

## 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、越山直子、酒井美樹、  
伊藤暢男

### 【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ことを目的とした。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妹背牛町および中富良野町の大区画水田において、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比較した。結果は次のとおりである。  
①妹背牛町では、無代かき湛水直播栽培、移植栽培、乾田直播栽培の3種の方式で水稻作を行ったときの地下水位変動は、代かきの有無によってその傾向が異なるが、栽培方式の違いによる浸透量の差は小さかった。  
②妹背牛町では、初期取水から中干し後の再湛水までの期間、圃場の地下水位が高く、浸透量が小さいことから、栽培方式による供給水量の差はほとんどみられなかった。  
③妹背牛町では、大区画水田における暗渠排水の機能は、長辺の長い大区画圃場に設置された水平な吸水渠であっても、圃場整備後4年を経過した時点でも良好であった。  
④中富良野町では、乾田直播栽培圃場の用水量は、土性などの圃場条件の他、農家による水管理操作、灌漑方法、気象状況、水稻の生育状況の影響を受けていた。  
⑤両地区における調査結果を基に、地下灌漑が可能な大区画圃場における用水計画手法を提案し、用水量変化の要因についての分析手法、用水量調査方法を作成した。
- 2) 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。圃場湛水の全窒素および全リンの濃度は、移植栽培圃場では代かき直後に高くなっており、乾田直播栽培では灌漑期初期の比較的長い期間に高濃度となる傾向がみられた。地表排水量と暗渠排水量を用いて計算した全窒素の負荷流出は、灌漑期初期だけではなく、6月下旬の中干しでも大きな値となった。これらの水質濃度および負荷流出特性を基にして、流出負荷抑制に配慮した圃場管理手法として、①圃場湛水および暗渠排水の水質濃度に応じて排水方法を選択し、排水の水質濃度を低下させること、②用水量の節約や浅水管理での排水量抑制により排水量を削減することを提案した。
- 3) 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。この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。また、これと同じ圃場群において給水栓操作日時を調査し、①同時に取水している圃場の割合は10～30%の範囲にあることが多いがまれに50%を超えること、②移植栽培と直播栽培では初期灌漑の時期が8～10日間程度ずれるために地域の配水を阻害するような水需要の集中はないと考えられる、という結果を得た。

キーワード：大区画水田、地下水位制御、水管理、水質、用水量、配水管理、圃場排水

### 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<sup>1)</sup>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。

## 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

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<sup>2)</sup>。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。

成果は次のとおりである。

地下水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、異なる栽培方式での地下水水位変動と用水量について分析した。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。このシミュレーション対象の支線パイプラインにおいて、水田パイプラインの給水栓操作時期を調査して、同時に取水している圃場数や移植

栽培と直播栽培の用水利用時期の重複状況を分析した。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の水質分析を行い、水質負荷流出量を概算した。また、これらの調査結果を基に、地下灌漑が可能な大区画圃場における用水計画手法を作成した。

## 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3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、平成26年度、平成27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I、S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

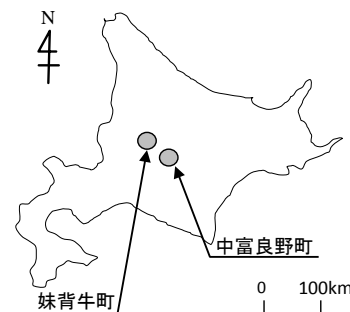


図-1 妹背牛町および中富良野町の位置

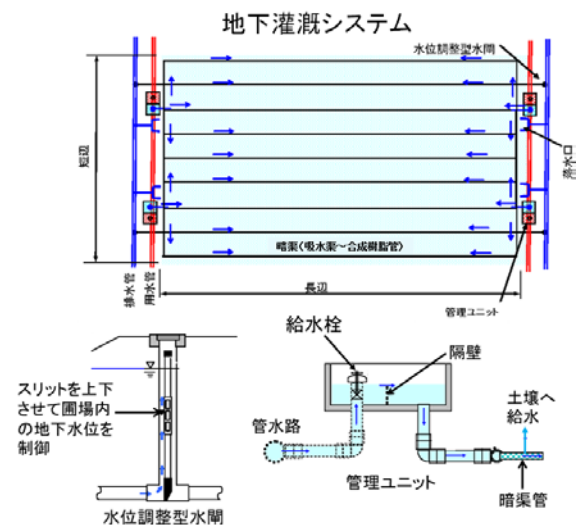


図-2 地下灌漑システム(妹背牛町の事例)

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

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) 水稻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) 水稻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、H26 試験区C、D、I、S）、無代かき移植栽培（H27 試験区C、D）、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、H25 試験区C、H26 試験区CおよびH27 試験区C）、畑作（小麦）利用時の地下灌漑（H26 試験区A、B）が行われていた。

H26 試験区C、Dでは、当初、無代かき湛水直播栽培として播種を行ったが、生育不良であったため、乾

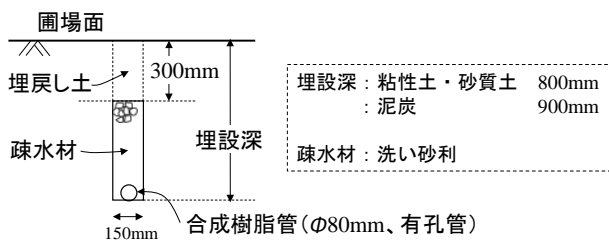


図-3 暗渠吸水渠の標準断面

田直播栽培に変更して再播種した。そのため、観測データは参考値として扱う。

暗渠吸水渠の標準断面を図-3に示す。吸水渠は水平に敷設されていて、その埋設深は土壌別に設定されている。疎水材には洗い砂利が使用されていて、その上端は地表から30cmの深さである。また吸水渠の間隔は10mである。調査圃場の吸水渠の埋設深は90cmである。

心土破碎は、各耕作者の聞き取りによれば、各試験区とも毎年の収穫後に実施しているとのことである。

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-4および図-5に、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、観測点は試験区A、B、C、Dで1試験区あたり10点、試験区I、Sで1試験区あたり6点、試験区Mで2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。なお、この観測値は、厳密にはセンサー感部位置での水の圧力水位であるが、概ね地下水位の位置を表していると考えて、以下では地下水位と表記する。

湛水位の観測は水稻作付けの試験区で行い、観測点は試験区M以外で1試験区あたり4点とした。試験区Mは2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、

表-1 試験区の概要

試験区	面積 (ha)	整備状況	作付形態									
			H21	H22	H23	H24	H25	H26	H27			
妹背牛町	A	2.2	整備		移植栽培	移植栽培	秋小麦	大豆	春小麦	春小麦		
	B	2.2			大豆	春小麦	秋小麦	移植栽培	秋小麦	秋小麦		
	C	1.5			乾田直播栽培	無代かき湛水直播栽培	移植栽培	乾田直播栽培	乾田直播栽培	無代かき移植栽培		
	D	1.5			乾田直播栽培	無代かき湛水直播栽培	移植栽培	乾田直播栽培	乾田直播栽培	無代かき移植栽培		
中富良野町	I	H25	0.8	整備			移植栽培	乾田直播栽培	-	-		
		H26	0.8				-	移植栽培	乾田直播栽培	-		
	S	H27	1.1				-	-	-	移植栽培	乾田直播栽培	乾田直播栽培
		H25、H27	0.7				-	移植栽培	乾田直播栽培	移植栽培	乾田直播栽培	
	M	H26	0.7				-	-	-	移植栽培	乾田直播栽培	-
		H25	0.6				-	-	-	移植栽培	乾田直播栽培	-
M	H26	0.6	-	-	-	移植栽培	乾田直播栽培	-				
	H27	0.6	-	-	-	-	移植栽培	乾田直播栽培				

※I圃場、S圃場、M圃場は年度ごとに位置が変更している。  
※乾田直播栽培は一般的に無代かきである。

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

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。

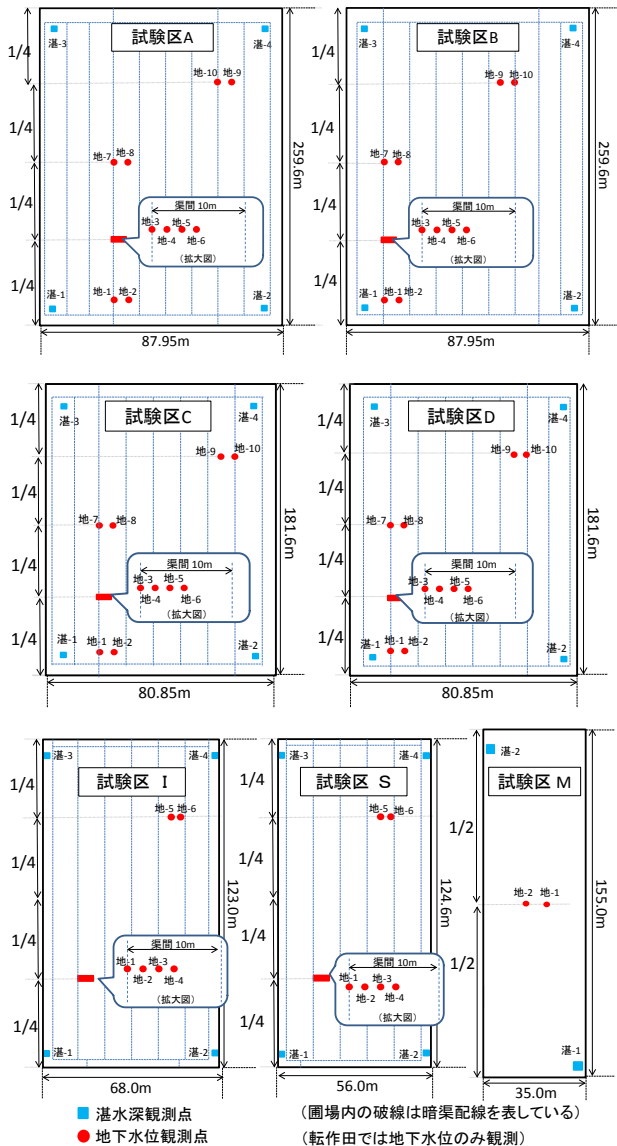


図-4 圃場内の観測点

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、平成26年度は試験区C、D、I、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、圃場全体が湿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（T-N）、全リン（T-P）とした。分析方法はJISに準じた。

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

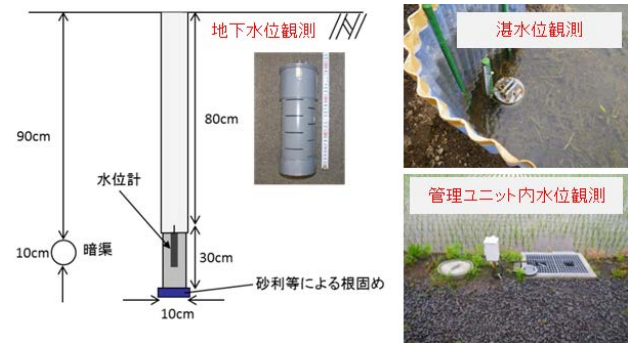


図-5 水位計の設置概要

表-2 観測期間

年度	H23		H24		H25		H26		H27	
試験区名	A、B、C、D		A、B、C、D		I、S、M		A、B、C、D		I、S、M	
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1日 ～ 各試験区の収穫日	5月2日 ～ 各試験区の収穫日	5月1日 ～ 各試験区の収穫日	5月1日 ～ 各試験区の収穫日	5月1日 ～ 各試験区の収穫日	5月1日 ～ 各試験区の収穫日	5月1日 ～ 各試験区の収穫日	5月1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	5月9日 ～ 8月31日	5月1日 ～ 8月31日	5月12日 ～ 8月31日	5月12日 ～ 8月31日	5月12日 ～ 8月31日	5月1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	5月8日 ～ 8月31日	5月2日 ～ 8月31日	5月12日 ～ 8月31日	5月1日 ～ 8月31日	5月1日 ～ 8月31日	5月1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	5月14日 ～ 10月31日	5月2日 ～ 10月31日	5月2日 ～ 10月31日	5月1日 ～ 10月31日	5月1日 ～ 10月31日	5月1日 ～ 10月31日



## 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

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壤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、国土交通省北海道開発局旭川開発建設部が「営農計画管理調査」を実施している。これらの研究等において土壤断面調査および土壤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。

妹背牛町の試験区の土壤は、地表から-15cm までが客土またはAp1層であり、土性は軽埴土あるいは重埴土である。地表から-15cm~-40cm程度が基盤調整層であり、土性は軽埴土である。さらに地表から-40cm以深は泥炭土の累積層である。透水係数 (cm/s) のオーダーは、Ap1層で $10^{-1} \sim 10^{-6}$ 、基盤調整層で $10^{-2} \sim 10^{-7}$ 、泥炭土で $10^{-1} \sim 10^{-7}$ である。

中富良野町の土壤は、H25試験区M、H26試験区M、H27試験区Mでは、上層は壤土、埴壤土、下層は砂壤土、砂土などで構成されている。H25試験区I、H26試験区I、H27試験区Iでは、上層は埴壤土、下層は低位泥炭である。H25試験区S、H26試験区S、H27試験区Sでは、上層は壤土、埴壤土、下層は低位泥炭である。飽和透水係数が土壤診断基準の範囲 ( $10^{-3} \sim 10^{-4}$ )であったのは、第1層がH25試験区M、H26試験区M、第2層がH25試験区M、H26試験区M、H25試験区I、第3層がH26試験区M、H25試験区I、H26試験区I、H27試験区I、H25試験区S、H27試験区Sである。その他は、 $10^{-5} \sim 10^{-7}$ の範囲であった。

## 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取水を行えば、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<sup>3)</sup>。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取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H25試験区Cの事例を図-6および図-7に示す。用いた地下水水位観測点は、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、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-8に示す。なお、H25試験区Bは夜間取水のためス

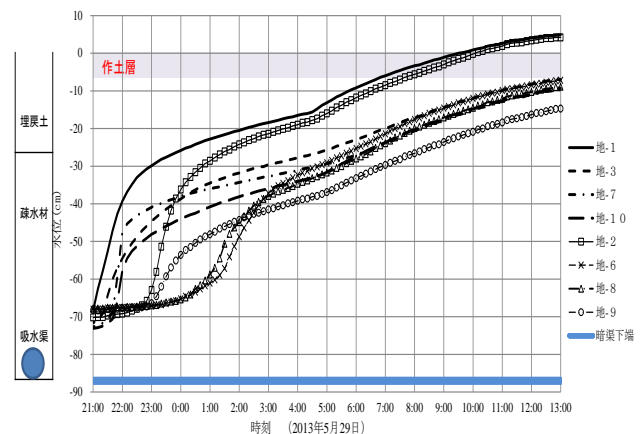


図-6 土層内での地下水位変化  
(H25試験区B)

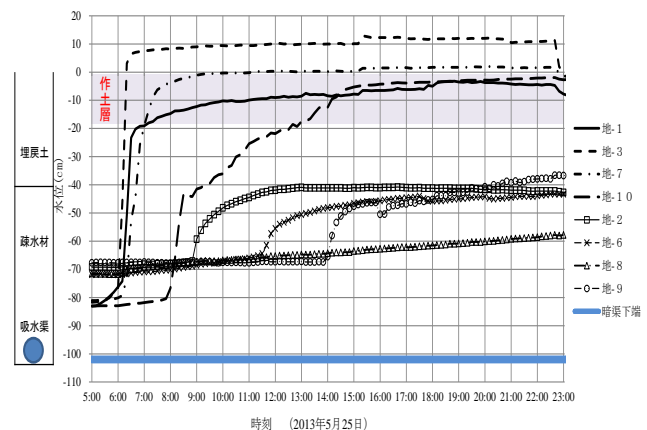


図-7 土層内での地下水位変化  
(H25試験区C)

ケッチできなかつた。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-9）。

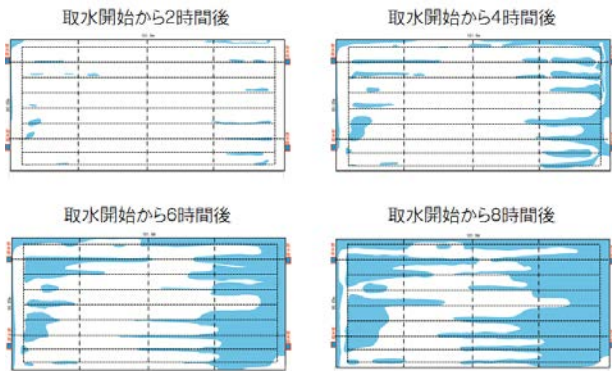


図-8 初期取水時の水足スケッチ  
(H25 試験区C)

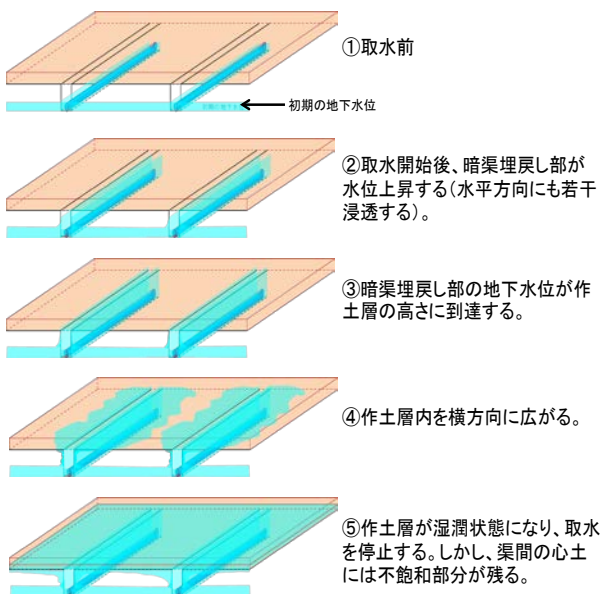


図-9 連作田の地下取水による水の動き  
(イメージ)

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-10）。

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壤中の亀裂が増大しているため、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 畑作利用時の地下水位変動の特徴

地下水位制御が可能な大区画水田圃場では、生産性を向上させることを目的として、畑作利用時においても土壤乾燥時に地下灌漑の実施を指導する事例<sup>2)</sup>がある。試験圃場でも、指導に基づきH26 試験区AおよびBで畑作（小麦）利用時に地下灌漑を行った。ここでは、畑作利用時の地下灌漑での地下水位変動と水田利用時の変動とを比較する。

図-11は、H26 試験区Aの地下灌漑時の土層内の給

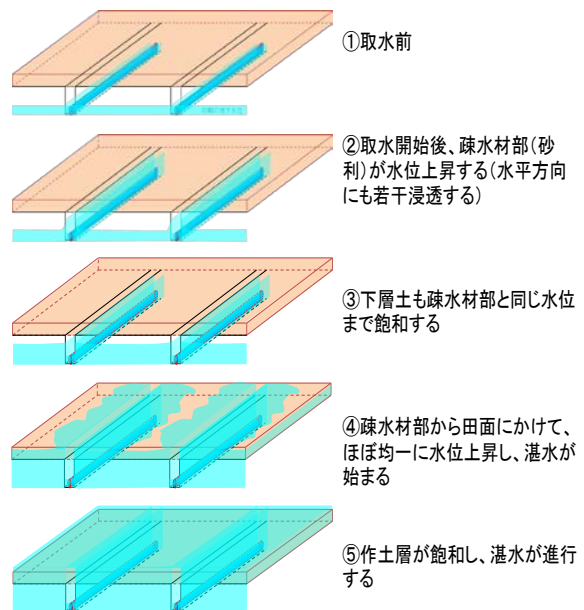


図-10 還元田の地下取水による水の動き  
(イメージ)

水状況を示す。H26 試験区Aは3年連続の畑作利用であり、乾燥亀裂が発達していると考えられる。用いた地下水位観測点は、図-6 および図-7 と同様に、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。H26 試験区Aでは、取水開始（7:30）から約2時間後までは暗渠側部の地-1、地-3、地-7、地-10の地下水位が早く上昇した。このとき、地-1、地-3、地-7の地下水位は、おおそ田面下30cmで、疎水材部の上端近くまで到達している。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。取水停止時（翌日5:00）には地-8を除く7地点で田面下20cmより高い水位まで上昇した。これらの地下水位変動は、2.1.1の図-6と同じ傾向にある。圃場全体への給水状況も図-10と同様であると考えられる。

畑作利用時の地下灌漑の観測地点ごとの地下水位上昇の傾向は、還元田の傾向と同様であることがわかった。また、地下灌漑システムを活用することによって、水田利用、畑作利用ともに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。

### 2.2.3 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）」<sup>4)</sup>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、農家が実際に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実態を整理した（図-12～図-14）。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H23試験区A、C、D、H24試験区C、D、H25試験区B、C、D、I、S、H26試験区I、SおよびH27試験区C、Dの結果について示す。また、H26試験区C、Dは前述したとおり参考値とするため割愛する。

各試験区とも、初期取水時には主に地下からの取水を行っていた。また、移植栽培のH23試験区A、H24試験区C、D、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、無代かき移植栽培のH27試験区C、D、湛水直播栽培のH23試験区C、Dおよび乾田直播栽培のH25試験区I、H26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。そこで、各試験区の耕作者に対して、普通期の水管理の方針についての聞き取りを行った。試験区C、Dの耕作者T氏は、地下灌漑の方が効率的であるため、栽培方法に関係なく地下灌漑を主としたとのことであった。耕作者S氏は地表からの取水の方が湛水管理しやすいため地表からの取水とし、耕作者I氏は地下からの取水の方が効率よいと感じたため地下からの取水とした、とのことであった。これらのことから、灌漑方式の選択は栽培方法ではなく、耕作者個人の考えにより決まるといえる。

地下水位の変動は、代かきの有無と連作田か還元田か、の違いにより異なっていた。代かき有り連作田のH23試験区A、H24試験区C、Dでは、普通期の地下水位は地表まで達していない。一方、代かき無し連作田のH23試験区C、D、H25試験区C、D、H27試験区C、Dでは、普通期の地下水位は地表に達していた。また、代かき有り還元田のH25試験区Bでも普通期の地下水位は地表に達していた。これは、代かき有りの連作田は耕盤層の透水性が小さく、代かき無しの連作田と代かき有りの還元田は耕盤層の透水性が大きいことを示している。

今回の調査において特徴的だった地下水位制御は、図-12～図-14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、S、H26試験区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、

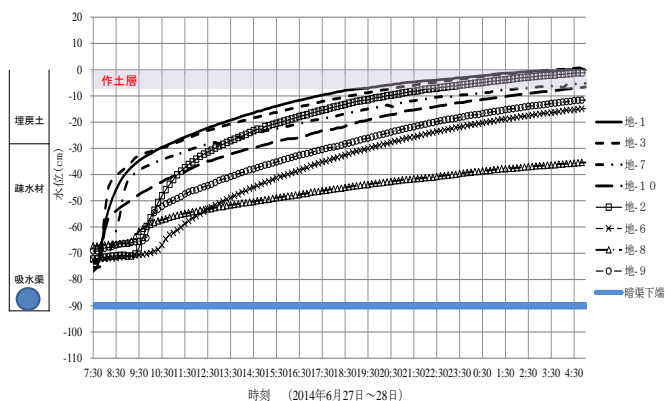


図-11 土層内での地下水位変化  
 (H26 試験区A)



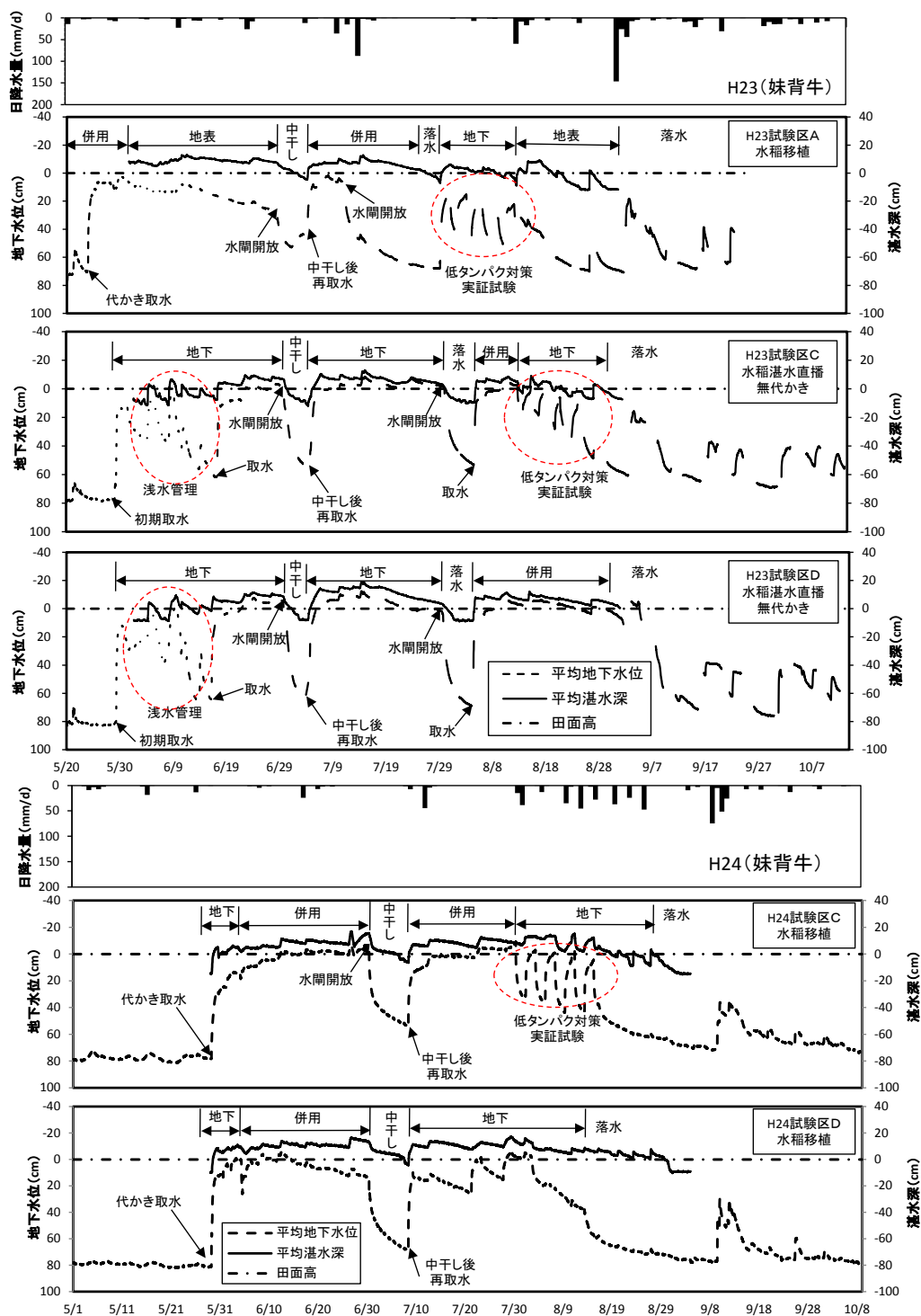


図-12 調査期間中の日降水量と地下水位および湛水深の経時変化 (H23、H24 妹背牛町)  
 (「地表」、「地下」、「併用」は、灌漑方法を示す)

C、H25試験区CおよびH27試験区C)における水管理に伴うものである。

各試験区での用水需要特性を整理するため、全調査期間中の取水量を初期取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<sup>5)</sup>ため、地下水位変化

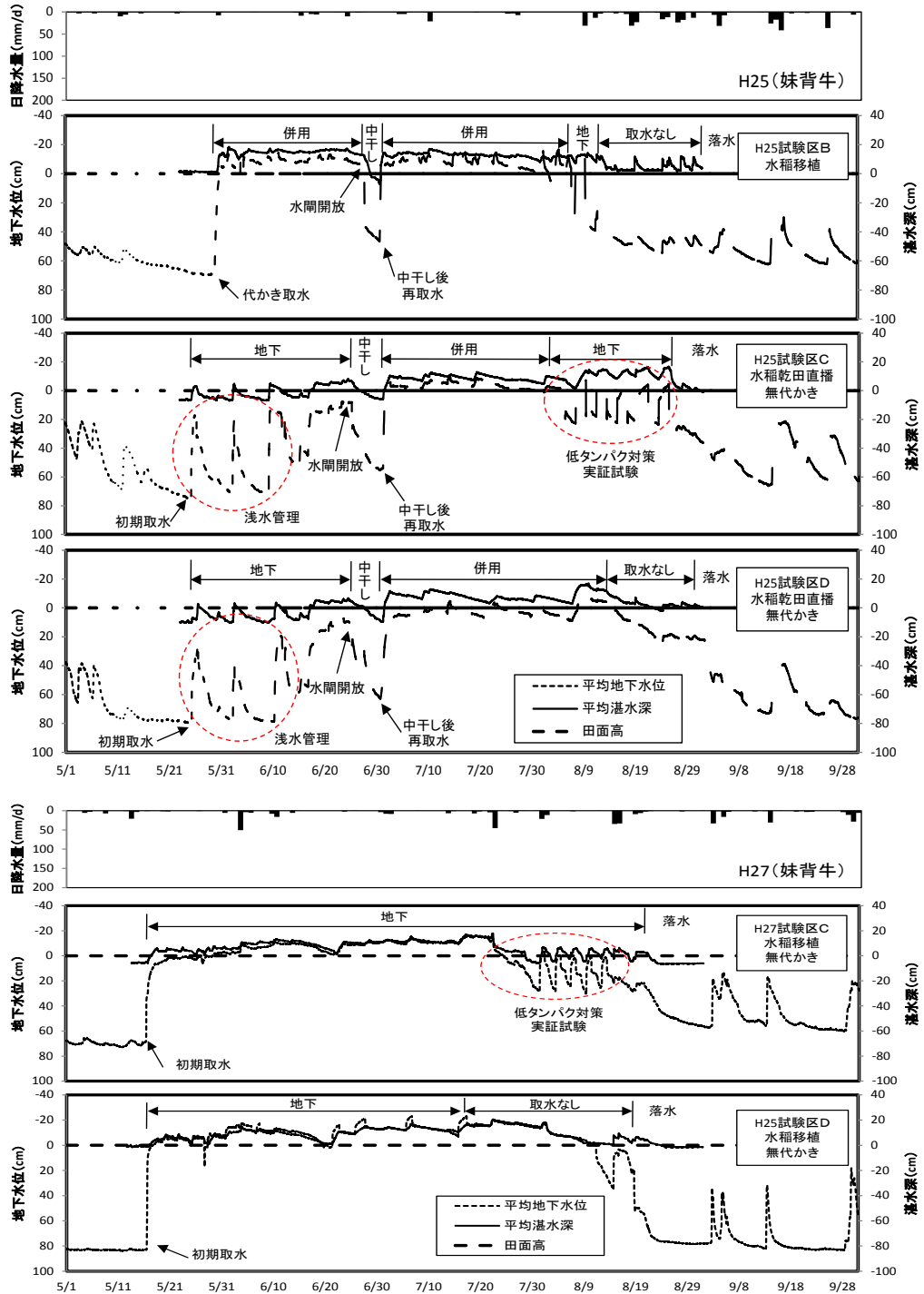


図-13 調査期間中の日降水量と地下水水位および湛水深の経時変化 (H25、H27 妹背牛町)  
(「地下」は、灌漑方法を示す)

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-6および図-7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、また、それ以外の地下水水位変化量は図-12と図-13で用いた地下水水位をそれぞれ用いた。試験区I、Sでは電磁流量計にて、試験区Mではパーシャルフリューム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



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

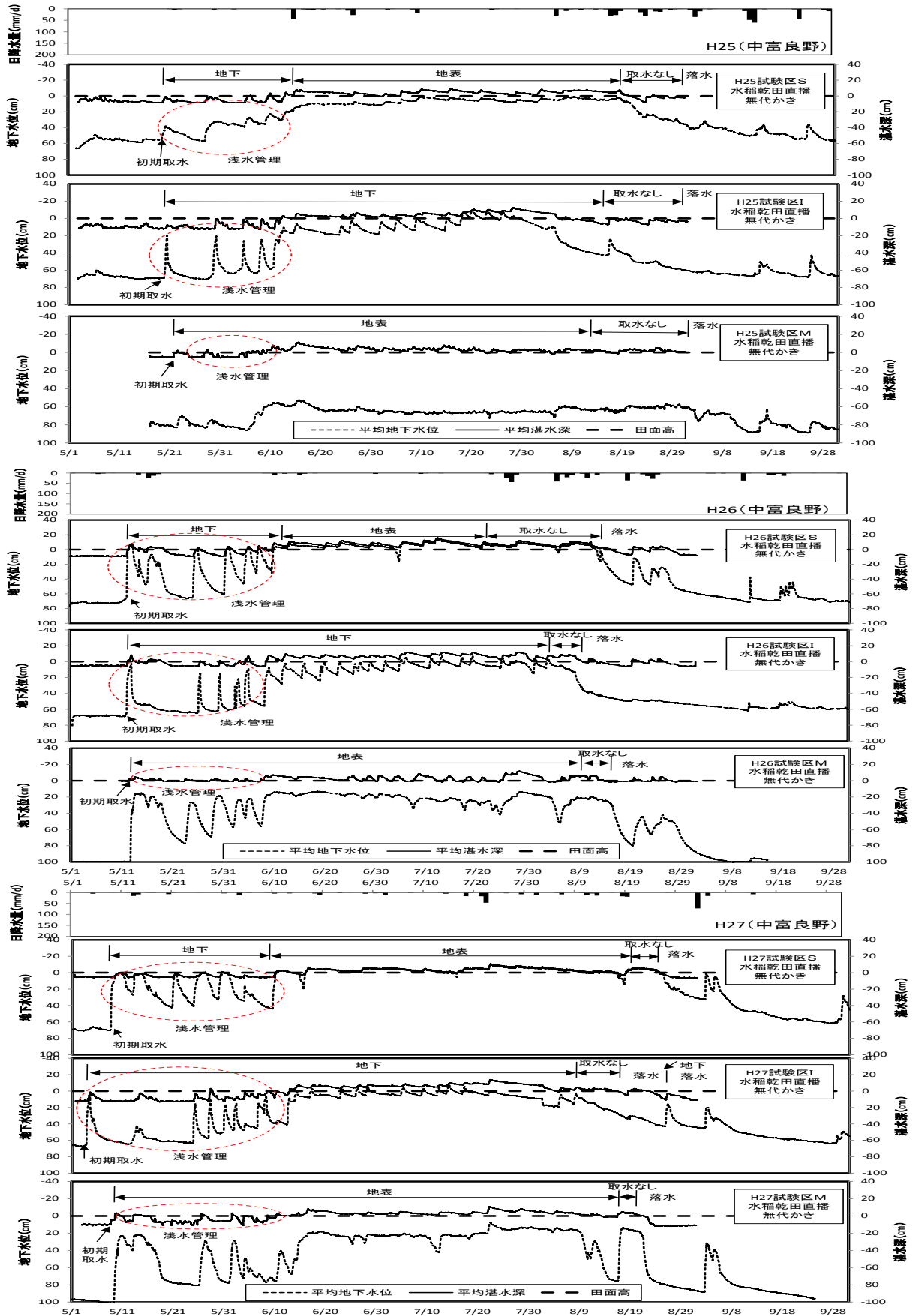


図-14 調査期間中の日降水量と地下水位および湛水深の経時変化（中富良野町）  
 （「地表」、「地下」は、灌漑方法を示す）

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

取水量を図-15 と図-16 に、また、調査期間中における  
取水強度を図-17 と図-18 に示す。

平成 23 年度から平成 25 年度の初期取水期について

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取水が行われていた。

平成 26 年度は春先の天候が良好であったため、乾田直

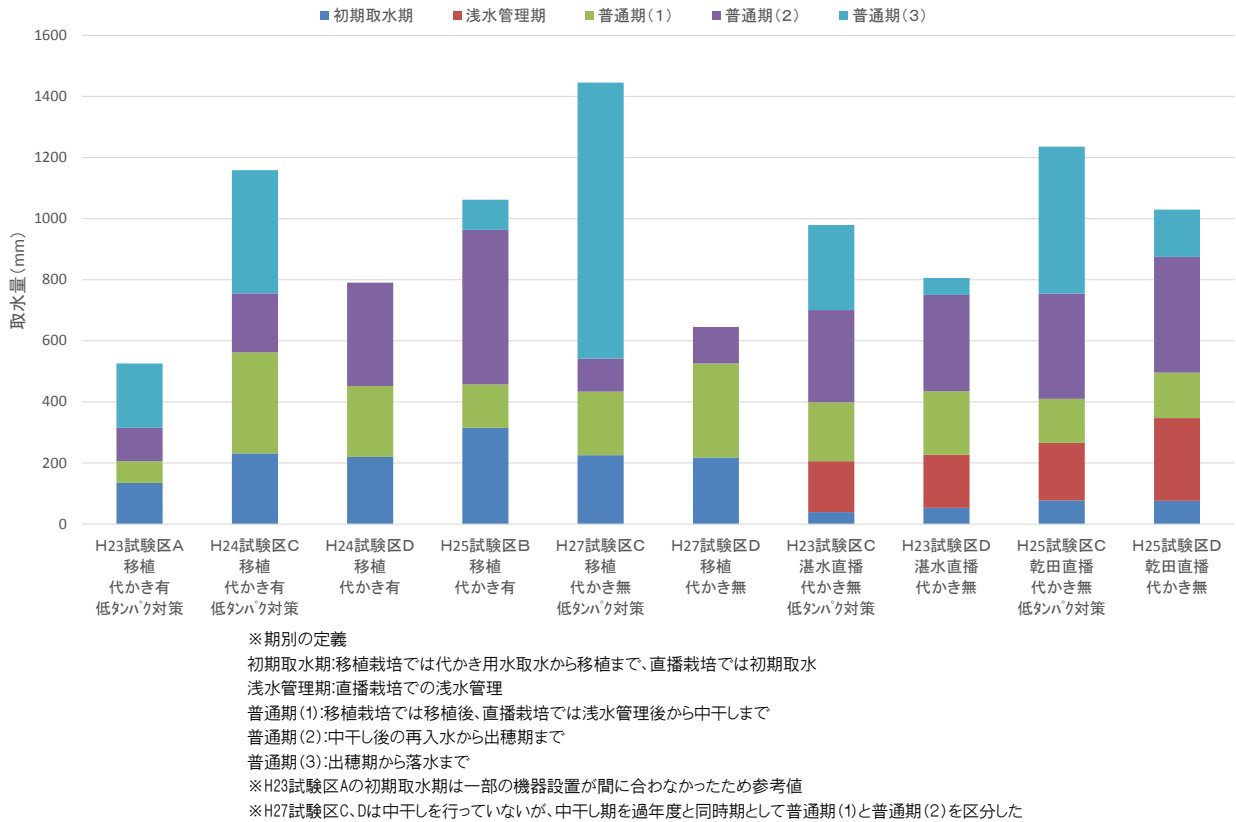


図-15 用水需要期別の取水量（妹背牛町）

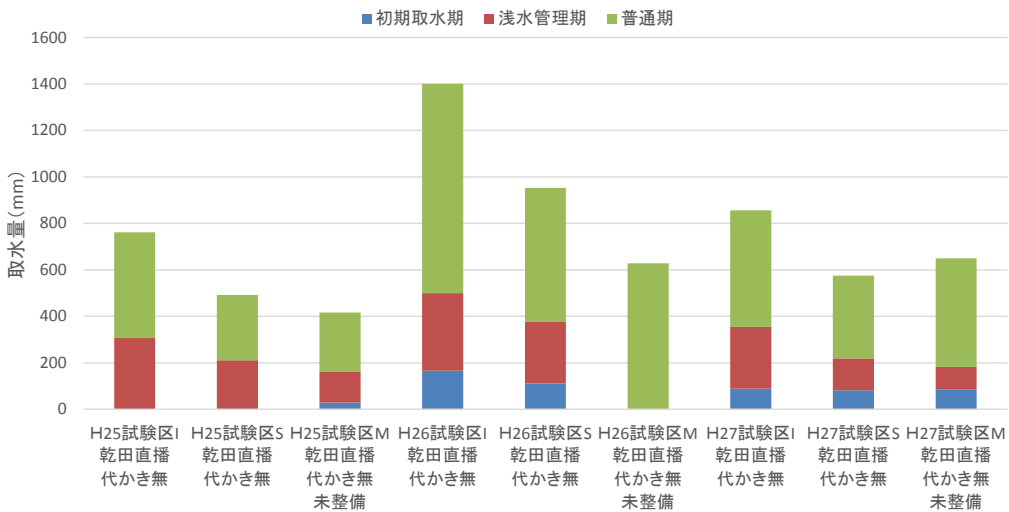


図-16 用水需要期別の取水量（中富良野町）

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

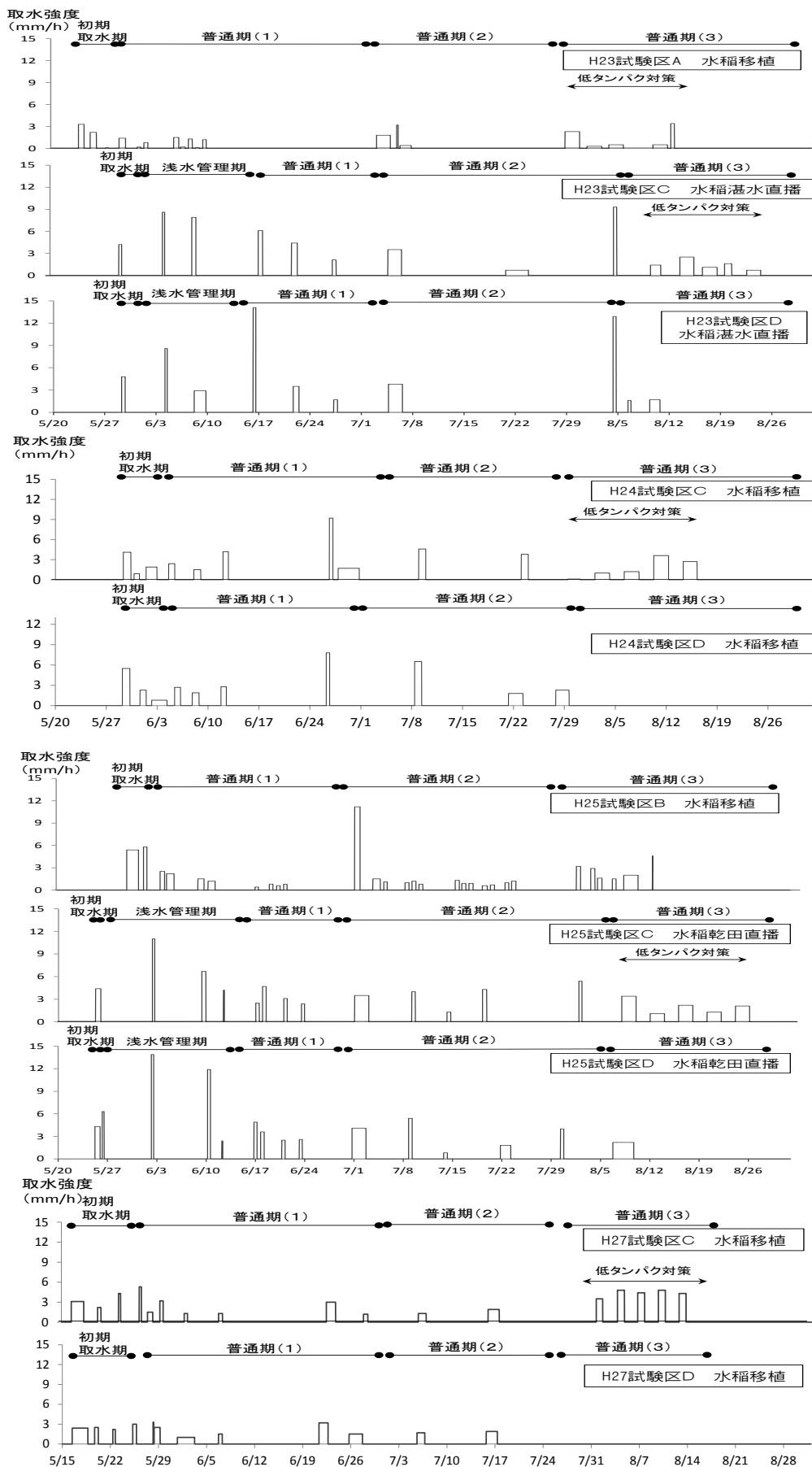


図-17 取水強度 (妹背牛町)

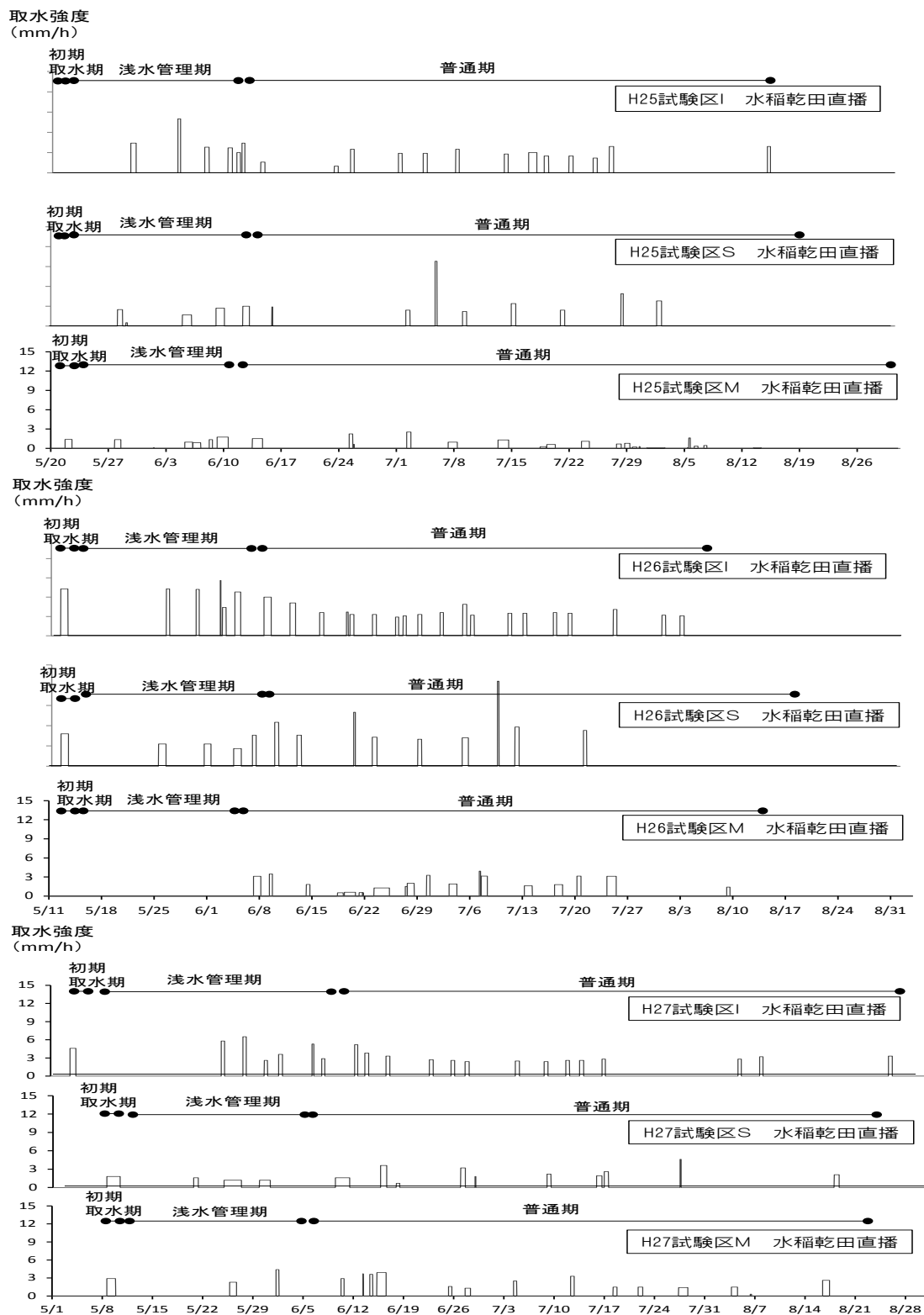


図-18 取水強度 (中富良野町)

播栽培としては平年どおりの初期取水が行われていた。平成 27 年度は春先の天候が良好で、初期取水が 5 カ年の中で最も早かった。取水量をみると、H24 試験区 C、D、H27 試験区 C、D では 218.2mm~231.3mm であり、既往資料<sup>6)</sup>による全国平均の代かき用水量 (100mm~

180mm) の 1.5 倍程度であった。これは、地下灌漑であることから土層内も含めた圃場全体に給水がされるため、従来の地表灌漑の平均的な用水量よりも用水量が多くなったと考えられる。また、H25 試験区 B では、315.4mm 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、地下灌漑であることに加え、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、浅水管理期の取水量が多くなっていた。図-17と図-18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、取水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、H24試験区C、H25試験区CおよびH27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いた。低タンパク対策に必要な取水量は、同じ期間の試験区Dの取水量との差と考えると155.3mm～903.8mmであり、取水量が多くなっていた。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。

5カ年間に調査した圃場の栽培方式は移植栽培、無代かき移植栽培、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浅水管理期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。

田畑輪作による畑作物への地下灌漑は、H26試験区AおよびBで実施された。降雨時の地下水位上昇と、地下灌漑時の地下水位上昇を比較すると、地下灌漑時に供給された水量は、100mm程度と考えられる。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 同一圃場における各栽培方式の用水需要特性 (1) 代かきの有無による湛水位・地下水位の動きの違い

直播栽培では、移植栽培に比べて耕盤層の透水性が大きくなることが多いため、地下水位が比較的低い圃場の場合は、直播栽培の用水量が増加する傾向があるといわれている<sup>7)8)9)</sup>。3種の栽培方式が行われた試験区Dに注目し、栽培方式の違いが圃場用水量に与える

影響を検討する。

試験区Dにおける平成23年度から平成25年度までの湛水位および地下水位の経時変化と圃場水管理状況を図-19に示す。H24試験区Dでは、圃場に湛水がある期間について、湛水と地下水位が分離する傾向がみられた。中干し期に注目すると、代かきを行っていないH23試験区DとH25試験区Dでは、水閘を開放した際、地下水位が速やかに低下し、田面が非湛水状態になった。一方、H24試験区Dでは、水閘開放時に急激に低下した後、緩やかな曲線を描いて低下し、湛水位が低下する速さが異なった。また、中干しの日数は、H23試験区DとH25試験区Dは5日間であるのに対して、H24試験区Dでは8日間となり、圃場を乾燥させるのに要する日数に差がみられた。これらの相違点は、無代かき直播栽培では耕盤層の透水性が大きく、代かきを行う移植栽培では透水性が小さいことによる。

湛水位および地下水位は、浸透量の影響を受けて変動すると考えられる。湛水位および地下水位の変化量から算出した浸透量を表-3に示す。これらの値は、湛水位と地下水位が分離していたときについて、耕盤層からの田面浸透量と下層土以下の地下浸透量を推定したものである。浸透量の範囲は、耕盤層で4.3～4.9mm/d、下層土以下で0.9～1.9mm/dであった。前者の値はばらつきが小さく、後者は取水量と比べると値そのものが小さかった。試験区Dは、非灌漑期でも地下水位が比較的高いことから、直播栽培であっても浸透量の変化が小さいといえる。

## (2) 供給水量

水稻栽培では、用水量は減水深や有効雨量、栽培管理用水量により決定される。そこで、取水開始日から落水までの期間について、各年の有効雨量と各栽培方式の用水量の和を「供給水量」として算出した。各年の供給水量を表-4に示す。各年の供給水量について、H24試験区Dに対する比は、H23試験区Dで1.1倍、H25試験区Dで1.3倍となった。

各栽培方式における用水量の特性を検討するために、各年の供給水量の内訳を図-20に示す。中干しにより土壌の透水性が高まることから、灌漑期を中干し前までの前半、中干し以降の後半の2つに区分した。さらに、栽培時期ごとの用水量を比較するために、前者を初期取水～移植・播種前、浅水管理期、移植・浅水管理後～中干し前に区分した。灌漑期前半における圃場への供給水量は、いずれの年もほぼ同程度であった。その内訳をみると、H23試験区Dにおける初期取水から浅水管理期までの用水量は、H24試験区Dの代かき



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

期間の用水量に匹敵しており、H25 試験区Dではそれを上回っていた。他地区の事例<sup>8)9)</sup>では、移植よりも直播の浸透量が大きくなった要因として、代かきを行わないことを挙げている。栽培方式によって初期用水量に差が生じた要因の一つとして、周辺の地下水位が低

いことも指摘されている<sup>7)</sup>。一方、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 $1 \times 10^{-5}$ cm/s 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、降下浸透量の増加量はほとんど問題とな

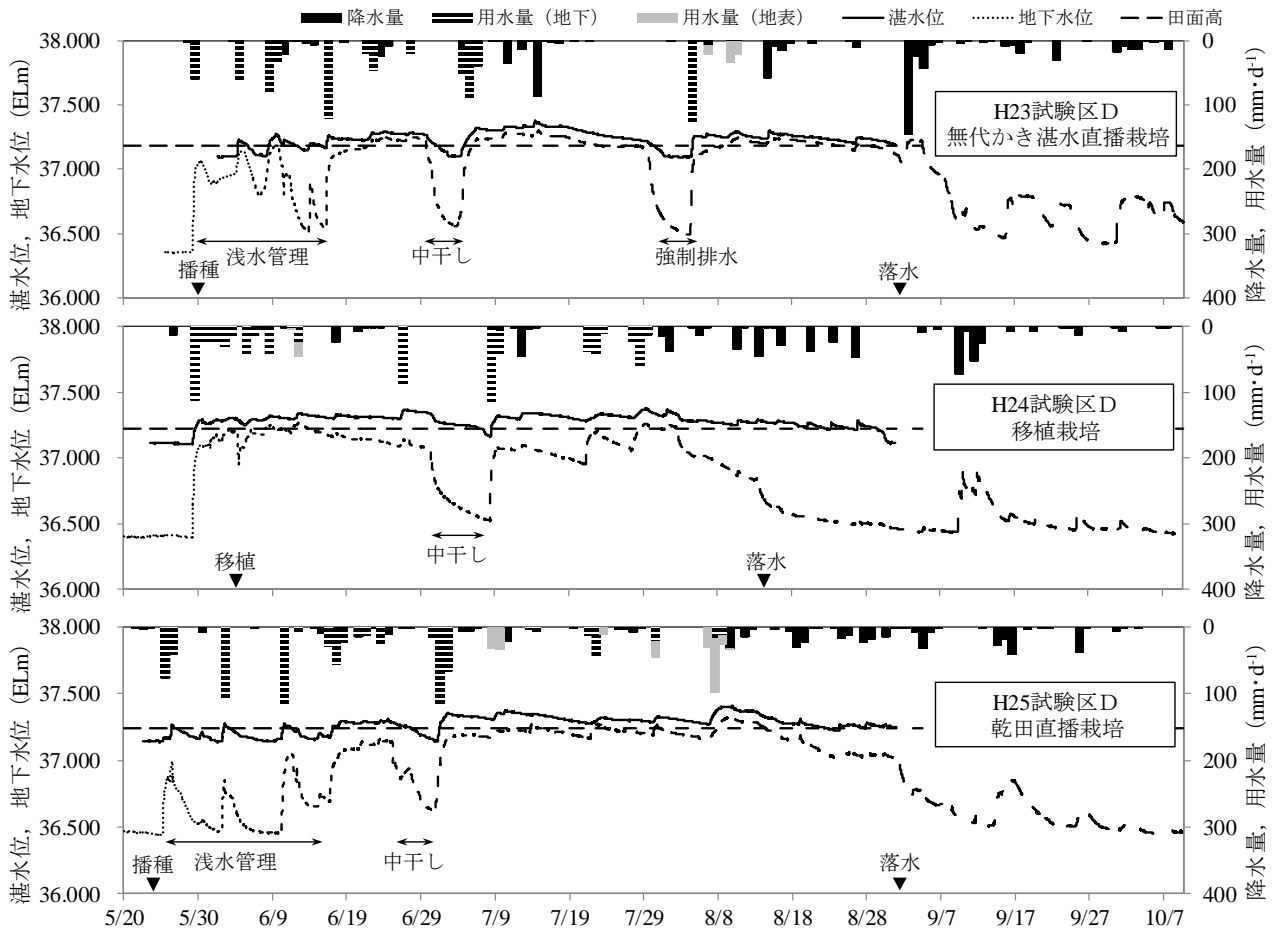


図-19 湛水位および地下水位の経時変化（試験区D）

表-3 浸透量（試験区D）

年度	栽培方式	浸透量 (mm/d)	
		耕盤層	下層土以下
H23	無代かき 湛水直播栽培	4.3	1.9
H24	移植栽培	4.9	0.9
H25	乾田直播栽培	4.5	1.2

表-4 供給水量（試験区D）

栽培方式	H23	H24	H25
	無代かき 湛水直播栽培	移植栽培	乾田直播栽培
総取水量 (mm)	805.3	790.0	1029.4
有効雨量 (mm)	207.2	147.6	209.2
供給水量 (mm)	1012.5	937.6	1238.6
移植に対する比	1.1	1.0	1.3

■ 用水量（初期取水～移植・播種前）  
 ■ 用水量（播種後～浅水管理）  
 □ 用水量（移植・浅水管理後～中干し前）  
 ■ 用水量（中干し後の再取水量）  
 ■ 用水量（中干し後の再取水量を除く）  
 ■ 有効雨量

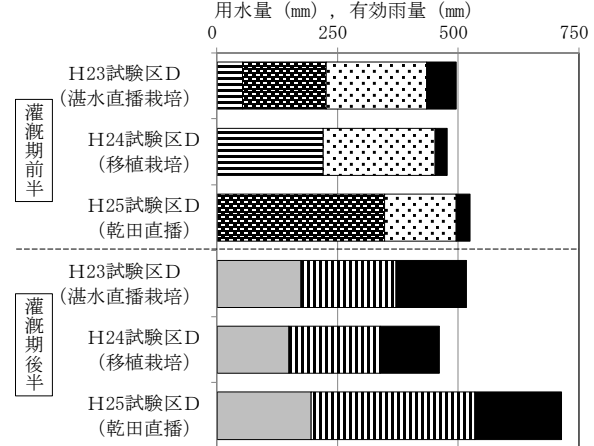


図-20 供給水量の内訳（試験区D）

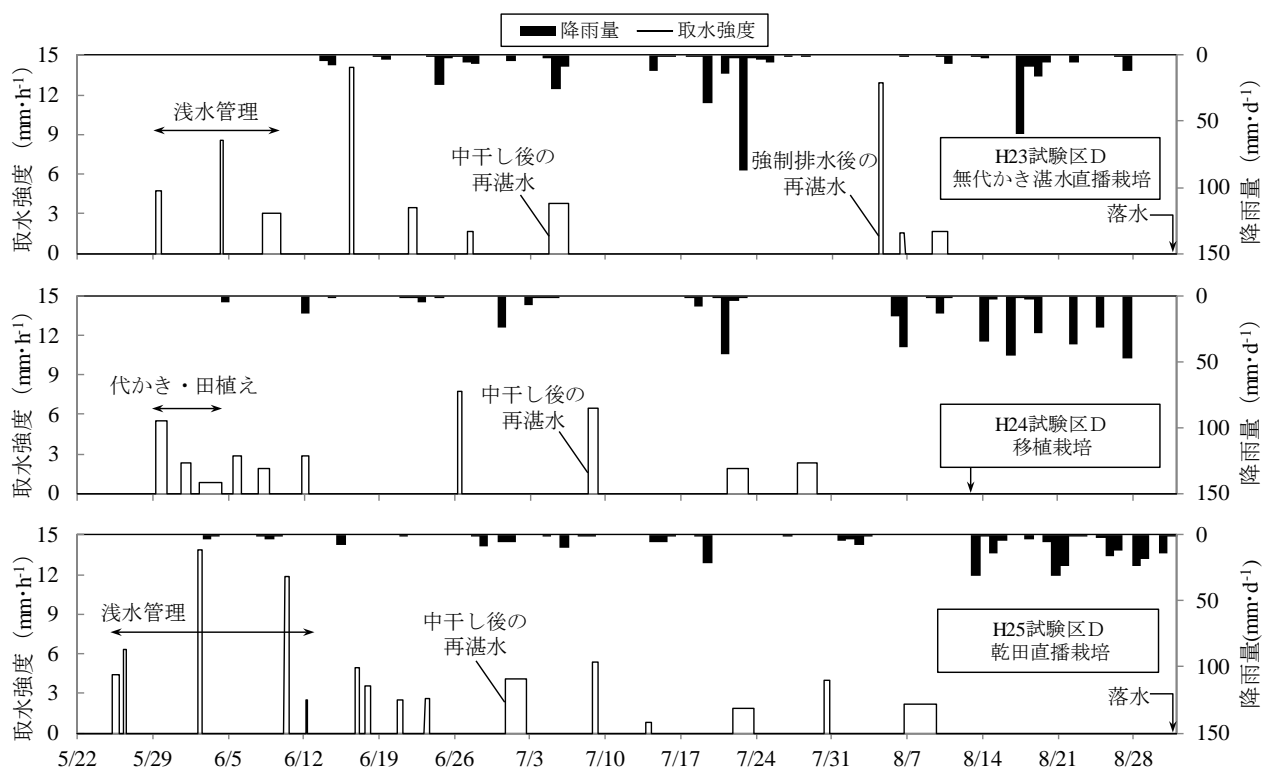


図-21 取水強度の比較 (試験区D)

らないという指摘もある<sup>10)</sup>。試験区D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。

灌漑期後半についてみると、H24試験区Dに対する比は、H23試験区Dで1.1倍、H25試験区D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150～195mmであり、栽培方式による差はほとんどみられなかった。これらのことから、初期取水から中干し後の再湛水までの供給水量は、どの栽培方式でもほぼ同じであるといえる。

それぞれの栽培方式における取水強度と降水量を図-21に示す。灌漑期前半の取水強度は、直播栽培の浅水管理期の値が移植の代かき・田植え期の値を上回っていた。3年間の落水日をみると、H24試験区Dはその他の年より約2週間早かった。これは、生育状況の他、代かきにより湛水が田面から排除されにくくなっていたことから、耕作者が地耐力を確保するために落水を早目に行ったためである。さらに、直播栽培において、灌漑期後半の供給水量が移植栽培よりも大きくなった要因として、H23試験区Dでは、中干しの後、7月末に落水しており、そのときの再取水量(126.9mm)が含まれていることが挙げられる。H25試験区Dでは、7月中旬から8月上旬までの有効雨量が少ないことから、圃場

の乾燥が進んで浸透量が増加した可能性がある。さらに、8月上旬の最終灌漑日から9月初めの落水までの期間の有効雨量がその他の年よりも45mm程度多かったことも、供給水量の値を押し上げた一因と考えられる。取水時間における湛水位の変化からみて、掛け流しが行われていると推察される頻度は各年とも数回であった。いずれの年も冷害対策のための深水管理は行われておらず、H23試験区Dの落水を除けば、栽培管理用水量はほぼ同程度であったと考えられる。よって、試験区Dのように地下水位が比較的高いところでは、いずれの栽培方式でも供給水量はほとんど変わらないといえる。

### (3) 用水需要時期の比較

水田灌漑の用水計画は、移植栽培を前提として用水量や用水需要期が設定されている。3種の栽培方法の用水需要時期を比較するために、1日あたりの供給水量を累加した結果を図-22に示す。各年の気温や天候は異なっているが、実績の日付に基づき、主要な水管理時期として、代かき期(移植)、浅水管理期(湛直、乾直)、中干し期を図中に記している。直播栽培の浅水管理の時期をみると、移植栽培の代かき作業と重なった。このときにおける直播栽培の用水量は、調査圃場のある配水ブロックの代かき期の計画用水量71mm/d(3mm/hに相当)を上回ることがあった。

## 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

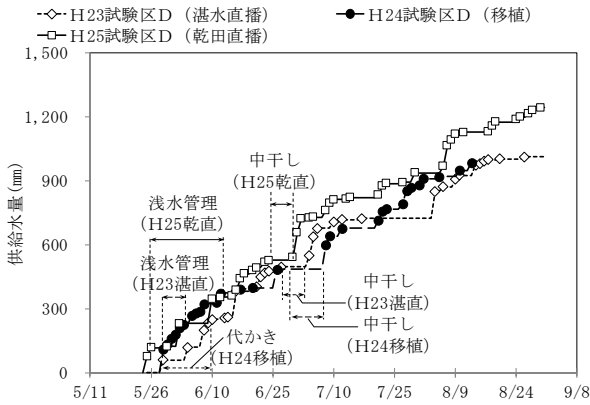


図-22 用水需要期の比較 (試験区D)

中干しの時期は、生育状況と各年の気象条件で決められる。それゆえ、各年で晴天が続く期間に集中する傾向があると考えられる。無代かきの直播栽培では、地下水位とともに湛水位が速やかに低下することから、移植栽培よりも中干し日数が短くなる。したがって、中干しがこれらの栽培方式で同時期に行われると仮定した場合、直播栽培の普及が進むと、再取水の用水需要が分散する可能性がある。

### 2.2.5 乾田直播圃場における用水量と水管理の特性

#### (1) 乾田直播栽培における圃場の浸透量

移植栽培では一般的に代かきが行われるが、乾田直播では省略される。ここでは、乾田直播栽培における用水量特性について、地下灌漑システムが整備済みである大区画圃場と未整備の標準区画圃場について事例的に調査した結果について述べる。

乾田直播栽培では、播種後に排水と取水を数回繰り返す、浅水管理を行う。これは、試験区Sや試験区I、試験区Mの生育初期(5月下旬～6月上旬頃)にみられる。

代かきの有無により耕盤層の透水性が異なると、湛水位と地下水位の連動性に違いが生じる。乾田直播栽培では、代かきを行わない耕盤層の浸透量が下層土から下方と側方の浸透量より大きくなると、耕盤層の透水性が圃場の用水量に与える影響は小さくなる。試験区Iでは試験区Sに比べて、頻繁に取水している。両圃場とも無代かきなので、耕盤層の透水性は大きいと考えられることから、取水頻度の差は下層土から下方と側方の浸透量の差によると推察される。この代かきの有無や灌漑初期における水管理は、乾田直播栽培における用水量に影響する。

乾田直播圃場の用水量の多寡を田面の浸透量からみると、試験区I:7.7mm/d、試験区S:8.7mm/dである。これらの圃場の土壌ごとの減水深(蒸発散量と浸透量

の和)と比較すると、乾田直播の用水量が計画値よりも大きいかがわかる。蒸発散量を2~3mm/dとして田面の浸透量に加えると10~11mm/d程度なので、これらの試験区と同様の土壌・水文条件の圃場であれば、乾田直播で過大な用水量にはならないものと考えられる。

#### (2) 乾田直播栽培時の時期別供給水量

整備済み圃場で乾田直播の実施された試験区Iと試験区Sでは、取水量の合計が大きく異なる。たとえば、平成25年度では、試験区Iは760mm、試験区Sは490mmであり、平成26年度では、試験区Iは1400mm、試験区Sは950mmであった。圃場の用水量特性を把握するためには、各圃場の土性のほか、それぞれの年の気象状況、各農家の圃場管理を比較する必要がある。

そこで、用水量を考察する上で、各年における降水量の違い、水稻の生育状況の違いを考慮に入れるため、浅水管理期から水稻の成熟期までの期間を対象として、各年の有効雨量と各栽培方式の用水量の和である「供給水量」を比較した。灌漑期間における各試験区の供給水量を図-23に示す。供給水量の値は、平成25年よりも平成26年の値の方が大きくなる傾向がみられた。欠測期間がない平成27年についてみると、試験区Mおよび試験区Sの供給水量は同程度であり、試験区Iの値は試験区Mおよび試験区Sの値を約200mm程度上回った。

時期別供給水量を図-24に示す。初期取水量は、圃場による差が小さい。浅水管理期では、灌漑方式による取水強度の違いや、地下灌漑時における水閘の開閉操作の違いにより、供給水量の差が生じる。浅水管理期後から冷害危険期までは、稲の生育状況による算出対象期間の長さや、渇水期における取水頻度が年ごとに異なることの影響が大きい。同じ年度について供給水量を比べると、試験区Sが一番少なく、試験区Iと

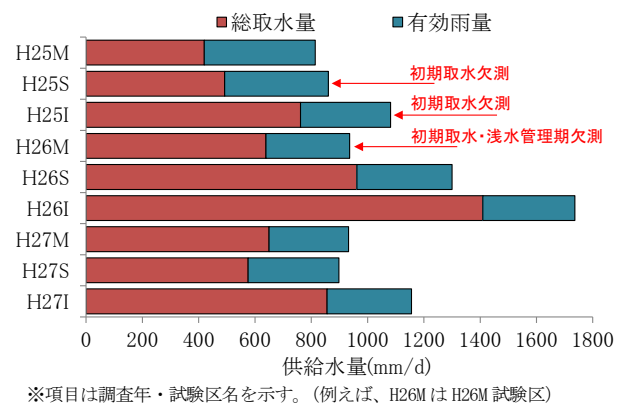


図-23 供給水量の比較

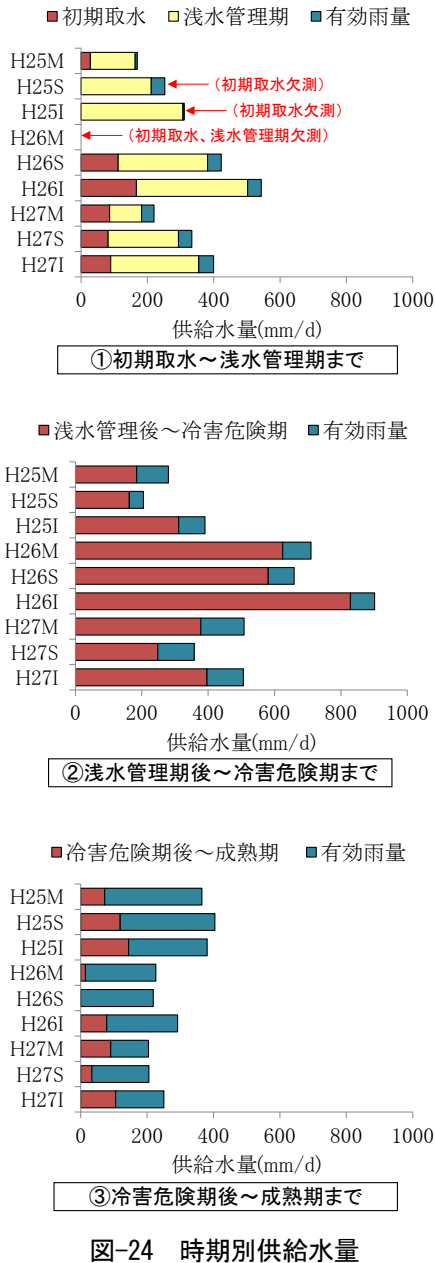


図-24 時期別供給水量

試験区Mは同程度または試験区 I > 試験区Mとなった。冷害危険期後から成熟期までは、降雨量や降雨頻度の影響を受けやすい。これらの供給水量の値は、同一年における3圃場の大小関係はどの年も同じであったが、同一耕作者の圃場で差が生じた。こうした供給水量の差は、圃場条件の違いよりも各年の気象状況や渇水傾向の違いによる影響が大きいと考えられる。

### (3) 乾田直播が普及した場合における総用水量の予想

各試験区における取水強度を図-18に示す。試験区 I および S では、浅水管理期に数回、4~8mm/h程度の取水を行っていた。これに対して、未整備である試験区Mでは、整備済み圃場より取水強度の値が小さくなっていった。灌漑初期において水需要が高まるのは、移

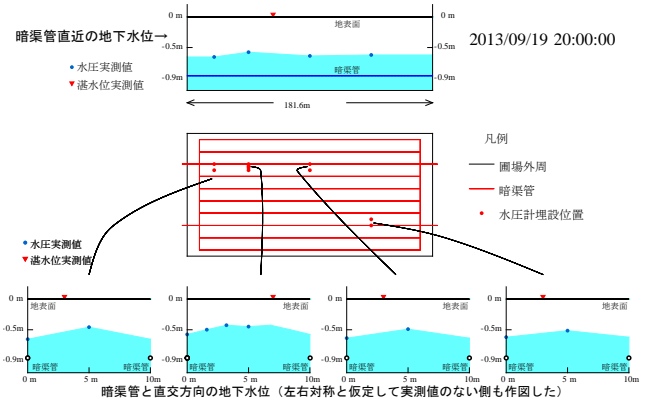


図-25 地下水位観測結果の事例

(H25試験区B：水稻・移植)  
(落水後の水田における降雨3日後の地下水位)

植栽培の場合は代かき期、直播栽培では初期取水および浅水管理期である。将来、乾田直播栽培の普及が進むと、代かき期と浅水管理期が重なった場合に用水需要が集中する可能性がある。また、耕盤層による浸透抑制機能が小さくなるため、圃場の下層土から下方あるいは側方への浸透量が耕盤層の浸透量よりも大きい場合は圃場用水量が大きくなり、地域全体の用水量が不足する可能性がある。

### 2.2.6 大区画圃場における暗渠排水の機能特性

#### (1) 大区画水田における地下水位観測結果

ここでは、大区画圃場内に水平に敷設された暗渠管の排水性について分析する。

地下水位観測結果の事例として、H25 試験区Bにおける落水後で、なおかつ降雨の約3日後の状況を図-25に示す。吸水渠間の地下水位は吸水渠直近の値より高く、吸水渠に向かって排水されていることがわかる。また、上段の図に示すように、吸水渠直近の地下水位は試験区の長辺方向で大きなばらつきがない。このことは、吸水渠の流れが阻害されていないことを示唆している。

図-26は、H25 試験区Dの地下水位観測結果である。試験区Dは平成22年度から水稻作が続けられている。図は、上段から、1) 日降雨量、2) 全観測地点(10地点)の地下水位、3) 吸水渠直近の4地点の地下水位、4) 吸水渠間の4地点の地下水位、5) 吸水渠直近から吸水渠間で密に入れた4点(地-3~地-6)の地下水位である。暗渠水閘を閉じている期間は、どの地点の地下水位も高かった。一方、暗渠水閘を開放している期間の地下水位は、降雨や灌漑による上昇と低下を繰り返していた。

図-27は、畑利用(春小麦)のH25 試験区Aの地下

## 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

水位観測結果である。グラフを構成する観測地点の組合せは図-26と同様である。暗渠水閘は4回の地下灌漑時を除いて開放されていた。その時の地下水位は、

降雨による上昇と低下を繰り返していた。地下灌漑時の地下水位は、地表面近くまで上昇した。8月の降雨時の地下水位上昇と、地下灌漑時の地下水位上昇を比

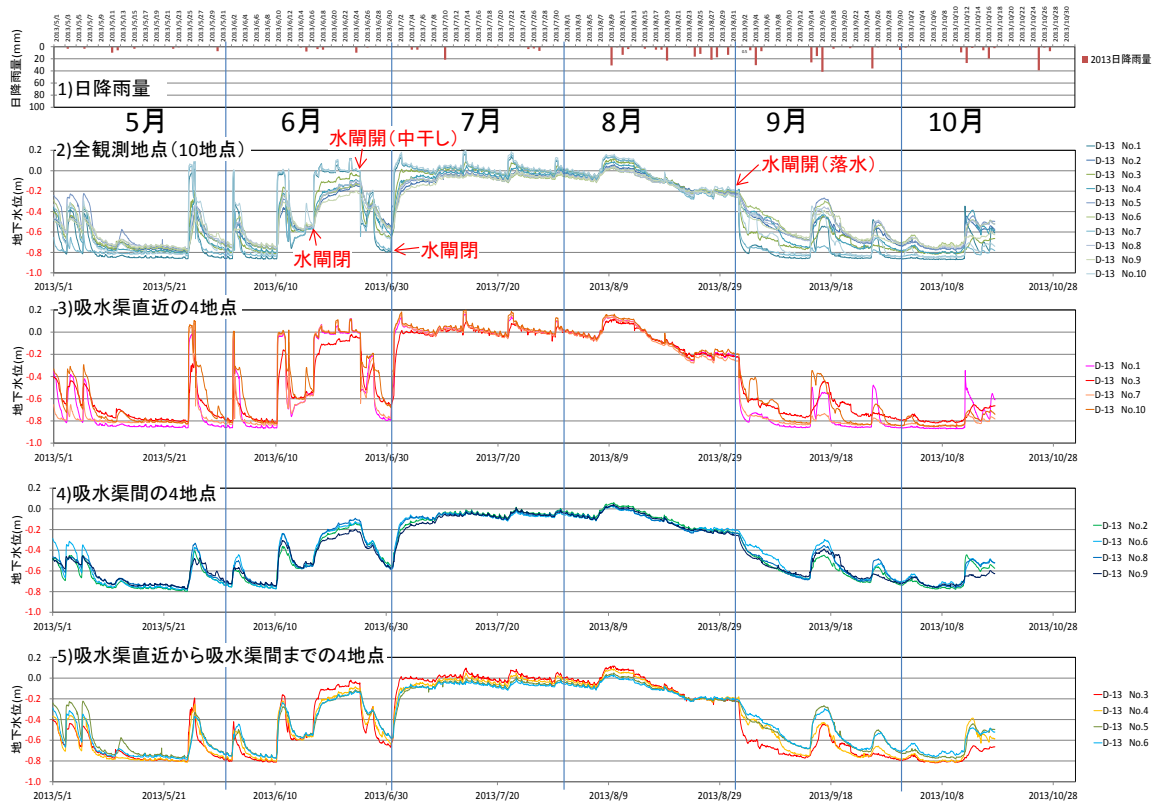


図-26 観測データの事例（H25試験区D：水稲・乾田直播）

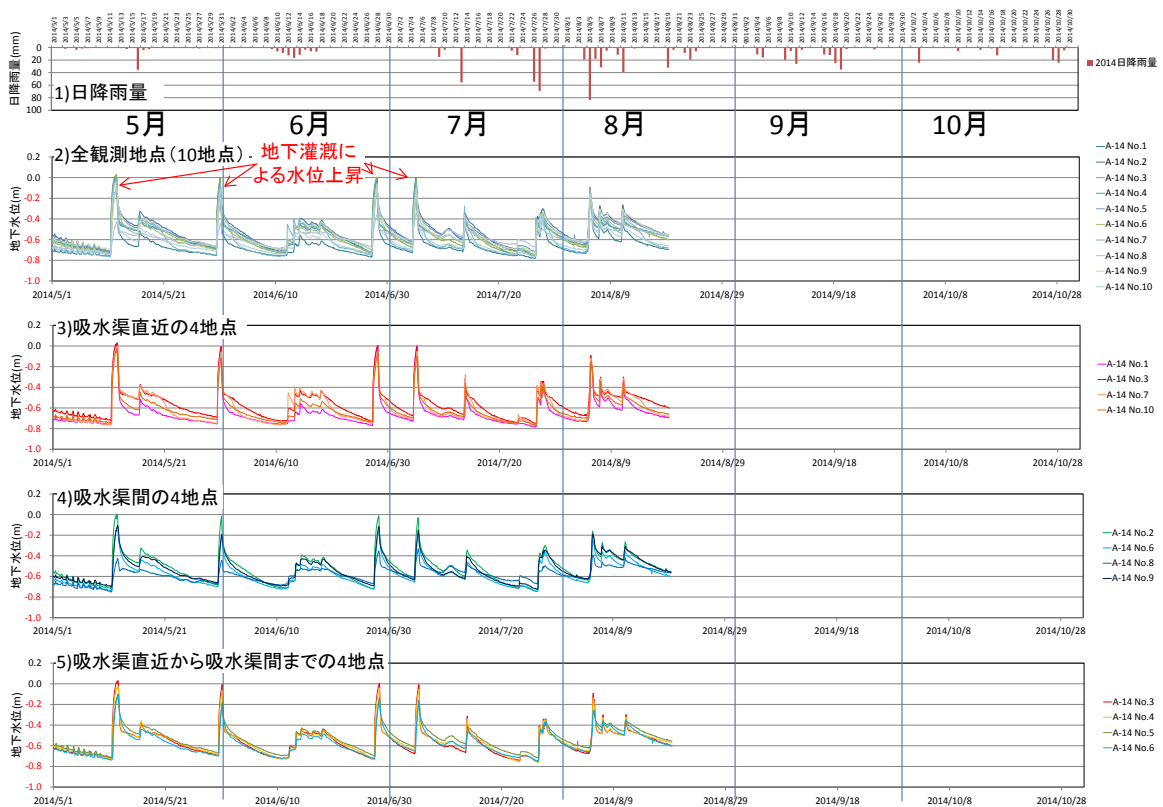


図-27 観測データの事例（H26試験区A：春小麦）



## 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

較すると、地下灌漑時に供給された水量は、100mm 程度の日雨量に相当すると考えられる。このように大量の給水がなされた場合でも、給水を停止して水閘を開放した後は、数日で地下水位は低下した。

図-26 と図-27 において、排水時における地下水位の特徴を比較する。両図の「2)全観測地点 (10 地点)」のグラフでは、図-26 よりも図-27 の方で地下水位が速やかに低下し、地下水位の差が小さかった。「3)吸水渠直近の 4 地点」のグラフでは、図-26、図-27 の地下水位とも速やかに低下した。一方、「4)吸水渠間の 4 地点」のグラフでは、図-26 の地下水位は緩やかに低下し、図-27 の地下水位は速やかに低下した。また「5)吸水渠直近から吸水渠間までの 4 地点」のグラフでは、図-26 よりも図-27 の方が地下水位の差が小さく、図-27 の地下水位は近い範囲にそろっていた。これらから、降雨後数日を経過した時点での、吸水渠直近と吸水渠間での地下水位の差は、水田よりも転作田で小さいといえる。このことは、水田よりも転作田において、下層土の透水性が大きいことを意味している。

### (2) 排水機能の検証

試験区における排水性を、計画基準<sup>11)</sup>に示されている目安と比較してみる。計画基準に示されている計画地下水位の目安は、落水後の水田に対して降雨 2~3 日で-30~-40cm、降雨後 7 日以降の常時地下水位で-40~-50cm である。また水田の畑利用については、それぞれ-40~-50cm と-50~-60cm とされている。

表-5~表 8 は、それぞれ水田と転作田における地下水位の低下状況である。表中の 3 日後と 7 日後の地下水位は、それぞれ降雨終了の 72 時間後、168 時間後の地下水位であり、10 地点のうち最も地下水位の高かった地点の値である。落水後の水田と転作田の両方で、いずれの試験区でも、計画基準に示される目安の地下水位を満たす排水性を有していた。

これらのことから、長辺方向に 200m を超える管長を有する水平な吸水渠（ただし両短辺に水閘があるので吸水渠を流れる距離は長辺長の 1/2）であっても、圃場整備後 4 年を経過した時点で、基準の目安を満たす排水機能を有していたといえる。

### 2.2.7 用水計画手法の提案

用水計画とは、対象区域内の平面的・時間的な灌漑需要水量を決定することである。本研究では、すでに述べたように、多様な栽培方式に対して、5 カ年にわたる圃場調査の結果を用いて、1 筆ごとの生育期別の用水量、取水強度の傾向を事例的に提示した。また、広域の水田群での灌漑需要水量を決定する上で重要な、

移植栽培、直播栽培のそれぞれで水需要が大きな時期の重複程度を事例的に提示した。2.1 で紹介した調査方法を用いることで、数 10ha 規模の圃場群の用水計画策定に必要な圃場水管理調査が行える。

### 2.2.8 圃場排水の水質

地下灌漑システムが整備された大区画水田では水管理方式や栽培方式が多様化し、取水と排水の経路が従来の水田から変化することが考えられる。例えば、整備済の直播栽培を行う大区画水田では、地下からの取水が可能となり、従来の移植栽培を行う水田に比べて、暗渠から排水する頻度が多くなることが想定される。そのため、水田から排水する水質濃度や流出負荷が変化することが予測される。この変化の特性を把握するため、整備済の圃場で用水、圃場湛水および暗渠からの排水を定期的に採水し、水質観測を行った結果について述べる。

表-5 落水後の水田における降雨3日後の地下水位

	試験区A	試験区B	試験区C	試験区D
H23	-54cm	(畑)	-47cm	-33cm
H24	(畑)	(畑)	-40cm	-56cm
H25	(畑)	-44cm	-40cm	-58cm
H26	(畑)	(畑)	-33cm	-47cm

表-6 落水後の水田における降雨7日後の地下水位

	試験区A	試験区B	試験区C	試験区D
H23	7日後を眺めるデータがない	(畑)	-50cm	-50cm
H24	(畑)	(畑)	-48cm	-61cm
H25	(畑)	-53cm	-50cm	-67cm
H26	(畑)	(畑)	-42cm	-64cm

表-7 転作田における降雨3日後の地下水位

	試験区A	試験区B
H23	(水稲作)	-68cm
H24	-67cm	-78cm
H25	-61cm	(水稲作)
H26	-61cm	-53cm

表-8 転作田における降雨7日後の地下水位

	試験区A	試験区B
H23	(水稲作)	-48cm
H24	-58cm	-58cm
H25	-53cm	(水稲作)
H26	-53cm	-40cm

流出負荷抑制に配慮した圃場管理手法を検討するため、排水の水質が高濃度であるかを把握する必要がある。しかし、農業排水の水質濃度の基準はない。そのため、農業用水の水質濃度基準を参考とする。

農業用水の基準には「農業用水の要望水質<sup>12)</sup>」がある。この基準は、水稻の正常な生育のために望ましい水質濃度を定めている。その濃度はT-Nが1mg/L以下である。T-Pは定められていない。別の基準である「農業用水の汚濁程度別濃度分級(水稻用)<sup>12)</sup>」には、農業用水として汚濁のない水質はT-N濃度が2mg/L以下、T-P濃度が0.2mg/L以下と定められている。なお、これらの基準に法的拘束力はない。

本研究の水質分析結果については、これらの基準値を参考に高濃度であるかどうか評価した。

栽培方式や水管理方式の違いによる水質の特性をみるために、H23 試験区D、H24 試験区D、H25 試験区B、H25 試験区CおよびH25 試験区Dの水質分析の結果を述べる。なお、H26 試験区C、Dは前述したとおり参考値とするため割愛した。各年の降水量、営農作業状況<sup>13)14)15)</sup>、および水質変化を図-28～図-30に示す。営農作業のうち「取水」と「排水」は、それぞれ発生した日を表している。また、「灌漑期初期」は初期取水から移植・浅水管理までを、「普通期」は移植・浅水管理より後を指す。水質変化は、用水、圃場湛水、暗渠からの排水におけるT-N、T-P濃度変化を示す。また、各圃場のT-N、T-P濃度の年間平均値を表-9と表-10に示す。

用水のT-N、T-Pは、各年とも観測期間を通して大きな変化はなかった。その平均値はT-Nが0.80 mg/L、T-Pが0.01 mg/Lであった。

圃場湛水については、各圃場で灌漑期初期に高い値を示した。移植栽培であるH24 試験区D、H25 試験区Bは、特に代かきの直後にT-N、T-Pともに高濃度となっていた。この要因は、肥料成分の溶出と、代かき作業により、田面が攪拌されて土壌に吸着していた成分が田面水に混濁したためと考えられる。一方、無代かきである湛水直播栽培のH23 試験区Dと乾田直播栽培のH25 試験区C、H25 試験区Dでは、灌漑期初期の比較的長い期間にT-N、T-Pとも高濃度となっていた。直播栽培では、灌漑期初期に出芽・苗立ちを向上させるための浅水管理として、湛水と落水を繰り返している。メカニズムは不明であるが、その水管理が比較的長い期間高濃度となった要因である可能性がある。普通期では各圃場とも大きな変動はないが、H23 試験区D、H24 試験区Dで7月に高濃度となってい

た。この要因は判然としていない。

また、観測期間を通して、取水の経路の違いによる圃場湛水の水質濃度の違いは顕著ではなかった。今後詳細に分析したい。

暗渠からの排水では、H25 試験区BのT-Nが比較的高濃度で推移していた。各圃場における暗渠からの排水のT-N濃度の年間平均値は0.73～1.12mg/L(観測数が少ないH25 試験区Dは除く)であるのに対し、H25 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は明らかにできなかった。低タンパク化対策実証試験を実施したH25 試験区Cでは、土壌中の窒素成分の洗い出しによる暗渠からの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った。

### 2.2.9 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、現地観測した圃場の湛水位や地下水位の変動等から推定した地表からの排水量と暗渠からの排水量を用いて、T-Nについて流出負荷量(=排水量×水質濃度)を算出した。図-31に平成25年度試験区の流出負荷量の計算結果を示す。なお、地表からの排水の水質濃度には、圃場湛水の観測値を用いた。排水のあった日に観測値が無い場合は、前後の観測値の平均値を用いた。H25 試験区C、H25 試験区Dでは、採水日に暗渠からの排水がなかった日がほとんどであった。これらの試験区では、平成23年度～平成25年度の栽培履歴が同じで、かつ暗渠からの排水の水質濃度が近い値であることが分かっていることから、観測値のない期間は相互に補完した。

各圃場とも水質濃度の高かった灌漑期初期だけでなく、6月下旬の中干しでも大きな流出負荷が確認された。図-30に示したように、H25 試験区Bにおける水質濃度は、中干し前は暗渠からの排水の方が圃場湛水よりも低かった。また、中干し後は圃場湛水の方が暗渠からの排水よりも低濃度であった。H25 試験区C、H25 試験区Dにおいては、観測期間を通して、暗渠からの排水の方が圃場湛水よりも低濃度であった。このことから、H25 試験区Bでは、中干し前には暗渠から、また中干し後には圃場湛水を地表から排水することで、流出負荷を抑制することが可能であると考えられる。同様に、H25 試験区CとH25 試験区Dでは、灌漑期間

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  
 水計画法に関する研究

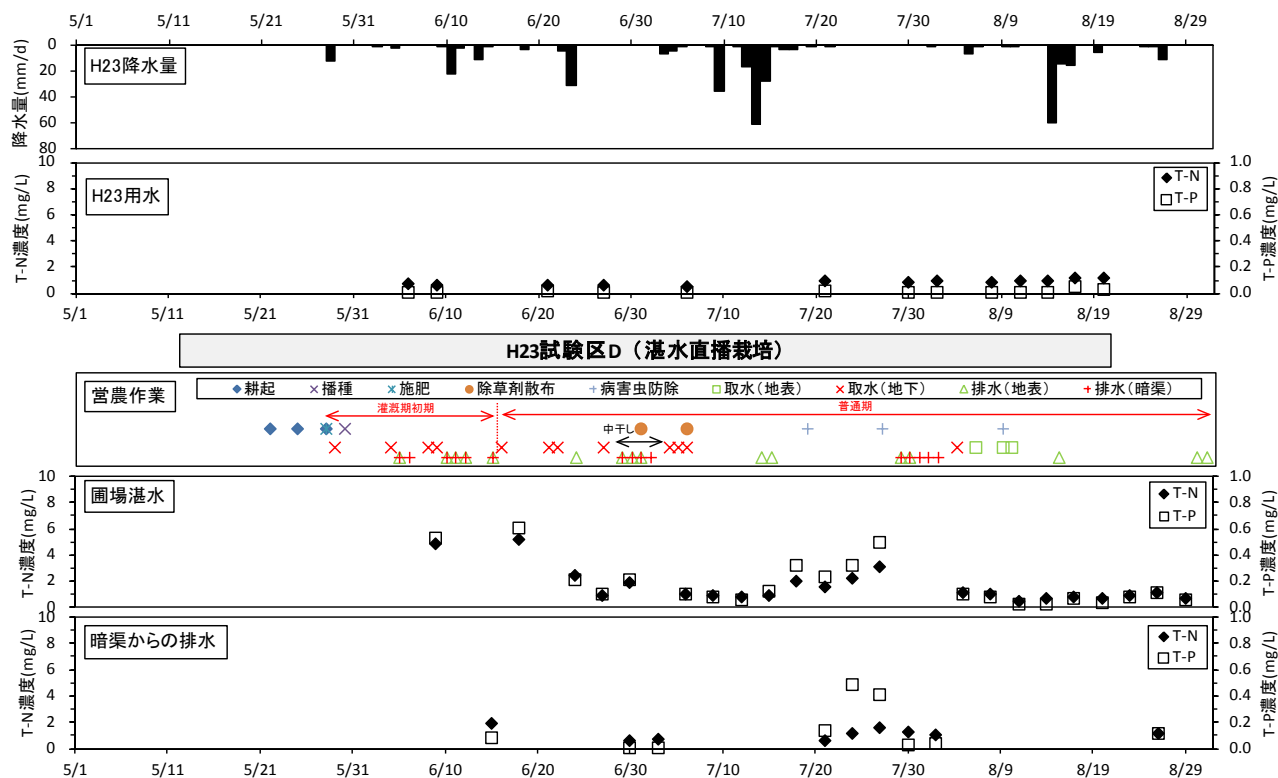


図-28 営農作業状況<sup>12)</sup>と水質変化（平成23年度）

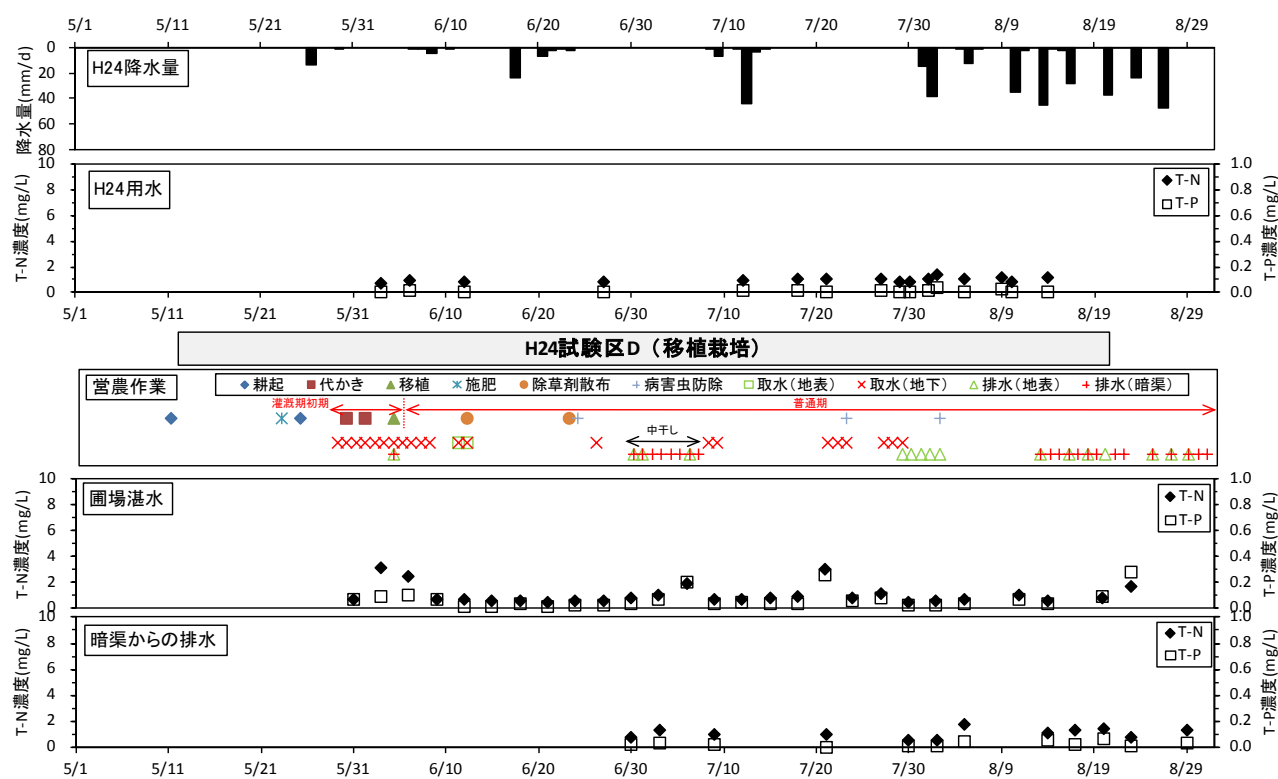


図-29 営農作業状況<sup>13)</sup>と水質変化（平成24年度）

を通して、暗渠から排水することで、流出負荷を抑制  
 できると考えられる。

H25 試験区Cは低タンパク化対策実証試験の水管理

理により排水量が多く、この期間の排出量が灌漑期の  
 総排出量の半分近くを占めていた。ただし、前節で述  
 べたように、暗渠からの排水濃度は、用水と同程度で

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

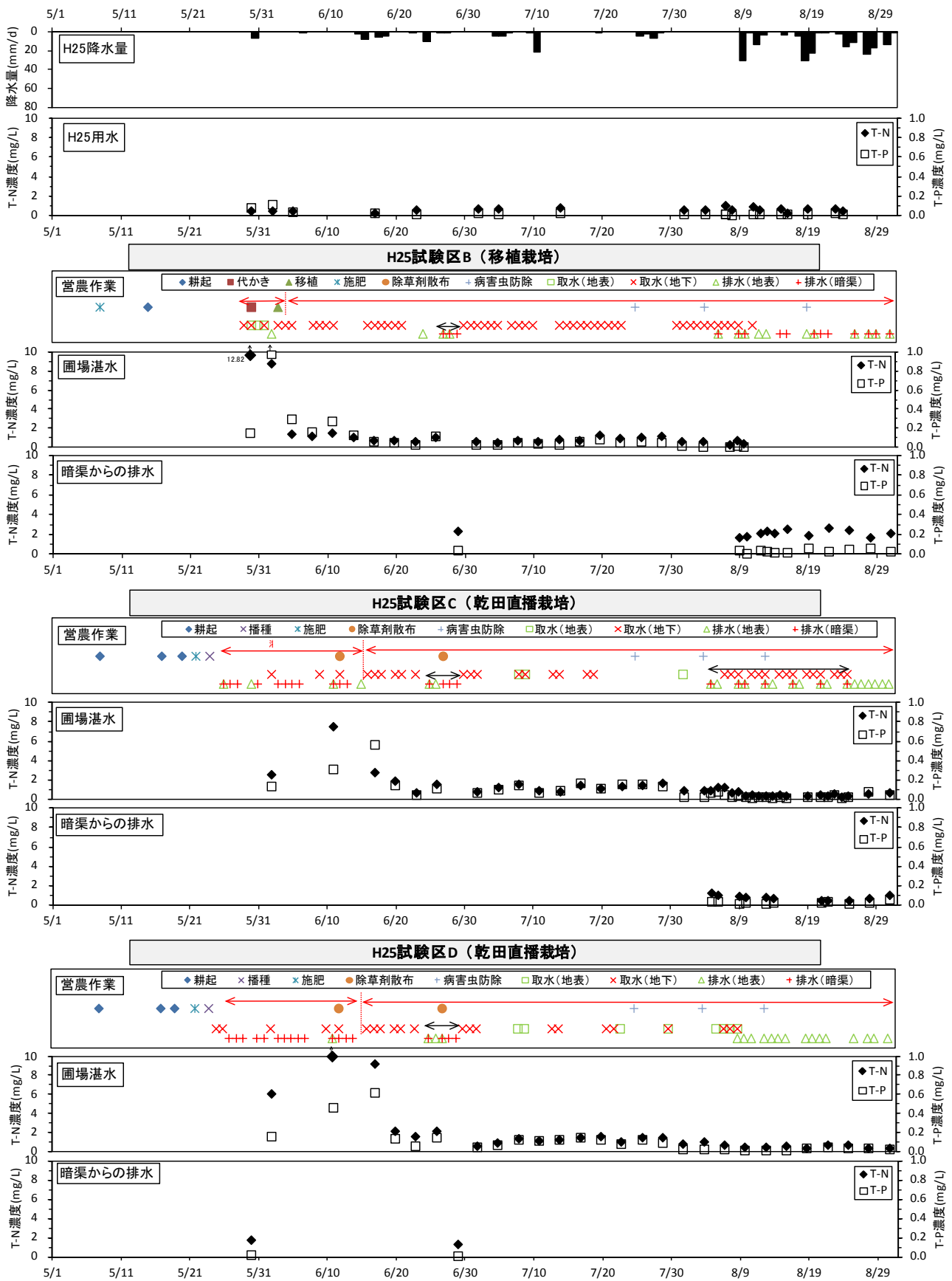


図-30 営農作業状況<sup>14)</sup>と水質変化 (平成 25 年度)

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

表-9 T-N濃度年間平均値

年度	用水	圃場湛水			暗渠からの排水		
		試験区B	試験区C	試験区D	試験区B	試験区C	試験区D
H23	0.84		1.36	1.58		1.10	1.12
H24	0.99		0.89	0.98		0.99	1.07
H25	0.57	1.61	1.05	1.98	2.13	0.73	1.54
平均	0.80	1.61	1.10	1.51	2.13	0.94	1.24

表-10 T-P濃度年間平均値

年度	用水	圃場湛水			暗渠からの排水		
		試験区B	試験区C	試験区D	試験区B	試験区C	試験区D
H23	0.01		0.13	0.18		0.02	0.15
H24	0.01		0.04	0.06		0.01	0.03
H25	0.02	0.18	0.08	0.10	0.03	0.02	0.02
平均	0.01	0.18	0.08	0.12	0.03	0.02	0.06

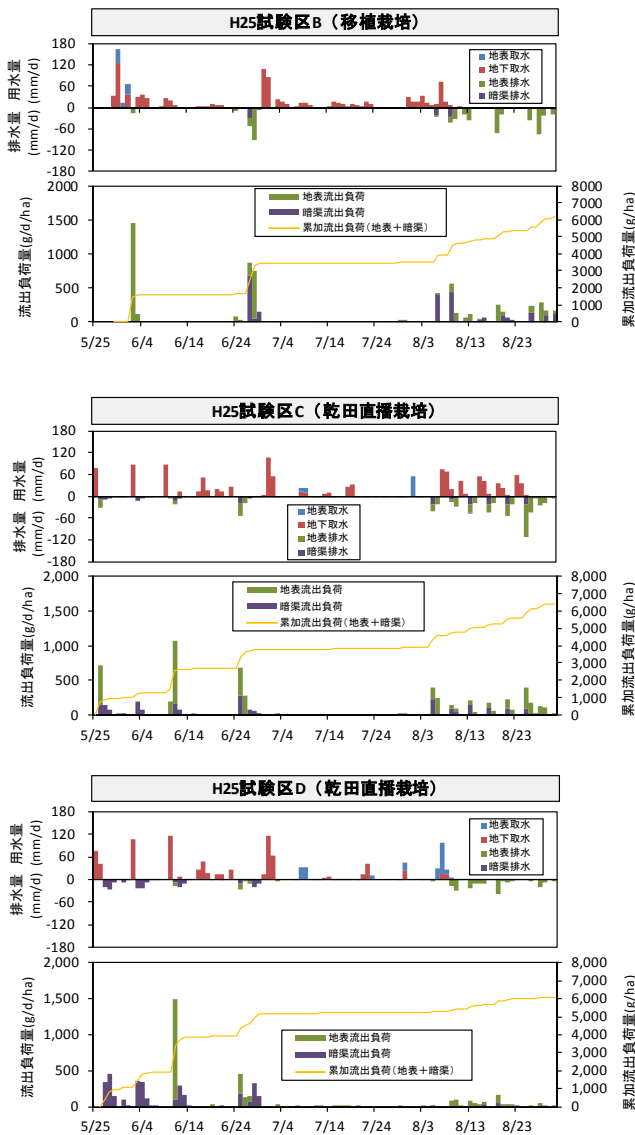


図-31 T-N流出負荷量（平成25年度）

あるため、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、流出負荷の状況が異なることを示した。これらの流出特性を考慮した

水管理により、水質負荷の流出抑制が可能となる。

また、流出負荷量は排水量と水質濃度の積であることから、流出負荷量は排水量を減らすことによって抑制が可能である。排水量は、浅水管理での排水量を可能な範囲で抑制することによって減らすことが期待できる。また、地下灌漑システムを効率よく活用し、用水量を節約することによって排水量を減らすことも可能である。流出負荷抑制には、これらの水管理に配慮することも重要である。

3. 配水管理技術の開発

3.1 配水シミュレーション

3.1.1 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<sup>16)</sup>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<sup>17)</sup>を用いた。シミュレーションの計算フローを図-32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 $\Delta t$ 継続すると仮定し、 $\Delta t$ 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 $\Delta t$ 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、配水状況の時間的な変化を再現することができる。なお本研究では、 $\Delta t$ を30分間とした。

### 3.1.2 計算モデルの設定

#### (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-33のようにA幹線水路（開水路）から分水するB支線水路掛かりの水田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稲直播栽培に取り組んでおり、水稲作付面積のうち約24%が水稲直播栽培である。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。

#### (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 設計「パイプライン」<sup>18)</sup>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) 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。水稲作付け率は、地域の現況である75%とした。また、水稲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

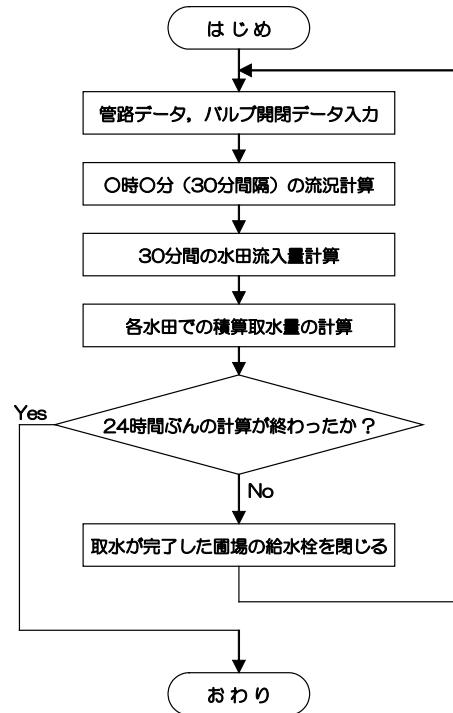


図-32 シミュレーションの計算フロー

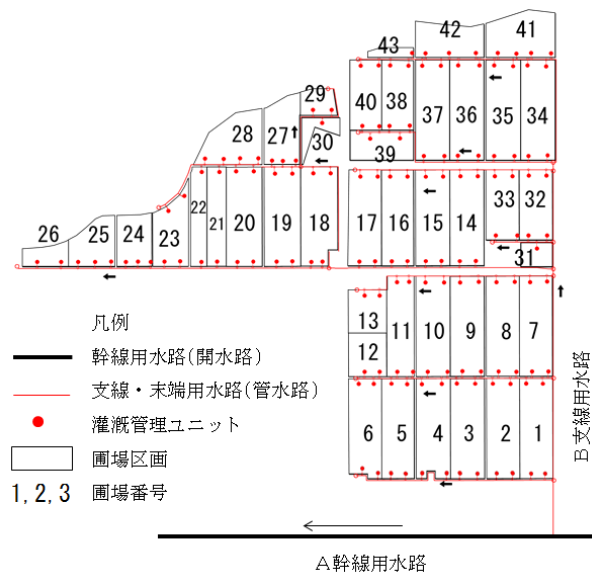


図-33 シミュレーション対象の圃場群

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-11の想定条件のように設定した。

#### 3.1.3 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-12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。

表-11 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 (水稲作付け圃場の100%)
3	深水期	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, 水稲作付け32圃場

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期については、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。灌漑期初期については、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-33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-12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。

### 3.1.4 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。

## 3.2 圃場群における取水状況の実態<sup>19)</sup>

### 3.2.1 調査目的

直播栽培の面積割合が増える地域では、取水強度の大きな取水が灌漑の初期から6月中旬ころまで増える

表-12 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	
5	11.5~18.0h	超えない	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。
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	

と考えられる。移植栽培と直播栽培の初期灌漑の時期に、取水強度の大きな取水が時期的にどの程度集中するのかということが、水田群への安定した配水を行うための重要な情報である。それゆえ、このような地域では、一筆ごとの水田用水量の変化の把握だけでなく、水田群としての用水需要の変化の方向を、各水田の用水需要の時期がずれるのか否かを考慮して予想する必要がある。

このような背景から、3.1節で解析対象とした支線パイプラインを調査区域として、この中にあるすべての水田で給水栓の開栓操作日時を調査した。得られたデータは、移植栽培における代かき・移植と直播栽培における初期入水・浅水管理の時期的な重複を分析するほかに、その後の灌漑期間において同時に取水している水田の割合(以下では同時取水割合と記す)の算出にも活用した。

### 3.2.2 調査方法

調査対象は、図-33に示した支線パイプライン区域である(以下では、調査支線と記す)。調査を行った平成27年の作付け状況は、図-34に示すとおりである。なお、水稲の直播栽培の方式は、すべて乾田直播であった。

平成27年の灌漑開始前に、調査支線の区域内の128カ所の管理ユニットに温度ロガーを設置し、灌漑期間中の水温を10分間隔で観測した。ロガー設置位置は給水栓の下部である。温度ロガーを設置していない圃場(図-34の圃場番号34、35、38、40)の管理ユニットには、水温も記録される水位ロガーを設置し、10分間隔でデータを収録した。

### 3.2.3 調査結果

#### (1) 給水栓操作日時の推定方法の検討

図-35に管理ユニットからの取水状況とそのユニット内の水温変化を示す。このデータは、40番の圃場に

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

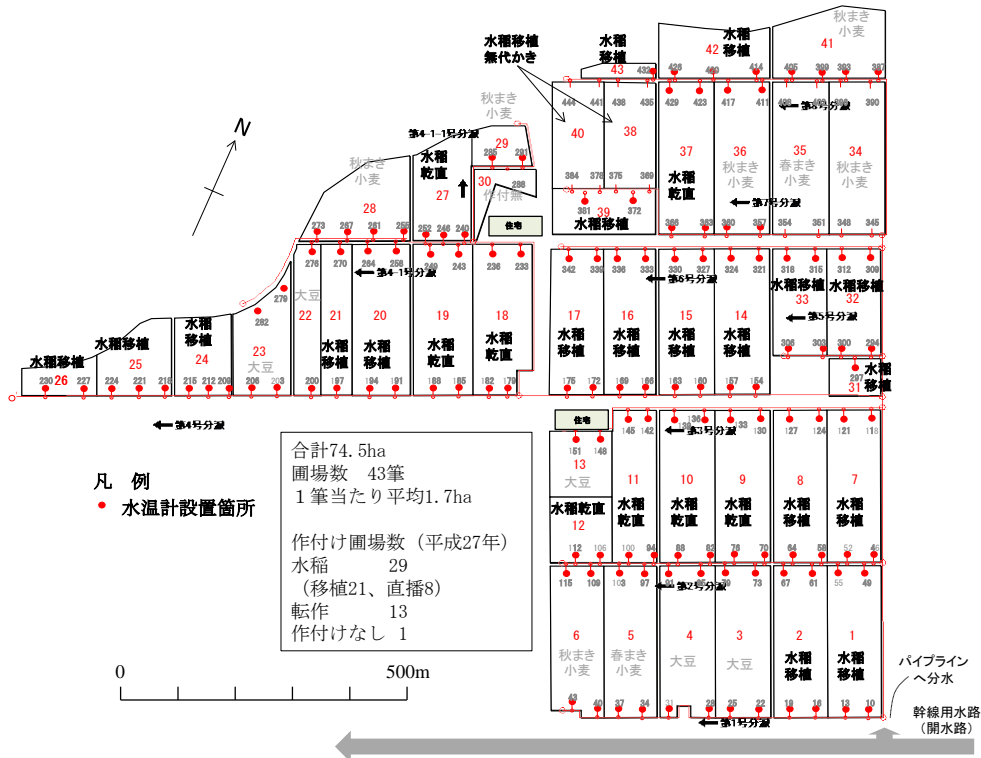


図-34 調査対象の支線パイプライン

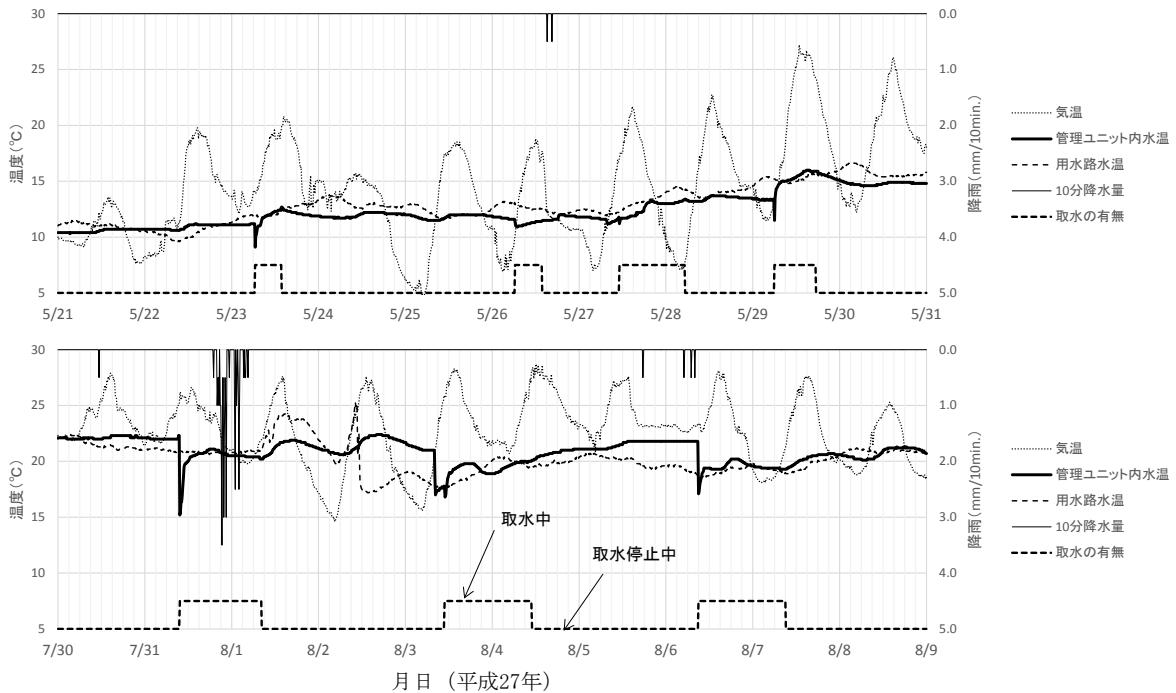


図-35 管理ユニット内の水温と取水状況

ある4カ所の管理ユニットのうち1カ所に設置した水位ロガーで得たものである。取水時間帯は、管理ユニットの水位が高い時間帯に相当するとして推定した。なお、図中の気温は近傍アメダスのものであり、降水量は圃場近傍の観測値、用水路水温は幹線開水路における観測値である。

この図のように、取水を開始するとユニット内の水温は不連続な変化を生じる。このような水温変化に着目すれば、給水栓を開いた日時を推定できる。一方、取水停止後の水温には、不連続で明瞭な変化がないため、給水栓を閉じて取水を終了した日時は推定困難である。それゆえ、次のように時期別の平均的な取水継

斜線は、その付近のプロットの取水停止時刻を示す。

..... 取水終了 6時    —— 取水終了 正午    ---- 取水終了 18時

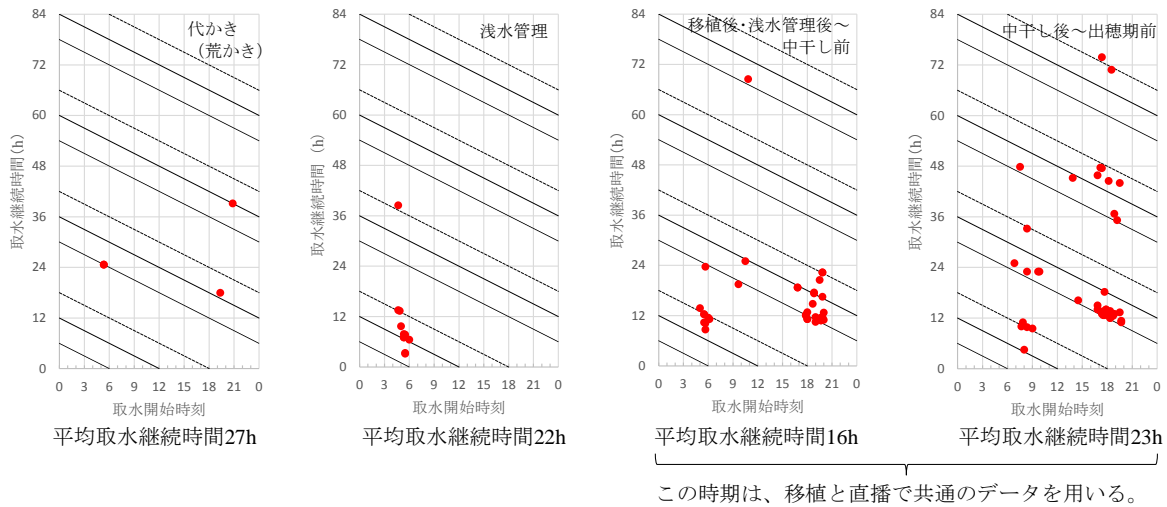


図-36 時期別の取水継続時間の検討（移植栽培）

斜線は、その付近のプロットの取水停止時刻を示す。

..... 取水終了 6時    —— 取水終了 正午    ---- 取水終了 18時

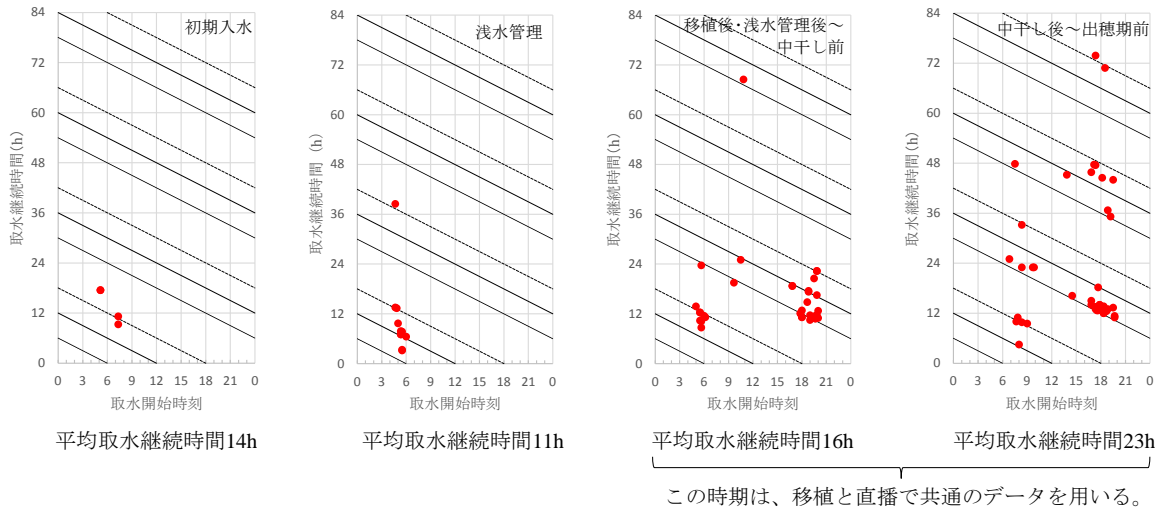


図-37 時期別の取水継続時間の検討（直播栽培）

続時間を用いて推定することにした。

図-36 と図-37 は、移植栽培と直播栽培のそれぞれで灌漑期間を4期に区分し、1回ごとの取水について取水開始時刻と取水継続時間をプロットしたものである。用いたデータは、平成23年、24年、25年の圃場番号34、35、38、40における管理ユニット水位、圃場地下水位、湛水深から推定した取水時間帯である。図-35のように水温変化から推定した取水開始日時を起点とし、4期のそれぞれで得られる平均取水継続時間を経過した後に給水栓が閉じられると仮定して、取水停止日時を推定した。各時期の平均取水時間は、図-36、図

-37の下に記したとおりである。

(2) 給水栓開操作日時

図-38は、水温変化から推定した水田の取水開始日時である。図中で横に並ぶのが、ある1筆の水田での給水栓開操作日時である。移植栽培圃場と直播栽培圃場に分けて、それぞれ最初の取水の月日の早い順に並べた。

1回当たりの取水量が比較的大きい初期灌漑期間の取水は、それ以降の取水と区別して白抜きでプロットした。この区別に当たっては、移植栽培では最初の取水があった日から10日間、直播栽培では同様に22日

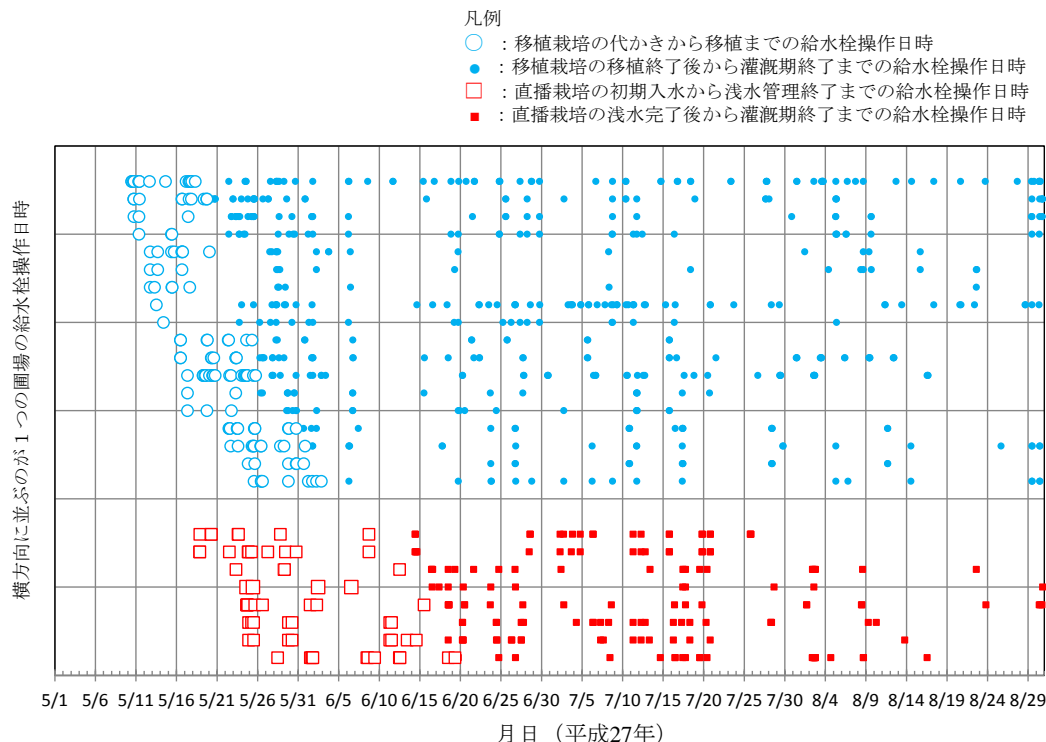


図-38 水稲作圃場での給水栓の開操作日時の推定

間の取水を初期灌漑期間の取水とした。これらの日数は、上川地域と空知地域における水利基盤チームの調査圃場での農作業記録から算出した平均値である。

現状(平成27年)では、各圃場の最初の取水は、移植栽培と乾田直播栽培で時期的に相違がある。すなわち、移植栽培の合計18圃場のうち14圃場で代かき用水の最初の取水を終えたのちに、乾田直播の初期入水が始まっている。日数で表現すれば、移植栽培の荒かきの取水と乾田直播の初期入水は、8~10日間のずれがあった。この8~10日間の相違は、移植栽培と直播栽培の用水需要のピークが大きく重なるわけではないことを示唆している。

### (3) 調査支線において同時に取水する圃場の割合

図-38の開操作日時と図-36、図-37の取水継続時間を用いて、4.2.3(1)で述べたような方法で各圃場の取水時期を推定し、さらに調査支線区域内での同時取水割合の経時変化を求めた結果を図-39に示す。灌漑期間の前半の赤太線は、初期灌漑の取水を行っている圃場の割合である。

3.1の配水シミュレーションでは、直播栽培面積が現状程度であれば、水田の半数で初期灌漑期間の取水が行われても幹線水路から調査支線への分水量が計画分水量を超えず、調査支線への配水は可能であると推察された。今回の調査結果で、初期灌漑にあたる取水での取水圃場割合の最大値は35%(9圃場)であっ

た。このことから、現状においては初期灌漑の取水では、配水に支障を生じるような水需要の集中は起きていないと考えられる。ただし、5月末から6月はじめに、初期灌漑の取水とそれ以外の取水を合わせた同時取水割合が50%を超えた事例が見られる。将来直播栽培の面積が増えるならば、図-39の赤太線で示す同時取水割合のうちこの時期の値が高まる可能性がある。移植栽培における代かき・移植が終わると、幹線水路の流量が普通期の流量(代かき期の流量よりも小さい)に切り替えられることから、今後は、初期灌漑の後半の水需要が逼迫することがないか注目していく必要がある。

初期灌漑期間以降の取水圃場割合は、大きな時間的変動を有している。10%~30%の範囲にあることが多いが、7月中旬のように半数以上の圃場で同時に取水される時間帯もある。図-39でみると、7月20日前後で湛水深が15cm程度になっている部分が深水灌漑に相当する。図-39の下段では、7月中旬に2回にわたって同時取水率が50%を超えている。調査支線の区域内では、深水灌漑のための取水が多くの水田で実施され、同時取水率が高くなったと考えられる。

このような同時取水割合の調査事例は、佐藤ら<sup>20)</sup>の他にはほとんどない。今後、水田パイプラインの水利設計において水利用性能の照査を求められる場合には、図-39を参考にして、例えば「初期灌漑や深水灌



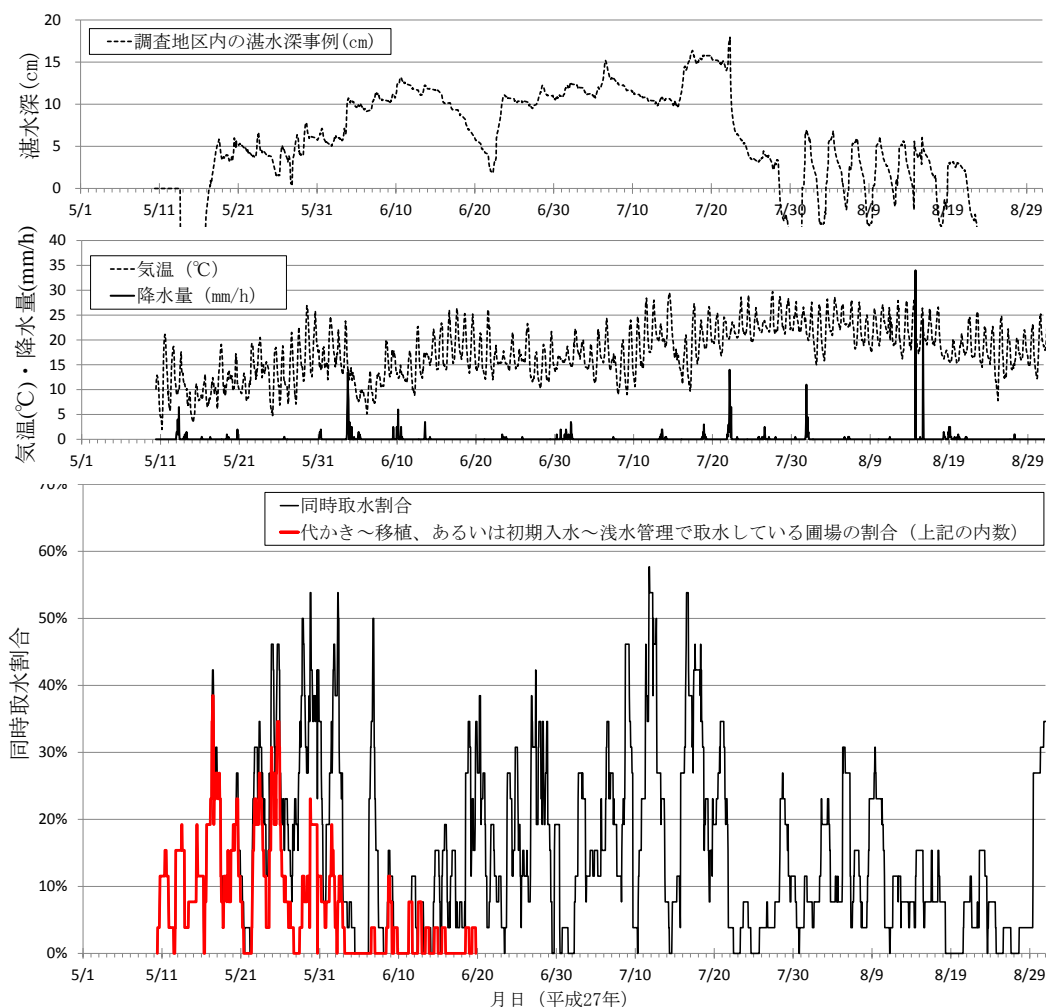


図-39 調査支線区域内の水田水管理の事例と調査支線全体での同時取水割合

漑の時期には同時取水圃場率を 50%とし、それ以外の時期については 40%とする」といった考え方をとることができる。

#### 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。

##### (1) 圃場の水管理と用水量

1) 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行われていた。また、灌漑期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った。

地下水位等の現地観測結果を用いて、取水量の推定を行った。その結果、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。

2) 栽培方式ごとの圃場水管理および用水量を比較した。無代かき湛水直播栽培、移植栽培、乾田直播栽培の3種の方式で水稻作を行ったときの地下水位変動は、代かきの有無によってその傾向が異なるが、栽培方式の違いによる浸透量の差は小さかった。このときの用水量と有効雨量の和である供給水量についても、初期取水から中干し後の再湛水までの期間では、圃場の地下水位が高く、浸透量が小さいことから、栽培方式による差はほとんどみられなかった。また、地下灌漑システム整備済みの大区画圃場と未整備の標準区画圃場を対象として、乾田直播栽培時の用水量に影響を及ぼす因子について分析した。圃場の浸透量が下層土から下方や側方の浸透量が耕盤層の浸透量よりも小さい場合、耕盤層の透水性が圃場の用水量に与える影響は小さいと考えられる。時期別供給水量を比較した結果、用水需要時期によって、灌漑方式による取水強度の違いや、地下灌漑時における水閘の開閉操作の違い、稲の生育状況による算出対象期間の長さや、渇水傾向に対する取水頻度の影響が見られた。供給水量の値は、同一耕



作者の圃場での年々の差よりも、同一年における各圃場の差の方が小さかった。

3) 大区画圃場内に水平に敷設された暗渠管の排水性について分析した。落水後の水田と転作田の両方で、いずれの試験区でも、計画基準に示される目安の地下水位を満たす排水性を有していた。長辺方向に 200m を超える管長を有する水平な吸水渠（ただし両短辺に水閘があるので吸水渠を流れる距離は長辺長の 1/2）であっても、圃場整備後 4 年を経過した時点で、基準の目安を満たす排水機能を有していた。

4) これらの調査結果を基に、地下灌漑が可能な大区画圃場における用水計画手法を提案し、用水量変化の要因についての分析手法、用水量調査方法を作成した。この研究で行った方法により、他の地区においても地下灌漑が可能な大区画圃場での用水量を調査することが可能となる。

## (2) 水質負荷流出抑制の検討

水質調査では、用水、圃場湛水および暗渠からの排水の水質分析を行った。その結果、用水の水質濃度は、観測期間を通して大きな変動はなく、低濃度であった。圃場湛水の T-N と T-P は、灌漑期初期に高濃度となった。移植栽培では代かき直後に特に濃度が高くなっており、肥料の溶出と代かき作業で田面が攪拌されたことが要因として考えられる。直播栽培では、灌漑期初期の比較的長い期間に高い濃度となっており、浅水管理が要因として考えられる。暗渠からの排水では、水稲を連作している圃場よりも、3 年間畑として利用した後に水稲を作付けした圃場の方で、T-N 濃度が比較的高かった。施肥量に大きな差がなかったことから、畑利用時の残存肥料の溶出が要因の一つとして考えられる。

水質負荷の流出抑制方法を検討するために、水質分析結果と排水量から、流出負荷量を算出した。各圃場とも水質濃度の高かった灌漑期初期だけでなく、6 月下旬の中干しでも大きな流出負荷が確認された。水質の流出負荷抑制には、これらの流出特性を考慮した水管理が必要となる。圃場湛水の水質濃度が高くなる場合は、地表からの流出を極力抑えて暗渠から排水を行うことで流出負荷を抑制することが可能である。逆に、暗渠からの排水濃度が高い場合は、圃場湛水の水質濃度が高くなる時期を除き、地表からの排水を行うことによって、水質負荷の流出を抑制できると考えられる。これらの流出負荷抑制に配慮した圃場管理を行うためには、濃度特性の把握が重要である。また、流出負荷量は排水量を減らすことによって抑制が可能であるこ

とから、浅水管理での排水量の抑制や、地下灌漑システムの効率的な活用による用水量節約等の水管理に配慮することも重要である。

## (3) 配水管理技術の開発

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。この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。

これと同じ圃場群において給水栓操作日時を調査し、①同時に取水している圃場の割合は 10～30% の範囲にあることが多いがまれに 50% を超えること、②移植栽培と直播栽培では初期灌漑の時期が 8～10 日間程度ずれるために地域の配水を阻害するような水需要の集中はないと考えられる、という結果を得た。

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、国土交通省北海道開発局札幌開発建設部および旭川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, 鶴川洋樹, 藤田直聡, 安武正史: 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, 相川賢一郎, 山崎剛太郎, 杉町信幸: 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) 志村博康編: 新農業水利学, 朝倉書店, p. 51, 1987
- 7) 駒村正治, 中村貴彦, 飯田厚, 中川幸夫: 乾田直播水田における水田の基盤整備, 農業土木学会誌, 62(10), pp. 25- 31, 1998
- 8) 坂田賢, 堀野治彦, 三野徹: 直播水田における圃場単位の水利用に関する事例的研究, 農業土木学会論文集, No. 212, pp. 17- 22, 2001
- 9) 李尚奉, 千家正照, 伊藤健吾, 林博康: 不耕起乾田直播栽培の導入による水管理と水田用水量の変化, 農業土木学会論文集, No. 224, pp. 45-52, 2003

- 10) 中川昭一郎：水田用水量計画法（その1），農業土木学会誌，34(1)，pp. 25-29，1966
- 11) 農林水産省構造改善局：土地改良事業計画設計基準 計画「暗渠排水」，p. 37（2000）
- 12) 農林水産省：農作物の施肥基準，p. 111，2015，（オンライン），入手先  
<[http://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozen\\_type/h\\_sehi\\_kizyun/aic02.html](http://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozen_type/h_sehi_kizyun/aic02.html)>
- 13) 北海道開発局札幌開発建設部：妹背牛地区水田輪作システム効果検討業務報告書，p. 96，2011
- 14) 北海道開発局札幌開発建設部：妹背牛地区水田輪作システム効果検討業務報告書，p. 61，2012
- 15) 北海道開発局札幌開発建設部：妹背牛地区水田輪作システム効果検討業務報告書，p. 45，2013
- 16) 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. 46-60，1969
- 17) 長谷川和彦，中村和正，秀島好昭：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. 25-30，2001
- 18) 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
- 19) 中村和正，酒井美樹，越山直子，伊藤暢男：水田パイプラインで同時に取水する圃場の割合，平成 27 年度応用水理研究部会講演集，pp. 33-38，2015
- 20) 佐藤寛，古木敏也，山下晃，江崎要：水田パイプラインにおける水管理について—受益者の水管理の実態—，農土誌 44(4)，pp. 19-24，1976

## 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

KOSHIYAMA Naoko

SAKAI Miki

ITOH Nobuo

**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 in Moseushi town and Nakafurano town, the characteristics of irrigation water demand were compared, 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. Results are as follows. 1) The research found that the pattern of groundwater level fluctuations differed depending on whether puddling was conducted in the three types of wet-field rice cultivation in Moseushi town: direct-seeding cultivation without puddling in flooded paddy fields, transplant cultivation, and direct-seeding cultivation in well-drained paddy fields. The difference in paddy field percolation was not great among these three cultivation types. 2) Because the groundwater level remained high and the amount of paddy field percolation was not great in the period from the initial irrigation water intake to re-submerging after mid-summer drainage, the total water supply to paddy fields did not differ greatly among these cultivation types in Moseushi town. 3) It was shown that, 4 years after the development of large paddy fields, the functionality of the underdrainage in the fields was still high, even for horizontal lateral drains installed under long paddy fields in Moseushi town. 4) For paddy fields with and without subirrigation in Nakafurano Town, it was shown that the irrigation requirement for direct-seeding in well-drained paddy fields was influenced by the farmer's water management operation, irrigation methods, weather conditions, and growth conditions of paddy rice, as well as by paddy field conditions such as soil texture. 5) Based on these research results, a method for drafting water utilization plan for large paddy fields at which subirrigation can be used was proposed, and a method for analyzing factors in changes in the irrigation requirement and for surveying the irrigation requirement were presented.

2) 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. Concentrations of total nitrogen and total phosphorus in submerged fields for transplant cultivation increased immediately after puddling. In the well-drained paddy fields used for direct-seeding cultivation, the levels of total nitrogen and total phosphorus remained high for a relatively long period of time early in the irrigation period. The outflow of total nitrogen

calculated by using the quantity of surface drainage and underdrainage was great after the mid-summer drainage in late June as well as early in the irrigation period. Based on the data on the concentrations of total nitrogen and total phosphorus and also on the characteristics of the outflow of water quality loads, two techniques were proposed to be included in the paddy field water management method, in the light of the need to suppress the outflow of water quality loads: 1) using a drainage method suitable for the concentrations of total nitrogen and total phosphorus in submerged fields and underdrainage for decreasing the concentrations of these elements in drainage water, and 2) reducing drainage discharge by conserving irrigation water and controlling the drainage volume through shallow water management.

3) 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.

In the same parcels of paddy fields, the dates and times for turning the faucet on/off were checked and the following findings were obtained: 1) the percentages of paddy fields for which intake was conducted simultaneously were in the range of 10% to 30% in most cases, with over 50% in rare occasions, and 2) since there were about 8 day to 10 day of difference in the periods for early irrigation between transplant cultivation and direct-seeding cultivation, water demand concentration that might hinder local water distribution would not occur.

**Keywords** : large paddy field plots, groundwater level control, water management, water quality, water requirement, water distribution management, field drainage