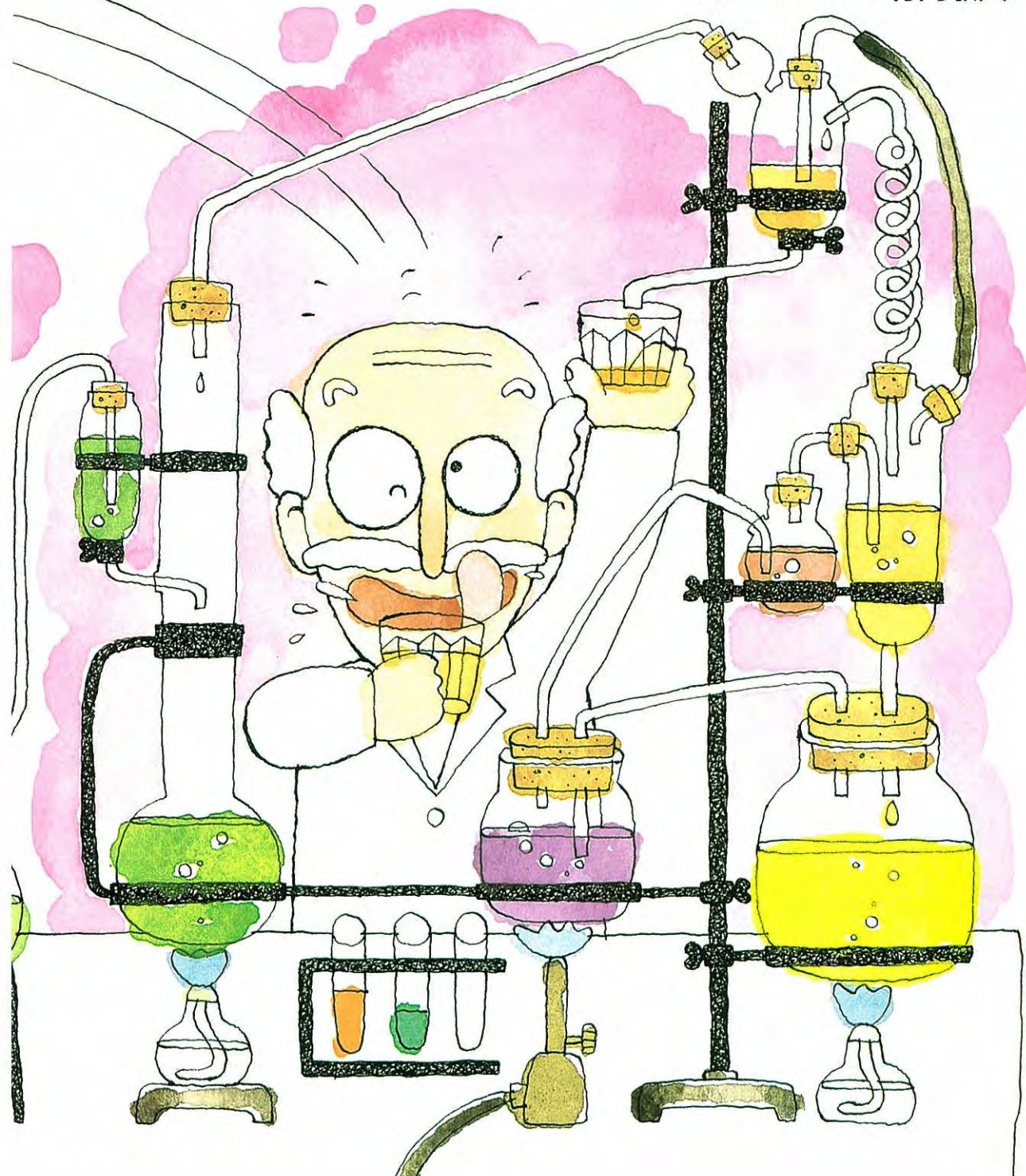


エピソードと人物でつづる

おもしろ化学史

監修 東京大学名誉教授・竹内敬人



1 近代化学のはじまり

断頭台の露と消えた「百年に一人の頭脳」	2
ラボアジエ／ドルトン／アボガドロ	
海の塩からソーダを作って大金持ち	4
ルブラン／ソルベー	

生物がつくる物質を世界で初めて合成	6
ウェーラー	

●化学者名鑑●

A・L・ラボアジエ 3／A・ボルタ 5／
H・デービー 6

2 石炭化学の発展

18歳の少年が人類初の合成染料を作った	8
パーキン／バイヤー	
ヘビの夢から化学構造の秘密が解けた！	10
ケクレ	
プラスチックを作って億万長者になる法	12
ハイアット／ベークランド	
水と空気から肥料を作って飢餓を克服	14
ハーバー／ボッシュ	

世界で最初にホルモンを手にした男	16
高峰讓吉	

●化学者名鑑●

A・B・ノーベル 11／グッドイヤー兄弟 12／
F・ハーバー 14

●化学者名鑑●

女王のドレスも合成染料で 8／肥料にもなった爆
薬のもと 15／コウジとウイスキーから金の卵 16

3 石油化学の発展

ガソリンの量を2倍とりだすアイデア	18
バートン／フードリー	
細菌を殺す「魔法の弾丸」赤い色素	20
エールリヒ／志賀潔／秦佐八郎	
昆布のうま味とウルシに日本人の獨創性	22
池田菊苗／真島利行	
高分子化学の命運を決めた10年間論争	24
シュタウディングガー／マルク	
圧力をかけると分子の鎖ができあがる	26
チーグラ／ナッタ	

世界初の合成繊維を生んだ悲劇の天才	28
カロザース	
日本初の合成繊維ビニロン	30
桜田一郎	

●化学者名鑑●

E・J・フードリー 19／黒田チカ 23／H・シュ
タウディングガー 24／W・H・カロザース 29

●化学おもしろ話●

キニーネと太平洋戦争 21／まずい味だと思われて
いたグルタミン酸 22／ポリエチレンとレーダー
27／学生服で大ヒットした「合成1号」 30

4 ニューケミカルの時代

量子力学で化学反応の不思議を解く	32
福井謙一	
生物学上20世紀最大の発見をした二人	34
ワトソン／クリック	
世界を震撼させた遺伝子組み換え実験	36
コーエン／ボイヤー	
ガラスのような金属と「記憶」をもつ合金	38
増本健ほか	
炭素繊維を開発した日本人と液晶の神様	40
進藤昭男／ドジャンヌ	
誰でも作れる(!?)超伝導体	42
ベドノルツ／ミュラー	
「グリーンケミストリー」で環境に配慮	44
化学の素養を生物学に生かしてノーベル賞	46
利根川進	
常識をくつがえした発明	47
白川英樹	

左手型分子と右手型分子をつくり分ける	48
野依良治	
タンパク質の質量をはかる	49
田中耕一	
見えなかった分子に「光」を与える	50
下村修	
有機合成化学に革命をもたらす	51
根岸英一 鈴木章	
化学史年表	52

●化学者名鑑●

福井謙一 32／J・ワトソン 34／P・ドジャンヌ 41

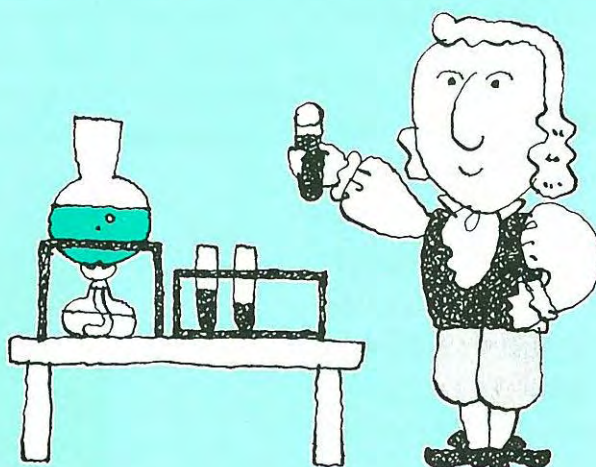
●化学おもしろ話●

味や匂いを判断するバイオセンサー 36／外科手術
にも使われる瞬間接着剤 38／21世紀のニューガラ
ス 39／ゲルを材料に作る人工筋肉 40／電子材料
で注目される人工ダイヤモンド 43／オゾン層破壊
対策は国際的な協力体制で解決の道筋ができた！45

1

近代化学のはじまり

18世紀末～19世紀前半



近代は人間の合理的な知性のめざめからはじまります。近代科学の手法は綿密な観察と実験結果をもとに理論をうちたてるというものでした。この手法を化学の世界にもちこんで、18世紀のヨーロッパに新風を吹きこんだのは、ラボアジエ以下じゅばくの一群の人々でした。彼らによって、化学は錬金術の呪縛を解かれ、新しい歩みをはじめます。

断頭台の露と消えた「百年に一人の頭脳」

物質の究極の姿に触れたラボアジエ、ドルトン、アボガドロ

人類と化学との関わりは、古代よりはじまります。古代の人々は、今日という化学技術を用いて、鉱石から鉄や銅、金などを取り出したり、また銅に亜鉛やスズを混ぜて合金をつくったりしました。こうした技術は、文明の発達を助けたのはもちろんですが、一方で錬金術という幻想も生み出しました。合金をつくるようにして黄金もつくりだせるのではないかと人々は考えたのです。以来、錬金術は2千年もの長きを栄え、物質の性質やその変化の様子を観察と実験で確かめようとする人々が現れたのは、ようやく18世紀に入ってからでした。彼らによって初めて、物質や化学現象の科学的な説明が試みられるようになり、近代化学がここにはじまったのです。

燃焼実験から酸素を発見

18世紀の化学者たちにとって、いちばん大きな問題は「物が燃えるとは、どういうことなのか」ということでした。それまでの常識では、物が燃えるのは物質にふくまれている「フロギストン」と名づけられた油性の土が飛び出していくからだと言われていました。実際、物が燃えると後には灰が残ります。これは元の物質から何かが飛び出したからだといふ多くの化学者が考えたのです。

このフロギストン説を厳密な実験によって否定し、燃焼現象を正しく解きあかしたのがフランスの生んだ天才化学者、アントワヌ・ロラン・ラボアジエ(1743～1794)です。裕福な家庭に育った彼は恵まれた才能と財力で早くから頭角を現し、31歳のときに行った水銀を使う実験は、化学史上に残るものとなりました。

一定量の水銀と空気を入れた容器を熱すると空気が減り、赤い酸化水銀(固体)ができてきます。これを取り出して小さなガラス容器に移し、さらに熱すると赤色が消え、容器の中に液体水銀と気体が残ります。この気体はロウソクの炎を勢いよくし、動物が吸っても窒息しないことをラボアジエは確かめました。実験は水銀の量や気体の量を精密に計って行われました。

こうした実験を繰り返すことで、彼は、金属の燃焼は空気中のある種の成分と金属が結合することによって起こる現象であることを証明したのです。燃焼に必要な空気の成分は、どんな物質の場合も同じで、また動物の呼吸にも必要なものであることを明らかにしました。そして1777年、彼はこの気体に「酸素」という名前をつけたのです。ラボアジエはさらに実験を続け、窒素、水素、硫黄、炭素など、基本的な33種の元素の存在を明確にしたのです。

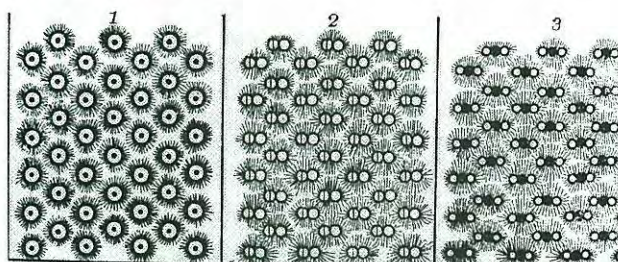
気象観測から究極の粒子を見つけた男

元素とは何か、どうやって発見するのかを、燃焼実験によって示したラボアジエの功績は、近代化学の基礎を築いたといえるほど偉大なものでした。彼はフランス革命の犠牲となり、悲劇的な最期をとげますが、



原子説を提唱したイギリスのJ・ドルトン

ドルトンが描いた原子の絵



1が水素、2が亜硝酸ガス(酸化窒素)、3が二酸化炭素の図。まだ原子の大きさを考えていなかった時代のもの。

近代化学そのものは、彼の死後次々に現れた優れた研究者によって巨大な奔流となっていくのです。

そのひとりがジョン・ドルトン(1766~1844)です。彼はイギリスの貧しい織工の子として生まれ、独学ですばらしい研究を成し遂げました。彼が興味を持ったのは、気体の性質でした。

21歳のころから気象観測に熱中していた彼は、なぜ大気の中では重い酸素が下の方に集ってこないのか、疑問を持ちました。考えたあげく、彼は空気中には羽根のついた粒子が詰っていて、そしてその粒子は種類によって大きさも違うのではないかと、という仮説を立てました。同じ大きさの羽根つき粒子は空間をぎっしりと埋めつくすので動くことができないが、大きさが違う粒子の混合物はすき間ができて上や下へとまじりあうことができる。酸素と窒素からなる大気の中で酸素が下に集らないのもこれで説明がつくわけです。

この粒子こそ、物質の究極の姿であるとドルトンは考えました。すなわち原子説の誕生です。ドルトンは

分子説を提唱した
イタリアのA・ア
ボガドロ



原子をそれまでのような抽象的な概念ではなく、重さや容積をもつ粒子として提唱したのです(1803年)。

ドルトンの原子説に対し、分子のイメージをつくりあげたのがイタリアの物理学者アメデオ・アボガドロ(1776~1856)です。彼は単体の分子は2個以上の原子が結合してできるという仮説を立て、原子と分子を区別しようとした。しかし、当時は同じ種類の粒子(原子)は反発する、つまり H_2 のように結合しないという考え方が主流で、アボガドロの説は受入れられず、認められるまでにはなんと50年の歳月を待たなければなりませんでした。

化学者名鑑



革命の犠牲となった天才化学者 A・L・ラボアジエ

伝統的な考え方をくつがえて正しい燃焼理論を打ち立てたラボアジエ。彼はまた、実験には精密な秤を

使わなければならないことをはっきりさせたことでも今日の科学に大きな功績を残したといえます。実験には精密さが必要であること、同じ実験を再現するには質量を測定することが欠かせない——この常識ともいえる事柄を最初に提唱したのがラボアジエだったのです。

その他にも、政府の火薬委員会の委員として火薬の爆発力を大きくする方法を発明したり、メートル法を確立したのもラボアジエでした。裕福な家庭に生まれ、才能にも恵まれた彼にとって、人生はまさにバラ色だったに違いありません。

しかしその一方で、彼は徴税請負人の仕事もしていました。民衆から

税金を集める仕事が好かれるはずありませんが、フランスの徴税請負人は集めた税金を着服することでことに嫌われていました。

フランス革命が起きると徴税請負人たちは全員逮捕されました。裁判では友人たちがラボアジエの科学に対する貢献をあげて助命を願ったのですが、革命裁判長は「共和国に科学はいらない」と言って死刑を宣告しました。

数学者のラグランジュは「ラボアジエの首を断ち切るには一瞬で足りるが、彼と同じ程度の頭脳は、百年たっても現れないだろう」と言って嘆いたといえます。断頭台の露と消えた天才化学者ラボアジエ。時に1794年、享年51歳でした。



海の塩からソーダを作って大金持ち

ソーダ製造で悲運のルブランと成功者ソルベ

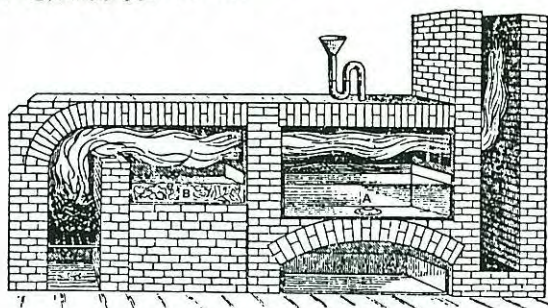
産業革命は、人間の労働を機械に肩代わりさせることによって、製品の大量生産を可能にしました。その恩恵をまず受けたのは軽工業、なかでも紡績機が発明された繊維工業でした。

羊毛などを紡ぐには、原毛を洗ったり漂白しなくてはなりません。古代にはそのために植物を焼いた灰と油で石けんを作り、足で踏んで洗っていたといいます。つまり、今でいうアルカリ工業は石けんを作ることから始まったというわけです。植物灰や、硫酸ナトリウムの鉱床から産出される天然の炭酸ナトリウム(ソーダ)は、18世紀にいたるまで石けんなどの重要な原料として用いられていました。

しかし、これだけでは繊維製品の大量生産には間に合いません。また、ソーダがガラスの原料として使われることもあって、ヨーロッパではアルカリ不足が深刻になりました。なんとか化学的にソーダを作れないものか。そこで――。

賞金10万フランの懸賞がきっかけ

フランスでは、スペイン産のソーダを原料に石けん業が盛んでしたが、スペイン王位継承戦争のためにソーダが輸入できなくなり、その不足がより深刻になりました。化学者たちはソーダの工業的製造に取り組みましたが、なかなか成果があがりません。すでに1736年、デュアメルによって食塩の基本要素が天然アルカリの基本要素と同じナトリウムであることが証明



ルブラン法によるソーダ製造のための塩分解炉の断面。Aに塩と硫酸を入れると塩素が追いだされ、Bの部分で反応が完成して、黒灰ができる

されていました。そこでフランス科学アカデミーは1755年、海塩からソーダを作る方法の発明に10万フランの賞金をかけて募集したのです。

それに成功したのがニコラ・ルブラン(1742～1806)でした。オルレアン公の主治医であり、医業のかたわら化学の研究をしていた彼は、炭酸ナトリウムの製造法(「ルブラン法」)を発明し、1790年、オルレアン公の援助で工場を建てて操業を開始します。

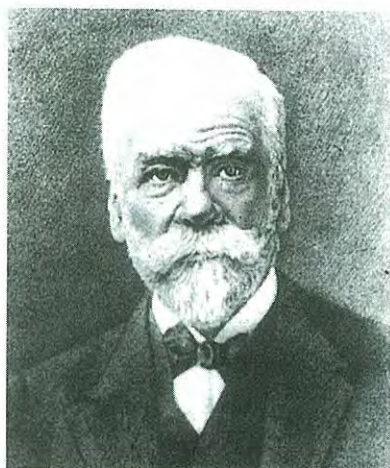
ルブラン法とはまず、硫酸と食塩から硫酸塩を作り、コークス、石灰石とともに約1000℃で焼いて黒灰を作るというもの。これを洗い、水のなかに溶け出した成分を蒸発濃縮させると炭酸ナトリウムの結晶が得られます。それまでに鉄や鉛、酢酸などを硫化物に反応させてソーダを得る方法はありませんでしたが、いずれも製造にお金がかかりすぎ、実用には適していませんでした。ルブランの方法は安い石灰を使ったところがミソ。おかげで安価にアルカリができるようになったのです。

しかしルブランは悲運でした。フランス革命によってパトロンのオルレアン公が処刑され、工場は没収。科学アカデミーは審査委員の評価が分かれたという理由で、10万フランの賞金を支払いませんでした。1806年、彼は悲憤のうちに自殺します。

ルブラン法によるソーダ製造が本格的に工業化されたのは、皮肉にも彼の死後でした。イギリスのランカシャーに最初の大規模工場が建設され、1823年に操業を開始します。イギリスではこの年をアルカリ工業成立の年としています。ルブラン法を用いたソーダ製造工場は、これ以後各地に建てられ、ソーダ生産の主流となったのです。

ルブラン法の
N・ルブラン





ソルベー法の
E・ソルベー

現代化学工業の先駆となった発明

これに対し、19世紀後半、当時盛んになりはじめた製鉄業に使うコークスを石炭からつくるとき、副産物にアンモニアが回収できることから、このアンモニアを使って食塩を分解し、ソーダを作る方法が考えられはじめました。

これに挑戦したのが、ベルギーの製塩工場主の息子

アーネスト・ソルベー(1838~1922)です。彼は叔父が経営する石炭ガス工場でガスの洗浄液からアンモニアを回収、食塩からソーダを作る方法を研究しました。食塩水にアンモニアと炭酸ガスを通して炭酸水素ナトリウムを沈澱させ、これを焼いてソーダとするのです。そして1861年、まだ23歳だった彼はアンモニアソーダ法で特許を取得、「ソルベー法」と名づけました。その特色はルブラン法に比べて低温で反応が行われることで、このため燃料費が節約でき、しかも製品の質も優れているという、まさに画期的な方法でした。

ソルベー法は、19世紀から20世紀にかけて工業が大規模化するにともない、ルブラン法に取って代わり、ソルベー自身も世界中のアンモニアソーダ工業を独占する国際カルテルを結成し、大成功をおさめたのです。

化学者名鑑



自分の舌で電気実験 A・ボルタ

死んだカエルの足に電気刺激を与えるとピクリとけいれんを起こすのは今ではよく知られた現象です。初めてこの現象を目撃したのは、ガルバーニというイタリアの生理学者で、1780年のことでした。彼はその後10年間にわたりカエルの足と電気に関する研究を続け、その結果、2つの異なる種類の金属が足に触れるとけいれんが起ることを発見。動物は体内で電気を発して筋肉を動かすという「動物電気」説を発表しました。

ボルタの実験



ガルバーニの研究はヨーロッパ中の科学者を驚かせましたが、イタリアの物理学者アレサンドロ・ボルタ(1745~1827)もこの研究に強く興味をそそられたひとりでした。彼はさっそくガルバーニの研究をもとに独自の探求を始めましたが、そのうち、カエルの足をけいれんさせる電気の発生源は生物ではなく金属のほうではないかと考えるようになりました。

ボルタはそれを裏づけるため、自分の舌を使って実験してみました。まず舌の上にスズ箔を、舌の裏側には銀貨を置いて銅線で結びます。すると舌に強い酸味を感じたのです。銀貨を銀のスプーンに替えても結果は同じでした。次に銅線で結んだ2種類の金属を口と目に当ててみると、光を感じることもわかりました。

こうして彼は、電気を発生させる



のは金属のほうで、生物の神経はそれに反応しているにすぎないということを発見しました。1794年、彼は「金属電気」という言葉を用いて、電気の発生は一組の金属が湿った物に接することによってみられる現象であると発表。世間をアツと言わせたガルバーニの学説は、彼によって見事に覆されたわけです。

その後ボルタは、2種類の金属間に湿った布のようなものを挟むことで電流を取りだせることを発見、電池を発明することに成功しました。

生物がつくる物質を世界で初めて合成

試験管の中で尿素を作ったウェーラー

キリスト教では人間は神が作りたもうたものとされているように、人々は(化学者も含め)生物を特別な存在と考えていました。同様に、生物が作りだす有機物も体外で人工的に作れるはずがないと、長い間信じられてきました。

しかしその常識も、ドイツのフリードリヒ・ウェーラー(1800~1882)が1828年に、シアン酸アンモニウムから尿素を合成したことにより見事に覆されました。

フランクフルトの豊かな校長の家庭に生まれ育った彼は、初めは医学を修めましたが、後に化学に転向し、スウェーデンの偉大な化学者ベルセリウスの研究室で指導を受けました。ウェーラーとベルセリウスの間には、この後25年間にわたる親交が生まれます。

やがて彼はベルリン工業学校の教師となりましたが、そこで歴史的な発見をするのです。尿素は本来動物の体の中ででき、尿と一緒に排泄されるもの。それが実験室で人工的に合成できた。ベルセリウスに宛

尿素を合成した
F・ウェーラー



てた手紙に彼はこう書いています。「私は腎臓の助けを借りないで尿素を作ることができました。尿素の人工合成は無機物から有機物を作れるという証拠のひとつになるのではないのでしょうか」

ウェーラーの発見によって、有機化合物と無機化合物を隔ててきた「生物」という壁が取り払われたのです。すると生物と物質のつながりも見えてきました。そして、生命活動も化学的に解き明かせるという重要な考えを生みだすことになったのです。

現在、有機化学は「炭素化合物についての化学」と定義されています。

化学者名鑑



電気化学の生みの親 H・デービー

ボルタが電池を発明したとき、その重要性にいち早く気がついた男がイギリスにいました。電気化学の生みの親、ハンフリー・デービー

(1778~1829)です。

デービーは、イギリス南西部の貧しい農家の生まれ。16歳のとき薬剤師の店に奉公に出て、そこで化学を勉強します。19歳のとき小さな気体研究所の実験室主任となり、さまざまなガスの製造とその生理作用の実験を繰り返します。デービーを一躍有名にしたのは、笑気ガス(亜酸化窒素)の発見でした。このガスを少し吸うと、顔の筋肉が痙攣して笑ったようにみえるのです。この発見のおかげで、1801年、彼は弱冠22歳で王立研究所の化学講師に採用されます。そして実験をまじえた講義が評判をとり、翌年23歳で教授の座に。ボルタの電池が発明されたすぐあとのことでした。

デービーの功績は、電気分解によって新しい元素を発見したこと。水を電気分解して水素と酸素を得ることは、すでに試みられていました。デービーは大量の電池を使って、固体である化学物質(カセイカリ)に電流を流し、電気分解を試みたのです。すると電極の近くでアルカリの溶融がおこり、陽極からは酸素が発生し、陰極には金属の光沢を有する小粒ができました。こうしてまずカリウムを、次いでナトリウムの単離に成功(1807年)。さらにマグネシウム、カルシウム、ストロンチウム、バリウムを次々と単離して、センセーションを巻き起こしました。

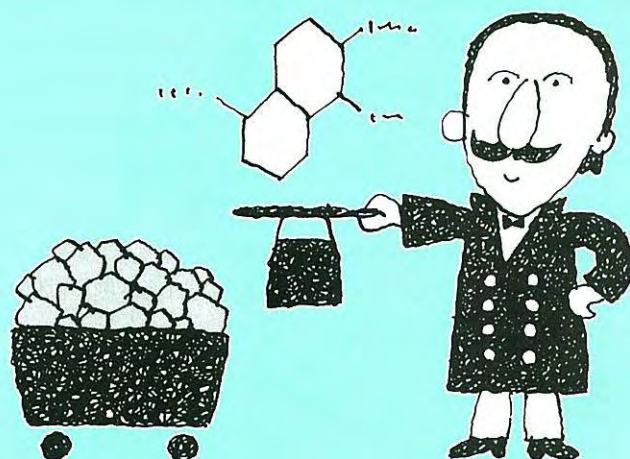
これら新しい金属元素の発見は、ラオアジエの元素表を補うとともに、電気化学という新しい分野を確立させることになったのです。



2

石炭化学の発展

19世紀後半～20世紀初頭



草創期の化学工業を育てた第一次産業革命の主役は、石炭でした。この石炭を原料とするいわゆる石炭化学工業が、合成染料の成功をきっかけに19世紀半ばから大きく発展していきます。プラスチックも早々と登場。さまざまな製品が天然のものから合成ものへと転換していき、化学技術が生活を支える重要な基盤となっていくのです。

18歳の少年が人類初の合成染料を作った

染料合成の先駆者、パーキンとバイヤー

有機物質が人工的に合成できることが明らかとなり、いろいろな物質の化学構造がわかってくると、次に化学者たちが考えたのは、天然の物質に代わるものを人工的に作りだすことでした。そうしたさまざまな試みのなかでも工業的に初めて成功を収めたのは、染色に使う染料の合成でした。

偶然に助けられたパーキン

物質を合成するためには原料が必要です。その原料となったのは主に石炭でした。石炭を高熱で分解すると石炭ガスとコークスが得られ、あとにコールタールが残ります。コークスは製鉄業に、石炭ガスは燃やして照明に使われますが、コールタールには使い道がありませんでした。この、無用のコールタールに目をつけたのが、ロンドンの王立化学学校教授アウグスト・ホフマンです。彼は、染料をとる植物アニルに含まれる「アニリン」という有機物質をコールタールから抽出することに成功しました。このアニリンと偶然の力を借りて、当時ホフマンの助手を務めていたイギリス人の若者ウィリアム・ヘンリー・パーキン(1838~190



合成染料第1号
を生んだW・H・
パーキン

7)が、世界で初めて合成染料を作りだすのです。

まだ18歳だった彼は、もともと合成染料を作ろうと思っていたわけではなく、マラリヤの特効薬であるキニーネの合成を試みていたのです。「ホフマン先生がコールタールから分離したアリルトルイジンという物質とキニーネの化学式はよく似てる。これを加工すれば、ひょっとするとキニーネが合成できるかもしれないぞ」そんな少年らしい単純な発想から、パーキンはアリルトルイジンを酸化してみまし

化学おもしろ話

女王のドレスも合成染料で

「モーヴ」はフランスのファッション界で有名になり、「モーヴェイン」の名前でもはやされました。また、イギリスでもビクトリア女王が1862年のロンドン博覧会に「モーヴ」で染めたドレスを着て臨席し、有名になりました。こうした状況をパーキンの師であるホフマンはどのように見ていたのでしょうか。

「イギリスはそのうちに石炭から作りだされる青い染料をインド藍(アニル)を栽培するインドへ送り、蒸留した赤をコチニール(乾燥させたエンジュシの粉末で赤色染料)を産

出するメキシコへ、キハダやベニバナの代用品を産地である中国や日本に送ることになるだろう」

これはホフマンが、「モーヴ」発見の6年後に立てた予想です。事実、「モーヴ」以後、次々に新しい染料が人工的に作りだされ、長い間使われていた天然染料に取って代わりました。合成染料は手軽に安く作れるうえ、色も豊富だったからです。

たしかに「モーヴ」が生まれた結果、天然のインド藍の輸入は停止します。またパーキンは1869年に、アリザリンという赤色染料をやはりコ



ールタールから合成することに成功します。ドイツでもその少し前に合成に成功します。このため、アカネを栽培していたヨーロッパ中の農民が打撃を受けました。それまで赤い色はアカネの根から取っていたのです。

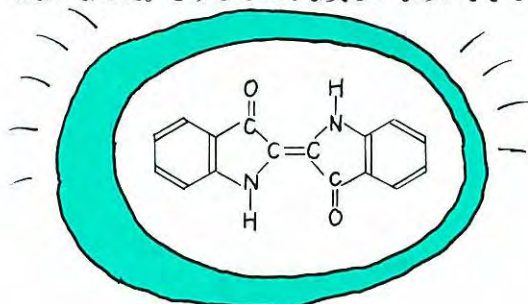
た。しかし、思いつき同然に始めた実験からキニーネが生まれるほど現実はやさしくありません。それでも懲りずにパーキンは今度はアニリンを酸化してみました。すると黒い沈殿ができ、これをアルコールに溶かすと美しい赤紫色の溶液ができたのです。1856年のことです。この液体が染料になるかもしれないと考えた彼は、すぐに染色業者に試験を頼み、その結果、絹の染料として簡単には色も褪せず優れていることがわかりました。パーキンはさっそく、これがゼニアオイの花の色に似ていたので花の学名から『モーヴ』と名づけ、特許を取りました。合成染料第1号の誕生です。

彼は世界最初の合成染料会社を作り、『モーヴ』はヨーロッパ中でもはやされました。その後もパーキンはさらに多くのアニリン染料を合成・製造して大金持ちとなり、イギリスの染料業界全体にも繁栄をもたらしたのでした。

染料の帝王インジゴに魅せられた少年

世界で最古の歴史をもつ天然染料、藍。植物から得られるこの美しい青色染料は、ミイラの包み布に使われるなど、古代からインド、中国をはじめ、広く世界で使われてきました。藍の主成分はインジゴという物質で、色の鮮やかさ、色の落ちにくさ、そして用途の広さから「染料の帝王」と呼ばれてきました。

この藍の美しさに魅せられたのがアドルフ・V・バイヤー(1835～1917)です。1848年、彼が13歳のとき、一塊りのインジゴを手に入れ、一目でとりこになってしまいました。どうしてこんな美しいものができるの



インジゴの化学構造

インジゴを合成した
A・V・バイヤー



だろうか。少年がもった素朴な疑問は、やがてインジゴの化学構造を解き明かそうという夢にふくらんでいったのです。

地理学者を父にもつバイヤーは、幼いころから化学に強い興味をもっていました。12歳のときに炭酸銅と炭酸ソーダを組み合わせた結晶を作り、父親の友人で当代一の化学者だったミッチェルリヒに見てもらったのです。その性質は成長しても変わることなく、ハイデルベルク大学に進学して後は、ベンゼンの化学構造を明らかにしたケクレに師事し、1860年には25歳でベルリンの工業学校に新設された有機化学科の教授になりました。

そして彼の指導の下、グレーベとリーベルマンによって、藍と並ぶもう一つの天然染料アリザリンの合成が研究されました。アリザリンはアカネの根から取れる美しい紅色染料で、ヨーロッパではこの染料を取るため広大な土地にアカネが栽培され、政府が栽培農家を保護するほどでした。アリザリン合成に成功するのは1868年。この成果はさっそくバディッシュ社のカロによって工業化され、莫大な富をもたらしただけでなくドイツの染料工業の地位を一気に高めたのでした。少し遅れてイギリスのパーキンも合成に成功しますが、特許取得はカロのほうが早かったのです。

バイヤーはグレーベらの成功を祝福こそしましたが、名誉の分け前を要求することはなかったといいます。彼にはインジゴというテーマがありました。彼が30歳のときに始めたインジゴ研究は、断続的に続けられ、1878年合成に成功します。そして1883年、化学構造もバイヤーによって決定され、彼の子供の頃からの夢はとうとう実現しました。インジゴが、一人の偉大な化学者を「生み育てた」のです。

ヘビの夢から化学構造の秘密が解けた！

「ベンゼン環」を発見したケクレ

物質はそれぞれ異なる質量をもった元素から成り立っているということは18世紀の末、ラボアジエの研究以来明らかになりました。さらに19世紀の前半になると、ドルトンらの研究からこれ以上分割することができない粒子「原子」の概念が生まれ、いろいろな原子が結合して、化合物を形成していることもわかってきました。

そして19世紀の半ば。化学者たちは原子がどのようにして結びついているのかということに興味を持ちました。この研究で先頭に立った化学者のひとりにドイツのフリードリヒ・A・ケクレ(1829~1896)がいました。幼い頃から頭脳明晰、数学と製図に興味を示した彼は、成長すると父の勧めに従ってギーセン大学に入り建築学を学びました。ところが、ギーセン大学にリービッヒという優れた化学者がいたことが、彼の人生を変えてしまいます。リービッヒの魅力に引かれたケクレは、周囲の反対を押し切って建築学を辞め、化学に転向してしまったのです。

しかし、ケクレも初めは原子がどのように配列しているかなど知ることはできないと考えていました。ところが彼がロンドンに遊学していたときのこと、乗合馬車に乗ってうつらうつらしているうちに原子の夢を見たのです。夢のなかでは大きい原子が小さな原子を2つ抱いていたり、さらに大きな原子が小さな原子を

「夢見る化学者」
F・A・ケクレ



3つも4つもつかまえていました。この夢をもとに明らかにしたのがメタン型化合物の構造です。

ヘビの夢とベンゼン環

ケクレと夢の話で最も有名なのは、いまや伝説的ともいえるベンゼンの構造を解明したときのことです。

さて、4本の腕をもつ炭素原子が6個、1本の腕をもつ水素原子が6個あります。この2種類の原子を仲良く握手させるには、どうしたらいいでしょう。パズルみたいなものです。みなさんも考えてみてください。

ケクレもこの問題にはずいぶん長い間頭をひねらざるを得ませんでした。炭素の腕が合計24本、水素の腕は合計6本。これで腕を余らせずに手をつなぐことが

ケクレが考えたベンゼンの構造

ケクレは、ベンゼンにおける炭素を単結合と二重結合が交互になるように配列してみた。“開いた環”では8個の原子価が残るが、両端をつないで“閉じた環”にしてやると6個の原子価が残る。すなわちベンゼン環が得られる

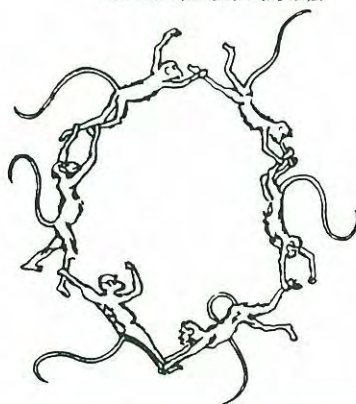


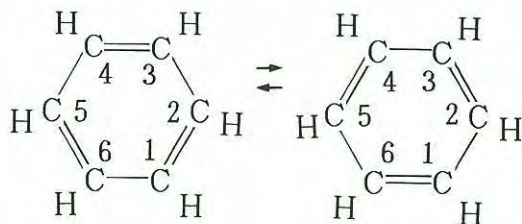
開いた鎖 C_6H_8



閉じた鎖 C_6H_6

ベンゼン環を表す当時の絵





ベンゼンの化学構造

はたしてできるのか。

そこにまたしても、夢が重要なヒントを与えてくれたのです。1865年のある日、彼が暖炉のそばでうたた寝をしていると、一匹のヘビが自分の尾をくわえてグルグル回る光景が夢にでてきたのです。彼はハッと目を覚まし、ベンゼンの構造を図にしてみました。そして6個の炭素原子を、ひとつの輪を描くように並べることで、問題を解決しました。この六角形のかたちをした輪は「ベンゼン環」と呼ばれ、以後の研究に大いに役立つことになりました。

当時は分子の構造を目で見て確かめることなど思いもよみませんでした。実際、後世になって分光学などによって解析が可能になると、ベンゼン分子のなかで6個の炭素原子が、まさに六角形に並んでいることが実証されました。ベンゼンの化学構造が明らかにされたことで、またひとつ化学の新しい扉が開かれたの

です。この新しい分野は、以後「構造化学」と呼ばれるようになりました。

うたた寝をしていて、化学史を飾る重要な発見をするとは、なんともうらやましいかぎりです。つねに集中して物事を考える習慣をもてば、夢も協力してくれるということでしょうか。

「夢見る化学者」ケクレ先生は、こんなことを言っています。

「夢に学ぼう。そうすれば、われわれはおそらく真理を発見するだろう。けれども、目覚めた心で理解し、かつ証明しないうちは、その夢を公表しないように用心しよう」

化学者名鑑



ダイナマイトを発明 A・B・ノーベル

火薬が発明されたのは中国とされています。以来19世紀半ばまで、火薬といえば、硝石、硫黄、木炭を混ぜた「黒色火薬」が使われてきましたが、産業革命以降、鉱石や石炭をたくさん掘り出すためにも、また兵器の威力を高めるためにも、より強力な火薬が必要となってきました。

化学者たちは新しい火薬を作り出そうと研究を始め、1846年、イタリアの化学者ソブレロがニトログリセリンという強い爆発力をもつ物質を作りだします。これは石けん製造の副産物であるグリセリンに濃硫酸、濃硝酸を混ぜ、ニトロ化したものですが、衝撃に敏感すぎるという欠点がありました。油のようにドロドロしており、思いがけないときに激しい爆発を起こすという扱いにくい面

をもっていたのです。

このニトログリセリンをなんとか安全に使えるようにしたい。そこでスウェーデンの火薬技術者アルフレッド・B・ノーベル(1833～1896)は、ニトログリセリンの液体を何かに染み込ませることによって安定させようと考えました。おがくず、木炭、レンガの粉など、次々と試してみましたがどれももうまくいきません。そして1866年、最後に手にしたのがケイ藻土でした。これは白い粉のような物質で、ヨーロッパ大陸がまだ海の底にあったころ「ケイ藻」という植物プランクトンの死骸が降り積もってきたものです。

このケイ藻土には小さな穴が無数に空いているので、多量のニトログリセリンを吸収します。そのうえケ

イ藻土に吸収された状態では、ニトログリセリンは衝撃に反応しないのです。激しくゆすっても、あるいは燃やしても爆発しません。ところが雷管をつけて起爆させるとものすごい爆発を起こします。ノーベルはこれを「ダイナマイト」と名づけ、棒の形にして製造、文字どおり爆発的な富を得ることになったのです。いうまでもなく、ノーベル賞はこの富から生まれたのです。



プラスチックを作って億万長者になる法

樹脂で大成功したハイアットとベークランド

私たちの身の回りにはプラスチックでできたものがたくさん見出せます。ポリエチレン、ポリスチレンなどを総称してプラスチックと呼びますが、ご承知の通り、現代のこうした製品の多くは石油をもとにして生まれたものです。しかし実は、19世紀から20世紀初頭、石油から作る方法が世に出る前に、すでにプラスチックは登場していたのです。

象牙の代用品として作られたセルロイド

プラスチックとして最初に登場したのがセルロイド。19世紀のアメリカではビリヤードが大流行し、球の材料の象牙が不足し、困った業者は象牙の代用品の発明に1万ドルの賞金をかけて募集しました。その広告を新聞で見たのがジョン・W・ハイアット (1837～1920) です。

16歳の頃から捺染工場で働いていた彼は、化学とは無縁でしたが発明と工夫が大好きな青年でした。募集



ハイアットはセルロイドを偶然に見出した

広告に興味をそそられた彼は、初めに塗料の原料になるカイガラムシの分泌液を使って実験しましたが、これは失敗。あきらめかけたときに仕事場で指にケガをした彼は、薬箱のなかに乾くと固まる液体絆創膏(コロジオン液=ニトロセルロース溶液)を見つけて興味を持ちます。しかし、これは固まるとシワができるほど縮んでしまうため、ビリヤードの球には使えません。

化学者名鑑



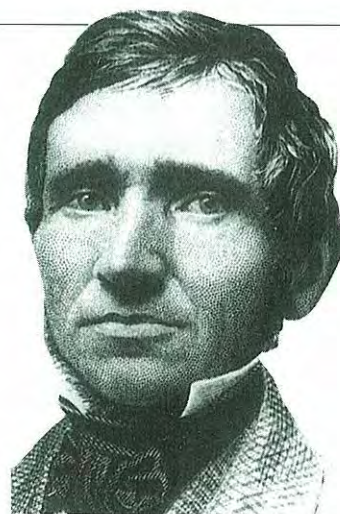
合成ゴムとエポナイト グッドイヤー兄弟

大人気のモータースポーツ、サーキットを疾走するマシンの迫力はいつ見ても凄いいのですが、あのレースマシンがつけている大きなタイヤにもグッドイヤー社製のものがあります。さすが合成ゴムの生みの親、名声は今も受け継がれています。

18世紀後半には、南米のゴムの木から取れる樹脂が天然ゴムとして利用されていましたが、温度変化に弱く、気温によって固くなったりベトベトしたりするのが難点でした。アメリカのチャールズ・グッドイヤー (1800～1860) は、この改良に取り組み、1839年、生ゴムと硫黄とを加熱しながら混ぜて合成ゴムを得る「熱加硫法」という方法を生みだします。たまたまストーブの上に生ゴムと硫

黄を落としたのがきっかけだったそうですが、これが今日のゴム工業の基礎を築く発明となったわけです。

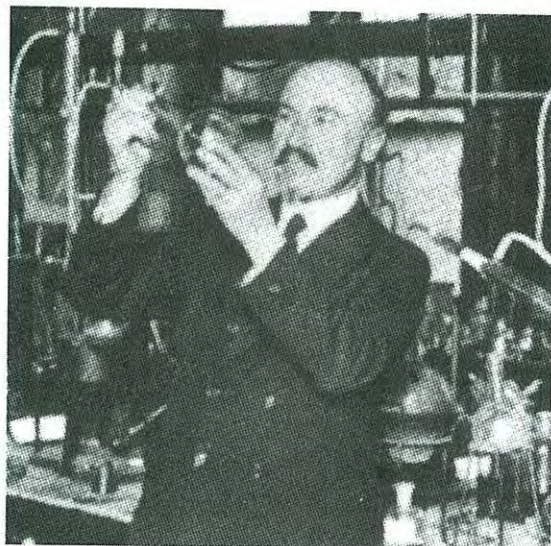
グッドイヤーは、この製法を発明すると、さっそくアメリカで特許を申請。3年後にイギリスにも特許出願をしました。ところが特許を出願する前に、製品見本がハンコックというイギリス人の手に渡り、ハンコックはグッドイヤーより先にイギリスで特許を取得し、工業化してしまったのです。結局、グッドイヤーが特許権を取得できたのはイギリスを除く数カ国にとどまりました。彼はこの発明のために莫大な借金をしていましたが、それを返済することにもかなわず、1860年、失意のうちに亡くなってしまいました。



兄のC・グッドイヤー

しかし、弟のグッドイヤーが生ゴムに混ぜる硫黄を30～50%に増やすことで硬質ゴムができることを発見、「エポナイト」と名づけ、こちらは商業的に成功を収めました。

ベークライトを発明した
L・H・ベークランド



ところが、ちょっとした拍子に薬箱を倒してしまい、コロジオン液にショウノウのアルコール溶液が混じってしまいました。すると不思議なことに、コロジオン液はツヤと弾力のある樹脂状の物質に変化したのです。

これに元気づけられたハイアットは、次に高価なショウノウを少量ですますため、加熱しながらコロジオン液に混ぜていきました。するとできあがった樹脂はより柔らかく、成型も自由なものになりました。また、これが冷えると弾力のある半透明な固体樹脂に変化しました。ハイアットはこれにセルロイド(セルロース様物質)の名をつけて、1868年、懸賞に応募しました(実はセルロイドは、イギリスのパークス氏が1861年に先に発見していたのですが実用化されませんでした)。

残念ながら、セルロイドではビリヤード用の球として不向きなことがわかり、賞金はもらえませんでした。その代わり、この樹脂はオモチャや写真のフィルム、日用品として広く使われ始め、ビリヤードの球になるよりもずっと役に立つ新素材になったのでした。

時代の波に乗って大成功したベークライト

エボナイトやセルロイドは熱を加えると柔らかくなるという性質をもっています。これは便利な性質といえますが、逆に簡単に柔らかくなって変形したのでは困ってしまうこともあります。さらにセルロイドの原料であるニトロセルロースは燃えやすいという欠点がかかえていました。

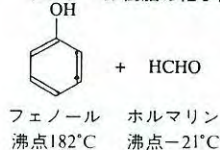
それなら熱を加えると硬度を増すという性質をもった物質ができないだろうか。1882年、ドイツのバイヤーが、石炭酸(フェノール)にホルムアルデヒド(ホルマリン)を混ぜるとネバネバした樹脂状の物質ができるということを発見していました。これが固まると熱しても溶けません。後にこれに目をつけたのが、ベルギー生まれの化学技術者、レオ・H・ベークランド(1863~1944)でした。

ベークランドは大学で有機化学を学んだ後にアメリカに渡り、写真会社で感光材料の研究をしていました

がやがて独立。すでに得ていた写真の印画紙の特許を売って自宅に研究所を建て、発明研究に没頭しました。1905~07年、このとき彼が目標にしていたのはワニスに代わる新しい塗料を作ることでした。

その実験段階で、彼はバイヤーがやったようにフェノールとホルムアルデヒドを混ぜてみました。すると試験管の中の物質は水飴のようになり、熱するとカチカチに固まってしまいました。これが金属よりも固くしかも軽い。そのうえ熱で柔らかくなることもなく、化学薬品にも強いというすぐれた性質を持っていることがわかりました。初の合成樹脂、フェノール樹脂の誕生です。ベークランドはこの物質に「ベークライト」という商品名をつけ、1909年から工業生産を開始。数年後、メタノールの合成が成功し、ホルムアルデヒドが大量安価に作られるようになり、また電気産業が急成長を始めたこともあり、絶縁材料にうってつけのベークライトは引く手あまた。ベークランドは大成功を収めました。

フェノール樹脂の化学構造



成型
加圧加熱



水と空気から肥料を作って飢餓を克服

空気中の窒素からアンモニアを合成したハーバーとボッシュ

ウェラーによって尿素が人工的に作られてからというもの、有機化学は農業にとって力強い味方となりました。しかし、19世紀末のドイツでは、作物を栽培するうえで重要な働きをする窒素肥料はまだ天然の窒素化合物に頼る状態が続いていました。当時は南米チリから輸入される硝石や、コークスを製造するときに行けるアンモニアを肥料として用いていたのです。人口増大とともに農業生産に拍車がかかり、肥料の需要はますます増大します。放っておけば窒素肥料が不足することは明らか。化学者たちは何としても人工肥料を発明しなくてはなりません。

空気を原料にアンモニアを作る？

もし、空気に含まれている窒素を肥料にすることができたなら、資源はいくらでもあるのですからこれほど都合のいいことはありません。これは夢のようなアイデアですが、空気中に電気火花を長時間とばすと窒素酸化物ができることはすでに知られていました。そこで化学者は真剣にこの問題に取り組み始めました。

なかでも大きな働きをしたのがドイツ国籍のユダヤ人、フリッツ・ハーバー(1868~1934)です。

彼は大学で化学を学び博士号を取得しましたが、根強い反ユダヤ主義のため大学の助手になれたのは26歳のとき(1894年)。酸化窒素とアンモニアの両方の合成法を研究し、1906年には教授になることができました。そして水素と窒素からアンモニアを作るという彼の研究に興味をもったウィーンの工場主から資金援助を受けるという幸運も得ました。

しかし、彼の実験は十分な成果が得られず、まもなく研究は暗礁に乗り上げてしまいます。高温の容器の中で気体を反応させても、生成されるアンモニアはほんのわずかでした。

ハーバーは必死に考えます。実験を成功させるには、どうやら反応を促進させる「触媒」が必要らしい。急いで触媒探しはじまりました。新たにバディッシュ社の援助を受け、ついに1908年、ハーバーは、高温高压装置の中で窒素と水素にオスミウムという触媒を使ってアンモニアを合成する方法を発明しました。この

化学者名鑑



祖国を追放された化学者 F・ハーバー

ドイツに貢献し、化学史にも偉大な業績をしたハーバーでしたが、彼の後半生はあまり幸せとはいえないものでした。

第1次世界大戦が始まるとハーバーは積極的に陸軍に協力し、まずガソリンが凍結するのを防ぐ薬品を開発しました。彼は軍部と科学者が力

を合わせることを提唱し、化学兵器の研究に手を染めました。つまり毒ガスの開発です。彼が所長を務めていた研究所は、ドイツの化学兵器研究の中心となりました。

もちろん非人道的な化学兵器を使用することは戦争中であっても許されることはありません。しかしハーバーは反対者に対して「これによって戦争を早く終結させることができれば、結果としてたくさんの人々の命が救われるのだ」と説いて協力をうながしました。

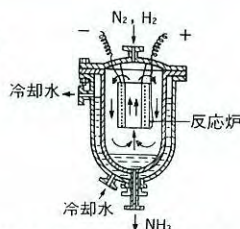
その結果、ドイツは連合国軍に対して1915年、塩素ガスを使用。これによって1万5000人の兵士が殺傷さ

れました。ハーバーの妻はたびたび戦争協力をやめるよう夫に懇願しましたが、彼は聞こうとしません。ついに妻は自殺してしまいます。

その後、1918年にはノーベル賞を受賞したハーバーですが、やがてナチスが政権をとるとユダヤ人であるハーバーは国を追われ、イギリスに住むことになりました。しかし化学兵器を発明した彼に対するイギリス国民の目は冷たかったようです。そして1934年、彼は旅先のスイスのバーゼルで心臓発作を起こし、66歳の生涯を終えたのでした。

現在では、化学兵器の生産を規制する国際条約が、日本をはじめ多くの国の間で結ばれようとしています。



ボッシュの
アンモニア合成装置

方法の実用化にはまだまだ解決すべき問題がありましたが、彼自身が言ったように「新しい化学工業の入口」が見つかったことは間違いありません。

科学技術史上の奇跡といわれた合成法

ハーバーの研究結果をもとにして、アンモニア合成の工業化に成功したのがカール・ボッシュ(1874～1940)でした。バディッシュ社に入社したばかりで物理化学者オストワルトのアンモニア合成実験の欠点を指摘した彼は、それ以来、アンモニアを合成する仕事を自分の使命と考えていました。

ハーバーの発明からいよいよ自分の夢が実現することを確信したボッシュは、社命によりプロジェクトリーダーとして、さっそくハーバーが作った装置を使ってアンモニア合成に取りかかりました。しかし、高温・高圧下で反応させるため、反応器が破裂を繰り返すばかり。そのために貯蔵量が世界に100kgしかないといわれた高価なオスミウムを大部分失ってしまいました。技術チームにとって、高温・高圧に耐えられる装置の製作とオスミウムに代わる触媒の発明が緊急を要する課題になりました。

そして1910年1月、触媒についてはボッシュが最初

「奇跡」をなしとげたC・ボッシュ



から狙いをつけていた磁性酸化鉄を主体とした鉄触媒が最適であることを見つけました。装置のほうも、もともとは冶金技術者であるボッシュの腕が最大限にふるわれて1911年には頑丈な反応器が完成。また圧縮機や配管、計器、ポンプなどの付属装置などについても1912年秋までにはすべて問題が解決されました。その仕事の凄じさは、わずか1年半の間に10万種類にのぼる高圧部品の規格を決定し、実用にとまなう問題を乗り越えていったということからも容易に察しがつくことでしょう。

ボッシュが建設した工場は、建設決定からわずか2年足らずで操業を開始しました。ハーバーによって合成法が発明され、ボッシュによって製造法が開発されたこのアンモニア製造法は「ハーバー・ボッシュ法」と呼ばれることになりました。工学技術が不十分な時代に、これほど大規模な工業を起こすことができたのは、科学技術史上の奇跡といわれています。

化学おもしろ話

肥料にもなった爆薬の素

爆薬を作るには硝酸が欠かせず、その合成が研究され続けてきました。

1838年にはフランスのクールマンが、白金を触媒にして窒素と酸素を反応させ、硝酸を合成しようと試みましたが、実験は失敗。それでもアンモニアと空気を300℃の状態では白金触媒に触れさせると、窒素酸化物ができることがわかりました。

第1次世界大戦が始まるとドイツの軍部は軍事用爆薬の必要性を訴えました。硝酸の合成には白金が不可

欠。ハーバーは化学知識のない軍部に対して、国中を探しても必要な量の白金は調達できないし、また調達できたとしても軍事用爆薬をまかなうほどの硝酸は製造できないと指摘しました。

そこで陸軍省から硝酸の大規模製造を依頼されたのがボッシュです。彼は、白金の代わりに、酸化鉄にマンガンとビスマス混ぜた粒状物質が触媒として有効であることを発見。戦争が終わるころには硝酸が1



日に250トンも製造できるまでにりました。これらの工場は、戦争が終わると爆薬の原料となる硝安を肥料として販売するようになりました。もちろん現在は、爆薬の生産は規制されています。

世界で最初にホルモンを手にした男

消化薬に名を残す高峰譲吉

1854年、日本はそれまでの長い鎖国を解いて近代化への道を歩み始めました。この年に今の石川県、当時の加賀藩に生まれたのが高峰譲吉(1854~1922)です。彼の父親は藩医。火薬の原料になる硝石をカイコのさなぎから作った化学者でもありました。そして母親は造り酒屋の娘。このような環境に生まれ育った譲吉が後年化学者になったのは、ある意味で当然だったかもしれません。

当時世界でいちばんの先進国だったイギリスに留学し、妻にはアメリカ人をめとった譲吉でしたが、化学者としての成功もアメリカでの研究生活中にもたらされました。その第一は消化酵素ジアスターゼ(アミラーゼ)を大量に作る方法を発見したことです。今でも使われている消化薬の『タカジアスターゼ』は高峰のタカを商品名につけたものとしてあまりにも有名です。

そして第二の成功は、副腎ホルモンの「アドレナリン」を世界で初めて結晶として抽出したことです。動物の副腎から取ったエキスを、血圧を上げたり心臓の働きを強めたり、出血を止める効き目があるということがわかっていました。この有効成分を取り出せば、薬として大いに利用することができます。そこで

アドレナリンの抽出に成功した高峰譲吉



世界中の医学者や化学者たちはエキスのなかから純粋な有効成分を取りだそうと頭をひねっていました。

「タカミネ研究所」という小さな会社を作っていた譲吉もまたこの研究に着手しました。助手には東京衛生試験所に勤めていた上中啓三がつけました。そして1900年、ふたりはウシの副腎エキスを、減圧蒸留しながら成分を分けていき、ついに有効成分のみの結晶を取り出すことに成功しました。譲吉は、副腎(英語でアドレナル・グランド)にちなんでこの物質に「アドレナリン」という名前をつけて翌年の生理学会で発表しました。

世界が待ち望んでいた物質を取り出すことに成功したのは、小さな個人経営の研究所だったのです。

化学おもしろ話

コウジとウイスキーから金の卵



高峰譲吉は、26歳のときに小麦のフスマ(実についている皮)を使って酒造りのコウジを生み出す方法で特許を取得しました。1880年のことです。この方法がアメリカのウイスキー会社の目にとまり、ウイスキー製造法の改良を手伝ってほしいと頼まれました。アメリカは妻の母国でもあり、成功すれば大金持ちになれる国でもあります。希望を胸に、一家はアメリカに渡ることにしました。譲吉が36歳のときのことです。小麦のフスマで作ったコウジでトウ

モロコシをアルコール発酵させるという彼の実験は成功しました。ところがこれを事業化しようとする段になって労働者たちのストライキ、そして火事という事件が重なって会社は解散。譲吉の夢はいったん挫折したかに見えました。

しかしそこで偶然発見したのがジアスターゼの製造法。「タカジアスターゼ」は家庭の常備薬になるほどの売れ行きで、アメリカに渡った譲吉たちの暮らしは7年目にしてようやく安定したのでした。

コウジとウイスキーから思わぬ金の卵が生まれたのです。

石油化学の発展

20世紀初頭～20世紀半ば



20世紀に入って第二次産業革命がすすむと、エネルギー源の主役は石炭から石油に代わります。ところが石油は、化学にとっても大変な価値をもっていました。高分子化学の発展にともない、合成繊維やプラスチックをはじめ、たくさんの新しい素材が石油から生みだされました。今日も石油化学は化学工業の主要部分を占めています。

ガソリンの量を2倍とりだすアイデア

石油精製技術を開発したバートンとフードリー

沸騰したお湯から噴き出る蒸気が、ヤカンのフタを持ち上げる。その力を利用したのが18世紀の産業革命でした。エネルギー源となったのは石炭。しかし、19世紀後半に発電機や自動車が発明されると、エネルギーの主役は石炭から石油へ交代。ことに20世紀に入って油田の開発が進み、安価な石油が大量に手に入るようになると、化学工業の原料も石炭から石油に代わります。石油化学の時代のはじまりです。

石油会社の社長になった技師バートン

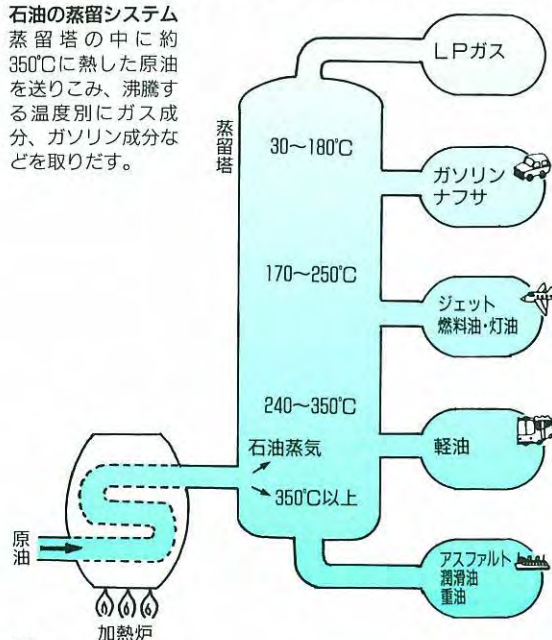
時代の幕を開けたのは、石油精製技術でした。

地下から汲み上げたばかりの原油にはさまざまな成分が入り混じっているうえ、硫黄やワックスなど不純物も多く含まれているので、これを精製しなくてはなりません。原油を加熱していくと、沸点が低い成分から次第に蒸発していきます。この蒸気を分離して冷却すれば、沸点の低い順にガソリン、ナフサ、軽油、重油などになるわけです。加熱温度をコントロールしながら原油を蒸留して必要な成分を取りだす。これが蒸留法です。

しかし、ただ成分をより分けるだけでは石油製品の

石油の蒸留システム

蒸留塔の中に約350℃に熱した原油を送りこみ、沸騰する温度別にガス成分、ガソリン成分などを取りだす。



ガソリンを精製する「熱分解法」を開発したW・M・バートン



需要に応えることが難しくなってきました。ことにガソリンはあらゆる動力源として引っ張りだこでしたが、原油にふくまれるガソリンの量は全体の20~30%にすぎず、それが悩みのタネ。そこでもっと効率よくガソリンを抽出する方法が模索されました。

アメリカのスタンダード石油の技師長だったウィリアム・M・バートン(1865~1954)は、沸点が高い(つまり分子量の大きい)炭化水素を350℃以上に熱すると、分解して沸点の低い(分子量の小さい)炭化水素になる「熱分解」という現象を利用しました。つまり、ガソリンを取りだした後の残りの軽油や重油から、さらにガソリンを得ようと考えたのです。4年の研究の後、バートンは助手たちとともに「バートンの蒸留装置」の名で知られる分解装置を完成させ、この装置により一定量の原油から取れるガソリンは2倍に増えました。1913年のことです。「液相熱分解法」とも呼ばれるこの方法でガソリンの供給不足はみごと解決。その功績を買われて、バートンはスタンダード石油の社長になりました。

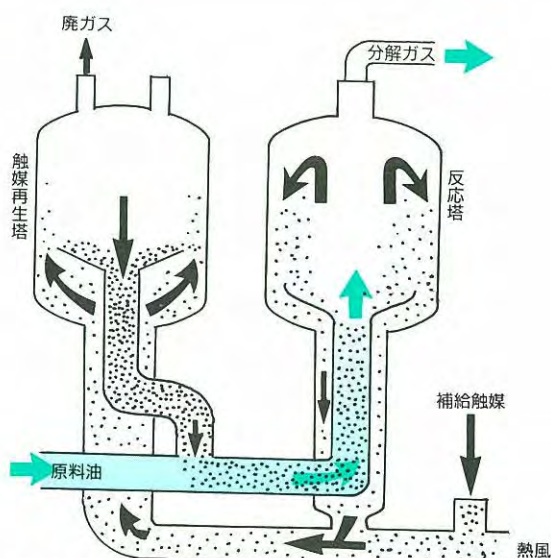
10万ドルの賭けに勝ったフードリー

「熱分解法」をさらに改良したものが「接触分解法」です。これは、熱を使わず触媒に反応させることで石油を精製する技術。しかし触媒の活性がすぐに落ちてしまうことと、一度使った触媒を再生する方法がわからないので研究者を悩ませていました。

フランスのユージン・J・フードリー(1892~1962)は化学とは無縁の製鋼技術者でした。その彼が接触分解法に魅せられたのは、趣味の自動車レースに参加したとき、褐炭から魔法のように製造されたガソリンを見たことに始まります。このガソリンこそ触媒を使ってつくられたものだったのです。

以後、フードリーは愚かれたように1000種類以上の物質を調べ、触媒の劣化を防ぐ方法を捜し求めました。そして最後にたどりついたのが「活性粘土」です。これは、潤滑油の浄化に使われる材料で、活性が衰えやすく、しかも再生は不可能と専門家たちにいわれていたものでした。しかしフードリーは納得せず、活性粘土を適当な温度で焼けば活性を取り戻せることを発見したのです。

ところが、化学には素人のフードリーの発見は、眉ツバものとして専門家たちから黙殺されました。失意の彼を一転ふるい立たせたのは、フロンティア精神の国アメリカ。ある小さな石油会社が、彼の方法で15日



触媒を使う「接触分解法」による石油蒸留システム
流動接触分解法(FCC法)の工程。反応塔の中で触媒によって原料油が分解される。

間連続してガソリンを製造できたら10万ドルの研究費を出そうと提案してくれたのです。もちろんフードリーはこの申し出にとびつき、勇躍アメリカへ。そしてみごと実験に成功。フードリーのこの触媒によるガソリン製造法は、その後の石油産業を一変させることになるのです。

化学者名鑑



大気汚染にも取り組んだ「ミスター触媒」 E・J・フードリー

パリの裕福な鉄工業者の息子に生まれ、機械技術の教育を受け製鋼技術者になったフードリー。しかし彼の一生は鉄ではなく、工業用触媒の開発に捧げられ「ミスター触媒」と呼ばれるまでになりました。

彼が生涯を終えたのは1962年7月18日。晩年の彼は公害、ことに自動車から排出される排気ガスが原因の大気汚染を研究していました。亡くなる1月前にスモッグ防止用マフラーの特許を取得しています。

19世紀末に開発された自動車は20世紀に入ると爆発的に生産台数が増え、輸送機関の中心になりました。しかしエンジンから出る排気ガスはスモッグなどの原因になって

大気を汚染しはじめたのです。

そこでフードリーはお得意の触媒技術によって、今度は自動車の排気ガスの成分を変えて、害のないものに浄化できないかと考えたのです。排気ガス中の窒素酸化物を減らすために、はたしてどんな方法が最適なのか。この問題が世間で真剣に考えられたのは、実は彼の死後、ますます大気汚染が深刻な問題になってからです。エンジン内の燃焼効率をよくする方法や触媒を使った方法など、日本の自動車メーカーを中心に研究が重ねられました。その結果、現在では触媒方式が最適なものとして、どの自動車にも採用されています。触媒の種類こそ違います

が、フードリーの先見性は見事というほかありません。



細菌を殺す「魔法の弾丸」赤い色素

医薬品合成の草創期を飾ったエールリヒと志賀潔と秦佐八郎

化学工業は染料や火薬を合成することで大きな発展をとげましたが、その一方では医学との結びつきを深めていきました。19世紀も末期になると、コッホやパスツールの研究により、結核菌、コレラ菌が発見され、多くの病気の原因が細菌であることがわかり、細菌を倒す手段がわかれば、病気の予防や治療が可能になってきたのです。こうして、医学と薬学、ひいては生物学と化学が結合し、医薬品合成に向けて新しい飛躍がはじまるのです。

病原菌を狙い撃ちする治療法の研究

化学の力をもって病原菌を退治し、治療に見事成功した最初の人物はドイツのパウル・エールリヒ(1854~1915)です。20世紀の初頭、多くのヨーロッパ人がダイヤモンドや金、スズなどの資源を自国のものにしようとアフリカ大陸になだれこんでいきました。彼らを待ち受け、その前に立ちはだかったのが恐ろしい風土病です。エールリヒはハエによって伝染するアフリカ睡眠病を研究して大きな成果をあげました。

学生時代から彼は、染料と生物との関係に興味をもっていました。ある種の染料が特定の細菌だけを染めることから、当時すでに染色剤によって細菌の種類を識別することができるようになっていました。そこでエールリヒは、体内に侵入した細菌だけを狙って(付着して)殺すような染色剤が発見できるのではない

化学療法法の創始者、
ドイツのP・エール
リヒ



エールリヒと共同研究
をした志賀潔

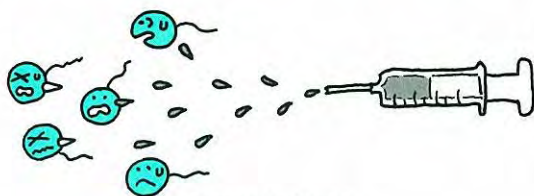
か、と考えたのです。いまでいう化学療法剤です。やがてその着想が的を射ていたことがわかります。

睡眠病の犯人を殺す赤い染料

日本で細菌学者といえば、破傷風菌の純粋培養に成功し、伝染病研究所の所長を務めた北里柴三郎(1853~1931)が有名です。その北里の指導を受けたのが志賀潔(1870~1957)です。日清戦争後の日本では赤痢が大流行しましたが、志賀は患者の便などから赤痢菌を取り出すことに成功。26歳の若さで名声を得ました。このとき一緒に研究しながら、名誉を志賀ひとりのものとした北里の態度は、人を育てる人格者として後々まで語り草となりました。

1901年、北里の紹介でドイツのエールリヒのもとに留学することになった志賀は、ともにアフリカ睡眠病に取り組みました。

染色剤で病原体を退治しようと考えていたエールリヒは、さっそく志賀に色素を使った動物実験を命じます。ハツカネズミにトリパノゾーマ(血液に寄生す



染料で細菌を退治する

る原生虫)を注射して発病させ、ひとつひとつ色素を注射していき、細菌を殺す力があるかどうか確かめるのです。そして、ある赤い色素を注射したときのこと。ネズミの体がみるみる赤く染まり、それが2～3週間もすると元の体色に戻って、同時に体内の細菌もウソのように消えていました。エールリヒは思わずこの色素を「魔法の弾丸」と呼びました。

二人はこの赤い色素に「トリパンロート」という名前をつけて、1904年に論文を発表しました。そして、これが化学物質を使って病原体を殺す「化学療法」の最初の論文となったのです。志賀とエールリヒの共同研究が医学と化学の世界を結びつけ、今日の化学療法を確立させたのです。

神の手のような器用さで新薬を開発

志賀潔と入れ違いにドイツに渡り、エールリヒとともに梅毒の研究に取り組んだのが秦佐八郎(1873～1938)です。

梅毒の病原体、スピロヘータはコロンブスの新大陸発見によってヨーロッパに持ちこまれ、またたく間に広がっていきました。この病気にかかると、骨に穴があき、筋肉が腐り、鼻が落ち、最後には精神に異常を



実験中のエールリヒと秦佐八郎
(「Newton」より)

きたしてしまう。そういう恐ろしい病気です。

エールリヒは有機砒素化合物が有効と考えて試験をはじめていました。しかし未知の砒素化合物を合成して構造を決定し、動物実験で梅毒に有効かどうかを調べていく研究は、気が遠くなるほど面倒な仕事でした。秦は根気強く作業を続け、その仕事ぶりはエールリヒが「毛一本の変化も見落とさない綿密な観察力、どんなに困難な実験もいとわない根気と神の手のような器用さを持つ」と絶賛したほどでした。

次から次へ化合物を試しては捨て、干し草の中に針を探すような努力の末に、1909年、とうとうエールリヒと秦はめざす物質にたどりつきます。それは606番目に合成した化合物でした。「サルバルサン」と名づけられたこの化合物は、人類を滅亡に追いやるとまでいわれた梅毒の特効薬として、広く使われるようになったのです。

化学おもしろ話

キニーネと太平洋戦争



19世紀後半から今日まで、薬の合成は化学者にとってやりがいのある仕事です。熱帯風土病マラリアの特効薬キニーネもそのひとつでした。キニーネは、1638年にペルーの医師がある樹木の樹皮を煎じて伯爵夫人の熱病を治したのが、発見のきっかけ。この樹皮の有効成分が結晶として単離され「キニーネ」と名づけられたのです。

合成染料を作ったパーキンも、最初はキニーネを作ることが目的で

した。当時、全世界の化学者がキニーネを人工的に合成しようと躍起になりますが、うまくいきません。

時代はくだって1941年。日米開戦で太平洋戦争がはじまり、日本軍にジャワ島が占領されると、アメリカではキニーネが入手できなくなり、国家の一大事として、研究者たちはこぞってキニーネ合成にとりかかります。ようやく、1944年にハーバード大学のウッドワードが合成に成功します。実に1世紀にわたる競争だったわけです。

昆布のうま味とウルシに日本人の独創性

『味の素』の池田菊苗と「ウルシオール」の真島利行

江戸から明治へ時代は変わり、欧米に追いつくと日本は国をあげて殖産興業、富国強兵の近代化政策を実行。その結果、諸外国に学びながらも多くの優秀な人材を輩出しましたが、化学分野でも優れた業績をあげた研究者が次々と現れるようになりました。

「第5の味」と「うま味」成分

京都に生まれ、明治維新政府の役人の家庭に育った池田菊苗(1864~1936)は、昆布の「うま味」成分がグルタミン酸であることを発見しました。

池田は、子供のころは裕福な生活をしていましたが、父親がいろいろな事業に手を出して失敗。東京で英語を勉強していた12歳の池田は京都に戻され、さらに大阪へ。ここで大阪造幣局の化学技師だった村橋次郎と出会い、化学を学びます。すっかりこの学問に魅了された池田は、17歳のとき、切符を買う金がなかったため家族の留守にふとんを売って金をつくり、上京。得意の英語を生かし翻訳などのアルバイトをしながら東京帝国大学の化学科に学び、1889年卒業。1896年には東京帝大の助教授になります。そして1899年、35歳でドイツに留学。物理化学の創始者オストワルトの

もとで勉強をしました。

帰国後、大学に戻って教授になった池田が取り組んだ研究は、「第5の味」の正体を突きとめることでした。味にはそれまで甘い、塩からい、苦い、酸っぱいの4種類しかないと考えられていましたが、池田は肉や魚を食べたときに感じる味、いわゆる「うま味」は何だろうと思ったのです。1907年、彼は大量に昆布を煮だし汁から「うま味」成分を取り出そうと試みました。そして何度も実験を繰り返した結果、38kgの昆布から30gほどの結晶を取り出すことに成功。それがグルタミン酸であることを確かめました。

グルタミン酸はすでにドイツで発見されていたのですが、これが「うま味」成分の正体であるとはだれも気がついていませんでした。1909年、池田は鈴木三郎助とともに、この成分を『味の素』と名づけて工業生産することにし、ここに日本人化学者が生んだ最大のヒット商品が誕生することになったのです。

日本の特産品ウルシを分析

池田菊苗が京都出身なら、ウルシの主成分を明らかにした真島利行(1874~1962)も京都の裕福な医師の

化学おもしろ話

まずい味だと思われていたグルタミン酸

昆布やカツオのだしから出るような味は、たしかに何ともいいようがない味です。しかし、だしがなければみそ汁や煮物をよく食べる日本人の食生活は成り立っていきません。京都生まれの池田菊苗が、この日本人には欠かせない味の正体を突き止めようとしたのは自然の成り行きだったのかもしれませんが。

結局、彼の研究から、この正体不明のうま味成分は、グルタミン酸だとわかります。ところが当時はこれをうま味と結びつけるなど、想像も

できないことでした。なぜなら、グルタミン酸はすでにドイツの化学者が発見しており、その化学者はグルタミン酸をなめてみて「まずい」と報告していたからです。

「グルタミン酸がうま味の正体だなんて信じられない」

池田の発表を耳にした化学者たちはみな驚いたといいます。

しかし、よく調べてみるとグルタミン酸は結晶のまま口にすると少しもおいしく感じませんが、3リットルほどの水に1g溶かしてみるとう



ま味が感じられるようになるのです。こうした正しい使い方がわかって、初めてグルタミン酸はだしを取る手間を省くうま味調味料となることができたのです。

昆布の「うま味」成分
を発見した池田菊苗



「ウルシオール」の化学構造を決定し、日本の有機化学の育ての親といわれた真島利行



家に生まれた化学者です。彼が化学に興味をもったのは高等学校で有機化学の講義を聴いてからだそうです。

真島はまず、ドイツなどの先進国に負けない独創的な研究をするには、ヨーロッパ人があまり手を出せない日本の特産品を選ぶほうが良いと考えました。そこで彼が研究対象に取り上げたのが、ウルシです。ウルシの主成分は他の研究者によってすでに「ウルシオール」と名づけられていましたが、実際に純粋な成分を抽出した者はいませんでした。真島もウルシを徐々に熱して何種類かの結晶を取り出しましたが、当時の日本のレベルではそこまで行うのが精一杯でした。

33歳になってドイツに留学した真島は、物質の成分を取り出す方法として3つの方法を学びます。ひとつ

は「減圧蒸留法」。次は「オゾン酸化法」で、これは物質をより単純な物質に分解する方法。そして3つめが「接触還元法」で、触媒を使い化学反応を起こして物質を分解する方法です。真島が調べようとしたウルシは高温では黒くなって溶けてしまう性質があるので、低温で行うことのできるこれらの方法が、都合がよかったわけです。

日本に帰った真島は、東北帝国大学に理学部を設置するのに尽力し、実験設備を整えるとドイツで学んだ方法を使ってさっそく実験を始めました。そして1912年、ついにウルシオールの化学構造を決定したので、真島と彼の教え子たちはこれ以降も日本古来の薬草や色素の成分を研究し、日本の有機化学のレベルを先進国にひけをとらないまでに引き上げたのでした。

化学者名鑑



日本の女性化学者の先駆け 黒田チカ

黒田チカ(1884～1968)は、日本で初めて大学を卒業した女性であり、女性化学者の先駆けといわれる人物です。

佐賀県生まれのチカは、東京で女



子高等師範学校(現在の御茶の水女子大学)に進み、卒業後も勉学を望んだのですが、当時は成績優秀でも女性には大学に進学できない時代です。仕方なく助教授として母校に残っていたところ、1913年、日本で初めて東北帝国大学が女子の入学を認めることになりました。

チカはさっそく願書を出して合格。理学部に入学して化学を専攻します。卒業後は真島利行の研究室で天然の色素であるムラサキを研究。その成分の化学構造を決定し「シコニン」と名づけて、1918年、学会で

発表しました。これがチカがあげた最初の成果でした。

2年間のイギリス留学から帰り、チカが次に取り組んだのは口紅や衣服の染料に使う紅の研究です。「カーサミン」という紅花の成分の化学構造を決定することは非常に難しく、それまで多くの化学者が挑戦して挫折していました。これにチカは5年の歳月をかけて成功。この成果で日本で二人目の女性博士になりました。

その後も高血圧の特効薬を玉ネギから発見するなどチカの活躍は続き、日本の有機化学の育ての親、真島利行を記念した「真島賞」の第1回受賞者に見事選ばれたのです。

高分子化学の命運を決めた10年間論争

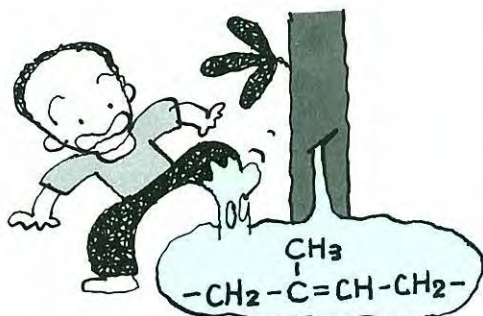
二人の巨人、シュタウディングーとマルク

有機化合物のなかには非常に分子量の多いものがあります。ふつう分子の質量を表すときは酸素分子の32を基準にしますが、たとえば木綿や麻、絹、羊毛、ゴム、デンプンなどは分子量が1万から数十万もあるということがわかっています。こうした物質を「高分子化合物」と呼びますが、20世紀初めの化学者にとってはあまりにもケタ違いな大きさのために、高分子の存在を信じることができませんでした。

ネバネバ物質は高分子？

しかし1912年に、X線を利用して結晶構造を調べる方法が発明されると、高分子化合物の構造研究は急速に進みます。その結果うかがいあがってきたのが、高分子化合物は化学結合による巨大な分子なのか、それとも小さな分子が物理的な力でたくさん寄り集まっているだけなのか、わからないという問題でした。

この問題を解決すべく現れたのがドイツのヘルマン・シュタウディングー(1881~1965)です。



天然ゴムの化学構造

彼は子供のころは植物が好きで、化学にはほとんど興味をもたなかったといえます。しかし、父親の友人の植物学者に「植物を研究するなら、化学を学んでおかなくちやいけないよ」と言われたのをきっかけに化学への道を歩むようになりました。

29歳のときチューリヒのスイス連邦工科大学に迎えられたシュタウディングーは、ここで誰もやりたがらなかった「ネバネバして汚らしい化学」に手を染め

化学者名鑑



高分子化学の創始者の叫び H・シュタウディングー

自説を信じ、信念を貫いたシュタウディングーは「高分子化学」を学問として確立したことから「高分子

化学の創始者」とか、「高分子化学の父」と呼ばれています。

しかし、彼が実験を重ねて巨大分子の存在を立証しようとしたとき、ほとんどの化学者は、高分子化合物は小さな分子の寄り集まりにすぎないと考え、シュタウディングーは孤軍奮闘を強いられます。どの学会に出ても総攻撃を浴び、最後はいつも「私の立場はこれだ。これしかないのだ」と叫んで終わるのが常だったといえます。

結局、1920年の最初の発表くらい彼の説の正しさが認められる1936年まで批判を受け続け、マルクとの激しい論争にも自説を曲げなかった彼の強靱さは並みはずれています。

しかし一方では、そのような強さは、強引で自己主張が激しすぎるとか、攻撃的な性格だと受け取られる面もあったようです。論争に負けたマルクのほうが、科学者として慎重で、人間としての包容力もあり、指導力も高く評価されているのを見ると、論争ではシュタウディングーが勝ったけれど、第2ラウンドの高分子化学の普及ではマルクに軍配が上がるのではないのでしょうか。

シュタウディングーは、1940年にはドイツのフライブルク大学に新設された高分子化学研究所長となり、75歳まで研究を続けました。1953年にはノーベル化学賞を受賞。1965年、85歳で亡くなりました。



ることになります。セルロース、デンプン、ゴムなどの高分子化合物の構造を次々と研究し、膨大な研究結果をまとめ、1920年「高分子化合物はひとつの巨大な分子である」と発表しました。

この説は当初は受け入れられませんでした。が、シュタウディンガーはあきらめません。さらに研究を続け、ポリスチレンなど高分子化合物は鎖状の分子構造をもつと発表。今日ではその正しさがわかっていますが、当時の学界を納得させるにはいたりません。説得の決め手は、高分子の分子量をきちんと測る方法です。やがてそれに成功するのですが、そのまえに論敵ヘルマン・マルクが彼の前に立ちはだかるのです。

もうひとりの「高分子化学の父」

ウィーン生まれのユダヤ人、ヘルマン・F・マルク(1895～1992)はウィーン大学で学んだ後、ベルリンの繊維化学研究所に就職。X線を使ってさまざまな物質の構造を調べていました。そして1926年、IG社に移り、彼もまたセルロース、ゴムなどの高分子化合物の構造解明に取り組みました。この年開かれた学会で、31歳のマルクは初めてシュタウディンガーと出会います。

マルクはX線を使って高分子の結晶構造を調べる実験を続け、1928年、シュタウディンガーとは別に、高分子であるタンパク質やゴムは基本分子が鎖状に連なっていることを実証します。しかし彼はそれでも、ゴムなどの高分子は比較的大きな鎖状分子が物理

高分子研究の一方の旗手、H・F・マルク

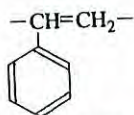


的な力で寄り集まって塊りをつくるのだと考え(ミセル説)、シュタウディンガーの巨大分子説を否定しました。そして二人の間でおよそ10年にわたって激しい論争が繰り広げられました。

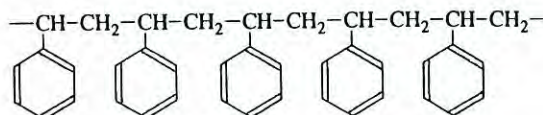
決着がついたのは1936年。シュタウディンガーはその数年前に、高分子を溶かした溶液のネバネバの度合いは分子量に比例することを発見。これを分子量の測定に利用し、36年、セルロースの溶液を使った実験で、セルロースの分子量が1000以上あることを確認、巨大分子の存在を証明したのです。ドイツ化学会はシュタウディンガーの論文を評価、「この論文をもって論争を終結させる」と明言したのです。

こうして「高分子化学」が新しい学問分野として確立されたのでした。

マルクはその後、1938年にドイツのナチスが政権を取りオーストリアを併合するとカナダに亡命し、1940年にはアメリカのブルックリン工科大学の教授となりました。論争には負けたものの、彼もまた高分子の研究を続け、アメリカ各地で講演を重ねるなど、新しい学問である高分子化学を広める努力をしました。彼の熱心な研究と教育は若者を刺激し、やがてアメリカからも優れた高分子化学者が生まれるようになりました。その結果、シュタウディンガーと同様、彼もまた「高分子化学の父」と呼ばれるようになったのです。



スチレンの化学構造



ポリスチレンの化学構造

圧力をかけると分子の鎖ができてあがる

高分子製造法を開発したチーグラールとナッタ



ポリエチレンの低圧による製造法を開発したK・チーグラール

大爆発覚悟で行われた実験

1920年代に研究者たちは圧力と化合物とのおもしろい関係に気がつきました。それは、ふつうの圧力のもとでは化学反応を起こさない物質も高圧をかけると反応するということです。また、ある物質は触媒がなければ反応しないのに、高圧下では触媒がなくても化学反応を起こすのです。これは高い圧力が新しい化合物を作りだす可能性のあることを示唆しています。

イギリスのICI社では、それまでは200気圧くらいが限度だった実験装置を、一気に2400気圧まで耐えられる装置に改良し、新しい化合物を作りだす試みを始めました。高圧容器の中にいろいろな物質を入れ、反応させようというわけです。エチレンという物質もその1つでした。

あるとき、エチレンと他の物質を一緒に容器に入れ、新物質ができるかもしれないという期待をこめ、1400気圧をかけてみました。しかし、結果は容器の壁に白くて薄い膜が附着しているだけ。この膜は溶剤にも溶けない物質でしたが、ICI社の研究者たちはよくわからないままゴミとして洗い流してしまったのです。

ところが、この物質こそ後にフィルムなど広く利用されることになるポリエチレンだったのです。それまでエチレンは、分子をつなぎ合わせて(重合という)高分子物質を作ろうとしても不可能というのが常識でした。捨てていたゴミの価値に研究者たちが気づいたのは、1933年のことです。高圧をかければエチレン分

子が鎖状につながり、プラスチックができる！

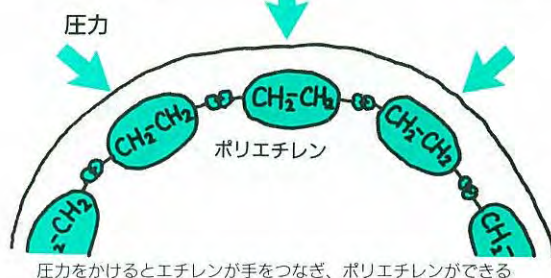
しかしそれでも、ポリエチレンを工業化して生産するには400℃という高温と、3000気圧という大砲も射ち出せるほどの高圧が必要で、当時としては大変なことでした。そのため、工業的製法が確立するまでは爆発事故が頻繁に起こり、「ポリエチレン1トンを生産するごとにスクラップが1トンできた」といわれたほどだったのです。

そのあと第2次世界大戦後になって、ポリエチレン製造に新たに画期的製法をもちこんだのが、ドイツのマックス・プランク石炭研究所長のカール・チーグラール(1898～1973)でした。チーグラールは、戦中戦後を通して有機金属化合物の研究を重ねていましたが、1953年、常圧下でエチレンをつなぎ合わせる方法を発見します。秘密は触媒にありました。トリエチルアルミニウムと塩化チタンを混ぜたもの(これをチーグラール触媒といいます)が、高圧下でなくてもエチレンの反応を引き起こしたのです。それまでの高圧を使う「高圧法」に対して「低圧法」と呼ばれるようになったこの方法で、圧力は1気圧程度、温度も100℃以下という簡単な条件でポリエチレンを製造できるようになったのです。

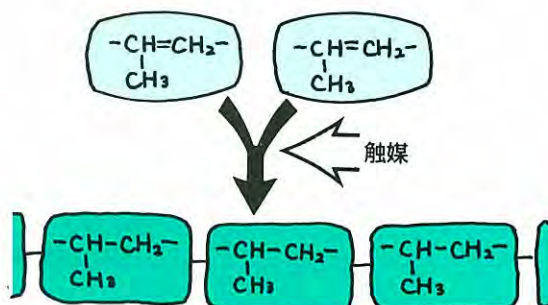
その後、30～100気圧の下で、酸化クロムなどの金属酸化物を触媒にしてエチレンを重合させる「中圧法」も、アメリカで開発されました。

ノーベル化学賞をアベック受賞

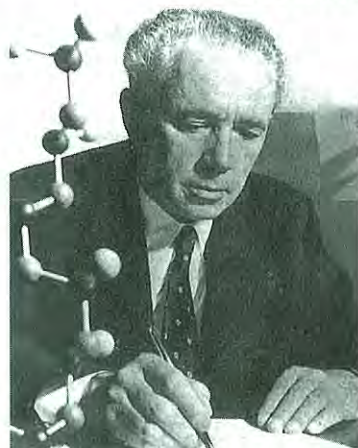
チーグラールが発明した「低圧法」を応用して、高分子の優れた研究をしたのがイタリアのミラノ工大大



触媒を使ってポリプロピレンを合成



ポリプロピレンを開発したG・ナッタ



学教授のジュリオ・ナッタ（1903～1979）です。彼は、チーグラ触媒を使ってスチレンという物質を反応させると、それまでのポリスチレンよりも熱に強く、機械の部品としても使えるものができることを発見しました。さらに彼はチーグラ触媒そのものにも改良を加え、1954年にポリプロピレンの合成に成功しました。

プロピレンは、ナフサ（粗ガソリン）を熱分解してエチレンを得る際に副産物としてできる物質で、使い道がなくて困っていた代物でした。ナッタの発明はこの問題を一挙に解決するものだったのです。しかもポリプロピレンは、当時すでにできていたナイロンよりも優れた合成繊維ができるかもしれない、と大きな期待

を抱かせるものでした。ナッタの研究はそのころの化学工業界に大きな夢を与えたわけです。

期待に反してポリプロピレンは、染色が難しく、熱に弱いという欠点がわかったために、繊維としてはナイロンほど普及しませんでした。現在では最も多く生産されるプラスチックの1つとして、洗濯機などの電気製品、車のバンパー、ビデオカセットの容器、コンテナ類、文房具、菓子袋など、幅広く利用されています。

チーグラが発明したものにナッタが改良を加えた触媒を「チーグラ・ナッタ触媒」と呼びます。この研究によってチーグラとナッタは、1963年、ノーベル化学賞を受賞しました。

化学おもしろ話

ポリエチレンとレーダー

歯磨きのチューブ、洗剤やマヨネーズの容器など、生活のあらゆる場面に登場するプラスチック製品。軽くて柔らかいこの素材の便利さは、金属やガラスの容器しかなかった時代には考えられないものです。

ポリエチレンはこうした原料の1つで、今ではゴミ袋にも使われるほど馴染みの物質ですね。熱を加えなくても薄く細く延ばすことができるうえに化学薬品にも強く、しかも高周波の電気絶縁性に優れているのがポリエチレンの長所でした。しかし、当初は製造に高压が必要なため生産が大変でした。

ポリエチレンが100トン規模で生

産されたのは1939年から。高周波の電気絶縁性がよいので海底電話用ケーブルの被覆材料にも使われました。そこへ第2次世界大戦の勃発です。デュボン社はアメリカ海軍からレーダー用の絶縁材料として大量のポリエチレンの要請を受けました。アメリカ海軍は夜陰に乗じて攻めてくる日本軍に手を焼き、夜でも敵を感知できるレーダーが絶対必要だったのです。デュボン社は採算を度外視して年間900トンを生産する工場を造ってポリエチレンを提供。おかげでアメリカ海軍はレーダーを備えつけて1942年のソロモン海戦以降、連戦連勝を重ねていったのです。日



本はポリエチレンに負けてしまったようなものですね。そのポリエチレンも戦後は常温常圧で作られるようになり、レーダーなどより身近な製品として私たちに親しまれているのです。

世界初の合成繊維を生んだ悲劇の天才

ナイロンを発明したカロザース

デュポン社を世界有数の化学メーカーに育てたP・デュポン



ドイツを中心に発展した有機化学は、さまざまな物質の合成を可能にし、産業を興隆させてきました。20世紀に入ると、化学の研究レベルが国力にも影響を与えるようになってきました。

ドイツを手本にしたアメリカの化学研究

ところが、第1次世界大戦が始まったころのアメリカでは、有機化学の研究はほとんど行われていないとあっていい状態でした。有機化学を勉強している学生数はサンスクリット語を専攻している学生数と同じくらいしかないとさえいわれたのです。

それをみて、これではいけない、アメリカも独創的な化学技術をもたなければと痛感したのが、火薬会社の社長、ピエール・デュポン(1870～1954)でした。彼は「ドイツに見習おう」と呼びかけ、まず基礎研究に力を入れようと、1920年から自社の研究所に巨額の研究費を注ぎ込みます。

そして1928年、デュポンは、ハーバード大学で講師をしていた32歳のウォーレン・H・カロザース(1896～1937)を新設した有機化学研究所長に迎えました。天才の登場です。高分子の構造に強い興味をもっていたカロザースは、所員を動員して、いろいろな物質を高分子つまり分子をじゅずつなぎにできるかどうか、片っ端から実験していきました。

その最初の成果が1930年に生まれます。アセチレンから作ったゴム状物質に塩化水素を加えてできた物質クロロプレンが簡単に重合(分子が鎖状につながる)することを発見。塩化水素の添加はそうすれば天然ゴムの化学構造に似せられるからというだけでした。ところが結果は目を見張るばかり。重合はスムーズに進み、できあがった合成ゴム、ポリクロロプレンは、天然ゴムより優れた性質をもっていたのです。このゴムは商品名「ネオプレン」と名づけられ、1931年から生産を開始。ポリエチレンの成功より7～8年も早く、合成高分子の時代はカロザースによって幕が切って落とされたのです。

女性に大人気の発明品



ナイロンストッキング初売りの店頭、数時間で売り切れた(1940年5月15日)

細くてしなやかな繊維、絹は古くから貴重なものとされてきました。合成ゴムの次の標的は、この絹に負けない人工の繊維を作ることでした。もともとこちらのほうがカロザースの本来の目的でした。まず選んだ材料はポリエステル。1930年のある日のこと、実験容器からポリエステルを取り出そうとした研究員の1人が、この物質が糸のように細く長く伸びることに気がつきます。調べてみるとこの物質は冷えても数倍に引き伸ばすことができ、そうすると繊維としての強度も増すことがわかりました。しかし、実用化するには性能がまだ不十分でした。

強度、弾力性、耐水性ともに優れた合成繊維を求めて、カロザースの苦闘は続きます。ポリエステルで得た知識を手がかりに、膨大な物質について、繊維にできるかどうかテストが繰り返されました。多数の研究員と莫大な研究費が投入され、1935年、ついにポリアミドの一種から最も優れた性質をもつ繊維の合成に成功します。人類初の合成繊維「ナイロン66」の誕生

です。これは、ヘキサメチレンジアミンとアジピン酸を縮重合させたもので、「66」の名称は、それぞれの炭素数が6個あり、それが1組となって反復していることに由来します。

デュボン社はさっそく工業化にとりかかります。1937年に特許が申請され、38年には製品見本が公表されて世界に衝撃を与えました。翌39年にいよいよ大量生産が始まりました。「ナイロン」の名称は社内の公募によって決まりました。そして「石炭と水と空気から作られ、クモの糸よりも細く鋼鉄よりも強い繊維」という有名な文句で大々的に宣伝されたのです。

1940年5月、初めて売りだされた500万足のストッキングは、たった4日間で売切れたといいます。ナイロンはこの他にも電気・機械部品や自動車部品、釣り糸、ロープなど幅広く利用され、デュボン社に大成功をもたらしました。しかし、開発者のカロザースは、ナイロンの人気ぶりを見ることなく、1937年、41歳で自らの命を絶ててしまったのです。

化学者名鑑



ナイロン生みの親の自殺の謎 W・H・カロザース

デュボン社待望の合成ゴムを作り、絹糸にもまさる夢の合成繊維ナイロンを生み出したカロザース。彼が青酸カリを手にとり死を選んだのは1937年4月29日。それはナイロンが華々しく発表される前年であり、また彼が41歳の誕生日を迎えた2日後のことでした。

高分子関係の論文をたくさん書き、デュボン社のために多くの特許を取り、学会からも多くの賞と名誉を受けた彼が、どうして死を選ぶ必要があったのでしょうか。

その原因のひとつとして考えられるのは、自由に基礎研究をする約束でデュボン社に入社した彼が、結局は、会社のためにゴムや合成繊維な

ど商業的な製品開発に追いまわられたことです。彼は気が進まない仕事に悩んでいたのではないかと推察されます。

ふたつめに考えられるのは、カロザースは若いころからうつ病の傾向をもっており、それが過労のためにひどくなっていたのではないかと推察されます。企業における製品開発が研究者にどれほどの心労を強いるか、想像に難くありません。

さらに、彼が自殺する前年に、深く愛していた妹が病のために急死しました。そのことも弱っていた彼の精神に非常なショックを与えたようです。心配をしたデュボン社は、その年、彼に長期休暇を与え療養施設に入院させました。また会社の特許

部の女性と結婚もしました。しかし、結局死神が彼を手放すことはなかったようです。



日本初の合成繊維はビニロン

日本の合成繊維の生みの親、桜田一郎

激化する合成繊維の開発競争

カロザースの発明によってナイロンが生まれてからというもの、世界中の研究者たちがこれに続く合成繊維の開発に挑戦しました。ドイツではIG社のシュラックが、ナイロンと同じようにポリアミドの一種から合成繊維を作り、『PERLON-L』と名づけ、ナイロンのライバル製品として、1939年から生産を始め、ぬかりなく成功をおさめます。イギリスでは1941年にホインフィールドとディクソンが、テレフタル酸とエチレングリコールを重合させてポリエステル繊維を生み出します。これをICI社が『テリレン』の名で売りだしました。合成繊維をめぐる、ひとつの製品ができるとすぐに別の企業が似たような製品を作りだすという激しい競争が、このころから始まりました。

そして同じころ、日本もまたこの開発競争に加わるのです。1939年、京都帝国大学の桜田一郎教授（1904～1986）は李升基助教授、倉敷絹織の大原総一郎、友成九十九の協力を得て、ポリビニルアルコールから新しい合成繊維を作りだしました。ポリビニルアルコールを原料にした繊維は、1930年頃にドイツで少量ながら生産され、主に外科治療用に使われていました。し



日本の合成繊維開発のリーダー、桜田一郎

かしこの合成繊維は水に溶けてしまうので、一般の繊維としては実用にならないものでした。桜田たちのグループは、この欠点を改良した新しい繊維を生みだしたのです。

この日本初の合成繊維は、「合成1号」と名づけられ、『クラロン』という商品名で工業化されます。

また同時期に、鐘淵紡績の矢沢将英もポリビニルアルコール系の合成繊維で特許を取り『カネビヤン』の名で工業化を始めました。

しかしこの時期、こうした合成繊維の工業生産はあまりうまくいったとはいえません。日本で合成繊維の本格的な大量生産が始まり、「合成1号」が「ビニロン」の名で再び登場し、一世を風靡するのは、大戦後の1950年頃まで待たなくてはなりません。

化学おもしろ話

学生服で大ヒットした「合成1号」

日本が生みだした初の合成繊維、「合成1号」。この製品が「ビニロン」という商品名で倉敷レーヨンから大々的に売りだされたのは、第2次世界大戦が終わってしばらく後のことでした。

当時、ビニロンの人気は大変なもので、学生服や子供が着る学童服のほとんどがこの繊維で作られたほどでした。ビニロンの特徴は、天然繊維に比べて、洗っても乾燥しやすく、シワにもなりにくい。また熱で加工

すれば折目もとれにくいといった性質にあります。こうした性質からすればビニロンは、活動的で、着ているものなどすぐに汚しそうな児童の服に、まさにうってつけの素材だったわけです。

日本で生まれたこの合成繊維の製造技術は、世界各国にも輸出されました。

その後、日本では次々と合成繊維が作られるようになります。また、天然繊維のもつ長所である風合いと

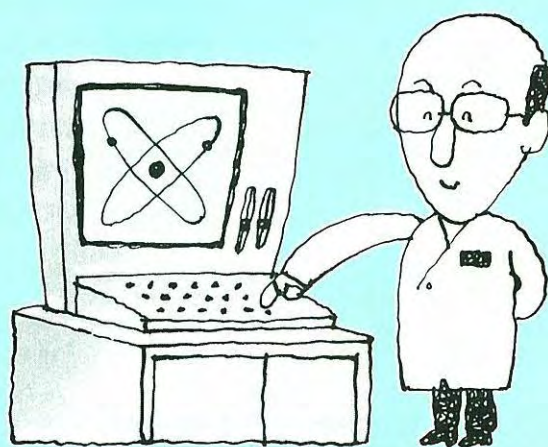


か手触りを生かすために、木綿や麻などの天然繊維と合成繊維を混紡する工夫もされ、今日にいたっているのです。

4

ニューケミカルの時代

20世紀半ば～現代



20世紀後半からの科学技術の発展は爆発的ともいえるものでした。現代ハイテク産業の特徴はあらゆる科学が協力しあうことです。なかでも化学は、エレクトロニクスやバイオテクノロジー、新素材開発など、さまざまな分野に深く関わっています。「ニューケミカル」と呼ぶにふさわしい、華やかで創造的な時代がはじまりました。

量子力学で化学反応の不思議を解く

少年時代は化学が苦手だった福井謙一

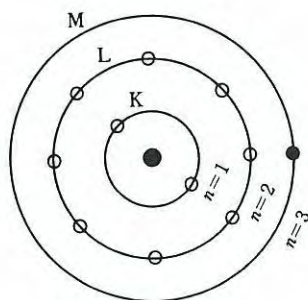
20世紀も半ばになると、化学も物理学もミクロの世界が研究対象となってきました。物理学は新しいエネルギーとして原子力を発見しましたが、これは原子の構造を解明することからもたらされました。しかし、物質を分子や原子、さらに量子という極微の世界にまで踏み込んで解明するという姿勢は、物理学だけでなく、化学においても浸透していったのです。

化学反応を電子の動きから明らかに

20世紀物理学で最大の出来事は、アインシュタインの相対性理論と、ボーアらによる量子力学の誕生です。原子の構造が明らかにされ、原子核とまわりを飛ぶ電子の関係が、多くの科学者たちの研究によって解明されました。量子力学は、計算によって電子(量子のひとつ)の動きをつかむという新しい理論です。電子や光子のように非常に小さな粒子を対象とするときには、これまでの物理学ではその動きを説明しきれず、量子力学のような理論が必要となったのです。

化学の分野でも同様の方法でアプローチした学者

ナトリウム原子の電子構造



原子核のまわりを、K殻、L殻、M殻と順番にとりまわっている軌道に、電子が2個、8個、1個とつまっていて、外側の軌道ほど電子のエネルギーが高い。M殻の電子がフロンティア電子である

がいました。日本の福井謙一(1918~1998)です。量子力学誕生から12年後の1938年、京都帝国大学に入学した福井は、得意の数学を駆使して化学反応を解きあかそうと考え、当時注目されていた量子力学を学びました。それまで化学者たちは、化学反応を分子の中のプラスとマイナスの電荷の偏りによって解釈しようとし

化学者名鑑



日本人初のノーベル化学賞受賞 福井謙一

福井謙一(1918~1998)、奈良県の生まれ。大阪で育ち、昆虫や石の採集に熱中しました。中学の時に生物同好会に入り、何度も読み返したのが『ファーブル昆虫記』でした。高校では剣道にも熱中しました。数学は得意だったのですが、化学は大の苦手でした。しかし、京都帝国大学に入ると、工学部工業化学科に進みました。謙いはずの化学を専攻したのは、尊敬するファーブルが優れた化学者だったこともあったようです。

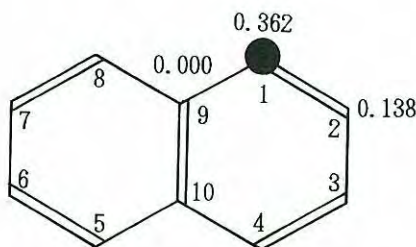
1951年に京都大学の工学部教授になり、わずか34歳の時に、アメリカ物理学会発行の『ケミカルフィジックス誌』に、フロンティア軌道理論

を発表しました。

化学反応の中で重要な役割を果たすのは、分子の持っている電子のうち、エネルギーのいちばん高い外側にある電子であるということを得意の計算によって証明しました。しかしこの理論も、日本では10年以上も非主流とされていました。発表から29年後にノーベル賞を得た福井は、その記念講演で、「資源やエネルギーの不足をのぞき、地球の真の平和を保つために、化学は大きな役目を果たしています。そして何がよく、何が悪いかを見極めるのは、化学分野のフロンティアで働いている優れた人たちです」と、さまざまな機関にあ

る研究所の最前線(フロンティア)で、研究を続ける若い化学者たちを励ましたのです。





ナフタレンのフロンティア電子密度。
1位置の電子密度が圧倒的に大きい

した。つまり、分子の中の電子の余った場所と他の分子の電子の足りない場所が引き合うために化学反応が起こると考えたのです。しかし、この考え方ではすべての化学反応をうまく説明できません。水素分子のように電気的に中性な原子同士の結合にはお手上げでした。

そこで福井は、量子力学の中の分子軌道法に注目しました。分子軌道というのは、分子の中で電子がどんなふうに分布しているかを表す関数です。化学反応とは、結局のところ、化学結合ができたり切れたりする現象です。原子と原子が結合するのは電子の軌道が重なりあって電子を共有するからで、分子と分子の場合も、分子から電子がにじみだして電子の取り合いが起こっているのではないかと考えたのです。

福井はナフタレンという化合物を例にとって研究しました。ナフタレンは、衣類の防虫剤で知られる炭化水素で、炭素と水素の単純な化合物です。このナフタレンの分子軌道のうちで、電子の詰まった一番上の軌道にある電子を調べてみました。最前線にあるという意味で、フロンティア軌道と名づけられたこの軌道での電子の広がりを計算すると、化学反応が起きる位置で一番大きな広がりを見せました。これはナフタレンに特有の性質かもしれないため、他の分子についても同様のことが起きるかどうかを調べました。その結果、フロンティア軌道が化学反応の主役を演じていることがわかりました。これが電子の軌道から化学反応を解明するフロンティア軌道理論です。

29年後にもたらされたノーベル賞

福井はこの理論をまとめ、1952年と54年にアメリカ

ノーベル化学賞を福井と
同時受賞したR・ホフマン



の雑誌に発表しました。しかし、福井のような計算主体の理論化学者の考えは、実験による証明を重んじる実験化学者にはなかなか受け入れられませんでした。

福井の理論が発表されて10年後の1965年に、アメリカのロバート・B・ウッドワード(1914~1979)とロアルド・ホフマン(1937~)が、「電子環状反応の立体化学」という論文を発表しました。これ以後、二人はいくつかの論文を発表して、軌道対称性理論を明らかにしました。この理論は世界の実験化学者を大変に興奮させました。というのは、それまで不思議な現象とされていた、同じ組成の化合物でも反応条件によって立体構造の違うものができるという立体特異性がこれで見事に説明されたからです。これも電子の軌道を調べることでわかりました。

この後、化学反応の原理としては、フロンティア軌道理論と軌道対称性理論の2つが広く使われるようになり、それまでの化学の教科書は大きく書き換えられることになったのです。

この業績に対して、1981年のノーベル化学賞が、福井とホフマンに贈られました。ホフマンの師であったウッドワードは、惜しくも2年前に亡くなっていました。ウッドワードは、抗生物質のペニシリンの構造決定をしたり、マラリヤの特効薬であるキニーネや細胞内物質コレステロールといった多くの重要な有機物を合成した天才的な有機化学者です。この業績が認められてすでに1965年にノーベル化学賞を受賞しています。ホフマンは1937年のポーランド生まれ。ナチスに追われヨーロッパ中を逃げ回り、11歳のときアメリカに亡命し、6番目の言語として英語をマスターしたといえます。師と同様、天才肌の化学者です。

生物学上20世紀最大の発見をした二人

DNAの構造を解明したワトソンとクリック

子どもはどうして親に似るのか、ということは人類が抱き続けた大きな謎のひとつでした。偉大な遺伝学者メンデルは、1865年に、遺伝子という粒子が情報を伝えるという仮説をたてました。では遺伝子の正体は何か。20世紀初頭、アメリカの生物学者モーガンは、遺伝子と細胞の核の中にある染色体とを結びつけて考えました。染色体にはタンパク質が含まれています。生物にとってタンパク質は最も大切な物質です。多くの学者はタンパク質が遺伝子の本体であると考えました。染色体にはもう一つ核酸という物質が存在することも知られていました。核酸にはDNA(デオキシリボ核酸)とRNA(リボ核酸)の二種類があり、染色体に含まれているのはDNAでした。しかし、DNAが遺伝に関係しているかどうかはまだ謎でした。

生物学者と物理学者の運命的な出会い

1951年の秋、イギリスのケンブリッジ大学キャベン

ディッシュ研究所に、ジェームス・ワトソン(1928～)という若いアメリカ人留学生がやってきました。ワトソンはインディアナ大学の研究室で遺伝学を学び、さらにコペンハーゲンの生化学者の下でDNAの分子構造の研究をしていましたが、成果があがらず、それでキャベンディッシュ研究所に移ってきたのです。

きっかけは、イギリスのウィルキンスが撮ったDNAのX線回折写真でした。彼はこれを見てDNAこそ遺伝物質だと直観し、その構造を明らかにするにはその写真が決め手になると思ったのです。研究所にはX線回折写真の読み取りが得意な物理学者フランシス・クリック(1916～2004)がいました。ワトソンが自分の考えを話すとクリックも非常に興味をもち、こうして歴史に残る共同研究がスタートしたのです。

二人はあまり実験を行わず、もっぱら分子模型を組み立てることに専念しました。DNAは糖、リン酸、塩基からできている高分子です。二人はこれらがどう配

化学者名鑑



15歳で大学生、22歳で博士 J・ワトソン

ワトソンは、アメリカはシカゴのごく普通な家庭に生まれましたが、学業成績が飛び抜けていて、飛び級

をして15歳でシカゴ大学に入りました。ここでは動物学を学び鳥類の研究をしました。19歳で大学を卒業、大学院に進み、わずか22歳で博士号をとってしまいました。

当時、物理学者の間では、生命の本質についての議論が闘わされていました。ワトソンは、そうした学者の一人シュレジンガーの書いた『生命とは何か』という本に感銘して、自分の研究テーマを遺伝子の謎解きと決めたのです。

彼は共同研究者のクリックと議論を闘わせながら、模型を組み立てては壊しという地味な作業を根気よく続けて、世紀の発見をものにします。二人は、アメリカのボーリングに先にDNAの構造を明らかにされるの

ではないかと気が気でなかったとい

います。
模型が完成し、論文が仕上がった当日は、あいにく研究所のタイピストが休んでいました。ワトソンは妹のエリザベスにタイプしてくれるよう頼みました。そのとき言ったセリフが「ひょっとしたらダーウィン以来の、生物学史上画期的な発見の手伝いかもしれないんだぞ」でした。その言葉がけっして大げさでなかったことは、その後の歴史が証明したとおりです。

その後ワトソンは、ハーバード大学の教授になり、さらに分子生物学研究所の所長も務め、素晴らしい分子生物学の教科書を書きました。現在も人間の全遺伝子配列を解析するヒトゲノム・プロジェクトの推進者として活躍を続けています。





ワトソンとともに遺
伝子の謎を解いた
F・クリック

置されているかを考えました。生物学者と物理学者で、ともに化学に素人の二人の研究はあまり注目されませんでした。遺伝子の解明は生化学者の仕事とされていたからです。そのころ、アメリカの物理化学者ポーリングが、タンパク質の一種コラーゲンがらせん構造をもつことを明らかにしました。これを知ったとき、二人は雷に打たれたようでした。「そうだ、DNAもらせんを巻いているに違いない！」

遺伝の謎が模型で解けた

試行錯誤の結果、二人は糖とリン酸の2本の骨格が平行に並び(2本鎖)、お互いに絡み合うようにらせんを巻いていることを突き止めました。残るのは塩基です。DNAに含まれる4種類の塩基を二重らせんの中にどう配置すればいいか。模型を作っては壊しを繰り返して、この難問に挑み、ようやく正解にたどりつきました。塩基が2つずつ対になり、アデニン(A)とチミン(T)、グアニン(G)とシトシン(C)というように、それぞれ鎖の両方から手を伸ばし決まった相手と握手していたのです。これは化学的にもまったく問題がなく、遺伝の仕組みも説明できる分子模型でした。

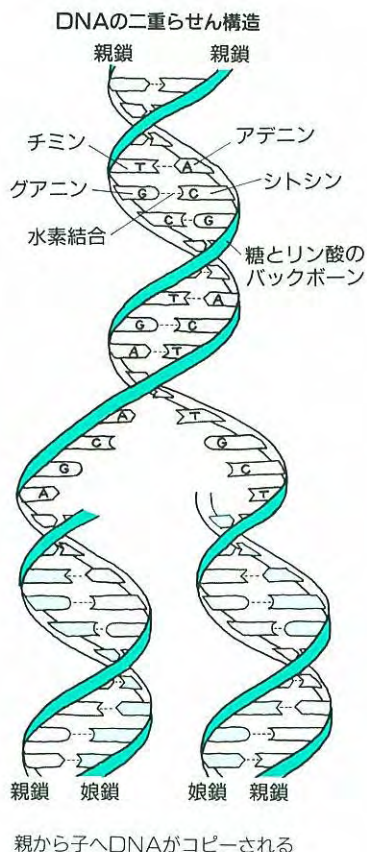
つまり、2本の鎖が1本ずつに別れて、それぞれがA-T、G-Cという決まった相手を選ぶというルールに乗っ取り、新しい相手と結びつけば、最初のDNAの複製が2つできます。こうして同じDNA(遺伝情報)

が、細胞分裂の際に、細胞から細胞へと伝えられます。親から子へと同じ遺伝情報が伝えられることもこれで説明できます。

このDNAの仕組みは純粹に化学的なもので、生物学における化学の重要性を全世界に示しました。

1953年、イギリスの科学雑誌『ネイチャー』に二人の「デオキシリボ核酸(DNA)の構造に対する1つの提案」というたった1ページの論文が掲載されました。ワトソン25歳、クリック37歳のときです。これは生物学界はもちろん、自然科学界全体に衝撃を与え、20世紀最大の発見の1つといわれました。

この発見は、それ以後の物理学や化学と生物学との壁をなくし、分子生物学の時代の幕開けをも告げたのです。二人はウィルキンスとともに、1962年のノーベル生理学・医学賞に輝きました。



世界を震撼させた遺伝子組み換え実験

遺伝子組み換え技術のコーエンとボイヤー

近年、生物の持つさまざまな機能や現象を工学的に利用しようという、バイオテクノロジーが注目されています。生物学や遺伝子工学をベースに、化学、医学、農学といったさまざまな学問ジャンルが結びついた新しい科学技術です。爆発的に広がったこの新技術の口火を切ったのは、遺伝子組み換え技術でした。

試験管のなかでDNAを組み換える

1974年、スタンフォード大学のスタンレー・コーエン(1922～)と、カルフォルニア大学のハーバート・ボイヤー(1936～)は、試験管の中で遺伝子DNAの断片と断片を結合させ、人工的に新しいDNAを合成することに世界で初めて成功しました。

二人は大腸菌のもつプラスミドDNA(後述)を取り出し、それにカエルから採ったDNAの断片をつなぎ込み、再び大腸菌に戻しました。すると大腸菌は、カエルの遺伝子が組み込まれたこの合成DNAをちゃんと複製したのです。これが世界を震撼させた、世にいう遺伝子組み換えの原型となった実験です。

コーエン、ボイヤーの実験は、遺伝子組み換えのための2つの問題を解決しました。ひとつはDNAを切ったりつないだりできる「ハサミ」と「ノリ」を実用

遺伝子組み換え技術を
開発したS・コーエン



化したことです。ハサミは制限酵素といわれる特殊な酵素。ある種のバクテリアがもつ制限酵素は、自分にとって不都合なウィルスが侵入するとそのDNAを切断して殺してしまうのです。ノリの役割を果たすのはリガーゼと呼ばれる結合酵素で、これは制限酵素と逆の働きをします。

ふたつめは、切ったり貼ったりしてできたDNAをどうやって増やすかということ。そのために「工場」となる大腸菌とそこへDNAを運搬する「運び屋」プラスミドが選ばれました。プラスミドとは、細菌の内部に本体のDNAとは別に存在するDNAの小片。本

化学おもしろ話

味や匂いを判断するバイオセンサー

生物の持つ巧妙な仕組みを、エレクトロニクスに応用しようというのがバイオエレクトロニクスです。この分野で一番実用化が進んでいるのがバイオセンサー。バイオセンサーは、生物や細菌がもつ酵素など生体機能の一部を利用して、化学物質などを感知する生物感知器です。

生化学反応の変化を、電極やサームスタ(温度によって電気抵抗が変わる半導体素子)、光電管、半導体といったものを利用して、電気信号に

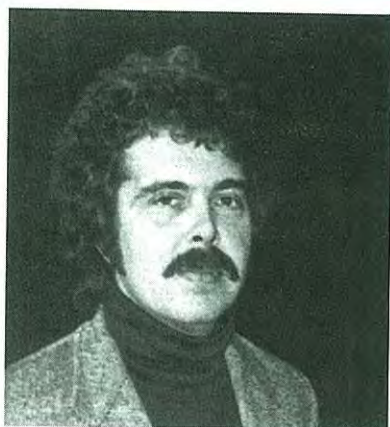
変えて測定します。実用化されたものでは、グルコース酸化酵素という、グルコース(ブドウ糖)と酸素に反応する酵素を利用したグルコースセンサーがあります。これを極細の注射針に組み込み、糖尿病患者の皮膚に軽く刺すだけで、血糖値(血液中のブドウ糖の割合)を計ることが出来ます。

また、同じような方法で、人間の微妙な感覚である味覚や嗅覚に対応できるセンサーも生まれています。



グルコース測定用バイオセンサー。上の先端がセンサー部

見た目には分かりにくい魚や肉の鮮度を数値で表すセンサーなどが実用化されています。



コーエンの共同研究者、H・ボイヤー

体のDNAと同様に、増殖能力もタンパク質を作る能力も立派にあり、細菌の中へスリ入りこみます。この「運び屋」に別の遺伝子をつないでやるのです。

大腸菌は腸の中にいる活発な細菌で、取り出しやすく、培養しやすいのが利点。大腸菌は30分間に1回分裂します。培養の条件を整えてやると、最初の1匹の大腸菌が、1000億匹に増えるのに12時間程度しかかかりません。その大腸菌の中に、たとえばインシュリンのような、有用なタンパク質を作るヒトDNAの一部をつないだプラスミドをいれてやると、そのタンパク質を大量に作りだしてくれるのです。大腸菌がインシュリンの生産工場となるわけです。

21世紀に新しい技術が開く

遺伝子組み換え技術は、まず医学面でその成果が現れました。薬の働きをするタンパク質は、それまでは生物から直接取り出すしか方法がなく、とれる量もわずかで、非常に高価だったからです。それが遺伝子組み換え技術によって、簡単に大量に製造できる道が開

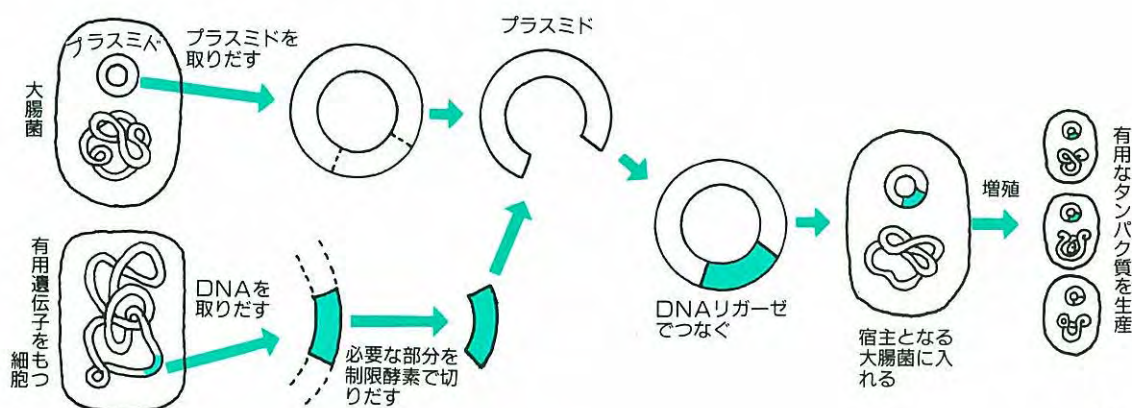
かれたのです。こうしてヒトインシュリン、成長ホルモン、インターフェロンといったこれまで合成が難しかった成分も工業的に生産できるようになりました。

この成功がきっかけになって、今度は違った細胞同士を直接融合させる細胞融合技術も開発されました。遺伝子組み換えと細胞融合は、現代の魔術といわれるほどの2大技術です。医薬品の開発だけでなく、あらゆる分野に応用されています。

たとえば農業では、植物の品種改良が行われています。寒さや病気に強い稲や、厳しい環境でも育つ植物ができると、今後予測される世界的な食糧不足に対する有効な手段となるに違いありません。

さらに生物の体内での化学反応、主に酵素反応を人工的な装置を使って再現し、利用するシステムの研究も進んでいます。酵素は生物の体内で作られるタンパク質の一種で、化学反応を促す作用を持っています。この性質を生かして、アミノ酸、有機酸、糖類、抗生物質、ステロイドなど、たくさんの有用物質が工場生産できるようになってきました。たとえば、発酵時間を短縮した醤油や、おなかのゴロゴロしない乳飲料（アカディ牛乳）のほか、汎用化学製品であるアクリルアミドも製造されています。ちなみにこのアクリルアミドの製造は、世界で初めて日本で成功しました。

遺伝子DNAの組み換え



ガラスのような金属と「記憶」をもつ合金

アモルファスの増本健と新しい金属材料の研究者たち

化学の世界を二分するのが有機化学と無機化学。おもに生物から得られる成分の研究を行う有機化学に対し、金属や鉱物など無機物質を研究対象にするのが無機化学です。20世紀に入り、化学の研究が原子や電子レベルになるにしたがい、無機化学の伝統的な対象といえる金属の研究も大きく変化してきました。そして、現在脚光を浴びているのが、新金属材料と呼ばれるさまざまな性質を持つ合金(アモルファス合金など)や、金属に代わる高分子材料、セラミックスなどに代表される、まったく新しい素材たちです。

非結晶の金属をつくる

ふつう、金属というのは結晶状態で得られるもののことをいいます。結晶というのは原子が規則的な状態で並んでいることです。高温で溶かされた鉄の原子はバラバラですが、冷やされて固体になると規則正しく並びます。

こうした金属の常識に対して、非結晶の金属が作れ

ないだろうか、と考えた科学者たちがいました。非結晶の代表的な物質といえば、ガラスです。ガラス状態の金属を作れないか、というわけです。1960年、カリフォルニア大学のデュエイらは、金とシリコンの合金を溶かして、高圧ガスで銅板に吹きつけ、急冷させることで、結晶のない金属を作ることに成功しました。これが当時金属ガラスと呼ばれた、アモルファス合金の第1号です。このときできたアモルファス金属は、わずか0.1gにも満たない薄い箔でした。アモルファスとは、結晶ではないという意味で「非晶質」と訳されています。

東北大学金属材料研究所の増本健教授(1932～)は、このデュエイの研究を受けつぎ、1975年、実用に耐えるアモルファス合金の開発に成功しました。この合金は「アモメット」と名づけられました。その前年、1974年にはアメリカのアライドケミカル社が「メトグラス」というアモルファス合金を開発しています。

アモルファス合金は、結晶構造を持たないため、磁

化学おもしろ話

外科手術にも使われる瞬間接着剤

さまざまな新素材を組み立てて、製品を作ろうとする場合、問題のひとつとしてあげられるのが素材同士をどうやってくっつけるかということです。そのために欠かせないのが接着剤で、先端技術を支える影の存在ともいわれています。

宇宙から帰還するスペースシャトルの外壁には、大気圏突入の熱に耐えるための耐熱タイルがびっしりと張りつけてあります。タイルを張りつける接着剤は高温にも低温にも耐えなければならず、それに選ばれたのが、RTVといわれるシリコーン接着剤でした。シリコーンは、ケイ素を含む有機化合物のことで、元素のシリコンと区別されます。

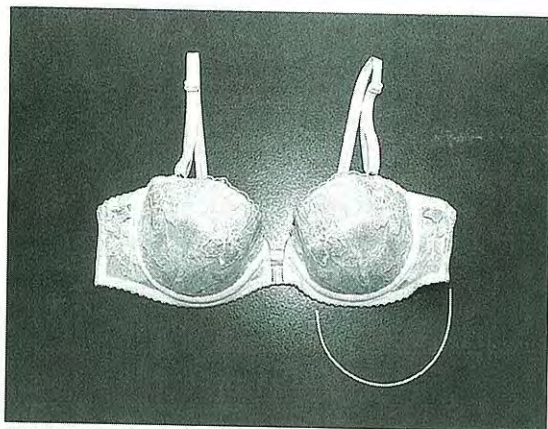
さて、接着剤というとお馴染みなのが瞬間接着剤です。最初に瞬間接着剤が開発されたのは1955年です。イーストマン・コダック社の技術者が防弾ガラスの研究をしていて、偶然に見つかりました。日本で発売されたのは1959年のことで、1キロ20万円という超高価な製品でした。その後、日本のメーカーが次々に開発し、今では瞬間接着剤は、日本が世界一の生産量を誇っています。

接着のメカニズムは、成分のアルキル基が、空気中の水分や張り合わせた材料の表面に着いている微量の水分に触れると反応し、硬化するため。瞬間的にくっつくという利点からさまざまな利用されています。



強力無比の瞬間接着剤

たとえば医療の現場でも使われています。血管手術に用いる場合は、血管を糸で縫合した後、接着剤を塗って浸透させ、血液が漏れるのを防ぎます。手術用の接着剤は、水分や脂肪分、血液のある体内ですぐに接着できて、接着した後は、成分が次第に分解されて残らないものが使われます。



形状記憶合金で作ったブラジャー

気特性や耐食性、強度に優れています。ビデオやテープレコーダーなどの磁気ヘッドにすでに使われていますし、変圧器などにも実用化されています。

用途に合わせて性質を変える合金たち

現代文明の利器のなかで合金の恩恵をうけないものは少ないでしょう。いまやさまざまな用途に合わせ、さまざまな合金が開発されています。たとえばニッケル、コバルトなどを主な成分とする超耐熱合金は、航空機のエンジンやガスタービンの材料として使われています。どのように曲げても一定温度に温めると元の形に戻る形状記憶合金もおもしろい合金です。驚いたことにこの合金はまったくの偶然から発見されました。

1960年、アメリカのメリーランド州にある海軍兵器

研究所では、潜水艦や上陸用舟艇の構造材料の研究を進めていました。ここにいた若い研究者が、ニッケルとチタン合金の配合比をいろいろと変えて曲げの強度を調べていました。すると配合比が1対1の合金だけが、曲げておいても不思議にいつの間にか元の形に戻っているのに気づきました。こうして発見されたのが『ニチノール』という形状記憶合金でした。

形状記憶合金はある一定の温度で形が変わります。その性質を利用して、体温でその人の身体にフィットするブラジャーや、温度が下がると自動的にスイッチが入るポットなどが実用化されています。

この他にも超塑性合金といって、あめのように伸びる合金や、振動のエネルギーを熱に変えて放つ防振合金もあります。防振合金は潜水艦のスクリューや、シャッターなどに使われています。また、従来のアルミニウム合金よりももっと軽く、熱にも強く、丈夫なアルミニウム・リチウム合金も脚光を浴びています。この合金は、スペースシャトルの外部燃料タンク（超軽量タンク）や、現在開発中の航空機に使用されて機体の軽量化が図られています。

化学おもしろ話

21世紀のニューガラス

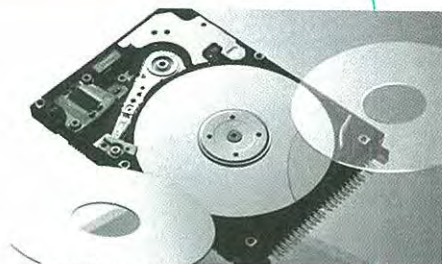
ガラスでは、最近、ニューガラスと言われる全く新しい機能をもつものが注目を集めています。

パソコン等のハードディスクドライブ(HDD)用にガラス磁気ディスクの使用が増えています。ガラス磁気ディスクは表面に磁性膜を付けたガラス円板です。従来のアルミ合金製に比べて、歪みにくく、薄くても高速回転に強い特徴があります。また、平らな表面を得やすいため記録密度を上げることができ、このため小型にすることができます。デジタルカメラ、携帯電話など小型のHDD

用はほとんどがガラス製となっています。

自動車のドアミラーやルームミラーで、後続車のヘッドライトの光をセンサーが感じると、鏡面が着色して光の反射率が下がり、まぶしさが減少するものや、雨の日も水滴が均一に広がって常にハッキリとした視野が得られるミラーが出ています。電気を通すことによって着色する材料を組み合わせたり、ガラスの表面にいろいろな薄い膜を付けることによって機能を出しています。

さらに、コンピュータで制御した



ガラス磁気ディスク

特殊なレーザーを使って、ガラスの中に分子レベルの大きさの立体構造を効率よくつくる研究が国によって進められています。これは、ナノガラスといって、超高速で計算したり、超大容量の記憶容量をもった光コンピュータの実現につながるかもしれません。

炭素繊維を開発した日本人と液晶の神様

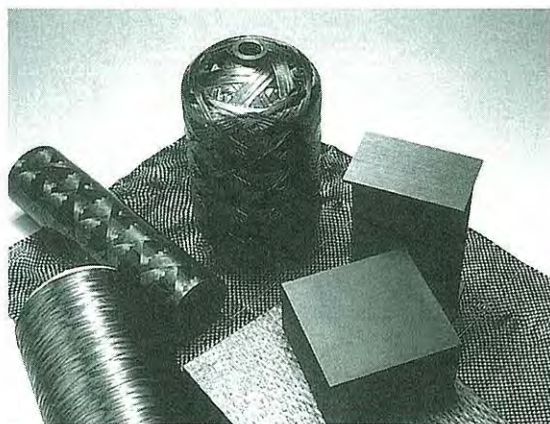
炭素繊維の進藤昭男と液晶のドジャンヌ

たとえばプラスチックは、熱や強度の面で金属に劣るというように、どんな材料にもそれぞれ欠点があります。この欠点を補うために、違った種類の材料を組み合わせて、単独の材料では得られない特性をもたせようというのが複合材料です。

鋼鉄よりも強く軽い夢の繊維

プラスチックの弱点をカバーするために、グラスファイバー（ガラス繊維）、アラミド繊維、炭素繊維といった繊維と複合させたものが繊維強化プラスチック（FRP）です。第2次世界大戦中にアメリカが長距離爆撃機の補助燃料タンク用に開発したものが最初で、ポリエステル樹脂をグラスファイバーで強化しました。これが複合材料のはじまりで、さまざまな製品が生まれ、実用化されました。

アラミド繊維は、鋼鉄の約5倍という強度を持つ繊維です。これをエポキシ樹脂に埋め込むと、強化プラスチックとなります。ボートの船体やスキー板などに利用されています。



鉄よりも強く、アルミより軽いといわれた新素材、炭素繊維

炭素繊維は、新素材のなかでも“鉄よりも強く、アルミニウムよりも軽い夢の材料”としてもはやされました。この炭素繊維は日本生まれの日本育ちの新素材です。1959年に工業技術院の進藤昭男（1926～）が世界に先駆けて開発に成功しました。ポリアクリロニトリル繊維を不燃化したうえで、無酸素状態に置き、約1000℃で蒸焼きにすると得られます。繊維が炭化して結晶化し、軽くて丈夫なものに変化するのです。

この特性のために、炭素繊維を使った強化プラスチック（CFRP）は、航空機や宇宙用の材料に使われて

化学おもしろ話

ゲルを材料に作る人工筋肉

私たちが毎日飲む牛乳は、脂肪やタンパク質などがコロイド粒子（直径 10^{-5} ～ 10^{-7} cm程度の小さな粒子）となって水に分散しています。この

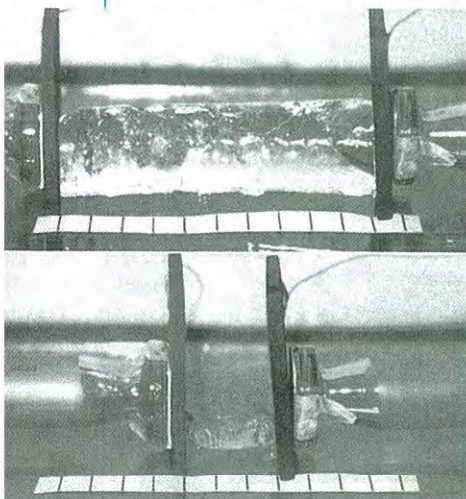
コロイド溶液のうち、流動性のあるものをゾル、ゼリー状に固まったものをゲルといいます。

身近なものではマヨネーズや卵白がゾル、ゼリー、豆腐、バターはゲルです。このゲルは、つい最近まで多くの高分子化学者によって、邪魔者扱いされてきました。ゲルは溶解しないために、取り扱いが困難だったからです。それが高分子の三次元的な構造が、分子レベルで解析されるようになって、新素材として見直されてきました。

ゲルの酸素を通す性質を生かしたソフトコンタクトレンズや、高吸水

性高分子を用いた紙おむつや女性用ナプキンが実用化されました。これは自分よりも数十倍から100倍もの水分を取り込んで容易には逃がさないようになっています。さらに、災害時の土嚢代わりや、航空機用の保冷剤などにも応用されています。

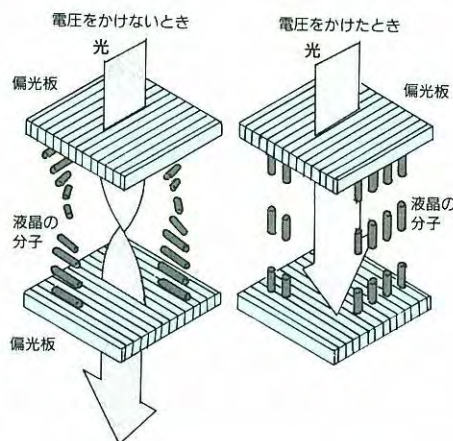
また、とくに注目されているゲルの応用に、ケモメカニカル（化学的機械）材料があります。あるゲル材料は、小さな温度変化で90%近くも収縮し、かなりの重さの物を持ち上げることができます。これを使うと小型で効率のよい柔軟な人工筋肉が実現できそうです。身障者用の人工筋肉やロボット用のアクチュエータ（動伝機構）として、ゲルが利用される日も近いといえます。



ゲルの収縮挙動。電圧をかけると下の写真のようにゲルが水を吐き出して縮む（筑城大学長田研究室）

液晶セルの原理

2枚の偏光板は90度ずらして置かれ、電圧をかけないときは、光は液晶分子のねじれにそって90度曲がって進み、下の偏光板を通過する。電圧をかけると、液晶分子が垂直に立ちあがり、光が直進するので下の偏光板を通過できない



います。また炭素繊維をセメントに混ぜ強化コンクリートとして使うようにもなりました。これは従来のコンクリートの弱点を炭素繊維の引っ張り強さやねじれに対する強さでカバーしたもの。この他、CFRPはゴルフシャフトやテニスラケットでもおなじみ。現在製品の多くが日本のメーカーによって作られています。

液体と固体の中間物質、液晶

新素材の中でも、ちょっと変わり種のひとつが液晶です。なぜ変わり種かという、これまでの物質を分けるジャンル、固体、液体、気体というわくに入らない存在だからです。固体から液体に移る中間の状態をとる物質で、液体なのに結晶構造を持つ物質です。すでに19世紀末にはオーストリアの植物学者ライニッツアによって発見されていました。

この液晶の分子を電極間に並べて光を当てると、光はそのまま透過します。が、電極間に電圧をかけると液晶分子の配列が変わり、光が通過できなくなります(図参照)。この性質を利用したおなじみの装置が電卓や時計などのデジタル表示です。わずかな電力で反応するために、ワープロやパソコンなどのOA機器、センサー類、オプトエレクトロ素子など幅広い分野で使

われるようになりました。

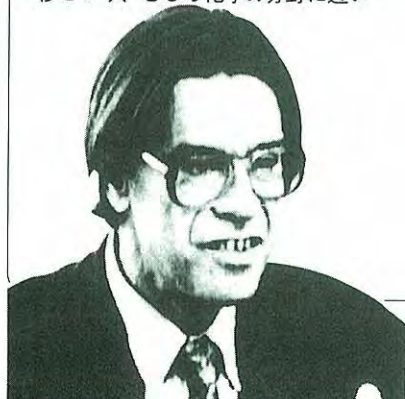
さらにカラー表示と組み合わせた小型の液晶テレビも、今では身近な製品になりました。今後、この液晶ディスプレイの応用はますます拡大する傾向をみせています。画面が大きくなって、14インチの壁掛けテレビも実用化の寸前まできています。最近話題のハイビジョンのような高品位テレビ用のディスプレイや、医療用高精細モニターへの用途も期待されています。

さてこのような液晶の進歩を促したのが、フランスの物理学者ピエール・ジール・ドジャンヌ博士(1933~)です。博士は液晶の複雑な現象をエネルギーの数式化によって、理論的に整理し体系づけました。博士が1974年に書いた『液晶の物理』は、液晶研究者のバイブルといわれています。こうした研究が評価されて、博士に1991年のノーベル物理学賞が贈られました。

化学者名鑑

液晶でノーベル賞受賞
P・ドジャンヌ

1991年のノーベル物理学賞を受賞したピエール・ジール・ドジャンヌは物理学者ですが、専門は高分子の相転移という、むしろ化学の分野に近い



研究者です。彼はコレージュ・ド・フランスの教授で、磁気、超伝導、液晶と次々に新しい分野に研究対象を広げていきました。

相転移というのは、水が100℃になるといっせいに沸騰しはじめて、液体から気体に変わるように、物質の状態が劇的に変化することです。液晶がもつ固体と液体の中間的性質も、この相転移の一種です。さらに超伝導を表す式と、液晶の状態を示す式が同じ形になることを示し、さ

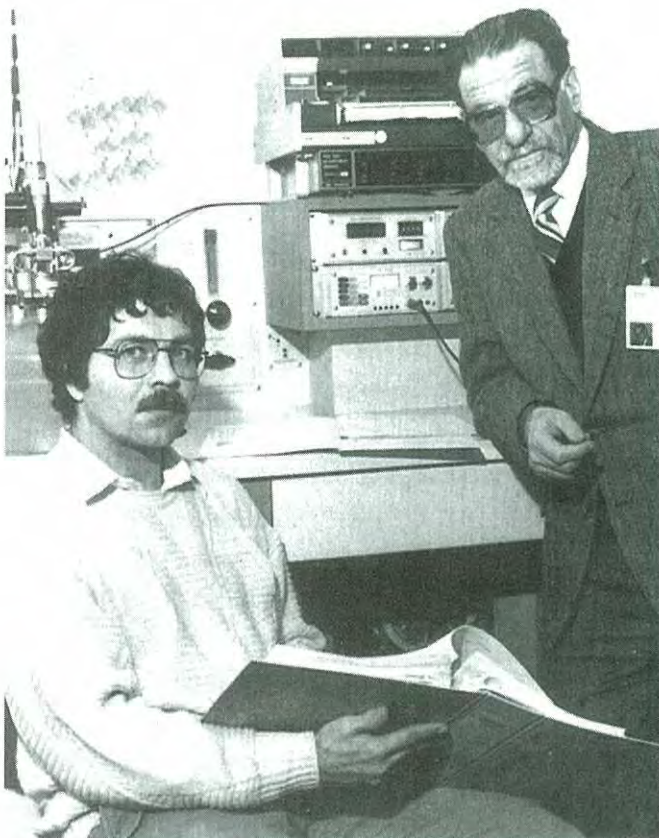
まざまな現象の予言を行いました。彼はこの複雑な相転移に、数式を持ち込んで、その法則性をわかりやすく表現しました。これはまったく新しい方法で、『マヨネーズの物理』と悪口をいわれたこともあったそうです。

ノーベル賞に結びついたこうした画期的な理論のひとつは、博士が休暇でスキーをしていたら、突然ひらめいたものだそうです。

彼の著作『液晶の物理』は、日本の技術者にも広く読まれ、業界で彼を知らぬ人はいないといえます。

誰でも作れる(!?)超伝導体

高温超伝導体を発見したベドノルツとミュラー



高温超伝導現象を発見し、ノーベル物理学賞を受賞したG・ベドノルツ(左)とK・A・ミュラー

1986年、IBMチューリッヒ研究所のゲオルグ・ベドノルツ(1950～)とK・アレックス・ミュラー(1927～)が、ランタン(スズ白色の金属)、バリウム、銅からなる酸化物という、従来の金属系超伝導体(鉛や水銀、ニオブなどの金属や合金で作る)とはまったく異なる、新しい素材が高温で超伝導体になることを発見し、大騒ぎになりました。この酸化物は臨界温度35Kで超伝導現象をおこしたのです。材料に金属でなく酸化物を使ったことも画期的でした。彼らは1987年、異例の早さでノーベル物理学賞を受賞しました。

この発見がきっかけになって、世界中で高温超伝導フィーバーが巻き起こります。1987年の初めには、バリウム、イットリウム、銅の酸化物が臨界温度90Kで超伝導体になることが、アメリカ、中国、日本で相次

いで発見されました。超伝導の研究がなぜこれほどのブームを巻き起こしたのでしょうか。

電気抵抗ゼロの夢の発明は……

超伝導研究の歴史は、液体ヘリウムとともに始まります。1911年、オランダのオンネスは、液体ヘリウムを冷却媒体とすることによって、4 Kで水銀の電気抵抗がゼロになることを発見しました。これは一度電気を流してやると永久に流れ続けるという状態で、これ以後にもスズや鉛などに起こることが発見されました。しかしこれは、液体ヘリウムを使う4 K(−269℃)という極低温の世界の現象だったために、限られた分野でしか注目されませんでした。

温度が上昇すれば、電気抵抗を生じるふつうの常伝導状態に戻ります。この超伝導から常伝導状態に変化する温度が臨界温度で、電気抵抗がゼロになる温度のことです。

ベドノルツとミュラーの二人はこの臨界温度を35Kという高温に引き上げたのです。このことは冷却媒体に、高価で沸点の低い液体ヘリウムではなく、安価で沸点の高い液体窒素(沸点77K)が使えるようになる可能性を示しました。そうすると、用途が大きく広がるのです。

もし超伝導が実用化されると、その影響は計り知れないものがあります。電気抵抗がなくなると、エネルギー損失がなく、長距離送電もずっとらくになります。

貯蔵できないはずの電力を貯めてしまう超伝導コイル式電力貯蔵も実現可能。東京―大阪間を約1時間で結ぶリニアモーターカーによる超伝導磁気浮上鉄道や、磁力から推進力を得る超伝導電磁推進船なども実用化に大きく近づくでしょう。また、高温超伝導材を利用した超伝導トランジスタが開発されれば、わずかな電力で大きな力を発揮するコンピュータも生まれるでしょう。

スリ鉢と超伝導セラミックス

超伝導体開発では、世界中の研究者がしのぎを削っています。臨界温度は、1994年にアメリカの研究者が

水銀系物質で138Kを達成しました。常圧では10年以上、この記録は破られていません。

さて、こうした超伝導フィーバーが、なぜ化学と結びつくのか。みなさんにはもうわかりですね。フィーバーを引きおこした一連の超伝導物質は、従来の金属系超伝導体と区別して、「セラミックス系高温超伝導体」と呼ばれます。セラミックスとは、簡単にいえば陶器のような焼き物のことで、粉状になったいろいろな物質を混ぜ合わせ、焼き固めたものの総称です。ベドノルツとミュラーが新しい超伝導体を発見して以来、おそらく日本中の大学の理工学系の研究室で、学生や先生がスリコギとスリ鉢を手に、さまざまな物質をすりつぶすのに忙しかったことでしょう。よいセラミックスを作るには、原料の粒子の大きさをそろえて、よく混ぜ合わせてやる必要があります。イットリウム系物質とかタリウム系の物質を適当に調合して、超伝導物質を作る。これは、さまざまな有用物質を合成し



超伝導現象によるマイスナー効果。超伝導体を磁場の中に置いてやると、反磁性を帯び、そのため生じる反発力によって浮遊する

てきた化学の原点ともいえる行為です。超伝導も化学抜きには語れないのです。

化学おもしろ話

電子材料で注目される人工ダイヤモンド

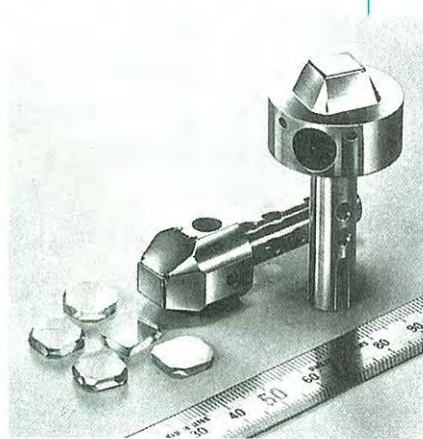
最も価値のある宝石といえば、誰もがダイヤモンドを思い浮かべるでしょう。天然のダイヤモンドは限られていて貴重です。しかし、18世紀末にダイヤモンドと黒鉛が同じ炭素とわかり、以来人工的にダイヤモンドを作る試みがなされてきました。これはいわば近代の錬金術で、多くの化学者が挑戦しました。

1954年に、アメリカのゼネラル・エレクトリック社がついに、ダイヤモンドの合成に成功しました。これが人工ダイヤモンドの最初です。

ところでダイヤモンドは、装飾品としてだけでなく、機械工業の発展にともない、工業用としても欠かせないものになりました。ダイヤモンドはその優れた特性から、切削や研

磨、ダイス(線材の仕上げ工具)材などにも利用されるようになりました。現在、世界で消費される工業用ダイヤモンドは、年間1億カラット(約20トン)以上ですが、その90%は人工ダイヤモンドです。黒鉛などの炭素源と鉄、ニッケル、コバルトなどの金属を接して、1500~1600℃前後の高温と、5~6万気圧という高圧をかけて作る高温高压法がおもな製造方法です。

もうひとつ気相合成法も注目を集めています。この方法を使うと、ダイヤモンドを薄い膜状に、しかも高純度に形成できるために、半導体の材料として注目されています。ヒートシンク(放熱基板)としてだけでなく、放射線検出素子、サーミスタ、



人工ダイヤモンドの単結晶を使ったヒートシンク(放熱基板)

半導体基板、マイクロ波発振素子などの電子材料にも人工ダイヤモンドが使われようとしています。

「グリーンケミストリー」で環境に配慮

持続可能な社会に貢献し信頼される化学へ

化学はこれまで、生活に便利な樹脂や命を救う薬など、画期的な素材や新しい物質を数知れず生み出してきました。私たちの周囲で化学の世話になっていないものはほとんど見あたらないほど、化学は科学技術の中心としての役割をになってきました。

しかし、化学がつくり出す物質や製品のなかには、製造工程でたくさんのエネルギーを消費したり、多量の原料や溶媒を使用したり、環境を汚染したり、毒性によって健康被害をもたらす場合があります。19世紀以来の合成化学は、地球の有限性を重視せず、便利な製品を安く大量に製造することを優先するあまり、環境にどんな影響があるか、廃棄物はどのくらい出るかなどを十二分に配慮しないままに進んできたことは否めない事実です。この反省にたち世界の化学工業界は、化学品を扱うそれぞれの企業がその開発から製造、物流、使用、最終消費を経て廃棄に至るすべての過程において、自主的に「環境・安全・健康」を確保し、活動の成果を公表し社会との対話を行う活動をしています。この活動を「レスポンシブル・ケア」と呼んでいます。

あらかじめ廃棄までを設計する

このような意識変化の中で、現在では、化学製品や製造プロセスそのもの、つまり根元から技術的に変えて、持続可能な社会に貢献していくという活動が進められています。

製造した物質や副次的な生成物に毒性があった、さあたいへんだ、どう処理しようか。あるいは、製品ができあがったらリサイクルがしにくかった、さあ困った、というように、あとから環境対策を考えるのではなく、前もってこんな問題が起こらないように物づくりの工程や製品設計をしようというのが「グリーンケミストリー」の考え方です。原料から最終製品にいたる全体の工程の環境負荷や、さらには製品が廃棄されるまでの過程を考慮し、環境に積極的に配慮して化学工業を進めようという姿勢です。健康への影響を十分

配慮することは言うまでもありません。

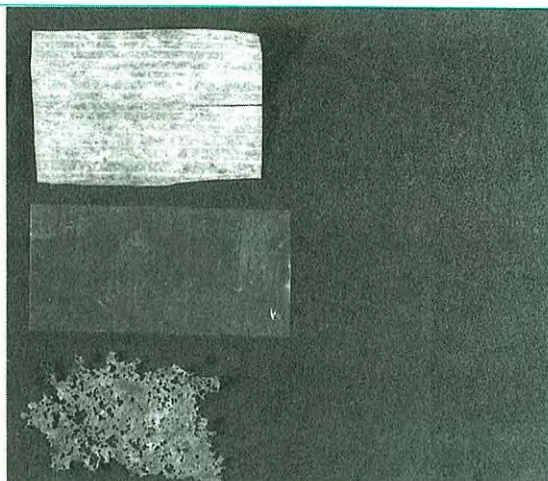
グリーンケミストリーが広く支持されるようになったのは20世紀末のことです。地球温暖化、環境汚染、健康被害などへの関心の高まりとともに、グリーンケミストリーは化学の基本姿勢となってきました。この原則に基づいて、あらたな技術や製品が誕生しています。グリーンケミストリーは研究開発や産業に新しい流れをつくりつつあります。その例を見てみましょう。

バイオプラスチックでCO₂削減

合成化学の華ともいえるプラスチック。どんな形にでも成型しやすく、安くて丈夫、軽くて便利——と世界中で愛用されてきました。しかし、膨大な量の廃棄物処理や自然環境中に散逸してしまったものの回収の問題などが生じています。そのうえ、おもな原料である原油は有限な資源であり、製造・廃棄過程では二酸化炭素を多量に排出します。

これに対して、いま注目されているのが、トウモロコシやイモなどの植物デンプンを原料にしたバイオプラスチックです。植物は環境の二酸化炭素を取り込んで成長するので、植物からできたプラスチックは、たとえその製造工程や廃棄物焼却の過程で二酸化炭素を排出しても、差し引きすると原料から製品化されるまでの二酸化炭素排出量を減らせる計算です。そのうえ、デンプンを原料につくったプラスチック中には、適切な条件で土に埋めると通常のプラスチックより早く腐って分解するものがあります。これらは「生分解性プラスチック」と呼ばれています。生分解性プラスチックは、草の繊維を加えて強靱さを高めるなどさまざまな工夫をこらし、携帯電話やパソコンのケースがつくれるようになっています。自動車部品にも応用しようという研究も活発です。

温暖化をもたらす二酸化炭素の排出量を減らすことは、製造業に課せられた大事な宿題であり、日本は世界に誇れる環境負荷削減技術を多数もっています。いま、私たちに身近なところでさまざまなグリーンケミ



土中に5か月間埋めておいた後の、杉のカナナ屑(上)、ポリエチレン(中)、生分解性プラスチック(下)。ポリエチレンと杉はまったく分解されない

ストーリーが実現しています。例をあげてみましょう。

印刷しても簡単な処理で消せて紙の再利用が可能な消える印刷インキ。細菌を利用してPCBなど土壌中の有害物質を分解するバイオレメディエーション技術(生物利用修復技術)。2種類の鏡像異性体のうち、一方の有用な鏡像異性体だけをつくり分ける不斉合成。不要な副産物を発生させない新しい触媒を使用したカプロラクタム(ナイロン6の原料)合成法。地球温暖化の原因物質である二酸化炭素を原料としたポリカーボ

ネート樹脂(DVDなどの原料)の合成法。いずれも日本の化学がもたらしたグリーンケミストリーです。

グリーンケミストリーの原則

1. 廃棄物を出さない設計をする
2. 毒性のない物質を使って合成する
3. できるだけ製品を低毒性化する
4. 溶媒はできるだけ低毒性化する
5. エネルギー消費を最小限にする
6. できるだけ再生可能資源を使用する
7. 高性能触媒を工夫し、反応効率を高める
8. 使用後は無害なものに分解し、残留性がないようにする
9. 事故や災害などを起こさない安全な方法をとる

豊かな生活のためにと考えて開発された技術が、逆の結果をもたらすことがあったという反省から出てきたグリーンケミストリー。常にこの原点に立ち返り、新しい化学を推進していくことが大切です。

化学おもしろ話

オゾン層破壊対策は国際的な協力体制で解決の道筋ができた!

フロンはかつて夢の化学物質といわれました。正式名は「クロロ・フルオロ・カーボン」といって、炭素、フッ素、塩素、臭素、水素からなる化合物です。夢の化学物質といわれたわけは、①人体への安全性が高い、②簡単に分解しない、③気体・液体の変換性に優れる、④安い、などの長所があったためです。

それでエアコンや冷蔵庫の冷却媒体やスプレー用噴射剤、精密洗浄剤などに幅広く使われました。

ところが、1974年に米国のローランド教授(1995年ノーベル化学賞受賞)によって、この便利な化合物はオゾン層を破壊してしまうというメカニズムが発見されました。

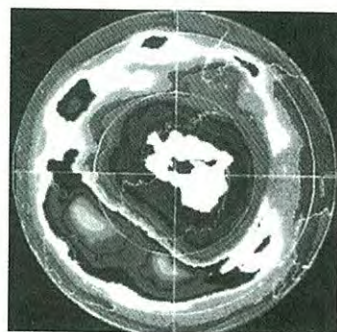
オゾン層は地球を取り巻く成層圏にある薄い層で、これが太陽からの

有害な紫外線を防いでいます。フロンは非常に安定した化合物であるため、成層圏にまで達します。ここで太陽光の強力な紫外線で分解され塩素分子を放出します。これが酸素原子3個からなるオゾン層を元の酸素に戻してしまい、オゾン層が破壊されてしまうのです。

オゾン層破壊が進むと、地表に降り注ぐ紫外線が増え、皮膚ガンや視力障害の増加、農作物の収穫減少、生態系への影響が起きます。

このため、1987年「モントリオール議定書」が採択され、フロン規制のための国際的な協力体制が敷かれました。一方、化学者の努力により塩素を含まない代替フロンが開発され普及しています。

しかし、代替フロンは地球温暖化



南極のオゾンホール

の原因にもなる物質であるため、代替フロンの使用は必要不可欠なところに限られ、使用量は大幅に削減されています。フロン削減の国際的な取り決めを各国が守っていけば、オゾン層の破壊問題は解決できる道筋ができたのです。今後は各国の努力が早期実現へのカギを握っています。

化学の素養を生物学に生かしてノーベル賞

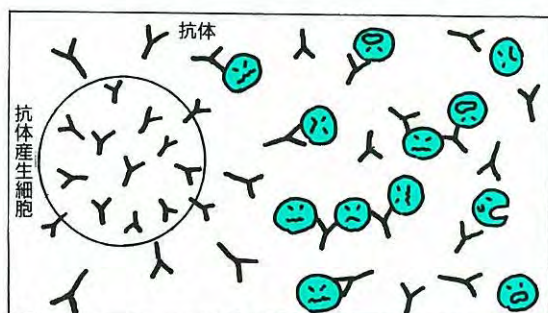
免疫の謎を解いた利根川進

私たちは呼吸するだけで、鼻や口から無数の細菌やウイルス、その他の危険なものを吸い込んでいます。体内に入りこむこうした外敵に負けずに生きていられるのは、体内で免疫という防衛メカニズムが働いているからです。この免疫についてはまだ分かっていないことも多く、生物学や化学の重要なテーマのひとつですが、これに果敢に挑んだ化学者がいます。それが1987年にわずか48歳という若さでノーベル生理学・医学賞を受賞した利根川進(1939～)です。

数億種類の抗体をどうやって作るか？

利根川進は1939年、名古屋市の生まれ。子どものころから理数系が好きで、大学は父の母校であり、自由な雰囲気があった京都大学を選び、理学部化学科に入学。4年生のときに生物化学教室に入り、当時、新しい学問として注目を集めていた分子生物学に初めて出会います。京大ウイルス研究所には、その権威であった渡辺格教授がいて、大学院生活半ばのころ、利根川は渡辺教授から「本当に研究したいなら、海外に行きなさい」と勧められて、カリフォルニア大学の生物学科に留学、ここで博士号を取得します。その後、利根川は免疫の世界に興味を抱き、スイスにあるバーゼル免疫学研究所に移ります。ここは世界的な製薬会社ロシュ社が設立した免疫学に関する基礎研究所です。メーカーの研究所でありながら、まったく自由に研究テーマを選ぶことができます。ノーベル賞を受賞した抗体遺伝子の研究もここで行われました。

抗体とは、免疫反応で重要な役割を演じるタンパク



抗体産生細胞が放出する抗体が細菌を倒す

抗体産生の秘密を解き明かし、日本人初のノーベル生理学・医学賞を受賞した利根川進



質。ウイルスや細菌が身体の中に入ると、ただちにそれらに結合して無力化します。多様な外敵に備えて、身体の中には実に数百万から数億種類もの抗体が用意されているのですが、こんなにたくさんの種類の抗体を一体どうして作ることができるのでしょうか。抗体も遺伝子によって作られますが、その遺伝子の種類はせいぜい数百個しかありません。この秘密は、抗体の遺伝子がいくつかのパーツに分かれていて、抗体が作られる過程でそのパーツが組み合わせられるところにあります。パーツがそれぞれ数十種類あれば、その組み合わせの数は数億にもなります。抗体を作る細胞の中で、こうした遺伝子組み換えが起こり、その結果、膨大な種類の抗体を作ることができるわけです。

利根川は、ネズミを相手に実験を重ね、この抗体遺伝子の組み換えのメカニズムを証明しました。

利根川をはじめ分子生物学者には、化学や物理の出身者が少なくありません。渡辺教授も化学出身ですし、ワトソンとともにDNAの二重らせんを発見したクリックは物理出身です。生化学の訓練を受けていない生物学者では、遺伝子レベルの研究では後れをとることは明らか。ノーベル賞級の研究となれば競争は激烈です。利根川が人より先んじて抗体の作られるメカニズムを解明できたのは、化学の素養が実験のアイデアを考えだしたり、手際よく実験を進めるうえでおおいに役立ったからでしょう。

1981年に利根川はマサチューセッツ工科大学(MIT)の教授に就任、生命科学のホープとして、世界から注目を集めています。

常識をくつがえした発明

電気を通すプラスチックを開発した白川英樹

プラスチックは紙や木と同じように電気を通さない絶縁体、というのが、かつての「常識」でした。この常識をくつがえす電気を通すプラスチック、ポリアセチレンを世界で初めて開発したのが白川英樹(1936～)です。いまでは、電気製品などに、電気を通さないプラスチックが絶縁材料として使われている一方で、帯電防止材料や電池、発光素子の材料として電気を通すプラスチック(導電性高分子)が使われています。

金属光沢をもつプラスチック

白川英樹は東京に生まれました。中学生のときに、そのころ登場した塩化ビニルなどの合成高分子に興味をもち、卒業文集に、将来は大学に入ってプラスチックの研究をしたいと書いています。そして夢を実現する一歩として東京工業大学に進学しました。

白川がポリアセチレンの研究を始めたのは、東京工業大学で助手になったときでした。ポリアセチレンはアセチレンを化学的につなぎ合わせ(重合という)長い鎖状の高分子にしたものです。アセチレンの重合に初めて成功したのは、チーグラー・ナッタ触媒の開発者の一人ジュリオ・ナッタでした。しかし、ナッタのつくったポリアセチレンは不溶不融の黒い粉末で、取り扱いづらくて使い道がありませんでした。

白川はアセチレンの重合反応機構に興味をもっていました。ある日、一人の研究員が、重合実験を行う際、加える触媒の濃度を間違えて実験をしてしまったらしく、実験は失敗してしまいました。実験は「失敗」でしたが、反応容器を見た白川は、そこに薄い膜ができ



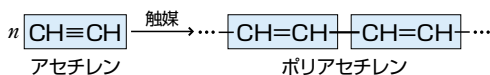
白川英樹
(筑波大学提供)

ているのに気づきました。この失敗をヒントとして実験法を改良し、ポリアセチレン薄膜の合成法を確立しました。もしかしたら、触媒の濃度の単位はmmol/lなのに、mol/lと勘違いして、1000倍も濃い触媒で実験をしたのかも知れません。

ポリアセチレン薄膜は美しい金属光沢をもっていました。白川はすぐ抵抗計で電気伝導度を調べましたが、測定器の針は動きませんでした。転機となったのは、東京工業大学を訪れたペンシルベニア大学のアラン・マクダイアミッドとの出会いでした。このフィルムに興味を示し、共同研究を提案したのです。白川はこれを受け、1976年、ペンシルベニア大学で、物理学者のアラン・ヒーガーを加えた3人で共同研究を始めました。そして以前に見つけていたポリアセチレンにハロゲンをドーブ(添加)すると赤外線を全く通さなくなるという不思議な現象と導電性が関連しているかも知れないという以前から温めていたアイデアを実行しました。ポリアセチレン薄膜に電極を付けて容器に入れ、臭素を加えると、すぐに抵抗計の針がふれ始めて、抵抗がどんどん下がりました。世界初の電気を通すプラスチックの誕生でした。この業績で3人は2000年にノーベル化学賞を共同受賞しました。

ポリアセチレンは、単結合と二重結合を交互に繰り返した構造をもっています。それゆえハロゲンを加えると電気伝導性を示すようになります。ポリアセチレンと同じような構造をもつ高分子が、導電性高分子をして、その後たくさん合成されました。

導電性高分子は、いまでは二次電池や電解コンデンサー、発光素子などの電子材料として幅広く使われるようになりました。電子材料といえば金属や半導体などの無機物という「常識」をくつがえした点でも、電気を通すプラスチックの発見は画期的でした。



ポリアセチレンフィルム(ドーピング前のもの)

金属光沢をもつポリアセチレン薄膜

左手型分子と右手型分子をつくり分ける

有機合成化学の力量を示した野依良治

分子式で表すとまったく同じなのに、三次元構造を見ると互いに鏡に映した像のように左手と右手の関係にある分子があります。ブドウ酒の発酵が進むと沈殿してくる酒石酸の結晶を注意深く観察し、左手型と右手型が混じっていることを最初に指摘したのはパスツールでした。19世紀半ばのことです。

私たちの体をつくるタンパク質の構成単位であるアミノ酸にも、左手型と右手型がありますが、天然のアミノ酸は左手型ばかりです。パスツールは「左手型と右手型の分子をつくり分けるには生物の力が必要で、化学にはつくり分けはできない」と考えました。実験室や工場で作ると、左手型と右手型が半々に混じった混合物ができ、人工的に片方だけをつくることは不可能と思われてきたのです。

左手型か右手型かによって性質がまったく違う物質があります。一方には薬効があるのに、もう一方は有害、一方はよい香りをもつが、もう一方には悪臭がある、という具合です。そのために、工場では混合物から片方だけを分け取る複雑な工程が必要で、しかも不要なほうは捨て去るほかありませんでした。不要なほうが多くても少なくとも、分けるのに必要な手間やエネルギーは変わりません。

そのため、はじめから必要な型だけを合成すること（不斉合成という）は、長いあいだ有機化学の大きな課題だったのです。この難問にチャレンジし、実用化に成功したのが野依良治です。

野依は、1938年に兵庫県に生まれ、京都大学工学部で学んだ化学者です。将来、化学を勉強しようと決め

野依良治
(独立行政法人
理化学研究所
提供)

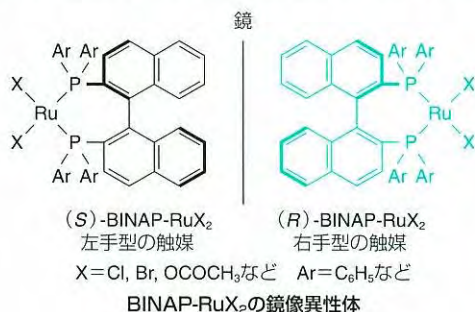


たのは小学生の頃、父に連れられて聴きにいったナイロン合成についての講演がきっかけでした。空気と水と石炭から丈夫で美しい繊維ができるという話に夢中になったのです。中学生の頃には、自然界における左と右という問題に関心をもつようになったといいます。やがて、研究者になり、名古屋大学に赴任します。その後ハーバード大学に留学し、そこで触媒について大きな刺激を受けました。若い野依が出会ったのが、ビナフチル (BINAP) というきれいな対称形の構造をもつ化合物です。これも左手型と右手型があります。BINAPに金属原子を結合させて、左右を識別する触媒ができないかと考えたのは1974年でした。

6年後にようやく誕生したのがBINAP-ロジウム触媒です。この触媒を使って、ハッカに含まれるメントールの左手型だけを工業的合成する不斉合成が、初めてわが国で達成されました。現在、世界のメントールの1/3はこの方法でつくられています。

野依は次いで1980年代半ばにBINAP-ルテニウム触媒をつくり出しました。この触媒は、炭素と炭素の二重結合や炭素と酸素の二重結合に水素を結合させ、そのうえ左手型と右手型をつくり分けることができます。この触媒により、圧倒的な効率で抗生物質などを合成できるようになりました。農薬、食品添加物、香料の合成にも使われています。2001年ノーベル化学賞の対象となったのは、この不斉合成触媒の発明でした。

野依の仕事は、有機化学の理論にしっかりと立ちながら、美しさや感動を大切にしました。野依の開発した触媒は不斉合成を可能にただけでなく、エネルギー節約型の化学合成を実現させました。



タンパク質の質量をはかる

生体高分子質量分析手法の道を切り開いた田中耕一



田中耕一
(島津製作所提供)

原子や分子の質量は、質量分析計と呼ばれる装置で測定します。1980年代半ばまでは、質量分析計で測定できるのは、せいぜい分子量数1000程度まででしたが、島津製作所の田中耕一(1959～)らが開発した「ソフトレーザー脱離法」により、一挙に分子量数万、数十万のタンパク質を壊さずに測定できるようになりました。いまでは、タンパク質をはじめ大小さまざまな生体分子の分子量と組成が、ごく微量の試料をもとに質量分析計で迅速に調べられて、化学、医学や薬学などの生命科学分野で研究に役立てられています。

「ソフトレーザー脱離法」によるイオン化

田中耕一は、富山県に生まれ、東北大学で電気工学を学びました。卒業後、すぐに医療機器などを製作している精密機械メーカーの島津製作所に入社し、質量分析計の開発に携わりました。

田中が取り組んだのは飛行時間型質量分析計(TOF-MS)と呼ばれるものです。この装置では、測定したい分子をイオン化し、静電圧を利用して加速させ、真空中を飛行させます。同じ力で加速すると、軽いものは重いものに比べると速度がはやくなるので、一定距離を飛行する時間は、軽いものは短く、重いものは長くなります。この時間差から質量を求めます。

田中が開発したのは、タンパク質などの大きな分子にレーザーを照射して壊さずにイオン化する方法です。タンパク質は、レーザーを直接当てると、熱で

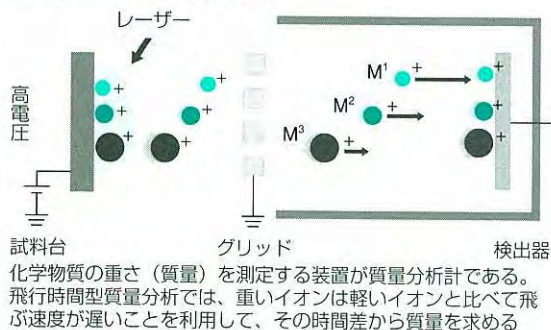
ぐ壊れてしまいます。そこで、タンパク質をグリセリンとコバルトなどの金属微粒子を混ぜたマトリックスと呼ばれる補助剤と混ぜ、ここにレーザーを照射します。すると、タンパク質のまわりのマトリックスが急速に加熱されて気化しますが、同時にマトリックスに包み込まれていた、タンパク質も壊れないまま気体状のイオンとして出てくるのです。

この方法ではマトリックスの組成が重要なのですが、田中によれば、それは「失敗」の連続から生まれました。ある日、コバルトの微粒子を均一に混ぜるためにアセトンを加えるところを、間違ってグリセリンを入れてしまいました。これを捨てるのはもったいないと思った田中は、そこにビタミンB₁₂を加えてその質量を測定してみたのです。レーザーを当てれば熱でグリセリンが気化してなくなると思ったそうですが、ここでもう一度失敗します。グリセリンが気化し終わらないうちに測定してしまったのです。しかし、この「失敗」実験の結果を示すチャート上に、ビタミンB₁₂を示すかすかなピークがあることを田中は見逃しませんでした。すぐ追試を行い、同じようにすれば分子量の大きいタンパク質の測定ができることを確かめました。田中が25歳のときでした。

その後、田中のアイデアをもとに、ドイツの二人の科学者がマトリックス支援レーザー脱離法(MALDI法)を発展させ、この方法を使った質量分析計(MALDI-TOF-MS)は広く世界に普及しました。

2002年、田中は、「生体高分子の質量分析のためのソフトな脱離イオン化法の開発」により、ノーベル化学賞を受賞しました。

MALDI-TOF質量分析計の原理



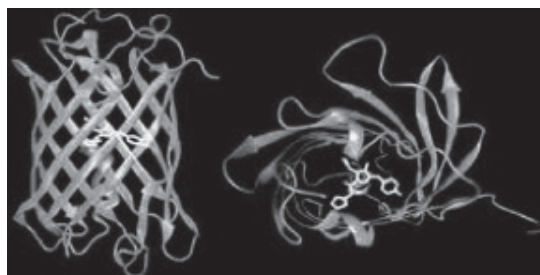
見えなかった分子に「光」を与える

緑色蛍光タンパク質を発見した下村脩

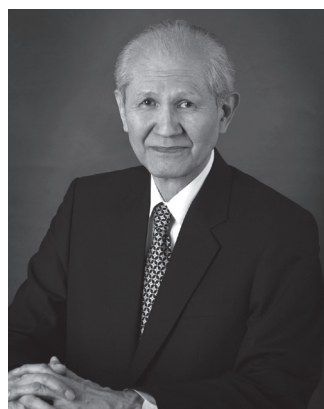
動物の血管内を増殖し移動するガン細胞。あるいは、アルツハイマー病で壊れていく神経細胞や、インスリンを分泌する細胞が膵臓（すいぞう）で作られる様子など、細胞内で起こっていることをその目で確かめることは、科学者たちのひとつの夢でした。それを可能にしたのが、緑色蛍光タンパク質（GFP）と呼ばれるタンパク分子の発見です。

この発見以前、細胞内での現象をリアルタイムで観察することは不可能に近いものでした。なぜなら、タンパク分子はわずか10ナノメートル（ナノは1/10億）と、電子顕微鏡でも見るのができないほど、非常に小さいものだからです。しかし特定したタンパク分子に蛍光タンパク質をつけることで、電球のように光り、タンパクの活動を追跡することが可能になったのです。そしてその発見の中心となったのが、米ウッズホール海洋生物学研究所・元首席研究員の下村脩でした。

1928年、陸軍軍人の子として京都府に生まれた下村は、満州などを経て長崎県諫早市で終戦を迎えました。戦争のため、ろくな勉強もできないまま旧制長崎医科大学附属薬学専門部（現長崎大学薬学部）を卒業した彼は、企業への就職を志すも「会社員に不向き」との理由で挫折。母校の実験指導員から名古屋大学へ国内留学し、そこで有機化学の平田教授と出会いました。そして、教授から与えられたテーマが「ウミホタルのルシフェリンの精製と結晶化」でした。プリンストン大学が20年以上も前から研究していた極めて難しいこの課題を、1956年、27歳の下村が解決。それが評価され、1960年、プリンストン大学のフランク・ジョンソン教授



緑色蛍光タンパク質の構造（結晶のリボン・ダイアグラム）



下村脩
（長崎大学提供）

に招かれたのです。

渡米後、ジョンソン教授に師事した彼は、ウミホタルやオワンクラゲなど発光生物の発光メカニズムを研究し、次々と解明していきました。その中でも特筆すべき成果が、1962年、オワンクラゲからのイクオリンおよび緑色蛍光タンパク質（GFP）の発見とその後の研究です。

生物発光とは化学反応の結果生まれるもの。例えばウミホタルが属するオステラコッド（貝虫亜綱の甲殻動物）では、化学物質ルシフェリンに、ルシフェラーゼという酵素の触媒作用によって酸素（ O_2 ）が加わり酸化型のルシフェリンと炭酸ガスと光が生成します＜Luciferin + O_2 ⇌ 酸化型Luciferin + CO_2 + light（光）＞。そこで下村と研究チームは、オワンクラゲがウミホタルと同じメカニズムで光るかを研究しました。そしてクラゲが発光する原因としてイクオリン（aequorin）という物質を特定し、それが Ca^{2+} （カルシウムイオン）のもとで、アポアクオリン（apoaequorin）とコレンテルアミド（coelenteramide）に分解され光と炭酸ガスを出すことを証明。さらに、緑色に発光するため同時に関わる別の分子として、緑色蛍光タンパク質（GFP）を発見しました。次いで1974年、イクオリンがカルシウムと結合することで青く光り、蛍光発光と呼ばれる過程を経て、GFPが緑に光って見えることを解明しました。この間、研究に使われたオワンクラゲは、85万匹にも上ったといえます。

これらの研究成果は、以後多くの科学者に応用され、医学と生物学に革命的な発展をもたらしました。その功績が認められ、2008年、下村脩は共同研究者2名とともにノーベル化学賞を受賞したのです。

有機合成化学に革命をもたらす

根岸英一 鈴木章

有機物を思い通りに組み合わせ、新しい価値をもった未知の物質を生みだす。それは、総ての有機化学者の永遠の夢です。そして、この「有機合成」という現代の錬金術は、次々と新たな化合物—例えば軽くて丈夫な宇宙船や飛行機のボディ、人々を病苦から救う医薬など—を生みだしてきました。では有機合成とは、どういう技術なのでしょう。

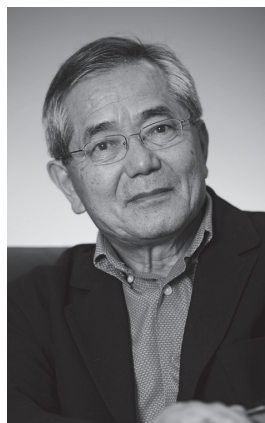
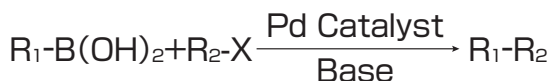
有機化合物の基本骨格は炭素。つまり、この炭素同士をつないで新たな骨格を作り、そこに酸素や窒素などを含む「官能基」（一定の性質を持ったいくつかの原子グループ）を整えれば、必要な分子が完成します。この2種類の有機物をつなぐ反応を「クロスカップリング」といいます。話としては実にシンプルなのですが、有機物中の炭素と炭素をつなげることは、実際には高温高压など非常に厳しい条件や高度な技術を要し、かつ不必要な化合物や望まない副生物ができてしまうなど、多くの難点を抱えていました。この難題をクリアしたのが「根岸カップリング」と「鈴木カップリング」です。

1935年、満州に生まれた根岸は、戦後神奈川県大和市に引き揚げ、1958年、東京大学工学部を卒業し帝人に入社します。その後、ペンシルベニア大学に留学し理学博士を取得。パデュー大学の博士研究員を経てシラキュース大学准教授時代の1977年、根岸カップリングを発表します。それは、デラウェア大のリチャード・ヘック教授が確立した、酸化反応を促す新たな触媒として、発見されたばかりのパラジウムを使った手法を発展させたものでした。根岸はパラジウム触媒に加え有機亜鉛を使うことで、より効率的に狙った物質だけを

根岸カップリング



鈴木カップリング



根岸英一



鈴木章

合成することに成功。この手法は、適用範囲が広く複雑な添加物や加熱を必要としない画期的なものとして一躍注目を浴びることとなりました。次いで1979年、北海道大の鈴木章が根岸の理論をさらに展させた「鈴木カップリング」を発表したのです。

鈴木は1930年、北海道の現・むかわ町に生まれました。早くに父を亡くし苦学しながら北海道大学大学院理学研究科を卒業。1963～65年、パデュー大学のハーバート・ブラウン教授のもとで有機ホウ素化合物の研究を行います。このときの経験を活かし発見したのが鈴木カップリングでした。その特長は、それまでの不安定で危険な有機金属化合物に替え、安定で取り扱いやすい有機ホウ素化合物を導入したことにあります。しかし安定でありすぎるため、反応を起こしにくいという点で、有機ホウ素化合物は使えない、というのが当時の常識でした。鈴木は、それまで使われることのなかった「塩基（アルカリ）」を反応系中に加えることで、スムーズにカップリング反応が起こることを発見したのです。この改良が、有機合成に革命的な進歩をもたらしました。安定していて結晶性の固体として長期間の保存が可能。過激な反応もなく、副生物も毒性のないホウ酸塩で水洗いだけで簡単に除去できるため、初心者でも簡単・安心して扱えます。

根岸と鈴木、2人の発見したカップリングは以後、産業から医学の分野まで様々に活用され、その功績により2010年、ノーベル化学賞を授与されました。しかしながら、2人とも特許を取得していません。なぜなら、それが「人類のため」だと考えたからです。

化学史年表

西暦	化学史上のできごと	世界と日本の動き
1662	ボイル(英)／ボイルの法則	
1665	ニュートン(英)／重力の法則	
1675	レムリ(仏)／最初の有機化学教科書	
1703	シュタール(独)／フロギストン説	1750 フランクリン、避雷針を発明
1754	ブラック(英)／二酸化炭素の発見	1765 ワット、蒸気機関を改良
1766	キャベンディッシュ(英)／水素の発見	1774 杉田玄白『解体新書』
1772	ラザフォード(英)／窒素の発見	1776 アメリカ独立宣言
1774	ブリーストリ(英)／酸素の発見	1776 平賀源内、エレキテルをつくる
1777	ラボアジエ(仏)／燃料理論の確立、酸素の命名	1789 フランス革命おこる
1780	ガルバーニ(伊)／電気刺激でカエルの足がけいれんするのを発見	
1787	シャルル(仏)／シャルルの法則	
1791	ルブラン(仏)／炭素ナトリウムの工業的製法の特許(ルブラン法)	
1794	ガドリン(フィンランド)／希土類元素、イットリウムの発見	
1798	テナント(英)／サラシ粉の特許	
1799	ブルースト(仏)／定比例の法則	
1800	ボルタ(伊)／電池の発明	
1802	デュボン(米)／火薬工業を創立(デュボン社の始まり)	
1803	ドルトン(英)／原子説を発表	
1807	ベルセリウス(スウェーデン)／化学物質を「有機物」と「無機物」に分ける デービー(英)／電気分解によるナトリウムおよびカリウムの分離	1807 フルトン、蒸気船をつくる
1808	ゲイ＝リュサック(仏)／気体反応の法則 ドルトン(英)／『科学哲学の新体系』出版(原子論)	
1811	アボガドロ(伊)／分子説の発表	1814 スティーブンソン、蒸気機関車を作る
1818	ベルセリウス(スウェーデン)／原子量表の発表	1823 シーボルト、来日する
1824	カルノー(仏)／熱機関の効率	
1825	ファラデー(英)／ベンゼンの発見	
1828	ウェーラー(独)／尿素の合成(最初の有機物の合成)	
1832	リービッヒ(独)とウェーラー／論文「安息香酸の基についての研究」を発表	
1837	宇田川榕菴／『舎密開宗』を著す(日本最初の化学書)	
1838	シュライデン(独)／細胞説	
1839	グッドイヤー(米)／ゴムの熱加硫法の発見	
1841	ロベルト・マイヤー(独)／エネルギー保存の法則	
1842	ルンゲ(独)／アニリンの合成	
1845	シェーンバイン(スイス)／綿火薬の発明	
1846	ソブレロ(伊)／ニトログリセリンの合成	
1851	グッドイヤー(米)／ゴムの加硫、エボナイトの発明	
1855	ベッセマー(英)／ベッセマー法(製鋼法)の発明	

西暦	化 学 史 上 の で き ご と	世界と日本の動き
1856	パーキン(英)／最初の合成染料『モーヴ』の発見	
1858	カニッツァロ(伊)／アボガドロの分子説の再発見	
1859	ブランテ(仏)／鉛蓄電池の発明 ブンゼン、キルヒホッフ(独)／分光分析の創始 ダーウィン(英)／『種の起源』を著す(進化論の発表)	
1861	ソルベー(ベルギー)／アンモニアソーダ法の発明(ソルベー法) グレアム(英)／結晶状物質とコロイド状物質を区別	
1865	ケクレ(独)／ベンゼンの構造式の決定(ベンゼン環) メンデル(オーストリア)／遺伝の法則	
1866	ノーベル(スウェーデン)／ダイナマイトの発明	
1868	グレーベ、リーベルマン(独)／アリザリンの合成	1868 明治維新
1869	独立にメンデレーエフ(露)、ロタール・マイヤー(独)／周期律の発見 ハイアット兄弟(米)／セルロイドの発明	
1877	ブエッファー(独)／浸透圧の測定	1876 ベル、電話を発明
1878	バイヤー(独)／インジゴの合成	
1882	コッホ(独)／結核菌の発見	1880 エジソン、白熱電灯を発明
1883	バイヤー(独)／インジゴの構造決定	
1884	ル＝シャトリエ(仏)／平衡移動の法則 北里柴三郎／ジフテリア菌の発見 エールリヒ(独)／血清療法の発見	
1885	パスツール(仏)／狂犬病の予防法の完成	
1886	モアッサン(仏)／フッ素の発見 独立にホール(米)、エルー(仏)／アルミニウムの工業的製法の開発	
1888	ダンロップ(米)／空気入りタイヤの発明	
1891	シャルドンネ(仏)／人造絹糸(レーヨン、最初の化学繊維)の合成	
1892	ウィルソン(カナダ)／カルシウムカーバイドの製造開始	
1894	オストワルト(独)／触媒の理論	1894～95 日清戦争
1895	レントゲン(独)／X線の発見	
1896	ベクレル(仏)／ウランの放射能の発見	1895 マルコーニ、無線電信機を発明
1897	トムソン(英)／電子の発見	
1898	キュリー夫妻(仏)／ポロニウム、ラジウムの発見	
1900	高峰譲吉／アドレナリンの抽出に成功 プランク(独)／量子論の提唱	
1901	レントゲン(独)、ノーベル生理学・医学賞を受賞	1901 第1回ノーベル賞
1902	ラザフォード、ソディー(英)／放射性元素の壊変説	
1903	ベクレル、キュリー夫妻(仏)／ノーベル物理学賞を受賞	
1904	長岡半太郎／原子の土星型モデルの発表	1904～05 日露戦争
1905	アインシュタイン(スイス、のちに米)／特殊相対性理論 バイヤー(独)、ノーベル化学賞を受賞 コッホ(独)、ノーベル生理学・医学賞を受賞	
1906	モアッサン(仏)、ノーベル化学賞を受賞	
1908	ハーバー、ボッシュ(独)／アンモニアの工業的合成法の発明 エールリヒ(独)、ノーベル生理学・医学賞を受賞	

西暦	化 学 史 上 の で き ご と	世界と日本の動き
1909	ベークランド(ベルギー、のちに米)／ベークライトの発明 高峰譲吉／タカジアスターゼの創製 池田菊苗、鈴木三郎助／『味の素』の工場生産開始	
1910	エールリヒ(独)、秦佐八郎／サルバルサン(バートの蒸留装置)の発見 鈴木梅太郎／オリザニンの抽出	
1911	オンネス(オランダ)／超伝導現象の発見 マリー・キュリー(仏)、ノーベル化学賞を受賞(2度め)	1911 アムンゼン、南極点到達
1912	真島利行／ウルシオール(ウルシの成分)の化学構造の決定	
1913	ボーア(デンマーク)／水素のスペクトルを量子論を使って説明 バートン(米)／石油の熱分解蒸留装置を完成(バートの蒸留装置)	1914~18 第一次世界大戦
1917	本多光太郎／KS 鋼の発見	1917 ロシア革命
1918	黒田チカ／シコニン(天然色素、ムラサキの成分)化学構造の決定 ハーバー(独)、ノーベル化学賞を受賞 プランク(独)、ノーベル物理学賞を受賞	
1919	ラザフォード(英)／最初の元素人工変換	
1921	アインシュタイン(スイス、のちに米)、ノーベル物理学賞を受賞	
1922	ボーア(デンマーク)、ノーベル物理学賞を受賞	
1925	ハイゼンベルグ(独)／量子力学の確立	
1927	フードリー(仏、のちに米)／触媒によるガソリンの工業的製造法	
1928	フレミング(英)／ペニシリンの発見	
1930	シュタウディンガー(独)／高分子概念の確立、粘度律の発表	
1931	ボッシュ(独)、ノーベル化学賞を受賞	
1932	チャドウィック(英)／中性子の発見 ハイゼンベルグ(独)、ノーベル物理学賞を受賞	
1933	ICI 社(英)／ポリエチレンの発見	1933 ドイツにナチス政権成立
1934	ジョリオ＝キュリー夫妻(仏)／人工放射性元素の発見 水島三一郎／回転異性体の発見	
1935	カロザース(米)／合成繊維「ナイロン66」の発明 湯川秀樹／中間子理論を発表	
1938	シュタウディンガー(独)、ドイツからアメリカへ亡命する	
1939	桜田一郎／日本初の合成繊維「合成 1 号」の発明	1939~45 第二次世界大戦
1944	ウッドワード(米)／キニーネ(マラリアの特効薬)の全合成	
1945	フレミング(英)、ノーベル生理学・医学賞を受賞	
1947	ブラッティン、パーディーン、ショックレー(米)／トランジスタの発明	
1948	朝永振一郎／くりこみ理論を発表	
1949	湯川秀樹、ノーベル物理学賞を受賞	
1950	リード(米)／逆浸透膜の発見	
1951	ポーリング、コーリー(米)／タンパク質の α -ヘリックス構造を発表	
1952	福井謙一／フロンティア軌道理論を発表	
1953	チーグラール(独)／チーグラール触媒の発見 ワトソン(英)、クリック(米)／DNA の二重らせん構造の発表 シュタウディンガー(独)、ノーベル化学賞を受賞	
1954	ナッタ(伊)／ポリプロピレンの合成	

西暦	化 学 史 上 の で き ご と	世界と日本の動き
1955	ゼネラル・エレクトリック社(米)／人工ダイヤモンドの製造 サンガー(英)／インシュリンのアミノ酸配列順序の決定 イーストマン・コダック社(米)／瞬間接着剤を初めて開発	
1958	サンガー(英)、ノーベル化学賞を受賞	
1959	進藤昭男／炭素繊維を初めて開発	
1960	デュエイ(米)ほか／アルモファス金属を初めて製造 海軍兵器研究所(米)／形状記憶合金を発見	1961 ソ連、初の人間衛星
1962	バートレット(米)／キセノン化合物の合成 ワトソン、クリック(米)、ノーベル生理学・医学賞を受賞	
1963	ナッタ(伊)、チーグラ(独)、ノーベル化学賞を受賞	1964 東海道新幹線開通
1965	ウッドワード(米)、ノーベル化学賞を受賞 朝永振一郎、ノーベル物理学賞を受賞	
1973	江崎玲於奈、ノーベル物理学賞を受賞	1969 アメリカのアポロ11号、初めて月面着陸
1974	コーエン、ボイヤー(米)／DNAの組み換え技術を開発 アライドケミカル社(米)／アモルファス合金「メトグラス」の開発 ドジャンヌ(仏)／液晶の理論を体系づける	
1975	東北大学金属材料研究所／アモルファス合金「アモメット」の開発	
1980	サンガー(英)、ノーベル化学賞を受賞(2度め)	
1981	福井謙一、ノーベル化学賞を受賞	
1986	ベドノルツ(独)、ミュラー(スイス)／高温超伝導体を発見 コーエン(米)、ノーベル生理学・医学賞を受賞	
1987	東京大学宇宙線研究所「カミオカンデ」／超新星1987A からのニュートリノを検出 ベドノルツ(独)、ミュラー(スイス)、ノーベル物理学賞を受賞 利根川進、ノーベル生理学・医学賞を受賞	
1991	ドジャンヌ(仏)、ノーベル物理学賞を受賞	
1995	クルツツェン(独)、モリナ、ローランド(米)、ノーベル化学賞を受賞	
1996	カール、スモーリー(米)、クロトー(英)、ノーベル化学賞を受賞	
2000	白川英樹、ヒーガー、マクダイアミッド(米)、ノーベル化学賞を受賞	
2001	野依良治、ノールズ、シャープレス(米)、ノーベル化学賞を受賞	
2002	田中耕一、フェン(米)、ビュートリッヒ(スイス)、ノーベル化学賞を受賞 小柴昌俊、デービス、ジャコーニ(米)、ノーベル物理学賞を受賞	
2003	アグレ、マキノン(米)、ノーベル化学賞を受賞	
2004	チカノーバー、ハーシュコ(イスラエル)、ローズ(米)、ノーベル化学賞を受賞	
2005	ショーヴァン(仏)、グラブス、シュロック(米)、ノーベル化学賞を受賞	
2006	コーンバーグ(米)、ノーベル化学賞を受賞	
2007	エルトウル(独)、ノーベル化学賞を受賞	
2008	下村脩、チャルフィー、チエン(米)、ノーベル化学賞を受賞 南部陽一郎、小林誠、益川敏英、ノーベル物理学賞を受賞	
2009	ラマクリシュナン、スタイツ(米)、ヨナス(イスラエル)、ノーベル化学賞を受賞	
2010	根岸英一、鈴木章、ヘック(米)、ノーベル化学賞を受賞	
2011	シェヒトマン(イスラエル)、ノーベル化学賞を受賞	

化学を学ぶキミたちへ

事実は強い

渡辺 正

東京大学 生産技術研究所 教授
社団法人日本化学会 副会長
化学オリンピック日本委員会実行委員長



サン＝テグジュペリの名作『星の王子さま』に、こんな場面があります。トルコの天文学者が新しい小惑星を見つけ、国際天文学会で発表した。けれど民族衣装のせい、誰ひとり信用しない。数年後、今度は背広を着てまったく同じ発表をしたら、たちまち全員が信じた……というわけで作者のひとこと：「おとなって、そういうものだ」。

私の守備範囲、化学の目で光合成のしくみを調べる分野でも、似たような話がありました。光合成とは、太陽エネルギーで水を分解するのに近い営みです。光エネルギーを電気エネルギーに変える「反応中心」は、高校『生物』にも登場するクロロフィルa分子でできている——というのが1970年代までの定説でした。

1970年代の末にロシアのクリモフ博士が「 Mg^{2+} の外れたクロロフィルa」を反応中心に見つけ、ロシアの雑誌に発表します。以後の数年はみんな白い目を向けていたのですが、彼が米国の大物と連名でほぼ同じ内容の論文を出したら、たちまち全員が信じたのです。クリモフが見つけた分子は、葉の緑色の0.5%ほどを出す微量成分でした（漬物にしたら酸の作用でクロロフィルaからどっとでき、野沢菜の濃い色をつける）。

そこで私たちは、微量成分を測る方法をくふうしました。べつに次の新発見を期待したわけではなく、成分をきちんと知れば光合成研究に少しは役立つか

なと思っただけ。その方法を使ったら、さらに少ないクロロフィルaの変種が1980年代の初めに見つかり、学会発表や論文にしたのですが、日本の研究者はなかなか信じてくれません。しかし2001年、ドイツのグループがX線で反応中心を調べ、私たちの見つけた分子がたしかに部品だとわかったとたん、ようやくみんなが信じてくれました。

誰が何を言おうとも、事実より強いものはない。そのことを、こうした経験から学びました。あれこれの行き止まりや脇道はありながら化学（科学）が着実に前進してきたのも、先人が事実をひとつずつ積み重ねてくれたおかげです。

化学の道に進む皆さんの行く手には、まだ説明できていない現象、まだ誰も知らない現象、まだ生まれていない物質や材料がいくつも待ち受けています。光を当てた水草から酸素の泡が出るおなじみの現象も、ミクロなしくみはまるでわかっていません。私たちも謎解きを始めましたが、5年やそこらで結論は出そうもないため、若い皆さんの参加を心から期待しています。もちろん光合成以外の分野でも大歓迎。

どんな分野に進もうと、ミクロの目で自然の姿をつかみ、暮らしに役立てる化学は、きっと皆さんの心をとらえるでしょう。しっかりした事実をもとに、サン＝テグジュペリの「おとな」を説き伏せる快感も味わえます。ぜひ参加してください。

「夢・化学-21」委員会は(社)日本化学会、(社)化学工学会、(社)新化学発展協会、(社)日本化学工業協会
で構成されています。



「夢・化学-21」委員会 事務局



社団法人 日本化学工業協会

〒104-0033 東京都中央区新川1-4-1

電話 03-3297-2555(広報部)

URL: <http://www.kagaku21.net/>

