

平成 30 年 11 月 30 日

報道機関 各位

国立大学法人 東北大学大学院 生命科学研究科
国立研究開発法人国立環境研究所

リモートセンシングによって観測可能な光学データによる 植物の光合成速度推定方法の開発

【発表のポイント】

- ・ 植物の光合成は、人類を含む全ての生物のエネルギー源を供給するとともに大気 CO₂ の吸収によって地球環境変動を緩和する役割をもつ。
- ・ 地球レベルでの光合成を推定するために、植物の色素クロロフィルが発する蛍光と、植物が反射する光のスペクトルを利用して光合成速度を高精度で推定する方法を開発した。
- ・ 本手法は人工衛星からの観測によって植物の CO₂ 吸収力を推定する精度の向上に寄与すると期待される。

【概要】

国立大学法人東北大学大学院生命科学研究科の彦坂幸毅教授及び国立研究開発法人国立環境研究所（以下「国立環境研究所」という。）の野田響主任研究員は、葉 1 枚での実験を通じて、リモートセンシング^{注1)}によって観測可能な光学データから植物の光合成速度を高精度で推定する新しい手法を開発しました。光学的指標による光合成量の推定は、これまでも多くの先行研究がありますが、本研究で開発した手法は、光合成の際のクロロフィル蛍光及び熱放散の指標を用いており、生化学的なメカニズムに基づく新しいものです。光合成は、植物が光エネルギーを利用して CO₂ を吸収し炭水化物を合成する反応です。より大きいスケールでは、光合成速度は陸上生態系が CO₂ を吸収する量や、農作物の成長量・収量を決定します。本研究で開発した手法は、地球スケールで人工衛星により観測される光学指標に応用することが可能です。今後は、この手法を用いて、本年 10 月 29 日に打ち上げられた日本の新しい人工衛星「いぶき 2 号」が観測するクロロフィル蛍光データから陸上生態系の CO₂ 吸収量を推定することを予定しています。これにより、将来的に植物の CO₂ 吸収量を広域で把握することが可能になり、パリ協定の実施に対する貢献も期待されます。

本論文は国際誌 *Plant, Cell and Environment* の電子版に掲載されました。本研究は文部科学省科学研究費補助金及び国立環境研究所 GOSAT-2 プロジェクトの支援を受けて行われました。

【背景】

植物の光合成は、植物が光エネルギーを利用して CO₂ を吸収し炭水化物を合成する経路です。光合成によって生産された糖は、農作物のみならず、食物網を通して全ての生物のエネルギー源となり、私たちの生活を支える礎となっています。また、主要な温室効果ガスである CO₂ を吸収することにより気候変動を緩和する重要な役割もあります。光合成は、地球上の生態系が吸収する CO₂ の量、そして、農作物の成長量、ひいては収量も決定する大きな要因となります。植物が光合成により CO₂ を吸収した量を調べるには多様な方法がありますが、広域について、地球スケールでの光合成速度を把握するにあたり、人工衛星が観測する光学的な情報の利用はきわめて有効な手段となります。本研究では、人工衛星が観測可能な光学的な指標を用いた光合成速度の推定手法を、植物生理学的なメカニズムに基づいて葉 1 枚のスケールで開発・実証しました。

光合成の過程ではクロロフィル（葉緑素）という色素が光を吸収します。クロロフィルは、光を吸収して、そのエネルギーを光合成系に利用する役割をもっていますが、吸収した全てのエネルギーを光合成のみに利用することはできず、一部のエネルギーは熱として放散されたり（熱放散）、再び光となって放出されます（図 1）。この再放出される光がクロロフィル蛍光で、太陽光の下では、人工衛星「いぶき」^{注2)} (GOSAT) 及び後継機の「いぶき 2 号」(GOSAT-2) のセンサーのような波長分解能の高い精密な分光放射計により観測することができます。クロロフィル蛍光の強度は、光合成系の状態によって変化するため、多くの研究においてクロロフィル蛍光は光合成速度の指標として利用されてきました。

しかし、クロロフィル蛍光の強度は、光合成速度だけではなく、熱放散の影響も受けます。植物は、乾燥などのストレスを受けると、熱放散へエネルギーを多く分配することが知られています。熱放散は、過剰なエネルギーが植物体内に蓄積しないようにする、エネルギーの安全弁のような役割をもっていると考えられています。これまでクロロフィル蛍光から光合成速度を推定する研究では、熱放散の効果を単純化していたため、不確実性が高いことが指摘されてきました。一方、熱放散については、「光化学反射指数 (Photochemical Reflectance Index)」により評価することが可能です。光化学反射指数とは、植物が反射する波長 531 nm（緑色の光）の光の強さを指標化したものです。植物は、熱放散を増やす際に、カロテノイド色素の一種キサントフィルを非熱放散型（ビオラキササンチン）から熱放散型（ゼアキササンチン）に変換します。非熱放散型と熱放散型では 531nm の光の反射率が違うため、この波長の反射率の変化を解析することで熱放散へのエネルギー分配を推定できます。

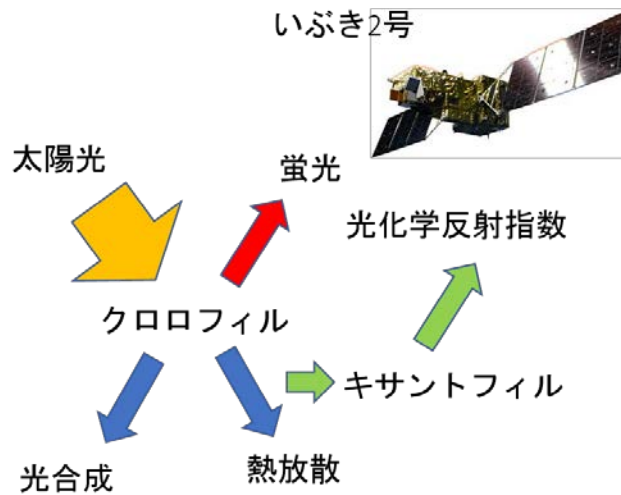


図 1 光合成色素クロロフィルが吸収した光エネルギーのゆくえ。クロロフィルが吸収した光エネルギーの一部は光合成によって使われるが、残りは熱や蛍光となって放出される。人工衛星は光合成そのものを検出することはできないが、「いぶき」など一部の衛星はクロロフィル蛍光を検出することができる。また、熱放散へ分配されるエネルギーの量は、キサントフィルの変換を通して調節されており、異なる人工衛星 (NASA の MODIS センサーなど) の観測データから得られる光化学反射指数より検出できる。本研究ではクロロフィル蛍光と光化学反射指数から推定した熱放散の両方から光合成速度を推定する手法を開発した。

【モデルの構築と実証実験】

本研究では、クロロフィル蛍光と光化学反射指数を併用することにより、熱放散へのエネルギー分配を推定し、光合成速度の推定に利用するという手法を開発しました。

まず、光合成、クロロフィル蛍光の強度、熱放散、光化学反射指数の関係を、従来の植物生理学的な知見を応用して、生化学的な理論に基づいた数式で表しました。次に、このモデルの実証のための実験を行いました。実験では、シロザを実験植物として温度や光環境、CO₂濃度を変化させた環境で、葉 1 枚のスケールでの光合成、クロロフィル蛍光、光化学反射指数の同時観測を行いました (写真 1)。そして、それらの結果からクロロフィル蛍光と光化学反射指数の両方を用いることで高精度で光合成速度を推定できることを実証しました (図 2)。

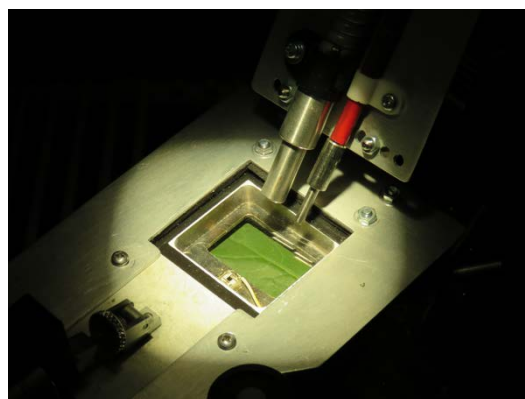


写真 1 実験の様子。植物の葉は、光合成速度を測るための装置 (同化箱) に入れられ、上から光を照射されている。左のファイバーケーブルでクロロフィル蛍光を検出し、右のファイバーケーブル (赤色)

で光化学反射指数を得るために葉の反射光を検出した。

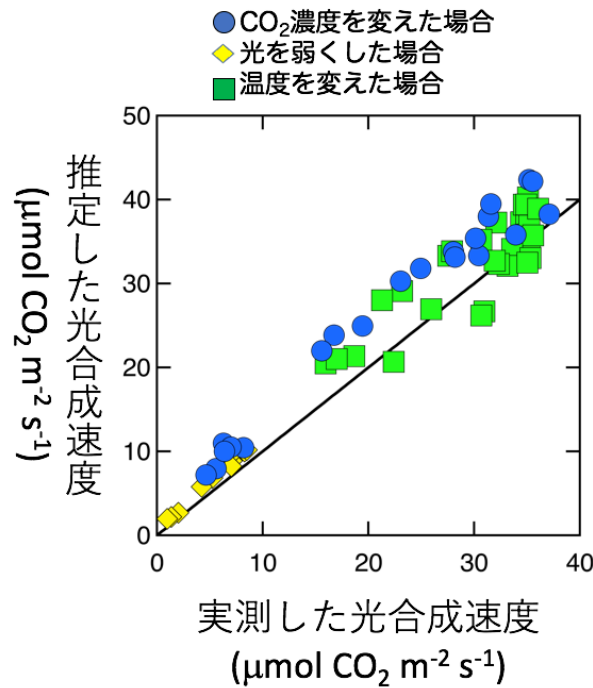


図2 実際に測定した光合成速度と、クロロフィル蛍光及び光化学反射指数に基づくモデルを使って推定した光合成速度の比較。黒い線は 1:1 を示している。グラフ上の点がこの線に近いほど、モデルで推定した光合成速度が実験で得られた値に近いこと、すなわちモデルが正しいことを表す。

【今後の展望】

クロロフィル蛍光については、これまでに日本の温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」が太陽光の下で陸域の植物が発する蛍光を検出する能力があることが知られていました。その後継機として本年 10 月 29 日に打ち上げられた「いぶき 2 号」(GOSAT-2)でも同様にクロロフィル蛍光の観測が可能で、正式なプロダクト^{注3)}として公開が予定されています。一方、光化学反射指数は、NASA (アメリカ航空宇宙局) の人工衛星センサーMODIS が海洋観測用に観測しているデータなど、いくつかの「いぶき」以外の衛星から得ることができます。

今後は、本研究の成果を応用して、「いぶき」、「いぶき 2 号」や、他の人工衛星の観測データを組み合わせて広域の光合成速度の推定を行います。将来的には、「いぶき 2 号」が広域の光合成速度の高精度推定に寄与することにより、今後の温室効果ガスの吸収・排出量推定の精緻化に大きく寄与することが期待でき、パリ協定の着実な実施に対する日本の貢献にも繋がります。

【研究助成】

本研究は文部科学省科学研究費補助金及び国立環境研究所 GOSAT-2 プロジェクトの支援を受けて行われました。

【用語説明】

(注1) 人工衛星など遠隔から対象を観測する手法。

(注2) 環境省、国立環境研究所 (NIES) 及び宇宙航空研究開発機構 (JAXA) が共同で開発した世界初の温室効果ガス観測専用の衛星であり、平成21年1月23日の打上げ以降、現在も観測を続けている。

(注3) 衛星観測データから抽出される情報。

【論文題目】

題目 : Modeling leaf CO₂ assimilation and photosystem II photochemistry from chlorophyll fluorescence and the photochemical reflectance index

著者 : Kouki Hikosaka and Hibiki Noda

雑誌 : *Plant, Cell and Environment*

DOI: 10.1111/pce.13461

【問い合わせ先】

(研究に関すること)

東北大学大学院生命科学研究科

担当 彦坂幸毅 (ひこさか こうき)

電話番号: 022-795-7735

Eメール: hikosaka@m.tohoku.ac.jp

(GOSAT、GOSA-2 に関すること)

国立環境研究所地球環境研究センター

担当 野田響 (のだ ひびき)

電話番号: 029-850-2463

Eメール: noda.hibiki@nies.go.jp

(報道に関すること)

東北大学大学院生命科学研究科広報室

担当 高橋 さやか (たかはし さやか)

電話番号: 022-217-6193

Eメール: lifsci-pr@grp.tohoku.ac.jp