



# 化学はどこへ行くか

## ——次世代の化学が目指すべきこと——

中村栄一・相田卓三・菅 裕明・徳山英利・内山真伸

### 科学に浸透する化学

内山（司会） 化学はこれまで人類の発展に大きく貢献してきました。たとえば、ハーバー・ボッシュ法によるアンモニアの合成や、さまざまなポリマーや医薬品の合成があげられます。今後、さらなる化学の発展には新しい取り組みも必要ではないかと考えています。しかし一方で、「化学は見えにくい」という声も聞こえてきます。また、今は応用研究が重視される風潮ですが、知を消費しているだけでは持続的発展は望めず、知を生み出していくような基礎研究とのバランスも重要です。

本日はこうした点を踏まえ、化学はどこへ行くのか、さらなる発展を遂げるためにはどうすべきなのか語り合ってくださいと思います。

相田 まず、「化学は見えにくい」とよく言われるのですが、化学は英語と同じで最も広く浸透しているから見えにくくなっているのだと思うのです。つまり、使われすぎているので、逆にその存在が見えにくくなっている。そういう意味では、見えなくなっていること自体はすごい

いのではないかと考えています。

また、基礎研究や応用研究って対峙していることが多いのですが、本当は出口を選ぼうとしたときに、これまで誰も手を付けていない基礎の領域を発見することもあると思うのです。だから、あえて対峙する必要はないのではないかと考えているのです。

中村 JST（科学技術振興機構）のミッションは出口はあるけれど基礎がないところにプロジェクトをつくる。科研費は基礎があったところから出口を見つける。この両方が必要なのですよ。

菅 基礎研究、応用研究、橋渡し研究、開発研究（R&D）から商品化までつながっているのが化学なのです。ほかの分野ではそこが全部分断されていて、つながりがない。今はそのつながりが、化学がほかの分野と融合することによって見えにくくなっているのかもしれない。

今までは、大学が基礎研究をやり、できる人は応用研究もやって、それを外に出していけば大学の任務は終わっていました。しかし、今は企業の体力がなくなってきた、橋

渡し研究に当たる部分も大学でやるべきだというのが一般的になりつつある。ただ、あまりにも基礎研究を疎かにしながら、応用研究と橋渡し研究だけをやるようになってしまえば、何の発見も起こらないし、絶対によくありません。こうした情勢のなかで、これからの大学の化学研究はどうなるべきなのか考えなければいけません。また、基礎から開発研究までつながっているはずの化学のサイエンスをどのように社会に認めてもらうかは、すごく重要だと思ふのです。

**徳山** 私は全合成をやっていますが、この分野からはイノベーションが起りにくいと見られることから非常に風当たりが強く、そのうち消滅してしまうのではないかと危惧しています。しかし、創薬の場ではどうしても必要な基盤技術です。たとえば感染症ではまともな医薬がほとんどないなど、私たちが取組んでいかななくてはいけない世界規模の課題がたくさんあります。こうした、ある程度ミッションを決めて取り組むべき研究もこれからやっていかなければいけないと思っています。

また、今活躍している先生方は反応なり合成を基本として、ものづくりをしてきた方が多いと思うのですが、最近では、合成技術を飛ばして機能から入る学生がかなりいます。欲しい化合物をしっかりと合成できる力が弱いところでその先の発展がどこまでできるのかは気になっています。

### 化学はAI研究に取り組むべきか

**中村** 分野がもっと流動すれば、全合成にも新しい人がどんどん入ってくると思うんです。全合成は匠の技が必要だという話になるから、参入する人が少なくなって、インパクトが弱くなっていくのですよ。だから、だれでも簡単に全合成ができるようになったら、みんな次々に新しいものをつくって分野自体が盛り上がると思いますよ。

**相田** The computer for the rest of us. スティーブ・ジョブズの言葉ですが、これと同じでみんなに技術が開放されると、がっとう分野が発展すると思うんです。たとえば高分子の場合、有機化学の人もクリックケミストリーを使ってポリマーをつくれるようになってきています。昔は特定の人にしかできなかったことが、今では素人でもできるようになってきた。こうして大きなパラダイムシフトが起こっているのだと思います。

**徳山** E. J. コーリー（米国の有機化学者、複雑な有機化合物の合成理論と方法論の開発により、1990年ノーベル化学賞を受賞）が先鞭をつけた有機合成の自動設計も、いまだ実用的なレベルのものはないと思います。AI

（人工知能）を組合わせて可能になると、だれでも有機合成ができるようになるかもしれません。

**菅** 今おそらく日本の化学が強い一つの理由は、匠技なり力技があったからこそだと思うのです。だけど、そうした技術が誰でも使えるようになるということは、スーパースターしか研究者にはなれなくて、ほかの人たちはみんな研究者ではなくなる可能性だってあるわけですよ。と言いながら私もロボットに全部実験させたりしているのですが（笑）。

**相田** AIが本当に研究分野に進出すると、そこそこのアイデアは出してくれるようになるんじゃないかと思うんです。つまり、コンビニのようにそこそこでいいならAIで済んでしまう時代になる（笑）。

### 中村栄一（なかむら・えいいち）博士

東京大学総括プロジェクト機構特任教授。東京大学名誉教授。理学博士。1951年東京都に生まれ、1978年東京工業大学理工学研究科化学専攻博士課程を修了。物理有機化学、合成化学を基盤として、分子の直接観察による構造・反応性の理解や、活性炭素クラスター、有機薄膜太陽電池を研究中。

### 相田卓三（あいだ・たくぞう）博士

東京大学大学院工学系研究科教授、理化学研究所創発物性科学研究センター副センター長（兼務）。工学博士。1956年大分県に生まれ、1984年東京大学大学院工学系研究科合成化学専攻博士課程を修了。高分子の合成反応制御法や、光・超分子化学、生体関連分子による分子認識と触媒機能に関する研究などを行う。

### 菅 裕明（すが・ひろあき）博士

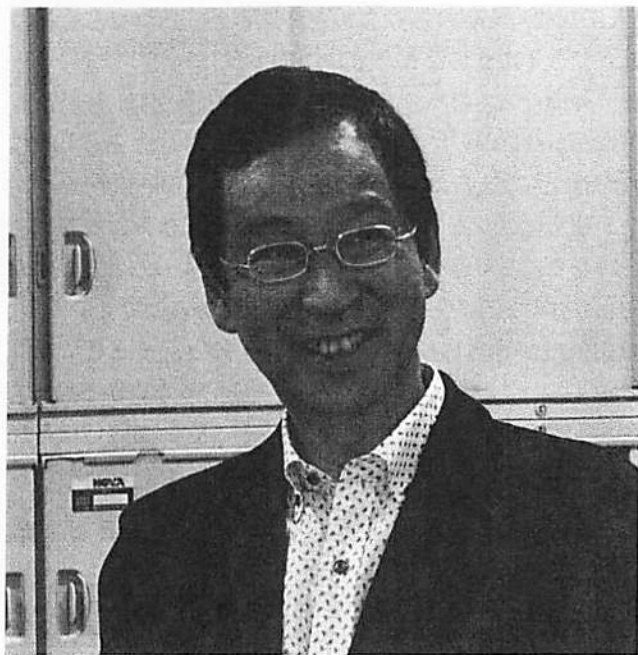
東京大学大学院理学系研究科教授。Ph.D. 1963年岡山県に生まれ、1994年マサチューセッツ工科大学化学科を修了。有機化学を生物学に取入れ、創薬につながるような技術開発を目指している。人工リボザイムによる特殊ペプチド創薬技術を開発。

### 徳山英利（とくやま・ひでとし）博士

東北大学大学院薬学研究科教授。博士（薬学）。1967年神奈川県に生まれ、1994年東京工業大学大学院理工学研究科化学専攻博士課程を修了。医薬品合成を目的とした新規合成反応や、生理活性物質の合成経路の開発に従事。

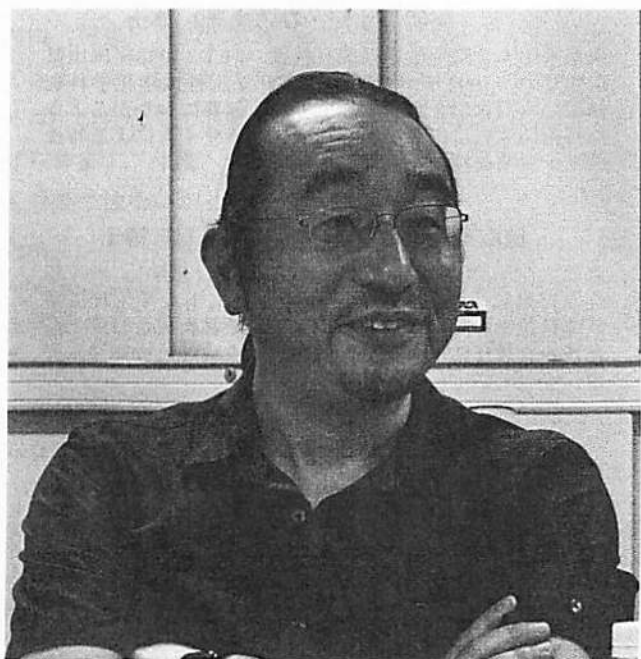
### 内山真伸（うちやま・まさのぶ）博士

東京大学大学院薬学系研究科教授、理化学研究所主任研究員（兼務）。博士（薬学）。1969年埼玉県に生まれ、1995年東京大学大学院薬学系研究科修士課程を修了。元素化学、理論計算、分光学を組合わせて、物質の性質や現象を分子・原子・電子といった「化学の言葉」として理解し、生命現象の解明や新分子、新機能創出に挑んでいる。



中村 栄一 博士

中村 当たり前のことだったら、教科書どおり試薬をただ混ぜたりすればいいだけなのです。だから化学者はもっと面白いことを、やるべきだと思ったことをやる。AIを使えば簡単に物ができるようになるのだから、それを利用した研究が今後重要になってくると思います。そのためにも、化学はもっと真剣にAI研究に取り組む必要があるのではないのでしょうか。



菅 裕明 博士

### 次世代の化学を生み出す

——今後化学が力を入れる領域とは——

内山 AI以外にも化学が貢献できる領域、力を入れるべき領域があると思いますがいかがでしょうか。

中村 鉱物や海底探索などの地球化学は面白いと思います。ただ単に海洋天然物に着目するだけでなく、海の底の化学があるのではないかと。たとえば、地震は化学と関係があるようには見えませんが、滑りなど、化学者がやれることがあるのではないのでしょうか。

菅 対象がマクロな現象ですね。化学はどちらかというところ、マイクロ現象を扱うことが多いと思いますが。

中村 マクロ現象の根底にある化学、マクロな現象にナノレベルで介入していくことが重要になってくるのだと思います。

あとは、やはり元素戦略が大切だと思います。

相田 元素といえば、リンの問題があります。窒素は空気中から取れますが、リンは無理ですから、60年で半減するので肥料ができなくなってしまいます。元素は変えられないので、大きな問題ですよ。

中村 食糧問題に寄与する研究はきわめて大切です。食料自給率の向上は、化学にかなり関係のある課題ですよ。

徳山 薬学部でも化学から生物までの幅広い知識を強みに農業関係の会社に就職する学生が出てきています。農業はその辺に撒くので小分子でなければだめなのです。医薬だけでなく肥料などにも、さらに積極的に化学者が貢献していく必要がありますね。

菅 あと、脳科学は面白いですよ。たとえば、バーチャルリアリティって聞くと、私はドラえもんを思い出します。ぼっと山の風景が出て、いいところにいるなって気分になることとかよくあるじゃないですか。あれは単に映像だけを見せてもだめだと思うのです。おそらく脳に何らかの刺激がいかないとイケませんよね。

中村 刺激するだけで匂いを感じるようにしたりとかね。映画館で電波が来て、匂い成分が存在しないのに脳が感じてしまうとか。だけどこれは、倫理問題が出てきてしまいますね。

内山 高分子の分野では力を入れていることはありますか。

相田 高分子は材料科学と密接に関係しており、基礎研究が製品とすごく近いのが特色ですね。「こんな性能を出すにはこういう結晶構造と、こういうアモルファス構造を組み合わせるとよく、そのためにはこんな化学構造と分子量の高分子が必要」といったことがモノマーレベルまで一気通



相田 卓三 博士



徳山 英利 博士

貫すると、この分野は一つ完成したことになると思います。それをコンピューターがするのか人がするのかはわかりませんが。

中村 それは高分子化学独特の考えですよ。商品があって、商品の問題点を解決しなければいけない。これはその場しのぎの解決ではだめで、もっと基礎まで戻って根本を理解したうえでアプローチしましょうという考えですね。

相田 分子の集合体である有機材料の世界では、どんな分子を使うかでナノ構造まではおおかた予言できますが、その上のメゾとかマクロな構造との間には不連続なギャップが存在しています。物性を大きく左右する領域であるがゆえに、そのギャップをつなく必要があるんです。これが今後の大きなミッションだと思います。

中村 量子の世界と現実世界の100 nmくらいにある境界ですね。細野秀雄さんがずっとやられていることの一つですが、今までの無機化学は1原子の性質でしたが、多数の原子を使って、1原子では存在しないような性質を出す。これに尽きると思います。有機金属化学もそうですが、一つの元素じゃなくて多種類の元素から、これまで存在しない元素の性質を合理的にデザインする。これが今後の無機化学では重要になってくるのだと思います。

#### 出口思考から生まれる基礎研究

相田 高分子の世界って相変わらず自動車産業とセットなんです。たとえば、ぶつかっても凹まないプラスチックの

開発など。だけど、そこはAIの技術と競合していて、もし車がぶつからなくなると、もうその材料自体がいらなくなるんです。どっちの実現が早いのかの話なんですよ。化学メーカーが材料だけにこだわっているとすると残念ですね。

内山 化学が他分野と連携する際にはいつも重要になってくる視点です。



内山 真伸 博士

## C-H結合活性化はどこまで進んだか

内山 数十年前には不可能だと思われていたことが、この数年で可能になってきた技術などがありますか。

徳山 中村先生もやられています、C-H結合活性化はかなりできるようになっていますよね。

中村 意外に簡単なのですよ。なぜかと言うとC-Hはもともとあまり活性がないので、うまく反応する条件さえ見つけたら副反応は起こりにくい。

菅 1995年、野依先生とマッターホルンに行くことがあったんです。そのとき野依先生に「有機化学には何かやるものが残っていますか」と聞くと、「炭化水素の炭素に選択的に酸素を入れる、要はC-H結合を活性化して酸素を入れることができたなら化学は変わる」と。つまり、炭素と水素だけでほかは何もないつるつとしたところに酸素を入れられるようになったらすごいと。今のC-H活性化もまだそのレベルには到達していないですよ。野依先生が30年前におっしゃられたことは、いまだにできていないに近いと思うんですよ。

中村 それは未来永劫できないと思います。何にもない

炭化水素は無理ですよ。無理なものとそうじゃないことは区別しないとけません。

相田 未来永劫ですか？これ記録に残りますよ（笑）。

中村 炭化水素のある一部を選択的にアルコールにするのは無理です。たとえばオクタンの1,2,3,4位を全部選択的に変換などは決してできません。

菅 それは無理かもしれないですけど、たぶん野依先生はそこまでおっしゃっていないのです。ここで有機化学の細かな話をしてもしかたがないのですが、たとえば炭化水素末端にカルボン酸が入った非対称の分子を基質として、そこから離れた炭化水素の一つに位置選択的に自由に酸素を入れたりできれば、すごく面白いと思います。だけど自由に入れることは未来永劫できないですか？

中村 末端や末端から2番目はできるかもしれない、たとえば生化学のシステムはそうですから。だけど、何のトリックもないところに自由に入れることは絶対にできないですね。

菅 自動車もそうですが、今ほとんどの移動手段は車輪を使っていますよね。すると、化学が貢献できるのはせいぜいゴムの性質をよくするくらいです。だけど発想を変えて、化学の力で、たとえば車も最初だけは動力で動かすとしても、あとはスーッと滑って行くとかできたら面白いと思うのですが。

中村 原理的には超伝導のリニアモーターカーがそれですよ。

菅 でも、リニアモーターカーだと電気代もかかるし、い

ろいろな問題がある。高分子ではこんなに摩擦の研究もやっているのでは何かできないのかと。そういうところに向けていけば、儲かるなあと思ったりして（笑）。

中村 こうして、これからの化学は何をやるべきなのかって考えると、最初に話をした出口思考の話になりますね。解決すべきテーマはあるのだけれど、そこにまだ基礎の化学がない。だから次はこの基礎化学の研究を進めましょう、となる。これが健全な出口思考だと思います。

内山 本日はありがとうございました。

MSD 生命科学財団

## 四半世紀記念万有シンポジウム

### —万有シンポジウムの総括と発展—

MSD 生命科学財団は 1989 年から有機合成化学に関する万有シンポジウムを国内各地で開催し、数多くの人材育成に寄与してきました。活動開始から四半世紀が経過した本年、日本初のイノベーションを加速するため、今後の有機合成化学が目指すべき方向を考えるため、記念シンポジウムが開催されます。

日時：2016年12月3日（土）13:00~17:00

会場：東京大学伊藤国際学術研究センター伊藤謝恩ホール

参加費：一般（教員/博士研究員/企業）10000円  
（当日13000円）

学生（大学院/学部）無料

定員：400名

おもな登壇者：中村栄一・徳山英利・伊丹健一郎・相田卓三・山本尚（基調講演）・大村智（特別講演）・藤田誠

※ 詳細はホームページをご確認ください

URL：<http://www.msd-life-science-foundation.or.jp/>

主催：四半世紀記念万有シンポジウム実行委員会