

光合成研究

第16卷 第47号 2006年12月

Vol. 16 No. 47 December 2006

THE JAPANESE ASSOCIATION FOR PHOTOSYNTHESIS RESEARCH



日本光合成研究会

光合成研究
第16巻 第47号 2006年 12月
NEWS LETTER Vol. 16 No. 47 December 2006
THE JAPANESE ASSOCIATION FOR PHOTOSYNTHESIS RESEARCH

CONTENTS

新任期(2007-2008)にあたってのご挨拶	伊藤 繁	.....1
トピックス 光合成酸素発生錯体モデル:		
不均一系マンガン錯体による水からの酸素発生	八木政行	.....2
解説 カムチャツカにおける環境ストレスと北方林の更新様式、 そして環境問題	原 登志彦	.....7
報告記事		
「光合成研究会第6回ワークショップ」報告	大岡宏造、塚谷祐介	.....12
12 th International Symposium of Phototrophic Prokaryotes参加報告	前田真一	.....14
「第2回日本—フィンランド二国間セミナー」に参加して	田中亮一	.....16
PHOTOSYNTHESIS IN THE POST-GENOMIC ERA II: “Structure and Function of Photosystems”に参加して	石原靖子	.....21
新刊図書		.....24
事務局からのお知らせ		.....25
日本光合成研究会会員入会申込書		.....26
日本光合成研究会会則		.....27
幹事会名簿		.....29

賛助法人会員広告

新任期 (2007-2008) にあたってのご挨拶

会員の皆様におかれましては、本年もまた光合成研究を楽しくお続けのことと存じます。06年5月の選挙結果(前号報告)により、さらに2年('07-08年度)会長をさせて頂くこととなりました。よろしくお願いたします。本会(個人会員341名:80大学(国外2):21研究機関、賛助会員6社)の活動、財政も円滑に進みました。会員の皆様と、常任評議員をはじめとする役員の方々に改めて感謝するとともに、引き続きご協力をお願いいたします。

こんなことはできないか?ぜひやらせて、会報にのせて、書かせて、書かせたい、HPや会報、ワークショップなどに協力したい。などあれば、ぜひ御連絡ください。臨機応変に対応させていただきます。ボランティアで成り立つ本会ですので、どうぞよろしくお願いたします。

05年06年の本会事業の簡単な報告を以下に記します。

1) 公開シンポジウムを行い、総会を行いました。

第5回「光合成研究入門:地球の未来を語ろう」(05/05/28-29 名古屋大学、講演10. poster 16 約110名参加)

第6回「高宮建一郎先生記念シンポジウム:光合成分子装置とそのバイオジェネシス」(06/05/26-27 東京工業大学) (高宮さんの大きな業績を改めて実感したい会でした。)

第7回は岡山大学(07年5月25-26日)を予定しております、ぜひ御参加ください。posterも。

2) 実習を伴うワークショップを行いました。

第5回「草が作る叢(くさむら)の光環境:生産構造図の作成」(05/9/2-3 神奈川大学)

第6回「光合成研究の新たな潮流:構造とゲノムそして未来」(06/10/12-13 大阪大学蛋白質研究所と共催の講演会)

第7回「体験しよう:シアノバクテリアの生物学」(06/12/1-2 東京大学大学院総合文化研究科)

3) ホームページの学術情報センターへの移行。会誌の表紙をカラーにしました。いかがでしょうか?

まだまだ、出版その他、ご要望にお応えできていないことは残っており、さらに2年、出来ることは進めたいと思います。しかし、役員一同様々な制約のもとため息をつきながら運営にあたり、大変なもの現状です。ぜひ自由な「ご意見、ご要望、ご活動、そして役に立つ会誌への“投稿”勧誘」を積極的にお寄せ下さい。07年は国際光合成会議も英国で開催されます。皆様のさらなるご活躍を期待します!



日本光合成研究会会長 伊藤 繁
 itoh@bio.phys.nagoya-u.ac.jp
 名古屋大学院理学研究科 物質理学専攻(物理)
 光生体エネルギー研究室

TOPICS

光合成酸素発生錯体モデル：
不均一系マンガン錯体による水からの酸素発生

新潟大学教育人間科学部・超域研究機構

八木政行

1. はじめに

光合成では、光化学系IIで光励起中心 (P680) の太陽光励起により、酸素発生錯体 (Oxygen Evolving Complex ; OEC) と呼ばれるマンガンオキソクラスターからチロシン残基を介して P680 へ光誘起電子移動が達成される。逐次的な光誘起電子移動反応により四当量の酸化力が OEC に蓄積されたとき、その巧妙な酵素反応により水の四電子酸化 (式 (1)) が進行し酸素が発生する。



OECの活性中心は $\text{Mn}_4\text{O}_x\text{Ca}_1\text{Cl}_y$ の組成からなる四核マンガンオキソクラスターであることが知られている^{1,2)}。近年、光化学系IIのX線構造解析の結果が報告され、OECの電子密度の形状が示された³⁻⁵⁾。中心マンガニオンのX線吸収微細構造測定や赤外吸収スペクトル測定などの結果と合わせて、OECの化学構造が明らかにされつつある。構造が明らかにされるにつれて、OECの反応機構への関心は益々高まると予想される。合成OECモデル錯体を用いて実験化学的に実証された化学反応をヒントにOECの酸素発生機構を洞察する研究も行われている。しかし、OECモデルとして多様なマンガンオキソ錯体が合成され、多くの酸素発生実験が実施されてきたにもかかわらず、明確に水から酸素を発生させた例はほとんど報告されていなかった^{6,7)}。

筆者らは、OECのモデル化で錯体の構造のみならず反応場も重要との考えから、均一水溶液系に加え高分子膜や粘土化合物の不均一反応場にも着目して水の酸化触媒を研究してきた⁷⁻¹¹⁾。ここでは、これまで報告されている代表的な合成マンガンオキソ錯体のOECモデルをまず紹介し、筆者らの最近の不均一系OECモデルに関する研究について述べる。なお、合成OECモデル

錯体の詳細については別途総説を参照されたい⁶⁻⁸⁾。

2. OECモデルとしてのマンガンオキソ錯体

Ramarajらは溶解度以上の $[(\text{bpy})_2\text{Mn}(\mu\text{-O})_2\text{Mn}(\text{bpy})_2]^{3+}$ ($\text{bpy} = 2,2'$ -ビピリジン)錯体量を含む懸濁水溶液にCe(IV)酸化剤を加えて酸素発生実験を行い、錯体の残留固体表面から酸素の気泡が発生することを見出した。残留固体を含まない錯体水溶液では酸素発生が観察されないことから、残留固体表面で水の酸化が進行していることを明らかにした¹²⁾。彼らは更に $[(\text{bpy})_2\text{Mn}(\mu\text{-O})_2\text{Mn}(\text{bpy})_2]^{3+}$ 錯体をカオリン粘土に吸着させて同様の実験を行い、酸素が発生することを報告したが、錯体のターンオーバー数は0.38~0.76で1に満たず、錯体が触媒として働かないことを示した。

Limburgらは、水中で末端水配位子を有する $[(\text{OH}_2)(\text{terpy})\text{Mn}(\mu\text{-O})_2\text{Mn}(\text{terpy})(\text{OH}_2)]^{3+}$ ($\text{terpy} = 2,2',6'$ -ターピリジン)錯体と酸素原子供与剤である次亜塩素酸ナトリウム(NaClO)または過硫酸水素カリウム

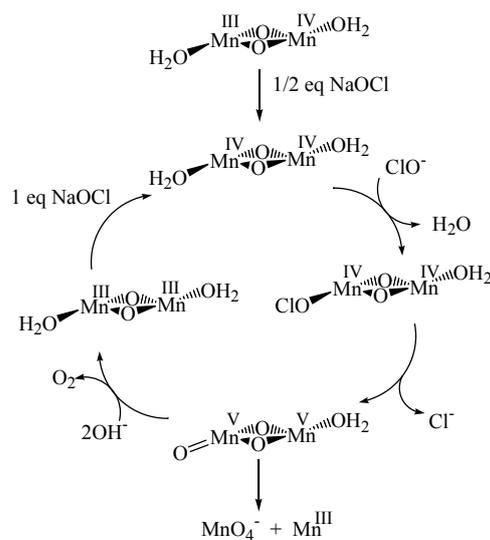


図1 次亜塩素酸ナトリウムを用いた $[(\text{OH}_2)(\text{terpy})\text{Mn}(\mu\text{-O})_2\text{Mn}(\text{terpy})(\text{OH}_2)]^{3+}$ による酸素発生で提案された機構

(KHSO₅)を反応させたところ、O₂が発生したと報告した^{13,14}。酸化剤により錯体は逐次酸化され、Mn^V=O末端を有するMn^V-Mn^V中間体を経由して水から酸素を発生する機構を提案した(図1)。H₂¹⁸Oを用いた同位体標示酸素発生実験で¹⁸O₂を検出したことから酸素発生酸素原子源が水であると主張した。しかし、酸素原子供与剤と水あるいはMn^V=Oとの酸素原子交換の議論が不十分であるうえ、NaClOまたはKHSO₅の不均化反応による酸素発生の可能性にも言及しておらず、提案された酸素発生機構には問題が指摘されている⁷。

筆者らはMn₄O₄⁶⁺立方体核を有し、立方体の6つの面にそれぞれジフェニルホスフィレートまたはビス(*p*-トリル)ホスフィレート(L)がキレートした金属錯体L₆Mn₄O₄を合成した。図2に示すように、L₆Mn₄O₄錯体への紫外光照射でキレート配位子の一つを光解離させることによりMn₄O₄核内の二つの酸素原子間の分子内カップリングから選択的にO₂とデオキシ型L₅Mn₄O₂⁺錯体を生じることを見出した^{15,16}。この結果は、四核立方体マンガンオキシ錯体から酸素発生を見出した初めての例であり、OECでの酸素発生機構に重要な示

唆を与えると考えられる。一方、L₆Mn₄O₄錯体とフェノチアジンとの反応では、フェノチアジンから核オキソへの水素原子移動により還元的に水分子が遊離することも報告されている^{15,17}。Mn₄O₄核の酸素原子がO₂分子ならびにH₂O分子に変換可能であることから、Mn₄O₄核が水の酸化触媒の基本構造として有望であることが示唆された。種々のμ-オキソマンガン錯体を用いてL₆Mn₄O₄と同様な光化学反応を行った結果、μ-オキソマンガン錯体は非選択的に光分解し、O₂は発生しないことが示された¹⁶。この結果は選択的にO₂を発生するL₆Mn₄O₄錯体の光化学反応と対照的であり、Mn₄O₄立方体核が酸素発生における特異構造であることが示された。

3. 粘土吸着ジμ-オキソマンガン錯体による酸素発生

筆者らは酸素発生実験で酸素原子源を明確にするために酸素原子を含まない酸化剤を使用すべきと考え、Ce(IV)酸化剤を用いて、[(OH₂)(terpy)Mn(μ-O)₂Mn(terpy)(OH₂)]³⁺(**1**)による酸素発生実験を行った。**1**水溶液とCe(IV)水溶液を混合して発生酸素を追跡したが、

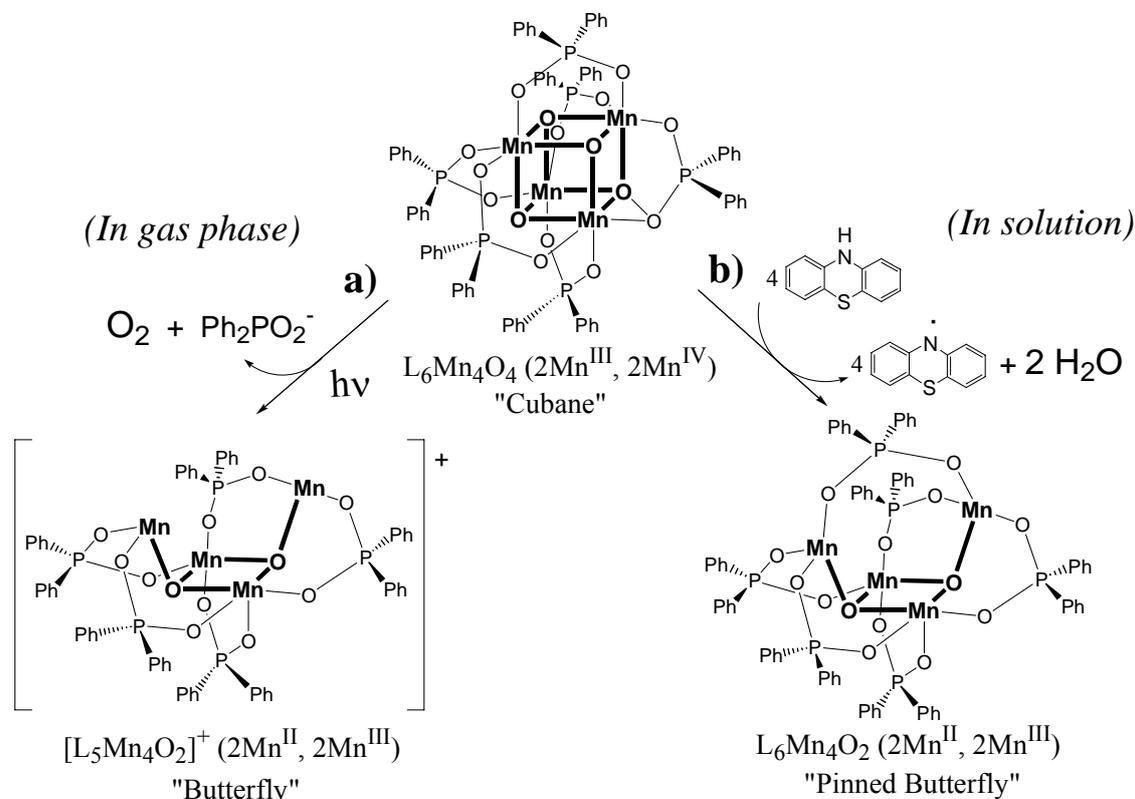


図2 L₆Mn₄O₄錯体の反応, (a) 光化学的O₂発生, (b) フェノチアジンを用いた還元によるH₂O生成

酸素発生は全く観察されなかった (図 3 a)。反応溶液の可視吸収スペクトル変化を追跡したところ、 MnO_4^- イオンが生成していることが分かった。 MnO_4^- イオン生成速度の解析により、**1** の二分子反応により MnO_4^- イオンが生成することが示された。高酸化状態に達した **1** の不均化反応による MnO_4^- イオンの生成が推定された。**1** からの MnO_4^- イオンの生成を抑制するために、粘土化合物に **1** を吸着させて同様の実験を行った。**1** 水溶液とほぼ同量の **1** をマイカ粘土に吸着させた場合、図 4 c) に示すように酸素が発生した¹⁸⁾。酸素発生量より算出される **1** の最大のターンオーバー数は約 15 ~ 17 回であった。これより **1** が触媒として働き酸素を発生することが示された。 $H_2^{18}O$ を用いた同位体標示酸素発生実験では、図 4 に示すように $^{16}O_2$ 、 $^{16}O^{18}O$ および $^{18}O_2$ が検出され、発生酸素中の ^{18}O の含有量が反応系中の $H_2^{18}O$ の含有量に一致したことから、発生酸素の酸素原子源が水であることが明らかにされた¹⁹⁾。

粘土吸着 **1** による触媒機構を評価するために、**1** と類似した構造を有し、末端に水配位子を持たない $[(bpy)_2Mn(\mu-O)_2Mn(bpy)_2]^{3+}$ (**2**) を用いて同様の酸素発生実験を行った。**2** 吸着マイカ粘土を用いたとき酸素はわずかに発生したが、そのターンオーバー数は 0.68 で、**2** は触媒として働かないことが示された。この結

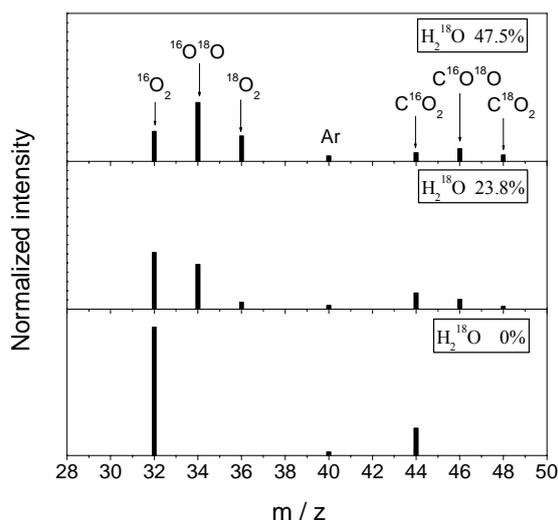


図 4 $H_2(^{18}O)_2$ を用いた酸素発生実験における発生ガスの電子衝撃イオン化マススペクトル。Ar および CO_2 は内部基準物質。

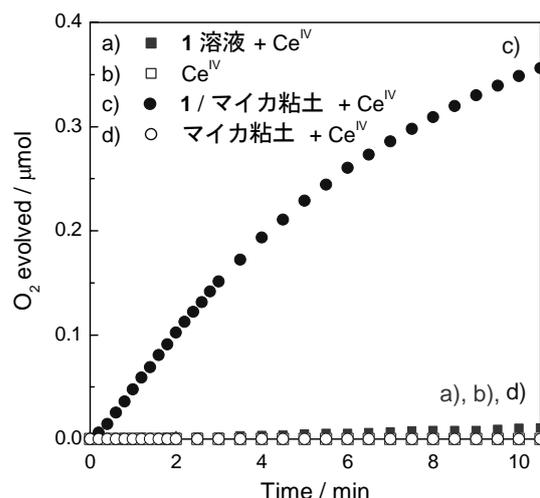


図 3 $Ce(IV)$ 酸化剤を用いたときのマイカ吸着 **1** による酸素発生の経時変化。

a) **1** 水溶液 (1.5 μ mol; 0.75 mM), b) **1** を含まない水溶液, c) マイカ吸着 **1** 懸濁液 (10 mg, 1.5 μ mol **1**), d) マイカ懸濁液 (10 mg). Ce^{IV} oxidant: 50 mM; 溶液体積, 2.0 ml; pH = 1.0.

果は Ramaraj らによる酸素発生の結果と一致する。

図 5 に酸素発生速度 ($v_{O_2} / \text{mol s}^{-1}$) と吸着錯体量の関係を示す。**2** を用いた場合、(図 5 b と d) 酸素発生速度が **2** の吸着量に対して直線的に増加したことから **2** の一分子反応により酸素が発生することが示された。

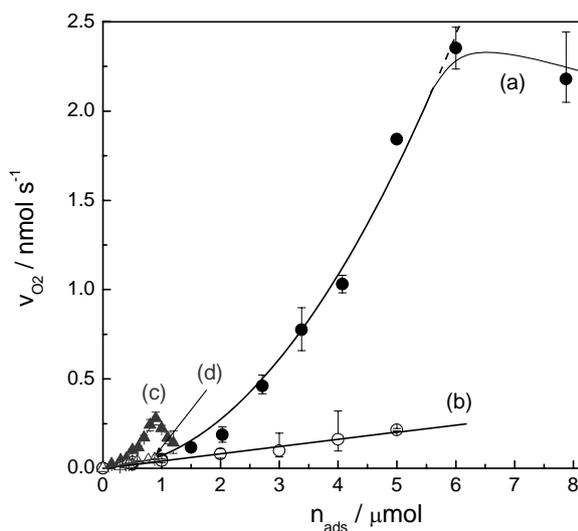


図 5 酸素発生速度 ($v_{O_2} / \text{mol s}^{-1}$) と **1** の粘土吸着量の関係。(a) **1** / モンモリロナイト K10, (b) **2** / モンモリロナイト K10, (c) **1** / カオリン and (d) **2** / カオリン。 Ce^{IV} oxidant: 50 mM; 溶液体積, 2.0 ml; pH = 1.0.

これらの結果より、**2** は一分子的な分解を伴って酸素を発生すると推定された (図6のスキームA)。おそらく、ジμ-オキソ架橋配位子に由来した酸素発生と考えられる。

これに対し、**1** を用いた場合には **1** の吸着量の増加にともない酸素発生速度が二次的に増加することが示された (図5aとc)。これより **1** が二分子間で協同的に働き水から酸素を発生すると考えられる (図6のスキームB)。**1** が粘土に吸着することにより MnO_4^- イオンへの分解が抑制され、かつ分子間の協同触媒作用に有利な高濃度条件が与えられたため、粘土吸着により **1** の触媒活性が発現したと考えられる。**2** が触媒として働かなかったことから、**1** の末端水配位子由来の触媒機構が示唆された。末端水配位子が逐次酸化され、 $\text{Mn}^{\text{V}}=\text{O}$ のような高酸化状態のマンガノオキシ種の分子間カップリングによる酸素発生機構が推定される。

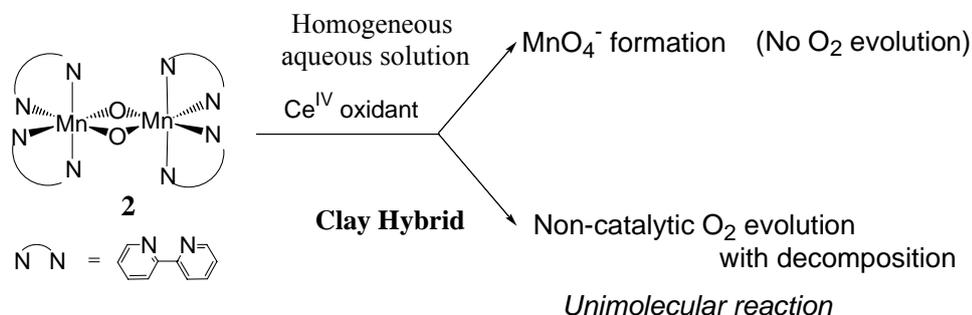
粘土吸着 **1** による酸素発生に立脚してOECの酸素発生機構を考察すれば、水分子のマンガノオキシ種への外圏攻撃だけではなく、マンガノオキシ種間のカップ

リングによる O-O 結合生成機構も除外できないかもしれない。OEC では蛋白のサポートによりマンガノオキシ種間の距離や配向が原子レベルで精密に制御され、効果的に水の酸化が進行していると考えられる。これはマンガノオキシ種同士が無作為に相互作用する人工モデルと大きく異なる点である。粘土吸着 **1** による酸素発生にカルシウムイオンが関与していないことも重要かもしれない。カルシウムイオンはOECでの酸素発生で O-O 結合生成に直接関与する働きよりむしろ、マンガノクラスターへの水分子の取り込みや光活性化において重要な働きをしているかもしれない。

4. おわりに

これまでマンガノオキシ錯体を用いて水の酸化の実現を指向した OEC モデル研究が数多く報告されてきた。しかし、これらの研究では多くの場合、水からの酸素発生は困難であった。不均一な反応場を提供することにより **1** が触媒として働いたことは不均一反応場での研究の有用性を示しており、今後、均一溶液中で

(A) Reaction scheme for **2**



(B) Reaction scheme for **1**

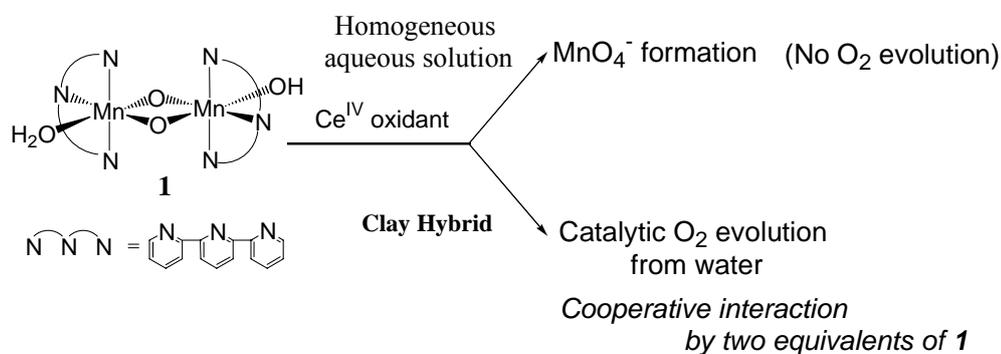


図6 錯体 **1** および **2** と Ce(IV)酸化剤との反応のスキーム

の反応のみならず、不均一系でのモデル錯体の反応にも注目すべきであろう。

参考文献

1. Special issue "Photosynthetic Water Oxidation" (2001) *Biochim. Biophys. Acta* **1503**.
2. Carrell, T. G., Tyryshkin, A. M. and Dismukes, G. C. (2002) *J. Biol. Inorg. Chem.* **7**, 2.
3. Zouni, A., Witt, H. T., Kern, J., Fromme, P., Krauss, N., Saenger, W. and Orth, P. (2001) *Nature* **409**, 739.
4. Kamiya, N. and Shen, J.-R. (2003) *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* **100**, 98.
5. Ferreira, K. N., Iverson, T. M., Maghlaoui, K., Barber, J. and Iwata, S. (2004) *Science* **303**, 1831.
6. Ruettinger, W. and Dismukes, G. C. (1997) *Chem. Rev.* **97**, 1.
7. Yagi, M. and Kaneko, M. (2001) *Chem. Rev.* **101**, 21.
8. Yagi, M. and Kaneko, M. (2006) *Adv. Polm. Sci.* **199**, 143.
9. Yagi, M. (2002) *Expected Materials for the Future* **2**, 12.
10. Yagi, M., Sukegawa, N. and Kaneko, M. (2000) *J. Phys. Chem. B* **104**, 4111.
11. Yagi, M., Osawa, Y., Sukegawa, N. and Kaneko, M. (1999) *Langmuir* **15**, 7406.
12. Ramaraj, R., Kira, A. and Kaneko, M. (1986) *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* **25**, 825.
13. Limburg, J., Vrettos, J. S., Liable-Sands, L. M., Rheingold, A. L., Crabtree, R. H. and Brudvig, G. W. (1999) *Science* **283**, 1524.
14. Limburg, J., Vrettos, J. S., Chen, H. Y., De Paula, J. C., Crabtree, R. H. and Brudvig, G. W. (2001) *J. Am. Chem. Soc.* **123**, 423.
15. Ruettinger, W., Yagi, M., Wolf, K., Bernasek, S. and Dismukes, G. C. (2000) *J. Am. Chem. Soc.* **122**, 10353.
16. Yagi, M., Wolf, K. V., Baesjou, P. J., Bernasek, S. L. and Dismukes, G. C. (2001) *Angew. Chem. Int. Ed.* **40**, 2925.
17. Ruettinger, W. and Dismukes, G. C. (2000) *Inorg. Chem.* **39**, 1021.
18. Yagi, M. and Narita, K. (2004) *J. Am. Chem. Soc.* **126**, 8084.
19. Narita, K., Kuwabara, T., Sone, K., Shimizu, K. and Yagi, M. (2006) *J. Phys. Chem. B* in press.

解説

カムチャツカにおける環境ストレスと北方林の更新様式、
そして環境問題北海道大学・低温科学研究所
原 登志彦

(1) オホーツク海周辺の気候とカムチャツカの北方林

日本の真北に位置するオホーツク海そしてカムチャツカを含むロシア極東は日本の気候や生物生産にも密接に関係していると考えられる。何よりも、世界自然遺産に登録されている多様で美しい自然がカムチャツカにはある。また、この地域の生態系は、地球温暖化による影響を最も受けやすいと考えられている。しかしながら、長年にわたる旧ソビエト連邦の軍事上の政策によりロシアと東欧の研究者以外にとってはこの地域の研究はほぼ不可能であった。1991年の旧ソビエト連邦の崩壊とそれに伴う1992年からのカムチャツカの対外開放によりようやくこの地域の生態系の研究も進展することになる。北海道大学低温科学研究所では、カムチャツカの氷河と水文気象の研究を1995年より開始したが、1997年からは我々の寒冷生物圏変動研究グループが中心となってカムチャツカの北方林の生態学的研究も開始した。

さて、カムチャツカにも存在する北方林とは、一般的に北緯45度から70度の地域に存在する森林のことで、約1280万平方kmの面積を有する。これは地球上の全森林面積3870万平方kmの約1/3に相当し、熱帯林(約1820万平方km)に次ぐ広大な面積である。また、北海道は北方林の南限に位置すると言え、そこには日本の全森林面積25万平方kmの1/4弱の森林が存在している(5.5万平方km)。このように広大な面積を有する北方林であるが、熱帯林の研究に比べるとまだまだその研究は少ない。本稿では、近年の環境変化と森林の変動について我々が行っているカムチャツカ北方林の研究を紹介したい。カムチャツカと北海道の間に位置するオホーツク海は、最も低緯度の季節海水域として知られている。簡単に言えば、赤道・熱帯に最も近い凍る海である。そのオホーツク海水(流氷)は過去100年で約40%減少している(青田昌秋・北海道

大学名誉教授(低温科学研究所)、現道立流氷科学センター長の研究より)。そして、オホーツク海に面する網走市の年間平均気温は過去100年で約0.6度上昇している。また、低温科学研究所の氷河グループ(白岩孝行助教授ら:現総合地球環境学研究所・助教授)の調査によれば、カムチャツカのカレイタ氷河は1960年から2000年の40年間で約450m縮小したことが判明している¹⁾。その主な原因としては冬の降水量の減少が考えられている。

このように、オホーツク海やカムチャツカの環境は近年大きく変化しているように見える。これらすべてが地球温暖化の影響であると言うのは早計に過ぎるが、この地域の自然植生がどのように変動しているのか、またどのような影響が現れてきているのかを研究することは重要であろう。このような観点から、我々はカムチャツカ北方林の動態と環境との関係を解明すべく1997年から調査を開始した。ロシアのカムチャツカ州は面積47万2300平方km、人口38万3000人(2000年1月1日の時点)で、そのうち約半数(19万4000人)が住むのが州都ペトロパブロフスク・カムチャツキーである。我々の調査地の1つであるコズイレフスクの月平均気温は最も寒い1月が-18度、最も暑い7月で15度、そして年平均降水量は450mmである。このようなカムチャツカで我々は、氷河の縮小と植生の侵入パターン、樹木年輪と氷河コアの解析による古環境復元、北方林の更新様式の解明(森林の更新とは、森林を構成する樹木個体がそれぞれ生長、種子繁殖、枯死と世代交代を繰り返しながら森林が維持されてゆく過程のこと)、リモートセンシングを用いて近年頻発している森林火災の攪乱様式の解明、森林火災が北方林の森林更新に与える影響の解明、北方林の二酸化炭素収支の解明と温暖化影響予測モデルの開発などを行っている。

(2) カムチャツカ北方林の更新様式と環境ストレス

カムチャツカにおける植物への環境ストレスと北方林の更新様式を明らかにするために、1997年より0.5haから1ha規模の固定調査地を合計7箇所設定し、毎年継続調査を行っている。主な調査地はカムチャツカ中央低地帯のエツとコズイレフスク近辺の森林である(図1)。エツには、共同研究のカウンターパートであるロシア科学アカデミー・カムチャツカ生態学研究所のフィールドステーションがある。まず、カムチャツカ生態学研究所の本部がある州都ペトロパブロフスク・カムチャツキーから車で約10時間かけてエツのフィールドステーションに到着する。ここでフィールド調査の準備を行い、トラックをチャーターし調査地へと向かう。ここからコズイレフスクまでは約5時間、さらに森の中を走ること約1時間で我々のコズイレフスク調査地へと到着する。ここで調査を行うときは約2週間のテント生活である(図2)。ヒグマ対策にライフル銃をもった森林管理官に同行してもらうこともある。ここでの主要な樹種は日本のカラマツの仲間である落葉針葉樹のグイマツ(*Larix gmelinii*)と北海道にも自生している常緑針葉樹のエゾマツ(*Picea jezoensis*)である。さらに、日本でもおなじみのシラカバ(*Betula platyphylla*)とポプラの仲間北海道にも自生するチョウセンヤマナラシ(又はエゾヤマナラシ)(*Populus tremula*)が混じる森が形成されている。ここに、例えば1haの調査区であれば縦100m横100mの正方形の枠をロープで張り、その中に生育しているすべての樹木に番号の付いたラベルを打ち付ける。それら各個体の樹種名を特定し、位置(調査区の1つの隅を原点としたx-y座標)を測量し、そして地面から1.3mの高さで(それよりも小さい個体では地面での)幹の周囲長とさらに樹高を測定する。このような測定を7箇所の調査地すべてにおいて、2、3年ごとに一度ずつ行っている。夏の調査で最大の敵はカとブヨの大群である。カムチャツカの夏でも晴れた日中は30度を越えることもしばしばある。その炎天下で、顔をネットですっぽりと覆い厚手の上着を着込み手袋をはめ、さらに蚊取り線香を腰につるし虫除けスプレーを全身にスプレーし、襲ってくるカとブヨの大群と戦いながら調査を続けるのである。このように苦労して取った長期にわたるデータを解析することにより、どの樹種のどの位置にあるどの大きさの個体がどの程度の速さで生長しているのか、あるいはいつ枯れてしまったのか、などといった

森林の動態を把握することが可能となる。さらに、気象観測装置を調査地に設置しているため、それらの記録から得られる気象条件の変動と合わせて解析すると、環境変動と森林動態の相互関係が明らかとなるのである。

図3の写真は、コズイレフスク調査地の1つで林齢約200年のグイマツ林である。ご覧になってお分かりのように、非常にスカスカな疎林である。ここでの幹の断面積の合計は1haあたり約25平方mである。暖温帯林や熱帯林では幹の断面積合計が60~70平方m/ha程度あるのに比べても、いかにスカスカの疎林であるかがわかる。

カムチャツカ北方林の森林更新を紹介する前に、熱帯や温帯の森林更新について説明する。図4の写真は御嶽山のトウヒ(*Picea jezoensis* var. *hondoensis*、カムチャツカや北海道のエゾマツと同じ種でその変種)、シラビソ(*Abies veitchii*)、オオシラビソ(*Abies mariesii*)からなる森林の更新様式を示している。これらの幼木は明るいギャップ(森林で大きな成木が生えておらず、上から覆いかぶさる葉が無い空所)に定着し生育しているが、暗い林冠(森林で成木が多く生え、葉が茂っている所)の下では生育できずに枯死してしまう。これは、熱帯や温帯の森林でよく見られる森林更新の様式で、「ギャップ更新」と呼ばれている。一方、カムチャツカ北方林のギャップ内および林冠下の幼木の様子を示したのが図5の写真である。このように、カムチャツカ北方林では、明るいギャップ内でエゾマツの幼木は枯死し、暗い林冠下で青々とした葉をつけ生育しているのがわかる。この傾向は、カムチャツカ北方林のもう1つの主要樹種であるグイマツでも同じである。森林の光環境と幼木の空間分布の詳しい統計解析を行い、エゾマツとグイマツの幼木はギャップでは枯死し、林冠下で生育していることが我々の研究の結果判明したのである²⁾。

このカムチャツカ北方林の森林更新は、熱帯や温帯でよく知られているギャップ更新とはまったく逆のパターンであり、「林冠更新」と名づける。なぜ、カムチャツカ北方林でこのような森林更新が起こるのであろうか?2004年のカムチャツカ調査ではこの謎を解くためにPAM2000と十分に充電したバッテリー1ダースを現地の調査地に持ち込みクロロフィル蛍光に関する様々な測定を行った。その結果、カムチャツカ北方林のギャップ内のエゾマツとグイマツの幼木は大きな光

傷害を受けていること（例えば早朝、昼、夕方すべて Fv/Fm が 0.5-0.6 程度）、林冠下のこれら幼木は光傷害を受けておらず（同じく、0.8）健全な光合成の活性を示していることがわかった。つまり、北方林が存在する寒冷圏特有の低温と乾燥といった気候条件のもとでは明るいギャップ内の幼木は光傷害を受け、枯死しやす

いということである。この結果、カムチャツカ北方林では林冠更新という独特な森林更新が起きていると考えられる。さて、カムチャツカ北方林の林冠下で生育する幼木であるが、その林冠を構成する大きな成木がいつまでもそこに居座っていたのでは、その下の幼木はやがては枯れてしまうこと、その幼木がさらに生

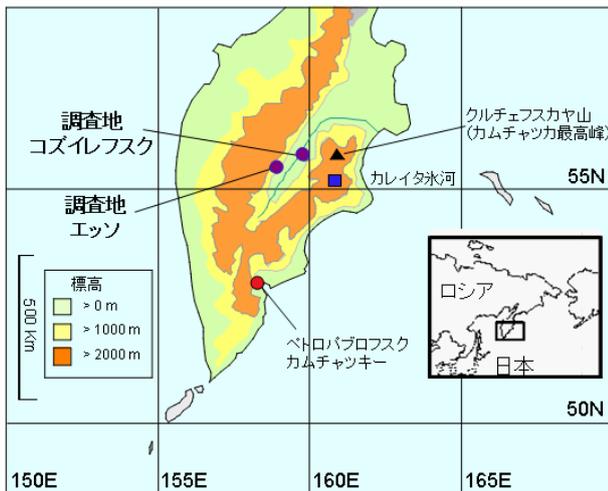


図1 北方林の研究を行っているカムチャツカの主な調査地。0.5~1 ha 規模の固定調査地が計7箇所設置してある。



図2 カムチャツカ・コズイレフスク、森林調査地でのキャンプ生活



図3 カムチャツカ・コズイレフスクの調査地。林齢約200年のグイマツの疎林。

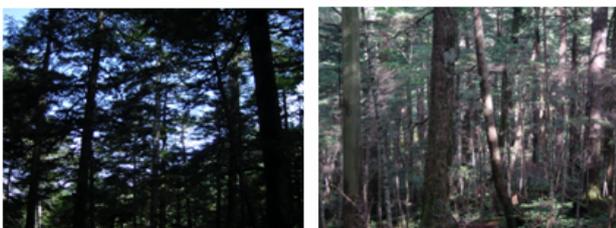
ギャップ(葉がない空所)



ギャップ(葉がない空所)



林冠(葉が茂っている所)



林冠(葉が茂っている所)



図4 熱帯や温帯の森林で一般的なギャップ更新。御嶽山のトウヒ・シラビソ・オオシラビソ林。幼木は明るいギャップで生育し(上)、暗い林冠下では枯死する(下)。

図5 カムチャツカ・コズイレフスク調査地のエゾマツ林。幼木は明るいギャップでは枯死し(上)、暗い林冠下で生育する(下)。

長して次世代の成木へとなるためには、幼木が生きている間にその上を覆っている成木が枯れなければならないことも調査データの詳しい統計解析の結果判明した³⁾。このように、カムチャツカ北方林が順調に更新し森林が維持されてゆくためには、(1)幼木がギャップを避けて成木の周り、つまり林冠下に定着し、(2)その後、周りの成木の枯死のタイミングに合わせて生長する、という2つのハードルを越えなければならないのである。すなわち、カムチャツカ北方林は、熱帯林や温帯林に比べ複雑な更新様式を有し、気象条件や成木の枯死のタイミングなど微妙なバランスのもとに成立している森林であると言えよう。以上のようなカムチャツカ北方林に特有の森林更新の様式が、疎林が形成される要因のひとつであると我々は考えている(図6)。

(3) カムチャツカ北方林の将来予測と環境問題

このように、カムチャツカ北方林は気象条件との微妙なバランスのもとに成立している森林である。急激な気候変化が起こり、カムチャツカ北方林の環境が急変するとカムチャツカ北方林はますます疎林化し衰退してゆくのではないかと危惧される。最初に紹介したように、カムチャツカにおける近年の降水量の減少がカレイタ氷河の縮小を引き起こしていると推測されているが、降水量の減少、すなわち乾燥化はカムチャツカ北方林の林冠更新をますます加速し疎林化が進むのではないかと予測されるのである。

このような急激な気候変化のみならず、人為的な森林火災や違法伐採などでカムチャツカを含めたロシア

の北方林は荒廃しつつあるのが現状である。最後に、このような北方林の環境問題について述べたい。一年あたりの森林火災の面積は、ロシア全体で最大 5.3 万平方kmにまで達する⁴⁾。北海道の森林面積が 5.5 万平方kmであることを考えると、これは非常に大きな火災面積である。また、カムチャツカだけに限っても、森林火災面積は最大 800 平方km/年に達する(カムチャツカ森林管理局から我々が得たデータを基に算出)。ちなみに日本の森林火災面積は最大で 20 平方km/年であるので、カムチャツカだけでもいかに多くの森林が火災で毎年焼失しているかがわかる(カムチャツカの面積は日本よりもやや大きい、人口は約 1/300 である)。我々は、カムチャツカのコズイレフスク近くの森林調査地で、火災後の森林の回復過程の研究も行っている(図7)。ここでは、森林火災後約 50 年が経っているが、多くの幼木が枯死しており、小さな木がまばらに見られるに過ぎない(樹種は主にグイマツ; 後ろは火災を免れた森林で林齢約 200 年)。林齢 50 年となれば立派な森林が日本では成立する。カムチャツカ北方林ではギャップ更新ではなく林冠更新が起こっているので、森林火災後のこのような明るい空所では幼木が生育するのが非常に困難となり、森林の回復に長時間かかると考えられる。このように、カムチャツカ北方林は脆弱な森林であり、森林火災などで一度破壊されると、回復は非常に困難なものとなる。

なぜ、カムチャツカも含めロシア北方林ではこのように森林火災が頻発しているのだろうか? 例えば森にきのこ狩りに行ったとき、タバコやウォッカの空瓶

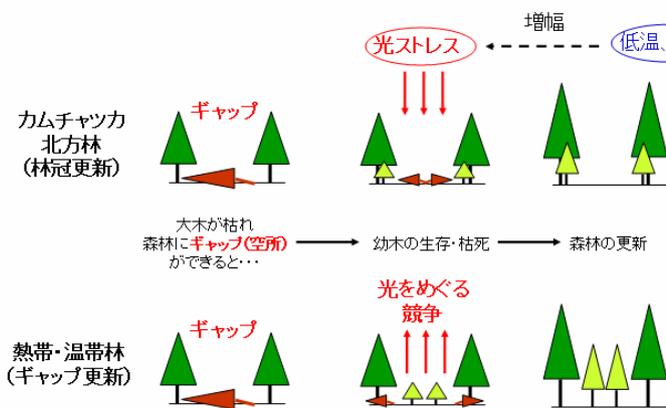


図6 カムチャツカ北方林における林冠更新と熱帯・温帯林のギャップ更新。



図7 カムチャツカ・コズイレフスクの森林火災後約 50 年のグイマツ林。多くの幼木が明るい空所で枯死している (○)。

のポイ捨てなど、人為的なものが森林火災の原因の約 8 割を占めていると言われている。北方林は非常に乾燥しているので（我々のコズイレフスク森林調査地では、年降水量は 450mm 程度である）、タバコのポイ捨てで簡単に火を出してしまう。事実、調査地のキャンプで料理用に火をおこすのは大変簡単である。また、捨てられたウォッカの空瓶の底が虫眼鏡の凸レンズの役割をして、太陽の光で簡単に火を出してしまうという話もカムチャツカの当局者から聞いた。さらに、森林火災への対策費用の大幅削減も森林火災の頻発に拍車をかけている。ハバロフスクの例では、人員が 1600 人（1988 年）から 420 人（1998 年）に、監視用飛行機が 60 機（1988 年）から 8 機（1998 年）に削減されている⁴⁾。また、森林の違法伐採も北方林の荒廃に拍車をかけており、違法伐採者のキャンプの火の不始末などが森林火災をさらに引き起こしているという話も聞く。ロシア極東からの木材の輸出量は年間約 600 万立方 m であるが、2000 年ごろまではそのうちの約 8 割が日本へ輸出されていた⁴⁾。最近では、5 割以上が中国へ輸出されている。その中には違法伐採の木材も多いはずである（森林管理局が策定する毎年の伐採許可量よりも関税を通過する木材の量のほうが多い）。また、日本で消費される割り箸の約 9 割は中国からの輸入である。

（2）で述べたように、北方林の動態と気候変化の関係については、植物生態学、植物生理学、気象学などの問題として解明できる。しかしながら、その北方林を取り巻く環境問題は、以上のような自然科学だけでは解決は不可能である。これは、政治、経済、教育、そして人間の価値観、人生観や文化をも含めた非常に複雑な問題なのである。例えば、ロシア極東の森林荒廃を招いている違法伐採の問題には、日本の林業の弱体化も間接的に関係しているのである。北方林のみならず様々な場所での環境問題の解決のためには、以上のような様々な分野からの総合的な取り組みが必要となるであろうが、基本的には環境問題は我々人間一人一人の問題だということを認識しなければならない。カムチャツカ調査のキャンプ地に毎年来るたびに Приехали домой（我が家に帰ってきた！）と心から言えるよう美しい自然がいつまでも残ることを祈りたい。

参考文献

1. Yamaguchi, S., Naruse, R., Sugiyama, S., Matsumoto, T., and Muravyev, Y. D. (2003) Initial investigations of dynamics of the maritime Koryto glacier, Kamchatka, Russia. *Journal of Glaciology* **49**, 173-178.
2. Homma, K., Takahashi, K., Hara, T., Vetrova, V. P., and Florenzev, S. (2003) Regeneration processes of a boreal forest in Kamchatka with special reference to the contribution of sprouting to population maintenance. *Plant Ecology* **166**, 25-35.
3. Takahashi, K., Homma, K., Vetrova, V. P., Florenzev, S., and Hara, T. (2001) Stand structure and regeneration in a Kamchatka mixed boreal forest. *Journal of Vegetation Science* **12**, 627-634.
4. 柿澤宏昭、山根正伸（編著）（2003）「ロシア 森林大国の内実」 日本林業調査会

「光合成研究会第6回ワークショップ」報告

日本光合成研究会常任幹事 大岡宏造
(大阪大学)

10月12日(午後)・13日の2日間、大阪大学蛋白質研究所セミナー「光合成研究の新たな潮流：構造とゲノムそして未来(A New Perspective for Photosynthesis Research)」(蛋白質研究所1階講堂)を光合成研究会第6回ワークショップとして共同開催させていただきました。具体的には、「反応中心」、「光合成色素と活性中心の生合成」、「光合成生物の進化」、「人工アンテナ/人工光合成」の4つのセッションを設け、合計19名の講師の方に最先端の研究について講演していただきました。また1日目の夕刻にはポスター発表者26名によるプレゼンテーションもあり、お互いの研究交流も活発にできたのではないかと考えています。

主催者側の大阪大学蛋白質研究所の中井正人先生からは、「お陰で多くの方に参加していただく事ができました(1日目122名、2日目111名)。参加していただいた皆さん、講師の先生方に、この場をお借りして御礼申し上げます。」とのコメントを頂いています。

ワークショップに参加して

独立行政法人産業技術総合研究所
塚谷祐介

2006年10月12・13日に大阪大学蛋白質研究所講堂において、日本光合成研究会ワークショップが開催された。第6回となる今回は、阪大蛋白研セミナーとの共催というかたちをとり、招待講演19題、ポスター発表26題で構成され、総参加者数は100名を超えていた。講演はすべて総説型であり、第2日目は朝から夕方まで11題もの発表が続きさすがに疲れたが、各講演者の研究背景がバラエティーに富んでいて飽きさせず、非常に満足した。具体的には、セミナーは4セッションに区切られ生物物理学、分子生物学、生物進化・生態学、高分子化学といった幅広い分野における光合成研究が紹介され

た。同様に、物理～化学～生物の垣根を超えた光合成のセミナーといえば毎年6月頃に開催される「光合成の色素系と反応中心に関するセミナー」があるが、あちらは大学院生から教員までが各々の研究を10～15分で発表するという意味で学会発表形式の会であると考えれば、今回のようなシンポジウム型の会はそれとは一線を画しており面白いと感じた。毎年とはいかなくとも、これからも定期的で開催しても良いのではないだろうかと思う。個人的にはポスター発表をおこなった。初日の最後にポスター発表時間が設けられていたが、それに先立ってポスターレビューなるものがあり、一人三分ずつ簡単に発表内容の紹介をした。複数の方が言っていたがこの三分間というのはクセもので、いざレビューしてみると（えっもう終わり!?まだ1分でしょ・・・）という感覚で、何とも不思議な経験だった。実際のポスター発表時間では数名の方とディスカッションでき、また休憩中でも大いに議論でき、有意義なセミナー参加となった。



12th International Symposium of Phototrophic Prokaryotes参加報告

名古屋大学大学院生命農学研究科
前田真一

2006年8月27日から9月1日までフランスのバスク地方のポー(Pau)という町で 12th International Symposium of Phototrophic Prokaryotes (ISPP)が開かれました。ポーは、スペインとの国境にそびえるピレネー山脈の玄関口として知られる町で、パリからは飛行機で1時間半、TGVで6時間ほどかかります。ピレネー大通りと呼ばれる通りからはピレネー山脈の雄大な姿が一望できました。通りの西端にアンリ4世の生まれた城が、少し離れてサン・マルタン教会(図)があり、通り沿いにはカフェや高級ホテルが軒を連ねていました。ピレネー大通りの東端にPalais Beaumontという会議場があり、ISPPの会議を開くにはちょうどより大きさでした。会議参加者はフランスが一番多く、次いで日本、USA、ドイツと続いていました。今年は日本では大学院の入試期間と重なったところが多く、日本からの参加者が少ないのではと思っていましたが、その予想は見事に外れました。



ポーの街並とサン・マルタン教会

この会議は3年に一度開かれており、原核光合成生物(ラン藻と光合成細菌)を研究対象とした、分類学、生態学、生理学、ゲノム科学、タンパク質科学、生体エネルギー学、環境応答、二次代謝産物など様々な分野の研究者が集まります。会議はOpening lectureから始まり、24のPlenary lecture、90のOral communication、202のPosterがあり、Closing lectureで終わりました。私は生理学のセッションの窒素同化に関する演題のところで新規な輸送体について発表しましたが、窒素同化の残りの講演のうち1題がmicro array解析、1題がP IIタンパク質(大腸菌から高等植物まで幅広く存在するregulatory protein)の解析、3題がヘテロシスト(光化学系IIを欠き窒素固定を行う異質細胞)に関するものでした。環境応答などのセッションでもヘテロシストに関する講演が続き、ヘテロシストに関する講演は全部で12題もありました。前回の東京で行われた会議では2題しかないのと比べれば、非常に多いという印象を持ちました。それだけ多くの方がヘテロシストの研究を始めたということかもしれません。へ

テロシストの形成には、細胞分裂に関わるタンパク質(FtsZ, MinC)、呼吸鎖末端酸化酵素(Cox)、外膜の形成に必要な多糖や糖脂質を合成する酵素(HepB)、様々な制御因子(HetR, PatS, PatA, HepK, CcbP, Asr1734)等が、複雑に関わっており、まだ未知の因子も数多く存在することが報告されました。また多くの発表者が、ニトロゲナーゼ(分子状窒素をアンモニアに還元する酵素)を用いて副産物である水素を効率的に生産し、工業的に生産可能にしようと話しました。ゲノム解析では、すでに 35 種のラン藻と 24 種の光合成細菌で全ゲノムの配列が決定されたと報告されましたが(前回の会議の時には 9 種のラン藻と 2 種の光合成細菌で決められていました)、アノテーションを精確に行うのが結構大変そうだと思います。

宴会が 30 日の夜に行われたのですが、場所がポスター会場、フォークやスプーンがプラスチック製、セルフサービス、料理の内容は普段の昼食に毛が生えたようなものとお世辞にもすばらしかったとは言えませんでした。特別に出された生ガキは美味でした。その宴会の席でたまたま隣になった Igor I. Brown 博士が、日本の温泉のラン藻の採取に非常に興味を持っておられるので、どなたか協力できる人がいれば是非お願いします(NASA Johnson Space Center/ESCG, 2101 NASA Parkway, Houston, TX 77058. Email:igor.i.brown@nasa.gov)。Brown 博士は NASA で研究されているので、いつの日か日本のラン藻が月か火星で酸素を供給するようになるかもしれません。

次回 2009 年はカナダのモントリオールで開催されるので、是非参加したいと思います。

「第2回日本ーフィンランド二国間セミナー」に参加して

北海道大学低温科学研究所
田中亮一

平成18年10月29日から11月1日まで、秋晴れの奈良で第2回日本ーフィンランド二国間セミナーが開催された。日本側からの参加者は約30名（発表者23名）、フィンランド側からの参加者は、15名（発表者10名）、2年ぶりの再会を喜ぶ姿が見受けられた。平成16年にフィンランドで開催された第一回のセミナーは、光合成を中心テーマに据えていたが、今回のセミナーのテーマは「Molecular mechanisms for regulation of photosynthetic organisms under stressed conditions」となって、前回よりも多彩な発表者が集まったようである。（筆者は第一回のセミナーには参加していない。）筆者も、普段、あまり聞く機会のない、光合成以外の分野の動向に触れることができ、非常に参考になった。



以下に、特に面白かった、あるいは、筆者にとって新鮮であったトピックをいくつか紹介したい。

村田先生のInvited Lecture

まず、多くの参加者が一様に楽しんだのは、村田紀夫先生（前基生研教授）の「A tiny history of photosynthesis research in Tokyo and Okazaki」と題された Invited Lecture であった。巧みな話術で45分間（と記憶している）の講演があつという間であった。このレクチャーでは、以下の分野で村田先生

がなされた発見の経緯と内容が紹介された。

- 1) クロロフィル蛍光の3つのバンドの発見
- 2) ステート遷移の発見
- 3) Mg 依存性のクロロフィル蛍光の変化
- 4) 33 kDa タンパク質(PsbO)の発見
- 5) リン脂質の相転移の研究
- 6) グリセロールリン酸アシルトランスフェラーゼの精製
- 7) グリシンベタインによる酸素発生系の安定化
- 8) 光阻害と環境ストレス

それぞれ異なる分野で斬新な業績を挙げられたことに、改めて感嘆した。特に、クロロフィル蛍光の3つのバンドの発見やステート遷移の発見などは、欧米の研究室よりも著しく劣る研究環境の中での業績である。村田先生のレクチャーの後のセッションで、皆川純先生（北海道大学）が紹介されていたが、皆川先生のポストドク先のクロフト教授は、当時、いつも「村田先生の業績はいかにすばらしいか」を語っていたそうである。しかしながら、なんと、村田先生がクロロフィル蛍光の分野を離れていった理由は、「当時、日本国内では誰も村田先生の研究を評価しなかったから」だそうだ。

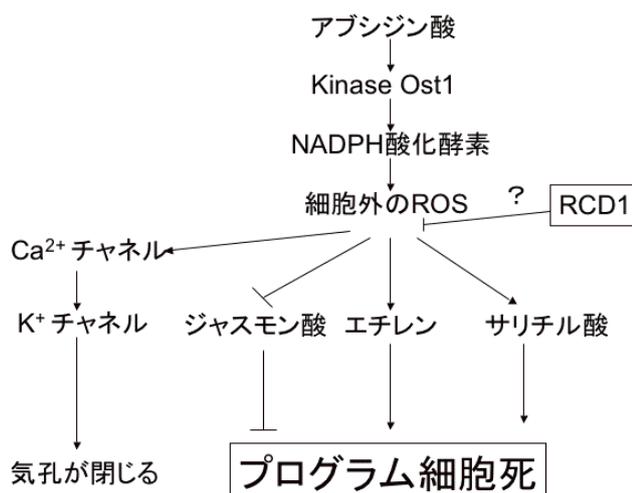
村田先生の一つ一つの業績については、ここで説明していると紙面がつきてしまうので、省略させていただく。「光阻害とストレス」に関しては後述の西山佳孝先生（愛媛大学）の発表内容についての記述を参照していただきたい。村田先生のレクチャーでは、何人もの共同研究者の方々が写真入りで紹介された。宮尾先生、桑原先生、佐藤（直樹）先生、和田先生、西田先生、林先生、鈴木（岩根）先生、西山先生などなど、後進の育成という面でも村田先生の残された足跡の大きさに感心した。

細胞死について

今回のセミナーと、第一回のセミナーの大きな違いは、発表者の研究分野が広がったことではないかと思われる。筆者にとっては、特に、細胞死や植物ホルモンに関する発表が新鮮であった。この分野では、*Radical-induced cell death1 (RCD1)*という遺伝子について、2つの発表があった。この遺伝子は、もともと、2000年に Prof. Kangasjärvi (Univ. Helsinki)のグループがシロイヌナズナのオゾン感受性の原因遺伝子として同定したものであり、2004年に山本興太郎先生（北大）のグループが *methylviologen* 耐性の原因遺伝子として同定された遺伝子と同一である。この遺伝子は、ADP リボシル化ドメインを持つ機能未知のタンパク質をコードしている。このタンパク質は核に局在しており、転写制御に関わると考えられている。

RCD1は細胞外での活性酸素種（Reactive oxygen species: ROS）の発生が引き起こす、細胞内情報伝達に関わると考えられている。細胞外のROSはサリチル酸やエチレンが関与するプログラム細胞死を誘導する。逆にジャスモン酸はこのプログラム細胞死の誘導経路を抑制していると考えられている。さらに、アブシジン酸もこの経路を誘導する（この知見は今回初めて発表されたもので、今までにはまったく公表されていない）。むしろ、この経路においてもっとも重要な役割を担っているホルモンはアブシジン酸のようである。以下に、ROS、植物ホルモン、細胞死の関係のモデル図を非常に簡略化

して示す。筆者が Prof. Keinänen (Univ Joensuu)のスライドを書き写したのものをもとにしているのですが、大きくは間違っていないと思うが、筆者の理解した限りでは、RCD1 がどの段階に関わっているのかはよくわからない（というか、そのことについては多分述べなかった）。*rcd1* 変異体の形質からすると、ROS より下流であると思われるが、後述するように、RCD1 はアブシジン酸に応答する転写因子 DREB2A と直接相互作用して、遺伝子発現制御に関わっている



ようである。より正確で詳細な情報が知りたい方は、Ahlfors et al., 2004, *Plant Cell*, 16: 1925-1937 など Prof. Kangasjavi のグループの論文を参照していただきたい（ただし、前述のように、この論文では ABA のことは出てこない）。

今回のセミナーでは Prof. Keinänen は *RCD1* のホモログ、*SRO1* のノックアウトラインの解析について報告し、*sro1/rcd1* のダブル変異体が芽生え致死であることから、*SRO1* と *RCD1* が植物の生命に必須で、お互いに相補するような機能を担っていることを示した。

また、Prof. Kangasjavi は酵母の Two hybrid system などのいくつかの研究から、*RCD1* が *DREB2A* と直接相互作用して、低温誘導性遺伝子の発現を制御していることを示していた。さらに、オゾン感受性変異株の研究から、*RCD5* (STIG タンパク質)や *RCD3* (膜貫通イオンチャンネル)、*ABI2* (ホスファターゼ) が細胞外からの ROS によって気孔が閉じる現象に関与していることが示された。

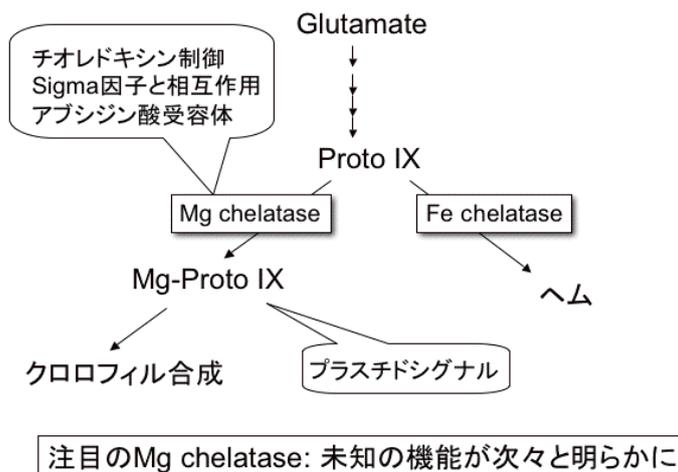
これらの発表はあまりにたくさんのデータを示しており、その全容を一度で理解できるものではなかったが、アブシジン酸や各種の植物ホルモンが関わる活性酸素のシグナル伝達経路が明らかになりつつある様子は刺激的であり、かつ *RCD1* 関連産物が植物の遺伝子発現にグローバルに関わる重要な因子であることを示していた。近年、葉緑体での活性酸素の発生がプログラム細胞死の一形態に必須であることが、N. Fedoroff によって示されており (*Plant Cell*, 2005, 17:957)、葉緑体の研究者にとっても、興味深いトピックではないかと思う。

Mg chelatase

知る人ぞ知るホット・トピックが Mg chelatase である。この酵素はクロロフィル合成経路の Committed Step すなわちテトラピロール(Protoporphyrin IX)への Mg²⁺の挿入を触媒している。この反応はクロロフィル合成とヘム合成の分かれ道であり、クロロフィル合成の制御にはこの反応の制御が重要である。Mg chelatase は ChlH, I, D (それぞれ 140, 40, 70 kDa) の 3つのサブユニットからなり、なかでも ChII サブユニットの ATPase 活性は、反応速度を律速していると考えられている。今回のセミナーで、増田建先生 (東大) が ChII サブユニットがレドックス制御を受けていることを発表された。増田先生は大腸菌で発現したシロイヌナズナの ChII の C354 と C396 が、thioredoxin によって、酸化、還元されるこ

とを示された。還元されることによって ChlI の ATPase 活性が上昇する。このような機構によって、葉緑体内の酸化還元状態に応じた迅速な活性を調節が可能になると考えられる。

Mg chelatase が注目を集める理由は、この酵素が意外な第2、第3の役割を持っていると考えられているからである。Mg chelatase 反応の生成物である MgProtoIX は葉緑体から核へのシ



グナル物質、いわゆるプラスチドシグナルであると考えられている。葉緑体内の状態に応じて、MgProtoIX がシグナルとしてはたらき、核においてシャペロンや Lhcb1 などの遺伝子の発現が調節されると報告されている。また、ちょうど、この会議の2週間前、Nature に ChlH サブユニットがアブシジン酸の受容体であるとの驚くべき報告が掲載された(Shen et al., 2006 443:823)。アブシジン酸は上述の通り、プログラム細胞死のキープレイヤーであり、また、クロロフィルを含むテトラピロール化合物は光によって容易に活性酸素を発生させることが知られている。プログラム細胞死という複雑な現象を一枚のパズルに例えるのなら、アブシジン酸、Mg chelatase、プラスチドシグナル、活性酸素は、それぞれ、このパズルの一ピースなのであろうか？できることならば、クロロフィル合成の研究を続けてきた者の一人として、筆者もこのパズルの完成に貢献したいものである。

今会議では、さらに、Mg chelatase について興味深い研究が紹介された。東大の小山内崇さん、田中寛先生らによる、ラン藻の Sigma 因子に関する研究で、酵母の Two hybrid system および組み替えタンパク質を用いた GST-pull down assay によって ChlH と Sigma タンパク質(SigE)が直接相互作用することが示された。田中先生のグループは SigE が糖の異化に関わる遺伝子群の転写を誘導することを示されている。ChlH がこの SigE の働きにどのような作用をしているのか、興味を持たれる。また、葉緑体にもいくつかのシグマ因子が存在することが知られているが、葉緑体においてもシグマ因子と ChlH の相互作用はあり得るのであろうか？

ストレスと光阻害

「さまざまなストレス条件下における光阻害が、主にD1 タンパク質の修復（再合成）の遅延によって引き起こされる」ことを、西山先生、村田先生が数年前に証明されたのは、光合成研究会の会員の方々には既に御存知のことと思う。それ以降、西山先生はD1 タンパク質の修復阻害の原因が主に翻訳系にあることを報告されていたが、今回の会議で、さらに、西山先生は、Elongation Factor G (EF-G)が特にストレスの標的となっていることを報告された。西山先生とポスドクの小島幸治さんは、ラン藻を材料に、in vitro翻訳系を開発され、H₂O₂によるD1 タンパク質の翻訳阻害をモデルにして、研究を進め

られた。今回発表された中で核心となるデータは、 H_2O_2 処理によって活性の下がった翻訳系にEF-Gを加えると見事に活性が回復するというデータであった。着々と修復阻害のメカニズムを解明されつつあり、今後の進展が楽しみである。

一方、Prof. Tyystjärvi (Univ. Turku)は「光化学系 II の光阻害は、OEC の Mn が光を吸収して脱離することによって引き起こされる」という仮説にたって、興味深いデータを紹介されていた。この仮説は西山先生らの仮説と矛盾するものではない。「光照射によって、Mn が OEC から脱離する。このとき、さらに Chl が光を吸収することによって D1 が損傷を受ける。このとき、さまざまな環境ストレスは D1 の再合成を阻害するが、D1 の損傷過程自体は環境ストレスの影響を受けない。」というのが、全体のストーリーである。Prof. Tyystjärvi と学生の Hakala さんは、既に光阻害のアクションスペクトラムが Mn の吸収スペクトルとよく一致することを報告している。(Hakala et al., 2005, BBA 1706: 68) 今回は、エンドウのチラコイド膜に、連続したレーザーパルスを一定の間隔をあけて(0.1 sec – 30 sec)照射すると、30 sec の間隔をあけて照射したときに最も光阻害がおこりやすいことを報告していた。30 sec の間に S1 state にある OEC が増えると考えられ、このことから、S1 state にある OEC の Mn が光阻害における主要な受容体であるとの仮説を提唱された。また、「Mn が光を吸収して励起するのであれば、他の Mn を含む酵素でも同様の活性阻害がおこるに違いない」との仮説に基づき、同様の Mn(III)-oxo-Mn(III)を含む酵素である Mn catalase に対する光照射の影響を調べ、この酵素も PSII とよく似たアクションスペクトラムで光阻害を受けることを報告した。

西山先生と Prof. Tyystjärvi の仮説は、この分野では非常に革新的であると思われる。さらなるメカニズムの解明が待たれる。

最後に

セミナー最終日のバンケットで、村田先生が、主催者である田中歩先生（北大）、横田明徳先生（奈良先端大）、Prof. Palva (Univ. Helsinki)らに、その労をねぎらって、興福寺の三面六臂の阿修羅像の写真を贈られた。「忙しい田中教授、横田教授、Palva 教授らはきっとたくさんの手が必要でしょう」というコメント付きであった。（しかも、村田先生の invited lecture にも阿修羅像が登場しており、実は伏線が張られていた。）奈良という土地ならではのプレゼントとユーモアあふれる村田先生のスピーチには、フィンランドの人たちも惜しみない拍手を送っていた。

本セミナーの準備と運営に奔走して下さった田中歩先生、横田先生、Prof. Palva、明石欣也先生（奈良先端大）、ご苦労様でした。また、RCD1 に関する記述をチェックして下さった山本興太朗先生に感謝いたします。

PHOTOSYNTHESIS IN THE POST-GENOMIC ERA II: “Structure and Function of Photosystems” に参加して

京都大学大学院生命科学研究所 統合生命科学専攻博士課程
石原靖子

2006年8月20日から26日、ロシアのプシノ(Pushchino)で PHOTOSYNTHESIS IN THE POST-GENOMIC ERA II: “Structure and Function of Photosystems”が開催されました。第13回国際光合成会議のサテライトミーティングとして2004年カナダで開催された前回とは異なり、独立した国際会議として開かれた今回は、今年で退官されるイギリスの James (Jim) Barber 教授の業績を讃える場でもあり、ヨーロッパ諸国を中心に各国から200名程の主に光化学系の研究者らが参加する会議となりました。会議の内容についてですが、本会議のプログラムは特別講演と13のセッションに分けられた一般講演、ならびにポスター発表で構成されていました。13のセッションに関しては以下の通りです。

- S1. Structure and Function of Photosystem II and I
- S2. Water Oxidation Mechanism
- S3. Structure and Function of Photosystem II Types Reaction Center
- S4. Photosynthetic Adaptation and Acclimation. Photosystem II and I under Environmental Stress
- S5. Bicarbonate and Carbonic Anhydrase in Photosystem II
- S6. Genomic and Molecular Biology Applied to Photosystems
- S7. Protein-Lipid Interaction in Photosystems
- S8. Chlororespiratory Pathway
- S9. Proteomics Approach for Elucidation of Protein Networks in Photosystems
- S10. Artificial Photosynthesis. Theoretical Studies of Photosystems. (Quantum Mechanical Studies of Water Splitting)
- S11. Connection of Photosynthesis and Hydrogen Production
- S12. New Techniques for Studying Photosystems
- S13. Photosystem II Proteins

初日、朝8:30からGovindjee先生(Uni. of Illinois, USA)の講演で始まり、James Barber先生(Imperial College, UK)、Eva-Mari Aro先生(Uni. of Turku, Finland)、村田 紀夫先生(基生研)や杉浦 美羽先生(大阪府立大)といった著名な方々による計15題の特別講演がありました。続いて一般講演が3題、その後夕食を挟んでポスターセッションがあり、一日のプログラムが終了する頃には夜23:00を過ぎるハードなスケジュールでした。2日目からも、午前と午後に大体10題ずつの一般講演が、そして夕食後にポスター

発表が行われました。セッション構成からみてとれるように、発表内容は光化学系IとIIに留まらず、また基礎から応用、そして物理化学から生物学と非常に多岐にわたっていました。私は恥ずかしながら全てフォローしたとはとても言えませんが、本稿では自身が研究している光化学系II (PSII)の発表に関して、個人的な印象と興味を持ったトピックスについて紹介させて頂きたいと思います。

まず、会議中頻りに議論されていたのが、未だ明確ではないMnクラスターの構造とbicarbonateの役割を含めた酸素発生反応のメカニズム、そして光阻害の分子機構に関する議論でした。私はそれら課題の解明に取り組む多くの研究者の熱意に圧倒される思いがするとともに、今後より高分解能でのPSII立体構造の登場が期待されることから、"post-genome"ならぬ"post-structure"の研究展開が非常に楽しみになりました。また個人的には、こうした光化学系IIの基本構造や機能に関する研究以外に、環境応答や複合体形成に関わる周辺サブユニットの分子機能に関する研究に興味がありました。中でも、Kirilovsky先生 (CEA Saclay, France) によるシアノバクテリアのフィコビリソームを介したエネルギー散逸機構に関わる可溶性のカロテノイド蛋白質の話が大変興味深いと感じました。LHCIIを持たないシアノバクテリアの場合、過剰な光に曝された際の適応として主にステート遷移や光阻害といった機構が知られています。最近では青緑色光により誘導される NPQの存在も知られるようになりましたが、その機構については不明なところが多く残っていました。Kirilovsky先生らの報告によれば、OCPと呼ばれるカロテノイド蛋白質が欠損した株 (Δ OCP) では青緑色光によるNPQが特異的に阻害され、ステート遷移には影響が見られないとの事でした。また、 Δ OCPではクロロフィルではなくフィコビリソームを介した蛍光の減少のみが阻害されていること、実際CP43、CP47といったクロロフィルアンテナを欠損した株でも青緑色光によるNPQが生じていることから、青緑色光によるNPQはフィコビリソームを介して生じており、その機構にはOCPが必須であると結論していました。今後、シアノバクテリアで青緑色光に対してNPQが起こる生理的意義とその分子機構の解明が進み、植物におけるNPQ機構との比較が可能になることが期待されます。他にも、シアノバクテリアと維管束植物で保存され、PSII複合体の生合成に関わることを示唆されたPsb29 (Keren先生、Hebrew Uni., Israel) や、PSII、特に酸素発生系の分子構築との関連が示唆されたPsb27 (Eaton-Rye先生、Uni. of Otago, New Zealand) といったタンパク質の機能に関する発表がありました。光化学系の適切な機能制御・維持に関してはまだまだ未解明な点が多く、今後も新技術の利用開発によるその分子機構の解明が研究のひとつの焦点になるのではと感じました。その中で、私は「Functional analysis of PsbP family in *Nicotiana tabacum* by differential RNAi」という題でポスター発表しました。そこでは、3'UTRを標的とすることでアイソジーン特異的な遺伝子抑制だけでなく、入れ戻しをも可能となるdifferential RNAi (dRNAi) の技術に関心を持って頂き、また、dRNAiによって明らかにした「PSIIの活性はD1の蓄積量ではなくPsbPの量に比例する」という結果に対して多くの質問を頂きました。私達と共同研究しているKrieger先生 (Univ. of Freiburg, Germany)が、PsbPがMnを結合しPSIIの活性化因子として機能している可能性を発表したこともあり、夜遅くの発表だったにも関わらず、Nixon先生 (Imperial College, UK) やAro先生などの著名な先生方が私のポスターを訪れて下さり、自身の研究を紹介させて頂くことが出来たのは非常に良い経験となりました。

最終日には今後の進展がさらに期待される研究発表をした若手研究者 6 名の方にポスター賞が授与

され、本会議が締めくくられる形となりました。朝から晩まで非常にタイトなスケジュールで行われた本会議でしたが、それでも懇親会になると夜遅くまで歌い、飲み、踊る西洋の方々の体力には驚かされました。さて、会議の行われたプシノですが、モスクワの国際空港から車で3時間程のところに位置しており、非常に穏やかな雰囲気町の町でした。残



ロシア政治家のマトリョーシカ

念ながらプシノには観光するところがなく、会期中はもっぱらホテルと会場との往復に終始していましたが、会議終了後は帰国のためモスクワに移動し、そこで一泊して観光に出かけました。他のヨーロッパ諸国とは一風変わった不思議な雰囲気に途中で気押されてしまったりもしましたが、ロシア定番土産のマトリョーシカはしっかりと購入し、ロシアを後にしました。

最後になりましたが、今回の会議を振り返って、本当に貴重な経験をしたことを実感しています。半ば合宿のような会議でしたが、それだけ密度の濃い1週間を過ごすことが出来ました。海外の著名な先生方と直接お話できたことも勿論ですが、国内の学会ではなかなかお話する機会が得られなかった日本の先生方とお話できたことも、私にとっては大きな喜びでした。この場を借りて参加者の皆様に厚く御礼申し上げます。この1週間で受けた刺激を決して忘れず、次回このような国際会議に参加する機会を得た際には、是非活発なディスカッションができるよう、今後とも研究と英語力の強化に励みたいと思います。



(写真左) 聖ワシーリー寺院：モスクワ赤の広場にあるロシア正教の寺院（16世紀、イヴァン4世により建立）。ロシアで最も美しい聖堂とも言われ、ユネスコの世界遺産にも登録されている。(写真右) 懇親会にて：右から野口先生（筑波大）、杉浦先生（大阪府立大）、Barber先生、伊福先生（京大）、筆者

新刊図書

The Structure and Function of Plastids

Series: Advances in Photosynthesis and Respiration , Vol. 23

Wise, Robert R.; Hooper, J. Kenneth (Eds.)

2006, 573 p., Springer

Photosystem I

The Light-Driven Plastocyanin: Ferredoxin Oxidoreductase

Series: Advances in Photosynthesis and Respiration , Vol. 24

Golbeck, John H. (Ed.)

2006, 716 p., Springer

Chlorophylls and Bacteriochlorophylls

Biochemistry, Biophysics, Functions and Applications

Series: Advances in Photosynthesis and Respiration, Vol. 25

Grimm, B.; Porra, R.J.; Rüdiger, W.; Scheer, H. (Eds.)

2006, 606 p., Springer

*** Information ***

事務局からのお知らせ

★入会案内

本会へ入会を希望される方は、会費（個人会員年会費：¥1,500、賛助法人会員年会費：¥50,000）を郵便振替（加入者名：光合成研究会、口座番号：00140-3-730290）にて送金の上、次ページの申し込み用紙、または電子メールにて、氏名、所属、住所、電話番号、ファックス番号、電子メールアドレス、入会希望年を事務局までお知らせください。

記事募集

日本光合成研究会では、会報に掲載する記事を会員の皆様より募集しています。募集する記事の項目は以下の通りです。

- 研究紹介：最近の研究結果の紹介。特に、若手、博士研究員の方々からの投稿を期待しています。
- 集会案内：研究会、セミナー等の案内
- 求人：博士研究員、専門技術員等の募集記事
- 新刊図書：光合成関係、または会員が執筆・編集した新刊図書の紹介
- 新製品：賛助法人会員が取り扱う光合成関連装置の新製品の紹介
- 掲示版：研究上の質問、実験装置の譲渡など、会員からの様々な情報

記事の掲載を希望される方は、会報編集担当、野口（tnoguchi@ims.tsukuba.ac.jp）まで御連絡下さい。

日本光合成研究会会員入会申込書

平成 年 月 日

日本光合成研究会御中

私は日本光合成研究会の趣旨に賛同し、平成 年より会員として入会を申し込みます。

[]内に会員名簿上での公開承諾項目に○印をつけてください

[] 氏名（漢字）（必須）

氏名（ひらがな）

氏名（ローマ字）

[] 所属

[] 住所 1

〒

[] 住所 2（自宅の方または会報送付先が所属と異なる場合にのみ記入）

〒

[] TEL1

[] TEL2（必要な方のみ記入）

[] FAX

[] E-mail

個人会員年会費 1,500 円（会報、研究会、ワークショップなどの案内を含む）

賛助法人会員年会費 50,000 円（上記と会報への広告料を含む）

（振込予定日：平成 年 月 日）（会員資格は1月1日～12月31日を単位とします）

* 複数年分の会費を先払いで振り込むことも可能です。その場合、通信欄に（何年度～何年度分）とお書き下さい。

連絡先

〒464-8602 名古屋市千種区不老町

名古屋大学理学部物理教室 光生体エネルギー研内

日本光合成研究会

TEL/FAX: 052-789-2883

E-mail: photosyn@bio.phys.nagoya-u.ac.jp

郵便振替口座 00140-3-730290

日本光合成研究会会則

第1条 名称

本会は日本光合成研究会（The Japanese Association for Photosynthesis Research）と称する。

第2条 目的

本会は光合成の基礎および応用分野の研究発展を促進し、研究者相互の交流を深めることを目的とする。

第3条 事業

本会は前条の目的を達成するために、シンポジウム開催などの事業を行う。

第4条 会員

1. 定義

本会の目的に賛同する個人は、登録手続を経て会員になることができる。また、団体、機関は、賛助会員になることができる。

2. 権利

会員および賛助会員は、本会の通信および刊行物の配布を受けること、本会の主催する行事に参加することができる。会員は、会長を選挙すること、役員に選出されることができる。

3. 会費

会員および賛助会員は本会の定めた年会費を納めなければならない。

第5条 組織および運営

1. 役員

本会の運営のため、役員として会長1名、事務局長1名、会計監査1名、常任幹事若干名をおく。役員任期は2年とする。会長、常任幹事は連続して二期を越えて再任されない。事務局長は五期を越えて再任されない。会計監査は再任されない。

2. 幹事

幹事数名をおく。幹事任期は4年とする。幹事の再任は妨げない。

3. 常任幹事会

常任幹事会は会長と常任幹事から構成され、会長がこれを招集し議長となる。常任幹事会は本会の運営に係わる事項を審議し、これを幹事会に提案する。事務局長と会計監査は、オブザーバーとして常任幹事会に出席することができる。

4. 幹事会

幹事会は役員と幹事から構成され、会長がこれを招集し議長となる。幹事会は、常任幹事会が提案した本会の運営に係わる事項等を審議し、これを決定する。

5. 事務局

事務局をおき、事務局長がこれを運営する。事務局は、本会の会計事務および名簿管理を行う。

6. 役員および幹事の選出

会長は会員の直接選挙により会員から選出される。事務局長、会計監査、常任幹事は会長

が幹事の中から指名し、委嘱する。幹事は常任幹事会によって推薦され、幹事会で決定される。会員は幹事を常任幹事会に推薦することができる。

第6条 総会

1. 総会は会長が招集し、出席会員をもって構成する。議長は出席会員から選出される。
2. 幹事会は総会において次の事項を報告する。
 - 1) 前回の総会以後に幹事会で議決した事項
 - 2) 前年度の事業経過
 - 3) 当年度および来年度の事業計画
3. 幹事会は総会において次の事項を報告あるいは提案し、承認を受ける。
 - 1) 会計に係わる事項
 - 2) 会則の変更
 - 3) その他の重要事項

第7条 会計

本会の会計年度は1月1日から12月31日までとする。当該年度の経理状況は、総会に報告され、その承認を受ける。経理は、会計監査によって監査される。本会の経費は、会費および寄付金による。

付則

第1 年会費は個人会員 1,500 円、賛助会員一口 50,000 円とする。

第2 本会則は、平成14年6月1日から施行する。

第3 本会則施行後第一期の会長、事務局長、常任幹事にはそれぞれ、第5条に定める規定にかかわらず、平成14年5月31日現在の会長、事務局担当幹事、幹事が再任する。本会則施行後第一期の役員および幹事の任期は、平成14年12月31日までとする。

日本光合成研究会の運営に関する申し合わせ

1. 幹事会：

幹事は光合成及びその関連分野の研究を行うグループの主催者である等、日本の光合成研究の発展に顕著な貢献をしている研究者とする。任期は4年とするが、原則として再任されるものとする。

2. 事務局：

事務局長の任期は2年とするが、本会の運営を円滑に行うため、約5期（10年）を目途に再任されることが望ましい。

3. 次期会長：

会長の引き継ぎを円滑に行うため、次期会長の選挙は任期の1年前に行う。

4. 常任幹事会：

常任幹事会の運営を円滑におこなうため、次期会長は常任幹事となる。

幹事会名簿

- 浅田浩二 福山大学生命工学部
- 池内昌彦 東京大学大学院総合文化研究科
- 池上 勇 帝京大学薬学部
- 泉井 桂 近畿大学生物理工学部生物工学科
- 伊藤 繁 名古屋大学大学院理学系研究科
- 井上和仁 神奈川大学理学部
- 井上頼直 理化学研究所
- 臼田秀明 帝京大学医学部
- 榎並 勲 東京理科大学理学部
- 大岡宏造 大阪大学大学院理学研究科
- 大杉 立 東京大学大学院農学生命科学研究科
- 大政謙次 東京大学大学院農学生命科学研究科
- 小川健一 岡山県生物科学総合研究所
- 小野高明 茨城大学工学部生体分子機能工学科
- 小俣達男 名古屋大学大学院生命農学研究科
- 垣谷俊昭 名城大学理工学部教養教育/
総合学術研究科
- 金井龍二 埼玉大学 (名誉教授)
- 櫻井英博 早稲田大学教育学部
- 佐藤和彦 兵庫県立大学大学院生命理学研究科
- 佐藤公行 岡山大学 (名誉教授)
- 佐藤直樹 東京大学大学院総合文化研究科
- 佐藤文彦 京都大学大学院生命科学研究科
- 重岡 成 近畿大学農学部
- 島崎研一郎 九州大学大学院理学研究院
- 嶋田敬三 首都大学東京都市教養学部
- 沈 建仁 岡山大学大学院自然科学研究科
- 杉浦昌弘 名古屋市立大学
大学院システム自然科学研究科
- 杉田 護 名古屋大学遺伝子実験施設
- 杉山達夫 中部大学生命健康科学研究所
- 鈴木祥弘 神奈川大学理学部
- 園池公毅 東京大学大学院新領域創成科学研究科
- 高橋裕一郎 岡山大学大学院自然科学研究科
- 田中 歩 北海道大学低温科学研究所
- 都筑幹夫 東京薬科大学生命科学部
- 寺島一郎 東京大学大学院理学系研究科
- 徳富(宮尾)光恵 農業生物資源研究所
光合成研究チーム
- 豊島喜則 関西学院大学理工学部
- 南後 守 名古屋工業大学応用化学科
- 野口 巧 筑波大学大学院数理物質科学研究科
- 長谷俊治 大阪大学蛋白質研究所
- 林 秀則 愛媛大学
無細胞生命科学工学研究センター
- 原登志彦 北海道大学低温科学研究所
- 彦坂幸毅 東北大学大学院生命科学研究科
- 久堀 徹 東京工業大学資源化学研究所
- 檜山哲夫 埼玉大学理学部 (名誉教授)
- 福澤秀哉 京都大学大学院生命科学研究科
- 藤田祐一 名古屋大学大学院生命農学研究科
- 前 忠彦 東北大学大学院農学研究科
- 牧野 周 東北大学大学院農学研究科
- 松浦克美 首都大学東京都市教養学部
- 三室 守 京都大学大学院地球環境学学
- 宮地重遠 海洋バイオテクノロジー研究所
- 村田紀夫 基礎生物学研究所
- 山本 泰 岡山大学大学院自然科学研究科
- 山谷知行 東北大学大学院農学研究科
- 横田明穂 奈良先端科学技術大学院大学
バイオサイエンス研究科
- 和田敬四郎 放送大学石川学習センター

編集後記

この号を無事に発行し終わると、2年間、6号分の編集担当を勤めさせていただいたこととなります。多くの方々にご執筆いただきました。会員以外の方々や学生さんにも執筆していただき、それを機会に入会して下さった方もおります。日々の忙しい研究・教育・学生生活の中で、執筆のための時間を割いてくださり、有難うございました。来年から伊藤会長の2期目に入り、より幅の広い編集体制で「光合成研究」を作っていけたらと思っています。随分とあわただしい一年でしたが、今年ももう終わりです。皆様、良いお年をお迎えください。

＜筑波大学 野口 巧＞

日本光合成研究会 2005-2006年役員

会長 伊藤 繁 (名古屋大学)

事務局 田中 歩 (北海道大学)

常任幹事 大岡宏造 (大阪大学) (日本光生物学協会)

常任幹事 藤田祐一 (名古屋大学) (会報担当)

常任幹事 野口 巧 (筑波大学) (会報担当)

常任幹事 鈴木祥弘 (神奈川大学) (ホームページ担当)

常任幹事 臼田秀明 (帝京大学) (企画担当)

常任幹事 大政謙次 (東京大学) (企画担当)

常任幹事 高橋裕一郎 (岡山大学) (企画担当)

常任幹事 寺島一郎 (大阪大学) (企画担当)

常任幹事 久堀 徹 (東京工業大学) (企画担当)

庶務 中村洋子 (名古屋大学)

会計監査 池上 勇 (帝京大学)

光合成研究 第16巻 第47号 2006年12月22日発行

日本光合成研究会

名古屋大学理学部物理教室

光生体エネルギー研内

〒464-8602 名古屋市千種区不老町

FAX: 052-789-2883

E-mail: photosyn@bio.phys.nagoya-u.ac.jp

<http://photosyn.phys.nagoya-u.ac.jp/index-j.html>

郵便振替口座 加入者名：光合成研究会 口座番号：00140-3-730290