

非破壊計測を利用した作物の成長動態および栽培環境の評価
廣岡義博（近畿大学農学部）

地球規模での気候変動に対応するためには、主要穀物の品種改良に加え、栽培技術の適正化が必要とされている。そのためには、圃場における群落状態での作物形質の情報収集が不可欠であり、中でも、葉面積指数 (LAI) は、生育量を反映すると同時に、その後の群落の生産機能を左右する最も重要な群落形質である。LAI の動態と空間特性の計測には多大な労力を要し、とりわけ経時的な計測は容易ではない。一方で、LAI の簡易評価法として、魚眼レンズ画像から LAI を推定するプラントキャノピーアナライザーをはじめとする非破壊計測技術が開発されてきたが、推定精度が十分でないなどの理由からその利用が停滞していた。本業績は、多頻度の非破壊計測と簡易モデルの適用によって、計測誤差を低減し、作物の成長動態や群落構造を定量的に評価するための手法を開発した。さらに、それらの評価手法を用いて多様な条件における作物の成長動態の評価および栽培環境の検討を行った。得られた成果は以下のように要約される。

1. 非破壊計測を利用した作物成長動態・群落構造の評価技術の開発

生育特性が多様なイネ 6 品種を栄養条件が多様な 5 環境下で栽培し、プラントキャノピーアナライザーによる非破壊的な LAI および受光率の計測を 1 週間に 1-2 回の頻度で行った。有効積算温度を x 軸にとり、計測値をロジスティック関数などの 4 つの簡易モデル式にあてはめることで、LAI および受光率に関する 5 つのパラメータを算出した。これらのパラメータによって、イネの成長動態に関する品種特性と環境による影響、また品種と環境間の交互作用を定量的に解析することができた (業績 2)。これらの結果から、本評価手法は、多品種・多系統における表現型評価や多数の農家圃場におけるそれらの成長動態評価に有用であると考えられた。

また、群落構造が大きく異なり、多収品種として中国東北部で普及しつつある直立穂品種を含むイネ 3 品種を施肥、栽植密度試験に供試し、プラントキャノピーアナライザーによる LAI の層別計測を経時的に実施した。この手法による層別 LAI 推定値は層別刈り取りによる実測値とよく対応していた。さらに、計測が簡易であるため、これまで困難であった LAI 垂直分布の経時的なモニタリングが可能となった。また、積率モデルを用いることで、4 つのパラメータを算出し、品種による LAI 垂直分布の違いと栽培管理が LAI 垂直分布に与える影響を定量的に解析することができた (業績 5)。さらに、直立穂品種は生育後半の LAI 垂直分布の重心が有意に高くなっており、このことが多収要因の一つであることを明らかにした (業績 6)。

2. 多様な栽培環境における作物の成長動態評価および栽培管理技術の検討

ラオス、ビエンチャン近郊の 33 の稲作農家圃場において、LAI の経時変化の測定、土壌および収量調査を行った。圃場ごとの収量は最大 LAI と有意な相関を示し、最大 LAI の変異は成長期間ではなく、LAI 増加速度の違いに依存していた。また、LAI 増加速度と土壌養分 (C, N) 含量との間には密接な関係があった。これらの結果から、無施肥栽培が多くを占めていたラオス農家圃場におけるイネの生産性は LAI 成長に関連する土壌肥沃度に依存していることが示唆された (業績 4)。

カンボジア、プルサット州の 77 の稲作農家圃場において、上記の計測、調査に加えて、土壌水分の推移および聞き取り調査を行った。この地域には直播水田と移植を実施している水田が混在し、施肥栽培を行っている農家も多く、施肥量にもばらつきがあった。直播水田では、播種日と最大 LAI の間に有意な相関があり、早播きが生産性を高めるのに効果的であることが示唆された。また、共分散分析の結果、LAI 増加速度に対して、移植の実施と土壌養分 (C 含量, C/N 比) は有意な正の効果、乾燥条件は有意な負の効果を示した。一般的に N 施肥量が多いほど、LAI 増加速度は大きくなるといわれているが、対象地域においては LAI 増加速度に対する N 施肥量の効果は有意ではなく、施肥時期や施肥後の栽培管理の改善が生産性を高める可能性が示された (業績 3)。

サブサハラアフリカに位置するナミビア国の半乾燥地帯において、圃場試験を実施した。現地主流である四輪トラクタまたはロバによる畝立てと、新たに導入を試みている小型二輪トラクタによる畝立てとの間で現地主要穀物の生育・収量を比較検証した。ここでは、最大 LAI と土壌水分含量に有意な負の相関がみられたため、このパラメータが現地で問題となる水ストレス環境応答の指標になることに加えて、半乾燥地の現地圃場においては小型二輪トラクタによる畝立て栽培が有用であることを明らかにした (業績 7)。

3. 人工衛星に搭載された合成開口レーダー (SAR) を用いた評価技術の広域展開

主要な生育期間が雨季である東南アジアの稲作農家圃場においては、雲や日射の影響を受けないリモートセンシング技術である SAR の利用が適していると考えられる。SAR はアンテナからマイクロ波を地表面に照射しながら、地表面で後方散乱してアンテナに戻ってくるマイクロ波を受信する能動型のセンサーであり、本解析ではここから得られる後方散乱係数 (Back Scattering Coefficient, 以下 BSC) 画像を用いた。ラオス、ビエンチャン近郊の 30 の稲作農家圃場を対象に、生育期間中に、8 回の BSC 計測と 4 回の LAI 計測を行った。一般に深水や雑草が BSC と LAI の関係における誤差要因であるとされるが、「深水水田」や「雑草水田」を除いても相関係数が向上しないことから、それら 2 要因以外にも誤差要因が存在することがわかった。一方、BSC と移植後日数が有意な正の相関を示していた圃場においては、BSC と LAI は密接な関係があり、BSC 増加率は LAI 増加速度と高い相関を示した。これらの結果から、対象地域において、BSC が経時的に増加している圃場においては、SAR によって LAI 増加速度を広域に推定できることが示唆された (業績 1)。

以上のように、本業績では、計測に要する時間が短いという利点を活かし、多頻度または群落内多点数の非破壊計測を行い、かつ簡易モデルを組み合わせることで、LAI の増加速度や垂直分布に関するパラメータを算出した。これらの評価手法をアジアやアフリカなどの多様な栽培環境に適用することで、栽培技術による生産性の変動要因を明らかにした。さらに、SAR データを現地での実測結果を用いて検証することにより、対象を広域に拡大して LAI 動態を推定できる可能性をみいだした。これらの一連の成果は、今後さらなる発展が期待され、日本作物学会研究奨励賞に十分値する業績であると評価される。

研究業績

1. Hirooka, Y., Homma, K., Maki, M., & Sekiguchi, K. (2015). Applicability of synthetic aperture radar (SAR) to evaluate leaf area index (LAI) growth rate of rice in farmers' fields in Lao PDR. *Field Crops Research*, 176, 119-122.
2. Hirooka, Y., Homma, K., Shiraiwa, T., & Kuwada, M. (2016). Parameterization of leaf growth in rice (*Oryza sativa* L.) utilizing a plant canopy analyzer. *Field Crops Research*, 186, 116-123.
3. Hirooka, Y., Homma, K., Kodo, T., Shiraiwa, T., Soben, K., Mithona, C., Tsujimoto, K., Tamagawa, K., & Koike, T. (2016). Evaluation of cultivation environment and management based on LAI measurement in farmers' paddy fields in Pursat province, Cambodia. *Field Crops Research*, 199, 150-155.
4. Hirooka, Y., Homma, K., Maki, M., Sekiguchi, K., Shiraiwa, T., & Yoshida, K. (2017). Evaluation of the dynamics of the leaf area index (LAI) of rice in farmer's fields in Vientiane Province, Lao PDR. *Journal of Agricultural Meteorology*, 73, 16-21.
5. Hirooka, Y., Homma, K., & Shiraiwa, T. (2018). Parameterization of the vertical distribution of leaf area index (LAI) in rice (*Oryza sativa* L.) using a plant canopy analyzer. *Scientific Reports*, 8, 6387.
6. Hirooka, Y., Homma, K., Shiraiwa, T., Makino, Y., Liu, T. S., Xu, Z., & Tang, L. (2018). Yield and growth characteristics of erect panicle type rice (*Oryza sativa* L.) cultivar, Shennong265 under various crop management practices in Western Japan. *Plant Production Science*, 21, 1-7.
7. Hirooka, Y., Shoji, K., Watanabe, Y., Izumi, Y., Awala, S. K., & Iijima, M. (2019). Ridge formation with strip tillage alleviates excess moisture stress for drought-tolerant crops. *Soil & Tillage Research*, 195, 104429.