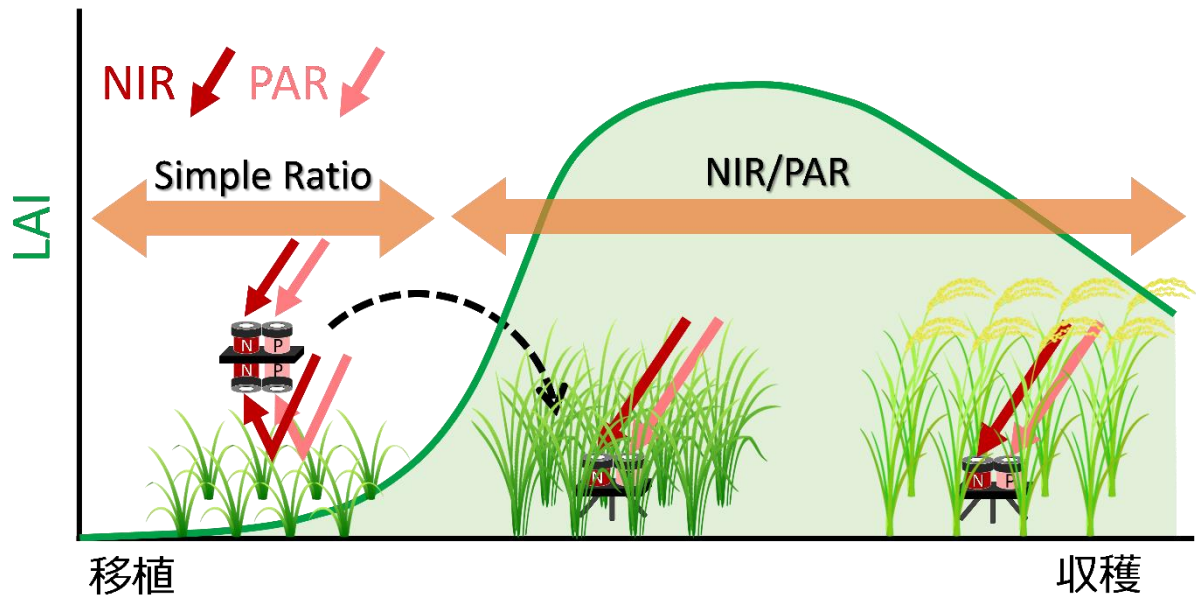


生育初期はSimple Ratio、中期以降はNIR/PARからLAIを推定



## イネ群落成長を連続・非破壊的に測定する新規の手法を開発 ～収量増加に向けた栽培法の提案や新品種育成に期待～

国立大学法人東海国立大学機構 名古屋大学大学院生命農学研究科の福田 将大学院生、杉浦 大輔 助教らの研究グループは、生育期間を通じてイネの群落成長を連続的かつ非破壊的に測定する手法を新たに開発しました。

イネの群落成長を評価する有用な指標として、単位土地面積あたりの葉面積で表される LAI (Leaf are index,  $m^2 m^{-2}$ ) がありますが、LAI の破壊的な測定には多大な時間と労力を要します。今回研究グループは、イネ群落内外で近赤外放射 (NIR) と光合成有効放射 (PAR) を 1 分間隔で測定し続けることで、散乱光条件下で得られる NIR と PAR の比率がイネの LAI を正確に反映することを見出しました。この手法により幅広い値の LAI が高精度かつ非破壊的に推定可能となり、移植から収穫までのイネ群落成長の連続的な評価も可能となりました。

本研究成果は、イネだけでなく様々な作物の非破壊的・連続的な LAI の評価に応用できる可能性があります。また、同一イネ品種であっても栽培地点によって生育や収量が大きく異なる要因の解明を通じて、収量増加のための栽培法の提案や新品種育成に貢献できることが期待されます。

この研究成果は、2021 年 1 月 29 日に国際科学雑誌「Field Crops Research」でオンライン掲載されました。

本研究は、日本学術振興会科学研究費助成事業 若手研究 (B)、戦略的イノベーション創造プログラム、東レ科学研究助成の支援のもとで行われたものです。

## 【ポイント】

- 作物の LAI の破壊的な測定には多大な労力を要するため、高精度かつ非破壊的な LAI の推定手法の開発が求められている。
- イネ群落内外に設置した光学センサーにより、近赤外放射 (NIR) と光合成有効放射 (PAR) を 1 分間隔で測定し続けた結果、散乱光条件下で得られた NIR と PAR の比率が LAI を正確に反映する指標となることが分かった。
- 光学センサーを生育前半はイネ群落上部に、中期以降は群落内に設置して、NIR と PAR を連続的に測定し続けることで、生育期間を通じたイネ群落成長の連続的な評価も可能になった。
- 本手法を用いて、様々な作物の非破壊的・連続的な LAI の評価や、イネの収量制限要因の解明につながることを期待される。

## 【研究背景と内容】

イネの収量は移植から登熟期にかけての物質生産によって決定され、物質生産を表す有用な指標として単位土地面積あたりの葉面積で表される LAI (Leaf area index,  $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$ ) があります。イネの LAI の季節変化を評価することで、気象条件に応じた成長の品種間差を定量的に評価することができれば、品種ごとの栽培適地の選定や、新品種育成にもつながることが期待できます。しかし、LAI の測定には多大な時間と労力を要するため、生育期間を通じて多回数測定することは現実的ではありません。これまでに、イネの LAI を短時間で非破壊的に推定する様々な手法も開発されてきましたが、連続的な推定法では精度が低く、精度が高い推定法は手動測定であるために生育期間を通じての測定は不可能であるなど、それぞれ問題点がありました。

そこで研究グループは、近赤外放射 (Near-Infrared Radiation, NIR) は葉を透過しやすく、光合成有効放射 (Photosynthetically Active Radiation, PAR) は葉に吸収されやすいため、LAI が高いほど NIR/PAR も高くなることを利用した先行研究に着目しました。この研究では、落葉広葉樹林の LAI と林床で分光放射計によって測定された NIR/PAR の間に高い相関があることが示されています。この手法を水田のイネ群落の LAI 推定にも応用し、2つの光学センサーにより生育前半はイネ群落上部からの NIR と PAR の反射率の比 (Simple Ratio) を、中期以降は群落内において NIR/PAR を測定することで、生育期間を通じた LAI 推定が可能になるかもしれないと考えました (図 1)。

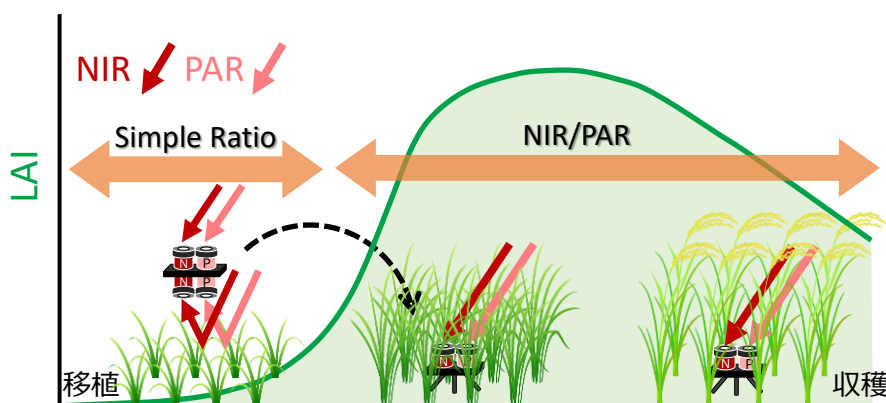


図1. 生育初期はSimple Ratio、中期以降はNIR/PARからLAIを推定

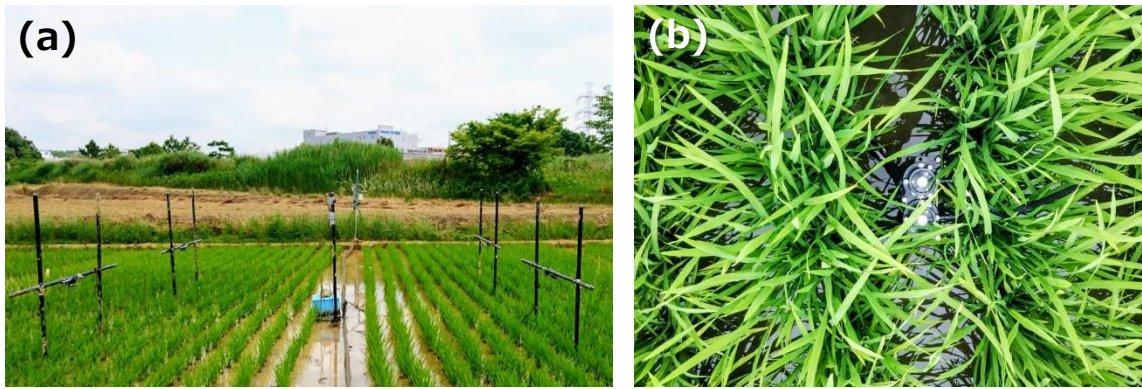


図 2. (a) 生育初期はイネ群落上部に、(b) 中期以降はイネ群落内部にセンサーを設置した

実際に水田に設置した光学センサーにより NIR と PAR を 1 分間隔で測定してみると (図 2)、群落外部の PAR が低いときに安定した Simple Ratio や NIR/PAR の値が得られることが分かってきました。そこで、日の出と日の入りの時刻から推定した理想的な晴天時の PAR 曲線を描き、実際の群落外の PAR との比が 60%以上のときは直射光が光学センサーに直接入射するために NIR/PAR が LAI を反映せず、それ以外の時間帯は散乱光が照射する曇天であるために NIR/PAR が LAI を反映すると考え、散乱光条件下に得られる Simple Ratio や NIR/PAR を抽出しました (図 3)。

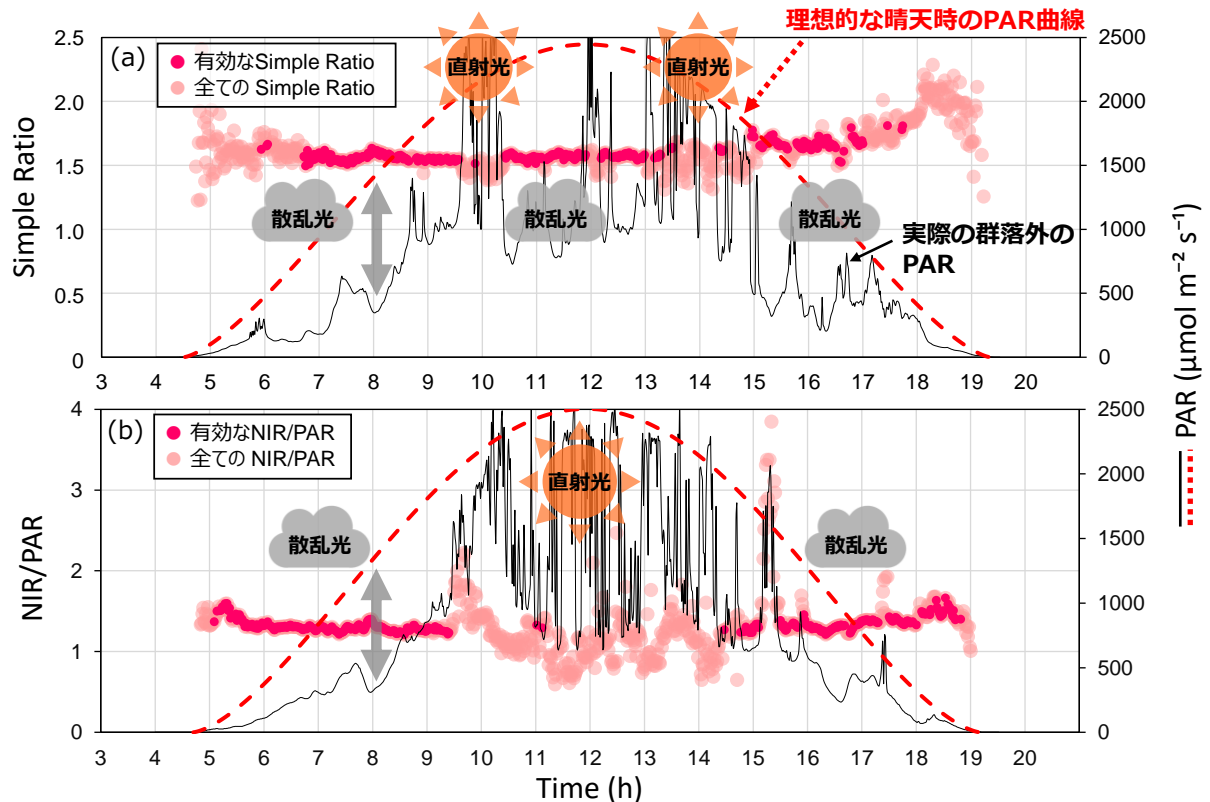


図 3. (a) イネ群落上部で得られた Simple Ratio および (b) イネ群落内で得られた NIR/PAR の日変化。散乱光が照射する曇天時に安定した値が得られることが分かる。

その結果、破壊的に測定した LAI と散乱光条件下で得られた Simple Ratio や NIR/PAR は非常に高い相関を示し、本手法によって 0.1 ~ 12  $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$  という幅広い値の LAI を高精度かつ非破壊的に推定可能となりました (図 4a, b)。さらに、これらの関係式を用いることで、生育期間を通じたイネ群落の連続的な成長や葉の枯れ上がりやそれらの品種間差を捉えることができました (図 4c)。得られた成長曲線を数理モデルに当てはめることで、成長開始までのタイムラグや、最大群落成長速度といったパラメーターの定量的な評価も可能になりました。

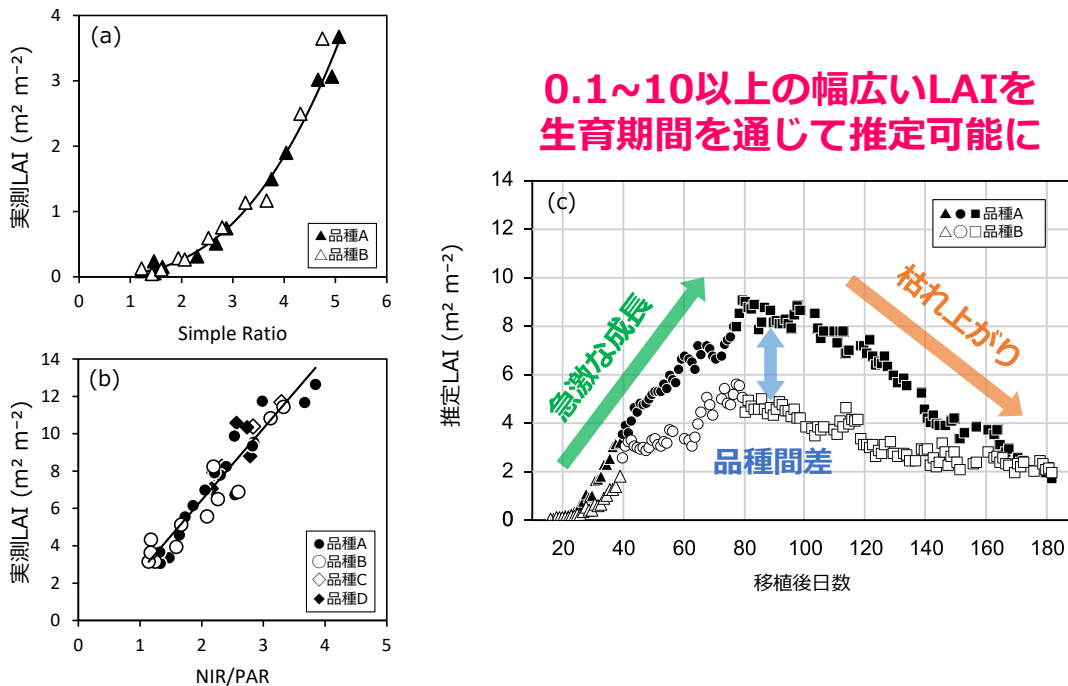


図4. 様々なイネ品種において破壊的に測定された実測LAIと散乱光条件下で得られた (a) Simple Ratio および (b) NIR/PARとの関係と、(c) これらの関係式を用いて生育期間を通じて推定されたイネ2品種のLAIの推移

### 【成果の意義】

本研究により、生育期間を通じたイネの群落成長を連続的かつ非破壊的な評価が可能となりました。これは、水田圃場において NIR と PAR を 1 分間隔で測定し続けることで、散乱光条件下に得られる NIR と PAR の比が LAI を正確に反映することを見出させたことで実現できました。本手法は、従来法より高精度かつ幅広い LAI を推定可能で、イネだけでなく様々な作物の連続・非破壊的な LAI の評価に応用できる可能性があります。

イネは同一品種であっても、異なる気候の栽培地点間では生育・収量が大きく異なることがあります。どのような気象条件に起因するかについては不明な点が多く残っています。本手法を用いて、気象条件に応じたイネ群落成長の品種特性や地域間差を解析することで、イネの収量制限要因の解明およびその打破に向けた栽培法の提案や新品種の育成に貢献できることが期待されます。

### 【用語説明】

NIR：近赤外放射。本研究では 700 ~ 1000 nm の波長の放射強度を表す。

PAR：光合成有効放射。400 ~ 700 nm の波長の光合成に用いられる放射強度を表す。

Simple Ratio：NIR と PAR の反射率の比。各反射率は、作物群落から反射された放射強度と作物群落上で測定された放射強度との比で表される。

### 【論文情報】

雑誌名：Field Crops Research

論文タイトル：Novel technique for non-destructive LAI estimation by continuous measurement of NIR and PAR in rice canopy

著者：Shota Fukuda<sup>a</sup>, Kentaro Koba<sup>a</sup>, Masaki Okamura<sup>b</sup>, Yuichi Watanabe<sup>c</sup>, Jun Hosoi<sup>c</sup>, Koji Nakagomi<sup>d</sup>, Hideo Maeda<sup>e</sup>, Motohiko Kondo<sup>a</sup>, Daisuke Sugiura<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Graduate School of Bioagricultural Sciences, Nagoya University

<sup>b</sup> Central Region Agricultural Research Center, NARO

<sup>c</sup> Nagano Prefecture Agricultural Experiment Station

<sup>d</sup> Western Region Agricultural Research Center, NARO

<sup>e</sup> Institute of Crop Science, NARO

DOI：10.1016/j.fcr.2021.108070