

有機化学研究の現場：
分けることは分かること辻 勇人
(化学専攻 准教授)

上方落語の巨匠、故・桂枝雀師匠が演じる「夏の医者」のという噺の枕に、「分けるっちゅうことは、分けられるっちゅうことです。分けることによって分かるようになるんです。」という一節がある。膨大なデータを注意深く分析して、意味のあるシグナルや傾向を見出すという理学の手法に通ずるものがある。

筆者が従事する有機化学の研究でも、分けるという作業は重要である。有機化学実験は一般に、反応させたい物質（基質）に様々な反応剤を加え、全部の物質または一部が溶解する有機溶媒中で行われるが、ほとんどの場合は目的物以外の物質（副生成物）も生成してしまう。酸性・塩基性の物質が副生する場合は、これらを中和するための物質を加えることもある。反応が進まない場合には、反応を促進するための触媒を加えることもある。そのため、反応が終わった後のフラスコの中は一般に混沌とした混合物であり、そこから目的物だけを取ってくる「単離・精製」とよばれる操作が必要となるわけである。純度が低いと、目的物の本来の性質や活性が分からないこともある。下手をすると構造すらきちんと分からない場合もある。

製品として使われる物質では、純度がしばしば重要視される。医薬品などは純度の要請が厳しく、余計な物質の混入はおろか、触媒に使った金属が（種類によるが）ppm（100 万分の 1）単位でも残留しないように規制されている。最近では、発光したり電気を通したりする機能性有機化合物と呼ばれる物質が注目されており、これらも不純物の混入が性能を大きく左右することがある。

単離・精製の成否は実験の成功の鍵を握るとも言え、有機合成ではその作業に比較的多くの時間が費やされる。実際の有機合成実験の流れを見てみよう。まず、図のようにフラスコや試験管の中で反応を行い（パネル 1）、反応完了後には分液操作（パネル 2）がよく行われる。水と油（有機溶媒）が混じらない性質を利用して、水溶性物質を水層へ、油溶性物質を有機層へと分配する。分液後の物質は、再結晶やクロマトグラフィー（パネル 3、パネル 4）によって精製され、純物質（パ



ネル 5) を得る。液体物質の精製には蒸留も使われる。ちょっとした単離・精製方法の違いによって、得られる物質の量や純度が大きく変わることもあり、センスと経験がものを言う。操作法の大原則は世界共通ではあるが、研究室の流儀や個人によって方法が微妙に異なることもあり、他の研究者の実験操作を観察するのはちょっとしたマニアックな楽しみである。超高純度サンプルが求められる時は、高速液体クロマトグラフィー（パネル 6）や昇華精製装置などの様々な装置を用いてより高度な精製を行う。得られた物質の構造決定や物性評価には、様々な分光法が用いられる。理学の現場第 10 回（2014 年 11 月号）で採り上げられた NMR もその一つである。字のごとく、やはり分けることによって分かるのである。

実験としてはここまでで良いが、研究成果を論文や学会で発表する際には、何が新しいのか、何が独創的なのかを読者や聴衆に分かってもらえるように説明しなければいけない。そのためには、関連研究について勉強して、世の中でどこまで分かっている、何が分かっているのかを知っておく必要がある。このように、有機化学研究の現場では知力・体力を総動員した「分ける」努力が日々続けられている。

有機合成実験の流れ。反応開始から、抽出、クロマトグラフィーによる単離・精製の例

295km先の標的めがけ ニュートリノビームを「撃つ」

横山 将志
(物理学専攻 准教授)

ニュートリノという素粒子(「物理学のキーワード」第28回を参照)には電子型、ミュー型、タウ型の3種類が存在することが知られているが、その性質にはまだ謎が多く、素粒子の標準模型を超えた新しい物理への手がかりを秘めているのではないかと考えられている。中でも、飛行中にニュートリノの種類が変わってしまう「ニュートリノ振動」という現象の研究は、現代の素粒子物理学の大きなテーマである。

ニュートリノ振動は、東京大学宇宙線研究所のスーパーカミオカンデで1998年に発見された。これは、宇宙から飛来する宇宙線と地球大気の衝突で作られるニュートリノを観測した結果であった。私たちは現在、茨城県東海村にある大強度陽子加速器施設、J-PARC(よく「J-PARK」と間違えられるが、最後は「C」)から、295km離れた岐阜県飛騨市神岡町にあるスーパーカミオカンデ検出器に向けて、日本列島を横断して人工ニュートリノビームを打ち込む「T2K(Tokai-to-Kamioka)実験」を行っている。素性のよくわかった人工のニュートリノビームを使うことで、より精密な実験が可能になる。ニュートリノ振動は、波動関数の重ね合わせの状態が時間発展とともにずれることによって起こる現象であり、この実験は300kmというスケールでの量子力学的干渉効果の研究でもある。

ニュートリノは地球くらい簡単にすり抜けてしまえるほどに物質と相互作用する確率が低く、検出自体が難しい。ごく稀に反応したニュートリノを用いて研究を行うことになるために、強力なニュートリノ源が必要となる。J-PARCの陽子加速器から一度に取り出せる陽子の数は10の14乗個を超え、世界最高の性能を誇る。この強力な陽子ビームから作ったニュートリノビームを使って、2011年に、私たちはミュー型から電子型に変化する、新しい種類のニュートリノ振動を世界で初めて発見することに成功した。その直前には東日本大震災があり、J-PARCの加速器や実験施設も大きな被害を被ったが、その暗雲を吹き飛ばす成果となった。その後施設を復旧してさらに実験を続け、今はニュートリノとその反粒子の性質の違いを探索するという、新しい目標に向けてデータを蓄積し続けており、さらに次期計画としてスーパーカミオカンデの20倍の大きさを持つハイパーカミオカンデ検出器の建設も提案している。

T2K実験は、11カ国から約400人の研究者・大学院生が参加する国際共同実験である。そのうち日本人は約80人。世界一の性能を持つ施設で研究をしたいという科学者が世界中から集まっている。実験装置も国際共同で分担して製作した。J-PARC施設内にある前置ニュートリノ検出器では、ヨーロッパのCERN研究所で弱い相互作用を媒介するW粒子・Z粒子を発見した実験(1984年のノーベル物理学賞)のために作られた電磁石を運んできて利用している。その内部に設置した最先端の粒子検出器群も、各国の研究者がそれぞれ得意な技術を持ち寄って作った。いろいろな考え方を持つ研究者の集団ではあるが、同じ科学の謎を追うという共通の目的を持っているために、自然と協力体制が作られる。J-PARCのような基礎科学の研究施設は国際協力の「現場」としても特色ある場所となっている。

J-PARCでは、他にも陽子ビームを使って作られる大強度のミュオン、中性子、K中間子といった二次粒子を利用した物質科学や生命科学の研究、原子核や素粒子の性質の研究が行われており、理学系研究科でも多数の研究室が利用している。

大強度陽子加速器施設J-PARC
の航空写真。写真提供: KEK/
JAEA J-PARC センター

