

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 10 日現在

機関番号：82111

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2012

課題番号：23658195

研究課題名（和文）水温の空間分布の決定要因分析をふまえた稲の高温登熟障害回避に資する灌漑手法の開発

研究課題名（英文）Water management for the purpose of contributing to prevent heat damage of ripening rice based on the spatial analysis of water temperature in irrigation canal

研究代表者

坂田 賢 (SAKATA SATOSHI)

独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構 農村工学研究所・農地基盤工学研究領域・研究員

研究者番号：00584327

研究成果の概要（和文）：稲の高温登熟障害の回避手法の一つとして夏季の水管理が挙げられるが、灌漑用水の流下過程における水温変化の知見はほとんどみられない。本研究では、河川掛のパイプライン水路および開水路の水温の空間分布を調べた。その結果、パイプライン水路では昇温はほとんどみられず、開水路では昼間の日射による影響を受けて温度が上昇することが明らかとなった。また、開水路では昼夜の水温差や地点によるばらつきが大きいことを示した。

研究成果の概要（英文）：One of the techniques used to prevent heat damage to ripening rice is water management during the summer. There is, however, little knowledge about changes in the temperature of water running through irrigation canals. In this study, the spatial distribution of water temperature in irrigation canals, which are pipelines and/or open canals, was investigated. It was shown that the temperature of downstream irrigation water is about the same as that of water at the upstream source. In contrast, at the observation points in open canals in the study area, there was a wide variation in the day-night differences in water temperature.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	2,800,000	840,000	3,640,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学・農業土木学・農村計画学

キーワード：高温登熟障害、水管理、水温、夜間灌漑、パイプライン、開水路

1. 研究開始当初の背景

2010年の天候は、北日本から西日本にかけて夏の気温が顕著に高く、都市化の影響の少ない地点の気象台などで平均した夏の平均気温は、統計を開始した1898年以降で最も高くなった。2010年産米の水稻調査によると、全国の水稻作付面積の60.3%が高温による被害を受け、特に関東・東山および中国地方で

は、登熟期間の高温により一部地域で白未熟粒等が多く発生したこと等の影響で作況指数が100を下回った。

登熟期の高温により米の品質や玄米1粒重が低下する、いわゆる高温登熟障害は、玄米の白濁化や胴割れの発生により整粒歩合が低下するため、品質検査の等級が下がり農家収入の減少をもたらす。また、地球温暖化の

進行による高温登熟障害の発生増加が懸念される中、作物分野を中心に、高温登熟障害の発生に関するメカニズムの解明、ならびに、発生回避目的の品種開発および移植期・栽植密度の調整、肥培管理、水管理等の栽培技術の提案がなされている。

水管理に関する高温登熟障害回避の栽培技術として、「分けつ期から最高分けつ期にかけての深水灌漑が白未熟粒発生を抑制する」、「出穂期後 10 日間以上の掛け流し灌漑が胴割れ発生を抑制する」、「出穂期後 30 日間の夜間通水または pF1.5 以下の湿潤状態を保つ灌漑が乳白および胴割れ発生を抑制する」等の知見が得られている。ただし、いずれも試験圃場の結果であり、精緻かつ意図した水管理を実施できるだけの十分な用水確保が可能な圃場で実施されている。

上記の栽培技術を営農現場に適用する場合には、水田の用水計画に影響を与える可能性が指摘されている。用水供給は水利権および水利施設による制約を受けるため、農業改良普及センター、農業協同組合等の営農指導者と土地改良区等の用水管理者が連携し、制約条件の認識を共有し農家への適切な情報提供が可能な体制づくりが求められている。

水温形成に関する研究は、湖沼等の閉鎖性水域での鉛直分布に関する研究は多いが、河川等の流水の地理的な温度分布に関する研究は少数で、農業用水路を対象に水温の空間分布を解析した研究はほとんどみられない。

2. 研究の目的

本研究では、河川から用水を取水し、水田に灌漑されている地区を選定し、取水地点を起点とする取水温度の地区内での伝播および水温変化の因子を明らかにすることで、高温登熟障害の抑制または回避が可能な灌漑手法の開発に資する条件を提示することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 対象地の設定

灌漑により高温登熟障害の抑制または回避できる可能性があると考えられる条件として、夏季に冷涼な用水が確保できることが挙げられる。ただし、水源付近では冷涼であっても用水路を流下する過程で水温が上昇することが考えられる。また、用水路内の水温変化は水路周辺の温度に影響を受けると考えられる。具体的には、水路が地中に埋設され周辺温度（地温）の変化が小さいパイプ

ラインの場合と、気温や水路構造物など日中の温度変化の大きい開水路では、流下過程における水温変化が異なると考えられる。

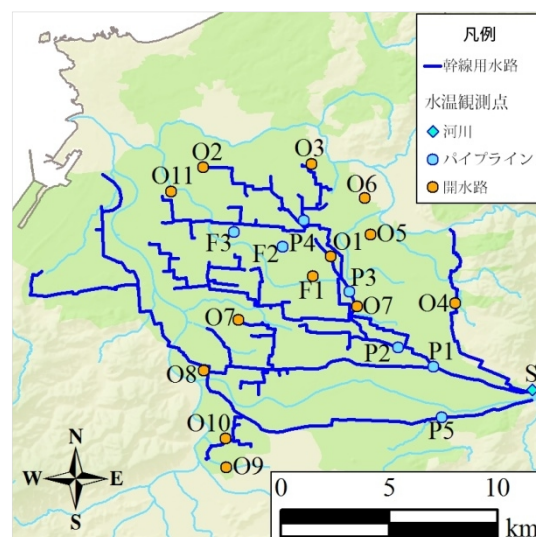
冷涼な水源があり、異なる水路形態のみられる地区として、福井県坂井市および周辺地域を対象に国営かんがい排水事業等が実施されている九頭竜川下流地区のパイプライン水路、開水路およびそれぞれの水路から灌漑されている圃場において出穂期以降を中心に水温観測を実施した。

(2) 水温測定方法

水温はデータロガー温度計(Onset 製、HOB0 Pro v2)を河川取水口、用水路、圃場取水口付近に設置し、2011 年度は 10 分間隔、2012 年度は 5 分間隔で計測を行った。2012 年度の観測地点は図 1 に示すとおりである。2011 年度の観測地点は図中の S、P2、P3、P4、O1、F1、F2、F3 である。

河川取水口の水温は河川から取水され幹線用水路（パイプライン）へ流入する直前の沈砂池で観測した。パイプライン水温は分水工から開水路へ吐き出される地点で観測した。圃場取水口の水温は、パイプラインを通じて直接灌漑されている水田（図 1 の F2 と F3）では、給水栓に設置した三角堰の越流水深を 5 分間隔で計測する水圧式水位計(Onset 製、HOB0 Water Level Logger U20)の温度観測値を用いた。すなわち、取水時のみ灌漑水温が計測され、停水時は三角堰内の残水の温度または気温が計測される。

期間は、河川取水口地点は 2011 年 5 月 20 日から年間を通じて観測を行い、水路は灌漑



注：図中のアルファベットはそれぞれ、S：河川取水口、P：パイプライン分水工、O：開水路、F：圃場取水口を示す。

図 1 水温観測点の位置

期間に相当する 2011 年 5 月 20 日から 9 月 26 日および 2012 年 5 月 25 日から 9 月 4 日である。圃場では田植え（移植圃場）または播種（直播圃場）後から刈取前に相当する 2011 年 5 月 19 日から 8 月 29 日および 2012 年 5 月 24 日から 9 月 3 日である。

4. 研究成果

(1) 用水路内の水温変化

稲の高温障害発生は登熟初期の温度環境に影響を受けると考えられている。例えば、宮野・国分（2009）は出穂後 20 日間の気温が大きく影響することを示している。以下では、主に出穂期後 20 日間のデータを中心に成果をまとめた。

図 2 には 2011 年に計測した河川からパイプライン水路または開水路を通る水温の結果を時刻ごとに平均して示した。用水系統は、河川取水口 S 地点から P2 地点まではパイプラインであり、P2 からパイプライン水路と開水路に分岐し、P2 から P4 まではパイプライン、P2 から O1 までは開水路である。また、参考として F1 近傍にあるアメダス（春江）の気温を同様に計算し併記した。同図より、気温と河川水温では最高または最低となる時刻が大きく異なることが分かる。本調査では、河川で最高水温を記録した時刻は 17 時 50 分で、最高気温より 4 時間 20 分遅れであり、最低水温は 9 時 20 分で 4 時間遅れであった。河川取水口付近の流路幅や上流からの到達時間によって最高または最低水温を記録する時刻の気温との時間差は異なると考えられるが、地区の用水源となる河川取水口における水温の日変化が気温と大きく異なることに留意して灌漑を行うことは、できるだけ低い水温の用水を確保するための水管理を検討する上では重要な知見であると

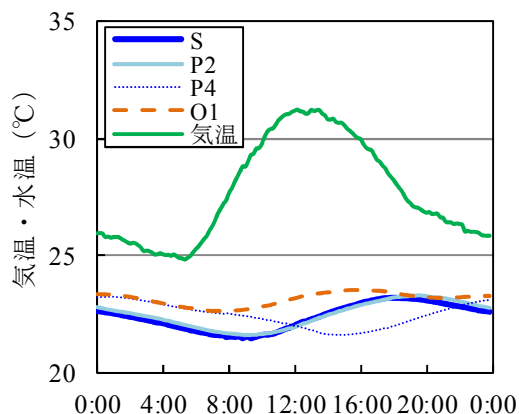


図 2 2011 年出穂期後 20 日間の時刻ごとの平均水温および気温（アメダス春江）

考えられる。

水路水温の変化を比較すると、S と P2 はほとんど一致する変化を示しており、S と P4 は時間差を伴ってほとんど一致する変化を示している。一方開水路を通る O1 はこれら 3 地点とは変化が異なり、昼に温度が上昇する傾向がみられ、結果として 1 日に 2 回ピークが発生している。各水路地点における河川取水口との定量的に評価するために、各地点の最高水温を記録する時刻を起点として水温差を求め、平均値および標準誤差を図 3 に示した。パイプライン水路で流下する P2 および P4 地点の水温を河川取水口と比較するとほとんど水温差を生じていない。すなわち、パイプライン水路では日射等の周辺温度の影響をほとんど受けることなく末端まで到達しているといえる。ただし、P2 と P4 を比較すると水温差は P4 の方が大きい一方で、標準誤差は P2 の方が大きくなっていることから、流下過程で混合等が生じ水温が平準化されている可能性が考えられる。開水路を流れる用水は、上述のように昼の昇温がみられることから、水温差、標準誤差ともにパイプライン水路と比較して大きな値を示している。河川取水口から P4 と O1 はほとんど同じ距離であるが、水路の形態によって水温の変化が大きくなるといえる。

(2) 冷水を確保できる時間帯

灌漑用水の温度は 1 日の中で変化するため、灌漑水温が田面湛水の温度よりも高い場合は、高温障害を回避することを目的とした灌漑を行えず、むしろ灌漑により高温障害の発生を助長することとなる。このような灌漑を避けるためには、水温の変化を考慮した灌漑時間帯の設定が必要であると考えられる。時間帯の設定として、対象地で取組が始められ

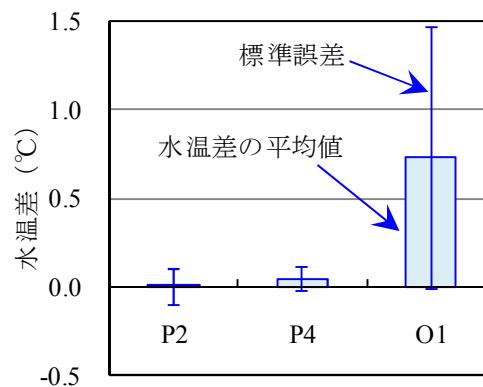
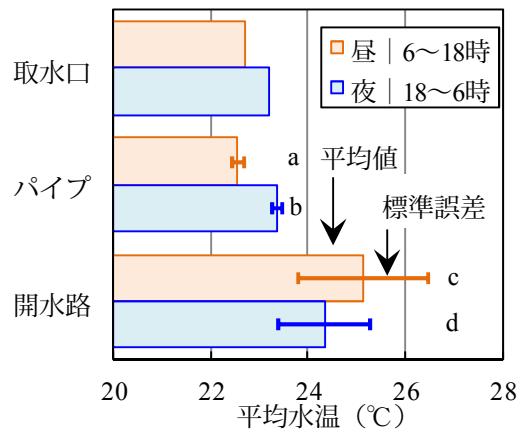


図 3 2011 年出穂期後 20 日間の水路と河川取水口の水温差の平均値と標準誤差



注：図中の異なるアルファベットはt検定（両側）により有意水準5%で棄却できることを示している。

図4 2012年出穂期後20日間の時間帯・用水路形態ごとの平均水温と標準誤差

ている夜間灌漑を想定して、昼間（6～18時）と夜間（18時～翌日6時）に分けて、パイプラインと開水路における水温の平均をそれぞれの時間帯で算出し、取水口の水温と合わせて図4に示した。結果は、水路形態または昼夜の違いにより平均水温が有意に異なった。水路形態の違いでは、パイプライン水路は昼夜いずれも開水路に比べて水温が低く、夜間の開水路よりもパイプライン水路の昼間または夜間の水温の方が低い。また、パイプライン水路は開水路に比べて水路間のばらつきが小さい。すなわち、パイプラインシステムは、安定的に低水温の用水を地区全体にわたって供給できるシステムであるといえる。

反面、開水路の場合、夜間に比べて昼間の気温が有意に高くなり、かつ、パイプライン水路の夜間または終日の平均水温よりも高くなるため、パイプライン水路と同等の水温を確保するためには18時～翌日6時に限らず、より水温の低い時間帯を計測等に明らかにした上で、灌漑を行うことが求められる。また、開水路では地点による平均水温のばらつきが大きいため、高温登熟障害が回避できる灌漑が可能な時間帯も地点によって異なると考えられるため、定期的な観測に基づいた用水管理を行う必要があると考えられる。

引用：宮野法近、国分牧衛：宮城県における水稲玄米品質低下要因の解析、日本作物学会紀事、78(2)、2009、225-233

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計1件）

- (1) 大塚直輝、坂田 賢、パイプラインを利用した夜間灌漑実証試験、水土の知（農業農村工学会誌）、査読有、81巻4号、2013、35-38

〔学会発表〕（計4件）

- (1) 坂田 賢、福井県九頭竜川下流地区で実施した夜間灌漑と地温低下の関係、農業農村工学会第69回京都支部研究発表会、2012年11月21日、新潟市
- (2) 坂田 賢、日中と夜間の取水による水田水温の相違、農業農村工学会大会講演会、2012年9月19日、札幌市
- (3) 坂田 賢、水田地帯における広域の水路網を対象にした水温測定、農業環境工学関連学会2012年合同大会、2012年9月13日、宇都宮市
- (4) S. Sakata、Measurement of water temperature in the open canal, pipeline and paddy fields to secure cool water in summer in northern Fukui, Japan, International Council on Irrigation and Drainage (ICID) 63rd International Executive Council Meeting and the ICID 7th Asian Regional Conference、2012年6月27日、オーストラリア連邦 アデレード市

6. 研究組織

(1) 研究代表者

坂田 賢 (SAKATA SATOSHI)

独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構 農村工学研究所・農地基盤工学研究領域・研究員

研究者番号：00584327