

会長挨拶

会長 村田紀夫

昨年末に行った選挙の結果により、日本光合成研究会の会長を再度引き受けることになりました。研究会の新しいシステムを2年間かけてスタビライズするように要請されて、選ばれたようです。

新しいシステムの第1の要点は組織を強化したことです。光合成研究を行っている主要な研究室の主催者約50名を中心にした幹事会を設けました。これによって、安定で継続性のある研究会の運営が図られるようになったと思います。さらに約10名からなる常任幹事会を置いて研究会の運営の実務を担当します。また、事務局を設置して会計と会員名簿の管理をお願いしています。

第2の要点は研究面の強化を図ったことです。年1回（5月末）のシンポジウムを開催し、光合成研究およびその関連分野を勉強するようにしました。また光合成関連の研究法を中心にしたワークショップをアドホックに開催することにしました。このようなシステムの下で、第一線の研究者と若手研究者が共に光合成研究を学び、発展させていくことができると思います。

最近の生物学の研究には目覚ましい発展が見られます。植物科学分野も例外ではありません。光合成研究はこれらの潮流に取り残されない存在であり続けると共に、さらに生物学研究のリーダー的存在であってほしいと考えます。生物学研究の将来は、分子レベルの解析法を生物固体と環境との相互作用の研究から、生物固体間の相互作用、そして複数個体内の相互作用の研究へと応用を進めていくことと予想されます。そこでは、光合成はエネルギー供給の根幹であり、光合成の研究が重要な役割を担うことは間違いありません。幸い、本年5月の光合成シンポジウムでは、「光合成・地球・人」というテーマの下で宮尾先生、臼田先生、寺島先生、大政先生が中心になって企画を進めてもらっております。このシンポジウムが光合成研究の将来を見据えたものになってほしいと思っております。

今期は研究会システムの定着を主要な目的としますが、その他に日本光合成研究会と諸外国の光合成研究組織とのつながりを探っていきたいと思っております。国外における光合成研究会に相当する組織についてご存知の先生がいらしたら、ぜひ御連絡を御願います。また、国際光合成学会との関係についても考えていこうと思っております。

今後2年間、微力ではありますが、日本光合成研究会の発展のための努力を惜しまない所存
でございますので、会員の皆様の御協力を御願い申し上げます。

平成15年 第1回 日本光合成研究会常任幹事会 議事録

日 時： 平成15年3月8日（月）14:00-16:30

場 所： 基礎生物学研究所

出席者： 村田紀夫（会長）、伊藤 繁、井上和仁、大政謙次、園池公毅、寺島一郎、
久堀徹、福澤秀哉、宮尾（徳富）光恵、（田中歩）

欠席者： 小俣達男 敬称略

議事

1. 新常任幹事会の体制について（資料1）

新常任幹事などの役割分担を決めた。

光生物学協会 伊藤繁

会報 小俣達男、園池公毅

ホームページ 井上和仁

企画 宮尾（徳富）光恵、臼田秀明、大政謙次、寺島一郎、久堀徹、福澤秀哉

事務局 田中歩

会計監査 前忠彦

2. 第32回日本光生物学協会委員会（追加資料1）

伊藤常任幹事より、上記委員会が2003年1月25日に京都ばるるプラザで開催され、日本光生物学協会の新役員、2年後の次期会長選出結果（三室守 京都大）、会計、規約改正、アジアオセアニア光生物学会議（AOSP,2002年、淡路で開催）の報告、第14回国際光生物学会議(14th ICP-第2回 AOSP, 韓国で開催予定)の準備状況、基金の創設、2003年度講演会（奈良女子大、7月予定）などについて議論された旨の報告があった。

3. 会報

園池常任幹事より、第35号までの会報発行状況が報告された。また、第36号について研究紹介、光合成事典の案内、新封筒の準備、原稿依頼などの準備状況が報告された。

4. ホームページ

井上常任幹事より、現在の状況、アクセス件数、各研究室へのリンクの依頼、会合の連絡、Yahooへの登録などの状況と今後の見通しが報告され、意見交換をした。

5. 第2回ワークショップの報告（追加資料2）

福澤常任幹事より、第2回ワークショップ「光合成生物研究におけるDNAアレイの活用」を12月7日、京大農学部で開催した旨の報告があった。予想を上回る40名（本会会員8名を含む）の参加者を得て、5名の講演者が新技術による実験法の紹介などを行った。若手が多く活発な情報交換が行われ、好評だった。HPに掲載。

6. 会員、会計報告（資料2）

田中事務局長より、2002年会員数（297名、6団体）、入退会及び会費納入の状況が報告された。また、会計報告が行われ、了承された。（前年繰越金、839,087円、収入961,561円、支出401,402円、現在高1,399,246円）

7. 会費の先払と滞納者（資料3）

(1) 会費を先払いしてもよい事を確認した。これに伴い、納付案内書に会費支払いが何年度から何年度までに相当するかの記入欄を加える事にした。

(2) 事務局の作成した3年以上滞納者のリストに基づき、常任幹事が分担して連絡をとり、解決を企ることが提案され、了承された。

(3) 5年以上滞納者は2003年5月に退会意志確認をした後、退会とすることが提案され、了承された。

8. 共催、後援会議について（資料4）

(1) 第11回原核光合成生物シンポジウム（ISPP2003, 2003年8月24-29日、東京）（日本光合成研究会の後援）

会議の準備状況が報告され、協力（特に募金活動）について要請があり、承認された。（担当 小俣常任幹事）

(2) 日本光生物学協会講演会（2003年7月4、5日、奈良女子大学）

伊藤常任幹事より概要説明と参加依頼があった。

(3) International Workshop on Green and Heliobacteria (2003年8月22-24日、千葉)

共催依頼を了承した。井上常任幹事より準備状況が報告された。（追加資料3）

(4) 第6回大気汚染と地球環境変化に対する植物の反応に関する国際シンポジウム

("APGC2004", 2004年10月19-22日、つくば国際会議場)（追加資料4）

協賛依頼を了承した。大政常任幹事より内容の紹介と参加の勧誘がされた。

(5) クラミドモナス分子細胞生物学国際会議（2004年5月11-15日、神戸国際会議場）

前回承認された後援依頼の確認、準備状況を福澤常任幹事が報告した。

9. 日本光合成研究会第3回シンポジウムの企画

次回の日本光合成研究会第3回シンポジウムとして、「光合成・地球・人」のタイトルで global な視点からの講演会を5月23、24日に行う事を決定した。（担当は宮尾、臼田、寺島、大政各常任幹事）

10. ワークショップの企画

今後のワークショップの企画については、次回の常任幹事会で検討することとなった。

第3回シンポジウム開催のお知らせ

昨年より、日本光合成研究会主催のシンポジウムを毎年5月末に開催することになりました。本年の第3回シンポジウムの日時と場所が以下のように決まりました。

日時：2003年5月23日（金）13:00～5月24日（土）13:00

場所：東京工業大学すずかけ台キャンパス大学会館

（横浜市緑区長津田町；東急田園都市線すずかけ台駅下車徒歩5分）

今回のテーマは「光合成・地球・人」で、細胞内で完結する反応としてではなく、よりマクロな視点から光合成を捉えたいと考えています。森林、海洋、農業をキーワードに、地球環境との相互作用から細胞レベルまで、生物の営みとしての光合成の様々な側面を概観できる内容にしたいと準備を進めています。詳細が決まり次第、ご連絡いたします。また、シンポジウムに関する最新情報は、日本光合成研究会のホームページ（<http://www.nibb.ac.jp/~photosyn/index-j.html>）に掲載しますので、こちらもご覧下さい。

常任幹事（企画担当）

白田、大政、寺島、徳富（宮尾）

光合成事典の刊行迫る！

皆様のご支援・援助を得て光合成事典の編集を進めてまいりましたが、編集も最終段階に入り、まもなく執筆者の先生方のお手許には学会出版センターから著者校正をお届けできる運び

となりました。6月刊行をめざして努力中ですのでよろしくお願い申し上げます。予定本体価格は8,500円です。刊行時には著者割引、特別割引（会員特価など）などの特典があります。

この事典は光合成だけでなく、周辺の関連分野を広くカバーしていますので、ぜひ周りの研究者・学生・院生の方々にお勧めいただきたく存じます。また、反応中心をはじめとした光合成関連複合体のX線結晶構造解析図、光合成色素の吸収スペクトルやそれらの吸収極大波長、分子吸光係数の一覧表、還元的ペントースリン酸回路図など豊富な付録を取り揃えていますので、今までのどの参考書、事典にも見られない総合的な利便性を備えていると思います。価格も学生・院生の手の届く価格に押さえております。

どうぞ光合成事典にご期待下さい。

光合成事典 編集委員長 高宮 建一郎

第2回光合成研究会ワークショップ

「光合成生物研究におけるDNAアレイの活用」報告

担当常任幹事 福澤秀哉

上記ワークショップを2002年12月7日（土）午後に、京都大学農学部本館東棟1階セミナー室で開催した。参加者は、講師5名を含めて40名でした。DNAアレイを用いた網羅的な遺伝子発現の解析手法について理解を深める事ができるよう、初心者を対象として、以下の点に絞って講演と質疑討論を行った。(1)DNAアレイ実験で問題となる技術的ポイント。(2)アレイデータ解釈の「ポイント」。(3)データ処理用ソフトウェア(ArrayVisionとImagene)のデモ。講師は、基礎生物学研究所の鈴木石根氏と東京大学の池内昌彦氏から「シアノバクテリアのDNAマイクロアレイ」について紹介された。次に理化学研究所の関原明氏から「アラビドプシスのDNAマイクロアレイ」について、名古屋大学の九町健一氏から「オリゴDNAアレイ」について、福澤から「クラミドモナスのDNAマクロアレイ」が紹介された。講習後、ワークショップの感想を17名の参加者から電子メールで頂いたので、次に一部を紹介します。

<アレイの技術上（実験手順）の説明、データを解釈する上でのコツが部分的にもつかめた。マクロアレイとマイクロアレイとを比較していただけたのが、個人的には良かった。実際の実験の行程を詳細にお話ししていただき、今までデータしか見たことがない私にとっては、大いにプラスになった。各研究室間での実験方法・解析方法の違いなど、文献ではわからないところが聞けて参考になった。情報系の方が入った会があるとよいと思いました。情報系に特化したワークショップをぜひ開催してほしい。数値解析に関してソフトのことを講師の方や参加者から聞くことができたのは収穫でした。特に、アレー作業の問題点、データ解析の理論、アレー解析の抱える問題点などを勉強できました。半日では時間的にあまりに厳しかったと思います。>

また、今回のワークショップ開催通知は電子メール（本研究会会員登録アドレスと「nazuna」「Algae」）、本研究会ホームページで行いましたが、メールアドレスを事務局にお知らせいただいていない会員の方々には案内できなかった点が反省点でした。参加者からは「メールでのお知らせで十分。」と回答がありましたが、光合成研究会の会員は40人中8名でした。最後に光合成研究会への入会をお願いして散会しました。

集会案内

★第 10 回日本光生物学協会講演会

今年の光生物学協会講演会は第 10 回となります。光生物学全般に亘る課題を一般講演では募集いたします。多くの方々の御参加を歓迎いたします。お近くの研究室の方で興味をおもちの方がおられましたら、お誘いください。

日時：平成 15 年 7 月 4 日（金）13：00～5 日（土）16：00

会場：奈良女子大学記念館 〒630-8506 奈良市北魚屋西町

一般講演（口演発表）：講演時間は討論を含めて 15 分

参加費：一般 3,000 円，学生 1,000 円

懇親会費：4,000 円

詳細は <http://www.cherry.bio.titech.ac.jp/meeting2003.htm> をご覧下さい。

★第 11 回国際原核光合成生物シンポジウム (ISPP 2003 Tokyo) 開催のお知らせと参加のお願い(11th International Symposium on Phototrophic Prokaryotes, ISPP 2003 Tokyo)

表記会議が日本光合成研究会の後援のもと開かれます。

参加登録（一次）締め切り：平成 15 年 5 月 15 日

発表・要旨締め切り：平成 15 年 5 月 15 日

参加登録費：平成 15 年 5 月 15 日以前（一般 3 万円、学生 1 万 5 千円）

平成 15 年 5 月 16 日以後（一般 4 万円、学生 2 万円）

連絡先：東京工業大学 大学院生命理工学研究科 高宮 建一郎

226-8501 横浜市緑区長津田町 4259

電話：045-924-5735、FAX：045-924-5823

予備登録先：ispp2003@takamiya.bio.titech.ac.jp または <http://ispp.molbiol.saitama-u.ac.jp/>

また、詳細は、前号（第35号）会報にも掲載しています。

☆第6回大気汚染と地球環境変化に対する植物の反応に関する国際シンポジウムー分子生物学から植物生産および生態系までー

6th International Symposium on Plant Responses to Air Pollution and Global Changes: from Molecular Biology to Plant Production and Ecosystem (6th APGC Symposium)。

2004年10月20（水）～22日（金）；つくば国際会議場（EPOCAL）。日本光合成研究会は協賛団体です。

☆「緑色細菌とヘリオバクテリア」

“International Workshop on Green and Heliobacteria, 2003”

表記会議が、第11回国際原核生物会議（ISPP）のサテライト会議として03/08/22-08/24に千葉かずさアカデミアホールにて行われます。オーガナイザーは、桜井英博、上原嚇の両氏です。日本光合成研究会が共催します。詳細は以下の通りです。

日時：2003年8月22日午後-24日午前（期間中に、かずさDNA研究所見学を予定）

場所：千葉県木更津市かずさアカデミアホール

参加費用：3万円（2人一室）、3万5千円（1人一室）。いずれも室料、食費（4食）、アブストラクト代込み。会議終了後、ISPP本会議場（江戸川区民会館）行き交通を準備の予定。

予備登録締め切り：2003年3月20日（プログラム原案作成の資料にします）

発表申し込み締め切り：2003年5月31日

要旨集原稿締切：2003年7月15日

予備登録先：uehara@riast.osakafu-u.ac.jp

URL (予定) : <http://iwaki.riast.osakafu-u.ac.jp/~ouyou3/IWGHB2003/home.html> (under construction)

★第11回クラミドモナス国際分子細胞生物学会議

The 11th International Congress on the Cell and Molecular Biology of Chlamydomonas

表記会議が2004年5月11日～15日に神戸国際会議場で開催されます。日本光合成研究会が後援します。光合成関連のセッションが予定されています、詳細は、本研究会ホームページでご案内します。 文責：福澤秀哉（京都大学生命科学研究科）

★第4回クラミドモナス・ワークショップ開催のお知らせと参加のお願い

本ワークショップでは緑藻クラミドモナスを中心とした藻類を実験生物材料に用いた研究の情報交換を行います。また、上記の第11回クラミドモナス国際分子細胞生物学会議の準備状況の報告なども行います。予算に限りがありますが、発表者には若手の研究者を中心に旅費の援助があります。

日時：2003年9月5日（金）～6日（土）

場所：北海道大学・札幌キャンパス内遠友学舎

予定： 特別講演「クラミドモナスのゲノム解析の新展開」

シンポジウム「クラミドモナスの環境応答」

口頭発表・ポスター発表

詳しくは以下のホームページをご覧ください。

<http://www.lowtem.hokudai.ac.jp/~ayumi/chlamy2003>

また、問い合わせ・参加及び発表申し込み等は taka@cc.okayama-u.ac.jp（岡山大・理・高橋裕一郎）までメールで御連絡下さい。

★The conference on "Tetrapyrrole Photoreceptors in Photosynthetic Organisms"

The conference is planned to be held as a EuroConference in Aubernay, France (near Strasbourg) from September 12-17, 2003. Organizer: A. R. Holzwarth

< 研究紹介 >

強光ストレスとシアン耐性経路 – UWA での二年間 –

野口 航 (大阪大学・大学院理学系研究科・生物科学専攻)

植物のミトコンドリアは動物や細菌のミトコンドリアとは異なるいくつかの特徴が知られているが、興味深い特徴の一つがシアン耐性経路であろう。ここではシアン耐性経路に関する知見の簡単なまとめと、シアン耐性経路を生理生態学的な視点から調べている私の研究結果を紹介したい。

シアン耐性経路は Alternative Oxidase (AOX) という一つの酵素からなり、ミトコンドリア呼吸鎖においてユビキノンから電子を受け取り、酸素に渡す働きをする経路である。AOX は電子伝達のときに内膜を介した水素イオンの能動移動がなく ATP 合成とは共役しない。つまり AOX はエネルギー的には一見無駄とも言える経路である。AOX は約 36 kDa のタンパク質で内膜のマトリックス側に二量体として存在し、ジスルフィド結合によって分子間 S-S 結合している酸化型と、還元され SH となる還元型の二つの状態がある。還元型の方が活性が高く、ピルビン酸などの α ケト酸によってさらなる活性化を受ける。活性化された AOX はユビキノンからシトクロム経路と競合的に電子を奪うことができる。

シアン耐性経路そのものは古くから知られ、Genevois が 1929 年にスイートピーを使ってシアンに耐性のある呼吸を発見したのが最初である。その後 Van Herk と Badenhuizen (1934) が、サトイモ科肉穂花序の熱発生時に高いシアン耐性呼吸を示すことを報告した。シアン耐性経路がミトコンドリアに局在することが明らかになったのは、サトイモ科の肉穂花序から単離したミトコンドリアを使った James と Elliott(1955) の研究による。1971 年に Schonbaum らによりシアン耐性経路の特異的阻害剤(SHAM) が発見され、肉穂花序以外の植物組織におけるシアン耐性経路の役割についての生理的な研究が進められた。シアン耐性経路が AOX という 1 酵素からなることは、1986 年にサトイモ科肉穂花序からのタンパク質の部分精製によって明らかになった。その後 AOX タンパクの抗体の単離、Aox 遺伝子の塩基配列の決定といった研究を経て、現在多くの種から Aox 遺伝子が単離され、分子生物学的な研究が進んでいる。葉緑体チラコイド膜にも AOX と相同性の高いタンパク質があり、chlororespiration に働いていると考えられている。

なぜエネルギー的に不利なこの AOX を植物はもつのだろうか？現在、肉穂花序における熱発生以外の AOX の一般的な役割として、過還元状態のときに還元力の消去系として働いている可能性が提唱されている。植物では活性酸素の発生の場合として葉緑体がよく研究されるが、ミトコンドリアにおいても酸素に 1 つの電子だけ渡されれば、電子伝達系のどこからでも活性酸素が生じる。ATP 利用が低い状態ではシトクロム経路は NADH のような還元力の消費を行うことができず、電子伝達系に電子が滞留し活性酸素が生じやすい。そのとき AOX は過剰の還元力を消去し、活性酸素の発生を防ぐと考えられている。しかし非常に強いストレス条件下の植物を調べた研究がほとんどであり、実際、AOX が過剰の還元力の消去系として有効なのかどうかは分かっていない。

私がこの AOX と関わったのは、林床のような弱光下で生育する陰生植物について研究を始めた修士課程の頃からである。陰生植物は非常に薄暗い環境でも生育ができる植物を指し、葉の美しいものは良く観葉植物として利用されている。陰生植物は弱い光環境にうまく適応しており、その葉はいくつかの特徴を有している。陰生植物の葉は広く薄いために、弱い光でも多くの光量子を吸収できる。葉面積あたりのクロロフィル量が多く、光-光合成曲線の初期勾配の傾きが大きい。また呼吸速度も低い。この低い呼吸速度は光補償点を高くする（弱い光環境でも正の光合成生産にする）ために重要である。修士課程では、材料としてサトイモ科のクワズイモの葉を用いて、陰生植物の葉の呼吸速度が低い要因について研究を進めた。クワズイモ属の植物は葉に含まれる二次代謝産物量が少なく生化学実験が行いやすいため、光合成の sun/shade の分野ではよく使われてきた材料として知られている。研究の結果、クワズイモの葉の呼吸速度が低いのは呼吸系酵素や光合成産物量が少ないのではなく、細胞内の ATP 利用速度が低く、adenylate limitation が起きているためであるということがわかった。

それでは陰生植物の葉では、エネルギー生産には不利なシアン耐性経路 AOX は使われているのだろうか？すでにその当時から AOX の in vivo の速度を測定するには、阻害剤のみを用いた実験方法では誤りであることが指摘され、AOX と cytochrome c oxidase(COX) との間に酸素安定同位体分別の差があることを利用した実験方法を用いる必要性が指摘されていた。しかしその方法は当時世界的にも二つのグループでしか測定してされていなかった。博士課程のほとんどの時間を割き、さらに地球物理学の上田眞吾、吉成正両博士の協力を得て、ようやくクワズイモの葉の AOX の速度を測定することができた。その結果、通常の光環境のクワズイモの葉では AOX をほとんど利用していないことがわかった。したがってクワズイモの葉では、低い呼吸速度ながらもエネルギー効率の高い状態が実現していた。

陰生植物クワズイモの葉には AOX タンパクが少ないのだろうか？その疑問に答えるためには、葉からミトコンドリアを単離して調べるのが直接的である。しかし一人では葉からミトコンドリアを単離することができなかつたため、日本学術振興会の海外特別研究員に応募し、2年間オーストラリアの University of Western Australia(UWA) の David Day 教授のもとで実験を進めることにした。Day 教授は University of Adelaide の Joe Wiskich 教授のもとで学位を取り、長年、植物のミトコンドリアの有機酸の輸送や電子伝達系について研究を進めていた。また UWA には植物の呼吸の生理生態学的な研究を行っている Hans Lambers 教授、ミトコンドリアタンパクの輸送や AOX の分子生物学をおこなっている Jim Whelan 博士、Day 教授のもとで学位をとり植物ミトコンドリアのプロテオームを行っている Harvey Millar 博士など植物の呼吸研究では著明な研究者が集まっており、恵まれた環境で実験を進めることができた。

Day 教授の研究室では、まずクワズイモの葉からミトコンドリアを単離するところから始めた。オーストラリアでも日本で用いていた種と同じ種が手に入り、いくつかの試行錯誤を経て活性の高いミトコンドリアを得ることができた。同時に呼吸速度の高いホウレンソウの葉からもミトコンドリアを単離し、両者を比較した。その結果、クワズイモの葉のミトコンドリアタンパク当たりの AOX 活性は低くはなく、DTT とピルビン酸で AOX を活性化するとホウレンソウと同程度の最大活性を示した。ミトコンドリアマーカ酵素であるフマラーゼを使って、葉の重さあたりに直して比較すると、クワズイモの方がホウレンソウよりも高い AOX 活性を示すことがわかった。また非常に薄暗い環境でクワズイモを栽培しても、明るい光環境で栽培したものと同じくらい高い AOX 活性を示した。Q 電極を使って測定すると、活性化されたクワズイモの葉の AOX はユビキノンの酸化還元状態が比較的酸化状態にあっても電子を受け取ることができ、COX と競合的に電子を奪えることがわかった。それでは、クワズイモの葉において高い活性を示す AOX は何に役に立っているのだろうか？またどのような制御を受けて弱光下では働かないようになっているのだろうか？

陰生植物を明るい光環境で栽培すると、慢性的に葉に光障害を受けることが知られている。実際にクワズイモを明るい光環境で栽培すると、葉の Fv/Fm は下がる。前述したように AOX が過還元状態のときの還元力の消去系として働くのなら、このような光傷害条件下ではクワズイモの葉の AOX は過剰の還元力の消去系として働いているのだろうか。AOX の酸化型（不活性型）と還元型（活性型）は分子量が異なるために、葉の膜画分を用いて SDSPAGE・western blotting をすることによって、in vivo における AOX の活性型と不活性型の割合を判別することができる。薄暗い環境で生育したクワズイモの葉では、AOX のほとんどは不活性型であったが、慢性的な光傷害がおこる光環境下の葉では、AOX のほとんどは活性型であった。また薄暗い環境から明るい光環境へ植物を移した場合にも、移行して1日後には Fv/Fm の減少とともに不活性型と活性型の AOX が 1:1 に変化していた。つまり強光ストレスが起こるような状態では、クワズイモの葉の AOX は活性型になり、過剰な還元力の消去系として働きうる可能性がある。クワズイモのような陰生植物は林床や林縁など薄暗い環境に生育するが、倒木により林冠にギャップが形成されると、強い光環境にさらされる。そのような環境では AOX が活性型に変化し、効率良く過剰な還元力を消去しているのかもしれない。この結果から、どのようなメカニズムが AOX の活性化・非活性化の制御を行っているのか、ATP 合成と共役しない他の電子伝達経路 (NAD[P]H dehydrogenase や UCP) はどのような調節を受けているのか、強光条件下のクワズイモの葉では AOX の in vivo の速度は高いのか、葉緑体の還元力は効率良くミトコンドリアに運ばれているの

かというさらなる疑問も生じるが、UWA 滞在中に「陰生植物クワズイモの葉には AOX が少ないのだろうか」という当初の目的は果たせたと思う。

UWA で行った実験の成果を、昨年7月に UWA の近くの港町 Fremantle で開催された International Congress on Plant Mitochondria (ICPM) で口答発表する機会があった。ICPM は 国際光合成会議と比べると小さな学会だが、論文でしか知らなかった研究者とも知り合うことができ、個人的には学ぶことも多く、良い学会であった。ただ植物の呼吸の分野でも分子生物学・生化学の研究が多く、生態学的な視点から研究を行っている研究者は数少ない点が残念だった。

UWA が位置する西オーストラリア州のパースは、夏が乾燥すること、日射しが非常に強いことを除けば、冬も暖かく、犯罪発生率も低く、観光はともかく生活を営むには良い場所であった。またパース近郊は地中海性気候であることや土壌のリン酸濃度が非常に低いことにより、オーストラリアの他の州とも異なるユニークな植生・植物種が見られ、公園を散策するだけでも結構楽しかった。大変不得意な英語も、普通に日常生活を送りおおらかな Aussie に接しているだけなら、おおむね問題がなかった。しかし、一緒に行った修士課程の学生が足の骨を折ったという事態では、英会話が不得手なことは大変な障害となり、本当に困ってしまった。語学というのは、やはり英語圏で漫然と生活するだけで実践レベルまでレベルアップしていくわけではなかった。最後に UWA で二年もの間、研究する機会を与えてくれた日本学術振興会と理解のある上司に感謝の意を表したい。

< 研究紹介 >

ザゼンソウの発熱制御システム

伊藤菊一（岩手大学農学部附属寒冷バイオシステム研究センター）

ザゼンソウは早春に花を咲かせるサトイモ科の発熱植物である。私は、数年前から本植物の発熱制御システムに興味を持ち研究を始めた全くの新参者であるが、本稿では、私がザゼンソウに興味を持ったきっかけや、我々の研究の方向性などについて最近の研究成果とともに記したい。

ザゼンソウの発熱現象の発見そのものはそれほど新しいものではない。本植物の発熱現象に関する記述は、1970年代のKnutsonの呼吸測定を含むフィールド実験までさかのぼることができる⁽¹⁻³⁾。Knutsonは北米に自生するザゼンソウを用いて、その発熱部位である肉穂花序が氷点下を含む外気温の変動にも関わらずその体温を20℃内外に維持できること、また、その温度制御には肉穂花序における呼吸量の変動が密接に関係していることなどを明らかにしている。その後、我が国の研究を含むいくつかの生理・生態学的解析が行われていたが⁽⁴⁻⁵⁾、私が研究を始めた当時は、ザゼンソウの発熱制御に関わる詳細な分子メカニズムについては、まだ不明の点が多く残されているように感じられた。例えば、ザゼンソウには、Knutsonが報告しているような明確な恒温性が存在するが、この特性は、本植物に少なくとも3つのシステムが内在することを暗示している。すなわち、・熱産生に関わるシステム、・外気温を認識するシステム、および、・上述の・と・を統合する温度制御システムである。このうち、・の熱産生に関わる因子としては、Voodoo lilyを用いたシアン耐性呼吸酵素（alternative oxidase: aox）に関する研究が有名で⁽⁶⁾、ザゼンソウの発熱メカニズムもVoodoo lilyとほぼ同様であると考えられていた⁽⁷⁾。しかし、私には、我々哺乳動物の熱産生を制御している脱共役タンパク質（uncoupling protein: ucp）の関与については十分に検討されていないように思われた。また、・および・については、恒温植物自体が植物界では例外的な存在であることから、関連する研究例は全く存在しないように思われた。そこで、新しくザゼンソウ研究を始めるにあたり、研究のターゲットを前記の3つのシステムの解明に絞るといふ決心をした。研究を始めた当時は、学生がゼロ、研究費は、栗林育英学術財団からいただいた20万円のみで、全ての実験を限られた予算の中、自分一人で行わざるを得なかった。

・の熱産生の素反応に関わる因子については、早速、ザゼンソウ由来の *ucp* 遺伝子の解析を始めた結果、発熱中の肉穂花序においては、2種類の *ucp* 関連遺伝子 (*SfUCPa* & *SfUCPb*) が存在することがわかった。これまでに明らかになっている哺乳動物および一部の非発熱植物由来の *ucp* タンパク質は、いずれも6個の膜貫通ドメインを有し、細胞質側を向いているそのC末端には、プリンスクレオチド結合ドメイン (PNBD) と呼ばれる活性抑制部位が存在することが知られている。ザゼンソウにおいても *SfUCPa* と名づけた因子は、従来知られている *ucp* ファミリーと同様に6個の膜貫通ドメインを有していたが、その肉穂花序における発現は、極めて低いことが明らかになった。一方、ザゼンソウの肉穂花序で主として発現している *SfUCPb* と名づけた因子は、既知の *ucp* ファミリーとは異なり、5個の膜貫通ドメインを持つ全く新しい膜タンパク質であることが判明した。興味深いことに、*SfUCPb* タンパク質のミトコンドリア内膜におけるトポロジー予測から、本因子においては、その活性抑制部位と予想されるPNBDが機能せず、常時脱共役活性を有する可能性が考えられ、ザゼンソウ由来の *SfUCPb* が従来の *ucp* 分子とは異なるメカニズムで熱産生に関与していることが示唆された⁽⁸⁾。私の知る限り、これは、発熱植物から得られた *ucp* 関連遺伝子に関する初めての知見である。現在、ザゼンソウ以外の発熱植物における *ucp* 遺伝子の解析を網羅的に進めているが、これまでのところ、哺乳動物や非発熱植物の間に広く分布している *SfUCPa* タイプの因子は植物の発熱反応には直接的に関連していない可能性が示唆されており⁽⁹⁾、ザゼンソウから得られた *SfUCPb* タイプの脱共役タンパク質が植物の熱産生に密接に関連しているものと考えている。しかしながら、これらの脱共役タンパク質に着目した知見は、ザゼンソウの発熱に関わる素反応のごく一部を見ているに過ぎないだろう。例えば、我々が最近ザゼンソウから単離した *aox* 遺伝子も、非常に興味深い発現様式を示すことが明らかにされつつあり、今後は、これらの異なる作用機構を持つ発熱関連因子のミトコンドリアにおける機能を徹底的に検証する必要があると考えている。

次に、・の外気温を認識するシステムは、ザゼンソウの恒温性を保障する重要な要素である。また、このシステムの中には、温度センサーとして機能している分子も含まれている可能性が高い。植物の温度センサー分子については、現在、多くの研究者により精力的な研究が行われているが、私には、外気温の変動に応じて体温を調節できるザゼンソウは、植物の温度センサーに関わるメカニズムを解析するためのよい実験系であるように思われた。この温度センサーに関わる研究を始めるにあたりまず問題になったことは、植物体のどこに温度センサー機能が存在しているかという点であった。温度センサー機能が存在する器官あるいは部位が明らかになれば、関連するより詳細な分子検索もさらに容易になるはずである。紙面の都合上、詳細な説明は省略するが、驚くべきことに、本植物の温度センサー機能は、その発熱部位である肉穂花序に存在することが明らかになった⁽¹⁰⁾。この知見は、発熱部位である肉穂花序が外気温の変動をどのようなメカニズムで認識しているのかという、非常に興味深い問題を提示しており、現在、集中的に解析を進めているところである。

一方、刻々と変化する気温情報に基づいて発熱レベルを統御するシステム (上述・) については、「ザゼンソウが有する温度制御アルゴリズム」という表現で問題を理解しようとしている。例えば、エアコンなどの温度制御は、PID制御という経験則に基づいたアルゴリズムによ

り行われているが、恒温植物であるザゼンソウにおいても、PID 制御に相当する温度制御アルゴリズムが存在するはずである。この問題については、時系列体温データに基づいたカオス解析を切り口にザゼンソウ特有のアルゴリズムを明らかにしようとしている。

このようなザゼンソウ研究は、2001 年 10 月から始まった生研機構の課題として改めて問題点を整理しながら取り組んでいるが、研究が進むほどにザゼンソウ発熱現象の持つおもしろさが深まるように感じている。研究を始めた当時は、氷点下 5~10℃の外気温のもと、一人寒さに震えながらザゼンソウの温度測定を行っていた。植物体の仏炎苞や葉が凍結するような低温環境でも、発熱部位である肉穂花序はほぼ 20℃内外の温度を保つことを文字通り実感したときの感激は今でも忘れられない。その時、頭に中に浮かんだ上述の 3 つの問題は、いずれもそう簡単に解明できるものではないかもしれないが、ザゼンソウ研究を通じて当該分野に少しでも貢献できればと思っている。なお、現在のザゼンソウ研究も、相変わらず人員が非常に不足している状況にあり、この場を借りて、研究員、大学院生、学生など、発熱研究に興味を持つ方々の参加を呼びかけたい。また、ザゼンソウは、植物のエネルギーフローなどを考察する上でも、ユニークな研究材料であると考えられ、是非、光合成研究の方々との連携も深めつつザゼンソウの発熱研究をより発展させることができればと考えている。

1. Knutson, R.M. (1972) *Am. Mid. Nat.* **88**, 251-254.
2. Knutson, R.M. (1974) *Science* **186**, 746-747.
3. Knutson, R.M. (1979) *Nat. Hist.* **88**, 42-47.
4. Uemura, S. et al. (1993) *Am. J. Bot.* **80**, 635-640.
5. Seymour, R.S. & Blaylock A.J. (1999) *J. Exp. Bot.* **50**, 1525-1532.
6. Rhoads, D.M. & McIntosh, L. (1991) *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **88**, 2122-2126.
7. Guy, R.D. et al. (1989) *Planta* **177**, 483-491.
8. Ito, K. (1999) *Plant Sci.* **149**, 167-173.
9. Ito, K. et al. (2003) *J. Exp. Bot.* **54**, 1113-1114.
10. Ito, K. et al. (2003) *Plant, Cell & Environ.* in press.