

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 17 日現在

機関番号：17601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25850169

研究課題名(和文) 傾斜地水田ほ場の熱・水特性と水稻品質に関する研究

研究課題名(英文) Study of heat and irrigation properties and rice qualities on terraced paddy fields

研究代表者

竹下 伸一 (TAKESHITA, Shinichi)

宮崎大学・農学部・准教授

研究者番号：40381058

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：傾斜地水田、いわゆる棚田は平地に比べて日射量が少なく、気温も低いことから米の収量が低い土地とされている。そこで、まず本研究では観測と計算によって日射環境を評価した。その結果、地形の影響で日射環境が不十分なところがあることがわかったが、登熟期ではほぼ均等な日射環境が保たれていたため、稲の生育や品質に差が見られないことがわかった。加えて、棚田での微気象変動について観測し分析を行った。その結果、風向きによってその特徴が変わることがわかった。とくに南風の時、平地水田と同じような熱特性になっていることがわかった。

研究成果の概要(英文)：Because most terraced paddy fields are on mountain slopes, each paddy field may not be exposed to sufficient solar radiation. So, in this study, the solar radiation was observed and calculated. This evaluation was carried out for every paddy field in Sakamoto Tanada. As a result, the solar radiation showed that many shadows of the surrounding mountains were cast, but the shadow areas in the ripening period for rice, when maximum possible solar radiation is needed were less than those in other periods.

In addition, air fluctuations were observed and analyzed. It has followed that wind directions observed during the daytime showed two patterns. The values and fluctuations of dissipation rates also changed with wind directions. When the topography of the area was considered, these values of the southern winds were more intense than those of the eastern winds. The heat properties at the control site with sufficient fetch were generally similar to those for the southern wind.

研究分野：農業工学

キーワード：日射特性 簡易日射計 棚田 シンチロメータ

1. 研究開始当初の背景

中山間地の水田は、その地形的な制約からほとんどが傾斜地水田となっている。これら傾斜地水田、いわゆる棚田は平地に比べて日射量が少なく、気温も低いことから米の収量が低い土地とされている。加えて、ほ場の形状や地形の悪さ、居住地から耕作地域までのアクセスの悪さなどが相まって、労働生産性の低い耕作地とされている。一方で、文化庁による文化的景観に棚田地域が選定されるなど、日本の農林業の基盤としての評価が進められる、保全が求められる地域でもある。しかし、昨今の水稻の高温登熟障害の発生に直面して、傾斜地水田の平均気温の低さや、昼夜の寒暖差による効果が、再認識されている。すなわち、確かに収量は低いが、品質は比較的良いという評価である。この点に注目したブランド米の生産なども試みられている。

しかしながら、傾斜地水田の米品質を十分に科学的に検討した例は少なく、またその耕作環境、微気象を始めとする熱環境を詳細に報告したものはあまりない。加えて、それら微気象と米品質との関係を検討したものもないことから、定性的な評価に留まっているのが実態である。

2. 研究の目的

本研究では傾斜地水田いわゆる棚田の耕作環境、とくに微気象と水稻品質の関係を明らかにすることを目的とした。

具体的には以下の3点の解明を試みた。

(1) 傾斜地水田群内の日射特性

傾斜地水田群は、周囲を山で囲まれている複雑地形上に存在する。そのため平地水田とは異なる微気象環境になる。とくに日射環境は、周囲の山の影響で日照時間、日射量が異なることが予想され、これが水田毎に気温や地温が異なる偏りをもたらす大きな要因となっていると考えられる。そこで、棚田内の耕作環境の偏りをもたらす主要因である日射量について、その分布特性を詳細に検討することを目的とした。

(2) 傾斜地水田の微気象および熱収支特性

日射環境の違いによって、傾斜地水田群内の水田毎にその微気象環境は異なってくる。とくに、地表面の熱収支特性は異なると考えられるが、従来の手法ではその違いを詳細に観測・検討することが難しい。そこで、本研究では、シンチレーション法を利用して微気象環境の解明とそれに基づく熱収支の特徴を検討することを目的とした。

(3) 傾斜地水田群内の稲の収量および品質の

特性

傾斜地水田群を構成する面積は、平地農地に比べて狭い事が多い。しかし、地形が複雑なため日射環境や、微気象環境、水分環境の違いが生じ、それが結果的に稲の生育・収量に影響を及ぼしていると考えられる。そこで本研究では、稲の生育調査および米の収量・品質調査を実施し、耕作地における生育や品質の差異やその特徴を解明することを目的とした。

3. 研究の方法

本研究は宮崎県日南市酒谷地区の坂元棚田を対象地とした。坂元棚田は宮崎県日南市の小松山の南斜面上（標高 300～400m）にあり、周囲を 300～600m の丘陵に囲まれた約 4ha の傾斜地水田群である。大正 14 年に設計され、昭和 3 年に耕地整理事業として誕生したこの棚田は、長方形区画の水田が 27 段にわたって石垣積み of 畦畔で連なる。この棚田を対象に、日射特性、熱特性、稲の収量・品質特性の研究を実施した。

(1) 日射特性の研究手法

日射特性の観測では、坂元棚田内 7 地点に日射量を多点観測した。日射計の設置箇所は図 1 に示したとおり、棚田の上段(U1,U2)、中段(C1,C2,C3)、下段(L1,L2)に等間隔に設置した。

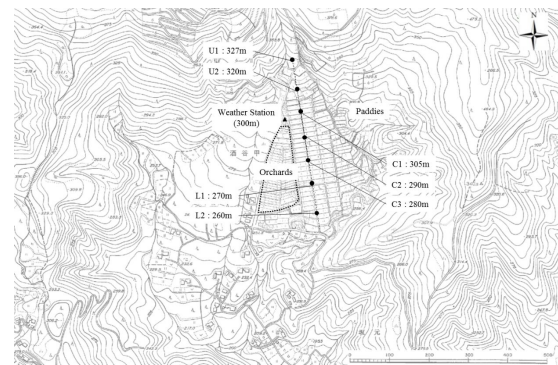


図 1 坂元棚田の概要と日射観測の位置

日射量の観測には、簡易日射計を利用した。簡易日射計は、理科教材に用いられるもので、受光部に封入した水の温度上昇を利用して日射量を推定する測定器具である。この簡易日射計の利用可能性を検討するために、あらかじめ宮崎大学農学部内で予備観測を実施した。予備観測には、精密日射計および気温の観測値も利用し、時間積算日射量を精度良く推定するための換算式を作成した。これによる測定精度は 0.26 MJm^{-2} である。

簡易日射計計測システムは、図に示すように簡易日射計、ロガー付き小型サーミスタ温度計、三脚で構成される。受光部の高さを 50cm とし、受光部を南向きに、 45° で固定して観測した。観測は 2014 年 6 月

から 10 月まで、10 分間隔で実施した。

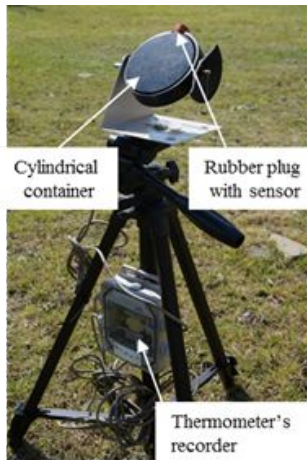


図 2 簡易日射計の概要

簡易日射計による日射量の測定に加え、気温、湿度、風速、降雨量、精密日射量で構成される気象ステーションにて観測しているものを利用した。

観測による日射量に加えて、計算による各水田の晴天日の積算日射量を算出した。日射量は直達日射量と散乱日射量よりなる。直達日射量は、東西方向の山の高さから日出、日没時間を算出し日照時間から、散乱日射量は周囲の地形から求めた天空率より算出する。そこで、日南市が 2012 年に実施した航空レーザー測量の結果から詳細な微地形を再現し、天空率等を算出した。計算には Fu and Rich(2000,2002)の全天可視領域アルゴリズムを利用した。実際の計算には、このアルゴリズムが組み込まれている ArcGIS10.1 の日射解析ツールを使用し、30 分ごとの日射量を算出して、一日の積算日射量を求めた。

(2) 微気象および熱収支特性の研究手法

微気象及び熱収支特性の観測は、図 3 に示す棚田上部の圃場で実施し、シンチレーション法を用いた。



図 3 微気象観測機器の設置概要

シンチレーション法とは、送信器から発信された偏光面の異なる 2 本のレーザーが、受信

器に到達するまでの間に乱流によって引き起こされる光強度の変動、すなわち「ゆらぎ（シンチレーション）」を計測することで乱流の強さを測定し、顕熱フラックスを算出する方法である。一連の測定器によって捉えられるのは、ゆらぎの強さとしての屈折率パラメータ Cn^2 と、レーザーの乱れのスケール l_0 である。これらの値は熱と水蒸気の移動に深く関連することが明らかにされており、別途測定される気温や気圧の値を用いて温度の構造関数 C_T^2 と消散率 ϵ に変換される。その後、摩擦速度 u および摩擦温度 T_s が算出され、顕熱フラックスが算出される。ただし、これらの式が成立するにはモニン・オブコフ相似則の成立が前提となる。

シンチレーション法によるフラックス観測の先行研究では、渦相関法とほぼ同程度の顕熱フラックスが計測され、かつパス間の空間平均的な値となることが報告されている (Asanuma and Iemoto, 2006)。

図 4 に示すように、ほ場長辺の両端にシンチロメータの発信器および送信器を設置し、高さ 1.6m の地点にレーザー光の高さを設定した。受信器側にコントロール装置などを設置してノートパソコンで直接データを取得し、ソフト上で温度変動の構造関数パラメータ、消散率、顕熱フラックス、運動量フラックス、モニン・オブコフ長を 1 分間隔で計算し記録した。

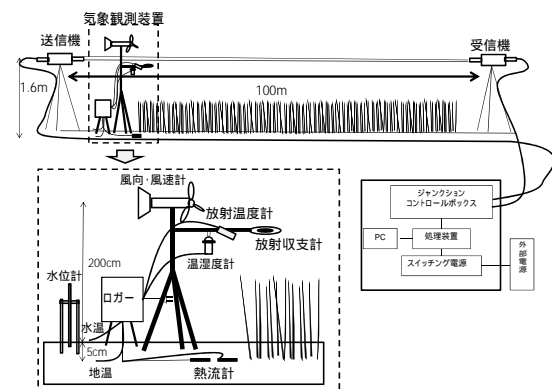


図 4 シンチレーション法の観測システム

比較対象データとして、宮崎県佐土原町にある宮崎県総合農業試験場内の水田ほ場にて、同じシンチロメータを利用した観測システムを構築して 2012 年 7 月 4 日から 10 月 22 日まで計測したものを利用した。

(3) 稲の生育・収量・品質特性の研究手法

2013～2015 年に坂元棚田内のほ場 18 地点(延べ)より、10 株ずつ稲を採取し、草丈などの生育、穂数、籾数などの収量、等級、外観品質、食味値を計測した。等級検査及び外観品質については、宮崎県総合農業試験場にて実施した。

4. 研究成果

(1) 傾斜地水田群内の日射特性

多点観測した日射量データより晴天日の日射量分布図を作成し考察したところ、7～10時頃は南・西側から日が当たりはじめ、11～12時頃は全体的に日が当たっている様子が確認できた。特に7～8月は南側の日射量が多い事がわかった。さらに、13～17時頃は、東半分の日射量が多かった。棚田を標高ごとに、上・中・下の3つに分類してまとめたところ、7月の1日の積算日射量は上が19.7MJ/m²、中が25.7MJ/m²、下が30.2MJ/m²と棚田下部が最も多かった。8月も同様に棚田下部の積算日射量が多かった。しかし、9月は、23.1、20.6、22.6MJ/m²と棚田上部の積算日射量が最も多くなった。これは7月～9月にかけて季節が進むにつれて太陽高度が下がっていった結果、開けている南斜面から日が良く入るようになっていったためと考えられた。

次に、日射量の計算値と観測地を比較して、計算日射量の再現性を確認したところ、RMSE 0.44 MJ/m²で十分な精度であることがわかった。そこで、図5に示す南北方向に等間隔に位置する水田の日射量を算出して比較した。図6にその結果を示した。これによると中段には均等に日射が辺っているが、上段ではやや日当たりが悪くなっている様子がわかった。また最下段は、非常に日当たりが悪くなっていることが明らかとなった。

さらに、図5に示すように上段、中段、下段でそれぞれ東西方向に並ぶ水田を抽出し、その日射量を比較した。図7にその結果を示した。これによると、上段では最西端の水田が最も日当たりが悪くなっていた他、東から2番目(D水田)の水田は、棚田中程に位置しているにもかかわらず日射が悪くなっていた。中段では水田の位置による日射量の違いは無かった。下段では、やや東側の水田の日射量が少ないことがわかった。

上段水田の日射量の差異、とくにD水田の標高を詳細に調べた結果、隣り合う水田に比べて一段低くなっていることがわかった。これによって、朝晩に日陰ができることで日射量が少なくなっていた。最西端の水田は、棚田西側の尾根に接する位置にあるため、他の水田に比べて日没が1時間以上早い。そのために一日の積算日射量が少なくなる事がわかった。下段東側の水田は、東側に位置する尾根に近いので、水田に日が当たり始める時間が他の水田に比べて30分程度遅い。そのために一日の積算日射量が少なくなっていた。

このように、傾斜地水田群周辺および内部での地形・標高によって、日射量に多寡が生じていることが明らかとなった。

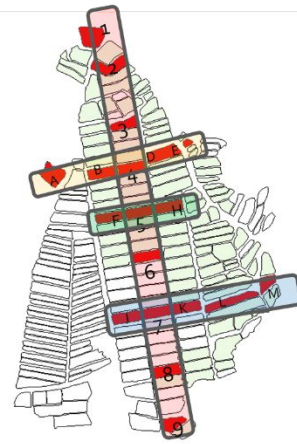


図5 計算日射量の比較水田配置

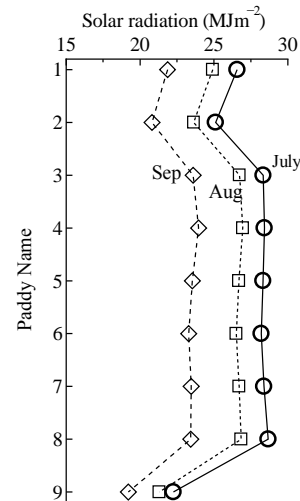


図6 南北断面の水田日射量の比較

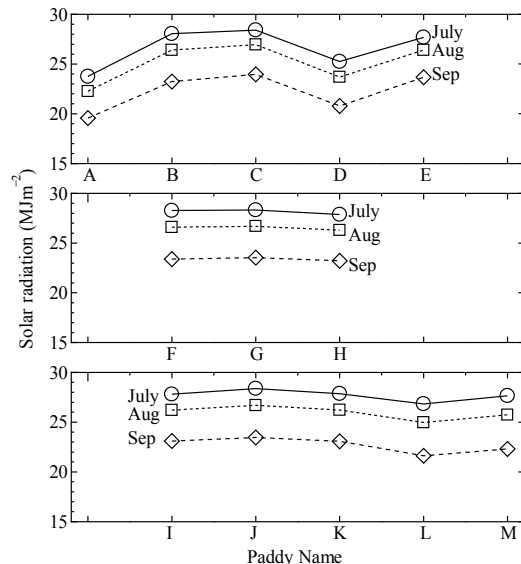


図7 東西断面の水田日射量の比較

(2) 傾斜地水田の微気象および熱収支特性

晴天日に観測された風を分析すると、この地域では2つのパターンに分けられることがわかった。昼間南から弱い風(1m/s)が吹くと

きと、東から風が吹くとき(2m/s)である。南から風が吹くと、棚田の下段から上段へ風が吹き上げることになる。一方、東から風が吹くとき、棚田の長辺に沿って、つまり石垣に沿って風が吹くことになる。この風の向き毎に観測された乱流変動を示したのが図8である。これによると東風の時、温度の構造関数は非常に小さいが、南風の時はやや大きい。一方消散率は南風の方がやや小さい。併せて示した平地(対照地)と比べると、南風の値が東風の時よりも一致度が高いことがわかった。つまり、南風の時の棚田の乱流変動は、平地水田のそれに近いため、熱収支もそれに準ずることが予想される結果となった。

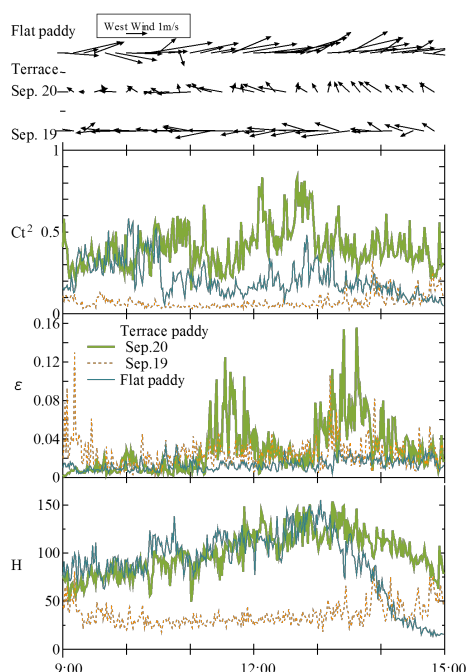


図8 風ベクトルと乱流変動の経時変化

(3) 傾斜地水田群内の稲の収量および品質の特性

3年にわたって延べ18圃場の稲の生育をまとめたものを図9に、品質検査については外観品質を図10、タンパク質含量を図11に示した。なお日射量が多い(赤)、やや多い(黄)、やや少ない(緑)、少ない(青)に分けて表示した。

生育については稈長で圃場による差がやや見られるものの、日射環境による生育の差は認められなかった。外観品質については、日射が少ない水田の整粒割合がやや少ないものの明確な差は見られなかった。食味に係るタンパク質含量にも、圃場による明確な差は認められなかった。

以上の結果をまとめると、対象とした傾斜地水田群、坂元棚田では地形による影響で日射条件が水田によって異なることが確認された。また、微気象とくに熱特性は、風向きによって変化することがわかった。しかし、

棚田内のこれらの環境の差による稲の生育や品質に対する影響は、比較的小さい可能性があることが示唆される結果が得られた。

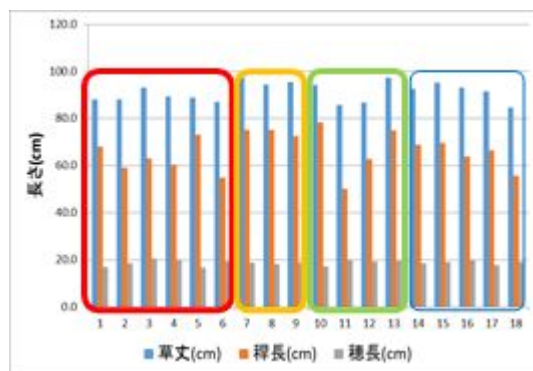


図9 稲の生育分析結果

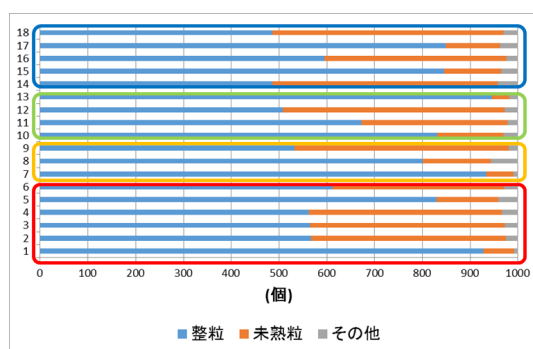


図10 稲の外観品質分析結果

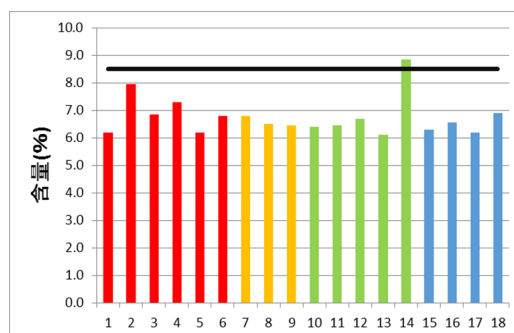


図11 稲のタンパク質含量分析結果

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. 竹下伸一・大山春香・愛宕夏帆, 外気との熱交換を考慮した簡易日射計の測定精度, 農業農村工学会論文集, 査読有, 投稿中(2016)

〔学会発表〕(計5件)

1. 竹下伸一・田中宣多, シンチロメータによる水田域の顕熱フラックスの評価, 第26回水文・水環境研究部会研究集会, 2013年11

月 25 日 , 近江町交流プラザ (石川県金沢市)

2. 竹下伸一・田中宣多 , シンチレーション法による水田の熱収支に関する研究 , 日本雨水資源化システム学会第 21 回研究発表会プログラム , 2013 年 11 月 2 日 , 島根大学 (島根県松江市)

3. 大山春香・竹下伸一 , 日南市坂元棚田における日射量を指標とした耕作環境の評価に関する研究 , 第 1 回みやだい COC+みやざき Academic and Science ヒルズ研究会 , 2016 年 3 月 22 日 , ニューウェルシティ宮崎 (宮崎県宮崎市)

4. Shinichi Takeshita・Yuya Tashiro , Application of a small aperture scintillometer to a terraced rice paddy, ISAM2016, 2016 年 3 月 16 日 , 岡山大学 (岡山県岡山市)

5. Shinichi Takeshita , Evaluation of solar radiation on terraced paddy fields surrounding by mountains, CIGR-AgEng2016 , 2016 年 6 月 27 日 , University of Aarhus (Aarhus, Denmark)

6 . 研究組織

(1) 研究代表者

竹下 伸一 (TAKESHITA SHINICHI)

宮崎大学農学部・准教授

研究者番号 : 40381058