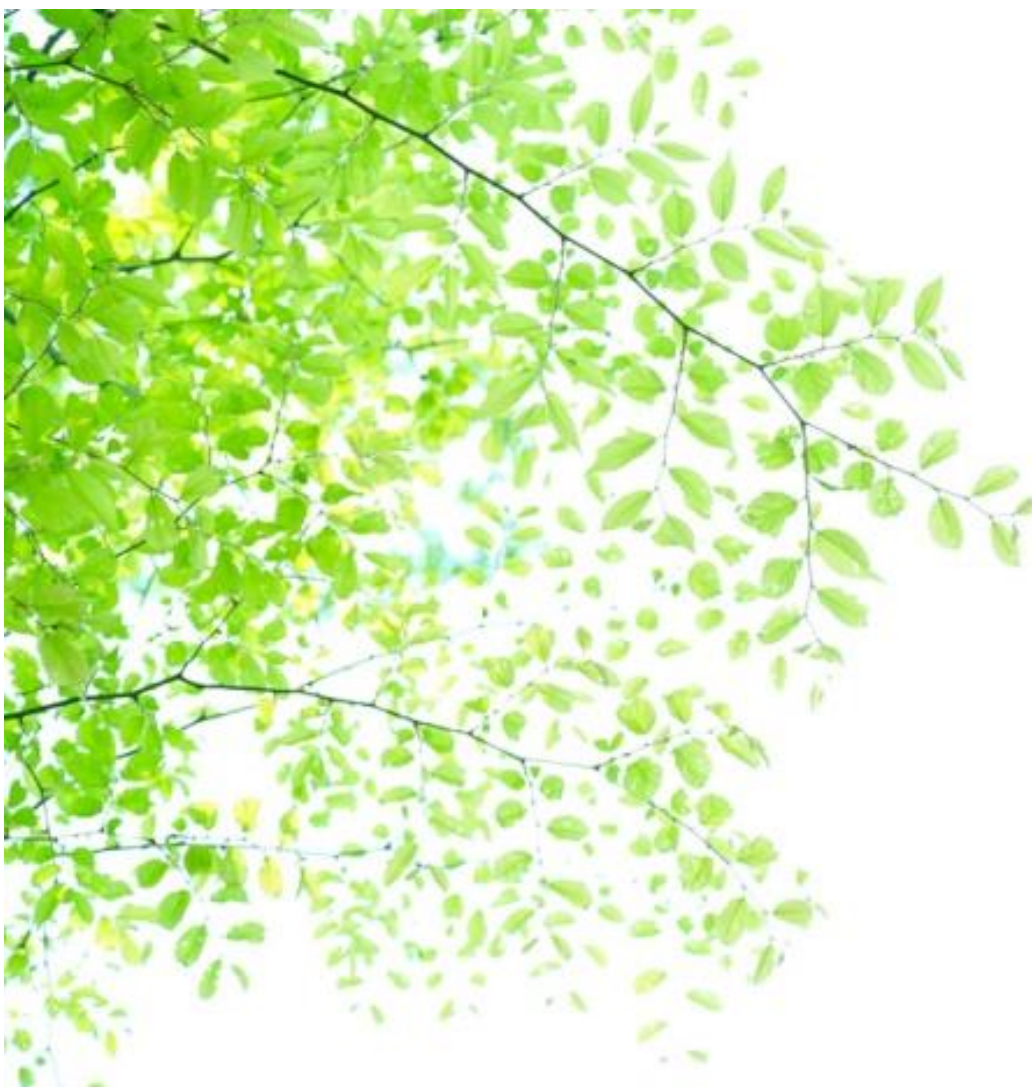




New Photosynthesis News Letter



No.7

December 2019

目次

巻頭言 栗栖 源嗣	3
Journal Highlights	4
Reports	
第4回「光合成道場」	25
新光合成-光合成若手の会ジョイント若手ワークショップ 2019	28
第一回日米二国間セミナー	30
2019 年度秋期領域会議	31
今後の予定	33
お願い	33

巻頭言

師走を迎えて、博論や修論の対応に追われてみなさん大変お忙しくされていることと思います。12月は私自身も岡山で開催された領域会議を皮切りに、いろいろな学会や会議に出席するため出張の多い月となりました。学会出席のため移動中の新幹線の中で目に止まった新聞記事の一つを紹介したいと思います。電車の色についての記事でした。

関西近郊をはしる阪急電車は大手私鉄なので、関西以外の方もご存知でしょう。有川浩の小説「阪急電車」で映画にもなりました。この阪急電車の車両の色（マルーン色：紫かった栗色）ですが、1916年の開業以来100年以上変更されていないのだそうです。競合他社は、手を替え品を替え目新しさを追求して電車の塗装を度々変更しているのですが、阪急はずっとマルーン色です。この阪急電車の色ですが、いちど会社が色を変更する方針を打ち出したことがあったのだそうです。しかし、地元住民の強い反対運動により方針は撤回され、以前と変わらない色の車体が今も（阪大の近くを）走っています。もちろん、ダイヤの組み替えや新型車両の導入など、企業努力はなされています。無駄のないよう古い車両もリフォームして能勢電鉄などで活用されています。私はこの小さな新聞記事を見たときに、「伝統と信頼」が地元の強い支持を得ることに共感しました。

日本の光合成研究は長い歴史と実績があり、日本発のデータは世界から信頼を持って受け入れられてきました。目には見えないけれど、我々現役世代が受け継いだ得難い伝統であり、大切にしていかなければならない財産であると思っています。得てしてコミュニティーが成熟すると目新しさを追求しがちで「いちど電車の色を変えた方がよいのでは？他社は目新しい塗装の新型車両を導入して成功したぞ！」といった類の意見が出てきます。私の専門とする構造生物学でも「クライオ電顕があれば、X線もNMRも要らないのでは？」といった極論を言う人もいます。しかし、阪急電鉄が地元住民の強い反対運動で改めて自身の価値に気づき、ダイヤの組み替えや駅舎の改良に注力しているように、日本の光合成研究は「伝統と信頼」そして「躍進」を追求するべきと感じています。即ち、これまでの研究の延長線上にある機能解析・新しい現象の発見など日本のお家芸を大切に、クライオ電顕や高速AFMなどの新技術も積極的に取り入れていけば、我々のコミュニティーは世界に伍して戦っていけるのではないかとそんな気持ちになる新聞記事でした。

皆川代表の力強いリーダーシップの下で活動してきた新学術領域は、「伝統と信頼そして躍進」の本質を上手く内包した素晴らしいチーム構成になっています。岡山での領域会議では、未発表のデータを含めて非常に刺激的な研究発表が沢山ありました。令和2年は実質的に領域最期の年となります。最終評価に向けて、領域全体が一丸となって我々のコミュニティーを盛り立てていけることを祈念しております。少し早いですが、皆様、良いお年をお迎えください

栗栖 源嗣

Journal Highlights

Global shifts in gene expression profiles accompanied with environmental changes in cnidarian-dinoflagellate endosymbiosis

Yuu Ishii, Shinichiro Maruyama, Hiroki Takahashi, Yusuke Aihara, Takeshi Yamaguchi, Katsushi Yamaguchi, Shuji Shigenobu, Masakado Kawata, Naoto Ueno, Jun Minagawa
G3: Genes, Genomes, Genetics, **9**, 2337-2347 doi: 10.1534/g3.118.201012

Stable endosymbiotic relationships between cnidarian animals and dinoflagellate algae are vital for sustaining coral reef ecosystems. Recent studies have shown that elevated seawater temperatures can cause the collapse of their endosymbiosis, known as ‘bleaching’, and result in mass mortality. However, the molecular interplay between temperature responses and symbiotic states still remains unclear. To identify candidate genes relevant to the symbiotic stability, we performed transcriptomic analyses under multiple conditions using the symbiotic and apo-symbiotic (symbiont free) *Exaiptasia diaphana*, an emerging model sea anemone. Gene expression patterns showed that large parts of differentially expressed genes in response to heat stress were specific to the symbiotic state, suggesting that the host sea anemone could react to environmental changes in a symbiotic state-dependent manner. Comparative analysis of expression profiles under multiple conditions highlighted candidate genes potentially important in the symbiotic state transition under heat-induced bleaching. Many of these genes were functionally associated with carbohydrate and protein metabolisms in lysosomes. Symbiont algal genes differentially expressed *in hospite* encode proteins related to heat shock response, calcium signaling, organellar protein transport, and sugar metabolism. Our data suggest that heat stress alters gene expression in both the hosts and symbionts. In particular, heat stress may affect the lysosome-mediated degradation and transportation of substrates such as carbohydrates through the symbiosome (phagosome-derived organelle harboring symbiont) membrane, which potentially might attenuate the stability of symbiosis and lead to bleaching-associated symbiotic state transition.

プレスリリース・概要（東北大学大学院生命科学研究科・2019年6月3日）
サンゴ共生藻と刺胞動物との共生崩壊に関わる遺伝子発現の変化を解明
共生が崩壊する「白化現象」を遺伝子レベルで解析

【発表のポイント】

- サンゴ礁生態系は、サンゴなどの刺胞動物と、褐虫藻（かっちゅうそう）と呼ばれる単細胞藻類の細胞内共生*¹によって成り立っており、共生の崩壊によりサンゴ礁が死滅する「白化現象」が大きな問題になっている。
- 本研究では、実験室での飼育や人為的な共生状態・非共生状態の誘導が容易なモデル刺胞動物セイタカイソギンチャクを用いることで、白化の要因と考えられる高温ストレスに対して遺伝子発現量に変化する様子を、共生体がいる状態といない状態で比較解析することに成功した。
- この結果、共生体がいる状態の時に限り、刺胞動物細胞内の「リソソーム*²」と呼ばれる細胞小器官で働く遺伝子などが重要な役割を果たす可能性を示した。
- 本研究により、サンゴ白化現象の理解に重要な細胞生物学研究のためのゲノムレベルでの解析基盤を開発することができた。

【概要】東北大学大学院生命科学研究科の丸山真一朗助教らのグループは、基礎生物学研究所の皆川純教授、上野直人教授、重信秀治教授らと共同で、共生崩壊の原因と考えられている高温ストレスに対して、共生藻がいる状態といない状態のイソギンチャクとの間で、遺伝子発現量の変動パターンが大きく異なることを発見しました。これは、宿主刺胞動物の環境応答の仕組みが藻類との共生状態の影響を強く受けることを示した重要な報告です。本研究結果は、5月16日付でG3: Genes, Genomes, Genetics誌のEarly onlineとして掲載されました。

【用語解説】

*1 細胞内共生

サンゴなど宿主刺胞動物の内胚葉と呼ばれる組織の細胞内には褐虫藻が共生している。褐虫藻は宿主から供給される二酸化炭素を利用して光合成し、その産物である有機物を宿主へ栄養源として供給すると考えられている。

*2 リソソーム

一重の膜につつまれた細胞内の構造体の一つ、内部に加水分解酵素を持ち、食作用などにより細胞内に取り込まれた生体分子などを加水分解した後、細胞内に吸収したり、不要なものは排出したりする作用を持つ。

Structure of the green algal photosystem I supercomplex with a decameric light-harvesting complex I

Michihiro Suga, Shin-Ichiro Ozawa, Kaori Yoshida-Motomura, Fusamichi Akita, Naoyuki Miyazaki, and Yuichiro Takahashi

Nature Plants, **5**, 626-636 (2019) doi: 10.1038/s41477-019-0438-4

In plants and green algae, the core of photosystem I (PSI) is surrounded by a peripheral antenna system consisting of light-harvesting complex I (LHCI). Here we report the cryo-electron microscopic structure of the PSI-LHCI supercomplex from the green alga *Chlamydomonas reinhardtii*. The structure reveals that eight Lhca proteins form two tetrameric LHCI belts attached to the PsaF side while the other two Lhca proteins form an additional Lhca2/Lhca9 heterodimer attached to the opposite side. The spatial arrangement of light-harvesting pigments reveals that Chlorophylls *b* are more abundant in the outer LHCI belt than in the inner LHCI belt and are absent from the core, thereby providing the downhill energy transfer pathways to the PSI core. PSI-LHCI is complexed with a plastocyanin on the patch of lysine residues of PsaF at the luminal side. The assembly provides a structural basis for understanding the mechanism of light-harvesting, excitation energy transfer of the PSI-LHCI supercomplex and electron transfer with plastocyanin.

プレスリリース・概要（岡山大学、大阪大学・2019年6月13日）
巨大な集光アンテナをもつ光化学系 I の立体構造を解明
～太陽光エネルギーの高効率利用に前進～

◆発表のポイント

- 緑藻は巨大な集光アンテナタンパク質複合体を持ち、太陽の光エネルギーを効率的に利用することが知られていましたが、その詳細な構造は不明でした。
- 緑藻の光化学系 I—集光アンテナタンパク質超複合体の立体構造を、クライオ電子顕微鏡を用いて決定しました。
- 本研究成果は、光合成が高い効率で光エネルギーを利用する仕組みの解明や、人工光合成実用化に不可欠な光エネルギーを効率的に利用する技術の開発に重要な知見を与えると期待されます。

岡山大学異分野基礎科学研究所の高橋裕一郎教授、菅倫寛准教授、小澤真一郎特任助教と大阪大学蛋白質研究所の宮崎直幸助教（現：筑波大学）らの共同研究グループは、光合成において、光エネルギーを効率的に吸収し二酸化炭素を糖に変換するために必要な還元力を作り出す、緑藻の光化学系 I—集光アンテナタンパク質超複合体の立体構造を、クライオ電子顕微鏡を用いて原子レベルの解像度で決定することに成功。光合成において太陽

光エネルギーを効率よく利用するために必要となる、集光色素とタンパク質の詳細な立体配置を明らかにしました。本研究成果は Research Article として 6 月 10 日（英国時間）、英国の科学雑誌「Nature Plants」に掲載されました。

光化学系 I—集光アンテナタンパク質超複合体は、太陽光のエネルギーを極めて高い効率で吸収・利用しています。本研究成果は、弱い光でも効率的に光合成をする緑藻が光を巧みに利用する仕組みを明らかにしただけでなく、人工光合成実現のために必須な高効率の太陽光エネルギー利用技術を開発するための重要な知見を与えると期待されます。

◆研究者からのひとこと

この研究は試料調製の技術、最先端のクライオ電子顕微鏡の技術、光合成膜タンパク質の構造解析の技術の 3 つの技術が「三位一体」となり、はじめて達成することができました。また、研究では中国のグループと厳しい競争関係にありましたが、高橋教授らを含む研究者の 20 年間以上にわたる研究成果の蓄積があったので、何とか発表に間に合っただけです。（菅、小澤）

The thioredoxin (Trx) redox-state sensor protein can visualize Trx activities in the light-dark response in chloroplasts

Kazunori Sugiura, Yuichi Yokochi, Nae Fu, Yuki Fukaya, Keisuke Yoshida, Shoko Mihara and Toru Hisabori

J Biol Chem. **294**, 12091-12098 (2019) doi: 10.1074/jbc.RA119.007616

Thiol-based redox regulation via ferredoxin-thioredoxin (Trx) reductase/Trx controls various functions in chloroplasts in response to light/dark changes. Trx is a key factor of this regulatory system, and five Trx subtypes, including 10 isoforms, have been identified as chloroplast-localized forms in *Arabidopsis thaliana*. These subtypes display distinct target selectivity, and, consequently, they form a complicated redox regulation network in chloroplasts. In this study, we developed a FRET-based sensor protein by combining CFP, YFP, and the N-terminal region of CP12, a redox-sensitive regulatory and Trx-targeted protein in chloroplasts. This sensor protein enabled us to monitor the redox change of chloroplast thioredoxin *in vivo*, and we therefore designated this protein "change in redox state of Trx" (CROST). Using CP12 isoforms, we successfully prepared two types of CROST sensors that displayed different affinities for two major chloroplast Trx isoforms (f-type and m-type). These sensor proteins helped unravel the real-time redox dynamics of Trx molecules in chloroplasts during the light/dark transition.

プレスリリース・概要 (東京工業大学・2019年7月5日)

植物の酸化還元状態をリアルタイムで検知

チオレドキシンの酸化還元状態変化のセンサーを開発

要点

- タンパク質の酸化還元によって起こる構造変化を利用
- 蛍光が変化する新たな酸化還元タンパク質プローブの開発に成功
- 植物機能制御の鍵タンパク質であるチオレドキシンの状態変化検出が可能に

概要

東京工業大学 科学技術創成研究院 化学生命科学研究所の杉浦一徳研究員(研究当時。現職 大阪大学 産業科学研究所 生体分子機能科学研究分野 特任研究員)と久堀徹教授らは緑色植物葉緑体内の酸化還元制御機構^[用語 1]の鍵タンパク質であるチオレドキシンの^[用語 2]酸化還元状態をリアルタイムにモニターできる蛍光タンパク質センサーCROST (Change in redox state of thioredoxin)^[用語 3]を開発し、明暗条件の変化により植物体内でチオレドキシンの酸化還元が変化する様子を捉えることに成功した。

チオレドキシンの光合成の電子伝達系から還元力を受け取ると、分子表面の2個のシステインのチオール基^[用語 4]が還元状態になる。還元型チオレドキシンの葉緑体内の様々な酵素

分子を標的として働き、酵素分子が持っているジスルフィド結合^[用語5]を還元する。還元された酵素分子は構造変化を起こし、通常活性型になる。こうしてチオレドキシンは光合成が始まるのに対応して、葉緑体内の様々な酵素分子の活性を制御する因子として働く。このため、チオレドキシンのどのくらい還元されるかを調べることは、葉緑体の機能制御のメカニズムを探る大切な情報となる。

これまでチオレドキシンの状態を調べるには、葉を瞬間凍結して組織の中のタンパク質分子の状態を化学的に調べる方法が一般的だった。しかし、電子移動は瞬時に起こるため、タンパク質の細胞内の動態を探るにはリアルタイムに酸化や還元状態を探る方法が不可欠だった。

研究成果は6月20日付け、アメリカ分子生物学生物化学会誌「*Journal of Biological Chemistry* (バイオロジカル・ケミストリー)」に掲載された。

用語説明

[用語1] **酸化還元制御機構** : 生体内の酸化還元状態に応じて、タンパク質分子の持っているジスルフィド結合の形成・開裂などを制御することにより、そのタンパク質の酵素活性を調節する分子機構。タンパク質の翻訳後修飾のひとつ。

[用語2] **チオレドキシ (Trx)** : ほとんどすべての生物が普遍的に持っている、酸化還元制御に中心的な役割を果たす酸化還元タンパク質。-WCGPC- (-Trp-Cys-Gly-Pro-Cys-) というよく保存された活性部位モチーフを持ち、この2つのCys (システイン) のチオール基の酸化還元によって還元力伝達を行う。

[用語3] **蛍光タンパク質センサーCROST** (Change in redox state of thioredoxin) : 本研究で新たに作成したチオレドキシンの酸化還元状態の変化を蛍光変化としてモニターできるようにしたセンサータンパク質。

[用語4] **システインのチオール基** : システインというアミノ酸の側鎖。SH基とも呼ばれ、反応性が高くタンパク質の機能に重要な役割を果たすことが多い。

[用語5] **ジスルフィド結合** : システインのチオール基同士が酸化条件で形成する共有結合のこと。硫黄原子同士の結合であるため、SS結合とも呼ばれる。

Biochemical characterisation of fumarase C from a unicellular cyanobacterium demonstrating its substrate affinity, altered by an amino acid substitution

Noriaki Katayama, Masahiro Takeya, Takashi Osanai

Scientific Reports, 9, Article number: 10629 (2019) doi: 10.1038/s41598-019-47025-7

The tricarboxylic acid cycle produces NADH for oxidative phosphorylation and fumarase [EC 4.2.1.2] is a critical enzyme in this cycle, catalysing the reversible conversion of fumarate and l-malate. Fumarase is applied to industrial l-malate production as a biocatalyst. l-malate is used in a wide range of industries such as food and beverage, pharmacy chemistry. Although the biochemical properties of fumarases have been studied in many organisms, they have not been investigated in cyanobacteria. In this study, the optimum pH and temperature of *Synechocystis* 6803 fumarase C (SyFumC) were 7.5 and 30 °C, respectively. The K_m of SyFumC for l-malate was higher than for fumarate. Furthermore, SyFumC activity was strongly inhibited by citrate and succinate, consistent with fumarases in other organisms. Substitution of alanine by glutamate at position 314 of SyFumC changed the k_{cat} for fumarate and l-malate. In addition, the inhibitory effects of citrate and succinate on SyFumC activity were alleviated. Phylogenetic analysis revealed cyanobacterial fumarase clades divided in non-nitrogen-fixing cyanobacteria and nitrogen-fixing cyanobacteria. SyFumC was thus biochemically characterised, including identification of an amino acid residue important for substrate affinity and enzymatic activity.

プレスリリース・概要（明治大学・2019年7月23日）

リンゴ酸生産酵素がコハク酸生産の鍵酵素の一つであることを示唆

- 明治大学大学院農学研究科環境バイオテクノロジー研究室の片山 徳賢（博士前期課程 1 年）、竹屋壮浩（2018 年度修了生）、小山内 崇（准教授）らの研究グループは、世界中で広く研究されているラン藻であるシネコシスティスのフマラーゼという酵素がクエン酸回路の代謝産物に阻害を受けており、その阻害をアミノ酸の置換によって緩和できることを明らかにした。
- シネコシスティスのフマラーゼの働きは、これまで報告されているフマラーゼと同様にクエン酸回路の代謝産物であるコハク酸やクエン酸によって阻害されることが分かった。
- シネコシスティスのフマラーゼの 314 番目におけるアミノ酸の置換はクエン酸とコハク酸からの阻害を緩和し、酵素の代謝回転数を変化させた。

要旨

植物と同じ光合成を行うラン藻という細菌は、光合成の過程で取り込んだ二酸化炭素から様々な有用物質を生産することができます。中でも、シネコスチス^{注1)}というラン藻は、遺伝子改変が簡単で凍結保存が可能であるなどの簡便さから、基礎・応用の両分野において世界中で盛んに研究されています。特に、遺伝子の分子生物学的な研究や物質生産に関する研究は精力的に行われています。しかし、それらと比べると代謝のしくみに関する基礎研究は、発展途上の分野です。特に、ラン藻は、糖の分解に関する知見が少なく酵素の性質があまり明らかになっていません。

クエン酸回路という代謝経路は、生育に必要なエネルギーを効率良く生み出す酸素呼吸の主要な経路です。クエン酸回路は、複数の反応とそれを担う酵素群で成り立っています。中でもフマラーゼは、クエン酸回路の中でフマル酸とリンゴ酸の変換を受け持つ酵素であり、工業的にリンゴ酸を生産することに応用されている酵素でもあります。リンゴ酸は私たちの生活の中でも食品添加物などに使われる重要な化学物質です。今回、私たちはこれまで報告されていないシネコスチスのフマラーゼ FumC (SyFumC) を精製し、生化学的性質を調べました。

その結果、SyFumC は、他の細菌よりも活性が低いことが分かりました。また、SyFumC は、従来の FumC と同様に、リンゴ酸を基質とするよりもフマル酸を基質とした場合に酵素活性が高いことが分かりました。次に、SyFumC の活性を変化させる因子を探索したところ、SyFumC は、亜鉛イオン (Zn^{2+}) などの金属イオンや、同じクエン酸回路の代謝物であるクエン酸とコハク酸によって強く阻害されることが分かりました。過去の我々の研究から、シネコスチスは発酵時にコハク酸を作ることが知られていますが、この結果は、フマラーゼがコハク酸生産をする際に律速酵素となりうることを示唆しています。

また、他の細菌やラン藻の FumC の構成アミノ酸の比較を行ったところ、314 番目のアラニンが特徴的であるということが分かりました。そこで、このアラニンの置換が酵素活性にどのような変化をもたらすかを調べるために、このアラニンからグルタミン酸に置換した SyFumC (SyFumC_A314E) を作製したところ、クエン酸やコハク酸による阻害が緩和されました。また、酵素の活性の指標の一つである代謝回転数が低下することが分かりました。

このように、本研究では、クエン酸回路のフマラーゼという酵素が同じクエン酸回路の代謝物によって阻害を受けていることがわかり、さらに1つのアミノ酸の置換によってその阻害を緩和できることを発見しました。

この研究は、明治大学大学院農学研究科 片山 徳賢 (博士前期課程1年)、小山内崇 (准教授) らのグループによって行われました。この研究は、JST 戦略的創造研究推進事業 先端的低炭素化技術開発ALCA (代表小山内崇) およびJSPS 科研費新学術領域研究「新光合成」(領域代表基礎生物学研究所皆川純教授、計画班代表大阪大学清水浩教授) の援助により行われました。

本研究成果は、2019年7月23日発行の「*Scientific Reports*」に掲載されました。

補足説明 注1) シネコスチス

最も広く研究されている淡水性、単細胞性のラン藻。増殖が速く、直径が約1.5マイクロメートルの球形をしている。窒素固定を行わない。1996年に、ラン藻種の中で最初に全ゲノム配列が決定された。相同組換えによる遺伝子の改変が可能であり、凍結保存が可能であるなどの利点を有する。

Structural basis for energy harvesting and dissipation in a diatom PSII–FCPII supercomplex

Ryo Nagao, Koji Kato, Takehiro Suzuki, Kentaro Ifuku, Ikuo Uchiyama, Yasuhiro Kashino, Naoshi Dohmae, Seiji Akimoto, Jian-Ren Shen, Naoyuki Miyazaki and Fusamichi Akita
Nature Plants **5**, 890–901(2019) doi: 10.1038/s41477-019-0477-x

Light-harvesting antenna systems in photosynthetic organisms harvest solar energy and transfer it to the photosynthetic reaction centres to initiate charge-separation and electron-transfer reactions. Diatoms are one of the important groups of oxyphototrophs and possess fucoxanthin chlorophyll a/c-binding proteins (FCPs) as light harvesters. The organization and association pattern of FCP with the photosystem II (PSII) core are unknown. Here we solved the structure of PSII–FCPII supercomplexes isolated from a diatom, *Chaetoceros gracilis*, by single-particle cryoelectron microscopy. The PSII–FCPII forms a homodimer. In each monomer, two FCP homotetramers and three FCP monomers are associated with one PSII core. The structure reveals a highly complicated protein–pigment network that is different from the green-type light-harvesting apparatus. Comparing these two systems allows the identification of energy transfer and quenching pathways. These findings provide structural insights into not only excitation-energy transfer mechanisms in the diatom PSII–FCPII, but also changes of light harvesters between the red- and green-lineage oxyphototrophs during evolution.

プレスリリース・概要（岡山大学、筑波大学、理化学研究所、京都大学、
神戸大学、日本医療研究開発機構、科学技術振興機構

2019年7月30日）

褐色を呈する光化学系 II-集光性色素タンパク質複合体の立体構造を解明 ～光合成生物の進化と多様化を解明する糸口に～

◆発表のポイント

- 光合成生物はなぜ多様な色を持つのか？その問いに答えるために、褐色を呈する海洋珪藻由来の光化学系 II-集光性色素タンパク質の立体構造をクライオ電子顕微鏡により決定しました。
- 珪藻の巨大複合体の立体構造は緑色植物由来のものと比較して、色素の組成や集光性タンパク質中での並び方が大きく異なり、多様性を生み出していることがわかりました。
- 色素の並び方から、水中でエネルギーを効率よく利用する仕組みがわかり、光合成生物が多様な環境に応じて効率よく太陽光エネルギーを利用する仕組みを獲得してきたことが明らかになりました。

岡山大学異分野基礎科学研究所の長尾遼特任助教、加藤公児特任准教授、秋田総理准教授、沈建仁教授、大阪大学蛋白質研究所の宮崎直幸助教（現：筑波大学）らの共同研究グループは、理化学研究所、京都大学、兵庫県立大学、基礎生物学研究所、神戸大学との共同研究により、クライオ電子顕微鏡を用いて、海産性珪藻の光化学系 II-集光性色素タンパク質複合体の立体構造解析に成功し、珪藻特有の色素組成とその並び方を明らかにしました。この結果から、水中で太陽光エネルギーを効率よく収集・逸散する仕組みや、光合成生物が多様な環境に応じて集光性色素タンパク質を進化させてきた仕組みが明らかになりました。本研究成果は、日本時間 7 月 30 日（火）午前 0 時（英国時間：29 日午後 4 時）、英国の科学雑誌「Nature Plants」に掲載されました。

本研究成果は、なぜ光合成生物は多様な色を持ち、さまざまな場所に生育できるのか？という問いに対する答えを与えるものです。色の違いは光合成生物の生存戦略の一環で、褐色を呈する珪藻が水中で限られた光エネルギーをいかにして利用するのか、その仕組みが明らかになりました。この成果は、光合成生物の進化と多様化の謎をひもとく知見となり、絶えず変動する太陽光エネルギーの効率的・選択的な利用を目指した人工デバイスの創出についても重要な知見を提供するものです。

◆研究者からのひとこと

この研究は、なぜ珪藻は褐色をしているのか？なぜ植物と色が違うのか？という単純な疑問から始まり、10年以上前から取り組んできたテーマです。現在、主流となりつつあるクライオ電子顕微鏡を利用することにより、褐色の要因となる色素タンパク質の構造決定に成功しました。クライオ電子顕微鏡が無ければ達成できなかった成果であり、最先端の技術のすごさを実感しました。（長尾特任助教）

Horizontal Transfer of Promiscuous Activity from Nonphotosynthetic Bacteria Contributed to Evolution of Chlorophyll Degradation Pathway.

Daichi Obata, Atsushi Takabayashi, Ryouichi Tanaka, Ayumi Tanaka, Hisashi Ito

Mol Biol Evol. **36**, 2830–2841 (2019) doi: 10.1093/molbev/msz193.

The relationship between enzymes and substrates does not perfectly match the “lock and key” model, because enzymes act on molecules other than their true substrate in different catalytic reactions. Such biologically nonfunctional reactions are called “promiscuous activities.” Promiscuous activities are apparently useless, but they can be an important starting point for enzyme evolution. It has been hypothesized that enzymes with low promiscuous activity will show enhanced promiscuous activity under selection pressure and become new specialists through gene duplication. Although this is the prevailing scenario, there are two major problems: 1) it would not apply to prokaryotes because horizontal gene transfer is more significant than gene duplication and 2) there is no direct evidence that promiscuous activity is low without selection pressure. We propose a new scenario including various levels of promiscuous activity throughout a clade and horizontal gene transfer. STAY-GREEN (SGR), a chlorophyll a—Mg dechelating enzyme, has homologous genes in bacteria lacking chlorophyll. We found that some bacterial SGR homologs have much higher Mg-dechelating activities than those of green plant SGRs, while others have no activity, indicating that the level of promiscuous activity varies. A phylogenetic analysis suggests that a bacterial SGR homolog with high dechelating activity was horizontally transferred to a photosynthetic eukaryote. Some SGR homologs acted on various chlorophyll molecules that are not used as substrates by green plant SGRs, indicating that SGR acquired substrate specificity after transfer to eukaryotes. We propose that horizontal transfer of high promiscuous activity is one process of new enzyme acquisition.

プレスリリース・概要（北海道大学・2019年9月6日）

植物の老化や紅葉には、細菌の遺伝子が関わっていた
～酵素の本来の役割とは異なる触媒活性が
新しい代謝系の誕生に重要であることを解明～
（低温科学研究所 助教 伊藤 寿）

ポイント

- クロロフィルを持たない細菌が、植物のクロロフィルを分解する遺伝子を持つことを発見。
- 植物の祖先は細菌からこの遺伝子をもらい、クロロフィル分解経路を作ったことを解明。
- 本来の役割と異なる酵素の触媒機能が将来の代謝系の進化に重要であるという仮説を提唱。

概要

北海道大学低温科学研究所の伊藤 寿助教，北海道大学大学院生命科学院博士後期課程の小畑大地氏らの研究チームは，植物の祖先がバクテリアから酵素を獲得し，それを利用してクロロフィルの分解系を作ったことを解明しました。

植物の光合成に関わるクロロフィルはマグネシウムを中心金属として持っています。クロロフィルの分解は，このマグネシウムがマグネシウム脱離酵素により外されることによって始まります。この反応は植物の老化や紅葉に中心的な役割を果たしています。興味深いことに，植物のマグネシウム脱離酵素と似たタンパク質がクロロフィルを持たないバクテリアに見つかったことから，その酵素活性を調べたところ，クロロフィルのマグネシウムを脱離する活性を持ち，植物の酵素より高い活性を示すことがわかりました。ただし，この酵素はバクテリアの中ではクロロフィル分解には関わらず，本来は別の働きをしていると予想されます。また，分子系統解析の結果，植物の祖先がバクテリアからこの酵素を遺伝子の水平伝播によって獲得したことがわかりました。

これらの結果はバクテリアの酵素が偶然クロロフィルを分解する活性を持ち，それが植物に取り込まれることによって植物がクロロフィルを分解できるようになったことを示しています。この成果は新しい酵素や代謝系の獲得機構の解明に貢献すると期待されます。

本研究成果は，協定世界時 2019 年 9月5日（木）午後 9 時公開の *Molecular Biology and Evolution* 誌に掲載されました。

The CONSTANS flowering complex controls the protective response of photosynthesis in the green alga *Chlamydomonas*

Ryutaro Tokutsu, Konomi Fujimura-Kamada, Takuya Matsuo, Tomohito Yamasaki & Jun Minagawa

Nat Commun. **10**, 4099 (2019) doi: 10.1038/s41467-019-11989-x.

Light is essential for photosynthesis, but the amounts of light that exceed an organism's assimilation capacity can result in oxidative stress and even cell death. Plants and microalgae have developed a photoprotective response mechanism, qE, that dissipates excess light energy as thermal energy. In the green alga *Chlamydomonas reinhardtii*, qE is regulated by light-inducible photoprotective proteins, but the pathway from light perception to qE is not fully understood. Here, we show that the transcription factors CONSTANS and Nuclear transcription Factor Ys (NF-Ys) form a complex that governs light-dependent photoprotective responses in *C. reinhardtii*. The qE responses do not occur in CONSTANS or NF-Y mutants. The signal from light perception to the CONSTANS/NF-Ys complex is directly inhibited by the SPA1/COP1-dependent E3 ubiquitin ligase. This negative regulation mediated by the E3 ubiquitin ligase and the CONSTANS/NF-Ys complex is common to photoprotective response in algal photosynthesis and flowering in plants.

プレスリリース・概要

(自然科学研究機構 基礎生物学研究所、
名古屋大学、高知大学、
2019年9月10日)

花作りのスイッチを入れる遺伝子の新たな機能を発見 ～花は咲かせずとも緑藻の光防御を制御する～

季節ごとに見られる色とりどりの花の形成は、私たちが身近に感じる自然現象の一つです。植物では良く知られている花芽の形成ですが、生物の進化過程においてどのように獲得されたのかはわかっていませんでした。基礎生物学研究所 環境光生物学研究部門の 得津 隆太郎 助教、皆川 純 教授らは、名古屋大学遺伝子実験施設の 松尾 拓哉 講師および高知大学 理工学部の 山崎 朋人 助教と、地球上の光合成生物が持つ「光防御反応（強すぎる光から身を守る反応）」の仕組みについて共同研究を進めていたところ、植物において花芽の形成時期を制御する遺伝子（CONSTANS）が緑藻の光防御反応を制御することを発見しました。詳しい解析の結果、緑藻が強すぎる光から身を守る仕組みには植物の花芽形成と共通する部分があることが分かりました。この発見により、植物の花芽形成に関わる遺伝子系の進化、つまり、遙か昔に水生の藻類が花作りのスイッチを制御する仕組みを獲得していたことが見えてきました。本研究成果は、国際学術誌 *Nature communications* 誌に2019年9月10日付で掲載されます。

Far-Red Light Accelerates Photosynthesis in the Low-Light Phases of Fluctuating Light

Masaru Kono, Hikaru Kawaguchi, Naoki Mizusawa, Wataru Yamori, Yoshihiro Suzuki, Ichiro Terashima

Plant and Cell Physiology, (2019) doi:10.1093/pcp/pcz191

It is well known that far-red light (FR; >700 nm) drives PSI photochemistry, but its effect on photosynthetic performance has received little attention. In this study, the effects of the addition of FR to red fluctuating light (FL) have on photosynthesis were examined in the leaves of *Arabidopsis thaliana*. Light-activated leaves were illuminated with FL [alternating high light/low light (HL/LL) at 800/30 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$] for 10–15 min without or with FR at intensities that reflected natural conditions. The CO_2 assimilation rates upon the transition from HL to LL were significantly greater with FR than without FR. The enhancement of photosynthesis by FR was small under the steady-state conditions and in the HL phases of FL. Proton conductivity through the thylakoid membrane (gH^+) in the LL phases of FL, estimated from the dark relaxation kinetics of the electrochromic absorbance shift, was greater with FR than without FR. The relaxation of non-photochemical quenching (NPQ) in the PSII antenna system and the increase in PSII photochemistry in the LL phases accelerated in the presence of FR. Similar FR-effects in FL were confirmed in typical sun and shade plants. On the basis of these results, we concluded that FR exerted beneficial effects on photosynthesis in FL by exciting PSI and accelerating NPQ relaxation and PSII-yield increase. This was probably because of the increased gH^+ , which would reflect faster ΔpH dissipation and ATP synthesis.

プレスリリース・概要（東京大学大学院理学系研究科・理学部
2019年10月16日）

光合成を駆動しない遠赤色光が光合成を促進する

発表のポイント

- 遠赤色光^(注1)は、単独では光合成を駆動しないため、その光合成への影響は研究されてこなかった。本研究は、光合成を駆動できる波長域の光の強さ^(注2)が頻繁に変化する変動光環境下において、遠赤色光が光合成の効率^(注3)を上昇させることを明らかにした。
- 多くの研究において植物に照射される光合成駆動光の強度は一定であることが多い。このような定常光条件下では、遠赤色光は光合成にほとんど影響を与えない。本研究は、光合成を直接には駆動しない遠赤色光が、植物の光合成能を最大限に引き出すことを見出した。
- 遠赤色光による光合成増強（促進）機構の解明は、将来予想される食料不足問題解決に向けた光合成能増大作物の創出に新たな可能性を与えることが期待される。また、植物工場などにおける“光照射法”の最適化にも大きく貢献する。

発表概要

陸上植物は波長 400 - 700 nm の青色～赤色の領域の光、つまり可視光領域の光を吸収して光合成を行うので、この波長域の光は光合成有効放射とよばれる。一方、人の目には見えないとされる遠赤色光とよばれる 700 - 800 nm の領域の光は、植物の発生や形態形成に大きく作用するが、光合成との関連ではその作用はほとんど研究されてこなかった。確かに、700 nm より長波長の単色光はほとんど光合成を駆動しない。一方、太陽光は遠赤色光を豊富に含む。また、植物の浴びる太陽光の強度は、雲による遮蔽や、上部に存在する植生によって、頻繁かつダイナミックに変化する。東京大学大学院理学系研究科の河野優特任助教らは、アブラナ科のモデル植物シロイヌナズナの葉に、野外変動光を模した光合成駆動光に加えて遠赤色光を照射したときの光合成応答を解析した。その結果、遠赤色光の補光によって光合成速度が増加すること、遠赤色光の効果は光の強さが頻繁に変化する変動光環境下で顕著に見られることが明らかになった。単独では光合成を駆動しない遠赤色光は、光合成の調節に深く関わっており、光エネルギーや電子の渋滞緩和のための交通整理の役割を果たしているのである。今回の結果は、食料不足問題の解決に向けた光合成能増大作物の創出に新たな可能性を与えるものである。

用語解説

注 1 遠赤色光

赤外線の一部で、700 - 800 nm の波長域の光のこと。おもに植物を扱う研究において用いられる用語である。植物の伸長成長や発芽制御などには遠赤色光が関わるため、その効果はよく調べられている。遠赤色光はクロロフィルにも吸収されるが、光合成有効放射に比べて、その吸収率は小さい。また、光化学系 II のクロロフィルにはほとんど吸収されないため、遠赤色光単独では光合成による O_2 発生や CO_2 固定をほとんど駆動しない。

注 2 光の強さ

光合成反応では、光を粒子（光量子）としてみたときに、光量子がどの程度のエネルギーを持っているのかではなく、光量子の数が重要となる。そのため、光合成分野では、波長 400-700 nm の光量子数を基本とした単位、光量子束密度 ($\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$) を使う。一般的に、室内の蛍光灯の下に立った時が $10 \mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 程度、深い森の中だと $10 - 50 \mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 程度、曇り空だと $50 - 400 \mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、真夏の直射日光がおおよそ $2000 \mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 程度になる。

注 3 光合成の効率

光合成速度は葉に照射される光の強さに比例して高くなる。しかし、ある程度の強度に達すると光合成速度は飽和する。光合成を飽和させるレベルよりも強い光が照射されると、過剰な光エネルギーが発生する。植物は、過剰な光エネルギーを熱に変換して安全に散逸機構を持っている。強すぎる光のもとでは、吸収した光エネルギーを率先して熱散逸してやることで、自身の光合成装置が壊れないようにしている。

Structure of a cyanobacterial photosystem I tetramer revealed by cryo-electron microscopy

Koji Kato, Ryo Nagao, Tian-Yi Jiang, Yoshifumi Ueno, Makio Yokono, Siu Kit Chan, Mai Watanabe, Masahiko Ikeuchi, Jian-Ren Shen, Seiji Akimoto, Naoyuki Miyazaki and Fusamichi Akita

Nat Commun. **10**, 4929 (2019) doi: 10.1038/s41467-019-12942-8

Photosystem I (PSI) functions to harvest light energy for conversion into chemical energy. The organisation of PSI is variable depending on the species of organism. Here we report the structure of a tetrameric PSI core isolated from a cyanobacterium, *Anabaena* sp. PCC 7120, analysed by single-particle cryo-electron microscopy (cryo-EM) at 3.3 Å resolution. The PSI tetramer has a C2 symmetry and is organised in a dimer of dimers form. The structure reveals interactions at the dimer-dimer interface and the existence of characteristic pigment orientations and inter-pigment distances within the dimer units that are important for unique excitation energy transfer. In particular, characteristic residues of PsaL are identified to be responsible for the formation of the tetramer. Time-resolved fluorescence analyses showed that the PSI tetramer has an enhanced excitation-energy quenching. These structural and spectroscopic findings provide insights into the physiological significance of the PSI tetramer and evolutionary changes of the PSI organisations.

プレスリリース・概要（岡山大学、筑波大学、神戸大学
2019年10月30日）

四量体を形成する光化学系 I の立体構造を解明 ～光合成生物の適応進化を解明する手がかりに～

◆発表のポイント

- 光合成生物種によってさまざまな形態で存在する光化学系 I の中で、詳細な構造が不明だった四量体で存在する光化学系 I の立体構造を決定しました。
- 決定した構造と時間分解蛍光分析の結果から、光化学系 I 四量体が他のものと比較して、強すぎる光エネルギーを逃すことに優れていることが明らかになりました。
- これらの研究結果から、光合成生物が多様な環境に応じて光化学系 I 四量体の形態を変化させる仕組みを獲得してきたことが示唆されました。

岡山大学異分野基礎科学研究所の加藤公兎特任准教授、長尾遼特任助教、蔣天翼大学院生、秋田総理准教授、沈建仁教授、筑波大学生存ダイナミクス研究センターの宮崎直幸助教、神戸大学の秋本誠志准教授、東京大学大学院総合文化研究科の池内昌彦名誉教授らの

共同研究グループは、クライオ電子顕微鏡を用いて、シアノバクテリア由来の光化学系 I 四量体の立体構造解析に成功し、四量体構造を形成する仕組み、また四量体特有の集光色素の並び方を明らかにしました。さらに時間分解蛍光分析から光化学系 I 四量体が強すぎる光に対する優れた防御機構を持っていることが明らかになりました。これらの結果から、光合成生物が多様な光環境に応じて光化学系 I 集合状態を変化させてきた仕組みが明らかになりました。本研究成果は、日本時間 10 月 30 日（水）午後 7 時（英国時間：30 日午前 10 時）、英国の科学雑誌「Nature Communications」に掲載されました。

この成果は、光合成生物の環境適応の謎をひもとく知見になるだけでなく、太陽光エネルギー有効利用のための技術開発にも重要な知見を与えることが期待されます。

◆研究者からのひとこと

この研究は生化学的なタンパク質試料調製法、構造解析法と分光学的解析法を駆使して、はじめて達成することができました。研究成果を発表するまでには多くの困難が有りましたが、共同研究者の皆様、研究室メンバーの協力により得られた成果です。（加藤特任准教授）

Structural insight into light harvesting for photosystem II in green algae

Xin Sheng, Akimasa Watanabe, Anjie Li, Eunchul Kim, Chihong Song, Kazuyoshi Murata, Danfeng Song, Jun Minagawa and Zhenfeng Liu

Nat Plants., **5**, 1320–1330, (2019) doi: 10.1038/s41477-019-0543-4.

Green algae and plants rely on light-harvesting complex II (LHCII) to collect photon energy for oxygenic photosynthesis. In *Chlamydomonas reinhardtii*, LHCII molecules associate with photosystem II (PSII) to form various supercomplexes, including the $C_2S_2M_2L_2$ type, which is the largest PSII-LHCII supercomplex in algae and plants that is presently known. Here, we report high-resolution cryo-electron microscopy (cryo-EM) maps and structural models of the $C_2S_2M_2L_2$ and C_2S_2 supercomplexes from *C. reinhardtii*. The C_2S_2 supercomplex contains an LhcbM1-LhcbM2/7-LhcbM3 heterotrimer in the strongly associated LHCII, and the LhcbM1 subunit assembles with CP43 through two interfacial galactolipid molecules. The loosely and moderately associated LHCII trimers interact closely with the minor antenna complex CP29 to form an intricate subcomplex bound to CP47 in the $C_2S_2M_2L_2$ supercomplex. A notable direct pathway is established for energy transfer from the loosely associated LHCII to the PSII reaction centre, as well as several indirect routes. Structure-based computational analysis on the excitation energy transfer within the two supercomplexes provides detailed mechanistic insights into the light-harvesting process in green algae.

プレスリリース・概要（自然科学研究機構 基礎生物学研究所、
自然科学研究機構 生理学研究所・2019年11月26日）

光化学系 II-集光装置超複合体の立体構造を決定 ～分子量166万の巨大集光マシンの全貌が明らかに～

植物や藻類は、太陽光エネルギーを集めて電気化学エネルギーに変換して利用することで二酸化炭素を固定し炭水化物を合成します（光合成反応）。その中心となるのは、光化学系 I、光化学系 II と呼ばれる二種の膜タンパク質色素超複合体です。光化学系 II は光エネルギーを電気化学エネルギーに変換しますが、その際に水を酸化して酸素を発生することでも知られています。このように炭水化物や酸素の生産に必要な酵素ですから、人間を含めた地球上の生物にとって光化学系 II は大変重要です。今回、基礎生物学研究所/総合研究大学院大学の渡邊顕正大学院生と皆川純教授、生理学研究所の村田和義准教授、中国科学院の柳振峰教授らを中心とした国際共同研究チームは、光化学系 II とこれに光エネルギーを与える集光装置の全体（超複合体）を緑藻から取り出して、その立体構造をクライオ電子顕微鏡にて決定しました。これにより、巨大集光マシンによって集められた光エネルギーの流れが解明されました。この成果は2019年11月26日に植物科学専門誌 *Nature Plants* に掲載されました。

Whole Irradiated Plant Leaves Showed Faster Photosynthetic Induction Than Individually Irradiated Leaves *via* Improved Stomatal Opening

Shunji Shimadzu, Mitsunori Seo, Ichiro Terashima and Wataru Yamori

Front. Plant Sci. **10** (2019) doi: 10.3389/fpls.2019.01512

Rapid photosynthetic induction is crucial for plants under fluctuating light conditions in a crop canopy as well as in an understory. Most previous studies have focused on photosynthetic induction responses in a single leaf, whereas the systemic responses of the whole plant have not been considered. In a natural environment, however, both single leaves and whole plants are exposed to sunlight, since the light environment is not uniform even within a given plant. In the present study, we examined whether there is any difference between the photosynthetic induction response of a leaf of a whole irradiated plant and an individually irradiated leaf in *Arabidopsis thaliana* to consider photosynthetic induction as the response of a whole plant. We used two methods, the visualization of photosynthesis and direct measurements of gas-exchange and Chl fluorescence, to demonstrate that whole irradiated plant promoted its photosynthetic induction *via* improved stomatal opening compared with individually irradiated leaf. Furthermore, using two *Arabidopsis* knockout mutants of abscisic acid transporter, *abcg25* and *abcg40*, the present study suggests that abscisic acid could be involved in this systemic response for stomatal opening, allowing plants to optimize the use of light energy at minimal cost in plants in a dynamic light environment.

プレスリリース・概要（東京大学大学院理学系研究科・理学部

2019年11月28日）

植物の寝起きが良くなる光照射法

— 全身に光を浴びることが植物の光合成効率を改善することを発見 —

発表のポイント

- ▶ 光合成能力を最大限に発揮するまでのウォーミングアップにあたる“光合成誘導”の時間を比較したところ、全身に光を浴びる植物個体では、葉一枚のみに光が当たる個体に比べ、所要時間が短縮されることを発見した。
- ▶ 個体内で光の当たる葉の枚数が増加するにつれて、光の当たった葉の通気口である気孔がすばやく開き、光合成誘導の時間が短縮された。変異体を用いた解析から、光の当たる葉の枚数の増加にともない、葉一枚あたりの気孔閉鎖ホルモン・アブシシン酸の量が減少することが示唆された。
- ▶ 本研究成果は、個体の中でも一枚の葉のみを対象とした従来の光合成研究に対する警鐘となるとともに、植物工場などにおける光照射法の最適化にも貢献する。

発表概要

太陽が昇ると、植物の1日もスタートする。暗闇にいた植物は光を受けると同時に光合成を開始するが、光合成能力を最大限に発揮するまで植物はウォーミングアップを必要とする。この期間は“光合成誘導^(注1)”とよばれ、その間、植物は吸収した光エネルギーを最大限有効利用できない。ヒトが朝起きてすぐには行動を開始できないように、光合成誘導は植物にとっての“寝起きでうまく動けない時間”と言える。太陽が昇る早朝のみならず、日中でも畑や林床などでは、雲の切れ間から降り注ぐ光や、風で揺らめく植物の葉の間から差し込む光の影響で、植物の受ける光量は頻繁に変動しており、一日の中でも光合成が弱光下のオフの状態から強光下のオンの状態になる誘導現象が見られる。したがって、野外の変動する光環境において光合成誘導期間を短縮することによって植物生産性を向上させようという取り組みが世界中でなされている。

東京大学大学院理学系研究科の島津舜治 大学院生（研究当時：学部生）、大学院農学生命科学研究科の矢守航 准教授（研究当時：大学院理学系研究科 准教授）らは、複数の植物種を用いて、全身に光を受けた植物個体では、葉一枚のみに光を受けた個体に比べて光合成誘導期間が短縮されることを見出した（図1）。

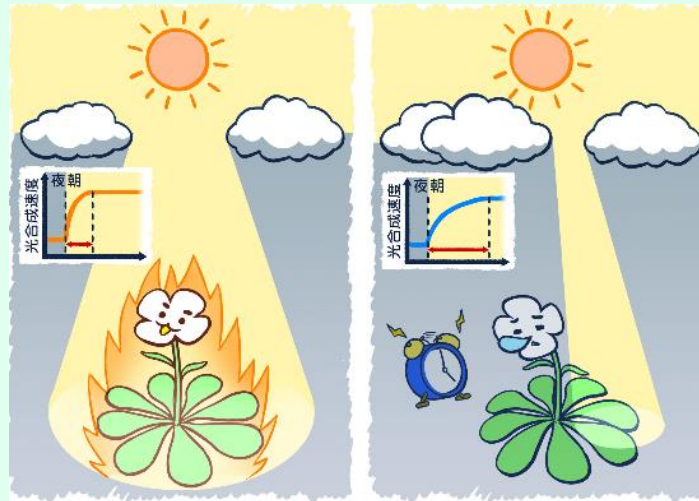


図1：全身に光を浴びることが植物の光合成効率を改善する

さらに、光合成誘導の期間の短縮は、葉にCO₂を取り込む可動式の通気口である気孔^(注2)が光に応じてより俊敏に開口し、葉内のCO₂不足がすばやく解消されることによって起こることを突き止めた。また、シロイヌナズナの各種変異体を用いた解析から、気孔開閉に関わる植物ホルモンABA^(注3)がこの現象に関与していることを明らかにした。

本研究では、同一個体内でも光の当たり具合で植物の“寝起き”が良くなることを明らかにした。これまでの葉の光合成に関する研究では、一枚の葉（あるいはその一部）を透明の箱に密閉して光合成誘導を含む光合成の諸性質が解析されてきた。今回の研究は、光合成誘導を植物個体全体の現象として初めて捉えたものであり、“野外での植物の自然な振り舞い”の理解に一步近づくものである。また、本研究で得られた知見は、植物工場などにおける光照射法の最適化にも貢献する。

用語解説**注1 光合成誘導**

光合成が始動し、定常値に達するまでのCO₂固定速度の変化。この期間は光エネルギーを有効利用することが出来ない。この誘導反応が起こる理由として、光照射後に、光合成に関わる Rubisco などの酵素群の活性化が順次起こることや、暗黒や弱光下で閉じていた気孔が徐々に開き、光合成反応の基質であるCO₂の供給量が増えていくことなどが挙げられる。

注2 気孔

葉の表皮に主に存在する開閉式の小さい孔。周囲に位置する孔辺細胞という一対の細胞が膨張収縮することによって開閉し、植物体と大気間のガス交換（CO₂吸収や蒸散）を可能にしている。一般に夜間は不要な蒸散を防ぐべく閉口し、光照射とともに開口していく性質がある。

注3 ABA

植物ホルモンの一つで、正式名称はアブシジン酸。ストレスホルモンと呼ばれ、気孔の開閉のほか、乾燥・低温などのストレス応答、種子の登熟などに機能する。主に維管束組織において、カロテノイドの酸化的解裂を経由して合成される。

Reports

・第4回「光合成道場」

報告者:東京工業大学 科学技術創成研究院 吉田啓亮

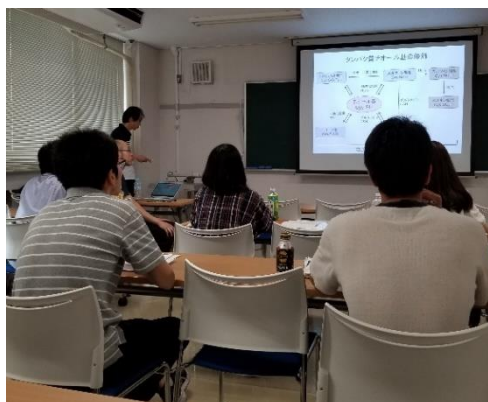
会場:東京工業大学すずかけ台キャンパス R1A 棟

日時:2019年7月26日(金)10:00~18:00

2019年7月26日(金)に、第4回となる技術講習会「光合成道場」を開催した。私たちが参画している物質・デバイス領域共同研究拠点との共催という形をとり、計9名の参加があった(新光合成からは6名)。「光合成タンパク質の翻訳後修飾:酸化還元制御の解析例」のテーマで実習と講義を企画した。午前の実習は生葉中のタンパク質の酸化還元状態を識別するためのサンプル調製法を、午後の実習は酸化還元制御を試験管内で解析する手法を取り扱った。実習中から様々な質問が飛び交い時間が押し気味になってしまったが、何とか予定していた実習を完了することができた。講義は、吉田が光合成系タンパク質の酸化還元制御のオーバービューを行い、さらに東工大の生命理工から原怜博士をお招きして、酸化還元制御解析の応用例を紹介していただいた。講習会の後は懇親会を行い、よりリラックスした雰囲気に参加者間の交流を深めた。今回の企画が領域研究の発展の一助となれば幸いである。

プログラム

- 10:00- 自己紹介(参加者全員)・趣旨、全体の流れの説明
- 10:30- 実習講義1
- 11:00- 実習1:シロイヌナズナ葉からタンパク質抽出~SDS-PAGE 用のサンプル調製~BCA 法によるタンパク質濃度決定
(昼食)
- 13:00- 実習講義 2
- 13:30- 実習2:葉緑体内の還元力伝達経路の試験管内再構成~TCA 沈殿~SDS-PAGE
- 16:00- 講義(吉田、原)
- 17:00- ゲルの染色・解析
- 18:00- 移動・懇親会



第4回光合成道場 参加者の声

東北大学農学研究科・博士課程後期3年
菅波 真央

私は、イネを用いて炭酸固定酵素 Rubisco とその活性化酵素である Rubisco activase を対象とした研究を行っています。タンパク量だけではなく、生体内での活性化状態を含めた解析をしたいと思い、光合成道場に参加させていただきました。

酸化還元状態の解析手法はシンプルな素晴らしいメソッドですが、実習の中で、再現よく実験するための特に気を付けるポイントなども教えていただくことができ、参加して本当に良かったと感じました。今回教えていただいた技術を現在取り組んでいる研究に活かしていきたいと思います。吉田啓亮先生をはじめ、企画、運営をしてくださった皆様に、感謝申し上げます。

埼玉大学理學部分子生物學科 4年
高山 健太

東京工業大学で開催された第四回光合成道場に参加し、レドックス制御を受ける光合成タンパク質の解析法についてご指導いただきました。私は近々光合成タンパク質のレドックス解析をする予定なので、今回技術的な指導を受けながら *in vivo*, *in vitro* でのレドックス解析方法を学べたことは非常に有意義でした。また、学部生が私一人だったこともあり講義の内容を正しく理解できるか不安を抱えていましたが、講義をしてくださった吉田先生をはじめ、他大学の方々からの丁寧なご指導によりすんなりと理解することができました。実際に SDS-PAGE を用いて、チオレドキシニンによるタンパク質の経時的な還元を観察できたときは感動しました。さらに、近い研究分野の学生の方々とは研究について話すというのもあまり経験がなかったため、新鮮さを感じると同時にとても楽しい時間でした。この光合成道場で得た知識、経験を今後の研究活動に活かしていきたいです。

第4回光合成道場 参加者の声

東京工業大学生命理工・博士後期課程3年
鶴巻 達大

2019年7月26日東京工業大学にて行われた第4回光合成道場に参加させていただきました。本道場では、同大学久堀研究室にてタンパク質の酸化還元修飾に関する講義と実習を行っていただきました。私自身、久堀研究室と同じ研究所に所属しているため研究内容については何度かお聞きする機会がありましたが、実際の手法及び手順を学べるいい機会だと思い参加いたしました。

講義では、吉田啓亮先生からチオレドキシシンによるタンパク質酸化還元制御機構について、最新の研究成果を非常に詳しく説明していただきました。また、原怜先生からは、チオール基の修飾の種類、その生成過程またその解析技術について講義していただきました。これまで、私自身の研究ではタンパク質の酸化還元注目して来なかったこともあり、一口にチオール基修飾の解析技術と言っても個々のタンパク質からオミクスレベルまで様々な解析手法があることは初耳でした。解析手法について、「知っている」と「知らない」では大きな差があることを改めて痛感しました。

実習では、シロイヌナズナ生葉から酸化還元状態を保持したままタンパク質を抽出する方法、および組み換えタンパク質を用いた *in vitro* でのタンパク質酸化還元再構成実験を行いました。タンパク質の酸化還元状態は刻一刻と変化するため、普段これら実験を行うにあたって注意している点を事細かに聞くことができたのは、非常に有意義でした。今回、教えていただいた経験があれば自身で解析する際、困惑することなく実験を進められると自信が持てました。

道場全体として、参加者同士の意見交換も活発であり予期せず普段困っていることへの解法を得ることができたりと、非常に良い雰囲気だったことが印象に残っています。吉田先生、原先生を始めとして久堀研究室の方々には、お忙しい中このような機会を作っていただき心から感謝申し上げます。

・新光合成→光合成若手の会ジョイント若手ワークショップ 2019

報告者: 関西学院大学工学部・宗景研究室 西村健司

会場: 神戸セミナーハウス

日時: 2019年8月29日(木)13:00~8月30日(金)12:00

世話人: 西村健司(関西学院大学工学部・宗景研究室)

米田広平(関西学院大学工学部・松田研究室)

光合成研究に携わる学部生・大学院生等を中心とした若手研究者を対象に、一泊二日の合宿形式の研究学術交流ワークショップを開催しました。新光合成領域メンバー、光合成若手の会会員をはじめとした総勢 33 名の参加者は、華岡光正博士(千葉大・園芸学研究科)、朝倉由香里博士(阪大・蛋白研)、高木大輔博士(東北大・農学研究科)による招待講演、3 題の一般口頭発表、14 題のポスター発表を通じて、最新の研究成果について活発な議論と積極的な情報共有を行いました。夕食・懇親会や相部屋での宿泊という形で寝食をともにする中で、参加者同士の親睦も深まり、将来の光合成分野を支える若手研究者のコミュニティの更なる拡充に貢献する有意義なワークショップになったと思います

プログラム概要

8月29日(木)

・招待講演 1:
「光合成機能を支える核と葉緑体間のシグナル伝達」

華岡光正博士(千葉大学・園芸学研究科)

・招待講演 2:
「葉緑体遺伝子のスプライシングを制御する RNA 結合蛋白質群」

朝倉由香里博士(大阪大学・蛋白質研究所)

・ポスター発表
・懇親会

8月30日(金)

・招待講演 3:
「光合成の視点から解き明かすリン酸毒性のメカニズム」

高木大輔博士(東北大学・農学研究科)

・一般口頭発表
・総合討論



新光合成—光合成若手の会
ジョイント若手ワークショップ2019 参加者の声

東京工業大学 化学生命科学研究所 D3
稲辺宏輔

これまで「光合成」とは少し離れた研究を進めていたため、今回改めて勉強したいと思い参加させていただきました。様々な研究内容を聞くことができ自身の理解を深めることができ、大変勉強になりました。自身の研究に対しても新たな視点をいただき、今後の研究に活かしていきたいと感じております。また、お恥ずかしながら今回のような「若手向けの会」に初めて参加してポスター発表をさせていただきました。普段の学会の雰囲気とは少し違った側面があり、刺激を受け、大変有意義な会になりました。またこのような機会があればぜひ参加させていただきたいです。本当にありがとうございました。

島根大学大学院 自然科学研究科 M2
亀岡 峰志

この度、若手ワークショップにて口頭発表の機会をいただき、光合成分野の専門家の皆様からたくさんのご質問やアドバイスをいただくことができました。とても刺激的な時間でした。また、本会は非常に和やかな雰囲気であったため、研究の話から少し打ち解けた話まで、誰とでも気軽に話すことができました。このような機会によって、新たな知識や経験を共有できるとともに、若手研究者との親睦を深めることができるため、非常に有意義でした。大変貴重な体験をさせていただき、ありがとうございました。

関西学院大学 理工学部 B4
西原 美佳

私は今回のワークショップで初めて、学外の方々と自分の研究テーマについて議論をさせていただきました。研究室での議論とはまた違った視点の意見やアドバイスもいただき、今後の研究活動について考える大変有意義な時間となりました。招待講演や口頭発表も非常に興味深い内容ばかりで、多くの新たな知見を得ることができました。また、参加者の多くが自分と近い年代の方であり、さらに合宿形式のワークショップということもあり、自由で活発な議論ができたように感じます。今回のワークショップを通じて学んだことを今後の研究活動に生かしていきたいと思っております。大変貴重な経験をさせていただきありがとうございました。

・第一回日米二国間セミナー

報告者: 京都大学理学研究科 鹿内 利治

会場: 京都市 国際交流会館

日時: 2019年10月1日(火)9:00~3日(木)20:00

本領域の国際ワークショップの一環として、京都市の国際交流会館において第一回の日米二国間セミナーが開催されました。本セミナーは、2002年にマウイ島で開催されたのち、17年間開かれなかったものです。2017年に Himadri Pakrasi 博士が本領域のワークショップで来日された際に、提案され、実現したものです。米国側からは、代表の Himadri Pakrasi 博士、Krishna Niyogi 博士に加え、Kevin Redding 博士、Jeff Cameron 博士、Karen Davies 博士、Graham Peers 博士、Alice Barkan 博士、Klass van Wijk 博士が来日し、日本側の講演者を含めて 24 題の口頭発表に対して活発な議論が行われました。また日本側の若手研究者による 25 題のポスター発表も行われました。参加者は 68 名でした。今回の会議は、両国の密接な関係を将来も維持するため、両国から中堅、若手の研究者を積極的に講演者とすることにしました。米国のメンバーにも新しい顔ぶれが含まれており、サイエンスのみならず、密接な交流ができ、深い信頼関係が築かれたと思います。本領域は終了していますが、2021年に第二回の会議を米国行うことを決めました。本領域の国際事業が、二国間の将来的な交流に貢献できれば、たいへん喜ばしいことです。



・「新光合成」2019年度秋期領域会議

報告者：岡山大学異分野基礎科学研究所 高橋 裕一郎

会場：岡山国際交流センター

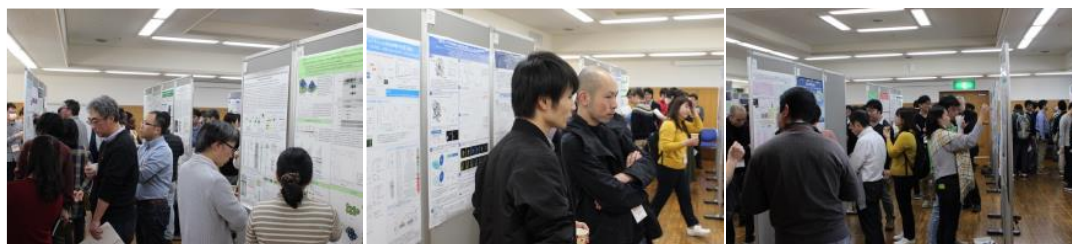
日時：2019年12月2日(月)13:00 ～4日(水)12:30

新学術領域研究「新光合成」の第5回領域研究が、岡山駅から徒歩数分のところにある岡山国際交流センターで開催されました。計画班から5題の口頭発表(30分)が行われ、今回は研究分担者の研究成果を中心に発表が行われました。本年4月に採択された公募班からは23題の口頭発表(20分)があり、初めての成果発表が行われました。



口頭発表会場での集合写真

1日目と2日目にはポスターセッションも実施され、71題のポスター発表がありました。多くの発表から興味深い研究成果が報告され、活発な議論と有益な情報交換が行われました。初日の午後から開始し、3日目は午前中で終了する日程では、予定した口頭発表とポスター発表を組み込むには時間が十分でなかったかもしれません。しかし、休憩時間の茶菓の提供をポスター会場にしたことにより、わずかかもしれませんが時間を有効に時間が使えたのではないかと思います。



ポスター会場の様子

今回は、なるべく早く参加者の交流を促進するため、初日のセッション終了後に会場の地下で懇親会を行いました。料金を抑えたこともあり、食べ物が早く無くなってしまったことは申し訳なく思います。しかし、会場が岡山駅の近くであったため、ホテルや繁華街へのアクセスが便利で、多くの参加者が夜のセッションを楽しんだのではないかと思います。



懇親会会場

領域会議の最後には小野高明氏の全体の講評を頂き、あと1年半足らずとなった新学術領域研究期間に良い成果を出せるように激励の言葉も頂きました。

「新光合成」2019年度 秋期領域会議 参加者の声

岡山大学自然科学研究科 高橋研究室 M1

高木 理世

今回、岡山で開催された新学術領域会議に参加させていただきました。光捕集機能や光からの防御機構、進化的な知見から見た光合成、光合成と他の生命活動のクロストーク等、光合成研究の最新の情報を学びました。ところどころフォローできなかった部分があり、まだまだ勉強不足だと実感したので、今後研鑽を積んでいきたいと思います。ポスター発表では、様々なフィールドで研究されている方々とのディスカッションを通して自らの視野を広げることができました。3日間という短い期間でしたが、非常に刺激的で、貴重な経験となりました。このような機会を与えていただき、ありがとうございました。

今後の予定

2020年3月4日(水)～8日(日)

「日本生態学会大会」での国際シンポジウム

場所：名城大学

2020年6月1日(月)～6月3日(水)

2020年度春期領域会議

場所：神戸・生田神社会館 <https://ikutajinja-kaikan.jp/access>

2020年11月10日(火)～13日(金)

新光合成第3回国際シンポジウム

場所：神戸・ファッションマート <https://www.kfm.or.jp/access/>

お願い

ご投稿について

本ニュースレターは毎年2回発行予定です。掲載希望記事など、ニュースレター担当の栗栖 (gkurisu@protein.osaka-u.ac.jp) までメールをいただきたくお願いいたします。

第8号の原稿締め切りは、2020年6月15日とさせていただきます。

ご多用のところお手数をおかけしますが、ご投稿よろしくお願いいたします。

「新光合成：光エネルギー変換システムの再最適化」
月刊ニュースレター



発行人 皆川 純
編集人 栗栖源嗣

発行所 新学術領域「新光合成：光エネルギー変換システムの再最適化」領域事務局
連絡先 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘3-2
大阪大学蛋白質研究所蛋白質結晶学研究室
TEL 06-6879-8605 FAX 06-6879-8606