

## 植物は太陽の強い光が嫌い？ ～陸上植物が緑である理由を解明～

### 概要

九州大学大学院農学研究院の久米篤教授、筑波大学生命環境系の奈佐原顕郎准教授、秋津朋子研究員らの研究グループは、宇宙航空研究開発機構（JAXA）、国立環境研究所（NIES）、高層気象台（JMA）と共同で、太陽からの光の色（直達日射）と空の色（散乱日射）に分けて、空全体の色を精密に観測する装置を開発し、長期測定を行いました。これらの観測データと、植物の光吸収特性との関係を解析した結果、陸上植物の葉は、直達日射の最も強い波長域の吸収を避けるような性質を持ち、結果として植物の葉からの緑色光の反射が増えていることが明らかになりました。

本研究結果は2016年3月4日に「Journal of Plant Research」誌にオンライン発表されました。

### 背景

日射は様々な色の光の粒（光量子）から構成されています（光の波長と色の関係（図1））。植物は光量子の一部をクロロフィル（Chl）によって吸収し、光合成を行うことで地球の生態系を支えています。クロロフィルは葉緑素とも呼ばれていますが、これは緑色の光量子の吸収率が低いため、その理由については様々な説明がなされてきました。

光の吸収特性についての研究を行う場合には、光を利用する側の植物の吸光特性を解析することは勿論、実際に植物が受けている光の特性についての検討も重要です。しかし、これまでは野外環境での信頼できる太陽光や空の色がほとんど測定されていなかったため、平均的な太陽の光の色（入射日射スペクトル分布）を想定して研究が進められてきました。

今回、JAXA-NIES-JMAの3機関による共同研究体制のサポートによって、実際の空の光の色や強さの精密な測定データが得られるようになりました。

### 内容

地表に差す太陽の光（全天日射）を、太陽の方向から地表に到達する直達日射と、大気中の雲等により散乱・反射されて地上に届く散乱日射に分けて、別々の分光放射計によってスペクトル分布を測定しました（図2）。その結果、晴天時の直達日射のスペクトル分布と、散乱日射のスペクトル分布は大きく異なり、太陽からの光と空からの光は、色や強さが大きく異なっていることが明らかになりました（図3）。

これらのスペクトル特性と、植物の光吸収特性との関係を解析した結果、葉の中で光を捉える葉緑体の光合成タンパク複合体は、晴天時の直達日射の最も強い波長域（550nm）、すなわち緑色の光を避けるように精密に構成されており、葉緑体レベルの直達日射の吸光指数は散乱日射よりも1割以上小さくなっていました。つまり、植物の緑は、直達日射の最も強い（エネルギー密度の高い）波長域の吸収を少なくして、過剰な熱吸収を避けるのに適していることが示唆されました。この傾向は実際の植物の葉でも確認されましたが（図4）、葉全体では柵状組織や海綿状組織の発達によって葉の内部で何度も反射・吸収が生じるため、緑色光も含めて全ての色の光が効果的に利用できていることが明らかになりました。

### 効果

これまでの多くの研究によって、強い光を避ける機構が光合成系の維持に重要であることは示されていましたが、実際の日射観測データとの比較研究はほとんど行われてきませんでした。本研究成果は、陸上植物の光化学システムの構造や葉組織内配置が、強すぎる直達日射を避け、かつ光を有効に利用できるような、太陽光の方向性や波長特性の影響を受けて進化してきたことを示唆しており、直達・散乱に分けた日射の波長特性と吸収波長特性とを合わせた研究が重要であることを明らかにしました。

海中の植物による光環境適応は主に弱い光の有効利用であるため、植物の陸上への進出にともなう光合成の進化を理解する上でも重要な鍵となります。

また、日射の方向特性や波長特性に関する知見は、作物の葉の性質を調節する、収穫を増やす、あるいは光障害を減らすための技術開発への利用が期待できます。

### ■今後の展開

本研究成果により、今後、植物の他の色素や様々な生物の日射応答においても、直達放射と散乱放射の波長特性の違いが影響している事例が発見される可能性があります。

現在、日射の精密な波長分布測定は高層気象台でしか行われていませんが、全国的に比較測定できる体制の整備を目指しています。高精度分光日射観測は陸域生態系の光利用を研究する上で本質的に重要であり、広域観測態勢を構築することが必須です。既存のフィールド観測においてこれらの情報を付加することによって、生理生態学、フラックス観測（※1）、リモートセンシング（※2）など、日射に係わる全ての研究分野に新しい観点からの基礎データを提供し、野外生物の光利用や遺伝形質分布などについて新しい研究分野を拓いていくための体制を構築していきたいと考えています。

### ■参考図

図1 光の波長と色の関係



図2 直達放射（右）と散乱放射（左）を測定している分光放射計。直達放射は筒をつけて太陽の方向からの日射だけを測定する。散乱放射は太陽の方向を黒い球で隠して測定する。いずれも、太陽追尾装置に取り付けられている。

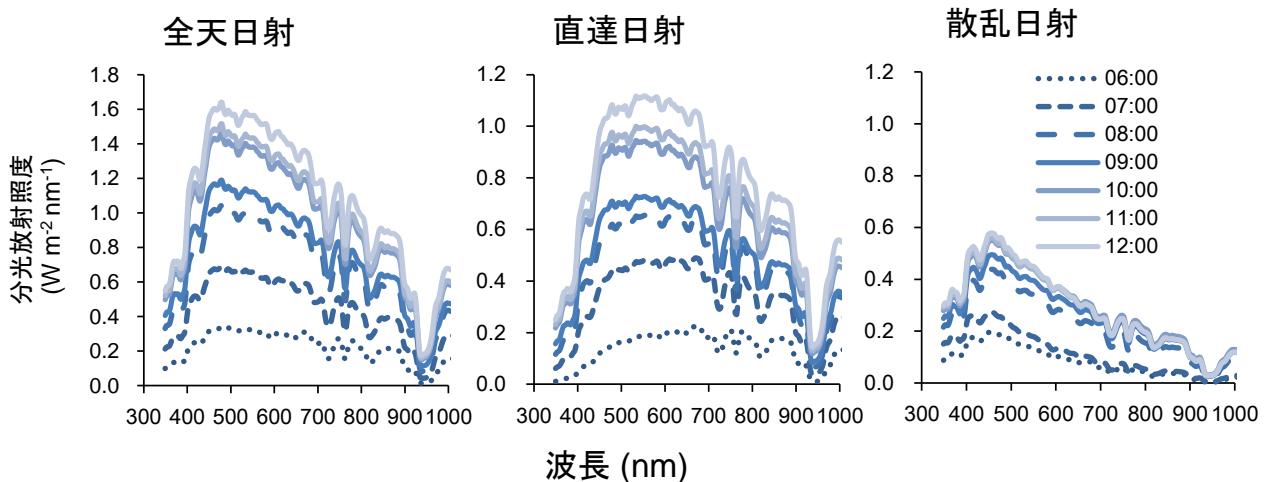


図3 晴天日の各日射の分光放射照度（波長別エネルギー分布）。午前中の時刻別の測定値。太陽の方向からの直達日射と、空全体からの散乱日射では、波長エネルギー分布のピーク位置や最大値が大きく異なる。

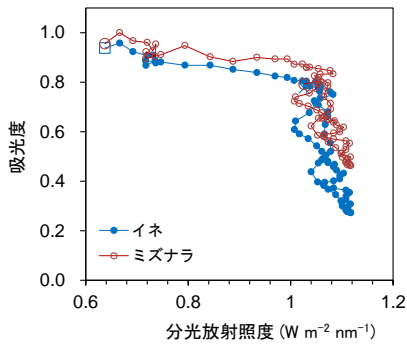


図 4 イネとミズナラの葉の光吸収スペクトルと直達日射のエネルギー分布の関係。日中に直達日射の放射照度の最も大きくなる550nm（緑色の波長）付近で最も光を吸収しない特性を持っている。

### ■用語説明

(※1) フラックス観測：生態系のCO<sub>2</sub>吸収やメタン放出などの野外測定

(※2) リモートセンシング：対象物からの反射や赤外線放射などを利用して、測定対象から離れた測器によって植物情報を集める技術

### ■論文情報

タイトル： Leaf color is fine-tuned on the solar spectra to avoid strand direct solar radiation

著者： Atsushi Kume, Tomoko Akitsu, Kenlo Nishida Nasahara

掲載誌： Journal of Plant Research

DOI：10.1007/s10265-016-0809-0

#### 【お問い合わせ】

九州大学大学院農学研究院 教授 久米 篤 (くめ あつし)

筑波大学生命環境系 准教授 奈佐原 顕郎 (なさはら けんろう)