



二酸化炭素を再資源化、人類の難問を 一挙に解決する人工光合成への挑戦

インタビュー・ジャーナリスト 小川 明

小川 21世紀は「光の世紀」と主張されていますね。
石谷 20世紀はエレクトロニクスの世紀でしたが、21世紀はフオートニクスの世紀です。
太陽エネルギーをうまく利用しないと、エネルギーが不足す

太陽光を直接 利用する技術開発

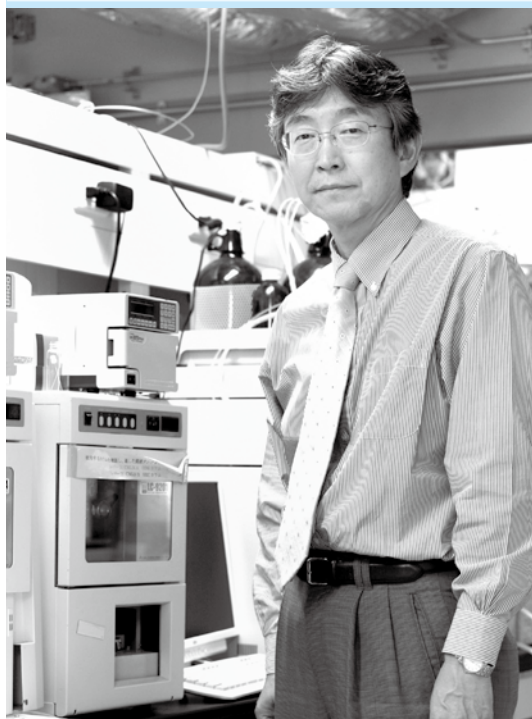
二酸化炭素と水から高エネルギーの炭水化物を作る。植物が行う光合成はエネルギーや食物の源として地球上の生命を支えてきた。この巧妙な化学システムを人工的に実現しようとする研究が再び活気づいている。「植物がやっているから人もできる」という楽観論から「複雑で難しすぎて夢のまた夢」という悲観論まで評価はこもごも。果たして展望は開けるのか。その研究に金属錯体触媒で挑戦し続けて、山や谷を越えてきた石谷治・東京工業大学教授に聞いた。

ると考えられます。環境問題も光が関わっています。フロンがオゾン層を分解する現象も光反応で開始されます。環境、情報エネルギー、さらにエレクトロルミネッセンス(EL)に代表される表示、また情報伝達も光ファイバーになるなど、光は多くの新しい技術に関わっています。量子コンピューターなども

情報も光が主役になる可能性が出てきています。
小川 その一つである人工光合成は人類の難問を解決しますか。
石谷 第一にエネルギーの問題です。私たちは多量にエネルギーを使っています。その多くは、化石資源の石油、石炭、天然ガスから得ています。これらは限りある資源です。第二に炭素資源の問題です。日本では、限りある石油の約20%を化学工業の原料として使っています。第三に地球の温暖化の問題です。エネルギーと炭素資源を化石資源に頼り、それを最終的に燃焼しているために、大気中の二酸化炭素(CO₂)濃度が急激に上

東京工業大学大学院
理工学研究科教授

石谷 治 氏



PROFILE

いしたに・おさむ

1959年広島県生まれ。82年神戸大学工学部卒、87年大阪大学大学院工学研究科博士課程修了、工学博士。87年ドイツ・ハーン・マイトナー研究所博士研究員、88年工業技術院公害資源研究所(現・独産業技術総合研究所)入所。英米の大学の客員研究員を経て、95年埼玉大学助教授、2002年から東京工業大学大学院理工学研究科化学専攻助教授、06年から現職。07年に光化学協会賞を受賞。

(写真・宮沢一二三)

昇してしまったのが主因です。これら三大難問は全部関連しており、一遍に解決しなければなりません。エネルギーや炭素資源をどうやって得るか、大気中のCO₂をどう減らせるかを考えると、人工光合成の中でもCO₂を再資源化することは極めて有効です。

小川 人工光合成が鍵を握っているわけですね。

石谷 植物は光合成により、大気中のCO₂と水を原料に、太陽光を利用して炭水化物を作っています。光合成のように、太陽光エネルギーを使って有用な高エネルギー物質を作ることができる人工的なシステムが実現されれば、一挙にこれらの問題は解決するはずです。

バイオマスや風力、地熱発電の推進には意義がありますが、全部合わせても必要なエネルギーには全然足りない。唯一可能性があるのは太陽エネルギーです。地球に降り注ぐ太陽光の1時間分のエネルギーは、人類が1年間に使用する量に相当します。この太陽光を直接利用する技術を開発するしかありません。

小川 太陽エネルギーの変換では、太陽電池（太陽光発電）がすでに実用化されています。

石谷 しかし、太陽電池だけではCO₂の再資源化はできないし、日本で必要とされるすべてのエネルギーをカバーすることもできません。必要なエネルギーの10%程度が限界でしょう。

光触媒から始まった 半世紀の歴史

小川 人工光合成には、太陽電池を上回る大きなポテンシャルがあるのです。

石谷 人工光合成には、大きく二つの柱があります。一つは水を分解して水素を取り出す反応です。もう一つはCO₂を炭素資源化する還元です。それらを光触媒でやろうという試みです。**小川** 藤嶋昭・東京理科大学長の光触媒の発見が源流ですか。

石谷 二酸化チタンに光を当てると、水が分解されて水素と酸素が発生するという1967年の発見。人工光合成の概念を最初に出した画期的な仕事です。

その後の石油ショックで太陽エネルギーが注目され、日米欧

で研究が盛り上がりました。しかし、実用化には遠かった。90年代には石油の値段が大幅に下がり、まったく研究費がつかない「冬の時代」になりました。

欧州では、この研究分野の研究者はほぼいなくなり、アメリカでは国立研究所でほぼそと研究が続きました。日本だけは一定数の研究者が残った。私もそのひとりです。

小川 よくぞ踏みとどまったという感じです。

石谷 研究費が出ないので、とても苦労しました。水の完全分解で水素を取り出すグループは、堂免一成・東京大学教授が中心になって成果を出し続けました。紫外線しか使えない酸化チタンの課題に対して堂免先生は可視光を利用できる光触媒を開発してバイオニアになりました。

もう一つの柱の炭素資源化では、CO₂を還元して一酸化炭素(CO)にします。COは広く工業原料に用いられ、人工石油に変換する技術もすでに実用化しています。私は少数派としてCO₂光還元の研究を続けました。

CO₂光還元に関するチャンピオンデータは、ほとんど私が持っています。ほかにやる人はいなくなったから、結果的にそうになりました。

藤嶋先生の光触媒は、まさに光明でした。「石油がなくなったら、化学工業は消滅する」といわれていましたが、エネルギーを化学で作れるようになったわけで、大変衝撃的でした。それもきっかけとなり、私は大阪大学工学部の大学院で光化学を朴鐘震先生に学びました。博士号を取得後、公害資源研究所に入所し、本格的に人工光合成の研究を始め、それから26年、CO₂還元と格闘してきました。

小川 その間、多くの人が研究をやめていった。

石谷 なかなか成果が出ず、研究費が取れないのが大きな原因だったでしょう。大変難しいテーマで、やっても無駄ではないかという認識がどこかで芽生えたのかもしれない。

この分野の研究は、過去3回盛り上がりを見せました。最初は石油ショックで、あのころは多くの才能ある先生たちがこの



分野におられましたが、90年代後半から2000年代初めに石油価格がどんどん下がり、世間の関心も低下しました。地球温暖化が問題になったときにも、5年間ほど盛り上がりましたが、すぐに冷めてしまいました。

そして今、地球温暖化と原子力発電の危険性があわせて議論されるようになって、3度目の山が訪れたように感じています。今回は外国が先行しました。一番はアメリカ、続いて韓国で大型プロジェクトが始まり、その後、欧州と日本でもプロジェクトが開始されています。

小川 研究者数は日本が多い？
石谷 層は一番厚いが、今回の場合、日本での支援は数年遅れましたね。

12年に、経済産業省の支援による人工光合成化学プロセス技術研究組合が活動を始めました。三菱化学フェローの瀬戸山亨さんと東工大の辰巳敬副学長、東大の堂免教授が中心になって、プロジェクトを立ち上げています。もう一つは新学術領域研究として2年半前から始まっています。これは文部科学省の科学

研究費の一つで、この分野の研究者が集まるフォーラムをつくり、共同研究を進めることが目的です。首都大学東京の井上晴夫教授が代表で、私も4人いる班長のひとりです。全体で40人ぐらいの、一線で活躍している研究者が集まっています。

小川 ノーベル化学賞受賞者の根岸英一さんが人工光合成の研究を呼びかけましたね。

石谷 根岸先生が10年にノーベル賞を取って「次は人工光合成」と言われました。あれで雰囲気が変わり、人工光合成という言葉も一般的になりました。

二酸化炭素を 金属錯体で再資源化

小川 石谷さんのような、人工光合成によるCO₂還元の研究者は少数派ということですが。

石谷 多くの人が水を分解して水素を出す研究をしています。水素は水素自動車などのエネルギーとして注目されています。一方、私は、炭素資源化を主に目指しているのです。

半導体の光触媒で水の分解は結構うまくいきますが、CO₂

還元は難しい。光触媒に使われる物質は、大きく分けて半導体と、金属錯体化合物（金属錯体の2種類があり、私はレニウム、ルテニウムといった金属錯体の専門家です。金属錯体は、金属が中心にあつて、その周りを有機物が覆っている有機と無機の中間にある物質です。半導体は固体系ですが、金属錯体は溶液に溶けます。光触媒としては、それぞれ一長一短があり、いまのところ水の分解では半導体が有利に進み、CO₂還元では、金属錯体が優位でしょうか。

最初は、フランスのルイ・パスツール大学のジャン・マリイ・レーン教授（1987年ノーベル化学賞受賞）が83年、レニウムを使うと、水が少々あつてもCO₂がCOになるということを世界で初めて発見しました。その話を大学院生のころ聞いて、「これだ」と思いました。金属錯体の選択性と効率性が高いのが魅力的でした。光反応の効率を示す指標の量子収率が14%と、当時としては、ケタ外れに高いので、みんなが驚きました。

金属錯体の利点には、可視光

を吸収しやすいということもあります。欠点は酸化力が弱い点。水を酸化するのはしんどい。

一方、半導体は酸化力が強く、水を酸化するものが多い。金属錯体と半導体は相補えます。両方を組み合わせるのが私たちの現在の戦略です。光合成が行っている酸化と還元を部位を分けて反応を起こす、いわゆる「Zスキーム」です。

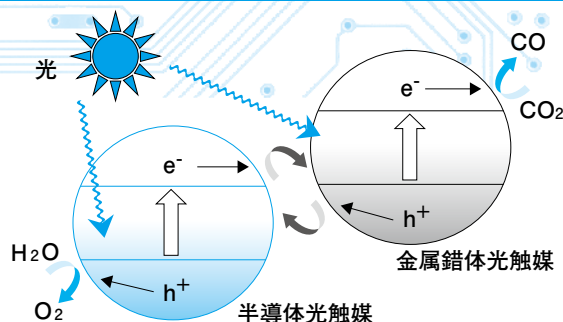
小川 酸化と還元を2段階でやっているわけですね。

石谷 光触媒の組み合わせにはいろいろありますが、われわれは「人工Zスキーム」と呼んで、CO₂還元は金属錯体で、水の酸化は半導体でできないかとチャレンジしています（図）。複数の半導体でやろうとしている研究者もいます。

小川 実用化の見通しは。

石谷 私たちは、すぐに原発に置き換わるような、過度な夢を抱かせるような安直な発言は控えるべきと考えています。石油ショックのときは、その点で問題があつたのかなと、個人的には感じています。いろいろな可能性のうち、どれが一番よいか、

図 人工Zスキーム



現状では世界中の誰もわかっていないと思います。いろいろ試さないといけない段階です。可能性があるのは全部やっていますとしています。

東日本大震災が起きるまでは、原子力で30～50年持たせて、だんだん太陽電池に切り替えていって、その後に人工光合成の一番というシナリオを描いていました。以前は「50年後に実用化する」と言っていました。新学術領域代表の井上晴夫先生は「20年後には、どの技術が実用化に近いかを明確にしないといけない」と主張されています。

い」と主張されています。

効率的に光を捕集する「人工の葉」

小川 光を集める「人工の葉」を最近、開発しましたね。

石谷 光捕集は重要です。太陽光の密度は薄く、分子はものすごく小さい。植物はクロロフィルからなる光捕集系を持っています。数百個のクロロフィルが吸った光が数十個のクロロフィルに集まり、そのあと、光合成の中心に集まるようになっていきます。巧妙な方法です。

それを人工的にやろうとして設計しました。マイクロメートルサイズの孔が規則的に開いているメソポーラス有機シリカを使います。(株)豊田中央研究所の稲垣伸二さんが世界で初めて開発した物質です。壁面が有機物なので光を吸います。その孔の中に、われわれの金属錯体を入れました。クロロフィルの代わりの有機物、ピフェニル440個が吸った光が、まず5つのレニウムに集まり、最後はルテニウムに集約されます。基礎研究ですが、非常に注目されました。

人工光合成で世界をリードする

小川 日本人のノーベル化学賞受賞者は2000年以降、6人出ています。

石谷 日本の化学は圧倒的です。アメリカと日本が競っています。化学メーカーが強く、大学と連携ができてのも特徴です。

小川 日本は人工光合成の研究でも世界をリードしている？

石谷 現状ではそうです。この技術を開発できないと、資源のない日本は立ちゆかなくなる恐れが高い。実用化まで日本がトップを守りきらないといけないと思います。

小川 こういう高度な研究に、中小企業も関与できますか。

石谷 ぜひ関心を持っていただきたい。足りないものはたくさんあります。例えば、光反応の効率を調べるには、ランプの開発が必要で、LEDを使い、プロが作った安心して使えるものが欲しい。こういうのは、なかなか大企業が手を出さないで、(株)セルシステム(横浜市青葉区)に共同開発をお願いして

いるところです。人工光合成を研究するための設備や薬剤はいくらでも必要です。フットワークの軽い中小企業の技術に期待しています。先が長い新しい分野です。すそ野も広い中小企業の技術が生かせる場面はいくらでもあります。

小川 見通しは50年後ですか。

石谷 少しでも早くしようと努力しています。僕らだけで何とかなるような問題ではありませんが、人類の難問を解決する人工光合成の研究は面白いし、やりがいがあります。

：人工光合成は化学者の夢のひとつである。その研究の成否は人類の命運にも関わる。石谷教授の話から、基礎研究を積み重ねて実用化への道筋をつかもうとする謙虚な姿勢と飽くなき執念がうかがえた。

その高い頂にたどり着く登山道はいくつもありそうだ。どの道を選ぶのか、研究者たちの探索は続いている。最終目標は高く、険しい。山頂まで登りきれるかどうか、化学者たちの知恵と協力にかかっている…