

水稻栽培における 省力的な水管理方法の選択可能性

国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 水利基盤チーム ○池上 大地
越山 直子

稲作経営を大規模に行う場合、水管理作業を含む農作業の省力化が重要となる。寒地土木研究所では地下水位制御システムや自動給水栓、圃場の縁辺に沿って掘削した明渠（圃場内明渠）による水管理について実証的な研究を行ってきた。本研究では、それらの利点と課題を整理し、AHP分析（階層分析法）を用いて農家が各灌漑技術を選択する条件および可能性について考察した。

キーワード：水管理、圃場内明渠、選択可能性

1. はじめに

土地改良事業によって圃場が整備され、パイプライン化や地下水位制御システムの導入が進むと、農家の給水作業が効率的になり、農作業の省力化が図られる。水利基盤チームでは、これまで地下水位制御システムや自動給水栓を導入した圃場の水管理に関する実態調査を行い、データを取得してきた^{例えば1)2)}。また、海外の大区画圃場では、圃場の縁辺に沿って掘削した明渠（圃場内明渠）によって給排水を促進する営農が行われており、この灌漑技術の適用性について水利基盤チームでは実証試験を行っている³⁾⁴⁾。これらは水管理作業を省力的に行う方法であるが、実際の運用は農家により異なる。今後、これらの方法が広く普及し、適切に利用されるためには、それぞれの方法に対して個々の農家が重要視する内容を把握し、啓発・普及活動を実施していく必要がある。

そこで、本研究では、これまでの実証結果から省力的な水管理方法の利点と課題を整理するとともに、土地改良事業が実施された圃場および今後実施される圃場の農家に聞き取り調査を行い、それらの方法に対する農家の意向を把握した。聞き取り調査結果については、人の意思決定問題を扱うAHP分析（Analytic Hierarchy Process、階層分析法）による考察を試みた。

2. 省力的な水管理方法

稲作の基本的な水管理作業は、次の通りである⁵⁾。「代かき用水の導入に始まり、田植えの後は中干しまで湛水を維持し、中干し後、再び湛水して、刈取前に落水する。この間、高収量などを目的に、深水、浅水、掛け流し、間断灌漑など、きめ細かい水管理が行われる。」

本研究における調査圃場の栽培方式は乾田直播栽培（以下、「乾直」という。）であるため、代かきと田植えは行われず、それ以外は上記と同じである。

水管理作業を省力的に行う方法として、表-1に示すような施設の整備が挙げられる。このうち、給水栓と地下水位制御システムは、土地改良事業により整備が可能であるが、自動給水栓はICT導入を支援する農林水産省等の補助事業を活用して整備されることが多く、圃場内明渠にいたっては補助事業のような支援制度はなく、農家自らが営農作業の一環で掘削する。

3. 調査方法

本研究では、まず、圃場内明渠の実証結果³⁾⁴⁾を含む既往文献を整理し、省力的な水管理方法の特徴をまとめた（表-1）。次いで、これらの方法の選択可能性について、2023年度に給排水に関する調査を行った圃場の農家に対して聞き取り調査を行った。各農家の稲作経営の概況と調査圃場の概要を表-2に示す。各調査圃場は、区画規模や給水施設の整備状況のほか、土壌のタイプも大きく異なる。圃場内明渠が掘削されているのは、岩見沢地区と滝川地区の圃場である。また、水管理作業のような圃場の管理は各農家（土別地区は組織法人の構成員）が行っている。

AHP分析は、1971年にT. L. Saatyによって開発された意思決定法であり、意思決定者が複数の代替案から最適な代替案を選択するための手法である⁶⁾。AHP分析では、複雑な意思決定プロセスを目的-基準-代替案と階層化し、単純な言語の一対比較を基本に、各基準から見た選択肢の相対評価を求め、総合評価を行う⁶⁾。本研究では、図-1に示すように、省力的な水管理方法（聞き取り調査

時点では「水管理施設」としていた。)の選択を目的として、5つの基準と4つの代替案を設定した。そのうえで、設定した5つの基準に対する重要度と、各基準からみた代替案に対する各農家の評価について、AHP分析の一对比較法を用いて9段階評価で尋ねた(図-2、図-3)。

AHP分析においては、基準の設定の妥当性が特に重要とされる⁶⁾。本研究では、労働時間に影響する基準として「操作性」、「効率性」、「信頼性」を、施設の維持負担金のような生産コストに影響すると考えられる基準

として「経済性」を設定し、加えて、圃場の属地性を考慮して「圃場の特性」を基準とした。「操作性」は操作のしやすさ、「効率性」は最小限の労力で作業ができること、「信頼性」は確実に予定していた量の取水ができること、予定していた時間内に排水ができること、「経済性」は維持管理にかかる費用、故障時や更新時の自己負担、「圃場の特性」は立地、地形、区画規模、土質、排水性、風の強さや向きなどである。代替案の評価は、5つの各基準を指標に、同じ様式で尋ねた。

表-1 省力的な水管理方法の概要

| | 主な特徴 | 利点 | 課題 |
|-------------|---|--|--|
| 給水栓 (手動) | 地下埋設管に立ち上がり管を接続し手動でバルブ開度を調整する ⁵⁾ 。 | 自動給水栓と比べて、イニシャルコストが小さい ⁷⁾ 。 | 夜間に開栓・閉栓操作を行う場合は労力の負担が大きい ⁸⁾ 。 |
| 自動給水栓 | 末端給水栓で、予め設定した湛水深や時間により自動的に給水を開始、停止できる。ICT技術との連携により、遠隔監視・操作などが可能となり、水管理労力や用水ロスにより一層の節減を見込むことができる ⁹⁾ 。 | ①目標とする水位に調整することができるので、水稻の生育に併せた湛水深を確保することができる。 ②水管理の省力化が図られる。 ③ウォーターハンマーを除去する機能を備えているので、管路への影響がない ⁷⁾ 。 | 給水栓と比べると、イニシャルコストは大きくなるが、6年以上使用すれば労働時間の減少からランニングコストは低くなるという報告がある。耐用年数は20年以上 ⁷⁾ 。 |
| 地下水位制御システム | 地下灌漑と弾丸暗渠を組み合わせた圃場内の灌漑排水システムであり、地下灌漑機能をもつ。圃場水管理の省力化のみならず、暗渠排水と地下水位制御を両立できることによる輪作時の畑作物の増収効果を見込むことができる ⁹⁾ 。 | ①大区画ほ場では、地表かんがいと併用することで、より速やかで均一な給水が可能となる。 ②地下水位制御機能によって土壌水分をある程度調整できるため、乾湿状態が一樣になり発芽・苗立ちが均一化すること等、乾田直播栽培の導入が容易となる。 ③作物の生育ステージに応じた、一定の湛水深を容易に調整・維持できるため、水管理の省力化が可能となる ⁷⁾ 。等 | ①暗渠管下の浸透や畦畔を横切る横方向の過大な浸透は、円滑な地下灌漑を妨げ用水量増加の要因となる。②暗渠管より下方の土層は、上方の土層に比べ、透水係数が小さくなければならない ⁷⁾ 。下層が砂礫等で漏水が著しい場合は、地下水位が設定水位まで上昇しない恐れがある。等 |
| 圃場内明渠 | 圃場の内側に畦畔に沿って掘った溝。海外の大規模水田では灌漑用に、国内では畑地の給排水の促進の目的で利用されることが多い ⁹⁾ 。 | ①自動給水栓と組み合わせて利用することで省エネ化・省力化が可能となる ¹⁰⁾ 。 ②給水の速度が高まる ³⁴⁾ 。 | ①明渠を掘削した範囲は栽培ができず、その面積分が減収となる。 ②掘削作業に時間と掘削機を要する ³⁾ 。また、農作業の際に、明渠に近づかないよう気をつけなければならない場合がある。 |

※給水栓、自動給水栓、地下水位制御システムについては既往の文献⁵⁾⁷⁾⁸⁾をもとに、圃場内明渠については既報³⁾⁴⁾⁹⁾¹⁰⁾および本研究における聞き取り調査をもとに作成。

表-2 聞き取り調査を行った農家の稲作経営の概況および調査圃場の概要

| 調査地区 | 稲作経営の概況 | | | 調査圃場の概要 | | | | |
|------|---------|---------------------|-------------------------------|----------------------|--------------|--|------|----|
| | 農家名 | 水稲作付面積 | 労働の形態 | 区画規模 | 土地改良事業の実施状況 | 現在の給水施設 | 栽培方式 | 土壌 |
| 岩見沢 | T氏 | 移植 19ha 乾直 19ha | 家族労働が基本。田植えと収穫の時期に外部から雇用する。 | 0.7ha (130m×55m) | 今後、国営事業で整備予定 | レバー式簡易ゲート 圃場内明渠(※既報 ³⁾⁴⁾) | 乾直 | 泥炭 |
| 滝川 | S氏 | 移植 32ha 乾直 9ha | 家族労働が基本。田植えの時期のみ外部から雇用する。 | 1.3ha (210m×60m) | 道営事業で整備済み | 自動給水栓(※既報 ²⁾) 地下水位制御システム 圃場内明渠 | 乾直 | 粘土 |
| 士別 | F氏 | 移植 112ha 乾直 10ha | 組織法人での労働が基本。田植えの時期のみ外部から雇用する。 | 5.8ha (440m×132m) | 国営事業で整備済み | 給水栓(手動) | 乾直 | 砂利 |

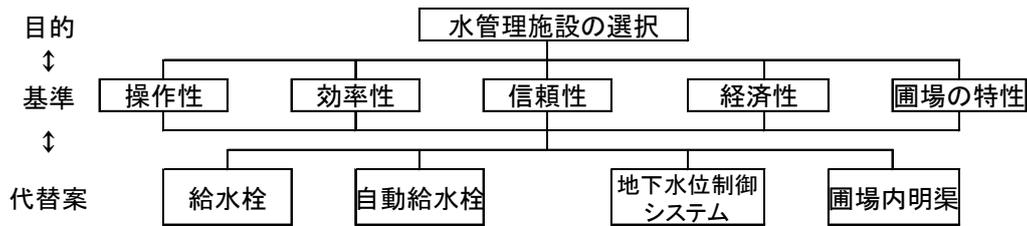


図-1 AHP 分析における意思決定の階層構造

【質問項目①】. 水管理施設の選択において、何をどの程度、重要視しますか？

操作性 (操作のしやすさ)
効率性 (最小限の労力で作業ができること)
信頼性 (確実に予定していた量の取水ができること、予定していた時間内に排水ができること)
経済性 (維持管理にかかる費用、故障時や更新時の自己負担)
圃場の特性 (立地、地形、区画規模、土質、排水性、風の強さや向き、など)

| 左の項目 | 比較の程度 | | | | | | | | | | | | | | | | 右の項目 | | |
|------|-------------|------|------------|------|------------|------|-----------|------|-----------|------|-----------|------|------------|------|------------|-------------|------|---|-------|
| | 左の項目が圧倒的に重要 | (中間) | 左の項目がととも重要 | (中間) | 左の項目がかなり重要 | (中間) | 左の項目が少し重要 | (中間) | 左右同じくらい重要 | (中間) | 右の項目が少し重要 | (中間) | 右の項目がかなり重要 | (中間) | 右の項目がととも重要 | 右の項目が圧倒的に重要 | | | |
| | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 1/2 | 1/3 | 1/4 | 1/5 | 1/6 | 1/7 | 1/8 | 1/9 | | |
| 操作性 | | | | | | | | | | | | | | | | | | ○ | 効率性 |
| 操作性 | | | | | | ○ | | | | | | | | | | | | | 信頼性 |
| 操作性 | | | | | | | ○ | | | | | | | | | | | | 経済性 |
| 操作性 | | | | | | | | | ○ | | | | | | | | | | 圃場の特性 |
| 効率性 | | | | | ○ | | | | | | | | | | | | | | 信頼性 |
| 効率性 | | | ○ | | | | | | | | | | | | | | | | 経済性 |
| 効率性 | | | ○ | | | | | | | | | | | | | | | | 圃場の特性 |
| 信頼性 | | | | | | ○ | | | | | | | | | | | | | 経済性 |
| 信頼性 | | | | | | | | | ○ | | | | | | | | | | 圃場の特性 |
| 経済性 | | | | | | | | | | | | | | ○ | | | | | 圃場の特性 |

※回答方法
1行ごとに、左の項目と右の項目を比較し、より重要視する方を選択する。

例えば、左右同じくらい重要であれば「1」を選択。

右の項目がかなり重要であれば「1/5」を選択。

図-2 基準に対する質問項目と回答例

【質問項目②】どちらの施設が望ましいですか？

給水栓 (現地で栓の開閉操作を行い、取水量を調整する)
自動給水栓 (目標水位になれば給水が停止し、不足すれば再給水する)
地下水位制御システム (用水路と暗渠排水組織を統合し、水閘などに地下水位の調節機能を設け、圃場内の地下水位を調整)
圃場内明渠 (圃場内に掘削した明渠で給水と排水を行う)

| 左の項目 | 比較の程度 | | | | | | | | | | | | | | | | 右の項目 | |
|------------|-------------|------|------------|------|------------|------|-----------|------|-----------|------|-----------|------|------------|------|------------|-------------|------|------------|
| | 左の項目が圧倒的によい | (中間) | 左の項目がとともよい | (中間) | 左の項目がかなりよい | (中間) | 左の項目が少しよい | (中間) | 左右同じくらいよい | (中間) | 右の項目が少しよい | (中間) | 右の項目がかなりよい | (中間) | 右の項目がとともよい | 右の項目が圧倒的によい | | |
| | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 1/2 | 1/3 | 1/4 | 1/5 | 1/6 | 1/7 | 1/8 | 1/9 | |
| 給水栓 | | | | | | | | | | | | | | | | ○ | | 自動給水栓 |
| 給水栓 | | | | | | | ○ | | | | | | | | | | | 地下水位制御システム |
| 給水栓 | | | | | | | | | ○ | | | | | | | | | 圃場内明渠 |
| 自動給水栓 | | | | | ○ | | | | | | | | | | | | | 地下水位制御システム |
| 自動給水栓 | | | ○ | | | | | | | | | | | | | | | 圃場内明渠 |
| 地下水位制御システム | | | | | | | | | | ○ | | | | | | | | 圃場内明渠 |

※代替案の評価は、5つの各基準を指標に、同じ様式で尋ねた。

図-3 代替案に対する質問項目と回答例

4. 結果と考察

(1) 圃場内明渠の利点と課題

既報^{3,4)}における圃場内明渠の実証結果、および2023年12月に行ったT氏とS氏への聞き取り調査から、圃場内明渠の利点と課題を整理した。利点としては以下のことが挙げられた。

- ①給水時間を短縮することができた。
- ②特に、岩見沢地区の泥炭土壌の圃場では、排水性が改善された。

また、T氏から今後の改善点として、明渠からの横越流が容易となるように、明渠を掘削した後に、掘削土の堆積を均すことの提案があった。

一方、課題としては次のことが挙げられた。

- ①明渠を掘削した範囲は栽培ができず、その面積分が減収となる。
- ②掘削作業に時間と掘削機を要する。また、農作業の際に、明渠に近づかないよう気をつけなければならない場合がある。

もっとも、課題①については、S氏は、栽培面積が減少することよりも効率的に取水と排水ができることが重要であるため、許容できるとのことであった。

なお、T氏は、今回の明渠掘削は滞りなく実施できたが、明渠を掘削した圃場には木の根が埋まっていることが多く、T氏は明渠掘削時に圃場間をまたぐような根にぶつかることを懸念していたとのことであり、明渠の掘削には相応の労力がかかっていることが窺えた。

士別地区の圃場では、圃場内明渠は掘削されていないが、これは、砂利が多く透水性が大きいことから、明渠を整備するとさらに圃場内の浸透が大きくなりすぎてしまうためであった。同じ理由で、地下水位制御システムも整備されていない。

(2) AHP分析結果

農家への聞き取り調査から、重要視する基準と、各代替案への評価について回答を得た。その回答結果から、幾何平均法により重み（優先度）を計算し、総合評価値を求めた⁶⁾。なお、士別地区のF氏からは、圃場内明渠を掘削していないことから、基準の重要度についてのみ回答を得た。

図-4に示すように、岩見沢地区のT氏は、圃場の特性、次いで経済性を重要視していた。また、図-5に示すように、給水栓、圃場内明渠、自動給水栓、地下水位制御システムの順に評価が高く、特に、給水栓と圃場内明渠については、圃場の特性が大きく評価されていた。

これは、T氏の圃場が泥炭土壌であり排水性が低いこと、また、春先に強風が吹きやすい地域であるため、

給水中に向かい風を受けて圃場全面に湛水するまでに時間がかかる場合があることが影響していると考えられる。さらに、経済性の観点から給水栓への評価が高かった。

次に、滝川地区のS氏の評価を見ると、図-6に示すように、基準については圧倒的に信頼性を重要視し、それゆえ、地下水位制御システム、自動給水栓の評価が高かった（図-7）。S氏は家族経営で41haの稲作を経営しているほか、41haの畑作を経営しているため、限られた労働時間を計画的に配分する上で、予定時間内に確実に取水と排水ができることを重要視し、信頼性の評価が高かったと考えられる。

圃場内明渠を評価する点としては、経済性が最も大きかった。圃場内明渠は、掘削後の管理作業を特に必要とせず、粗放的に管理できるためと考えられる。ただし、圃場内明渠の耐久性は、掘削方法や配置によって異なると考えられるため、継続的な調査が必要である。

岩見沢地区のT氏と滝川地区のS氏の評価結果を比べると、今後、土地改良事業によって給水栓が整備されるT氏は、給水栓への評価が高く、すでに土地改良事業が実施され、地下水位制御システムと自動給水栓が導入されているS氏はそれらに対する評価が高い。現在、T氏の圃場では、開水路からレバー式簡易ゲートを通して圃場に給水しているが、給水量の調整が難しいため、バルブ開度で給水量を調整できる給水栓への期待が高いと考えられる。また、S氏の評価結果からは、土地改良事業により水管理作業の省力化が図られていることが窺えた。

今後、同様の調査を行う場合は、土地改良事業の実施前後で、同じ農家に対して聞き取り調査を行うことにより、農家の評価結果の変化を把握できると考えられる。

士別地区のF氏の評価では、経済性を圧倒的に重要視し、次いで、圃場の特性、信頼性の順であった（図-8）。F氏は組織法人の代表者であり、稲作の経営規模も122haと大きいこと、施設の維持負担金や償還金も含め生産コストの経済的負担を少しでも少なくすることを重要視しているためと考えられる。一方、操作性と効率性はそれほど重要視していないという結果であったが、F氏の圃場はすでに土地改良事業によって大区画に整備され、以前と比べると水管理作業の操作性と効率性が改善されていることから、現時点ではそれほど重要視されないのだろうと解釈した。

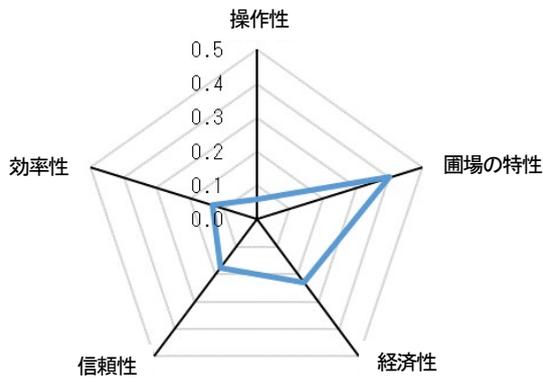


図-4 T氏（岩見沢地区）が重要視する基準

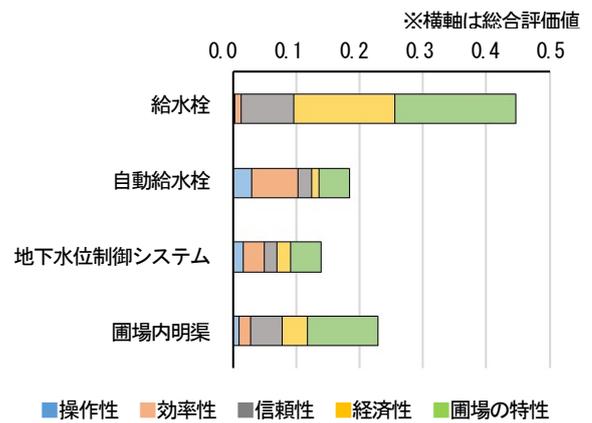


図-5 T氏（岩見沢地区）の水管理方法に対する評価

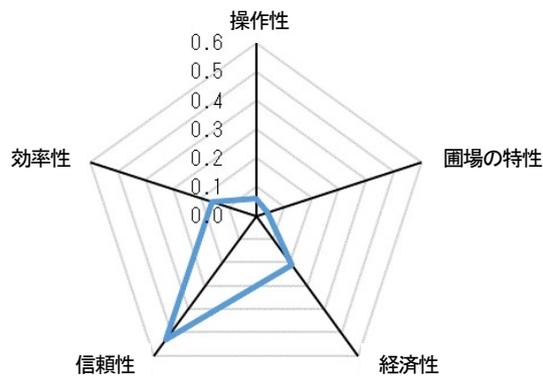


図-6 S氏（滝川地区）が重要視する基準

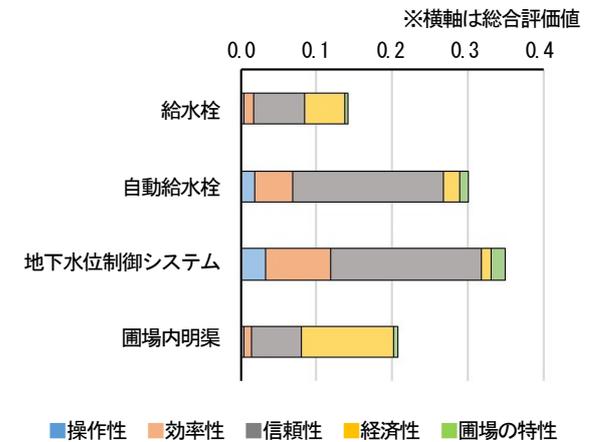


図-7 S氏（滝川地区）の水管理方法に対する評価

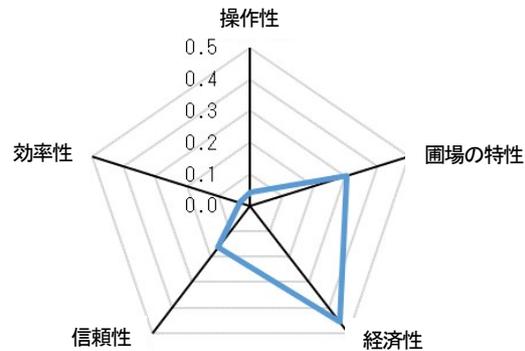


図-8 F氏（土別地区）が重要視する基準

5. まとめ

農家の意思決定における省力的な水管理方法の選択可能性について考察した。聞き取り調査の対象者は3者と限られているものの、特徴的な傾向が示された。本研究で得られた結果は次の通りである。

- ・省力的な水管理方法に対する農家の評価は、土地改良事業の整備状況や圃場の特性だけでなく、経営規模や労働の形態によっても異なると考えられる。経営規模拡大に伴う労働時間の制約は、水管理方法の

信頼性に反映された（図-6）。また、組織法人による経営を行う農家は、経済性を重要視していた（図-8）。

- ・圃場内明渠は「圃場の特性」により選択の可能性が大きく異なる。圃場の土壌が泥炭や粘土である場合、また、灌漑時に風向きの影響を受けやすい場合は、圃場内明渠は給排水の速度を高めることに一定の効果があると考えられ、選択される可能性は高い（図-5）。一方、砂利を含むなど浸透量が多い圃場では選択される可能性は低い。

- ・圃場内明渠の掘削に伴う減収およびコスト（労働時間、農機具費）と、給水口を減らすことにより低減される維持負担金などを比較し、圃場内明渠の効果を示すことができれば、他の水管理方法と組み合わせることで選択の可能性は高まると考えられる。

北海道の稲作経営においては、労働費のさらなる低減が不可欠である。本研究では労働費の評価まで至らなかったが、農家の経営方針や圃場条件に適した水管理方法の選択は、労働費の低減にも貢献すると考えられるため、より多くの圃場で労働費に関するデータを収集し、水管理方法の違いによる労働費の低減量の評価する必要がある。

謝辞：本研究の実施にあたり、岩見沢市の農家T氏、滝川市の農家S氏、士別市の農家F氏、国土交通省北海道開発局札幌開発建設部岩見沢農業事務所、いわみざわ土地改良推進事務所、空知土地改良区、士別市役所の関係諸氏に多大なご協力を賜りました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 古檜山雅之, 中村和正, 鶴木啓二, 石田哲也：地下灌漑が可能な大区画水田における圃場水管理, 農業農村工学会論

- 文集, 290, pp.23-32, 2014.
- 2) 越山直子, 南恭子：北海道における圃場自動給水システムを設置した水田圃場群の取水時間帯の実態, 第72回農業農村工学会大会講演会講演要旨集, pp.111-112, 2023.
 - 3) 越山直子, 池上大地, 大久保天：圃場内明渠を用いた水田灌漑の実証試験, 寒地土木研究所月報, No.849, pp.11-18, 2023.
 - 4) 越山直子, 池上大地：圃場内明渠を掘削した乾田直播栽培圃場における初期灌漑の水足進行, 第72回農業農村工学会北海道支部研究発表会講演集, pp.44-45, 2023.
 - 5) (公社) 農業農村工学会：『改訂6版 農業農村工学標準用語辞典』, (公社) 農業農村工学会, 2019.
 - 6) 高萩栄一郎, 中島信之：『Excelで学ぶAHP入門 問題解決のための階層分析法』, オーム社 開発局, 2005.
 - 7) 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・解説 計画「ほ場整備(水田)」, (公社) 農業農村工学会, 2014.
 - 8) 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・解説 計画「農業用水」, (公社) 農業農村工学会, 2010.
 - 9) 塚本康貴, 中村隆一：ハイブリッド水路による転換畑での秋まき小麦に対する排水促進・水分供給技術, 水土の知, 80(6), pp.21-24, 2012.
 - 10) 黒田久雄, 田代明日香, 前田滋哉, 浅木直美：大区画水田への額縁明渠灌漑排水方式について, 2022年度農業農村工学会大会講演会講演要旨集, pp.97-98, 2022.