

令和 3 年 5 月 31 日現在

機関番号：17701

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K05909

研究課題名（和文）生育経過推定によるイネ高温登熟障害リスク評価法の開発

研究課題名（英文）Development of risk assessment method for high-temperature ripening disorder of inedine by estimation of growth progress

研究代表者

神田 英司（Kanda, Eiji）

鹿児島大学・農水産獣医学域農学系・准教授

研究者番号：90355272

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,700,000円

研究成果の概要（和文）：高温登熟障害リスクの低い追肥による成育後期重点型とその対象のための基肥重点で栽培した水稻群落の成育経過について評価した。光量子センサによる天空に対する透過高量子率とLAIには相関があった。トイドローンによる空撮画像による植被率とLAI、乾物重、茎数の関係があった。また、株元で撮影した全天球画像を解析し、草丈、茎数、LAI、乾物重などの生育調査項目との関係、さらに高温登熟障害とも関係の深い下位葉の枯れ上りの推移を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

開発した360°カメラを用いて、水稻の群落下で全天球撮影する手法は、水稻の草丈、茎数、LAI、乾物重などの生育調査項目が推定できるだけでなく、下葉の枯れ上りの進行時期や速度を計測することで高温登熟障害リスクを推定することが可能である。さらに、この手法は株の開張度の評価とか、害虫またはその吸汁跡の探索にも使用できる可能性がある。

さらに、カメラを地上走行型ドローンに取り付け、圃場内を定期走行させることで、UAVのような制限なしで、水稻の生育状況の評価に使用できる。

研究成果の概要（英文）：The growth patterns of rice field rice for the risk of high temperature aging by basic fertilizer and late top dressing are clarified. The transmitted quantum rate measured by the PAR quantum light sensor was related to the vegetation density (LAI). There was a relationship between the proportion of vegetation (VF) from aerial images taken with toy drones and the LAI, the weight of dry materials, and the number of tillers. The relationship between the whole sky images under rice canopy and the investigation items such as rice plant height, number of the tillers, LAI, dry weight was clarified. In addition, the transition of the old dead leaf that was closely related to the failure of high temperature ripening stress was measured by the whole sky images.

研究分野：農業情報学

キーワード：画像解析 全天球画像 ドローン

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年のわが国の高温傾向とともに、関東以西を中心に水稲の高温登熟障害による一等米比率の低下が生じている。今後、温暖化の進行とともに、高温登熟障害リスクの上昇が危惧される。この対策のために、より正しい高温登熟障害のリスク評価が必要となってきている。このために水稲圃場をセンシングして水稲の生育状況、生育パターンを非破壊で計測する必要がある。

スマート農業の進展とともに水稲の近接リモートセンシングに UAV による空撮画像の画像計測、マルチバンドまたはハイパースペクトルカメラを用いた正規化植生数 (NDVI) の算出などにより生育状況の把握が試みられている。

2. 研究の目的

本課題では、近接リモートセンシングによる連続的な水稲生育状況を把握し、気象データに基づく発育モデル・乾物生産モデルを組み合わせた栄養成長量の評価法と組み合わせ、気象データと水稲の生長量の両面からの高温登熟障害のリスク評価法を確立する。

3. 研究の方法

供試品種は西南暖地の主力品種「ヒノヒカリ」と高温耐性品種「にこまる」を用いた。「にこまる」はヒノヒカリと比較し出穂期は 2~3 日遅い。試験は鹿児島大学附属農場内の杣水田 (1 区画 16.6m²) において実施した。両品種ともに 2019 年 6 月 4 日、2020 年 6 月 7 日に播種し、約 3 週間の育苗後、2019 年 6 月 26 日、2020 年 6 月 30 日に葉齢 4 葉の苗を 18.5 株 m⁻² (株間 18cm、条間 30cm)、1 株 3 本植えて移植した。

2 品種 (ヒノヒカリ : H、にこまる : N) に 2 施肥条件 (慣行施肥 C、後期重点施肥 L) を組み合わせた 4 試験区 (HC、HL、NC、NL) をそれぞれ 3 反復設けた。慣行施肥は鹿児島県におけるヒノヒカリの栽培基準に従い、基肥を N:P:K=4:6:4g m⁻²、穂肥を N:P:K=2:0:2g m⁻² とした。後期重点施肥は基肥を N:P:K=0:6:0g m⁻²、穂肥を N:P:K=4:0:4g m⁻² とした。穂肥は「ヒノヒカリ」では 2019 年 8 月 9 日、2020 年 8 月 13 日に、「にこまる」では 2019 年と 2020 年とも 8 月 13 日に施した。

トイドローン (Zerotech Dobby) を用いて水田圃場上空から撮影した。撮影は、晴れまたは曇りの日に行った。対地高度は 5m~8m、画像内でのハレーションを避けるために 15:00~17:00 に行った。

圃場 1.5m 上向きにシリコン量子センサ (Apogee CAP-SQ-110) を設置し天空方向を、圃場内水稲群落下にラインシリコン量子センサ (Apogee CAP-SQ-316) を設置し、5 秒ごとの平均光量子 (umol/m²/s) を測定し、天空光に対する群落内の透過光量子比率を計測した。

水田圃場の正規化植生指数 (NDVI) は Decagon 社 SRS-Ni および SRS-Nr を組み合わせ、650nm ± 2nm と 810nm ± 2nm (10nm の半値全幅) の反射率を計測し、算出した。また同じデータより、Gitelson (2004) の Wide dynamic range vegetation index (WDRVI) も計算した。

水稲群落下で 360° 撮影カメラ (RICOH THEATA SC) を使い、全天空画像を撮影した。静止画像サイズは 2048 × 1024 である。

4. 研究成果

水稲の生育は、葉齢はすべての処理区間で有意差は認められなかった。草丈は HC 区、HL 区と比較して、NC 区、NL 区の方が生育期間を通して高く、品種間差が認められた。茎数についても移植後約 20 日までは HC 区、HL 区が NC 区、NL 区よりも有意に多く、品種間差が認められた。一方、移植後約 30 日以降では HC 区、NC 区が HL 区、NL 区よりも茎数が多い傾向がみられたが、全ての処理区間において有意差はなかった。いずれの区においても移植後 35 日まで増加を続け、その後はわずかに減少した。最大分けつ数は NC 区、HC 区 > NL 区 > HL 区の順に高かった。分けつ期の移植後 1 か月間が寡照低温で推移したため全ての処理区で茎数は平年より少なく、鹿児島県の目標分けつ数である 20 本に達せず、無効分けつが少なかった。全乾物重は HC 区、NC 区では HL 区、NL 区よりも高く、施肥条件間に差があった。LAI は移植後 41 日において HL 区、NL 区よりも HC 区、NC 区で大きく、施肥条件間に差があった (図 1)。その後も移植後約 70 日まで増加して最大値に達した。以降の LAI は減少し、HC 区、HL 区と比較し NC 区、NL 区で高く品種間で差がみられた。

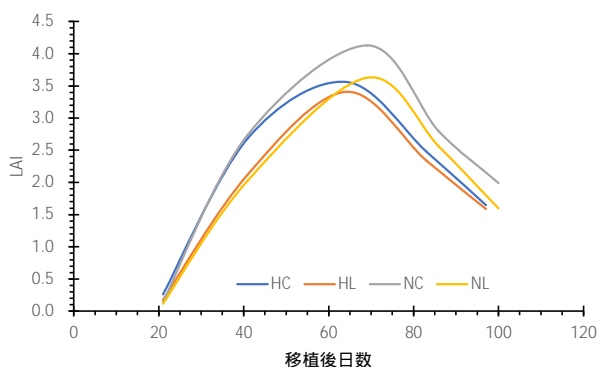


図 1 LAI の推移 (2019 年)

透過光量子率は生育期間を通じ、常に HC 区が HL 区よりも小さい、つまり繁茂していた(図 2)。透過光量子率は LAI と負の相関にあるが、HC 区と HL 区にほぼ差がない移植後 40 日までの期間も HC 区と HL 区の生育の差が明確に区別できた。しかし、移植後 40 日、LAI2.5 より大きくなった頃から差が小さくなり、LAI がピークとなる移植後 70 日頃はほぼ差が見られなかった。これは、LAI が 3 より大きくなり、水稻群落の草冠がほぼ閉じたため、透過光量子率が 0.2 でほぼ一定となったためと考えられる。なお、HL 区で 85 日以降の透過光量子率が高くなった要因は不明である。

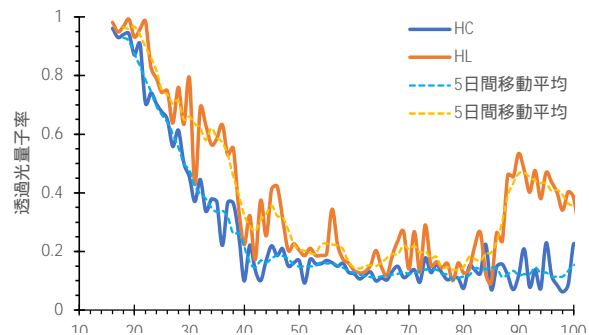


図 2 透過光量子率の推移(2019 年)

NDVI は生育期間を通じ、常に HC 区が HL 区よりも大きい、つまり繁茂していた。また、HC 区は移植後 22 日頃にピークに達し、HL 区は 35 日頃にピークに到達していた。NDVI センサによる値は LAI、透過光量子率よりも生育の差が明確にあらわれると考えられるが、HC 区で 22 日頃と移植後わずか 3 週間で飽和に到達し、HL 区を考慮しても 35 日と出穂(移植後 65 日)までの半分の期間しか変化を追跡できないが、飽和後も HC 区と HL 区の差がはっきりとしている。しかし、NDVI センサと測定領域の測定値への影響も大きい。LAI が 2 を超えると NDVI の違いが明確でなくなるという報告もあるため、650nm(RED)と 810nm(NIR)の測定値を基に WDRVI (式 1) を算出した(図 3)。今回は $\alpha=0.4$ とした。

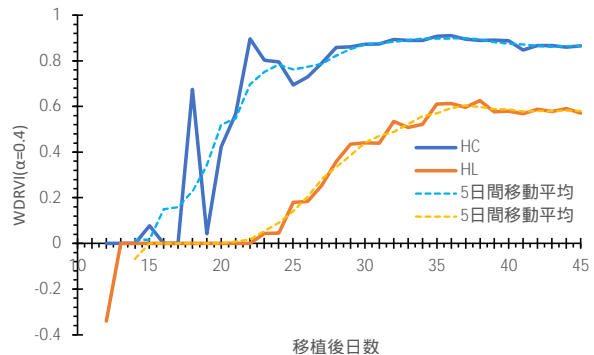


図 3 WDRVI の推移(2019 年)

$$WDRVI = \frac{\alpha NIR - RED}{\alpha NIR + RED} \quad \text{式(1)}$$

移植後 12~22 日に HC 区で WDRVI 値が増加しているのに対し、HL 区ではほぼ増加していないこと、その後 HC 区では飽和しているが、HL 区で移植後 35 日までゆるやかに増加していること、HL 区の値が HC 区と比較し明確に小さいことがわかる。

高温登熟障害リスクを減らすためには生育が後期重点型である必要があるが、初期生育が旺盛かどうかを判定するためには WDRVI、NDVI、透過光量子率の順で有用である。

トイドローンで空撮した画像から水稻の植被率を推定した。2018 年は空撮画像を HSV 変換した後、H、S、V ごとに設定した閾値で水稻を抽出した(図 4)。HC 区、NC 区で生育が先行し、HL 区、NL 区の生育が 20 日程度遅れて水稻群落の草冠が閉じている。2020 年は空撮画像を RGB に分離し、 $(G-R) \times (G-B)$ を演算して 2 値化して植被率を算出した。この手法では、生育初期にやや過剰評価している可能性がある。HSV 変換法および RGB 法いずれも、植被率 0.6 以上で草冠が閉じ始めたことによる空撮時に影の映り込みが目立つようになり、植被率の推定のばらつき、推定精度に悪影響を与えている。

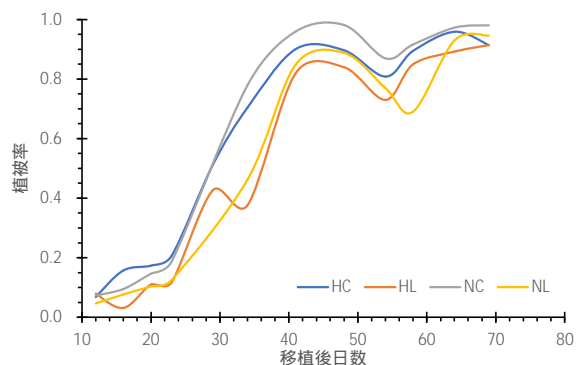


図 4 植被率の推移(2018 年)

ドローンによる上空からの撮影には航空法の制限などがあるため、水稻群落下で撮影した全天球画像を解析して水稻の生育を追跡した。2018年、2019年は全天球画像から鉛直上向き成分を切り出し、大津の方法により2値化し、植被率を算出し、生育指標とした。また、2019年にはHSV変換した後、高温登熟障害の指標となる葉の枯れ上りを式(2)で算出した。

$$1 - \frac{\text{画像中の緑部分}}{\text{画像中の水稻部分}} \quad \text{式(2)}$$

枯死率は草冠が閉じてから徐々に増加し、出穂後10日ほどで下葉はほぼ枯死している(図5)。基肥が少ないため、HL区、NL区で生育初期から下葉が枯れているが、移植後50日頃からHC区、NC区の枯死率が上回り、後期重点施肥区の方が高温登熟障害に強いことがわかる。

2020年は株に正対する画像をLab色空間に変換し、a画像(負の値は緑寄り、正の値はマゼンタ寄り)から緑色部分を抽出することで水稻の生育指標とした。Lab色空間はXYZ三刺激値を基盤にした均等色空間で、人間の目に見える全ての色を記述できるとされている。株元画像の植被率は約20%から約55%の間で推移し、移植後約35日まで増加し、その後は飽和した。移植後31日における植被率はHC区 > HL区、NC区 > NL区の順に高かった。また、茎数、株の周囲長との相関は高かった(Pearsonの相関係数それぞれ $r=0.817$ 、 $r=0.769$)。同様の手法で鉛直上向き画像を解析すると、草丈、LAI、乾物重との相関も高かった(Pearsonの相関係数それぞれ $r=0.829$ 、 $r=0.757$ 、 $r=0.746$)。

開発した360°カメラを用いて、水稻の群落下で全天球撮影する手法は、水稻の草丈、茎数、LAI、乾物重などの生育調査項目が推定できるだけでなく、下葉の枯れ上りの進行時期や速度を計測することで高温登熟障害リスクを推定することが可能である。さらに、この手法は株の開張度の評価とか、害虫またはその吸汁跡の探索にも使用できる可能性がある。

さらに、カメラを地上走行型ドローンに取り付け、圃場内を自動で定期走行させることで、UAVのような制限なしで、水稻の生育状況の評価に使用できると思われる。

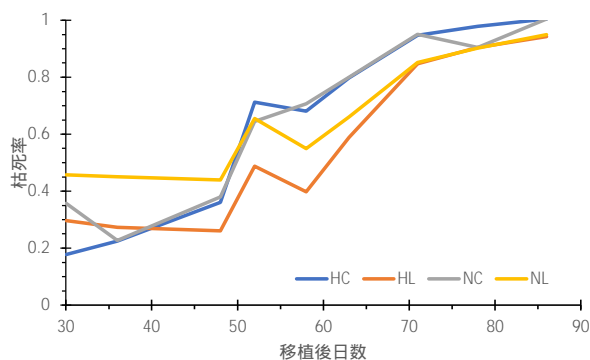


図5 枯死率の推移(2019年)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 芝山道郎・林田亮太・神田英司・下田代智英・木村昭彦	4. 巻 34
2. 論文標題 定点俯瞰分光反射画像による水稻群落葉色モニタリングの試み - 自動インターバル撮影による反射率指標と観測条件の検討-	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 システム農学	6. 最初と最後の頁 67-76
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2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 江口剛生・渡邊睦・鹿嶋雅之・福元信也・下田代智英・神田英司
2. 発表標題 飛行ドローンによる稲生育モニタリングに関する研究
3. 学会等名 農業施設学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 稲田貴成・下田代智英・内門佑太
2. 発表標題 後期重点施肥によるヒノヒカリの2次枝梗着生初数の増加が高温登熟性におよぼす影響
3. 学会等名 日本作物学会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔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
研究分担者	芝山 道郎 (SHIBAYAMA Michio) (10354060)	鹿児島大学・農水産獣医学域農学系・教授 (17701)	

6. 研究組織（つづき）

	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
研究分担者	下田代 智英 (SHIMOTASHIRO Tomohide) (30315402)	鹿児島大学・農水産獣医学域農学系・准教授 (17701)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関