSSの圃場均平度測定への適性評価

上記の高低差測位について、車両、無人航空機の

いずれの方法でも、圃場高低差測定の精度には衛星測位の精度が重要である。一般に、衛星測位の中で最も高精度なRTK-GNSSでも誤差は数センチ程度で、その精度は衛星配置の影響を受けること、水平方向よりも垂直方向で誤差が大きいことが知られている（庄司ら，2008）。したがって、GNSS受信機から乾田直播に求められる精度で、高さ情報が得られるかを検討する。

庄司ら（2008）は、L1のみの1周波タイプのRTK-GNSSを利用して、衛星配置が良好な条件下において、水田圃場で移動平均によりデータを平準化した場合、標準偏差は最小で7.7mmであったことを報告している。

均平作業の場合は、相対的な凹凸状況を把握することが重要であり、絶対精度よりも測位の安定性が重要である。そこで、以下の方法によりRTK-GNSSによる測位の安定性について検証した。

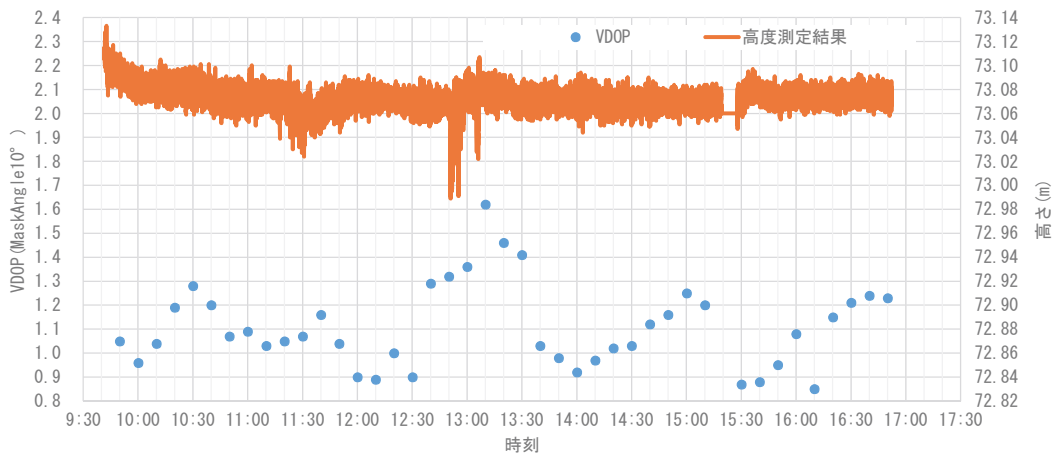
1) 実験方法

実験は北海道農業研究センター（札幌市羊ヶ丘）の敷地内で実施した。実験に供したGNSS受信機はTrimble製ABX-Two（標準偏差 水平方向0.8cm，垂直方向1.6cm）である。基地局と移動局のアンテナをそれぞれ同じ場所に静置した状態で約7時間測位し続け、高度の変動を調査した。

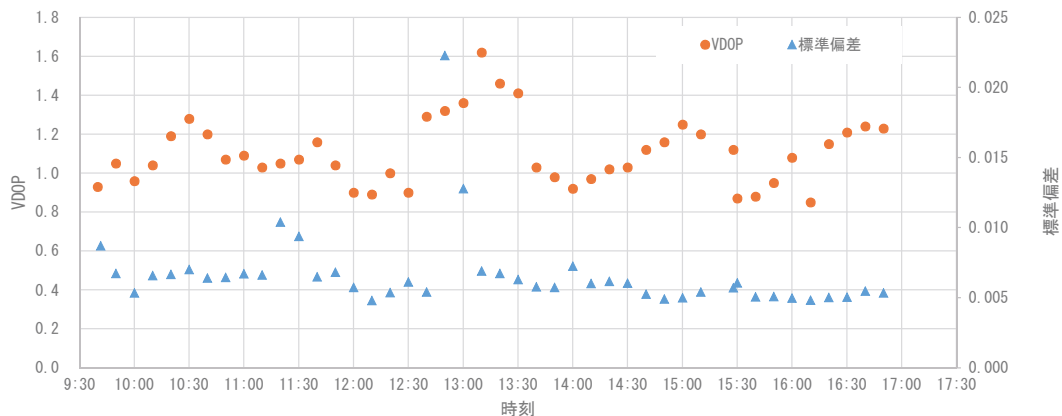
なお、L1とL2の2つの信号を使用し、衛星はGPSとGLONASSを使用して調査した。最悪の受信環境を想定し、アンテナは近くに建物や樹木が多い場所に設置した。

2) 試験結果および考察

高度測定結果とVDOP（Vertical Dilution of Precision：垂直精度低下率）の変動を図II-3に、10分間のサンプリングデータから求めた標準偏差（不偏標準偏差）とVDOPの関係を図II-4に示す。なおVDOPは、衛星配置の高さ方向測位への影響を示



図II-3 高さの変動とVDOPの関係（2018年7月20日，北海道農業研究センター）
注：Fix解で測位できているときのみを評価対象としたため、一部空白となっている時間帯がある。



図II-4 VDOPと標準偏差の関係（2018年7月20日，北海道農業研究センター）
注：不偏標準偏差は10分間の測定値（600データ）から算出

す指標であり、値が大きいほど測位精度が悪化する。VDOPはウェブサイト「Trimble GNSS Planning Online」からElevation cutoff 10° で取得した。

5cm以上の測位のブレが12時50分ごろから見られ、これに前後してVDOPが、1.3を超え1.6まで悪化していた。つまり測位のブレが大きくなった時間は衛星配置が悪化した時間と概ね一致した。標準偏差もVDOPが悪化する前後で0.0225mとなり、それ以外では0.005m程度であった。なお、測位がブレたり標準偏差が悪化したりした時刻とVDOPが悪化した時刻には若干ブレがあったが、この一因としてアンテナの設置場所の影響が考えられる。この実験は、悪条件を想定してアンテナの周辺に建物や樹木などの障害物が複数ある場所で行ったため、測位精度が悪化した可能性がある。同様に、VDOPが悪化していない11時20分頃にも測位の乱れが見られるが、これも障害物による遮蔽やマルチパスが影響したものと考えられる。また、電源投入時にも測位の乱れが見られた。この原因としては、ABX-Twoをコールドスタートさせたことが考えられる。すなわち、衛星の軌道情報の取得が不十分であったために測位精度が低かったものと考えられる。

13時30分ぐらいから15時20分ぐらいまでと、15時50分以降の時間帯であれば、VDOPは1.3未満で、測定時間内の平均を基準にした際の高度の変動はほぼ $\pm 1.5\text{cm}$ の範囲内であった。したがって、VDOPが低く、周囲に障害物が少ない測定条件の下であれば、今回の実験に供したGNSS受信機を用いることで、乾田直播の均平で重要な最大高低差5cmの凹凸を把握できると考えられる。実際の圃場では、この実験ほど障害物が多い環境は考えにくいことから、現場で高精度な測位を行うことは難しくないと考えられる。

4. 小括

圃場高低差の測定方法について、その精度を検討した。その結果、無人航空機搭載のレーザプロファイラによる測定は現段階では高コストであるものの、RTK-GNSS受信機搭載車両に比べて高精度な測定が可能であり、今後の低コスト化によっては利用が見込める。しかし、本論文における整地作業の評価においては、区画単位での測定に適し、現地での実用性が高いと判断したRTK-GNSS受信機搭載車両により、圃場内の高低差を把握することとした。

高低差の測位で使用する高精度GNSS受信機（RTK-GNSS）の性能を評価したところ、その精度は主に衛星配置の影響を受けることが明らかとなった。

予めVDOPを調べて1.3以上になる衛星配置の悪い時間帯とその前後約30分には測定を行わないことを条件として、圃場測位を行う場合には、乾田直播での均平の目安となる圃場高低差測定や、そのマップ化に供することのできる精度を得られると考えられる。

Ⅲ. 前年整地体系における均平度の評価および高低差マップの効果

1. 冬季の均平度の変動と前年整地の効果

前年整地体系は作業競合の多い春作業の省力化に貢献する技術として期待されている（牛木、2016）。この体系では春の播種前に行う均平作業を前年の積雪前に行う。このため、均平作業後に長い期間放置されることになり、積雪および雨風の影響や、泥炭土における有機物の分解による沈下等によって均平が崩れてしまう可能性が考えられる。そこで本章では、秋から翌年春にかけての圃場の均平度の変動を調査するとともに、前年整地が融雪後の圃場の均平度に及ぼす効果について調査を行った。

1) 材料と方法

(1) 冬季の均平度の変動

秋から春にかけての均平度（圃場の平均高度から $\pm 2.5\text{cm}$ 以内に含まれる圃場面積の割合）の変動を明らかにするため、B町のT法人が所有する水稲乾田直播栽培後の低地土圃場2ヶ所を対象として、積雪前と融雪後の均平度を2017年10月25日と2018年4月19日にGNSS車両（第Ⅱ編1章写真Ⅱ-1）で調査した。

(2) 前年整地が春先の均平状態に及ぼす効果

A市の2経営が所有する4ヶ所の前年整地を行った泥炭土圃場において、2018年4月19日にGNSS車両を用いて融雪後の均平度を調査した。また、前年整地を行わなかった泥炭土圃場についても同様の調査を行った。

2) 結果および考察

(1) 冬季の均平度の変動

積雪前の時点で、T83とT84の両圃場では均平度はそれぞれ86.2%と92.7%であった（表Ⅲ-1）。この2圃

場では前年整地を行っていなかったため、前年整地体系の場合は本調査よりも積雪前の均平度は高くなることが予想される。融雪後の均平度はそれぞれ85.8%と92.4%であり、どちらも積雪前よりは低下していたものの、その差は0.3~0.4ポイントと非常に僅差であった。したがって、1m³あたり500kgにもなる積雪の重み（竹内ら，2014）による鎮圧効果や凍結・融雪などの影響を受けて、わずかに均平状態が変動するものの、その程度は極めて軽微であった。積雪前と融雪後における均平度の調査を通して、低地土においては、10月下旬から4月中旬の期間は均平度がほとんど変動しないことが明らかとなった。

(2) 前年整地が春先の均平状態に及ぼす効果

前年に整地を行わなかった圃場では、前作までの作物栽培や機械作業等の影響で土壌表面の均平が崩れ、均平度は55%であった。圃場内には著しく均平が崩れていた地点もあり、面積比で全体の18%にあたる部分で平均高度から±4cm以上の凹凸となっていた（図Ⅲ-1）。一方で前年整地を行った場合の均平度は最も低い圃場でも74%、4圃場の平均では79%であり、前年に均平作業を行わない慣行の圃場と比較して2割以上均平度が高かった。また、前年整地を行った全ての圃場において面積比で9割以上の部分が±4cm以内に収まっており、前年整地を行った圃場内では大きな凹凸が少なかった。本研究で調査対象とした泥炭土圃場は地盤が軟弱であるため、低地土圃場よりも均平が崩れやすい土壌タイプであると考えられる（橋本，2006）。そのため、前年整地体系で前年に均平作業を行った場合であっても、翌年春には不等沈下等の影響で均平が崩れ、前年整地が春作業の省力化に貢献しないことが危惧された。しかし、本章の結果から、前年整地を行わなかった場合と比較して良好な均平状態を翌年春まで維持できることが明らかとなった。一般に、均平度が低い圃場や均平度が高くても大きな凹凸がある圃場では運土量が多く、均平機の高さ設定を変更する回数も多くなる（前述 I 編3章の運土1及び2の部分）ため

均平作業にはより多くの時間がかかる。本章の結果からは前年整地が春先の均平度を向上させるだけでなく、±4cm以上の大きな凹凸を取り去る効果があることが示唆された。このため、春の手直し均平が必要な場合であっても、その作業時間を短縮するために有効な技術であることが指摘できる。したがって、前年整地体系は均平作業を欠かすことができない乾田直播ないし無代かき栽培における春作業の省力化に大きく寄与する。特に、低地土圃場では冬季の均平度の変動はほとんど見られなかったため、前年に十分な均平作業を行っていれば春の均平作業を省略できる可能性がある。

2. 高低差マップが均平作業の効率化に及ぼす効果

I 編の3章でも述べたように、均平作業は他の機械作業に比べて非常に特殊な作業であるため、高低差マップは、均平作業の効率化と精度の向上に貢献できると予想される。そこで本章では、GNSS受信機を用いて均平作業前の圃場全体を定量的かつ面的に測位し、作成した高低差マップを作業者に提示することで均平作業の効率化と精度の向上に貢献するか調査した。

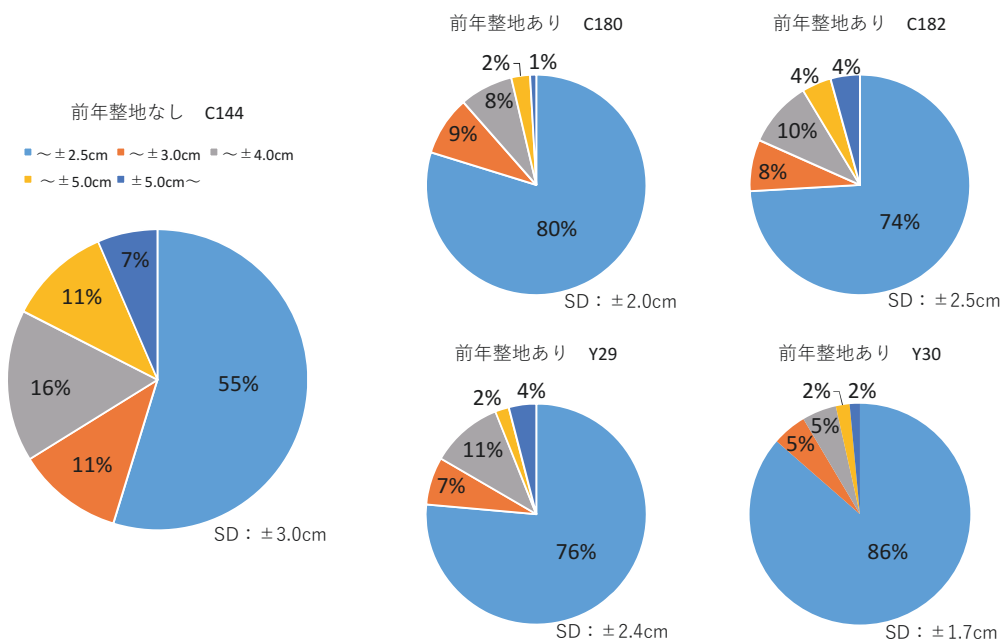
1) 材料と方法

A市のC法人とB町のT法人の水田圃場において、融雪後均平作業前と均平作業後の2回ずつ均平度を調査した。調査圃場の選定にあたっては作業や使用する機械、土質などの条件をできるだけ揃えるため、同一経営の面積が同程度である隣接2圃場を1セットとし、全部で3セット（合計6圃場）を用意した（表Ⅲ-2、表Ⅲ-3）。全ての圃場で融雪後均平作業前に均平度を調査し、表計算ソフトを用いて高低差マップを作成した（図Ⅲ-2）。同一セット内の片方の圃場でのみ高低差マップをC法人とT法人それぞれの作業者に提示し、両方の圃場を均平した。均平作業を圃場に設置したインターバルカメラ（brinno製 TLC200，撮影間隔1分）で撮影し、要した作業

表Ⅲ-1 積雪前と融雪後の均平度の比較

経営	圃場	圃場面積 (a)	均平度 (%)		標準偏差 (cm)		均平度の変動
			積雪前	融雪後	積雪前	融雪後	
T法人 (B町)	T83	60	86.2	85.8	±2.03	±2.79	-0.4
	T84	60	92.7	92.4	±2.56	±1.42	-0.3

注：均平度の変動は積雪前の均平度と融雪後の均平度の差である。



図Ⅲ-1 泥炭土壌における融雪後の均平状態

表Ⅲ-2 均平作業に用いた機械と作業者

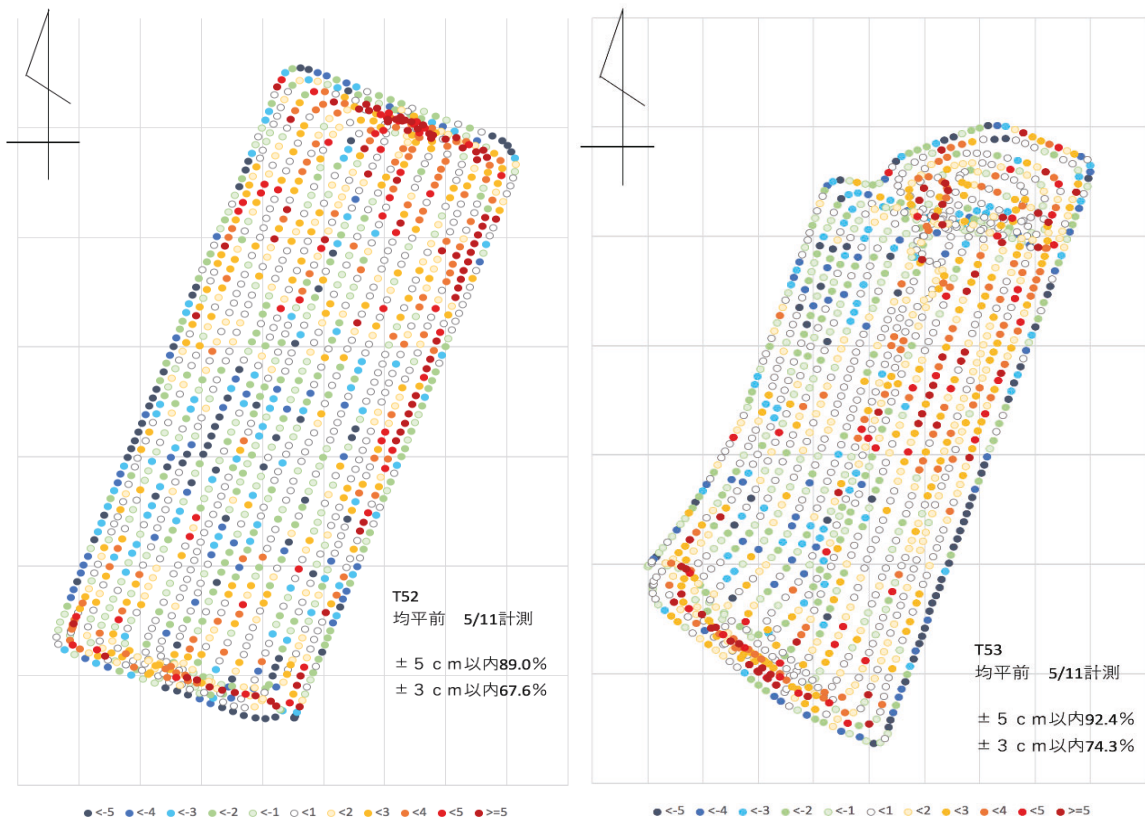
経営	圃場	セット	供試機			作業者
			トラクタ	均平機	作業幅	均平作業経験
C法人 (A市)	C84	I	N社112kW(152PS)	S社 直装式	4m	10年程度
	C85					10年程度
	C182	II	J社110kW(150PS) N社112kW(152PS)	S社 直装式	4m	10年程度
	C180					10年程度
T法人 (B町)	T52	III	J社88kW(120PS)	S社 牽引式	4m	1年目
	T53					1年目

表Ⅲ-3 均平試験を行った圃場の概要と均平度

経営	圃場	セット	高低差マップ	圃場面積 (a)	作業時間 (min/10a)	均平度 (%)		標準偏差 (cm)		
						均平前	均平後	均平前	均平後	均平改善度
C法人 (A市)	C84	I	非提示	66	17.1	83.8	91.5	±2.24	±1.68	7.7
	C85		提示	62	9.8	86.0	94.1	±2.33	±1.38	8.1
	C182	II	非提示	72	13.1	76.3	78.7	±2.45	±2.06	2.4
	C180		提示	75	14.1	79.2	92.4	±1.99	±1.47	13.2
T法人 (B町)	T52	III	非提示	132	24.9	59.5	92.1	±3.13	±1.43	32.6
	T53		提示	132	22.5	65.9	91.9	±2.83	±1.48	26.0

時間を計測した。均平後、再び全ての圃場の均平度を測定した。均平度の測定にはRTK-GNSS受信機 (Trimble製 ABX-Two) を搭載した小型トラクタ (K社製, 20kW(28PS)) および第Ⅱ編1章で前述のGNSS車両 (写真Ⅱ-1) の2種類を用いた。これらは、車両は異なるものの同一メーカー製のRTK-GNSS受信機

を搭載しており、どちらもローカル基準局を圃場付近に設置して高精度測位のための補正情報を得た。カタログ値から、これらのRTK-GNSS受信機は同程度の測位精度と考えられる。なお、本章における作業時間は圃場内作業のみを対象として評価しており、準備や圃場への移動時間を含まない。



図Ⅲ-2 実際に作成した高低差マップの一例

2) 結果および考察

セットⅠのC84圃場とC85圃場を比較すると、高低差マップを提示した圃場の均平度は、均平前の86.0%から均平後の91.5%に向上し、非提示の83.8%から91.5%に向上した場合と比較し、均平後の均平度が2.6%高かったが、均平改善度（均平後の均平度から均平前の均平度を引いた値）に大きな差はなく、均平作業後の均平度の差が高低差マップの提示によるものか判然としなかった。しかしながら、均平作業に要した時間は、高低差マップを提示した場合に提示しなかった場合と比べて4割程度短縮されており、高い均平精度を保ちながら作業時間が大幅に短縮されていた。セットⅢも同様に、高低差マップの有無によって均平後の均平度は変わらなかったが、高低差マップを提示することで10aあたりの作業時間が約1割短くなった。一方、セットⅡではセットⅠ、Ⅲとは異なり、均平作業時間は高低差マップの有無によって変わらなかったが、高低差マップを提示した場合の作業後の均平度は92.4%、均平改善度は13.2であり、高低差マップがない場合の78.7%、2.4と比較し、大幅に改善された。この結果から、同程度の時間をかけて均平作業を行った場

合には高低差マップの提示が均平度の向上に大きく寄与することが示唆された。見方を変えると、セットⅡで高低差マップを提示しなかったC182圃場では均平作業後も均平度が低いままであり、実際はまだ均平が不十分であるのに作業を終了してしまったとも捉えられる。このような理解の下でセットⅡを比較すると、高低差マップを提示したC180圃場で目標とする均平度に達したのと同じくらいの時間をかけても、C182圃場では依然として低い均平度のままであったと解釈することができる。また、高低差マップがない場合には、C182圃場のように実際には目標とする均平度に達していないにも関わらず、作業を終了してしまうケースがあった。これは、作業者が圃場の均平状態を過大評価してしまったことに起因すると考えられる。一方で、高低差マップを提示した場合には均平が不十分なまま作業を終了したと見受けられる事例はなかった。したがって、高低差マップを使用すれば圃場の均平の崩れ方を把握してから作業を始めることができるため、このようなケースを予防する効果も期待できる。実際に高低差マップを使用して均平作業を行ったT法人の作業者に感想を聞いたところ、目で見て凹凸が分かるの

で均平するべきところが分かりやすく良い、とのことであった。以上のことから、高低差マップの利用は均平作業の精度向上と時間短縮に加えて、失敗（高低差が残る）の回避に有効な技術であることが示唆された。

IV. 高度差マップを利用した前年整地体系の経済・経営的な効果

1. 本編の目的と構成

技術が実践技術として定着・普及するためには、技術的に優れた特性に加えて経済的合理性を併せ持つ必要がある。技術的特性を検討するには実践経営の分析が有効と考えられる。経済的合理性の評価は、農業経営学では、経済的視点と経営的視点とに区分される。前者は、投入－産出という物的な生産の技術過程を捉えるのに対して、後者は経営全体の収益最大という目標に照らし、かつ、技術がとり入れられる経営条件（個別制約条件）を考慮した上で評価を意味する（天間，1968）。前者は特定の作物の生産にかかる評価で、後者は複数の作物を含めた経営全体の評価で、それら両面が必要である。なぜならば、ある作物の省力化が別の作物の増産を可能にする場合などがあるためである。典型的には、前者では新技術を導入した特定作物の生産費の分析、後者では数理計画法などによる新技術を導入した経営シミュレーションが行われている。

以上を踏まえて、本編では、高低差マップを利用した前年整地体系について経済・経営的な効果を明らかにする。

本編の構成は以下の通りである。まず2章で、前年整地を実践する経営へ聞き取り調査を行い、技術的特性を検討する。具体的には前年整地を組み込んだ作業体系、それを実施する労働力条件などを明らかにする。次に3章で、4章以降の分析のため、Ⅲ編で得られた均平改善度と作業時間をもとに、モデル的な均平作業時間を設定する。続いて4章で、前年整地を実践する経営の調査から得られた生産費を基に、慣行及び前年整地体系を比較検討することで、前年整地体系を経済的視点から評価する。さらに、慣行及び前年整地体系において春の作業適期に均平機一台で作業可能な面積（負担面積）を比較検討する。5章で、前年整地を実践する経営の調査データをもとに稲・麦・大豆の大規模水田輪作体系の作業時間を試算し、前年整地および高低差マップの効果

を経営的視点から評価する。最後に6章で、本編を小括する

2. 前年整地の実践経営の調査

1) 目的と方法

前年整地の技術的特性を検討するため、前年整地を実践する経営へ聞き取り調査する。前年整地がどのような労働条件、作目構成、作付体系、作業体系のもとで行われ、どのような意図や効果があるのかを検討する。主な調査対象は、Ⅲ編で均平度などを調査した前年整地実践経営Y氏とC法人である（ともに南空知地域A市内）。補足的に同市内で大規模な前年整地実践経営であるA法人も調査する。比較対象として、同市内で類似した作付体系にもかかわらず前年整地を行わないH氏と、作付体系が異なり前年整地を行わない（Ⅲ編で均平度などの調査を行った）T法人を調査する。

2) 結果および考察

Y氏・C法人の経営および前年整地体系の概要を表IV-1に示す。Y氏は家族経営であるが比較的労働力が豊富な経営である。C法人はもともと別々の家族経営から構成される完全協業法人で労働力・機械装備が充実した経営である。両経営ともに稲・麦・大豆の輪作（田畑輪換）を行う経営で、小麦あとに乾田直播を行い、そこで前年整地を行っている。両者とも空知型輪作（Ⅰ編2章で前述）の一形態と言え、畑作物から水稻へ復田する際に均平作業が重要となる輪作体系を採る。

A市のA法人は、経営耕地150ha超（主に泥炭土）で稲・麦・大豆を中心とした輪作を行う大規模経営であり、前年整地の実践経営である。A法人経営者によれば、春の均平作業を行う時期が作業ピークである。無代かき栽培は均平作業が競合するため導入していないとのことで、均平作業がボトルネックである証左と言える。また、輪作体系において畑作物から水稻への復田時は、大豆あとにはせず（大豆は収穫時期が遅いため前年整地は困難である）、必ず小麦あとにして、前年整地を行ってから乾田直播を行っている。したがって、A法人においては、前年整地が大規模水田輪作存立の重要技術となっている。

他方で、A市のH氏は、同様に稲・麦・大豆の輪作で、小麦あとに乾田直播を行うが、前年整地は行っ

表IV-1 前年整地を実践する経営とその前年整地作業の概要

経営	Y氏	C法人
所在地	A市	A市
経営タイプ	家族経営	完全協業法人
労働力構成	男子基幹2名 補助作業3名	男子基幹6名
経営面積	31ha	108ha
主な土壌タイプ	泥炭土	泥炭土、一部低地土
主な作物	水稲（無代かき栽培・乾田直播）・秋小麦・大豆	水稲（無代かき栽培・代かき移植栽培・乾田直播）・秋小麦・大豆
主な作付（輪作）体系	1) 無代かき栽培連作（粘土が強い圃場） 2) 乾田直播→大豆→間作小麦→乾田直播or秋小麦or大豆	乾田直播→無代かき栽培→間作小麦→秋小麦→大豆→間作小麦
輪作における前年整地のタイミング	乾田直播の前作の秋小麦（間作を含む）収穫後の8ないし9月	乾田直播の前作の秋小麦（間作を含む）収穫後の8ないし9月
水稲乾田直播栽培に用いる品種	そらゆたか（飼料用）	大地の星、そらゆたか（飼料用）
均平作業に用いる機械	トラクタJ社110kW(150PS)、均平機S社直装式4m幅	トラクタN社112kW(152PS)、J社110kW(150PS)、N社97kW(132PS)、均平機S社直装式4m幅2台、S社牽引式4m幅1台
前年整地作業体系	7月下 麦収穫 8月上 麦稈処理 8月中 ロータリー耕 8月下 均平 <越冬> 4月下 均平 4月下 心土破碎（サブソイラ） 5月上 施肥 5月上 パワーハロー・グレーンドリルコンビネーション播種	7月下 麦収穫 8月上 麦稈処理 8月中 チゼルプラウ耕 8月下 均平 随時 心土破碎（サブソイラ） <越冬> 4月下 チゼルプラウ耕 4月下 均平 5月上 施肥 5月上 パワーハロー・グレーンドリルコンビネーション播種

出所：聞き取り調査による。

注：Y氏8月中旬のロータリー耕は、土壌の状態によってはチゼルプラウ耕の場合もある。

ていない。前年整地を行わない理由としてH氏は、1) 男子基幹的従事者はH氏のみであり、小麦収穫後は乾燥作業にあたる必要があること、2) 均平機は地区で共同利用のため秋の天候に恵まれた日に均平機を利用できるとは限らないことの2点を挙げた。したがって前年整地体系は、労働力が充実して、均平機を独自ないし少数経営で所有する比較的大規模

な経営に、より適性があると考えられる。

Y氏・C法人・A法人ともに、前年整地を行っても、積雪・融雪で均平が多少崩れるため、春に均平作業が必要であると考えていた。むしろ、Y氏・C法人は、盛り土部分は膨軟、切り土部分が堅密であることに着目して、春の均平作業を前提とした前年整地体系を構築していた。すなわち、前年に盛り土し

た部分が、積雪で圧縮され沈下し、春に再度盛り土することで、均平の精度と持続性の向上を期待していた。他方、B町のT法人は（前年整地を行っていないが）、別の理由で春の均平作業を重視していた。その理由は、均平作業機走行による踏圧の鎮圧効果と均平作業による土壌表層の碎土性向上が乾田直播に有効であると考えたためであった。なお、T法人でも盛り土部分は膨軟であると考え、盛り土を踏圧で押し固め、再度盛り土を繰り返すとのことであった。以上から、前年整地圃場においても、春に再度均平することは有益と考えられる。

Y氏・C法人の作業体系をみると、春の均平前に耕起するか否かが両者の大きな違いといえる。均平前に耕起しないY氏の体系の方が省力的である。しかし、耕起するC法人の体系の方が、積雪・融雪により土壌が非常に硬くなった場合でも対応できるため、適用範囲は広いと考えられる。

以上から、3章以降では、前年の麦収穫後に均平を行い、当年春に再度均平を行い、なおかつ均平前に耕起を行うC法人の前年整地体系を対象に検討する。

C法人の作業者によると、感覚的には前年整地を行うことで、春の均平作業時間が半分程度になるとのことであった。また、高低差マップの試験では、高低差マップがあることで、同様に半分程度になるとのことであった（前掲表Ⅲ-3のセットIでは実際に半分程度になっている）。また、C法人・Y氏ともに、前年の均平作業は、翌春に均平する前提で粗めに行うとのことであった。

小括すると、前年整地体系の技術的特性について実践経営の調査から次のことが示唆された。1) 労働力が充実しており均平機を独自ないし少数経営で所有する比較的大規模な経営に、より適性がある。2) 田畑輪換を含む輪作体系の復田時に均平作業は特に重要であり、大規模水田輪作では春の均平作業がボトルネックであるため、前年整地が重要技術である。3) 効果としては、前年にも整地することによる春作業の低減である。加えて、春にも均平作業するタイプの前年整地体系は、膨軟な盛り土が圧縮されることによる均平の精度と持続性の向上も期待されている。

3. モデル的な均平作業時間の設定

1) 目的と方法

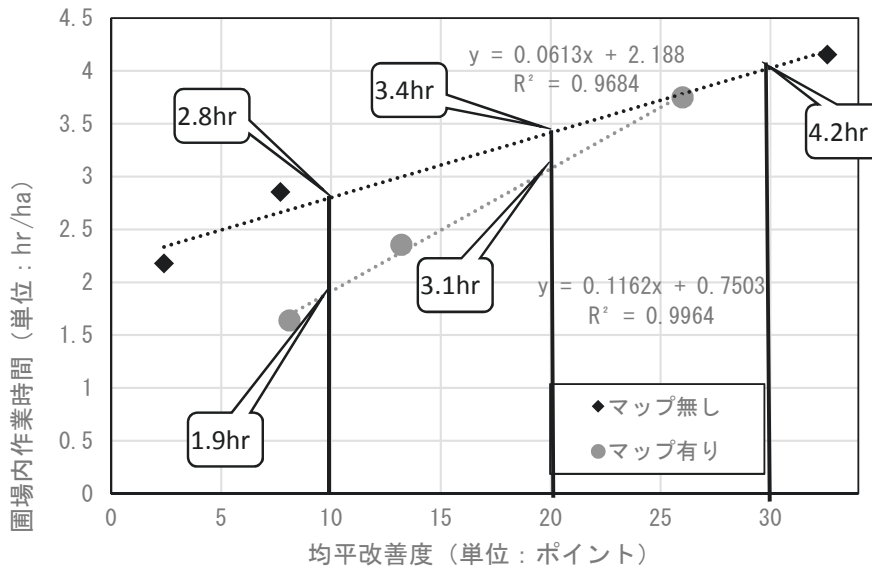
I編3章の予想およびⅢ編の結果から、均平作業時間（単位面積当たり）は、作業前の均平度や高低差マップの有無によって異なる。このうち作業前の均平度は各々圃場の土質や前歴（作物や作業）によって左右されるため、均平作業時間は圃場ごとに異なると考えられる。そこで、本3章では4章以降の分析のために、いくつかの典型的なモデルケースを想定して、その均平作業にかかる時間を設定する（作業時間モデル）。用いるデータはⅢ編の調査結果である。まず、(1) Ⅲ編表Ⅲ-3をもとに均平改善度と均平作業時間の関係を整理する。次に、(2) Ⅲ編表Ⅲ-1・表Ⅲ-3及び図Ⅲ-1をもとに、各体系・各時点の均平度を設定する。最後に、(3) これらをもとに、各体系の作業時間を設定し、C法人の聞き取り調査結果や既往データと比較する。なお、(1) は様々な土壌タイプ・作付体系に共通すると考えられるが、(2) (3) は泥炭土での輪作（田畑輪換）を想定したものである。

2) 結果および考察

(1) 均平改善度ごとの均平作業時間の設定

前編表Ⅲ-3の均平改善度と10a当たり圃場内作業時間を図IV-1に再整理した。サンプル数は少ないものの、1) 均平度を大きく改善する場合（均平改善度が大きい場合）に作業時間が長くなる傾向と、2) 特に均平改善度が小さい場合に高低差マップがあれば作業時間が短縮される傾向が見られた。前者の傾向はⅢ編1章2) 節(2) 項の考察と整合する。後者の傾向は均平作業の特性（I編3章で前述）によるものと考えられる。すなわち、均平改善度が大きい場合に、作業時間に占める運土にかかる時間が相対的に大きく、圃場高低の把握にかかる時間が相対的に小さくなる。反対に均平改善度が小さい場合に、運土にかかる時間が相対的に小さくなり、圃場高低の把握にかかる時間が相対的に大きくなるため、前述の傾向が生じたと考えられる。

これらをもとに均平改善度30ポイントで圃場内作業時間4.2hr/ha（高低差マップ有無ともに）、同20ポイントで高低差マップ有り3.1hr/ha・無し3.4hr/ha、10ポイントで高低差マップ有り1.9hr/ha・無し2.8hr/haと設定した。この圃場内作業時間はⅢ編と同様に準備や圃場への移動時間を含まない。



図IV-1 均平改善度と圃場内作業時間の関係

出所：表III-3をもとに作成。

注：「マップ」は高低差マップを指す。以下の図表も同じ。

なお、均平改善度は調査していないが、2014年度調査では高低差マップ有り1.1hr/ha・無し1.9hr/ha、2015年度調査では高低差マップ有り1.3hr/ha・無し1.6hr/haとの結果を得ている。これらは均平改善度が5～10%程度であったとすれば、図IV-1と矛盾しない。

(2) 各体系・各時点の均平度の設定

前年整地体系の場合、麦収穫直後の均平度70%、前年整地により同90%に向上、積雪・融雪により5ポイント低下し85%、春の均平作業により10ポイント向上し95%とした。前年整地ではない慣行体系の場合、麦収穫直後の均平度70%、積雪・融雪により5ポイント低下し65%、春の均平作業により30ポイント向上し95%とした。

(3) 各体系の作業時間の設定と既往データ等との比較

最後に、以上の均平作業時間と均平度をもとに各体系の作業時間をモデル的に設定した（作業時間モデル）（表IV-2）。なお、表中の総作業時間には準備や圃場への移動時間を含む。作業時間モデルでは前年整地を行うことで当年春の均平作業時間は5.6hr/haから3.7hr/ha（高低差マップ無し）となり、さらに高低差マップがあれば2.5hr/haとなる。これは、2章C法人の半減という指摘と概ね整合する。表IV-3では作業時間モデルを既存資料などと比較した。聞き取り調査から、C法人の平均的な圃場において前年整地体系の前年の均平も当年春の均平も作業時間

は4.0hr/haとのことであった。ただし、（数値に差を付けていないが）前年の均平の方が当年春の均平よりも多少時間を要すとのことであった。これに対して、作業時間モデルでは前年の均平4.6hr/ha、当年春の均平3.7hr/haであり、C法人の聞き取り調査結果と整する。一方で作業時間モデルにおける慣行体系の均平作業時間は5.6hr/haなのに対して、「北海道農業生産技術体系」（北海道農政部、2013）が3.3hr/ha、「北の国の直播」（美唄市農業協同組合営農販売部米麦課編、2018）が3.0hr/haと短い。この原因は、作業時間モデルが均平の崩れやすい田畑輪換でなおかつ泥炭土を想定しているためと考えられる。以上から、作業時間モデルは一定の妥当性をもっていると考えられる。

作業時間モデルから、前年整地体系（高低差マップ無し）では慣行体系に比べ春の整地作業時間（耕起と均平）を3割弱削減できる。前年整地体系に高低差マップがあれば慣行体系に比べ5割弱削減できる。高低差マップの効果は、均平改善度が小さい場合に大きいため、均平作業を2度に分けて少しずつ均平度を改善する前年整地体系で特に有効といえる。ただし、前年の整地作業を含めた整地作業全体は高低差マップ無しで4割弱、有りで1割強増加する。これらはIII編2章と整合する。

なお、これらの結果は、均平度が保ちにくい泥炭土での輪作（田畑輪換）を想定したものである。例えば、低地土や水稻連作では、均平度の崩れは小さ

表IV-2 各体系の作業時間モデル

	均平度 (±2.5cm以内地点割合)			圃場内作業時間		総作業時間		A/B
	均平前 (%)	均平後 (%)	均平改善度 (ポイント)	マップ有り (hr/ha)	マップ無し (hr/ha)	マップ有り (hr/ha)	マップ無し (hr/ha)	
前年整地体系								
前年 耕起						1.0	1.0	
前年 均平	70	90	20	3.1	3.4	4.1	4.6	0.90
積雪融雪			-5					
当年春 耕起						1.0	1.0	
当年春 均平	85	95	10	1.9	2.8	2.5	3.7	0.68
① 当年春小計						3.5	4.7	
② 合計						8.6	10.3	
慣行体系								
前年 耕起	70					1.0	1.0	
積雪融雪			-5					
当年春 耕起						1.0	1.0	
当年春 均平	65	95	30	4.2	4.2	5.6	5.6	1.00
③ 当年春小計						6.6	6.6	
④ 合計						7.6	7.6	
①/③						0.54	0.72	
②/④						1.14	1.36	

出所：表Ⅲ-1、図Ⅲ-1、表Ⅲ-3、図Ⅳ-1をもとに作成。

注：総作業時間は準備や圃場への移動を考慮して「農業機械導入計画策定の手引き」記載の碎土・整地・鎮圧作業の実作業率75%で圃場内作業時間を割り引いて導出した。耕起の作業時間はC法人聞き取り調査による。

表IV-3 作業時間モデルと既存資料などの比較

		総作業時間 (hr/ha)
作業時間モデル	慣行体系の均平	5.6
	前年整地体系前年の均平 (マップ無し)	4.6
	同 当年春の均平 (マップ無し)	3.7
C法人達観	前年整地体系前年の均平 (マップ無し)	4.0
	同 当年春の均平 (マップ無し)	4.0
「北海道農業生産技術体系」	慣行体系の均平	3.3
「北の国の直播」	慣行体系の均平	3.0

出所：表IV-2およびC法人聞き取り調査、表中の文献より作成。

注：1) 想定総作業時間は移動や準備を考慮して「農業機械導入計画策定の手引き」記載の碎土・整地・鎮圧作業の実作業率75%で圃場内作業時間を割り引いて導出した。

2) C法人の聞き取り調査では「1人1日8時間作業したとして2haぐらいできる」「(数値に差が付いていないが)前年の均平の方が時間がかかる」とのことであった。

く、作業時間も全体的に短いと考えられる。

4. 高低差マップを利用した前年整地体系の経済性評価

1) 目的と方法

本章では前年整地を導入した乾田直播を経済的視

点から評価する。まずはC法人を対象に生産費を計測し、前年整地体系(高低差マップ無し)と慣行体系(泥炭土で田畑輪換)を比較した。整地作業にかかる作業時間モデルは3章表IV-2の値を用いた。続いて、1台の均平機で4月下旬の10日間に作業可能な面積(負担面積)を算出する。算出は、前述の作業

時間モデルをもとに、「農業機械導入計画策定の
手引き」（北海道農政部生産振興局技術普及課、
2014）記載の1）日長を考慮した1日の作業時間、
2）準備や圃場への移動時間を考慮した実作業率、
3）天候を考慮した作業可能日数率を加味した。

2) 結果および考察

(1) 前年整地体系の生産費

前年整地体系（高低差マップなし）では前述の通り整地作業全体にかかる時間は4割弱増加する。これに伴い生産費においては光熱動力費と労働費が微増する（表IV-4、表IV-5）。しかし、物財費・費用合計・全算入生産費の増加は1%未満である。以上から、前年整地による生産費の影響はほぼないといえる。また、生育及び収量にも影響しないこと（牛木、2016、牛木ら、2014）から、重量当たりの生産費にもほぼ影響せず、収益性の変化は生じないといえる。

(2) 前年整地体系における均平機の負担面積

負担面積は、慣行体系では13.6haなのに対して、前年整地体系（高低差マップ無し）では20.3ha（慣行比150%）、前年整地体系に高低差マップがあれば30.0ha（同221%）と大幅に広い面積が対応可能となる（表IV-6）。高低差マップを利用した前年整地体系は乾田直播を大面積で行う経営において非常に有効な体系と言える。

5. 高低差マップを利用した前年整地体系の経営的評価

1) 目的と方法

本章ではC法人の経営調査をもとに、前年整地体系を、他の作物生産も考慮して経営全体の視点から評価する（経営的評価）。具体的には、まずはC法人の稲・麦・大豆の作業体系および作業時間を把握する。次に、これを基に、経営面積100haの大規模水田輪作経営を想定して旬別作業時間を試算する（表IV-7）。

大規模水田輪作経営を想定する理由は、1）2章の結果から、前年整地体系の適性が大規模水田輪作経営でより高いと考えられること、2）農業経営体数の減少と担い手経営の規模拡大が続くなかで、将来の1つの担い手像として大規模水田輪作経営が考えられること（特に南空知地域において）である。

想定する輪作体系は乾田直播→無代かき栽培→大

豆→間作小麦の4年4作体系（各作物25haずつ）である。これは「水稲作付面積の維持・確保」を掲げる水田ビジョンに合致させており（JAグループ北海道北海道水田農業ビジョン策定委員会、2014、JAいわみざわ地域農業再生協議会、2016）、実際のC法人の作物構成に比べ、水稲（特に乾田直播栽培）面積が多い。また、栽培技術・作業技術上の合理性が期待でき、なおかつC法人の輪作体系よりもシンプルであるため、輪作体系の基本型として応用可能性が高い体系と考えられる。以上から4年4作体系を想定して試算する。

想定する労働力はC法人の現状に準じて、機械作業可能な基幹的従事者6名と田植え時期の10日間の臨時雇（補助作業）とする。機械・施設の装備は、もともと別々の家族経営から構成された完全協業法人を想定して、基幹的従事者人数に対して十分な装備とする。すなわち、機械の台数の不足が作業の制約にはならないとみなす。

経営的評価においては、一般的に、線形計画法などの数理計画法を用いて、所得などを最大化する各作物の作付面積構成を解明するとともに、その際の収益性を算出して評価する。しかし、本節では旬別作業時間の試算に留める。この理由は、1）前述の通り、現地で定着しつつある「空知型輪作」を念頭に4年4作体系を想定しており、各作物の作付面積は固定されるため、2）前章の分析結果から、前年整地体系は作業時間を変化させるものの、収益性を変化させないためである。

なお、旬別作業時間は、総作業時間と、そのうちの雨天時にできないなど天候に依存する作業時間を分けて算出した。具体的には、天候に依存しない（雨天時も可能な）作業を田植え・ハウスなど室内作業・水管理・出荷作業とし、それ以外の作業を天候依存作業とした。

2) 調査・試算の結果

(1) C法人の作業体系

C法人の作業体系を表IV-8に示す。稲・麦・大豆の作業において、4月下旬に水稲および大豆の耕起・均平作業、5月中旬に水稲田植えと大豆の施肥・耕起、10月上旬に水稲収穫と大豆手取り除草が競合している。その一方で、前年整地体系で前年の均平を行う8月下旬には作業競合がほとんどない。

表IV-4 前年整地体系と慣行体系の10aあたり生産費

	乾田直播（大地の星）		
	慣行体系	前年整地体系 (マップ無し)	
	(円/10a)	(円/10a)	
	①	②	②/①*100
種苗費	7,784	7,784	
肥料費	7,329	7,329	
農業薬剤費	11,109	11,109	
光熱動力費	3,758	4,174	111.1
その他の諸材料費	320	320	
土地改良水利費	5,589	5,589	
賃借料及び料金	4,662	4,662	
物件税及び公課諸負担	3,741	3,741	
建物費	4,361	4,361	
自動車費	1,784	1,784	
農機具費	44,229	44,229	
生産管理費	662	662	
物財費	95,328	95,744	100.4
うち流動財費	53,270	53,686	100.8
労働費	11,308	11,713	103.6
(投下労働時間 単位hr/10a)	7.54	7.81	
費用合計	106,636	107,457	100.8
副産物価額	1,277	1,277	
資本利子	6,575	6,591	
地代	16,000	16,000	
全算入生産費	127,934	128,771	100.7
収量(kg/10a)	588	588	
60kg当たり生産費(円/kg)	13,054	13,140	100.7

出所：C法人への聞き取り調査および会計データによる。算定根拠は表IV-5の通りである。

- 注：1) 想定面積は、C法人「大地の星」作付の実態に準拠して両体系とも約8.5haである。なお、C法人はこれ以外にも飼料用に「そらゆたか」を乾田直播栽培している。
- 2) 牛木, 2016, 牛木ら, 2014において、前年整地体系は生育及び収量に影響しないとされていることから、収量は慣行体系・前年整地体系ともにC法人聞き取り調査による2017年値を用いた。
- 3) 高低差マップは、V編2章で後述の通りトラクタや作業機に搭載されたRTK-GNSSで作成できる可能性があるなど、作成機材は更なる検討の余地がある。このため、ここでは高低差マップ有りの生産費は計測していない。

表IV-5 生産費の算定根拠

費目	算出根拠
種苗費	標準的な価格と使用量を基に算出。
肥料費	標準的な価格と使用量を基に算出。
農業薬剤費	標準的な価格と使用量を基に算出。
光熱動力費	機械の稼働時間と標準的な燃料消費量（「北海道における農業機械導入の手引」）から算出。
その他の諸材料費	ハウス資材、被覆資材、灌水資材等の使用実態に基づき計上。 ただし、ビニール等は、使用年数で当年分を計上。なお、バンド及びバッカー等は交換実績。
土地改良水利費	土地改良区の経常賦課金。
賃借料及び料金	生産の実態に基づき計上。
物件税及び公課諸負担	固定資産税（土地除く）、自動車税、自賠責保険、農協賦課金、農事組合費、当該作物の負担金。 ※固定資産税は償却資産の簿価から推計。
建物費	農業用建物の減価償却費。建物に係る維持管理費。
自動車費	営農用車輛の修理費（取得価額に修理係数を乗して算出）、任意保険等を計上。 当該作物の負担額は、トラックの稼働時間の割合を基に算出した。
農機具費	償却費、修理費、集合農具費、購入補充費の合計額。
うち償却	農業機械の減価償却費。ただし、構成員が所有する農業機械については、償却費として計上した。 共有の機械については、トラックの稼働時間の割合で当該作物に配賦した。
うち修理	修理の実態に基づき計上。
うち購入補充	使用実態に基づき計上（小農具・作業用衣料等）。
生産管理費	生産部会の支出、事務用品代を計上。
物財費	種苗費から生産管理費までの合計額。
労働費	投下労働時間に賃金（1,500円/hr）を乗じた。
費用合計	物財費と労働費の合計額。
副産物価額	屑米の販売実績を基に算出。
資本利子	流動資本（流動財費の1/2）と労働資本（労働費の1/2）と固定資本の合計額に利率0.04を乗じた。
地代	調査対象地域の実績を参考に計上。
全算入生産費	物財費、労働費、資本利子、地代の合計額。

表IV-6 4月下旬に均平機1台で作業可能な面積（負担面積）

	①	②	③	④	⑤	$\frac{① \times ② \div ③ \times ④}{⑤}$
	1日の作業時間 (hr/日)	実作業率 (%)	モデル作業時間 (hr/ha)	作業可能日数率 (%)	日数 (日)	負担面積 (ha)
慣行体系	10.4	75	4.2	73	10	13.6
前年整地体系（マップ無し）	同上	同上	2.8	同上	同上	20.3
前年整地体系（マップ有り）	同上	同上	1.9	同上	同上	30.0

出所：表IV-2および「農業機械導入計画策定の手引き」より作成。

注：1日の作業時間、実作業率、作業可能日数率は「農業機械導入計画策定の手引き」の値を用いた。

表IV-7 C法人の状況と経営評価の試算条件

	C法人	試算条件
労働力	基幹的従事者6名（機械作業可能）＋田植え時期10日間の臨時雇1名（補助作業）	同左
経営面積	108ha	100ha
転作率	67%	50%
作物構成	移植水稻（代かき栽培・無代かき栽培）23ha、乾田直播13ha、小麦（秋まき（ドリル播種）、秋まき（大豆間作）、春まき）32ha、大豆40ha	無代かき栽培25ha、乾田直播25ha、大豆間作小麦25ha、大豆25ha
主な作付（輪作）体系	乾田直播→無代かき栽培→間作小麦→秋小麦→大豆→間作小麦	乾田直播→無代かき栽培→大豆→間作小麦

出所：C法人は聞き取り調査による2017年度の状況である。

注：この年度は秋まき小麦に廃耕が生じたため、例年より春まき小麦と大豆が多かったとのことである。

表IV-8 C法人の作業体系（主な作業のみ）

	水稻無代かき移植栽培	水稻乾田直播栽培（慣行）	水稻乾田直播栽培（前年整地）	大豆間作小麦	大豆
上	ハウス準備				
4月 中					
下	播種・耕起・均平	耕起・均平	耕起・均平		耕起・均平・心破
上	施肥・整地・鎮圧	施肥・播種・鎮圧	施肥・播種・鎮圧		
5月 中	田植え				施肥・耕起
下					碎土・播種
上					
6月 中					
下					
上					
7月 中					
下	収穫				
上	残渣処理				
8月 中					
下	(前年) 耕起・均平			(前年) 耕起	
上	(前年) 播種				
9月 中	収穫	収穫	収穫		
下	収穫	収穫	収穫		
上	収穫	収穫	収穫	手取り除草	
10月 中	収穫				
下	粗耕起				

出所：C法人聞き取り調査による。

注：「心破」は心土破碎の略である。

(2) 慣行体系での大規模水田輪作経営の作業時間

4年4作の慣行体系（前年整地を行わない）における旬別作業時間の試算結果を図IV-2に示す。必要作業時間が作業可能時間を超過したのはa) 4月下旬の総作業、b) 4月下旬の天候依存作業、c) 10月上旬の天候依存作業の3箇所である。

まず、c) 10月上旬の天候依存作業は、水稻収穫と大豆の手取り除草作業の競合する時期である。た

だし、1) 超過量は大きくないため、また、2) 大豆の手取り除草作業は天候に依存するものの、機械作業ではなく比較的天候による制約は緩いため、大きな問題ではないと考えられる。

次に、b) 4月下旬の天候依存作業は、主に水稻および大豆の耕起・均平作業である。このことは2章のA法人の「春の均平作業時期が作業ピークで、ボトルネックとなっている」との指摘と整合する。

最後に、a) 4月下旬の総作業では、b) に主に水稻育苗作業が加わる。ここでは必要作業時間が作業可能時間を大幅に超過しており厳しい作業競合が見られる。現実的には育苗などで夜間作業が行われている可能性が考えられる。前述の均平作業の省力化に加え、補助作業で臨時雇の導入などの対応が必要と考えられる。

他方で、前年整地体系で前年の均平作業が行われる8月下旬は、作業可能時間に比べ必要作業時間が非常に少なく、農閑期で、作業を増やす余裕が十分にある。

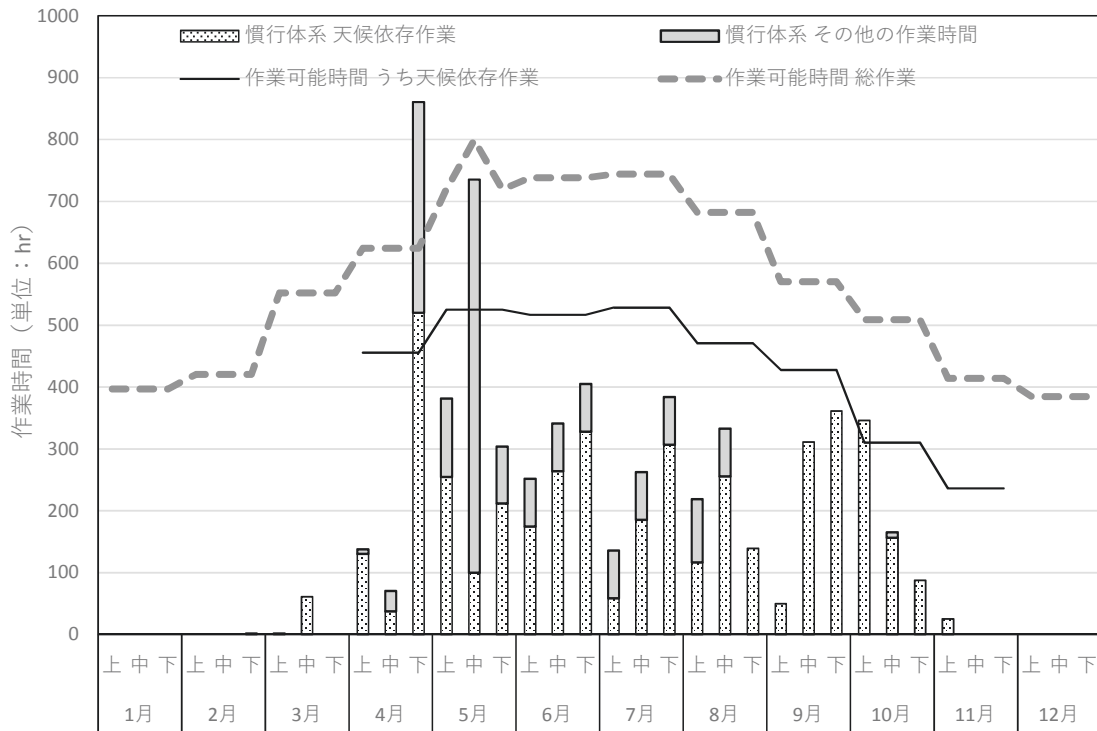
(3) 前年整地体系での大規模水田輪作経営の作業時間

続いて、春の均平作業時期である4月下旬と前年の均平作業時期である8月下旬について、前年整地体系に移行した場合の作業時間を図IV-3に示す。前年整地体系で、4月下旬の必要作業時間は短縮され、天候依存作業では作業可能時間内にほぼ収ま

る。なおかつ8月下旬の必要作業時間は作業可能時間を超過しない。2章で示唆された「大規模水田輪作の存立には、春の均平作業の省力化が重要であり、それに前年整地作業が有効な技術であること」が本分析からも改めて確認された。しかし、4月下旬の総作業時間をみると、前年整地体系に移行しても、必要作業時間が作業可能時間を超過している。このため、並行する水稻移植栽培における播種作業などの補助作業で臨時雇の導入などの対応が必要と考えられる。

6. 本章のまとめ

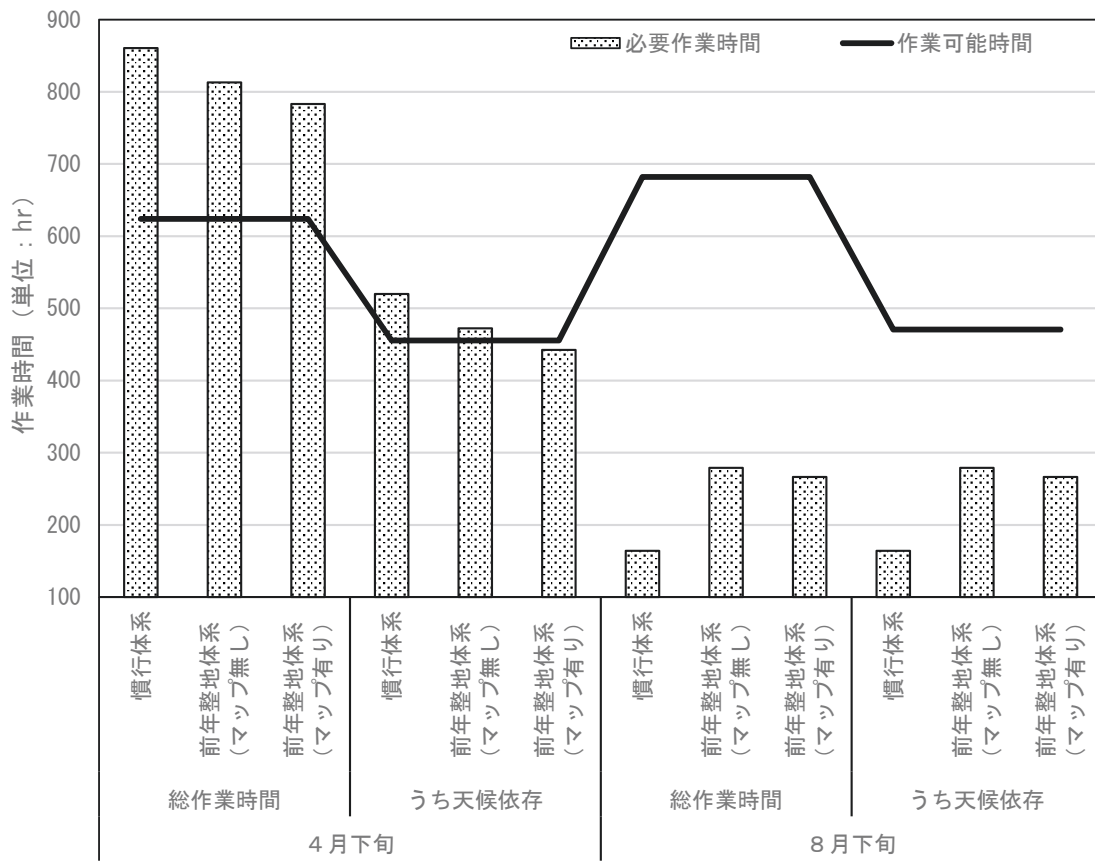
本章では、前年の麦収穫後に均平を行い、当年春に耕起を行った上で再度均平を行う前年整地体系を対象に、実践経営のデータをもとに高低差マップを利用した前年整地体系の経済・経営的な効果を検討した。得られた結果は以下の通りである。前年整地体系の効果としては、前年にも整地することによる春作業低減が挙げられる。泥炭土における



図IV-2 旬別作業可能時間と慣行体系の必要作業時間

出所：C法人聞き取り調査による作業時間、表IV-2、表IV-7、「農業機械導入計画策定の手引き」より作成。

注：「作業可能時間 総作業」は日長を考慮した「1日の作業時間」に日数と従事者数を乗じた。これに天候を考慮した「作業可能日数率」を乗じたものが「作業可能時間うち天候依存」である。ただし田植え時期の臨時雇は補助作業のみであることから、主に機械作業の「作業可能時間うち天候依存」からは差し引いた。天候に依存しない（雨天時も可能な）作業を田植え・ハウスなど室内作業・水管理・出荷作業とし、それ以外の作業を天候依存作業として作業時間を集計した。なお、「1日の作業時間」および「作業可能日数率」は「農業機械導入計画策定の手引き」の値を用いた。



図IV-3 前年整地体系への移行による作業時間の変化

出所：図IV-2に同じ。

注：図IV-2に同じ。

輪作（田畑輪換）を想定した試算から、前年整地体系（高低差マップ無し）で慣行体系に比べ春の整地作業時間（耕起と均平）を3割弱削減でき、前年整地体系に高低差マップがあれば慣行体系に比べ5割弱削減できると想定される。また、高低差マップは前年整地体系で特に有効と言える。ただし、前年の整地を含めた整地作業全体は高低差マップ無しで4割弱、有りで1割強増加する。均平機の負担面積（春季10日間）は、慣行体系では13.6haなのに対して、前年整地体系（高低差マップ無し）では20.3ha（慣行比150%）、前年整地体系に高低差マップがあれば30.0ha（同221%）と試算され、大幅に広い面積を作業可能となる。さらに、膨軟な盛り土が積雪で圧縮された後に再度均平するため、均平の精度と持続性の向上が期待されている。

前年整地体系の技術的特性として、労働力が充実しており均平機を独自の少数経営で共同所有する比較的大きな経営に、より適性がある。大規模水田輪作経営（田畑輪換を含む）では、春の均平作業時期が作業ピーク・ボトルネックとなっているた

め、その省力化が重要であり、それには前年整地作業が有効な技術である。前年整地体系によって乾田直播→無代かき栽培→大豆→間作小麦（4年4作）の大規模水田輪作体系の実現可能性は高まり、基幹的従事者6名（水稻育苗と田植えに臨時雇が必要）の完全協業法人を想定すると100ha程度までの規模拡大が可能と試算された。

V. 結言

1. 本論文で得られた知見のまとめ

本論文では、まず均平度の計測方法を検討した。その結果、レーザプロファイラ搭載の無人航空機飛行が高精度であるが高コストでもあり、高精度GNSS（RTK-GNSS）受信機搭載の車両走行が、簡便で低コストであった。このRTK-GNSSは、衛星配置の悪い時間帯を除けば、乾田直播での均平目安となる圃場高低差測定やそのマップ化に利用できることを明らかにした。

次に、RTK-GNSS受信機搭載の車両を用いて、前年整地実践経営等の圃場において、均平度を計測し、

合わせて均平作業時間も計測した。さらに高低差マップの利用に伴う作業能率と精度面の効果を検討した。その結果、均平が崩れやすいと考えられる泥炭土においても、前年整地圃場は積雪・融雪後もある程度の均平度を保っていることが確認された。また、低地土圃場では、降雪・融雪による均平の崩れは極めて少なかったことから、前年整地体系において春の均平作業を省略できる可能性が確認された。高低差マップは均平作業の短縮化や失敗（作業後も高低差が残る）を防ぐ効果が示唆された。

最後に、均平度と作業時間の調査結果と実践経営のデータを用いて、前年整地および高低差マップの経済・経営的な効果を明らかにした。その結果、泥炭土における輪作（田畑輪換）では、前年整地体系（高低差マップ無し）で慣行体系に比べ春の整地作業時間（耕起と均平）を3割弱削減でき、前年整地体系に高低差マップがあれば5割弱削減できると想定された。また、高低差マップは、前年整地体系と組み合わせることで、より効率化が期待できる。ただし、整地作業全体は、前年秋にも作業が加わるため、高低差マップ無しで4割弱、有りで1割強増加する。均平機の負担面積（春季10日間）は、慣行体系では13.6haなのに対して、前年整地体系（高低差マップ無し）では20.3ha（慣行比150%）、前年整地体系に高低差マップがあれば30.0ha（同221%）と試算され、大幅に広い面積を作業可能となる。さらに、膨軟な盛り土が積雪で圧縮された後に再度均平するため、均平の精度と持続性の向上が期待されている。なお、これらは均平が崩れやすいと考えられる泥炭土における田畑輪換を想定した試算である。均平が崩れにくい低地土等では、より大幅な春作業の削減も期待できる。

前年整地体系の技術的特性として、労働力が充実しており均平機を独自ないし少数経営で共同所有する比較的大きな経営に、より適性がある。大規模水田輪作経営では、春の均平作業時期が作業ピーク・ボトルネックとなっている。そのため、均平作業の省力化・分散化が重要であり、それには前年整地作業が有効な技術である。前年整地体系によって乾田直播→無代かき栽培→大豆→間作小麦（4年4作）の大規模水田輪作体系の実現可能性は高まる。基幹的従事者6名（水稲育苗と田植えに臨時雇が必要）の完全協業法人を想定すると100ha程度の経営体でも前年整地体系の導入に伴い水田輪作体系が採用でき

る。

2. 本論文の貢献と今後の展望および残された課題

本論文では前年整地体系による春季均平作業の分散化の効果を明らかにした。小麦と乾田直播を含む田畑輪換を行う場合に参考となる知見である。前年整地体系は、こうした作付体系を持つ経営でボトルネックとなっている春季均平作業を緩和するため、特に、経営の大規模化の実現に資する。

前年整地体系は、小麦の翌作に無代かき栽培や大豆作を行う場合にも応用でき、空型輪作に代表される田畑輪換体系の確立に広く寄与するものである。しかし、本論文で前年整地の効果は泥炭土の乾田直播のみでしか検討できておらず、他の土壌タイプや他の作物・栽培法、多様なタイプの前年整地体系での検討は残された課題である。

春に再度均平を行うタイプの前年整地体系では、積雪による盛り土の圧縮を利用することで、均平の精度と持続性向上が実践経営から指摘されている。しかし、その学術的な調査・検証はできていない。

また、本論文では高低差マップの作成方法（均平度の調査方法）と均平作業における高低差マップの有効性が示された。本知見をもとに、高低差マップ作成サービスや作成装置の開発・普及が今後望まれる。特に後者に関して、本論文ではRTK-GNSS受信機搭載車両の走行で、高低差マップ作成に十分な精度が得られることを明らかにした。こうしたRTK-GNSS受信機は自動操舵システムやガイダンスシステムとして既にトラクタへの搭載が普及しつつある。また、GNSS均平機も市販化されている。これらのトラクタや作業機に搭載されたGNSS受信機から高低差マップを作成できる装置の開発が期待される。この場合、高低差情報を作業中にリアルタイムに取得し、高低差マップを随時更新することも考えられ、より一層の効率化と作業失敗（作業後も高低差が残る）の回避に繋がると考えられる。

また、土木分野では、高低差マップをもとに、どこの土をどこに運べば最も効率的かを数学的に計算する「運土計画法」が確立され普及している。今後はこうした機能の実装も期待される。

謝辞

本研究において、木村治夫様、田邊龍彦様、横地泰宏様、出口律子様、ヤマハ発動機、スガノ農機、

空知農業改良普及センター、A市農業協同組合にご協力をいただいた。また、調査に対応いただいた農業経営に厚くお礼申し上げる。

なお、本論文は生研支援センター「攻めの農林水産業の実現に向けた革新的技術緊急展開事業（うち産学の英知を結集した革新的な技術体系の確立）『道産米の国際競争力強化と持続的輪作体系の両立に向けた実証』」および「革新的技術開発・緊急展開事業（うち経営体強化プロジェクト）『タマネギ等高収益作物の多収・安定化技術と情報技術の活用による高収益水田営農の確立』」の支援を受けて実施した。

引用文献

- 1) 栗崎弘利, 伊藤純雄 (1999) 北の国の直播. 6-34. 北海道農業試験場. 札幌市.
- 2) 美唄市農業協同組合営農販売部米麦課編 (2018) 北の国の直播 技術開発と挑戦 寒地向き水稻直播栽培における良質米・安定多収生産. 20. 美唄市水稻直播研究会. 美唄市.
- 3) 橋本均 (2006) 北海道泥炭農耕地土壌の実態とその特性. 土壌の物理性. 103, 87-94.
- 4) 北海道地域農業研究所 (2017) 平成30年産以降の北海道の水田農業のあり方に関する調査研究報告書. 83-95. 北海道地域農業研究所. 札幌市.
- 5) 北海道, 道総研農業研究本部, ホクレン農業共同組合連合会, (社) 北海道米麦改良協会 (2011a) 北海道の米づくり (2011年度版). 52-61. (社) 北海道米麦改良協会. 札幌市.
- 6) 北海道, 道総研農業研究本部, ホクレン農業共同組合連合会, (社) 北海道米麦改良協会 (2011b) 北海道の米づくり (2011年度版). 255. (社) 北海道米麦改良協会. 札幌市.
- 7) 北海道農政部 (2013) 北海道農業生産技術体系第4版. 10-11. 北海道農業改良普及協会. 札幌市.
- 8) 北海道農政部生産振興局技術普及課 (2014) 農業機械導入計画策定の手引き. 30-80. 北海道農政部. 札幌市.
http://www.pref.hokkaido.lg.jp/ns/gjf/kankyotokuteikouseinou_tebiki.pdf (2018年8月10日閲覧)
- 9) 北海道農政部生産振興局農産振興課 (2017) 米に関する資料. 45-47. 北海道農政部. 札幌市.
<http://www.pref.hokkaido.lg.jp/ns/nsk/kome/index3.htm> (2018年8月28日閲覧)
- 10) 北海道農政事務所 (2015) センサスからみた北海道農業 (2015年農林業センサス結果等より). 北海道農政事務所. 札幌市.
http://www.maff.go.jp/hokkaido/toukei/kikaku/gurafu_gaiyou/tokutyoutoattach/pdf/tokutyouto-10.pdf (2018年10月1日閲覧)
- 11) JAグループ北海道北海道水田農業ビジョン策定委員会 (2014) 北海道水田農業ビジョン. JA北海道中央会. 札幌市.
http://www.ja-hokkaido.jp/manager/wp-content/uploads/2015/10/suidenvision_digest_141121.pdf (2018年8月10日閲覧)
- 12) JAいわみざわ地域農業再生協議会 (2016) 水田フル活用ビジョン. いわみざわ農業協同組合. 岩見沢市.
<http://www.ja-iwamizawa.or.jp/other/suidenfuru.pdf> (2018年8月10日閲覧)
- 13) JAいわみざわ地域農業振興センター (2013a) 米づくり目指せ! 省力・多収・低コスト水稻10俵どり指南書Vol.3. 1-16. いわみざわ農業協同組合. 岩見沢市.
<http://www.sorachi.pref.hokkaido.lg.jp/ss/nkc/soc/jika/03.htm> (2018年8月24日閲覧)
- 14) JAいわみざわ地域農業振興センター (2013b) 米づくり目指せ! 省力・多収・低コスト水稻10俵どり指南書Vol.3. 119-121. いわみざわ農業協同組合. 岩見沢市.
<http://www.sorachi.pref.hokkaido.lg.jp/ss/nkc/soc/jika/03.htm> (2018年8月24日閲覧)
- 15) 溝田俊之・鶴岡康夫 (2007) 水田の圃場区画が機械作業の能率に及ぼす影響. 農業経営研究. 45 (3), 1-7.
- 16) 日本建設機械施工協会 (2012) TSを用いた出来形管理ガイドブック 第1章 測定の基礎知識. 6. (一社) 日本建設機械施工協会. 港区.
<https://www.jcmanet.or.jp/wp-content/uploads/2014/12/54c513261b098e2e59db32bafcc462ec2.pdf> (2018年10月1日閲覧)
- 17) 大下泰生, 栗崎弘利, 渡辺治郎 (1998) 水稻乾田直播栽培の目標均平度とレーザー均平機の作

- 業法. 北海道農業研究センター. 札幌市.
<https://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/harc/1998/cryo98-001.html> (2018年8月22日閲覧)
- 18) 庄司浩一, 山口雄司, 川村恒夫, 安藤和登 (2008) RTK-GPSを用いた圃場の高低差マップの精度評価. 農業機械学会誌. 70 (5), 83-91.
- 19) 竹内由香里, 遠藤八十一, 庭野昭二, 村上茂樹 (2014) 十日町における冬期の気象および雪質の調査資料 (8). 森林総合研究所研究報告. 13 (4), 271-334.
- 20) 天間征 (1968) 近代化の為の農業経営. 9-15. 明文書房. 文京区.
- 21) 東北農業研究センター (2016) 乾田直播栽培技術マニュアルVer3. 3-4. 東北農業研究センター. 盛岡市.
https://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/files/dry-seeding_rice_v3.pdf (2018年8月24日閲覧)
- 22) 牛木純 (2016) 北海道の田畑輪換における水稲乾田直播栽培の前年整地体系による作業分散 (平成28年普及奨励ならびに指導参考事項). 148-150. 北海道農政部生産振興局技術普及課. 札幌市.
- 23) 牛木純・林怜史・宮浦寿美・佐々木大・村上則幸 (2014) 北海道における前年整地体系による乾田直播水稲栽培の圃場均平および収量におよぼす影響 第2報 異なる地域 (深川市・岩見沢市) の農家圃場での実証試験. 日本作物学会紀事. 83 (別1), 268-269.
- 24) 若杉晃介, 原口暢朗, 船生岳人, 川野浩一, 広田健一, 岸恵純 (2016) 大区画圃場におけるRTK-GPS測位を用いた圃場管理技術の実証. 農業農村工学会誌. 84 (3), 23-26.
- 25) 横尾泰広 (2014) 航空レーザ測量の概説と最新動向. フォレストコンサル. 137, 17.

Effectiveness of Prior Year Ground Leveling Systems for Direct Rice Sowing in Dry Paddy Cultivation

Yuya CHONAN, Shinichi YOSHIDA, Noriyuki MURAKAMI

Summary

Extensive workload such as tilling, sowing, raising seedling, and transplanting during the short spring season prohibits lowland farmers in Hokkaido from enlarging their farming operations. Direct sowing of rice in well dried paddy fields is expected to reduce farmers' workload in spring and enable upland crop cultivation for lowland crop rotation.

For stable emergence, ground leveling is important in the process of cultivation. Ground leveling is required yearly as fields may change their levels. To reduce the workload of leveling in the subsequent spring season, we propose ground leveling for direct sowing of rice in well dried paddy fields to be performed after wheat harvesting in prior year. Doing so is estimated to reduce time spent on farming operations by 30% as compared to the conventional leveling method. Moreover, with better understanding of fields' surface condition and the use of field maps, the operation time is shortened by 50%.

Key word: lowland crop rotation, laser leveler, GNSS, aerial survey by UAV