

平成18年度文部科学省科学研究費補助金「研究成果公開発表(A)」

代表者：巽 和行(名古屋大学物質科学国際研究センター)

ものづくり
**化学の
不思議と夢**

平成**18**年**10**月**14**日(土)~**15**日(日)

一橋記念講堂

千代田区一ツ橋2-1-2(学術総合センター2F)

[後援] (財)化学技術戦略推進機構、(社)日本化学会、日本化学会化学教育協議会、
(社)近畿化学協会、(社)日本化学工業協会、(社)有機合成化学協会、触媒学会

<http://www.kuba.co.jp/chemistry/>

予稿集

ものづくり
化学の
不思議と夢

制作

株式会社クバプロ

〒102-0072 千代田区飯田橋 3-11-15 UEDAビル 6階

TEL: 03-3238-1689 FAX: 03-3238-1837

E-mail: symposium@kuba.jp



A 開会挨拶

13:00 ~ 13:10 開会挨拶
異 和行 (名古屋大学)

B 研究成果の概要と社会とのかかわり

13:10 ~ 13:40 過激(ラジカル)な化学 10
大瀧 幸一郎 (京都大学)

13:40 ~ 14:10 超臨界二酸化炭素 — 環境にやさしい化学を考える — 13
碓屋 隆雄 (東京工業大学)

14:10 ~ 14:40 ナノ化学と社会 16
中條 善樹 (京都大学)

14:40 ~ 15:10 シリコンがつくる新しい社会 19
吉良 満夫 (東北大学)

15:10 ~ 15:25 質疑応答

15:25 ~ 15:40 休憩

C 若手化学者が市民に語る I

15:40 ~ 16:10 水素の世界 24
小江 誠司 (九州大学)

16:10 ~ 16:40 鏡像異性体をつくりわける 27
袖岡 幹子 (理化学研究所)

16:40 ~ 17:10 「水と油」が助け合う化学 30
魚住 泰広 (分子科学研究所)

17:10 ~ 17:25 質疑応答

10月14日 土



ものづくり 化学の不思議と夢

D 特別講演

- 10:30 ~ 11:10 **金属で糖尿病を治す** 34
桜井 弘 (京都薬科大学)
- 11:10 ~ 11:40 **実験を基盤とした化学の理解増進活動** 37
— 化学教育の現状と問題点が見える —
齊藤幸一 (開成学園高等学校)
- 11:40 ~ 11:55 **質疑応答**
- 11:55 ~ 13:00 **休憩**

E 若手化学者が市民に語る II

- 13:00 ~ 13:30 **分子で作る化学工場** 42
唯 美津木 (東京大学)
- 13:30 ~ 14:00 **右と左 — その後の展開 —** 45
徳永 信 (九州大学)
- 14:00 ~ 14:15 **休憩**

F 特別講演

- 14:15 ~ 14:55 **歴史と共に考える — 化学教育システムと人材養成 —** 50
山本 明夫 (早稲田大学 / 東京工業大学名誉教授)
- 14:55 ~ 15:10 **休憩**

G パネル討論

- 15:10 ~ 16:10 **化学の夢を大いに語る** 55

H 閉会挨拶

- 16:10 ~ 16:20 **閉会挨拶**



10月15日 日

平成 18 年度文部科学省科学研究費補助金「研究成果公開発表(A)」
ものづくり—化学の不思議と夢

開	催	趣	旨
---	---	---	---

研究成果公開発表(A)「ものづくり 化学の不思議と夢」の開催にあたり、代表者としてひとことご挨拶申し上げます。

文部科学省科学研究費補助金による多大な支援を得て、私どもは平成 14 年度から 4 年間にわたり、特定領域研究「動的錯体の自在制御化学」を推進してきました。その研究活動の成果を踏まえ、化学における「ものづくり」のすばらしさと重要性を一般社会に広く知っていただくために、この公開シンポジウムを企画いたしました。

化学の研究は、分子およびその集合体を創造しながら、新しい科学概念との出会いとともに進歩してきました。標的とする化合物を意のままに設計し、選択的かつ高い効率で合成し、そして意のままに利用することが化学に与えられた使命です。化学は我が国が得意とする研究分野で、分子レベルの「ものづくり」とそれを担う化学反応が、我々の高度な文明社会や生命の営みを支えています。特に、周期表の中下部にある重い元素から構成される高周期元素化合物群は、次世代の「ものづくり」研究の鍵となる物質として期待されています。本特定領域研究では、立体構造や電子構造が柔軟で時間的・空間的に多様な動きをみせるこのような高周期元素化合物群に注目して、その動きの本質を見極めて化学反応を精密に制御する新しい学問の創出をめざしました。共通の理念と目標に向けて、約 100 名の優秀な化学者が日夜研究に邁進してきましたが、その成果を本公開シンポジウムで問うものです。

本シンポジウムでは、我々の研究成果と社会とのかわりをわかりやすく紹介するとともに、若い研究者に自身の夢と化学の将来像を熱っぽく語ってもらいます。また、著名な化学者で日本の化学の生い立ちにも詳しい山本明夫先生、糖尿病に化学で挑戦されている桜井弘先生、未来の化学者を育成すべく奮闘されている齊藤幸一先生に特別講演をしていただきます。最後に、若手化学者を交えてパネル討論「化学の夢を大いに語る」も企画しました。

我々の社会生活とあらゆる基礎学問の進歩を支えている「化学の不思議と夢」を、我々研究者と一緒に考えようではありませんか。



開会挨拶 **A**

開会挨拶
巽 和行



巽 和行 (たつみ かずゆき)

名古屋大学物質科学国際研究センター・教授。工学博士。

1976年大阪大学大学院基礎工学部研究科化学系専攻博士課程修了。米国テキサスA&M大学およびコーネル大学で博士研究員のあと、1982年大阪大学理学部高分子化学科助手、1991年大阪大学基礎工学部合成化学科助教授、1994年名古屋大学理学部化学科教授を経て、1998年より現職(名古屋大学大学院理学研究科兼任)。名古屋大学物質科学国際研究センター長および名古屋大学評議員を併任。

2005年から国際純正応用化学連合(IUPAC)無機化学部門 副議長。2002～2006年特定領域研究「動的錯体の自在制御化学」領域代表。

専門は錯体化学、有機金属化学、生物無機化学。

1998年井上學術賞、2004年アレキサンダー・フォン・フンボルト學術賞受賞。

著書に『分子軌道法に基づく錯体の立体化学・上、下』(講談社サイエンティフィック、1986年)などがある。



研究成果の概要と社会とのかかわり

B

座長..... 小宮 三四郎

●
過激(ラジカル)な化学
大鷹 幸一郎

●
超臨界二酸化炭素 — 環境にやさしい化学を考える —
碓屋 隆雄

●
ナノ化学と社会
中條 善樹

●
シリコンがつくる新しい社会
吉良 満夫



.....

小宮 三四郎 (こみや さんしろう)

東京農工大学大学院共生科学技術研究院ナノ未来科学研究拠点 / 同大学工学部応用化学専攻・教授。工学博士。

1970年東京工業大学理工学部合成化学科卒業。1975年東京工業大学大学院理工学研究科化学工学専攻博士課程修了。1975年インディアナ大学化学科博士研究員、1977年東京工業大学資源化学研究所助手、1982年東京農工大学工学部助教授、1987年同大工学部教授を経て、2004年より現職。

専門は有機金属化学、錯体触媒化学。現在は触媒反応における異種金属間協同効果、水中での有機金属化学、遷移金属錯体による化学結合の活性化などに関心をもって研究している。

1975年手島記念研究奨励賞受賞。

著書に『Synthesis of Organometallic Compounds-A Practical Guide』(Wiley, 1996年)、『有機金属化学 その多様性と意外性』(裳華房、2004年)などがある。

過激(ラジカル)な化学



京都大学大学院工学研究科

大鷹 幸一郎

1. はじめに

「ラジカル」を辞書で引くと、過激なさま、急進的なさま 化学で遊離基、フリーラジカルと記述されている。遊離基(ラジカル)とは奇数個の価電子をもつ化学種で塩素ラジカル($\cdot\text{Cl}$)やメチルラジカル($\cdot\text{CH}_3$)などがその代表である。反応性が高く、不安定で、その寿命は0.0001秒以下と非常に短い。過激なタイトルをつけさせていただいたが、本講演ではラジカル反応に焦点をあて、ラジカル種が我々の生活にどのように関わっているかについて述べるとともに、ごく最新のラジカル反応の進展についても言及したい。

2. 身のまわりのラジカル反応

化学繊維や医薬品など石油を原料とする数多くの製品が我々の生活を支えている。タンカーで運ばれてくる原油は蒸留操作によってガソリン、灯油、軽油、中油、重油、タール、ピッチに分けられ、それぞれの用途に用いられる。粗製ガソリン(ナフサ)は、さらにクラッキング操作によってエチレン、プロピレン、ブタジエン、イソブレンなど重要な炭化水素に変換される。プロパンガスは燃料として利用される。これらクラッキングやプロパンの燃焼はいずれもラジカル反応によって進行する。大きな環境問題であるオゾン層の破壊もラジカル反応によるものである。

成層圏(地上15~50km)では、太陽からの強烈な紫外線によって酸素はオゾンに変換される。まず酸素がホモリティックに開裂して2つの酸素原子となる。このものが酸素と結合することによって特徴的な臭いをもつ青味を帯びた気体であるオゾンが生成する。このオゾンは紫外線を吸収し、地上に達する紫外線のうち波長が200~300nmの人体に悪影響を及ぼす部分をカットしてくれている。すなわち成層圏では O_3 と O_2 の間に平衡が成り立っている(図1、左式)

トリクロロフルオロメタン(CFCl_3 、フレオン-11)やジクロロジフルオロメタン(CF_2Cl_2 、フレオン-12)のようなクロロフルオロカーボン(CFC)は、気化する際に多量の熱を吸収

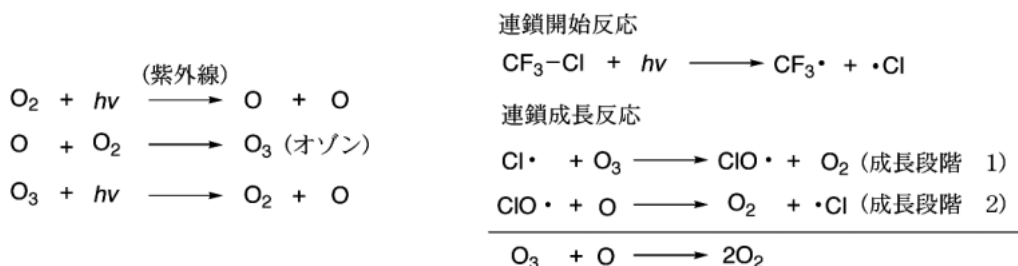


図 1

するので冷媒として冷蔵庫や自動車のエアコンに広く使われていた。これらの化合物は非常に安定で大気中に放出されると、対流圏(地上から 15 km まで)を超え成層圏にまで達する。成層圏では強烈な紫外線の照射を受け一番切れやすい C-Cl 結合がホモリティックに切断される。こうして発生した塩素ラジカルは次に成層圏に存在するオゾンと反応する。二つの成長段階において、一つめの成長段階で消費された塩素ラジカルが二つめの段階で再生される。二つの段階を足し合わせるとオゾン分子とオゾンの生産に必要な酸素原子が普通の酸素 2 分子に変換されることになる(図 1、右式)。この連鎖反応によって実際に大量のオゾンが分解され、成層圏でのオゾンの減少が衛星観測によって明らかにされている。特に南極大陸上空ではオゾン層の破壊が激しく、オゾンホールが観測されている。

オゾン層が減少すると、人体の組織を破壊する高いエネルギーをもった紫外線が大量に地上に降り注ぐことになる。皮膚がんにかかる人の数が著しく増加することが危惧されている。このような背景から 1995 年 12 月 31 日を最終期限として CFC 類の生産が禁止された。現在 CFC 類に替わる安全な化合物の開発が進められている。

3. ラジカル反応の新展開

(1) 水を溶媒とする高効率反応の開拓

現在環境に負荷をかけないプロセスの開発が必要とされている。そんな中で、有機溶媒ではなく、水を溶媒とする反応への注目が集まっている。しかし、単に有機溶媒の代替として水を用いるのではなく、さらに進んで水特有の性質を活かした反応の開発を目指している。たとえば、パラジウム触媒を用いるアセチレン類の反応では有機溶媒中で反応させるよりも水中で反応させる方が反応が格段に速く進行することを発見した。水中で反応を行うことで高価な貴金属触媒の量を有機溶媒中に比べて 1000 分の 1 にまで減らすことに成功した。

(2) 有機金属アート錯体を用いる高選択的合成反応の開発

塩化コバルトにアリルグリニャール反応剤を作用させて得られるコバルトのアート錯体はハロゲン化アルキルに対して 1 電子を与えアルキルラジカルを生成させる。次に、この

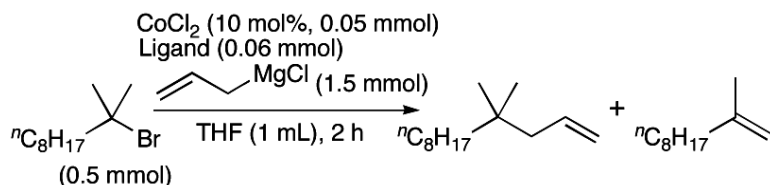


図 2

ラジカルはコバルトと再結合することによってアルキルコバルト種となる。最後に遷移的脱離によってアルキル基とアリル基のクロスカップリング体が得られる(図2)。従来の反応剤では達成できないこうした反応がラジカルを中間体とすることによって進行する点が特徴である。

(3) 有機スズ化合物に替わる新規高機能反応剤の探索

有機スズ化合物は有機合成において非常に有用である。しかし、その強い毒性が最近問題となっている。毒性が少なく、しかも高い性能を持つ高機能反応剤の創製を目指して研究を行った結果ゲルマニウム、インジウム、ガリウム、ジルコニウムなどの水素化合物が有機スズ化合物の代替として有望であることを見出した。



大瀧 幸一郎 (おおしま こういちろう)

京都大学大学院工学研究科材料化学専攻・教授。工学博士。

1970年京都大学工学部工業化学科卒業。1975年京都大学大学院工学研究科博士課程修了。1975年米国MIT博士研究員、1977年京都大学工学部助手、1984年京都大学工学部講師、1986年京都大学工学部助教授、1993年京都大学工学部教授を経て、1996年より現職(改組による)。

専門は有機合成化学。特に有機金属化学。現在は種々の遷移金属触媒を用いる新規有機合成反応の開発に関心をもつ。

1983年有機合成化学奨励賞、2004年有機合成化学協会賞受賞。

著書に『基礎有機化学』(東京化学同人、2000年) 共著にボルハルト・ショアー『現代有機化学』上、下(化学同人、1996年)や『ほしいものだけ作る化学有機合成化学』(裳華房、2003年)などがある。

超臨界二酸化炭素

— 環境にやさしい化学を考える —



東京工業大学大学院理工学研究科

碓屋 隆雄

グリーンケミストリー

ものづくりの化学は、これまで天然からの恩恵をはるかに上回るさまざまな化合物をつくりだすとともに、多種多彩な機能を自在に生み出すことで、高度文明社会の発展維持のために多大な貢献をしてきている。新たな世紀に入り化学の重要性は変わらないものの、ものづくりの視点はこれまでの多品種大量生産から、必要なものだけを環境にやさしく、しかも資源やエネルギーの無駄な消費を極力排除してつくるグリーンケミストリーへと急速に移行している。今日、このような社会の要請に応えるためには、ものづくりの反応は、触媒を活用してあらゆる観点から究極の効率であること、有害で環境に負担をかける原材料や物質を極力使わないこと、さらに可能な限り単純な分離・精製プロセスである、など革新的なものづくり化学の開発が強く求められている。我々はこれまでのものづくりにおける常識から発想の転換をして、温暖化ガスとしてその排出削減を迫られている二酸化炭素をむしろ積極的に活用するものづくりに挑戦してきている。特に超臨界状態にある二酸化炭素に注目した。

超臨界二酸化炭素って何？

物質には気体・液体・固体の3つの固有の状態があり、さらに臨界点以上では温度および圧力をかけても凝縮しない流体相がある。この状態にある物質が超臨界流体であり、たとえば二酸化炭素は図1に示すように温度や圧力を微妙に調節するだけで、流体の密度、粘度、拡散係数および極性などの諸物性を、液体に近い状態から気体に近い状態まで連続的に大きく変えることができる。このような液体と気体の中間的性質、あるいは両者の優位点を兼ね備えた超臨界流体は、いち早く有用化学物質の抽出・分離などの抽出媒体として利用されている。たとえば、超臨界二酸化炭素によるコーヒー豆からの脱カフェイン技術は我々の身近な工業技術としてすでに確立されている。

一方、このような特異な性質をもつ超臨界二酸化炭素をものづくりの反応溶媒とすれば、

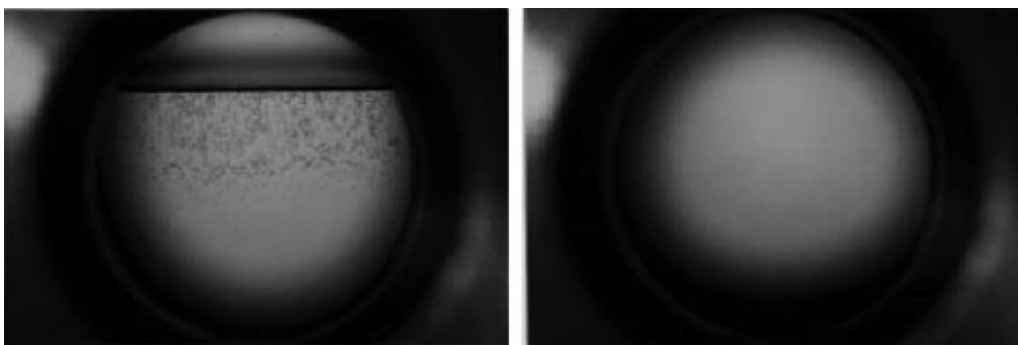


図1 液体二酸化炭素と超臨界二酸化炭素：サファイア窓付きオートクレーブ（高圧反応容器）内の写真。写真左は、30℃においてわずかに沸騰している液体二酸化炭素を示している。この状態で温度をゆっくり上昇させると二酸化炭素は激しく沸騰し、界面が徐々に消える。臨界温度31.1℃を越えると界面は完全に消えて右のような均一相を形成する。この状態にある物質を超臨界二酸化炭素という。容器内は32.1℃、10 MPaである

反応の速度や選択性が容易に制御できる、二酸化炭素自体が反応物となり固定化される、有害な有機溶媒の代替になる、さらに二酸化炭素が気体として簡単に分離され結果として無溶媒反応となる、などグリーンケミストリーに役立つ革新的化学・技術の創出が期待される。約10年前に、Rathke(1991年)や我々(1994年)は独立に超臨界流体の優位性にいち早く着目し、世界に先駆けて超臨界二酸化炭素が極めて有望な反応溶媒であることを発見した。この発見を契機に超臨界流体反応の研究は急速に展開し、今日までに非常に多くの成果が報告されている。

二酸化炭素が環境にやさしいものづくりに役立つ

二酸化炭素は温度31.1℃、圧力7.3MPa以上において超臨界二酸化炭素となり、水素や分子触媒をはじめさまざまな有機化合物を溶かすようになる。我々はこの性質を活用して、二酸化炭素(CO₂)が触媒の存在下に高速で水素(H₂)と反応して有用な化合物であるギ酸(HCOOH)を与えることを発見した。二酸化炭素が反応溶媒と反応基質になって、二酸化炭素自身の高速固定化反応による高付加価値化合物への合成例である。

最近では同様の発想から、3員環アミン化合物を共存させると環状アミンが環を開きながら二酸化炭素と共重合反応して、温度やpHの二つの外部刺激にตอบสนองして水に溶ける機能性高分子化合物へ変換できることを発見した。安価な二酸化炭素が機能性材料へと生まれ変わることを示す例である。また先に述べた特異な物性をもつ超臨界二酸化炭素を流通型連続反応システムの反応溶媒とすると、固体触媒や酵素触媒反応の選択性の精密な制御が可能となり、キラル化合物を含み高付加価値品が連続的に、しかも結果的に無溶媒で合成できることを見い出している。

一方、二酸化炭素と水素から合成されるギ酸は、見方を変えると二酸化炭素と水素の付

加体でもあり、二酸化炭素と水素に容易に戻る。そこでギ酸を水素源とするケトン類の触媒の還元反応が設計できる。実際、多機能分子触媒の存在下にケトン類の不斉還元によりキラルアルコール類が簡単にしかも高効率で合成できる。二酸化炭素を水素の運搬体とする実用性に優れた精密合成技術である。

最近の研究成果が示すように、これらのものづくりは確かにグリーンケミストリーの観点から好ましくもみえる。しかし二酸化炭素を使えるような状態にするために多大のエネルギーを使い、二酸化炭素を放出することになる。このように二酸化炭素の有効利用と削減は二律背反する課題である。近い将来、二酸化炭素を放出しないクリーンな太陽エネルギーが有効に利用できるようになれば、機能性材料など高付加価値品への変換や、有害有機溶媒の代替品として繰り返し利用などにより循環系に閉じ込めることも可能となる。結果として相矛盾する課題が解消されて環境にやさしい合理的なものづくりが実現できるであろう。現代の化学の力をもってすれば決して実現できない夢でない、と信じている。これまでの化学が気体、液体、固体の3態を活用しているのに対し、超臨界流体を第4の溶媒として利用できれば、まったく新たなものづくりの化学が創出できるものと考えます。ますます夢はふくらむ。



碓屋 隆雄 (いかりや たかお)

東京工業大学大学院理工学研究科応用化学専攻・教授。工学博士。

1976年東京工業大学大学院博士課程修了。1976年東京大学工学部助手、1979年 Caltech 博士研究員、1985年 NKK 中央研究所主任研究員、1991年 JST ERATO 野依分子触媒プロジェクト技術参事、1997年東京工業大学工学部教授、2002年同大学東京工業大学フロンティア創造共同研究センター教授を経て、2005年より現職。

専門は分子触媒化学、超臨界流体反応化学。特に最近、実用的触媒反応の開発研究に集中している。特定領域研究「動的錯体」の成果をもとに2006年より新規に特定領域研究「協奏機能触媒」を発足させ、領域代表を務める。

共著書に『錯体化学の基礎 ウェルナー錯体から有機金属化合物』(講談社サイエンティフィック)、『有機金属化学 その多様性と意外性』(裳華房)などがある。

ナノ化学と社会



京都大学大学院工学研究科

中條 善樹

1. ナノ化学とは？

「ナノ化学」というと、科学的で難しい微小な世界を想像しがちだが、実際に我々の身のまわりをみると、そこら中に「ナノ化学」が利用されている。いま着ている衣服はもちろん、台所用品、文房具、家電製品、自動車など身近なものから、コンピュータ、人工臓器、スペースシャトルまで、まさに我々の生活に欠かすことのできないもの、それが「ナノ化学」である。

それでは、いったい「ナノ化学」ではどのくらいの大きさを扱うのだろうか。ナノメートルとは10億分の1メートルのことであり、「ナノ化学」とは、図1に示す物差しの実線部分、すなわち数オングストロームから数十ナノメートルの大きさの構造を扱う化学であるといえる。この大きさ(小ささ?)が、たとえば「堅い」「柔らかい」「強い」「弱い」「燃えにくい」「電気を通す」「光る」「水を吸う」など、物質のさまざまな性質や働きと深くかわりを持ってくる。ここでは、高分子材料、特に繊維、吸水樹脂、有機-無機ハイブリッド材料に的を絞って、その「ナノ化学」が我々の生活に活かされている例をいくつか紹介する。

2. 天然繊維と合成繊維

綿、羊毛、絹、麻などは天然繊維の代表的なものであり、5000年以上も昔から衣料用として利用されてきた。このうち、綿はセルロースという高分子からできており、吸湿性、

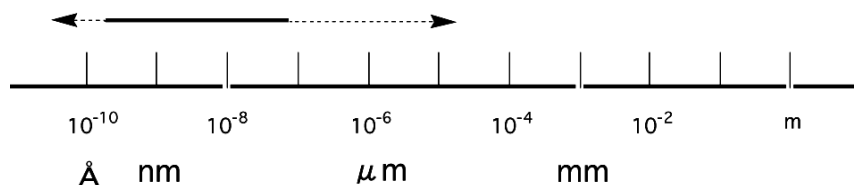


図1 ナノ化学の扱う大きさ

染色性、保湿性のよさで知られている。また、羊毛は文字通り羊の毛で、そのはっ水性や弾力性などに特徴があり、冬は暖かくて、夏は涼しいという繊維構造は、ナノメートルの大きさの構造によって決まってくる。まさに自然(生命)のつくる「ナノ化学」の精巧さといえよう。さらに、蚕が自らつくったタンパク質を口から吐き出して糸にした絹は高級繊維として重宝がられているが、この独特の光沢、感触も「ナノ化学」の構造体によるものである。

これらの天然繊維をまねて、人工的に化学反応でつくろうとしたのが合成繊維である。ポリエステルやナイロンなど、肌触りや耐久性において、すでに天然繊維を凌駕するものも多く開発されている。また、超強力繊維、超極細繊維、不燃繊維、超吸水性繊維など、天然繊維ではみられない特徴を示すものも知られるようになり、衣料用以外にもさまざまな分野で利用されるようになってきている。人類の快適な生活を約束する高分子材料として、合成繊維の可能性ははかりしれないものとなっている。これらにも「ナノ化学」が活かされていることはいうまでもない。

3. 水を吸う高分子

架橋高分子のおもしろい利用法に高吸水性樹脂がある。この樹脂1グラムは、約1リットルの水を吸収してふくらむが、架橋されているために水に溶け出すことはない。ポリアクリル酸が基本骨格となったものが多いが、カルボキシレートの静電反発により、「ナノ化学」の世界で高分子鎖が広がろうとすることも、大量の水を吸う要因となっている。このような高分子は、たとえば紙おむつや生理衛生品の材料として使われている。紙おむつに水を注いでいくと、入れた水が、まるで魔法で消えてしまうように吸われてしまう。これで赤ちゃんは快適に眠れることになる。また、“砂漠で農業ができれば”、こんな夢を実現すべく、世界各地で農業用の土壌保水剤としての応用開発が研究されている。土の中のある深さに高吸水性樹脂を埋め、この部分で水を保持して、植物の成長を助けることになる。このほかにも、ビニルハウスに用いて結露を防止したり、窓ワクのパッキンとして雨水を吸うことによるもれの防止、海底ケーブルのシーリングなど、土木用途にも使われている。玩具としては、水につけると何倍にも大きくなる怪獣なども市販されている。いずれも、親水性の高い高分子を架橋するという「ナノ化学」の領域での構造形成が、水を大量に吸うが水には溶け出さないという興味深い特性を生み出している。

4. 有機-無機ナノハイブリッド材料

最近、「ハイブリッド」という言葉をよくみかける。ハイブリッドカーやコンピュータソフトのハイブリッド版などはその例である。「ハイブリッド」という言葉を広辞苑で引

くと、「雑種」あるいは「異種のもの混成物」とある。それでは、材料科学でいう「ハイブリッド」とは、いったいどういうものであろうか。文字通り「異種材料を混ぜ合わせたもの」であり、かつ「雑種」と呼ぶべき別の材料に生まれ変わったものである。したがって、有機-無機ハイブリッドといえば、有機材料と無機材料の組み合わせということになる。ただし、従来から知られているコンポジットのような単なる混合物とは区別して、その混ざり合いがナノオーダーあるいは分子オーダーのものを、特にハイブリッド材料と呼ぶべきであろう。このようなハイブリッド材料には、有機ポリマーあるいは無機物単独ではみられない興味深い特性が期待できる。たとえば、プラスチックのようにフレキシブルでありながら機械的強度や耐熱性に優れている、などの特長である。

このようなハイブリッド材料が注目されてきた背景として次のようなことがあげられよう。ナノメートルでも精密な分子設計(構造制御)ができるようになってきた、ナノメートルあるいはそれ以下のサイズのキャラクタリゼーションが可能な装置が開発されてきた、ナノメートルの領域でのエネルギー移動や光化学など、興味深い特異な現象が次々と見つかってきた、まったく新しい素材を開発するというのではなく、従来の複合材料をもう少し細かいナノレベルで制御することにより、結果としての材料特性が飛躍的に向上する可能性が示されてきた。まさに、ハイブリッド材料は「ナノ化学」の凝縮した材料である。



.....

中條 善樹 (ちゅうじょう よしき)

京都大学大学院工学研究科高分子化学専攻・教授。工学博士。

1975年京都大学工学部合成化学科卒業。1980年京都大学大学院工学研究科博士後期課程合成化学専攻修了。名古屋大学工学部合成化学科助手、米国バージニア州立工科大学客員研究員、京都大学工学部合成化学科講師、京都大学大学院工学研究科高分子化学専攻助教授、フランス国レンヌ大学客員教授、インド国立化学研究所客員教授を経て、1995年より現職。

専門は高分子合成、無機高分子、高分子ハイブリッド材料。

1986年高分子学会奨励賞、1991年高分子学会賞、2002年日本化学会学術賞受賞。

著書に『高分子合成』(丸善、1997年)、『実用高分子化学』(丸善、2005年)などがある。

シリコンがつくる新しい社会



東北大学大学院理学研究科

吉良 満夫

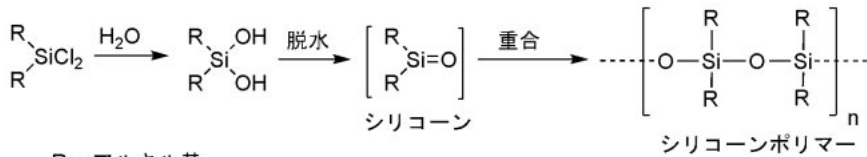
1. はじめに

地殻のほとんどがケイ酸塩鉱物からできていることからわかるように、ケイ素は酸素について最も豊富な元素であり、地殻の26%を占める。有史以前から人類は石器のかたちでケイ素の材料を利用してきた。水晶、陶器、磁器、ガラスなどの古くからの工業的産物は、今でもケイ素の大変大きな用途となっている。現代化学工業の成果として、半導体シリコンやシリコンポリマーは、日常生活になくってはならない存在となっている。ここでは、ケイ素化学の基礎と応用の歴史をたどり、ケイ素化学工業の現状、ケイ素基礎化学の最近の目覚ましい発展に触れ、将来を展望する。

2. 歴史

ケイ素は天然にはほとんどケイ酸塩として地殻中に存在し、ケイ素の単体(シリコン)はまったく人工のものである。1824年に当時の大化学者であったベルツェリウスがシリコンを合成し、ケイ素が元素としてはじめて認知された。このシリコンを出発物質としてケイ素化学が生まれたといつてよい。シリコンを用いて、さまざまな揮発性のケイ素の化合物が合成された。ケイ素と炭素の結合を持つ化合物(有機ケイ素化合物)は、1865年に、フリーデルとクラフツによって合成されたテトラエチルシランが最初のものであるといわれる。イギリスのキッピング教授は「有機ケイ素化学の父」といわれる人であるが、たくさんの有機ケイ素化合物を合成し、さまざまな反応を発見した。キッピングは、炭素の化合物では普通にみられるケトンやアルケンのような二重結合化合物のケイ素版をつくらうとするが、ことごとくうまくいかない。たとえばケトンの炭素をケイ素の置き換えた化合物(シリコン)を下のような方法でつくらうとするが、実際にはその重合体(シリコンポリマー)が得られる。このような結果に失望し、キッピングは1936年の講演の中でケイ素化学の将来はあまり明るいものではないと述べてしまう。

しかし、科学技術の発展は面白いもので、その数年後、コーニングガラス社のハイドと



R = アルキル基

図 1

GE 社のロコウはシリコンポリマーの持つ優れた物性に着目し、工業化することを思いつく。こうして今日のシリコン工業が出発することになる。半導体シリコンの開発はまた別の歴史を持つが、やはり、ケイ素化学研究の成果であることには疑いがない。

3. 今日のケイ素化学工業

現在半導体産業の原料として使われる多結晶シリコンは世界中で年間3万トン、シロキサンは約80万トン生産されている。炭素系ポリマーが年間2億トンも生産されているのと比べるとわずかであるが、高付加価値製品としてケイ素化学製品はかけがえのない特徴を持つ貴重な工業製品となっている。

単結晶シリコンもシリコンポリマーも高純度シリカを選元してつくるシリコン(Si金属とよばれる)からつくられる。その様子を図2に示した。

シリカはケイ素と酸素が交互に連結して3次元的につながった硬い構造を持つ。これに対して、メチルシリコンなどのシリコンポリマーは、強固なケイ素 - 酸素結合を主鎖に持ちながら、オイル、ゴム、レジンとすることができ、柔軟で、融解し、有機溶媒に溶ける。今日、潤滑油、電気絶縁油、化粧品、剥離剤、離型剤、消泡剤、成型用金型等々、われわれの生活のさまざまな場面に応用されている。

単結晶シリコンはケイ素 - ケイ素結合が3次元的につながったちょうどダイヤモンドと

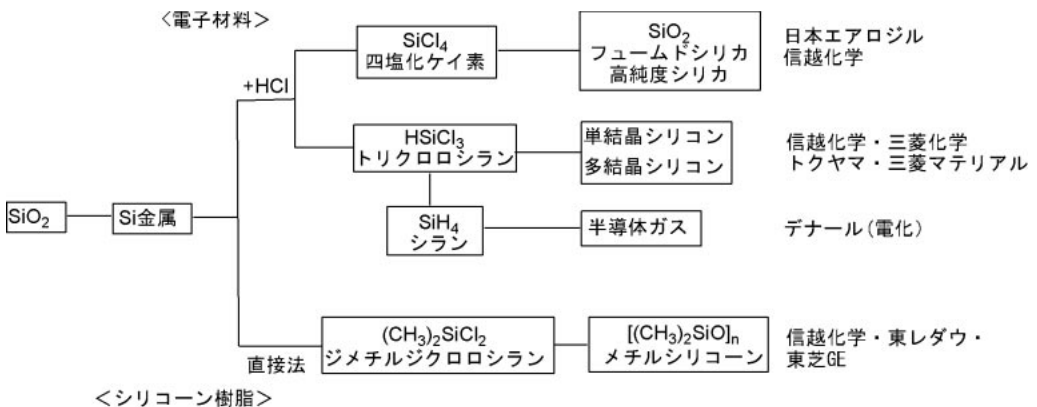


図 2 ケイ素化学工業

同じ結合様式を持っているが、金属光沢のある黒い結晶である。ダイヤモンドより小さいバンドギャップを持ち半導体的性質を示すので電子材料として用いられる。最近このケイ素-ケイ素結合が1次元的につながったポリシランが、やはり加工性に優れた次世代の光電子材料として期待されている。

4. 基礎的なケイ素化学の発展

上に述べたように、炭素のアルケンやケトンに対応するケイ素二重結合化合物の合成はキッピング以来の化学者の夢であった。長い間それは無理であると信じられていたが、1981年にアメリカのウエスト教授とカナダのブルック教授によって、ケイ素-ケイ素間二重結合とケイ素-炭素間二重結合を持つ安定な化合物が合成された。今年がケイ素二重結合25周年の記念の年にあたる。以来、反応性に富む二重結合を分子中の高高い置換基で保護するという考え方(立体保護効果)を使って、多数の安定なジシレンやシレンの誘導体が合成されてきた。この分野の研究は目覚ましい発展を遂げ、さまざまなタイプのケイ素多重結合化合物が安定化合物として合成されるに至った。ごく最近には、炭素のアレンやアセチレンの安定ケイ素類縁体が合成されるまでになった。ケイ素多重結合の化学の発展に対してわが国の研究者の果たした役割は大きく、科学研究費補助金特定領域研究「動的錯体の自在制御化学」の大きな成果といえる。

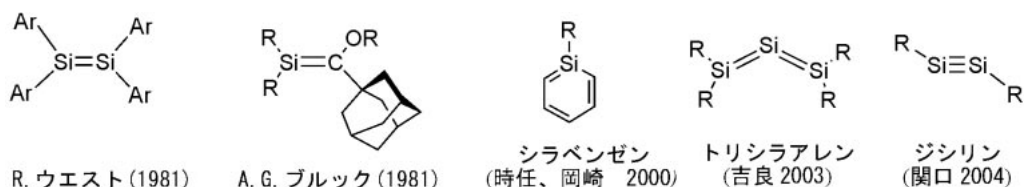


図 3

このような一連の研究を経て、ケイ素二重結合の性質が炭素の二重結合とは著しく異なることが明らかになってきた。これらの特徴を引き出して、有機物質では実現できない優れた性質を持つ機能性材料を生み出すことがこれからの大きな課題となる。



吉良 満夫 (きら みつお)

東北大学大学院理学研究科化学専攻・教授。理学博士。

1967年京都大学工学部合成化学科卒業。京都大学大学院修士課程修了、東北大学大学院理学研究科博士課程中退。東北大学理学部助手、助教授を経て、1995年より現職。理化学研究所フォトダイナミクス研究センター・チームリーダー兼務(1990～1998年)、ケイ素化学協会会長(2006年～)。

専門は有機化学。特に有機ケイ素化学、物理有機化学。

2005年日本化学会賞、ワッカーシリコーン賞受賞。



若手化学者が市民に語る I

C

座長…… 中條 善樹

●

水素の世界

小江 誠司

●

鏡像異性体をつくりわける

袖岡 幹子

●

「水と油」が助け合う化学

魚住 泰広

水素の世界



九州大学未来化学創造センター
小江 誠司

実験室で我々が行う化学反応の多くを、自然界で生命は、環境に負荷を与えない高効率の循環反応として行う。たとえば、水の電気分解におけるカソード(陰極)とアノード(陽極)の反応は、ヒドロゲナーゼ(水素発生・分解酵素)が行う「プロトンの還元」と、光合成における「水の酸化」にそれぞれ対応する(図1)。しかし、生命が行うこのような反応の詳細なメカニズムは解明されていない。ここでは、ヒドロゲナーゼを範とした「水素活性化触媒」の開発について解説する。

ヒドロゲナーゼ

1887年、Hoppe-Seyler は、川の泥とギ酸カルシウムを混ぜ一定温度に保つと水素ガスが発生することを見出し、川の泥には水素ガスを発生する酵素が含まれると考えた。1931年、Stephenson と Stickland は、大腸菌懸濁液が水素によるメチレンブルーの還元を触媒することを見出し、この反応を触媒する酵素をヒドロゲナーゼと名付けた。ヒドロゲナーゼは、「水素の酸化」と「プロトンの還元」を触媒するほかに、「 H_2/D_2O 同位体交換」および「オルト水素/パラ水素変換」も触媒する。1995年、Fontecilla-Camps らによって、[NiFe]ヒドロゲナーゼ(*D. gigas*)の結晶構造が明らかにされた(図2)。それによると、[NiFe]ヒドロゲナーゼの活性中心は、ニッケル原子と鉄原子がシステイン由来の硫黄配位

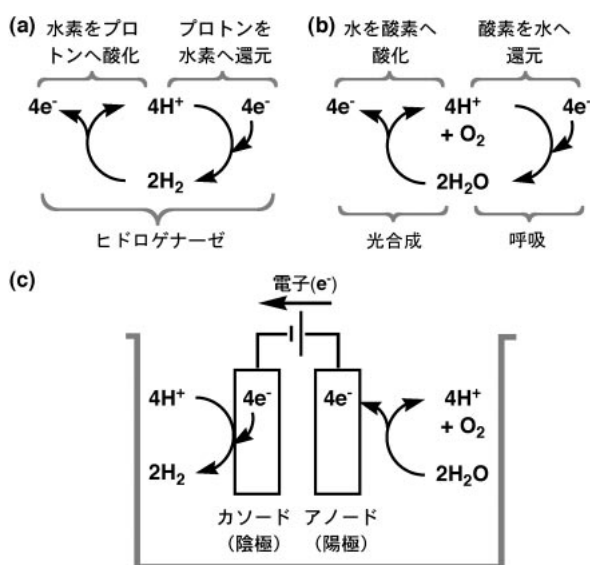


図1 (a)ヒドロゲナーゼの反応サイクル。
(b)光合成と呼吸の関係。(c)水の電気分解

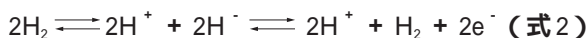
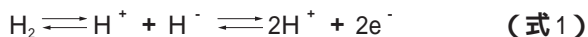
子2つと、未同定のX配位子(XはOH₂、OH⁻または、O²⁻)1つで架橋された二核構造を持つ。

水素活性化触媒

金属錯体を用いた水素活性化の国内外の研究状況を、表1にまとめた。単核錯体を用いて水素をホモリティックまたはヘテロリティックに切断しヒドリド錯体の生成を行った例は、高温・高圧(タイプA)、常温・常圧(タイプB)に関わらず多数報告されている。しかし、硫黄架橋の複核錯体を用いて水素の活性化を行った例は非常に少ない。タイプCが1例、タイプDが4例、タイプEが1例である。ヒドロゲナーゼはタイプFに分類されるが、金属錯体で達成したのは、これまで異和行教授(名古屋大学)の研究のみである(*J. Am. Chem. Soc.* 2003, 125, 7978)。

新しいタイプの水素活性化触媒

従来の水素分子の活性化は式1に基づいて行われてきた。我々は式2に示す「水素発生を伴う新しいタイプの水素分子の活性化」の研究を進めている。具体的には、水溶液中でアクア錯体と水素からヒドリド錯体を合成し、系内のpHを制御することにより、ヒドリド錯体から電子を取り出すのである。



今後の研究戦略

「水素の酸化」、「プロトンの還元」、「H₂/D₂O同位体交換」および「オルト水素/パラ水素変換」を、ヒドロゲナーゼ(*Desulfovibrio vulgaris* Miyazaki F)と錯体触媒の両方を用い

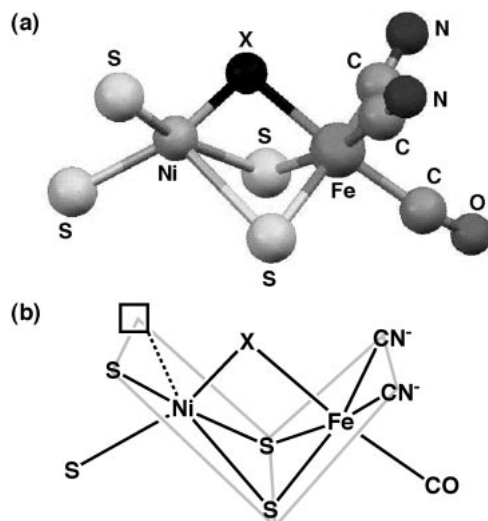


図2 (a) [NiFe]ヒドロゲナーゼ(*D. gigas*)の活性中心の構造。XはOH₂、OH⁻または、O²⁻である。(b) ニッケル中心は空配位座を1つ持つ八面体構造である

表1 金属錯体を用いた水素活性化の研究状況

錯体 条件	単核錯体 M	硫黄架橋複核錯体	
		M ₁ = M ₂	M ₁ ≠ M ₂
高温高圧	A	C	E
常温常圧	B	D	F

て検討する。具体的には、酵素用グローブボックスと錯体用グローブボックスを連結した大型グローブボックス内(不活性ガス雰囲気下)に質量分析装置、GC、UV、IR、タンパク質精製装置、恒温槽および冷凍庫を導入し、酵素と錯体触媒の活性を同じ条件(同じ土俵)で比較する(図3)。

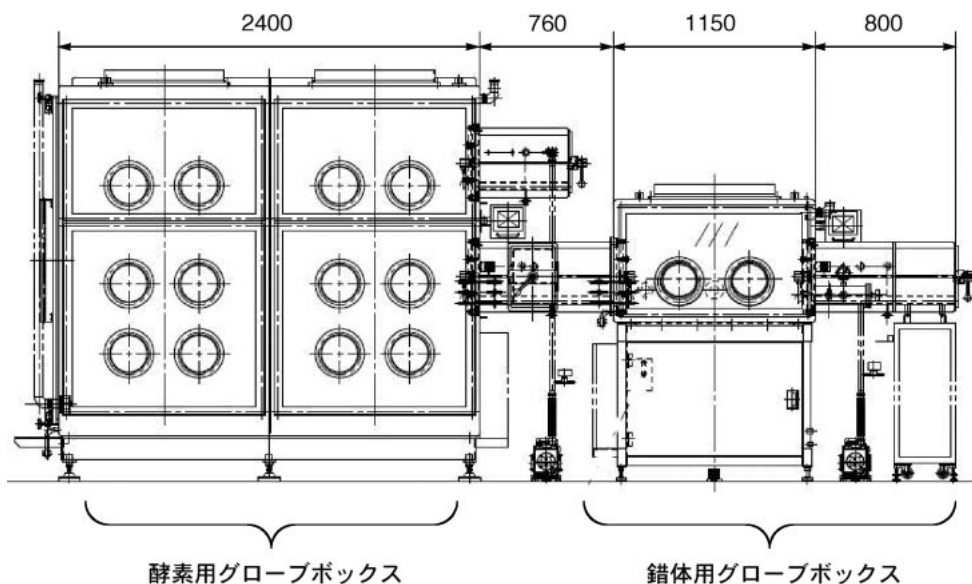


図3 酵素用と錯体用を連結した大型グローブボックス。全長約5m・高さ約2m・幅約1m。ガス生成装置を入れると全長約7m



小江 誠司(おごう せいじ)

九州大学未来化学創造センター・教授。理学博士。

1991年東京理科大学理学部応用化学科卒業。1993年東京理科大学大学院理学研究科修士課程修了。1996年総合研究大学院大学数物科学研究科博士課程修了。1996年岡崎国立共同研究機構分子科学研究所助手、2001年名古屋大学物質科学国際研究センター助手、2002年大阪大学大学院工学研究科助教授を経て、2005年より現職。この間、2001～2005年まで科学技術振興機構さきがけ研究21(PRESTO)研究代表者。

専門は触媒化学、錯体化学および有機金属化学。現在は水中での物質・エネルギー変換に関心をもつ。

鏡像異性体をつくりわける



(独)理化学研究所
袖岡 幹子

鏡像異性体とは？

私たちの身の回りにはさまざまなものも、私たちの体も、「分子」からできています。ひとつひとつの分子は、炭素、酸素、窒素といった原子が結合してできていて、その結合の仕方の違いでいろんな性質が決まります。たとえば、同じ数の原子組成からなる分子でも、そのつながり方によってまったく違う分子になります。このような同じ組成をもって構造が違う分子を「異性体」と呼び、いくつかの種類があります。たとえば炭素7個と水素14個からなる分子を考えてみましょう。図1に例を示すように、いくつかのつながり方が考えられます。直鎖状に炭素がつながって二重結合をひとつもつもの、枝分かれしたもの、環状になったものなどです。こういうふうに、原子のつながり方が異なる異性体を「構造異性体」と呼びます。

さらに同じ原子のつながり方をしても、そのつながり方の空間的な違いがあると分子の性質は異なり、「立体異性体」と呼ばれています。炭素原子は一般に手を4本もっていて、4つの原子と結合をつくることができますが、炭素原子に4つの異なる原子または原子団が結合する場合、その結合の仕方によって、図2に示したようにふたつの違った分子になります。このふたつの分子は、ちょうど右手と左手の関係のように、互いに鏡に映した形になりますが、重ね合わせることはできません。このような炭素原子のことを、「不斉炭素(chiral carbon)」と呼び、こういう鏡に映した関係にある異性体を「鏡像異性体

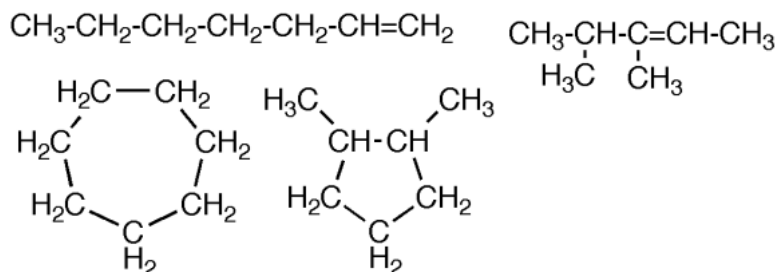


図1 C₇H₁₄の組成式をもつ構造異性体の例

(enantiomer)」と呼びます。さらに不斉炭素がいくつも連なった分子には、その不斉炭素のつながり方によってもっとたくさんの種類の立体異性体が存在しますが、その中でお互いに鏡に映した関係にあるものは、やはり「鏡像異性体」ということになります。鏡像異性体が存在する分子を「キラルな分子」、存在しない分子(不斉炭素をもたない分子、または不斉炭素をもっている分子全体として鏡に映した分子がもとの分子と重なる分子)を「アキラルな分子」という言い方をします。

鏡像異性体と生物活性

分子は、同じ分子組成であっても、それぞれの構造異性体の間では当然沸点や融点、極性などの物理的・化学的な性質は違ってきますが、鏡像異性体に関しては、光を回転させる

性質(旋光度)以外の性質はまったく同じです。しかし、生物に対する作用はまったく違います。たとえば植物がつくる Carvone という分子がありますが、これは片方の鏡像異性体(*R*)体はスペアミントの香り、逆の鏡像異性体(*S*)体はキャラウェイ(ういきょう)の香りとして私たちは感じます。私たちの鼻の中の「匂いの受容体」に、匂いのもとになる低分子化合物が結合することによって、脳に特別な香りとしてその情報が伝わるわけですが、受容体はふたつの鏡像異性体をしっかり区別しています。ふたつの分子どうしが相互作用するとき、相手がアキラルな分子の場合、その相互作用はどちらの鏡像異性体もまったく同じですが、キラルな分子同士の場合は、相性が違ってきます。受容体は、不斉炭素をもつキラルなL型のアミノ酸がたくさんつながったタンパク質からできています。したがって、受容体タンパク質との相互作用はふたつの鏡像異性体の間でまったく違うものとなります。匂いの受容体に限らず、酵素もDNAも、私たちの体の

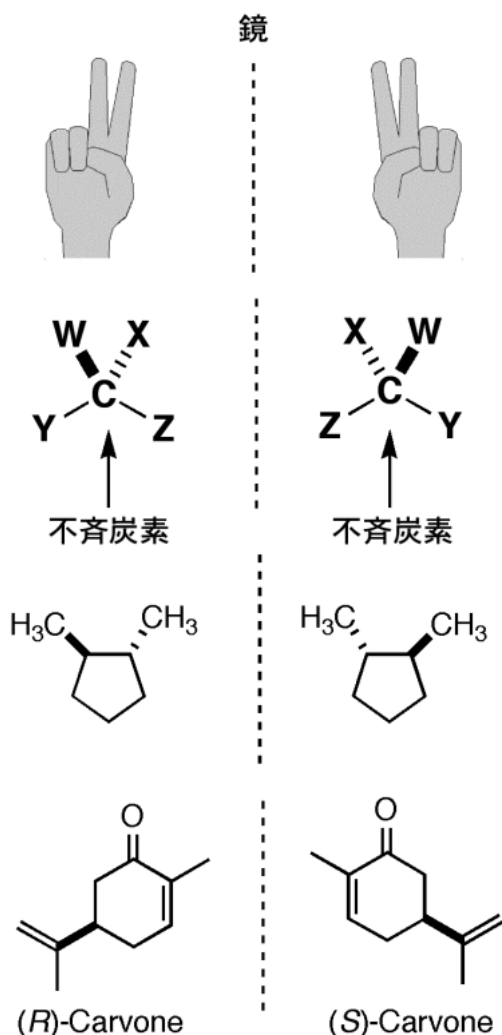


図2 鏡像異性体

中で活躍している分子のほとんどはキラルです。したがって、匂いに限らず、生物活性を考える場合は鏡像異性体の区別はとても大切です。医薬品は、以前はふたつの鏡像異性体の等量混合物(ラセミ体と呼ぶ)として開発されるものが多かったのですが、生体に対する作用の違いの重要性が認識され、現在では医薬品を開発する場合には、ラセミ体ではなく鏡像異性体の片方のみを純粋なかたちで開発することが求められるようになっていきます。

鏡像異性体をつくりわける

では、どのようにして鏡像異性体の片方のみを得ることができるのでしょうか？ 生物は、キラルなタンパク質である酵素を使って合成反応を行っているので、選択的に片方の鏡像異性体のみを合成することができます。したがって、微生物など生物に合成してもらうというのがひとつの方法です。しかし、生物が合成できない分子の場合は、生物由来の不斉炭素をもつ分子を材料にして、化学反応によって欲しい分子に変換するか(キラルプール法)あるいはアキラルな出発原料からキラルな分子を化学的に合成する(不斉合成)する必要があります。しかし、通常の化学的な反応では、アキラルな分子どうしを反応させてキラルな分子を合成しようとする、鏡像異性体の等量混合物(ラセミ体)が得られてしまいます。先に述べたように、鏡像異性体の間では、物理的・化学的性質が同じなので、鏡像異性体が混じっていると、その分離はとても困難です。理想的には、酵素に代わる人工的な触媒(不斉触媒)で、望む鏡像異性体を与える化学的反應を選択的に進行させること(不斉触媒反応)ができればよいわけです。

私たちの研究室では、このような不斉触媒反応の研究を行っています。独自のパラジウム触媒を用いて、不斉炭素を構築する新しい反応を開発し、医薬品やその候補化合物の鏡像異性体をつくりわけることができました。



袖岡 幹子 (そでおか みきこ)

(独)理化学研究所袖岡有機合成化学研究室・主任研究員。薬学博士。

1981年千葉大学薬学部薬学科卒業。千葉大学大学院博士前期課程修了。北海道大学薬学部助手、東京大学薬学部助手、相模中央化学研究所主任研究員、東京大学分子細胞生物学研究所助教授、東北大学多元物質科学研究所教授などを経て、2006年より現職。

専門は有機合成化学、化学生物学。

1993年日本薬学会奨励賞、1999年有機合成化学協会研究企画賞、2004年日本化学会学術賞受賞。

共著に『現代化学への入門 15「生命科学への展開」』(岩波書店、2006年)などがある。

「水と油」が助け合う化学



自然科学研究機構 分子科学研究所

魚住 泰広

私たちの生活は「油(例えば石油)」に由来する物質に囲まれており、「油」を自在に変化させる化学反応の重要性は明白である。一方、「油」を辞書などで調べていくと「水と油」という成句にいきあたる。「互いに親しく交じり合わないものたえ」とであるという。どうやら両者は仲が悪いらしい。それゆえ「油」を「水」の中で化学反応させることは一見して矛盾を孕んだ挑戦と考えられそうだ。本当にそうであろうか？

「水と油」の関係

「油」とはそもそもどのような化学物質なのだろう。化学の目で見てみると「油」は有機分子、有機化合物である。さて、そもそも「有機」とは「生命」を意味する言葉であり、我々の体も、植物も動物もすべて「有機分子」からできている。有機分子とは大雑把にいうならば「炭素と水素の結合を含む分子」であり「油」の仲間となる。身の回りにあるプラスチック、繊維、医薬品などなど……とにかく何もかも有機分子でできている。これら有機分子は基本的に水に溶けにくい性質を持っている。

そこで有機物を溶かすのは有機溶剤ということになる。いわゆるフラスコの中で起こる有機化学反応は有機溶剤中で実施するのが化学者の「常識」である。本当にそれが「常識」でいいのだろうか？

有機物は生命が生み出したもの。生命体の中身は大半が水分である。その水の中で無限の多様性を持ったさまざまな有機分子が生産されている。また有機溶剤は燃えやすく危険であり、またその使用は限りある石油資源の消費にもつながる。有機溶剤の使用を抑え、さまざまな有機化学反応を水の中で行えるならば、それは安全で環境調和性の高い化学プロセスの開発に直結している。

相合い傘で愛が芽生える

我々は雨に濡れるのを避けるため、傘をさしたり雨宿りをしたりする。雨の中で彼は彼

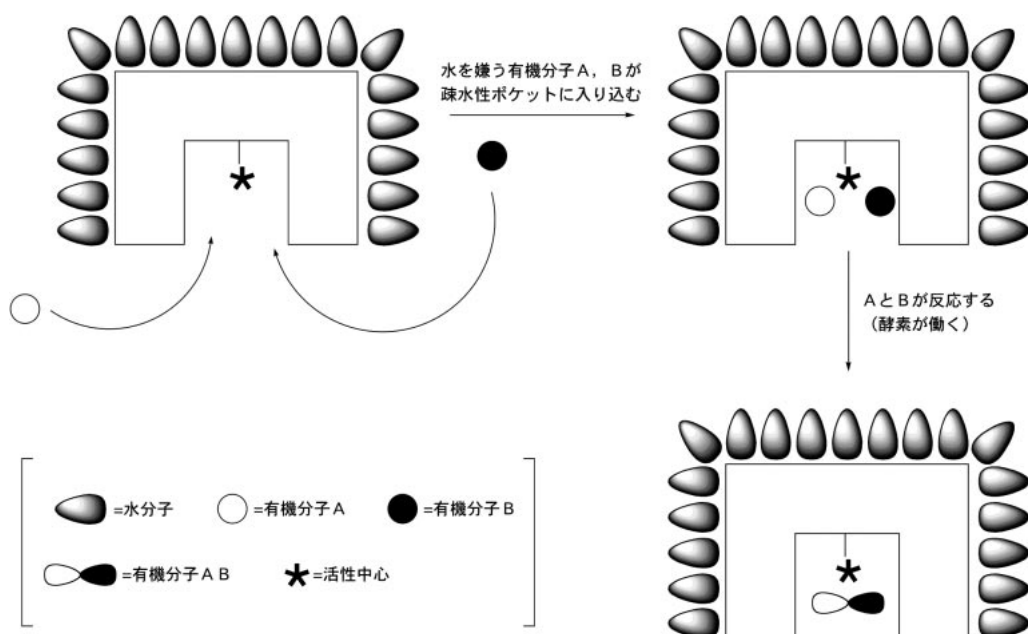


図1 酵素内の疎水性空間で分子が雨宿り...恋が芽生える？ 反応[A]+[B] [AB]

女に傘をさしかける。彼女は晴れていたなら肩を寄せ合うことはなかったであろう彼に寄り添い恋がはじまる。つまり水に濡れたくない彼と彼女は傘の下で自発的に接近し通常以上の反応性を示す。実は分子の世界にもこの原理は成り立つ！ フラスコの中に水を入れ、さらにその水中で分子レベルの傘や雨宿りの軒先、つまり疎水性の場をつくりだしてやれば、水を嫌う有機分子は自発的にその場に集合し分子どうしがぶつかりあうなどしてさまざまな反応が引き起こされる。ではさっそく水中での有機分子の化学反応の実際を紹介しよう。

両親媒性ポリマーを使ったトリック

たとえば、生命体の中で化学反応を司る酵素では、有機分子を取り込むポケットが用意されていて、そのポケットの中には化学反応を引き起こす「活性中心」が組み込まれている。このトリックを人工的に創り出せば水中で触媒的に有機分子の化学反応を実現できるはずである。

ポリスチレンはベンゼン環(例の亀の甲の形の分子)が数珠つなぎになったポリマーで、それ自体は水にまったく馴染まない。一方ポリエチレングリコールはエタノールがつながった水にも馴染むポリマーである。これら2種のポリマーをくっつけた分子「ポリスチレン-ポリエチレングリコール」は水にも油にも馴染む2面性(「両親媒性」と呼ぶ)を持ったポリマーとなる。この両親媒性ポリマーの粒(直径100ミクロン程度)を水の中に入れ

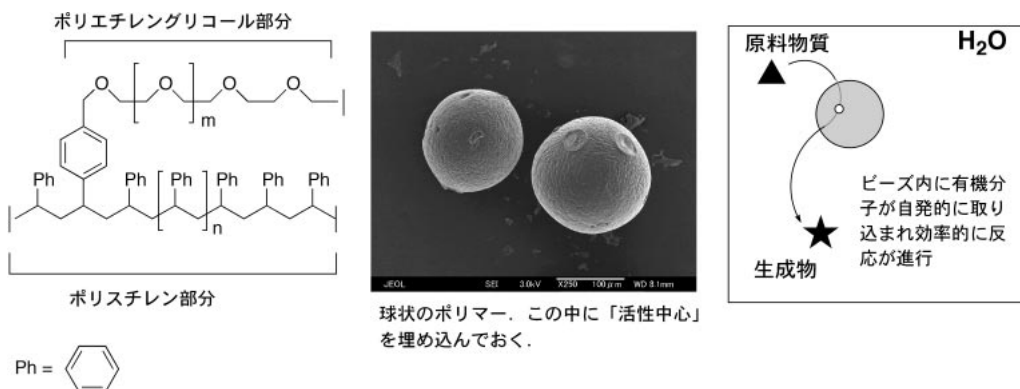


図2 左：水にも油にも馴染む両親媒性ポリマーの分子構造、中央：電子顕微鏡写真(直径100ミクロン程度)、右：理想的な化学反応システム概念図

て、さらにその中に有機物質を加えると水と油と固体(ポリマー)が混在する状態となる。水に溶けない有機分子(油)は行き場を失い、ポリマーの中に染み込み、いわば水から逃れての雨宿りをする。ポリマーの中に化学反応を引き起す「活性中心」を組み込んでおいたらどうなるだろう？そこではフラスコの中で有機溶剤を使った従来法を凌駕する化学反応が実現される。講演ではいくつかの実際の反応例をお示しする。

おわりに

20世紀化学研究はさまざまな物質を生み出してきた。しかし理想とされるべき化学反応は必ずしも従来の概念・手法の延長線上にはみえてこない。生命の独壇場であった理想の化学反応を目指した我々の挑戦はまだその研究は緒に就いたばかりである。お楽しみはこれからだ！



魚住 泰広 (うおずみ やすひろ)

自然科学研究機構 分子科学研究所 ナノ触媒・錯体触媒研究部門・教授。薬学博士。

1984年北海道大学薬学部卒業。1986年同大学院修士課程修了。触媒化学研究センター助手、米国コロロンビア大学研究員、京都大学理学部講師、名古屋市立大学教授を経て、2000年より現職。

専門は有機合成化学。現在、共同作用的な反応システムの成り立ちに興味をもつ。

1991年有機合成化学協会研究企画賞、1997年日本薬学会研究奨励賞受賞。

著書に『分子科学者が挑む12の謎』(共著、化学同人、2005年)などがある。



特別講演 **D**

座長…… 小澤 文幸

●
金属で糖尿病を治す
桜井 弘

●
実験を基盤とした化学の理解増進活動
— 化学教育の現状と問題点が見える —
齊藤 幸一



小澤 文幸 (おざわ ふみゆき)

京都大学化学研究所附属元素科学国際研究センター・教授。工学博士。

1980年東京工業大学大学院博士課程中退(就職のため)、東京工業大学資源化学研究所助手、北海道大学触媒化学研究センター助教授、大阪市立大学工学部教授を経て、2003年9月より現職。

専門は有機金属化学、分子触媒化学。

共著に「大学院講義有機化学」(東京化学同人、1999年)などがある。

金属で糖尿病を治す



京都薬科大学代謝分析学教室

桜井 弘

薬の起原は毒物にある。天然物としての植物や鉱石が初めに用いられた。紀元前 1500 年頃のエジプトで、鉄サビを水とアルコールに混合した製剤が用いられたのが最初の例であろう。16 世紀の中世には、スイスの医師パラケルススは岩石を用いて金属を含む製剤をつくった。現在の化学療法、すなわち化学物質により病気を治す考え方は、20 世紀の初めにドイツの医師エ・ルリヒにより提案された。梅毒を治す薬として初めてつくられたサルバルサンは、毒としてよく知られているヒ素を含む化合物(現在では有機金属化合物という)であったことは大変興味深い。20 世紀後半になると、白金や金などの貴金属を含むがんや慢性関節リウマチの薬が開発され、用いられている。パラケルススそしてエールリヒの考え方は、21 世紀の今日もなお薬を開発するための一つの柱である。

表 1 には、現在用いられている、もしくはこれから用いられようとしている金属を含む代表的な化合物を示した。たとえば、猛毒として知られているヒ素が、白血病の一種を治す薬(トリセノック)として最近開発されている。歴史の暗い部分をつくってきた化合物が、薬として日の目を見ることになった。毒と薬は紙一重という諺は本当に生きている例であろう。表 1 は、本来毒性をもつと知られている金属は、工夫をすれば病気を治すことが可能であることを教えてくれる。21 世紀の今、この考え方で新しい薬をつくる努力が

表 1 代表的な金属を含む医薬品

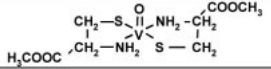
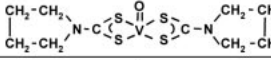
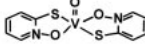
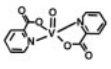
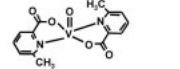
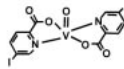
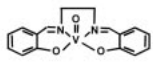
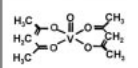
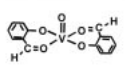
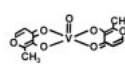
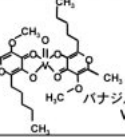
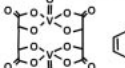
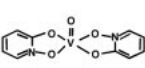
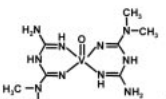
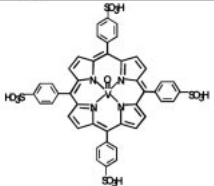
元素名	元素記号	化合物名	対象疾患
アルミニウム	Al	スクラルファート	胃潰瘍
金	Au	オーラノフィン	慢性関節リウマチ
ヒ素	As	トリセノックス	難治性急性前骨髄球性白血病
コバルト	Co	シアノコバラミン(ビタミン B ₁₂)	悪性貧血
ゲルマニウム	Ge	Ge-132	(腫瘍)
リチウム	Li	炭酸リチウム	うつ病
モリブデン	Mo	テトラチオモリブデート	(ウィルソン病、腫瘍)
白金	Pt	シスプラチン	固形がん
セレン	Se	エブセレン	くも膜下出血
バナジウム	V	硫酸バナジルとその錯体	(糖尿病)
亜鉛	Zn	ポラプレジンク、亜鉛錯体	胃潰瘍(糖尿病)

世界中で行われている。

21世紀を象徴する病気として、糖尿病がよく話題になる。食生活や生活習慣の変化により、エネルギー過剰、運動不足、肥満そしてストレスの蓄積により血糖値や血圧が上がり糖尿病とメタボリックシンドロームが生ずると考えられている。糖尿病はインスリンの合成・分泌ができない1型とインスリンの合成・分泌はできるが体の細胞がインスリンに反応しない2型に分類される。1型糖尿病の治療には、インスリン注射が、そして2型の治療にはさまざまな構造をした有機化合物としての薬が用いられている。インスリン注射は肉体的・精神的苦痛を伴うため経口投与ができる新しい薬の開発が望まれ、一方の2型糖尿病の治療薬には現在さまざまな副作用が生じることが知られ、新しいタイプの薬の開発が期待されている。このような状況の中で金属を用いて糖尿病を治すことができるかどうかにはチャレンジすることは重要なことと思われる。

興味深い歴史的事実を紹介しよう。カナダのバンディグとベストが犬の膵臓からインスリンホルモンを単離し、これを1型糖尿病患者に注射すると病気は直ちに治ることを発見したのは1922年のことであった。この発見に先立つ23年も前に、フランスの医師らはバナジウムイオン(5価)を糖尿病患者に与えると糖尿病が改善されることを報告している。どのような発想でこの金属が用いられたかは明らかでないが、19世紀末の欧州では、バナジウムという金属が万能薬として考えられていた形跡が読みとれる。しかし、バナジウムが糖尿病に関係するかもしれないと科学的に研究されたのはごく最近である。イスラエ

表2 糖尿病治療作用をもつバナジウム錯体

N_2S_2		バナジル-システインメチルエステル VO(cysm) ₂
S_4		バナジル-ピロリジン-N-カルボジチオン酸 VO(pcd) ₂
S_2O_2		バナジル-1-オキシ-2-ピリジンチオレート VO(opt) ₂
N_2O_2		バナジル-ピコリン酸 VO(pic) ₂
		バナジル-6-メチルピコリン酸 VO(6mpa) ₂
		バナジル-5-ヨードピコリン酸 VO(5ipa) ₂
		バナジル-N,N'-エチレンビス- サリシリデンイミン VO(salen)
O_4		バナジル-アセチルアセトン VO(acac) ₂
		バナジル-サリチル酸 VO(sa) ₂
		バナジル-マルトール* VO(mal) ₂
		バナジル-アリキシン VO(alk) ₂
		バナジル-酒石酸 VO(tar) ₂
		バナジル-1-オキシ- ピリジチオレート VO(opd) ₂
N_4		バナジル-メトホルミン* VO(metf) ₂
		VO(tpps)

* カナダのグループが発表

ルの研究者達は、5 価のバナジウムを水に解かして糖尿病動物に与えると血糖値が下がることを見出したが、我々は、4 価のバナジウムと有機化合物とを結合させてつくった錯体を経口投与すると高血糖値が正常となることを 1990 年に初めて見出した。これに勇気づけられて、その後多数の錯体を合成した。表 2 には、我々がつくった糖尿病を治す錯体を中心にして、化学構造を示した。この研究に続いて、亜鉛を含む錯体も合成した。これらの錯体の中には、血糖値を下げ糖尿病を治すのみならず、インスリン作用の感受性を上げたり、肥満を抑えたり、あるいは血圧を下げたりするメタボリックシンドロームを改善できるものも見つかり、新しい展開が期待される。講演では、研究の現状を紹介する。

(参考)桜井 弘：金属なしでは生きられない：活性酸素をコントロールする, 岩波科学ライブラリー 120(2006 年)



.....

桜井 弘(さくらい ひろむ)

京都薬科大学薬学部代謝分析学教室・教授。

1966 年京都大学薬学部製薬化学科卒業。1971 年同大学大学院薬学研究科博士課程修了。1971 年藤沢薬品工業株式会社中央研究所、1972 年京都薬科大学講師、1975 年徳島大学薬学部助教授を経て、1990 年より現職。

1986 年に日本薬学会奨励賞受賞。

著書に『金属は人体になぜ必要か』(講談社ブルーバックス、1996 年)、『元素 111 の新知識』(講談社ブルーバックス、1997 年)、『シリーズ転換期の医学 1 全人的医学へ』(分担執筆、岩波書店、2004 年)、『金属なしでは生きられない：活性酸素をコントロールする』(岩波科学ライブラリー 120、2006 年)などがある。

実験を基盤とした化学の理解増進活動 — 化学教育の現状と問題点が見える —

開成学園高等学校

齊藤 幸一

1. はじめに

理科教育が直面している問題のひとつに「理科離れ」がある。現状打開のため、現場はもとより全国研修会や研究会の運営、実験教材の開発、実験ショーの開催、テレビの出演、化学の教科書や実験書などの執筆を通して化学の理解増進活動を実践してきた。諸活動の中で、化学教育の現状と問題点がある程度浮き彫りになってきた。その一端をここでは紹介しよう。

2. 理科教師の資質と実験研修

理科教師にとって、いろいろな意味で工夫された実験は、平素の授業で生徒をいかに引きつけるかに直結する。理科教師の資質の向上は、すぐれた実験を身につけることにある。「教科書実験がうまくいかない」は新卒の教師はもとより現場が直面する問題である。このような観点から、1980年全国私立中・高等学校理科(化学)研修会の専門委員および指導講師を引き受けて以来、毎年、教員向けの夏期実験研修会を企画・実施してきた。

2001年には本研修会場を大学で実施することを提案し、高・大連携の実験研修が実現でき、現在定着している。大学でのハイレベルな実験研修は、直接教室で実施ができなくても、先生方のバックグラウンドが大きくなり、平素の教育活動の質は向上する。また、全国の先生方とこの研修を通じて、ネットワークが広がり、情報交換ができ、喜ばれている。

今後の研修会の課題としては、グリーンケミストリー的な化学実験の開発・普及が急務である。塩素を大量に発生させるような従来型の教科書実験は、マイクロスケール化する工夫が必要となる。また、問題点としては日常の忙しさから研修会や研究会への参加ができない先生方である。教師はなってからが勝負であり、研修会や研究会への参加が自由でできる職場環境のゆとりが欲しいものである。

3. 日本化学会での活動

1985年より、日本化学会広報専門委員会委員就任を皮切りとして、化学教育部会から化学教育委員会、化学教育協議会と20年以上にわたり、数々の理解増進に関わる日本化学会の諸活動に協力してきた。私が立ち上げに参画した、化学の好きな生徒により励みを与える化学国体ともいえる化学グランプリは、現在化学オリンピックでメダルを取るまでに発展した。このような化学好きな子をより高める装置は、化学への興味・関心をもつ子ども達の裾野を広げることになる。また、1992年からの夢化学²¹事業の立ち上げにも参画し、現在化学実験クイズショーをはじめとする一般向けの化学理解増進活動の一部を担当している。さらに地方とのネットワークづくりをめざし、企業との連携も深めながら「全国出前実験」や「幼児にも実験を！」をスローガンに、簡単で安全な実験教室を進めている。

4. メディアを通しての活動

1992年にNHK教育セミナーハローサイエンスの講師となり、電波を通じての化学の理解増進活動をはじめた。この番組は、一般の方々に化学を理解させることが目的であった。続く1995年から2003年、教育セミナーNHK高校講座「化学」の番組講師として出演し、ハロー・サイエンスの精神をいかした番組づくりを心がけた。また、「笑っていいとも」などの民放にも実験講師で出演した。いずれもテレビというメディアで扱われた反響は大きく、メディアへのよい実験メニューの提供が大切と考える。



図1 全国研修会で熱心に実験する先生方

5. 最後に

ある公立中学に出前実験をしたとき、実験に熱心な生徒がいきづまったのは、実験データを解析するためのグラフ化であった。「理科離れ」は、抽象化する作業につきまとう数学の離れ方と大きな関係がある。すなわち、学力低下というが、必要な学力は「読み・書き・計算」である。しかし、「理科離れ」といっても研究者を目指すような層は減ってはいないと思う。問題は非理科系の層の「理科離れ」である。非理科系には、生活していく上で「判断の基礎となる科学」を身につけてもらうための取り組みが必要である。また、今後は、指導者としても多くの貴重な経験を持つシルバーエイジの活用も大切と考える。



斎藤 幸一（さいとう こういち）

開成学園中学校・高等学校・教諭。

1978年東京都立大学理学部化学科卒業。同年駒場東邦中・高等学校化学科教諭、1980年東京理科大学専攻科化学科卒業。1990年より、中学教頭を経て現職。

日本基礎化学教育学会会長。全国私立中・高等学校理科(化学)研修会指導講師。日本化学会「職域会員代表」。化学教育協議会夢化学小委員会委員長。

専門は「化学教育」。

2006年第23回日本化学会化学教育有功賞受賞。

共著に『親子でトライ！わが家でできる化学実験』(丸善、2004年)、高校教科書『化学』(実教)がある。



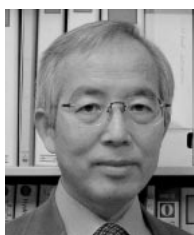
若手化学者が市民に語る II

E

座長……鈴木 寛治

●
分子で作る化学工場
唯 美津木

●
右と左 — その後の展開 —
徳永 信



鈴木 寛治 (すずき ひろはる)

東京工業大学大学院理工学研究科応用化学専攻・教授。工学博士。

1971年名古屋大学工学部合成化学科卒業。名古屋大学大学院工学研究科博士課程修了。1978年東京工業大学資源化学研究所助手。同助教授を経て、1991年東京工業大学工学部教授。1999年より現職。

専門は有機金属化学。特に遷移金属錯体化学で現在は金属クラスターの反応化学に関心をもつ。

分子で作る化学工場



東京大学大学院理学系研究科

唯 美津木

私たちの身の回りにある物質のほとんどは、化学技術によって人工的に作られたもので、必要な物質を効率よく作る方法の開発は化学における最も重要な課題の一つです。手に入る原料から必要とされる物質を効率よく作るには、原料となる物質の特定の部分の化学結合を切断し、複数の反応物の結合の切り貼りによって、合成したい分子のみに変換することが必要です。「触媒」は、このような人類社会に必要な物を生産する化学工場の役割を担っており、世の中で使われている物質のほとんどが触媒を用いて合成されています。

現在の化学工業プロセスでは、一般に固体の触媒が用いられます。触媒反応の多くは、固体触媒の表面で進行するため、優れた固体触媒の開発にはその表面の活性構造をいかに緻密にデザインできるかが重要になります。合成原料となる分子は複数の異なる結合を持つことから、触媒の表面で目的の結合のみを選んで切断、結合の組み替えを行うことは難しく、目的の物質のみを合成できる高い選択性を持つ触媒の設計はけっして簡単なものではありません。ここでは、固体の表面に金属錯体を化学結合で固定した固定化金属錯体(図1)を用いた優れた機能性触媒の表面設計を紹介します。

「触媒」は有用物質を作る化学工場ですが、触媒自身も分子から作られます。図1に金属錯体分子を用いた固体表面における触媒設計の方法を示します。金属錯体を担体となるシリカゲルなどの酸化物の表面と反応させて化学結合によって固定化すると、広い表面積を持ったシリカゲルなどの酸化物担体の表面に高分散に活性点となる金属錯体を分布させることができます。触媒反応は、この金属錯体ひとつひとつの上で進行するので、担体の

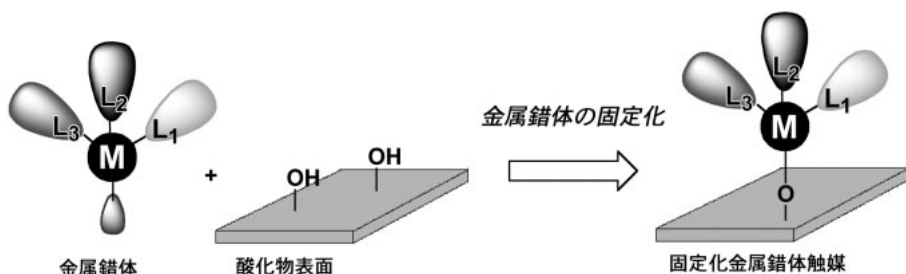


図1 金属錯体の酸化物担体表面への固定化

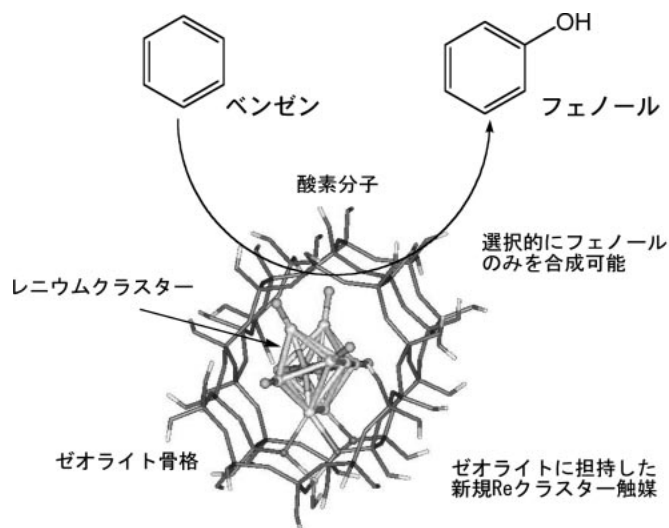


図2 ベンゼンと酸素分子から一段階の反応でフェノールを生成するゼオライト担持レニウムクラスター触媒

上に高分散に分布した固定化金属錯体は効率よく触媒反応を進行させることができます。

フェノールは、2004年の国内生産量が9万6,000トンにもものぼる最も汎用的な化学物質の一つです。古くは殺菌消毒薬として使用され、現在はビスフェノールAやフェノール樹脂、ポリカーボネート樹脂などの合成原料であり、CD、住宅建材、自動車部品、接着剤などの日用品にも多く使用されています。フェノールを作る原料としては、天然資源である石油(ナフサ)から精製できるベンゼンが用いられ、酸素と反応(酸化)することでフェノールが作られます。この酸化反応には空気中に含まれる酸素分子を用いるのが最も安価で安全な方法ですが、ベンゼンと酸素分子を直接反応させようとするとベンゼンが燃えてしまい、フェノールはほとんど合成できません。図2の触媒は、ゼオライトという3次元の骨格構造を持つ酸化物担体の空孔の中に10個のレニウム原子がクラスターとなって担持されたものであり、現在世界最高の94%のフェノール選択性でベンゼンと酸素分子を一段でフェノールに変換できることがわかりました(2005年12月2日朝日新聞などに掲載)。

医薬品合成などに必須の不斉触媒反応は、分子の右手型と左手型を区別することが必要なため、一般に固体触媒の表面での反応制御が困難でした。しかしながら、最近では固体表面での触媒構造を精密に設計することで、これまでほとんど不可能であった不斉触媒反応も高い不斉選択性で進行させることが可能になってきています。図3はバナジウムの錯体をシリカゲル表面に固定化して設計された触媒で、BINOLという不斉分子の合成に世界最高の不斉選択性を示すものです。BINOLは、2001年にノーベル賞を受賞された野依良治教授のグループにより開発された不斉配位子BINAPの原料であり、2-ナフトール分子の酸化的カップリングによって合成することができます。

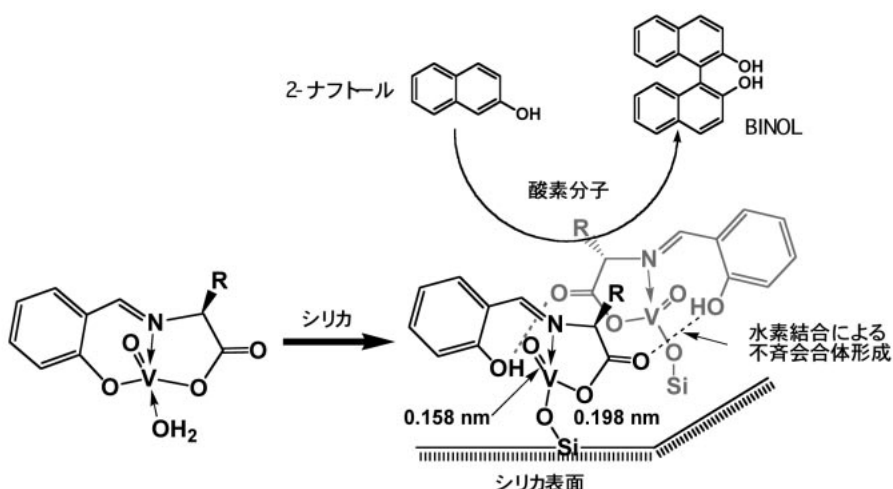


図3 シリカゲル表面でのバナジウム錯体の不斉自己組織化と表面で形成される不斉会合体による不斉BINOL合成

図3のバナジウム錯体をシリカゲル表面にある水酸基と反応させると、不斉自己組織化という現象により2つのバナジウム錯体が不斉に会合した新しい構造が表面上に作られます。2つのバナジウム原子の間にちょうど反応分子である酸素分子が入る空間があいており、反応分子を効率よく活性化でき、また2つのバナジウム錯体の会合体そのものが不斉な構造をしているため、BINOL分子の片方の配座のみを95%の選択性で合成することができる非常に優れた触媒です。



唯 美津木 (ただ みづき)

東京大学大学院理学系研究科化学専攻・助手。博士(理学)。

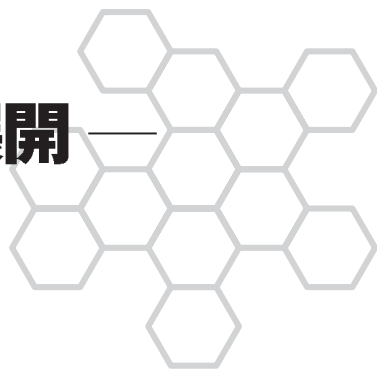
2001年東京大学理学部化学科卒業。2003年東京大学大学院理学系研究科修士課程修了。2004年東京大学大学院理学系研究科博士課程中退。2004年より現職。

専門は触媒化学。金属錯体を用いた高機能触媒設計、放射光を利用した触媒構造の解析に関心をもつ。

2003～2004年日本学術振興会特別研究員。

共著に「Surface and Nanomolecular Catalysis (Ed. R. Richards)」(分担執筆、Taylor & Francis、2006年)などがある。

右と左 — その後の展開 —



九州大学大学院理学研究院

徳永 信

このシンポジウムのタイトル「ものづくり - 化学の不思議と夢」にもあるように、化学は「ものづくり」の科学です。また会社の名前で「化学」というものがたくさんあるように、化学は「ものづくり」の技術としても世の中に貢献しています。

今回「右と左 - その後の展開 - 」というタイトルで発表を頼まれて、「『その後』ってなんだろう？ 最近の自分の研究？ 自慢するほど『展開』できてるかなあ？」などと思ったりするわけですが、「右と左」(不斉合成)において、『その後』といえば、2001年のノーベル化学賞以降のことを指しているというような広い見方もできます。ここでは「ものづくり」の科学技術としての不斉合成について考えてみます。

広い意味での「その後」

では不斉合成がどんな段階にあるかということ、ノーベル賞はでたし、一部は実用化して技術として世の中に貢献していることも確かですが、まだ「ものづくりの科学技術」として完成したとはいえない状況にあります。100点満点で30点くらいでしょうか。技術のレベルを上げるという目標に対しても、企業ではなく大学の研究者が、利益に直結しない(ことのほうが多い)研究を(科学研究費を使って)たくさんやらないと進んでいけない状況にあります。

インターネットの百科事典ウィキペディアには、辛口な批評が書いてあります。「不斉合成反応の致命的な欠点として挙げられるのは、その汎用性のなさである。...モデル化合物で選択性の高い反応が見つかって、有用な化合物の生産には全く役立たずということがある。...高価な不斉触媒を使うよりも、ラセミ体を合成して、それを分離するほうが手間がかからず、安価になる場合も少なくない。応用化学における不斉合成の研究目的は、有用な化合物を安価に製造することであって、不斉合成は手段でしかないことを肝に銘じるべきである」(ウィキペディアの「不斉合成」より抜粋)

ここで指摘されている汎用性のなさのほか、触媒の量がなかなか減らせない、触媒の再利用が難しいということも技術的な問題として存在します。ウィキペディアの批判にも

あるように、触媒的不斉合成が手段ではなく目的になってしまっている現状もあります。しかしながら有用な光学活性化合物を安価に製造する技術として最有力であることに違いなく、先にあげた問題点解決に向けた努力が積み重ねられています。

ノーベル賞は不斉水素化反応と不斉酸化反応にでました。不斉水素化反応は触媒の量を減らしやすく技術的完成度が高いため、実用化例も多いですが、不斉水素化だけですべての物質の合成が行えるわけではありません。

狭い意味でのその後

私はここ数年、水やアルコールを有機化合物に付加する触媒反応を中心に研究をしています。これらは、19世紀から知られている反応なので不斉合成の歴史も長く100年も前にさかのぼります。しかし、触媒としては酵母などの微生物や、それから単離した酵素などが使われているだけで、何故か人工的に作った触媒では不斉合成がなかなかうまくいかない反応です。実は酵素や微生物は人工触媒による不斉合成より工業化例が多く、技術として役に立っているのですが、これらはもともと生体内で働くようにデザインされているため、化学工場で働かせるのには必ずしも最適とはいきません。特に生産性に問題があります。そこで、この反応をなんとか人の手でつくった触媒でいかせようというわけです。

まず、私が1997年に見つけたエポキシドの不斉加水分解反応を示します(図1)。人工の触媒による初めての有用不斉加水分解でした。この反応は生体触媒より生産性が非常に高く、日米で工業化されています。

このあと、水の付加反応で、反応する位置を制御するような研究も手がけるようになりましたが、最近また不斉合成にもチャレンジしています。本当は、生体触媒で当然のように行われているアルキルエステルの不斉加水分解を成功させたいのですが、これがなかなか難しく、ちょっと違った反応では成果がでています。たとえば、図2に示したようなビニルエーテルの加アルコール分解反応で、軸不斉化合物の速度論的光学分割に成功しました。

また、図3に示したようなアズラクトンという5員環化合物をアルコールで開く反応の速度論的光学分割にも成功しています。有用な四級アミノ酸誘導体の光学活性化合物を得

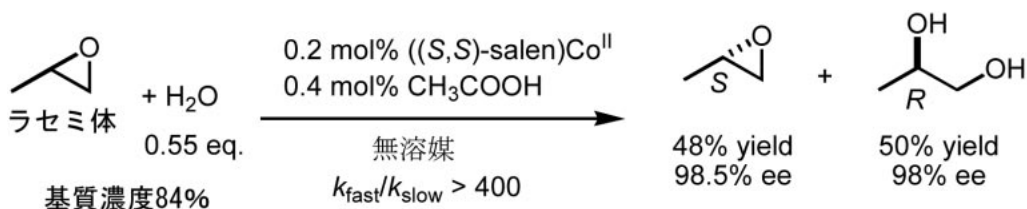


図1 エポキシドの不斉加水分解反応

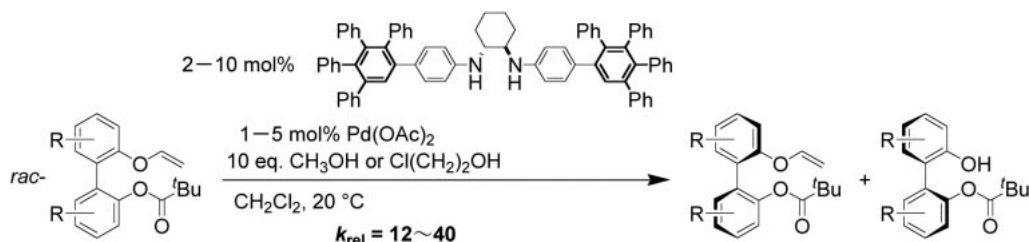


図2 ビニルエーテルの不斉加アルコール分解反応

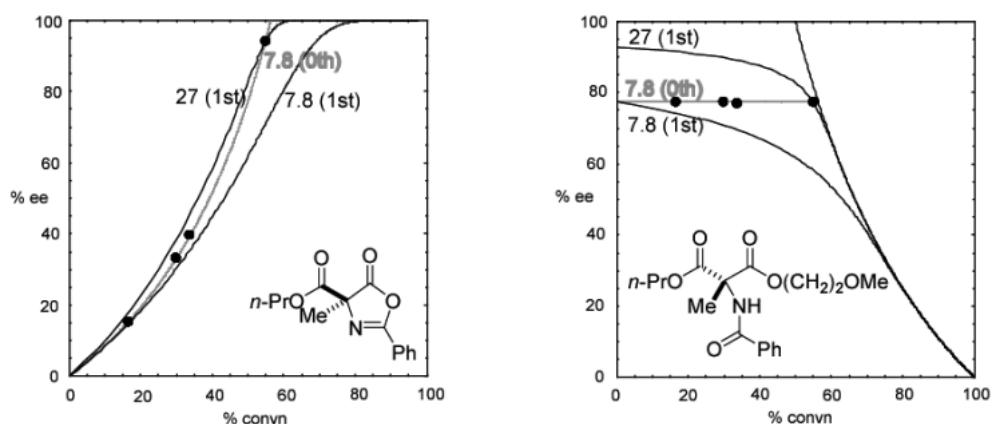


図3 アズラクトン類の不斉加アルコール分解反応

ることができます。さらに、この触媒反応を研究している過程で面白いことを見つけました。通常、化学反応の速度は、反応する基質の濃度に比例するため1次反応になります。しかし時々、基質の濃度に速度が関係なくなるときがあり、0次反応になることがあります。この反応は速度論的光学分割において初めて0次反応が確認されたケースとなりました。しかも、0次反応では1次反応より光学分割の効率がよくなることもわかりました。今後の触媒反応の設計のヒントになる現象です。

以上、不斉合成の現状と最近の私の研究について述べました。有用な光学活性化合物を安価に製造する技術として、解決すべき問題はたくさんありますが、日々進歩しています。



徳永 信(とくなが まこと)

九州大学大学院理学研究院化学部門・教授。理学博士。

1990年名古屋大学理学部化学科卒業。1995年名古屋大学大学院理学研究科博士課程修了。同年ハーバード大学博士研究員、1997年理化学研究所基礎科学特別研究員、2001年北海道大学触媒化学研究センター助教授を経て、2006年より現職。

専門は有機化学、分子触媒化学。現在は水和反応や加水分解反応、酸素による酸化反応などシンプルな反応を中心に研究を進めている。

2003年有機合成化学協会研究企画賞、2004年有機合成化学奨励賞受賞。



特別講演 **F**

座長…… 碓屋 隆雄

●
歴史と共に考える — 化学教育システムと人材養成 —
山本 明夫

歴史と共に考える — 化学教育システムと人材養成 —



早稲田大学理工学総合研究センター
山本 明夫

化学史、化学技術史研究と教育

科学に関する教育は次の世代の人物を育てる上で決定的に重要な役割を演ずる。歴史上における人材養成の例を考える。

I. 科学技術後進国日本の努力

(1) 教育への投資

2世紀半にわたる鎖国のために、日本の科学技術は西欧に大きく遅れをとった。日本が開国した19世紀半ばという時期は、化学自身が基礎を固めつつあった時代であったために、内容習得に関する遅れは半世紀位であったろう。しかし、日本には寺子屋、藩校を除いて組織的な教育研究制度がなかったため、明治新政府は、まずそのためのシステム造りから始めなければならなかった。教育熱心な佐賀藩出身の文部卿大木喬任は明治5年新教育システムを作り、5年間で2万5,000校の初等学校を設立した。世界に類をみない将来のための教育への投資であった。

(2) 高等教育、研究体制

初等教育の整備は早かったが、それまで大学というものを持たなかった日本では、高等教育を整備するには時間がかかった。まずお雇い外国人の手による教育をはじめ、一方で西欧に派遣した留学生の帰国を待って、高給を払って雇用していた外国人教師を日本人により置き換えていった。当時の高等教育制度整備の中で、山尾庸三、Dyerらがヨーロッパではそのころ主流ではなかった工学教育を重視したのは注目される。しかし、当時帝国主義列強に伍して軍備に巨費を使いながら、殖産興業につとめた日本は、最初は高等教育にもかなりの投資をしたが、それを急速に拡大する余裕はとてなかつた。大学制度が整備されるには時間がかかった。東京大学ができてから京都大学ができるまで20年、東北大学、九州大学ができるまでさらに10年かかり、名古屋大学ができたのは太平洋戦争が

始まろうとしていた時期であった。ある程度の数の大学卒人材がいなければ、化学も発展しないし、化学工業も育たない。日本の高等教育と研究体制が整備され、化学と化学工業が離陸するまでには、時間がかかった。

(3)人材ピラミッドの育成

科学が進歩するには、リーダークラスの人材層の厚さが重要であるが、工業の発展には、そのほかに研究、開発の中核になる化学者、技術者、および研究開発、生産を支える労働者の質が重要である。職工学校(東京工業大学の前身)の創設と技能者教育の発展に尽力した手島精一の貢献は高く評価される。

II. 欧州の化学、化学工業の歴史に学ぶ

19世紀後半に、欧州ではドイツが急速に力をつけ、産業革命で先行していた英国をはるかに凌駕する化学工業が発展した。そのようなドイツの興隆も原因をたどれば、弱冠21歳のリービヒがギーゼンで始めた化学教育システムの成功に帰せられる。ドイツは世界に先駆けて科学の制度化に成功し、科学技術における優位を確保した。

さらにドイツは、20世紀初頭にハーバー・ボッシュ法の工業化により「空気からパン」を作ることに成功した。これは飢えから人間を解放する発明だったが、第一次世界大戦の勃発によって、この大発明は「空気から爆薬」を作ることに使われた。アンモニアから硝酸をつくり爆薬をつくるのが可能になったため、ドイツは戦争を続けることが可能になったが、結局はアメリカの参戦によって総力戦に敗退した。

III. 第一次世界大戦前後の変化

第一次世界大戦は、大きな転機だった。ドイツからの化学品、医薬品の輸入が途絶したため、多くの問題が生じ、化学工業育成の重要性が認識された。アメリカでもこの時期を経て各種の国産化学製品が製造されるようになり、デュボンなどの大会社が発展した。研究開発重視の思想はその後の多くの新製品の開発と化学工業隆盛の一因となった。日本でも、政府が化学工業製品を国産化する政策を推進した。この頃までに、大学で教育を受けた化学技術者がかなり供給されるようになったこともあって、日本でも何とか自前の工業により国産品を生み出すことができるようになった。政府、民間も研究機関を充実させることの重要性を認識し、研究所等の新設を支援した。理化学研究所の創設もこの時期である。

IV. 太平洋戦争前後の理工系人材養成

無謀な太平洋戦争は惨めな敗戦に終わり、多くの都市と工場は廃墟と化した。しかし、戦争中の理工系人材温存の効果もあって、日本の復興とその後の成長は急速だった。石油化学工業、高分子工業などで、最新の技術を西欧から導入することができたためと、戦前、戦後に作られた教育システムが機能し、化学工業、機械工業、電気工業などの製造業に専門知識をもった人材を多数供給することができたのが経済成長の重要な因子であったと思われる。

結 論

国が繁栄するためには、優れた教育研究システムが必要である。良い教育研究システムができて、人材養成が軌道に乗るまでは時間がかかる。そして制度ができて、社会(国家)がそれを維持し、発展させる仕組みがなければ、次代を支える人材は養成できない。そして何よりも重要なのは、教育に当たるものの資質と熱意である。

(参考文献)

- ・日本化学会編「化学ってそういうこと！夢が広がる分子の世界」化学同人、2003年3月
- ・山本明夫、化学と教育、51, 7, 8, 9号(2003); 現代化学、2004年1, 2, 3, 4月号; 化学経済、2005年4, 5, 6, 7月号; 化学と工業、2005年7月, 8月号; 現代化学、2005年11月号。
- ・広重徹「科学の社会史」岩波書店、2002
- ・久保昌二「化学史・化学理論発展の歴史的背景」白水社、1949
- ・都築洋次郎「化学史・その思想と技術」朝倉書店、1966
- ・柴村羊五「日本化学技術史」日刊工業新聞、1959
- ・J. R. Partington, "A Short History of Chemistry," Dover Publ. Inc., New York, Third Edition, 1989
- ・ヘンリー・ダイアー著、平野勇夫訳「大日本・The Britain of the East」実業の日本社、1999
- ・L. F. ハーバー著、水野五郎訳「近代化学工業の研究 - その技術・経済史的分析 - 」北海道大学図書刊行会、1977
- ・W. Abelschauser, W. von Hippel, J. A. Johnson, R. G. Strokes, "German Industry and Global Enterprise. BASF: The History of a Company," Cambridge Univ. Press, 2004
- ・伊藤裕人「国際化学工業経営史研究」八潮社、2002
- ・D. Charles, "Master Mind. The Rise and Fall of Fritz Haber, the Nobel Laureate Who Launched the Age of Chemical Warfare," Harper Collins Publ., New York, 2005
- ・D. Stoltzenberg, "Fritz Haber. Chemist, Nobel Laureate, German, Jew," Chemical Heritage Press, Philadelphia, 2004
- ・L. F. ハーバー著、佐藤正弥、北村美都穂訳「世界巨大化学企業形成史」日本評論社、1984
- ・工藤章「現代ドイツ化学企業史 - I. G. フェルペンンの成立・展開・解体 - 」ミネルヴァ書房、1999
- ・呂万和「明治維新と中国」六興出版、1988



山本 明夫 (やまもと あきお)

早稲田大学理工学総合研究センター・顧問研究員 / 東京工業大学名誉教授。

1954年早稲田大学理工学部応用化学科卒業。1959年東京工業大学理工学研究科博士課程修了。東京工業大学資源化学研究所助手、カリフォルニア大学バークレー校博士研究員、ドイツマックスプランク石炭研究所博士研究員を経て、東京工業大学資源化学研究所助教授、1971年同教授、1988年同所長、1990年早稲田大学大学院理工学研究科客員教授、2000年より早稲田大学理工学総合研究センター顧問研究員、現在にいたる。

専門は有機金属化学。最近は化学史に関心をもつ。

1969年高分子化学会賞、1986年日本化学会賞、1994年向井賞などを受賞。1995年紫綬褒章受章。

著書に『有機金属化学 基礎と応用』(裳華房、1982年)、“Organotransition Metal Chemistry”(Wiley、1985年)などがある。



パネル討論 化学の夢を大いに語る

G

座長 辻 篤子

パネリスト 齊藤 幸一

唯 美津木

徳永 信

山本 明夫



辻 篤子(つじ あつこ)

朝日新聞論説委員

1976年東京大学教養学部科学史科学哲学分科卒業。1979年朝日新聞社入社。科学部記者、アエラ発行室記者、アメリカ総局員などを経て、2004年より現職。

1989年、MITナイト科学ジャーナリズムフェロー。専門は科学ジャーナリズム。

共著に『岩波講座 科学 / 技術と人間 第2巻 専門家集団の思考と行動』(岩波書店、1999年)、共訳書に『カール・セーガン著 惑星へ』(朝日新聞社、1996年)などがある。