

令和 2 年 7 月 3 日現在

機関番号：17601

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K08006

研究課題名（和文）顕熱フラックスの乱れに影響する傾斜地水田群の風および日射特性に関する研究

研究課題名（英文）Study of wind and solar radiation characteristics that affect the disturbance to sensible heat flux in a terraced paddy field

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） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：宮崎県日南市の坂元棚田で詳細な天空率、日出時刻、顕熱発生時刻、およびの夜間の結露量を実測し分析した。平場水田でも同様の観測をして比較した。その結果、棚田の天空率は低く、日出時刻が平地より50分遅かった。顕熱は日出後60分程度遅れて発生していた。9月の晴天日の夜間結露量を計測したところ、一筆当たり65リットルの結露が発生し、これの消失に約30分要していることがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

棚田の熱収支は計測が難しく、未解明な部分が多い。棚田の微気象学的な特性を詳細な観測に基づいて明らかにすることを通して、天空率や結露が熱収支に深く関与していることを示していることに学術的な価値がある。加えて、棚田環境の保全にも資するものであり、社会的意義も大きい。

研究成果の概要（英文）：In this study, the sky factor, sunrise time, sensible heat flux generation time and the amount of dew condensation were measured and analyzed in detail at the terraced paddy fields in Miyazaki prefecture, Japan. It was compared to a similar analysis in a flatland paddy field. As a result, the sky factor of the terraced paddy fields was low and the sunrise time was 50 min later. Sensible heat fluxes were occurring 60 min after sunrise. The amount of condensation in September was 65 liters per paddy, and 30 minutes was needed to evaporate it.

研究分野：農業土木学

キーワード：棚田 顕熱フラックス 天空率 日照時間 結露量

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

傾斜地水田群いわゆる棚田は、地形が複雑なため気象学的方法で熱収支を定量的に観測することがほぼ不可能である。棚田は水資源が十分ではないところが多いため、水資源の損失成分となる蒸発散量つまり潜熱フラックスの挙動が重要であるが、その特性はいまだ解明されていない。

申請者はこれまで宮崎県日南市の小松山山腹に広がる坂元棚田を対象に、シンチレーション法を適用し、棚田の熱収支の解明に取り組んできた。このシンチレーション法により棚田の顕熱フラックスを計測していく中で、その発生時刻が平地水田よりも遅いことを明らかにした。これは周囲を山に囲まれているために日出時刻が遅くなるためであるが、それに加えて平地よりも湿度が高いため、結露量が多く、この露がすべて蒸発した後でなければ顕熱が発生できないと推察される。夜間の結露量が、水田とくに棚田の顕熱フラックスおよび顕熱フラックスに与える影響は無視できないと考えられるが、どの程度影響するのかについては、以外にもこれまでほとんど扱われていなかった。

2. 研究の目的

水田毎の微かな風速・風向変化と、日出・日照時間を正確に計測・計算し、結露量と日出後の顕熱フラックス発生までの時間の関係を明らかにすることで、傾斜地水田の顕熱フラックス特性を解明することを本研究の目的とした。

3. 研究の方法

(1) 研究対象地

研究対象地の坂元棚田は宮崎県日南市にあり北緯 31.65° 東経 131.25°、標高 989m の小松山の南西斜面上に位置し、標高 255~315m、1/7 の傾斜地、9.4ha の面積に水田が広がる傾斜地水田群(棚田)である。棚田の南側が開けているが、北側に標高 800m、東側に標高 500m、西側に標高 300m の尾根で囲まれている。耕作地は北を頂点とし、南を底辺とする三角形に配置されており、標高の高い北部から、低い南部まで高さ 2m 程度の石積みで区画された長方形の水田が 27 段にわたって並んでいる。耕作地の西側は果樹園として利用されており、水田(棚田)は中央部から東部にかけて約 6ha あったが、近年、南端部や東端部が耕作放棄されるようになってきている。この坂元棚田は大正 14 年に測量設計され、昭和 3~8 年に耕地整理事業で開田されており、平成 25 年に重要文化的景観に選定されている。

対照地として宮崎平野内の宮崎県総合農業試験場(北緯 32.0° 東経 131.46°)の標高 5m の水田圃場を選定した。

(2) 天空率と日照時間

全天写真は Kodak PIXPRO SP360 を用い、レンズ部が地上 1m に設定した三脚上に固定し、周囲 360°、上空 214° の角度を撮影した。水田 1 筆あたり 12 箇所(南北 3 点×東西 4 点)での撮影を基本とし、水田の大きさ・形状に合わせて 8~15 箇所で行った結果、128 筆の水田にて 1490 点の画像データを得た。なお画像は 2016 年 5 月 13 日から 11 月 2 日に撮影した。

撮影日の天候によって雲の陰影が異なるため、あらかじめ画像ソフト上で雲のホワイト調整を行ったあと二値化画像を作成した。その後、全天写真解析プログラム CanopOn2 を用いて、地平線、方位を調整し、天空率を算出した。

(3) 日照時間と顕熱フラックス

顕熱フラックスは、2015 年 6 月~10 月に棚田内中央付近でパス長 72m、高さ 1.5m の地点でシンチロメータにて計測したものを使用した。日射量、気温、湿度、風速等は同期間に同圃場にて計測された値を使用した。さらに 2017 年に棚田内 1500 箇所にて全天写真を撮影し、各圃場の天空率を求め、日照時間等の算出に利用した。

(4) 結露発生量とその消失時刻

水田群中央付近にて、前日から翌朝まで降雨のない、快晴日を選定し、3 日間(2019 年 9 月 11 日、16 日、19 日)観測を行った。隣接した 2 枚の水田のそれぞれ東西端に 1 か所、計 4 ヶ所に杭を打ち、80 cm の高さに乾燥したスポンジを前日 17 時にセットし、翌朝 5 時 30 分から 7 時 30 分まで 30 分おきに重量を計測した。前日からの増加した重量を、結露量とした。同時に結露した稲葉を採取し、後日研究室にて、画像解析ソフトを使用して葉面積を算出した。一筆当たりの結露量の算出にはスポンジの表面積から算出した。

湿度、温度、赤外温度計、超音波風速計、日射計の観測値などを気象環境要因分析に使用した。また、計測された日射量より、結露消失時刻を予測した。

4. 研究成果

(1) 天空率

坂元棚田の圃場毎の平均天空率と標準偏差の分布を図 1 に示した。天空率について中央付近の値は 60～65 と高く、圃場間の差は小さい。一方北端・南端の平均天空率は 35 以下、東端は 40 程度と低かった。棚田全体の平均値は 57.4 であったが、分布に偏りが見られた。標準偏差については、中央部であっても 10.0 程度と大きく、棚田端部との分布の偏りは見られない。坂元棚田の各圃場の北側には 2m 程度の石積畦畔があるため、北側の天空率が小さく、南側が高い。その天空率差は中央部であっても 20 程度あった。対照地の平地の天空率は、83.3 と非常に高く、圃場間の差もほとんどなかった。

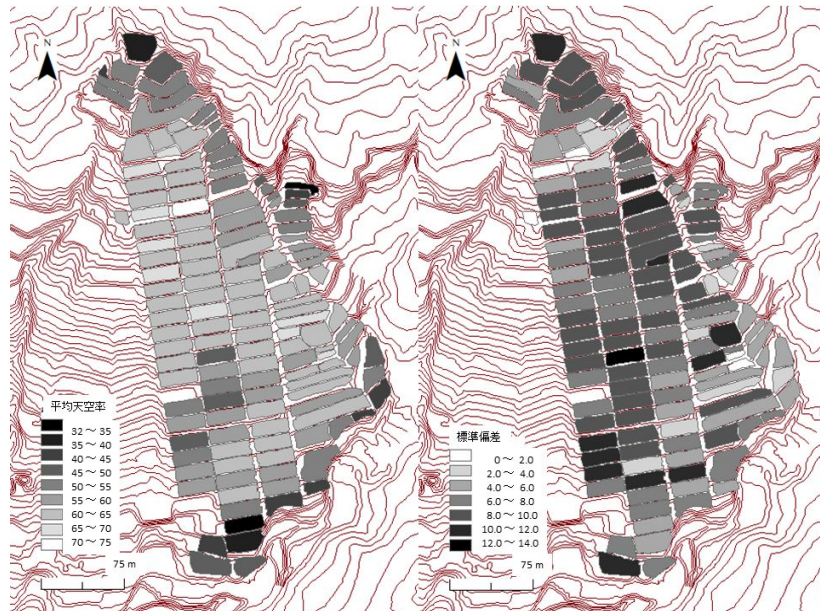


図 1. 圃場毎の平均天空率（左）と標準偏差（右）分布図

2) 日出時刻

棚田中央部と平地水田（農試）の実測天空画像より、7月25日（出穂日頃）～10月10日（収穫日頃）の毎日の日出、日没時刻を算出した。図 2 には、日出（日照開始時刻）とその時間差を示している。これによると、7月の時間差は約 70 分と長く、10月にかけて徐々に差が短くなり 9 月後半比は 40 分強であった。登熟期間中では、棚田の日出時刻は平地に比べて 50 分程度遅くなっていることが確認できた。

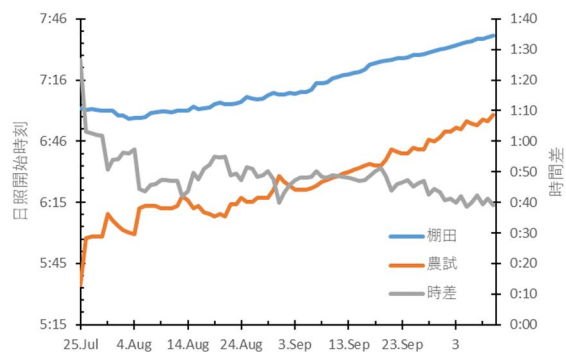


図 2. 棚田と平地水田（農試）の日照開始時刻とその時間差の経時変化

(3) 日出時刻と顕熱フラックス

シンチレーション法によって計測した棚田における晴天日の顕熱フラックスの発生時刻と、その日の日出の関係を検討し、表 1 に示した。これらの時間差は、8 月まで約 30 分、9 月以降約 85 分あることがわかった。なお、平地水田の顕熱フラックスと、日出時刻との差はほとんどなかった。

日照開始時刻から顕熱発生時刻までの積算日射量との関係を検討したところ、時間差が長いほど日射量が多いが、80 分以上では一定の関係になることが示された。

表 1 顕熱および日照発生時刻とその時間差

date	顕熱	日照	時間差
7.31	7:19	7:03	16
8.01	7:37	7:02	34
8.02	7:35	7:02	32
8.04	7:29	7:02	27
8.05	7:46	7:02	43
9.04	8:27	7:08	78
9.08	8:39	7:10	88
9.09	8:32	7:12	79
9.11	8:44	7:14	90
9.12	8:26	7:14	81
9.18	8:55	7:21	93
9.19	8:45	7:24	81
9.20	8:46	7:24	81
10.03	9:05	7:32	93
10.04	8:44	7:32	61
10.07	9:17	7:34	102

(4) 結露発生量と消失時刻

坂元棚田にて計測した一筆当たりの結露量は、9 月 11 日で 65.5 l 、16 日で 12.9 l 、19 日は 0 l であった。結露消失時刻は、11 日が 6 時 54 分、16 日が 6 時 38 分となった。日の出は、両日 6 時 30 分頃で、日出時間帯の日射量は 11 日が 86.2 w/m^2 、16 日が 159.5 w/m^2 であった。一般に結露には、夜間の放射冷却が鍵となるため、晴れた、風のない日に発生する事が多い。結露が発生した 11 日、16 日の朝方の風速は 1.0 m/s 未満であったのに対し、19 日の風速は 1.0 m/s 以上であったことが結露しなかったことの原因と考えられる。

結露消失時刻に関して、11 日と 16 日の各方法の算出結果から結露量が多いと消失時刻が遅くなることが改めて確かめられた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Rudzani Tshiswise, Shinichi Takeshita, Hiroyuki Seo, Masahiro Tasumi	4. 巻 25(2)
2. 論文標題 Impact of climate change on discharge in small mountainous Mizoguthi Catchment, Japan	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Rainwater Catchment Systems	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 竹下伸一, 谷口裕亮	4. 巻 87(10)
2. 論文標題 高千穂郷・椎葉山地域の山腹用水路整備に対する経済評価	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 農業土木学会誌	6. 最初と最後の頁 11-14
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 竹下伸一, 北村優衣	4. 巻 87(3)
2. 論文標題 宮崎県世界農業遺産地域における農業用水路敷設地の地形的特徴	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 農業土木学会誌	6. 最初と最後の頁 31-34
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Emal Wali, Masahiro Tasumi, Yoshinori Shinohara, Shinichi Takeshita	4. 巻 24(2)
2. 論文標題 Mapping crop types and the crop water requirements over small-sized irrigated fields in the Khost province of Afghanistan	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Rainwater Catchment Systems	6. 最初と最後の頁 9-15
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Asep Denih, Masahiro Tasumi, Yoshinori Shinohara, Shinichi Takeshita	4. 巻 24(2)
2. 論文標題 Application of scintillometer for evaluating the performance of GCOM-C ETindex estimation algorithm at a forest site	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Rainwater Catchment Systems	6. 最初と最後の頁 27-32
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Denith.A., Maeda.A., Tasumi.M., Shinohara.Y., Takeshita.S.	4. 巻 24
2. 論文標題 Evaluation of GCOM-C ETindex Estimation Algorithm at a Lodgepole Pine Tree Open Forest in Idaho, USA	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of rainwater cathment systems	6. 最初と最後の頁 9-14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 竹下伸一, 大山春香, 愛宕夏帆	4. 巻 305
2. 論文標題 外気との熱交換を考慮した水温測定型簡易日射計の測定精度	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 農業農村工学会論文集	6. 最初と最後の頁 _91, _96
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計12件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 竹下伸一, 向井基記
2. 発表標題 供給持続曲線を用いた温暖化による棚田水源流域の供給能の変化
3. 学会等名 日本雨水資源化システム学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 竹下伸一
2. 発表標題 高千穂郷・椎葉山世界農業遺産地域における山腹用水路の特徴
3. 学会等名 農業農村工学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 竹下伸一, 黒木忠治, 日野直純, 友枝祐作, 児玉雅文, 吉村拓也
2. 発表標題 中山間地のための農業ICTの実践
3. 学会等名 宮崎大学産学・地域連携センター第26回技術・研究発表交流会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 竹下伸一
2. 発表標題 棚田における顕熱フラックス発生時刻と微気象の関係
3. 学会等名 農業工学関連学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shinichi Takeshita, Rudzani Tshiswise, Hiroyuki Seo
2. 発表標題 Impacts of global warming on water intake days for terraced paddy fields in Japan
3. 学会等名 International society of paddy and water environment engineering (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 竹下伸一、 Rudzani Tshiswise、瀬尾公之
2. 発表標題 温暖化による棚田水源流域の低水流量変化
3. 学会等名 農業農村工学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Rudzani Tshiswise , Shinichi Takeshita, Hiroyuki Seo, Masahiro Tasum
2. 発表標題 Analysis of water resource changes in future climate on semi-mountainous catchment
3. 学会等名 JRCSA2017 Annual Congress
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 竹下伸一、内田吉昭
2. 発表標題 全天写真を用いた坂元棚田における天空率の分布特性について
3. 学会等名 日本農業気象学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shinichi Takeshita, Rudzani Tshiswise, Hiroyuki Seo
2. 発表標題 Changes in low-flow frequency under global warming in tanada catchments
3. 学会等名 CIGR2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Asep Denih, Akira Maeda, Masahiro Tasumi, Yoshinori Shinohara, Shinichi Takeshita
2. 発表標題 Performance of GCOM-C ET index algorithm in a forest area using eddy covariance measurement data
3. 学会等名 JRCSA2018 Annual Congress
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kako INOUE, Shinichi TAKESHITA, Yuki TSUGUMA, Tomonori TASAKI, Muneyuki KAI, Ichiro FUJIKAKE
2. 発表標題 Takachihogo-shiibayama Mountainous Agriculture and Forestry System- A Cradle of Japanese Mythology Nurturing Forests and Traditional Culture
3. 学会等名 The 4th Conference of East Asia Research Association for Agricultural Heritage Systems (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 竹下伸一, 北村優衣
2. 発表標題 宮崎県世界農業遺産認定地域における山腹用水路の地形的特徴
3. 学会等名 農業農村工学会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 宮崎大学ジラス研究会	4. 発行年 2019年
2. 出版社 世界農業遺産高千穂郷・椎葉山地域活性化協議会	5. 総ページ数 87
3. 書名 世界農業遺産高千穂郷・椎葉山地域山間地農林業複合システム	

1. 著者名 農業農村工学会	4. 発行年 2019年
2. 出版社 農業農村工学会	5. 総ページ数 286
3. 書名 改訂6版農業農村工学標準用語辞典	

1. 著者名 岡澤宏, 中桐貴生, 竹下伸一, 長坂貞郎, 藤川智紀, 山本忠男	4. 発行年 2017年
2. 出版社 理工図書	5. 総ページ数 228
3. 書名 基礎から学ぶ水理学	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----