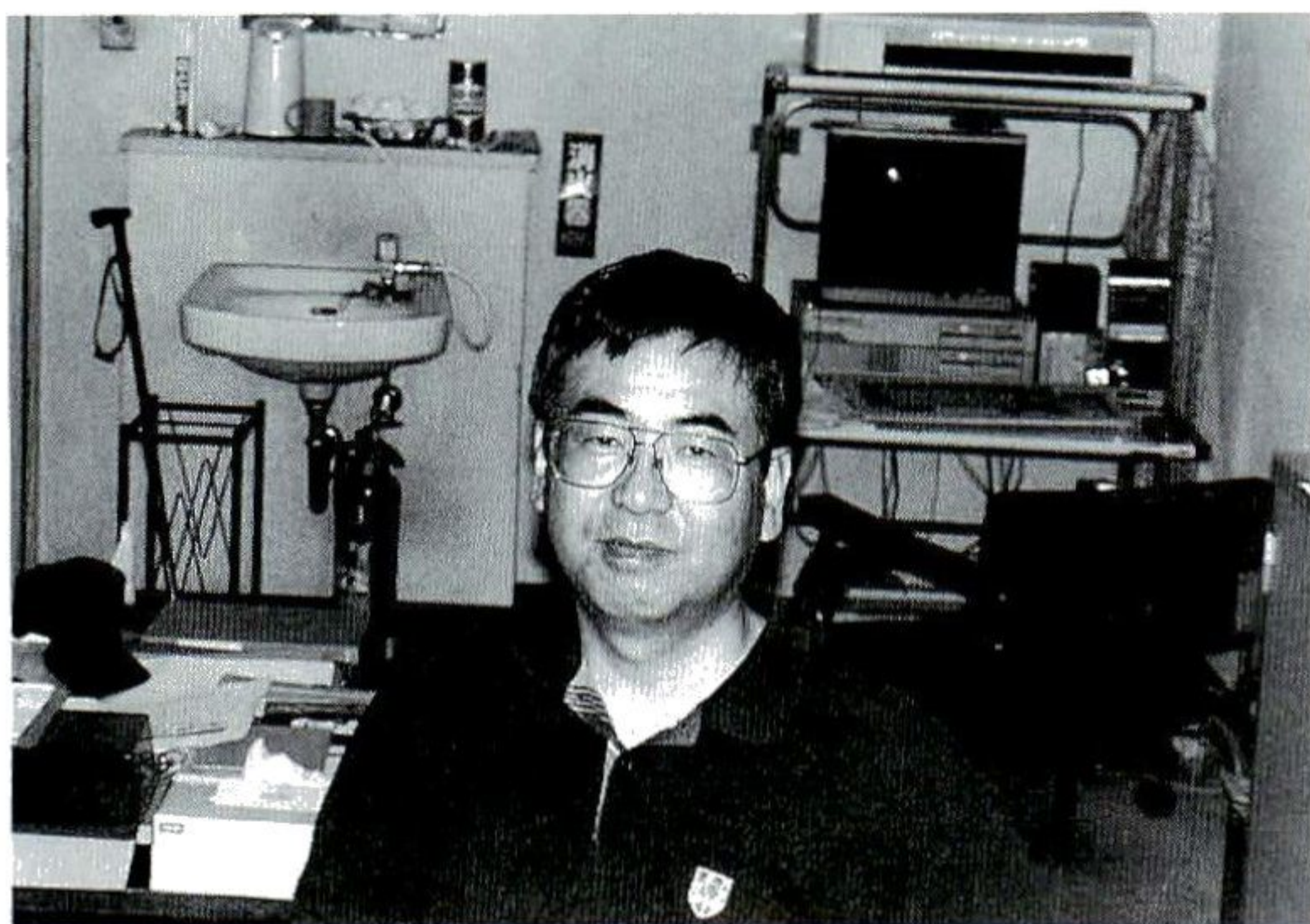




植物の光合成に学ぶエネルギー利用 ——坂田研究室～電子化学専攻——



坂田 忠良 教授

自然界において、主に植物によって行われている光合成。そのメカニズムは非常に複雑なものですが、ごく簡単に「太陽光のエネルギーによって、水と二酸化炭素から炭水化物などの有機物を合成すること」と言うことができるでしょう。植物は太陽光のエネルギーを化学結合のエネルギーとして蓄えているのです。これは、植物による太陽エネルギー変換とも言えます。

人類が太陽エネルギーを変換して利用するための一つの方法として、人工的な光合成のシステムを確立することが挙げられます。今回伺った坂田研究室では、この「人工光合成」を目指した研究がされています。



「人工光合成」を実現するために

現在、石油や石炭の燃焼によって放出される二酸化炭素の量は、年間200億トンと推定されています。一方、植物などの光合成によって、水と二酸化炭素から年間2000億トンもの有機物が合成されています。自然界ではこれだけ大量の炭素が循環しているのです。光合成反応は、物質循環の原理にのっとった地上最大の化学反応であると言えるでしょう(図1)。この反応を人工的に再現すること、これが「人工光合成」です。

人工光合成を考えると、実際の光合成のシステムをそのまま模倣するのでは複雑すぎるので、これをいくつかの部分に分け、それぞれに見合った人工的なシステムを考える必要があります。

植物が行っている光合成反応は、明反応と暗反応に分けることができます。簡単に言うと、太陽光のエネルギーを吸収する反応が明反応であり、そして明反応で得られたエネルギーを用いて二酸化炭素をブドウ糖などの炭水化物に変える反応が暗反応です。

これに対して、人工光合成の明反応と暗反応を

考えます。明反応に対応した研究として、太陽光のエネルギーを電気に変換するための太陽電池の開発があげられます。また、暗反応に対応した研究としては、二酸化炭素を還元して有用な有機物を効率よく合成するシステムの確立があげられるでしょう。

そこで坂田研では、効率がよく安価な太陽電池素材の研究、および二酸化炭素の電解還元の研究を行っています。

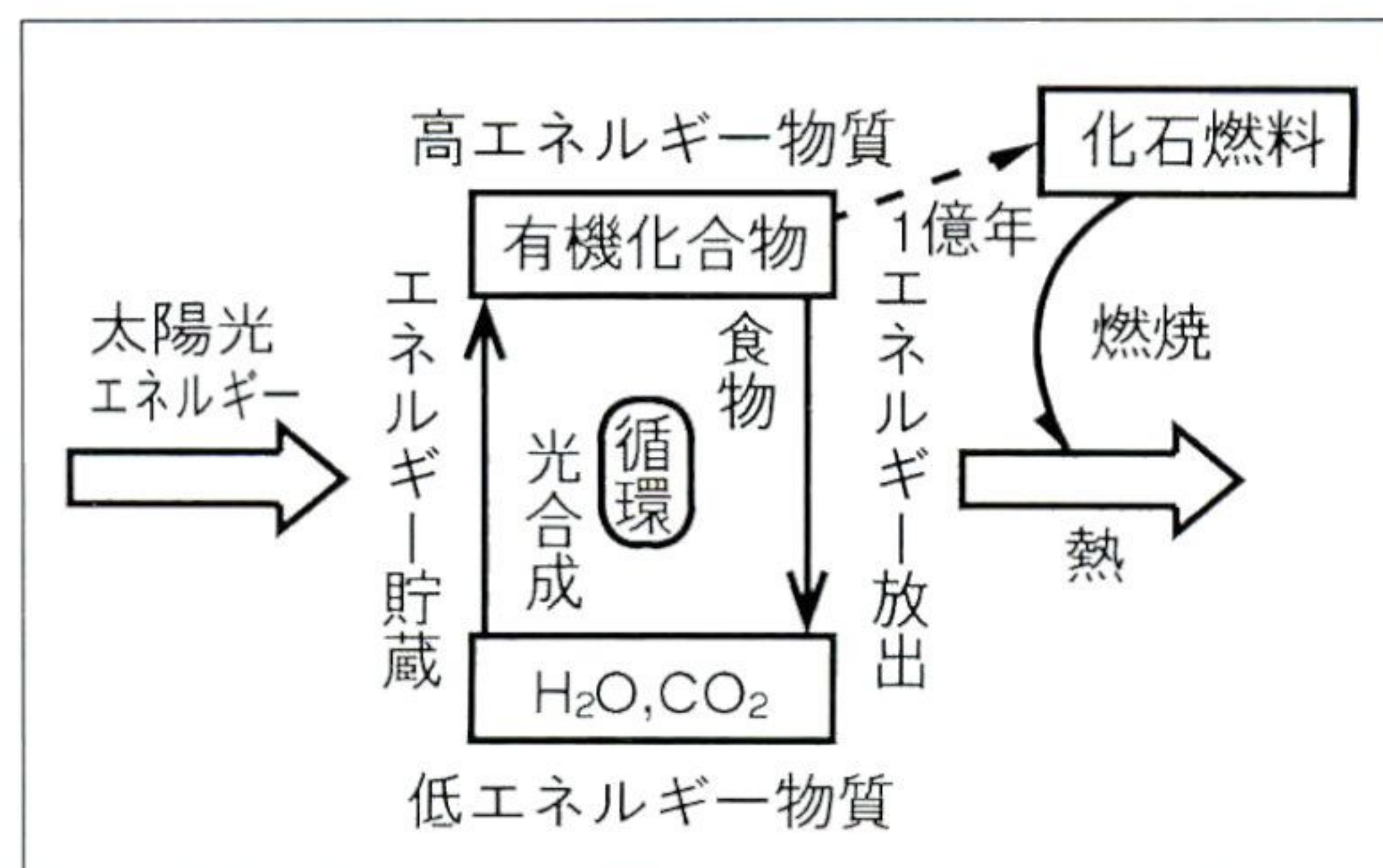


図1 地球上におけるエネルギーと物質の循環



太陽光のエネルギーを利用しよう

太陽電池は、n型半導体とp型半導体を接合した半導体からできており、その接合部分には図2のような内部電界が生じています。半導体が光を吸収すると一対の電子と正孔(電子のぬけがら)が生じ、接合部分の近くで発生した電子と正孔はこの内部電界によって分離されます。そして電子はn型半導体側の電極に、正孔はp型半導体側の電極に向かってそれぞれ移動し、外部につながった導線に電流が流れるのです(図2)。

太陽電池は、現在でも電卓などには利用されているのですが、もっと大規模な利用を考えたときの一番の問題は、コストがかかりすぎるとい点です。1㎡位の太陽電池でも10万円ほどするので、家庭用電力の大部分を太陽電池でまかなおうとすると1000万円以上はかかると思われます。これでは一般に普及するのは難しいでしょう。そこで先生は、もっと安く太陽電池を作ろうと研究されています。

安全で安い太陽電池の素材として、先生は特にシリコンに注目されています。シリコンは地殻中に非常に多く含まれており、 K_2SiF_6 などのシリコンの化合物はとても安価なものです。また、地殻中の含有量が多いということは、生物にとって身近な材料であるともいえ、廃棄されても生態系に影響を与えることはないと考えられます。シリコン自体も、生体にとって害はなく、安全な材料だ



とされています。

代表的な半導体であるシリコンは、太陽電池の素材としても非常にポピュラーなものです。ところが、シリコンの化合物それ自体は安価でも、太陽電池に利用するための形を作るときにコストがかかってしまいます。

現在、太陽電池材料として信頼性の高いのは単結晶シリコンです。単結晶シリコンを製造するためには、シリコンの融点(1420℃)以上で結晶を成長させなければなりません。そのためには多量の電力が必要となり、コストが高くなってしまいます。

そこで先生は、コストを下げるための一つの方法として、電気分解による膜状のシリコンの製法

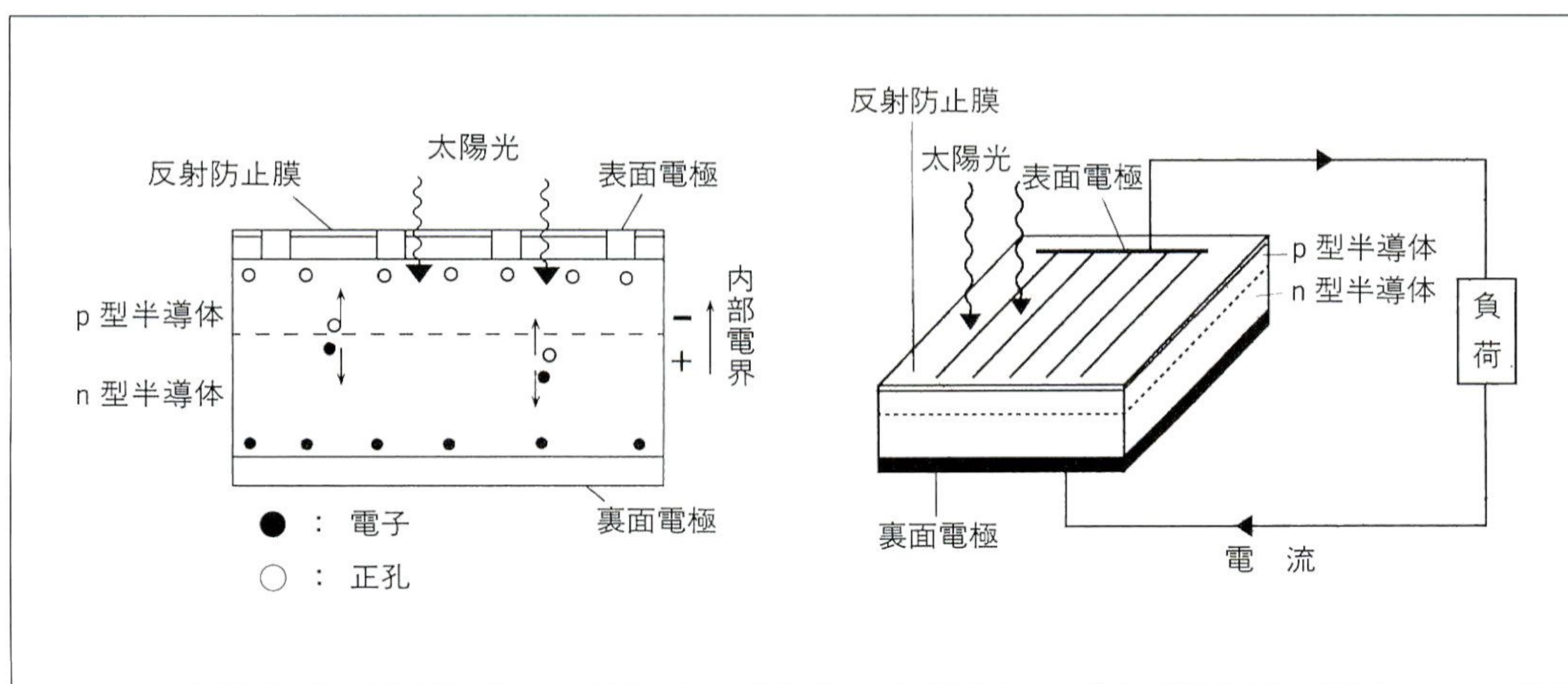


図2 太陽電池の原理

に注目されました。シリコンの化合物を、溶融塩（高温で融解した塩類）に溶かして電気分解すると、膜状のシリコンが生成します。坂田研では、このようにして作った膜状のシリコンを太陽電池に利用することができないかということを調べています。まだ、今すぐに太陽電池に利用できる段階には達していないようですが、この方法はローコストの太陽電池を作るための方法として発展させる価値はあるとのことで、研究を進めておられます。



二酸化炭素を還元して有機物をつくる

また、先にも述べた通り、坂田研では人工光合成の暗反応に対応した研究として、二酸化炭素の電解還元についての研究もされています。

種々の金属を電極として、水に溶かした CO_2 を電気分解すると、電極の金属の種類に応じて様々な還元生成物が生じます。たとえば、 CO_2 を常圧にした場合、HgやPbなどを電極にするとギ酸 (HCOOH) が主生成物として生じますが、Au、Agを使うとCOとなります。Cuを使うと主生成物はメタン (CH_4) であり、副生成物としてエチレン (C_2H_4)、エタノール ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) が生成します。また、Ni、Pt、Feなどでは H_2O の還元による

現在は、化学者が太陽電池に関する研究をされる例は少ないそうですが、先生は「もっと化学者も奮起してこういう分野へ進むべきだ。化学者としての物質合成に関する経験や物質観を生かして太陽電池素材などで一つの突破口を作るべきだ」と語られました。先生は化学者として、様々な材料で実際に合成し、性質を調べ、そしてその中からいいものを開発していく、といった方法で太陽電池素材の研究をされています。

H_2 が主生成物で CO_2 は還元されません。このような、電極の金属による還元生成物の違いについては、多くの研究者によってかなり解明されています。

CO_2 の電解還元に関しては、国内でも数十のグループによって研究が行われています。しかし、坂田研が他のグループと異なるのは、 CO_2 を高圧にして反応させている点です。常圧では CO_2 の溶解度が低く、反応効率を上げるのは難しいのですが、40～60気圧の高圧にすることによって溶解度が上がり、反応効率を上げることができます。

さらに、NiやFeなどの8族金属を電極にした場合、常圧では CO_2 は還元されませんが、圧力を上げることによって炭化水素が生成することがわかっています。Niでは炭素数3～4、Feでは炭素数5くらいまでの炭化水素を生成させることができます。まだ効率は悪いのですが、今後の研究によって有用な有機物が効率よく作れる可能性は高いでしょう。

ところが、水溶液での電解では、ある限界があります。温度を上げることができないのです。化学反応においては、温度を上げると反応速度が大きくなったり、効率が上がったりするのが普通です。しかし、 CO_2 の水溶液では温度を上げると溶解度が極端に下がってしまい、反応効率が悪くなってしまいます。そこで坂田研では、気体の反応のための、ガス拡散電極という特殊な電極を用いて気体の CO_2 そのものの電解を試みています。これは研究し始めたばかりでまだ結果は出ていませんが、実用化に向けて大きな期待が寄せられています。

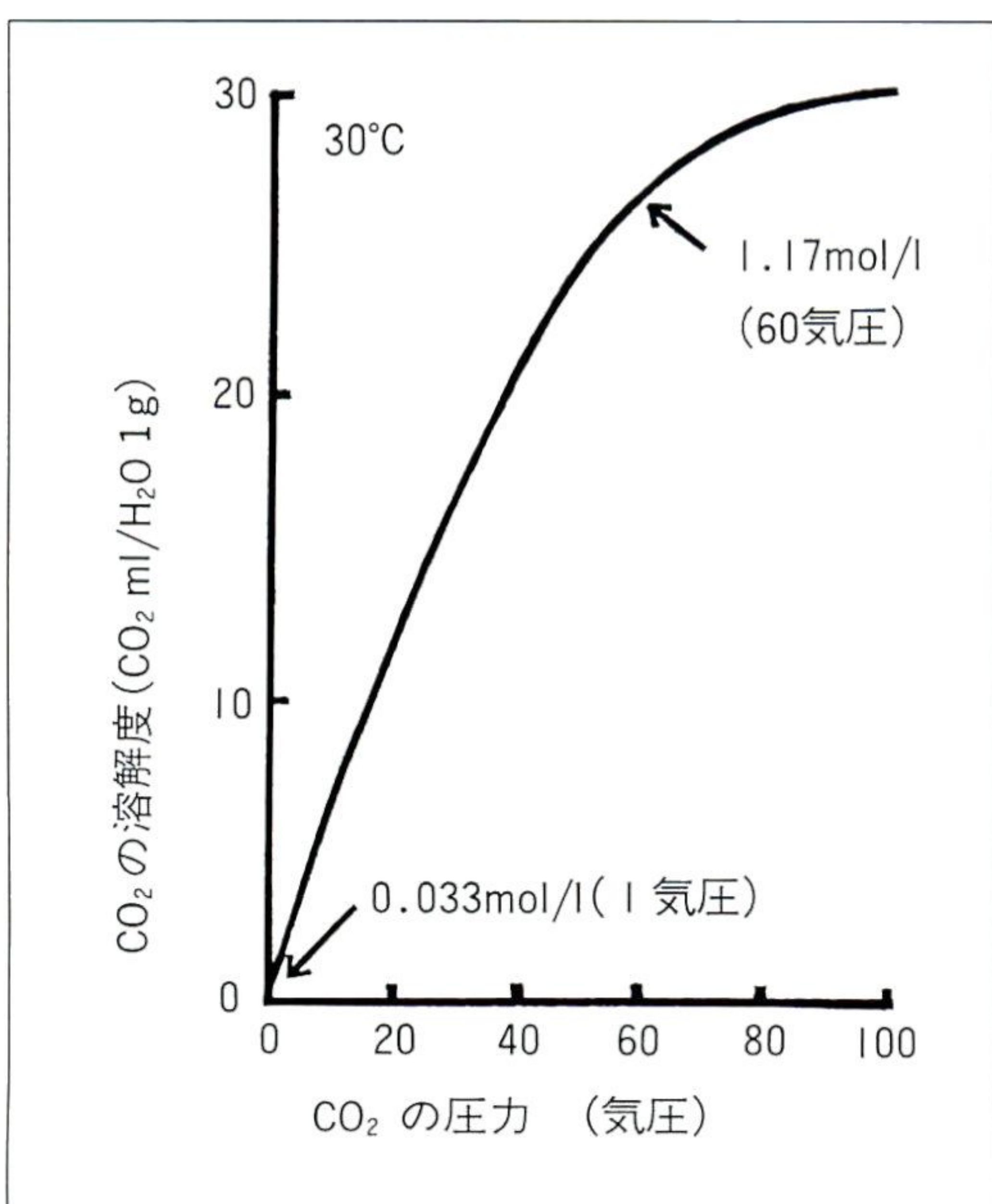


図3 二酸化炭素の圧力による溶解度の変化



人工光合成の応用～水の分解

以上に述べたような形で、人工光合成の明反応、暗反応の研究が進んでいます。そしてこれらを組み合わせ、太陽電池で得られた電気で二酸化炭素の電解還元を行う、という形ができれば、人工光合成の一つの形態が出来上がります。

ところで、最初に述べたように、光合成というのは「光のエネルギーを吸収し、水を酸化して二酸化炭素を還元する」というサイクルをもっています。ここで、水が還元剤として用いられていることに注目すると、人工光合成の応用の一つとして「水の分解」が考えられます。

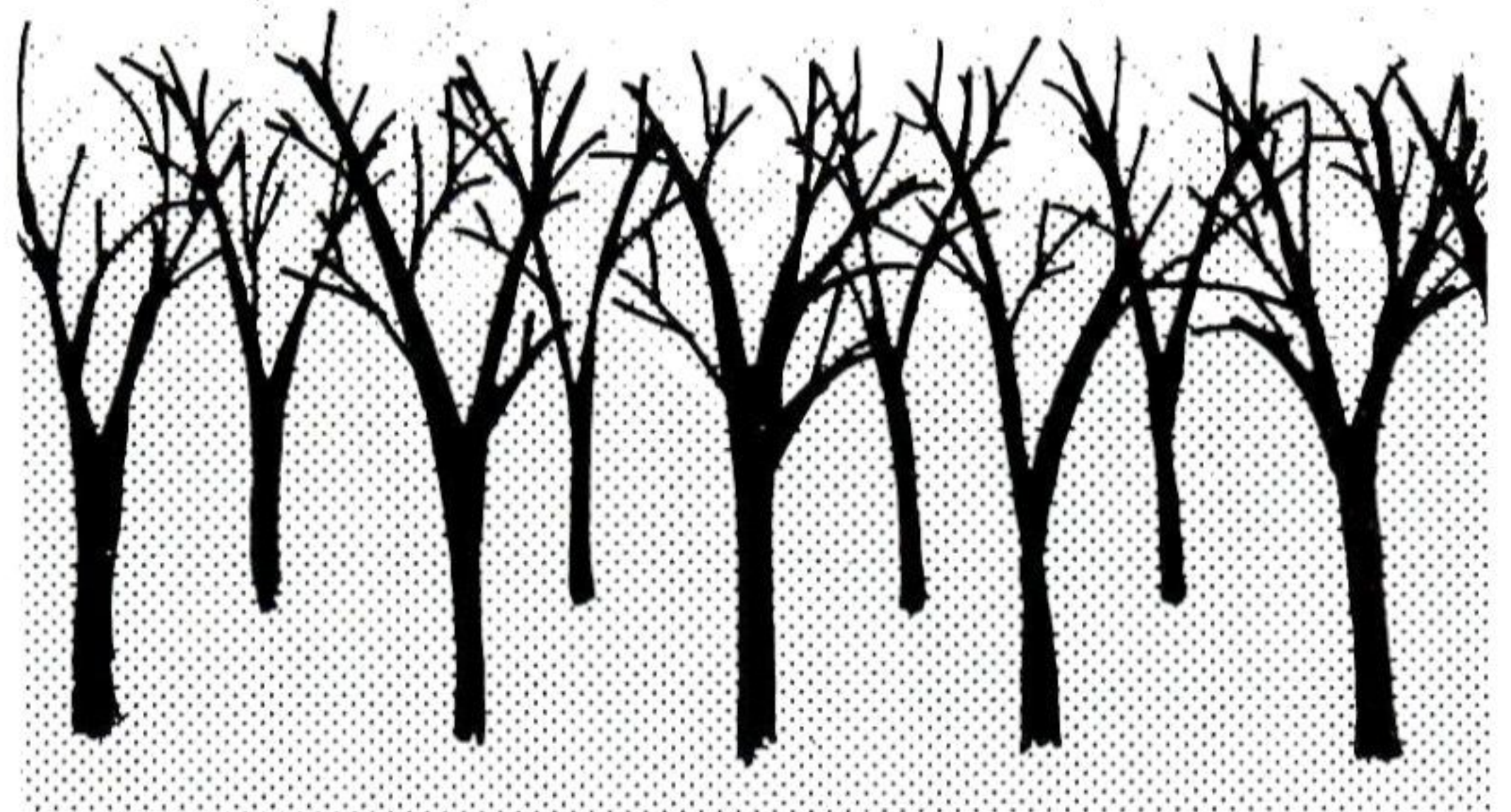
水を電気分解すると、水素と酸素が発生するのは皆さん御存じの通りです。先に述べたような、効率がよく安価な太陽電池を開発することができれば、その電力で水を分解し、水素や酸素をいくらでも発生させることができます。

水素は、現在はガソリンを熱分解して得ているので、それほど安く大量に手に入るわけではありません。しかし、太陽電池によって安く大量に水素を得ることができれば、その用途はたくさん考えられます。たとえば、水素は燃やしても水になるだけなので、非常にクリーンなエネルギー源として注目されています。また、触媒を使えば、水素と二酸化炭素から炭化水素ができることはわかっているので、この方法で二酸化炭素を還元することもできます。

一方、酸素に関しては、一般的にはそれほど注目されていないようですが、先生は酸素の利用に

関しても語られました。川や湖が汚染されると水中の植物の光合成による酸素の供給量が減少し、魚などは酸素不足によって死んだりしてしまいます。このことへの対応策として、河原に太陽電池を敷き、水を分解して発生させた酸素を水中に送り込むということが考えられます。これは河川の浄化にも役立つことです。また、空気が希薄な高山地帯で太陽電池によって酸素を発生させれば、高山病が予防できるかもしれません。さらに、オゾン層の破壊が問題になっていますが、先生は酸素を補給することによってオゾン層を補強することはできないだろうかということも考えておられるそうです。

このように、水を分解して得られる水素と酸素には、非常に多くの用途が考えられます。太陽電池を安く作って水素や酸素を安く得ること、これが人工光合成の最もシンプルで重要な応用ではないか、と先生は語られました。



「人工光合成」に関する研究はまだ始まったばかりであり、わかっていない事も多いのですが、だからこそ今後の発展が期待される分野です。先生は、やる気のある、好奇心旺盛な学生に来てほしいということを強調されていました。「意欲さえあればおのずから道は開ける」という先生の言葉にも、新しい研究分野に挑戦しようという意欲が感じられると思います。

また先生は、エネルギー問題をきっかけに太陽エネルギーの利用に興味を持たれたそうですが、

最近では環境問題の面からも人工光合成が注目されています。このことに関して、先生は、今は二酸化炭素の還元などの研究を行ういいチャンスであり、科学者が役に立つべきときである、と語られました。

突然の取材の申し込みににもかかわらず、快く協力して下さった坂田先生に感謝するとともに、今後の益々の御発展をお祈りいたします。

(高橋 瑞稀)