

12.3 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）

技術開発調整監付（寒地技術推進室）

研究担当者：中村和正、鶴木啓二、古檜山雅之、淵洋平

中谷利勝、野澤一博、長畑昌弘

【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、今後 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 24 年度までの成果は次の通りである。

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整理した。さらに、この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、湛水直播栽培における生育初期の水管理など、取水強度が大きくなる取水作業が同一配水系内で集中して行われた場合における配水管理上の留意点を明らかにした。今後は、地域全体で安定した配水が可能となる水管理手法の検討が必要である。また、水質負荷の流出抑制に配慮した圃場水管理手法を検討するため、圃場湛水と暗渠排水の水質調査を行った。その結果、圃場の表面湛水部では、湛水開始直後と生育後期において全窒素および全リンの濃度が一時的に高くなる傾向が見られたが、水閘開放時の暗渠排水は比較的濃度が低かった。

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、水田初期入水時に、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、地域全体に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

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 24 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 回あたりの取水強度や取水時間などの用水需要特性を整理した。この整理し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。また、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、水質分析を行った。

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(以下、試験区)を対象に行った。調査対象試験区の概要を図-1 に示す。これらの試験区は、平成 21 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型水閘操作により、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(田面付近への湛水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)や出穂期以降に地下水位を上下させて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およびH24 試験区C)が行われていた。

2.1.2 現地観測調査

試験区内での観測点と観測概要を図-3 および図-4 に、観測項目別の観測期間を表-1 に示す。

地下水位の観測は全ての試験区で行い、1 試験区あたり 10 点とした。絶対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

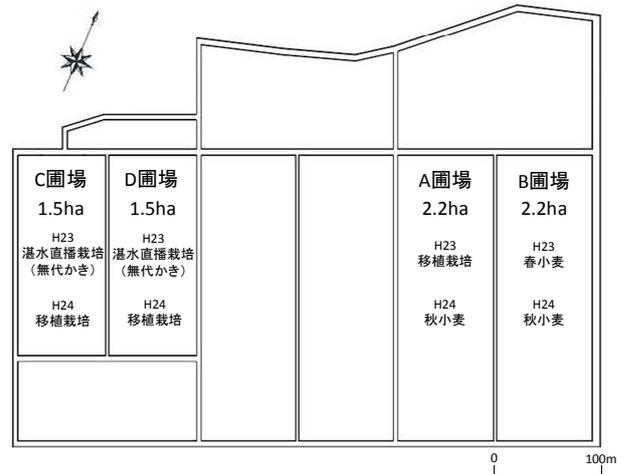


図-1 試験区の概要

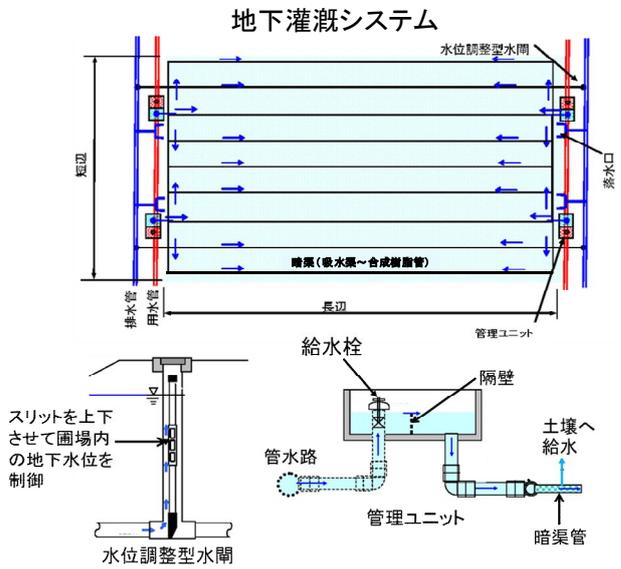


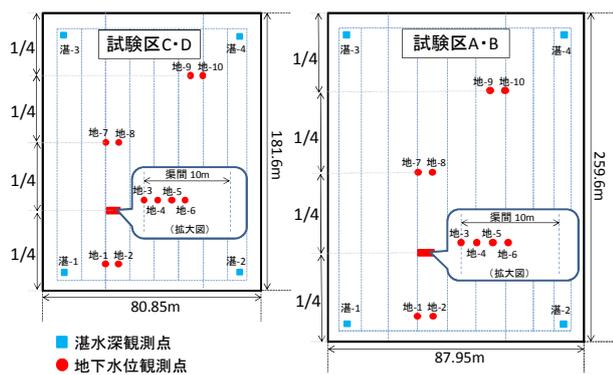
図-2 地下灌漑システム

点に深さ 1m 程度で埋設し、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。

湛水位の観測は水稲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を用いて田面から 15cm 程度埋設し、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、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)側にそれぞれ相対圧式自記水位計を設置し、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アメダスデータを使用した。



(圃場内の破線は暗渠配線を表している)
(転作田では地下水位のみ観測)

図-3 圃場内の観測点



図-4 観測概要

表-1 観測期間

	H23	H24
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
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
管理ユニット内水位	5月13日 ～ 8月31日	5月17日 ～ 8月31日
降水量	5月20日 ～ 10月31日	5月17日 ～ 10月31日

また、平成23年度には、水田における初期入水時の水足スケッチを試験区Cおよび試験区Dで行った。両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、圃場全体が湿潤状態となった時点で終了とした。なお、試験区A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のみ、暗渠排水は暗渠からの排水があった場合のみ採水した。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

寒地土木研究所資源保全チームでは、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」を実施しており、同一の調査フィールド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、末端まで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、大区画水田の初期入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、H23試験区Cの事例を図-5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。暗渠側部では、取水開始(7:00)から1時間程度で水位が上昇して田面下10cm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(19:00)には、地-1を除く3点の水位が田面付近まで到達した。一方、暗渠

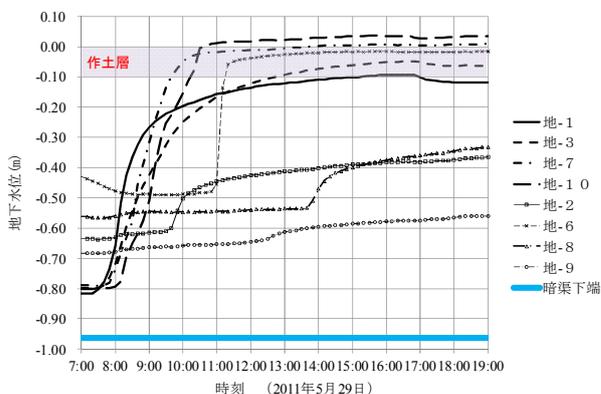


図-5 土層内での地下水位変化

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、取水停止時においても、地-6を除く観測点の水位が30cm以下となっていた。

同じくH23試験区Cにおける水足スケッチの結果について、初期入水開始から3時間後までの事例を図-6に示す。取水開始から1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。2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、3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、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10cm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。また初期入水時に圃場全体が

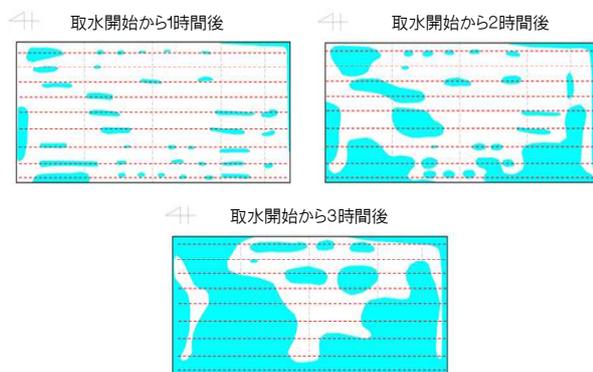


図-6 初期入水時の水足スケッチ (試験区C)

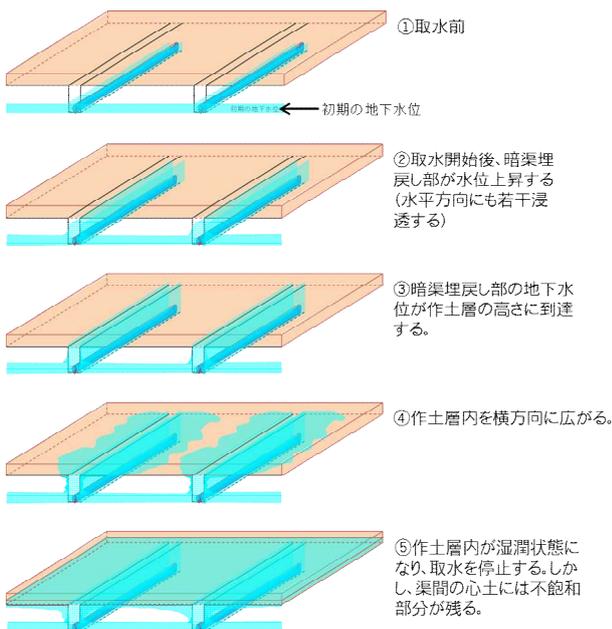


図-7 地下取水による水の動き (イメージ)

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、暗渠から遠い心土部分には不飽和部分が残っていると推察される(図-7)。

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-8)。地下水位は圃場内の4地点(地-3、地-6、地-9、地-10)の平均値を、湛水深は設置した全点(湛-1~湛-4)の平均値をそれぞれ用いた。ここでは、水稲作付け圃場である平成23年度の試験区A、C、Dおよび平成24年度の試験区Cの結果について示す。

各試験区とも、初期灌水時には主に地下からの取水を行っていた。また、水稲移植栽培のH23試験区AおよびH24試験区C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ことに対し、水稲直播栽培のH23試験区CおよびDでは、地下取水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挙動は、図-8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)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H24試験区C)による水位挙動である。どちらの水管理も多くの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 各試験区での水需要特性

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

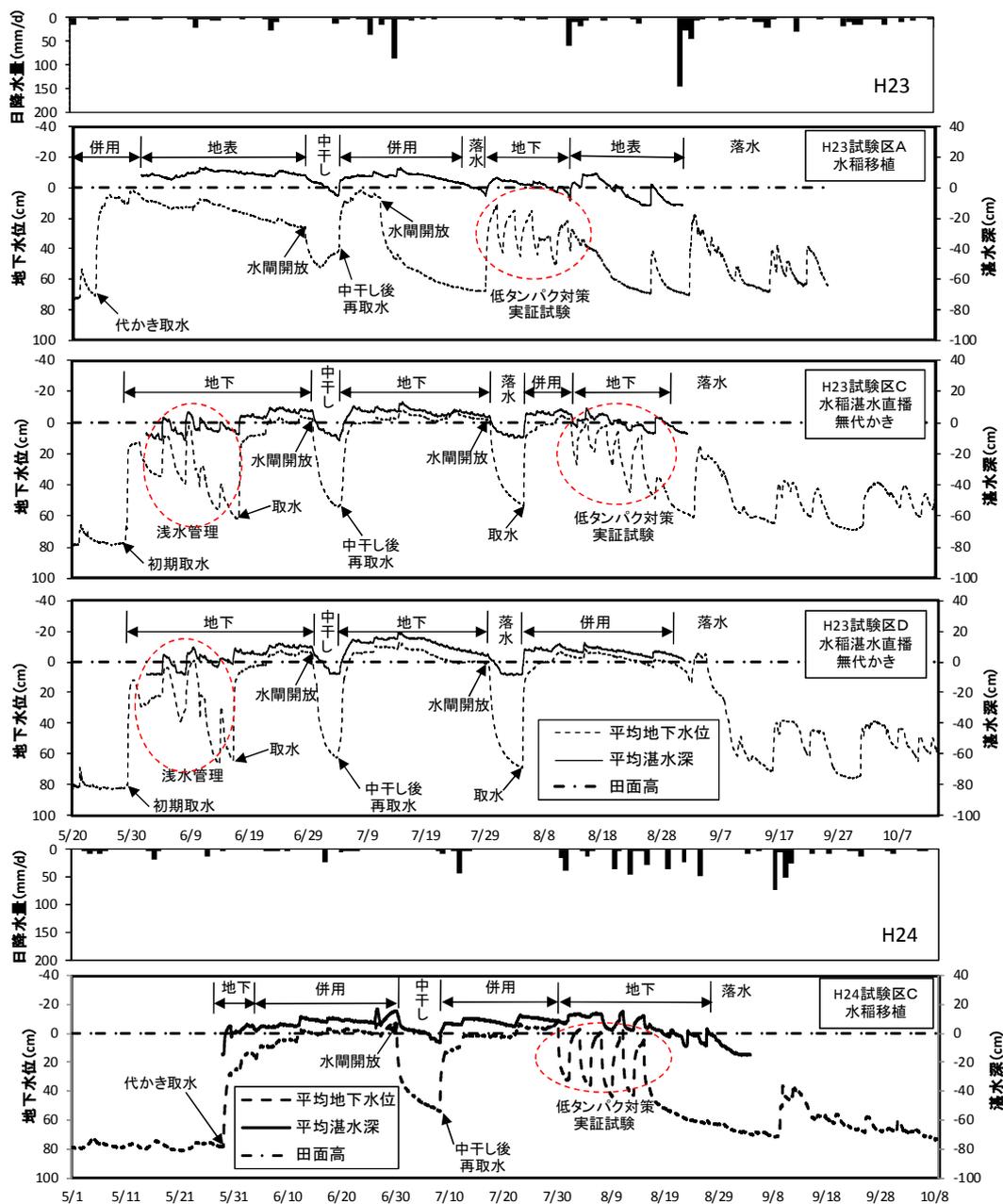


図-8 調査期間中の日降水量と地下水水位および湛水深の経時変化
 (「地表」、「地下」、「併用」は、灌漑方法を示す)

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壤孔隙を移動すると考えられる⁵⁾ため、地下水水位変化量の算出にあたっては、土壤孔隙率を考慮した。なお、土壤孔隙率は、平成23年度の現地観測データを用いて、落水後のある降雨期間における降雨量と地下水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図-5から明らかになったため、暗

渠埋戻し部における地下水水位変化量は、暗渠側部での観測点(地-1, 3, 7, 10)の平均値を、それ以外の地下水水位変化量は、図-8で用いた地下水水位をそれぞれ用いた。

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-2に、また、調査期間中における日単位の取水量を図-9に示す。

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。湛水直播栽培の試験区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。図-9からもわかるように、浅水管理も初期入水と同様に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、試験区AおよびCで低タンパク対策による地下水水位操作が行われていた。

表-2 用水需要期別の取水量

	初期灌水期	普通期(1)	普通期(2)	普通期(3)	備考
試験区A	136.2 (59.7hr)	73.7 (91.2hr)	114.0 (86.8hr)	158.9 (210.5hr)	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)	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)	-	湛水直播 無代かき

※期別の定義

初期灌水期:移植栽培では代かき用水取水から移植まで、直播栽培は初期入水

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

実施している時期は異なるが、ともに期間中の取水量は多くなっている。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24年度までに調査した圃場の栽培方式は移植栽培と無代かき湛水直播である。両者における水管理上の相違点は初期灌水時の水管理方法であり、普通期における水管理に大きな違いは見られなかった。平成25年度は、乾田直播栽培圃場における水管理実態と用水需要特性を把握するための現地観測を行う予定である。

さらに田畑輪作により畑作物に地下灌漑を行えば、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

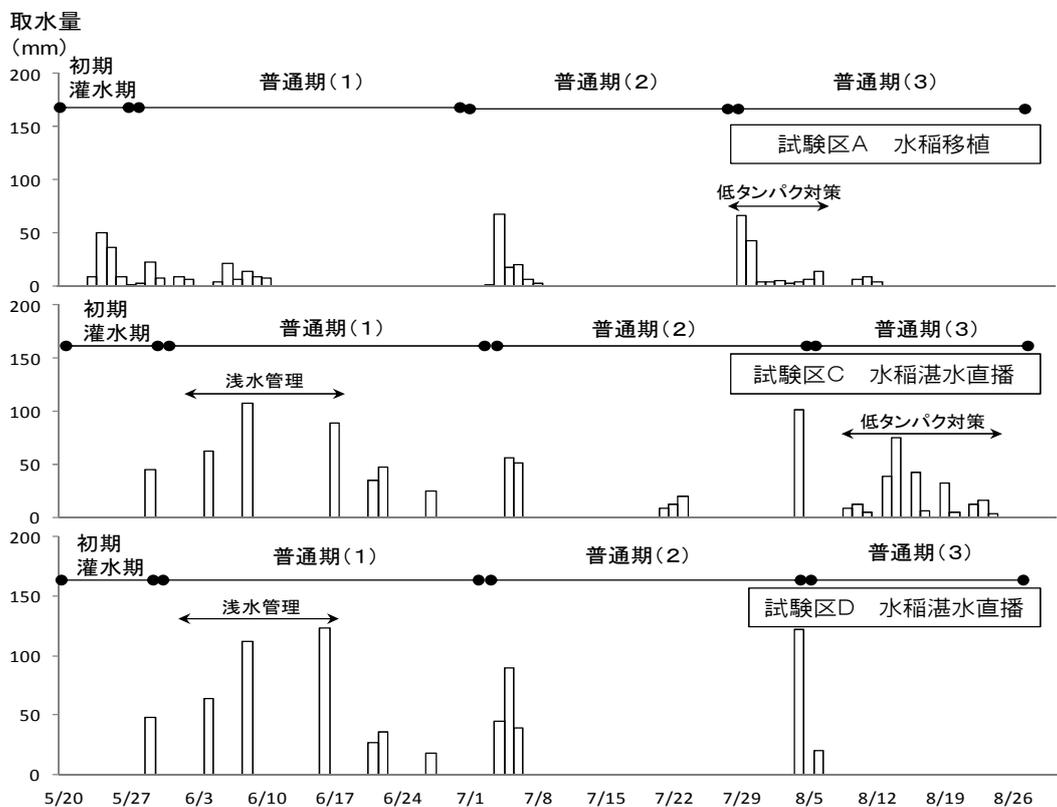


図-9 日あたり取水量

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。

図-10は、平成24年度の試験区CおよびDにおける圃場湛水、暗渠排水の全窒素および全リンの水質濃度を示したものである。圃場湛水では図中の赤丸で示すように、両圃場とも代かき取水直後と中干し後から落

水前までの期間において、一時的に水質濃度が高くなる傾向が見られた。特に代かき取水直後は両圃場とも全窒素で3mg/Lを超える高い濃度であった。暗渠排水では調査期間中において水質濃度の大きな変動はなく、比較的低い濃度であった。代かき取水後は施肥成分の流出により圃場湛水の水質濃度が高くなったと考えられる。中干し以降における水質濃度の上昇については、明確な理由は明らかではないが、長澤ら⁷⁾によれば、表面水中で増殖する藻類等が土壌表層に蓄積した窒素・リン成分を吸収して有機化し、落水や中干し等の水管理を通して再び無機態窒素・リン成分を水田土壌層に供給する汚濁負荷源になるため、窒素・リンの流出は施肥直後のみならず水稻生育後期にも顕著に起こることを指摘している。今回の調査圃場においてもこのような要因によって圃場湛水濃度が高くなっていることが考えられる。

このように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るような水管理を行うことが望ましい。また、無代かき栽培のように作土層や耕盤層の透水性が大きく、地下水位と湛水深が連動するような場合には、水位調整型水閘の操作によって圃場湛水を地下から排水させるような水管理を行うことによって、水質負荷をある程度抑制することが可能であると考えられる。

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。

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、

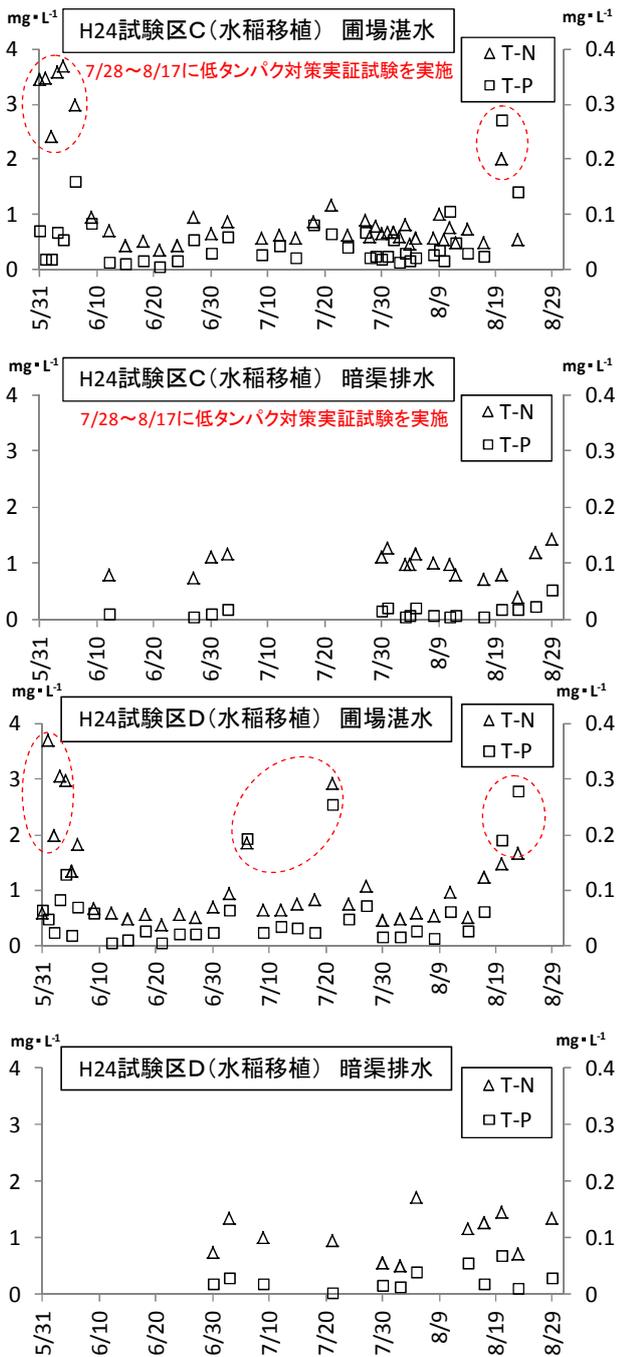


図-10 圃場湛水と暗渠排水の水質濃度

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24年度に実施した計算結果の一例を解説し、今後の研究方針を整理した。

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⁹⁾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⁹⁾を用いた。シミュレーションの計算フローを図-11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、図-1に示した試験区の近傍にあり、A幹線用水路から分水するB支線用水路掛かりの水田11筆で、面積は27.8haである。対象圃場群の概要を図-12に示す。これら圃場群は、図-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4%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

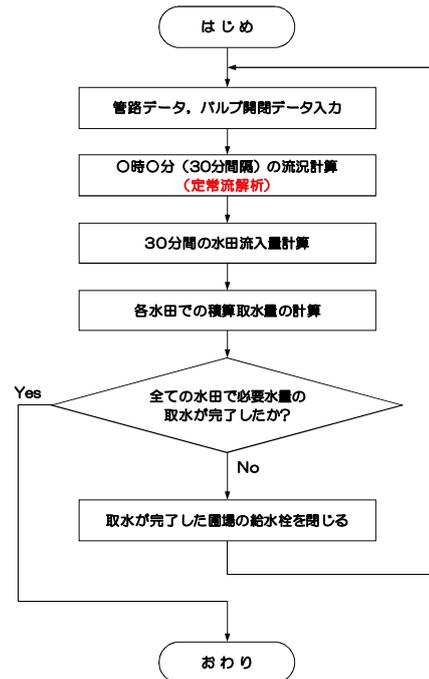


図-11 シミュレーションの計算フロー

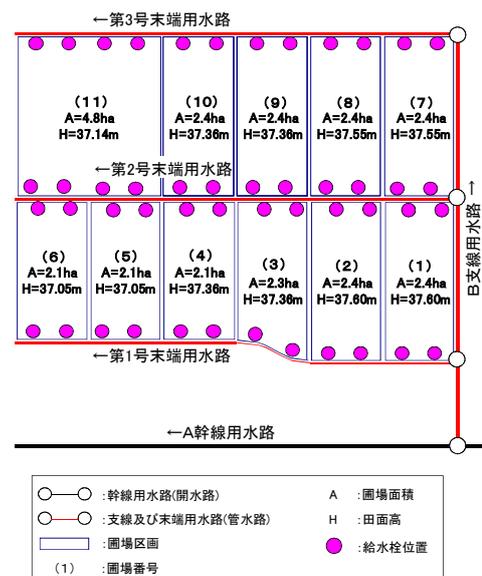


図-12 対象圃場群の概要

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

対象圃場群の基礎諸元を表-3に、配水系の配管や給水栓等の節点位置を表した計算モデルを図-13に示す。図-13に示した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 設計「パイプ

12.3 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

表-3 基礎諸元

受益面積	27.8 ha	
圃場数	11	
計画用水量	代かき期	0.2025 m ³ /s
	普通期	0.1601 m ³ /s
	深水期	0.1858 m ³ /s
管路延長	B支線水路	405.89 m
	第1号分派	551.13 m
	第2号分派	546.77 m
	第3号分派	811.92 m
管種	塩ビ管(VU)	

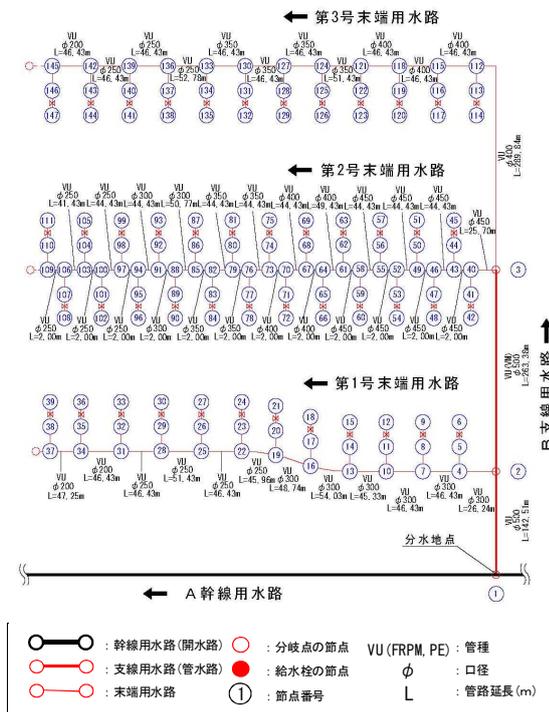


図-13 計算モデル

ライン」¹⁰⁾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、全11筆中8筆を水稻作付け圃場とした。また、水稻作付けのうち直播栽培の割合は、今後の地域営農計画から50%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。

同一支線水路掛かりにおいて、代かき取水等の取水作業を全圃場で一斉に行うことは、地域での配水管管理を困難にする可能性があり現実的ではない。ここでは、シミュレーションプログラムを用いて分水地点に

近い圃場から順番に給水栓開度を全開にする計算を行い、分水地点の流量が代かき期の計画用水量を超えた時点において取水が完了した圃場の数を同時取水可能圃場数として設定した。計算結果を表-4に示す。圃場数が4筆になったときの合計取水量が0.2456m³/sとなり、この支線用水掛かりにおける代かき期の計画用水量0.2025m³/sを超えることから、本モデルでの同時取水可能圃場数を4筆とした。

次に、取水を行う4筆の圃場を選定した。本シミュレーションの目的は、円滑な配水の可否を検討ことであるため、対象圃場群の中から水理条件に恵まれない圃場を選定する必要がある。このため、1筆ずつで給水栓を全開にしたシミュレーションを全筆で行い、ある水深(ここでは30mmに設定)に到達する時間の遅かった4筆を取水圃場として選定した。計算結果を表-5に示す。

さらに2章にて述べたとおり、対象圃場群近傍にある大区画水田圃場において灌漑期の圃場地下水位や湛水深の現地観測調査を行っており、これらの調査結果を参考に、対象地域で整備された大区画水田圃場における用水需要特性について整理した(表-6)。この用水需要特性から、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を設定した。取水パターンは、作付け体系や栽培様式によって様々な組み合わせが考えられるが、本シミュレーションでは、地域の標

表-4 同時取水可能圃場数

圃場名	取水量(m ³ /s)	
	3圃場で取水	4圃場で取水
(1)	0.0666	0.0631
(2)	0.0659	0.0622
(7)	0.0663	0.0603
(8)	-	0.0599
合計	0.1987	0.2456
(計画用水量)	0.2025	

表-5 取水圃場の選定

圃場番号	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
水深30mm	300	360	330	360	330	360	360	390	390	420	390
到達時間(分)											
シミュレーション対象とする圃場								○	○	○	○

圃場番号は図-2を参照

表-6 用水需要特性

取水作業項目	取水間隔	取水作業項目1回あたりの取水時間	取水量
	日	h	mm
代かき	荒かき	-	58.8
	仕上げ	荒かきの翌日	44.9
	移植	仕上げの3日後	29.6
初期入水	-	10.5	46.4
浅水管理	6	14.9	93.0
普通期	5	14.8	34.7

準的な取水作業項目や取水間隔および栽培時期などを踏まえ、表-7に示す2パターンとした。また各取水パターンについて、給水栓開度を全開にした場合と、水需要特性で整理した実態の取水量に合わせた中間開度のそれぞれ2パターンを選定し、合わせて4ケースでシミュレーションを実施した。シミュレーションケースの一覧を表-8に示す。

表-7 取水パターン

圃場番号	取水パターン1			取水パターン2		
	作業名	取水量 m ³ /s/ha	必要水量 mm	作業名	取水量 m ³ /s/ha	必要水量 mm
(8)	浅水管理	0.0225	93.0	浅水管理	0.0225	93.0
(9)	浅水管理	0.0225	93.0	普通期取水	0.0059	34.7
(10)	浅水管理	0.0225	93.0	浅水管理	0.0225	93.0
(11)	浅水管理	0.0225	93.0	普通期取水	0.0059	34.7

表-8 シミュレーションケース

シミュレーション ケース名	取水パターン		給水栓の開度
	番号	パターン説明	
ケース1	1	4筆で浅水管理	全開
ケース2	1	4筆で浅水管理	中間開度(H23実態)
ケース3	2	2筆で浅水管理 (8) (10) 2筆で普通期管理 (9) (11)	全開
ケース4	2	2筆で浅水管理 (8) (10) 2筆で普通期管理 (9) (11)	中間開度(H23実態)

3.3 シミュレーションの実施結果と考察

各ケースにおける取水開始からの経過時間と圃場での取水量の変化を図-14に、分水地点での流量変化を図-15に示す。

4筆全てで浅水管理のための取水を行ったケース1および2では、いずれの圃場でもほぼ同じ取水時間で必要水量に到達しており、圃場間での水理条件に差異はみられなかった。しかし、給水栓を全開とした場合でも取水完了まで約14時間を要した。浅水管理では、田面付近での湛水管理を行うため、目視確認が可能な時間帯で取水を完了しなければならない。今回のシミュレーションでは、1回あたりの取水量が大きくなる浅水管理が集中して行われると水理条件の厳しい圃場では取水時間が長くなることが示唆された。このため、これらの圃場では目視確認可能な時間帯での取水完了が困難となり、農家の水管理にも支障を来すこととなる。したがってこのような期間では、地下灌漑システムの水位調整機能を活用してある程度高い地下水位を保持することにより、取水時間の短縮を図ることが有効的であると考えられる。

ケース3では、普通期取水である2筆(9)圃場と(11)

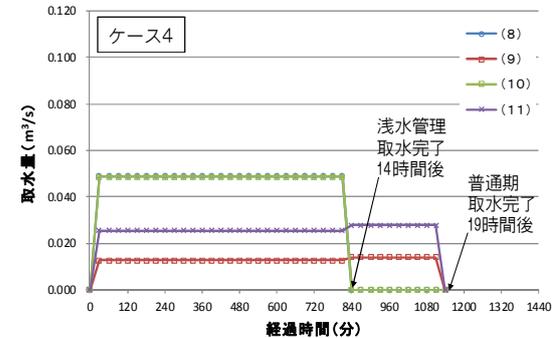
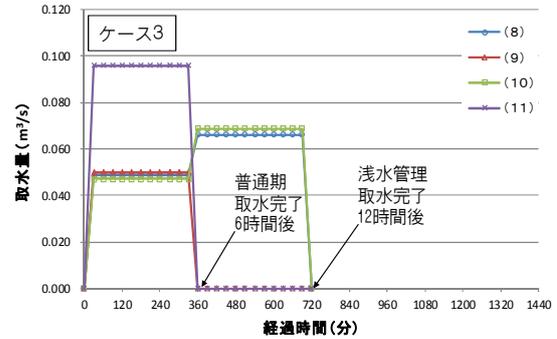
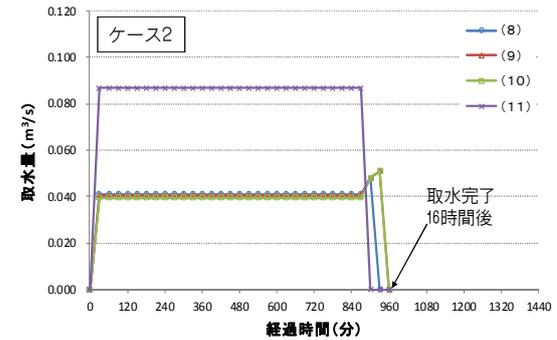
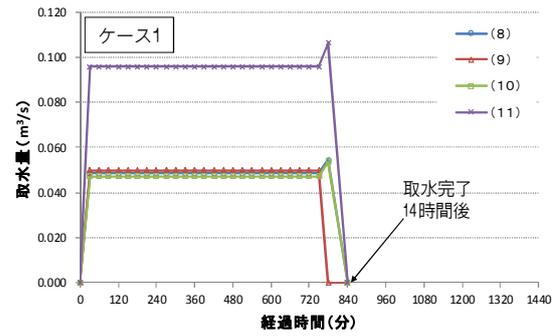


図-14 取水開始からの各圃場での取水量変化

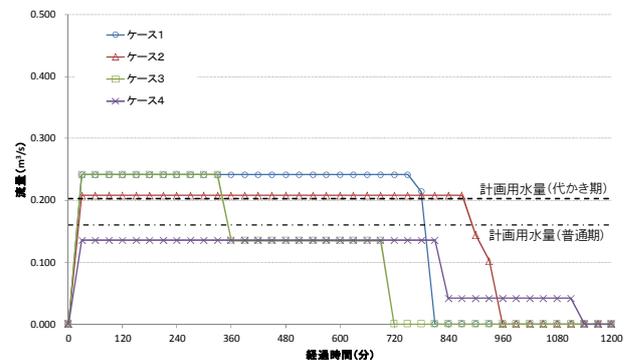


図-15 取水開始からの分水地点での流量変化

12.3 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

圃場)が約6時間で取水完了しており、浅水管理においても、ケース1と比較して2時間程度早く取水が完了している。しかし、浅水管理のための取水が2筆の場合でも、ケース3のように給水栓を全開にする圃場水管理を行うと、分水地点での取水量が計画用水量を超過する時間帯がみられた。このため、今後湛水直播栽培が地域で定着する場合には、地域全体で安定した配水管理を行うため、浅水管理など直播特有の取水による用水需要の変動を十分把握しておく必要がある。

ケース4では、普通期取水に約19時間を要しており、冷害対策として水温上昇を考慮した夜間取水や早朝取水を行いたい場合でも、目標とする時間までに取水を完了できない可能性がある。ケース4の場合、分水地点での流量には余裕があるため、許容の範囲内において給水栓開度を調整し、冷害対策としての水管理を速やかに行う必要がある。

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、水田初期入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。

次に、地下水位等の現地観測結果を用いて、土壤孔隙率を考慮した取水量の推定を行った。湛水直播栽培における初期入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、水閘開放による暗渠からの流出量が多い時期においても、暗渠排水の水質濃度は比較的低い傾向がみられた。

配水シミュレーションの結果では、湛水直播栽培の普通期前半に行われる浅水管理におい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25年度に向けた課題として、今後普及が予測される乾田直播栽培や地下灌漑を行う転作田における用水需要を把握する必要がある。また、栽培様式の異なる水稲作付けや転作田が混在する地域での用水需要特性を踏まえた配水シミュレーションを行い、田畑輪作を行う大区画水田地域における配水管理技術の開発に寄与したい。

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)-，土壤の物理性，第52号，pp. 18-24, 1985
- 6) 志村博康ほか：新農業水利学，朝倉書店，pp. 51, 1987
- 7) 長澤徹明ほか：水田水利用による水質環境への影響-北海道における調査事例-，水文・水資源学会誌，第10巻5号，pp. 477~pp. 484, 1997
- 8) 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
- 9) 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
- 10) 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) and Director for
Cold-Region Technology Development Coordination
(Cold-Region Technology Promotion Division)

Author : NAKAMURA Kazumasa

UNOKI Keiji

KOHIYAMA Masayuki

HUCHI Yohei

NAKAYA Toshikatsu

NOZAWA Kazuhiro

NAGAHATA Masahiro

Abstract : In Hokkaido's large rice-producing areas, the management of large-scale paddy fields of 30 ha or more per farm household is envisioned for the future, due to farm consolidation expected by decreases in the number of farm households. 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 2012 is as follows.

For large paddy fields with a subirrigation system, the characteristics of irrigation water demand were clarified based on observation results of groundwater level and ponding water level, including the state of irrigation water distribution to entire paddy fields and the irrigation requirements at each growth stage under the subirrigation system, and water intake strength. A water distribution simulation that reflects the above-mentioned characteristics was conducted to clarify points to keep in mind for water distribution management, including water management at the initial growth stage after direct seeding cultivation in a flooded paddy field, in the case that high water intake is intensively carried out within a single water distribution system. For the future, a water management system that enables stable water distribution throughout an area of concern needs to be studied. A water quality survey for submerged fields and underdrainage was also conducted to study a paddy field water management method in view of suppressing the outflow of water quality loads. As a result, a tendency was observed for the concentrations of total nitrogen and total phosphorus in the surface of submerged paddy fields to become temporarily high immediately after submerging started and in the latter half of the rice-growing season, but for the concentrations to be relatively low for underdrainage when relief wells were open.

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