

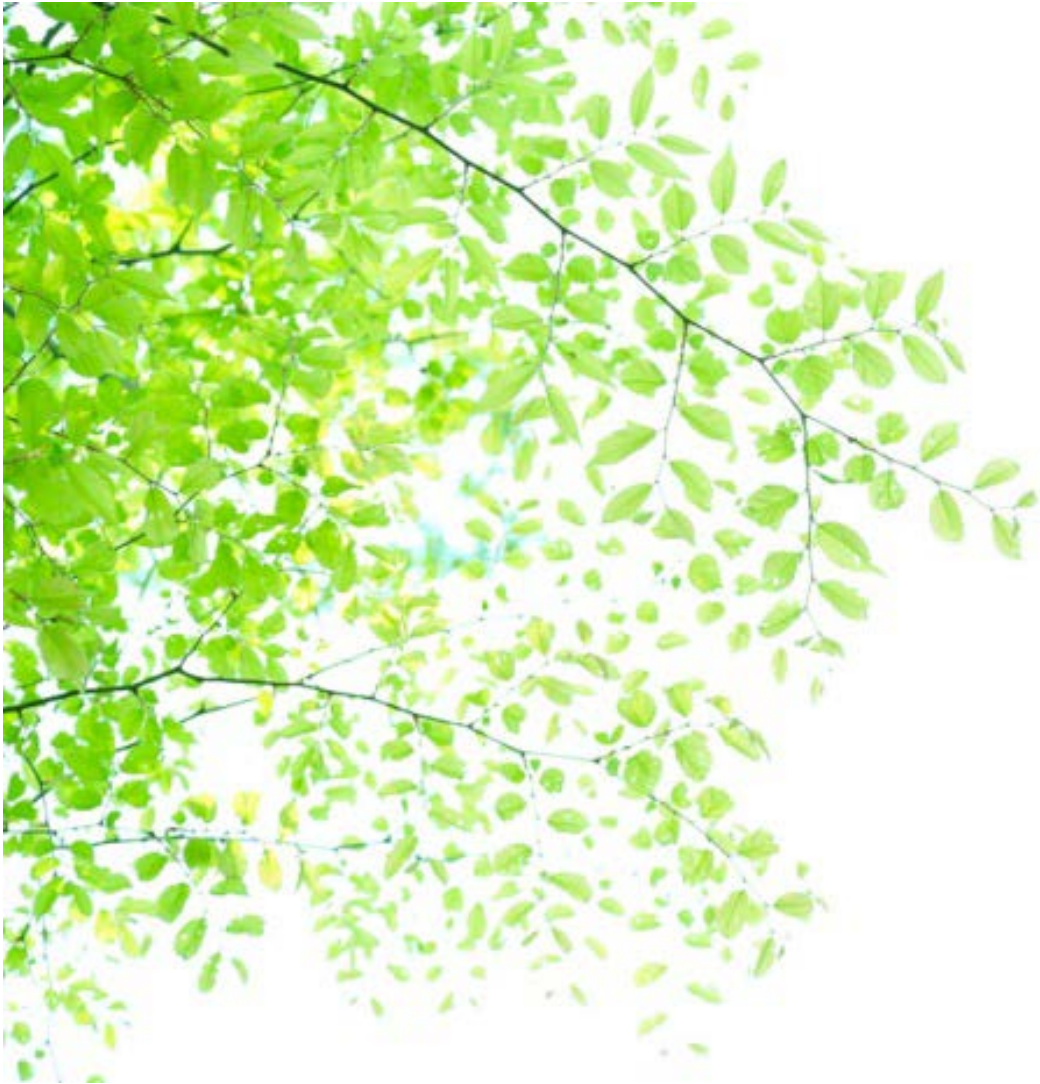


文部科学省 科学研究費補助金 新学術領域研究（研究領域提案型）平成28年度～平成32年度

**新光合成**

光エネルギー変換システムの再最適化

# New Photosynthesis News Letter



No.2

July 2017

## 目 次

巻頭言「富士の頂きを眺めながら」久堀 徹 .....	2
公募研究班 代表者 .....	3
公募研究班 研究紹介	
浅井 智広 .....	4
大岡 宏造 .....	4
桶川 友季 .....	5
小俣 達男 .....	5
加藤 祐樹 .....	6
川合 真紀 .....	6
椎名 隆 .....	7
須藤 雄気 .....	7
曾我 直樹 .....	8
田中 寛 .....	8
Journal Highlights .....	9
Reports	
代謝シミュレーション技術交流会 .....	13
第一回「光合成道場」 .....	14
「光合成科学:エネルギーとバイオマス」 .....	16
国際シンポジウム A new horizon in photosynthesis research:	
Regulation via Proton Motive Force .....	19
第一回ワークショップ .....	20
2017 年度春期領域会議 .....	21
第二回「光合成道場」 .....	22
今後の予定 .....	24
お願い .....	24

## 巻頭言

富士の頂きを眺めながら

新学術領域研究「新光合成」がスタートして、まもなく1年になろうとしている。とは言え、昨年7月に採択が決まり、早速、体制準備をし、公募班への応募を促すための説明会とキックオフミーティングを9月に行い、年度末に間に合うように計画班・総括班に配置する大型備品の購入を進め、3月の植物生理学会で領域主催の国際シンポジウムとサテライトワークショップを開催し、さらに4月の公募班決定後には速やかに第一回の領域会議を開催する、と言った具合で、またたく間に一年が過ぎてしまった。

この新学術領域研究をほぼ現在の体制で企画したのは、今から3年前である。以来、私たちは、Webを通じた情報共有を駆使して申請書をはじめとする様々な書類準備を行ってきた。しかし、もっとも大事なことは、もちろん対面の会議で決めなくてはならない。領域の計画班・総括班の構成員がほとんど中部以西にいたこともあり、会議のために東海道新幹線に乗車する機会が格段に多くなった。

私は、JR東海がEX-ICカードを始めてすぐにメンバーになったEX-ICユーザーである。会議の予定が決まる度に、Webで指定席をいち早く予約してきた。目当ては、進行方向右側E席。最近のPCのリチウム電池はコンセントを利用しなくても済むくらい大容量なのだが、どうしても毎回E席に座りたい理由がある。それは、横浜からの進行方向右側に望む富士山だ。子供じみていう方も多いただろうが、私は車窓から眺める富士山が大好きである。新幹線では、小田原の手前で一度箱根山の向こうに見え、箱根のトンネルを抜けて三島から新富士までは目の前にその雄大な姿を見ることが出来る。しかし、もちろんいつも頂きが見えるとは限らない。というよりも、雲に遮られて、頂上はおろか山腹も見えないと言うことがしばしばである。そんなとき、よく知っている姿であるにもかかわらず、頂上は雪をかぶってどんなにきれいかなと想像力をかき立てられる。先日は、逆に山腹は雲に隠れていたのに、三島を過ぎたところで車掌の車内放送に促されて上空に目をやったら、美しい山頂がぽっかりと雲の上に浮かんでいた。

裾野だけが見えたり、山頂だけが見えたり、はたまた山の姿そのものが見えたり見えなかったりと、新幹線から見る富士山は、毎回私を楽しませ、がっかりさせてくれる。さながら、私たちが挑戦している新学術領域研究の高嶺のようではないか。4年後、私たちの領域はどんな頂きを眺めているだろう。今から、楽しみはつきない。

というわけで、車窓から写した自慢の一枚。私の研究室の日頃新聞を読まない学生は、「こんな事が昨日起きていたなんて全然知りませんでした。これって大変なことですよ。」と心配していた。合成写真ではないけど、もちろん、今のところ心配する必要はない。と思っている・・・。



久堀 徹

## 公募研究班 代表者

浅井 智広	立命館大学	生命科学部	光合成細菌のタイプI光合成反応中心によるプロトン駆動力生成機構の解明
大岡 宏造	大阪大学	大学院理学研究科	タイプ1光合成生物のシトクロム複合体と反応中心の始原型共役反応機構
桶川 友季	京都産業大学	総合生命科学部	チオレドキシンによる光化学系Iサイクリック電子伝達の制御機構解明
小俣 達男	名古屋大学	大学院生命農学研究科	膜脂質の脱アシル化の制御による強光耐性型PSIIの創出
加藤 祐樹	名古屋大学	理学研究科	プロトン駆動力による光化学系II電子伝達反応における制御機構の解明
川合 真紀	埼玉大学	理工学研究科	プロトン駆動力とNAD量の制御のクロストーク
椎名 隆	京都府立大学	大学院生命環境科学研究科	Ca <sup>2+</sup> シグナルによるプロトン駆動力制御と光合成遺伝子発現抑制機構の解明
須藤 雄気	岡山大学	大学院医歯薬学総合研究科	ロドプシンによる葉緑体プロトン勾配制御システムの確立と植物応答解析への展開
曾我 直樹	東京大学	工学系研究科応用化学専攻	光合成におけるF型ATP合成酵素のH <sup>+</sup> 透過機構の解明
田中 寛	東京工業大学	科学技術創成研究院	光合成明反応の作動状況を認識する2種ヒスチジンキナーゼの機能解析
寺島 一郎	東京大学	理学系研究科・生物科学	光合成有効放射再考：光化学系Iのみを駆動する遠赤光の役割の徹底解明
中井 正人	大阪大学	蛋白質研究所	葉緑体のプロトン駆動力生成の根幹を支えるチラコイド膜形成機構の解析
野口 航	東京薬科大学	生命科学部	絶滅危惧種タマノカンアオイの葉の光合成系と過剰光エネルギー散逸系の季節変化の解析
増田 真二	東京工業大学	バイオ研究基盤支援総合センター	酸素発生型光合成生物に保存された新規プロトン濃度最適化機構の解明
松下 智直	九州大学	大学院農学研究科	フィトクロムシグナルによる葉緑体タンパク質の細胞内局在変化を介した光合成制御
松村 浩由	立命館大学	生命科学部	光量変動と代謝調節をつなぐ新規分子の定量的手法を取り入れた構造機能解析
丸山 真一郎	東北大学	大学院生命科学研究科	プロトン駆動力生成を支える集光アンテナ複合体の起源と進化
山崎 朋人	高知大学	自然科学系理学部門	光合成能力の最適化を制御するmiRNAの動態解明
山本 大輔	福岡大学	理学部	NPQに伴うチラコイド膜タンパク質構造動態変化の高速AFMによる測定
渡辺 麻衣	東京大学	大学院総合文化研究科	シアノバクテリアの光化学系Iへの光エネルギー分配の分子機構と生理的役割の解明



## 公募研究班 研究紹介

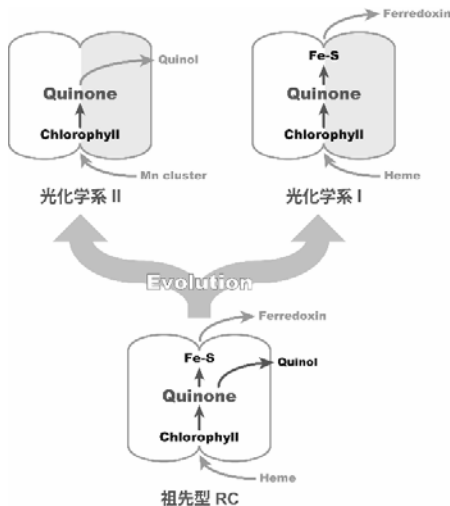
ニュースレター2号、3号に10研究課題ずつご紹介します。



### 光合成細菌のタイプ1 光合成反応中心によるプロトン駆動力生成機構の解明

研究代表者：浅井 智広（立命館大学・生命科学部）

<LAB HP: 近日公開予定>



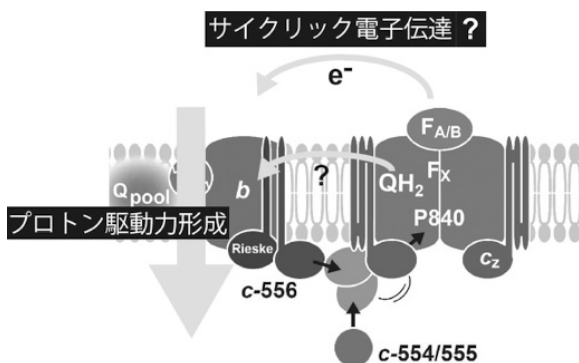
祖先的な形質を有する光合成細菌のPS1型光合成反応中心 (RC1) が、PS1型 (タイプ1) と PS2型 (タイプ2) の両方の機能を発揮する分子機構を解明します。  
 ①RC1が、キノンを二重還元する、タイプ2の機能をもつことを実験的に証明します。  
 ②RC1の立体構造を原子分解能で解明し、キノンの結合部位とその二重還元に必要な構造を同定します。  
 ③RC1の変異株を単離/解析し、タイプ2の機能の生理的な意義を解明します。この研究を通し、Zスキームによるプロトン駆動力生成の進化的な成り立ちの解明を目指します。



### タイプ1光合成生物のシトクロム複合体と反応中心の始原型共役反応機構

研究代表者：大岡 宏造（大阪大学・大学院理学研究科）

<LAB HP: <http://www.bio.sci.osaka-u.ac.jp/~ohoka/>>



タイプ1光合成生物（緑色イオウ細菌とヘリオバクテリア）を用いて、反応中心とシトクロム *bc* 複合体の構造基盤を明らかにし、プロトン駆動力を生成する始原型共役反応機構の解明を目指します。そのためにも反応中心の X 線結晶構造解析を推し進め、キノ還元活性をもつと推測されている電子

移動反応の機構を解明します。一方、Rieske/cyt *b* 複合体の単離・精製に挑戦し、始原型電子伝達反応の特性を明らかにしていきます。Rieske タンパクとシトクロム *c*-556 との相互作用部位については、NMR 法により同定します。

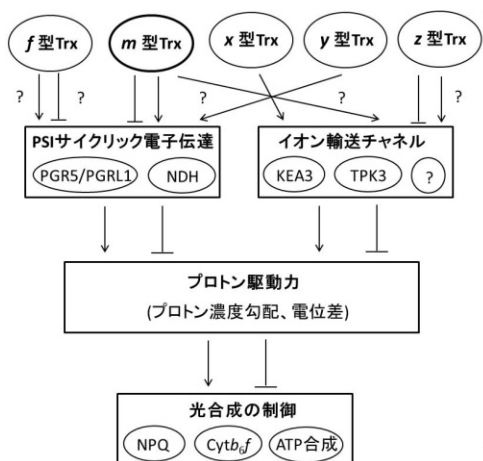
連携研究者：栗栖 源嗣（大阪大学蛋白質研究所）



### チオレドキシシンによる光化学系 I サイクリック電子伝達の制御機構解明

研究代表者：桶川 友季（京都産業大学・総合生命科学部）

< LAB HP: [http://www.cc.kyoto-su.ac.jp/~motohas/motohashi\\_lab/index.html](http://www.cc.kyoto-su.ac.jp/~motohas/motohashi_lab/index.html) >



プロトン駆動力ネットワーク

私たちは、シロイヌナズナを用いて、葉緑体内でレドックスセンサーとして機能するチオレドキシシン(Trx)によるPSIサイクリック電子伝達の制御機構を解明します。①鹿内班との共同研究で、変異株の解析からTrxがプロトン駆動力の大きさと成分に与える影響を調べます。②単離チラコイド膜を用いた解析から、PSIサイクリック電子伝達の制御に関与するTrxを同定します。③同様にプロトン

駆動力の生成に寄与するイオン輸送チャンネルにも研究対象を広げ、Trxによるプロトン駆動力ネットワークの制御機構の全貌解明を目指します。

連携研究者：本橋 健（京都産業大学・総合生命科学部）

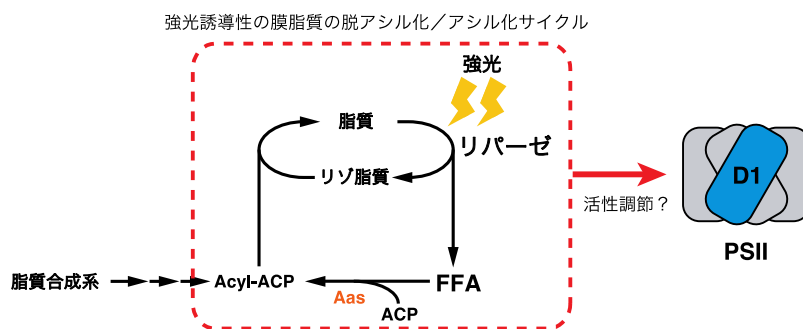


### 膜脂質の脱アシル化の制御による強光耐性型PSIIの創出

研究代表者：小俣 達男（名古屋大学・大学院生命農学研究科）

< LAB HP: <https://www.agr.nagoya-u.ac.jp/~shokusei/> >

私たちは、ラン藻を強光にさらすと誘導される膜脂質の脱アシル化反応の生理機能をPSIIの活性調節に着目して解析します。そのために、強光条件で機能するリパーゼを探索し、本領域研究の「光合成解析センター」の支援を受けて各リパーゼのPSII活性調節への寄与を調べます。さらに、同定したリパーゼを用いて膜脂質の脱アシル化を人為的に制御することにより強光耐性型PSIIの創出を目指します。



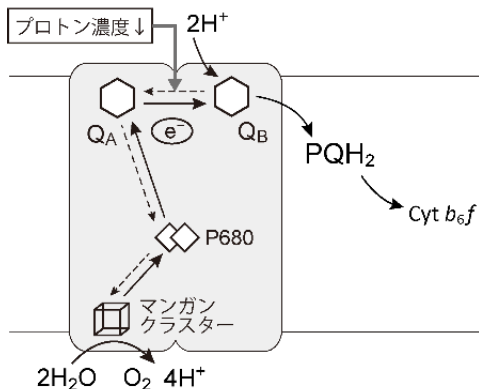


## プロトン駆動力による光化学系 II 電子伝達反応における制御機構の解明

研究代表者：加藤 祐樹（名古屋大学・理学研究科）

< LAB HP: <http://www.glab.phys.nagoya-u.ac.jp/> >

私たちは、光化学系 II におけるキノン分子  $Q_A$ ・ $Q_B$  によるプロトン共役電子伝達反応に着目し、プロトン駆動力による電子伝達制御機構を明らかにすることを目指します。第二キノン



$Q_B$  は二電子還元されたのちにプロトンを取り込んでキノールになりますが、この事象が  $Q_A$ ・ $Q_B$  間の電子授受平衡に及ぼす影響を詳細に解析し、さらに  $Q_A$  から電子供与側への電荷再結合反応との相関を調べることで、光化学系 II における電子伝達反応の制御機構を解明します。

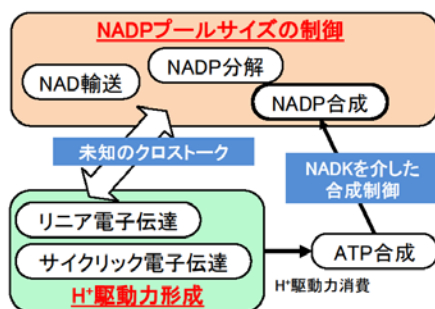
連携研究者：野口 巧（名古屋大学・理学研究科）



## プロトン駆動力と NAD 量的制御のクロストーク

研究代表者：川合 真紀（埼玉大学・理工学研究科）

< LAB HP: <http://park.saitama-u.ac.jp/~geneenvtech/index.html> >



光合成の電子伝達量は最終受容体である NAD プールサイズによって制限されると同時に、NAD<sup>+</sup>合成にはプロトン駆動力によって生成する ATP が必要となります。私たちは①NAD プールサイズがプロトン駆動力に及ぼす影響を評価します。②プロトン駆動力による NADK 活性制御機構を明らかにします。③NAD プールサイズ改変系統や変異体を試験材料とした

領域内共同研究によって光合成研究に「NAD 量的制御からの視点」を付与し、NAD プールサイズとプロトン駆動力形成の間のクロストークの解明に貢献します。

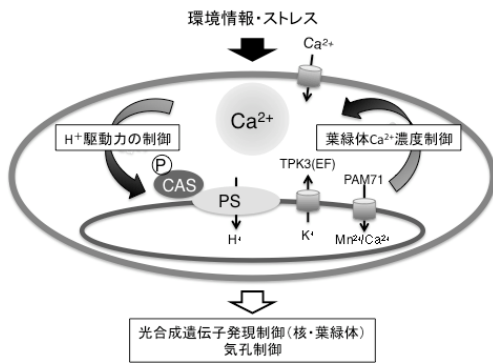
連携研究者：橋田 慎之介（電力中央研究所・環境科学研究所）



### Ca<sup>2+</sup>シグナルによるプロトン駆動力制御と光合成遺伝子発現抑制機構の解明

研究代表者：椎名 隆（京都府立大学・大学院生命環境科学研究科）

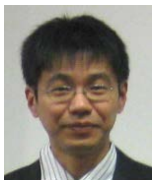
< LAB HP: [http://www2.kpu.ac.jp/life\\_environ/plant\\_mol\\_phys/](http://www2.kpu.ac.jp/life_environ/plant_mol_phys/) >



病原体の感染や様々な環境ストレスが、葉緑体内の Ca<sup>2+</sup>濃度上昇を引き起こすことを明らかにしています。私たちは、①葉緑体 Ca<sup>2+</sup>結合タンパク質 CAS が光合成電子伝達や気孔運動を制御する機構、②葉緑体 Ca<sup>2+</sup>濃度制御やプロトン駆動力制御におけるイオン輸送体の役割、③プロトン駆動力が光合成遺伝子発現を制御する機構の研究を通じ、

Ca<sup>2+</sup>が葉緑体の電子伝達制御や光合成遺伝子制御に関係している可能性を検証し、環境情報にตอบสนองして光の利用と防御のバランスを最適化する仕組みを明らかにしたいと思います。

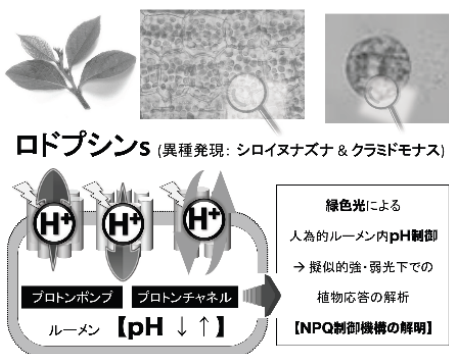
連携研究者：佐野 智（京都府立大学・大学院生命環境科学研究科） 熊崎 茂一（京都大学・大学院理学研究科） 野村 裕也（岐阜女子大学・生活科学部）



### ロドプシンによる葉緑体プロトン勾配制御システムの確立と植物応答解析への展開

研究代表者：須藤 雄気（岡山大学・医歯薬学総合研究科）

< LAB HP: <http://www.pharm.okayama-u.ac.jp/lab/bukka/index.html> >



私たちは、ロドプシンが示す光依存的プロトン輸送活性を利用し、植物応答の解明を行います。①はじめに発見・創成したプロトン輸送型ロドプシンをクラミドモナスおよびシロイヌナズナに異種発現させます。②次にロドプシンが吸収し、植物の吸収が少ない緑色光によりストロマおよびルーメン内の pH を人為的にコントロールする系を確立します。③最後に緑

色光への植物応答（生育、形態、NPQ 機構）を解析し、pH 依存的植物応答を解明します（光合成解析センターも利用）。これらの研究は、A01 班および連携研究者の増田真二博士との密接な共同研究により行います。

連携研究者：増田 真二（東京工業大学・生命理工学研究科）

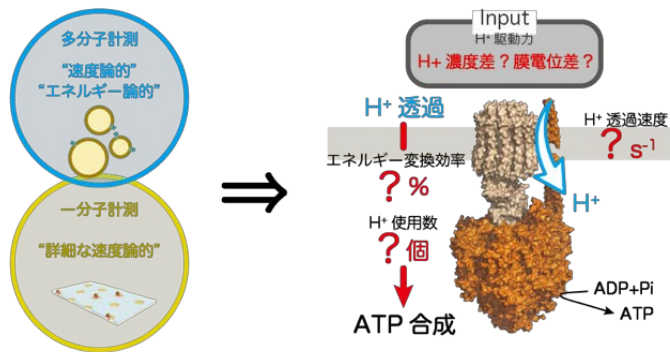




## 光合成における F 型 ATP 合成酵素の H<sup>+</sup>透過機構の解明

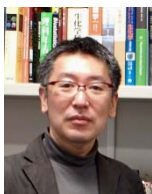
研究代表者：曾我 直樹（東京大学・工学系研究科応用化学専攻）

< LAB HP: <http://www.nojilab.t.u-tokyo.ac.jp> >



私は、葉緑体由来 F<sub>0</sub>F<sub>1</sub> が行う H<sup>+</sup> 駆動力を使用した H<sup>+</sup>の透過機構の解明を目指します。具体的には、①多分子計測系によるエネルギー論的解析(H<sup>+</sup>/ATP 比の決定など)と②一分子計測系による H<sup>+</sup>透過に関する速度論的解析を行います。特に、日夜で H<sup>+</sup>透過速度が

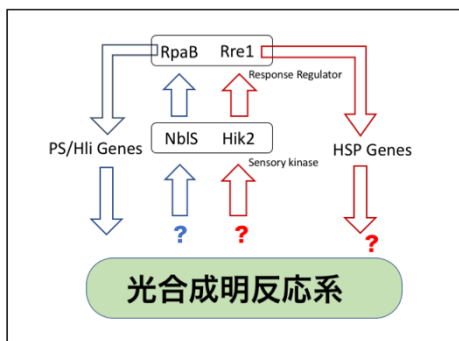
異なるのかを検証し、葉緑体由来 F<sub>0</sub>F<sub>1</sub> が持つ制御機構の理解を深めます。将来的には、光化学系 II など H<sup>+</sup>駆動力の形成に関与する酵素を計測対象にし、光エネルギーと形成された H<sup>+</sup>駆動力の収支から光合成全体の分子レベルのエネルギー変換効率を決定したいです。



## 光合成明反応の作動状況を認識する 2 種ヒスチジンキナーゼの機能解析

研究代表者：田中 寛（東京工業大学・科学技術創成研究院）

< LAB HP: <http://www.res.titech.ac.jp/~biores/> >



私たちは、シアノバクテリアが様々な環境変化に対して応答する仕組みについて、主に転写レベルでの調節にフォーカスして研究を進めてきました。光合成明反応に関わる環境転写応答の中核には、全てのシアノバクテリア、さらに非緑色植物の葉緑体でも保存された 2 セットの二成分制御系があります。本研究ではシアノバクテリア

*Synechococcus elongatus* PCC 7942 を材料に、明反応系の状態が情報として取り出されるプロセスを遺伝学的・生化学的に解析します。これにより、遺伝子発現を介して光合成の恒常性が維持される制御ループの理解を目指します。

連携研究者：戸澤 譲（埼玉大学大学院・理工学研究科） 渡辺 智（東京農業大学・応用生物科学部）

## Journal Highlights

### **A blue-light photoreceptor mediates the feedback regulation of photosynthesis**

Dimitris Petroustos, Ryutaro Tokutsu, Shinichiro Maruyama, Serena Flori, Andre Greiner, Leonardo Magneschi, Loic Cusant, Tilman Kottke, Maria Mittag, Peter Hegemann, Giovanni Finazzi & Jun Minagawa

*Nature* **537**, 563-566 (2016) doi: 10.1038/nature19358

In plants and algae, light serves both as the energy source for photosynthesis and a biological signal that triggers cellular responses via specific sensory photoreceptors. Red light is perceived by bilin-containing phytochromes and blue light by the flavin-containing cryptochromes and/or phototropins (PHOTs), the latter containing two photosensory light, oxygen, or voltage (LOV) domains. Photoperception spans several orders of light intensity, ranging from far below the threshold for photosynthesis to values beyond the capacity of photosynthetic CO<sub>2</sub> assimilation. Excess light may cause oxidative damage and cell death, processes prevented by enhanced thermal dissipation via high-energy quenching (qE), a key photoprotective response. Here we show the existence of a molecular link between photoreception, photosynthesis, and photoprotection in the green alga *Chlamydomonas reinhardtii*. We show that PHOT controls qE by inducing the expression of the qE effector protein LHCSR3 (light-harvesting complex stress-related protein 3) in high light intensities. This control requires blue-light perception by LOV domains on PHOT, LHCSR3 induction through PHOT kinase, and light dissipation in photosystem II via LHCSR3. Mutants deficient in the PHOT gene display severely reduced fitness under excessive light conditions, indicating that the sensing, utilization, and dissipation of light is a concerted process that plays a vital role in microalgal acclimation to environments of variable light intensities.

プレスリリース概要（基礎生物学研究所・2016年9月15日）

青色光受容体が光合成にブレーキをかけることを発見

～青い光が光合成装置を守る～

植物は、光のエネルギーを利用して二酸化炭素を固定し糖を合成します（光合成）。そのため、強い光の方がより光合成を考えると考えられがちですが、実際には強すぎる光は光合成装置を壊してしまいます。この危険を避けるため、植物は強い光を浴びたときには、そのエネルギーを熱に変換してわざと逃がすガス抜きをしくみを発達させました。qE クエンチングと呼ばれる、このブレーキ役のしくみは、環境が変動する中で植物が生き残るために必要であったと考えられています。これまで qE クエンチングの詳細は謎に包まれていましたが、今回、これまで光合成とは直接関係ないと思われていた青色光受容体の一つフォトトロピンが決定的な役割を果たしていることが明らかになりました。その結果、これまで個別の現象と考えられていた、青色光の受容、光合成、光防御が実は分子レベルで繋がっていることになり、環境変化がおきた際の細胞中の一連の反応の流れの全体像が見えてきました。

今後は、生育環境が整った圃場では、より光合成を進める側に反応のバランスを傾ける、あるいは砂漠地帯の池のような過酷な環境でエネルギー藻類を培養する場合は、より光合成を抑える側に反応のバランスを傾けるなど、光合成反応調節技術への発展が期待されます。

## Allosteric Inhibition of Phosphoenolpyruvate Carboxylases Is Determined by a Single Amino Acid Residue in Cyanobacteria

Masahiro Takeya, Masami Yokota Hirai & Takashi Osanai

*Scientific Reports* 7, Article number: 41080 (2017) doi: 10.1038/srep41080

Phosphoenolpyruvate carboxylase (PEPC) is an important enzyme for CO<sub>2</sub> fixation and primary metabolism in photosynthetic organisms including cyanobacteria. The kinetics and allosteric regulation of PEPCs have been studied in many organisms, but the biochemical properties of PEPC in the unicellular, non-nitrogen-fixing cyanobacterium *Synechocystis* sp. PCC 6803 have not been clarified. In this study, biochemical analysis revealed that the optimum pH and temperature of *Synechocystis* 6803 PEPC proteins were 7.3 and 30 °C, respectively. *Synechocystis* 6803 PEPC was found to be tolerant to allosteric inhibition by several metabolic effectors such as malate, aspartate, and fumarate compared with other cyanobacterial PEPCs. Comparative sequence and biochemical analysis showed that substitution of the glutamate residue at position 954 with lysine altered the enzyme so that it was inhibited by malate, aspartate, and fumarate. PEPC of the nitrogen-fixing cyanobacterium *Anabaena* sp. PCC 7120 was purified, and its activity was inhibited in the presence of malate. Substitution of the lysine at position 946 (equivalent to position 954 in *Synechocystis* 6803) with glutamate made *Anabaena* 7120 PEPC tolerant to malate. These results demonstrate that the allosteric regulation of PEPC in cyanobacteria is determined by a single amino acid residue, a characteristic that is conserved in different orders.

プレスリリース概要（明治大学・2017年1月25日）

光合成のCO<sub>2</sub>固定酵素がたった一つのアミノ酸の置換によって機能向上することが判明

明治大学の竹屋壮浩（学部4年生）、小山内崇（専任講師）らのグループは、光合成生物であるラン藻の炭素代謝で重要な働きをするホスホエノールピルビン酸カルボキシラーゼ（PEPC）という酵素が、たった一つのアミノ酸を換えることで、活性阻害を受けにくくなることを明らかにしました。

PEPCは、二酸化炭素を固定する酵素の1つです。PEPCは、二酸化炭素を固定するだけでなく、コハク酸（バイオプラスチックの原料）などの有用化合物の生産量を制御する重要な酵素としても知られています。

研究グループは、光合成を行う細菌であるラン藻シネコシスティスのPEPCに着目しました。一般的なPEPCとは異なり、シネコシスティスのPEPC（以下SyPEPC）は、リンゴ酸やアスパラギン酸などの化合物によって活性が低下しない特殊なPEPCであることが判明しました。この特殊性の原因を明らかにするために、他のラン藻のPEPCとSyPEPCの構成アミノ酸を比較しました。その結果、SyPEPCの954番目のアミノ酸のグルタミン酸残基が、特異的であることが分かりました。そこで、この954番目のアミノ酸の役割を確認するために、SyPEPCの954番目のアミノ酸を改変したところ、リンゴ酸やアスパラギン酸によって酵素活性が阻害されるようになりました。

## Estimation of photosynthesis in cyanobacteria by pulse-amplitude modulation chlorophyll fluorescence: problems and solutions

Takako Ogawa, Masahiro Misumi, Kintake Sonoike

*Photosynthesis Research* (2017) doi: 10.1007/s11120-017-0367-x

Cyanobacteria are photosynthetic prokaryotes and widely used for photosynthetic research as model organisms. Partly due to their prokaryotic nature, however, estimation of photosynthesis by chlorophyll fluorescence measurements is sometimes problematic in cyanobacteria. For example, plastoquinone pool is reduced in the dark-acclimated samples in many cyanobacterial species so that conventional protocol developed for land plants cannot be directly applied for cyanobacteria. Even for the estimation of the simplest chlorophyll fluorescence parameter,  $F_v/F_m$ , some additional protocol such as addition of DCMU or illumination of weak blue light is necessary. In this review, those problems in the measurements of chlorophyll fluorescence in cyanobacteria are introduced, and solutions to those problems are given.

### シアノバクテリアのクロロフィル蛍光測定の問題点とその解決方法

クロロフィル蛍光測定は、対象生物の光合成を、簡便に、非破壊的に測定できるため、世界中で広く使われている研究手法です。しかし、手法自体は陸上植物を対象に開発されたものであるため、これを藻類やシアノバクテリアに適用する場合には、測定上の問題が数多く生じ、しばしば測定結果の解釈が無意味な結果をもたらしていました。シアノバクテリアや紅藻・灰色藻においてはクロロフィル以外にフィコビルンが光合成色素として重要な位置を占めること、陸上植物とは異なり、藻類やシアノバクテリアにおいては光合成が呼吸などの代謝系と強く相互作用することなどがその原因です。この総説論文では、特にシアノバクテリアを取り上げて、クロロフィル蛍光を測定しようとする場合の問題点を明らかとし、どのようにその問題を解決・回避するかを示しました。ここで示された問題の多くは、緑藻・紅藻などの真核藻類についても当てはまるものが多いことから、シアノバクテリアのみならず藻類全般の光合成研究にとって、今後の指針となることが期待されます。

## Characterization of the influence of chlororespiration on the regulation of photosynthesis in the glaucophyte *Cyanophora paradoxa*

Masahiro Misumi & Kintake Sonoike

*Scientific Reports* 7, Article number: 46100 (2017) doi:10.1038/srep46100

Glaucophytes are primary symbiotic algae with unique plastids called cyanelles, whose structure is most similar to ancestral cyanobacteria among plastids in photosynthetic organisms. Here we compare the regulation of photosynthesis in glaucophyte with that in cyanobacteria in the aim of elucidating the changes caused by the symbiosis in the interaction between photosynthetic electron transfer and other metabolic pathways. Chlorophyll fluorescence measurements of the glaucophyte *Cyanophora paradoxa* NIES-547 indicated that plastoquinone (PQ) pool in photosynthetic electron transfer was reduced in the dark by chlororespiration. The levels of nonphotochemical quenching of chlorophyll fluorescence was high in the dark but decreased under low light, and increased again under high light. This type of concave light dependence was quite similar to that observed in cyanobacteria. Moreover, the addition of ionophore hardly affected nonphotochemical quenching, suggesting state transition as a main component of the regulatory system in *C. paradoxa*. These results suggest that cyanelles of *C. paradoxa* retain many of the characteristics observed in their ancestral cyanobacteria. From the viewpoint of metabolic interactions, *C. paradoxa* is the primary symbiotic algae most similar to cyanobacteria than other lineages of photosynthetic organisms.

プレスリリース概要（早稲田大学・2017年4月14日）

### 代謝相互作用から藻類の進化を探る

～もともとシアノバクテリアに近い一次共生藻類は灰色藻だった～

植物の葉緑体は、シアノバクテリアの細胞内共生に起源をもちます。共生により最初に成立した一次共生藻には、緑藻・紅藻・灰色藻の三種類がありますが、その系統的關係についてはなぞに包まれていました。今回、灰色藻の葉緑体と細胞質の代謝的な相互作用をクロロフィル蛍光測定により調べた結果、代謝の観点から見る限り、一次共生藻の中で灰色藻が一番シアノバクテリアに近いことが明らかになりました。自由生活をしていたシアノバクテリアが共生により葉緑体に変化する際には、新たに葉緑体と細胞質の相互作用が生じることになりますが、灰色藻における相互作用のあり方は、原核生物であるシアノバクテリアの細胞内の光合成や呼吸の間の相互作用ときわめて似通っていたのです。灰色藻は、その形態的な特徴からは、一次共生藻の中で一番シアノバクテリアに近いとされてきましたが、これが代謝の相互作用から裏付けられたこととなります。分子系統的な解析によっては明確な回答が得られていなかった問題に対して、光合成解析センターのクロロフィル蛍光測定が解決の手段となりうることを示したことになります。



## Reports

### ・代謝シミュレーション技術交流会開催

報告者:大阪大学情報科学研究科 清水 浩

会場:大阪大学情報科学研究科 B511 オープンラボ

日時:2016年11月19日(木)14:00 ~20日(日)12:00

ゲノムスケールの代謝モデル(GMM)を用いたシミュレーションについて技術交流会を行った。本年度は、日本生物工学会代謝工学研究部会の活動を後援する形で実施した。科学研究費補助金、新学術領域研究:新光合成の計画班からも参加者があり、光合成や代謝をシステムとして議論するためのモデル構築やその利用について、講習、演習、意見交換を行い、有意義な情報交換の場となった。



日程	時間	講習内容	担当講師
11/19 (土)	14:00 - 15:00	代謝シミュレーションの基礎(講義)	清水 浩
	15:00 - 16:00	代謝シミュレーションの実行(演習)	戸谷 吉博
	16:00 - 16:30	休憩	
	16:30 - 18:00	代謝シミュレーションの実行(講義+演習)	戸谷 吉博
11/20 (日)	9:00 - 10:30	ゲノムスケール代謝モデルや反応データベースの活用法(講義)	松田 史生
	10:30 - 12:00	代謝シミュレーションを利用した研究の紹介(講義+演習)	戸谷 吉博

## ・第一回「光合成道場」開催

報告者: 京都大学生命科学研究科 伊福 健太郎

会場: 京都大学農学部総合館

日時: 2016年12月9日(金) 11:00~18:00

2016年12月10日(土)に開催された「プロトン駆動力」勉強会の前日、同じく京都において、第一回技術講習会「光合成道場」を開催した。今回は「光合成膜タンパク質複合体の可溶化、分離、精製」をテーマに、基礎的な講義と実習を企画した。領域内の研究室から、まったくの未経験者からベテランまで、8名の参加があった。講義は兵庫県立大学から菓子野康浩先生をお招きし、膜タンパク質の可溶化の実例を、未発表の生データを使って、数多く紹介していただいた。また実習は、未経験者が始めやすいように、市販のキットを使ったBlue-Native PAGE (BN-PAGE)に取り組んだ。参加者同士で積極的な意見交換があり、和気あいあいとした雰囲気を進めることができた。講習会の後は、関西風のすき焼きを囲んで、さらなる交流を温めた。今回の企画が、領域研究の発展に向けた、新しいチャレンジのきっかけとなれば幸いである。

### プログラム

- 11:00- 趣旨説明 (伊福)
- 11:05- 全体の流れの説明, 実習講義(伊福)
- 11:35- 電気泳動セットアップ, 開始(BN-PAGE)  
(昼食)
- 13:30- 二次元目電気泳動のセットアップ, 開始
- 14:30- 講義, ディスカッション(菓子野先生)
- 15:30- ゲル染色開始  
研究室見学, 個別相談, 画像解析
- 18:00- 終了
- 18:30- 懇親会



## 第一回光合成道場に参加して

早稲田大学先進理工・修士2年  
三角 将洋

2016年12月9日に、京都大学で開催された「第一回光合成道場」に参加しました。その内容は Blue Native-PAGE による、光合成膜タンパク質複合体の可溶化、分離、精製だったので、ほとんどタンパク質実験を行なったことがない自分にとっては、敷居が高そうに感じられました。しかし普段の実験では低温クロロフィル蛍光測定など、光化学系複合体を蛍光で見ているため、分離された複合体を実験対象にしてみたいと思っていたこともあり、意を決して道場の門を叩きました。

いざ参加してみると、実験前には京都大の伊福健太郎先生が、実験の手順、背景について説明して下さい、初心者の方でも理解しつつ実験に取り掛かることができたうえ、実際の実験中では、研究室の方々や、偶然一緒の班になった基生研の得津隆太郎先生の、やさしい指導とアドバイスによって、思っていたより遥かに簡単に、Blue Native-PAGE によってホウレンソウのチラコイド膜から、光化学系複合体を分離、精製することができました。

さらに SDS-PAGE で再度ゲル泳動することで、光化学系のそれぞれのサブユニットのバンドを見る、得ることができたのは刺激的な経験で、本実験を用いれば変異体の確認や、光阻害を受けた部位を調べることができるのではないかと、ふつふつと考えが湧き、実験の選択肢の幅が広がったように思います。また今回の実験で用いた Blue Native-PAGE は、市販のゲルとキットを使用すれば、非常に再現性が高く、その洗練されたプロトコールに関しては、兵庫県立大の菓子野康浩先生の講義を通じて、界面活性剤の選択など、先達の血の滲むような条件検討の上に成り立っていること、さらになぜ壊れやすい膜タンパク質を非変性的に可溶化し、分離できるのかを理解す

ることができました。このような貴重な勉強、技術講習の場を設けて下さり、本当にありがとうございます。

## 光合成道場感想

大阪大学蛋白質研究所・修士1年  
伏見 ころこ

今回栗栖先生からお声をかけていただき、この光合成道場に参加させていただきました。私は研究室で膜タンパク質の結晶化を行っているため膜タンパク質の可溶化に用いる界面活性剤についての講義や2次元電気泳動はとても興味深いものでした。また普段他の大学の学生と研究について話す機会は少ないため、近い分野の研究室に所属する学生の方々とこのような時間を過ごせたことは有意義でかつ楽しい時間でした。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。

## 光合成道場感想

関西学院大学大学院理工学研究科・修士1年  
花田 裕明

今回の光合成道場では光合成膜タンパク質複合体の研究法について指導していただきました。特に BN-PAGE を自分で実際にやることのできたのがよかったです。自分の研究のために BN-PAGE をやろうと考えていたのですがやったことがなく、うまくできるかどうか不安に感じていました。しかし、今回細かな注意点を指摘していただきながら BN-PAGE 行うことができ、非常に自信をもつことができました。また実験をするだけでなく、実験法に関する講義もしていただきました。講義では実験の原理や試薬について丁寧に説明していただき、より理解を深めることができました。多くの技術と知識を得ることができ、大きく成長することができたと思います。

・東京工業大学生命理工学院  
光合成科学研究グループシンポジウム  
「光合成科学:エネルギーとバイオマス」参加報告

報告者:東京工業大学生命理工学研究科 久堀・若林研究室 横地 佑一

会場:東京工業大学すずかけ台キャンパス大学会館すずかけホール

日時:2017年1月28日(土)10:00~17:35

私は、1月28日に東京工業大学・すずかけ台キャンパスで開催された、「光合成科学:エネルギーとバイオマス」と題されたシンポジウムに参加致しました。冒頭の挨拶では、久堀徹教授が、本シンポジウムが開催された経緯を説明されました。それによると、東京工業大学には光合成をテーマとした植物科学の研究室が複数あり、そのうち4人の先生方が、CREST「藻類・水圏微生物の機能解明と制御によるバイオエネルギー創成のための基盤技術の創出」のプロジェクトを実施しているそうです。実は、以前からこれらの研究室間のみで、研究員や学生が研究成果の発表を行う合同セミナーが開催されていましたが、CRESTのプロジェクトは本年度が最終年度ということもあり、プロジェクトの成果報告を兼ねて関連研究を行う研究者の講演も含めたシンポジウムが以前から企画されていました。本学の光合成研究者はいずれも生命理工学院に所属しており、光合成科学研究グループとして今後はグループ研究も活性化するそうです。ちょうど、昨年夏に光合成をテーマとした新学術領域研究である「新光合成」が発足したのを受けて、光合成研究の新たな展開を見据えて、本シンポジウムの開催に至ったとのことでした。

講演では、CRESTプロジェクトの成果報告を兼ねているということもあり、藻類・被子植物を用いて有用物質生産を目指す最先端の研究の講演を聴くことができました。講演は3つのセッションに分かれており、「基礎科学セッション」では、有用形質をもつ藻類の単離からオミクス解析や遺伝子の機能解析について、「応用科学セッション」では、応用研究を行うための基盤開発や、企業からの講演者らによる工業化に向けた取り組みについての講演がありました。最後のセッションは、「国際シンポジウム」の形式で行われ、さらに様々な角度から光合成にアプローチした研究の話題を聴くことができました。特に、私が所属する研究室の若林憲一准教授による講演は、緑藻がもつ「動物性」と光合成制御の関係を紹介したもので、プレゼンテーションで動画を



用いていたこともあって、身内びいきを差し引いても聴衆の注目を集めていたように思います。

講演終了後は、懇親会に参加し、多くの方々と議論を交わすことができました。講演者の方には、発表の際にできなかった質問をさせていただき、討論にお付き合いいただきましたが、若輩者の私はどうしても緊張してしまい話に花を咲かすことはできませんでした。これに関しては、また次の機会にリベンジしたいと思います。一方、学生の方々とは、お互いの研究内容だけでなく研究生活についても熱く語りあうことができ、非常に有意義な懇親会とすることができました。同年代の研究者とお互いの悩みを共有したり、自身の研究に関して客観的な意見を聞くことができる懇親会のような場の必要性をあらためて実感しました。

本シンポジウムを通して、光合成研究の基礎から応用までの全体像を知ることができ、私の研究がどこに位置しているのかを再確認することができました。また、目標は同じでも様々な角度からアプローチすることができるのだということもあらためて思い知らされ、大いに刺激を受けました。さらに、多くの方々と議論を交わすことができ、私にとって大変刺激の多い一日とすることができました。本シンポジウムを皮切りに、今後も光合成研究を行う研究者が意見交換を行う場が増え、ますますこの分野の研究が発展することを願っています。

最後に、私との議論にお付き合いいただいた先生方や学生の方々に、改めて感謝致します。





## プログラム

- 10:00-10:05 はじめに 久堀徹 (東工大化学生命科学研究所)
- I. 基礎科学セッション (座長 久堀徹)
- 10:05-10:35 兼崎友 (東京農業大)  
「重金属耐性を示す紅藻シアニジウムのおミクス解析」
- 10:35-10:55 瀧景子 (東工大化学生命科学研究所)  
「シゾンゲノミクス研究基盤の整備と現状」
- 10:55-11:10 休憩
- 11:10-11:40 増田建 (東大大学院総合文化研究科)  
「可塑的な葉緑体分化における光合成系の構築」
- 11:40-12:00 増田真二 (東工大生命理工学院)  
「植物バイオマスの増大を誘起する葉緑体場代謝の遺伝学的制御」
- 12:00-12:20 下嶋美恵 (東工大生命理工学院)  
「リン欠乏下の植物葉における油脂蓄積機構の解明とその応用」
- II. 応用科学セッション (座長 田中寛)
- 13:40-14:10 吉満勇也 (株式会社デンソー 基礎研究所)  
「微細藻バイオ燃料の実用化に向けた取り組み」
- 14:10-14:30 信澤岳 (東工大生命理工学院)  
「ナンノクロロプシスの油脂生合成において油滴表層が重要な場である」
- 14:30-14:45 休憩
- 14:45-15:15 鈴木健吾 (株式会社ユーグレナ 取締役 研究開発部長)  
「ユーグレナの研究開発と産業利用について」
- 15:15-15:35 今村壮輔 (東工大化学生命科学研究所)  
「藻類油脂生合成のチェックポイントキナーゼ TOR : その発見と応用」
- 15:35-15:55 肥後明佳 (東工大化学生命科学研究所)  
「有用物質生産へ向けた多細胞性ラン藻 *Anabaena* の合成生物学」
- III. 国際シンポジウム (座長 太田啓之)
- 16:10-16:40 Shigeharu Sato (Chem & Life Sci. Tokyo Tech., Nagasaki Univ.)  
The Apicoplast and Plant-like Haem Metabolism in Apicomplexan Parasites
- 16:40-17:00 Masako Nakajima, Noriko Ueki, and Ken-ichi Wakabayashi (Chem & Life Sci. Tokyo Tech.)  
Photo-behavior in green algae: how light modulates flagellar motion
- 17:00-17:30 Shin-ya Miyagishima (Dept. of Cell Genet., National Inst. of Genetics)  
Uses of acidic hot spring eukaryotic algae: pure and applied sciences
- 17:30-17:35 おわりに 太田啓之 (東工大生命理工学院)
- 18:00-20:00 懇親会 (大学会館ラウンジ)  
司会 田中寛

## ・国際シンポジウム A new horizon in photosynthesis research: Regulation via Proton Motive Force 開催

報告者: 京都大学理学研究科 鹿内 利治

会場: 第58回日本植物生理学会年会

鹿児島大学郡元キャンパス

日時: 2017年3月16日14:00~17:00

2017年3月16日に鹿児島大学で行われた日本植物生理学会の年会において、本領域主催の国際シンポジウム A new horizon in photosynthesis research: Regulation via Proton Motive Force が行われました。光合成分野のやや難解なシンポジウムにも関わらず、多くの方が参加され、本領域に関心を寄せていただいた方々に感謝いたします。シンポジウムは、皆川代表よりこの領域が何を考えているのかが紹介されたあと、光化学系Ⅱでの過剰エネルギー散逸機構について最新の成果が報告されました。続いて、David Kramer 博士(ミシガン州立大)より、最近開発された光合成測定機器 MultispeQ の紹介と膜電位により光化学系Ⅱの光阻害について話題提供されました。Giovanni Finazzi 博士(CEA グルノーブル)からは、ミトコンドリアにATP供給を依存する珪藻の光合成について紹介があり、チラコイドルーメンの酸性化に依存しない、電子伝達抑制機構の可能性について議論しました。次の招待講演者の Ildiko Szabo 博士(パドバ大)からは、光合成調節の鍵をにぎるイオン輸送制御について、葉緑体局在の TPK5(K+トランスポーター)とミトコンドリア局在の MCU/MICU (Ca<sup>2+</sup>トランスポーター)の電気生理学的性質を中心に最新の研究が紹介されました。最後に、鹿内が、KEA3による光合成電子伝達制御の研究を報告しました。本領域が目指す分野は、世界的にもまだ未開拓の分野であり、国際的に研究領域をリードする研究者を集めて議論できたことは、大変有意義でした。

## ・第一回ワークショップ開催

報告者:基礎生物学研究所 環境光生物学研究部門 高橋 俊一

会場:鹿児島県指宿市(指宿いわさきホテル)

日時:2017年3月18日(土)~19日(日)

2017年3月18日から2日間、鹿児島県の指宿(指宿いわさきホテル)にて新学術領域「新光合成」第一回ワークショップが行われた。領域代表をはじめ、各計画班の代表者(7名)、分担者(2名)、連携研究者(2名)、海外からの話題提供者(3名)を含む15名が参加した。直前にあった第58回日本植物生理学会年会(鹿児島大学、3月16日-18日)の本領域主催シンポジウム「A new horizon in photosynthesis research: Regulation via Proton Motive Force」において、専門外の研究者を交えた「プロトン駆動力」に関する議論を終えていたこともあり、ワークショップではより専門的な議論が中心となった。話題提供は、海外から Giovanni Finazzi 博士(CEA グルノーブル、フランス)、David Kramer 博士(ミシガン州立大、アメリカ)、Ildiko Szabo 博士(パドバ大、イタリア)、本領域から鹿内利治教授(京都大学)、得津隆太郎博士(基礎生物学研究所)が行った。今回のテーマは「Technical problems in the analysis of proton motive force」で、専門家の中でも議論のある「プロトン勾配の測定法」と「これまで得られたデータの解釈」に関して、率直な意見が交わされた。今回のワークショップは、領域の研究対象である「プロトン駆動力」をどう正しく捉えるかを学ぶ良い機会となった。



## ・「新光合成」2017年度春期領域会議

報告者: 京都大学理学研究科 博士課程3年 加藤 義宣

会場: 自然科学研究機構 岡崎コンファレンスセンター

日時: 2017年5月9日(火)13:00 ~11日(木)16:00

4月に19の公募班が決定し、新学術領域研究のメンバーが出揃って、最初の会議となりました。完全クローズドという約束のもと、各班が論文にまだ掲載されていないホカホカなデータを持ち寄って議論しました。特に光合成以外の分野から参加されている公募班の方々の発表は、初めて知る実験系や刺激的な研究内容にあふれていました。皆川代表からの「積極的なコラボレーションの検討を！！」という挨拶にあったように、様々な共同研究の提案、さらには具体的な打ち合わせが各所で行われ、「領域研究」がこれから力強く進行していくことを予感させる雰囲気を感じました。

またポスターセッションも同時に行われ、学生による発表も含め活発な議論がなされました。2日目の懇親会でも各班の交流が深まり、プロジェクト全体がより結束して非常に強力なチームへとレベルアップしたのではないかと思います。3日間とも濃密な会議となり、次回の秋期会議に向けて各班の研究が大きく発展していく機会となりました。



### 2017年度春期領域会議のプログラム

5月9日

代表挨拶 皆川先生、計画班 8題、公募班 6題、ポスターセッション 前半

5月10日

計画班 10題、公募班 7題、ポスターセッション 後半、懇親会

5月11日

計画班 5題、公募班 6題、全体会議、共同研究相談

## ・第二回「光合成道場」開催

報告者:岡山大学 資源植物科学研究所 加藤 裕介

会場:岡山大学資源植物科学研究所

日時:2017年6月20日(火)14:00~6月21日(水)12:00

第二回となる技術講習会「光合成道場」として、パルス変調クロロフィル蛍光測定と微小吸収変化測定による P700 の酸化還元測定を中心とした Dual-PAM の講習会を開催した。パルス変調クロロフィル蛍光測定は光合成研究者にとっては一般的な測定法ではあり、多くの方に興味を持って参加して頂いた。参加者はシニアから学生まで幅広く、1日目の講義は18名、2日目の実習は14名であった。講師は早稲田大学の園池先生にお願いし、学生の参加者もいることから基礎的な測定の原理から実際の測定例まで幅広い内容で紹介していただいた。当初1日目を講義日としていたが、2日目にも講義を行なって頂き、非常に内容濃いものであった。実習では Dual-PAM の操作を体験し、各種パラメーターの設定、測定での疑問点等の質問も相次いだ。また1日目終了後の交流会では瀬戸内の魚を楽しみつつ、参加者同士の交流を深めた。

### プログラム 6月20日(火)

- 14:00- 開催あいさつ (加藤)
- 14:05- 講義-パルス変調クロロフィル蛍光測定法(園池)
- 16:10- 講義-微小吸収変化測定による P700の酸化還元の解析(園池)
- 17:30- Dual-PAMの簡単な操作説明
- 18:00- 終了
- 18:30- 懇親会

### 6月21日(火)

- 9:00- 講義-シアノバクテリアと藻類のクロロフィル蛍光測定(園池)
- 10:30- Dual-PAMを用いた測定実習





## 第二回「光合成道場」

## 参加者の声♪

関西学院大学大学院 松田研 M1

山岸 寛征

以前より PAM 測定では、文献からの知識では理解が追い付かない点も多く、実際、測定結果の解釈に悩むことも多くありました。今回、基本的な測定原理から丁寧にご教授いただき、今までなんとなく理解していた点や、解釈が誤っていた点、知らなかったことに気づかされ、大変勉強になりました。また、光合成研究のベテランの皆様方と議論を交わす中で格段に理解を深めることが出来たと思います。是非とも今後の研究活動に今回得た知識・技術を活かしていきたいと思います。今回は貴重な体験をさせて頂き、ありがとうございました。

神戸大学大学院理学研究科 秋本研 D2

植野 嘉文

PAM の原理や測定における注意点を勉強したいと思い参加させて頂きました。スライドだけでなく、実際の測定で得られた生データも使用して解析方法や解釈について講義して頂いたことで、普段論文でしか目にしない測定結果の理解が深まりました。また、私が測定対象としている藻類の場合の問題点も説明して頂き、どのような点に注意すべきか分かりました。今回の講習で得た知識を今後の研究に活かしていきたいと思います。

東京大学大学院理学系研究科 寺島研 M1

木村 遼希

私はこの講習以前から Dual-PAM を使っていたのですが、そのしくみに関しては今まで何回か自分ひとりで理解しようとし、そして道半ばで断念していました。そんな中、今回の講習で PAM のしくみ一通りについて、非常に分かりやすく解説していただきました。今後、Dual-PAM を使う際、また、Dual-PAM でとったデータを議論する際、より本質をふまえた見方ができるのではないかと考えています。非常に有意義な講習をありがとうございました。

## 今後の予定

2017年8月30日(水)～31日(木)

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(神戸セミナーハウス)

2017年9月8日(金)

日本植物学会第81回大会(東京理科大学野田キャンパス)

シンポジウム「環境に応じた光合成機能の最適化」

2017年11月3日(金・文化の日)～6日(月)

Taiwan-Japan Plant Biology 2017 (Academia Sinica, Taiwan)

<http://tjpb2017.org/site/mypage.aspx?pid=901&lang=en&sid=1168>

2017年11月20日(月)～22日(水)

平成29年度秋期領域会議(沖縄科学技術大学院大学 OIST)

2018年11月8日(木)～10日(土)

国際シンポジウム(倉敷市民会館)

## 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、編集室の筒井(m.tsutsui@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3号の原稿締め切りは、11月30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