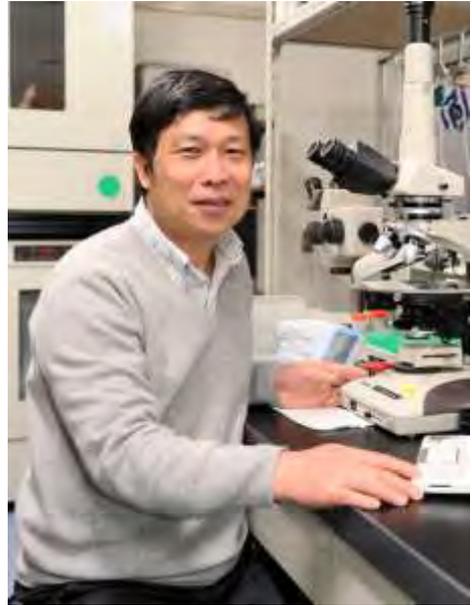


自然がつくり上げたしくみを見る

文・漆原次郎

沈 建仁（岡山大学教授）
しん けんじん

1961年（昭和36年）11月10日生まれ。中国の浙江省で大学生時代まで過ごし、日本の大学院へ進む。公害による植物への影響についての研究を発端に、植物や藻類などがおこなう光合成について研究してきた。とくに、光合成の中で、水から酸素や水素イオンがつくられるしくみを、原子の大きさのレベルで明らかにした。



自然は、私たちにはできないような方法で、太陽の光エネルギーと水、二酸化炭素から酸素や有機物をつくりだす。沈建仁さんは、この光合成というみどりの営みにおける、とても重要な部分のしくみを、世界で初めて原子の大きさのレベルで見た。

植物の生死は光合成にかかっている

沈さんは中国・上海の南西にある杭州で子ども時代を過ごした。「高校生のときまではよく遊んでいましたが、大学に入ってからにはよく勉強しました」と言う。

大学では、大気汚染について学んだ。沈さんが大学に入る1970年代の終わりごろ、中国では公害が問題になり始めていた。大学に新しくつくられた環境保護学科で、公害を引き起こすようなガスが植物にあたえる影響などについて学んだ。

中国よりも早く公害が問題になっていた国のひとつが、日本だ。1960年代から70年代にかけて、産業がさかんになるにつれ、空気や水が汚れていった。そうしたことがあり、1980年代、日本では公害を防ぐための技術や研究が進んでいた。日本の大学でさらに自分の研究を深めたいと沈さんは思い、中国と日本による交換留学のしくみで東京農工大学の大学院に進んだ。植物がオゾンなどの物質にさらされて枯れて死んでしまう現象について研究をした。

そもそも、植物が枯れて死んでしまうのはどうしてだろう。沈さんは学びの中で、その大きな理由は「光合成ができなくなるから」と知った。

光合成とは、みどりの植物などが太陽の光を使って、水や二酸化炭素から、酸素や糖という有機物をつくりだす営みのことだ。植物は、私たち動物が生きるのに欠かせない酸素や糖をもたらしてくれる。そして植物みずからも、光合成をして糖をつくり、それをエネルギーとして使う。「光合成ができなくなると、エネルギー

ギーをつくれなくなるから、死んでしまいます」。

光合成の中心のしくみを見てみたい

光合成のしくみが詳しくわかれば、害のある物質がどう植物に影響するのかわかる。沈さんたち研究者が注目したのは、光合成を営む葉緑体というみどりの粒つぶの中の「光化学系II」という部分だ。タンパク質という物質がいくつも合わさってつられている。

「光化学系IIは、光合成のしくみの中で最初の大変な反応をするとともに、もっとも弱いところでもあるのです」

光化学系IIは、太陽からの光エネルギーを受けて水が分解され、酸素、それに水素イオンと電子がつくられる。このうち、水素イオンと電子は空気の中にある二酸化炭素と結びつき、その後の反応でエネルギー源の糖になる。つまり、光化学系IIでは、生きものにとって大切な物質を生み出す反応が、水をもとにしておこなわれているのだ。

光化学系IIで水が分解されて、酸素がつくられることはだいぶ前からわかっていた。「けれども、その反応が起きるしくみについては、まだよくわかっていませんでした」。

沈さんは、大学院時代の後半、東京大学に進み、光化学系IIがどのようなしくみになっているのかを、原子の大きさのレベルで見ようと研究を始めた。

光化学系IIには、水を分解するしくみの中心となる触媒とよばれる領域がある。沈さんたち研究者はそこにマンガンやカルシウムといった原子があることまでは知っていた。さらに沈さんはカルシウム原子の数は1個であることを、分子や原子の量を測ることでつきとめた。

沈さんたち研究者の次の謎は、顕微鏡でさえ見ることのできない小さな世界で、これらの原子がどう置かれていて、全体としてどういう形になっていて、そしてそれらがどのように働くことで水の分子がばらばらになり、酸素がつくれ、水素イオンが放たれるかだった。

「そこはずっとブラックボックスでした」。そのしくみを見てみたい。

タンパク質をきれいな状態に取り出す

科学者たちは20世紀の早くから、ものを原子の寸法のレベルで見える方法を築いてきた。調べたい材料を、原子がきれいに並ぶ「結晶」という状態にし、「X線」という目に見えない光を照らすのだ。結晶の原子はきれいに並んでいるので、それらに跳ね返されるX線のパターンがわかれば、どんな原子がどう置かれているかがわかる。またX線には材料の影のところが情報も得る力があるので、結晶に照らせば原子の位置をくまなく知ることができる。

光化学系IIのしくみをこの方法で明らかにするには、植物などの細胞から光化学系IIの部分だけを取り出して、それをもとに結晶をつくらなければならない。「光化学系IIの20個のタンパク質のうち1個の5%でも欠けてしまうと、きれいに並んだ状態にはならないのです」。

どうやって細胞から光化学系IIのタンパク質を完全な状態できれいに取り出すか。1990年(平成2年)、

理化学研究所に移った沈さんは、先輩の研究員の実家がある和歌山県本宮町(いまの田辺市)の湯の峰温泉から採ってきたラン藻を材料に研究を始めた。ラン藻は光合成をする生きもののひとつだ。しかもこのラン藻は熱に強いので、タンパク質を細胞の外に取りだしても壊れにくく、結晶をつくる研究では扱いやすい。

ラン藻の細胞をばらばらにして光化学系 II のタンパク質を取り出すため、沈さんたちは「界面活性剤」を使うことにした。界面活性剤は洗剤に含まれている物質の一つで、油汚れを落としてくれたりする。光化学系 II が含まれている膜をほぐすにも界面活性剤を使うが、洗剤で使われているような強い界面活性剤を使うと、光化学系 II のタンパク質までほぐして壊してしまう。「光化学系 II はばらばらにしないような界面活性剤を見つけようと思いました」。

さまざまな物質を組み合わせて、約3年後の1993年(平成5年)、ついにそのような界面活性剤をつくり、光化学系 II のタンパク質をきれいな状態で取り出すことができた。世界の研究者たちと競争する中、沈さんたちが世界で初めて成功した。「ようやく結晶づくりが始まりました」。

だれも見なかったことのないしくみを見ることができた

結晶づくりには、さらに時間がかかった。「規則性を保ちながら原子を並ばせるのがたいへんでした」と沈さんは言う。2000年(平成12年)に、結晶をつくることができたと発表した。

その後は、ラン藻の細胞を育てて増やし、界面活性剤で光化学系 II タンパク質を取り出し、それをもとに結晶をつくり、X線で照らしてきれいなパターンになっているかを確認することの繰り返しだった。「うまく行かなかったねとなって、条件を変えてまたはじめに戻ります」。

それでも挑戦と失敗を積み重ねていくと、すこしずつだが、きれいな結晶に近づいていった。沈さんは「結晶づくりでは経験が大切です」と言う。

そして2003年(平成15年)、結晶の形(構造)について論文を発表した。結晶の中の原子を見分けるための解像度は3.7オングストローム(100億分の3.7メートル)。当時の世界最高記録だ。

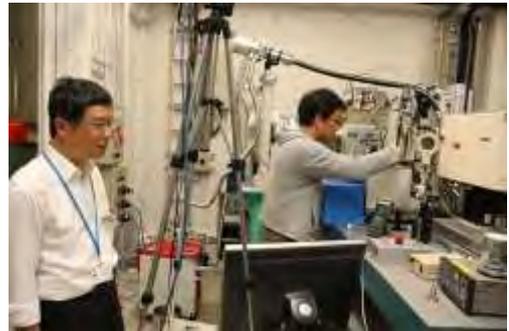
ただし、マンガンやカルシウムなどの原子の大きさは、それより小さい1オングストローム台だ。もっと細かく見えるようにならないと、しくみを明らかにできない。

沈さんはこの年、岡山大学に移り、研究室を率いて結晶の質をよくするための研究を進めた。そして2009年(平成21年)、大学院生だった川上恵典さん(いまは大阪市立大学の研究者)が、1.9オングストロームの解像度で見ることのできる光化学系 II タンパク質の結晶をつくった。

「ずっとあった“3オングストロームの壁”を破ることができたと、喜びがありました」

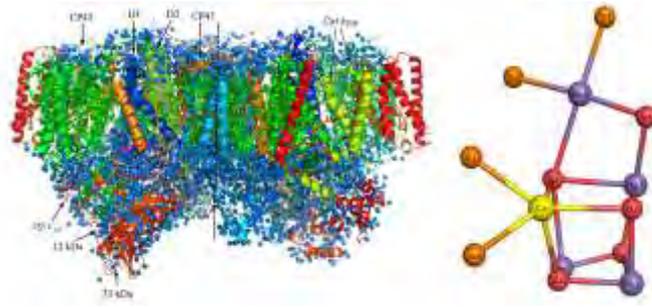
ここでも鍵となったのは界面活性剤だった。タンパク質をつくる分子をうまく詰めて結晶にするとき、分子どうしのすきまをぴったり合わせて、つなぎとめる道具が必要となる。そこに界面活性剤が使われる。さまざまなものを試す中で、「それまでだれも試したことのないもの」を試したら、ぴったりと行った。

沈さんは理化学研究所の時代からともに研究をしてきた神谷信夫先生たちとともに、兵庫県の「Spring-



研究に取り組む沈さん(左)。兵庫県の大型放射光施設「SPRING-8」にて。

8」という施設でX線を使って光化学系IIのタンパク質の結晶データをとり、結晶の形を定めた。形が見えるようになったのは2010年(平成22年)3月だった。「マンガ、カルシウム、酸素の原子の位置がはっきりわかりました。ブラックボックスを開け、だれも見なかった中を覗くことができた。鳥肌が立ちました」。



左図は光化学系IIの全体。赤い点線円内に、右図の実際に水を分解する触媒が。この触媒はマンガン(Mn)、カルシウム(Ca)、酸素(O)の原子でなり“ゆがんだアイス”のような形をしている。

光化学系IIの中でも水の分解を担うマンガやカルシウムなどからなる触媒は、“ゆがんだアイス”のような形をしていた。この研究の成果は、論文を発表した2011年(平成23年)に『サイエンス』というアメリカの科学雑誌が、その年の科学の世界10大成果の一つに選んだほどの大きなものだった。

“ゆがんだアイス”の形には大きな意味がある

その後も沈さんたちは研究を進めた。2012年(平成24年)、SPring-8がある場所で、X線を扱う「SACLA」という施設が使われ始めた。沈さんたちはこの施設を一番乗りで使うことができた。とても強いX線を使うためタンパク質の結晶は壊れてしまうが、壊れるより前の10フェムト秒(1000兆分の1秒)で結晶のパターンを撮ることができる。つまり、壊れていない結晶の形を明らかにできるのだ。“ゆがんだアイス”は、X線のエネルギーのしわざではないかと議論になっていたが、壊れる前の結晶を見ても、やはり“アイス”はゆがんでいた！

沈さんは、発見した“ゆがんだアイス”の形に、とても大きな意味があると考えている。「ゆがんでいるということは、かんたんに形を変えられることを示唆しています。これは水を分解するとき、とても大切になります」

光化学系IIの反応では、水が分解されるまでに、その中間の状態をいくつもとらなければならない。“アイス”のゆがみという形の不安定さゆえに、このタンパク質はいろいろな状態をとりやすくなる。柔軟に形を変えられることで、使うエネルギーを最小限に保てるのだ。

水はかんたんには分解されない。だが自然のみどりは、光化学系IIのしくみで水を分解して酸素や水素イオンをつくれる。この小さなゆがみがなければ、なしえなかったことだ。「自然が長い時間をかけて選んできた、すばらしいしくみだと思います。すこしでも形がちがっていたら、私たちが生きる上で必要な酸素やエネルギーはつくられなかったでしょう」

いま、人間は、自然の光合成の営みにならって、光と水から水素などのエネルギーをつくろうと研究を進めている。「実現できれば、いま使っているエネルギーの一部、あるいはかなりの割合を占めることのできる、すばらしい技術になるでしょう」。

光合成をまねしてエネルギーを得るまで時間はかかるかもしれない。でも、沈さんは言う。「光合成のしくみは、自然が何億年もかけてつくりあげたものです。人間が数十年をかけて、まだ実現できていないとしても、できないことにはならないと思います。ぜひ、光合成のしくみを活かす研究が続いてほしいと思っています」