

**京都大学教育研究振興財団助成事業  
成 果 報 告 書**

平成28年8月18日

公益財団法人京都大学教育研究振興財団  
会 長 辻 井 昭 雄 様

所属部局・研究科 理学研究科・化学専攻

職 名・学 年 准 教 授

氏 名 熊 崎 茂 一

|                                |  |                    |                  |
|--------------------------------|--|--------------------|------------------|
| 助 成 の 種 類                      | <b>平成28年度 ・ 研究者交流支援 ・ 国際研究集会発表助成／一般</b>  |                    |                  |
| 研 究 集 会 名                      | 第17回国際光合成会議、およびサテライト集会 (light-harvesting 2016)   |                    |                  |
| 発 表 題 目                        | Spontaneous Raman Scattering Spectro-Microscopy Applied to Studies on Cellular Differentiation of Heterocystous Cyanobacterium <i>Anabaena variabilis</i> (本会議)・<br>Imaging of Photochemical Properties of Thylakoid Membranes at Subcellular level and Individual Cells (サテライト) |                    |                  |
| 開 催 場 所                        | マーストリヒト・オランダ(本会議)／エグモンド アーン ゼー・オランダ(サテライト)   |                    |                  |
| 渡 航 期 間                        | 平成28年8月4日 ～ 平成28年8月14日   |                    |                  |
| 成 果 の 概 要                      | タイトルは「成果の概要／報告者名」として、A4版2000字程度・和文で作成し、添付して下さい。「成果の概要」以外に添付する資料 <input type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> 有( )   |                    |                  |
| 会 計 報 告                        | 交付を受けた助成金額   | 350,000 円          |                  |
|                                | 使用した助成金額   | 350,000 円          |                  |
|                                | 返納すべき助成金額  | 0 円                |                  |
|                                | 助 成 金 の 使 途 内 訳  | 往復航空券              | 163,280 円        |
|                                |  | 往復日本国内移動           | 7,640 円          |
|                                |  | オランダ国内移動           | 43.1€ ( 4,870 円) |
|                                |  | 宿泊9泊(京大規定、)        | 162,000 円        |
|                                |  | 本会議登録費用(0円、別予算で支出) |                  |
| 日当(国内1日、オランダ10日、京大規定)          |  | 62,500 円           |                  |
| サテライト参加登録費 (0円、日当から支出し、自己負担扱い) |  |                    |                  |
|                                | 以上¥400,290円(合計超過分は別予算で補填)の35万円分  |                    |                  |
| 当財団の助成について                     | (今回の助成に対する感想、今後の助成に望むこと等お書き下さい。助成事業の参考にさせていただきます。)<br>別予算と組み合わせて使うことができ、本会議に加えて、サテライト会議にも出席できたのは大変有益でした。ありがとうございました。   |                    |                  |

サテライト会議(lightharvesting2016)は、本会議に先立ち、光合成生物の光捕集の分子レベルの理解に関する研究集会が開催された。単一会場における参加者100名限定での集会であるために、活発な討論が行われた。私自身は一般講演のうち2番目に登壇し、主に植物葉緑体(シロイナズナ)のステート遷移の研究について報告した。その内容は Plant Cell Physiology 2015 (E. Kim, TK Ahn, and S. Kumazaki) に既に発表した内容に関して、集会の関心に合わせて背景を説明し、さらに継続して行っている最近の未発表研究成果を加えた内容とした。講演直後の質疑応答は主に次の2点に関するものであった。「有限な空間分解能がもたらす結論への影響は?」「光化学系 II から外れた光捕集系 II が光化学系 I にエネルギーを渡すことなく発する蛍光をとらえることはできなかったか?」 前者に関しては、「空間分解能の制約は当然あるが、チラコイド膜(光合成膜)のグラナ領域とそれ以外の差が定性的に観測できていることは間違いない。今後、点像分布関数を考慮して詳細な解析をすれば、空間的により純粋な成分を抽出できるかもしれない」 後者に関しては「光捕集系 II がエネルギー移動できずに孤立している場合、蛍光強度が強い場所が現れると考えられるが、画像を調べる限り、そのように考えられる明確な領域は見出されなかった。ただし、そういう記述は s/n によって制限を受けており、そういう領域が出現していないと全否定できるわけではない」という応答をした。

サテライト会議において特に興味深かった発表が Adela Strašková (チェコ) らによって為された(私の主観であるが)。彼らは、レーザー走査型共焦点蛍光顕微鏡を用いて、単細胞性シアノバクテリアのチラコイド膜が非常に明確な性質の異なる領域に分かれていることを報告した。私自身もシアノバクテリアの顕微分光を行うようになって10年以上にもなるが、報告されたような明瞭な差異を見出したことがなく、また、同等な観測報告例も思い当たらないので非常に驚いている。私自身は糸状性シアノバクテリアばかりをもっぱら研究しているせいもあるが、シアノバクテリアの光合成膜の微細構造の構造と機能の関係に関して再考を迫る重要な報告である。ただし、私自身や他の研究グループによる検証実験も必要と思われる。

特にサテライト会議において、そして本会議においても、光合成膜が示す防御的消光(NPQ, non-photochemical quenching)に関する講演が多数あった。特にカロテノイドの電子励起状態の精製と緩和過程で現れる  $S_2$ ,  $S_1$ , (一重項励起状態)あるいはそれらの振動励起状態と考えられるもの(hot 状態)、あるいは正確な電子状態の正体は判明していないが近年分光学的データ解析上で  $S^*$  と呼ばれる過渡状態など、精力的な研究報告がなされた。古くから提唱されているキサントフィルサイクルに関連してクロロフィルからカロテノイドへのエネルギー移動による消光、カロテノイドとクロロフィルの間の電荷分離による消光など、いくつかのモデルの妥当性が討論された。複数の消光・熱化機構が働いている可能性もあり、また生物毎に分子機構が異なる。関連する情報は確実に増えているが、大多数の研究者の合意を得るような理解の水準には到達していない現状を把握することができた。

本会議では私自身は近赤外励起ラマン散乱スペクトル顕微鏡による糸状シアノバクテリ

アの細胞分化の研究について、ポスターによって研究成果の報告をした。ラマン散乱顕微鏡が光合成生物の研究に用いられる例は未だに稀であり、その適用意義についての質問が多く寄せられた。蛍光顕微鏡と比べて、ラマン散乱顕微鏡は分子濃度に比例する信号を与えることが利点である。しかし、訪問者の中には分子濃度の絶対値に強い関心を寄せる研究者が居た。私が運用している現状のラマン散乱顕微鏡では直ぐに分子濃度の絶対値を与える準備が整っていない。しかし、過去に実績はあるが現在稼働させていない吸収スペクトル顕微鏡を用いると光合成色素分子の濃度の絶対値の算出が可能であることを伝えると、それをを用いて共同研究をしてみないか、と提案された。私自身も吸収スペクトル顕微鏡を復活させたいと常々思ってきたので、今後の研究課題の設定にその要望を考慮しようと考えている。また、私が直接指導する学生（博士課程）の一人は、サテライト集会和本会議の両方において、糸状シアノバクテリアの窒素固定細胞と栄養細胞を2種の生物 (*Anabaena variabilis* and *Rivularia* M-261) で比較した研究成果をポスターにより私とも共著で発表した。

本会議は4つの異なるセッションが同時並行で進行するので、興味があっても聴講できない口頭講演もあった。私が聴講したものから、1件だけの概要とその背景を紹介する。私の現在の研究テーマは光合成生物の細胞生理学に近く、それとはかなり隔たりがあるが、現在注目されているのが自由電子レーザー短パルスを用いた光合成光化学反応の時間分解化学結合変化の解明である。特に、2つの水分子を分解して酸素分子1個、プロトン4個、および4個の電子を生み出す光化学系 II のマンガン・カルシウム・酸素複合体( $Mn_4CaO_5$ )が引き起こす反応は強い関心がもたれている。水を太陽光エネルギーで分解して水素をとりだすことを人工化学システムに組み込んで持続可能なエネルギー生産を行うことは世界中で目指されている。日本でも自由電子レーザー短パルスが本格的に稼働し始めているが、米国が実験設備の完成度と運用実績で先んじているようである。この研究手法には光化学系 II の結晶が必要であり、結晶作成では日本の研究者がここ数年先導してきたが、海外の結晶作成技術もかなり改良されてきている。J. Yano が率いる米国チームは4回の光吸収で進行する水分解反応の全体像のうちの部分的ではあるが、いくつかの段階について化学結合の変化を捉えることに成功したと報告していた。まだ学術論文として発表されていないので詳細な説明は今の私にはできないが、天然光合成の水分解の化学機構の解明に大きく近づいた、という印象を強く受けた。

このように現在の私自身の研究テーマに近い分野から離れた分野まで、天然光合成に関わる研究の最新の成果に接することができた。各種情報を今後の研究指針作成や共同研究の実現のために活用していきたい。