J. Jpn. Soc. Soil Phys.
土壌の物理性
No. 140 p.15 ~ 22 (2018)

北海道内の大区画水田における水管理調査の紹介

中村和正[1]・越山直子[1]

Introducing a water management survey at large paddy fields in Hokkaido

Kazumasa NAKAMURA[1] and Naoko KOSHIYAMA[1]

1. はじめに

北海道の大規模稲作地帯には，農家の高齢化や後継者不足による担い手の減少によって農家の経営規模拡大が進んでいる地域がある．このような地域の中には，営農作業の効率化を目指して，国営農地再編整備事業等により水田の大区画化やターン農道の整備を実施している地域もある．また，夫婦 2 人の家族経営の場合，1 戸当たりの経営面積が 20 ha 程度を超えると代かき移植栽培だけで稲作を行うことが困難になる（仁平, 1991）ため，経営規模の拡大に伴って，水稲の直播栽培を取り入れている地域もある．例として，北海道内で直播栽培面積が比較的大きい岩見沢市，美唄市，妹背牛町（Fig. 1）について，その面積の変化を Fig. 2 に示す．このような地域の中には，大区画化などに併せて，地下灌漑が可能な地下水位制御システムの設置も行っているところがある．なお，水稲の直播栽培には多様な方式があり，大きくは湛水直播と乾田直播に区分される．近年の両者による栽培面積割合は，北海道全体では同程度である（田中, 2017）が，地域ごとに特徴がある．たとえば，2013 年における両者のおよその面積比は，妹背牛町で 8 : 1，岩見沢市で 1 : 9，美唄市で 4 : 6 である（平石・岡田, 2015）．これらの面積比には，その地域の直播栽培に関する研究会の取り組みの方向性や各農家の経営の考え方が反映されていると考えられる．

著者らの所属する寒地土木研究所寒地農業基盤研究グループの役割は，冷涼な気象，府県に比べて大規模な営農，泥炭等の特殊土壌の分布といった条件を持つ北海道において，国営の農業農村整備事業に関する技術的な課題への対応を提案することである．上記のような整備が進められている大規模稲作地帯において，今後の効率的な圃場水管理や安定した用水供給を実現するためには，圃場における地下灌漑時の用水の動きを検証するとともに，その結果を農家に発信することで新たな圃場条件を活用した水管理技術の普及を促進することが必要である．また，直播栽培圃場での用水量を調査して，将来の用水量の変化方向を予測することも必要である．

この解説では，著者らが 2011 年からの 5 年間に北海道空知地域で行った，大区画圃場整備地域での調査の内容を紹介する．なお，以下の内容は，古檜山ら（2014），越山ら（2017），Nakamura et al.（2015）で報告した内容を編集したものである．

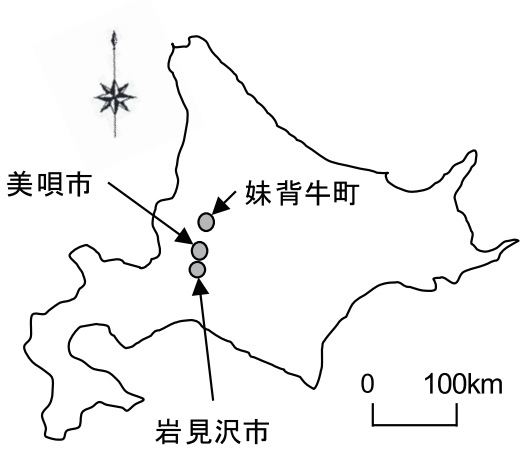


Fig. 1　妹背牛町，美唄市，岩見沢市の位置．

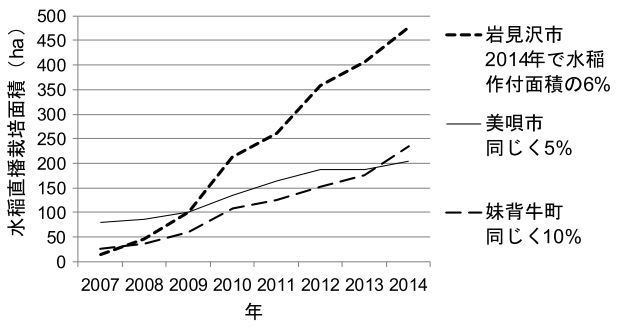


Fig. 2　水稲直播栽培面積の増加．

[1]Civil Engineering Research Institute for Cold Region, PWRI, 1-34 Hiragishi 1-jo 3-chome, Toyohira-ku, Sapporo, Hokkaido 062-8602, Japan.
Corresponding author: 中村和正，土木研究所寒地土木研究所
2018 年 4 月 11 日受稿　2018 年 10 月 24 日受理

2. 調査地域の概要

調査地域は北海道雨竜郡妹背牛町である（Fig. 1）．この地域では，担い手への農地の利用集積や土地利用の整序化を進めるために，2008 年度から国営農地再編整備事業妹背牛地区が実施されている．

妹背牛地区での整備後の圃場は，Fig. 3 のようなものである．耕区の標準的な面積は 2.2 ha である．小用水路は管水路形式であり，1 筆の圃場には管理ユニットとよばれる取水施設が 4 カ所に設けられている．取水は，管理ユニット内の隔壁の設置・取り外しによって，地表灌漑と地下灌漑のどちらかあるいは両方で行える．排水は，地表排水と暗渠排水の両方で可能である．暗渠排水の吸水渠は，Fig. 4 のような断面を持ち，Fig. 5 の破線のように敷設されている．暗渠排水の水閘は，Fig. 3 の右上に示すような構造であり，小排水路への流出孔の高さ調節が可能である．これによって圃場内の地下水位を制御する．本地区の吸水渠は無勾配である．北海道内の国営事業において，地下水位制御を行う場合の吸水渠は，無勾配あるいは 1/1000 程度の緩勾配の場合が多い．

5 年間に調査を行った主な圃場は Fig. 6 に示す 4 圃場である．調査圃場の土壌は，地表から −15 cm 程度までが客土または Ap1 層，−15 ~ −40 cm 程度が基盤調整層（耕盤を含む），−40 cm 以下が泥炭土の累積層である．ここで基盤調整層とは，圃場整備工事において基盤切盛が

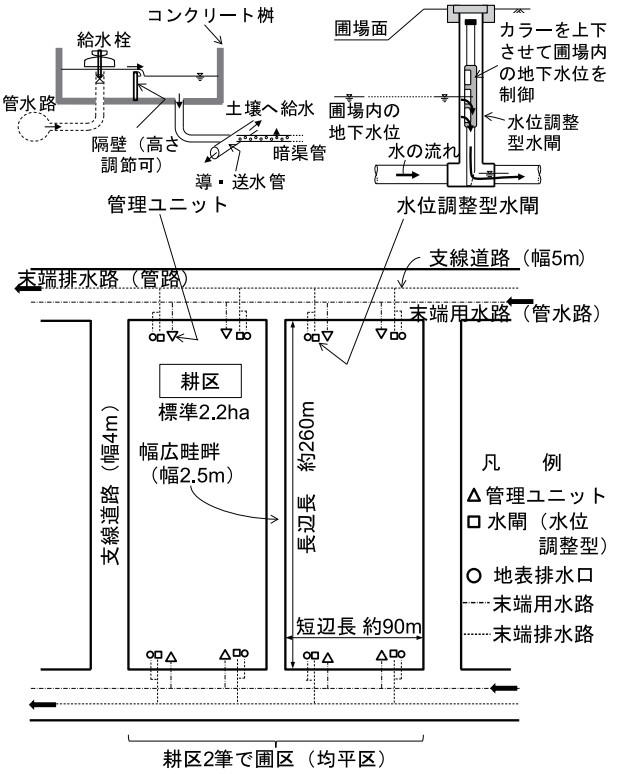


Fig. 3 妹背牛地区での圃場整備の概要.

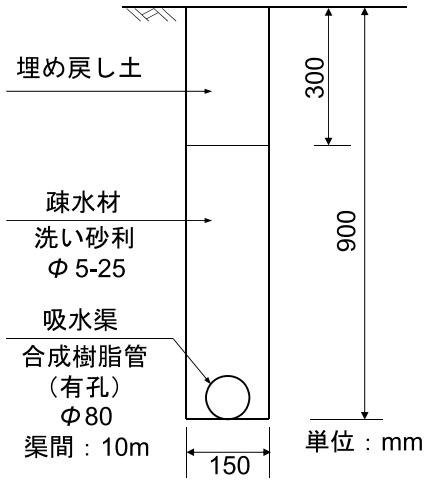


Fig. 4 暗渠排水の断面.

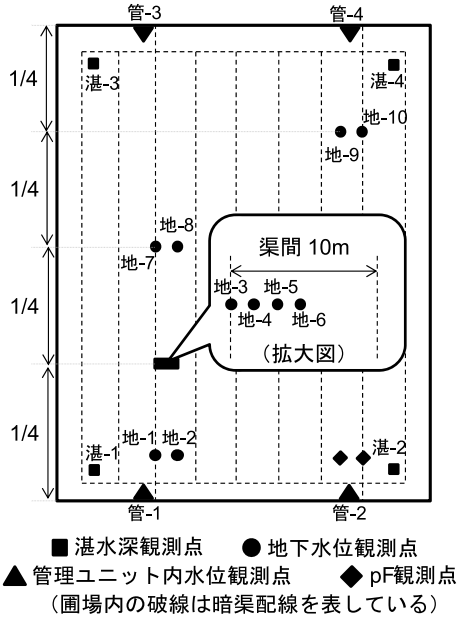


Fig. 5 暗渠の配置と観測機器の設置位置.

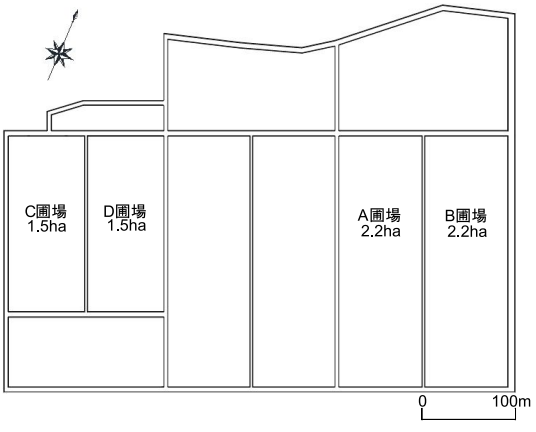


Fig. 6 調査圃場の概要.

なされた土と表土戻し土を合わせた層のことである．透水係数は，客土または Ap1 層で 10^{-3} ~ 10^{-8} m s^{-1}，基盤調整層で 10^{-5} ~ 10^{-9} m s^{-1}，泥炭土で 10^{-3} ~ 10^{-9} m s^{-1} である（石田ら, 2012）．以下では，Ap1 層と基盤調整層上部を作土層，基盤調整層下部の難透水層を耕盤層，それ以深を下層土とよぶ．

これらの圃場では，毎年の収穫後にサブソイラを用いた心土破砕が実施された．心土破砕の施工間隔は約 1.4 m で，深さは 40 cm である．さらに C 圃場と D 圃場では，2011 ~ 2013 年に直径 120 mm の弾丸を装着して心土破砕が実施された．

調査圃場には，Fig. 5 のように観測機器を設置した．

3. 灌漑初期の地下灌漑時の水の動き

大区画圃場に対して地表灌漑で用水を供給する場合，圃場の作土全体に水が行き渡るまでの間は，水口付近は比較的大きな水平方向の流速が生じる．そのため直播栽培の場合には，種子が流されるおそれがある．一方，地下灌漑を用いるならば，圃場内全体の作土層への用水供給時間が比較的均一になると期待できる．実際にどのような用水の動きになるのかを，調査で検証した．

Fig. 7 は，2011 年の C 圃場（無代かき湛水直播栽培）における初期取水時の 8 地点での地下水位である．なお，ここでいう地下水位は，地下に埋設した水圧ロガーが感知した圧力水頭である．これは厳密には地下水位ではないが，地下水位に近い値を示すことから，地下水位として扱う．また Fig. 8 は，このときの水足スケッチの結果である．この初期取水時の取水は，4 カ所ある給水栓を全て開栓し，地下灌漑だけで行われた．このときに水位調整型水閘のカラーの高さ調整による地下水位設定を行っていたかどうかは，確認していない．

Fig. 7 のように暗渠近傍の地–1，地–3，地–7，地–10 の地下水位は，取水開始直後から上昇し始めた．一方，隣接する暗渠の中間点である地–2，地–6，地–8，地–9 では，地下水位の上昇は緩やかであり，取水終了時でも地–6 以外の 3 地点では地下水位が –30 cm よりも深かった（地–6 の水位上昇については，地下水が前年秋に行われた心土破砕による亀裂を迅速に広がって水位計埋め戻し部に到達し，急激に水位上昇したことが要因の一つとして考えられた）．Fig. 8 では，取水開始から 5 時間 40 分後には圃場表面の大部分で水面が見えていた．この時点では，Fig. 7 でわかるように地–2，地–8，地–9 の地下水位は地表面には到達していない．これらのことから，地下灌漑を用いた初期取水では，Fig. 9 のように，まず暗渠埋め戻し部の水位が給水地点からの距離にかかわらず圃場面全体において上昇し，そのあと心土破砕により透水性が高くなっている部分を通して用水が作土層を水平方向に広がっていくものと考えられる．

このように，地下灌漑を活用することで，1 ha を超える大区画水田における初期取水時においても，圃場全体へ時間的にほぼ一様な給水が可能である．

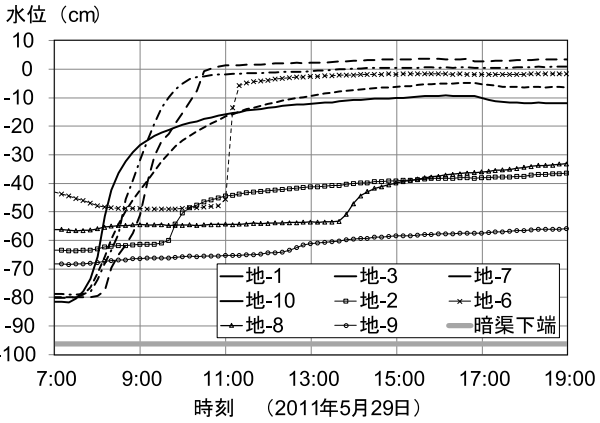


Fig. 7　2011 年 C 圃場における初期取水時の土層内での水位変化（古檜山ら（2014）を一部改変）．

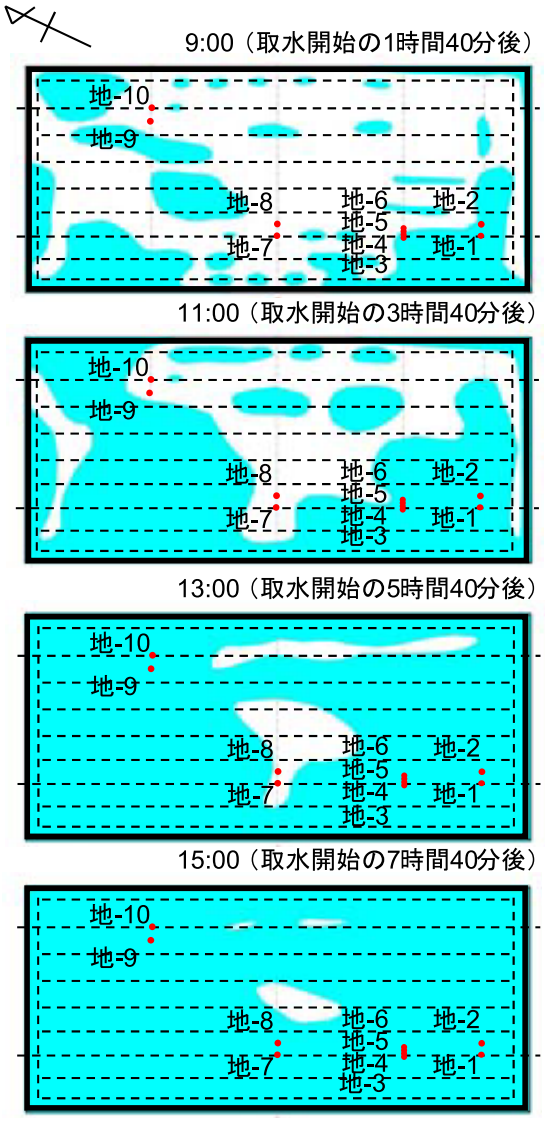


Fig. 8　2011 年 C 圃場の水足スケッチ（古檜山ら（2014）から引用）．

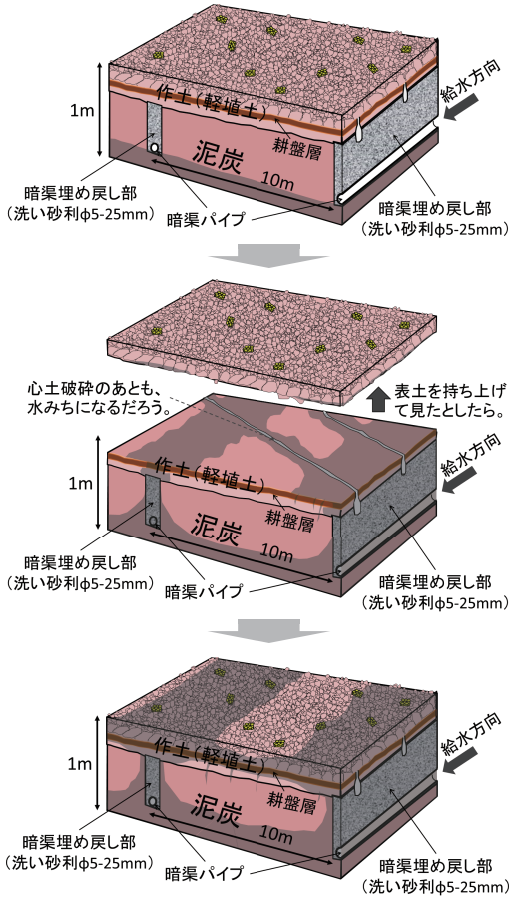


Fig. 9　地下灌漑時の水の移動のイメージ.

4. 代かきの有無と圃場の浸透特性

代かき移植栽培と直播栽培の用水量に差が生じるならば，その要因としてまず考えられるのは，代かきの有無による耕盤層の浸透特性の違いである．次章では，栽培方式ごとの用水量を比較する．本章では，その前段として，代かきの有無と圃場の浸透特性の関係について，2011 年の調査結果による考察を紹介する（古檜山ら, 2014）.

Fig. 10 は，A，C，D 圃場における湛水深と地下水位，取水方法，降水量である．2011 年には，A 圃場では代かき移植栽培が，また C 圃場と D 圃場では無代かき湛水直播栽培が行われた．湛水深は 1 圃場当たり 4 地点での平均値であり，地下水位は地–3，地–6，地–9，地–10 の平均値である．なお，A 圃場と C 圃場で記載のある「タンパク質吸収抑制実証試験」は試験的に行った圃場水管理であり，本章の内容とは直接関係しないので，ここでは説明しない．Fig. 10 に示すように A 圃場の代かき取水後から中干し前までと，7 月 11 日の水閘開放以降の数日間では，地下水位が低下しても，地表湛水は維持されている．これは，代かきによって作土層および耕盤層での浸透が抑制されるからである．すなわち，下層土以下での地下水位低下が湛水に与える影響は小さい．なお，A 圃場での地下での浸透形態が開放浸透であると見なした根拠については，古檜山ら（2014）を参照していただきたい.

これに対し，2011 年の C 圃場と D 圃場では湛水位と地下水位は明瞭に分かれていない．水閘を開放した 6 月

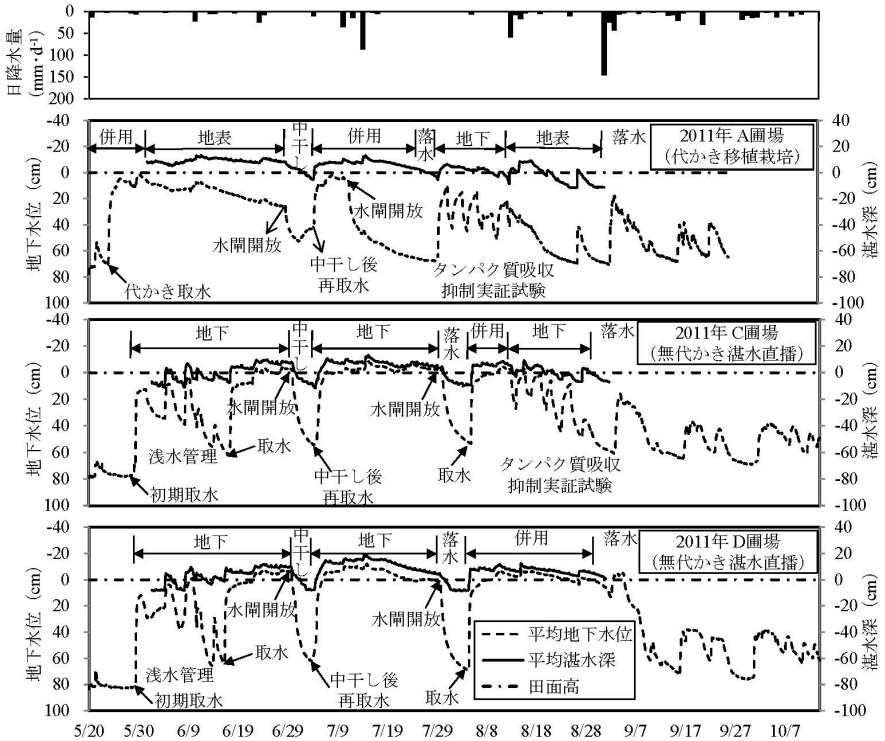


Fig. 10　試験圃場での水管理と降水量（「地表」，「地下」，「併用」は灌漑方法を示す，古檜山ら（2014）から引用）.

29 日の中干しと 7 月 29 日では，地下水位が速やかに低下し，それとともに湛水位も低下した．しかし，これらの圃場で水閘が閉じている期間では，湛水深の大きな低下は見られず，また埋設した水位計にはほぼ湛水位相当の水圧が作用しており，湛水と地下水は連続しているものと考えられた．調査圃場の周囲は耕作道路や幅広畦畔が整備され，圃場に接する末端排水路は管路化されているため，畦畔浸透や土層内の横方向への浸透はある程度抑制されるものと考えられる．このため，無代かき栽培での用水量には，下層土以下への降下浸透が大きく影響すると考えられる．Fig. 10 の湛水変化からみると，これらの圃場での降下浸透は小さいと推察される．

5. 栽培方式と用水量

D 圃場では，2011 年に無代かきの湛水直播栽培が，2012 年に代かき移植栽培が，2013 年に乾田直播栽培が行われた．この 3 年間に圃場への供給水量を比較した（越山ら, 2017）．

圃場への各年の供給水量は，取水開始日から落水までの期間で，有効雨量と各栽培方式の用水量の和として算出した．各年の供給水量を Table 1 に示す． 2012 年（移植）の供給水量に対する比は，2011 年（湛直）で 1.1 倍，2013 年（乾直）で 1.3 倍であった．

灌漑期前半と灌漑期後半の供給水量の内訳をそれぞれ Fig. 11，Fig. 12 に示す．中干し前までを灌漑期前半とし，中干し以降を灌漑期後半とした．灌漑期前半における供給水量は，いずれの年もほぼ同程度であった．その内訳をみると，2011 年（湛直）における初期取水から浅水管理期まで（苗立ちが安定するまで）の用水量は，2012 年（移植）の代かき期間の用水量に匹敵しており，2013 年（乾直）ではそれを上回っていた．灌漑期後半の供給水量をみると，2012 年（移植）に対する比は，2011 年（湛直）で 1.1 倍，2013 年（乾直）で 1.5 倍となった．中干し後における再湛水時の用水量は 150 ~ 195 mm であり，栽培方式による大きな差はみられなかった．

中川（1966）は，直播栽培における用水消費機構の特徴の一つとして，心土に透水係数が 1×10^{-7} m s^{-1} 程度以下の土層が存在する場合および灌漑期初期から地下水位が田面近くまで高まっている場合などでは，代かき移植栽培と比較した降下浸透量の増加量はほとんど問題とならないと指摘している．妹背牛地区の調査圃場の周辺は地下水位が高く，浸透量が小さかったことから，灌漑期前半の供給水量の差がほとんどみられなかったと考えられる．

灌漑期後半では，直播栽培の供給水量が代かき移植栽培よりも大きい．その要因として考えられることは，2011 年（湛直）については，中干しの後，7 月末に強制排水をしており，そのときの再取水量が含まれていること，また 2013 年（乾直）については，7 月中旬から 8 月上旬までの有効雨量が少なかったために，耕作者による取水が多かったこと等である（越山ら, 2017）．

Table 1 に示すように，代かき移植栽培と比べて，直播栽培での供給水量の増大は灌漑期全体で 10 ~ 30 % であった．もし耕盤層や作土層の透水性が 2011 年や 2013 年のときよりも大きくなったとしても，調査圃場のように地下水位が高く，圃場の浸透量が比較的小さい場合には，用水量をさらに増大させるとは考えられない．よって，調査圃場近傍では，代かきを行わない栽培方式が増えたとしても，地域の用水供給に支障が及ぶほどの用水

Table 1　供給水量の比較（越山ら（2017）から引用）．

	2011 年（湛直）	2012 年（移植）	2013 年（乾直）
総取水量（mm）	807.1	777.8	1033.4
有効雨量（mm）	207.2	147.6	209.2
供給水量（mm）	1014.3	925.4	1,242.6
移植に対する比	1.1	1.0	1.3

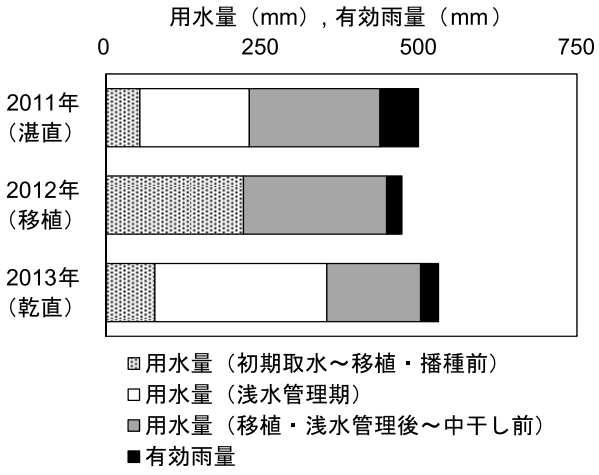


Fig. 11　灌漑期前半における供給水量の内訳（越山ら（2017）から引用）．

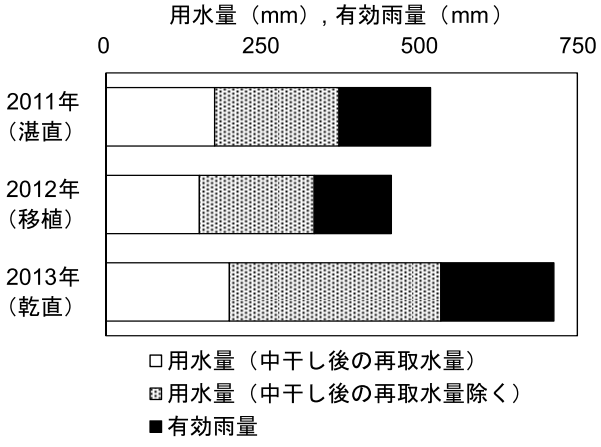


Fig. 12　灌漑期後半における供給水量の内訳（越山ら（2017）から引用）．

需要の変化は生じないと考えられる．

6. 農家への成果発信

妹背牛地区の農家にとって，地下から給水することは初めての経験であった．著者らは，地下灌漑時の土壌中の水の動きを農家が想像できれば，圃場水管理への地下灌漑の利用が促進されるだろうと考え，農家に理解しやすいプレゼンテーションの方法を検討した．

1 圃場当たりで 10 地点の地下水位データは，Fig. 7 のようなグラフに整理することが多い．このような図で，それぞれの地下水位の経時変化や，近傍の地下水位との上下関係を知ることができる．しかし，この図を見ながら暗渠の吸水渠に直交する断面の地下水位の経時変化を想像することは困難である．圃場内の水の動きを理解するためには，灌漑時・排水時の地下水位の動きを動画にして，繰り返し観察すればよい．

著者らが作成した動画の 1 コマのレイアウトを Fig. 13 に示す．中央に調査圃場の平面図を配置した．その周辺に圃場の長辺方向の断面 1 枚と，暗渠吸水渠に直交する断面 4 枚を配置し，それぞれの断面が圃場の平面図のどこのものであるのかを曲線で結び明示した．これらの断面に地下水位の実測値をプロットし，これらのプロット間を直線で結んで，地下水面より下を水色に着色した．隣り合う暗渠吸水渠の間には，中点からどちらか片側の暗渠吸水渠に向かって観測点を配置したため，水色の着色部は左右対称に描いた．

地下水位や湛水深の変化の原因がわかりやすいように，灌漑や降雨があった場合や，暗渠水閘を開いている場合は，雨滴のマークや暗渠吸水渠から上向きの太い矢印を表示するようにした．

また，今見ている動画が何時間間隔で示されているのかがわかるように画面右上に時計を表示し針を動かすことにした．

毎年の水稲栽培の最初の灌漑時に，地表面の用水の広がり方をスケッチした．灌漑時のうちスケッチ結果があるものについては，画面中央の圃場平面図にスケッチ結果を重ね合わせて表示した．

このような動画を，市販されている作図ソフトで作成した．そのソフトは，作図のほかに，複数ページを連続する動画ファイルとして保存する機能を有している．もとになる観測データは 10 分間隔で得られているから，パーソナルコンピュータとプロジェクタを用いれば，10 分間隔や 1 時間間隔といった任意の時間間隔の動画を表示できる．

Fig. 14 に，2013 年の D 圃場における初期取水時の水の動きがわかる 4 コマの画像を示す．この年の D 圃場では，乾田直播栽培が行われ，播種後の初期取水は 5 月 25 日の 5 時から 18 時までに行われた．Fig. 14 に示したのは，5 時，9 時，13 時，17 時の画像である．取水開始から 4 時間後の 9 時の画像では，地表面に湿潤な部分が現れている．この湿潤な部分は，灌漑管理ユニットに近い場所から広がるのではなく，長辺方向の中央付近でも現れている．しかし，隣り合う暗渠管の中央における地下

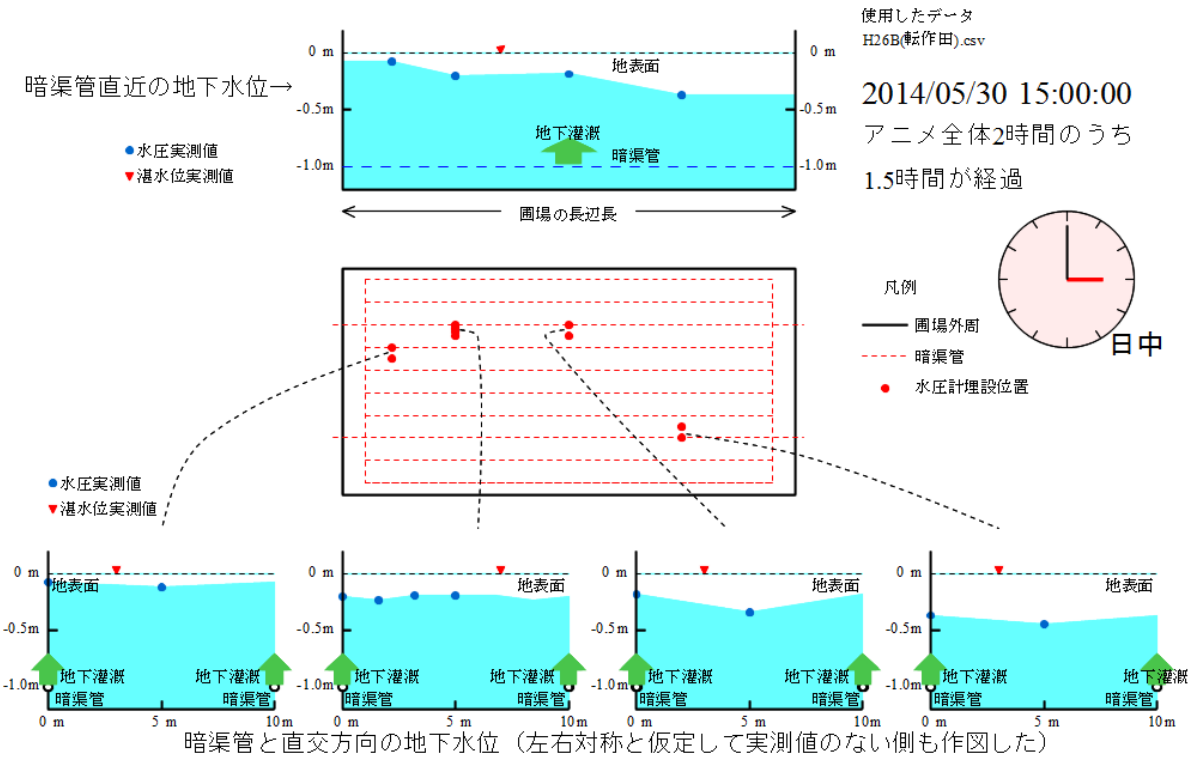


Fig. 13　動画画面のレイアウト．

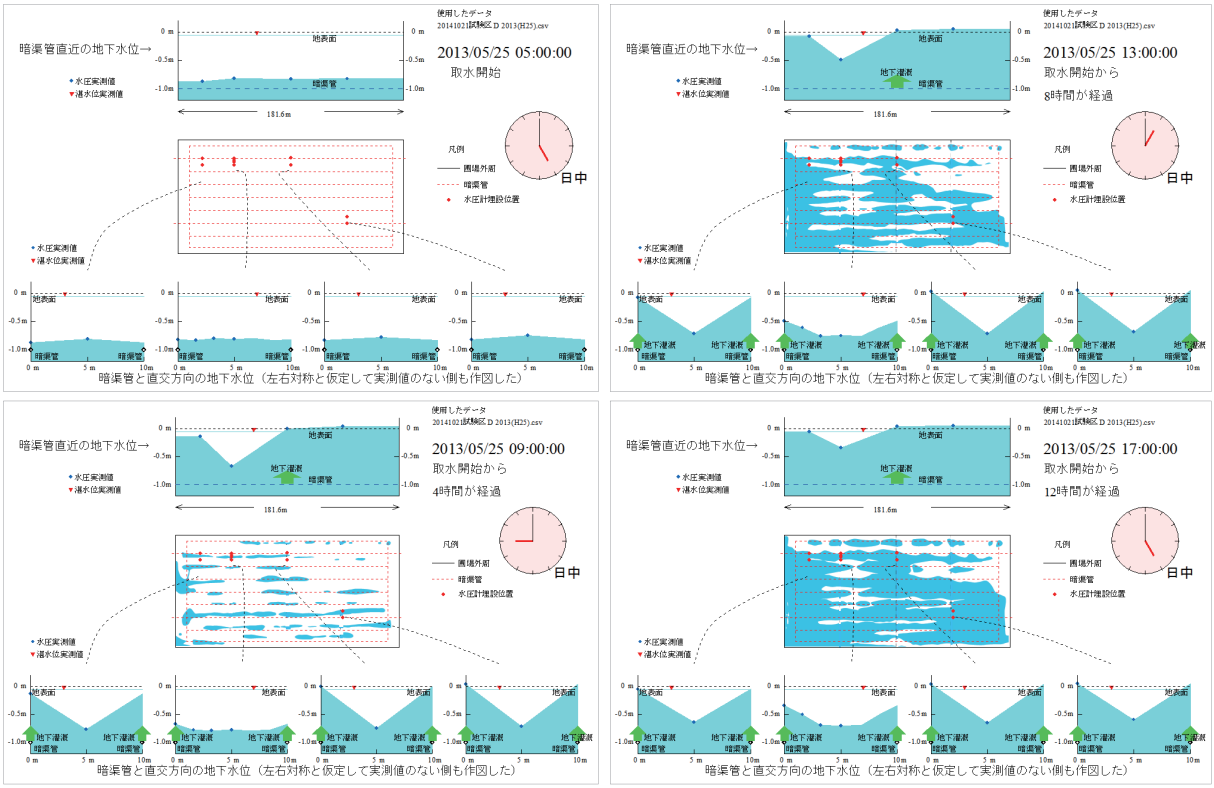


Fig. 14 動画の事例（一連のものから，取水開始時（左上），4 時間後（左下），8 時間後（右上），12 時間後（右下）の 4 枚を抜粋した．紙面の都合上各画像を縮小しているので，4 枚の画像中にある説明の文字は Fig. 13 を参照していただきたい）．

水位は，9 時の時点ではまだ地表面下 0.5 m より深い位置にあり，Fig. 9 に示したイメージに近い水の移動が生じていることがわかる．なお，9 時以降の画像において，画像の下部の 4 枚の地下水位断面のうち，2 地点の実測値を直線で補完した 3 枚については，V 字型の地下水位になっている．実際には，左から 2 枚目にある，4 地点の実測値を用いた図のように，U 字に近い地下水位断面になると考えられる．測定地点が少ない場合に，誤解されにくい U 字型の地下水位断面を描く方法については今後の工夫が必要である．

動画ファイルは，調査対象圃場を所有している農家への水の動きの説明のほか，地域の農家が組織している直播栽培研究団体の勉強集会での説明，圃場の大区画化事業を担当している国（北海道開発局）や北海道庁の技術者などの研修会での説明に用いた．農家と技術者の両方から，圃場の水の動きがとても理解しやすくなったという感想を得た．

7. おわりに

妹背牛地区での調査は 2015 年で終了した．2016 年からは美唄市の大区画圃場整備地域にフィールドを移して，①直播栽培に特徴的な栽培管理に必要な圃場用水量や，②圃場整備が地域の水環境に与える影響などを調査している．これらの調査結果についても，今後公表していく予定である．

引用文献

平石 学, 岡田直樹 (2015): 直播栽培の今後の展望 — 水田作経営の視点から —. 北農, 82(2): 2–8.

石田哲也, 大岸 譲, 岡村裕紀 (2012): 大区画圃場整備が実施された泥炭地水田土壌の理化学性の実態（事例）. 寒地土木研究所月報, 707: 23–28.

古檜山雅之, 中村和正, 鵜木啓二, 石田哲也 (2014): 地下灌漑が可能な大区画水田における圃場水管理. 農業農村工学会論文集, 290: 23–32.

越山直子, 酒井美樹, 伊藤暢男, 中村和正 (2017): 大区画水田における移植栽培と直播栽培の用水量の比較. 農業農村工学会論文集, 304: I_7–I_14.

Nakamura, K., Sakai, M. and Koshiyama, N. (2015): Development of movies as the teaching tool on the movement of irrigation water in paddy fields managed under various cultivation methods. Jurnal Teknologi, 76(15): 45–51.

中川昭一郎 (1966): 水田用水量調査計画法（その 1）. 農業土木学会誌, 34(1): 25–29.

仁平恒夫 (1991): 北海道における稲作作業構造と限界規模. 北海道農業試験場研究資料, 43: 1–18.

田中英彦 (2017): 北海道における水稲直播栽培技術について. http://www.aeca.or.jp/01course/pdf/20171117ken01.pdf (確認年月日 2018. 8. 14)

要　　旨

北海道内の稲作地帯には，地下灌漑と地下水位制御が可能な大区画水田の整備が進められている地域がある．それらの地域の中には，整備後の圃場条件を活かして，水稲の直播栽培の面積を拡大させているところある．寒地土木研究所では，平成 2011 ~ 2015 年に，このような整備を実施した圃場において，地下から給水する場合の圃場内の水の動きや，3 種の栽培方式，すなわち代かき移植栽培，乾田直播栽培，湛水直播栽培での用水量の違いなどを調査した．これらの調査結果は，地下灌漑や地下水位制御が可能になった整備後の圃場において，農家がその圃場条件に適した灌漑排水操作に習熟していくための貴重な情報になる．そのため，調査データを使って，理解しやすい動画を作成し，地域の農家に説明した．この解説では，調査結果や農家への情報提供の概要を紹介する．

キーワード：大区画水田，地下灌漑，農家へのプレゼンテーション，水稲の直播栽培