

令和 5 年 6 月 8 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20H02965

研究課題名（和文）イネ群落成長の非破壊連続測定・微気象応答解析を通じた多収品種の収量制限要因の解明

研究課題名（英文）Non-destructive and continuous measurement of rice growth for elucidate yield-limiting factors of high-yielding rice cultivars

研究代表者

杉浦 大輔（Sugiura, Daisuke）

名古屋大学・生命農学研究科・講師

研究者番号：50713913

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,800,000円

研究成果の概要（和文）：多収イネ品種の北陸193号とオオナリの日本4地点（名古屋、つくば、上越、長野）の連絡栽培試験を通じて、これら2品種の収量決定要因の解明を試みた。近赤外光（NIR）と光合成有効放射（PAR）からイネ葉面積指数（LAI）を非破壊的に計測する手法によって、移植から収穫までのLAIの連続的な変化を捉えることができた。また、イネ株あたりの夜間呼吸速度の計測システムを開発し、呼吸速度の温度依存性を定量化することができた。これらの結果から、長野における多収要因は、LAIが生育後期まで維持されていること、夜間の低温により呼吸速度が低く抑えられていることであることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究を通じて開発したNIRとPARからLAIを推定する手法は、イネ群落成長を高精度で追跡可能であり、その他の作物にも応用可能である点において、今後の作物生育評価の新スタンダードになる可能性がある。本手法により、様々なイネ品種の栽培適性地や収量ポテンシャルの評価を通じて、データ駆動型の育種や品種選定が可能になることが期待される。

研究成果の概要（英文）：We aimed to elucidate the yield determining factors of the high-yielding rice cultivars, Hokuriku 193 and Onari, through cross-locational experiments in Japan (Nagoya, Tsukuba, Joetsu, Nagano). We developed a novel technique for non-destructive leaf area index (LAI) estimation of rice from transplanting to harvest using near-infrared light (NIR) and photosynthetically active radiation (PAR). Additionally, we developed a system to measure the nighttime respiration rate of rice plants and quantified the temperature dependence of respiration. Based on these results, it is suggested that the highest yield in Nagano was due to the maintenance of LAI until the late growth stage and the low nighttime temperatures that suppress respiration rate.

研究分野：作物生産科学

キーワード：LAI NIR PAR 多収 呼吸速度 非破壊計測 マイクロコントローラー

## 1. 研究開始当初の背景

世界の3大食用作物の一つであるイネは、世界人口の約半分を支えている。イネの収量は育種や栽培手法の発展により年々増加しているが、より収量性の高い新品種の確立や、省力で安定的な収量を示す栽培法の開発は継続的な課題である。

多収イネの収量はソース能とシンク能に左右される。これらの形質は生理学・生化学プロセスに大きな影響を受けるため、関連遺伝子の導入・改良を通じて収量向上を目指す研究が行われてきた。一方、これらの形質は気象条件にも大きく影響されるため、圃場レベルの収量試験では期待された成果を示さないという報告も多い。実際に、日本最多収品種の一つである北陸193号および後代系統、オオナリ、日本晴の日本多地点の連絡栽培試験の結果、北陸193号は長野県須坂市で玄米収量約1.3 t/10 aを記録したのに対し、オオナリは期待された高収量を示せなかった。このように、多収イネ品種でも特定の環境下ではその収量ポテンシャルを発揮できない場合があるため、その理由の解明はさらなる多収品種の開発には必須である。

そこで申請者らは、イネの群落レベルの物質生産の指標として、単位土地面積あたりの葉面積である葉面積指数(LAI)に着目した。LAIが高いほど乾物生産能が高く、登熟期間中もLAIを維持していることが、多収に貢献している可能性がある。もう一つの要因として、イネの呼吸量に着目した。呼吸速度は温度依存性が非常に高く、植物では温度が10°C上がると呼吸速度も約2倍に増加することが知られている。そのため、長野県のような冷涼な地域では夜間の気温が低いことで呼吸速度が低く抑えられ、これによる炭水化物消費の抑制が多収に寄与している可能性が考えられた。

一方で、LAIの計測には多大な時間と労力を要し、生育期間にわたって高頻度でLAIを実測することは非現実的であるため、LAIの連続・非破壊計測法の開発が必要である。また、圃場でイネ個体の夜間の呼吸速度を計測するための新たな手法開発が必要と考えられた。

## 2. 研究の目的

そこで本研究は、イネ群落の分光反射特性を利用したLAIの連続・非破壊計測法と、夜間の呼吸速度の計測システムを開発し、「微気象とイネ群落の成長と生理特性の非破壊・連続測定」を可能とする。日本の異なる気象条件の4地点における連絡栽培試験を通して、イネ多収品種の微気象応答性と収量制限要因を明らかにし、得られた情報を栽培法や品種の改良に利用することを目的とする。

## 3. 研究の方法

2020年から2022年にかけて、多収イネ品種2種(北陸193号、オオナリ)を、収量ポテンシャルが発揮される多肥条件(16 kg N/10)で、異なる気象条件を示す4地点(名古屋、つくば、上越、長野)の水田圃場で連絡栽培試験を行った。移植直後から収穫までの間、分光センサーをイネ群落内外に設置し、光合成有効放射(PAR、400~700 nm)および近赤外放射(NIR、700~1000 nm)を1分間隔で計測し続けることで、イネ群落成長の連続・非破壊計測を試みた。移植後4週間後、8週間後、出穂期の3回と、登熟期間中は4回、破壊的なサンプリングを行い、器官別のバイオマス、窒素濃度、非構造的炭

水化物 (NSC) 濃度を測定した。群落外に設置した気象センサーおよび水田に設置した水温センサーによって、生育期間中の気象データ (PAR、気温・湿度、水温) を記録し、気象条件とイネ群落成長・収量との関係性を解析した。

2022 年の登熟期間中の 8 月から 9 月にかけては名古屋および長野の水田圃場において、新たに開発したフタ自動開閉式の呼吸測定用チャンバーを用いて、北陸 193 号およびオオナリの夜間呼吸速度を測定した。イネ一株が収まる塩ビパイプの上部にマイクロサーボによるフタ自動開閉装置および CO<sub>2</sub>・温度センサーを取り付けたマイコンを設置し、夕方から翌朝にかけて 1 時間毎に 15 分フタが閉鎖した際のチャンバー内の CO<sub>2</sub> 濃度の増加速度から呼吸速度を算出し、サンプリング後に測定したバイオマスから、乾物あたりの呼吸速度およびその温度依存性を解析した。得られたデータから、温暖化の進行により予測される夜間気温の増加が呼吸量の増加を通じて収量に与える影響についてのシミュレーション解析も行った。

#### 4. 研究成果

NIR と PAR の比からイネ群落葉面積を推定する手法を確立し (Fukuda et al. 2021, Field Crops Res)、本手法により北陸 193 号およびオオナリの移植から収穫までの群落成長および枯れ上がりの様子を高精度に捉えることができた。2021 年、2022 年の両年において、北陸 193 号は長野県において最高収量を示し、収穫時まで LAI を高く維持していることが分かった (図 1)。また、名古屋やつくばでは 2021 年に比べて 2022 年には登熟期の枯れ上がりの程度が小さく、収量も前年よりも増加していた。さらに、上越では 2021 年に比べて 2022 年では生育期間を通じて LAI が低く、収量も低下していた。これらの結果から、生育期間を通じて LAI を高く維持することが高収量に寄与することが示唆され、イネ群落の連続・非破壊計測法が収量予測に有用なツールであることが示された。

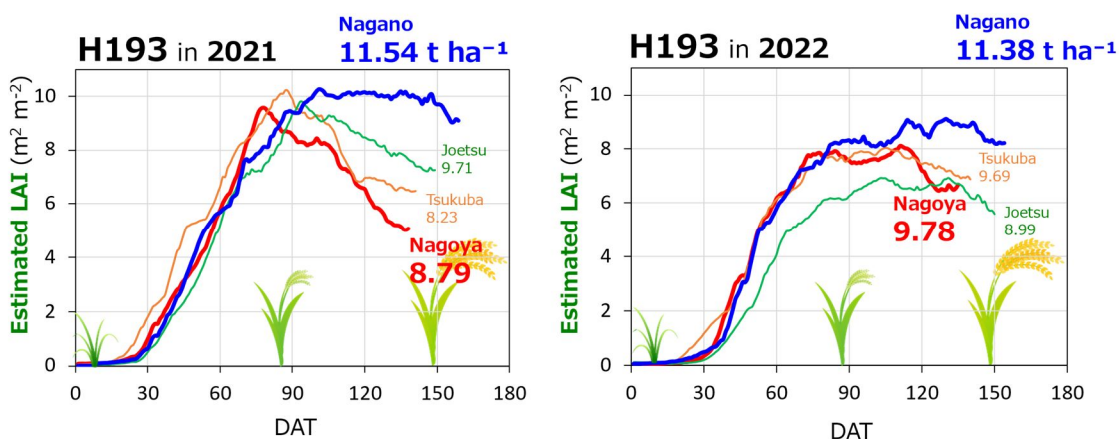


図 1. 2021 年、2022 年における北陸 193 号 (H193) の推定 LAI (estimated LAI) の推移。地点名 (名古屋、つくば、上越、長野) 下の数値は粗玄米収量を表す。

フタ自動開閉装置を組み合わせた呼吸測定システムによりイネの夜間の呼吸速度とその温度依存性を評価することができた。塩ビパイプとデジタルデバイス各種で構成された本システムは、1 台あたり約 20000 万円という低コストで作製することができた。1 時間毎に 15 分間フタが閉じた際のチャンバー内の CO<sub>2</sub> 濃度は、当初イメージした通りに増加し、開放された際に大気 CO<sub>2</sub> 濃度まで低下する様子が夜間を通して観測できた (図 2)。また、CO<sub>2</sub> 濃度変化の傾きから算出される呼吸速度も、気温の低下と上昇に

応じて増減する様子も観測できた。

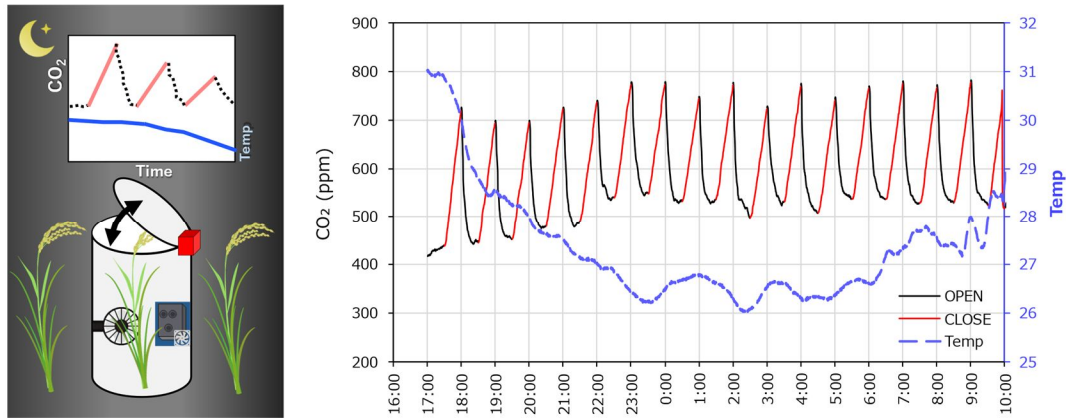


図 2. フタ自動開閉式の呼吸測定システムのイメージ図および測定例。  
フタが閉鎖 (CLOSE) 時にチャンバー内の CO<sub>2</sub> 濃度が増加し、開放時 (OPEN) 時に CO<sub>2</sub> 濃度が低下するようにデザインした。実際に測定した結果、夜間気温 (Temp) の低下に応じて、呼吸速度 (赤線の傾き) の増減を捉えることができた。

名古屋と長野の 2 地点、合計 5 回の計測から得られたデータを集約し、北陸 193 号およびオオナリの呼吸速度の温度依存曲線を得ることができた。この関係式を用いて、北陸 193 号における登熟期間中の名古屋および長野の夜間気温を入力値として、登熟期間中の総呼吸量を求め、炭水化物換算してみたところ、名古屋で  $3.6 \text{ t ha}^{-1}$ 、長野県で  $2.3 \text{ t ha}^{-1}$  と、夜間気温の高い名古屋では呼吸量が長野より 1.5 倍以上高いことが推測された。この差は、両地点間の収量の差の約 40% であり、長野における高収量の要因として夜間の低温による呼吸量の抑制も寄与していることが示唆された。

これらの結果を総合して、本研究課題を通じてイネの多収要因の品種間・地域間差を解析する評価系の基盤を確立することができた。今後は、これらの評価系を活用するだけでなく、新たな手法を導入してさらに発展させることで、新規の多収イネ品種開発の実現につながることを期待できる。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Fukuda S, Koba K, Okamura M, Watanabe Y, Hosoi J, Nakagomi K, Maeda H, Kondo M, Sugiura D	4. 巻 263
2. 論文標題 Novel technique for non-destructive LAI estimation by continuous measurement of NIR and PAR in rice canopy	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Field Crops Research	6. 最初と最後の頁 108070
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.fcr.2021.108070	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 Ozaki Hiroshi, Mizokami Yusuke, Sugiura Daisuke, Sohtome Takayuki, Miyake Chikahiro, Sakai Hidemitsu, Noguchi Ko	4. 巻 136
2. 論文標題 Tight relationship between two photosystems is robust in rice leaves under various nitrogen conditions	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Plant Research	6. 最初と最後の頁 201 ~ 210
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10265-022-01431-7	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 Okamura Masaki, Hosoi Jun, Nagata Kenji, Koba Kentaro, Sugiura Daisuke, Arai-Sanoh Yumiko, Kobayashi Nobuya, Kondo Motohiko	4. 巻 25
2. 論文標題 Cross-locational experiments to reveal yield potential and yield-determining factors of the rice cultivar 'Hokuriku 193' and climatic factors to achieve high brown rice yield over 1.2kg m <sup>-2</sup> at Nagano in central inland of Japan	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Plant Production Science	6. 最初と最後の頁 131 ~ 147
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/1343943X.2021.1981140	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 Ozeki Kengo, Miyazawa Yoshiyuki, Sugiura Daisuke	4. 巻 189
2. 論文標題 Rapid stomatal closure contributes to higher water use efficiency in major C4 compared to C3 Poaceae crops	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Plant Physiology	6. 最初と最後の頁 188 ~ 203
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/plphys/kiac040	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 Ozaki Hiroshi, Mizokami Yusuke, Sugiura Daisuke, Sohtome Takayuki, Miyake Chikahiro, Sakai Hidemitsu, Noguchi Ko	4. 巻 136
2. 論文標題 Tight relationship between two photosystems is robust in rice leaves under various nitrogen conditions	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Plant Research	6. 最初と最後の頁 201 ~ 210
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10265-022-01431-7	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 -

〔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 福田 将大, 渡辺 裕一, 細井 淳, 杉浦 大輔
2. 発表標題 NIR・PARの連続測定による生育期間を通じたイネ群落LAIの非破壊計測法の開発
3. 学会等名 日本作物学会第250回講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 杉浦 大輔, 福田 将大, 細井 淳, 近藤 始彦
2. 発表標題 近赤外光・光合成有効放射比の連続測定によるイネ群落の非破壊LAI計測法の開発
3. 学会等名 日本作物学会第250回講演会
4. 発表年 2020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	岡村 昌樹  (Okamura Masaki)  (00757908)	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・中日本農業研究センター・研究員    (82111)	

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	荒井 裕見子  (Arai Yumiko)  (50547726)	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・作物研究部門・上級研究員   (82111)	
研究分担者	小林 伸哉  (Kobayashi Nobuya)  (70252799)	国立研究開発法人国際農林水産業研究センター・熱帯・島嶼研究拠点・主任研究員   (82104)	削除：2021年10月5日

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