

無機材料化学から触媒化学へ— 発想を転換して異分野へ チャレンジしたことが 大きな契機となりました。

愛媛大学大学院理工学研究科 環境機能科学専攻

高橋 亮治 教授



(NEDO産業技術研究助成)

◆マクロ孔を有するゼオライト成形体の作製と触媒・
吸着技術への応用 (平成16~19年度)

当初は現象そのものへの「理学的な」興味から研究に没頭していた高橋先生は、ある日、社会人ドクターの積極的な研究アプローチに感銘。大いに触発された高橋先生は、長年培ってきた無機材料化学の知見を、異分野ともいえる触媒化学に持ち込み、実用化に向けた取り組みを開始する。異分野の融合はやがて、多彩な可能性を秘めた新材料を生み出すことに。

無機材料化学から触媒化学へ

高橋先生の専門は「無機材料化学」と「触媒化学」だ。この近いようで遠く、遠いようで近い分野を高橋先生はいかに結びつけていったのか。京都大学時代に出会い、探求を続けた無機材料化学を千葉大学において触媒化学へと発展させていった、というのがきわめて大まかな研究の流れである。

「京都大学での学生時代、私は無機化学の研究室に配属となりました。その研究室では先生が2年ほど前に、相分離を利用して無機化合物の孔の構造を制御し、マイクロメートルのサイズで孔の大きさが整ったシリカゲル(注1)を作れることを見出していました。ですから私も自然と、これに関係した研究テーマに取り組むことになりました。いくつかの溶液を混ぜ、条件を合わせるだけでマイクロメートルの非常にきれいな孔を持つ構造ができてくる。溶液組

成を微妙に調整すると、孔の大きさが自由に変えられる。孔をいかに制御するか、あるいは原子・分子レベルでどんな変化が起きているのか。こういったことを細かく観察することが面白くて、楽しみながら研究に取り組んでいました。」

当初は現象そのものへの興味から研究に没頭していたという高橋先生にやがて転機が訪れる。日本学術振興会の特別研究員だった時期に、研究室に島津製作所の方が社会人ドクターとしてやってきたのだ。

「島津製作所はクロマトグラフィー(注2)には非常に強いメーカーです。そこで彼は研究していた材料を高速液体クロマトグラフィー(HPLC(注3))の分離用カラム(注4)にできないかと考え、京都



フェニックス(ヤシ科)が印象的な愛媛大学理学部キャンパス

工業繊維大学の先生のところを持ち込み、共同研究を開始しました(このコラムは後に、ドイツのメルク社から市販されることとなります)。自分の持っている材料を『こんなことにも使えますよ』と単にプロポーザル(企画、提案)するだけでなく、自ら飛び込んでいって具体的な出口研究としてスタートさせる。こういうやり方もあるのかと、私にとっては大いに刺激を受ける

「なぜこういう構造が出来るのだろう」という「なぜ」を重視する高橋先生の指導により日々の研究が学生達と続けられている。(高橋研究室にて)



出来事でした。」

高橋先生にしてみれば「このままストレートに行けば、就職先あるいは大学のポストはおのずと無機化学や高分子関係になるのでは」と漠然とではあるが考えていた矢先のことである。

「しかし、ちょっと視野を広げることで、自分の無機材料というバックグラウンドが触媒や分析化学といったさまざまな研究分野で生かせるのではないかと。従来の分野に縛られてしまうと狭い発想に終始しがちですし、異分野の融合でこそ新しいものが作れるかもしれないと発想を転換できたのです。」

こうして千葉大学の助手となった高橋先生は、あえてノウハウを持たず、ハードルの高い触媒化学の研究の場に身を置いたのだった。

「当然のことですが、触媒の研究室では触媒反応が当たり前に行われています。ですが一方の自分は、無機材料の合成をやってきました。こうい

った異なる分野の出会いをベースにして研究を提案できたことが、いまの自分を築き上げたのだとあらためて感じています。」

産業技術研究助成に4度のチャレンジ

千葉大学の研究室でまず取り組んだのは、京大時代に携わっていたマイクロメートルサイズのシリカゲルを触媒として使うための研究だった。シリカゲルはアルミナ^(注5)を入れると酸が出る、メタルをのせると担持金属触媒として還元反応に使えるようになる。高橋先生は上司から具体的なアドバイスを受けながら、触媒としての検討を進めていく。

まず、ケイ素アルコキシド試薬を原料として用いて触媒を作製した。だが触媒の場合、試薬を原料にするとどうしても価格的な面で不利になってしまう。次いで、工業的なシリカゲルの原

料である水ガラス^(注6)に切り替えてみた。これは比較的うまくいった。

手応えを感じ始めた高橋先生がそれらの成果を学会などで発表したところ、複数の企業から思いがけない反応が返ってきた。「シリカゲルだけでなく何か別のもの、たとえばゼオライト^(注7)にならないか、あるいはアルミナでできないか」など、さまざまな要望が出されたのだ。

「企業に実際に使っていただく際には、この材料を修飾して結晶化しなければなりません。結晶化することによってさまざまな機能を引き出せるわけです。方向性を定めて検討を進めたところ、ゼオライト結晶化に成功しました。この段階で、NEDOの産業技術研究助成に採択をいただきました。」

実は高橋先生には、産技助成にチャレンジするも3回の不採択という試練があった。不採択の理由を高橋先生は「手を広げすぎた、欲張りすぎた」ため

だと分析する。そこでNEDO審査員の「何でもやるというよりも、ターゲットを絞ったほうがいい」というアドバイスを参考にテーマをブラッシュアップ。その結果、採択されたのが「マクロ孔を有するゼオライト成形体の作製と触媒・吸着技術への応用」だった。

「産技助成はもちろん工業化を視野に入れていますから、企業とタイアップして実際に売れるものをいかに安価に量産していくかが重要です。そういった点も含め、より幅広い観点から研究に取り組むこととなりました。」

助成金の集中投入が功を奏す

高橋先生は産技助成における研究を、現時点でこう総括する。

「当初の計画よりも1年くらいは前倒しで成果が出せたのではないかと思います。その要因として、千葉大学の研究室で指導を始めてから6年余りがたち、優秀な大学院生が育っていたこと。さらに助成1年目に予算を集中して投入し（総額の80%）、研究に必要な装置——X線解析装置、蛍光X線装置、水銀圧入装置、窒素吸着装置など——を購入できたことが挙げられます。それまでは限られた物質について外部へ測定依頼し、出てきたデータをもとに評価していくというやり方でしたが、自前の装置を使うことでフィードバックが格段に速くなりました。NEDOの中間報告書を作成した時には、ものづくりの点ではほぼ解決という段階にまで達していましたので、高い評価を頂くことができました。」

とはいえ、研究がすべて順調に進んだわけではありません。一番苦労した点は、自分でもまったく予想していなかった重力の問題です。マクロ孔のある多孔体に溶液を入れ、水熱処理を行います。溶液は孔が小さいととどまり、逆に大きくなると落ちてしまいます。そうした一連の作用が働く孔の大きさは2マイクロメートル程度なのですが、孔の大小による実験結果の違いの原因を当初はなかなか特定できませんでした。結果的にその原因が重力だったと分かると、サイエンス的には

『つまらない原因』となってしまいます。ですが、実用化研究ではこうした課題も地道に解決していかなければならないのだと実感しました。」

またとない出会いが作られる、 学会の場

国内にあまた存在する学会学会にあつて、触媒学会は企業の研究者が多数集まる学会である。講演はもとより、ポスター発表等を行っても企業研究者から必ずビビッドな反応があり、そこでのディスカッションも日常的な光景だ。高橋先生のネットワークづくりのキーステーションも触媒学会といっても過言ではない。とはいえ、現在、連携企業となっている化学メーカー、株式会社トクヤマとの出会いはイオン交換学会であった。

「私がイオン交換学会の講演の席で『水ガラスでこういう構造ができます』と話したことがきっかけです。トクヤマさんが真っ先に興味を持ったのは、無機材料できれいな形ができること、水ガラスが原料であることでした。トクヤマさんは、水ガラスを原料にしたシリカゲルの製品ラインナップを持っています。『企業と共同研究をするならば、シリカゲルを扱う企業でなければ』と考えていたこともあり、本当にまたとない出会いで『この会社となら一緒にできる』と直感しました。」

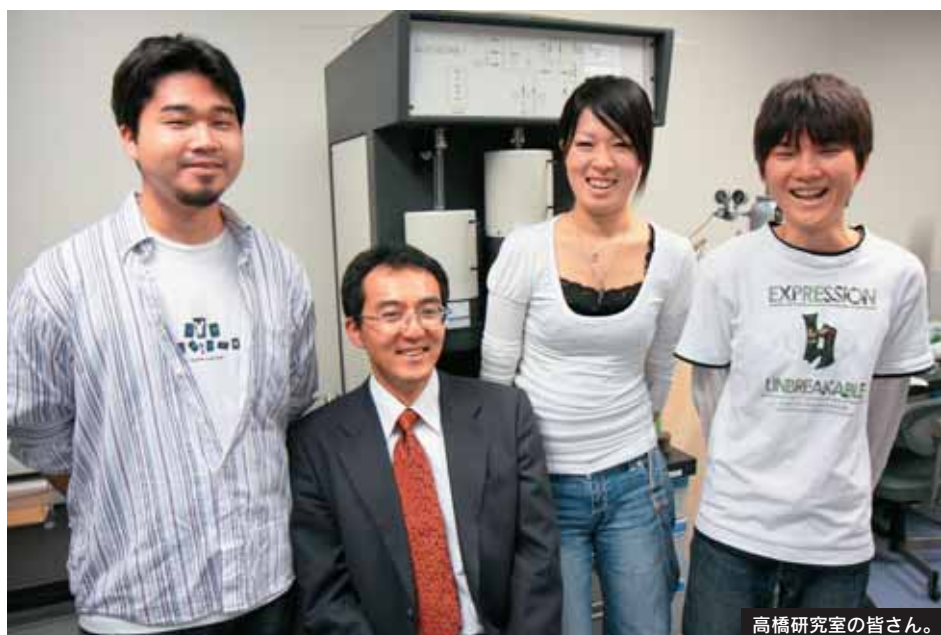
現段階での研究ステージは、前駆体^(注8)

としての二元細孔シリカをつくる技術開発と、シリカを修飾して結晶の機能性材料にする技術開発の2段階に分けられます。トクヤマさんが重点的に進めているのが、前駆体の二元細孔シリカ^(注9)を量産する技術開発です。私はそのために必要な技術要素についてピックアップし、課題解決に努めています。現状では量産可能な基礎データは出ており、プラント建造も視野に入ってきたと聞いています。ただ、ここから先にどれだけの市場があるのかが掴みきれず、いかなるニーズが立ち上がってくるかを検討しなければなりません。そのため、トクヤマさんから希望するお客さまにサンプルを提供し、評価をいただいている段階です。」

高橋先生らが想定しているユーザーは触媒メーカーはもちろん、医薬系の分離・吸着材料の他、有害物質の分離除去・分解、オゾンを使った水質改善、廃水処理を手がける環境関連など。また将来的には有機高分子と複合化し、燃料電池のイオン交換材料にも応用できる可能性もある。化学工学分野で使われれば、反応プラントの小型化や運転効率の向上、それにとともなう熱効率の改善や省エネ効果も期待できるという。

大学と企業の良いスタンスとは

高橋先生はかなり初期の段階から実用化を見据え、企業との共同研究を積



高橋研究室の皆さん。



たかはし りょうじ

1996年、京都大学大学院工学研究科博士課程修了。千葉大学工学部応用化学科、愛媛大学大学院理工学研究科助教、准教授を経て2007より現職。研究テーマは無機多孔体の合成、固体触媒の調製、触媒反応プロセスの開発、マイクロリアクターおよび分離材の一体作製、細孔内分子輸送の定量的評価。日本セラミックス協会、触媒学会、日本化学会に所属。



学部生に人気のある高橋先生の講義。時には、難解なテーマをユーモアのある例えを交えて解説することも。

極的に推し進めてきた。大学の一研究者として、企業とコラボレートする上でのポイントを聞いた。

「第一に、特許出願が大学側になるか企業側になるかはともかくとして、研究に関連したものは全て『共同研究の成果として使ってください』というスタンスを大学側がとることです。それが企業側にとっては最大のドライビングフォースとなります。第二には、大学側の研究発表の自由度です。つまり特許を出願した後は研究発表については制約をかけないと事前に了解を得ておく。特許が公開されるまで発表を控えることは、大学院生の学会発表を規制することにもなり、研究意欲の低下を招きかねません。第三には、独立行政法人化した大学が知的財産を有効利用しようとするあまり、企業との共同研究についても成果を管理しようとする問題です。大学が前に出すぎて権利を取得しようとするならば、企業のモ

チベーション低下につながるケースがあります。こういったことはできる限り避けなければならないでしょう。」

高橋先生は産業応用を目指す研究者に求められる資質を「謙虚であること」と語る。逆にいえば成功する研究者は総じて謙虚であり、だからこそ実用化への道も開けてくるという。

「研究者は得てしてプライドが高く『ああしたら、こうしたら』というアドバイスをなかなか受け入れられない人が多いですね（笑）。幸い、私はそういうプライドとは縁がない人間でしたし、自分の知らない分野に飛び込んで教えてもらう立場でしたから、謙虚さが無かったらたぶんうまくいかなかったでしょう。研究者が描く実用化への道はひとりよがり、企業の方が聞いたら笑い話にしかならないようなストーリーも多はずです。それに対してヒントをもらったときに、自分の考えを軌道修正できないと実用化にはつな

がっていきません。」

高橋先生はまた「研究に没頭していればいいというイメージが強かった理学部にもこれからは産学連携という視点が必要だ」と考えている。

「私が愛媛大学の理学系に採用された理由も、おそらくその部分を期待されたことだと認識しています。しかし、だからといって理学部全体がそちらに動いてしまったら、結局は工学部と何が違うかという議論に行きついてしまいます。やはり、基礎サイエンスを取り扱うセクションとしての理学部は絶対必要です。私の研究でも『なぜこういう構造ができるのだろう』という『なぜ』の部分は絶対に重要視していきたいですし、学生にも理解してほしい。特に理学部は教職を志望する学生を育てる場でもあります。」

今後の理学部の研究においても、基礎と実用研究のバランスが重要なのだと思います。

大学が社会に還元できるものは研究開発の成果を実用化する以上に、学生を育てて世に送り出すことです。サイエンスを学んでよかったと思える卒業生、社会で活躍できる卒業生を一人でも多く育成していくことはわれわれの大きな使命です。卒業生が何年もたってひょっこり研究室を訪ねてきてくれる。これは私にとっては無情の喜びであり『大学の教員をやっていたよかった！』と思える瞬間なんですよ。」

注1：酸化ケイ素を主成分とする非晶質の多孔体で表面積が広い、乾燥剤などに使用されている。

注2：物質を分離・精製する技法のこと。物質の大きさ、吸着性、電荷、質量、疎水性などの違いを利用して成分ごとに分離する。

注3：カラムクロマトグラフィーの一種。移動層として高圧に加压した液体を用いることが特徴。

注4：物質の分離などに用いる円筒状の容器または装置のこと。

注5：アルミニウムの酸化物である酸化アルミニウムのこと。

注6：水ガラス（みずがらす）は、ケイ酸ナトリウムの濃い水溶液のこと。

注7：結晶中に微細孔を持つアルミノ珪酸塩の総称。もとは天然に産出する鉱物であり、内部に水が含まれているため加熱すると沸騰しているように見えることから沸石とも呼ばれる。

注8：ある化学物質について、その物質が生成する前の段階の物質のことを指す。

注9：マイクロメートルサイズの細孔とナノメートルサイズの細孔を併せ持つシリカゲル。