

# CO<sub>2</sub>を資源として活用できる道を切り開く

地球温暖化の原因物質のひとつとされるCO<sub>2</sub>は、その排出量を抑制することが人類史的課題となっている。だが、もしCO<sub>2</sub>を資源として活用できれば、この人類史的課題は解決に向けて大きく前進するのではないだろうか。齋藤進さんの研究は、その可能性に向けて大きく道を開きつつある。

名古屋大学  
大学院理学研究科 野依特別研究室教授

## 齋藤 進

さいとう・すすむ 1969年、岡山市生まれ。名古屋大学工学部応用化学科卒業。名古屋大学大学院工学研究科博士課程前期課程応用化学および合成化学専攻修了。工学博士。名古屋大学大学院工学研究科助手（山本尚教授）、名古屋大学高等研究院および大学院理学研究科（野依良治教授）助教授を経て、2015年より現職。アインシュタインに憧れ、物理の道に進みたいと考えていたが、「物理は天才しか成就できないから君には向いていない」と人から言われ、「2番目に好き」な化学を選んだ。「いろいろな学問と手を組んで新しい世界をつくることができる」というのが化学を好きな理由。1994年、米ハーバード大学に訪問研究員として行ったときには「これだったら何とか世界と戦えると感じ、ちょっと自信をつけた」と言う。

## 枯渇資源から再生可能な生物資源へ

—CO<sub>2</sub>はいまや諸悪の根源のように扱われていますが、先生はこの嫌われ者を資源として活用する方法を研究されているのですか。

人類の物質文明は、石油や石炭に代表される枯渇資源に大きく依存してきました。しかしこれらの資源は文字どおり、いずれ枯渇してしまいます。ですから枯渇資源以外のものを利用しようという研究はたくさんあり、CO<sub>2</sub>はその一番大きな候補です。学界、産業界を問わずCO<sub>2</sub>を資源として活用しようという研究は広く行われています。中には面白いものも出てきていますが、採算性や経済性の面で合わないと言われてきました。石

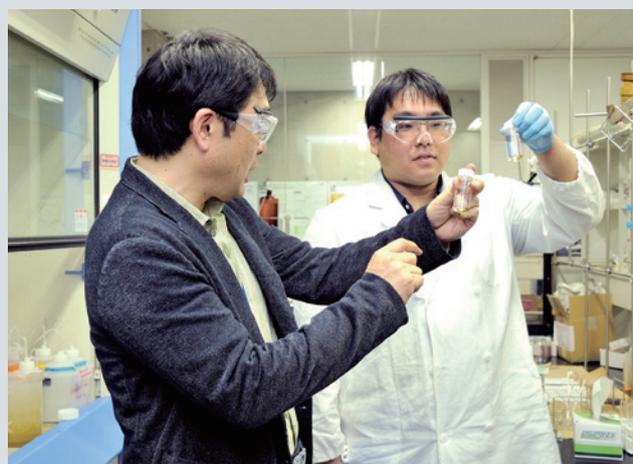
油や石炭はもともと生物の死骸が堆積してできたものですが、枯渇資源から再生可能な生物資源へというのが現在の大きな流れです。

—再生可能な生物資源とは、  
どのようなのですか。

人体とか植物を見ると、非常に安定な有機化合物でできています。安定ということはなかなか反応しないということで、だから生物の進化の過程でもそういう化合物は生き残ってきたわけです。人体でも植物でもそういった化合物がいろいろな機能を果たし、精密にコントロールされて成り立っています。炭素の鎖にたくさんの酸素や窒素がついて高酸化状態になっている、そういう化合物を化学変換してつくる新しい化合物が、使いやすくして再生可能な生物資源になり得ると考えています。

—使いやすい再生可能資源とはどのようなのですか。

再生可能資源をよく見ると、代表的な官能基を常に持っていることが分かります。カルボン酸の誘導体です。このカルボン酸が天然に豊富に存在する再生可能資源として近年、注目されています。カルボン酸はCO<sub>2</sub>からも合成できるので、カルボン酸の活用はCO<sub>2</sub>の資源利用にも貢献すると期待されています。カルボ

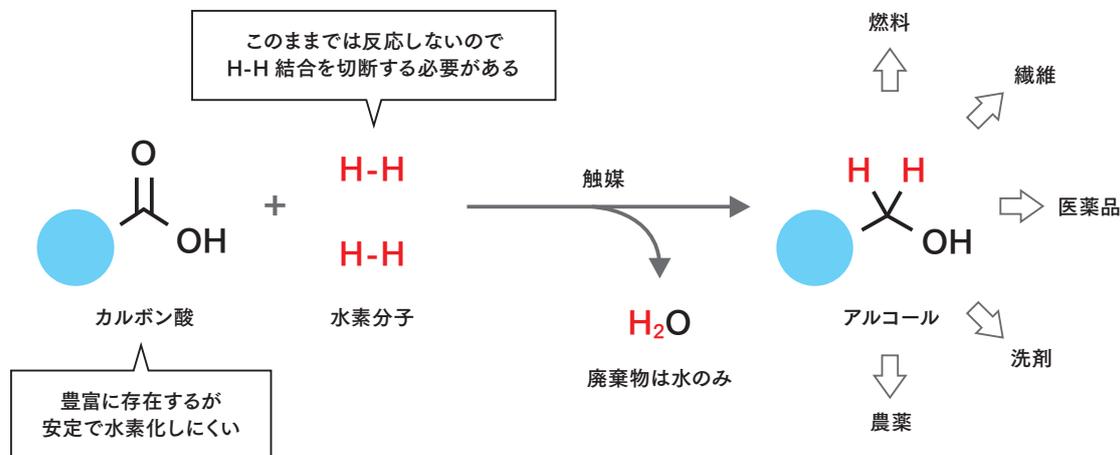


ン酸をアルコールに変換すれば、多様な用途に使えるようになります。変換するためにはこれら高酸化状態にあるものを還元しなければなりません。還元するというのは簡単に言うと電子をたくさん入れるということで、そのための有効な方法のひとつが水素化です。しかしカルボン酸は豊富に存在する半面、非常に安定な化合物なので、水素化が困難な化合物のひとつとしても知られています。高温や高圧をかければ変換できるのですが、それではコストが合いません。水素化できるカルボン酸の種類が少ない、望まない反応がたくさん起き、目的とするアルコール以外の副生成物が多くなってしまった問題もありました。

## カルボン酸を水素化する触媒を発見

—そうした問題を解決することがま

豊富に存在するカルボン酸からH<sub>2</sub>を用いて重要物質であるアルコールを生成



ず必要になるわけですね。

高酸化状態にあるものを還元するには、水素の形で電子を入れていくことが必要になります。その電子を入れていくことのできる触媒を私たちは発見しました。これからどんどん応用ができるようなシンプルな触媒の構造を見つけたのです。アインシュタインが「アズ・シンプル・アズ・ポッシブル」と言っていますが、シンプルというのはとても重要なことです。シンプルだからこそ応用の幅が広いからです。私たちはカルボン酸を水素化する原理のようなものを見つけたと言ってもいいでしょう。

——いつ頃、見つけたのですか。

この研究を始めたのが5年くらい前からで、その1年後くらいに見つけました。最初のうちはいろいろやってみてもうまくいきませんでした。どんな構造の分子の触媒があればいいのか、見本になるようなものが全くなかったので、ウィルキンソン型のルテニウム錯体に戻って、これを基盤にいろいろやっていくうちに、高温・高圧下という条件ではありましたが、カルボン酸の水素化ができるようになったのです。これがヒン

トになって調べてみると、過去にこういう試みはほとんどされていないことが分かりました。より頑丈な固体触媒で、熱と圧力をガンガンかけて強引に水素化する方法はありましたが、それよりもよほど壊れやすい分子触媒で高温・高圧ではとても無理、低温・低圧でというのも無理だと思われていたのでしょうか。

### 社会にインパクトを与える研究をしたい

——多くの研究者が無理だと思っていたのに、先生は無理だと思えなかったのですか。

それはモチベーションによるものだと思います。枯渇資源の代替になるもの、あるいは補完的なものをつくりたい。そのためにはカルボン酸は避けて通れない。これは絶対にやらなければならないと考えていたんです。社会にインパクトを与える研究をしたいという気持ちは昔から強くありました。ものになって社会で実装されるかどうか分からないにしても、とにかくその種になるものを大学で見つければ、興味を持つ企業も出てくるだろうという気持ちがあ

りました。

でも、そういう学術的な動機だけではなく、化学者というのは単純なもので、安定で反応しないものがあれば反応させてみたいんですよ。純粹な好奇心ですね。ただ、新しいものなら何でもいいというわけではありません。そこはやはり価値のあるものにつなげていかなければいけません。価値につながるものとして、カルボン酸は重要なターゲットだったのです。

——その研究は現在、どういう段階ですか。

ルテニウム触媒の活性を上げて、1個のルテニウム触媒で1万個のカルボン酸を変換できるくらいにするのが目標とすると、今は1個の触媒で330個くらい変換できるという水準です。触媒を見つけた当時は33個くらいしか変換できませんでしたから、ようやく活性が10倍にまで高くなったわけです。ここからさらに活性を10倍上げるのはかなり難しく、ルテニウムの配位子を巧みに分子デザインしてルテニウムの電子的な性質などを変えたりする必要があります。

## パラダイムシフトが 起きる可能性も

——実用化するには1万個くらいまで  
にしないといけないのですか。

それくらいが目安になります。

——順調に行けば1万個にできるまで  
あとどれくらいの時間がかかりますか。

(苦笑しながら)それが一番しんどいところですよ。どうでしょうか、3年以上はかかると思います。数字で書くと簡単そうですが、触媒というのは反応の途中でどんどん死んでいくものなんです。定義的には死ななものを触媒というのですが、実際にはどんどん死んでいきます。ですから活性を上げるには寿命の長い頑丈な触媒をつくらないといけないのですが、それに必要な詳しい構造がまだ分かっていません。死んでいくというか、壊れていくそのメカニズムを調べたところ少し分かったこともあるので、どういう分子設計をすれば壊れない触媒をつくることができるのか、今はそこを研究しているところです。

——これが実用化されると社会にはどのようなインパクトがありますか。

製品の製造工程で副生成物としてカルボン酸ができ、持て余している企業はたくさんあります。そのカルボン酸がたとえばポリマーの原料になったり、医薬品や農薬などの原料になったりするわけです。今までゴミとして廃棄していたものから新しい価値が生まれる可能性があるのですから、社会に与えるインパクトは相当なものになるはずですよ。さらに温暖化の原因となっているCO<sub>2</sub>をカルボン酸へと変換して資源として利用できるようになれば、パラダイム

シフトが起きますよ。

——カルボン酸は無尽蔵にあるのですか。

無尽蔵ではないかもしれませんが、すごくたくさんあるのは間違いありません。身近なものだとアミノ酸やDHA(ドコサヘキサエン酸)もカルボン酸です。生物の力を人工的に変えていろいろな種類のカルボン酸を大量に製造することもできます。人が運動すると体内で生まれる乳酸、それからお酢(酢酸)もそうですね。カルボン酸の水素化は、お酢をお酒(エタノール)に変えるようなものです。

——蟻のギ酸もカルボン酸と聞いたことがありますが。

そうですね。ギ酸を水素化するとメタノールができます。ただ、蟻をたくさんすりつぶしてメタノールをつくるよりは、CO<sub>2</sub>からつくるほうが良いと思いますよ。

## 異端も認められたら 先端になる

——先ほど、社会にインパクトを与える研究がしたいとおっしゃいましたが、それはなぜですか。

社会のシステムの中で大学ほど自由なところはないと思います。企業だったら「そんな金にならない研究はダメだ」と言われるようなテーマでも自由に研究できます。しかし自由には責任がともなうと思います。自由だからこそ、してはいけないことを考えないといけないし、何をしないかという自由も私たちは持っているはずですよ。でないと責任も

果たせません。研究の成果を社会に還元するのが最終的な目標であるのなら、学術的にも社会的にもインパクトのある研究のほうがいいのではないのでしょうか。難しいけれどあまり意味のない研究と、難しいけれど意味のある研究がある。大学の研究者はそういうことを考えないといけないと思います。私は人が行かないところに行きたがる性格で、今の研究も始めた頃は異端でした。本流の研究はたくさんの方がやっているのでも、異端は認められたら先端になります。そして認められるためには価値がなければいけない。価値のない異端では、見捨てられるだけです。

——先生は野依特別研究室の教授です。

野依先生は学生に厳しいことで有名ですが、先生も厳しいのでしょうか。

野依先生からは「甘い」と言われます(笑)。でも、人を育てるには、やる気を出させ、自分から動くように仕向ける以外に方法はないと思います。どれだけ言っても本人にモチベーションがなければ長続きしません。自分がやりたい、やらなきゃと思うから人は動く。そこにしか教育の神髄はありません。教育に携わる人間はそのことを常に考えないといけない。それが50年近く生きてきた私の結論です。

