

# 理研ニュース

理化学研究所

## 環境・エネルギー問題の解決に向けて

### —人工光合成に挑戦する—

二酸化炭素の増加による地球温暖化など、環境破壊が心配されていますが、これらはエネルギー資源問題と密接な関係があります。環境・エネルギー問題を解決する一つの方法として、人工光合成系の構築という課題に取り組んでいます。

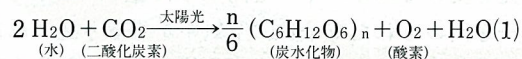
科学が専門でない人にも読んでもらうために、図を順番に眺めていただくだけでもわかるように工夫してみました。

#### 生命活動の源—植物の光合成—

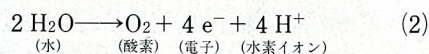
私達の生命活動は何によって支えられているのでしょうか。図1に示したように、穀物・野菜などは光合成の産物ですし、蛋白源である動物も結局は光合成に頼って生きています。ですから、私達の生命力はほとんど完全に光合成に依存している訳です。社会活動に欠くことの出来ない石油・石炭などの燃料源（化石燃料）も、光合成産物が地中で長い間に変化し、蓄積したものです。このように植物の光合成は私達の生命活動・社会活動の両方を支えています。

このような光合成を化学者の立場からみてみましょう。光合成とは、太陽の可視光線、水(H<sub>2</sub>O)お

よび二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)から、炭水化物[(C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>)<sub>n</sub>]で代表される化合物が合成される反応で、このとき酸素(O<sub>2</sub>)が発生します(1式)



これを自然界のエネルギーサイクルとして図1に表わしました。このエネルギーサイクルは、光合成が支える電子(e<sup>-</sup>)の循環で表わされます。この電子は次の2式の反応により、水から供給されるというところが極めて大事です。



このとき酸素が発生し、水素イオン(H<sup>+</sup>)も出てきます。図1では電子と水素イオンを一緒にして表わしてあります。





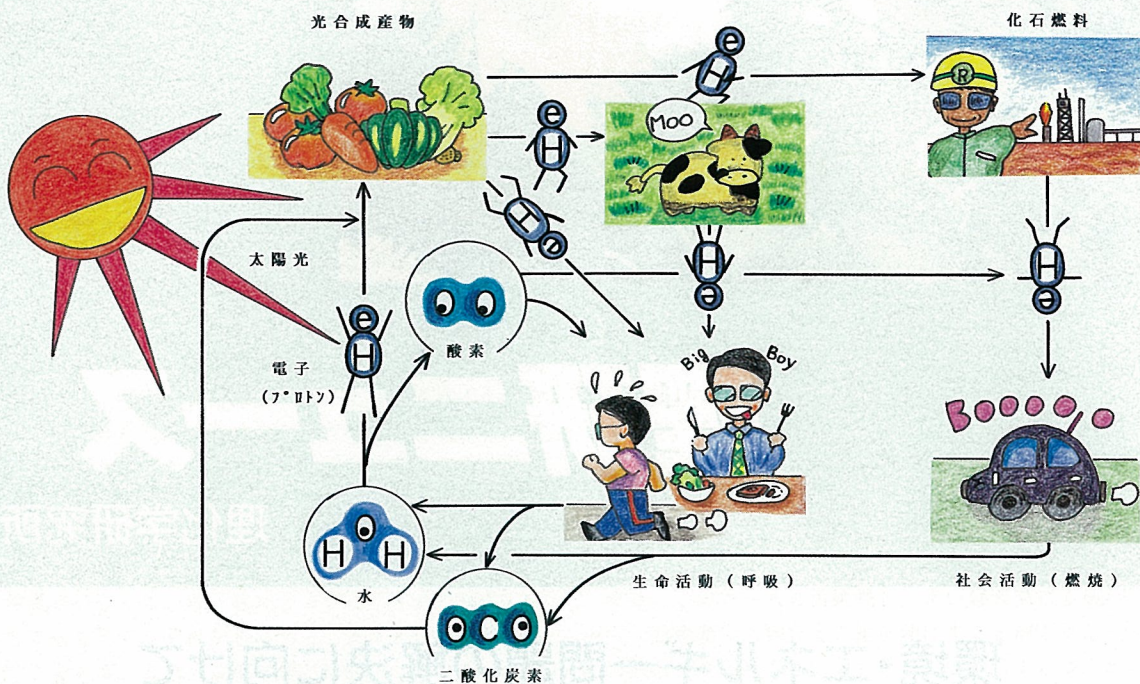
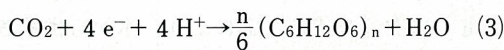


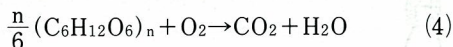
図1 自然界のエネルギーサイクルと私達の生命・社会活動  
(光合成系で、水から引抜かれた電子が、太陽光を駆動力として循環する)

ここで大切なことは、水は単に私達の咽の渇きをうるおすだけでなく、エネルギーサイクルに電子を供給する、活性化化合物であるということです。

水から出てきた電子は、葉の中にある葉緑体(中心化合物はクロロフィル)のところで、太陽可視光を受けてエネルギーを高められます。エネルギーを高められた電子は、空気中から取り込まれた二酸化炭素を還元して炭水化物を作り、穀物や野菜などになります(このとき水素イオンも反応します: 3式参照)



このようにして、光合成産物中に蓄えられたエネルギーの高い電子は、動物に食物として食べられたあと、呼吸で体内に取り込まれた酸素に渡され、元の二酸化炭素と水が生成し(4式)、このとき発生する自由エネルギーが生命活動に使われます。



これと同じように、化石燃料として蓄えられた電子は、エンジンなどの中で酸素と化合し(燃焼と呼ばれます)、このとき生ずる熱が自動車や発電のための動力に使われます。

私達の生命活動も、燃料を燃して使うということも、化学的にみると全く同じ現象で、水に由来する電子が、元の酸素に戻って水と二酸化炭素を再生するときに、蓄えられたエネルギーを放出します。太陽光は電子の循環を駆動するポンプ役を果たしていることになります。

#### 酸素を発生する反応

光合成で酸素を発生する反応は、水から電子を引抜いて系全体に供給するという一番基本的なプロセスです。光合成系は酸素を必要としないので捨ててしまいましたが、この酸素は、動物の生命を維持するための呼吸や燃料の燃焼に使われます。

酸素発生は、2式に示したように、2分子の水から4個の電子を取り出して1分子の酸素を生成するという難しい反応です。葉の中にある葉緑体中に、図2に示したような酸素発生中心が、分子



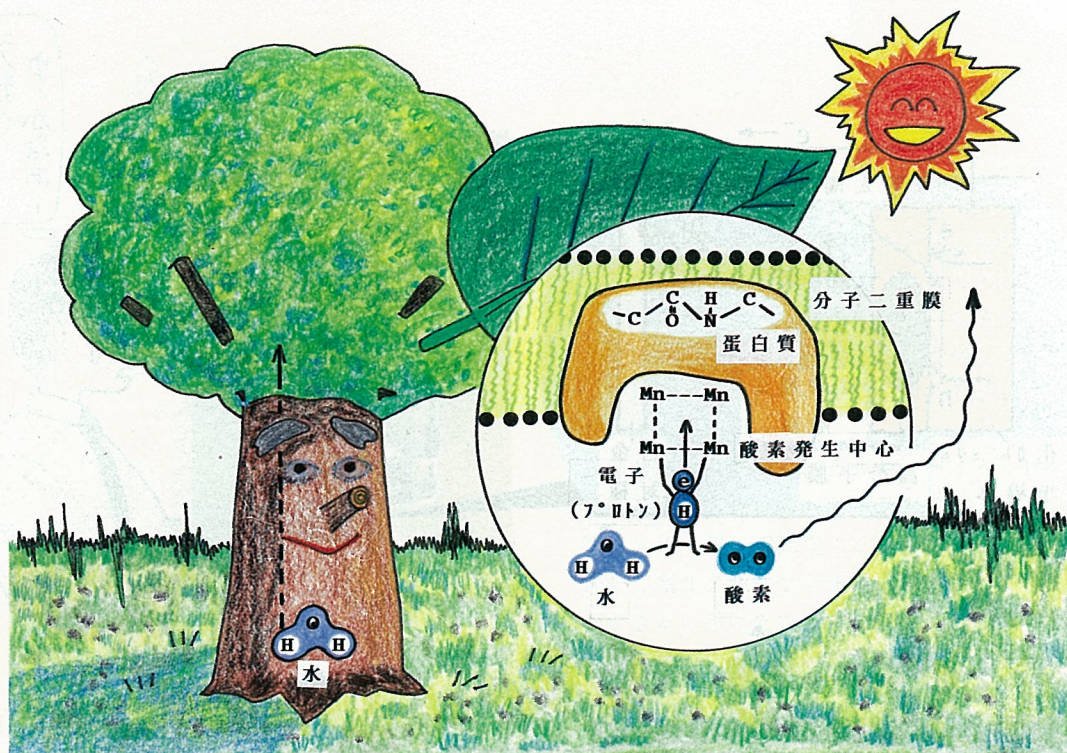


図2 光合成の主要反応である酸素発生反応  
(水が光合成系に電子を供給するとき、酸素が発生する)

二重膜であるチラコイド膜の内側に存在し、ここで水が酸化されて(電子が引抜かれて)酸素が出ます。少なくとも4個以上のマンガン(Mn)イオンが蛋白質と複合体を作っており、難しい反応を効率よく行っています。

**人工的な酸素発生触媒**

人工光合成系を作る場合に、最も難しく研究が遅れていたのは、酸素発生反応です。私達は、図3に例を示したような、色々なマンガン(Mn)やルテニウム(Ru)の多核錯体を、高分子膜中に分散して用いることにより、水を酸化して酸素を発生する、効率高い触媒とすることに成功しました。

このような触媒系を、可視光励起系および二酸化炭素の還元系とつなげることにより、はじめて人工光合成系を作ることができます。

**太陽光で水を燃料に変える**

光合成のように二酸化炭素を還元しなくても、水を酸化する触媒をうまく可視光励起系とつなげ

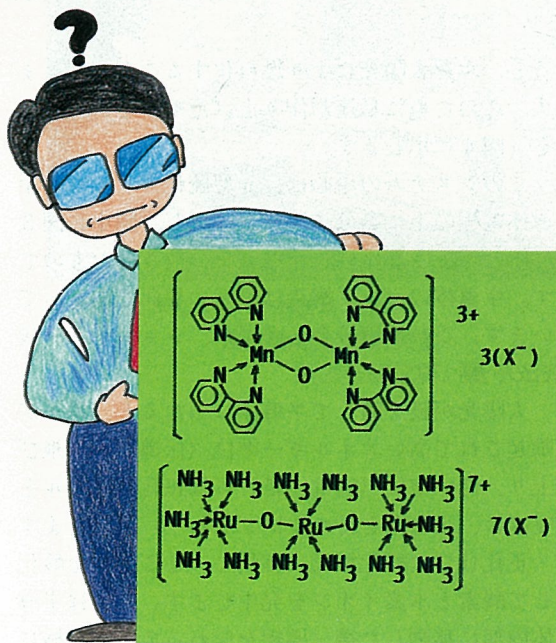


図3 人工的な酸素発生触媒の例



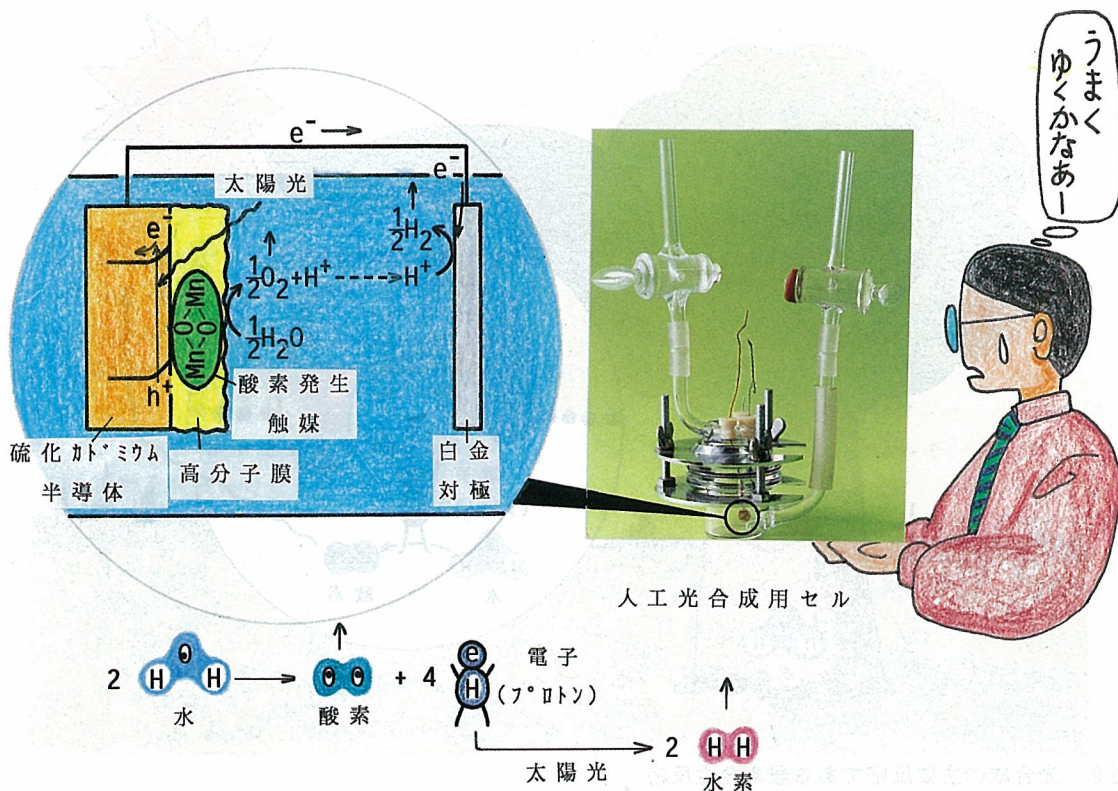


図4 太陽光で水を燃料に変える  
(酸素発生触媒を、可視光を吸収する半導体と組み合わせたシステム)

ると、水を太陽光により燃料化することができます。このために私達が作り上げたセルとシステムを、図4に示します。

このシステムの中心は、n型硫化カドミウム半導体電極の上に高分子薄膜を被覆し、膜中に図3に示したような水の酸化触媒を分散させたものです。半導体のバンド構造は膜との界面で曲がっています。これは液接合と呼ばれ、ショットキー接合の一種です。

太陽光が膜を通して半導体に当たると、電子が励起されて高いエネルギー準位（伝導体）に飛び上がり、低い準位（価電子帯）には正孔（ホールと呼ばれ、正電荷を持つ： $h^+$ で表わす）が残ります。

正孔( $h^+$ )は酸化触媒に移動し、そこで水を酸化して酸素と水素イオンを発生します。電子は半導体内部に移動した後、導線を伝わって白金対極に移り、そこで水素イオンを還元して水素を出しま

す。

全体の反応は、水と太陽光だけから水素と酸素が生じたこととなります。水素はそのまま燃料として使えますし、あるいはほかのメタノールやメタンなどの燃料の原料としても利用できます。

このように、太陽光エネルギーを用いて水を燃料化することができます。水を電子供給源として、また太陽光をエネルギー源とするという意味では光合成と同じで、それを人工光合成と呼ぶこともできます。人類が新しいエネルギー資源として利用する場合は、必ずしも炭素サイクルに依存する必要は無いので、二酸化炭素の還元は必ずしも必要ないのです。

**人工光合成系**

太陽光と水により、二酸化炭素を還元する光合成と同様な働きを、人工的に実現するシステムを、図5のように考えています。



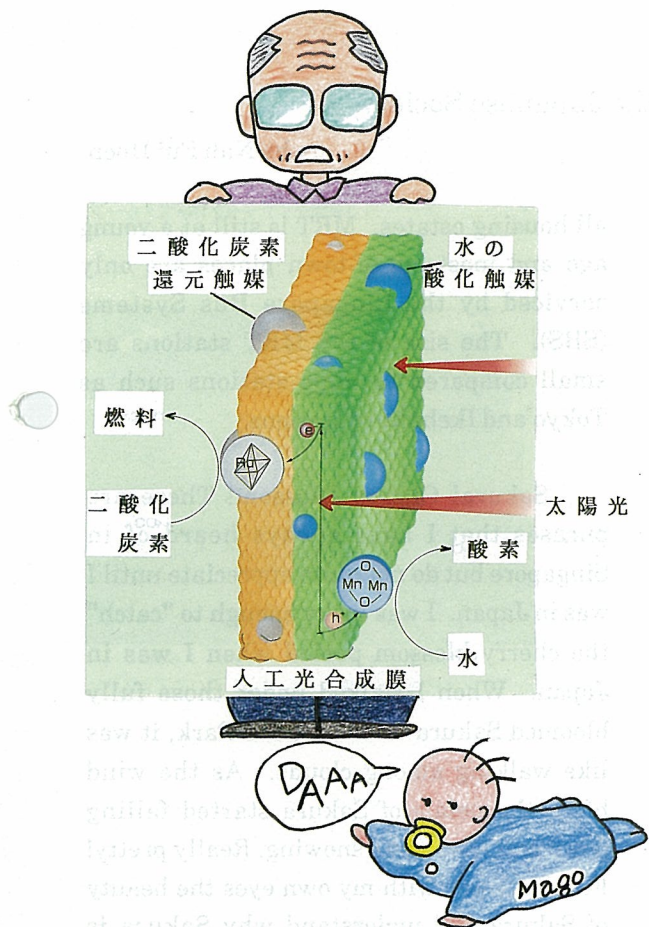


図5 未来の人工光合成系  
(太陽光、水および二酸化炭素から燃料を合成するためのシステム)

私達のところでは、二酸化炭素を触媒化学的に還元して燃料を作る反応にも成功していますので、図4の水の燃料化システムとつなげると、図5のような人工光合成系を作ることが理論的には可能です。

ただしそのためには、どのような分子集合体を用いるか、いつも問題になる逆電子移動反応をどのように抑えるか、光励起を受ける化合物として何がよいか、問題は山積みしています。

この人工光合成系は、二酸化炭素問題の解決のためには極めて有力なシステムですので、子孫のためにも、長い時間がかかろうと是非とも実現し

たいものです。そのためには、色々な分野の研究者の協力が重要なことはいうまでもありません。

#### おわりに

太陽エネルギーのかん詰である化石燃料を、大量に消費することで成立っている現代文明は、今、環境・エネルギー資源問題で大きな岐路に立っています。これは自然のサイクルを人為的に乱してきたつげがまわってきた結果といえましょう。人類がこのまま高度な技術社会を維持して存続することが許されているのか、未曾有の試練に直面しています。

私達は、自然界のエネルギーサイクル(図1)を見直して、これにのっとった方式で太陽光を人工的にエネルギー資源化することにより、自然と調和した高度文明社会を維持・発展させてゆくことができると思っています。人工光合成系を実現することは、このための貴重な一歩です。



太陽光エネルギー科学研究グループ  
反応物理化学研究室  
副主任研究員 金子正夫





## Close Encounter with the Japanese Society

by Nah Fui Hoon

"Japan-Well-known for its financial strength, productive workforce and unique culture."

"Tokyo-capital of Japan. The place that I have always wanted to visit."

Although I have been back to Singapore for about two months, the unique and interesting experience I encountered in Japan is still fresh in my mind.

The major problem I encountered in Japan is the language barrier. I DO NOT SPEAK JAPANESE! While most of the staff in RIKEN speak and understand English, it is a totally different story outside RIKEN. I applied the techniques of pattern recognition and pattern matching when travelling on railway and subway! I followed either the depth-first search or the breadth-first search algorithm when shopping in Ueno, Ikebukuro, etc. to make sure that I could return to the original spot. What I had learnt in Computer Science was indeed put to good practical use!

The railway and subway systems in Tokyo are indeed impressive! One could get to almost any location in Tokyo using the railway and subway systems. This is different from the subway system in Singapore (called the Mass Rapid Transit or MRT for short) which does not even reach

all housing estates. MRT is still at a young age and most out-of-town places are only serviced by the Singapore Bus Systems (SBS). The size of the MRT stations are small compared to huge stations such as Tokyo and Ikebukuro stations.

Sakura! Cherry Blossom! These are phrases that I have always heard of in Singapore but do not quite appreciate until I was in Japan. I was lucky enough to "catch" the cherry blossom period when I was in Japan. When I walked under those fully bloomed Sakura trees in Ueno Park, it was like walking among clouds. As the wind blew, the petals of Sakura started falling down and it was like snowing. Really pretty! Finally, I saw with my own eyes the beauty of Sakura and understand why Sakura is the Japanese' favourite.

It was indeed a very fruitful experience for me-both in terms of research exposure and "cultural shock".





## 日本の社会を身近に見て (要訳)

シンガポール大学から情報科学研究室に1ヶ月間滞在。「両眼視による3次元知覚機能研究」を行い、「新しい視覚効果」の発見に寄与した。

チャーミングな彼女は、量子磁束パラメトロン（後藤英一先生）の理論計算を行った盧家福博士の教え子である。

「日本—その経済力、高い生産性、ユニークな文化で良く知られた国」

「東京—日本の首都、いつも行きたいと思っていたところ」

シンガポールに帰って2ヶ月たちましたが、日本でのユニークで興味深かった経験は、私にとっては、いつも新鮮に思い出されます。

日本で出会った大きな問題は、言葉の障壁でした。私は日本語が話せません。理研ではスタッフの大半が英語を話したり理解したりするので問題ありませんでしたが、理研の外では全く様子が違いました。鉄道や地下鉄を使って移動するときに、「パターン認識」と「パターンマッチング」の手法を適用しました。上野や池袋で買物をするときには、元の場所に確実に戻れるように、「深さ優先探索法」と「幅優先探索法」のいずれかに従って判断するなどしました。まさに情報科学において学んだことを実際に応用していたとも言えます。

東京の鉄道や地下鉄路線網は本当にすごいものです。鉄道と地下鉄を利用すれば、東京のほとんどどこへでも行けます。シンガポールの地下鉄網は、「大量高速交通」略して「MRT」と呼ばれていますが、住宅地のどこへも行けるようになっていませんので、東京の地下鉄と違います。MRTはまだ歴史が浅く、市街地を外れたほとんどの場所へは、SBS（シンガポール・バス・システム）でしか行けません。MRTの駅の大きさは、東京や池袋などの巨大な駅と比べると小さなものです。

サクラ！この言葉はシンガポールでいつも耳にしていますが、日本に来るまでは、それほどのものだとは思っていませんでした。日本に滞在したのが、桜の季節であったことは大変幸運でした。

上野公園で満開の桜並木の下を歩いたとき、雲の中を歩いているような気分でした。風が吹くと、桜の花びらが散り始め、雪が降っているようでした。本当にきれいです。私の目で実際の桜の美しさを見て、日本人の桜が大好きな理由が分かりました。

私にとっては、研究の発展という面でも「カルチャーショック」の面でも、本当に実りある体験でした。

シンガポール・タンダイナシティーにて





## 第15回科学講演会のご案内

最先端の研究を分かりやすく紹介し、研究成果を広く普及するための科学講演会を、今年は東京で開催します。

今回は、理化学研究所が我が国の科学技術史に果たした役割と21世紀を拓く研究所の展望、マイクロエレクトロニクスの極微細構造に迫る新エレクトロニクスの将来、生活環境の保全に大きな役割を果たす植物ホルモンの役割など、魅力的な講演を企画しました。

サイエンスの素晴らしい展開をたずねて、多くの皆様のご来聴を歓迎いたします。

日時：平成4年10月2日(金)

12:40開場、17:30閉会 入場無料

会場：経団連会館 14階 経団連ホール  
(地下鉄・大手町駅下車)

TEL.03 (3279) 1411

「21世紀を拓く研究所を目指して」

理事長 小田 稔

「日本の科学技術史における理化学研究所の役割」

——第二次大戦前——

東洋大学工学部教授 八木 江里

新作ビデオ「理化学研究所」上映

「波としての電子と極微細構造」

国際フロンティア研究システム

グループディレクター 菅野 卓雄

「植物生活環の制御と植物ホルモン」

——ジベレリンを中心として——

理事 高橋 信孝

主催：理化学研究所

後援：科学技術庁

協賛：関連学・協会

## 理研の主な公開特許

### PH04-058445 電子ビーム源

レーザー科学研究グループ

原民夫 その他2名

〔目的〕加速陰極の加速陽極に対向する面を絶縁物で覆うことにより、加速電極のイオンによるスパッタリングを防止して加速領域とイオン生成領域における金属汚染を回避する。

### PH04-089801 環状ヘテロオリゴ糖及びその合成法

生物有機化学研究室 葛原弘美その他1名

〔目的〕シクロデキストリン類の完全アセチル誘導体を加酢酸分解して得られる直鎖状マルトオリゴ糖に、任意の糖鎖を結合後に再開環することにより、新規な環状ヘテロオリゴ糖を得る。



## 「里庄町セミナー」の開催

仁科博士生誕地

理化学研究所はこれまで1年おきに地方で科学講演会を開催してきました。これを一層おし進め、地域の方々に最新の科学技術情報を提供し、地域と密着した協力関係を育むべく、このたび「地域セミナー」を発足させました。

岡山県里庄町は理研の大先輩・日本の原子物理学の礎をかためた仁科芳雄博士生誕の地であり、第1回セミナーは、去る7月31日に開催。小田理事長が理研の研究活動を紹介、つづいて

2件の講演——、上坪大型放射光本部長「サイクロトロン50年—加速器利用の新しい発展」、青柳主任研究員(半導体工学研究室)「究極の光レーザー：X線レーザーへの挑戦」が行われました。

当日は大学、企業、一般から100名を越える参加者、活発な質疑応答が交されました。なお、このセミナーは分野を変えて毎年行われる予定です。



## 理研シンポジウム (9月)

テ - マ

担当研究室

開催日

宇宙および惑星間空間でのプラズマ現象

宇宙放射線研究室

9 / 12

International Symposium on Distributed Autonomous Robotic Systems

化学工学研究室

9/21・22





## 裏磐梯に思う

今年も夏季休暇を利用して裏磐梯に滞在し、今いろいろと思いまどろんでいる。いつも家族旅行としてこの地を訪ね、夏だけでなく冬にはスキーも楽しむ。ここの魅力にはいくつか心あたりがあるが、何といっても大自然に惹かれる。噴火の傷跡も生々しい雄壮な磐梯山も、やはり、この裏から眺めるとより一層の感銘を覚える。噴火で川が堰止められてできた桧原湖を筆頭に、さまざまな水の色で有名な五色沼、さらに小野川湖、秋元湖と美しい景観をもつ湖は数えきれない。小さな湖の一つに曾原湖があり、その湖畔のペンション「パレット」にいつもお世話になっている。私にとってとても居心地のよい“もてなし”で、それがここによく足を運ばせる理由の一つでもある。これら大小の湖では散々、サイクリング、釣り、キャンプと楽しみ方はいっぱいある。

山歩きは正直なところ、年々つらくなってきたのはいつわれない事実であるが、そのスケールを縮小して今でも楽しんでいる。

そうそう忘れもしないのは丁度10年前の夏休み、当時息子は4才、娘は6才、女房と私の4人で猫鹿岳に登った時のことである。八方台からアプローチして山頂にたどりつき、昼食をすませ雄国沼の方へ歩いていったとき。数日前の台風による雨のために沢の水が増えていた。目の前の沢を渡るにはジャンプして沢の真中にある石の上のらなければならない。子供達には無理である。そこで私は息子をだきかかえてジャンプ一番…。たどりつくべき石の上で足をすべらせ、私は向うずねをかなり深く切ってしまった。その後で、女房と娘は靴を脱いで渡った。はじめから皆がそうすれば何事もなかったのだが。しかし何よりも印象的なことは、私の怪我を目にするまでは“疲れた”などと不平を言いながら歩いていた息子は、その後何一つ文句も言わずに雄国沢経由で雄子沢まで降りてきたことである。今にして思うと、とりわけ4才の息子には全行程6時間ぐらいの山歩きはかなりきつい

ものであったと想像される。この沼はこの付近のすばらしい湿原(沼)のうちの代表格であり、この山歩きで家族皆が感動したことは鮮明な記憶として残っている。

5年くらい前からこの猫鹿岳一帯は開発が進んですばらしいスキー場(私達も大いに楽しんでいる)ができたり、道路も完備して雄国沼もすぐ近くまでドライブで行けるようになってきている。ドライブで思い出すのは3年前の夏、雄子沢の方から雄国沼を訪ねて同じ道に戻ってきた時のこと。磐梯山の方から登って猫鹿岳経由で“へトへト”になって降りてきた父子ずれに会った。5人乗りの乗用車に詰めて家族含めて6人で乗り、五色沼キャンプ場まで送り届けて感謝され、私達もまんざらでもない気持ち。ところが、その直後、近くのスーパーで買い物中、息子が足をぶつけて膝にかなり大きな傷を負ってしまった。病院で固定してもらい、2、3日後に天元台から人形石への山歩きに挑戦したが、雨あがり足元が悪く途中で断念せざるを得なかった。

今日、このコースに再挑戦し、幸い好天気にも恵れたので、西吾妻の天狗岩まで足を伸ばすことができた。天元台のリフトの終点から少し登った展望台までは、かなり大勢の人でにぎわっているが、ちょっと足を伸ばすとほとんど人はいない。湿原のあるすばらしい景観が楽しめるのに。そこでまた思い出すのは、吾妻小富士の反対側の“かぎ沼”もすばらしい湿原だが、みんなお釜の方へ行くだけだ。

これからのサイエンス、“ちょっと足を伸ばしたら”をモットーにしてがんばってみようか、などとたわいもないことを考えながら磐梯山を仰いだ。



R | 技術室  
室長 谷田貝文夫