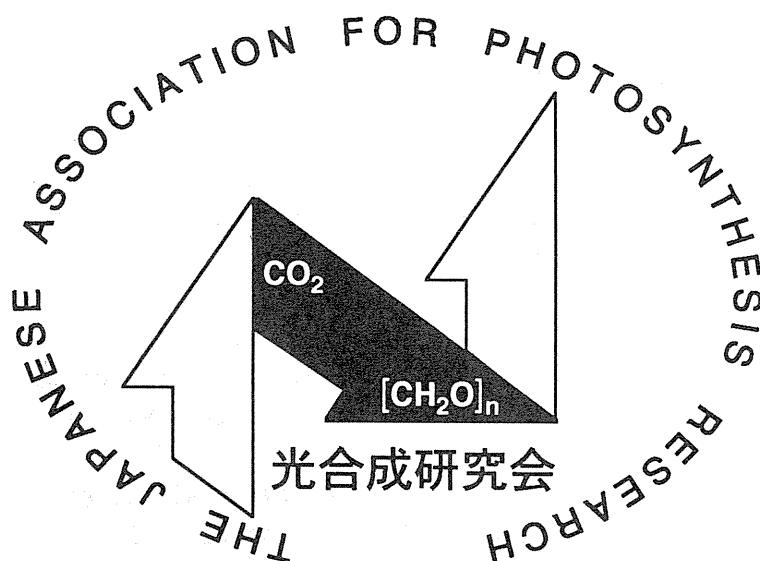


# 光合成研究会 会報

第14号

1995年7月



NEWS LETTER No. 14 JULY 1995

THE JAPANESE ASSOCIATION FOR PHOTOSYNTHESIS RESEARCH

\*\*\*\*\*

集会の案内・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 2

ESF Workshop on the D1/D2/Cyt b559 Complex of PSII に参加して

徳富（宮尾）光恵・・・・・・・・ 2

第3回「光合成細菌の色素系と反応中心に関するセミナー」のレポート

三室 守・・・・・・・・ 4

光合成戯画 資料編 6 化学無機栄養細菌の産業的利用

西村 光雄・・・・・・・・ 6

光合成研究会と重点領域研究の共催シンポジウム

「光合成の最前線」のお知らせ・・・・・・・・ 8

日本生物物理学会シンポジウム「地球と生命の共進化」のお知らせ・・・・・・・・ 10

光合成の常識と研究者の非常識 — 大学センター試験「生物」問題について —

金井 龍二・・・・・・・・ 11

## 集会などの案内

①期日、②集会の名称、③場所、④連絡先

①Jul.23-28, 1995 ②10th International Symposium: "Inorganic Nitrogen Assimilation" ③Seeheim/Darmstadt, Germany  
④W.Ullrich/Inst.Botanik, TH Darmstadt, Schnittspahnstr. 3-5,  
64287 Darmstadt, Germany, Fax:(49)6151-16-4808

①Aug.13-18, 1995 ②International Meeting: "Molecular Biology, Biochemistry and Physiology" ③Philipps University, Marburg, Germany  
④H.Senger/会報13号参照

①Aug.13-17, 1985 ②International Conference: "Transport of Photoassimilates"  
③Canterbury, UK ④D.Baker/Biol.Sci., Wye College, Kent TN25 5AH,  
UK, Fax:(44)1233-813140, E-mail:s.simpson@wey.lon.ac.uk.

①Aug.20-25, 1995 ②10th International Photosynthesis Congress  
③Monpellier, France ④P.Mathis/会報13号参照

①Sep.24, 1995 ②日本生物物理学会シンポジウム 「地球と生命の共進化」 ③札幌  
北海道大学工学部 ④本会報記載

①Nov.17-18, 1995 ②シンポジウム 「光合成研究の最前線」 ③東京 東京大学(本郷)  
④重点領域研究および光合成研究会/本会報記載

### ESF Workshop on the D1/D2/Cyt *b559* Complex of PSII

農業生物資源研究所 徳富(宮尾)光恵

標記ワークショップが1995年4月8日から11日までイギリス南東部のWye大学で開催された。オーガナイザーはJ. Barberで、1993年にドイツで開催されたワークショップの第2回目である。参加者は約60名で、そのうち約80%が生物物理学者であった。Imperial College (London)から19名(日本人2名、熊崎氏(分子研)と立花氏を含む)、Max-Planck-Institute (Mulheim)から9名、Huygens Lab.(Leiden)から6名、Free Univ.(Amsterdam)から5名参加し、研究室合同セミナーといった雰囲気でもあった。日本からは岡山大の佐藤公行先生と筆者の2名が参加した。講演32題、ポスター15題のうち約半分がエネルギー転移・電荷分離に関するものであった。

ホットな話題のひとつは、反応中心(RCII)に結合しているクロロフィル(Chl)の分子数であった。紅色光合成細菌と同様に 4 Chl/2 Pheoであるのか、あるいはさらに別のChlが結合しているのかが議論された。色素組成の生化学的解析から、6 Chl/2 Pheoという値が大

勢を占めた(佐藤, Barber, Dekker)が、Picorelが 4 Chl/2 Pheoを強固に主張した。彼は酸処理ののちChlとPheoの総量を吸光度から決定しており、この測定法の是非が問題となった。Barberは、RCII標品のChl含量は季節変動を示すがカラム精製を繰り返すと 6 Chl/2 Pheoに低下すること、Cu-affinity columnで調製した 5 Chl/2 Pheoの標品は光化学反応活性が非常に不安定であることから、安定な標品では 6 Chl/2 Pheoであると主張した。Chlの分子数をめぐって、解析に用いたRCII標品の純度に関する個人攻撃と思われる発言の応酬もあった。色素組成の解析以外では、Holzwarthらがcurve-fitting法でChl分子数を検討していた。彼らはChl/Pheo比が異なるRCII標品の低温吸収スペクトル(10 K)を比較し、P680, 4 Chl, 2 Pheoともう1成分は標品によらず一定であるが、それ以外に標品によって変動する3種類のnon-stoichiometricなChlが存在することを示した。最終的な結論には至らなかったが、4分子のChl以外にD1, D2のHis118に結合しているChlがあるはずだと最初から決めてかかっている雰囲気は否めなかった。

もうひとつのホットな話題は電荷分離時間であった。これは数年来の懸案であり、本ワークショップでも激しく議論されたが、状況に進展はみられなかった。すなわち、Klug, Durranら(Imperial College)が21 psを主張するのに対し、他のグループ(van Grondelle, Holzwarth, 他)は4 ps以下であるとして譲らなかった。後述するように、後者のグループは10 ps以上の遅い電荷分離はChlからP680へのエネルギー転移の結果起こる反応であり、本来の電荷分離は速いと主張した。討論は熾烈を極めたが平行線をたどり、ここでもまた使用したRCII標品の純度が問題にされるなど、建設的というには程遠いものであった。各自が主張をぶつけ合う中でトランジエント吸収変化の測定条件(励起パルスの長さ、エネルギー、波長)を詳細に調べたHolzwarthらの発表は、実験結果の不一致を解決する糸口になるのではないかと思われた。すなわち、励起パルスのエネルギーが高いKlugらの測定条件では21 psの成分がみられるが、Chl間のエネルギー移動・ChlからP680へのエネルギー転移が起こらない弱い励起パルス(1/10のエネルギー, 120 fs)では21 psの成分がみられないことを報告した。

ピコ秒、サブピコ秒の速い反応の解析では、ChlからP680へのエネルギー転移に関する発表が多かった。例えば、Volkerらはホールバーニング解析(1.2-4.2 K)から、van Grondelleらはトランジエント吸収変化(77 K)から、2または3成分のChlからダウンヒルのエネルギー転移(10-100 ps)が起こることを報告した。これらのエネルギー転移が10 ps以上の遅い電荷分離の原因であるという考えが大勢のようであった。長波長(682-685 nm)のChlからのアップヒルのエネルギー転移については、否定的な意見が多かった。ChlからP680へのダウンヒルエネルギー転移がインタクトな反応中心で起こるのかという質問が出されたが、誰からもコメントはなく議論にならなかった。

筆者の印象に残った他のトピックスは、*Synechocystis* と *Chlamydomonas* の D1-130, D1-198の部位突然変異が電荷分離に与える影響(Nixon)、RCII標品の 6.1 kDaの新しい蛋白質成分(Schroder)、Mnクラスターの解体・再構成に伴うQ<sub>A</sub>の酸化還元電位の変動(Rutherford)に関する発表であった。Rutherfordは、MnクラスターがないとQ<sub>A</sub>の電位が上昇しアクセプターとして機能しなくなり、ドナー側が失活した光化学系IIの光障害を回避する機構として働く可能性を報告した。筆者は Photoinduced damageのセッションでD1蛋白質の分解に関する講演をした。このセッションはエクスカージョンの後であり、演者3人(Telfer, Barbatto, 筆者)で仲々帰ってこないエクスカージョン・バスを待つ羽目になった。また、典型的な生化学のセッションのため、聴衆が集まるのかと危惧したのだが、盛況のうちに終えることができた。

参加者の大半は生物物理学者で、彼らのよくしゃべる様子には感嘆した。一度しゃべり

でしたらとにかく最後までしゃべる、他人の発言にどんだん口をはさむ、という状況で、とにかく圧倒された。特筆すべきは、学生やポスドクが堂々と講演をし、いわゆる大御所研究者と丁丁発止の討論をすることである。長幼の序を背負う日本人もこの精神を多少は見習う必要があると感じた。

### 第3回「光合成細菌の色素系と反応中心に関するセミナー」の開催レポート

基礎生物学研究所 三室 守

95年6月17日に、標記のセミナーが基礎生物学研究所で開催された。開催は3回目となっはいるが、実質的には92年に行われた国際光合成会議のサテライト集会（三田、兵庫県）が発祥であり、4回目ということになる。この会の主旨は、光合成反応の機構をできる限り厳密に知るための実験系、実験手段、理論的背景について、相互理解を深めるというものである。約50名の参加者の半数が、生物学以外の学問的バックグラウンド（化学、物理、工学、地学）を持つ人であり、他の会合では顔を合わせることが少ない人達の集まりでもある。今回の演題は24題、それらは、進化・系統、紅色細菌の反応中心と遺伝子、酸素発生型光合成生物の色素、緑色硫黄細菌の反応中心、光捕集性色素蛋白質複合体、色素の物理化学、緑色細菌のクロロソーム、の項目に分けて議論された。最後に今後の研究協力体制についても議論をした。

今年の議論の中からいくつかのトピックスを紹介する。

#### （1）光合成細菌の定義

光合成細菌として、紅色細菌、緑色硫黄細菌、緑色糸状細菌、ヘリオバクテリア、藍色細菌、の5つの分類群の生物があることが示された（松浦ら、都立大）。

#### （2）紅色細菌の反応中心（RC）

*Rps. viridis* のRCからHサブユニットを除いた場合、期待に反して、P（初発電子供与体）の酸化還元的な性質の変化や、チトクロムからPへの電子移動が起こらない、などの現象が観察された（原、工業技術院）。その原因は現段階では不明である。好気的光合成細菌 *Roseobacter denitiricans* の *puf* operon の構造は他の紅色細菌のそれとは大きく異なっており、好気的な条件への適応過程を反映する事象であるとの解釈が示された（西村ら、東工大）。最近イスラエルで行われた電子移動に関する国際会議で、紅色細菌のRCでの電子移動の機構として、「超交換相互作用」は否定され、「連鎖的な電子移動」が証明された。

#### （3）緑色硫黄細菌のRC

大岡（大阪大）らによって *Chlorobium tepidum* から単離されたRC標品は蛋白質的にはホモダイマーであり、さらに2分子のc型チトクロムが結合している。その電子移動経路を調べてみると、P840（おそらくBchl a2量体）からChl a型の受容体へ電子が移動する。さらに、P840には2分子のチトクロムの両方から電子が移動する。これはより始源的な性質の反映と考えられる。

#### （4）アンテナ色素複合体の結晶構造と問題点の指摘（嶋田、都立大）

今年になり、紅色細菌の二つのアンテナ色素複合体（LH1、LH2）の結晶構造が発

表された。これに基づいて今後展開が予想される事項についての議論をした。LH2は $\alpha$ 、 $\beta$ のプロトマーが9分子集合した構造で、B850はダイマーで、膜面に垂直な配置であり、18分子のBChl aは全体としてストーレージリング構造を取る。一方、B800はほぼ膜面に平行に配置されたモノマー構造であることが明かとなった。また、集合体の構造を維持する力が膜内を貫通する $\alpha$ 、 $\beta$ のポリペプチド間の疎水結合ではなく、膜外に突き出した電荷を持つ部分の相互作用であること、またダイマーを形成するBChl間の力であることが明かとなった。LH1でも基本的には同等の構造が報告されている。しかし、プロトマーの数はLH2に比較して多く(16)、従来の化学量論的に考えられていた色素数(6量体)を大きく上回る結果であり、今後、両者の対応関係が議論を呼ぶと考えられる。また、この構造に基づいての物理化学的な解析が大きく進展することが期待される。

#### (5) エネルギー転移機構の解析

従来エネルギー転移機構として考えられていた「非常に弱い相互作用」によるエネルギー転移過程は、フィコビルン系を除く光合成色素系には適用できないと現在では考えられている。実際の系に見られる「強い相互作用」を基にした理論的な展開は今後の大きな問題である。現在の段階でエネルギー転移機構を論じるためには、結晶構造が明らかになった系について、実験結果と理論的な考察との整合性を求めることであり、この主旨に添った発表がいくつかあった。

高等植物のLHCII (3.5 Å の分解能)でのルテインからChl aへのエネルギー転移機構をエネルギー転移行列要素を解くことから、電子交換相互作用、クーロン相互作用の区別を試みた結果、後者が優勢である事が明らかになった。一般的には前者の機構と考えられていたカロテノイドからのエネルギー転移過程について、新たな考えが示された(長江ら、神戸大)。

藍色細菌の主要な色素フィコシアニンでは、1.66 Å の分解能でその構造が明かである。蛋白質中での色素の電子状態を、周囲のアミノ酸、結晶水などを考慮し、理論的に分光特性を再現する試みが紹介された(菊地ら、日本医大)。現段階での再現性は十分とはいえないが、紅色細菌で進められているPの構造とその特性との再現と同じく、我々が持つ理論を実際の系に応用する際の問題点を知る貴重な試みでもある。

#### (6) クロロソームの分子構築

緑色光合成細菌のアンテナ系「クロロソーム」では、蛋白質がその構造維持に直接関与しないという特徴があり、BChl c間での分子間相互作用による会合体形成がその機能の発現に本質的である。この系について、王(東北大)らは、アルコール処理による会合体の分光特性変化と形態変化との相関を調べて、会合状態の可逆性とクロロソーム構造の可逆性との対応を示した。また、磁気円偏光二色性の光合成系での有用性についても紹介した。上原(大阪府立大)らは、会合体形成と溶媒の組成・構造との相関について考察し、クロロソーム形成と水の活動度について言及した。同じ観点から、大庭(東大)らはChl a'の会合体形成について報告し、ダイマー形成を強く示唆するデータを示した。

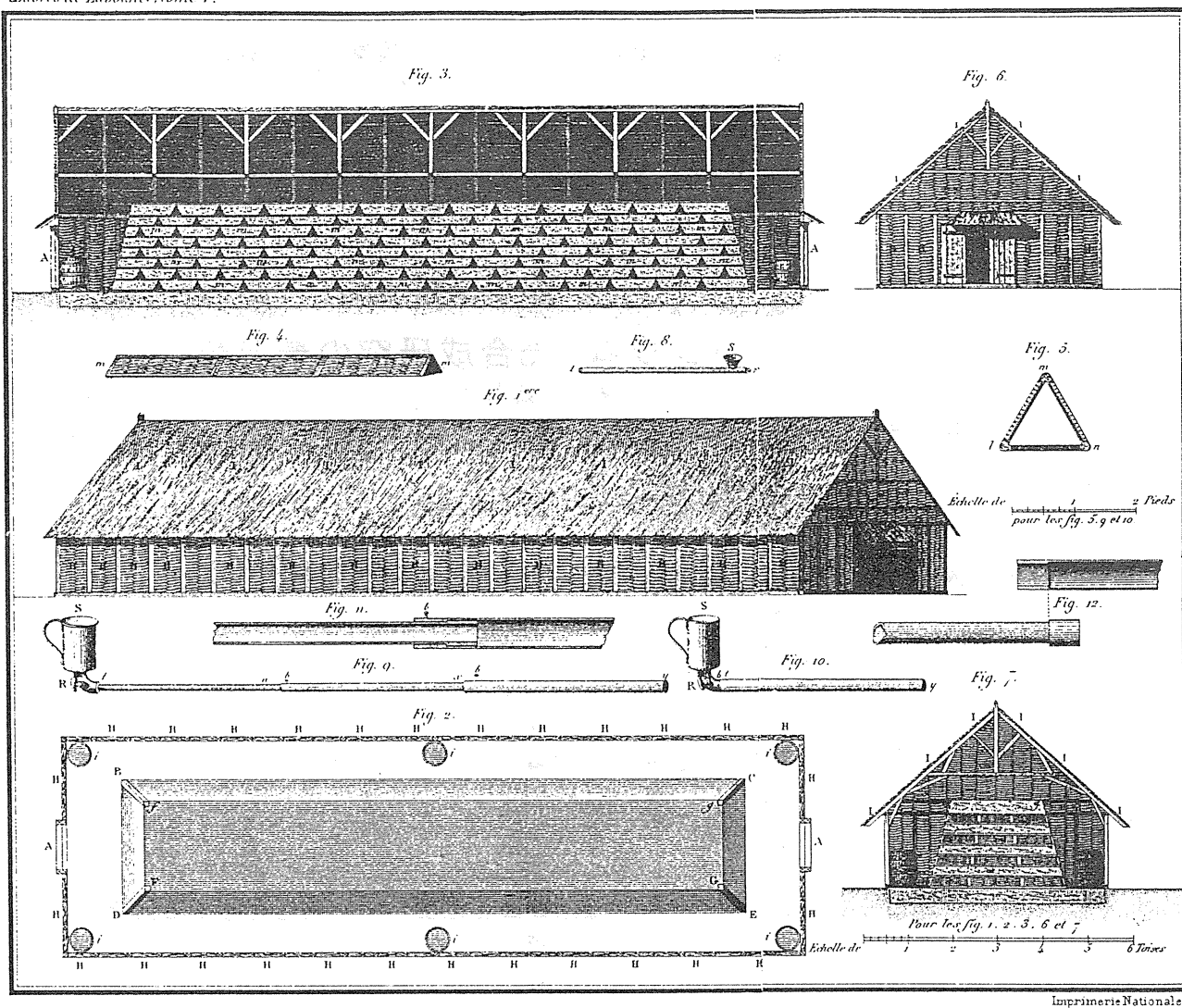
この報告は当日の発表の一部であり、選択には筆者の個人的な独断が入っていることを考慮して読んでいただきたい。より詳しい情報を知りたい方は 松浦(東京都立大学)、三室(基生研)のいずれかに連絡をして下さい。

光合成からちょっと離れて、同じように無機栄養を行なっている化学無機栄養細菌（化学合成細菌）の利用についての古い画像を調べてみた。

硝石（硝酸カリウム）などの硝酸塩は古くから医薬、肥料として、また、黒色火薬などの火薬の原料として使われてきた。これらは一般的に水溶性なので地表に蓄積することは少なく、半砂漠的な乾燥地から得られるチリ硝石（硝酸ナトリウム）が大量に得られ、また、化学的手段による硝酸の合成が始まるまでは微生物的過程による硝酸の生産は産業上も重要であった。

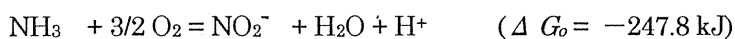
日本では古い家の床下から集められる硝石土からの硝石の抽出も広く行なわれたが、より積極的に有機物からの微生物学的過程による硝酸塩の生産も行なわれた。慶長年間（1596-1615）に始まった越中（富山県）五箇山での製法が各地に伝わったとされている。ここに紹介する図は佐藤信淵（1769-1850）著で彼の死後（1858）出版された『硝石製造辨』に出ていて、刈り取った草、污水、馬糞などをまぜて硝石小屋に入れ、雨水がかかったり、水が流れ込まないようにして、アンモニアの酸化によって硝酸をつくる方法が示されている。鼻をつまんでいる人物が描かれているように臭気は耐えがたかったと思われる。





Imprimerie Nationale

*Nitrosomonas*, *Nitrosolobus* などのアンモニア酸化細菌によってアンモニアは亜硝酸に酸化され、*Nitrobacter*, *Nitrococcus* などの亜硝酸酸化細菌によって亜硝酸は硝酸に酸化される。



上式のようにこれらの反応は自由エネルギーの減少を伴っているで、このエネルギーを利用してアンモニア酸化細菌や亜硝酸酸化細菌は化学無機栄養 (chemolithotrophy) を営むことができる。

ヨーロッパでも硝石は洞窟の床や硝石土からの抽出の他に nitrebed (英語), nitrière (仏語) での微生物学的生産が行なわれていた。Lavoisier (1743-1794) が残している精細な図を紹介するが、空気との接触を増して酸化の進行を促進する工夫がうかがえる (Oeuvres de Lavoisier, vol. 5 (1892))。

このような硝酸の生産ばかりではなく、多くの“自然な”過程や鉱床の生成、採鉱過程 (microbial mining) に微生物とくに化学無機栄養細菌が関与していることが知られている。さらに、地球上の物質循環やエネルギーの流れにおける寄与も以前考えられていたより大きいと判断される。また、地球環境の成立や変遷においてもこれらの微生物は大きな意味をもっている。微生物の存在も知られていなかった時代に化学無機栄養細菌が世界各地で産業的に利用されていたことは興味深い。

光合成研究会と重点領域研究「光合成の環境応答の分子機構」の共催シンポジウム  
についてのお知らせ

重点領域研究（村田班）のご厚意により、光合成研究会と重点領域研究「光合成の環境  
応答の分子機構」が共催の形で、下記のシンポジウムを企画しましたので、お知らせしま  
す。多数の皆さんに参加していただき、活発なご討論をお願いいたします。

## シンポジウム 光合成研究の最前線

重点領域研究「光合成の環境応答の分子機構」および光合成研究会 共催

1. 日時 1995年11月17日（金）～18日（土）

2. 場所 東京大学（本郷：理学部化学科本館5階大講堂）

3. プログラム

11月17日 光合成研究会シンポジウム「光合成のダイナミクス」

13:00～13:05 挨拶 金井 龍二

座長 加藤 栄

13:05～13:45 「地球と光合成生物の共進化－反応中心創成の  
プログラム」

伊藤 繁（基礎生物学研究所）

13:45～14:25 「ラン藻系II表在性蛋白－進化を考える上での  
新しい指標？」

井上 頼直（理研・太陽光科学）

14:25～15:05 「光ストレスの緩和と防御の分子機構－植物は何故  
日焼けをしないのか？」

浅田 浩二（京都大学食料科学研究所）

15:05～15:30 休憩

座長 白田 秀明

15:30～16:10 「窒素をシグナルとする光合成遺伝子発現」

杉山 達夫（名古屋大学農学部）

16:10～16:50 「C<sub>4</sub>、CAM植物葉緑体への代謝産物輸送」

金井 龍二（埼玉大学理学部）

座長 桜井 英博

16:50～17:30 「気孔開閉と原形質膜プロトンポンプのCa<sup>2+</sup>による  
調節」

島崎研一郎（九州大学理学部）

17:30～18:10 「生物はなぜプロトン共役を選んだか－やり残した  
課題」

西村 光雄（九州大学名誉教授）

18:30～20:00 懇親会（ガーデンパレス）



- 11月18日 重点領域研究シンポジウム「遺伝子導入系を用いた光合成研究」
- 9:00～ 9:10 挨拶 村田 紀夫  
座長 田中 国介
- 9:10～ 9:50 「D1タンパク質の部位特異的およびランダムな  
改変による光化学系IIの構造と機能の解析」  
佐藤 公行（岡山大学理学部）
- 9:50～10:30 「光合成の低温耐性の分子機構」  
村田 紀夫（基礎生物学研究所）
- 10:30～10:50 休憩  
座長 藤田善彦
- 10:50～11:30 「高等植物の高温耐性と分子シャペロン」  
西村 幹夫（基礎生物学研究所）
- 11:30～12:10 「活性酸素消去系酵素形質転換植物のストレス感受性」  
田中 浄（国立環境研究所）
- 12:10～13:10 昼食  
座長 和田敬四郎
- 13:10～13:50 「形質転換ラン藻を用いた光合成の塩ストレス応答  
におけるグリシンベタインの役割」  
高倍 鉄子（名古屋大学生物分子応答研究センター）
- 13:50～14:30 「ラン藻のイオン環境応答とチラコイド局在性  
重金属ATPase」  
水野 猛（名古屋大学農学部応用生物科学科）
- 14:30～15:10 「コリンオキシダーゼの導入によるラン藻と  
シロイヌナズナの耐塩性の改善」  
林 秀則（愛媛大学理学部）
- 15:10～ 総合討論 佐藤 公行

#### 4. 参加者の皆さんへ

- a)参加予定および懇親会出席の予定を下記にご記入の上、光合成研究会宛に郵便  
またはFAXにて8月31日までにお送り下さい。
- b)参加費は無料ですが、懇親会参加者は当日3000円を頂きます。
- c)なお、旅行や宿泊等のお世話は一切できませんので、自由参加でお願いします。

-----キリトリ線-----

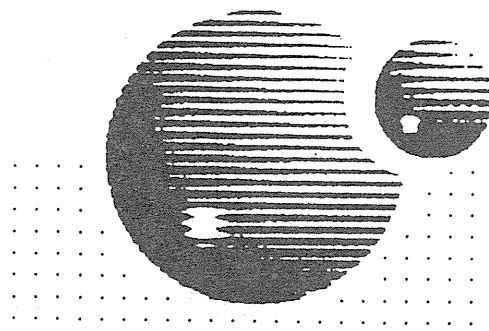
光合成研究会 金井 龍二 宛  
〒338 浦和市下大久保255  
埼玉大学理学部分子生物学科内

FAX: 048-858-3384

参加予定者 氏 名:

住 所:

懇親会への出席: する、 しない、 どちらかを○を付けて下さい。



秋の北海道で  
タイムワープしませんか？  
皆様のご参加を  
お待ちしております。

life is not a dream.

The Symphonic Evolution of Earth and Life : 4.0-Ga Time Warp

## 地球と生命の共進化 : 40億年のタイムワープ

"Spock," Kirk said, "start your computations for a time warp." - STAR TREK IV.

- 0830-0845 共進化 : The Final Frontier  
岩城 雅代・伊藤 繁<sup>†</sup>§ < 基礎生物学研究所 >
- 0845-0910 生命誕生と天地創造 : Born from The Space  
川上 紳一 < 岐阜大・教育・生物地学 >
- 0910-0935 熱と原始生命 : ホットスポットをねらえ！  
山岸 明彦 < 東薬科大・生命科学・分子生命 >
- 0935-0955 地球を変える光合成 : 水惑星最大の化学反応  
松浦 克美<sup>†</sup>・嶋田 敬三・永島 賢治 < 都立大・理・生物 >
- 0955-1015 酸素呼吸 : The Breath of Life  
茂木 立志 < 東大・院理系・生物 >  
(5分休憩)
- 1020-1045 遺伝子の進化 : タイムワープの記憶  
五條堀 孝 < 遺伝研・生命情報研究センター >
- 1045-1110 タンパク質モジュール : 分子進化のジグソーパズル  
郷 通子・由良 敬・深海-小林 薫 < 名大・理・生物 >  
友田 志郎 < 弘前大・理・情報科学 >
- 1110-1135 全地球史解説 : 生命科学と地球科学の共進化  
熊澤 峰夫 < 名大・理・地球惑星 >
- 1135-1200 総 合 討 論 向畑 恭男 < 名大・理・生物 >

1995年 9月 24日 日本生物物理学会 第33回 年会 シンポジウム @北海道大学 工学部 (札幌市)

†: オーガナイザー

§: 連絡先 〒444 岡崎市 明大寺町 基礎生物学研究所 telephone 0564-55-7511 fax 0564-53-7400

共催: 日本化学会・日本地質学会・日本地震学会 後援: 文部省重点領域研究 "全地球史解説"

今年(1995/1/15)実施の大学入試センター試験の試験監督をやらせられた際、時間を持て余しましたので、試験問題を眺めていましたが、生物の「光合成の実験に関する」第3問は、光合成の専門家を自称する私にとって難問でした。別紙2の記事は、翌日の毎日新聞が掲載した「生物」第3問と正解です。そこで、実際にこのような実験をしていた30年前を振りかえりながら文章(別紙1はその一部要約)をまとめ、今後の出題の参考になればと大学入試センター出題担当官に、次のような意見を添えてお送りしました。”・・・最近、理科教育の危機が唱えられていますが、当理学部学生の中にも、「実験」せずにその結果を「理解」して得意になっている輩が多くなりました。本出題もその傾向を反映するものの様です。・・・これは、興味ある実験の立場を忘れて、単なる知識の暗記に墮した高校理科教育の弊害を助長する出題であると考えてるので、その問題点を指摘した。”

ところが、3回にわたる手紙のやりとりで、入試センター側の見解は①”この問題は高等学校教科書で扱っている光合成についての基本的な知識を十分理解しているかどうかを確かめるための設問であり、”②”光合成の実験結果をどのように解釈できるかを問う、単純化した思考実験的な問題で、”③「正解」の解説と共に”代表的な高等学校の教科書に記載されている「光合成のしくみ」の図”(別紙3)が添付され、”ご参考に、受験者の本問解答状況を分析した結果、いずれも生物全体の得点の高かった受験者群の正解率が高く、高校教科書の知識の修得度の高いものが、第3問もよく出来ていたことを示しています。”とのコメントまでが付けられていました。まるで、当方が光合成に関する世の中の常識をわきまえない曲学阿世の徒であると決めつけているようでした。これらの返答は、出題委員の秘密保持のためとの理由で「入試センター」名で送られてくるのですが、私も、ANONYMOUSをよいことに己の誤りを認めようとしめない輩めとあきれ果てた次第です。

ところで、「非常識な研究者」から見ると、添付された教科書の2ページ中には「光合成の常識」の誤りがいくつか発見されます(図の中の▼印)。①光合成産物がデンプンでなく、相変わらずブドウ糖だし、②カルビン回路で最初に出来るPGAは還元される前から三炭糖リン酸だし<sup>注)</sup>、③還元段階で出るのはリン酸ではなかったかと、改めてスキームを見直したりしました。また、④クロレラでは、生育時のCO<sub>2</sub>環境によりカーボニックアンヒドラーゼ活性が大きく変わることを知っている人々にとって、<sup>18</sup>Oを用いたRubenの実験結果を単純に信じるには勇気が要ることでしょう。さらに、⑤グラナでないチラコイドも明反応をするのではないかとひねくれてみたり、⑥光合成の明反応と暗反応の境を何処におくのだろうと迷ったりして、ますます暗くなりました。

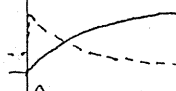
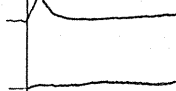
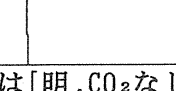
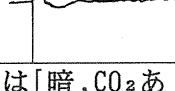
<sup>注)</sup> 今年2月に出た科学雑誌特集号で、”光合成の炭酸固定でCO<sub>2</sub>をRuBisCOで三炭糖に送り込むC<sub>3</sub>回路と、PEP-Cで四炭糖に取り込むC<sub>4</sub>回路”と用語解説されているのにはもっと驚かされました。

こんな教科書の所為でしょうか、近頃、”もう光合成は判ったから、面白くない!”と広言する大学生が、私の学科にも増えつつあります。もう20年も前、Wisconsin大学で、卒業研究テーマをめぐってGerry Edwards教授と女子学生の対話が思い出されます。GerryがC<sub>4</sub>植物に関する課題を提案すると、その学生は”先生は授業で、C<sub>4</sub>光合成経路はこんなに分かったと言ったではありませんか!”と反論し、賢明にも、彼女はもっとエキサイティングなテーマをくれる先生を捜したようでした。流行に敏感な若者達にも、光合成研究の魅力を伝えるにはどうすればよいのか、考えあぐんでしまいましたが、光合成の常識に疑問を抱く研究者が多くなることを、私は期待しています。

(別紙 1)

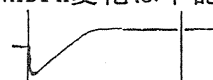
問 1 は実験 a の代謝産物 (おそらく、NADP ATP ADP) レベルに関するもので、[13],[14] の正解とされるのは、それぞれ、⑤, ②である。なお、[13]については、実験 a 開始以前のクロレラの状態が記載されていないので、増減については答えようがないのだが、一応、「暗, CO<sub>2</sub>なし」とした。

下の表に示す実際のクロレラによる実験結果は「正解」と比較して、3 分間の経過では変化が複雑で判断できない場合が多いし、処理前後の定常状態で比較しても<sup>(註)</sup>「正解」とは明らかに異なるものや僅かな差しか見られないものが多い。

| 明, CO <sub>2</sub> なし |                         |                                                                                    | →→→                                           | 暗, CO <sub>2</sub> あり |                                                                                      |                                                   |
|-----------------------|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| 正解⑤                   | 実際の実験結果 <sup>(文献)</sup> | 定常比                                                                                |                                               | 正解②                   | 実際の実験結果 <sup>(文献)</sup>                                                              | 定常比                                               |
|                       | 3分間の経過                  |                                                                                    |                                               |                       | 3分間の経過                                                                               |                                                   |
| NADP <sup>+</sup>     | 減少↘                     |   | [1.4] <sup>(1)</sup><br>[1.2] <sup>(3)</sup>  | 増加↗                   |   | [1.2] <sup>(1, 3)</sup>                           |
| NADPH                 | 増加↗                     |   | [1.3] <sup>(1)</sup><br>[0.84] <sup>(3)</sup> | 減少↘                   |   | [0.9] <sup>(1)</sup><br>[0.8, 1.1] <sup>(3)</sup> |
| ATP                   | 増加↗                     |   | [1.15] <sup>(2, 3)</sup>                      | 減少↘                   |   | [0.9] <sup>(3)</sup><br>[1.0] <sup>(2)</sup>      |
| ADP                   | 減少↘                     |  | [1.0] <sup>(2)</sup><br>[0.6] <sup>(3)</sup>  | 増加↗                   |  | [1.0] <sup>(2)</sup><br>[1.5] <sup>(3)</sup>      |

(註) 定常比: 左欄では[明, CO<sub>2</sub>なし]/[暗, CO<sub>2</sub>なし]、右欄では[暗, CO<sub>2</sub>あり]/[明, CO<sub>2</sub>なし]

問 2 は「誤っているもの」を選ぶ問題で、「正解」は①となっている。しかし、上にも述べたように、実験 b の直前にクロレラが「明, CO<sub>2</sub>なし」であれば、実際の NADPH 変化は下記のようになり<sup>3)</sup>、必ずしも「誤っている」とは言えなくなる。



問 3 は実験 a ~ d 後半における CO<sub>2</sub> 吸収量の大小を比較する問題で、正解が③であることは明らかであるように見える。しかし、実験 c が最大値であることは異論がないにしても、呼吸による CO<sub>2</sub> 放出のため、実験 a, b, d 後半における暗中の CO<sub>2</sub> 吸収量が a > b = (マカ > ?) d になるかどうかは簡単に予測できないと思われる。

・・・要するに、3 分間の明・暗処理ではクロレラの光合成・呼吸は共に定常状態に達していないし、明暗切り替え直後の 3 分以内に代謝産物レベルは TRANSIENT に様々な変化をするので、単純に「増加または減少」と判断できない場合が多い。これは、細胞内で代謝産物が光合成以外の経路とも密接に関連し、また、ATP や NADP などの「量」の増減は生成・消費速度のバランスによって決まるので、これらの「量」の増減のみを設問にすることは無意味だということです。

文献 - 省略 -

(別紙 2)

第3問 光合成の実験に関する次の文章、および、得られた結果の一部を示した下のア・イを読み、次ページの問い(問1～3)に答えよ。(配点 16)

密閉できるガラス容器にクロレラの懸濁液を漬く入れて、最初の3分間(前半)と次の3分間(後半)、それぞれ表1に示す条件のもとで実験a～実験dを行い、光合成にかかわる補酵素の量、ATP量、ADP量、 $O_2$ 発生量および $CO_2$ 吸収量を測定した。ただし、表の中の簡潔な表現は、次のような内容を表している。

|     | 前半           | 後半           |
|-----|--------------|--------------|
| 実験a | 明、 $CO_2$ なし | 暗、 $CO_2$ あり |
| 実験b | 暗、 $CO_2$ なし | 暗、 $CO_2$ あり |
| 実験c | 暗、 $CO_2$ なし | 明、 $CO_2$ あり |
| 実験d | 明、 $CO_2$ あり | 暗、 $CO_2$ あり |

明 = 光を当てる。  
暗 = 暗黒に保つ。  
 $CO_2$ あり = ふつうの空気を入れる。  
 $CO_2$ なし = あらかじめ $CO_2$ を取り除いた空気を入れる。

ア 実験dの前半では $O_2$ が発生し続けたが、実験aの前半では $O_2$ の発生が途中で止まった。

イ 実験a、c、dで当てた光は十分に強く、そのため光合成の速度は $CO_2$ の濃度によって制限されていた。ただし、実験dの前半では $CO_2$ が吸収され続けたが、実験aの後半では $CO_2$ の吸収が途中で止まった。

| 問題番号(配点) | 設問(配点) | 解答番号 | 正解 |
|----------|--------|------|----|
| 第3問(16)  | 1(8)   | 13   | 5  |
|          |        | 14   | 2  |
|          | 2(4)   | 15   | 1  |
|          | 3(4)   | 16   | 3  |

問1 実験aの前半および後半では、それぞれどのような変化が起こるか。次の①～⑥のうちから正しいものを一つずつ選べ。前半 13 後半 14

| 酸化型の補酵素 | 還元型の補酵素 | ATP | ADP |
|---------|---------|-----|-----|
| ① 増加    | 減少      | 増加  | 減少  |
| ② 増加    | 減少      | 減少  | 増加  |
| ③ 増加    | 増加      | 増加  | 減少  |
| ④ 減少    | 減少      | 減少  | 増加  |
| ⑤ 減少    | 増加      | 増加  | 減少  |
| ⑥ 減少    | 増加      | 減少  | 増加  |

問2 実験b～実験dにおける、光合成にかかわる補酵素の還元に関する記述として誤っているものはどれか。次の①～⑥のうちから一つ選べ。 15

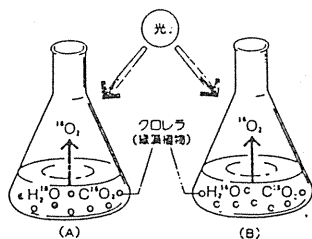
- ① 実験bの前半の終わりには、還元型の補酵素の量が増加している。
- ② 実験bの後半では、補酵素の還元は行われない。
- ③ 実験cの後半では、補酵素の還元が行われる。
- ④ 実験dの前半では、補酵素の還元が行われる。
- ⑤ 実験dの前半の終わりには、還元型の補酵素が残っている。

問3 実験a～実験dのそれぞれの後半における $CO_2$ 吸収量の大小関係はどのようになるか。次の①～⑥のうちから、最も適当なものを一つ選べ。ただし、実験はいずれもa、b、c、dの記号だけで略記してある。 16

- ①  $a > c > d$
- ②  $b > c > a$
- ③  $c > a > b$
- ④  $c > b > d$
- ⑤  $d > b > a$

(別紙 3)

134 ● 第4章 生物の活動とエネルギー



- (A) 水分子の酸素に $^{18}O$ を用いたとき…… $^{18}O_2$ が発生  
(B) 二酸化炭素分子の酸素に $^{18}O$ を用いたとき…… $^{18}O_2$ が発生

図4-24 酸素の由来を調べる実験

れ、酸素を生ずる。

植物に酸素の同位体 $^{18}O$ を含む水と $^{18}O$ を含む二酸化炭素を与え、光を当てて発生する酸素を調べてみると、 $^{18}O_2$ であることがわかる。これは、光合成によって放出される酸素が水に由来することを示している。

水が分解されると、酸素のほかに水素原子を生ずる。この水素原子は、水素受容体(A)を還元して $AH_2$ をつくる。また、光合成色素によって吸収された光エネルギーの一部は、化学エネルギーに変えられてATPにたくわえられる。

明反応は、主に葉緑体のチラコイドの部分で起こり、温度や二酸化炭素の濃度にはほとんど影響されない。

⑥ 暗反応 暗反応は、光を必要としない反応で、二酸化炭素を固定してブドウ糖などの炭水化物を合成する。

暗反応の過程は、炭素の放射性同位体 $^{14}C$ を含む二酸化炭素などを用いてくわしく調べられた。その結果、吸収された二酸化炭素は簡単な有機物になり、これが明反応で生じた $AH_2$ の水素によって還元され、さらに複雑な化学反応を経てブドウ糖になることがわかった。この反応に

・ ニコチンアミドアデニンジスリン酸(NADP)と呼ばれる補酵素で、水素を受け取り、これを運搬する。

高等学校改訂生物  
(第一学習社) より

⑥植物による物質の合成 ● 135

は、明反応でつくられたATPの化学エネルギーが用いられる。したがって、明反応で取り込まれた光エネルギーは、暗反応で合成されるブドウ糖にたくわえられることになる。

暗反応は、葉緑体のストロマの部分で起こり、いろいろな酵素が関与しているので温度の影響を強く受ける。この反応過程は、カルビン回路によって研究されたので、カルビン回路といわれる。

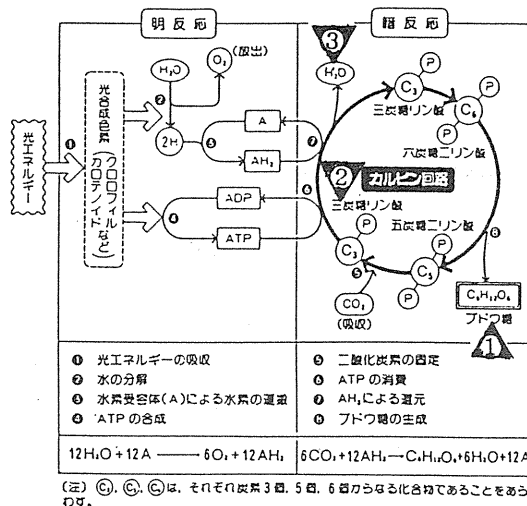


図4-25 光合成のしくみ

問5 ある植物の真の光合成速度を調べたところ、1時間に360mgのブドウ糖が合成されていることがわかった。このとき、ブドウ糖を合成するために何mgの二酸化炭素を必要とするか。

## 編集者より

久々に光合成研究会のシンポジウムを企画しました。まだ会員でない周りの知人や大学院生にも、ぜひ、参加を勧めて下さい。また、光合成研究会への加入も勧誘してみてください。よろしくお願い申し上げます。

できれば来春、理化学研究所との共催で、もう一つ会合を持ちたいと目論んでいます。

なれない作業でしたが、やっと7月発行にこぎ着けることができました。世の中の風潮に習ってA4版にしたこと、光合成研究会のロゴを作ってみたことなどが、新しい試みです。

次回は10月を予定していますので、会に対するご意見、学会見聞録、会合のアナウンス、様々な話題やお便りなどを、早い機会にお寄せ下さるようお願いいたします。

(R K)

\*\*\*\*\*

### 光合成研究会 1995年～1996年役員

会長 金井 龍二 (埼玉大学理学部)  
幹事 (日本光生物学教会の委員を兼任)  
井上 頼直 (理化学研究所)  
幹事 石井 龍一 (東京大学農学部)  
幹事 寺島 一郎 (筑波大学生物科学系)  
幹事 大西 純一 (埼玉大学理学部)

\*\*\*\*\*

光合成研究会 会報 第14号

1995年7月1日発行

〒338 浦和市下大久保255

埼玉大学 理学部 分子生物学科

光合成研究会

TEL. 048-858-3396

FAX. 048-858-3384

振替貯金講座 00150-9-569022 光合成研究会

\*\*\*\*\*