

機関番号：32658
研究種目：基盤研究（C）
研究期間：2008～2010
課題番号：20580268
研究課題名（和文） 冬季代かき乾田直播栽培による節水型水利システムの構築と圃場環境の改善に関する研究
研究課題名（英文） Construction of the Water Saving System and Improvement of the Rice Paddy Lot Environment Applying a Winter Puddling and Direct Seeding Culture on Well-Drained Rice Paddy Field
研究代表者 中村 好男（NAKAMURA Yoshio） 東京農業大学・地域環境科学部・教授 研究者番号：40078192

研究成果の概要（和文）：冬季代かき乾田直播栽培の導入が節水型水利システムの構築にどのように貢献し、あわせて圃場環境改善の効果をもたらしているのかについて研究を行った。その結果、灌漑期初期において 20～30%の節水効果を発揮しており、さらに深水無落水灌漑を取り入れることによって水温や地温が安定し、水環境が保全されていた。また、灌漑期間中の有効雨量が増加し、水田圃場内での保水機能が増加していることが明らかになった。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is to clarify how to construct of the saving water system and to improve of rice paddy field lot environment applying a winter puddling and direct seeding culture on well-drained rice paddy field. As a result, it was clarified that 20～30 percent of water was saved and irrigation water and soil temperature were stabilized and water environment was preserved applying the deep ponding and non-ponding release irrigation systems. Furthermore, it was clarified that the functions of effective rainfall and storage water were increased.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2009 年度	500,000	150,000	650,000
2010 年度	700,000	210,000	910,000
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究代表者の専門分野：水資源利用，水環境，灌漑システム，土地改良

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：冬季代かき，V溝乾田直播栽培，深水無落水灌漑，水管理，節水型水利用，用水量，圃場環境，水質

1. 研究開始当初の背景

近年、わが国では耕作放棄地の拡大が見られる中で農地の利用集積のために各種の施

策が実行されている。また、農業経営の効率化対策の一環として農業用水の冬季通水を利用して冬季に代かきを行い、その後乾田直

播栽培を行うことで労働力の分散化を図る取り組みが実施されている。こうした水田農業地帯の中には、都市化や工業化が進み水需要の急増によって水資源が逼迫し、渇水条件下において恒常的に農業用水の取水制限を強いられ、土地改良区や水利用者による水管理労働の増加が問題となっているところもある。

このように不安定な水需給構造を有する水田灌漑地区の中で、冬季通水を利用した冬季代かき乾田直播栽培を積極的に導入することによる節水型水利システムの構築が図られている。今まで、乾田直播栽培水田における減水深や用水量の変化についての研究事例はあるが、冬季代かきを取り入れた乾田直播栽培での用水量の変化についての研究はみられない。さらに、付加価値を有した農産物の生産体系の確立のための圃場環境の改善対策の視点からの研究アプローチは国内では希少である。

2. 研究の目的

冬季代かき乾田直播栽培の導入地区では、一般に水利用ピークの緩和や圃場内での雑草抑制ならびに水質環境保全についての認識はあるものの、それらの詳細な実証的研究は行われていない。そこで本研究では、恒常的な取水制限を強いられている愛知県矢作川流域での水需給調整に当たって、冬季代かき乾田直播栽培の導入が節水型水利システムの構築にどのように貢献し、あわせて良質で安全な米の栽培ならびに雑草抑制や水質保全効果を目指した新しい水管理技術の構築によって圃場環境がどのように改善されるのかを明らかにするものである。

3. 研究の方法

研究目的を達成するために、平成 20 年度

から 22 年度までの 3 年間に於いて以下の通り研究を実施する。

平成 20 年度では、矢作川から取水する S 用水受益地区内において、冬季代かき乾田直播栽培導入地区の中で、圃場内での湛水深変動を観測し減水深と用水量について検討する。あわせて、矢作川からの農業用水の取水実績から作付けステージごとの用水需要特性を検討する。圃場環境に関しては、灌漑ブロック内での冬季代かき乾田直播栽培水田において、土壌の物理性と化学性について分析し、水田土壌構造の特性を把握する。また、深水管理水田と慣行栽培水田において、湛水深や水温、地温等の変動を自記水位計ならびに自記水温計にて観測する。さらに、灌漑ブロック内および水田圃場内の水質を測定し、冬季代かき時ならびに灌漑期における水田排水の水質特性を把握する。

平成 21 年度の研究は、平成 20 年度と同様の研究を継続して行う。平成 22 年度の研究方法は 3 年間の研究成果をふまえて、冬季代かき乾田直播栽培の導入が節水型水利システムの構築にどのように貢献し、あわせて雑草抑制や水質保全効果を目指した新しい水管理技術の構築によって圃場環境がどのように改善されたのかについて総合考察を行う。

4. 研究成果

(1)不耕起 V 溝乾田直播栽培による稲作農業の導入

近年の温暖化現象に伴う影響を考慮した新しい稲作が実践されている愛知県三河地方は、中部圏の自動車産業を中心とした工業都市として発展してきたために豊富な就業機会があり、兼業化が進んだ。そこで、効率的な稲作を行うために検討されたのが水稲の乾田直播栽培である。この栽培の特徴は、

冬季（10月～翌年2月）に代かきをして田面を均平にし、完全に乾ききらずにある程度湿り気のある3月～4月にV溝播種機を駆動して幅2cm、深さ5cm程度のV次型の溝を掘り、そこに10a当たり6kgの種子と肥料（尿素）を同時に播種しその上に土を被覆していくことにある。これによって肥料の吸収度を高めると同時に、カラスやハト、スズメなどが種籾を食い尽くす鳥害から回避できるという独特の農作業体系が平成14年に確立した。これらを総称して当地方では不耕起V溝乾田直播栽培とっている。

平成12年から17年の5年間の不耕起乾田直播栽培面積の増加率を見ると、愛知県全体では3.8倍であったのに対して三河地方では6.6倍と高い普及率となっている。この栽培方法は平成15年以後、新潟県、石川県、富山県、兵庫県などで普及が始まったほか、青森県では寒冷地の適応性が検討され、さらに山形県、長野県、茨城県などでは実証試験が進められている。

(2) 冬季代かき導入の背景と効果

本地域では昭和37年度以後平成17年度まで灌漑用水路の管水路化事業が継続的に行われ、このことによって冬期取水が実質的に中断されてきた。そして、平成18年度に冬期取水のための試験通水が行われることになり、冬期通水の一部を利用した冬季代かき乾田直播栽培が可能となった。冬季に代かきを行うことによる利点は、①作期の分散、②雑草の生育抑制、③過剰な浸透水の抑止、④有機物の分解、⑤小生物・微生物の多様な生息環境の創出、⑥冬季における田面の乾燥化の抑止、⑦地下水の涵養などである。なお、農業経営の面で冬季代かき乾田直播栽培の技術の導入を図った最大の根拠は①の「作期を分散する」ことにあった。この結果、春に行われる代かき・田植え期の労働力のピーク

を緩和する効果が生まれた。

(3) 環境に配慮した代かき作業と水管理

冬季代かき作業に当たっては、水田からの濁水の流出を抑えるために落水口の止め板を調節せずに蒸発および浸透のみによる自然減水を心がけている。一方、田面の乾きが悪い場合やその後の播種作業までの期間が短い場合には強制落水をすることがある。その際には濁水が中小河川へ排出され汚濁負荷を与えることが懸念されるので、代かき作業における機械の運転速度を遅くしたり、塩化カリ（10～15kg/10a）を用いて濁水の沈殿を促進させたりしている。

(4) 環境保全型農業の実践

乾田直播栽培のもとに本地域で栽培されている主な米の品種はコシヒカリで、愛知県のブランド米として「いきいき愛知認証米」の名称がつけられている。この認証米は化学合成農薬の使用回数を移植栽培の5割以下に抑えるとともに地力増進に努め、さらに化学合成肥料の施用を控えて環境保全に留意しながら稲を健全に育てることを目的としている。

一般的な移植栽培と本栽培方法を比較すると、10a当たりの総化学合成窒素施肥量は前者が10kgであるのに対して後者が6kg、種子消毒ならびに病害虫・雑草防除薬剤成分数は前者が15であるのに対して後者は7と、本栽培方法によって環境保全型農業を実践していることがわかる。本栽培方法による10a当たりの労働時間数は約6時間と移植栽培に比べて約40%もの省力化が可能となっている。水稻収量は10a当たり約420kgで、本地域の移植栽培水田のそれが約500kgであるのに比べて少ない。これは、米の食味を落とさないために化学肥料を削減していることが主たる要因である。なお、収穫米のタンパク含

有量は 7.4% で総合食味値は 91 であった。

(5) 調査圃場の土壌特性

調査圃場における作土と耕盤の土壌特性を表 1 に示す。真比重は 2.65 前後、自然含水比は 25~28%、乾燥密度は $1.3\sim 1.5\text{g/cm}^3$ 、間隙率は 43~50%、三相割合については、固相が 50~57%、液相が 37%、気相は 6~13% であった。透水係数は作土では 10^{-3} 、耕盤では 10^{-5} のオーダーとなり、作土では砂質土壌、耕盤ではシルト質土壌の特徴を示す数値が得られた。

表 1 調査圃場の土壌特性

深さ	真比重	自然含水比 (%)	乾燥密度 (g/cm^3)	間隙率 (%)	三相割合 (%)			透水係数 (cm/s)
					固相	液相	気相	
作土	2.64	28.2	1.31	50.4	49.6	36.9	13.4	1.1×10^{-3}
耕盤	2.65	24.8	1.50	43.4	56.6	37.2	6.2	1.2×10^{-5}

(6) 深水無落水灌漑による圃場環境の改善

① 灌漑の特徴

三河地方で大規模な農業経営を行っている農事組合法人の水田圃場を利用して、深水無落水灌漑の実証試験を平成 20・21 年度に行った。この灌漑の特徴は、冬季代かきと播種作業を行った圃場において、発芽して 20cm 程度の大きさに苗が成育したら灌漑水を注入し、その後稲の生育にあわせて水田内に水を張る水深を一般より 2 倍以上大きい 20cm 程度にし、さらに灌漑期間中は中干しを行わず収穫直前まで貯留状態にするものである。各圃場には自動給水栓が設置されていて、これで一定の湛水深に設定することができる。排水は圃場の落水口に設置されたコンクリート柵の止め板と塩ビパイプを通じて行うが、無落水かんがいの場合、降雨時にも落水口からの排水をほとんど行わず刈取り前に初めて落水をする。したがって水田の

畦畔高は 30~40cm と移植栽培水田の 20cm より大きい。

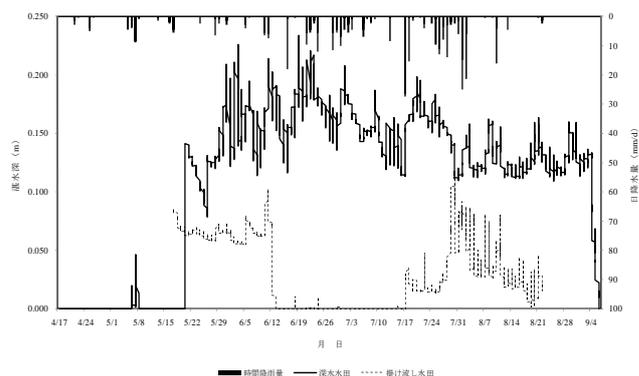


図 1 灌漑期の湛水深変動 (2009 年)

図 1 は平成 21 年の灌漑期間における深水無落水水田 (5 月 19 日~9 月 3 日) と、移植栽培水田での掛け流し灌漑 (4 月 1 日~8 月 18 日) の時間単位の湛水深と降水量の関係を示したものである。深水水田では最大 23cm、平均 15cm の湛水深であった。掛け流し水田では中干し期間を除いて最大 11cm、平均 4cm の湛水深であった。

② 深水無落水灌漑の効果

深水無落水灌漑は、灌漑期間中にもたらされる降雨がすべて圃場内に貯留され、その貯水量は水田の畦畔高が大きいので移植栽培水田よりも多い。したがって、水源の河川が渇水になっても圃場内に貯留された水量が長い時間保水されることになり、その分農家にとっては水に対する不安が少なくなるという心理的效果がある。

また、水生雑草の代表であるヒエは水中の溶存酸素を必要とすることから、深水でかつ常時湛水状態にすることによって溶存酸素濃度を低下させ、ヒエの繁茂を抑制することができる。さらに、一般に行われている浅水による灌漑方法では高気温 (30°C 以上) が続く場合には水温の上昇によって無効分げつが進み、さらに稲穂の付きが悪くなりやすいことから、深水にすることによって水温の上

昇度を低下させ、無効分げつを抑制する効果が期待されている。さらに、脱窒作用などによる窒素成分の削減やこまめな水管理作業が不要であることから水管理労働の省力化につながっている。なお、移植栽培では中干しによって断水と給水という作業を強制的に行うことで根に活力をつける手法を用いるが、乾田直播栽培では圃場は湛水後も充分固く、移植栽培に比べ水田土壌の還元化の進行も小さいため中干しは不要である。このため、中干し終了直後の大量の灌漑用水の需要ピークを緩和させることができる。

③圃場内での水温・地温環境

深水無落水水田の水温と地温の変動について、掛け流し灌漑水田と比較検証してみた。圃場内の水温は深水水田では水深が大きいので表層部と田面の2カ所で測定した。平成21年の灌漑期間中の気温は13~35℃で推移した中で、水口では表層部が16~38℃、田面が15~32℃、水尻では表層部が17~38℃、田面が17~36℃となり、いずれも表層部より田面の方の水温が低かった。掛け流し水田では水深が浅いので田面のみで測定したが、水口は16~38℃、水尻は16~36℃であった(表2)。両水田を比較すると、田面の水温において深水水田の方が最大値で0.4~5.2℃低い状況であった。このことから、深水灌漑による水温維持の効果が現れていると考えられる。

一方、地温については最大値で深水水田の水口の方が3℃低い状況であったのに対して、水尻において最大値でほぼ同じであった(表3)。なお、地温が上昇すると土壌中の窒素の無機化が進むが、一般に水田地温が10℃程度から無機化が認められ、20℃以上で大きくなり、30℃では20℃の約3倍を示すといわれる。土壌中の窒素の無機化が増進すると米のタンパク含有量が増加し食味の低下につながる。深水無落水水田では地温の上昇を抑制す

る効果が見られることから、深水灌漑の役割は大きいと考える。

表2 圃場内での水温変動統計値

測定項目	統計項目	深水水田				掛け流し水田	
		水口表層	水口底部	水尻表層	水尻底部	水口	水尻
水温(℃)	平均	25.6	24.7	26.6	26.4	23.5	25.0
	最大	38.0	32.3	37.6	35.7	37.5	36.1
	最小	14.7	15.4	16.8	16.8	15.7	16.1
	標準偏差	3.9	2.9	3.2	2.8	3.5	3.4

表3 圃場の地温変動統計値

測定項目	統計項目	深水水田		掛け流し水田	
		水口	水尻	水口	水尻
地温(℃)	平均	23.9	26.0	23.1	24.7
	最大	27.0	30.2	30.0	29.9
	最小	16.6	20.5	17.0	18.3
	標準偏差	2.0	1.6	2.6	2.3

④圃場内の水質環境

灌漑期間の両水田圃場内の水質環境について、自動給水栓からの注入水のほかに水口と水尻付近の貯留水を対象に調査した。調査した水質の項目と水質基準値は、pH(6.5~8.5)、DO(溶存酸素:5mg/L以上)、EC(電気伝導度:30mS/m以下)、SS(浮遊物質:100mg/L以下)、COD(化学的酸素要求量:6mg/L以下)、T-N(全窒素:1mg/L以下)である。調査結果の平均濃度を図2に示す。

両水田では、pH、EC、SSについては基準値内の水質濃度であった。深水水田ではDOが1.5~7.5mg/Lで極度に低くなる時期があり、CODは2~23mg/L、T-Nは0.5~2.4mg/Lといずれも基準値より高くなる場合があった。掛け流し水田でも同様の傾向を示したが、深水水田よりも水質濃度が高い状況であった。このように灌漑期間中に圃場内で有機物や窒素成分が高濃度となることはあったが、深水無落水灌漑水田においては貯留水が圃場外へ排出される頻度は掛け流し灌漑水田よりもかなり少ないことから、環境に配慮した灌漑技術といえる。

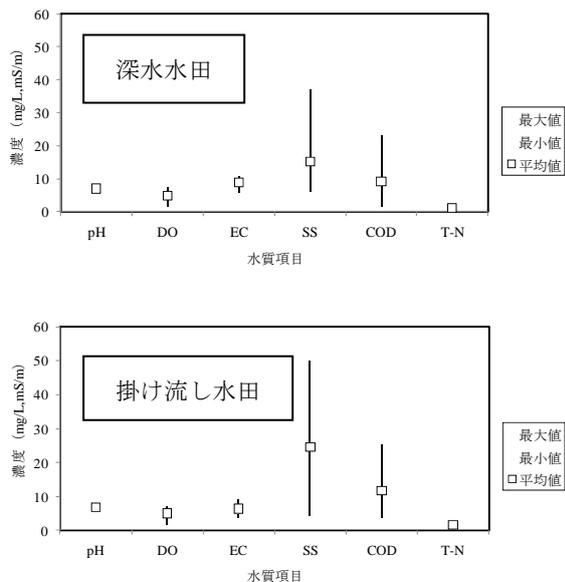


図2 圃場内の水質環境

⑤排水路の水質環境

調査地区における排水路の水質環境について、平成20年と21年の2カ年間の平均値を示すと、DOは6.1mg/L、pHは7.2、ECは8.2mS/m、SSは21mg/L、CODは3.9mg/L、T-Nは1.4mg/Lと全体的に良好な結果が得られた。これは、前述したように水田からの排水の水質環境に影響されていることによるものと考えられる。

(7)湛水深の変動からみた水管理特性

圃場内での給水量と消費水量の動態から深水無落水灌漑における水管理特性について検討した。水田水口の自記水位計によって測定された湛水深の変動から、給水開始および給水終了時を推定し、給水量ならびに給水総量を算定した。また、最高水位になってから徐々に減水し、最低水位になるまでの時間差から消費水量と日減水深を算定した。なお、無降雨期間中は圃場内では落水口からの排水が行われていないという前提で検討した。

検討の結果、平成20年の灌漑期において、無降雨期間中に水口からの給水は1~6L/sの範囲で行われ、給水総量は1,432m³となった。

一方、消費水量の総量は1,420m³となり、減水深換算値では6~12mm/dの範囲で変動し、平均で約9mm/dとなった。このことから、水管理については基本的に自動給水栓による給水形態であるために、水位を設定するのみで常に一定の湛水深を維持することができるが、前述したように灌漑期間中は落水口からの排水がほとんど行われないうために、減水した分を補給するという水管理の状況が給水量と消費水量の関係から明らかになった。

なお、灌漑期間中は圃場が貯水池状態となっていることから、総降雨量が圃場に保水されたと考えると有効雨量は1,405mmに及ぶことがわかった。一般の灌漑計画で用いられる日雨量5~80mm/dの80%値で計算すると1,011mmであったので、およそ300mmの降雨量が有効雨量として加算されていたことになる。この結果、この灌漑方法は灌漑期間中にもたらされる降雨がすべて圃場内に貯留され、水源の河川が渇水になっても圃場内に貯留された水量が長い時間保水されることになり、その分農家にとっては水に対する不安が少なくなるという心理的効果があることが判明した。

(8)節水型水利用の実態

平成20年度から22年度の3年間における農業用水の水利用の実態について、水利管理データを入手して解析を行った。その結果、図3に示すように、S用水地区では灌漑期間中の取水量のピークがいずれの年も7月初旬の中干し終了後に現れていた。そして、4月末から5月初旬の代かき・田植え時のピーク取水量が、この中干し終了後のピーク取水量に対して20~30%減少していることが判明した。このことから、冬季代かきが節水型水利用に貢献していることが明らかになった。

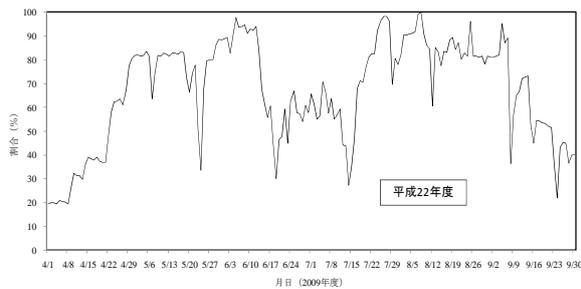
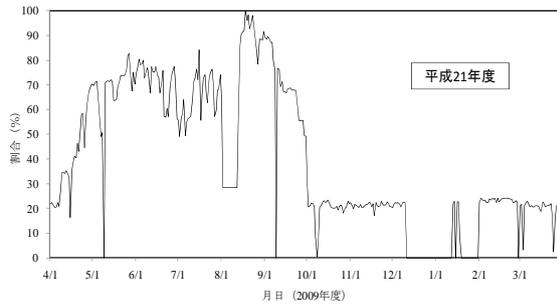
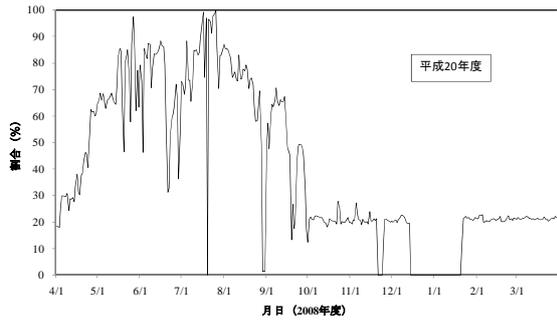


図3 最大取水量に対する取水量割合

(9)おわりに

本研究では、河川水の効率的かつ水環境保全にかかわる季代かき不耕起 V 溝乾田直播栽培と深水無落水灌漑を組み合わせた環境に配慮した新しい稲作技術を紹介した。これらの技術は地域の土地資源や水資源を巧みに活用して生まれたもので、近年、国内外での大きなテーマとなっている食の安全、安心を支えるための環境付加価値水田農業の構築に貢献するものと考え。また、地球温暖化にともなう気候変動が降水量や河川の流況変動を引き起こし、農業生産システムに影響を及ぼすことが懸念されている現在、本研究が節水型ならびに効率的水利用システム

の構築のために参考となることを期待するものである。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

- ① 中村好男、乾田直播栽培水田における深水無落水灌漑と水環境、水利報、査読無、第22号、2011、28-35

〔学会発表〕(計2件)

- ① 中村好男・駒村正治・中村貴彦、冬季代掻き乾田直播栽培水田における深水無落水灌漑と圃場環境、平成21年度農業農村工学会講演会(筑波大学)
- ② 中村好男・駒村正治・中村貴彦、愛知県三河地方における深水無落水による水田灌漑と圃場環境、平成22年度農業農村工学会講演会(神戸大学)

〔図書〕(計1件)

- ① 中村好男他、共立出版、環境保全型水田農業と灌漑技術、食と農と資源－環境時代のエコ・テクノロジー、2010、2-13

6. 研究組織

(1)研究代表者

中村好男 (NAKAMURA YOSHIO)
東京農業大学地域環境科学部・教授
研究者番号：40078192

(2)研究分担者

駒村正治 (KOMAMURA MASAHARU)
東京農業大学地域環境科学部・教授
研究者番号：60078194
中村貴彦 (NAKAMURA TAKAHIKO)
東京農業大学地域環境科学部・講師
研究者番号：10287451

(3)連携研究者

無