

理化学研究所 ニュース

Dec. 1984

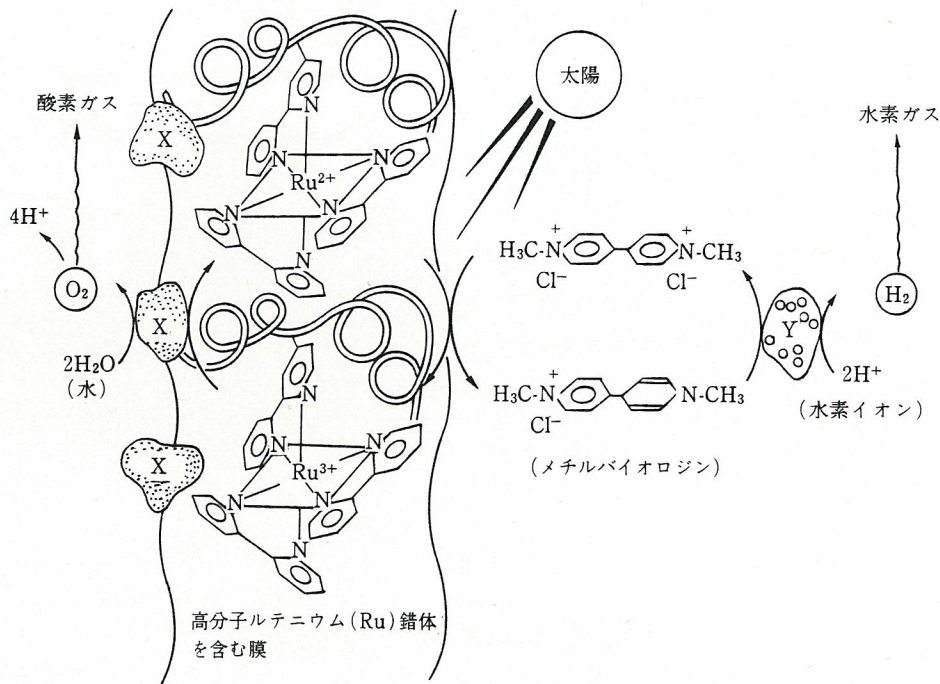
No. 78

太陽光エネルギー変換研究

日向が恋しい季節がやって来た。陽光をあびて肩の凝らない読書に耽けるのは冬の日の楽しみの一つである。日向が暖かいのは、1 cmあたり1分間に2カロリーの太陽エネルギーが降り注いでいるからである。この値を基に計算すると、地球全体には年間 7.2×10^{20} キロカロリーの太陽エネルギーが入射していることになる。この値を他のエネルギー統計値と比較してみよう。石油、石炭の推定埋蔵量は 1.0×10^{19} キロカロリーと云われるが、これは太陽光の5日分に相当する。人類による年間エネルギー消費 7.2×10^{10} キロカロリーは1時間分、植物が光合成反応によって1年間に固定するエネルギーは10時間にしかすぎない。人類が食糧として消費するエネルギーに至ってはわずか3分の太陽光エネルギーでまかなえることになる。勿論これは机上の計算に過ぎないが、太陽エネルギーの潜在力がいかに巨大であるか御理解いただけるものと思う。この点にこそ、尽きることのないエネルギー資源として太陽光を利用しようという研究の夢の原点がある訳だ。太陽エネルギーの利用は、太陽光を熱として利用する立場と、光として利用す

る立場に大別できるが、本グループは主として後者の立場に立って研究を進めている。研究は多岐にわたり目標も数多いが、一口で言えば、“植物が営む光合成反応と同様な反応を人工系で行わせる研究”である。

空気と無機塩類を含む水、それに光が与えられれば緑色植物は生長する。もしも植物について何も知らない物理化学者がいたとしたら、おそらくこの現象を信じないだろう。これは英国のG. E. Fogg 教授の書いた光合成の教科書の冒頭の一文である。植物は太陽光のエネルギーを利用して、物理化学者から見ればいささか神秘的ともいえるべき反応、“光合成”を行う能力をもっているのである。光合成反応は、炭酸同化作用という名前で小学校の教材にも登場する、ごく身近なささやかな現象であるが、農業においては食糧生産の基本原理であり、また過去数億年間にわたって、いわゆる化石エネルギーを蓄積した実績をもつ、なかなか意義雄大な反応である。文明の発達した現代においても、人類は依然として植物やその生産物を加工利用して生活していることは疑いのない事



人工合成による水素生産システムの想像図 (提供, 金子研究員)

X: 水分解触媒, プルシアンブルー(鉄を含む)が有効。生体中ではマンガンを含む触媒。

Y: 水素発生触媒, 白金, フタロシアニン等が有効。生体中ではヒドロゲナーゼ。

事なのである。植物は光合成によって、炭酸ガス、水、アンモニアなどの無機物から、炭水化物、脂肪、蛋白質などの有機物を生産し、同時に水を分解して酸素を発生する。動物が呼吸で使う酸素は、植物が光合成で作りに出しているのである。地球上で植物が生産する有機物の量は、炭素重量に換算して年間約100億トンに達するが、同時にほぼ同量の有機物が微生物による分解を受けたり、動物の食物となったりあるいは人類の文明活動の為に燃焼に供されて、再び炭酸ガスとなって空気中に戻っていく。人類の文明を含めてあらゆる生命活動はこの二つの巨大な物質循環回路の中に組み込まれて営まれている訳で、その回路を動かすエネルギーは地球圏外から飛来する太陽の光エネルギーである。つまり光合成反応は開放型熱機関である地球生態圏において、唯一のエネルギー取入口なのである。

光合成の化学反応は炭酸ガスの還元であって、

高等植物や藻類は還元のための水素供与体として水を利用している。まず光合成色素(クロロフィル)が吸収した光のエネルギーによって水が酸素と水素イオンおよび電子に分解される。次に水素イオンと電子が結合して、強い還元性を持つ物質が生じる。この還元性物質が炭酸ガスを還元して最終産物の糖類が生成する。この時、炭酸ガスの還元で使用される水素イオンと電子とを適当な触媒を用いて結合させてやると水素ガスが発生する。これが光合成の水分解能力を利用して水素を生産するという発想の基になる考えで、事実ある種の藻類はヒドロゲナーゼという酵素が作用して水素の発生が起る。

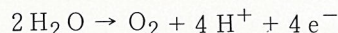
光合成を利用して水素を得る方法には3つのタイプが考えられる。第1は藻類や光合成細菌を培養して、培養の過程や培養の後期に嫌氣的にする等環境を変化させた際に発生する水素ガスを利用する、いわば醗酵工学的な方法である。この方法

は食品工場廃水や都市廃水等の処理と組合せれば、太陽光エネルギーを利用して環境の浄化と燃料の生産を同時に行うことができ、コスト的に有利で実用化できる可能性がある。現在のところ、培地 1 ℓ 当り毎時 200~500 ml の純粋な水素を発生する光合成細菌がいくつか見付けられており、中規模の実験プラントが考慮されている。第2は光合成の反応機構を分子レベルで研究して解明し、それを参考に人工的な光エネルギー変換システムを作製し、それによって水を分解して水素を作る方法である。この方法は太陽光エネルギー変換の最終目標であって、これを達成する為に、植物の光合成の機構をもっと明確にする生物学研究と、光合成反応の主要な触媒を人工物に置き換える化学あるいは物理学の研究が並行して進められている。研究の現状はまだ夢と現実が相半ばした段階でしかないが、着実に人工光合成実現の方向へ歩んでいると云えよう。第3の方法は、1と2の折衷で、植物光合成器官から取り出した“部品”を固定化・安定化して人工システム内に組み込む方法である。この方法は実験室規模ではすでに実現されているが、耐久性の問題が終始つきまとうだろう。

さて、人工光合成装置とはどのようなものだろうか。従来の光合成研究の成果を基に、人工光合成装置が備えるべき基本的条件を挙げると、①表裏の区別のある膜状物質中に光感应性の電荷分離機構と膜中を貫通して方向性をもった電子の移動を可能にする構造が存在すること、②膜の一方の側に水を分解する触媒が存在すること、③膜の他方の側に水素イオンを水素ガスに還元する触媒が存在すること。この3つの条件を満足する機能と空間構造をもった膜を作ることができれば、水を分解して膜の両側に水素と酸素を別々に発生させることが可能になるはずである。植物の光合成器官に含まれる膜構造は、これらの条件をほぼ満足する性質をもち、ここに人工光合成装置の分子設計へのステップとして、植物の光合成器官の構造と機能を解明する必要性がある訳である。

上記の3つの機能を純人工的な方法で達成するための研究はどこまで進んでいるだろうか。③の機能は生物体ではヒドロゲナーゼという酵素が担

うが、これと類似の働きをする触媒がいくつか開発されて来た。特に理化学研究所の山田主任研究員と金子研究員が共同で開発したフタロシアニン化合物は、47%という高い量子収率でこの反応を触媒し、光や熱に対しても極めて安定である。この機能は最も近い将来に分子設計が可能な段階に到達するだろう。①の機能は生物ではチラコイド膜全体が担っている。チラコイド膜は多数の分子の性質を基礎にして構築されたLSIとも云うべき精巧なもので、これと同一のものを純化学的に作ることは現在のところ不可能であるし、またその必要もない。ただ上の機能を満足する特徴だけは与えてやる必要がある。最近リン脂質で作った人工膜中に錯体を取りこませたり、ポリスチレン等の高分子物質にルテニウム錯体などの光感受性物質を組みこんで、必要な機能の一部を発揮させる研究が盛んに行われるようになったが、まだまだごく原理的、基礎的な段階である。②の機能は生物ではいわゆる酵素発生源が担っている。酵素発生は光合成反応の中でも極めて特異的な反応で、常温、常圧、中性の条件下で4個の光子のエネルギーを蓄積して水を分解する。水が酵素ガスと水素イオンに分解される反応式は



のように表わされ、1分子の酵素ガスが生ずるためには2分子の水から4個の電子を奪い取る必要がある。事実、長い時間暗所に置いて十分に緩和させた葉緑体に、寿命が短くかつ強い閃光を照射すると、閃光4発毎に酸素が発生する。このような機構を可能にしている生体中の物質は何か。この物質の構造が明らかになれば人工光合成系の水分解触媒の分子設計が可能になるはずである。

理研グループはこの分野で最近目覚ましい成果を二つ出した。第1はルテニウム錯体を光レドクス系、多核型混合原子価鉄シアノ錯体であるプルシアブルーを触媒として可視光による水の分解系を見出したこと。第2は植物水分解酵素の単離・解体・再構成である。光合成系の水分解酵素は分子量4.7万、4.3万、3.3万、2.4万、1.6万の5種類の蛋白質と4原子のマンガンおよび200分子のクロロフィルから成っており、4.7万、4.3万蛋白の一方あるいは両方に結合したマンガンが水を酸

化する。但しマンガンが触媒機能を発揮するためには4個のマンガン原子が一定の空間配置をとることが必要で、3.3万の蛋白がこの配置を正しく保持させる機能をもっていることが明らかにされた。これを契機に水分解触媒の分子設計が飛躍的に前進するはずである。

以上、人工光合成系へのアプローチについてごく基本的な考え方を二、三の例をあげて簡単に記した。この研究は生物学と化学を中心に広い分野にまたがる総合的課題である。従ってこの研究を完成するためには、植物の営む光合成系の構造と反応機構を徹底的に解明するとともに、化学研究がこれまでに蓄積した技術と方法論を総合的に駆使して、光合成系の特徴的な機能を備えたモデル系を分子設計し、合成し、改良して作りあげてい

かなければならない。理化学研究所においては、昭和54年に生物、物理、化学を専門とする研究者が共同して参画するインターラボラトリー組織、“太陽光エネルギー科学研究グループ”が設置され、日米太陽光エネルギー研究協力プログラム、ヴェルサイユ・サミット研究協力プログラム等の国際協力研究を織りまぜつつ活発な研究が進められている。光合成による太陽エネルギー変換の研究は、人工光合成系という人類究極のエネルギー源を獲得する夢と、光合成という生物生存の根源にかかわる真理探究の夢を併せ持った、真に夢多い研究なのである。

太陽光エネルギー科学研究グループ
主任研究員 井上 頼直

昭和59年度 理研シンポジウム開催予定一覧

No.	テ ー マ	主催研究室	共 催	開催予定日
24	加速器利用の原子衝突	原子過程		2月
26	第7回「レーザー科学」	レーザー科学研究グループ		2月
27	10-100 Mev/u 領域における重イオン原子核反応測定装置	放射線		1月
28	第2回ライフサイエンスシンポジウム 「遺伝子組換え研究：最近の進退」	分子腫瘍学		12月20日
29	ジョセフソン・エレクトロニクス	情報科学 マイクロ波物理		3月
30	液相、固相および界面における電子移動反応	放射線化学		1月11日
33	高純度材質中の軽元素の加速器分析	核化学		2月26日
35	新しい表面の創成とその特性評価	摩擦工学	精機学会 日本潤滑学会 応用物理学会応用電子物性分科会 日本学術振興会 荷電粒子ビームの工業への応用第132委員会	3月8日
36	第16回「イオン注入とサブミクロン加工」	半導体工学		3月11, 12日
38	薄板成形における評価法	変形工学		2月20日

問い合わせ先：研究業務部 図書・発表課編纂係（電話 0484-62-1111 内線 2392, 2393）

発明・考案リスト

昭和59年4月～昭和59年9月に公開となったもの

公開番号	出願番号	発 明 の 名 称
(特 許)		
59- 60341	57- 171646	レーザー回折像を用いる粒度分布測定法
59- 81513	57- 192288	ジョセフソン接合素子を用いた電磁波検出装置 (共願)
59- 83336	57- 193077	荷電粒子線集束偏向装置 (共願)
59- 84897	57- 193951	7-メトキシカルボニルシクロペンタジエニルコバルト錯体 (共願)
59- 90009	57- 200788	物体形状測定法と物体形状測定装置
59- 96785	57- 207284	超伝導薄膜の残留量子磁束の除去方法及び装置
59- 101751	57- 211013	試料の状態検出法
59- 87389	57- 197405	加速器溶融塩増殖炉の陽子の入射方法及び装置 (共願)
59- 106297	57- 214230	ヒト生長ホルモンのカルボキシ末端遺伝子の合成法
59- 106292	57- 214231	高度の超らせんを有する閉環状DNAの調製法
59- 105824	57- 215270	水素同位体のレーザー分離のためのハロゲン化エタン系の作業物質と水素同位体のレーザー分離法
59- 113900	57- 221489	微生物の生理活性状態変数の予測方法
59- 120130	57- 229946	皮フ弾性率測定法
59- 155701	58- 30460	試料の厚み測定方法とその装置
59- 138939	58- 14039	物体と表面温度に対する温度感覚の定量検知方法とその装置
59- 116522	57- 229728	光学非球面の検査法
59- 123517	57- 229945	レーザーによる水素同位体分離用反応装置
59- 123239	57- 229947	半導体膜の形成方法
59- 139728	58- 7975	超伝導磁束量子論理回路
59- 133462	58- 8597	エリスロポイエチンの定量法
59- 125895	58- 964	ヒト生長ホルモン遺伝子の合成法
59- 138201	58- 12043	新規な硫酸化アミノ多糖及びその製造法
59- 138202	58- 12044	新規な硫酸化アミノ糖含有多糖及びその製造法
59- 141371	58- 14040	陰極外套を有するプラズマトーチのスタート法

(以下次号)



老化とは乾燥である！

「老化とは、一種の自然の病気」、「乾燥への推移である」といったのは、かのアリストテレスである。我が身をもってこの事実を知らされたのは、5年前。3米余の高さから落下。頭蓋骨折、2日間の人事不省の後である。退院間もなく、後遺症のことも心配なので、さる著名な脳外科医を訪ねた。CT S写真を見て、「年の割に隙間があいて

るなあ、やっぱり打ったせいかな？」と、患者の私に聞かせるでもなく、ひとり言。

気になるので、説明を求めた。こうである。脳が左右に分れ、脳幹でつながっていることは、誰もが知っていよう。この間には隙間がある。真上からみると、中心溝と直交している。溝のようにみえるが、あれは隙間。いまだにその名称を知ら

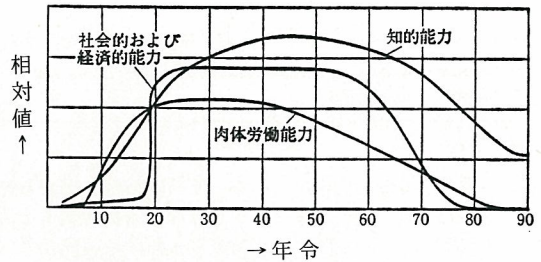
ないが、その隙間が年齢不相応にあき過ぎている、というのである。この隙間は、老令になるにつれてだんだん大きくなる。脳は脳液の中に浮いた、丁度水に浮く豆腐のよう。老化について、脳のみかけ体積はしぼみ、脳内の水分は脳液側に出る。まさしく乾燥、脱水なのである。ちなみに胎児の含水率94%、新生児69%、成人は58%、老人は?。

25才前後の脳のみかけ体積を基準にした体積比を、体積係数とよぶ人がいる。この体積係数は、30を過ぎた頃年とともにほぼ直線的に減少する。その傾斜は、ウーマン・リブ運動に弓する意志などさらさらしないが、男性より女性の方が大きいのである。

私の脳の間隙が大きいということは、老化が人並み以上に進んでしまったことになる。元金さえとっていないのに、商売道具の痛みがひと一倍ひどい、とあっては……。拝む心境で、修繕の仕方を質ねると、「ショックで脳内の水が外に出たんだろう。またふくらむ——水を吸って——かもしれないから、3ヶ月後にもう一度診てみよう」と。

3カ月後、合格発表日のように待ちどおしかった。再診して曰く、「ああ、これで普通だ。やっぱりショックで水がとび出したんだなあ」と。それで安堵した途端、「これで悪けりゃ、もともと悪いんだな」と。「この野郎!」。とはいわなかったが、期せずして想い出したのが、前述のアリストテレスの言。

ところで、この折3、4人の脳外科医と懇意になったが、彼らの異口同音、「脳のCT S写真を撮れば、頭のよし悪しのおおよそはわかる」。以後、脳のCT S撮影は、一切拒否することになっている。「頭の中をのぞいてみたい」という落語のせりふは、いまや完全に可能なのである。おのおの方、ご注意召されよ。



老化曲線の図

序でに、老化についての寿命学者、老人病学者の見解を紹介しておく——、「老化とは一つの生理現象とみなすことはおそらく間違いであろうが、人は誰でも年をとるのであるから、老化はちょうど分娩時の陣痛と同じくらいに正常な過程であるとみなされている。しかし、両者ともおそらく病的現象の問題であろう」——ノーベル賞受賞生理学者メチニコフ。「老化過程は一つの異常な過程とみなす」——ロシアの研究者クプレヴィッチ。「最後までつづいた正常な老化というものは実際にはほとんどありえないもので、それはむしろ一種の抽象的概念である」——スウェーデンの医学者ヘンシエン。これでは救いが無いじゃないかとむくれる方に、「目的を意識した活動性は早老への戦いにおいてもっとも強力な手段である」——アメリカの寿命学者ボルツ。

つけ加えておくと、「50才を過ぎると、老人の特徴である硬化現象があらわれます。研究機関にもこのような現象がかならず発生します」——ロシアの科学者カピッツァ。ちなみに、私が頭を割った年が50才（別添の老化曲線は参考まで）。おかげで、老化防止というより減速法を教わった。チョッと漏らすと、ジョギングなんかじゃ、長生きはできても老化は減速できっこない。

□ カットはカリカチュアライズした1929年売り出しのオベル“ドクター”。

(山口賢治)