

# 光合成研究

第17卷 第2号(通卷49号) 2007年8月

Vol. 17 No. 2 August 2007

THE JAPANESE ASSOCIATION FOR PHOTOSYNTHESIS RESEARCH



日本光合成研究会

光合成研究  
第17巻 第2号 (通巻49号) 2007年 8月  
NEWS LETTER Vol. 17 No. 2 August 2007  
THE JAPANESE ASSOCIATION FOR PHOTOSYNTHESIS RESEARCH

CONTENTS

\*\*\*\*\*

トピックス

乾燥環境下の地衣類が示す過剰光エネルギーの超高速散逸機構の発見

小村理行・・・24

解説 紅色光合成細菌における反応中心への電子供与体の多様性

永島賢治・・・29

報告記事

第7回光合成研究会シンポジウム報告

高橋裕一郎・・・36

ドイツ-日本二国間ワークショップ “Evolution of complexity from primitive cyanobacterial cells to chloroplasts: Basics and potential applications”

小山内崇・・・39

集会案内

.....41

新刊図書

.....42

事務局からのお知らせ

.....43

日本光合成研究会会員入会申込書

.....44

日本光合成研究会会則

.....45

幹事会名簿

.....47

日本光合成研究会 会員名簿

.....48

賛助法人会員広告

## TOPICS

## 乾燥環境下の地衣類が示す過剰光エネルギーの 超高速散逸機構の発見

名古屋大学大学院理学研究科  
物質理学専攻 (物理系)

小村理行

### 1. 地衣類の光合成と乾燥耐性

#### 1. 1 地衣類

地衣類は、菌類と藻類 (緑藻、シアノバクテリア) が共生し光合成によって生育する生物群の総称で、いわゆるコケ植物とは異なる。宿主である菌類は共生藻類が光合成で生産する糖を利用して生長し、藻類は菌類の提供する安定した環境で光合成を行うといわれている。地衣類の生息範囲は極地、高山、砂漠など、通常の生物にとって生存が困難な地域から市街地までと極めて広く、どこにでもいる馴染みの深い生物でもある。2 万種ともいわれる種が存在し、多様な形態をもつ。土壌、岩、木幹に固着し、1 年に数ミリから数センチという遅い速度で生長する。高等植物のような明確な器官分化はないが、子器や頭状体、偽根といった特徴的な形状を形成する種も多い。

地衣類の共生藻としては、緑藻では *Trebouxia*、*Coccomyxa*、*Stichococcus*、*Trentepohlia* など、シアノバクテリアでは *Nostoc* が知られている<sup>1)</sup>。菌体に共生する藻類の種類は基本的には一対一で対応すると言われているが、不明な点も多い。また、緑藻とシアノバクテリアがひとつの菌体に共生した地衣類も存在する。地衣類としての学名は菌体に対して付けられたものである。

#### 1. 2 蛍光測定による乾燥ストレス応答の研究

多くの地衣類は他の光合成生物が生存困難な低温、高温乾燥環境下でも長期間の生存が可能で、高い耐凍、耐高温乾燥性をもつ。また、水分保持機構をもたないにも関わらず、短期間の乾燥、湿潤の繰り返しにも迅速に適応する<sup>2)</sup>。通常シアノバクテリアや藻類、植物は乾燥や凍結等により細胞内の水分含量が低下した状態で光を受けると、処理能力を超過した光エネルギー

(励起エネルギー) が光化学系 I、II に致命的な光阻害をもたらすことが知られている<sup>3-7)</sup>。しかし、乾燥環境下で地衣体に一定時間強光を照射しても光阻害は起こらず、その後の吸水により速やかに光合成機能を回復させる<sup>8-10)</sup>。このことから、地衣類は過剰な光エネルギーを無害化して光阻害を防ぐ独自の機構を発達させていると考えられてきた<sup>11)</sup>。

光合成系における光化学活性や励起エネルギー移動過程等を調べるには、クロロフィル蛍光の測定が有効である。乾燥地衣体では光化学系 II の定常蛍光強度が著しく低下し、強光照射による電子受容体キノン  $Q_A$  の還元も観測されない<sup>8, 9)</sup>。地衣体が水分を吸収すると、光化学系 II 蛍光が速やかに増加し、 $Q_A$  還元も再開する<sup>8, 12)</sup>。乾燥状態では光化学系 II の電子伝達系は停止し、かつ蛍光収率の低い状態にあり、吸水と同時に活性が回復してくると推測される。一方、光化学系 I は乾燥環境下でも電子伝達系の一部が機能していることが確かめられている<sup>12)</sup>。

乾燥環境下の地衣類で観測される光化学系 II に特異的な蛍光強度の低下は、光化学系 II のクロロフィルが吸収した光エネルギーが、最終的に熱エネルギーとして散逸していることを示唆している。過剰な光エネルギーを無害な熱に変換して光阻害を防ぐ機構が乾燥環境下の地衣類で発現していると推測し、その性質と発現メカニズムを明らかにするために、乾燥地衣体のピコ秒時間分解蛍光測定を行った。

### 2. ピコ秒時間分解蛍光測定法による超高速蛍光消光過程の発見

#### 2. 1 極低温での乾燥・吸水地衣体の蛍光減衰過程の比較

ピコ秒時間分解蛍光測定は、短い時間幅のパルスレ

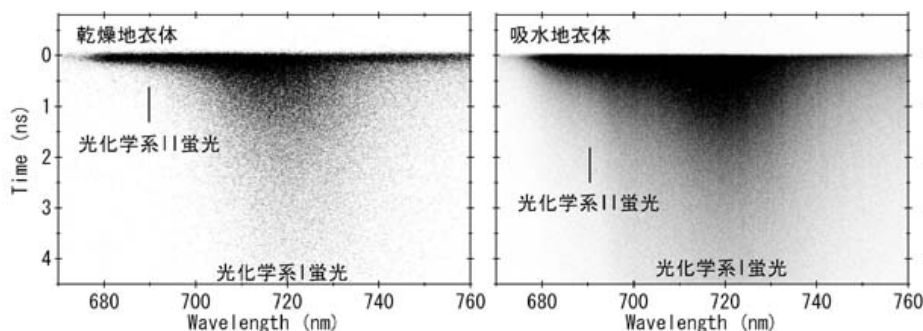


図1 乾燥地衣体 (左) と吸水地衣体 (右) の 77 K でのピコ秒時間分解蛍光測定  
横軸は波長 (nm)、縦軸は時間 (ns)。ゼロ時間でパルスレーザー (時間幅 150 fs) を  
照射した。励起波長は 440 nm。蛍光強度を色の濃淡で表している。

レーザーで励起したクロロフィル等の蛍光寿命を観測することで、光化学系内の励起エネルギー移動や初期電荷分離過程を調べる測定手法である。緑藻を共生藻とする地衣類メランクラムカデゴケを対象に、Ti:Sapphireレーザーとストリークカメラによるピコ秒時間分解蛍光の多波長同時測定を行い、乾燥地衣体と吸水地衣体の光化学系IIの77 Kでの励起エネルギー移動過程を比較した。その結果、乾燥地衣体では光化学系IIの蛍光が高速で消光されていることを発見した(図1)。これは、光化学系IIの励起状態が極めて短時間のうちに緩和されていることを示唆する。励起エネルギーを短時間で消去し、熱として散逸させる機構が乾燥地衣体に発現していることを示す、初めての直接的な証拠と考えられる。光化学系II蛍光の消光現象は高等植物でも観測されているが<sup>13, 14)</sup>、これほど高速な蛍光消光過程はこれまで報告がない。各波長での蛍光減衰曲線を定量的に解析し<sup>15)</sup>、77 Kでは光化学系II内の励起エネルギーは40ピコ秒(1ピコ秒は $10^{-12}$ 秒)程度で消光されていることを明らかにした。これは、地衣類が既知の機構(キサントフィルサイクル)よりも遥かに強力な励起エネルギーの散逸機構を乾燥下で発現することを示唆する。乾燥地衣体で観測された光化学系IIの蛍光強度の大幅な低下は、この超高速蛍光消光過程(=熱への散逸過程)によるものであると結論した。光化学系Iの蛍光減衰過程に大きな変化はなかった。

77 Kで観測された超高速蛍光消光現象についてより詳細に調べるため、さらに低温の4 Kで測定を行った。4 Kでは光化学系内を移動する励起エネルギー移動がさらに遅延し観測が容易になる。4 Kでの測定から、光

化学系IIの周辺アンテナ(LHC II)からコアアンテナ(CP43, CP47)に流入した励起エネルギーがコアアンテナ内で消光していることを示唆する結果を得た(図2A)。キサントフィルサイクルによる光エネルギーの

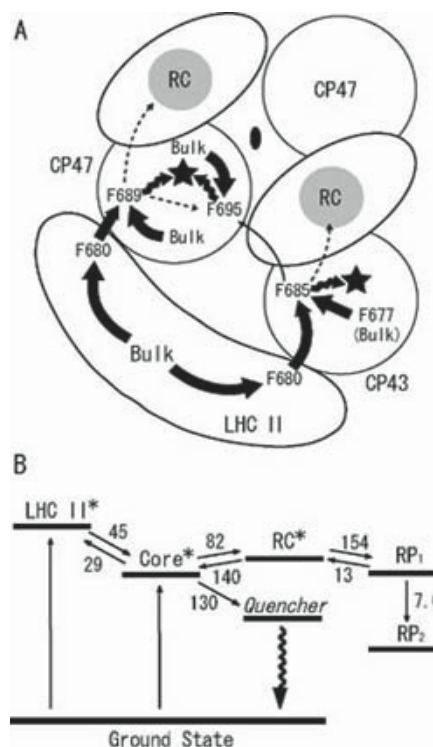


図2 乾燥地衣体の光化学系 II で推定された励起エネルギー移動と蛍光消光過程のモデル  
(A) 光化学系 II の各タンパク質サブユニットを移動する励起エネルギーと蛍光消光の経路の模式図。星印は蛍光を消光する分子(Quencher)の推定位置。  
(B) シミュレーションで見積もった各状態間の遷移速度。LHC II\*、Core\*、RC\*は各タンパク質サブユニットの励起状態を表す。CP43、CP47の各励起状態をCore\*とみなした。RP<sub>1</sub>、RP<sub>2</sub>はそれぞれ初期、二次電荷分離状態を表す。数字は求められた遷移速度( $\text{ns}^{-1}$ )。

散逸過程はLHC IIで起こるとされている<sup>16,17)</sup>。従って、コアアンテナ内で消光が起こるといふ推測から、既知の光エネルギーの散逸機構とは全く異なるメカニズムの蛍光消光過程が示唆される。

### 2. 2 室温での光エネルギー散逸速度の算出

極低温でのピコ秒時間分解蛍光測定により、乾燥地衣体の光化学系IIに特異的に起こる超高速の蛍光消光過程を発見し、その性質が既知の機構と大きく異なることが明らかになった。この地衣類独自の光エネルギー散逸機構が生理温度において光障害の防御にどの程度有効であるかを見積もるため、光化学系IIの室温でのピコ秒時間分解蛍光測定を行った。各波長での蛍光減衰曲線の解析から、室温では光化学系IIの蛍光が6ピコ秒と36ピコ秒の2つの時定数で消光していることがわかった。この蛍光消光過程を再現しうるモデルを、ハウレンソウの光化学系II蛍光の蛍光消光過程を元に構築し<sup>18)</sup>、シミュレーションを行った。その結果、励起エネルギーはコアアンテナ内で8ピコ秒以内に消光されていると見積もられた(図2B)。これは、高等植物のキサントフィルサイクルにおける光エネルギーの散逸過程と比較して約20倍も速い<sup>17)</sup>。光エネルギーの90%以上が最終的に熱として散逸することになり、地衣類のもつ光エネルギー散逸機構が乾燥環境下で光障害を防御する機構として有効に機能していることを示唆している。

### 2. 3 吸水による光合成機能の回復と熱散逸機構の解消

地衣類は吸水により速やかに光合成活性を回復させる。吸水による光化学系IIの電子伝達系の回復過程と蛍光強度変化を、パルス変調蛍光測定(PAM)と77K定常蛍光スペクトル変化で観測した(図3)。PAMはパルスの強光照射で起こる電子受容体キノンQ<sub>A</sub>の一時的な還元による蛍光強度の変化を検出し、光化学系IIの電子伝達活性を見積もることができる。乾燥地衣体の光化学系IIの電子伝達反応は吸水後30秒以内に再開し、光化学系IIの蛍光増加も観測された。吸水後に光エネルギー散逸機構が速やかに解消し電子伝達反応が再開していることがうかがえる。地衣類の光合成系が迅速に環境変化に対応していることを示唆している。

### 2. 4 異なる過剰光エネルギー散逸機構をもつ地衣類

メラנקラムカデゴケと同様に、緑藻を共生藻とするテリハヨロイゴケも乾燥時に光化学系IIの蛍光強度の減少を示す(図4A)。しかし、ピコ秒時間分解蛍光測定の結果、光化学系IIの高速蛍光消光過程は観測されなかった(図4C)。これは超高速の光エネルギー散逸機構を持たない種も存在することを示している。テリハヨロイゴケで観測された光化学系II蛍光の減少は、周辺アンテナであるLHC IIが光化学系IIのコア複合体から脱離し、光化学系IIのアンテナサイズが縮小した結果ではないかと考えられる<sup>19)</sup>。アンテナサイズを小さくすることで、光化学系IIへの過剰な光エネルギーの流入を抑制していると推測される。一方、シアノバクテリアを共生藻とするモミジツメゴケで同様の測定

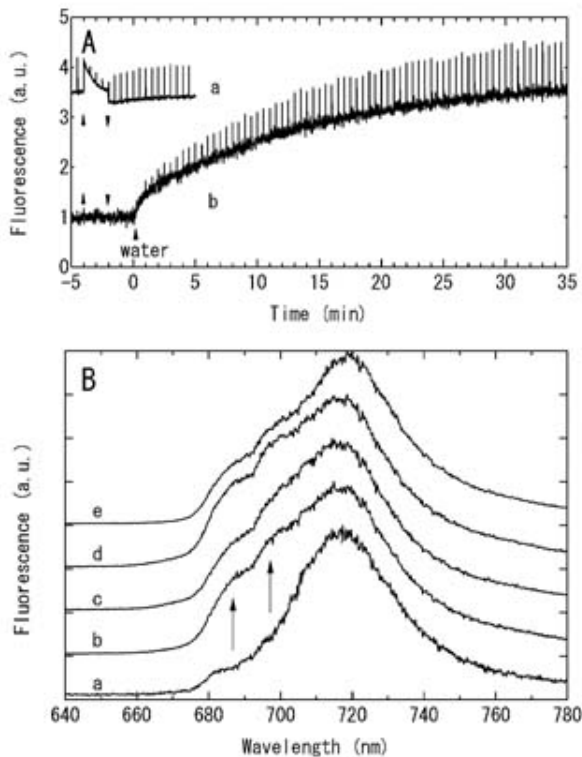


図3 吸水後の地衣体の蛍光の時間変化  
(A) パルス変調蛍光測定(PAM)。実線 a は吸水後十分に時間の経過した地衣体における PAM の結果。30 秒ごとに 50 μs 間強光を照射した。矢印は定常光をオン/オフした時間を表す。実線 b は乾燥地衣体の吸水後の時間変化。ゼロ時間で水を添加した。  
(B) 77 K での定常蛍光スペクトルの変化。励起は 440 nm。実線 a は乾燥地衣体の蛍光スペクトル。以下、実線 b、c、d、e はそれぞれ吸水後 30 秒、1 分、10 分、30 分経過後に急速凍結して測定した蛍光スペクトル。矢印は光化学系 II の蛍光バンドを示す。

を行ったところ、光化学系II蛍光の高速消光過程が観測された。また、シアノバクテリアの補助アンテナであるフィコピリンの蛍光も高速に消光された(図4D)。シアノバクテリアの場合、フィコピリンから光化学系IIへの励起エネルギーの流入をも抑制することで光化学系IIの光阻害を二重に防ぐメカニズムが存在すると考えられる。

### 3. これからの展望：多種の地衣類測定により広がる多様性

乾燥地衣類で発現する強力な光エネルギー散逸機構の存在は、地衣類の耐乾燥性を向上させる要因のひとつであると考えられる。しかし、超高速の光エネルギー散逸機構が全ての地衣類に備わっているわけではないこともわかってきた。現在、地衣類約50種を採取して順次測定を行っており、そのうち2割程度は超高速の光エネルギー散逸機構を示さないことが明らかになりつつある。詳細な解析を進めていくことで、さらに

別のタイプの光阻害防御機構が発見される可能性もある。また、乾燥耐性の高いシアノバクテリアやコケ植物単独でも、乾燥時に光化学系II蛍光の減少を示すものがあることが知られている<sup>20, 21)</sup>。地衣類で発見された超高速な過剰光エネルギーの散逸機構は、地衣類にとどまらず、さらに多くの生物で機能している可能性がある。

一方、超高速光エネルギー散逸機構の物理的なメカニズムの解明はこれからである。30秒程度で光合成活性が回復する事から、基本的には物理的な発現機構であり、これがどのような生体内の構造や性質と関連しているか興味深い。分光測定だけでなく、分子生物学的手法など多角的なアプローチを行って研究を進めたい。光合成の研究対象としてこれまであまり注目されてこなかった地衣類で発見された新しい環境応答機構の発見は、多様な光合成の姿と、生物の無限の可能性を我々に教えてくれる。

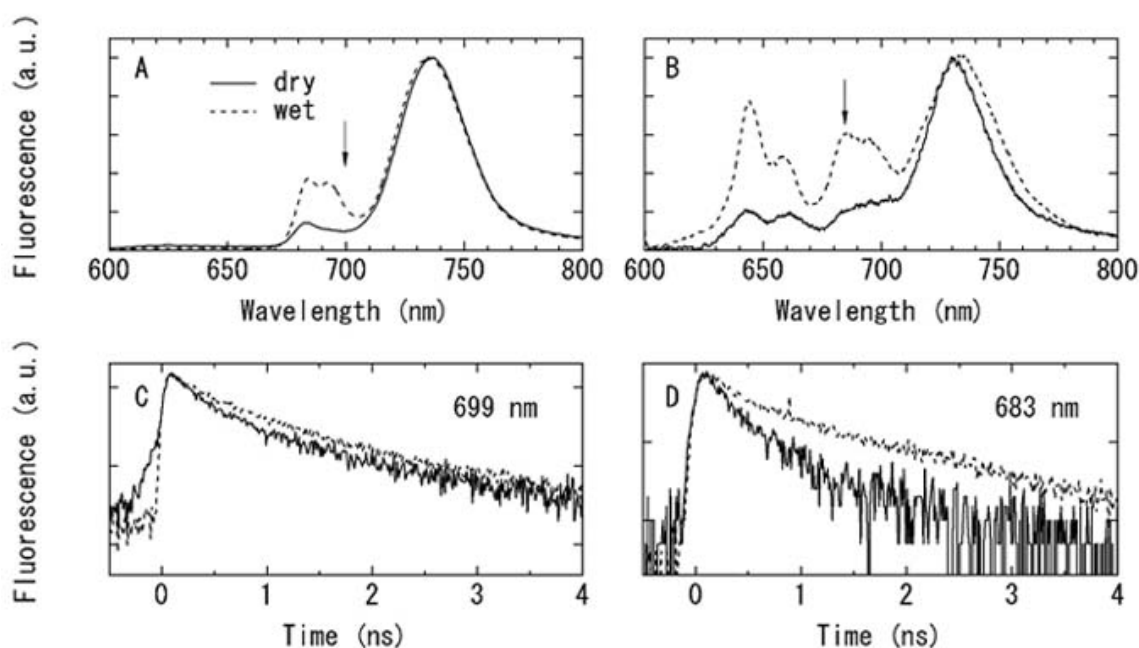


図4 テリハヨロイゴケとモミジツメゴケの定常蛍光およびピコ秒時間分解蛍光測定

- (A) テリハヨロイゴケの乾燥地衣体と吸水地衣体の定常蛍光スペクトルの比較。励起波長は440 nm。矢印はCの減衰曲線の波長を示す。
- (B) モミジツメゴケの乾燥地衣体と吸水地衣体の定常蛍光スペクトルの比較。励起波長は570 nm。矢印はDの減衰曲線の波長を示す。
- (C) テリハヨロイゴケのピコ秒時間分解蛍光測定で得られた699 nmの減衰曲線の比較。励起波長は440 nm。主に光化学系IIの蛍光減衰を表す。
- (D) モミジツメゴケのピコ秒時間分解蛍光測定で得られた683 nmの減衰曲線の比較。励起波長は630 nm。主にフィコピリンの蛍光減衰を表す。

参考文献

1. Palmqvist, K. (2000) *New Phytol.* 148, 11.
2. Barták, M., Gloser, J., and Hájek, J. (2005) *Lichenologist* 37, 433.
3. Barber, J., and Andersson, B. (1992) *Trends Biochem. Sci.* 17, 61.
4. Smirnov, N. (1993) *New Phytol.* 125, 27.
5. Sonoike, K. (1996) *Plant Cell Physiol.* 37, 239.
6. Niyogi, K. K. (1999) *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 50, 333.
7. Shuvalov, V., and Heber, U. (2003) *Chem. Phys.* 294, 227.
8. Kopecky, J., Azarkovich, M., Pfündel, E. E., Shuvalov, V. A., and Heber, U. (2005) *Plant Biol.* 7, 156.
9. Heber, U., and Shuvalov, V. A. (2005) *Photosyn. Res.* 84, 85.
10. Heber, U., Bilger, W., and Shuvalov, V. A. (2006) *J. Exp. Bot.* 57, 2993.
11. Heber, U., Lange, O. L., and Shuvalov, V. A. (2006) *J. Exp. Bot.* 57, 1211.
12. Bukhov, N. G., Govindachary, S., Egorova, E. A., and Carpentier, R. (2004) *Planta* 219, 110.
13. Gilmore, A. M., Shinkarev, V. P., Hazlett, T. L., and Govindjee (1998) *Biochemistry* 37, 13582.
14. Richter, M., Goss, R., Wagner, B., and Holzwarth, A. R. (1999) *Biochemistry* 38, 12718.
15. Komura, M., Shibata, Y., and Itoh, S. (2006) *Biochim. Biophys. Acta* 1757, 1657.
16. Holt, N. E., Fleming, G. R., and Niyogi, K. K. (2004) *Biochemistry* 43, 8281.
17. Holt, N. E., Zigmantas, D., Valkunas, L., Li, X. P., Niyogi, K. K., and Fleming, G. R. (2005) *Science* 307, 433.
18. Broess, K., Trinkunas, G., van der Weij-de Wit, C. D., Dekker, J. P., van Hoek, A., and van Amerongen, H. (2006) *Biophys. J.* 91, 3776.
19. Takahashi, H., Iwai, M., Takahashi, Y., and Minagawa, J. (2006) *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 103, 477.
20. Satoh, K., Hirai, M., Nishio, J., Yamaji, T., Kashino, Y., and Koike, H. (2002) *Plant Cell Physiol.* 43, 170.
21. Ohad, I., Nevo, R., Brumfeld, V., Reich, Z., Tsur, T., Yair, M., and Kaplan, A. (2005) *Photochem. Photobiol. Sci.* 4, 977.





紅色光合成細菌の系統分布

現在までに知られている光合成細菌は 16S rRNA 遺伝子の塩基配列の比較に基づき、紅色細菌（プロテオバクテリア）、綠色イオウ細菌、綠色繊維状細菌（繊維状非酸素発生細菌）、ヘリオバクテリア、シアノバクテリアの 5 つの系統に分類されている<sup>1)</sup>。紅色細菌は  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 、 $\delta$ 、 $\epsilon$  の 5 つのサブクラスにさらに細分されており、光合成をする種は  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  のグループに見られる（図 1）。古典的な分類学に従えば、 $\gamma$  サブグループに属するのはいわゆる紅色イオウ細菌で、これらは  $H_2S$  のような還元型イオウ化合物を光合成の末端電子供与体として利用する光独立栄養生物である。 $\alpha$  および  $\beta$  サブグループに属する光合成細菌は紅色非イオウ細菌とも呼ばれ、有機物を利用して増殖する光従属栄養生物である。多くの場合、紅色非イオウ細菌は光合成のみならず、酸素呼吸等他の生育様式でも盛んに増殖する。

光合成細菌のうち、葉緑体の起源とされるシアノバクテリアは二つの光化学系を持っている。光化学系 1 反応中心複合体では鉄-硫黄クラスターが、光化学系 2 反応中心複合体ではキノンが、それぞれ複体内での末端電子受容体として働く。その他の光合成細菌はいずれか一方の反応中心複合体を持っており、全ての紅色光合成細菌は光化学系 2 反応中心複合体とよく似た反応中心複合体を持っている。しかし複合体への電子供与体は異なっており、光化学系 2 反応中心では水

を分解して電子を得るのに対し、紅色光合成細菌では電子伝達タンパクから電子を得る。

紅色光合成細菌の電子伝達系

紅色細菌における主要な光合成電子伝達経路は循環的であることが知られている。この経路は反応中心、チトクロム  $bc_1$  複合体、キノンプール、水溶性電子伝達タンパクの 4 つの要素から成り立っている。光励起されたスペシャルペアから放出された電子は反応中心複合体中のキノンへ運ばれ、還元されたキノン（キノール）は反応中心を離れて膜中にプールされる。電子はチトクロム  $bc_1$  へ伝達され、次いで水溶性電子伝達タンパクに渡される。さらにこの水溶性電子伝達タンパクからの電子が、光酸化されたスペシャルペアに渡されることで循環的経路が成立する（図 2）。

しかし、光合成電子伝達はこの循環的経路のみで閉じているのではなく、途中で様々な電子の出入りがあり、それは水溶性電子伝達タンパクまたはキノンを介して起こる。よく知られた例としては、還元型のイオウ化合物がフラボチトクロム等によって酸化されて電子の供給源となり、水溶性電子伝達タンパクを経て反応中心へ伝達される経路がある<sup>2)</sup>。この反応経路は紅色イオウ細菌において特に重要である。一方、 $bc_1$  複合体から電子を受け取る水溶性電子伝達タンパクは、反応中心以外にもチトクロム酸化酵素や、種によっては脱窒（硝酸呼吸）に働く酵素への電子供与体としても

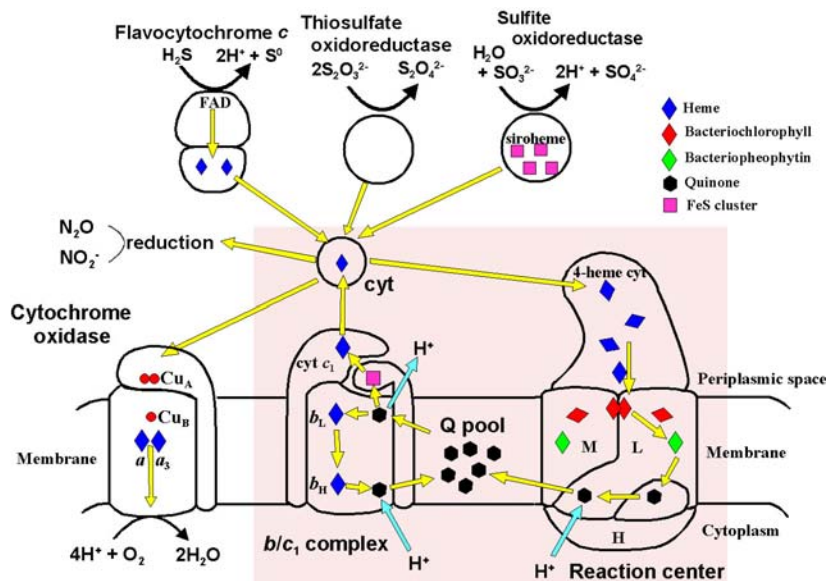


図 2 紅色光合成細菌における電子伝達経路  
 反応中心へ電子を供与する水溶性電子伝達タンパクを中心に置いている。循環的電子伝達経路は四角で囲まれている。

働く<sup>3)</sup>。前者の場合、キノールの供給源を反応中心複合体からNADH脱水素酵素に置き換えれば一般的な呼吸の電子伝達鎖となる。

**水溶性電子伝達タンパク**

以上のように、光合成だけでなく様々な電子伝達経路を仲介する水溶性電子伝達タンパクとして、紅色光合成細菌において最も良く研究されてきたのはチトクロム $c_2$ であろう。このチトクロムは $c$ 型ヘムを1つ結合した分子量1万前後の小さなタンパクであり、*Rhodobacter sphaeroides*や*Blastochloris viridis*など、 $\alpha$ グループに分類される細菌にのみ見られる。非光合成細菌においても、チトクロム $bc_1$ からチトクロム酸化酵素への電子伝達に使われる。 $\beta$ および $\gamma$ グループの細菌にはチトクロム $c_2$ に対応する水溶性の $c$ 型チトクロムとしてチトクロム $c_8$ が知られている。このチトクロムはチトクロム $c_2$ と同様、ヘムを1つ結合する分子量1万以下の小さなタンパクであり立体構造もよく似るが(図3)、アミノ酸配列がチトクロム $c_2$ とは明確に異なっているためチトクロム $c_8$ と呼ばれている<sup>4)</sup>。チトクロム $c_8$ の機能はチトクロム $c_2$ と同様であると考えられているが、種によっては検出されていない。

$\beta$ および $\gamma$ グループの光合成細菌の多くの種では水溶性の電子伝達タンパクとして高電位鉄-イオウタンパク(HiPIP: High-Potential Iron Sulfur Protein)が合成されている。通常HiPIPと呼ばれるこのタンパクは4Fe-4S型の鉄-イオウクラスターを1つ含み、大きさはチトクロム $c_2$ や $c_8$ とほぼ同じである(図3)。HiPIPの生理学

的な機能は1990年代半ばまで必ずしも明確ではなかったが、 $\beta$ グループの*Rhodospirillum rubrum*<sup>5)</sup>と*Rubrivivax gelatinosus*<sup>6)</sup>において反応中心を還元するという報告が相次いだことで注目を浴びるようになった。ただし、これらの種ではHiPIPだけでなくチトクロム $c_8$ も合成されるため、どちらが反応中心への主要な電子供与体なのか、また、両者に生理機能の違いがあるのかという疑問は残った。そこで筆者らは*Rubrivivax gelatinosus*を用いてこれら電子伝達タンパクを欠く一連の変異株の作製を試みてきた。

**チトクロム $c_8$ とHiPIP**

*Rubrivivax gelatinosus*においては多量のHiPIPに加え2種類のチトクロム $c_8$ が合成される<sup>7)</sup>。1つは65 mVという比較的低い中間電位を持ち、もう一つは約300 mVというHiPIPとほぼ同等の高い電位を示す。これら3つの水溶性電子伝達タンパクそれぞれの単欠損株および全ての組み合わせの2重欠損株、さらに3つ全てを欠く3重欠損株を作製したところ、呼吸(暗所・好気)条件下では全て野生型と変わらない生育速度を示した。光合成(明所・嫌気)条件下では3つの単欠損株の中ではHiPIP欠損株のみが野生株の約半分の生育速度となる一方、2つのチトクロム $c_8$ のいずれかを欠く変異株は野生株と生育速度が全く変わらなかった(図4)。このことは*Rubrivivax gelatinosus*における光合成電子伝達ではHiPIPが生理的に主要な電子伝達タンパクであることを示している<sup>8)</sup>。2重欠損株シリーズの中ではHiPIPと高電位チトクロム $c_8$ を欠く株が光合成条件

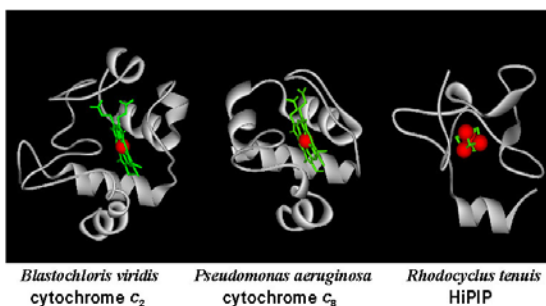


図3 反応中心へ電子伝達することが知られている水溶性電子伝達タンパクの立体構造

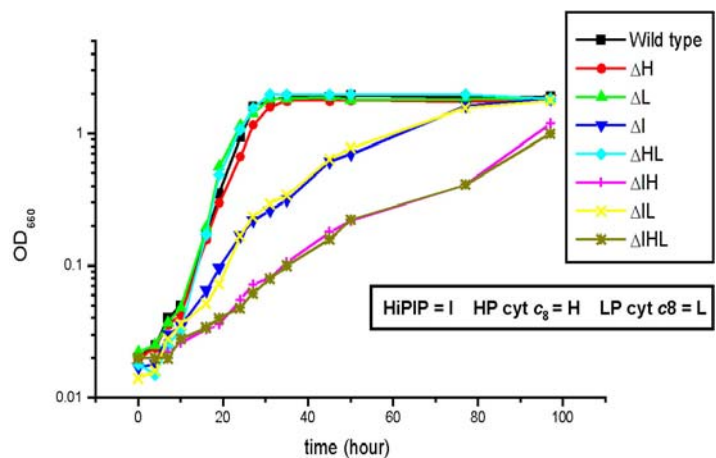


図4 *Rubrivivax gelatinosus* 電子伝達タンパク変異株の光合成条件下での生育曲線  
培地はポリペプトンおよび酵母エキスを含む天然培地を使用した。

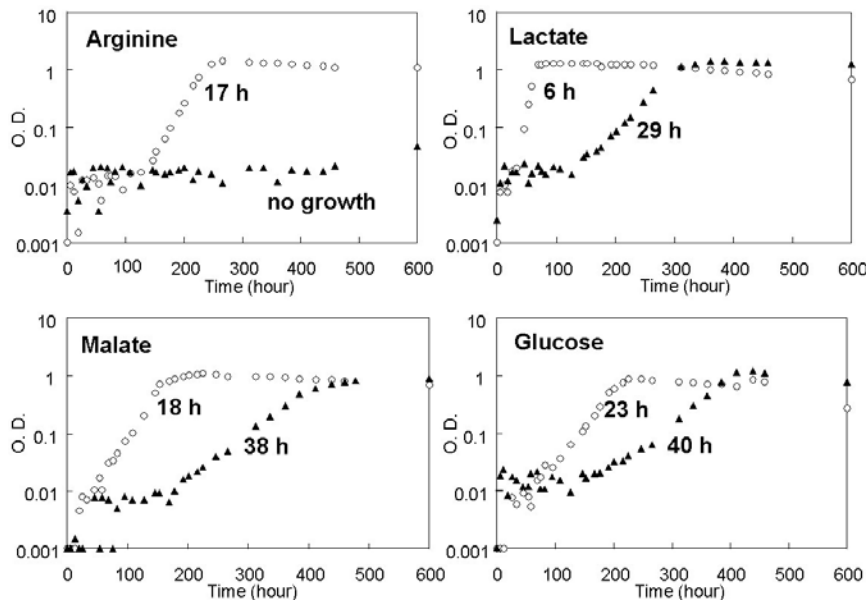


図5 *Rubrivivax gelatinosus* 野生株と反応中心結合チトクロム欠損株の培地組成の違いに応じた生育の変化  
 各パネルに示された有機物を唯一の炭素元とする培地で光合成培養した結果を示す。白丸 (○) が野生株、黒三角 (▲) が欠損株の生育を示している。

下で野生株の約4分の1の生育速度となったことから高電位チトクロム $c_8$ もHiPIP程ではないにせよ光合成電子伝達を維持し得ると考えられる。一方で、低電位チトクロム $c_8$ の欠損は生育速度に何ら影響を与えなかった。*Rubrivivax gelatinosus*に見られるようなHiPIPを主としチトクロム $c_8$ を補とする関係は、*Rhodocycclus tenuis*<sup>9)</sup>や*Allochroamtium vinosum*<sup>10)</sup>でも示唆されており、両タンパクを合成する $\beta$ および $\gamma$ グループの光合成細菌全般に共通する性質かもしれない。

HiPIPとチトクロム $c_8$ の使い分けについて、*Rubrivivax gelatinosus*の反応中心結合チトクロムサブユニットの欠損株に興味深いデータが得られている。この変異株は光合成条件下での生育が野生株より遅く、これは主要な電子供与体であるHiPIPが変異株では反応中心を認識せず、もっぱらチトクロム $c_8$ が電子供与体となるためと考えられる。この変異株を炭素元を限定した様々な培地で光合成培養すると野生株の生育速度との比が変化する。例えば炭素元がグルコースやリンゴ酸の場合変異株の生育速度は野生株の約半分であるが、乳酸の場合は5分の1の速度となる(図5)。アルギニンを炭素元とした場合には野生株が生育可能であるのに対し変異株は不可となる。このことは炭素元それぞれの代謝経路が異なる電子供与体を通じて光合

成電子伝達経路とリンクしていることを示唆している。

#### チトクロム $c_4$

上述の変異株の研究でひとつ注目しておきたいのは、HiPIPと2つのチトクロム $c_8$ を欠いた*Rubrivivax gelatinosus*変異株が光合成条件下で生育可能なことである。これは別の電子伝達タンパクが働いていることを意味している。この3重欠損株の生細胞を用いて閃光照射実験を行うと、光酸化された反応中心結合チトクロムを還元するc型チトクロムの存在が、 $\alpha$ 吸収帯ピークの555 nmから553 nmへの明確なシフトとして観察された。水溶性タンパクを対象とした通常の精製法では該当するチトクロムを得ることはできなかったが、低濃度のオクチルグルコシド存在下で精製を試みたところ、分子量約25 kDaで553 nmに $\alpha$ ピークを持つc型チトクロムが得られた。酸化還元中点電位は325 mVであり、精製した光合成膜標品との再構成実験では反応中心結合型チトクロムへの電子供与体として機能することが確認された。このチトクロムをコードする遺伝子をクローン化し塩基配列を調べたところ、一次構造中にc型ヘムの結合モチーフを二つ含んでおり、相同検索の結果からはチトクロム $c_4$ と同定された。チトクロム $c_4$ は光合成能の有無に関係なく紅色細菌に広く

分布する2ヘム型チトクロム $c$ で、末端酸化酵素を還元することが示唆されているものの<sup>11)</sup>、その生理的役割はあまりよく解っていない。実際、このチトクロム $c_4$ を単欠損した株を作製したところ野生型との違いは見られなかった。しかし先の3重欠損株を親株として4重欠損株を作製したところ、光合成条件下での生育速度は顕著に遅くなり、3重欠損株のほぼ半分、野生型の10分の1程度となった。このことから*Rubrivivax gelatinosus*においてチトクロム $c_4$ が反応中心への生理的な電子供与体として働き得ることが明らかになった。恐らくは他の種でも同様な電子伝達経路が存在するものと予想される。

### 膜結合型電子伝達タンパク

反応中心への電子供与体が複数存在する別の例として $\alpha$ グループの*Rhodobacter capsulatus*がある。この細菌はチトクロム $c_2$ を豊富に合成して反応中心への電子供与体としているが、チトクロム $c_y$ と呼ばれる膜結合型のモノヘムチトクロムも合成する<sup>12)</sup>。チトクロム $c_2$ 欠損株ではこのチトクロム $c_y$ がその機能を相補し光合成電子伝達を維持することが報告されている<sup>12)</sup>。興味深いのは同属の*Rhodobacter sphaeroides*ではチトクロム $c_2$ 欠損株は光合成不可となることで、この細菌でもチトクロム $c_y$ が合成されるにもかかわらず反応中心への電子供与体として働かないことである<sup>13)</sup>。チトクロム $c_y$ のC-末端領域のアミノ酸配列はチトクロム $c_2$ と30-40%の相同性がある。また、チトクロム $c_y$ のホモログは*Rhodobacter*属だけでなく、近縁な非光合成細菌でも報告されている<sup>14)</sup>。

筆者らは最近、*Rhodobacter*属に近縁な*Rhodovulum sulfidophilum*においても膜結合型のチトクロム $c$ が反応中心への電子供与体として働いていることを見いだした<sup>15)</sup>。*Rhodovulum sulfidophilum*は海洋性の光合成細菌で、他の $\alpha$ グループの細菌と同様にチトクロム $c_2$ を合成する。しかしチトクロム $c_2$ 欠損株を作製しても野生型との生育の違いは見られず、同等の働きを持つ電子伝達タンパクの存在が予想された。初めにその候補として水溶性画分から精製されてきたのは分子量約25 kDaの $c$ 型チトクロムであった<sup>16)</sup>。チトクロム $c$ -549と名付けたこのチトクロムは再構成実験において反応中心への良い電子供与体として働くことが分かったが、対数増殖期の細胞中にほとんど検出されなかった。さらに探索を進めた結果、膜画分に約50 kDaの分子量を示すチトクロム $c$ が多量に合成されていることを見だし、精製して膜標品と混ぜ閃光照射実験をしたところ、反応中心結合チトクロムへの速い電子伝達が観察された。 $\alpha$ 吸収帯のピークは550 nm、酸化還元中点電位は369 mVであった。クローニングした遺伝子の塩基配列情報に基づいて、このチトクロムはN末端に膜を1回貫通する疎水性領域を持ち、長いリンカー領域を経てC末端領域にヘム結合モチーフを1つ持つことが推測された。さらにはリンカー領域内に先に述べたチトクロム $c$ -549のN末端配列が見つかったことからチトクロム $c$ -549はこの50 kDaの膜結合チトクロム $c$ が特異的に切断されて生じたものと考えられた。そのC末端ヘム結合領域はチトクロム $c_2$ と高い配列相同性があり、アミノ酸配列の比較に基づく分子系統樹ではチトクロム $c_2$ のクラスター内に位置付けられる(図6)。こ

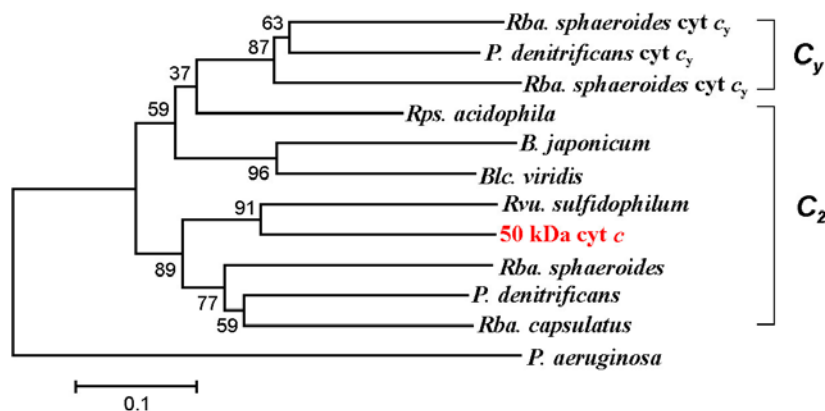


図6 *Rhodovulum sulfidophilum*の新規(50 kDa)膜結合チトクロムを含むチトクロム $c_2$ とチトクロム $c_y$ の分子系統樹  
膜結合領域やシグナルペプチド部分を除いたC末端ヘム結合領域のアミノ酸配列(約100残基)の比較に基づいて描かれている。

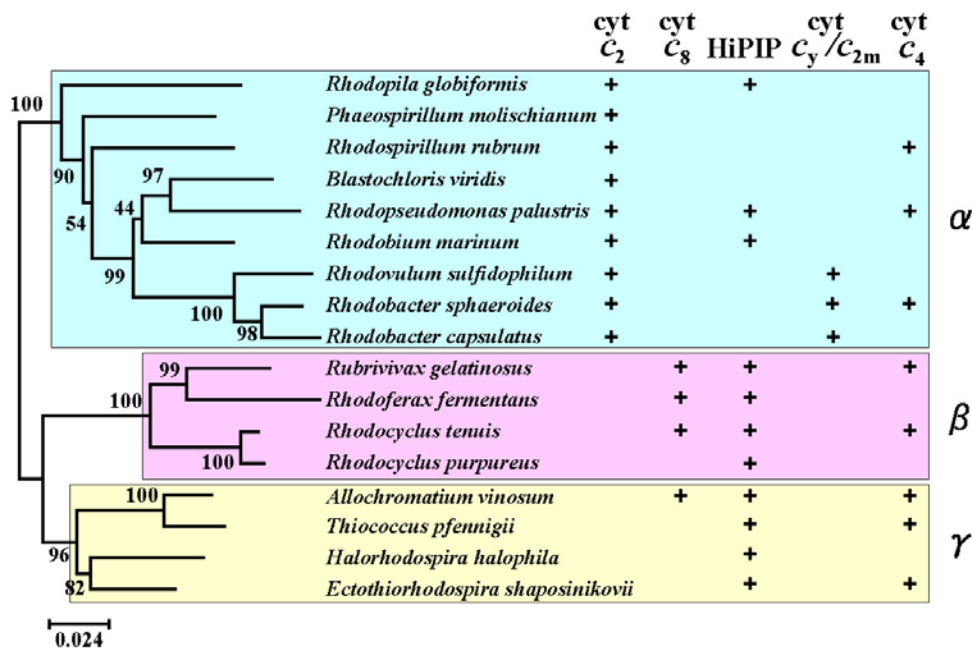


図7 各種電子伝達タンパクの紅色光合成細菌における分布  
Van Driessche et al. (2003)<sup>17)</sup> に筆者らのデータを加えて作製した。

の新規チトクロムは膜結合型であるという点ではチトクロム $c_y$ に似ているが、分子進化の観点からはチトクロム $c_2$ に直接的な起源を持つと考えられ、筆者らはチトクロム $c_{2m}$ という名称を提案している<sup>15)</sup>。

*Rhodovulum sulfidophilum*に見い出されたチトクロム $c_{2m}$ の生理機能を明らかにするためにこの遺伝子の欠損株を作製したところ、チトクロム $c_2$ の欠損株と同様、その生育は野生型と変わらなかった。しかし、両者をともに欠く2重欠損株では光合成による生育が不可となった。このことから*Rhodovulum sulfidophilum*においては水溶性のチトクロム $c_2$ と膜結合型のチトクロム $c_{2m}$ が $bc_1$ 複合体から反応中心への電子伝達タンパクとして全く等価に働くものと考えられた。これら2つのタンパクの役割にどのような差異があるのか、現時点ではまだ明らかになっていない。

おわりに

本稿で紹介したように紅色細菌の反応中心に対する電子供与体は多様である。全ての種について検証されているわけではないが、図7に主要な紅色光合成細菌において検出されている電子伝達タンパクの分布を示した。複数の電子伝達タンパクを持つ種が多数あることは歴然であり、そのような種では反応中心への電子供与体を複数持つであろうことは想像に難くない。本

稿で例示した*Rubrivivax gelatinosus*では少なくとも3種類の供与体があり、その中にはこれまで生理機能が明確でなかった2ヘム型のチトクロム $c_4$ も含まれる。さらに、これら全てを欠損した変異株でも非常に遅いながらも光合成能が見られたことから、まだ未知の供与体があるものと推測される。

紅色細菌における反応中心への電子供与体の多様性がどのような進化的背景を持ち、また菌体にどのような利点を与えているのかはまだ明らかにはなっていないが、それぞれの電子供与体が関与する電子伝達経路を逐一同定していくことは細菌の光合成が持つ生理学的・生態学的重要性を明らかにするうえで有益であろう。また、光エネルギーによって駆動される人工的な代謝経路の構築といった応用にも結びつくのではあるまいか。筆者らは現在、光合成を取り巻く電子伝達網の全容を解明すべく様々な変異株を使用した生理実験を試みおり、モデル生物として *Rubrivivax gelatinosus* の全ゲノム解読を進めている。

参考文献

1. Woese, C. R. (1987) Bacterial evolution, *Microbiol. Rev.* 51, 221-271.
2. Meyer, T. E., and Cusanovich, M. A. (2003) Discovery and characterization of electron transfer proteins in the

- photosynthetic bacteria, *Photosynth. Res.* 76, 111-26.
3. Pettigrew, G. W., and Moore, G. R. (1987) Chapter 3: The function of bacterial and photosynthetic cytochromes *c*, in *Cytochromes c: Biological Aspects* pp 113-142, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
  4. Ambler, R. P. (1991) Sequence variability in bacterial cytochrome *c*, *Biochim. Biophys. Acta* 1058, 42-47.
  5. Hochkoeppler, A., Zannoni, D., Ciurli, S., Meyer, T. E., Cusanovich, M. A., and Tollin, G. (1996) Kinetics of photo-induced electron transfer from high-potential iron-sulfur protein to the photosynthetic reaction center of the purple phototroph *Rhodospirillum rubrum*, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 93, 6998-7002.
  6. Schoepp, B., Parot, P., Menin, L., Gaillard, J., Richaud, P., and Verméglio, A. (1995) In vivo participation of a high potential iron-sulfur protein as electron donor to the photochemical reaction center of *Rubrivivax gelatinosus*, *Biochemistry* 34, 11736-11742.
  7. Menin, L., Yoshida, M., Jaquinod, M., Nagashima, K. V. P., Matsuura, K., Parot, P., and Verméglio, A. (1999) Dark aerobic growth conditions induce the synthesis of a high midpoint potential cytochrome *c<sub>8</sub>* in the photosynthetic bacterium *Rubrivivax gelatinosus*, *Biochemistry* 38, 15238-15244.
  8. Nagashima, K. V. P., Matsuura, K., Shimada, K., and Verméglio, A. (2002) High-potential iron-sulfur protein (HiPIP) is the major electron donor to the reaction center complex in photosynthetically growing cells of the purple bacterium *Rubrivivax gelatinosus*, *Biochemistry* 41, 14028-14032.
  9. Menin, L., Schoepp, B., Parot, P., and Verméglio, A. (1997) Photoinduced cyclic electron transfer in *Rhodocyclus tenuis* cells: participation of HiPIP or cyt *c<sub>8</sub>* depending on the ambient redox potential, *Biochemistry* 36, 12183-12188.
  10. Verméglio, A., Li, J., Schoepp-Cothenet, B., Pratt, N., and Knaff, D. B. (2002) The role of high-potential iron protein and cytochrome *c<sub>8</sub>* as alternative electron donors to the reaction center of *Chromatium vinosum*, *Biochemistry* 41, 8868-8875.
  11. Ng, T. C. N., Laheri, A. N., and Maier, R. J. (1995) Cloning, sequencing, and mutagenesis of the cytochrome *c<sub>4</sub>* gene from *Azotobacter vinelandii*: characterization of the mutant strain and a proposed new branch in the respiratory chain, *Biochim. Biophys. Acta* 1230, 119-129.
  12. Jenney, F. E., and Daldal, F. (1993) A novel membrane-associated *c*-type cytochrome, cyt *c<sub>y</sub>*, can mediate the photosynthetic growth of *Rhodobacter capsulatus* and *Rhodobacter sphaeroides*, *EMBO J.* 12, 1283-1292.
  13. Myllykallio, H., Zannoni, D., and Daldal, F. (1999) The membrane-attached electron carrier cytochrome *c<sub>y</sub>* from *Rhodobacter sphaeroides* is functional in respiratory but not in photosynthetic electron transfer, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 96, 4348-4353.
  14. Turba, A., Jetzek, M., and Ludwig, B. (1995) Purification of *Paracoccus denitrificans* cytochrome *c<sub>552</sub>* and sequence analysis of the gene, *Eur. J. Biochem.* 231, 259-265.
  15. Kimura, Y., Alric, J., Verméglio, A., Masuda, S., Hagiwara, Y., Matsuura, K., Shimada, K., and Nagashima, K. V. P. (2007) A new membrane-bound cytochrome *c* works as an electron donor to the photosynthetic reaction center complex in the purple bacterium, *Rhodovulum sulfidophilum*, *J. Biol. Chem.* 282, 6463-6472.
  16. Masuda, S., Tsukatani, Y., Kimura, Y., Nagashima, K. V. P., Shimada, K., and Matsuura, K. (2002) Mutational analyses of the photosynthetic reaction center-bound triheme cytochrome subunit and cytochrome *c<sub>2</sub>* in the purple bacterium *Rhodovulum sulfidophilum*, *Biochemistry* 41, 11211-11217.
  17. Van Driessche, G., Vandenberghe, I., Devreese, B., Samyn, B., Meyer, T. E., Leigh, R., Cusanovich, M. A., Bartsch, R. G., Fischer, U., and Van Beeumen, J. J. (2003) Amino acid sequences and distribution of high-potential iron-sulfur proteins that donate electrons to the photosynthetic reaction center in phototropic proteobacteria, *J. Mol. Evol.* 57, 181-199.

## 第7回日本光合成研究会シンポジウム報告

日本光合成研究会常任幹事 高橋裕一郎  
(岡山大学大学院自然科学研究科)

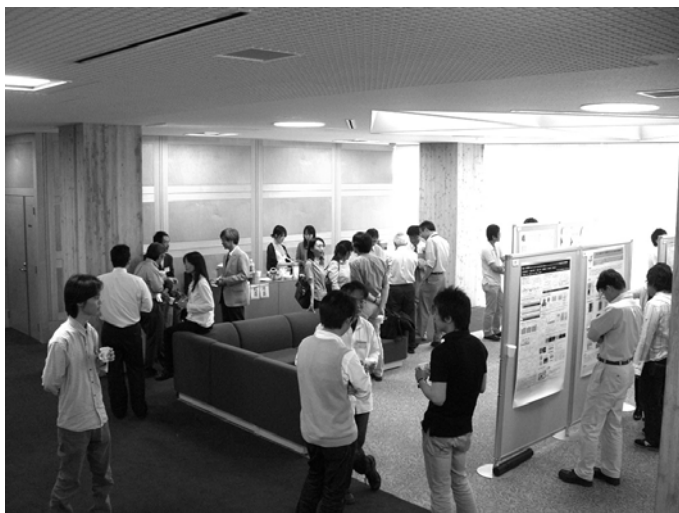
平成19年度の日本光合成研究会のシンポジウムは、5月25日午後1時から26日午後1時まで、108名の参加者を集め岡山大学50周年記念館で開催されました。開催の準備・運営は、岡山大学の沈建仁、山本泰と私が中心となり研究室のスタッフ・学生の協力を得ながら進めました。本シンポジウムでは光合成研究を新展開させるための戦略や、新しい光合成生物材料と実験手法について考えてみよう、メインテーマは「広がる光合成研究の世界：多様性、極限環境、新たなアプローチ」に決めました。また、参加者間の情報交換や交流が活発に行われるように、会場の設定やコーヒーなどのサービスに気を配りました。



1日目のセッション1では、「極限環境下に広がる多様な光合成」のサブテーマで4講演（兵庫県立大の小池裕幸氏、名古屋大学の伊藤繁・小村理行氏、北海道大学の鈴木光次氏、国立極地研の工藤栄氏）が、2日目のセッション2では「ブレイクスルーをめざせ！新アプローチ」のサブテーマで5講演（京都大の福澤秀哉氏、東京大の寺島一郎氏、兵庫県立大の菓子野康浩氏、静岡大の本橋令子氏、九州大の鹿内利治氏）が行われました。また、講演の合間を縫ってポスターセッションも行われました。



今回は若手研究者の参加を促すためにポスターセッションの充実に努めました。発表者がパワーポイントの図を使った2分間の自己アピールする時間を設け、さらに伊藤会長の発案でポスター賞を参加者の投票で選びました。そのせいかもしれませんが、39演題ものポスター発表があり、ポスターセッションでの討論もこれまで以上に熱心に行われたようです。日本の光合成研究



のアクティビティの高さを実感するとともに、若手研究者の光合成研究に対する熱意を感じることができました。ポスター賞の受賞者の表彰は当日の懇親会会場で行われましたが、受賞者のうれしそうな表情が印象的でした。今回の試みはポスター発表した全員にとって大きな励みになったのではないかと思います。来年も同様な試みを続けられたら素晴らしいと思います。さらに新しい試みとして、企業展示の2社の担当者にも2分間の自社製品の宣伝をしていただきました。2社とも日本光合成研究会の賛助会員であり、財政面からも研究会にとって重要なメンバーです。今回はその存在を会員に強くアピールできたのではないかと思います。

今回のシンポジウムの開催にあたり、快く参加を引き受けていただいた演者の方々、座長の方々、機器展示の企業、そして開催を裏から支えてくれた岡山大学のスタッフ・学生に感謝いたします。本シンポジウムは前会長の村田紀夫氏の発案で毎年5月の最終週の金・土の2日間で開催することになっており、今回は7回目でした。来年は九州大の鹿内利治氏、大阪大の大岡宏造氏、名古屋大の藤田祐一氏が中心となり、名古屋大学で5月30日(金)・31日(土)に開催される予定です。今から予定表にチェックを入れ、数多くの方が参加されることを期待します。



## 第7回日本光合成研究会シンポジウムポスター賞受賞者

全参加者の投票により、以下の6名の方々（得票順；同票の場合、五十音順）の発表がポスター賞を受賞されました。受賞者の方々の研究については、順次、会報「光合成研究」にて、紹介していく予定です。

- 1位 田邊優貴子（総合研究大学院大・極域科学）  
「南極湖沼生態系における藻類の強光・紫外線に対する適応 -光合成色素・補助色素に関する研究-」
- 2位 河地有木（日本原子力研究開発機構）  
「植物分子イメージングによる光合成機能の可視化」
- 2位 三浦栄子（岡山大・資源生物科学研）  
「斑入り変異体を用いた葉緑素分化における遺伝学的機能解析」
- 4位 藍川晋平（兵庫県立大・大学院・生命理学）  
「アイスアルジーの光エネルギー散逸」
- 5位 小村理行（名大・院・理）  
「ピコ秒蛍光寿命測定による乾燥地衣類の多様な光阻害防御機構の発見とメカニズムの解明」
- 5位 得津隆太郎（北海道大・低温研）  
「クラミドモナスにおけるCP29-RNAi株の解析（CP29はステート遷移に必須である）」



受賞者の方々と伊藤会長。左から、得津さん、藍川さん、河地さん、三浦さん、田邊さん、伊藤会長、小村さん。

## ドイツ-日本二国間ワークショップ

“Evolution of complexity from primitive cyanobacterial cells to  
chloroplasts: Basics and potential applications”

東京大学大学院総合文化研究科 池内研究室  
学振特別研究員 (PD)  
小山内 崇

ドイツの空の玄関フランクフルト空港から電車で西へ約2時間。St. Goar (ザクトゴアール) にあるラインフェルス城は眼下にライン川を望み、対岸は多く船人が妖精の歌声に心を奪われ、命を落としたというローレライ伝説の舞台。戦争で破壊された古城を改築したホテルにおいて、ドイツ-日本のシアノバクテリアの研究者を中心とした約30人が集まり、二国間ワークショップが開催されました。



ワークショップが行われたラインフェルス城ホテル

ワークショップは、ルール大学 Rögner 先生、東大佐藤直樹先生主催により、6月10日から15日に渡り開催され、口頭発表が一人45分の持ち時間、またポスター発表が7演題と、各研究に対する議論が充分に行われるように計画されたものでした。研究発表はシアノバクテリアのみならず、灰藻、紅藻、地衣類、高等植物のオルガネラなどについても行われ、また研究は、生化学、分子生物学的手法はもちろんのこと、蛍光測定を始めとする物理化学的手法やスーパーコンピュータを使った *in silico* 解析など、手法の面からも非常に多岐に渡っておりました。発表に対する質疑、討論も途絶えることなく続き、このような議論を通じて、研究領域の異なる研究者が協同、協調し、新しい研究領域を切り開いていくのであらうと感じさせられました。

エクスカッションでは会合4日目の午後に、St. Goar の南に位置する Bacharach まで船でライン川を上り、ワインのテイスティングを行いました。ドイツでワインのテイスティングと聞き、さぞかしお洒落なイベントであらうと思いきや、船を降りた途端に近くの駐車場でおもむろにグラスを渡され、ワインを載せた車が到着、その場で一杯目を飲みました。その後、各自空のグラスを持ったまま Bacharach の町を散策し、いくつかのポイント（といっても道端）にワインを載せた車が到着、その場



エクスカージョンにて、ライン川を船で St.Goar から Bacharach まで向かう途中  
右から佐藤先生、三室先生、伊藤先生



エクスカージョンの船上で Forchhammer 先生 (右) にビールを奢ってもらった後の筆者 (左)

で立ち飲みをするという、なんとも手作りでのんびりとした旅となりました。ちなみに、ドイツ側の研究者たちも、こんな道端で立ったまま飲んだりしたことはないと言っていたため、両国の研究者にとって貴重で楽しい体験となったようです。

このような少人数で長期間に渡って開催されるワークショップの利点は、時間の問題から普段の学会等では十分にできない議論、または話題に上らない話をする機会があることと思われます。基生研村田紀夫先生からは「私は研究において、常にリスクのあることだけを行ってきた。心が躍らなければ研究をやる意味がない」という信念を拝聴し、結果の出やすい研究に流れてしまいがちな自分の研究計画について強い戒めを感じるとともに、このような話を個人的にして頂ける機会を持てたことに大きな感動を覚えました。また、名大伊藤繁先生から（会報には書けないものを含めた）光合成研究会裏話や研究室運営方針、京大三室守先生の国際的な会合を主催する苦勞話、埼大西田生郎先生のポップでシュールなジョークなど、普段は体験できない先生方の幅および懐の深さに感動しました。個人的なこととしては、2、3年前まで競合相手であったチュービンゲン大学 Forchhammer 先生とすっかり仲良くなってビールを奢ってもらったり、ベルリンフンボルト大学 Wilde 先生、オランダアムステルダム大学 Matthijs 先生と勝手に共同研究の約束を取り付けたりと、非常に有意義な会合となりました。

2年に一度開催される日本-ドイツ二国間の研究交流会。次回は2年後の2009年に日本で行われる予定です。今回参加した研究者の研究が如何に発展するか、また新たに参加する研究者の斬新な研究が見られるか。2年後の会合が今から待ち遠しくなる、そんな St. Goar での会合となりました。

## 集会案内

---



### 第7回光合成生物におけるテトラピロール光受容体に関する国際会議

### 7th International Congress on Tetrapyrrole Photoreceptors in Photosynthetic Organisms (7th ICTPPO)

〔日時〕 2007年12月9日(日)～14日(金)

〔会場〕 京都テルサ(京都市南区東九条下殿田町70番地(新町通九条下ル 京都府民総合交流プラザ内) tel: 075-692-3400)

〔主催〕 7th ICTPPO 組織委員会

〔共催〕 日本光合成研究会

〔後援〕 日本光生物学協会、日本植物学会、日本農芸化学会、日本植物生理学会

〔主旨〕 テトラピロールはクロロフィル、フィコビルリンやフィトクロム発色団など、光合成生物の多様な反応に関与している植物色素です。近年の分子生物学の発展に伴い、生合成および分解に関わる酵素遺伝子のほぼ総てが単離、同定され、その代謝系の全貌が明らかになるとともに、新たな制御機構なども明らかにされつつあります。さらに、テトラピロールを使用した光線力学療法 (photodynamic therapy) など、新たな医療の研究分野が開拓されています。第7回となる本国際会議はアジアで初めて開催されるもので、光合成生物のテトラピロールの機能や応用などを総括的な討論を行います。プログラムにある5つの課題 (1. Chlorophyll metabolism – Synthesis, 2. Chlorophyll metabolism – Degradation, 3. Primary processes in photosynthesis, 4. Bilin metabolism, 5. Photodynamic Therapy (PDT) as an application of tetrapyrroles) について、世界中から先端的な研究者が発表を行い、またポスター発表による討論も行います。

〔ポスター発表申し込み締め切り〕 10月1日

〔参加費〕 (10月1日まで/10月2日以降) : 一般 37,000円/43,000円、学生 31,000円/37,000円、バンケット 8,000円/8,000円

〔問い合わせ〕 京都大学大学院 地球環境学堂 三室 守

E-mail: [mamo-mi@mm1.mbox.media.kyoto-u.ac.jp](mailto:mamo-mi@mm1.mbox.media.kyoto-u.ac.jp)

〔参加登録・発表申し込み〕 ホームページ

[http://park.itc.u-tokyo.ac.jp/masuda\\_lab/7th\\_ICTPPO/index.html](http://park.itc.u-tokyo.ac.jp/masuda_lab/7th_ICTPPO/index.html)

## 新刊図書

# 光合成の科学

東京大学光合成教育研究会編

A 5判/304頁/税込 3990円(本体 3800円)

ISBN978-4-13-062214-1 発売日:2007年6月20日

光合成は太陽エネルギーを生命世界に取りこみ、有機物をもたらす。光合成の基礎から応用までを、ゲノム研究や遺伝子操作、環境問題や食糧供給との関わりといった新しい視点を加え、豊富な写真と図表(約100点)を用いて解説する。また、興味深い現象や解説の必要なトピックについては、コラムを設けて詳述する。

### 【東京大学光合成教育研究会】

池内昌彦・佐藤直樹・園池公毅・田中 寛・箸本春樹・増田 建・村田 滋・和田 元

#### 【目次】

- 1 ● 光合成について考えてみよう  
光合成とは/光合成研究の歴史/本書の構成
  - 2 ● 生命世界は光合成が作り上げた  
地球上のエネルギーの流れと光合成/地球上の炭素の循環と光合成/地球と生命の歴史を作った光合成/生命世界の縮図としての光合成
  - 3 ● 多様な光合成生物の姿  
陸上植物と藻類-植物とは何か/光合成を担う原核生物/環境に適応した植物-光と水を求めて
  - 4 ● 光合成を支える細胞構造  
葉と葉緑体の構造 コラム さまざまなタイプの色素体とその相互変換 コラム ミトコンドリアは葉緑体の兄弟分/シアノバクテリアの構造/光合成膜を作り上げる物質/地球上で一番多い脂質が光合成を支える
  - 5 ● 光をとらえて利用するしくみ  
クロロフィルが光エネルギーを吸収する コラム クロロフィルの吸収スペクトル/いろいろな光合成色素 コラム 一重項状態と三重項状態/新しく発見されたクロロフィル コラム 海苔は何色か?/どうやって光を集めるか コラム 光のエネルギー
  - 6 ● 光合成膜で起きるはじめの反応  
光エネルギーの変換と炭酸固定 コラム 酸化と還元/光化学系/電子伝達/ATPの合成 コラム 光化学系の結晶構造が謎をよぶ
  - 7 ● 植物の体を作るための物質同化反応  
広い意味での光合成/カルビン回路と糖の合成/ソースとシンク, デンプン合成/窒素とイオウの同化のしくみ
  - 8 ● 光合成を助けるしくみ  
光呼吸/C<sub>4</sub>光合成とCAM代謝/気孔の開閉/葉緑体運動/光走性と光屈性
  - 9 ● 葉緑体を機能させるための遺伝子  
葉緑体と核の遺伝子/葉緑体(色素体)の遺伝子発現系 コラム 遺伝子発現のしくみ/葉緑体から核へのシグナル伝達/遺伝子操作
  - 10 ● 葉緑体を作り増やすしくみ  
タンパク質の合成と供給/脂質の合成/色素合成の制御/色素体は分裂でふえる コラム 葉緑体と核はそろってふえるのだろうか
  - 11 ● 環境に適応する光合成のしくみ  
葉緑体形成には光が必要/概日リズム/光の色と強さを見分けるしくみ/光もストレスになる コラム カロテノイドの役割/炭素と窒素をバランスよく取り入れる/暑さ寒さにどうやって耐えるか
  - 12 ● 光合成生物の進化とゲノム科学  
光合成はどのようにして始まったか-光合成細菌からシアノバクテリアへ コラム 窒素固定と酸素発生の共存のしくみ/葉緑体の誕生と細胞内共生説 コラム 系統樹の作り方と見方/光合成をするのは2本べん毛生物 コラム マラリア病原体は植物か/陸上植物の進化
  - 13 ● 光合成は生命世界を作り続ける  
光合成研究の最先端と応用(ゲノムが拓く光合成科学/光合成は地球温暖化を解決できるか?/砂漠の緑化/人工光合成について)/食糧・環境問題は解決できるか(地球生態系と人間/CO<sub>2</sub>濃度増大の影響/食糧・環境問題は解決できるか)
- 参考文献/さらに学ぶために  
索引

\*\*\* 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](mailto: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
- 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)
- 坂本 亘 岡山大学資源生物科学研究所
- 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
- 鹿内利治 九州大学農学研究院
- 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
- 高市真一 日本医科大学生物学教室
- 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堂
- 宮地重遠 海洋バイオテクノロジー研究所
- 村田紀夫 基礎生物科学研究所
- 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
- 横田明徳 奈良先端科学技術大学院大学  
バイオサイエンス研究科

**編集後記**

グラスゴーでの国際光合成会議から帰ってきてから風邪を引いてしまい、夏だというのにゴホゴホしながら編集後記を書いています。植物とシアノバクテリアの話題が続きましたので、今回は、光合成細菌の話題から首都大の永島さんに、最新の研究について解説記事を書いていただきました。また、先日の日本光合成研究会シンポジウムでのポスター賞受賞者の中から、まずは名大の小村さんに、地衣類の乾燥耐性のしくみについての研究成果をまとめていただきました。夏休み返上で原稿を書いていただき有難うございました。

<筑波大学 野口 巧>

\*\*\*\*\*

**日本光合成研究会 2007-2008 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	鹿内利治 (九州大学)	(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	高橋裕一郎 (岡山大学)	(企画担当)
常任幹事	高市真一 (日本医科大学)	(企画担当)
常任幹事	小川健一 (岡山県生物科学総合研究所)	(企画担当)
会計監査	小保方潤一 (名古屋大学)	
庶務	中村洋子 (名古屋大学)	

\*\*\*\*\*

光合成研究 第17巻 第2号 (通巻49号) 2007年8月27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