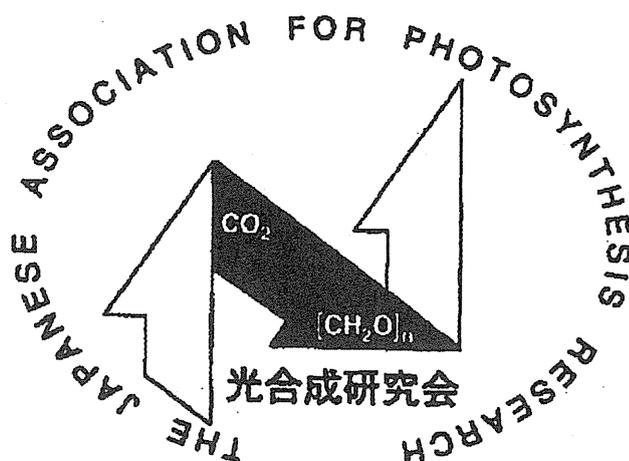


# 光合成研究会 会報

第23号 1998年 1月



NEWS LETTER No. 23 January 1998  
THE JAPANESE ASSOCIATION FOR PHOTOSYNTHESIS RESEARCH

\*\*\*\*\*

集会案内	2
第11回国際光合成会議について	
基礎生物学研究所 村田 紀夫	2
第9回原核光合成生物国際シンポジウムに参加して	
東京工業大学 生命理工学部 生体機構学科 高宮 建一郎	3
3rd Workshop on Green and Heliobacteria (1997.8.31-9.4, Urbino, Italy)に参加して	
早稲田大学 教育学部 桜井 英博・東京都立大学 理学部 松浦 克美	5
第5回国際植物分子生物学会見聞録	
東京工業大学 生命理工学部 生体機構学科 太田 啓之	7
光合成研究会シンポジウム報告「光合成の分子生理学と分子生物学」	
理化学研究所 光合成科学 野口 巧	10
重点領域研究「植物個体における光合成機能統御の分子基盤」の概要説明	
大阪大学 蛋白質研究所 長谷 俊治	11
誌上討論	
“光呼吸を抑制すると光合成が増加するか”	
京都府立大学 人間環境学部 竹葉 剛	13
留学記	
College Park 留学記	
Dept. of Microbiology, University of Maryland 相澤 克則	18

## 集会の案内

### 集会名 (会場) [連絡先]

1998年

4月2日-3日: Regulatory Mechanism of Photosynthesis (岡崎コンファレンスセンター (基礎生物学研究所内)) [園池公毅(東大・理・生物科学)、TEL: 03-3812-2111 ext.4456, FAX: 03-3814-1728, E-mail: sonoike@biol.s.u-tokyo.ac.jp]

4月6日-8日: Intnatl. Meeting on Production and Uses of Starch (Edinburgh, Scotland) [E-mail: esa216@ed.sac.ac.uk]

4月27日-5月2日: The 3rd Asian Crop Science Conference: Regional Production Strategies to Meet Food Needs Toward The 21st Century (Taichung, Taiwan) [FAX: 886-4-2860267, E-mail: acsc@dragon.nchu.edu.tw.]

8月13日-17日: 第16回国際植物成長物質会議 (千葉・幕張メッセ) [TEL: 048-462-9375, FAX: 048-462-4691, E-mail: ykamiya@postman.riken.go.jp]

1999年

8月1日-7日: XVI Intnatl. Botanical Congress (St. Louis, America's Center) [TEL: +1-314-577-5175, FAX: +1-314-577-9589, E-mail: mail ibc16@mobot.org, Homepage: <http://www.ibc99.org>]

\*\*\*\*\*

## 第11回国際光合成会議、ブダペスト、1998.8.17-22 について

基礎生物学研究所 村田紀夫 (国際光合成学会国際委員)

上記国際会議の組織委員長 Dr. Gyzo Garab と1997年11月に会う機会があり、色々と情報交換を行いました。以下の点を報告します。

1. 上記国際会議の日程が変更になりました。それは直前にブダペストで開催される F1レースのためです。新しい日程は8月17～22日です (以前の日程は8月15～20日でした)。このため、国際会議の前後に開催予定のサテライト・ミーティングも2日分遅くなります。
2. 主会場が、ブダペスト国際会議場 (ペスト) から、経済大学 (Economy University) (ブダ) に変更になりました。

## 第9回原核光合成生物国際シンポジウムに参加して

東京工業大学 生命理工学部 高宮 建一郎

日本の光合成研究者に余り知られていない国際会議に、表記の国際シンポジウムがある。これは3年毎に国際光合成会議の前年に開催され、原核光合成生物の、生態、形態、分類、生理、遺伝、進化などあらゆる分野の知見の報告と展望が討論される。これまで今年を含め9回開催されており、開催地は前々回のアメリカのアムハーストを除き、全てヨーロッパである。このようなところに、ヨーロッパの科学者の原核光合成生物研究への自負と思い入れが感じられる。今回はウーン大学で9月6日から12日まで、同大学のPeschek教授の組織のもとで開催された。今年のウーンはこの季節としては異常に暑く、Tシャツ一枚の学生が多かった。参加者数は約400名で、日本人は約30名であった。例年のように、午前中は大ホールでPlenary Lectureがあり、午後は3会場に分かれて口頭発表と討論が行われた。ポスター発表も平行して行われたが、ポスター発表に対する討論時間は特別に割り当てられなかった。今年は、研究分野の仕分けは、光合成装置I・II、生体エネルギーおよび電子伝達、イオン・溶質の輸送、リピド・トキシン、ゲノム分析、C-, N-, H-, S-代謝、生態、系統分類、進化などであった。今年は特に、G. Drews, N.G. Carrによって25年間の回想が述べられた。毎日、2、3分野について発表・討論が行われた。発表演題数が多く、時間帯も重なっていたので（特に光合成細菌とシアノバクテリアの発表とが）、ここでは発表の大部分を網羅することはせず、筆者の印象に残ったいくつかのトピックスについて紹介するにとどめる。

インディアナ大のBauerは、光合成細菌*Rhodobacter capsulatus*で光合成遺伝子発現制御に関わるとこれまで想定されているトランス因子の他に、カロテノイド生合成遺伝子群の*CrtJ*の遺伝子産物が、光合成色素生合成遺伝子と色素結合蛋白質遺伝子発現の、酸素による抑制因子として機能することを示唆した。テキサス大のKaplanのグループも同一の制御因子の*Rhodobacter sphaeroides*での作用機構のモデルを提唱した。この他、光合成細菌の二成分系制御に関する口頭発表は、C4-ジカルボン酸の輸送、走光性、炭酸および窒素固定関係などがあった。これらの発表を聞いて感じたことは、二成分制御系とトランス因子との間を結ぶ情報伝達鎖がほとんど不明であることである。また、これらのトランス因子は、これまで色々示唆されているが、この辺で整理して統一的解釈を得る方向に進むべきでであろう。テキサスA&M大のGoldenは名大の近藤らと共著で、シアノバクテリアの*psbA*遺伝子発現のリズムが24時間から大きく異なる種々の突然変異株を取得し、体内時計の長さに関与する遺伝子を同定した。カーネギー研のGrossmanのグループは、シアノバクテリアのChromatic Adaptationに関わる二成分制御系のセンサー・キナーゼ中に、フィトクロームにホモロジーのあるドメインが存在することを示し、この制御系は4段階のリン酸転移が関与することから、真核生物のフィトクローム系の情報伝達系の進化の解明への可能性を示唆した。この他に、シアノバクテリアの二成分制御系の関与する情報伝達としては、大森のアデニレートシクラーゼ関係のものや、フンボルト大のVogelらのグループの青色光効果関係の発表があった。反応中心等の複合体の結晶解析に関する発表では、イリノイ

大の Crofts が光合成細菌の BC1 複合体の二量体立体モデルを披露し、Rieske-蛋白の立体構造が Qz や電子伝達阻害剤との相互作用でどのように変化するかを、コンピューター・グラフィックスの手法でスクリーンに投影させ、動的に再現させたのが印象的であった。ゲノム解析関係では、名大の杉浦やハーバード大の Bogorad は、これまでに同定された 13 種の生物の葉緑体ゲノムの遺伝子を概説し、シアノバクテリアの全ゲノムとの比較から、シアノバクテリアには存在しない葉緑体遺伝子にも言及した。シカゴ大の Haselkorn の *Rb. capsulatus* のゲノムプロジェクトでは、3.7 Mb のうち約 1 Mb の塩基配列が決定したとの発表があった。その他、エネルギー変換と代謝系発現調節との間の情報伝達には、Atkinson の提唱したエネルギー・チャージと酸化・還元チャージのような定量的な関係が存在するはずだという、インディアナ大の Gest の話も興味を引いた。このような考えは、上述の光合成細菌の二成分制御系のセンサーの多くは、電子伝達系の酸化・還元レベルを感知するとする Bauer やオックスフォード大の Armitage のモデルに表れている。全体の印象では、遺伝子発現制御に関する情報伝達系の研究発表が多かったように思う。また、情報伝達に限らず、シアノバクテリア関係の発表が増加した。これらの理由として、シアノバクテリアのゲノムの全塩基配列が決定されたことや、高等植物の情報伝達にも細菌型の二成分制御系のホモログが存在するという最近の知見に触発されたことなどが挙げられるだろう。今回は特に日本人の参加者も多く、口頭（名大・杉浦、小俣、基生研・伊藤、岩手大・若尾）やポスターで数多くの発表があり、注目を集めた。

このシンポジウムの形式的な運営は、数カ国の委員からなる国際委員会によってなされており、次回開催地も慣例により今回の国際委員会で決定されるはずであったが、根回し不足のせいか、会期中の 2 回の委員会でも決まらず、スペイン、イギリス、アメリカの順で開催国をさらに調整することになっている。開催地が決まらない理由のひとつは、シンポジウムの規模が大きくなりすぎて、主催者側にかかなりの負担を強いることが挙げられよう。このような状況下で、6 年後は日本でどうだろうかとの話が出たので、幾人かの方とも相談し、諸般の事情を考慮した結果、次回の国際委員会で正式に立候補する旨を議長の Ormerod に通知した。したがって、かなり先の話だが、日本での開催が正式に決定した場合には、会員各位の積極的なご支援をお願いする次第である。

### 3rd WORKSHOP ON GREEN AND HELIOBACTERIA (1997.8/31-9/4, Urbino, Italy)に参加して

早稲田大学 教育学部 桜井英博・東京都立大学 理学部 松浦克美

この研究会は、IXth International Congress on Photosynthetic Prokaryotes (Wien)のサテライトミーティングとしてUrbino大学で開かれ、organizerはProf. D. Zannoni (Univ. Bologna)であった。第1回、2回研究会は、いずれもJ.M. OlsonによりデンマークのNyborgで1987,1993年に開かれた。実は、1995年のMontpellier光合成会議のあとに1日だけのサテライトがあり、これを含めると今回の第4回というのが正しいという発言もあるにはあったのだが。研究会の大口スポンサーはESU(European Science Union)で、その光合成部門の責任者であるA. Hoffは、ESUの活動について詳しく説明するなど、大いにその存在を示していた。参加者は約50名で、日本からは野沢(東北大)、桜井、松浦、井上(神奈川大)、伊藤(基生研)、大岡(大阪大)が参加した。今回の会合の冒頭にOlsonは、“日本からの参加者がここ3回の研究会で、0%、12%、13%とdramatic increaseを示した”と述べている。

研究会の主題は、集光色素系クロロソームと緑色硫黄細菌型反応中心(RC)であり、ほかに系統、生態、代謝、分子生物学に関する研究がいくつかあった。クロロソームを持つものには、緑色硫黄細菌の他に紅色細菌型RCを持つ*Chloroflexus*があり、グラム陽性細菌であるHeliobacteriaはこれを持たない。緑色硫黄細菌とHeliobacteriaのRCは、PSIと同様にFe-S型であるが、RC coreペプチドがhomodimerである点で他の全てのRCと異なっている。

クロロソームや光捕集系に関する研究では、13の講演と9のポスター発表があった。第1回の会議ではBChl *c*とペプチドがどのように相互作用をしているかが問題になっていたのが、第2回の会議ではBChl *c*はクロロソーム中でもタンパク質の関与しない自己集合構造をとっているという説が有力になっていて、盛んに議論が戦わされていた。今回の会議では、クロロソーム中のBChl *c*の高次構造にはタンパク質の関与がない(またはほとんどない)ということは完全に受け入れられており、それを前提に研究や議論が展開されていた。Bryantはクロロソームのタンパク質を遺伝的に欠損させた結果を発表した。これらのタンパク質は、調べられている限りすべてクロロソームの表面をおおうエンベロープに存在する。そのうち、CmsCを欠損させると生育速度が約半分になりBChl *c*からの蛍光が減ったが、それ以外の重要な変化は認められなかった。クロロソームの主要タンパク質は絶対必須の成分というわけではないようだ。クロロソームの内部構造に関しては、電子顕微鏡で観察されていたロッド状構造が、種によってはクロロソームをホモジナイズすることでエンベロープが破れて出てくるのがOrmerodによって報告された。Holzwarthは類似したロッド状構造が精製したBChl *c*を集合させただけでも得られることを報告した。松浦は、精製したBChl *c*と糖脂質から得られた集合体で2種類のCDスペクトル型が再現され、さらにクロロピウムキノンを加えると酸化還元電位に依存したエネルギー伝達効率の調節も再現されることを示した。野沢は、有機溶媒中のBChl *c*集合体のNMR測定などから詳しい高次構造を論じたが、人工的な集合体の高次構造とクロロソーム中の高次構造がどの程度同じであるかには議論があり、今後の問題であろう。

緑色硫黄細菌型RCの機能に関しては、1993-94年頃にかけて試料調製時に嫌気性を維持することにより活性の高い標品を得る方法が大岡、桜井らのグループにより開発され、研究が著しく進んだ。伊藤は、ESRによるFe-S還元速度の研究について、また付録としてZn-BchlやChl dを持つRCについて報告した。緑色硫黄細菌RCは、モノヘム型cyt cを2個結合しているが、大岡はP840<sup>+</sup>によるcyt c酸化速度に対するグリセロールの影響の研究から、ヘム結合部分の構造的揺らぎが電子伝達速度に大きく影響しているというモデルを示した。桜井はわずか5種のポリペプチドからなる精製RCが、高いNADP<sup>+</sup>光還元活性を持つことを示した。二次電子受容体としてPSIではvitamin K1がはたらいているが、緑色硫黄細菌HeliobacteriaのRCにはキノンがないという報告がこれまでに複数あり、その有無に関して論争が続いている。Schellerは、精製RCが2個のメナキノンを結合していると報告した。これに対してHauskaは、彼らの精製RCではキノンを検出できなかった(<0.2 mol/mol RC)とコメントした。キノンの存否に関しては、更に研究が必要だというのが大方の感想であった。MattioliはFTラマンの研究から、coreペプチドがhomodimerであることを反映してHeliobacteriaのRC色素もhomodimer的であることを報告した。これに関連して桜井は、*C. tepidum* RCではP840状態において電荷が2つのBchlに均等に分布していない可能性もあるという野口のFTIRの結果を紹介した。全体として、緑色細菌型RCの機能に関する研究は発展の初期段階にあるが、進歩が速いので今後数年の内に全体像が明らかになることが期待される。

緑色硫黄細菌の系統についてはOvermannが10以上の株について16S RNAに基づく結果を発表した。彼によれば、同じ*Chlorobium limicola*と呼ばれるものでも株が違っていると系統的に相当離れたグループに位置するので、緑色硫黄細菌を扱う研究者は実験材料として用いる株について注意が必要である。くわしくは、Overmann and Tuschak (1997) Arch. Microbiol. 167; 302-309を参照されたい。

Bchlの生合成系については、これまで*Rhodobacter capsulatus*で詳しい研究がなされてきた。井上は、*R. capsulatus*のBchl合成系遺伝子の挿入変異株に*C. tepidum*および*Heliobacillus mobilis*の遺伝子を導入し前者を相補させた結果と、遺伝子導入により相補された株の色素組成について報告した。Bauerは*H. mobilis*におけるBchl g合成系遺伝子のクラスター構造について報告し、Bchl gの合成に関与する遺伝子群が反応中心coreペプチドの構造遺伝子*pshA*とリンクしていることを見いだした。

さて、研究会が開かれたUrbino市はローマの反対側の東海岸のやや北から内陸にバスで数十分入った山地にあり、2万の学生と2万の住民が住む古都である。周囲を緑の山と畑に囲まれた落ちついた街で、治安も大変いい。治安といえばイタリアは物騒で、筆者の一方を含む日本人2人はボローニャ駅前6-7名の子供達に囲まれ何とかこれを追い払ったとその時は思ったが、あとで調べてみたら内ポケットから列車の切符をすられていた。あつという間の出来事で、その鮮やかな手口に仰天するばかりであった。別の日本人はミラノで取り囲まれてポケットに手を入れられたが貴重品が入っていなかったので実害はなかったとか、アメリカ人はローマでクレジットカードをすられたとか、観光地での治安の悪さを実感させられた。それに対して、Urbinoの治安の良さは誠に貴重であった。

研究会の食事の良さについても書かなければなるまい。昼食、夕食共に2種類の Pasta、2種類の肉または魚料理、野菜料理、デザート、ワインなどを1時間以上かけて楽しむ。質・量共に十分で、ときには夕食を抜いてビールだけで済ます者もいる程であった。同じ程度の食事を日本で出すとすれば果たしていくらかかるやらと、日本人参加者で話し合ったものである。なお、第4回研究会は2年後スペインで開催の予定である。

## 第5回国際植物分子生物学会見聞録

東京工業大学 生命理工学部 生体機構学科 太田啓之

第5回国際植物分子生物学会は9月21日から27日にかけてシンガポールで行われた。3年に一度の大会だが、私にとってはちょうど3年間の植物分子生物学の動向をおさらいしながら、かつ最新の情報を仕入れるための格好の機会になっている。本学会では植物分子生物学的なアプローチを取っているあらゆる分野が対象となるだけに発表内容は多岐に渡るが、光合成や代謝などに関する内容は比較的少なく、形態形成や情報伝達、ストレス応答などの話題が主流になっている。実際、32あった分野別セッションのうち器官・組織分化や形態形成に関するものが5、ホルモン/情報伝達関係5、ストレス応答5、ゲノム解析3、分子生物学的な技術開発の関連4、代謝関係5、その他6といったところである。多くのセッションが同時に進行し、とても私一人ですべてをフォローすることができなかつたので、主に私自身が興味を持って聞いた光形態形成、光およびホルモン情報伝達、脂質代謝などのセッションを中心に報告させていただくことをあらかじめお断りしておきたい。

本会議のスケジュールとしては、毎朝、4人のプレナリーレクチャーがあり、午後1時30分から2時30分までがポスターセッションで、2時30分以降に分野別に分かれた口頭発表が行われた。月曜日朝のオープニングではまず、C. Somerville (USA) から現在進行しているシロイヌナズナのEST (Expressed Sequence Tag) に関するプロジェクトと昨年からの国際共同プロジェクトとして始まったゲノム解析についての紹介があった。この内容に関してはすでに至る所で紹介されているので改めてここで述べるまでもないと思うが、本会議のプレナリーのトップバッターとしてSomervilleがシロイヌナズナのシーケンシングプロジェクトに関して紹介すること自体に、このプロジェクトの持つインパクトの大きさが示されていると言えるだろう。その他、プレナリーセッションでは次回のpresidentに選ばれたC. Dean (UK) が花の形態形成に関与するFCA遺伝子の機能等について紹介した。さらに、日立基礎研の古谷雅樹先生がPhytochromeで発現する遺伝子の蛍光ディファレンシャルディスプレイ法による単離やPhyAの細胞内局在部位などに関して紹介された。また、S.A. Kay (USA) のサーカディアンリズムに関する発表は印象的だった。現在、彼らはサーカディアンリズムを示すCAB2遺伝子のプロモーター領域にルシフェラーゼをつないでシロイヌナズナに導入し、その生物発光のリズムを調べることで多くの変異体の単離やフィトクロームなどの光受容体とサーカディアンリズムの関係などについて解析している。この分野に関しては名大の近藤孝男先生のグループなど、日本人の活

躍もめざましいが、シアノバクテリアや植物から時計遺伝子に関してのより斬新な研究が生まれることを期待したい。

分野別では計350におよぶの口頭発表があったが、35にわかれたセッションの中では個人的な印象では光形態形成のセッションが密度の濃いセッションだった。まず、何とんでも驚いたのはJ. Chory (USA) が、ブラシノステロイドのレセプター様タンパク質をコードする遺伝子をクローニングしたことである。彼女らがシロイヌナズナの光形態形成の変異体 (det2) がブラシノステロイドの生合成の変異によるものであることをCellに報告したのはつい昨年、それから一年のうちに (実際にはもう少しあったと思うが) 彼女らはシロイヌナズナのブラシノステロイド非感受性変異体を取得して、さらに遺伝子まで単離してしまった。ちなみにこのレセプター様タンパク質にはタンパク・タンパク間のインターアクションに関与すると考えられるロイシンリッチリピートが存在していた。この内容に関してはこの会議の直前に開かれた8th Arabidopsis Conference (ウィスコンシン州、マジソン) で既に紹介があったそうだが、多分そういう理由とは別に、彼女の発表後は質問の声を発する人もなく暫く会場が静かになった。彼女の仕事内容と発表のスタイルに他を圧倒するものがあると感じたのは私だけではなかったのではないかと。また、X.W. Deng ら (USA) が彼らの見つけた光情報伝達因子Cop9複合体をヒトからも単離してその生物学的普遍性を示すとともに、やはり彼らの単離した光情報伝達因子Cop1が、暗所で核に存在している際にHy5 (京大の岡田清孝先生らが遺伝子を単離) と複合体を形成することでHy5による転写の活性化を抑制していることなどを報告した。さらに、P.H. Quail (USA) らのグループはシロイヌナズナに存在する各々のPhytochromeの機能について最近の知見を話した後、昨年相次いで見つけたシアノバクテリアのPhytochromeに関する仕事を紹介した。これらの発見は原核細胞にもPhytochromeが見つかったという分子進化上の興味のみならず、Phytochromeの情報伝達ドメインと考えられているC末端側の機能を明らかにする上での大きなヒントになると思われる。また、A. R. Cashmore (USA) がCryptochromeに関する最近の知見を紹介した後、E. M. Tobin (USA) がCAB遺伝子の転写制御因子であるCCA1について興味深い発表を行った。CCA1遺伝子の発現はCAB遺伝子と同様にサーカディアンリズムを示すが、CCA1遺伝子を恒常的に発現させた変異体ではCABのサーカディアンリズムが全く認められなくなる。このことから彼女らはCCA1がサーカディアンリズムの制御において中心的な役割を担っているとしている。

ホルモンおよび情報伝達の分野では、ABAの情報伝達系に関する解析に進展がみられていること、ジャスモン酸関係の発表が多かったことが目についた。ABAの情報伝達系については、ブレナリーでJ. I. Schroeder (USA) が気孔の開閉におけるABAの情報伝達系について述べており、ABA処理による孔辺細胞でのCa<sup>2+</sup>濃度の上昇や、それに続く、K<sup>+</sup>イオンの放出の過程におけるprotein phosphataseやfarnesyltransferaseの関与についてシロイヌナズナの変異体を用いた解析を紹介している。また、今大会のPresidentであるN.H. Chua (USA) らのグループも彼らの得意とするマイクロインジェクションのテクニックを使って、レポーター遺伝子の発現を基にCa<sup>2+</sup>やcyclicADP riboseがABAの情報伝達系に関与していることを示した。cyclicADP riboseは情報伝達のかかなり上流で機能しており、Ca<sup>2+</sup>よりもさらに上流に位置するという。ABA

とジャスモン酸については、今後レセプターの単離がひとつの焦点になると言えるだろう。また、W. Gruissem (USA) が farnesyltransferase の機能について紹介した。動物細胞の場合と同様、ある種のタンパク質の farnesyl 化が核への移行に必要なという。実際、MADS box タンパク質などが *in vitro* で farnesyl 化されるということである。

我々が発表した脂質のセッションではそのジャンルだけの2年に一度の集まりが定期的に開かれており、また最終日だったということもあって決して参加者は多いとは言えなかったが、発表内容は充実していた。セッションの前半は今回の会議全体の傾向を反映して脂質バイオテクノロジー的発表が多かったが、まず、デユポンの A.J. Kinney が植物油脂に含まれる脂肪酸分子種の組成改変や工業的に有用な特殊な脂肪酸を持った植物の作出について、彼らが現在進めているダイズ形質転換系を用いたプロジェクトを紹介した。また、カナダの M.M. Molony はオイルボディに局在するユニークなタンパク質であるオレオシンのオイルボディへの局在化機構をうまく利用して、有用なタンパク質の植物での大量調製に好都合な系を構築した。すなわちオレオシンのC末端側に目的のタンパク質をつないでオイルボディに蓄積させると、遠心でオイルボディだけが表面に浮き簡単に回収できる。さらにあらかじめ組み込んだプロテアーゼの切断部位を用いてオレオシンを切断してやると、可溶性のタンパク質であれば今度はそれだけが簡単にオイルボディから分離できる。脂質代謝のセッションはこのように応用面での発表も多かったが、いずれもきっちりとした基礎研究に基づいたものであると感じた。また、その基礎的研究の面では、本セッションの Chairman である基生研の村田紀夫先生が葉緑体内でのグリセロ脂質生合成と脂肪酸不飽和化反応の局在部位がチラコイド膜であることを示し、葉緑体での脂質合成が主に包膜で起こっているというこれまでの常識を改めて考え直す必要性を論じた。そのあと、私の研究室の下嶋が植物で最も主要な極性脂質でありチラコイド膜の主要成分であるモノガラクトシルジアシルグリセロール (MGDG) について、その生合成機構の一端について紹介した。この MGDG の合成系を初めとする植物の主要複合脂質合成系については、セルロース合成系の場合に似てその重要性にも関わらず最近ようやく明らかになってきたばかりで、今後分子生物学的手法を駆使した基礎と応用の両面からのより一層の研究の進展が望まれる。

学会会場はラッフルズシティなどのあるシンガポール中心街の一角に位置して設備も整っており、ほぼ申し分のない環境だった。ちょうどお隣のインドネシアで大規模な山火事が起こったばかりで、その煙がシンガポールにまでおよび会期中はずっと曇り空だった。空気が悪いのはあまり気にならなかったが、大変だったのは戸外が30度を越す暑さにも関わらず、会場の内部はエアコンが異常に強くジャケットやセーターを着ていないと寒くて長時間いられないほどだったということである(シンガポールでは高級な場所ほどそうらしい)。それを除けば、シンガポールは日本からは時差も少なく英語が使える国なので国際会議には便利な場所だと感じた。

本大会のポスター発表は1100で参加者は79カ国、2000人近くにもなった。なかでも日本人の参加者は国別で最大で250人にもおよんだという。この参加者の多さを見ても植物分子生物学の分野における近年の日本の貢献度は著しいと言えるが、プレナリースピーカー16名のうち日本人は古谷雅樹先生一人で、35あった分野別セッションのChairmanも日本人は基生研の村田紀夫先生だけ(Lipid metabolism)だったのは少し寂しい気がした。次回の本会議は2000年にカナダのケベックで開かれる。

## 光合成研究会シンポジウム報告 「光合成の分子生理学と分子生物学—最近の話題から」

理化学研究所・光合成科学 野口 巧

光合成研究会の例会として、昨年12月8日(月)に、理化学研究所において「光合成の分子生理学と分子生物学—最近の話題から」と題してシンポジウムが開催された。理研シンポジウムという名目で行われ、光合成研究会には共催の形をとっていただいたが(5万円の補助金をいただいたことを記しておく)、実質的には光合成研究会の会合として開かれたものである。暮れの忙しい時期に拘わらず、9名の演者の方々にお集りいただき、講演をしていただいた。関東在住の研究者の方々を中心であったが、遠方からは、釜石から宮下英明博士、岡山から高橋裕一郎博士にお越しいただいた。日本の光合成研究の'最近の話題'には欠かせない、Zn-バクテリオクロフィルとクロロフィルdを持つ光合成生物について、嶋田敬三博士(東京都立大)と、宮下英明博士(海洋バイオテクノロジー)にそれぞれお話しいただいた。分子生物学の立場からは、高橋裕一郎博士(岡山大)がクラミドモナスを用いた研究について、また、池内昌彦博士(東京大)がシアノバクテリアの研究について、最近の成果を講演された。生化学的手法として、榎並勲博士(東京理科大)が光化学系II複合体中のMn安定化蛋白質の化学修飾法による解析について話され、楠元範明博士(早稲田大)が、緑色硫黄細菌の反応中心蛋白質の精製単離とその分光学的解析について講演された。また、構造生物学的、分光学的側面として、中里勝芳博士(科技団)が光化学系II複合体の電子顕微鏡解析の結果を、小野高明博士(理研)がESRスペクトルの解析による酸素発生Mnクラスターの構造について、また筆者がFTIRを用いた研究について話をした。大きな声では言えないのだが、このシンポジウムの前に、研究室で、年末ジャンボ宝くじを賞品に、いったい何人の聴衆が集まるかの賭けをした。日刊工業新聞に宣伝記事が載ったのと、当日の悪天候が誤算の原因となり、残念ながら、最も少ない数を予想した人の勝ちとなった。その人数はさておき、多少意外に感じたことは、聴衆の中に、光合成を研究している学生さんの数が少なかったことである。もちろん、企画、宣伝のまずさという当方の責任は免れ得ないとしても、大学の先生方はもとより、我々ただの研究者でさえ、日々、研究以外の用事で追いまくられているのだから、学生さん達も昨今はさぞかし忙しく、研究会などに出ている暇はないのかもしれない。しかし、そういえば、通常の学会でも、光合成の分野では、学生が突拍子もない質問をしたりして聴衆を楽しませてくれるような光景にはほとんどお目にかかれない。これらは、ある意味で成熟した学問分野の典型的雰囲気なのかもしれない。そのような声は、しばしば研究者の内部からも聞こえてくることがある。しかし、筆者のような化学畑の人間から見ると、光合成は実に未開拓で荒削りで、問題がごろごろしている分野に映る。これは、どの分野に限らず、ある技術なり思考法なりを持って研究している人が、普段と違う分野に入ってみたときに、誰もが感じることであろう。興味深い発見が相次いだ日本の光合成研究だが、それらを生かして活力のある学問分野にしてゆくためには、今までとは違った視点からものを見る眼が必要とされているのかもしれない。

## 重点領域研究「植物個体における光合成機能統御の分子基盤」の概要説明

大阪大学 蛋白質研究所 長谷 俊治

### 1) 発足と経過

“植物に最も特徴的な光合成機能の個体における統御の実体を分子レベルで解明する研究を先導することによって、植物機能の高次秩序の研究に格段の発展を図る”を研究推進目的として、平成9年度より4年間の領域研究がスタートしました。

本領域では、次ページの図にあるように光合成機能制御をめぐる、器官間の情報伝達物質の輸送及び検知のしくみとオルガネラ間及び同化代謝系間のクロストークのしくみに焦点をあてた、2つの班からなる研究者集団により初年度の研究が立ち上げられ、研究者間の積極的な情報交換と共同研究を通じて、一層の発展を図るべく現在に至っております。本誌のこの場をお借りして研究組織と研究内容の概要を説明させていただき、ご提言や助言、また新たな研究者の方々の参画を賜わりたくお願いいたします。

### 2) 研究組織と研究内容

A01班（光合成機能統御の器官間コミュニケーション機構）は領域代表者でもある杉山達夫（名古屋大学大学院生命農学研究科）を班長として、5名の計画班員と13名の公募班員より構成されております。班員の研究は大きく2つに大別され、第一は情報伝達物質による光合成機能の制御に関する研究であり、サイトカイニン、Caイオン、蛋白質のリン酸化等を介した情報伝達系を対象としております。具体例の一つとして、植物におけるTwo-component systemを構成する遺伝子や蛋白質の同定と作用機作が明らかになりつつあります。第2は維管束系による物質輸送の制御に関する研究であり、師管、導管の輸送物質と輸送制御、輸送坦体の機構、窒素の器官間輸送の制御、気孔開閉の情報伝達等がテーマとなっております。

A02班（光合成機能統御の細胞内コミュニケーション機構）は、佐藤文彦（京都大学大学院農学研究科）を代表者とし、5名の計画班員と12名の公募班員で組織されております。光合成機能と結び付いたオルガネラの機能制御を研究の第一の柱とし、核による葉緑体機能の発現制御、葉緑体から核への情報伝達、葉緑体・ミトコンドリア間の相互作用、オルガネラの機能転換の制御情報等がテーマとなっております。第2の柱は同化代謝系間の細胞内情報ネットワークを明らかにすることであり、炭素、窒素、硫黄の同化系のクロストーク下における代謝駆動の制御やその代謝系構築のための遺伝子発現制御機構を主要なテーマとしております。

以上のものはかなり公募を重視した研究組織であります。これは公募研究は計画班の研究補填としてのみならず、新たな研究の発掘と視点の強化・拡大、及び広い分野からの新進気鋭の研究者との交流を基本的な考え方として導入した結果であります。また、研究展開の方向性に対する助言と評価を行うために、総括班に研究助言・評価助言委員会を設け、さらに関連分野で活発に研究を展開しておられる方々を班友として参画していただき、一層の新領域開拓にも力を注いでおります。

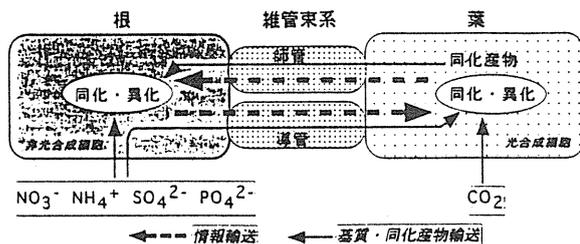
これらの研究組織、計画の詳細は、本重点のホームページ (<http://www.protein.osaka-u.ac.jp/enzymology/photosyn.html>)をご覧ください。幸甚に存じます。

重点領域研究

「植物個体における光合成機能統御の分子基盤」の研究概要図

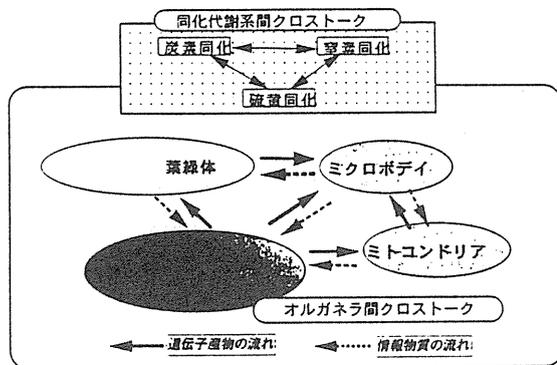
A01班：光合成機能統御の器官間コミュニケーション機構

葉・根・維管束系（導管・篩管）のコミュニティーでの、光合成機能制御に関わる情報伝達物質の輸送・検知の機構を解析し、情報の交換と制御の器官間ネットワークを細胞・組織での所在と併せて明らかにする。



A02班：光合成機能統御の細胞内コミュニケーション機構

光合成細胞内コミュニティーでの、オルガネラ間・同化代謝系間のクロストークを解析し、光合成機能制御の細胞内ネットワークを明らかにする。



3) 公開シンポジウム等による成果公表

本重点では、ワークショップ等による班員間の交流以外に、関連学会の年会等でシンポジウムを積極的に企画し、研究成果を広く公表し様々な形で情報交換を行うことを計画しております。以下に、開催済みと予定のシンポジウムを示しましたので、ぜひ参加いただきたくご案内申し上げます。

第70回日本生化学会大会シンポジウム (1997年9月、金沢)

植物の2-component system (オーガナイザー：杉山達夫、長谷俊治)

日本農芸化学会1998年度大会シンポジウム (1998年3月31日～4月3日、名古屋)

器官間コミュニケーションを機軸とした植物機能研究の進展 (オーガナイザー：小俣達男、佐藤文彦)

日本植物生理学会1998年度年会および第38回シンポジウム (1998年5月3日～5日、札幌)

植物個体における光合成機能統御の分子基盤—器官間および細胞内のコミュニケーション機構の現状と展望 (オーガナイザー：西村幹夫、山谷知行)

第71回日本生化学会大会シンポジウム (1998年10月14日～17日、名古屋)

光合成機能の高次制御をめぐるオルガネラ形成と代謝調節のシグナリング (オーガナイザー：長谷俊治、泉井桂、杉山達夫、本シンポジウムのスピーカーは一部公募されます。詳細は生化学会誌1月及び2月号をご覧ください)

## “誌上討論会”

### 光呼吸を抑制すると光合成が増加するか

京都府立大学 人間環境学部 環境情報学科 竹葉 剛

#### (1) これまでの議論の経過

光合成研究会会報第21号に、私が「光呼吸についての2つの誤解」と題して、(a) 光呼吸で発生するCO<sub>2</sub>は光照射下で葉の外に出て失われるか、(b) 光呼吸を抑制すると光合成が増加するか、という2点について、意見を述べました。その要点は、(a) については、光呼吸で発生するCO<sub>2</sub>は光照射下で葉の外へは実質失われてはいない、(b) については、光呼吸を抑制すると光合成が増加するように見えることもあるが、強光下では同時に光阻害が進行するので「光呼吸を抑制すると光合成が増加する」と一般的にいうのは間違いである、ことを述べました。

私の上記意見について、井上会長は「誌上討論」という場を設定してくださいました。そして、会報第22号に東北大学の牧野さんの御意見を寄せていただきました。牧野さんの御意見の要点は、上記(a) については私と同じ意見、(b) については「光呼吸を抑制すると光合成が増加する」ことには真実が含まれている、という内容でした。私は牧野さんにこの分野の研究状況などをそれまで教えてもらっていましたので、いわば先生の御意見ですから多くの点で牧野さんの御意見に納得していました。

ところが、先日井上会長から「牧野さんの意見に対するコメントを出して欲しい」との御連絡をいただきました。牧野さんはこの分野の第一人者、私はこの分野の研究状況もあまり詳しくは知らない素人、という関係ですので、牧野さんの御意見に対するコメントを述べるというのは本来無理なのですが、学生が先生に質問するようなものと考えて引き受けることにしました。私と牧野さんの意見の違いは主に(b) にありますので、今回はその点について再度疑問を投げ掛けることにします。

#### (2) 光呼吸という用語の意味する内容は研究者により異なる

W. L. Ogren (1984, 1994) は、Rubisco/carboxylase 作用 = photosynthesis, Rubisco/oxygenase 作用 = photorespiration として光呼吸の問題を論じています。牧野さんは「光呼吸で放出されるCO<sub>2</sub>は光合成に利用される」という表現にもありますように、Ogren と同じ使い方をしています。一方、N. E. Tolbert (1994, 1997) はPCR (C3, Calvin-Benson) 回路とPCO (C2, 光呼吸) 経路は密接にリンクしているとして、光呼吸系をC2/C3回路としてとらえています。私は光呼吸の問題を論じる際にOgren のとらえ方は不十分であり、Tolbert のとらえ方が正しいと考えています。

なぜなら、光呼吸系というのは要するにCO<sub>2</sub>が少なくなったときに、O<sub>2</sub>を使ってCO<sub>2</sub>を細胞内で発生する系です。光呼吸で発生したCO<sub>2</sub>はPCR (C3) 回路を回転させるために使われます。このC2/C3回路はC, Nの物質の損失なしにエネルギーのみを消費する系です（詳細は本文最後に挙げた文献参照）。つまり、光呼吸系の機能 (C2/C3回路) にはRubiscoのoxygenaseもcarboxylaseも両方が含まれるのです。したがって、光呼吸の役割を見ると光呼吸系で発生す

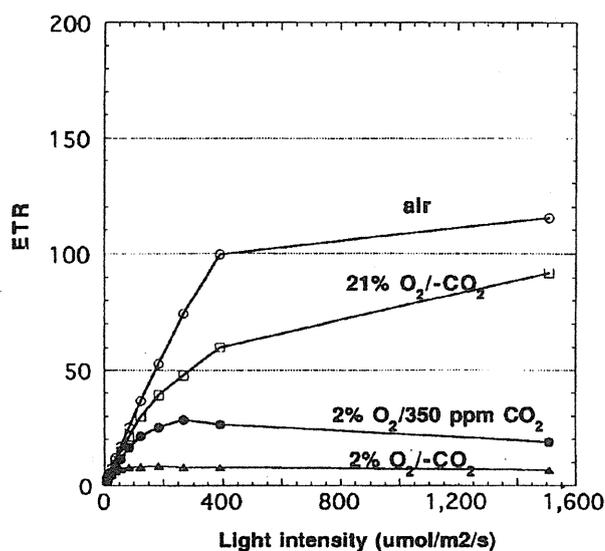
るCO<sub>2</sub>の効果をそれは光合成の効果であるとして除外すると、光呼吸経路のみで消費されるエネルギーは極くわずかなものということになり光呼吸の役割は見えないこととなります。Rubisco Modelによる光呼吸の解釈は不十分であると私が主張する理由の一つはこの点にあります。

この問題は、光合成という用語の使い方の問題でもあります。具体的にいうと気孔が閉じてガス交換のない条件下で葉に光が照射されたとき、「光合成」は起こっているかという問題です。PAMで測定すると葉緑体内の電子伝達は盛んに流れていることが分かります。PCR(C3)回路も回っていることを示すこともできるでしょう。したがって、Rubiscoのcarboxylaseも活発に働いていることが観察されるはずですが、糖はつくられていないはずですが、外部からCO<sub>2</sub>が供給されないときに糖が合成されると中間代謝物がなくなってしまい、定常状態が続かなくなるからです。しかし現実には気孔が閉じた状態で何日も経過できます。このような条件下では、C2/C3回路がぐるぐる回っているだけだと思います。C2/C3回路ではCO<sub>2</sub>はいわば中間代謝物ですので、Rubiscoのcarboxylaseが働いていてもこの場合は光合成とは言わないほうがよいのではないのでしょうか。

### (3) CO<sub>2</sub>は葉のどの細胞にも均一にいきわたっているか？

牧野さんは、通常の葉において光呼吸はエネルギー消費にそれほど大きな役割を果たしてはいないことをいわゆるRubisco Modelを用いて説明されています。Rubisco ModelがRubiscoをoxygenase (= 光呼吸) とcarboxylase (= 光合成) とに分けてしまうことの問題点は(2)で指摘しました。もう一つの問題点はRubisco Modelは葉が均一な系であること、外部からのCO<sub>2</sub>拡散は葉のどの細胞にも均一に届いている、という前提をおいている点です。この前提は正しいのかという問題です。この問題は一般論を述べても仕方ありませんので、簡単な観察を行いました。その結果によると、多くのC3植物では葉の裏面の気孔から吸収されたCO<sub>2</sub>は葉の表面(柵状組織)の上部の細胞では一部にしか届いていないことを示されます。

PAMで計測される葉のクロロフィル蛍光は、葉の最外層の葉緑体から放出される蛍光である



といわれています(Walz社PAM2000マニュアル)。そこで葉の表面に蛍光検出器をセットし、葉の裏面のガス組成をいろいろに変えた時の葉の表面からのクロロフィル蛍光を測定します。葉の表面にも気孔はありますので表面からのガス組成の影響を取り除くため、表面にはN<sub>2</sub>ガスを流しておきます。このような装置で光強度を変えたときの葉の表面における電子伝達速度(ETR)を計算した結果を図に示します。

ここで見ていただきたいのはCO<sub>2</sub>とO<sub>2</sub>との差です。つまり、葉の裏面から

吸収されたCO<sub>2</sub> (350 ppm)は葉の表面近くの細胞内のETRにあまり寄与しないのに対して、21% O<sub>2</sub>は空気中でのETRの70～80%の寄与があります。2% O<sub>2</sub>と21% O<sub>2</sub>との差は光呼吸の寄与と見ますが、牧野さんのこの点に関する議論には次項でふれます。この測定はタデの葉についてのデータですが、タデ以外に10数種のC3植物の葉について測定した結果もほぼ同様です(イネ、ヒマワリ、ナスでは葉の中でのCO<sub>2</sub>拡散は比較的良好、2% O<sub>2</sub>/350 ppm CO<sub>2</sub>の曲線が空気中でのETR曲線の40～60%になる)。

柵状組織の上部の細胞にCO<sub>2</sub>が届きにくいのは、CO<sub>2</sub>の拡散が空気中に比べて水(葉肉細胞)中で極端に遅くなることが第1の要因であると考えられます。葉肉細胞中での光合成による減少や上部ほど強光を受けることなどを考慮すると、葉の表面にも気孔が分布するとしても強光下での柵状組織ではCO<sub>2</sub>の不足が生じていることは容易に想像できます。

すなわち、自然条件下での葉はCO<sub>2</sub>の分布について均一ではなく、そのためにCO<sub>2</sub>の不足した細胞で光呼吸系が必要となることとなります。

#### (4) 2% O<sub>2</sub>と21% O<sub>2</sub>との差について

牧野さんは、「光呼吸が光エネルギーの消去系としてどの程度機能しているかを、定量的に論じた例がほとんど見当たらない」と指摘しています。葉を構成する各細胞でどの程度光呼吸を行っているかを直接測定した例がない、という意味では牧野さんの指摘は正しいと思います。しかし、外部から供給されるCO<sub>2</sub>が少ないために光呼吸を行っているかどうかは、間接的には簡単に知る方法があります。気相中の酸素濃度を2%まで下げて、その時観察される光阻害をクロロフィル蛍光で測定する方法です。通常では2% O<sub>2</sub>と21% O<sub>2</sub>との差をみます。

牧野さんは、「2% O<sub>2</sub>での光合成は21% O<sub>2</sub>での光合成とはまったく別のものであり、それを光呼吸を抑制したときの光合成ではないと理解する必要がある」と指摘していますが、私はこの点の牧野さんの指摘は理解できません。光呼吸のO<sub>2</sub>分圧への依存は研究の初期から示されており、それはRubisco/ oxygenase, glycolate oxidaseのKm(O<sub>2</sub>)値が大きいことに対応しています。一方、cytochrome oxidaseやMehler反応のKm(O<sub>2</sub>)値が非常に小さく、2% O<sub>2</sub>で飽和することもよく知られています。植物の葉を材料にしたとき、2% O<sub>2</sub>と21% O<sub>2</sub>との差に影響する反応系で光呼吸系以外にO<sub>2</sub>の直接関与する反応系が知られていれば、その影響も考慮すべきでしょうがそのような反応は知られていないと思います。もし、そのような反応系があれば教えてください。牧野さんはそのように主張される根拠としてSharkeyら(1986)の論文を引用しています。しかし、Sharkeyらは210 mbar O<sub>2</sub>と21 mbar O<sub>2</sub>とにおける光合成系の間代謝物の量を測定しただけであり、光呼吸系以外の代謝系で直接O<sub>2</sub>の関与する反応(oxygenaseの存在など)について報告しているわけではありません。したがって、Sharkeyらの報告は光呼吸系を抑制すると二次的にどのような代謝変動が起きるかについて調べた報告、と理解すべきであると思います。

PAMによるクロロフィル蛍光の計測によって光化学系の光阻害が簡便に測定できるようになって以来、多くのC3植物でO<sub>2</sub>分圧を下げた場合の報告がありますが、そのほとんどすべての場合に21% O<sub>2</sub>に比較して2% O<sub>2</sub>で、特に強光下で強い光阻害が観察されています。クロロ

フィル蛍光の計測により葉緑体内の電子伝達速度を測定した結果(図)をみても、2% O<sub>2</sub>の影響は牧野さんが光呼吸の寄与として推定した20数%というレベルではなく、80~90%の抑制という結果となっています。

牧野さんは、主にイネの光合成について測定されています。イネは葉の両面に気孔が発達し、葉の断面をみても比較的CO<sub>2</sub>が拡散しやすい構造をしています。しかし、イネの光呼吸系の代謝活性は高く2% O<sub>2</sub>下では強い光阻害が観察されます。したがって、イネでも強光下ではCO<sub>2</sub>の不足する細胞があることになります。

#### (5) 光呼吸系を抑制すると、光合成が増加するか

光呼吸を抑制することにより光合成を増加させることを目的として、代謝阻害剤の開発、変異株の作成、Rubiscoの分子改良などの方向で従来多大の努力が払われてきました。Rubiscoの分子改良については今日 Super Rubiscoの作出として注目されています。私は前回、これは誤解であると指摘しました。牧野さんは、真実が含まれていると思うとのことでした。光呼吸はCO<sub>2</sub>が不足するときに起こりますので、この問題はCO<sub>2</sub>が十分供給される細胞では光合成が増加し、CO<sub>2</sub>が十分供給されない細胞では光阻害が起こる、という二つの場合に分離できます。私の主張は、主に葉の上部の細胞(柵状組織)では強光下で光合成速度が増大したときにはCO<sub>2</sub>の拡散供給が追付かず、光呼吸を抑制しても光合成は増加せず、むしろ光阻害のために光合成装置がダメージを受けると言い換えることができます。

酸素濃度を21%から2%へ下げると、CO<sub>2</sub>吸収が増加することが知られています。牧野さんは、1.25~1.35倍ぐらい上昇すると指摘しています。しかし、文献を調べてみると、むしろ減少する場合も多く報告されています。Sharkeyら(1986, 1988)は、ホウレンソウで光強度が800 μmol/m<sup>2</sup>/sを越えるとその増加がなくなり、インゲンマメでは1080 μmol/m<sup>2</sup>/sで21% O<sub>2</sub>より2% O<sub>2</sub>で光合成が減少すると報告しています。一方、酸素濃度を2%へ下げる(光呼吸を抑制する)と葉の上部の光合成電子伝達は抑制され、光阻害が進行することは前項で指摘したとおりです。光阻害はその条件が続くと光合成装置の破壊へと進みますので、葉の上部から次第に下部の細胞へと光阻害が進行すると、やがては葉全体の光合成も抑制されてきます。この光阻害の進行は光強度に依存します。Sharkeyらの実験で光強度が増すと光合成の増加が観察されなくなったのは、葉の上部の細胞で光阻害が進行し、その部分でのCO<sub>2</sub>同化が停止したため下部でのCO<sub>2</sub>同化増が相殺されたためと解釈できます。

陸上植物の葉は風雨に耐える強度も必要とされますので、葉を薄くして空气中に触れる面積を拡大するという光合成からの要請のみによって葉の構造を決めることができないために、CO<sub>2</sub>の届きにくい細胞には光呼吸系でCO<sub>2</sub>を内部補給している、とは考えられないでしょうか。Rubiscoの酵素としての諸性質(oxygenase活性を残していること、親和性のあまり高くないK<sub>m</sub>など)は、このような葉の構造をふまえて適応した進化の産物と考えられます(K<sub>m</sub>(CO<sub>2</sub>)を小さくすれば、CO<sub>2</sub>の不足する細胞、すなわち光呼吸を行う細胞が増えます)。

光呼吸の役割が上記のとおりであるとしますと、光呼吸を抑制することは葉の内部で起こるCO<sub>2</sub>不足を放置するということとなります。oxygenaseをもたないSuper Rubiscoをもつ植物

では、葉の内部で起こる CO<sub>2</sub> 不足は放置されるでしょう。すぐれた（高い CO<sub>2</sub> 親和性をもつ）Super Rubisco ができればさらに CO<sub>2</sub> 不足は促進されるでしょう。その結果として、CO<sub>2</sub> 拡散の速やかな海綿状組織では光合成が増加しても、CO<sub>2</sub> の届きにくい柵状組織では光阻害・光傷害は現在の植物よりさらに早く進行する、と考えられないでしょうか。

#### （6）光呼吸系と他の光エネルギー消去系とのちがい

光呼吸系の役割は、CO<sub>2</sub> が不足するときに、C2/C3 回路として、光化学系で生成する ATP/NADPH を消費し、ADP+Pi, NADP<sup>+</sup> を再生成する点にあります。光合成において過剰な光エネルギーを消散するしくみは多く知られていますが、CO<sub>2</sub> が不足し光化学系が全体として還元状態にあるとき、ATP/NADPH を消費する仕組みは光呼吸系のみです。Mehler 反応 (Water-water cycle) において O<sub>2</sub> が生成しますと、それを消去するには ATP のエネルギーではなくさらに電子伝達を必要としますので、光化学系が全体として還元状態にあるときの Water-water cycle は有効なエネルギー消散系としては機能しません。いわゆる熱エネルギー消散系、Xanthophyll cycle などは光化学系が還元状態を高めたときに同時に機能しますが、原因となる光化学系の還元状態を直接酸化側へもどす機能はありません。それができるのが光呼吸系の主要な機能です。

#### （7）C3 植物は、光呼吸なしでは、強光下で光合成を続けることができない

いろいろな植物の光呼吸能を測定すると、光呼吸系の代謝能があまり高くないために真夏の太陽光下では光傷害が進行している植物が存在することが分かります（キウリなど）。環境耐性という観点からいえば、光呼吸系の代謝活性を高めたほうが結果として光合成が増加する場合があります。前回指摘したように、高い光合成速度を持つ植物は光呼吸の高い代謝活性を持つことが 1970 年代に指摘されています。CO<sub>2</sub> の拡散供給が十分でない細胞においても常に細胞内の CO<sub>2</sub> 濃度を一定値以下には下げない光呼吸の機能は、光化学系や Rubisco を常に機能する状態に保つことによって強光下での光合成を保証している機能と見なすことができます。その意味では、光呼吸の役割を単に光阻害を防ぐ役割とみなすより、C3 植物の強光下での光合成を可能とする仕組みと見なすほうがより適切かもしれません。

水中に生息する藻類は、陸上植物と基本的には同じ光化学系をもつにもかかわらず、強光下で速やかに光傷害をうけて死滅します。陸上植物が藻類に比べて強光に耐性であるのは、光呼吸系が備わっているためである、と私は考えています。

1980 年代に、光呼吸系に欠損を持つ変異株がいずれも通常の空気中では生存できないことが確認されて 10 数年経過した現在においても、光呼吸系を抑制して光合成を増加させるということが学会の重要課題として取り上げられることに面白さを感じますが、光呼吸に関しては基礎的な研究が中断されていること、そのために「定量的な研究が必要」という点においては牧野さんと全く同意見です。

#### （8）おわりに

光呼吸の大きな特徴は、光強度に依存していることです。ところが、Rubisco Model では光強度によって oxygenase/carboxylase の比は変わらないとして、光強度の問題を光呼吸の説明から除外してしまいます。Rubisco Model を使うと光呼吸が「永遠の謎」になってしまう理由です。自然の中の光合成と光呼吸の本当の姿を知るには、Rubisco Model という「メガネ」は一旦はず

した方がよいように思われます。

貴重な光合成研究会誌の紙面を使わせていただきまして井上会長に感謝します。なお、今回は紙面の節約のためそれぞれの記述に対応する文献を挙げていません。下記の総説を参照してください。

Takeba, G., Kozaki, A. Photorespiration is an essential mechanism for the protection of C3 plants from photooxidation. In K. Satoh and N. Murata (eds): Stress Responses of Photosynthetic Organisms. (1998) Elsevier Science B. V.

### 「College Park 留学記」

Department of Microbiology, University of Maryland

相澤 克則

1995年6月より文部省の在外研究員としてメリーランド大学カレッジパーク校(UMCP)の植物/微生物学部のGantt研究室に所属し、今もVisiting Research Scientistとして留学中です。

カレッジパークは首都のワシントンDCから北に車で約30分ほど走った所にあります。名前通りの大学の町です。所々の公園は管理がゆきとどいています。その反面、芝生を張り付け、肥料/防虫剤の混合剤を施し、スプリンクラーで供水するので植物の多様性などありません。歴史によるとメリーランド州にもマラリアを媒介する蚊がいました。頻繁に殺虫剤を散布するので、限られた種の鳥類やほ乳類(たとえばリス)が多く昆虫類が極小という環境です。土地が広く主な道は片側だけで2-5車線あります。近くのDCは各種の文化施設に富んでいます。カレッジパークでも無料のテレビ放送が19局受信できます。経済状態は少し安定しやや治安が良い方です。気候は夏が40度に達しますが、数年に一度は冬の最低気温が零下30度になります。湿度は日本的にジトツとする時があります。

カレッジパーク校の近くにはライト兄弟の飛行から二年後にできた小型機用の飛行場があります。独創的な姿のヘリコプター第一号はここで離陸/飛行に成功しました。さて当校は1859年にMaryland Agricultural Collegeとして発足し、幾多の発展を経て総合大学になりました。芸術学部から、NASAと連携する宇宙航空学科まであります。ここの職員と教官のみで2300名、学生数はその約10倍強のマンモス大学です。医学/薬学部が欠落していますが、近くに医科大学やNIHの巨大な研究所群があるからなのでしょう。発足が農業大学だった為か、依然として植物学関連の講座群が強いです。最近はコンピューター関連の学部も有名です。米国の他大学と同様に「入るに易く出るに難し」のようです。公表された試験の成績を見ると満点から0点まで連続した点数分布です。あらゆる人種がキャンパスに溢れています。マナーも多様ですが個人の主義/主張を尊重する傾向がみられます。

研究室のリーダーである Elisabeth Gantt 教授は Phycobilisome を発見され、この複合体、および光化学系の構造と機能の研究をされてきました。Phycobilisome の発見当初、文章中の当用語を削除する編集者もいたとの事です。30年ほどの昔ですから Quantasome という幻の仮想粒子に関する論争の影響があったのでしょうか。今はフィコビリゾーム、フィコピリン蛋白質に関する研究は余りされていません。現在、概ね二つのプロジェクトが進行中です。

(A) 藻類 (主に紅藻の *Porphyridium cruentum*) の光化学系の構造と機能の研究

(B) 様々な植物のカロチノイド代謝系の酵素に関する分子生物学的な研究

A) は Gantt 教授の従来スタイルです。これまでは主に光化学系パーティクルの単離と生化学的な分析が主でした。比較的最近の成果は、紅藻にて LHC-1 の存在を確認した事です (文献 1)。LHC-1 のラン藻での存否は、渡米当初に懸命に調べましたが確認できませんでした。なお数種の LHC-1 のうちの二種の DNA 配列も、Tan 博士らにより当研究室で決定されています。現在の院生の一人は、大腸菌で発現させた紅藻の LHC-1 の蛋白質部分と光合成色素との再構成実験、および紅藻の LHC-1 をラン藻細胞にて発現させる試みをしています。この研究の一部は私も協力しています。B) は 10 年にわたって当研究室に所属している Cunningham 博士が発展中の研究です。彼と Gantt 教授の共著の総説が *Annu. Rev. Plant Phys...* から出される予定で、それに詳細が記載されます。博士論文を書いている大学院生の Sun 氏と彼により各種のカロチノイド代謝関連の遺伝子が同定されました。生化学的なアプローチがなかったために酵素学的な知見もなく、Cunningham 博士の大学院時代の後輩の Spano 博士が参入し酵素の精製などを試みはじめています。

こちらでの私の研究概略です。植物は生育時の光量に応じて LHC 等のクロロフィル蛋白質の含量などが増減します。これと他の適応現象により環境の変化にかかわらず光合成の効率の高さが維持されています。この際、各々のアポ蛋白質のクロロフィル数は一定の値を保つと想定されています。しかし各種の光条件で生育した *Porphyridium* のチラコイド膜の P700 値、LHC-1 含量などから推定した光化学系 I (PSI) のクロロフィル数と、単離した各種の PSI 粒子のクロロフィル数とが食い違う事がありました。この原因は分光測定上の誤差、分離 / 単離過程での変化、LHC-1 定量の誤差、または PSI コア蛋白質上の一定のクロロフィル数という想定が間違っている? のいずれかです。これら疑問が生じた時点で私がこの問題解明をはじめました。

まず点検すべきは分光法と蛋白質の定量法でした。前者に関しては、ある種の PSI 粒子の場合、チラコイド膜サンプルに比べ測定中にブリーチングを起こしやすい事が判り、定量の最適化により問題を克服しました。また後者の精密定量は酵素抗体法で行うのが最適です。ただ、その目的に膜蛋白質を転写膜に確実に結合 (固定化) させる処理法が未知でした。ELISA 法は固定能力が劣るので対照外です。以前に開発したグルタルアルデヒド法 (文献 2) は固定化が完全なものの検出感度の低下を招く欠点が生じました。結局、PVDF 膜にメタノールを滴下後、可溶化したチラコイド膜を続いて滴下すれば固定化ができ、その後充分なメタノール等で PVDF を洗浄すれば蛋白質が固定化されたままでクロロフィルなどの色素を除去できる事を見いだしました。こうして定量域の広い酵素抗体法の確立に成功しました (文献 3)。

分離法ですが、従来の超遠心法 / イオン交換法では収率と分解能に難点があり、これをデータの中核にするのは断念しました。そこで収率と分離能に威力を発揮する小川先生ら以来の電気泳動法に切り替えました。既存の電気泳動法の限界を確認後、一連の特殊分離マトリックスの試作を行いました。その結果、デキストラン-ポリアクリルアミドゲル等が有機溶媒中で通常のゲル程に脱水されない事を発見しました。この特性と遊離クロロフィルを生じさせない分離条件とを組み合わせ、ゲル内で分離された蛋白質上の脂溶性色素を直接に有機溶媒中に抽出しアポ蛋白質のクロロフィル量を定量できました。当ゲルの応用は汎用性があります。親水性ポリマーを混合させたポリアクリルアミドゲルは2-3倍に伸ばした後も元に戻れるという顕著な特性もある（以上、文献4）ので弾性ゲルとしての応用が期待されます（文献5）。

これらの方法を併用し研究を進めたところ、*Porphyridium* のPSIコア蛋白質上のクロロフィル数は、弱光で生育した場合、約100個のクロロフィルを有し、これが強光では約75個に低下する事を見いだしました。詳細を省略しましたが、アポ蛋白質上のクロロフィル数も生育時の光強度に応じて適応的に調節されている可能性が高いわけです。現在、大量の細胞を培養しつつ従来の超遠心法 / イオン交換法を改良してこれの確証性を調べています。

最後に、この文章は記載済の田村先生、坂本先生の原稿を参考にしました。両先生の受けた印象は私も感じている事です。つまり大学内 / 研究室間で計測機器などを自由に共有する「共通」の意識が浸透している事と、身障者の方々や相当の年輩の学生の方も含めた多様な人を受け入れられる器のようなものがメリーランド大学にも存在するという事です。これは良い環境です。しかし、日本でこの環境がすぐにできるとは考えられません。米国は多種多様の人種、思想の混在で成立しているので、意見や意思を述べ合い理解しようとする傾向があります。多くの人にこの姿勢がないと上記の器ができないでしょう。我々には意見や意思を伝える訓練が必要と思います。こちらの幼稚園から大学院までの授業には、口述の練習が自然となされる工夫があります。日本人ならば分かり合えるという錯覚も捨てるべきかもしれません。日本人の学術講演は内容が素晴らしいのに質疑応答で見劣りするの意見や意思を正確に伝える訓練の不足によるものなのでしょう。こちらで訓練不足を痛感しているので、ひとごとではありません。

- (1) Wolfe, G. R. et al. (1965) Evidence for a common origin of chloroplasts with light-harvesting complexes of different pigmentation., *Nature*, 367, 566.
- (2) Melis, A. et al. (1996) Chromatic regulation in *Chlamydomonas reinhardtii* alters photosystem stoichiometry and improves the quantum efficiency of photosynthesis., *Photosynthesis Research*, 47, 253.
- (3) Aizawa, K., and Gantt, E. (in press) A rapid method to assay quantitative binding of soluble proteins and photosynthetic membranes on polyvinylidene difluoride membranes. *Analytica Chimica Acta*.

- (4) Aizawa, K. et al. (in press) Enhanced recovery of chlorophyll and carotenoids with dextran-polyacrylamide gel electrophoresis., *Analytical Sciences*.
- (5) Aizawa, K. (in press) From composite gels to elastic gels: Applications of electrophoretic gel media made of polymer blends., in *Trends in Analytical Biosciences*, Elsevier.

(相澤克則氏の連絡先 : Department of Microbiology, University of Maryland at College Park,  
MD 20742, USA  
E-mail: ka56@umail.umd.edu)

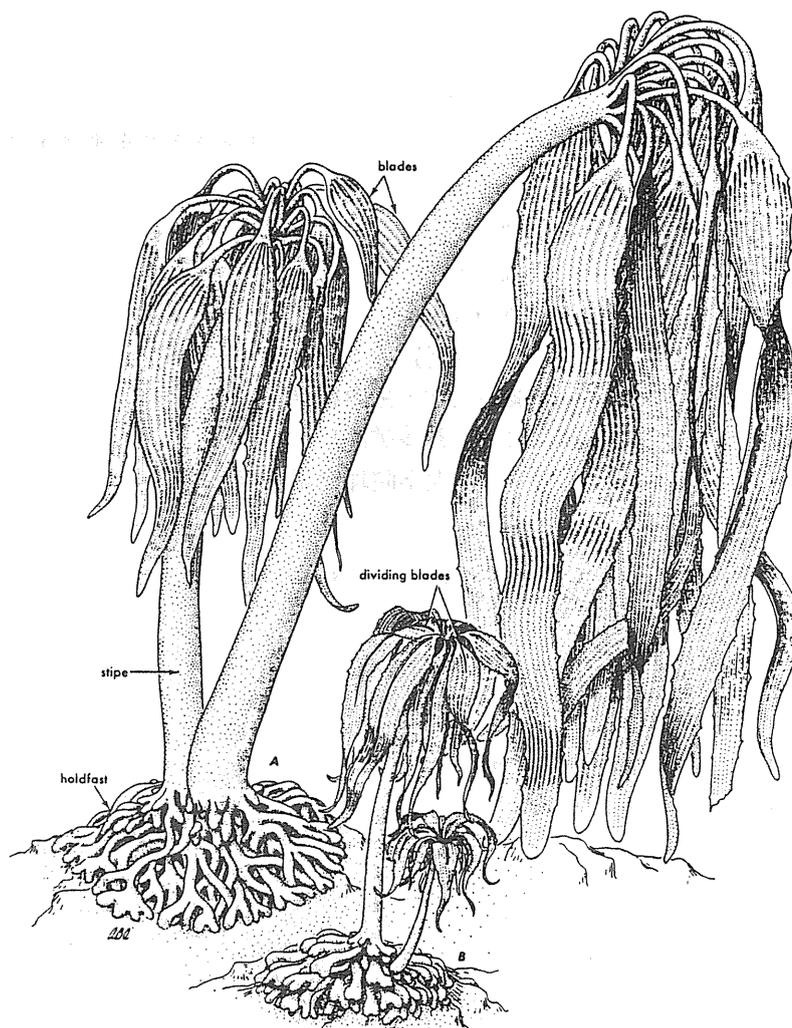


Figure 11.15 A, an example of a kelp, or brown seaweed: *Postelsia palmaeformis* (sea palm), showing organs that resemble roots, stems, and leaves. B, young plant.

光合成研究会賛助会員名簿 (アイウエオ順)

株式会社 海洋バイオテクノロジー研究所  
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

\*\*\*\*\*

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23号 1998年1月25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, 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