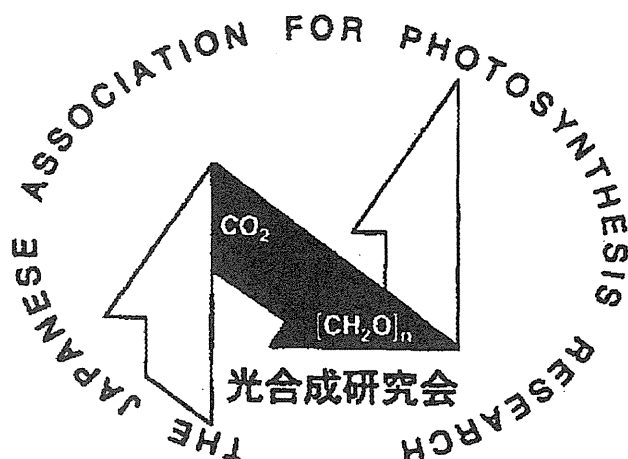


光合成研究会 会報

第25号 1999年 3月



NEWS LETTER No. 25 March 1999

THE JAPANESE ASSOCIATION FOR PHOTOSYNTHESIS RESEARCH

NATO ADVANCED RESEARCH WORKSHOP The Chloroplast: From Molecular Biology to
Biotechnology に参加して

名古屋大学生物分子応答研究センター 小川晃男 3

第11回国際光合成会議 「光捕集系システム」に関するサテライト集会に参加して

山口大学理学部 三室 守 6

日米情報交換セミナー "Proton Coupled Electron Transfer" に参加して

理化学研究所・光合成科学 野口 巧 8

日米情報交換セミナー「炭酸固定反応と光合成器官に対する環境変化の影響 (The Effects
of Environmental Conditions on CO₂ Fixation and the Photosynthetic Apparatus)」の概要

名古屋大学大学院生命農学研究科 小俣達男 10

日本におけるフランスイヤー記念事業 日仏共同セミナー "PHOTOSCIENCE (光科学の新
展開)" 印象記

農水省農業生物資源研究所 徳富(宮尾) 光恵 15

誌上討論会 光呼吸の意義、ふたたび

東北大学大学院理学研究科生物学専攻 彦坂幸毅 17

比較生態生理学ノススメ

大阪大学大学院理学研究科 寺島一郎 22

ラン藻の cAMP 信号伝達系 – やっと遺伝子と生理現象が結ばれました –

東京大学総合文化研究科生命環境科学系 寺内一姫、大森正之 25

光合成進化をめぐる新事実：見えだした PS II 構造と新型光合成

基礎生物学研究所 伊藤 繁 28

次期会長選挙についてのお知らせ 33

会則 34

編集後記 35

会員名簿 36

NATO ADVANCED RESEARCH WORKSHOP The Chloroplast: From Molecular Biology to Biotechnology に参加して

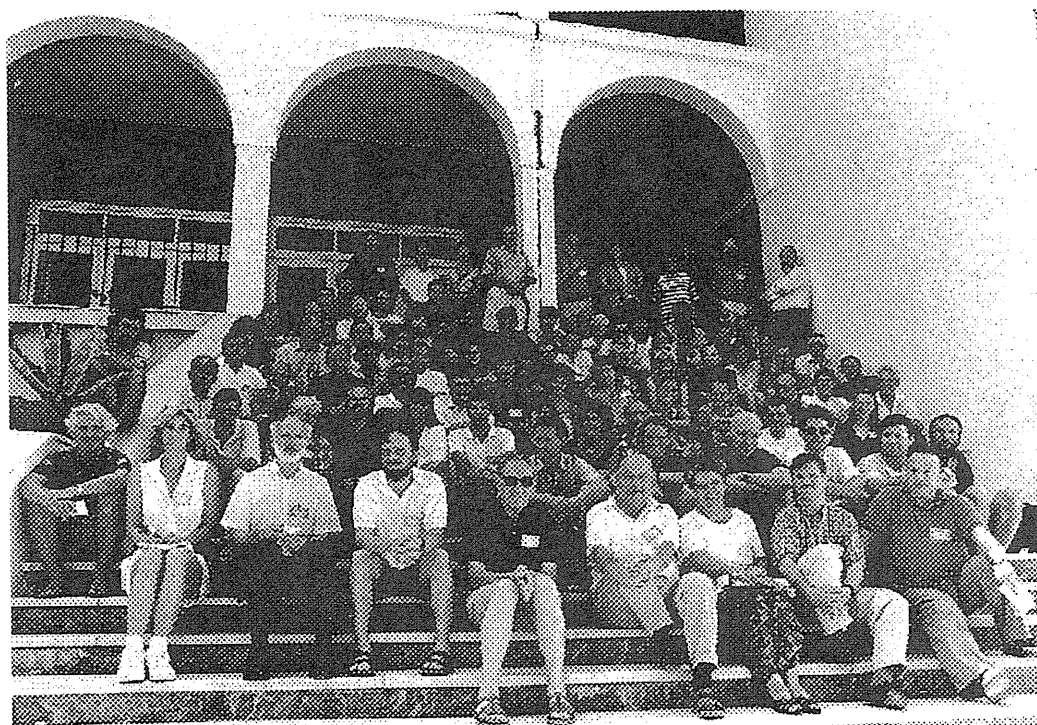
名古屋大学生物分子応答研究センター 小川晃男

参加申し込み締め切りも既に過ぎた頃、このシリーズのワークショップもこれが最後だろうとの噂とクレタ島の魅力に惹かれて、Joan Akoyunoglouに問い合わせたところ、まだ受け付けるとの返事をもらい、急遽参加を決意した。その後、Wim Vermaas が船でクレタ島に渡ることを知り、私も同じ船を利用することにした。午後8時半にアテネ郊外のピレウス港を出航した船はまだ暗いハニア港に午前6時前に到着し、同じ船で着いたGeorge Papagiorgioの学生たちとタクシーでワークショップ会場となるThe Orthodox Academy of Creteに向かった。この海に面した会場はギリシャ正教会(クレタ正教会?、本土の正教会とは別組織である)が会議場として建てたもので、宗教関係以外にも様々な会議が開かれるらしい。会議場(宿泊施設も完備している)はハニアの町からはかなり離れた辺鄙な場所に位置しており、古い僧院に隣接している。ワークショップ期間中に僧院を訪問する機会があったが、戦時中ナチスに占領され、かなりの貴重な書物が燃料として燃されたらしい。

ワークショップは8月10日の夜、Akoyunoglou, Senger、ハニアの市長の挨拶で始まったが、以下の6つのセッションからなっており、40の講演と50のポスターによる発表があった。1) Molecular structure of key photosynthetic proteins, 2) The chloroplast envelope and protein import, 3) Pigment biosynthesis-Regulation and biotechnological approaches, 4) Regulatory mechanisms in photosynthetic unit assembly, 5) Gene expression and its regulation, 6) Chloroplast genetic manipulation and biotechnological approaches. まず、BarberおよびKraussによる光化学反応系IIおよびIの結晶解析についての講演があり、ついでMoudrianakisが”CF1はマツダのエンジンか?”のタイトルで講演した。私は約30年前に30歳そこそこで米国の大学教授になったばかりの新進気鋭のギリシャ人だった彼に箱根で開かれたワークショップで会ったことがあるが、今回は好々爺といった感じに変身していた。彼はクレタ島出身で出生地はハニアの近くだと言っていた。第2のセッションではチラコイドルーメンへの蛋白輸送について、Sec系とDpH系についての講演があり、DpH系に関与する遺伝子、*hcf106*、やアラビドプシスの *ppi* (plastid protein import) 変異株においてT-DNAが挿入されている遺伝子等についての発表があった。また、RochaixのグループのRollandがYCF10を欠損したクラミドモナスについて講演したが、私達がポスターで発表したシアノバクテリアにおける相同遺伝子 *pxcA* (*cotA*) の機能解析が先行してると感じた。第3のセッションではRuedigerらがクロロフィルbの生合成の話をしたが、ほとんどが田中明さんらの仕事で、田中さんを引用したものの講演者グループに含まれていないのはおかしいと思った。また、ポスターで宮地重遠さんらのグループがクロロフィルdの発表を行い注目されていた。第4のセッションではChitnisによるPsaBのsite-directed mutationsがPSIの安定性に及ぼす影響、Vermaasによるpilin-type proteinがクロロフィル輸送体であるとの提唱、Pakrasiによる*Synechocystis* SCC6803のチラコイド膜と細胞質膜の新しい分離法とヘテロな膜組成、OhadらのpH shiftによるチラコイド

膜蛋白の燐酸化等多岐にわたる講演があった。また、山本由弥子さんと佐藤公行さんによるD1タンパク前駆体のCtpAによるプロセッシングに関するポスター発表があった。第5のセッションでは葉緑体psbAmRNAに転写後ポリAが付加される話や mRNAの安定性、プロセッシング等についての講演があった。第6のセッションでは予定されていた村田紀夫さんの講演が取りやめになり、Hirschbergによるカロチノイド合成系遺伝子の改変等の講演があった。

ワークショップのスケジュールはかなりゆったりしており、クノッソス宮殿とヘラクリオン博物館への半日エクスカーショ、ハニア旧港（アンソニー・クイン主演の名画「ゾルバ」のロケはここで行われたらしい）訪問、クレタ音楽とダンスとバーベキューパーティー等ワークショップ期間中連日皆で飲んで踊って楽しい日々であった。ワークショップ会場の近くの海岸には各国から集まった青年たちが共同で作った石造の円形舞台があり、そこでもバーベキューパーティーの後、皆で輪になってダンスをした。ダンスの指導は地域のボランティアの若者たちが行ったが、その中の1女性の名前がアリアドネ（アテネからきた王子に助けられてクノッソス宮殿から脱出し、ナクソス島に置き去りにされた伝説上の王女—オペラにもなっている）で皆で拍手喝采した。とにかく、この場所から見る日没の見事さには息をのむ思いであった。ワークショップ終了後、再びVermaasと夜行の船でピレウス港へ渡った。早朝に到着したので、バスでスニオン岬のポセイドン神殿跡に行き、ここを訪れたパイロンに思いを馳せながら午後のブタペストへの出発までのすばらしい一時を過ごした。



ワークショップ参加者



クレタ島のアリアドネ

第 11 回国際光合成会議 「光捕集系システム」に関するサテライト集会に参加して

山口大学 理学部 三室 守

表記のサテライト集会が本会議の開催される直前（8 月 14 日－16 日）に、ブタペストから北西へ約 70 km 程離れた小さな町、Tata で開催された。これは、三田（第 9 回）、Nant（第 10 回）に続くものである。オーガナイザーは、Bruno Robert, Rienk van Grondelle, Gyoza Garab, Balazs Szalontai の 4 氏で、Tata の町は Szalontai 氏の生まれ故郷でもあった。討議は 3 日間、午前と夕方、夕食後の 3 つのセッションに分けて行なわれた。午後はポスター討論の時間もあった。参加者は約 100 名であった。全体を通して終始 和やかな雰囲気ではあるが随所に競争意識が見られる討論が続いた。

光合成アンテナ系でのエネルギー転移機構に関しては、結晶構造の解析と超高速分光法の共同作業によって、教科書に書いてある事項がほぼ意味のないものになりつつある、という現状がある。Foerster model はフィコビルン系を除いては実際に起こっているエネルギー転移過程を説明することはできず、さりとて、総ての系が強い相互作用（励起子）でも説明できず、今、新しい理論が求められているのである。約 10 年前から続いているこうした認識に基づいて会議は進んでいった。

議論の対象は、紅色光合成細菌（LH 1, LH 2）、緑色光合成細菌（クロロソーム、FMO 蛋白質）、それに付け足しのように高等植物を含む酸素発生型光合成生物であった。

紅色光合成細菌の結晶構造解析はさらに進められ、*Rps. acidophila* では B800-850 complex は 2 Å の解像度になり、同時に B800-820 complex の refinement も進み、スペクトルシフトと側鎖の相互作用が明らかになってきた。Cogdell らによれば、acetyl carbonyl 基が red-shift の一番の要因との報告である。Ghosh らの LH 1 の解析は進展が遅い。

次には、site-directed mutagenesis を用いたアミノ酸側鎖と色素の相互作用からスペクトルの性質を論じる発表（Niederman ら）、色素を置換することにより性質を調べる発表（Scheer ら）があり、さらに様々な分光技法を用いた解析の発表が続いた。Small らは Stark Hole-burning spectroscopy から B850, B875 の励起状態での双極子モーメントの変化が小さいことから、彼らが開発した対称構造の disorder の理論に基づいて解析し、励起状態の完全な非局在化は起こらないし、完全な局在化も起こらない、事を示した。数分子の間での非局在化が起こる、とする最近の考えを支持するものである（Small はいつも通りに本会議には出ないで帰国した）。励起移動の時間は、幾つものグループが様々な方法で測定し、40-60 fs、長くても 100 fs という値に収斂している（Sundstrom、van Grondelle、Parson らのグループ）。しかし、この時間に観測される内容は、時間依存のストークスシフト、励起子状態への平衡化過程、さらには不均一なサイトへの励起のホッピング、などが含まれていると考えられる。見かけ上、 $S_{1,0,0}$ 状態への励起であるから振動緩和過程は含まれないが、励起子状態としては必ずしも最低励起状態ではない状態からの緩和過程であることは明白で、更なる緩和過程などを含め、今後の課題は残る。

カロテノイドからの励起エネルギー転移過程についても報告があった。Schulten らは、*Rps.*

acidophila と *R. molischianum* の結晶構造に基づいて、両者でのカロテノイドの configuration の違いなども含めた励起転移行列要素の厳密な計算を始めることが重要であるとの認識から解析を開始したと報告した。我々が既に 93 年に発表していた論文を引用して、対称性、BChl との相対位置、などの重要性を強調した。

緑色細菌ではクロロソームでの BChl の自己会合体の構造が長年の議論的であるが、FMO 蛋白質の結晶構造が Arizona の Allen らによって新たに報告されて以来、違った様相を呈してきた。

Bryant らは *Chlorobium tepidum* のクロロソームの Envelope に存在するとされる 2 種の蛋白質、CsmJ (23.9 kDa), CsmI (25.9 kDa) が大腸菌の [2Fe-2S] の Ferredoxin と関連があることを ESR などを用いて示した。一方、自己会合体の議論は小休止の感があり、発表が少なかった。その中で、関西学院大の小山氏のグループ、立命館大の民秋氏のグループが、それぞれ NMR 測定、モデル系についての発表を行っていた。従来とは傾向が変わった発表が Miller からあり、BChl *e* を主な色素とする *Chlorobium phaeobaceteroides* では自己会合体が 530 nm に吸収体を持つことで緑色光を利用している、という内容であった。この細菌ではカロテノイドは主要なアンテナにはなっていないことが定常系の測定、および時間分解測定 (Gillbro ら) の双方で示された。

Amesz らは 2 種の緑色硫黄細菌 *Prostecochloris aestuarii* と *Chlorobium tepidum* での RC での色素組成を調べ、前者では Chl *a*₆₇₀ 4 分子あたり BChl *a* が 16 分子、後者では 4 Chl *a*₆₇₀ あたり 18 BChl *a* という値を報告した。Allen らの報告以来、FMO 蛋白質の 7 分子の BChl *a* の中で最もエネルギー準位の低い色素を同定しようとする動きが活発であるが、確定には至らなかった。

高等植物のアンテナ系での最大の焦点は LHC II の色素の assignment である。生化学的には 14 分子存在するとされるが結晶構造では未だに完全には見えていない色素を含めて、蛍光を指標にした速度論的な解析から、色素の同定をしようとする試みである。Chl *a* は LHC II の構造を維持している 2 本のヘリックスに近い場所にあり、やや離れて Chl *b* が存在するという基本的な位置は正しいとされるが、従来は Chl *a* が占めると考えられていたサイトに Chl *b* を当てるグループがあるなど意見の一致をみることはなかった。ここでも Holzwarth と van Grondell のグループの意見の対立がいつものように繰り返された。

この他にも、LHC II の再構成の際に色素が構造維持の役割を持つことや、LHC I での長波長アンテナの意義であるとか、最近明らかになった Peridinin-Chlorophyll-Protein でのエネルギー転移過程などの発表があった。我々はフィコビルン蛋白質についての基準振動解析結果を報告し、結晶構造に見られる静的な構造ではなく動的構造の意義を強調した。

アンテナ系でのエネルギー転移過程の解析は停滞気味である。極めて高度な分光学的な解析は可能となったが、実験事実を説明する理論がないのである。今回のサテライト会議でもこの点は解決ができなかった。スマートな方法ではなく、力で行列要素を求めるとか、複数の光を用いる時間分解分光法を徹底的に行なうとか、そんな荒業が必要かも知れない。そうした先に少し理論が見えてくる、そんな印象を持った会議であった。

今回はオーストラリアで開催される。最も近い外国のひとつである日本から、私にサテライト集会の世話人のひとりとしてのお役目が割り当てられている。

日米情報交換セミナー"Proton Coupled Electron Transfer"に参加して

理化学研究所・光合成科学

野口 巧

11月12日から15日にかけて、ハワイ島コナにおいて、"Proton Coupled Electron Transfer"と題した日米情報交換セミナーが開催された。中心議題はタイトル通り生体系における電子移動反応とプロトン移動反応の関連で、光合成系、呼吸系、及びバクテリオロドプシン系の各分野から、日本側14名、アメリカ側13名の研究者が集まり、活発な議論が行われた。オーガナイザーは日本側が分子研の北川禎三教授、アメリカ側がカルフォルニア大サンジェゴ校のMelvin Okamura教授とミシガン州立大のGerald Babcock教授ということで、理論物理、分光学、構造生物学など、主に生物物理学的な見地で研究を行っている研究者が出席者として顔を揃えた。

光合成と呼吸は、逆向きの生体エネルギー変換過程であり、特に、チトクロムcオキシダーゼの O_2 還元反応と光化学系IIの O_2 発生反応は、正に逆の化学反応にあたる。ただ、これまでは、酵素自体に特に共通点はないと考えられ、単に別々の酵素反応として研究が進められてきた。しかし、近年、Babcock教授らにより、光化学系IIにおけるチロシン残基 Y_Z によるプロトン引き抜きモデルが提唱され、チトクロムcオキシターゼにおけるチロシン残基の関与したプロトン移動反応との類似が指摘されるにつれ、これらの酵素は互いに共通した分子機構を用いて反応系を構築しているのではないかという考えが生まれてきている。本セミナーは、こうした背景を踏まえ、光合成系と呼吸系の接点を探りながら互いの分野から学び合うことを目指していたように思う。

以下、各セッションの演者の顔ぶれと大雑把な内容を記す。まず、初日の午前のセッションは、呼吸系に関したもので、姫工大の吉川氏、カルフォルニア大サンタクルーズ校のDr. Olof Einarsdottir、東大の小倉氏、イリノイ大のDr. Robert Gennis、東大の茂木氏、及び、カルフォルニア工科大のDr. Brian Craneが、チトクロムcオキシターゼなど呼吸酵素の構造と反応に関する最近の研究について報告した。午後は電子移動反応のセッションで、名大の垣谷氏、ミシガン州立大のDr. Robert Cukier、及び京大の加藤氏が電子移動反応の理論的なアプローチについて述べた。また、京大の大須賀氏は、合成モデル系による電子移動反応の研究について述べ、水素結合でつながった系は共有結合でつながった系に比べ、電荷分離反応の速度はほぼ同じであるが、電荷再結合反応はやや速いという結果を示した。さらに、基生研の伊藤氏は、光化学系Iにおけるキノンの入れ替え実験による電子移動反応の解析と、最近日本で発見されたZn-バクテリオクロフィルやクロロフィルdを持つ光合成生物についての研究結果を話した。尚、このセッションでの講演が予定されていたペンシルバニア大のLeslie Dutton教授は、残念ながら今回は出席できないということであった。

二日目の午前中のセッションでは、酸素発生反応を含め、光化学系IIの酸化側の反応を中心に議論が行われた。まず、岡山大の佐藤氏が、*Synechocystis* PCC6803を用いた、第一電子供与体クロロフィルP680の近傍のアミノ酸残基のsite-directed mutagenesisの結果とrandom mutagenesisにより得られた強光耐性を持つ変異体の解析について述べた。チロシン Y_Z と酸素発生系に関しては、カルフォルニア大リバーサイド校のDr. Richard DebusがD1-His190のmutationの結果が

ら、それが Y_Z のプロトン受容体であることを示し、ミシガン州立大のDr. Gerald Babcockが、酸素発生反応における Y_Z のプロトン引き抜きモデルとその根拠について、また、関西学院大の河盛氏が、 Y_Z のESR信号のpH変化の結果と、低pHでは Y_Z はプロトン化したカチオンラジカルであるというその解釈について述べた。さらに、カルフォルニア大デイビス校のBritt教授の研究室から、院生のKristy Campbellが参加し、Hisの同位体ラベルを用いたENDORの解析から、Mnクラスターを除去した系II標品では、D1-His190は Y_Z とカップルしていないという結果を報告した。Mnクラスターがintactな系でどうなっているかは今後の課題であるとのことであった。また、ミネソタ大のDr. Bridgette BarryがESRやフーリエ変換赤外(FTIR)法を用いた研究について述べ、筆者がFTIRによる酸素発生系及び Q_A の構造や反応の研究について報告した。

二日目午後は、プロトン移動反応のセッションで、まず名大の大峯氏が理論的なアプローチについて、また、松下国際研の平井氏、カルフォルニア大Irvine校のDr. Leonid Brown、京大の神取氏がバクテリオロドプシンの電子線結晶解析、時間分解分光、FTIRの結果をそれぞれ報告した。現在ではバクテリオロドプシンの結晶構造が複数のグループから報告されており、その構造に基づき、反応メカニズムの議論がかなり詳細に行われていたのが印象的であった。三日目最後のセッションは、光合成細菌の反応中心蛋白質のキノン電子受容体について議論された。まず、Dr. Melvin Okamuraが Q_A から Q_B への電子移動速度測定やX線結晶解析に基づき、 Q_B の結合位置が変化するゲート機構の説明をした。次に、北川氏は Q_A と Q_B のアニオンラジカルを含めた共鳴ラマンスペクトル測定の結果を報告し、そのカルボニル基の相互作用を議論した。また、イリノイ大のDr. Colin Wraight、アルゴンヌ国立研究所のDr. Deborah Hanson、ニューヨーク市大のDr. Marilyn Gunnerがプロトン取り込み、mutagenesis、及び理論的解析の結果について述べた。

最初は、異なる分野の人々が集まって果たして議論になるであろうかと多少心配していたが、どのセッションも白熱した質疑応答が繰り広げられ、大変有意義な会議であった。私自身、大きな学会ではめったに話しもできないような研究者の方々とかなり込み入った話をするのができ、個人的にも大きな収穫があったと思う。それにしても、常夏の楽園にやってきて、クーラーの効いたホテルの一室でカンヅメになってサイエンスをやっているというのも奇妙な感覚であった。それでも、オーガナイザーのはからいで毎日昼食後の2、3時間は自由時間となっており、セサナ機でのボルケーノツアーやショッピングを楽しむことができた。日米光合成セミナーもこれで最後ということであるが、日米の中間点のハワイという場所柄と、米側オーガナイザーの一人が日本人よりも日本人らしい日系のOkamura教授であったこともあり、最後にふさわしい充実した日米セミナーであったと思う。

日米情報交換セミナー「炭酸固定反応と光合成器官に対する環境変化の影響 (The Effects of Environmental Conditions on CO₂ Fixation and the Photosynthetic Apparatus)」の概要

名古屋大学大学院 生命農学研究科 小俣 達男

日米科学技術協力事業の「光合成による太陽エネルギーの転換」分野の表記セミナーが11月15日～11月19日にカリフォルニア州モントレーのアシロマ会議場で開催された。

オーガナイザーは日本側小俣、アメリカ側Arthur Grossmanで、日本側16名、アメリカ側20名の計36名（下記参照）が参加して発表と討論が行われた。今回の主要テーマは「光合成に対する環境変化の影響」であるが、このテーマ自体は必ずしも目新しいものではない。従来も個別の環境要因（光強度、温度、水の供給、無機栄養物質の供給など）が光合成に及ぼす影響が解析され、それに対する植物の適応機構についても遺伝子・分子レベルでの知見が集積され、発表されている。しかし、自然界ではこれらの環境要因は相互に強い関連をもちつつ日周変化、季節変化を繰り返しており、自然界の実際の環境変化が藻類や植物の個体、群落レベルでの光合成に与える影響を従来の分子レベルでの知見のみから予測することはできない。そこで今回は、個別的な適応現象に関する分子レベルでの理解を統合するとともに、生理学者や生態学者、さらに地球規模での現象を扱う研究者を含めて情報と意見を交換し、環境変化と光合成との関係について、統合的な理解を得ること（正確に言えばそのような理解に向かう研究の端緒をつくること）を目的とした。以下にこのセミナーの内容の概略を報告する。

CO₂濃度の上昇の影響

今のまま大気中のCO₂濃度の上昇が続くと来世紀末にはCO₂濃度は現在の2倍である700 ppmに達し気温は2～5℃上昇するそうである。今回のセミナーでも植物個体、群落、および海洋、さらに地球全体のレベルにおける高CO₂濃度の光合成に対する影響について発表が行われたが（臼田、小池、牧野、広瀬、Falkowski、Field）、議論の中心は「高CO₂条件下で光合成を制限する要因は何か？」という問いであった。実験的に植物を高CO₂濃度条件下におくと乾物生産は確かに増加するが、光合成活性の上昇は通常一過的にしか見られない。このような光合成活性の抑制の問題をめぐって臼田は貯蔵組織のSinkとしての強さ(sink strength)の重要性を指摘し、小池、牧野は制限因子としての窒素の重要性について論じた。窒素については、その供給の増加によって光合成の抑制が解除される例が報告されたが（小池）、他方イネの場合のように植物体内における窒素の配分が制限因子になっている場合もあるという（牧野）。牧野は、高CO₂条件下で育てたイネにおいて植物体内の窒素配分が必ずしも光合成にとって最適化されていないことに着目し、アンチセンス法でRubiscoへの窒素の配分を抑制した形質転換株を作製してその性質を報告した。一方、海洋（特に太平洋）においても鉄の不足が窒素固定を制限するため、固定窒素の量が光合成の制限因子となっているという（Falkowski）。大陸から海洋への鉄の流入は降水量や風にも影響を受けるので、グローバルな気候の変動如何によってはCO₂濃度が上昇しても海洋における光合成が増加しない可能性もあるとのことであった。

光環境の影響

強光下における光合成の阻害（光阻害）は植物や藻類に固有の問題である。また、光合成は光エネルギーの獲得と消費の微妙なバランスの上に成立しているため、他の環境要因が不適切である場合にも、光エネルギーが過剰となって光阻害に起因する障害を起こすことがある。したがって強光への適応は光合成の環境適応における中心的研究課題であり、今回のセミナーでも光阻害の発生（園池）、回避（Niyogi、Pogson、池内、重岡、徳富）、修復（Melis、Casper-Lindley）の各メカニズムについて、多角的な研究結果が発表された。園池は光阻害を引き起こす種々の環境条件について述べ、また光阻害の機構としてPSIIではなくPSIの障害が中心となる場合があることを報告した。光阻害の回避機構の研究では、変異植物や形質転換植物を用いた詳細な解析結果が注目を集めた（Niyogi、重岡）。Niyogiは¹Chlのnonphotochemical quenching (NPQ) におけるxanthophyll cycleの重要性をアラビドプシスの変異株の解析により確認した。重岡は*E.coli*のカタラーゼを導入した形質転換タバコと野生株の性質の比較、およびアスコルビン酸パーオキシダーゼ（APX）の酸化ストレスへの感受性に基づき、APXによる過酸化水素の消去は光阻害の初期の段階でのみ機能するものであると推定している。遺伝学的研究からは、この他にも従来の知識を越えた新しい知見が得られつつある。ラン藻の変異株の解析からは、長期にわたる強光下での生存にはPSI含量を積極的に低下させることが必要であることが示され、この調節に関わる遺伝子が単離された（池内）。また前述のNiyogiはNPQをほとんど示さないアラビドプシスの変異株を得ているという。これら変異株の解析から光阻害回避機構の未知の側面が明らかになるものと期待される。

一方、弱光下での植物の生産性は、夜間の呼吸速度に大きく左右される。寺島は、弱光下で生育する陰生植物が陽生植物に比べて低い呼吸活性を示すことに着目して研究を行い、これらの植物の間には呼吸の制御機構に違いがあることを明らかにした。CO₂濃度の上昇による光合成速度の上昇には、温暖化による呼吸速度の増大が付随すると予想されるので、呼吸の制御の研究は今後ますます重要性を増すものと思われる。

栄養物質の欠乏に対する適応

栄養物質の欠乏は生物一般にとって普遍的なストレスである。今回のセミナーでも光合成基質である無機炭素、窒素、イオウをはじめ、リン、銅などの欠乏に対するラン藻、クラミドモナス、アラビドプシスの応答が報告されたが（小川、福澤、Spalding、小俣、Davies、Wykoff、斉藤、下河原、Merchant、Grossman）、Grossmanとその一派は光合成生物にとって特に重要な適応機構を明らかにしつつある。いずれの元素を欠乏させた場合にも、光合成生物は2通りの応答を行う。1つは、不足している元素を獲得するための特異的な応答（specific responses）で、その元素を含む化合物の能動輸送・分解・代謝・同化系の誘導である。もう1つは細胞分裂の停止、光合成活性の低下といった応答である。後者はどの元素が不足した場合にも見られる一般的な応答（general responses）であるが、栄養源が欠乏した状態でのクラミドモナスやラン藻の生存には特に光合成活性の低下（抑制）が必須であるという（Davies、Wykoff、Grossman）。この

結論は、S 欠乏に際して光合成活性の低下を示さないク ラミドモナス変異株が明所・S 欠乏条件下では速やかに死滅するものの電子伝達を阻害すれば死滅を免れること、および *Synechococcus* sp. strain PCC7942 から得られた 類似の変異株がS 欠乏だけでなく、N 欠乏や強光条件下でも速やかに死滅する、という 結果から導かれている。これらのことは、栄養物質の欠乏よりもそれによって誘起される光阻害が緑藻やラン藻にとって危険であることを示していて興味深かった。

栄養物質欠乏下でのク ラミドモナスの光合成電子伝達活性抑制の機構については Wykoff が Q_B -nonreducing centersの重要性を協調していた。これは電荷分離はするものの Q_B を還元できない反応中心で、S 欠乏やP 欠乏条件下で蓄積する。特に上述のS 欠 乏で死滅する変異株は、 Q_B -nonreducing centersの蓄積能力が特異的に欠けているという。どのようなメカニズムでこのような反応中心の蓄積が制御されているのか興味 がもたれた。

温度と塩の影響

最近、海温の上昇にともなってサンゴが共生藻を失って白化・死滅する現象が注目されているが、これは共生藻の PSII の光阻害に起因するという (Schmidt)。わず かの温度上昇でこのような決定的な阻害が起こる理由は現在のところ不明である。タバコにおいても高温による傷害は光によって致死的な段階へと進行させられるが、このような傷害の軽減・回避に葉緑体のもつ低分子量熱ショックタンパク質が寄与していることが示された (徳富)。一方、陸上植物の中でも樹木や熱帯性の植物の葉は10℃以上もの幅のパルス状の温度変化を高頻度で繰り返しているが、傷害を受けることはない。これらの植物は急激な温度の上下に応答して高温時のみ葉緑体で多量のイソ プレンを合成しており、光合成系の安定化にイソプレンが関与している可能性が高いそうである (Sharkey)。

高い塩濃度にさらされた場合にベタインやプロリンなどの適合溶質を合成して耐 塩性を獲得する植物は多いが、近年の研究によれば、適合溶質は osmolyte として機能 するのではないという (Bohnert、村田、林)。Bohnertはいくつかの例をあげ、適合 溶質が浸透圧の維持によってではなく、それぞれに何らかの生化学的な機構によって 耐塩性を高めていることを示した。代表的な適合溶質であるベタインの場合、植物や ラン藻にその合成能力を賦与すると塩耐性だけでなく高温、低温、光阻害など種々の ストレスに対する耐性が増すが (林、村田)、ベタインの機能としては光損傷からの PSII の修復過程の促進が重要であるらしい。一方、膜脂質の脂肪酸の不飽和度を高めて低温耐性を強化したラン藻の場合も、低温における PSII の修復の促進が低温耐性に 本質的な役割を果たしているという (村田)。興味深いことに、このようにして低温 耐性を獲得した形質転換ラン藻は、強光や塩に対する耐性も強くなるそうである。PSII の修復過程を促進する物質の合成によって複数のストレスに対する耐性が得られるという事実は、光合成系の受ける種々のストレスが結局は光阻害へと収斂していることを示すものであろう。

以上、今回のセミナーの概略を紹介したが、紙面の制約からすべての講演を紹介することができなかった点は御了承願いたい。全体として多様な内容を包含するセミナーとなったが、異

なる環境要因が光合成に及ぼす特異的影響と一般的な影響、さらに植物側の特異的な応答と一般的な応答についての分子生物学的理解はかなり深めることができたように思う。今回のセミナーを通じて、あらためてクラミドモナスやアラビドプシスの変異株を用いた遺伝学的なアプローチの重要性が確認されたが、他方、実験室の中での人工的「環境」の中での解析からは得られにくい情報の重要性も認識された。光合成分野の日米セミナーはこれまでも多くの実りある共同研究を生み出してきたので、今回のセミナーからも日米の間、あるいは生理・生態学者と生化学・分子生物学者の間の新たな共同研究が生まれ、未知の領域の開拓に貢献してゆくことを期待したい。

日米の二国間セミナーについては過去17年間にわたり、光合成分野についての優先的な予算枠があったが、今回はこの予算枠を使つての最後の会議であつた。アメリカ側では光合成分野の優先枠は既に撤廃されていて、他の研究領域との競合で予算を獲得しているが、日本側は諸先輩方の努力のおかげで今まで確実に予算を獲得できたわけである。来年からは日本側でも他分野との競争によって予算を確保しなければならないが、従来成果を生かしつつ、今後も光合成関連の日米セミナーを継続してゆくよう努力しなければならないと思う。

参加者

・日本側

池内 昌彦（東京大学大学院総合文化研究科）
臼田 秀明（帝京大学医学部）
小川 晃男（名古屋大学生物分子応答研究センター）
小俣 達男（名古屋大学大学院生命農学研究科）
小池 孝良（北海道大学農学部演習林）
斉藤 和季（千葉大学薬学部）
重岡 茂（近畿大学農学部）
下河原浩介（帝京大学医学部）
園池 公毅（東京大学大学院理学系研究科）
寺島 一郎（大阪大学大学院理学研究科）
徳富 光恵（農林水産省生物資源研究所）
林 秀則（愛媛大学理学部）
広瀬 忠樹（東北大学大学院理学研究科）
福澤 秀哉（京都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）
村田 紀夫（基礎生物学研究所）

• 米国側

Anten, Niels (Department of Biological Sciences, Stanford University)
Bauer, Carl (Biology Department, Indiana University)
Bohnert, Hans (The University of Arizona)
Casper-Lindley, Catharina (Plant and Microbial Biology, University of California at Berkeley)
Davies, John (Department of Botany, Iowa State University)
Dennis Wykoff (Carnegie Institution of Washington)
Falkowski, Paul (Environmental Biophysics and Molecular Ecology Program, Institute of Marine and Coastal Sciences)
Field, Chris (Carnegie Institution of Washington)
Grossman, Arthur (Carnegie Institution of Washington)
Melis, Anastasios (Plant and Microbial Biology, University of California at Berkeley)
Merchant, Sabeeha (Department of Chemistry and Biochemistry, University of California at Los Angeles)
Ng, Wing-On (Department of Biology, Washington University)
Niyogi, Krishna (Plant and Microbial Biology, University of California at Berkeley)
Ort, Donald (Department of Plant Biology, University of Illinois)
Pogson, Barry (Department of Plant Biology, Arizona State University)
Schmidt, Gregory (Department of Botany, University of Georgia)
Sharkey, Thomas (Department of Botany, University of Wisconsin)
Sheen, Jen (Department of Molecular Biology, Massachusetts General Hospital)
Spalding, Martin (Department of Botany, Iowa State University)
Surpin, Marci (Plant Biology Laboratory, Salk Institute for Biological Studies)

日本におけるフランスイヤー記念事業 日仏共同セミナー“PHOTOSCIENCE (光科学の新展開)” 印象記

農水省農業生物資源研究所 徳富（宮尾）光恵

1997-98年が「フランスにおける日本年」、それに続く1998-99年が「日本におけるフランス年」に設定され、ドラクロワ作「民衆を導く自由の女神像」が日本で展示されるなど、様々な大型文化行事が行われています。標記の日仏共同セミナーは、科学分野の共同文化事業として、1998年11月23日から26日まで湘南国際村センターで開催されました。本セミナーの開催責任者は、日本側が東京工芸大学長本多健一先生、フランス側が在日フランス大使館科学参事官Henri Angelino教授で、両氏の長年に亘る研究交流により本セミナーが開催されたといえるでしょう。科学分野の共同事業として、まずこのセミナーの開催が決まったそうです。東大工学系の藤嶋昭教授が日本側開催事務局で、藤嶋研究室の方々がセミナー全般のお世話をして下さいました。

本セミナーでは、Photophysics、Photochemistry、Photobiologyの三つの分野の研究者が一堂に会しました。出席者は、フランス側が17名、日本側が27名で、9名の「シニア研究者」以外はすべて45歳以下の「若手研究者」でした。ただし、この年齢基準は必ずしも厳密でなく、41歳の「シニア研究者」もありましたことを申し添えておきます。「シニア研究者」がKey-note lectureをし、他の「若手研究者」は展示発表と3分間・質問無しのoral presentationを行いました。光合成関連分野の「シニア研究者」は、フランス側はW. Rutherford (CEA Saclay)、日本側は岡山大学の佐藤公行先生でした。他の（少なくとも私にとって）比較的なじみの深い日本側「シニア研究者」は、小林孝嘉先生（東大・物理）、徳永史生先生（阪大・理）の二氏でした。光合成関連の「若手研究者」は、フランス側からWinfried Leibl (CEA Saclay)、Fabrice Rappaport (Joliot研究室)、Pierre Sétif (CEA Saclay)の三氏、日本側から園池公毅氏（東大）、野口巧氏（理研）と筆者の3名でした。他のPhotobiology関連の日本側「若手研究者」は、視物質の神取秀樹氏（京大）、水上卓氏（北陸先端大）、フィトクロムの長谷あきら氏（京大）、篠村知子氏（日立基礎研究所）でした。

さて、これ程までに参加者を羅列してスペースを稼いだのには理由があります。恥を忍んで白状しますと、私が理解できたのは全体の三分の一、すなわちPhotobiologyの分野だけで、他の分野、特にPhotophysicsは、良くておぼろげに理解した気になれた程度で、かなりの部分は全くちんぷんかんぷんでした。式を沢山並べて「シュレディンガーの猫 (Schrödinger's cat)」の議論をされても、私にはどうしようもありません。見聞記の執筆を依頼されていたので、何とか理解しようと努めましたが、力及ばず、さてどうしようかと悩みに悩んだ次第です。そこで、このセミナーを正確に読者の方に紹介するなどという無謀なことはせずに、私的な印象を記させていただきますこととしました。

とてもわかりやすかったのは、開催責任者である本多先生の写真の開発史の話でした。初期の光化学が写真の開発をきっかけに大きく発展した様子が紹介され、昔親しんだ科学史と現在の光化学研究との間のギャップが一気に埋まったような気がしました。Photoscienceなるものを考

える機会がこれまでほとんどなかったことを痛感しました。本セミナーでは、Photophysics といっても光活性物質・光触媒物質等の物理的解析など物質工学的な発表が多く、Photophysics と Photochemistry の分野とがそれほどはっきり分けられていたわけではありませんでした(私の理解が足りないだけかもしれませんが)。光合成光化学系を少しはかじっている筆者が多少理解できたのは、これら物質工学の発表でした。一方、これとは対極の、私には難解過ぎた Photo-physics の発表は上述の「シュレディンガーの猫」の話で、式の中に猫の絵が描いてあるのを見て喜んだくらいでした。典型的な Photophysics の発表で多少わかった気になったのは、東大の小林孝嘉先生の講演で、フェムト秒スペクトロスコピーのシステムを如何に改良するかという話でした。短いパルスの発生方法から、そのパルス幅の制御、検出にいたるまで、理論と実験結果とからシステムを順次改良していく過程が紹介され、フェムト秒の世界がどんなものか実感できました。Photobiology の分野では、Rutherford が様々な EPR の手法を駆使した光化学系 I の A1 の位置決定について講演を行いました。佐藤先生は、生物の光化学反応中心全般を概説して下さいました。これは是非光化学系の教科書を書いていただかなくては、と思った次第です。ここ 20 年ほど光合成光化学系の日本語の教科書が出版されていません。冗談ではなく、この場を借りて佐藤先生にお願いしたいと思います。唯一おかしかったのは、東大藤嶋先生の講演に対するフランス、出席者の感想でした。藤嶋先生は界面光触媒物質の開発と応用について講演をなさり、様々な企業での実用化の現状を紹介されました。フランスでは、研究成果の実用化のために企業とコンタクトを取ろうとしても、どこもまともにつき合ってくれないとか。日本はやはり経済力があるのだ、と感心しておりました。これは単に分野の違いだと思うのですが。

全般的にゆったりとしたスケジュールで、皆リラックスして、なかなかいい雰囲気でした。比較的少人数だったせいもあって、参加者のほとんどが分野の壁なぞものともせず、活発に議論・歓談を楽しんでおりました。3 日目夜の懇親会で、開催責任者の本多先生が本当に嬉しそうにしていってらっしゃったのが、とても印象的でした。

最後に、湘南国際村について簡単に紹介させていただきます。湘南国際村は相模湾が一望できる高台に位置しており、会議場・研修施設である国際湘南村センター以外にも、総合研究大学院大学、社会福祉学院、生産性交流センター等、様々な施設があります。広い敷地にこれらの施設と住宅等が点在しており、逗子駅からの交通が不便なのが難点ですが、眺めも良く素晴らしいところでした。少人数の国際会議に是非お勧めします。

“誌上討論会”

光呼吸の意義、ふたたび

東北大学大学院 理学研究科 生物学専攻 彦坂幸毅

つい最近（98年6月）入会させていただきましたところ、事務局の好意で21号から送っていただきました。すると、“誌上討論会”と銘打って非常に興味深い議論が行われているのが目にとまりました。24号の編集後記にはもう「一段落しました」ということが書いてありましたが、23号の竹葉先生の呼びかけには多少無視できない問題があることを感じました。私はFarquharらのモデル(Farquhar et al. 1980, Sharkey 1985aなど。討論会ではrubisco modelと呼ばれていました。なお、個人的趣味により、rubiscoではなくRuBPCaseという略称を使うことをお許し下さい)を使って仕事をしている身でもありますので、竹葉先生がこのモデルを誤解されたまま討論が放置されるのが残念でなりません。拙稿では主に23号の竹葉先生の議論についていささか意見を述べさせていただきますと思います。

これまでの経緯については、省略させていただきますが、23号の竹葉先生の主張をまとめると以下の通りとなるかと思われます。

- ・葉の中ではCO₂濃度は均一ではないのでモデルが適用できない。
- ・特に、上面の葉緑体はCO₂不足になりやすい
- ・CO₂不足になった葉緑体では光呼吸がエネルギー放散系として役立つに違いない
- ・牧野さんの「2% O₂の光合成と21% O₂の光合成は別物である」という指摘は妥当とは思えない
- ・光呼吸系は他のエネルギー放散系より優秀である
- ・上面の葉緑体はCO₂不足になりやすい？

まず、CO₂濃度は葉の中で不均一か？という問題から述べさせていただきます。この問題はいくつか研究例があります。葉の中の細胞の配置を考慮に入れ、物理学的拡散に基づいた理論的研究から、葉内細胞間隙内の上部と下部では確かにCO₂濃度の不均一性があると考えられています(Parkhurst 1994, Terashima et al. 1995)。しかし、その差はたかだか10-30ppmと考えられていますし、そもそもこの値は上面に気孔がない植物における値です。両面に気孔がある植物ではこの差はもっと小さいと思われます。また、実験的な証拠もあります。葉に¹³CO₂をとりこませ、スライスして上部-下部の勾配を見ると、スライスにあるRuBPCase含量と¹³Cの取り込み量はほぼ比例しています。このことは、上部と下部でCO₂濃度に大きな勾配がないことを示唆します(Terashima & Hikosaka 1995)。

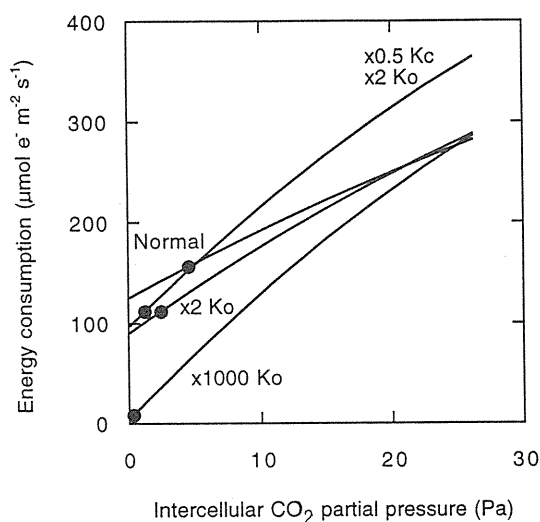
そもそも、上面に窒素ガスを流し、下面に異なる組成の空気を流す実験(23号参照)の結果から、「上部の葉緑体がCO₂不足である」ということを示唆できるとは思えません。これらの葉には上面にも気孔がありますので、下面からわざわざCO₂を運ぶ必要がないからです。また、純窒素ガスを使うことにも問題があると思われます。上面の純窒素ガスが気孔から葉の内部に入ることにより、上面側の葉緑体の周りでは、O₂もCO₂もない、という状態になっていると考えら

れます。 O_2 の濃度が極端に下がると、光呼吸だけでなく、ミトコンドリアの呼吸や、メーラー反応も阻害される可能性が考えられます。

なお、柵状組織の上部の細胞に CO_2 が届きにくいのは CO_2 の拡散が水中で遅いためである、という記述がありますが、葉の中では、 CO_2 は光合成を行う細胞の細胞壁に入る直前まで気相を拡散すると考えられています。

・ CO_2 不足になった葉緑体では光呼吸がエネルギー放散系として役立つに違いない？

上では葉内の CO_2 濃度はそれほど不均一ではない、と述べました。しかし、水ストレス下など、 CO_2 濃度が気孔閉鎖によって低くなることはあります。しかも、葉緑体ごとに CO_2 濃度が異なることも珍しくありません(ただし、不均一性は水平方向に起こります。Terashima 1992参照)。このときFarquhar modelを葉レベルで適用するのは確かに問題がありますが、もともとFarquhar modelは酵素活性をもとにしたモデルであり、葉緑体レベルで適用することに全く問題はありませぬ。牧野さんの計算をさらに進め、ここではsuper RuBPCaseの作出に成功したと仮定し、どれだけのエネルギー消費ができるかを考えてみます。RuBPCaseのキネティクスについては、22号の牧野先生の文章をご参照下さい。この計算では、 K_o が現在のRuBPCaseに比べ半分のもの、ほとんど光呼吸が起こらない1000倍のもの、 K_o が半分・ K_c が2倍のものを想定しています(K_o 、 K_c はそれぞれ O_2 、 CO_2 に対するミカエリス定数です)。図に示しましたのはエネルギー消費速度と葉内 CO_2 分圧の関係です。種によって異なりますが、26-29 Pa (260-290 ppm) がだいたい大気条件だとお考え下さい。牧野先生のご指摘通り、大気条件では普通のRuBPCase (normal) に比べ、 K_o を低くしたほうがわずかながらエネルギー消費速度が高くなります。しかし、 CO_2 濃度を下げると、normal RuBPCaseに比べ、光呼吸をおさえた(K_o が高い) RuBPCaseではエネルギー消費速度が下がります。グラフ内の黒丸は CO_2 補償点(CO_2 の出入りが全くない)です。気孔が



図の説明

エネルギー消費速度と葉内 CO_2 濃度の関係。計算にはHikosaka(1997)のモデルを用いました。

RuBPCase 含量が $6.7 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2}$ 、呼吸速度 $2 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ を仮定しています(かなり光合成能力が高い葉を仮定)。黒丸は CO_2 補償点。なお、本モデルはFarquharのモデルをさらに発展させたもので、この計算においては葉内細胞間隙から葉緑体までの CO_2 コンダクタンスを定数としています。したがって、横軸の葉内細胞間隙 CO_2 濃度は、葉緑体内(RuBPCaseの周囲)の CO_2 濃度とは一致も比例もしません。横軸が同じでも、光呼吸を抑えたRuBPCaseでは光合成速度が高いため、葉緑体内の CO_2 濃度は低くなります。

完全に閉じてしまうと、 CO_2 濃度はここまで下がります。このときのエネルギー消費速度は明らかにnormal RuBPCaseのほうが高くなります。したがって、気孔が閉じてしまったときは、竹葉先生のご指摘通り光呼吸を行った方がエネルギー消費速度が高い、ということになります。しかし、牧野先生も指摘したとおり、光呼吸を行っても大気条件の半分近くまでエネルギー消費速度が減少してしまいます。

・「2% O_2 の光合成と21% O_2 の光合成は別物である」という指摘は誤りか？

竹葉先生は光合成のリン酸律速についてご存じないようですので、簡単に述べたいと思います。光合成で生産された糖は、triose-Piのかたちで葉緑体外に出ます。triose-Piは細胞外でショ糖に合成され、Piを放出します。このPiはtriose-Piとのアンチポートで葉緑体内に戻り、カルビンサイクルに取り込まれます。この経路（TP経路）の最大速度はあまり高くなく、 CO_2 濃度上昇などにより光合成速度のポテンシャルが増加すると、この経路が光合成速度を律速するようになります。リン酸律速が起こる場合、Piが葉緑体外から返ってくる速度（の3倍）がそのまま CO_2 吸収速度となります。このとき CO_2 吸収速度は光・ CO_2 ・ O_2 濃度に依存しません。2% O_2 と20% O_2 の光合成速度に差がありませんので、リン酸律速を知らないと、「光呼吸は全くない」という答を導いてしまいます。しかしこれは誤りです。その証拠は、光合成測定時の光を弱めると得られます。弱光下では光合成速度はTP経路の能力を下回りますので、リン酸律速は起こりません。そして、強光では O_2 依存性を示さなかった CO_2 濃度でも CO_2 吸収速度は O_2 濃度依存性を示します(Sharkey 1985b)。このことから、2% O_2 での CO_2 吸収速度は20% O_2 での CO_2 吸収速度と全く別のものである、ということがわかります。

しかし、これだけの証拠では、2% O_2 で光障害が起こっただけである、という反論をいただいています。もっと直接的な証拠があります。Labate & Leegood (1988) は、リン酸律速状態にある葉に外部からリン酸を加えるとリン酸律速状態が改善され、 CO_2 濃度依存性が見られるようになる、というデータを示しています。

リン酸律速が起こっているときに光合成と光呼吸がどれだけのエネルギーを消費しているか、ということについては、Farquhar modelをアレンジしたSage (1990) のモデルを用いると理解できます。上で述べたように、リン酸律速時には CO_2 吸収速度は光・ CO_2 ・ O_2 濃度に依存しません。しかし、carboxylationとoxygenationの速度比は CO_2/O_2 濃度比に依存するという性質はリン酸律速時にも保たれています。リン酸律速時には、 CO_2 濃度が上がる、もしくは O_2 濃度が下がると、carboxylation速度も下がります。carboxylation速度が下がるのですが、光呼吸による CO_2 放出も減りますので、 CO_2 吸収速度が一定に保てるわけです。しかし、この時光合成+光呼吸のエネルギーの消費速度は下がります(Sageの論文の、電子伝達速度というのがエネルギー消費速度に相当します)。2% O_2 で光障害が起こりやすいのはこのエネルギー消費速度の減少が原因であると考えられます。

光呼吸のグリコール酸経路では、TP経路が CO_2 吸収速度を律速しているときにもエネルギー消費を行うことができます。また、このときの光合成速度は、RuBPCaseの性質に依存しません。

したがって、TP経路が律速するような条件では、super RuBPCaseと現在のRuBPCaseでは、光呼吸を行う後者の方がエネルギーをより放散できることになります。

最後に、光呼吸の意義について私なりのコメントをさせていただきます。私は生態学を主に研究していますが、特に進化生態学では「ある形質の意義」が問題になります。一つたとえ話があります。「鼻の意義は何か?」「眼鏡をかけるためである」、というものです。確かに鼻のないミュータントは眼鏡をかけるのに困ることでしょう。このたとえ話は「ある形質の意義」を正確に認識することが難しいことを我々に教えています。ある形質が「ついで」に別の役割を持ち得る場合、生物がその役割を利用することには何の不思議もないからです。何が「ついで」で何が「主たる」役割なのかは種によっても異なるでしょう。昆虫の翼はもともと放熱板だったのが進化したものだという説があります。これは「ついで」の役割（飛行）が「主たる」役割（放熱）に置き換わってしまった例といえるでしょう（本当だったら、ですが）。

光呼吸についていうと、光呼吸がエネルギーを消費しており、それが過剰なエネルギーの放散に役立っていることは間違いないと思われます。光呼吸系欠損株がエネルギーをうまく消費できないのも至極当然です。しかし、これは光呼吸がエネルギー放散のために積極的に存在するのだ、ということを経るまでも意味しません。もし光呼吸がなければ、植物は光合成や別のエネルギー消費系をもっと強化するか何かすることもできるかもしれないからです。上で述べたように大気条件ではsuper RuBPCaseを作ったほうが（わずかですが）エネルギー消費能力は高くなります。したがって、光呼吸は光合成より優れたエネルギー消費系ではありません。また、竹葉先生の「他のエネルギー消費系より光呼吸が優れている」という説もまだ不確かです。そもそも、光呼吸のエネルギー消費能力は環境条件によって一義的に決まり、エネルギーが余ったときだけ消費を行う、といった可塑的なふるまいはできません。エネルギーの消費の仕方は優れているかもしれませんが、悪環境回避的な役割を持たせるには融通が効かない系であると考えられます（この点、断言しているわけではありません）。現在の知見からでは、光呼吸のエネルギー消費は「ついで」であると考えるのが妥当であると思われます。

また、低CO₂条件では光呼吸をするメリットがあることを示唆する計算結果を示しましたが、それでは充分ではないからこそ乾燥条件ではCAMやC4が進化したのではないのでしょうか。

追記

拙稿には東北大農学部の中野先生にコメントをいただきました。

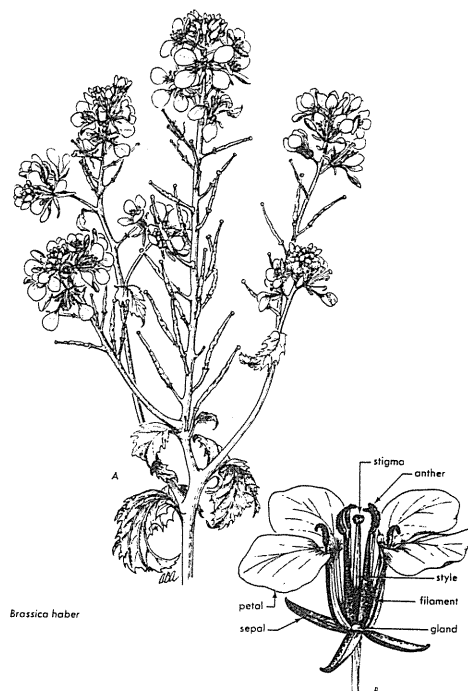
リン酸律速は、デンプン合成とのからみの問題などもあって、まだまだよくわかっていない系です。さらに、拙稿の説明ではかなり簡略化しましたので、不十分な点もあることをご了承下さい。

参考文献

- Farquhar GD, von Caemmerer S, Berry JA (1980) *Planta* 149: 78-90
Hikosaka K (1997) *Ann Bot* 80: 721-730
Labate CA, Leegood RC (1988) *Planta* 173: 519-527
Parkhurst DF (1994) *New Phytol* 126: 449-479
Sage RF (1990) *Plant Physiol* 94: 1728-1734
Sharkey TD (1985a) *Botanical Review* 51: 53-105
Sharkey TD (1985b) *Plant Physiol* 78: 71-75
Terashima I (1992) *Photosyn Res* 31: 195-212
Terashima I, Hikosaka K (1995) *Plant Cell Environ* 18: 1111-1128
Terashima I, Ishibashi M, Ono K, Hikosaka K (1995) *In: Photosynthesis: From Light to Biosphere*(ed by Mathis P.) Vol. V, pp. 537-542, Kluwer Academic Press, Dordrecht

彦坂幸毅氏の連絡先 : hikosaka@mail.cc.tohoku.ac.jp

東北大・院・理・生物のホームページ : <http://www.biology.tohoku.ac.jp/>



成長中の植物に赤／近赤外比の小さい光を照射すると、節間伸長が促進されることは古くから知られていた。しかし、光シグナルが受容されるのが植物体全体ではなく茎であることがわかったのはごく最近である。Ballaréら (1990) は、セイヨウカラシナを用いて、隣接個体の存在が茎の伸長におよぼす効果を調べた。その際、透明なジャケットに色素溶液や近赤外光を吸収する硫酸銅溶液を入れて茎にとりつけた。その結果、茎のフィトクロムが、隣接個体からの反射光（クロロフィルの光吸収によって、反射光のスペクトルは赤／近赤外比が小さくなる）を感じていることが明らかになった。

隣接個体の存在を早めを感じることは、重要な生態学的意義がある。土壌表層の攪乱によって埋土種子が一斉に発芽し、一年生植物の群落が形成されることがよくある。このような群落を構成する植物の個体のサイズには、最終的に大きな差が生じるが、種子をたくさんつける大きな個体になるか、ほとんどつけない小さな被圧個体になるのかが決定されるのは、群落の成長のごく初期、地面が葉で覆われる時期である。地面が葉で覆われる時に、他の植物の葉の上に葉を上げることでできた植物は、そのまま大きく育ち、下になってしまった植物はずっと被圧されたままとなる。この時期の直前、節間伸長が促進され、植物が背伸びを始める。隣接個体の存在を知り、光をめぐる競争に茎の伸長促進をもって先手を打つわけである (Nagashima et al. 1995, Nagashima and Terashima 1995)。

それでは、「成長中の植物に赤／近赤外比の小さい光を照射すると、節間伸長が促進される」ということは、常に正しいのだろうか？実は、そうではない。林床に棲む植物たちは、日頃、葉の透過光を多く受けている。つまり、赤／近赤外比の小さい環境に生育している。これらの植物を、赤／近赤外比を数段階変えて栽培しても、伸長には全く差はみられない。茎が伸長するためには茎に物資を投入しなければならないので、葉の展開を犠牲としなければならない。少しばかり伸長しても明るい光を受けることが望めないような環境にある植物は、無駄な伸長はしないように適応してきたのである。つまり、成長中の植物に赤／近赤外比の小さい光を照射すると、節間伸長が促進されるかどうかは、植物が適応してきた環境に依存するのである。

窒素栄養を与えた場合でもそうで、成長が促進される植物があるかと思えば、「われわれの生育環境に多量の窒素があるはずがない。バブリーに浮かれてはいけない。」とでも考えているかのように、全く成長が促進されないものもある。この中には、窒素栄養をいったんため込んで、ちびちび使うものもある。

光合成に関しても（やっと出てきました）、たとえば、高温条件になったときに、気孔を開くものと、全く逆に閉じるものがある。水分が豊富な環境に適応した植物は、気孔を開いて蒸散

を盛んにすることで、葉の温度を一定以下に保つ。水分が欠乏しがちな環境に適応した植物は、気孔を閉じて水の損失を防ぐ。まとめると、生物の環境応答は、その植物が適応してきた環境や、栽培条件に対する馴化の状態に依存して様々に変わりうる。このような、生物の環境応答の多様性を研究対象にする場合のキーワードが「比較」である。

私は、大学院生の頃、数年間理研の井上研で研究させてもらった。そのころ、コンピュータ付の二波長分光器が発売され、理研の研究室にも入った。さっそく P700 の酸化還元スペクトルを描かせてみよう、と、まず、チラコイド膜の懸濁液にアスコルビン酸を加えてスペクトルを記憶させ、次にフェリシアン化カリを加えた懸濁液のスペクトルを記憶させた。そして、これらのスペクトルの引き算のスペクトルを描かせた。出てきたものは全く珍妙なスペクトルであった。そのスペクトルをオフィスに持って行って、「今度の分光器はダメですよ。」とやって、井上さんや小野さんにさんざん笑われた。そして、教えてもらった通りに、まず、サンプル側と対照側の両方に懸濁液を入れてスキャンしてベースラインを記憶させ、次に、サンプル側にフェリシアン化カリ、対照側のアスコルビン酸をいれてスキャンした。今度は、きれいなスペクトルがとれた。いささか牽強附会かも知れないが、「比較」の精神はここにあるように思える。異なる生物を異なる条件で測定したデータをそのまま比較するのではなく、同じ条件で、しかも side by side で比較しなければ、差はなかなか際立ってこないし、定量的な比較はできない。

比較ばかりをしていたのでは、学問の最先端を切り開くことにはならない、という批判がある。しかし、発見能力があることも主張しておきたい。C4 植物の光合成の炭素代謝系が明らかになったのは、Kortschak が、サトウキビのデータを Calvin らのデータと比較しようとしたからである。カロチノイドサイクルが再び脚光を浴びるようになったきっかけは、生態生理学者である Björkman と Demmig による、多数の植物の蛍光消光パタンの比較研究からであった。私たちが、冷温感受性植物では、光化学系 I の光障害のほうが光化学系 II の阻害よりも重要であることを明らかにしたのも、冷温耐性である植物との比較研究が端緒であった(Sonoike 1996, 1998)。また、光合成とは直接関係ないけれども、陽生植物と陰生植物では呼吸の律速過程やシアン耐性呼吸経路の使われ方が、全く異なることなども、比較研究によって明らかになりつつある(Noguchi et al. 1996, Noguchi et al. 1997)。

光合成の研究において、遺伝子操作が普通に行われる時代になった。それはそれで、結構な事だと思う。たしかに、切れ味の悪い仕事も増えた。だが、「生理学はもう古い。」という意見には反対である。形質転換体と野生型のパフォーマンスは、生理学的な手法で詳細に検討されなければならないはずだからである。栽培や培養の条件を丁寧に振って、たとえば高等植物ならば繁殖するまで育てて、いろいろなステージにおける生理を、野生型のそれと side by side で比較することが、これからますます強く要求されるだろう。その際、比較生態生理学の手法や発想は役に立つと思う。そのための測定機器の開発も、著しい進歩を見せている。

われわれの植物に関する知見は、一年生の作物を材料として得られたものが圧倒的に多い。したがって、これを直ちに他の植物に適用するには、無理がある場合も多い。逆に言うと、世の

中には、モデル植物と違った性質をもつ面白い植物がたくさんいて、それらは面白いテーマを提供してくれる。モデル植物の *molecular biology* ばかりをやるのは、守備範囲をあらかじめ限定することになるかも知れない。そうなっては、あまりにも *monocular* だと思う。 妄言多謝。

(参考文献)

Ballaré et al. (1990) *Science* 247: 329-332.

Nagashima et al. (1995) *Annals of Botany* 75: 173-180.

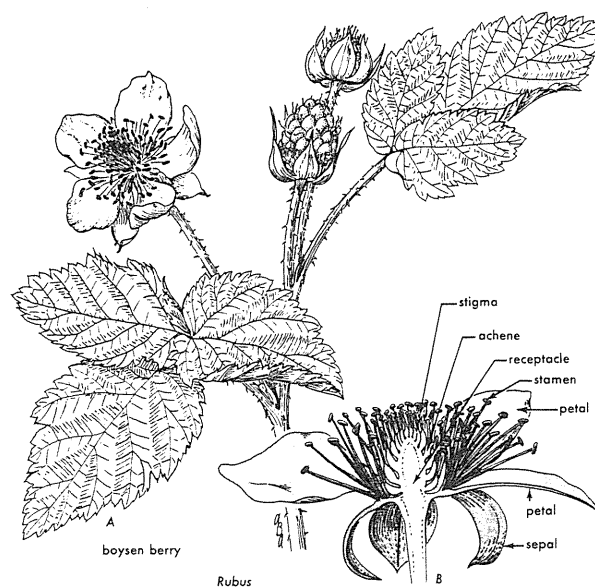
Nagashima and Terashima (1995) *Annals of Botany* 75: 181-188.

Noguchi et al. (1996) *Plant and Cell Physiology* 37: 377-384.

Noguchi and Terashima (1997) *Physiologia Plantarum* 101: 1-7.

Sonoike (1996) *Plant and Cell Physiology* 37: 239-247.

Sonoike (1998) *Journal of Plant Research* 111: 121-129



ラン藻の cAMP 信号伝達系 – やっと遺伝子と生理現象が結ばれました –

東京大学 総合文化研究科生命環境科学系 寺内一姫、大森正之

サイクリック AMP (cAMP) は原核生物から真核生物まで広く存在し、細胞情報伝達におけるセカンドメッセンジャーとして重要な働きをしている。ここではラン藻での cAMP – シグナル伝達系について、アデニル酸シクラーゼ遺伝子 *cya* を中心に解説する。

cAMP の合成酵素であるアデニル酸シクラーゼは動物や大腸菌では研究が進んでおり、最近、動物の酵素の触媒領域が結晶化され、三次元構造のモデルが発表された (1)。一方、植物では cAMP の存在そのものが疑問視されていたため、研究が非常に遅れている。1997 年に、*Nature* にタバコの培養細胞からアデニル酸シクラーゼ遺伝子を単離したという報告が載り (2)、現在その確認が急がれている。

我々は 1995 年にラン藻 *Anabaena cylindrica* からアデニル酸シクラーゼ遺伝子 *cya* を単離し、その塩基配列からアミノ酸の一次構造を解析した (3)。驚いたことに、ラン藻の *cya* の触媒領域は大腸菌などの *cya* のそれとは構造が全く異なっており、むしろヒトやウシなどのほ乳類と強い相同性を示した。その後、他のラン藻から *cya* の単離を試み、糸状性ラン藻の *Spirulina platensis* や *Anabaena* sp. PCC 7120 から合計 8 コの *cya* 遺伝子を単離した (4, 5, 6)。それら遺伝子の塩基配列から推定される酵素タンパク質の一次構造はその触媒領域において互いに良く似ており、ラン藻の *cya* は大きな遺伝子ファミリーを形づくっていることが明らかとなった。酵素の触媒領域は C-末端側にあり、そこから N-末端側に向けてそれぞれのアデニル酸シクラーゼ (Cya) は特徴的な構造を持つ。おそらく触媒領域の活性を調節している調節領域であろう。これまでに単離されたラン藻の Cya はいくつかのグループにまとめられる。

1. CyaA 型 ペプチド鎖の中央付近と N-末端付近に膜貫通領域を持つ。
2. CyaB 型 N-末端近くに cGMP 結合モチーフを持つ。
3. CyaC 型 バクテリアの 2 成分系シグナル伝達タンパク質であるセンサリーキナーゼとレスポンスレギュレーターを持つ。
4. CyaD 型 N-末端付近に機能がよくわかっていない Fork Head Associated 領域を持つ。

生物として単純な原核生物であるラン藻が、これほど多様なアデニル酸シクラーゼを持っているということは、それ自体驚きである。おそらく、光、温度、浸透圧、pH などの多くの異なった外部シグナルの伝達にそれぞれに対応した Cya が関わっている のであろう。我々はこれまでに、光や pH 依存的に細胞内 cAMP レベルが変化することを観察している (7)。もともと cAMP は血糖値の調節に関わるセカンドメッセンジャー としてあまりにも有名なため、ラン藻の光シグナルの伝達に cAMP が登場してこようとは、予想もしていなかったことである。ちなみに、我々の眼の網膜における光シグナルの受容と伝達に登場する役者は、ロドプシンと cGMP である。光合成能力を獲得したラン藻においては cAMP を利用し、視覚を発達させた動物では cGMP を使う。これも進化の一側面なのであろう。

上に述べた遺伝子のグループのうちのどのタイプの Cya が光シグナルの媒体となっているかは未だ明らかではないが、チラコイド膜に局在することが示唆されている CyaA タイプ、あるいは

はそのセンサリーキナーゼが自己リン酸化能を持つCyaCタイプが機能している可能性が考えられる。特に、*cyaC* の遺伝子破壊株では光照射による細胞内 cAMP の変化が見られなくなることが明らかになり (5)、CyaC が光信号の伝達に関与している可能性は非常に高い。CyaC のように一本のペプチド鎖にいくつものシグナル伝達タンパク質の領域が含まれているということは、アデニル酸シクラーゼが cAMP を作るのみではなく、光信号の伝達そのものに直接的に関与している可能性も考えられる。*Synechocystis* sp. PCC 6803 からはフィトクロムのプロトタイプと思われるような構造を持つ遺伝子が単離されており (8, 9)、*Anabaena* 7120 にも同様の遺伝子が存在すると思われる。もしそうなら、赤色光 / 近赤外光のシグナルが、センサーであるこのフィトクロムを通じてCyaCにも伝達されているのではないだろうかと考えている。さて、その先にどんな生理現象が待っているのかが、とてもとても知りたいところであるが、現時点でははっきりした実験結果を得ていない。Kehoe らが、赤色光と緑色光に関わる補色適応現象にはある遺伝子 (*rcaE*) の存在が必要であることを報告している (10)。ラン藻フィトクロム遺伝子の構造には、この遺伝子と似た部分が存在する。もしフィトクロム - cAMP 信号伝達系が存在し、それが光合成系の色素タンパク質の組成変化に関係していると大変面白いことになる。

一方、単細胞性のラン藻にはCyaCのような遺伝子は見つかっておらず、CyaA 型、CyaD 型のみが存在する。ところがこれまた意外なことに、ラン藻 *Synechocystis* sp. PCC 6803 において、青色光 - cAMP 情報伝達機構が存在し、それがこのラン藻の運動を調節していることが最近明らかにすることができた。この実験結果について簡単に説明しよう。

この世界的に有名なラン藻を用いて、光照射に伴う細胞内 cAMP 量の変化を測定した結果、光照射後数分以内に細胞内 cAMP 量が、暗所での細胞内 cAMP 量の数倍にまで増加することが明らかになった。この反応に関与する光質を調べるために、岡崎国立共同研究機構基礎生物学研究所の大型スペクトログラフを使わせていただいて、単色光照射による細胞内 cAMP 量の変化を検討した。細胞に、380, 450, 520, 575, 630, 670, 720 nm の波長の単色光 (光強度 $30 \mu \text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) を照射して細胞内 cAMP 量を測定したところ、青色光 (450 nm) の照射により cAMP 量が増加し、520 nm 以上の光では cAMP 量は変化しなかった。また、近紫外光 (380 nm) でも cAMP 量が増加した。*Synechocystis* 6803 では青色光のシグナルにより細胞内 cAMP 量が増加することが明らかとなった。

次に青色光とアデニル酸シクラーゼの関係について検討した。単細胞性ラン藻の *Synechocystis* 6803 の全塩基配列は1996年にかずさDNA研究所により決定されている。その中には、ラン藻のアデニル酸シクラーゼの触媒領域と相同性のある領域をもつオープンリーディングフレーム (ORF) が2つ存在する。我々は ORF slr1991 (CyaD 型) を *cya1*、slr0646 (CyaA 型) を *cya2* と名付けた。そのどちらのアデニル酸シクラーゼが青色光に対する反応に関与しているかを明らかにするために、*Synechocystis* 6803 の *cya1*、*cya2* 破壊株を作製し、これらの株を用いて光照射にともなう cAMP 量の変化を調べた。*cya2* 破壊株では、野生株と同様に、白色光、青色光照射により cAMP 量が増加したが、*cya1* 破壊株では白色光、青色光の照射による cAMP 量の増加はみられなかった。このことから、青色光シグナルにより cAMP を合成するのはアデニル酸シクラーゼ Cya1 であることが明らかになった。

さらに、これらの *cya* 遺伝子破壊株を解析したところ、*cya1* 破壊株には興味深い表現型がみられた。*Synechocystis* 6803 の野生株は、連続白色光下（光強度約 $30 \mu \text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ）、1.2% の寒天プレート上でシート状にひろがってコロニーを形成しない。*Synechocystis* 6803 は運動性をもつことが知られており、そのためプレート上でこのような表現型を示すと考えられる。しかし *cya1* 破壊株はプレート上できちっとしたコロニーを形成した。つまり運動性が失われていると考えられる。一方、*cya2* 破壊株は、野生株と同様の表現型を示し、運動性を保持していた。

これら *cya* 破壊株の細胞内 cAMP 量を測定したところ、*cya1* 破壊株では細胞内 cAMP 量は野生株の数%にまで減少していたが、*cya2* 破壊株ではほとんど減少はみられなかった。そこで、培地中に cAMP (0.1 mM) を加えたところ、*cya1* 破壊株は野生株と同じようにコロニーを形成しなくなった。これは、cAMP の添加により *cya1* 破壊株細胞の運動性が回復したためと考えられる。このような事実から、*Synechocystis* 6803 の運動には cAMP が必要であることが示唆された (11)。

さらに、細胞の運動を顕微鏡下で観察し、ビデオ録画して解析した。野生株の細胞に青色光 (450 nm)、赤色光 (670 nm) を照射して運動能を検討した結果、青色光を照射した場合に、細胞の運動が顕著に促進された。*cya1* 破壊株は青色光を照射しても運動性を示さなかった。

これらの結果をまとめると、*Synechocystis* 6803 では、青色光のシグナルが Cya1 に伝わり、Cya1 の活性化により細胞内 cAMP 量が増加し、その結果細胞の運動が促進される、ということになる。すなわち青色光-cAMP 情報伝達機構が存在し、それが細胞の運動を調節していると考えられる。

これまで、ラン藻のアデニル酸シクラーゼ遺伝子は取れたものの、生理的機能にまでなかなか結びつかず苦勞していたが、ようやく一つのお話の概略が描けたように思う。しかし、いまだ運動装置すら解明されていないラン藻の運動そのものの機構を明らかにせねば、その制御機構を解明することは出来ないわけで、ラン藻の cAMP-信号伝達系の全体像を知るにはもう少し時間（とお金）がかかりそうである。

参考文献

1. Zhang, G. et al. (1997) *Nature* 386, 247-253
2. Ichikawa T. et al. (1997) *Nature* 390, 698-701
3. Katayama, M. et al. (1995) *J. Bacteriol.* 177, 3873-3878
4. Yashiro, K. et al. (1996) *Plant Mol. Biol.* 31, 175-181
5. Katayama, M. and Ohmori, M. (1997) *J. Bacteriol.* 179, 3588-3593
6. Kasahara, M. et al. (1997) *Plant Cell Physiol.* 38, 828-836
7. Ohmori, M. (1989) *Plant Cell Physiol.* 30, 911-914
8. Hughes, J. et al. (1997) *Nature* 386, 663
9. Yeh, K. C. et al. (1997) *Science* 277, 1505-1508
10. Kehoe, D. M. and Grossman, A. R. (1996) *Science* 273, 1409-1412
11. Terauchi, K. and Ohmori, M. *Plant Cell Physiol.* in press

光合成進化をめぐる新事実：見えだした PS II 構造と新型光合成

基礎生物学研究所 伊藤 繁

植物の営む酸素発生型光合成はどれも似ており、あたかも大きな進化はシアノバクテリアー葉緑体の中でとまったかのようにみえます。しかし、どのようにしてシアノバクテリアと酸素発生光合成が完成されたかは謎につつまれています。これを考える上で興味深い最新の研究を紹介します。（仙台で行われる日本植物生理学会第三日（3月30日）午後のシンポジウムで新進の光合成研究者が深くかつ気楽な議論をする予定ですので関心のある方はぜひご参加ください。）

A) PSII 反応中心の立体構造が示され PSI との類似性が示された。

B) 新型光合成系（Zn-BChl を使う紅色細菌と、クロロフィル *d* で酸素発生をするシアノバクテリア型細菌）が相次いで発見され、国内で研究が進められている。

A) 構造からあきらかになりつつある PSII と PSI タンパク質の由来。

ブタペストで行われた国際光合成会議において PSII の二次元結晶を使った構造解析結果が示され、既知の PSI の構造との比較で興味深い事実が指摘された（1）。

PS II の D1D2/43K コア複合体中の膜貫通ヘリックスの位置がほぼあきらかになり一部のクロロフィル位置が推定された。PSI の *psaA*/*psaB* 蛋白質のヘリックス位置（3.6 Å 分解能）と比べると、43K 蛋白の三回対称を示す 6 本のヘリックス位置が PSI-A（あるいは B）蛋白の 11 本ヘリックスのうち *rc* 外側 I-IV の位置とほぼ同じであり、D2 蛋白の 5 本ヘリックスが内側 VII-XI とほぼ同じ位置にあった。

従って、アミノ酸一次構造の類似性も含めて以下のような対応関係が支持された。

PSI		PSII
A の 11 本	⇔	D2(5 本)+43K(6 本)
[or B]		[or D1+47K]

PSI では 11 本ヘリックスである反応中心蛋白が、光化学系 II ではアンテナ（6 本）と反応中心（5 本）に分かれたのか？あるいは逆に PS II の二蛋白が融合し PSI になったのかはわからない。

さらに細菌型光合成の反応中心（*rc*）まで含めると不思議なことになる。これまでは緑色硫黄細菌と紅色細菌の中に別々に存在する I 型 *rc*（鉄硫黄センターを持つ 11 本ヘリックス型）、II 型 *rc*（キノン *Q_A*, *Q_B* を持つ 5 本ヘリックス型）が遺伝子転移などでシアノバクテリア中に共存協力するようになり酸素発生型光合成が出現したとも考えられた（文献 2 参照）。これは下記の → で結ばれた反応中心 *rc* どうしが 30% 程度の アミノ酸配列類似性を示すことから推定された。

緑色硫黄細菌	→	PS I
紅色細菌	→	PS II

しかし、PSI と PSII の類似関係が加わるとむずかしくなる（上式の上下をつながなくてはならないが、構造が似ているといわれても I と II 型系統間でのアミノ酸配列レベルでのホモロジーは非常に低い）。おまけに紅色細菌は 6 本ヘリックスのコアアンテナはもたない。

rRNA等の系統関係からは滑走糸状性緑色細菌とも呼ばれるクロロフレクサスが一番古そう
で、この反応中心が紅色細菌型なので(クロロソームといわれる外部アンテナだけは緑色硫黄細
菌と似た物をもつのでこれがどこからきたかがまたややこしいが)、

紅色細菌 → 緑色硫黄細菌 → PS I → PSII

の順番が考えられるが

紅色細菌 → PS II → PS I → 緑色硫黄細菌

などいろいろ考えられる。いずれにしろシアノバクテリアの出現は謎に満ちている。もう一つの
大きな疑問は次に述べるクロロフィルの問題(細菌型光合成はバクテリオクロロフィル a 、酸素
発生型光合成はクロロフィル a を使うことではっきりわけることができる)である。

B) 色素系の謎

新発見の光合成系は光合成の進化や人為的変異の研究に新たな可能性として「光合成系進化に
おいて色素、クロロフィル(合成系)の分子進化は制約要因ではない可能性」を加えた。我々も
一部かかわった最近の研究成果を簡単にまとめる。

(B1) 若尾らが1996年鉱山酸性排水中から分離、MgのかわりにZnを中心金属にもつバクテリオ
クロロフィル(Zn-BChl a)を使うことを明らかにした酸性好気紅色細菌 *Acidiphilium rubrum* (3)
(研究の現状)

(97年より嶋田敬三氏(東京都立大・理・生)が代表のグループ研究が進行中、以下は一部未発
表、国際光合成の本に掲載予定です。高市真一氏(日本医大)のZnニュースなどを参照されたい。)

この細菌はpH 2.5-6で好気、暗所で生育し、紅色細菌と類似の光合成系を作る。光は補助的
なエネルギー源として働くらしい。菌体内部にFe, Cr, Niなどを金属状態で蓄積する(4)。これま
でに10に近いZn-BChlを持つ *Acidiphilium* 属が豊橋技科大・平石、若尾らにより発見されたが
Acidiphilium 属以外の酸性光合成細菌はZn-BChlをもたない(5)。反応中心とアンテナの蛋白質、
クロロフィル合成系などの遺伝子は *Acidiphilium* 属に特徴的な少数の部位変異を示すが、通常の
紅色細菌のものとはほとんど差はない(6、さらに進行中)。光照射時に見られる光合成機能は正常
であり、ATP合成、炭酸固定などのエネルギー源となる。

これらの *Acidiphilium* 属は常に10%程度のMg-BChl a も持っている(培養条件で多少変動)の
で、Zn-BChlは役にたっていないか、あるいはアンテナとしてだけ機能しているのではないかと
いう疑問があった。しかし、Zn-BChlもアンテナとして正常に働いていることが示され、単離反
応中心の中にもZn-BChlだけしかなく、電子供与体スペシャルペア(Zn-BChl 2)の特性が明ら
かになりつつある。細胞 → 単離膜系 → 単離反応中心の順にMg-BChl量が減少する。細胞には
存在するrc結合型4ヘム-シトクロム c は単離膜系と反応中心標品では消失した。バクテリオク
ロロフィル合成系の遺伝子と中間体の研究結果(東京工大・高宮グループと都立大・永島、神奈
川大・井上氏ら)がまとめられつつある。

〈疑問と課題〉

光合成はMg-BChlとZn-BChlどちらで始まったのか？*Acidiphilium*は酸性、好気に適応した紅色細菌であるが、最古の光合成細菌ではない。クロロフィル合成系の研究もMg-BChlからZn-BChlに変わることを示唆している。しかし、酸性環境（例えば、熱水や温泉周囲など）で光合成が始まったのならZn-BChlのほうが光合成の成立過程では好都合だったかも知れない。分子機能についてはZn-BChlでも一見問題なく反応が進むが、Mg-BChlと何が違うのかを明らかにする必要がある。人工光合成などへの応用を考えるとZn-BChlのほうが化学、物理的に安定であり（筑波大・小林氏）、Zn-BChlを他のタンパク質にいれたり、光合成生物に導入するなどの研究が進行中である。

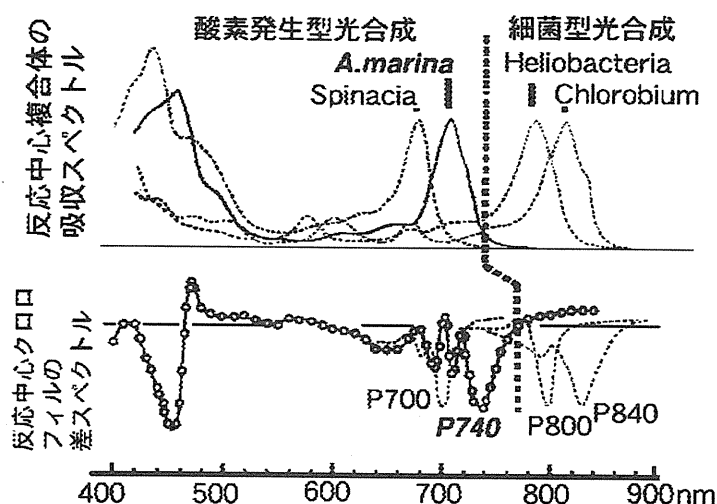
(B2) クロロフィルaよりも長波長700-740nm光を使えるクロロフィルdを使うシアノバクテリア型細菌 *Acaryochloris marina*（宮下らがパラオの海産ホヤ中より分離、培養に成功（7））。

〈研究の現状〉

*A. marina*は海洋バイオ研究所釜石の宮下氏らにより単離され酸素発生型独立栄養の培養系が確立されている（7, 8）。現在まで他にクロロフィルdを使用することが確認された生物はいない（過去の紅藻でのChl d単離は宮下らによると追試不可能）。単細胞シアノバクテリアと類似の性質を示す。クロロフィルdとクロロフィルa（約30 : 1）、 α カロテン、キサントフィル、フィコピリンをもつ（8）。光による炭酸固定を行い、710 nmの光でも効率良く酸素発生するのでChl dが光化学系I、II双方で少なくともアンテナとして働く（宮地ら、9-11）。r RNAの解析からは、やはりホヤで発見されクロロフィルbをもつProchloronや単細胞シアノバクテリアに近い。

*A. marina*も、クロロフィルdとaを（30 : 1）でもつ。しかし、Huらによって単離された三量体型と単量体型PS I反応中心はクロロフィルaをほとんどもたない（1/180以下）。光照射によりクロロフィルdの吸収変化（455と740 nmにピークないをもつ）を示し、電子供与体スペシャルペアはクロロフィルd2量体（P700に対応、吸収ピークから新型の“P740”と命名）であることが示された（12、図1）。

図1。 PSI型反応中心の比較



〈問題点〉

光化学系IIの主要アンテナ色素もクロロフィル d であるが反応中心の単離は活性に問題がまだ残り、理研の岩崎さんらが挑戦中。長寿命の蛍光を出すクロロフィル a と（三室守さんの光合成会議での発表）、吸収変化を示すクロロフィル d の（岩城ら、準備中）どちらが電子供与体かは決着がついていない。光化学系I、IIともにタンパク質サブユニット組成とアミノ酸配列はシアノバクテリアとあまり変わらない。

Chl d がrcで働くときの最大の問題はエネルギーである。例えばP700と比べるとChl d のP740は100 mV近く低い光量子エネルギーしか使えない。この問題はPSIではP740の酸化還元電位がP700よりも100 mV低いことで解決され、作られる還元力は同じになるように調整されていた。PS IIで同じことが起こるなら、酸素発生に必要な酸化力を少ないエネルギーでどうやって作り出しているかが興味深い（岩城、伊藤説）。もしPS IIでクロロフィル a が反応中心ならばこの問題はなくなる（三室説）。しかし、この場合アンテナに比べて100 mV以上エネルギーレベルが高い反応中心クロロフィルに励起エネルギーをロスなく運ぶ必要があり、反応中心でのトラッピング速度が励起エネルギーの散逸過程よりも1000倍以上早くなくてはならないだろう。既存のクロロフィル a 型光合成系にZn-ChlやChl d をいれたりすることも可能になるかもしれない。今後の研究の進展が楽しみである。

おわりに：

*Acidiphilium*のZn-BChlをつかう紅色細菌型光合成、*A. marina*のクロロフィル d をつかうシアノバクテリア型光合成、両者ともにタンパク質部分の大幅変更なしにクロロフィルをいれかえている。*A. marina*を加えて、PSI型の蛋白を持つ反応中心複合体のスペクトルを並べると色は連続的にかわっている（図1）。*A. marina*は酸素発生型光合成と細菌型光合成をつなぐmissing linkのようにもみえる。しかも電子供与体クロロフィルの吸収スペクトルはいつもその生き物の持つ色素系の最長波長になっている。シアノバクテリアの段階かそれ以前にいろいろなクロロフィルが試された時代があったのかもしれない。反応中心蛋白の小幅改変でアンテナも反応中心もクロロフィルを簡単に換えられるようにもみえる。

細菌型無酸素光合成はバクテリオクロロフィルを使い、酸素発生型光合成はクロロフィル a を使うのはなぜだろうか？これはクロロフィル合成系の差によるようにもみえる。しかし新発見のどちらの生物も、通常のMg-BChlやChl a を作ることができるにもかかわらずあまり使っていない。ちなみに昨夏全ゲノムが決まった緑色硫黄細菌（*Chlorobium*）やヘリオバクテリアはChl a も作る。シアノバクテリアが発生してから30億年近い時がたつが「何故クロロフィルは変わらなかったのだろうか？変えられるが、変えなかったのだろうか？」。何かいいアイデアやご意見あったらお寄せください、歓迎します。

文献

- (1) Rhee et al. *Nature* 396, 283 (1998).
- (2) 松浦 & 伊藤、*科学* 68(10), 839 (1998)
- (3) Wakao, N., Yokoi, N., Isoyama, N., Hiraishi, A., Shimada, K., Kobayashi, M., Kise, H., Iwaki, M., Itoh, S., Takaichi, S., & Sakurai, Y. (1996) *Plant Cell Physiol.* 37, 889-893.
- (4) Itoh, S., Iwaki, M., Wakao, N., Yoshizu, K., Aoki, A., & Tazaki, K. (1998) *Plant Cell Physiol.* 740-744.
- (5) Hiraishi, A., Nagashima, K.V.P., Matsuura, K., Shimada, K., Takaichi, S., Wakao, N. and Katayama, Y. (1998) *Int. J. Syst. Bacteriol.* 48.
- (6) Nagashima, K.V.P., Matsuura, K., Wakao, N., Hiraishi, A. and Shimada, K. (1997) *Plant Cell Physiol.*, 38, 1249-1258.
- (7) Miyashita, H., Adachi, K., Kurano, N., Ikemoto, H., Chihara, M. & Miyachi, S. (1996) *Nature* 383, 402.
- (8) Miyashita, H., Adachi, K., Kurano, N., Ikemoto, H., Chihara, M. & Miyachi, S. (1997) *Plant Cell Physiol.* 38, 274-281
- (9) Miyachi, S., Strassdat, K., Miyashita, H. & Senger, H. *Z. Naturforsch.* (in press).
- (10) Schiller, H., Senger, H., Miyashita, H., Miyachi, S. & Dau, H. (1997) *FEBS Lett* 410, 433-436
- (11) Marquardt, J., Senger, H., Miyashita, H., Miyachi, H. & Morschel, E. (1997) *FEBS Lett.* 410, 428-432
- (12) Qiang, H., Miyashita, H., Iwasaki, I., Kurano, N., Miyachi, S., Iwaki, M. & Itoh, S. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 95, 13319-13323 (1998)

=====
(伊藤 繁氏の連絡先 : itoh@nibb.ac.jp)

次期会長の選挙についてのお知らせ

日本光合成研究会会則（1987年施行）第5条に基づき、次期会長の選挙を行います。本来この選挙は平成10年の暮れに行うべきものでしたが、現会長の怠慢故に2カ月あまり遅くなっていました。深くお詫びいたします。この事情により、次期会長の任期は平成11年4月1日から平成13年の3月31日までとさせていただきます。会則をよく読んで上で会員名簿の中から会長候補者1名を選出し（会則と会員名簿は今回の25号に掲載）、最終ページに印刷されている投票用紙に記入して、~~3月15日~~4月15日迄に光合成研究会宛で郵送して下さい。なお、付則第2条により、今期幹事会は次期会長候補として若干名を推薦できるようになっていますが、諸事情（当選したら会長を勤めると約束してくれる人があまりに少ない）によりこの推薦は行わないこととします。参考までにこれまでの会長名を列挙しておきます。宮地重遠、西村光雄、佐藤公行、金井龍二、井上頼直。

会員名簿の充実にご協力下さい

1999年2月末での会員名簿を巻末に掲載してあります。これに基づいて、会費納入状態の記録や会報の発送を行っています。もし、ご自分の所属、住所、電話番号、ファックス番号等の不備や誤りに気づかれた方は、葉書、ファックス等で当会までお知らせ下さい。

★ 光合成研究会の年会費は、1996年までが¥1000、1997年以降は¥1500です。端数の出ないようにお送り下さい。また、封筒の宛名の下に数字は会費納入済の年度を示してあります。

光合成研究会賛助会員名簿（アイウエオ順）

旭光通商株式会社
日本たばこ産業株式会社 アグリ事業部
日本たばこ産業株式会社 遺伝育種研究所
盟和商事株式会社
有限会社 アースサイエンス

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及び応用分野の研究発展を促進し、研究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、年会、シンポジウムの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、登録手続きを経て会員になることが出来る。又、団体、機関は賛助会員になることが出来る。

2. 権利

会員は本会の通信及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出来る。会員は、会長を選挙すること、及び役員に選出されることが出来る、

3. 会費

会員及び賛助会員は所定の年会費を納めなければならない。

第5条 役員

本会の役員として会長及び幹事若干名をおく。会長は選挙により会員から選出する。幹事は会長が委嘱する。役員の任期は選出の翌年から2ヶ年とするが、2期を越えて重任することは出来ない。その他、必要に応じて専門委員をおくことが出来る、

第6条 幹事会

幹事会は会長と幹事をもって構成され、会長がこれを召集し議長となる、幹事会は本会の運営に関する事項を審議決定する。

第7条 総会

総会は原則として年1回、年会またはシンポジウム開催の際に会長が招集し、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。幹事会は総会においては次の事項を報告し、その承認を受ける。

- 1) 前回の総会以後に幹事会で議決した事項
- 2) 前年度の事業経過及び会計報告
- 3) 当年度及び来年度の事業計画
- 4) 会則の変更
- 5) その他の重要事項

第8条 会計年度

本会の会計年度は1月1日から12月31日までとする。

付則

第1 本会の事務所は会長が幹事会の了承を得て定める。

第2 役員の選出

役員の任期満了の年に会長の選挙を行う。この選挙にあたり、幹事会は若干名の候補者を推薦することが出来る。

第3 現代表幹事及び幹事の任期は、本規定により行われる役員選出の結果発表日までとする。

第4 年会費は個人会員1,500円、賛助会員一口50,000円とする、

第5 この会則は平成9年1月1日から施行する。

編集後記

いやだいやだ、困った困った、嫌だ厭だ、を連発しながらお引き受けした平成9年度、平成10年度の会長業も、任期3カ月無断お手盛り延長のオマケ付きで、やっと終了にこぎ着けました。この2年間に、会報の内容を多少は充実できたかと自認しますが(21号～25号)、これは、多忙にも拘わらずなかなか奥の深い原稿を執筆して下さった諸先生方のエネルギーと、原稿集め(敢えて「催促」と言わない)に意外な(本当は意外でない)能力を発揮してくれた、私の研究室の秘書である田口マミ子博士の努力の賜です。諸先生方と田口さんにこの場を借りて深く感謝致します。

意識して新企画を導入した訳ではありませんが、光呼吸に関する「誌上討論会」はそれなりの新鮮味があったようで、適当なテーマがあれば今後も継続すると良いのではないかと考えています。

また、他の新企画としては、本研究会主催でDr. R. Cogdelの講演会(平成11年2月)を開催しました。この会合の様子については次号で報告してもらうことになるでしょう。

定年を控え身辺整理のこの頃ですが、日本の光合成研究の発展を祈念致します。

(YI)

光合成研究会 1997～1998年役員

会長 井上頼直 (理化学研究所)

幹事 (日本光生物学会の委員を兼任)

小野高明 (理化学研究所)

幹事 都筑幹夫 (東京薬科大学・生命科学部)

幹事 池内昌彦 (東京大学・教養学部)

幹事 寺島一郎 (大阪大学・大学院理学系研究科)

光合成研究会 会報 第25号 1999年3月10日発行

〒351-01 埼玉県和光市広沢2-1

理化学研究所 光合成科学研究室内

光合成研究会

TEL: 048-462-1111 (ext. 5542), FAX: 048-462-4685

E-mail: yorinao@postman.riken.go.jp

振替貯金口座 00140-3-730290 光合成研究会

氏名	郵便番号	住所 1	住所 2	住所 3	TEL	FAX
相生 啓子	164	中野区 南台 1-15-1	東京大学 海洋研究所	海洋生物生態部門	03-5351-6473	03-5351-6470
相沢 益男	227	横浜市緑区長津田	東京工大 生命理工学部		045-922-1111	
青木 圭造	464-01	名古屋市中千種区 不老町	名古屋大学 情報文化学部	自然情報学科	052-789-4817	
青木 直大	177	東京都練馬区石神井町1-7-25			03-3996-4723	
赤沢 堯	465	名古屋市中東区 亀の井2-278			052-703-1771	052-703-1771
赤堀 興造	724	東広島市鏡山1-7-1	広島大学 総合科学部		0824-24-6530	0824-24-0757
東江 崇	305	つくば市観音台2-1-2	農業生物資源研究所	発生・分化	0298-38-8383	0298-38-7417
浅田 浩二	729-0251	福山市学園町1	福山大学工学部	生物工学	0849-36-2023	
浅田 泰男	305	つくば市 東1-1	通産省工業技術 生命研	エネルギー変換研究室	0298-54-6052	
浅見 純生	618	大阪府 三島郡 島本町	高浜120	サントリー研究センター	075-962-3921	
安部 俊彦	424	清水市 折戸 3-20-1	東海大学 海洋学部	海洋科学科	0543-34-0411(2294)	
荒田 博行	812	福岡市 東区 箱崎 6-10-1	九州大学 理学部	生物学教室	092-642-2514	092-632-2741
有賀 祐勝	144-0051	大田区西蒲田2-4-21			03-3753-0078	03-3753-0078
五十嵐 敬祐	342	埼玉県北葛飾郡吉川町	吉川団地1-7-104		0489-81-0298	
猪川 倫好	305	つくば市 天王台 1-1-1	筑波大学	生物科学系	0298-53-4908	
池内 昌彦	153	東京都目黒区駒場3-8-1	東京大学 教養学部	生物学教室	03-5454-6641	03-5454-4337
池上 勇	199-01	津久井郡相模湖町寸沢嵐	帝京大学	薬学部	0426-85-3773	0426-85-2713
池田 篤治	606	京都市左京区北白川追分町	京都大学農学部	農芸化学科	075-753-6392	075-753-6128
池田 元輝	812	福岡市 東区 箱崎 6-10-1	九州大学 農学部	農芸化学	092-642-2846	092-642-2864
池原 規勝	903-0129	沖縄県中頭郡西原町千原	琉球大学 理学部	海洋自然科学科生物系	098-895-8548	
石井 孝定	591	堺市学園町1-2	大阪府立大学先端科学研究所	生体電子工学研究室	0722-52-1161(3598)	
石井 龍一	113	文京区 弥生 1-1-1	東京大学 農学部	農業生物学科	03-3812-2111(5041)	03-3815-5851
石川 浩	468	名古屋市中天白区塩釜口1-50-1	名城大学理工学部	化学教室	052-832-1151	
石原 邦	155-0033	世田谷区代田4-16-6			03-3322-1876	
泉井 桂	606	京都市左京区北白川追分町	京都大学農学部		075-753-6140	
井田 正二	611	宇治市 五ヶ庄	京都大学 食糧科学研究所		0774-32-3111(2711)	
伊藤 繁	444	岡崎市 明大寺町 西郷中	基礎生物学研究所		0564-55-7511	0564-53-7400
稲垣 晋要	305	つくば市観音台2-1-2	農業生物資源研究所	生理機能部光合成研究室	0298-38-7074	0298-38-7073
井上 和仁	259-12	平塚市土屋 2946	神奈川大学理学部	応用生物科学科	0463-59-4111(2529)	0463-58-9684
井上 弘	930	富山市五福3190	富山大学理学部	生物圏環境科学科	0764-45-6671	0764-45-6549
井上 頼直	351-01	和光市広沢 2-1	理化学研究所	光合成科学	0484-62-1111(5541)	0484-62-4685
射場 厚	819-81	福岡市 東区 箱崎	九州大学 理学部 生物		092-642-2621	092-642-2621
今井 勝	214	川崎市多摩区生田東三田1-1-1	明治大学	農学部	044-934-7031	
入船 浩平	727-0023	庄原市七塚町562	広島県立大学生物資源学部		08247-4-1778	
岩城 雅代	444	岡崎市明大寺町	基礎生物学研究所		0564-55-7511	0565-53-7400
岩崎 俊介	950-21	新潟市五十嵐2-8050	新潟大学理学部	生物学科	025-262-7533	
植木 龍夫	351-01	和光市広沢2-1	理化学研究所	生物物理	048-462-6111	
上野 修	305	つくば市 観音台 2-1-2	農業生物資源研究所	機能開発部 発育生理	0298-38-8383	
上林 正巳	305	つくば市 東 1-1-3	通産省工業技術院	生命工学工業技術研究所	0298-54-6094	
上原 赫	593	堺市学園町1-2	大阪府立大学	先端科学研究所	0722-51-7139	0722-51-7139
臼田 秀明	192-03	八王子市 大塚 359	帝京大学 医学部	化学教室	0426-78-3251	0426-74-9190
内田 直次	657	神戸市 灘区 六甲台町 1-1	神戸大学 農学部		078-592-0476	
横並 勲	278	野田市山崎 2641	東京理科大学 理学部	野田校舎	0471-24-1501(5022)	0471-24-2150
撰 達夫	680	鳥取市湖山町南4-101	鳥取大学 工学部	物質工学科	0857-31-5249	0857-31-0881
遠藤 斗志也	464-01	名古屋市中千種区不老町	名古屋大学理学部化学科		052-789-2490	
王 征宇	980	仙台市青葉区	東北大学工学部	生物化学工学科	022-217-7278	022-217-7293
大岡 宏造	560	豊中市待兼山町1-1	大阪大学理学部生物		06-850-5423	
大城 香	424	清水市折戸 3-20-1	東海大学海洋学部	海洋科学研	0543-34-0411	
大崎 満	060	札幌市北区北9条西9丁目	北海道大学 農学部	作物栄養学	011-706-3845	
大島 敏久	770-8506	徳島市南三島町2-1	徳島大学工学部	生物工学科	0886-56-7518	
大島 康行	161	東京都新宿区上落合	1-1-15-1,317		03-3364-4865	
大杉 立	305	つくば市観音台2-1-2	農業生物資源研究所	機能開発部 炭素代謝研	0298-38-8381	
太田 尚孝	278	千葉県野田市山崎 2641	東京理科大学理学部	野田校舎 複並研	0471-24-1501(5022)	0471-24-2150
大西 純一	338	浦和市 下大久保 255	埼玉大学 理学部	分子生物学科	048-858-3397	048-858-3384
大野 正夫	781-11	土佐市宇佐町井尻194	高知大学	海洋生物教育研究センター	0888-56-3311	
大浜 多美子	164	東京都中野区中野3-30-12-701			03-3383-3267	
大森 正之	153	目黒区 駒場 3-8-1	東京大学 総合文化研究科	生命環境科学系	03-5454-6631	
大矢 徹治	113	東京都文京区弥生1-1-1	東京大学農学部	作物学研究室	03-3812-2111(5193)	03-3815-5851
岡 三徳	305	つくば市大わし1-2	国際農業研究センター		0298-38-6346	
岡崎 恵視	184	小金井市 貫井北町 4-1-1	東京学芸大学 教育学部	理科教育学科	0423-25-2111(2667)	
岡田 光正	274	船橋市 三山 2-2-1	東邦大学 理学部	生物分子科学科	0474-72-1141	
岡野 邦夫	470-23	愛知県知多郡武豊町字南中根45	野菜・茶葉試験場	施設生産部	0569-72-1166	0569-73-4744
岡部 敬一郎	153	目黒区大橋2-8-18	(株)アドバンス	DDS開発研究センター	03-3460-5011	03-3460-5104
岡山 繁樹	810	福岡市 中央区 六本松	九州大学 理学部	生物学教室	092-726-4757	
小川 隆平	860	熊本市池田4-22-1	熊本大学	応用微生物工学科	096-326-3111	
小川 晃男	464-01	名古屋市中千種区不老町	名古屋大学	生物分子応答研究センター	052-789-5215	052-789-4296
奥 達雄	818-0133	福岡県太宰府市坂本2-11-10				
奥野 洋明	305	つくば市 東 1-1-1	化学技術研究所		0298-54-4669	0298-54-4474
小野 清美	305-0856	つくば市観音台2-1-2	農業生物資源研究所	生理機能部	0298-38-8381	
小野 高明	351-01	和光市広沢2-1	理化学研究所	光合成科学	048-462-1111(5545)	048-462-4685
小保方 潤一	060	札幌市北区北10条西8	北海道大学理学部	植物学教室	011-716-2111(5291)	
小俣 達男	464-01	名古屋市中千種区不老町	名古屋大学農学部	応用生物科学科	052-789-4106	052-789-4104
垣谷 俊昭	470-01	愛知県日進市五色園1-701			05612-2-1721	
角野 富三郎	565	吹田市 山田丘 3-2	大阪大学 蛋白質研究所		06-877-5111	
菓子野 康浩	678-12	兵庫県赤穂郡上郡町	金出地1479-1	姫路工大理学部	07915-8-0185	07915-8-0185
加藤 榮	274	船橋市三山 2-2-1	東邦大学理学部生物学科	植物生理学教室	0474-72-5375	

氏名	郵便番号	住所 1	住所 2	住所 3	TEL	FAX
加藤 哲也	156-8502	世田谷区桜台 1-1-1	東京農業大学	バイオサイエンス学科		03-5477-2648
金井 龍二	338	浦和市 下大久保 255	埼玉大学 理学部	分子生物学科	048-858-3396	048-858-3384
金地 通生	657	神戸市 灘区 六甲台町 1-1	神戸大学 農学部	園芸学科花卉蔬菜園芸学	078-803-0645	
上村 保磨	274	船橋市 三山 2-2-1	東邦大学 理学部 生物	植物生理	0474-72-1141	
神谷 明男	199-01	津久井郡相模湖町寸沢嵐	帝京大学薬学部	化学教室	0426-85-3773	0426-85-2713
畦部 征夫	153	目黒区 駒場 4-6-1	東京大学	先端科学技術研究センター	03-3481-4470	03-3481-4581
川口 昭彦	153	目黒区 駒場 3-8-1	東京大学 教養学部	生命環境	03-5454-6629	03-3485-0419
川満 芳信	903-01	沖縄県西原町千原道田 1	琉球大学 農学部	農学科	09889-5-2221 (2836)	
川村 彬生	305	つくば市 東 1-1-3	適産省 工技院	生命工学工業技術研究所	0298-54-6077	
河盛 阿佐子	662	西宮市上ヶ原 1-1-155	関西学院大学	理学部 物理	0798-54-6383	
神田 真治	742-15	山口県熊毛郡	田布施町 波野 9 6 2-1	神協産業 (株)	0820-52-1011	
木田 隆夫	237	横須賀市湘南農取 3-3-9			0468-65-1678	
清田 信	593	堺市学園町 1-1	大阪府立大学農学部	環境調節工学研究室	0722-52-1161 (2444)	
楠 正美	228	相模原市上鶴間 5 2 9			0427-47-8414	
朽津 和幸	305	つくば市 観音台 2-1-2	農業生物資源研究所	細胞生理研究室	0298-38-8364	0298-38-8397
熊沢 修造	424	清水市 折戸 3-20-1	東海大学 海洋学部	海洋科学科	0543-34-0411	
玖村 敦彦	195	町田市山崎町 1223	シーアイハイツ町田	C-1301	0427-92-6484	
桑原 朋彦	305	つくば市天王台 1-1-1	筑波大学生物科学系		0298-53-6667	
小池 裕幸	678-12	兵庫県 赤穂郡 上郡町	姫路工業大学 理学部	生命科学科	07915-8-0183	
小泉 淳一	240	横浜市保土ヶ谷区常盤台	156 横浜国大 工学部	生物工学	045-335-1451	
河野 相光	254	平塚市横内 3931-19-102			0425-59-3210	
小曾根 睦	197	東京都あきる野市上代雑 308-3			054-264-5582	054-264-5582
小林 裕和	422	静岡市 谷田 5 2-1	静岡県立大学 大学院	生活健康科学研究科		0298-53-6940
小林 正美	113	つくば市天王台 1-1-1	筑波大学物質工学系			
小林 善親	812	福岡市 東区 箱崎 6-10-1	九州大学 農学部	農林生物物理	092-641-1101 (6238)	
是枝 晋	338	浦和市下大久保 255	埼玉大学理学部	分子生物学科	048-858-3398	048-858-3384
斉藤 秀之	422	静岡市大谷 1408	第三横ノ庄 3-2		054-237-5265 (302)	
佐伯 和彦	560	豊中市 待兼山町 1-1	大阪大学 理学部	生物	06-844-1151 (4296)	06-855-8139
坂田 祥光	567	茨木市美穂ヶ丘 8-1	大阪産業研究所		06-877-5111	
坂本 有加	470-2351	愛知県知多郡武豊町字南中根 24-1-206	野菜・茶葉試験場施設生産部	栽培システム研究室	0569-72-1490	
板井 英博	160	新宿区 西早稲田 1-6-1	早稲田大学 教育学部	生物学	03-3203-4141	(内713867)
佐々木 治人	113	東京都文京区弥生 1-1-1	東京大学農学部	作物学研究室	03-3812-2111 (5193)	03-3815-5851
佐々木 幸子	606	名古屋市中千種区 不老町	名古屋大学 農学部		052-789-4165	
佐藤 朗	950-21	新潟市五十嵐 2-8050	新潟大学理学部	生物学科	025-262-7533	
佐藤 和彦	678-12	兵庫県赤穂郡上郡町金出地	姫路工業大学 理学部	生命科学科	07915-8-0610	
佐藤 公行	700	岡山市 津島中 3-1-1	岡山大学 理学部	生物学教室	086-251-7862	086-252-6601
佐藤 敏生	724	東広島市鏡山 1-3	広島大学理学部	植物学教室	0824-24-7453	0824-24-0709
佐藤 直樹	338	浦和市下大久保 255	埼玉大学理学部	分子生物学科	048-858-3623	048-858-3384
佐藤 博保	514	津市 上浜町 1515	三重大学 工学部	分子素材工学科	0592-31-9422	
佐藤 文彦	606	京都市左京区北白川追分町	京都大学大学院農学研究科	応用生命科学専攻	075-753-6380	075-753-6398
佐野 智	606-8522	京都市左京区下鴨半木町 1-5	京都府立大学農学部	生物資源科学科	075-703-5750	075-703-5750
鮫島 宗明	161	東京都新宿区中井 2-22-21			03-3952-3355	
沢 嘉弘	690	松江市西川津町	島根大学農学部	応用生物機能	0852-32-6586	
沢田 信一	036	弘前市 文京町 3	弘前大学 理学部	生物学科	0172-36-2111 (4104)	
塩井 祐三	422	静岡市大谷 8 3 6	静岡大学 理学部	生物地球環境学科	054-238-4770	054-238-0986
穴戸 良洋	020-01	盛岡市 下厨川 鍋屋敷	農水省 野菜茶試	栽培生理研	0196-41-2031 (38)	
志津里 芳一	424	清水市袖町 1900	海洋バイオテクノロジー研究所		0543-66-9211	0543-66-4255
信濃 卓郎	060	札幌市北区北 9 条西 9 丁目	北海道大学 農学部		011-706-3845	011-706-3845
地主 建志	438-0802	静岡県磐田郡豊田町東原 700	日本たばこ産業株式会社	遺伝育種研究所 B チーム	0538-32-7114	0538-33-6046
篠崎 一雄	305	つくば市 高野台 3-1-1	理化学研究所バイオサイエンス	筑波研究センター	0298-36-4359	0298-36-9060
篠原 健司	305	茨城県稲敷郡笠崎町松の里	農水省森林総合研究所	生物機能開発部 遺伝子	0298-73-3211 (448)	
柴田 均	690	松江市西川津町 1 0 6 0	島根大学農学部	生物資源科学科	0852-32-6585	0852-32-6499
島崎 研一郎	810	福岡市中央区六本松 4-2-1	九州大学 理学部	生物学教室	092-771-4161 (304)	092-712-1587
嶋田 敬三	192-03	八王子市 南大沢 1-1	東京都立大学 理学部	生物学教室	0426-77-2583	0426-77-2559
白石 友紀	700	岡山市津島中 1-1	岡山大学農学部		086-251-8311	
白岩 善博	305-0006	つくば市天王台 1-1-1	筑波大学	生物科学系	0298-53-4533	0298-53-6614
沈 建仁	678-12	兵庫県佐用郡三日月町三原 323-3	理化学研究所	光合成科学研究室分室	07915-8-2825	07915-8-2826
新 勝光	562	箕面市板井 3-1 2-2 8	テル・バイオ・ラボ		0727-21-8610	0727-21-6306
菅沼 英一	270-14	船橋市小室町 1 1 0 9	ジャパン・ニュー・エナジー・センター		0474-57-9432	0474-57-9186
菅原 淳	820	飯塚市柏の森 1 1-6	近畿大学九州工学部	教養課程	0948-22-5655 (469)	
杉浦 昌弘	464-01	名古屋市中千種区 不老町	名古屋大学遺伝子実験施設		052-789-3080	052-789-3081
杉村 康知	274	船橋市 三山 2-2-1	東邦大学 理学部		0474-72-5156	
杉山 達夫	464-01	名古屋市中千種区 不老町	名古屋大学 農学部	農芸化学科	052-789-4103	052-789-4104
杉山 康雄	464-01	名古屋市中千種区 不老町	名古屋大学 理学部	生物学教室	052-789-2971	052-789-2968
鈴木 英治	310	水戸市文京 2-1-1	茨城大学理学部	生物学教室	0292-26-1621 (495)	
鈴木 健策	020-01	盛岡市下厨川字赤平 4	東北農業試験場	生理生態研究室	0196-41-2145 (228)	0196-41-7794
鈴木 英雄	160	新宿区 大久保 3-4-1	早稲田大学 理工学部	物理学科	03-3232-9746	(ex733651)
鈴木 由利子	329-04	栃木県 河内郡 南河内町	大業薬師寺 3-311-1	自治医科大学生物学教室	0285-44-2111 (3361)	
関谷 次郎	606-01	京都市左京区北白川追分町	京都大学農学部	農芸化学科	075-753-6109	075-753-6128
千田 貢	910-11	福井県吉田郡松岡町兼定島 4-1-1	福井県立大学	生物資源学部		
園池 公毅	113	東京都文京区本郷 7-3-1	東京大学理学部	植物学教室	03-3812-2111 (4456)	03-3814-1728
高市 真一	211	川崎市中原区小杉 2-297-2	日本医科大学	生物学教室	044-733-3394	044-722-1231
高沖 武	732	広島市 東区 戸坂新町 2-18-7			082-229-3925	
高橋 清	981	仙台市青葉区堤通雨宮 1-1	東北大学農学部	作物学研究室	022-272-4321 (203)	
高橋 正昭	593	堺市学園町 1-1	大阪府立大学 農学部	応用生物化学科	0722-52-1161 (2460)	0722-52-0341
高橋 康弘	560	豊中市待兼山町 1-1	大阪大学理学部		06-850-5423	

氏名	郵便番号	住所1	住所2	住所3	TEL	FAX
高橋 裕一郎	700	岡山市 津島中 3-1-1	岡山大学 大学院	自然科学研究科	086-251-7861	086-252-6601
高浜 有明夫	803	北九州市小倉北区真鶴2-6-1	九州歯科大学	生物	093-581-1020	
高倍 鉄子	464-01	名古屋市 千種区 不老町	名古屋大学 農学部	生化学制御研究施設	052-789-5209 (6343)	052-781-4447
高倍 昭洋	468	名古屋市 天白区塩釜口 1-501	名城大学	総合研究所	052-832-1151	
高宮 健一郎	226	横浜市 緑区 長津田町4259	東京工業大学生命理工学部	生体機構学科	045-924-5735,5823	045-924-5821
竹葉 剛	606	京都市左京区下鴨半木町	京都府立大学生活科学科	応用生物研究室	075-712-0756	075-701-3262
田沢 仁	520	大津市茶戸町 6-1 5			0775-24-9221	
立花 精	606	京都市左京区下鴨泉川町 5 0			075-791-2716	
田中 歩	606	京都市左京区北白川追分町	京都大学理学研究科	植物学教室	075-753-4147	
田中 浄	305	つくば市 小野川 16-2	国立環境研究所	生物環境部	0298-50-2477	
田中 易	300-42	つくば市和台 1 0 番地	武田薬品工業(株)	7分 事業部農業科学研究所	0298-64-6409	0298-64-6406
谷口 茂彦	462	名古屋市北区下飯田町1-8			052-912-2786	052-912-2786
玉井 直人	920-11	金沢市 角間町	金沢大学 理学部	生物学教室	0762-64-5715	
田村 典明	813	福岡市東区香住ヶ丘 1-1-1	福岡女子大学家政学部	生物学教室	092-661-2411 (333)	
茅野 充男	113	文京区 弥生 1-1-1	東京大学 農学部	農芸化学	03-3812-2111	
辻 英夫	654	神戸市須磨区東須磨青山2-1	神戸女子大学	一般教育生物	078-737-2096	078-732-5161
土屋 幹夫	700	岡山市 津島中 1-1-1	岡山大学 農学部		086-251-8315	
都筑 幹夫	192-03	八王子市堀之内 1432-1	東京薬科大学	生命科学部	0426-76-6713	0426-76-6721
角田 重三郎	989-2111	亶理郡山元町坂本芦合	坂本 字芳合51-78		0223-37-2981	
寺島 一郎	560-0043	豊中市待兼山町1-16	大阪大学・大学院理学研究科	生物科学専攻	06-850-5808	06-850-5817
土井 道生	810	福岡市中央区六本松4-2-1	九州大学理学部	生物学教室	092-726-4762	
堂前 喜章	606-8224	京都市左京区北白川追分町	京都大学大学院農学研究科	熱帯農業生態学研究室	075-753-6353	075-753-6352
土岐 精一	305	つくば市観音台 2-1-2	農業生物資源研究所	細胞情報研究室	0298-38-8373	0298-38-8397
徳富 光恵	305	つくば市観音台 2-1-2	農業生物資源研究所	光合成研	0298-38-8378	0298-38-8347
戸栗 敏博	329-14	横浜市金沢区福浦1-13-5	キリンビール(株)		045-788-3923	
富永 典子	112	文京区 大塚 2-1-1	お茶の水女子大学	生活環境研究センター	03-5978-5804	
柄 達也	678-12	兵庫県佐用郡三日町三原323-3	理化学研究所	光合成科学研究室分室	07915-8-2825	07915-8-2826
豊島 喜則	606	京都市左京区吉田二本松町	京都大学大学院	人間・環境学研究科	075-753-6891	
長島 秀行	278	野田市山崎2641	東京理科大学基礎工学部	生物	0471-24-1501	
中村 真樹	274	船橋市 三山 2-2-1	東邦大学 理学部	生物学科 生化学教室	0474-72-5165	
中村 保典	305	つくば市 観音台 2-1-2	農業生物資源研究所		0298-38-8382	
仲本 準	338	浦和市 下大久保 255	埼玉大学 理学部	分子生物学科	048-858-3403	048-858-3384
中山 克巳	274	船橋市 三山 2-2-1	東邦大学 理学部	生物分子科学科	0474-72-7535	
南後 守	466	名古屋市昭和区御器所町	名古屋工業大学	応用化学科	052-735-5226	052-735-5247
西沢 一俊	176	練馬区 向山 3-10-4			03-3999-2339	
西田 生郎	113	東京都文京区本郷7-3-1	東京大学理学系	生物科学	03-3812-2111	03-3814-1728
西村 幹夫	444	岡崎市 明大寺町 西郷中	基礎生物学研究所	細胞機構研究部門	0564-55-7500	0564-55-7505
西村 光雄	811-34	福岡県 宗像市 日の里 3-12-9			0940-36-1982	0940-36-6838
西山 佳孝	444	岡崎市明大寺町西郷中38	基礎生物学研究所		0564-55-7601	0564-54-4866
野口 巧	351-01	和光市広沢2-1	理化学研究所	光合成科学研究室	048-462-1111 (5545)	048-462-4685
野澤 廣則	980	仙台市青葉区荒巻字青葉	東北大学工学部	生物化学工学科	022-222-1800 (4410)	022-268-2948
野瀬 昭博	840	佐賀市本庄町1	佐賀大学 農学部		0952-28-8724	
袴田 勝弘	428	静岡県機原郡金谷町金谷2769	野菜茶葉試験場		0547-45-4101	
橋本 徹	658	神戸市東灘区住吉山手	4-6-41-1 0 7		078-851-5475	
若本 春樹	153	目黒区 駒場 3-8-1	東京大学 教養学部	生物	03-5454-6639	
長谷 栄二	156	世田谷区 船橋 4-21-17	宮地メゾン201		03-3488-5817	
早川 孝彦	227	横浜市 青葉区 鴨志田町1000	植物工学研究所		045-963-3520	
林 秀則	790	松山市文京町2-5	愛媛大学理学部		089-927-9611	
彦坂 幸毅	980-8578	仙台市青葉区	東北大学理学部	生物	022-217-6698	022-217-6699
久堀 徹	236	横浜市 緑区 長津田 4259	東京工業大学資源化学研究所	生物資源部	045-924-5234	045-924-5277
日原 由香子	153-8902	目黒区駒場3-8-1	東京大学教養学部生物	池内研	03-5454-4375	
日比野 隆	468	名古屋市天白区塩釜口1-501	名城大学理工学部	化学	052-832-1151	
桧山 哲夫	338	浦和市 下大久保 255	埼玉大学 理学部	分子生物学科	048-858-3402	048-858-3384
平沢 正	183	府中市 幸町 3-5-8	東京農工大学 農学部		0423-67-5673	
平野 昌彦	248	鎌倉市手広 1 1 1 1	東レ リサーチセンター	生物科学研究所	0467-32-9962	0467-32-0414
平松 光夫	435	浜北市平口 5000 浜北リサーチ	浜松ホトニクス(株)	中央研究所第8研究室	053-586-7111	
平山 修	631	奈良市中町 3327-204	近畿大学	農学部	0742-43-1511	
廣川 豊康	951	新潟市関屋松波町	3-302-2		025-266-4024	
広沢 孝保	321	宇都宮市 御幸ヶ原町	1 3 5-5 2-2 0 4		028-662-4907	
深町 浩	907	石垣市真栄里1091-1	国際農林水産業研究センター		09808-2-2306	
福澤 秀哉	606-01	京都市左京区北白川追分町 京都大学	農学研究科応用生命科学	植物分子生物学研究室	075-753-6391	075-753-6127
福田 育二郎	181-0012	三鷹市上連雀8-22-1			0422-47-1166	0422-47-1166
藤井 貴明	271-0092	松戸市松戸648	千葉大学園芸学部	農芸化学	0473-63-1221	
藤茂 宏	701-11	岡山市 横井上 507-66			0862-94-4320	
藤島 昭	113	文京区 本郷 7-3-1	東京大学 工学部	合成化学科	03-3812-2111	
藤田 耕之輔	724	東広島市鏡山1-4-4	広島大学生物生産学部		0824-22-7111 (4154)	
藤田 善彦	917	福井県小浜市学園町	福井県立大学	生物資源学部小浜校	0770-52-6300	
藤原 祥子	192-03	八王子市堀之内1432-1	東京薬科大学 生命科学部	環境生命科学科	0426-76-6716	
舟山 幸子	560-0043	豊中市待兼山町1-16	大阪大学大学院理学研究科	生物科学専攻	06-850-5808	06-850-5817
古江 正興	782-8502	高知県香美郡土佐山田町宮ノ口185	高知工科大学物質環境システム工学科	化学講座	08875-7-2516	08875-7-2520
宝月 大輔	158	世田谷区 深沢 2-11-1	都立7イノベーション 総合研究所		03-3702-3113	
星名 哲	920-11	金沢市 角間町	金沢大学 理学部	生物学教室	0762-64-5714	
堀尾 武一	526	滋賀県 長浜市 加納町 50	オリエンタル酵母工業	長浜生物科学研究所長	0749-64-2346	0749-63-7910
本多 健一	150	渋谷区 桜丘 2 0-4			03-3461-4356	
前 忠彦	981	仙台市青葉区堤通南宮1-1	東北大学 農学部	農芸化学科	022-272-4321 (276)	
前田 勇	565	吹田市山田丘 1-6	大阪大学 薬学部		06-879-8198	06-879-8199

氏名	郵便番号	住所 1	住所 2	住所 3	TEL	FAX
牧野 周	981	仙台市 青葉区 堤通雨宮町	東北大学 農学部	農芸化学科	022-272-4321 (267)	
正元 和盛	860	熊本市黒髪2-40-1	熊本大学教育学部	生物	096-342-2531	
松浦 克美	192-03	八王子市 南大沢 1-1	東京都立大学 理学部	生物学教室	0426-77-2582	0426-77-2559
松中 昭一	651-13	神戸市北区東有野台3-10-8			078-982-5946	
松永 是	184	小金井市 中町 2-24-16	東京農工大学 工学部	資源応用化学科	0423-88-7020	
松原 央	700	岡山市 理大町 1-1	岡山理科大学 理学部	生物化学科	086-252-3161	086-255-7700
真野 純一	612	京都府宇治市五ヶ庄	京都大学食料科学研究所		0774-31-8119	0774-33-3004
三浦 周	305-8604	つくば市観音台3-1-1	農業環境技術研究所環境管理	計測情報科	0298-38-8223	0298-38-8227
三浦 喜温	662	西宮市甲陽園目神山町21-12			0798-73-0878	
三木 邦夫	606	京都市左京区北白川追分町	京都大学理学部	化学教室	075-753-4029	075-753-4032
三木 信夫	520-34	甲賀郡甲賀町五反田2405	シオノギ製薬	油日ラボラトリーズ	0748-88-3281	
三野 芳紀	580	松原市河合2-10-65	大阪薬科大学		0723-32-1015 (216)	0723-32-9929
三原 佐代子	158	世田谷奥沢5-8-18			03-3717-8338	
三村 徹郎	186	東京都国立市中2-1	一橋大学 生物学教室		0425-72-1101 (5406)	0425-71-1893
三室 守	444	岡崎市 明大寺町 西郷中	基礎生物学研究所		0564-55-7514	0564-53-7400
宮入 祥夫	305	つくば市 東 1-1	工業技術院	生命工学研 分子生物部	0298-54-6142	
三宅 淳	1-11-5	つくば市 東 1-1	通産省工業技術院 生命研	エネルギー変換研究室	0298-54-6053	
三宅 親弘	630-01	奈良県生駒市高山町8916-5	奈良先端技術大学院大学	バイオサイエンス科	07437-2-5563	07437-2-5569
宮崎 龍雄	299-55	千葉県安房郡天津小湊町内浦1	千葉大学	海洋生態系研究センター	04709-5-2201	
宮澤 真一	560	豊中市待兼山町1-16	大阪大学・大学院理学研究科	生物科学	06-850-5808	06-850-5817
宮地 重遠	113	文京区 本郷 1-28-10	海洋バイオテクノロジー研究所		03-5684-6211	03-5684-6200
宮本 和久	565	吹田市 山田丘 1-6	大阪大学 薬学部		06-877-5111 (6242)	
向畑 恭男	546	大阪市東住吉区田辺5-7-11			06-622-8188	
武藤 尚志	464-01	名古屋市千種区不老町	名古屋大学	生物分子応答研究センター	052-789-5205	
村岡 裕由	305	つくば市天王台1-1	筑波大学 生物科学研究科	植物生態研	0298-53-4531	
村上 明男	656-2401	兵庫県津名郡淡路町岩屋2746	神戸大学	内海機能教育研究センター	0799-72-2907	0799-72-2907
村上 悟	259-12	平塚市土屋2946	神奈川大学 理学部	応用生物学教室	0463-59-4111 (2242)	0463-58-9684
村田 孝雄	020	盛岡市 上田 3-18-8	岩手大学 農学部	農林生産学科		
村田 紀夫	444	岡崎市 明大寺町 西郷中	基礎生物学研究所		0564-55-7600	0564-54-4866
村中 健一郎	607	京都市山科区大宅坂/辻町39	日本新薬社宅2-2C		052-882-1815	052-882-3010
森川 弘道	724	東広島市鏡山1-3	広島大学理学部植物学教室	遺伝子科学専攻	0824-24-7449	
八木 清仁	565	吹田市 山田丘 1-6	大阪大学 薬学部		06-879-8196	
矢沢 盈男	305	つくば市 大わし 1-2	蚕糸・昆虫農業技術研究所	生体情報部	0298-38-6230	
矢吹 萬壽	588	堺市西野288-24			0722-34-9353	
山川 武夫	812	福岡市 東区 箱崎 6-10-1	九州大学 農学部	農芸化学	092-641-1101 (6189)	
山岸 順子	188	田無市 緑町 1-1-1	東京大学 農学部	付属農場	0424-63-1611	
山岸 徹	113	文京区 弥生 1-1-1	東京大学 農学部	作物学教室	03-3812-2111 (5193)	
山崎 淳也	274	船橋市三山2-2-1	東邦大学理学部生物学科	植物生理学教室	0474-72-5362	
山崎 秀雄	903-01	沖縄県 西原町 千原 1	琉球大学 理学部	生物学科	098-895-2221 (2668)	089-895-5376
山下 卓	235	横浜市の磯子区森6-27-9-313			045-776-7040	
山下 純	305	つくば市 天王台 1-1-1	筑波大学 生物科学系		0298-53-4651	
山田 康之	630-01	生駒市高山町8916-5	奈良先端科学技術大学院大学		07437-2-5000	07437-2-5011
山田 芳雄	811-32	福岡県宗像郡福岡町花見が浜1-11-5			0940-42-2509	
山本 直樹	305	つくば市観音台	農業生物資源研		0298-38-8378	0298-38-8347
山本 泰	700	岡山市 津島中 3-1-1	岡山大学 理学部	生物学教室	086-251-7860	086-252-6601
山本 幸男	465	名古屋市 名東区亀の井2-132-1			052-704-1893	
山谷 知行	981	仙台市青葉区堤通雨宮1-1	東北大学農学部	応用生物化学科	022 272-4321 (267)	022-272-1870
楊 仕元	970	いわき市中央台飯野5-5-1	いわき明星大学理工学部		0246-29-5111 (554)	
横田 明穂	619-02	京都府相楽郡木津町木津川台9-2	地球環境産業技術研究所	植物分子生理研究室	07747-5-2307	07747-5-2320
横浜 康継	415	下田市 5-10-1	筑波大学下田臨海実験センター		0558-22-6605	
横村 英一	611	宇治市南陵町2-1-109			0774-23-1591	
吉崎 文則	274	船橋市 三山 2-2-1	東邦大学 理学部	生物学科 生化学教室	0474-72-5165	0474-72-5165
吉村 彰雄	560	豊中市 待兼山町 1-16	大阪大学 理学部	化学教室	06-850-5777	
若松 国光	813	福岡市東区香住ヶ丘 1-1-1	福岡女子大学 家政学部	生物学教室	092-661-2411 (331)	
和田 敬四郎	920-11	金沢市 角間町	金沢大学 理学部	生物学教室	0762-64-5716	0762-64-5745
和田 義春	321	宇都宮市 峠町 350	宇都宮大学 農学部	栽培研	028-649-5414	
渡辺 昭	113	東京都文京区本郷 7-3-1	東京大学大学院	理学系 生物科学専攻	03-3812-2111 (4454)	03-3814-1728
渡辺 正	106	港区 六本木 7-22-1	東京大学 生産技術研究所		03-3401-5975	
渡辺 正勝	444	岡崎市 明大寺町 西郷中	基礎生物学研究所		0564-55-7535	0564-53-7400
渡辺 洋子	701-13	岡山市 立田 499			086-287-3952	
和田野 晃	593	堺市学園町1-1	大阪府立大学 農学部	農芸化学科 生物化学	0722-52-1161 (2465)	
(有)アースサイエンス	182	調布市西つじヶ丘	1-15-20 3F		0424-80-8001	
旭光通商(株)	151	東京都渋谷区	富ヶ谷2-21-10	木島ビル	03-5453-6501	
遺伝育種研究所	438	静岡県 磐田郡 豊田町	東原 700	日本たばこ産業(株)	0538-32-7111	
日本たばこ産業(株)アグリ事業部	105	東京都港区	虎ノ門 2-2-1			
盟和商事(株)	558	大阪市住吉区千林	2-24-25		06-674-2222	

次期会長候補者投票用紙

会
長
候
補
者
氏
名

き
り
と
り
せ
ん
の
り
づ
け

の り し ろ

き り と り せ ん

なお、下記のラベルを宛名にお使い下さい。

〒351-0198

和光市広沢 2 - 1

理化学研究所 光合成科学研究室内

光合成研究会 行