

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 9 月 18 日現在

機関番号：23303

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25660192

研究課題名(和文) 水稻の節水栽培と高温障害抑制を両立する水管理手法の開発

研究課題名(英文) Effects of saturated irrigation on soil environment and rice quality

研究代表者

藤原 洋一 (Fujihara, Yoichi)

石川県立大学・生物資源環境学部・准教授

研究者番号：10414038

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：水稻の高温障害対策として、湛水をせずに土壤を常に湿潤状態に保つ水管理(飽水管理)が推奨される場合があるが、飽水管理による玄米品質への影響を報告した事例はほとんどない。そこで、湛水区と飽水区を用いて栽培試験を行い、地温などの土壤環境、玄米品質の違いについて考察した。その結果、飽水管理では最高地温は0.5℃高く、最低地温は0.5℃低い結果となった。飽水管理が品質に及ぼす影響は、遅植などによる高温回避の効果よりは小さいが、同じ気象条件下では整粒率の向上、基部未熟粒などが減少する傾向にあり、用水供給側に関係なく適用できる節水栽培であることから、同法は高温障害対策として有効な水管理の一つと考えられた。

研究成果の概要(英文)：Saturated irrigation is recommended as a means of preventing high temperature ripening disorder in rice. However, the effects of saturated irrigation are not fully understood. We investigated the differences between the soil temperature and rice quality irrigated by flooding and by saturated irrigation. The maximum soil temperature of paddies under saturated irrigation is 0.5℃ higher than that of paddies under flooding irrigation, while the minimum soil temperature under saturated irrigation is 0.5℃ lower than that under flooding irrigation. Although the effects of saturated irrigation on rice quality are less significant to those of late planting, rice quality was higher in saturated irrigation paddies than in flooding irrigated paddies. Moreover, this irrigation method can be implemented regardless of the local water supplies, because it requires lesser water. Thus, saturated irrigation is an effective water management that can be implemented in response to climate changes.

研究分野：地域環境工学・計画学

キーワード：水田灌漑 高温登熟障害 飽水管理 地温 水温 酸化還元電位 玄米品質 温暖化適応策

### 1. 研究開始当初の背景

温暖化の影響と思われる高温により玄米品質が低下する、いわゆる高温登熟障害が頻発しており、対策技術の確立が求められている。水管理による高温登熟障害対策としてはかけ流し灌漑が最も知られており、蓄積された知見は比較的多い。たとえば、長田ら(2005)は、出穂後20日間のかけ流し灌漑で水温、地温が低下して胴割粒が約10%減少する結果を示している。また、小室ら(2009)は、出穂期以降の連続通水により水田水温の上昇を抑制することで、基部未熟粒の割合が減少し玄米外観品質が向上することを報告している。

このように、高温障害対策として、かけ流し灌漑の有効性はかなり認められているといえるが、大量の灌漑用水が必要となることから、水利権や水利施設容量が制約となり、土地改良区などの用水供給側は灌漑用水量の変化に十分対応できないことが多いと指摘されている(友正、2009)。また、たとえ用水量の増加に対応できる地区であっても、灌漑水の温度が気温よりも高温の場合は、かけ流し灌漑の効果が低いことも予想される。したがって、かけ流し灌漑を高温障害対策として効果的に適用できる地区は、かなり限定されているのが実態である。

### 2. 研究の目的

かけ流し灌漑を行うことができない地区においては、湛水をせずに土壌を常に湿潤状態に保つ水管理(以下ここでは、飽水管理と呼ぶ)が次善の策として推奨されている場合がある(永島、2005; 友正、2009)。飽水管理のメリットとして、土中に酸素を供給できること、株元の温度及び地温が下がること等が想定される。しかしながら、飽水管理条件下における地温の低下量、土壌の酸化還元状態、玄米品質への影響などについて報告した事例はほとんどなく、飽水管理の効果はあまり研究されていない。そこで、本研究では、湛水状態を続ける湛水区と湛水をなくし飽和状態を保つ飽水区を用いて栽培試験を行い、地温、酸化還元電位といった土壌環境、玄米品質を比較し、さらに、出穂後の平均気温と玄米品質との関係について考察することで、飽水管理の有効性について検討した。

### 3. 研究の方法

(1) 試験方法: 本研究では、国際農林水産業研究センターの八幡台試験圃場(茨城県つくば市)を利用した。本圃場は、火山灰土壌の上に、軽埴土の水田土を表土(厚さ30cm)とした造成水田である。試験には一筆5aの水田の中央を波板でしっかりと区切り、湛水区2.5a、飽水区2.5aの試験圃場を用意した。供試品種は、コシヒカリ、日本晴とした。施肥は、全量基肥として速効性NPK肥料(N: 3g/m<sup>2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 6g/m<sup>2</sup>、K<sub>2</sub>O: 4.2g/m<sup>2</sup>)、緩効性N(ホルムウレア40%)を4gN/m<sup>2</sup>施用した。両

区、両品種ともに5月18日に田植えを行い、その後は両区とも湛水管理を行って、低温による生育障害の恐れがなくなったと判断した6月29日からコントロールを開始した。湛水区では湛水深がおおよそ5cmを維持するように水管理し、飽水区では飽水状態を保つように水管理を行った。コシヒカリは8月8日出穂し、日本晴はこれより約10日遅い8月17日出穂期を迎えた。8月28日からは収穫作業に備えて土を固めるために両区とも落水し、9月下旬に収穫して収量、玄米品質調査を行った。なお、玄米品質は、穀粒判定機(サタケ: RGQ110B)を用いて、整粒、胴割、乳白粒、基部未熟粒、腹白に分類した。

(2) 観測方法: 試験圃場に気象観測機を設置して、降水量、温湿度、風向風速、日射量を10分ごとにモニタリングした。各圃場の給水口に口ガー付き水道メータを設置して、各圃場への給水量を測定した。さらに、各圃場に地温計(土中5cm)、水温計(水面)、テンシオメータ(土中10cm)をそれぞれ3反復(水口、中央、水尻)設置して、1時間間隔でデータを記録した。また、水口と水尻には、水位ロガーを設置して、湛水位の連続観測を行った。なお、酸化還元電位については、白金電極(藤原製作所、EP-200)を2深度(表層、土中7cm)、3反復(水口、中央、水尻)常時埋設し、おおよそ1週間に1回の頻度で定期的に手動モニタリングした。

### 4. 研究成果

(1) 結果: 試験を行った年の6~8月における月降水量は、138mm、184mm、142mmであったのに対して、平年値は、133mm、127mm、130mmであることから、月降水量は、5~57mm平年を上回っていた。また、6~8月における月平均気温は、21.4、25.9、26.1であるのに対して、平年値は、20.2、23.9、25.5であり、月平均気温は0.6~2.0平年より高温状態であった。なお、試験期間中の最高気温の上位3番は、37.1(8月12日)、36.9(8月11日)、36.1(8月10日)であり、最高気温が35を超えた日数は合計で14日間であった。

湛水区と飽水区における水位変化を見ると、湛水灌漑区では水位が3~6cmに保たれているのに対して、飽水区では水口側における水位がマイナス数cmになっている場合も生じており、マトリックポテンシャルも-10~-15kPa(約pF<sub>2</sub>)となり、水ストレスが生じた可能性があることが分かった。7月下旬から8月下旬まではマトリックポテンシャルがほぼ0kPaであり、水位も湛水が生じるか生じないかの境目で推移していることから理想的にコントロールできていた。

飽水区と湛水区の差(最高地温差、および、最低地温差)に着目すると、最高地温については飽水灌漑の方が湛水灌漑より高く推移しており、最低地温については飽水灌漑の方

が湛水灌漑より低く推移していることが分かった。なお、全期間の平均で見ると、飽水灌漑では最高地温は 0.55 高く、最低地温は 0.44 低い結果であり、理想的にコントロールできていた 8 月と比較すると、飽水灌漑では最高地温は 0.5 高く、最低地温は 0.5 低い結果となった。

次いで、気温・地温の日変化に注目し、日変化が典型的な日であった 8 月 14 日に着目した(図 1)。早朝 5:20 に湛水区と飽水区の地温差が最も大きくなり、0.39 飽水区の方が温度低下していた。しかしながら、夜明けとともに日射が到達するようになると、飽水区における地温は急速に上昇し、午後 13:30 に地温差は最大の 1.49 となった。

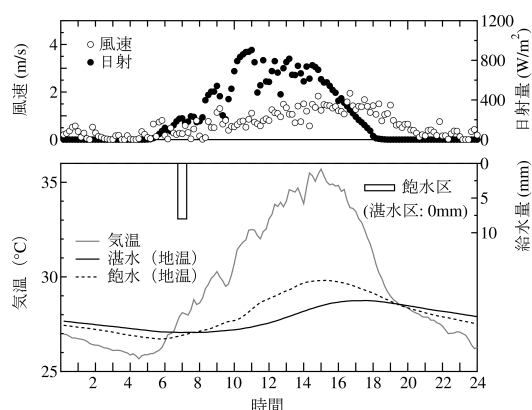


図 1 気温・地温の日変化(8月14日)

さらに、酸化還元電位の変化を調べたところ、作土 7cm の酸化還元電位を見ると、湛水区では -50 ~ -200mV となっており還元状態であるのに対して、飽水区では 100 ~ 500mV となっており酸化的な土壌環境であった。

さらに、整粒率の比較結果、および、玄米品質の比較結果を検討した。まず、整粒率を比較すると、コシヒカリでは湛水区 40.3%、飽水区 42.1%、日本晴では湛水区 67.5%、飽水区 69.5%となっており、有意差はなかったものの飽水管理の方が整粒率が高い結果となった。また、玄米品質について見ると、有意差はないもののほとんどの項目に関して飽水管理の方が品質が向上する傾向が見られた。たとえば、コシヒカリの基部未熟粒の割合は湛水区 18.3%、飽水区では 15.3%、乳白粒の割合は湛水区 11.0%、飽水区では 10.3%であった。これらの結果から、湛水区と比較して、湛水をなくし飽水状態を保つ飽水管理によって玄米品質が向上する可能性が示唆された。

(2) 考察：飽水管理によって、整粒率、基部未熟粒、乳白粒などの玄米品質が改善される可能性が示唆されたが、いずれもその改善率は数%に過ぎない。また、かけ流し灌漑による玄米品質の向上率について既往の結果を見ても、極端なコントロール試験の場合には 10%程度の向上が見られる場合はあるもの

の、水管理による玄米品質への影響は数%程度を議論していることがほとんどのようである。一方で、本試験におけるコシヒカリと日本晴の整粒率で比較すると、両者の差は 30%近くもあることが分かった。ここでは、この点に絞って考察を加える。

表 1 出穂後の平均気温( )

出穂後	コシヒカリ	日本晴
10 日間	29.0	25.3
20 日間	27.0	25.4

コシヒカリ、日本晴、それぞれの出穂日から 10 日間、および、20 日間における平均気温をまとめた(表 1)。森田(2011)は、出穂後 20 日間の平均気温が 26 ~ 27 を超すと白未熟粒が増加し、品種などによって若干異なるが 26.5 が目安になるとしている。この 26.5 を閾値としてまとめた平均気温を見ると、出穂が 8 月 8 日のコシヒカリの場合は閾値を超えているのに対して、日本晴の場合は閾値を下回っていることが分かった。また、出穂直後の 10 日間で比較すると、コシヒカリの場合は 29.0 にも達しており、日本晴との差は 4.7 もあることが分かった。よって、本試験におけるコシヒカリと日本晴の極めて大きい玄米品質の差は、登熟期における温度環境の違いに起因すると考えられる。そのため、コシヒカリの場合、10 日程度の晩植によって高温を回避していれば、整粒率の低下を防げた可能性がある。

以上のことから、試験年のように厳しい温度環境時においては、遅植などによる高温回避策と比較すると水管理による効果は小さいと推察される。しかしながら、同一の温度環境で比較すれば飽水管理によって玄米品質が向上する傾向にあることから、飽水管理は高温障害対策の一つとして有効である可能性がある。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 6 件)

荒川舞・藤原洋一・高瀬恵次・長野峻介・一恩英二：衛星データを利用した 2 期作、3 期作地域ごとの水稲収量推定方法の検討：ベトナム・メコンデルタを対象として、日本農業気象学会北陸支部会誌、No.40、8-11、2015(査読無)

藤原洋一・菊池拓也・小倉晃・高瀬恵次：小型温度データロガーを利用した水文観測の試み - 湛水位および積雪深の観測 -、応用水文、No.26、pp.138-146、2014(査読無)

藤原洋一・佐藤嘉展・星川圭介・藤井秀人：気候変動や人間活動が水文・水環境に及ぼす影響 - 手取川流域およびメコンデルタを対象として -、作物研究、Vol.59、

pp.49-53、2014 (査読有)  
藤原洋一・鳥山和伸・藤井秀人：夏期の飽水管理が土壌環境と玄米品質に及ぼす影響、農業農村工学会誌、Vol.81、No.4、pp.273-276、2013 (査読有)  
藤井秀人・藤原洋一・星川圭介：メコンデルタ洪水常襲稲作地域におけるフルダイク化の進展とその影響、農業農村工学会論文集、No.285、pp.67-74、2013 (査読有)  
Yoichi Fujihara, Ryuichi Yamada, Masato Oda, Hideto Fujii, Osamu Ito, Junichi Kashiwagi: Effects of puddling on percolation and rice yields in rainfed lowland paddy cultivation: Case study in Khammouane province, central Laos, Agricultural Sciences, Vol.4, No.8, pp.360-368, 2013 (査読有)

〔学会発表〕(計 8 件)

荒川舞・藤原洋一：衛星データを利用した水稻収量の時空間変動解析 - メコンデルタを対象として -、2015 IPU セミナー、野々市、2015 年 3 月 6 日  
荒川舞・藤原洋一・高瀬恵次・長野峻介・一恩英二：衛星データを利用した 2 期作、3 期作地域ごとの水稻収量推定方法の検討：ベトナム・メコンデルタを対象として、2014 年度日本農業気象学会北陸支部大会、金沢、2014 年 11 月 29 日  
藤井秀人・横山繁樹・藤原洋一・星川圭介：メコンデルタ洪水常襲稲作地域のフルダイクの進展と水文環境への影響、平成 26 年度農業農村工学会大会講演会、新潟、2014 年 8 月 28 日  
藤原洋一：気候変動や人間活動が水文・水環境に及ぼす影響：手取川流域およびメコンデルタを対象として、近畿作物・育種研究会公開シンポジウム、大阪、2013 年 12 月 14 日  
藤原洋一・菊池拓也・小倉晃・高瀬恵次：小型温度データロガーを利用した水文観測の試み - 湛水位および積雪深の観測 -、第 26 回水文・水環境研究部会シンポジウム、金沢、2013 年 11 月 26 日  
藤原洋一：温暖化や人間活動に伴う河川水文・水質の変化：手取川流域を中心として、応用生態工学会金沢研究発表会、金沢、2013 年 11 月 15 日  
藤原洋一・藤井秀人・星川圭介・柏木淳一：メコンデルタにおける 3 期作化が農地および周辺水文環境へ及ぼす影響、水文・水資源学会 2013 年度研究発表会、神戸、2013 年 9 月 25 日  
藤原洋一・鳥山和伸・藤井秀人：夏期の飽水管理が土壌環境と玄米品質に及ぼす影響、平成 25 年度農業農村工学会大会講演会、東京、2013 年 9 月 4 日 (優秀ポスター賞)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕  
出願状況 (計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況 (計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等  
<http://www.ishikawa-pu.ac.jp/staff/?staffname=fujihara-yoichi>

6. 研究組織

- (1) 研究代表者  
藤原 洋一 (FUJIHARA, Yoichi)  
石川県立大学・生物資源環境学部・准教授  
研究者番号：10414038
- (2) 研究分担者  
該当無し
- (3) 連携研究者  
該当無し