

12.2 田畑輪作を行う大区画水田における灌漑排水技術と用水計画手法に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 27

担当チーム：寒地農業基盤研究グループ（水利基盤チーム）

研究担当者：中村和正、鶴木啓二、古檜山雅之、酒井美樹

【要旨】

北海道の大規模稲作地域では、農家戸数の減少に伴う担い手への農地集積により、将来は1戸当たり30ha以上の大規模水田営農に展開すると想定されている。こうした大規模経営を主体とする水田地域においては、一層の生産性向上を図るための作業効率の高い圃場づくりを目指し、圃場の大区画化や地下灌漑施設の整備が実施されている。本研究では、このような基盤整備が進んだ水田地域に適合し、水田農業の生産性を一層高める灌漑排水技術を開発する。平成25年度までの成果は次の通りである。

- 1) 地下灌漑システムが整備された大区画水田において、地下水位や湛水位などの観測結果を基に、地下灌漑による圃場全体への用水の到達状況や生育期別の用水量、取水強度などの用水需要特性を明らかにした。3年間転作田として利用した後の還元田では、灌漑初期の地下灌漑時に下層土への用水の浸入が連作田に比べて速やかであった。また、用水量は比較的大きい値であった。
- 2) 43筆の圃場群（合計75ha）を対象として、圃場の水需要特性を反映させた配水シミュレーションを行い、水需要の集中しやすい時期に同時に取水できる圃場数の割合などを示した。シミュレーションの結果を基にして、水田への安定した用水供給のための配水管理技術を提案した。
- 3) 水質負荷の流出抑制に配慮した圃場水管理手法の開発を目的として、圃場湛水と暗渠排水の水質調査を行った。移植栽培圃場では代かき作業後に表面湛水部の全窒素および全リンの濃度が一時的に高くなる傾向がみられた。代かき作業のない乾田直播栽培圃場でも灌漑初期に濃度上昇がみられたが、移植栽培圃場ほどの高い値とはならなかった。また、地表排水量と暗渠排水量を用いて計算した全窒素の排出負荷量から、栽培方式や水管理方式の違いにより負荷流出の状況が異なることを事例的に示した。

キーワード：大区画水田、地下水位制御、水管理、水質

1. はじめに

我が国では農業従事者の高齢化や後継者不足等によって、農地の継承と保全管理に大きな課題が生じている。北海道の大規模水田地帯においても、担い手への農地集積が進み、近い将来には戸当たり30ha程度の大規模経営になると予測されている¹⁾ことから、作業効率の向上や水管理等の省力化を目的とした農業基盤の整備が急務となっている。

農業農村整備事業では、これらの課題に対する解決手法の一つとして、地下水位制御が可能な大区画水田圃場の整備を進めている。このような整備がなされた圃場では、従来の地表給水に加えて、用水路から接続された暗渠管を通じての給水が可能となり、水田への初期取水時に、圃場全体へ均一かつ短時間での給水が期待できる。また、水位調整機能の付いた水閘が設置されているため、圃場地下水位を制御することができる。これらの機能を活用して、畑作利用時には夏場の

乾燥期に大豆等の転作作物へ地下灌漑を行うことにより、生産性が向上する事例が報告されている²⁾。さらに、播種後初期の浅水管理が容易となることから、整備を契機として水稻直播栽培を組み入れた田畑輪作を行うことにより、持続的農業の確立を目指す地域もある。

このような地域では、畑利用後の復田や水稻直播栽培の導入による圃場単位用水量の増加が見込まれる。また、防除等の一斉作業による栽培管理用水の需要集中や、配水系のパイプライン化による需要主導型の水管理への変化のため、取水時間帯の集中による不均等配水が生じるなど、用水の日内変動が顕著化する。このような地域において用水計画を策定するためには、想定される水管理の変化の要因を十分に検討し、地域全体で必要な用水量を適切に算定するとともに、取水量の日内変動を調整できる円滑な配水手法を確認する必要がある。また、圃場の大区画化や地下水位制御シ

12.2 田畑輪作を行う大区画水田における灌漑排水技術と 用水計画手法に関する研究

システムの導入による水管理の変化が、周辺水環境に与える影響の把握とその対策手法の検討も必要である。

本研究は、このように地下灌漑や地下水位制御を伴う大区画水田圃場を整備した地域において効率的に用水管理を行える新たな灌漑排水技術を開発するとともに、国等の計画基準に使えるような用水計画手法の提案を行うことを目的とする。

平成 25 年度までの成果は次のとおりである。

地下水位制御が可能な大区画水田圃場を調査フィールドとして、農家による水管理の実態とそれに伴う地下水位・湛水位の変化パターンを把握するため、現地観測を行うとともに、観測結果から、これら圃場における取水 1 回あたりの取水量や取水強度、取水時間などの用水需要特性を分析した。また、得られた用水需要特性を反映させた配水シミュレーションを行い、大区画水田整備地域における配水管理上の留意点を明らかにした。さらに、大区画水田圃場からの水質負荷流出に配慮した水管理手法を検討するため、圃場湛水および暗渠からの流出水を定期的に採水し、水質分析を行い、水質負荷流出量を概算した。

2. 圃場の水管理

2.1 調査概要

2.1.1 調査圃場の概要

調査は北海道雨竜郡妹背牛町にある 4 筆の圃場および空知郡中富良野町にある 2 筆の圃場（以下、試験区）を対象に行った（図-1）。試験区の概要を表-1 に示す。以下、平成 23 年度の試験区は H23 試験区 A のように表記し、平成 24 年度、平成 25 年度についても同様とする。妹背牛町の試験区は平成 21 年度、中富良野町の試験区は平成 22 年度に国営事業により区画整理工事が実施され、あわせて地下灌漑システム（図-2）が整備された。地下灌漑システムとは、管理ユニットを介して末端用水路と接続された暗渠管による地下からの給水や、集水渠末端に設置される水位調整水閘の操作による圃場地下水位の制御が可能な施設のことである。これらの施設を活用することにより、1) 水稲移植栽培の代かき用水取水時に圃場全体へ均一的かつ効率的な給水が期待できる、2) 水稲直播栽培における播種後の浅水管理（田面付近の湿潤保持と落水を繰り返す水管理）が容易となり、出芽・苗立ちが向上する、3) 大豆等の転作作物では、開花期や夏場の乾燥期に作物根域への効率的な給水が可能となり、増収効果が見込める、などのメリットがある。

なお、試験区における営農の特徴として、無代かき

湛水直播栽培（H23 試験区 C、D）や乾田直播栽培（H25 試験区 C、D、I、S）、出穂期以降に地下水位を上下させて稲の窒素吸収を抑制する低タンパク対策実証試験（H23 試験区 A、C、H24 試験区 C および H25 試験区 C）が行われていた。

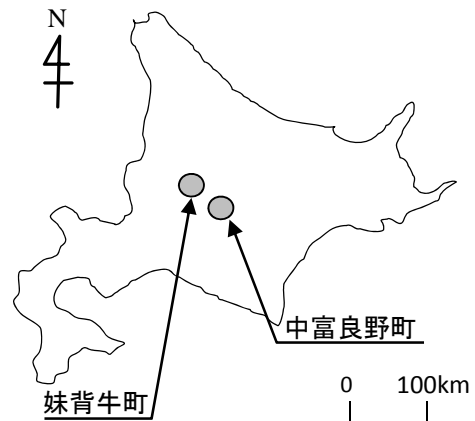


図-1 妹背牛町および中富良野町の位置

表-1 試験区の概要

試験区	圃場	面積 (ha)	作付形態		
			H23	H24	H25
妹背牛町	A	2.2	移植栽培	秋小麦	大豆
	B	2.2	春小麦	秋小麦	移植栽培
	C	1.5	湛水直播栽培	移植栽培	乾田直播栽培
	D	1.5	湛水直播栽培	移植栽培	乾田直播栽培
中富良野町	I	0.8	-	移植栽培	乾田直播栽培
	S	0.7	-	移植栽培	乾田直播栽培

※乾田直播栽培は一般的に無代かきである。

地下灌漑システム

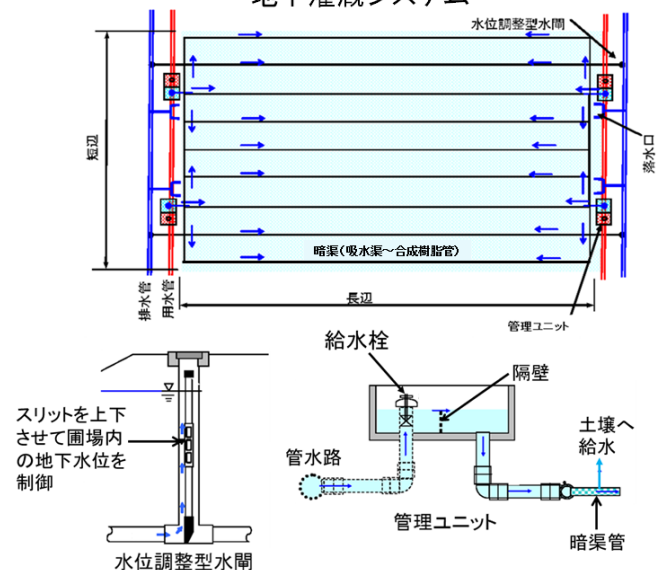


図-2 地下灌漑システム
(妹背牛町の事例)

2.1.2 現地観測調査

試験区内での観測点と水位計の設置概要を図-3 および図-4 に、観測項目別の観測期間を表-2 に示す。

地下水位の観測は全ての試験区で行い、試験区A、B、C、Dは1試験区あたり10点、試験区I、Sは1試験区あたり6点とした。感圧式自記水位計をスリット入りの塩ビ製ケーシングパイプに格納して各試験区の観測点に、センサーの感部が深さ1m程度になるように埋設し、10分間隔で測定した。記録された水位は標高値に換算して整理した。

湛水位の観測は水稻作付けの試験区で行い、観測点は1試験区あたり4点とした。地下水位観測と同様の観測機器の感部が田面から15cm程度の深さになるように埋設し、10分間隔で測定した。記録された水位は標高値に換算して整理した。

取水状況を知るための項目として、試験区A、B、C、Dでは管理ユニット内の水位を観測した。管理ユニットは図-2のように隔壁で2槽に分かれており、ユニット上流（地表灌漑）側およびユニット下流（地下灌漑）側にそれぞれ感圧式自記水位計を設置し、10分間隔で計測した。試験区I、Sでは給水栓の配管に電磁流量計を設置し、10分間隔で計測した。

降水量は、転倒マス式の自記雨量計を現地に設置した。なお、観測期間中に一部欠測があったため、欠測期間は調査地点近傍のアメダスデータを使用した。

また、水田における初期取水時の水足スケッチを、平成23年度は試験区C、Dで、平成25年度は試験区C、D、Sで行った。各試験区とも取水開始時から1時間毎の水足進行状況をスケッチし、圃場全体が潤潤状態となった時点で終了とした。なお、平成23年度の試験区A、平成25年度の試験区BおよびIについては夜間取水であったため、スケッチを行わなかった。

水質調査は管理ユニット内の用水、田面湛水、暗渠排水を3日に1回の頻度で採水した。なお、用水は給水栓が開いていて水が流れている時だけに、また、暗渠排水は暗渠からの排水があった場合だけに採水した。分析項目は、全窒素・全リンである。

2.1.3 水管理に関する情報収集

現地観測で得られた地下水位等のデータの分析や配水シミュレーションにおける入力条件設定の参考とするため、給水栓の開度調整や取水時間帯などの水管理手法の実態について、農家等への聞き取り調査を行った。

2.1.4 その他のデータ

試験区A、B、C、Dにおいて、寒地土木研究所資

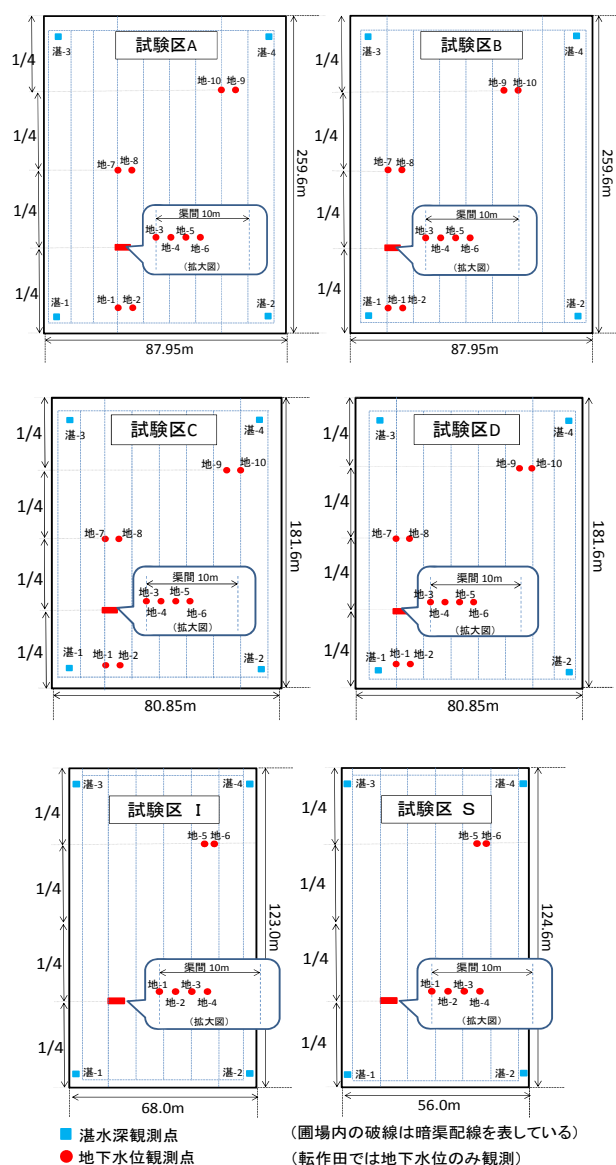


図-3 圃場内の観測点

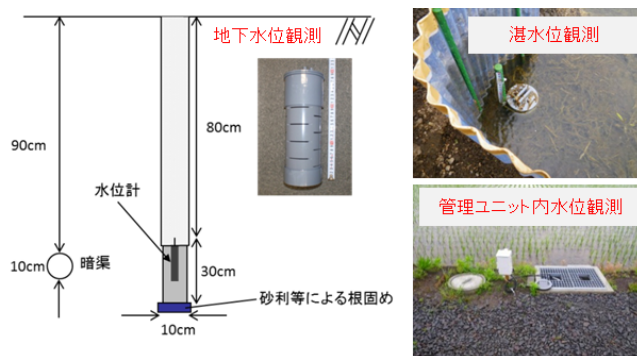


図-4 水位計の設置概要

源保全チームがプロジェクト研究個別課題「地下灌漑を伴う泥炭水田圃場における土壌養分制御技術に関する研究」を実施している。また、試験区I、Sにおいて、北海道開発局旭川開発建設部が「営農計画管理調

表-2 観測期間

年度	H23	H24	H25	
試験区名	A、B、C、D		I-1、S-1	
地下水位	5月20日 ～ 各試験区の収穫日	5月23日 ～ 各試験区の収穫日	5月23日 ～ 各試験区の収穫日	5月3日 ～ 各試験区の収穫日
湛水位 (水稲作付け圃場のみ)	6月1日 ～ 8月31日	5月23日 ～ 8月31日	5月23日 ～ 8月31日	5月3日 ～ 8月31日
管理ユニット内水位 または流量計	5月13日 ～ 8月31日	5月17日 ～ 8月31日	5月15日 ～ 8月31日	5月22日 ～ 8月31日
降水量	5月20日 ～ 10月31日	5月17日 ～ 10月31日	5月15日 ～ 10月31日	5月2日 ～ 10月31日

査」を実施している。これらの研究等において土壌断面調査および土壌物理性試験を行っていることから、これらの調査結果も参考とした。

2.2 結果と考察

2.2.1 圃場内への用水供給パターン

大区画水田において地表取水のみで初期灌水を行えば、圃場全体への水足到達時間が延びるとともに、下方浸透量が大きくなることから、取水量が増大するとの報告がある³⁾。地下灌漑システムが整備された大区画水田では、地下からの取水によって圃場全体へ均一な給水が可能になると考えられるが、過去に地下から取水した場合における土層内の水位挙動や圃場全体への給水状況を詳細に観測した事例は少ない。ここでは、大区画水田の初期取水を地下から行った場合における土層内水位挙動と圃場全体への給水状況について検証する。

地下からの取水によって初期灌水を行ったときの土層内の給水状況について、H25 試験区Bおよび試験区Cの事例を図-5 および図-6 に示す。用いた地下水位観測点は、暗渠側部の4点(地-1、地-3、地-7、地-10)および暗渠間部の4点(地-2、地-6、地-8、地-9)である。H25 試験区Bでは、取水開始(21:00)から2時間程度は暗渠側部の水位上昇が先行する。2時間後からは暗渠側部の水位上昇は緩やかになる一方、それまで水位変化がほとんどなかった暗渠間部で水位上昇が進んだ。6時間後以降は暗渠側部と暗渠間部で水位差を保ちながらほぼ均一に水位が上昇し、地表灌漑併用開始時(翌日13:00)には全地点とも田面下20cmより高い水位まで上昇した。H25 試験区Cにおける暗渠側部では、地-10を除く3点で取水開始(5:00)から2時間程度で水位が上昇して田面下18cm程度の作土層付近に到達しており、その後は水位上昇が緩やかとなり、取水停止時(23:00)には、4点とも水位が田面付近まで到達した。一方、暗渠間部では、水位上昇の速度にバラツキはあるものの、その上昇は緩やかであり、

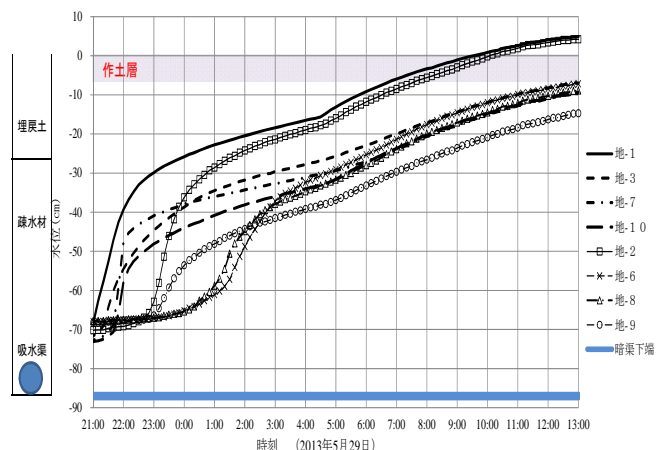


図-5 土層内の地下水位変化
(H25 試験区B)

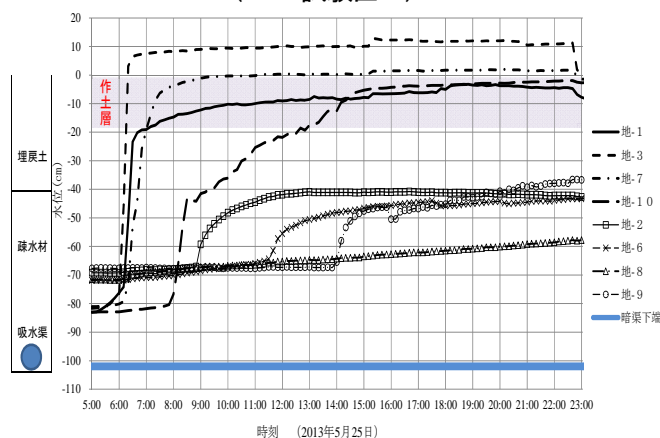


図-6 土層内の地下水位変化
(H25 試験区C)

取水停止時においても、4点とも田面下30cmよりも低い水位となっていた。

次にH25 試験区Cにおける水足スケッチの結果について、初期取水開始から2、4、6、8時間後の事例を図-7に示す。なお、H25 試験区Bは夜間取水のためスケッチできなかった。取水開始から2時間後をみると、暗渠のライン上に用水が筋状に現れていることがわかる。4時間後には筋状に現れた用水がその周辺へ徐々に広がり始めており、6時間後にはさらに圃場全体へ広がっている様子が伺える。

以上のことから、試験区Cは地下からの取水時には暗渠埋戻し部において速やかに水位上昇すると考えられるが、透水性の大きい作土層(田面下18cm程度)へ到達した後、水平方向へ水の移動が生じたため、水位上昇が緩やかになったと考えられる。また、初期取水時に圃場全体が湿潤状態になる過程においては、暗渠埋戻し部が飽和された後、作土層への水分供給が進行して圃場全体に広がる。水足が田面全体に広がった時点でも、暗渠から遠い下層土部分には不飽和部分が残

っていると推察される (図-8)。

一方、試験区Bは地下からの取水開始後は暗渠埋戻し部の疎水材部において速やかに水位上昇すると考えられるが、疎水材部が飽和されると水位上昇は緩やかになる。埋め戻し部の水位上昇が緩やかになると、下層土の水位上昇が大きくなり、埋め戻し部と同じような水位まで上昇する。その後は圃場全体でほぼ均一に水位が上昇する。水足が田面全体に広がった時点では、下層部全体もほぼ飽和していることが考えられる (図-9)。

この2つの圃場の違いは表-1に示すように連作田であるか還元田であるかである。試験区Bのような還元田では、畑利用時の乾燥等によって土壌中の亀裂が増

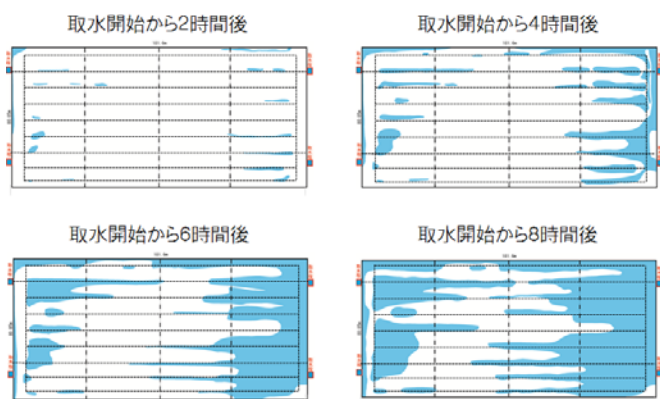


図-7 初期取水時の水足スケッチ
(H25 試験区C)

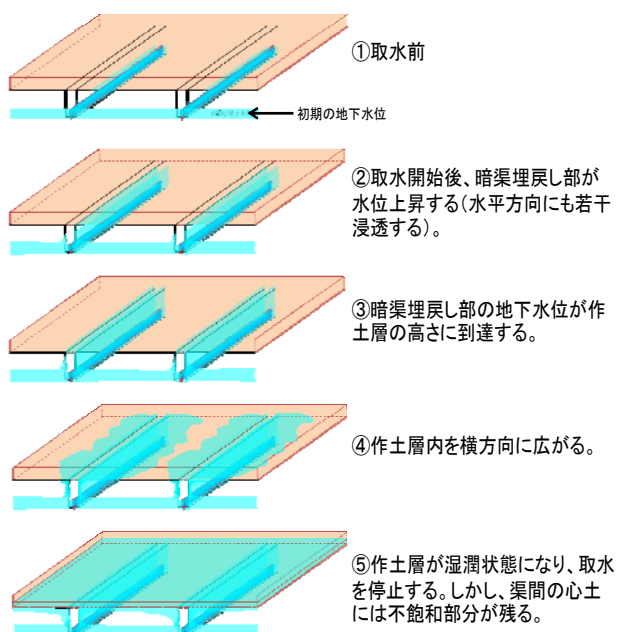


図-8 連作田の地下取水による水の動き
(イメージ)

大しているため、下層土部への用水の浸入が連作田に比べて速やかであることが考えられる。

今回の調査結果から地下灌漑システムを活用することによって、作付形態によっては地下水位の挙動に違いがあるものの大区画水田圃場全体へ均一的な給水が可能であることが検証された。

2.2.2 栽培方法ごとの圃場水管理

土地改良事業計画設計基準「計画 農業用水(水田)」⁴⁾では、現況で必要とされる水量を明確にした上で、受益区域の栽培方法や水管理方式等の用水量の変動要因を総合的に検討して想定される用水量を算定することを用水計画策定の基本的考え方としている。本研究で対象とする調査フィールドにおける水需要の変動要因のひとつとして挙げられるのは、従来の地表給水に加え、地下からの給水が可能となったことである。ここでは、地下灌漑システムが整備された栽培方式の異なる圃場で、農家が行う水管理の特徴を把握するため、調査期間中の地下水位および湛水深の経時変化から農家の水利用実態を整理した (図-10)。地下水位は圃場内の4地点(試験区B、C、Dは地-3、地-6、地-9、地-10、試験区I、Sは地-1、地-3、地-5、地-6)の平均値を、湛水深は設置した全点(湛-1~湛-4)のであるH23試験区A、C、DおよびH25試験区B、C、D、I、Sの結果について示す。平成24年度は水稻圃場平均値をそれぞれ用いた。ここでは、水稻作付け圃場が全て移植栽培であったため割愛する。

各試験区とも、初期取水時には主に地下からの取水

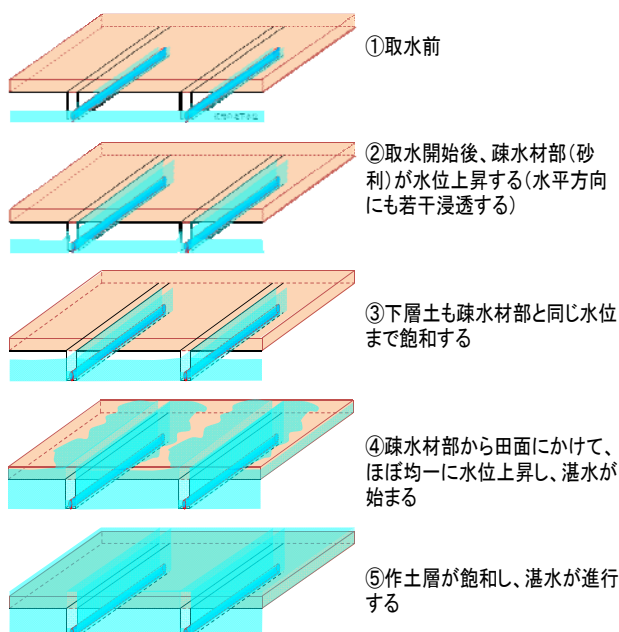
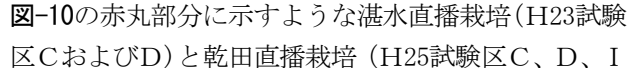


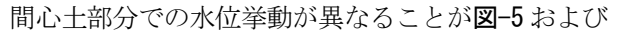
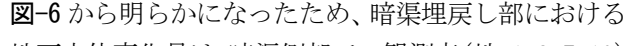
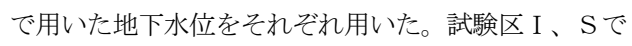
図-9 還元田の地下取水による水の動き
(イメージ)

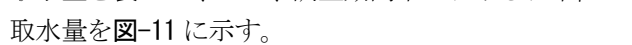
を行っていた。また、移植栽培のH23試験区A、H25試験区Bと乾田直播栽培のH25試験区CおよびH25試験区Dでは、普通期の水管理に地表取水と地下取水を併用していたのに対し、湛水直播栽培のH23試験区C、Dおよび乾田直播栽培H25試験区Iでは、地下灌漑によって水管理を行うケースが多く見られた。

今回の調査において特徴的だった地下水位制御は、-10の赤丸部分に示すような湛水直播栽培(H23試験区CおよびD)と乾田直播栽培(H25試験区C、D、IおよびS)の播種後の浅水管理や低タンパク対策実証試験(H23試験区A、C、およびH25試験区C)における水管理に伴うものである。どちらの水管理も比較的大きな取水量となることが想定されるため、これらの水管理を行う大区画水田圃場での用水量の解明が必要である。

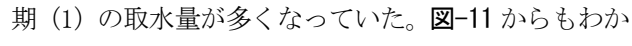
2.2.3 各試験区での用水需要特性

各試験区での用水需要特性を整理するため、平成23年度と平成25年度における調査期間中の取水量を、初期灌水期などの用水需要期別に分けて算出した。

試験区B、C、Dでは、管理ユニットの構造上、取水口に流量観測機器等の設置が困難であるため、取水があった時間帯における地下水位および湛水深の変化量から取水量を推定した。取水の有無と取水時間帯は、管理ユニット内で観測した水位データから判断した。地下灌漑を行った場合、その水分は土層内の亀裂や土壌孔隙を移動すると考えられる⁵⁾ため、地下水位変化量の算出にあたっては、土壌孔隙率を考慮した。なお、土壌孔隙率は、各年の現地観測データを用いて、落水後の降雨時の降雨量と地下水位上昇量の関係から決定した。また、地下灌漑を行うと、暗渠埋戻し部と暗渠間心土部分での水位挙動が異なることが-5および-6から明らかになったため、暗渠埋戻し部における地下水位変化量は、暗渠側部での観測点(地-1、3、7、10)の平均値を、また、それ以外の地下水位変化量は-10で用いた地下水位をそれぞれ用いた。試験区I、Sでは電磁流量計にて流量を直接計測した。

上記に示した手法によって算出した用水需要期別の取水量を表-3に、また、調査期間中における日単位の取水量を-11に示す。

各年とも初期灌水期については、春先の天候不順により全体的に農作業が遅れたものの、各試験区ともほぼ同時期に灌水が行われていた。取水量をみると、移植栽培のH23試験区Aでは136.2mmであり、既往資料⁶⁾による全国平均の代かき用水量(100~180mm)の範囲内であった。一方、H25試験区Bでは、292.8mmで

あり、全国平均の代かき用水量よりも2倍程度多かった。これは、試験区Bは還元田であるため、畑利用時の乾燥等によって土壌中の亀裂が増大しており、代かき湛水に多量の用水を要したことが考えられる。また、湛水直播栽培のH23試験区CおよびDでは、期間中の取水量は移植栽培よりも少ないが、短時間に集中的な取水がなされていた。これは前述のとおり田面付近での湛水管理を行うため、目視による確認が可能な時間帯で取水を完了させる必要があるからである。このような取水作業が地域で1日に集中すると、地域への安定した配水に支障を来す可能性がある。また、湛水直播栽培と乾田直播栽培では、浅水管理が行われる普通期(1)の取水量が多くなっていた。-11からもわかるように、浅水管理も短時間で多量の取水を行っているため、作業の集中する時期における配水管理には留意する必要がある。普通期(3)では、H23試験区A、CおよびH25試験区Cで低タンパク対策による地下水位操作が行われており、期間中の取水量が多くなっている。低タンパク対策が地域に定着すれば、この期間が灌漑期のピーク用水量となることも考えられるため、今後用水計画手法を検討するにあたっては、対策の効果や必要性についてのデータ収集が必要である。

平成25年度までに調査した圃場の栽培方式は移植栽培、無代かき湛水直播および乾田直播である。これらの水管理上の相違点は初期取水時と普通期(1)の水管理方法であり、普通期(2)以降の水管理に大きな違いは見られなかった。

農家への聞き取りでは、田畑輪作による畑作物への地下灌漑は実施していないが、今後、地下灌漑を行えば新たな用水需要が生じるため、水稻直播栽培を取り入れた田畑輪作体系が地域全体に普及した場合には、地域の営農計画に対する用水量増加や用水ピーク変動要因について十分検討し、用水管理を行う必要がある。

2.2.4 圃場排水の水質

従来の水田からの流出負荷量は、地表排水で排出されるものが多く、特に代かきや移植の時期では落水を伴う水管理が頻繁に行われるため、流出負荷量が大きくなる。しかし、地下水位制御が可能な大区画水田では、暗渠管を通じて排水する頻度が多くなると想定されるため、従来からの流出経路が変化する。ここでは、このような整備がなされた水田における排水水質の特徴や水管理の変化による流出負荷の変動を把握するため、圃場湛水および暗渠排水を定期的に採水し、水質分析を行った結果について述べる。

-12は、平成25年に水稻が作付けされていた圃場

12.2 田畑輪作を行う大区画水田における灌漑排水技術と
 用水計画手法に関する研究

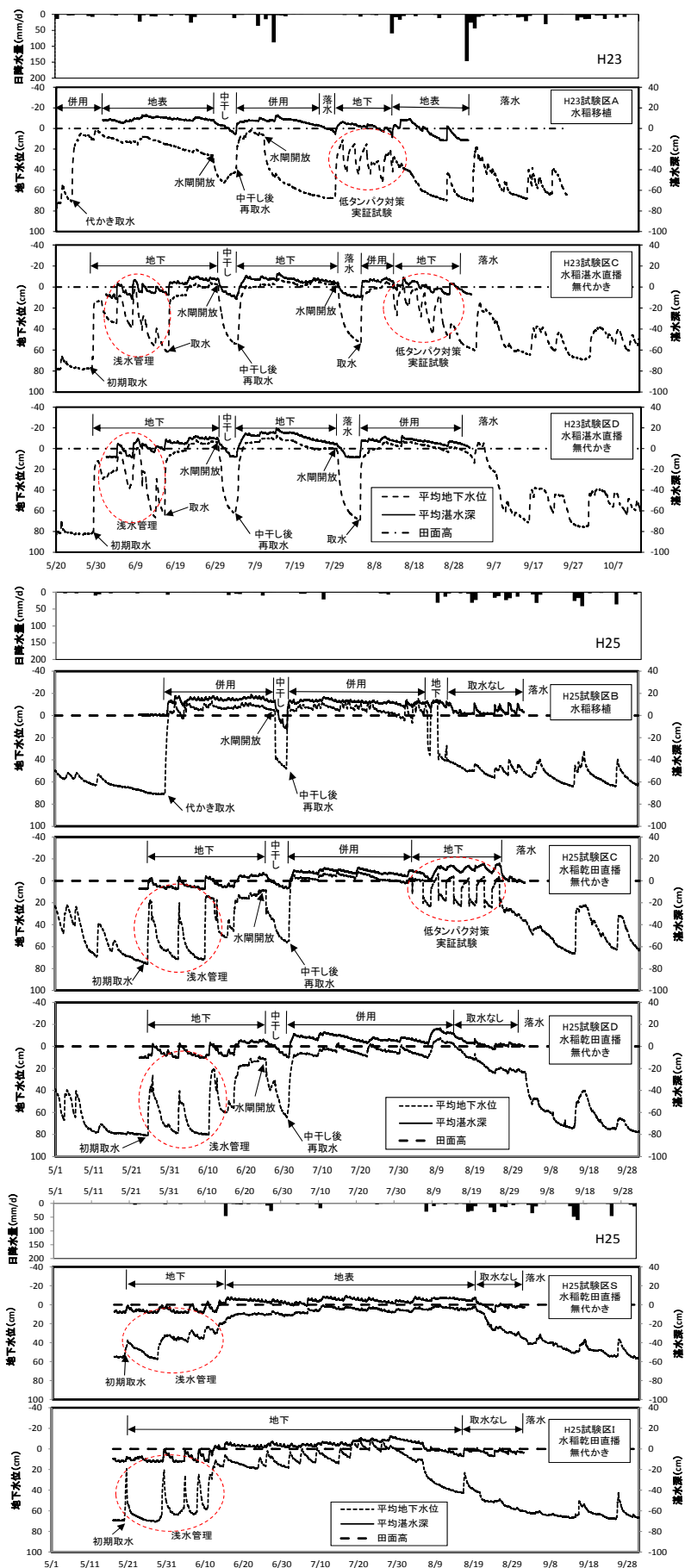


図-10 調査期間中の日降水量と地下水位および湛水深の経時変化
 (「地表」、「地下」、「併用」は、灌漑方法を示す)

12.2 田畑輪作を行う大区画水田における灌漑排水技術と
用水計画手法に関する研究

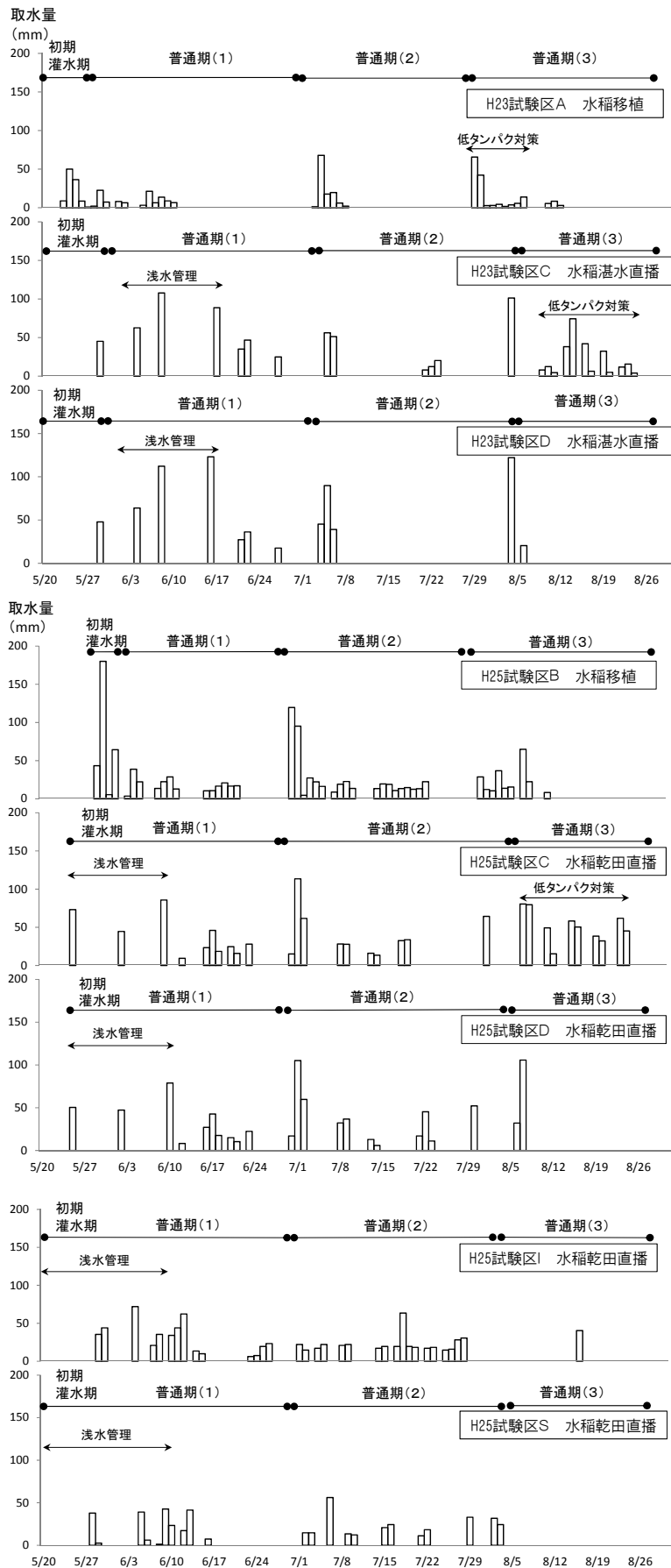


図-11 日あたり取水量

表-3 用水需要期別の取水量

単位:mm

		初期灌水区	普通期(1)	普通期(2)	普通期(3)	合計	備考
H23	試験区A	136.2 (59.7hr)	73.7 (91.2hr)	114.0 (86.8hr)	158.9 (210.5hr)	482.8 (448.2hr)	移植 代かき 低タンパク対策
	試験区C	45.0 (9.7hr)	365.7 (66.4hr)	249.1 (125.3hr)	253.7 (208.7hr)	913.5 (410.1hr)	湛水直播 無代かき 低タンパク対策
	試験区D	47.8 (11.3hr)	379.6 (85.6hr)	316.1 (65.7hr)	0 (0.0hr)	743.5 (162.8hr)	湛水直播 無代かき
H25	試験区B	292.8 (42.5hr)	233.4 (129.2hr)	487.0 (187.2hr)	212.3 (87.8hr)	1,225.5 (446.7hr)	移植 代かき
	試験区C	368.2 (82.3hr)		405.1 (97.2hr)	509.7 (195.7hr)	1,283.0 (375.2hr)	乾田直播 無代かき 低タンパク対策
	試験区D	319.2 (83.5hr)		426.5 (125.0hr)	105.6 (11.0hr)	851.3 (219.5hr)	乾田直播 無代かき
	試験区I	426.2 (92.0hr)		399.4 (120.0hr)	40.2 (9.0hr)	865.8 (221.hr)	乾田直播 無代かき
	試験区S	218.0 (94.hr)		274.0 (76.8hr)	0 (0.0hr)	492.0 (170.8hr)	乾田直播 無代かき

※期別の定義

初期灌水区:移植栽培では代かき用水取水から移植まで、直播栽培は初期取水

普通期(1):移植もしくは播種後から中干しまで

普通期(2):中干し後の再入水から、出穂期まで

普通期(3):出穂期から落水まで

※下段の数字は取水時間の累計

※乾田直播は播種後に初期取水を行うため、初期灌水区と普通期(1)を区分しない

※I、Sの初期取水は流量計設置が間に合わなかったため観測データなし

※I、Sは中干しを行っていないが、B、C、Dの中干しと同時期で普通期(1)と普通期(2)を区分した

※データは精査中

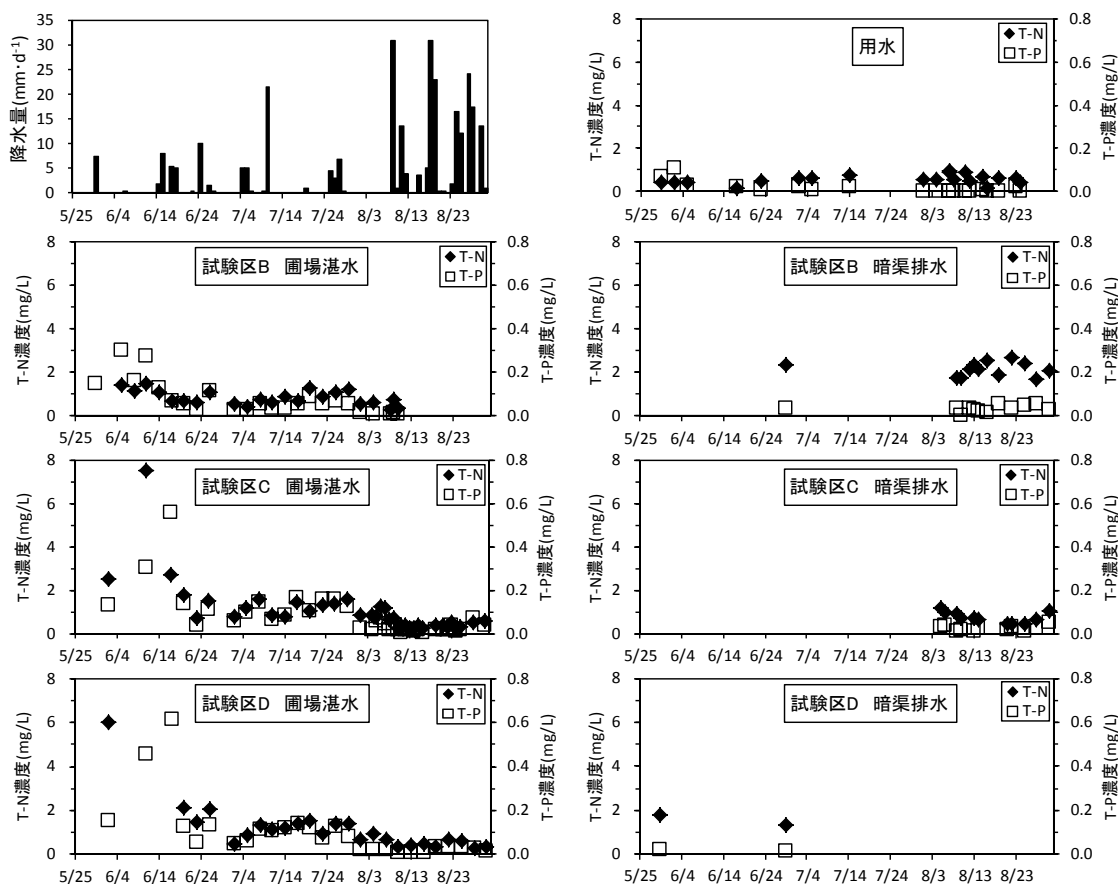


図-12 水稻作付圃場の圃場湛水、暗渠排水および用水の水質変化(平成25年度)

12.2 田畑輪作を行う大区画水田における灌漑排水技術と 用水計画手法に関する研究

(試験区B、C、D)における圃場湛水、暗渠排水、および用水の全窒素と全リン濃度の変化を示したものである。

圃場湛水についてみると、各圃場で初期灌水期に高濃度のデータがみられた。移植栽培である試験区Bは5月30日～31日に代かきが、また、6月3日に移植が行われており、5月30日は全窒素、6月2日は全窒素と全リンが高濃度となっていた。一方、試験区C、Dは乾田直播で代かき作業はなく、5月24日に播種、5月25日～26日、6月2日に取水が行われており、6月2日に全窒素は比較的高濃度であったが、試験区Bよりも低く、全リンも低濃度であった。窒素濃度が高くなった要因は、各区とも施肥成分の溶出と考えられる。試験区Bで全リン濃度が高くなった要因は、代かき作業により土壌に吸着されたリンが田面水に混濁したためと考えられる。普通期では、試験区C、Dにおいて6月11日～17日に全窒素、全リンとも高濃度となっていた。これは、両区とも乾田直播であるため雑草対策として除草剤を散布しており、直前の落水と圃場内作業により肥料成分や土壌が田面水に混濁されたためと推測され、この栽培方法に特徴的な水質変動と考えられる。7月中は各試験区とも圃場湛水の濃度に大きな変動は無いが、8月に入ると低下した。これは、降水量が多いために濃度の低い雨水によって希釈されたと考えられる。

暗渠排水についてみると、試験区Bの全窒素が比較的高濃度で推移していた。平成23年、24年のデータも含め水稲栽培を実施した各試験区における暗渠排水の全窒素濃度の年間平均値は0.73～1.16mg/L(データの少ないH25試験区Dを除く)であるのに対し、試験区Bの平均値は2.13mg/Lであった。当年度の施肥量に大きな差はみられなかったことから、前年までの畑利用時(大豆→小麦→小麦)の残存肥料の溶出が要因の一つとして考えられる。このような濃度状況が当試験区特有のものか、もしくは、同様な作付けを行った場合には同様の状況となるのかを明らかにするには、他の圃場で検証する必要がある。試験区Cは低タンパク対策のための水管理を8月5日～8月25日に実施しており、土壌中の窒素成分の洗い出しによる暗渠排水濃度の上昇が予想されたが、用水と同レベルの濃度であり、明確な効果は確認できなかった。

今後もデータの蓄積を行うとともに、上記でみられた傾向についてさらに検証を行う。

2.2.5 水質負荷流出抑制の検討

水質負荷の流出抑制には流量の要素を加えた負荷量

で検討する必要がある。そこで、圃場湛水位や地下水水位の変動等から推測した地表排水量と暗渠排水量の計算値から、全窒素について排出負荷量(=水量×水質濃度)を算出した。地表排水の水質には圃場湛水の水質データを付与した。排水のあった日に水質データが無い場合は、前後の水質データの平均値を用いた。試験区C、Dの暗渠排水は欠測期間が長期となっているが、過年度データから両区の暗渠排水濃度に差の無いことが分かっていることから、長期欠測区間は相互に補完した。図-13に平成25年に水稲が作付けされている圃場(試験区B、C、D)の排出負荷量の計算結果を示す。

試験区Bは、水質濃度の高かった初期灌水期だけでなく、6月下旬の中干しでも大きな負荷流出が確認された。前節の図-12に示したように、試験区Bは初期

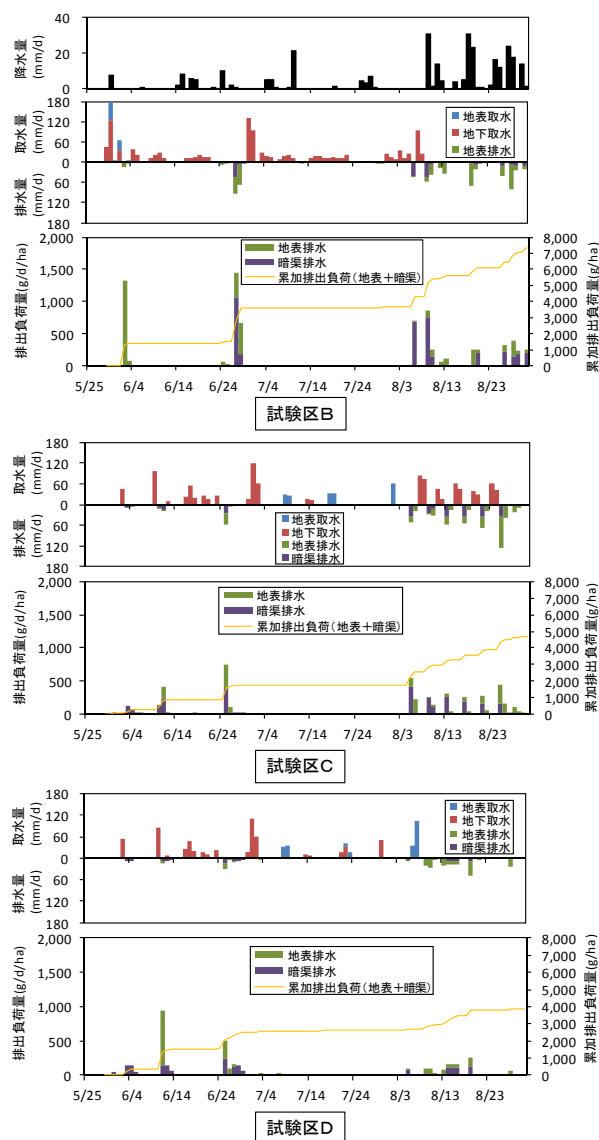


図-13 水稲作付圃場の全窒素排出負荷量
(平成25年度)

灌水期に圃場湛水の濃度が高く、普通期は暗渠排水の方が高濃度であることから、初期灌水期には暗渠排水、普通期は地表湛水を地表により排水することで負荷流出を抑制することが可能であると考えられる。

試験区C、Dは、試験区Bと異なり初期灌水期の負荷量は少なかったが、6月中旬と下旬の圃場管理時に比較的大きな負荷を排出していた。前節の図-12に示したように、試験区C、Dは暗渠排水の方が圃場湛水よりも低濃度であることから、暗渠から排水することで負荷流出を抑制することが可能である。試験区Cは低タンパク対策の水管理により排水量が多く、この期間の排出量が全期間の半分以上であった。ただし、前節で述べたように、濃度は高くないので環境への影響は少ないと考えられる。

ここでは、同じように整備された大区画水田でも、栽培方式や水管理方式の違いにより、負荷流出の状況が異なることを事例的に示した。水質負荷の流出抑制には、これらの流出特性を考慮した水管理が必要となる。すなわち、圃場湛水の水質濃度が高くなる時期においては、地表排水による流出を極力抑え暗渠による排水を、逆に、暗渠排水濃度が高い圃場では初期灌水期など圃場湛水の水質濃度が高くなる時期を除き地表排水を行うことによって、水質負荷の流出を抑制することが可能となる。

3. 配水シミュレーション

3.1 配水シミュレーションの目的と手法

近年、国営事業等による水田の区画整理工事では、配水系のパイプライン化や地下灌漑システムを整備する事例が多く見られる。一般にパイプライン化は、圃場取水口での水管理労力の軽減や水路用地の有効利用などの利便性があり、地下灌漑システムの導入は、水稻直播栽培初期の水管理を容易にするなど、多くのメリットがある。しかし、配水系のパイプライン化によって需要主導型の水管理に変化するため、取水時間帯の集中による不均等配水が生じるなど、管内流量の日内変動が顕著化する。また、水稻直播栽培における特有の水管理や無代かき栽培によって圃場単位用水量の増加が見込まれるなど、地域の用水需要が大きく変動することが想定される。このため、地域全体における安定的な配水管理が課題となる。

そこで本研究では、大区画水田圃場整備地域での円滑な配水管理技術の開発に寄与することを目的として、これら整備が進められている地域の圃場群を対象に、整備後の用水需要を想定した配水シミュレーション

(以下、シミュレーション)を実施した。ここでは、シミュレーションの概要と、平成25年度に実施した計算結果の一例を解説する。

通常、配水管路系での流況を再現する場合には、時間の経過を考えない定常流解析が用いられる。特に、管網や樹枝状などの複雑な管路系での計算法は、各管路の流量を未知数とした流量補正法や、各管路の交点(以下、節点)のエネルギー位を未知数とする圧力補正法に大別されるが、ここでは、圧力補正法の一つである高桑の節点エネルギー位法⁷⁾を用いて流況計算を行うこととした。この計算法は、未知数である節点のエネルギー位を仮定して各節点における流量を計算し、その閉合差が収束するまでエネルギー位の仮定値を補正しながら計算を繰り返して、配水管路系の定常流況を算出するものである。

本研究で行うシミュレーションには、この定常流解析を応用したシミュレーションプログラム⁸⁾を用いた。シミュレーションの計算フローを図-14に示す。配水管路系とその末端にある圃場群から構成される計算モデルを作成し、実際の用水需要を勘案して取水開始時刻と給水栓開度を決め、節点エネルギー法により各給水栓での取水量を計算する。この取水量がある一定時間 Δt 継続すると仮定し、 Δt ごとにそれまでの各圃場の取水量を積算する。ある圃場での取水量が必要水量に到達したらその圃場の給水栓開度をゼロとして再度開閉条件を入力して次の Δt についての計算を行う。最

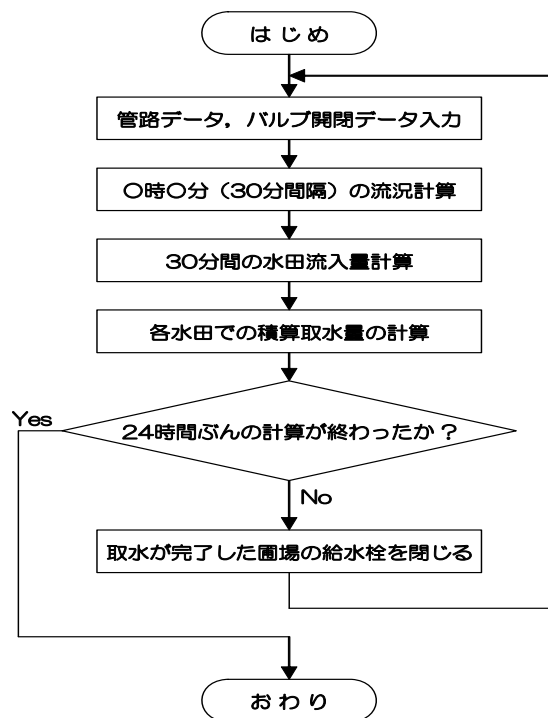


図-14 シミュレーションの計算フロー

最終的に全ての圃場において必要水量となる取水が完了したら計算を終了する。これにより、配水状況の時間的変化を再現することができる。なお本研究では、 Δt を30分間とした。

3.2 計算モデルの設定

3.2.1 対象地域の概要

シミュレーションの対象とした圃場群は、妹背牛町の試験区の近傍にあり、**図-15**のようにA幹線用水路（開水路）から分水するB支線用水路掛かりの水田43筆で合計面積は74.5haである。これら圃場群は、**表-1**に示した試験区と同様の区画整理工事が行われており、支線用水路以降の配水系はパイプラインで整備されている。当該地域では、地下灌漑システムの整備を契機として水稻直播栽培に取り組んでおり、水稻作付面積のうち約24%が水稻直播栽培である。そのほとんどが湛水直播栽培であるが、近年は代かきを行わない乾田直播栽培も導入され始めており、栽培様式の変化に伴い地域の用水需要も変動していくことが想定される。

3.2.2 計算モデル

配水シミュレーションは節点のエネルギー位を仮定して定常流解析を行う。管路系に用いられている管種は塩化ビニール管である。管内の摩擦損失水頭はヘーゼン・ウィリアムス式で計算した。なお、流速係数Cは土地改良事業設計基準及び運用・解説「パイプライン」⁹⁾による硬質ポリ塩化ビニール管の標準値150を使用した。

3.2.3 シミュレーションの条件

シミュレーションの実施にあたっては、地元関係機関等から聞き取った当該地域の営農実態と将来の営農計画を反映させることとした。水稻作付け率は、地域の現況である75%とした。また、水稻作付けのうち直播栽培の割合は、現状の24%と今後の地域営農計画の50%の2通りとした。なお、本研究で対象とした直播栽培は、湛水直播栽培である。

シミュレーションに用いる取水パターンや必要水量などの水需要は、対象圃場群近傍にある大区画水田圃場における水管理調査結果に基づき**表-4**の想定条件のように設定した。

3.3 シミュレーションの実施結果と考察

シミュレーションの結果を**表-5**に示す。結果の評価の視点は、①取水に要する時間と②A幹線用水路からの分水量が計画分水量を超えるか否か、の2点である。

普通期に急な低温が到来しない場合には、取水に要した時間はやや長時間であるものの、実際には取水開始時刻が夕刻や早朝に分散することから、配水に支障

12.2 田畑輪作を行う大区画水田における灌漑排水技術と用水計画手法に関する研究

はないと推察される。普通期に低温が到来する場合や深水区については、全圃場で早朝から一斉に取水するとA幹線用水路からの分水量が過大になる。圃場ごとの取水時間帯の分散が、配水管理にとって有効である。初期灌漑の時期については、直播率24%であれば、直播栽培における浅水管理と移植栽培における荒かきの期

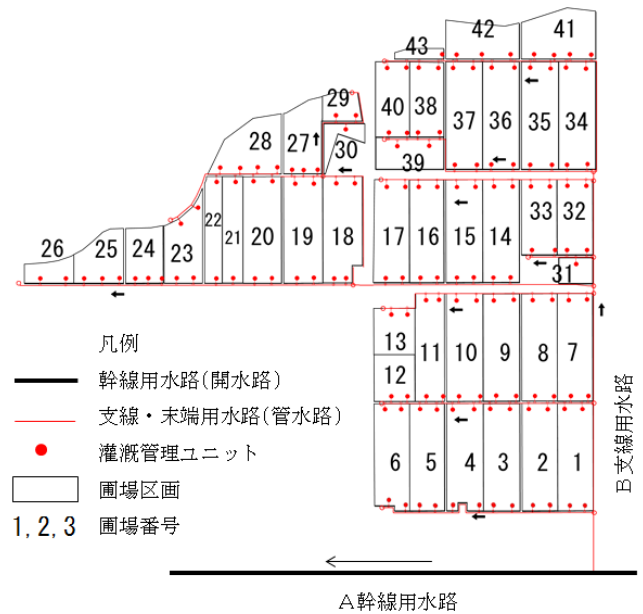


図-15 シミュレーション対象の圃場群

表-4 配水シミュレーションの想定条件

ケース番号	想定条件		
	生育時期等	圃場取水量	当日の取水圃場数
1	普通期	5日ごとに35mm取水	6
2	普通期 (低温到来)	一斉に35mm取水	32 (水稻作付け圃場の100%)
3	深水区	一斉に20mm取水(10日で20cm)	32
4	初期灌漑 直播率現状 (移植76%, 直播24%)	荒かき:59mm 浅水管理:93mm	32
5			21
6			16 (50%)
7	初期灌漑 直播率現状 (移植50%, 直播50%)	荒かき:59mm 浅水管理:93mm	16
8			14
9			10 (31%)

※圃場総数43, 転作田11圃場, 水稻作付け32圃場

表-5 配水シミュレーションの結果

ケース番号	シミュレーション結果		
	取水に要した時間	A幹線用水路からの分水量	結果の評価
1	16.5~17.0h	計画分水量を超えない	支障なし。
2	5.5~13.5h	超える	水田32圃場で一斉に取水するとA幹線用水路からの分水量が過大になる。
3	4.5~11.5h	超える	
4	9.0~18.0h	超える	直播が現状程度であれば、水田の半数で初期灌漑が行われても、計画分水量を超えない。しかし取水に長時間かかる圃場がある。
5	11.5~18.0h	超えない	
6	11.5~18.5h	超えない	
7	11.5~17.5	超える	直播が50%になると、計画分水量を超えない範囲で同日に取水できる圃場数は4割程度になる。この場合も取水に長時間かかる圃場がある。
8	11.5~18.0	超えない	
9	11.5~18.0	超えない	

間が重複する場合（代かき作業は、「荒かき」と「仕上げ」の2段階に区分され、それぞれで比較的大きな取水がなされる）、同時に取水できる圃場数の上限は、水稲作付け圃場数の2/3程度である。将来、直播率50%に高まるならば、同時に取水できる圃場数の上限は水稲作付け圃場数の4割程度に低下する。

これらのシミュレーション結果は、図-15のような事例についてのものであるが、同様の規模・地形のパイプラインシステムに準用できると考えられる。表-5で示した同日に取水可能な圃場数割合を参考にして、地域での水需要が過度に集中しないような配水管理画面必要である。

3.4 配水管理マニュアル（案）の作成

シミュレーションの結果を基にして、水田への安定した用水供給のための配水管理マニュアル（案）を作成した。

マニュアルでは、用水需要の変化による水理的課題の解決策として、配水系内での取水上限圃場数の設定、取水時間帯の分散による取水ピークの緩和、適切な給水栓開度管理、地下水位の制御による節水を提案した。

4. まとめ

田畑輪作を行う大区画水田での灌漑排水技術の開発と用水計画手法の提案を目的として、現地観測、水質調査および聞き取り調査を行った。その結果は次のようにまとめられる。

地下水位制御システムを有する大区画水田における圃場への給水では、水田初期取水を地下から行うことで均一的な圃場内配水が可能であることを実測により検証した。また、灌漑初期の地下灌漑時では、連作田よりも還元田の方が下層部への用水の浸入が速やかであることが明らかになった。

次に、地下水位等の現地観測結果を用いて、土壌孔隙率を考慮した取水量の推定を行った。湛水直播栽培や乾田直播栽培における初期取水や浅水管理などの生育初期の水管理において、短時間で多くの取水を行っていた。

水質調査では、移植栽培圃場で代かき作業後に表面湛水部の全窒素および全リンの濃度が一時的に高くなる傾向がみられた。代かき作業のない乾田直播栽培圃場でも灌漑初期に濃度上昇がみられたが、移植栽培圃場ほどの高い値とはならなかった。水質負荷流出抑制の検討では、同じように整備された大区画水田でも、栽培方式や水管理方式の違いにより、負荷流出の状況が異なることを事例的に示した。水質負荷の流出抑制

には、これらの流出特性を考慮した水管理が必要となる。

配水シミュレーションの結果では、普通期前半に行われる移植栽培の代かき取水と、直播栽培の浅水管理が重複することによって、短時間で多くの用水が必要となるため、取水を行う圃場数や各圃場での給水栓開度の調整方法などを検討する必要がある。今後は、これらの時期に必要な用水量を適切に把握するとともに、現行の用水計画でも安定した取水が可能となるような配水管理を行うことが重要である。

平成26年度に向けた課題は、今後普及が予測される直播栽培や地下灌漑を行う転作田における用水需要を定量的に把握するためにデータを蓄積し、受益地区全体での用水量の適切な算定手法を提案することである。

最後に、本研究を進めるにあたり、現地調査や資料提供にご協力いただいた農業者、もせうし町土地改良センター、北海道開発局札幌開発建設部の関係各位に謝意を表す。

参考文献

- 1) 細山隆夫ほか：道央水田地帯における農業構造の変化と将来動向予測-上川支庁、空知支庁を対象として-，pp.15-37，2004
- 2) 北海道農政部：集中管理孔を利用した地下かんがいの手引き，p.14，2008
- 3) 楊継富，安養寺久男，多田敦：水田の長辺長と取水流量の関係，農業土木学会論文集，No.179，pp.57-68，1995
- 4) 農林水産省構造改善局：土地改良事業計画設計基準「計画・農業用水(水田)」，p.31，1993
- 5) 松原利文ほか：地下灌漑時の土層中の水移動-重粘土転換畑における地下灌漑試験(第1報)-，土壌の物理性，第52号，pp.18-24，1985
- 6) 志村博康ほか：新農業水利学，朝倉書店，pp51，1987
- 7) 高桑哲男：配水管網流量計算法に関する研究(Ⅲ)-節点エネルギー法を未知数とした計算法-，水道協会雑誌，第423号，pp.46~pp.60，1969
- 8) 長谷川和彦ほか：水田パイプラインでの配水均等性評価手法-節点エネルギー法を応用した配水シミュレーション-，農業土木学会北海道支部研究発表会講演集，pp.25~pp.30，2001
- 9) 農林水産省農村振興局：土地改良事業計画設計基準及び運用「設計・パイプライン」，p.177，2009

A STUDY ON IRRIGATION AND DRAINAGE TECHNOLOGIES FOR LARGE PADDY FIELD PLOTS WHERE RICE AND UPLAND CROPS ARE GROWN IN ROTATION AND ON TECHNIQUES FOR IRRIGATION PLANNING

Budgeted : Grants for operating expenses General account

Research Period : FY2011-2015

Research Team : Cold-Region Agricultural Development Research Group
(Irrigation and Drainage Facilities)

Author : NAKAMURA Kazumasa

UNOKI Keiji

KOHIYAMA Masayuki

SAKAI Miki

Abstract : In large rice-producing areas of Hokkaido, farms are expected to be managed on an increasingly large scale of at least 30 ha per farming household, in the future, due to the consolidation of farmland caused by decreases in the number of farming successors. In paddy field areas where such large-scale management tends to predominate, paddy fields are being enlarged and subirrigation facilities are being installed to create paddy fields with high work efficiency for further productivity enhancement. This research develops irrigation and drainage techniques that are suitable for such improved paddy field areas and that further enhance the productivity of paddy agriculture. The outcome of the research up to fiscal year 2013 is as follows.

1) For large paddy fields with a subirrigation system, the characteristics of irrigation water demand were clarified based on observations of groundwater level and ponding water level, including the state of irrigation water distribution to entire paddy fields, the irrigation requirements at each growth stage under the subirrigation system and water intake strength. In restored paddy fields that had been used for growing other crops for three years, the penetration of irrigation water into subsoil was faster than in paddy fields that had been used without interruption for growing rice. The irrigation requirement was relatively high in the restored paddy fields.

2) In 43 parcels of paddy fields (a total of 75 ha), the percentage of area where simultaneous water intake is possible during periods of intensified water demand was clarified by simulating the water distribution that reflects the water demand characteristics of paddy fields. Based on the simulations, water distribution management techniques were proposed for the stable supply of irrigation water to paddy fields.

3) A water quality survey for submerged fields and underdrainage was also conducted toward developing a paddy field water management method in view of the need to suppress the outflow of water quality loads. In transplant cultivation paddy fields, the tendency for the concentration of total nitrogen and total phosphorus in the surface area of submerged fields to temporarily increase was observed after puddling. Increases in the concentration of total nitrogen and total phosphorus were also observed in dry direct-seeding cultivation paddy fields where no puddling took place during the initial stage of irrigation, but the values were not as high as those in transplant cultivation fields. In addition, from the discharged load of total nitrogen calculated using surface-drainage discharge and underdrainage discharge, it was clarified that the state of total nitrogen outflow load differs depending on the cultivation methods and water management systems.

Keywords : large paddy field plots, groundwater level control, water management, water quality