

## 特集

# 最先端科学の 研究現場から 第5回

インタビュー／佐藤彰芳 撮影／倉部和彦

「私は最近思うんです、いま農業をやったら本当に面白いだろうなって」

インタビューがはじまってすぐに飛び出した水野哲孝教授の言葉だ。そのころは、次のようなことだった。

「化学的なモノづくりはゼロからつくるわけで、化学でモノを生み出すことは、自然がどのように循環しているかを知ることなんです。そういう意味では、化学のセンスを持って自然と向きあい、農業ができたらどれほど幸せかと思います」

具体的には“触媒”でモノをつくり、自然とは何かを考える。

「ほんとは原子レベルでモノをつくっても何もはじまらないのであって、やはり実際にモノになることが大事なんです。工業的に使用されるためには、熱安定性とか、硬度が大切です。私が工学系

の触媒を選んだのも、実際のモノにまでつなげられるからです。そういう意味で、みんなの役に立ち、今後の社会の役に立つものにするにはどうしたらいいのか、工学系の化学にはそうしたポテンシャルがあるんです」

### 各分野の化学者の交流で、 化学研究は新たな展開を生む

化学を専攻するようになったのは、子どもの頃から自然で遊ぶことが好きだったからだ、水野教授はいう。

水野 東大の理Ⅰに入っているいろんな講義を受けたなかに触媒の講義がありました。私自身、何かを突き詰めていくことが好きなんです。自然のなかにある物質を突き詰めていくと原子になり、その原子を制御、コントロールする分野は、や

はり化学なんです。原子をコントロールできればある物質ができて、その物質もいろんな順番で組織化されていて、その最たるものが人間です。だから物質を変換する材料だけじゃなく、原子からたどれば何ができるのか、ということに非常に興味を持ちました。

——化学は、逆の方から自然を探究する学問であるわけですね。

水野 そういう何かをつくる研究というのは、現在研究を進めている触媒化学だけではなく、有機合成化学にも錯体化学にもあります。そのためにはいろんな分野にまたがった知識と研究能力が必要で、当時何ができるかはわかりませんでしたけれど、化学分野にはワクワクさせられるものがありました。

——触媒研究の分野で、大きく飛躍す

東京大学大学院工学系研究科 応用化学専攻

# 水野哲孝教授に聞く

Noritaka Mizuno

# 酵素を上回る 触媒の開発

## PROFILE

みずの・のりたか ●静岡県浜松市生まれ。昭和55年東京大学工学部合成化学科卒業。昭和60年東京大学大学院工学系研究科合成化学専攻博士課程修了。昭和60年東京大学工学部合成化学科助手。平成2年北海道大学触媒化学研究センター助教授。平成6年東京大学生産技術研究所助教授。平成8年東京大学大学院工学系研究科応用化学専攻助教授。平成13年東京大学大学院工学系研究科応用化学専攻教授。研究分野は物理化学、無機化学、触媒化学。

るきっかけは何だったのでしょうか。

水野 私はそれまで固体触媒の研究しかやっていなくて、今までやっている研究の延長線上ではないものを学びたいと、1990年頃にオレゴン大学に留学しました。そこにはフィンキ (Finke) 教授 (\*現在はコロラド州立大学教授で、水野教授との共同研究も行なっている) がいたからです。錯体は流行りでもあったのですが、先生は酸化物クラスター錯体を原子・分子レベルで合成することをやっていました。同時に、生物無機化学によるビタミンの研究も進めていたので、先生のもとでなら錯体や生物無機などの基礎的な学問が学べるといったんです。

ところが突然、北大の助教授のポストが決まったという連絡があり、10カ



# る を 目指す

化学物質や材料が文明社会の持続のために必須であることは論を俟たない。物質・材料の合成をになう化学は、環境への悪影響を低減し、質的向上としての変革が求められている。水野哲孝教授は今、環境調和型(グリーン)触媒化学の必要性として、過酸化水素や分子状酸素を用いる炭化水素の選択酸化反応を特殊反応場を有する無機酵素を用いて行なう、いわば生態系を超える無機酵素の合成を目指している。



研究室のミーティングは週に1回。研究成果や研究経過を発表しあったり、あるいは研究論文を紹介し、水野教授が質疑応答に答えるという形で開かれている。

# Noritaka

月で日本に戻ることになってしまったんです。普通は1年はいるのですが、その短い10カ月間で5報の論文を仕上げ帰ってきました。10カ月で5報の論文って、ちょっと自慢かな(笑)。

北海道大学で、現在の化学研究分野で活躍する錚々たる人たちに出会う。触媒化学研究センターの林民生教授(現・京大理学部)、小澤文幸教授(現・京大化学研究所)や魚住泰広教授(現・分子科学研究所)、薬学部の柴崎正勝教授(現・東大薬学部)や笹井宏明教授(現・阪大産業科学研究所)など多くの有望な若手研究員が集まっていた。北大では工学部、理学部、薬学部など学部や大学院の枠を越え、化学を研究する人たちの勉強会が定期的に開かれていた。

水野 勉強会では自分の研究を発表したりしているのですが、化学というテーマで集まった勉強会には各分野のいろんなささやきが聞こえてきます。

例えば、化学というのは分野が違おうと使う言葉も違います。当然、元素は共通用語としてあります。固体触媒では「活性」といいますが、錯体では「活性」

という言葉よりも、「反応速度」というわけです。つまり単純な一つのことを表す言葉であっても、意味やニュアンスが違うんです。

もう一つは、それぞれの分野で研究する人には強味と弱味があるということです。私は固体触媒の出身であったので、固体表面がいかにかわりにくいということを理解していて、どんなふう to それを整理すれば人にわかってもらえるかという手法を持っていました。しかし、有機金属の研究者たちにとっては、固体の表面は規則性はほとんどないわけですから、わりにくいものなんです。そうすると、固体触媒の概念を有機金属の中に持ち込んだら面白いことが起こるかもしれないな、と新たな発想も浮かぶんです。自分を活かすためにいろんなことを学んだし、どういう攻め方があるかも考えさせられました。留学先で習った錯体合成なども含めた研究を展開しているかと思っていましたから、それを上手く融合させて勝負できるようになるにはどうしたらいいか、と。

そしてそこには、それぞれの分野ではトップランナーの先生たちが集まってい

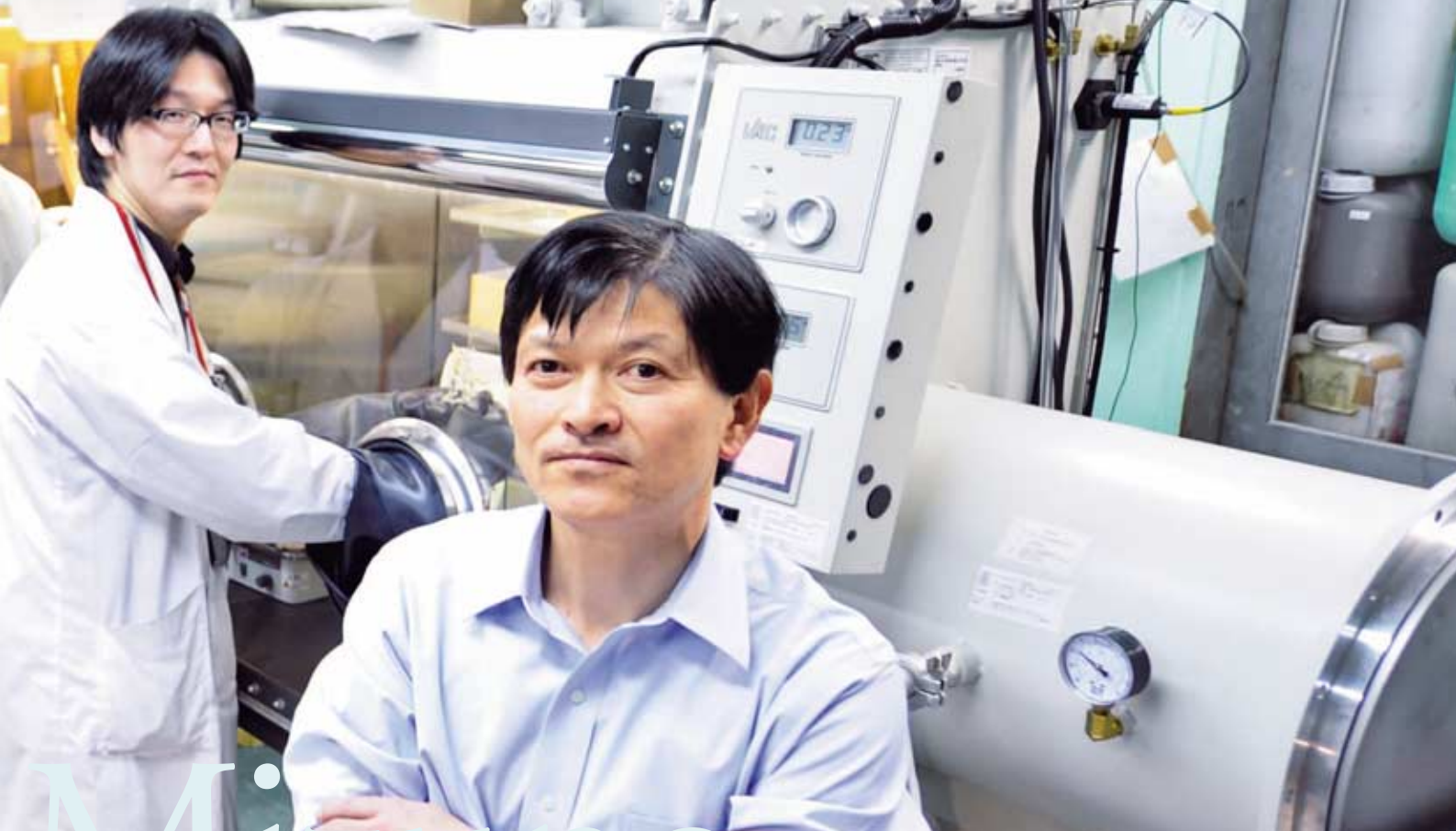
たので、今でもわからないことがあったら電話をかけて聞けばいい、ということも学習しました(笑)。また、そういう先生たちが知らないことであったら、やっぱりみんながわからないことなんです。だからもうギリギリのところ、何がわかっていて、何がわからないことなのかということもよくわかります。これはとても大切なことです。

——垣根を越えたボーダーレスな研究環境が北大にはあったということですね。

水野 薬学系の先生が使う触媒には、医薬品をつくるような触媒があります。私はそれまでは、化学工業基盤の触媒づくり一辺倒だったわけですが、そういう薬品をつくるための触媒もやってみたく刺激を受けました。若い時にそういう同じ世代の人たちを通して知る力って大きいんです。そのまま行けば、当然みんなそこそこ偉くなりますが、偉くなったとしても昔を知ってるので全然こだわりもない。今でも一緒にお酒を飲んで、そこは本音で語っているんです。

——他の方とは研究目的が違うからフランクに付き合えるのでしょうか。

水野 それぞれの人が研究には一つの柱



# Mizuno

を持っていて、化学の中でも向かっているベクトルはそれぞれ違います。でも、それぞれの目的に向かうためには、何を取り込まなければいけないかということは当然あるわけです。そういう時に分野が違う人にコメントをもらったり、「どういう分析方法があるのか」「どうやったら実証できるか」と聞ける関係は、研究者にとっては大事です。

例えば、魚住教授はそれこそ北大にいた時は均一系の不斉触媒の人でしたが、最近はポリマーを使って担持する触媒とか金属を分散させた触媒の研究をやっています。そのへんの固体を解析するのは、私のほうがいろいろと知っているわけです。逆に私は最近、魚住教授がやっていた均一系の不斉触媒に近い触媒もやっています。だから話してみると魚住教授の方がよく知っているんです。もちろんお互い、持っている材料も使える方向性も全然違うんですが、そういう持っている力を補完しあえば、どんどん研究を進めることができるし、面白い研究もできるかなと思います。

## 化学研究の本質は、新しい反応 新しい現象を見つけること

——最近の研究の流れとして、グリーンケミストリーが注目されていますが、水野 確かにヨーロッパは環境先進国なので、お金がかかっても新しいプロセスに取り組み、環境に悪いような金属は使わないことを率先してやっています。ただし、それは化学の大きな流れの一つであることは間違いありませんけれど、流れの一つでしかないことも事実です。

化学の本質は、新しい反応、新しい現象を見つけることです。だから化学反応でグリーンケミストリーといってしまうと、それは大衆にはわかりやすい言葉ですが、専門的にはグリーンケミストリーとは何？ということになります。有機溶媒ではなく、例えば水を使う反応だと説明しても、では水は本当に環境にいいのか？となる。水の中にppbレベルの不純物があったらそれは毒じゃないか、と。むしろ除きにくいんじゃないか、と。

ですから、原子を無駄にしないような効率的な反応をつくるのが大事なのです。そのために溶媒も含めて環境にやさ

しいものを使おうとすれば、それは水であったり、無溶媒であったりすればいいわけです。あるいは均一系の触媒じゃなく、回収できて何度も利用できるように固体触媒を使うとか、そういう方法はあると思います。

原子効率の高い反応系をつくるということは、例えば一つの反応でも原子効率が高ければいいわけです。あるいは、多段階にわたる反応を1ポットで効率的に行なうことです。このような研究の流れはグリーンケミストリーと呼ばれています。

——専門は固体触媒の開発ですが、具体的な研究テーマを教えてください。

水野 大きくわけて3つの柱があります。

一つ目は、工業的使用を目指した金属イオンを高表面積の単体の上に担持する触媒をつくることです。これは有機合成用の触媒だけではなく、自動車用排ガス浄化触媒あるいは燃料電池の触媒などあらゆることに利用できます。

二つ目は、酸化物クラスターを使い、触媒の活性点構造をきちんと規定してやることで酵素類似、もしくは酵素を上回るような触媒をつくりたいと思っています。

# Noritaka

ます。

そして三つ目が、これらをうまく組織化してナノサイズの空間を持った触媒をつくることです。ナノサイズの空間には反応する物質を濃縮する能力があります。ナノサイズの空間で濃縮することで反応速度の向上が期待できます。また、分離材料としても使えます。

——固体触媒の例を教えてくださいか。

水野 固体触媒には様々な形状があります。例えば、自動車触媒にはハニカム状のものがよく知られています。実は、ほんとに素晴らしい究極の自動車触媒もあるんですが、まだつくられていません。それは一酸化窒素（NO）を窒素（N<sub>2</sub>）と酸素（O<sub>2</sub>）に低温で分解できる触媒なのですが、これは酸素があると活性が低下するとか、いろいろな問題があり、まだ開発されていません。でもその触媒の活性点というのは、単純に銅が2個の酸素で架橋された構造になっています。この活性点構造自体は、鉄2個が酸素で架橋された活性点構造を有するメタン酸化酵素と類似しています。今はまだ、金属2個が酸素で架橋したものというのはあまり知られていません。このように、酵素が有している金属活性点構造が人工的な自動車触媒に類似しているのは、学問的にも興味深いものです。

私たちは、鉄2個が酸素で架橋された触媒をつくりましたし、最近、銅2個を架橋したものも合成しました。ほかに、バナジウム2個が酸素で架橋した構造のものを合成しましたが、それは自然界にも存在しません。有機金属錯体でも存在しません。これは過酸化水素を効率的に活性化して、いろいろな反応に使えます。私たちは本当に「これこそ人工の

酵素だ」と思っているんです。たかが金属2個なんですが、この、たかが2個の金属を並べてやったら、どんなことができるのか、と。

——それによって新しい触媒につながって行くわけですね。

水野 今、私たちは酸化物のクラスター上にメタン酸化酵素に類似した金属2個が酸素で架橋された活性点を構築することに成功しました。酸化物クラスターは、金属の周りの配位子は全部酸素です。そうすると有機金属というのは、配位子はあるんですがフワフワしている。だからその柔軟性が酵素での物質取り込みなどに活かされるわけです。将来的にはこういう酸化物で、バナジウムだったらバナジウムの2個の活性点だけを持ったものをつくってやれば、反応が速い、すごい触媒になり、面白いことが起こるはずですよ。

## 自然のなかで観察眼を磨くこと それは実験室の中でも同じこと

——研究の内容がどんどん広がっているようですが、研究に関して最も大切なことは何でしょうか。

水野 一番大切なのはやはり、継続は力なり、です。一つの流れの研究を途中で断ち切るのはとても簡単なんですけど、断ち切ってしまうと、やはりそこで情報も途切れるし、やる気もなくなってしまいますので、その研究は遅れてしまいます。データがでなくても自分で考えながら地道にやっていると、やっぱりいつか面白い結果が出てくると思います。当然、研究なんていい時もありますし、谷底みたいな時もあります。

——新しい発想というのは、どこから生まれるのでしょうか。

金属2個を酸素で架橋されたものをつくることで、  
過酸化水素を効率的に活性化させることに成功。  
これこそが「人工の酵素」ではないか。

# Mizuno

水野 前の日本化学会の会長をやった御園生先生は、寝ていても考えている、と言うんです（笑）。本当は寝てたら考えられませんけど……。

私もいつも、こんなことがあったら面白いのにな、ということを考えています。また、学生が実験をやっている、「あれ、これは考えたことと違うな」という結果が出たときは面白いと思います。最近の学生は懐に入れて無かったことにしたり、わからないことが起こると誰にも言わないで黙っている。そうじゃないんですね、自分が今考えていることと違うことが起こるといことは面白いじゃないか、と。だからそれを見逃さないことだし、自分でよく考えるべきなんです。実験室の中は宝の山なんですよ。——趣味は釣り（毛鉤を使うフライフィッシング）だそうですが、溪流などでは、研究室とは違った時間を過ごしているのですか。

水野 いえ、同じです。継続は力なり、は釣りでも一緒です。やはり同じ場所に何度も行ってないと釣れる場所はわかりません。同じ川でも時間帯や天気が違えば、釣れるときもあれば、釣れないときもあります。太陽の向きで変わる川面に映る人の影で、魚は人の気配を察します。秩父の川が私のフィールドですが、人が荒らした後の午後に入渓しても、釣れることもわかりました。逆にどんなに美しい川でも、魚がいなければ釣れません（笑）。天候が崩れ、危険なときは引き返します。

こうしたことは研究でも一緒で、同じ実験をやったとしても、湿度や環境の違いで違う結果が出る場合があります。違った結果が出たとき、自分なりに、なぜ違うのかを考え、次なる戦術を練ること



「研究はバーチャルの世界ではありません。やはり自分で試して結果を出すしかない。予想通りじゃない結果が出たときに、なぜだと考えることが大事だし、若い時にやらなければならないのは、ダメでもいいから面白そうなことには挑戦していく姿勢です」（水野教授）

です。  
——研究姿勢として大切なことはなんでしょう。

水野 大切なことは、やはり考えたことをフィードバックして研究すること、そしてその姿勢ですね。例えば、面白そうと思ったら、隠れて実験したっていいんです。そして研究テクニックは教わるのではなく、盗むこと。実験の上手い人

の後ろにいて見ていれば、大切なことがいろいろ見えてきます。釣りだって誰もが流す川の筋じゃ釣れなくて、その脇の10センチ違うところに流すと魚が飛び出しきたりする。これだって上手い人の釣りを見ていれば習得できるからです。

いつも状況が変わる自然をじっくり観察することで釣果があがるように、研究に関しても観察眼を養うことです。