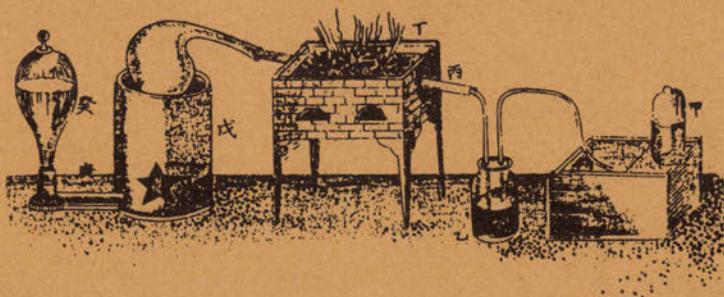


化学史研究

第19卷 第4号 1992年

(通卷第61号)

論 文	初期ボイルの化学 —ヘルモント主義の位相と種子原理—	吉本秀之 (233)
	H. Staudinger の研究とドイツ高分子化学工業の誕生 —Staudinger のゴムに関する研究と合成ゴム への道(その2)—	田中 穆 (247)
寄 書	L. クライゼンとその人名反応	竹林松二 (262)
特 集	技術史シリーズ 第3回 合成ゴムの技術とその工業	佐伯康治 (267)
解 説	工業化学会満洲支部と「満洲」における化学工業 I	田中泰夫 (282)
広 場	コップとホフマン 死後100年によせて 貝塚と化学教育 マンガと科学史	柏木 肇 (290) 日吉芳朗 (294) 誠・内野若菜 (302)
	「1992年度化学史研究発表会」傍聴記	藤井清久 (306)
紹 介	科学・技術と社会の会編『年報 科学・技術・社会』 Nicole et Jean Dhombres, <i>Naissance d'un nouveau pouvoir</i>	大野 誠 (310) 川島慶子 (312)



化 学 史 学 会

会 告

第9回化学史研究春の学校と第2回化学史・教育フォーラムの開催について

「春の学校」と「化学史・教育フォーラム」を同じ会場で連続して開催しますので、会員・非会員を問わず、ふるってご参加ください。

1. 場 所 共に東京大学先端科学技術研究センター 45号館1階会議室

(東京都目黒区駒場4-6-1)

2. 日時 内容 (日時が例年の土曜・日曜日でなく金曜・土曜日となりますので、ご注意ください)

春の学校：科学史研究の新しい動向 1993年3月26日(金) 午後2時～5時

- | | |
|--|-------------|
| 1. B.J.T. ドップズのニュートン鍊金術研究 | 吉本 秀之(東京外大) |
| 2. 18世紀イギリスのパブリック・サイエンス | 川崎 勝(電機大) |
| 3. D.M. Knight, <i>Ideas in Chemistry</i> (1992) の紹介 | 大野 誠(長崎大) |

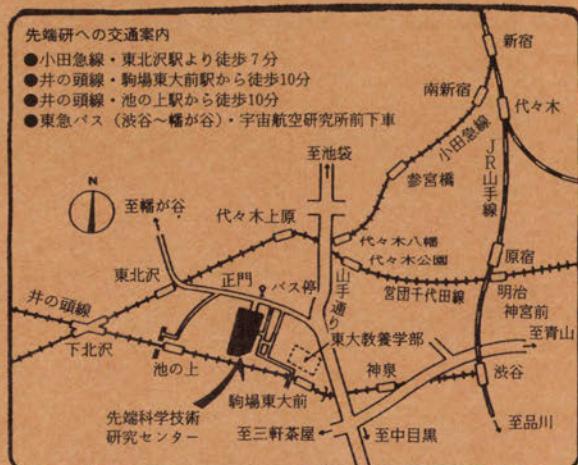
化学史・教育フォーラム：日本における理科教育の諸問題

1993年3月27日(土) 午前10時～午後1時

- | | |
|-------------------------|--------------|
| 1. 指導要領—決定経緯とそのフィロソフィー— | 林 良重(放送大) |
| 2. 日本における理科教育の歴史—その概観— | 田中 浩朗(福岡教育大) |

* フォーラムの趣旨と前回の議論を承けて、
今回は「日本における理科教育」をメイン・
テーマとし、二つの話題を提供していただきました。
一つは、現在の理科教育の基本となっている文部省の『學習指導要領』に関するものです。理科教育の現場では、その運用ばかりに関心が集まっているように思われますが、これがどのようにして決定されたか、そしてその背後にどのような考え方があるのかについては本学会ではまだ議論されたことがありません。この点をめぐって、過去の指導要領の改訂作業に参加されたことのある林氏から話を伺います。もう一つは、日本の理科教育の歴史についてです。この方面のごく少数の研究者を除けば、教育者も歴史研究者も理科教育で何がいったい問題なのかを理解していないのが現状かと思われます。本1992年度の講義(半期)でこのテーマを扱われた田中氏の話を伺います。

このフォーラムは、討論により問題に対する関心を深めることを目的としておりますので、お気軽にご参加ください。



第4回化学古典復刻研究会開催のお知らせ

* 上記の「春の学校」の前に開きますが、場所が異なりますので、ご注意下さい。

場 所：東京大学教養学部(駒場)3-8-1 第14号館 303号室(科哲セミナー室)

日 時：1993年3月26日(金) 午前10時30分～午後1時

演者と演題

1. 全国各種文庫所蔵・科学史関係資料について
2. 宇田川家文書

- | |
|----------------|
| 土井 康弘(法政大学) |
| 芝 哲夫(蛋白質研究奨励会) |

〔論文〕

初期ボイルの化学 —ヘルモント主義の位相と種子原理—

吉本秀之*

初めに

若きロバート・ボイル (Robert Boyle, 1627-92) に、ヤン・バプティスタ・ヴァン・ヘルモント (Jan Baptista van Helmont, 1577-1644) からの強い影響を指摘する先行研究は少なくない。故ヴァルター・バーゲルの後、A·G·ディーバスは既に古典としての地位を固めたその浩瀚な『化学哲学』(1977)において、「ヘルモント主義者」ロバート・ボイル¹⁾のためにわざわざ一節を割いている。またアントニオ・クレリクチオは、未出版のボイルの草稿の研究に基づくごく最近の論文において²⁾、ボイルのヘルモント受容のありようをかなり詳しく跡付けた。筆者が作成した「ボイル全集の引用索引³⁾」においても、アリストテレスを除けば、ヘルモントからの引用が群を抜いて多い事実が指摘されている。しかしながら、若きボイルのヘルモント主義が正確にはどういう位相に成り立つものであったかは、学説史においていまだ空白のままであるように思われる。この論考は、その空白を埋めることを目的とする。すなわち、初めに一般的にボイルがヘルモントをどう位置付けていたかを、ボイルの主著『懷疑的化学者』とその初期草稿をていねいに読むことによって探り、ついでとくにいかにも鍊金術的な考えであるヘルモントの「種子原理」に対してボイルはどう対応しているか、またボイルの思想構造の中での「種子原理」はいったいどう位置付けられ

るかという問題に焦点を絞って分析することで、その位相のひとつを正確に描き出すこと、これが当論文のねらいである。

テキストの具体的な分析にはいる前に、ここで、ボイルとヘルモントの関係に関して前提となる事柄を概説しておこう。

バーゲルの極めて優れた研究⁴⁾によれば、ヘルモントの思想体系は、基本的にはパラケルススの医化学の伝統の上に立つものだが、いくつかの点でパラケルスス主義を根本的に改訂している。第1に指摘すべき大きなポイントは、パラケルススの世界像の根本的ヴィジョンであったミクロコスモスとマクロコスモスの照應の考え方を、ヘルモントが自然にはなじまないただのメタフォアだとして斥けたということである。ボイルは、ヘルモントの『医学の再生』におけるその論議をほとんど一字一句そのまま繰り返している。「神が、世界のイメージに従ってではなく、神自身のイメージに従って人間を作る気持ちになったことは、人間の栄光でもありまた特権でもある⁵⁾。」またヘルモントは、占星術と結託した病状診断と予後診断を擬似科学として強く非難した。ロバート・フラッド (Robert Fludd, 1574-1637) のような神秘哲学がその根本のひとつに据えた共感-反感の一般理論にも、彼は反対している。

しかしながら、この改訂は、合理的だと普通評価されている機械論的な方向に向かうものでは全くなかった。自然の多様性と個物の特異性を根本に据える「生氣論的な複数主義 (vitalistic Pluralism)⁶⁾」の体系を彼は構築したのである。

ヘルモントの体系は短い記述で理解できるもので

1992年4月30日受理 1992年12月9日改稿受理

* 東京外国语大学
連絡先

はないが、その雰囲気の一択を感知してもらうために、バーゲルのまとめによってその図式を紹介しておこう。「神の光は、『形相』または『イメージ』の働きによって物質の中に動的原理=『アルケウス(Archeus)』を生み出す。『アルケウス』は物質から自然の内に具体的な対象を形成し、対象に特異性を付与する。アルケウスは、『オーラ(Aura)』『光輝(Splendor)』『精氣(Spiritus)』または『ガス(Gas)』として対象中に含まれる。これら全てが有機的物質を示している。『セーメン(Semen)』中のアルケウスは、神的『発酵素(fermentum)』または『芳香(Odour)』の助けを借りて、神から『生命』を受け取る。¹⁰⁾ 言うまでもなく、この生氣論的な宗教=形而上学的体系はボイルには無縁のものだった。世界像に係る思想体系の点で両者が全く別物であったことは、あらかじめ十分に抑えておかねばならない。

自然科学の方法に係る点は、ボイル自身の証言を聞いてみよう。

1671年に出版された『実験的な自然哲学の有用性に関する考察：第2部』においてボイル自身は、「単に抽象された量と形を考察するに過ぎない学問分野としての数学を用いるのは、物質を研究対象とする自然学者にとっては有用であるよりも有害だ¹¹⁾」とした現代の哲学者（ヘルモント）によってかつて大きな影響を受けたことを反省している。変転し流動することを本質とする質料（物質）に数学的確実性を求めるることはできない、したがって、「数学の方法は自然学の方法ではない¹²⁾」とする考えは、本来アリストテレスのものであったが、ヘルモントの伝統的学術への批判においては、大学を支配しているスコラ派の自然哲学こそが数学的だということで強く非難されている。ヘルモントによれば、学院派の自然研究は観察された自然現象を対象とするのではなく、現実の現象やその観察とは無関係に、自然の全ての分野に無差別に適用された抽象的な形式論理と数学的パターン

をめぐる無意味なおしゃべりに過ぎなかった¹³⁾。このヘルモントの「数学的自然学批判」は、方法論的なもので、現実の観察に基づかない形式論理と数学的推論をとくに非難するものであった。したがって、ヘルモントが批判する「数学的自然学」と、科学革命の柱のひとつとされているデカルト的な「数学的自然学」とは異なるものだが、ともかく抽象的な形式論理と数学的推論で自然を扱うことはできないとしたヘルモントの考えに、若きボイルが強い影響を受けた事実は重要である。

さらに細部の点をいくつか先に見ておこう。化学に基づく生理学に関しては、ボイルはヘルモントを受け入れている。とくに発酵素が重要な働きをなす化学的過程としての消化というヘルモントのアイディアを、ボイルはとても価値の高いものとして称揚している¹⁴⁾。

もう一点、本論にはいる前に、「初期ボイル」という筆者の位置付けに関して基本的見解を表明しておこう。ボイルの思想の発展段階を探ることがこの論文の目的ではないとはいえ、「初期ボイル」と語る以上、最低限の見通しを明らかにしておく必要があるだろうからである。まず第1に断つておかねばならないのは、ここでいう「初期」がボイルの化学の発展段階にあらかじめ勝手な区別を導入しようという意図で使われているのではまったくないということである。ここでいう「初期」は、筆者の以前のボイル研究¹⁵⁾に基づき、ボイルがその機械論的粒子論的見解を固めるまで、の謂いである。

具体的に、ボイルが機械論粒子論哲学の内実を十全に展開するには1666年出版の『形相と質の起源』を待たねばならないが、その教説の根本原理の定式化を考えれば既に1661年出版の『懷疑的化学者』の中で提示されている。また同じ1661年に出版された『かなり長期にわたって、様々な機会に記された、いくつかの自然学的エッセイ集』で、ボイルは、その時までにその時代の3人の代表的

な新哲学者、ベイコン、デカルト、ガッサンディの著作に出会っており、この3者から本質的な影響を受けたことを証言している。学説史においてなお発展段階の正確な研究が欠けている点を考慮すれば、たとえそれが作業仮説的に用いられるものだとはい、余り厳密な線引きを行うことは柔軟な研究の妨げとなろう。ここでは、前後何年かの幅を考えて1661年ころまでを、初期ボイルと見ておく。そして最も遅く見積もって、『形相と質の起源』の出版の1666年以降を十分な成熟期のボイルと見よう。くっきりと成熟期といえるのは具体的に何年からかという問題はオープンなままにしておこう。もちろん以下では、たとえば1663年に出版された『実験的な自然哲学の有用性に関する考察』の一部のように、1650年以前に書かれたことがはっきりしているものは、初期ボイルの資料として用いる¹³⁾。

前提的概説はここまでにして、次の第1節では、ボイルのテキストそのものの分析を行おう。

第1節 テキスト『懷疑的化学者』の分析

先に、科学史のごく簡単なおさらいをしよう。ボイルが科学史に名をとどめるのは、パラケルスス(Paracelsus, 1493–1541) やヘルモントなどルネサンス期の鍊金術から近代化学を離陸させた人物、すなわち近代化学の父としてであった。そして、その近代化学の祖という呼称をボイルに授けるに当たって最も大きな寄与をなしたのは、1661年に出版された『懷疑的化学者』というテキストである。我々はまず、このボイルの主著と目されるテキストを縞き、ボイル自身がヘルモントについてどういう評価を下しているか分析してみよう。

『懷疑的化学者』は、ガリレオの『天文対話』に倣って、アリストテレス派の学者テミスティウス、パラケルス派のフィロポヌスが参加している

場所で、ボイル自身を代表するカルネアデスが、良識ある聞き役エレウテリウスと対話するという形式で書かれている。その序の部分で、ボイルは、カルネアデスの役目について次のように説明している。

[カルネアデスは、自分の議論に余り厳密さを期待しないよう望んでいる。] というのは、彼はその役目上、化学においてはまさに化学派の原理(原質)に反するような見解を、それも主として化学的な論拠によって主張しなければならないからです。そして、化学派の著作に関して言えば、彼は、あの大胆で才能あるヘルモントのいくつかの章句を除けば、意図的に自分の支えとするつもりはないのです。ヘルモントについて言えば、カルネアデスは、多くの事がらにおいて意見を異にするのです(このため彼はヘルモントとは異なる考え方でさまざまな化学現象を説明するのです)し、ヘルモントの推論について言えば、ずいぶんとっぴなものがあるばかりではなく、残りのものもその実験ほどには重要ではないのです¹⁴⁾。

素直な表現になっていないので少々わかりづらいところもある言い方だが、ボイルはここで、化学派に反対する役目のカルネアデスさえ、ヘルモントだけは例外として扱う、と、はっきり述べているのである。ヘルモントの意見を全て受け入れるわけではないが、ヘルモントの実験の重要性にはずいぶん大きな敬意を払っているということである。ボイルの著作をきちんと読めば、化学的事象に関する非常に重要な箇所で、ボイルが、ヘルモントを引証していることは明らかだ。『懷疑的化学者』だけを取ってみても、化学的事象に関してボイルは、いわばヘルモントを叩き台にして自らの考えを展開するという構えを取っている。

『懷疑的化学者』の中でヘルモントの名前に我々が最も多く出会うのは、そのアルカヘストに言及

する場面である。「ボイルの近代的化学 vs ヘルモント流の鍊金術」という二元論の図式に支配された頭で、いかにも鍊金術の匂いの強い万有溶融剤アルカヘストの名を聞けば、人はあるいは、最初から否定するためにボイルはアルカヘストに触れていると予想されるかも知れない。しかし、ボイルに特有な慎重な言い方を崩していないとはいえ、ボイルは明確にアルカヘストを認めている。認めているのみならず、むしろ、ボイルはそれを前提している。『懷疑的化学者』の結論部分の冒頭で、この点に関しボイルは次のように言っている。

もしヘルモントの実験が真だとしても、その教説が前に説明した意味での元素の存在をいささかも示していない学説であるかどうか、疑ってみても決してばかげてはいません。しかし、私の議論の多くは物体を分解するアルカヘストの驚異的な力を前提しており、その力に帰される効果は比べようもなくとてつもないものなので、そうした薬剤が存在し得ないなんて信じられないとはいえ、現にあると確信するためにはほとんど自分の目で見ることが必要だと思われます¹⁵⁾。

このとおり、ボイルは、「物体を分解するアルカヘストの驚異の力を前提して」いる。引用した部分の前半の慎重な言葉づかいは、元素の存在に関する留保であって、留保はこの点だけに係る。すなわち、ここでのボイルの留保は、ヘルモントの元素説だけに係る。物体を分解する化学的な道具として、「火」以外に極めて強力な溶剤が存在することそのものは、ボイルの化学の前提であった。そういう化学的な道具の開発とその実際の使用方法のマニュアル作成の点で、ボイルはヘルモントに多くを負っていることを公言する。「センネルトゥスよりも私よりも物体の化学的分解に良く通じているヘルモント¹⁶⁾」は、いわばボイルにとって、その化学的事項に係る探究の出発点だっ

た、と、評価することができる。ここで言う化学的事項とは、化学的現象、化学的実験、化学的実体、化学的操作、等々化学の実際に係る基本的事項のこと、ボイルにとってのヘルモントは、第一に、この意味での化学的事項の基礎資料だったと位置付けられなければならない。この点は、ボイルの化学にとってとても重要なので、少々長くなるが、ボイルがその代弁者カルネアデスに語らっている次の言葉を、そのまま引用してみよう。

それゆえ、我々の化学派が彼らの誇り得る最大のスパギリストの一人だと認めないわけにはいかない、あの人〔ヘルモント〕の厳正なしかも繰り返された証言を否定するつもりでなければ、自然の中には火よりも緩やかにしかももっと真正に複合物体を分解することのできる別の薬剤が見いだされるべきだということを否定してはならないのです。そして、私自身はと言いますと、(あなたも御存じの)我々の友人ボイル氏が、何か不思議な実験について意見を求められた時によく言う言葉、すなわち、見た者は見ざる者より信じるに足る多くの理由を持つ、以外にはこの場所では述べるわけには参りませんが、そのあり得ないような実験の多く(『傷の磁気療法』という、あのとてつもない論考は常に除外します。これについて彼の友人のいくたりかは、それは最初論敵の手で出版されたと言っているぐらいです)においてさえ、私は、ヘルモントをとても誠実な著作家だと考えますので、とくに彼自身がまさに試みたことに関して彼をうそつき呼ばわりするのはやや厳し過ぎると見る者です。そして、私は、次のこの強力な論拠となる事柄をとても信頼できる目撃者から聞いていますし、また自分でも見つけています。すなわち、還流塩やまたは溶媒(といったもの)が、鉱物あれ、動物あれ、植物あれ、複合物体から抽出されると、注

意深い自然学者でも容易には信じられないほど複合物体を遊離状態のままにしておく（leave them more unlockt）ことがあるのです¹⁷⁾。

ヘルモントの書物がボイルにとって化学的探究の出発点だったことは、こうしてボイルの最も良く知られている著書をていねいに読んでみるだけでわかることだった。

化学の実際に関してはヘルモントをいわば下敷きにして、ボイルがその化学研究を進めていることは以上でも主張したし、またこの点に関して筆者は別の論考においても取り上げる予定にしている¹⁸⁾。したがって、次には、前の引用でボイルが留保をつけた元素理論を調べてみよう。

『懷疑的化学者』には短い初期草稿が存在する。それを出版したマリー・ボアズによれば、この『ふつう混合物体が四つのペリパトス派の元素または三つの化学派の原質からなることを立証すると言われる実験に関する考察』（以下簡単のために『考察』と略そう）は1655年以前に書かれた¹⁹⁾。これは、対話体ではなく普通の論文形式で書かれていて、しかもとても短い草稿であるので、『懷疑的化学者』よりもずっとボイルの議論の筋道と組立が見やすいものとなっている。さらに、この草稿が重要なのは、デカルトからの影響が全く見られないという点だけではなく、『懷疑的化学者』よりもずっとストレートにヘルモントの議論によっており、ヘルモントの死後その息子の手でまとめて出版された彼の主著『医学の再生（オルトゥス・メディキナエ）』（1648年）からほとんど一字一句取った議論を展開している箇所さえ存在するからである。

初めに、『考察』の構成を見よう。『考察』は三つの部分に分けられる。第一の部分では「アリストテレス派の四元素説」、第二の部分では「化学派〔特にパラケルス派〕の三原質説」、そして、最後第三の部分で「ヘルモントの水一元素説」が批判検討されている。ヘルモントの元素理論がわ

ざわざ最後に特別に扱われているというこの構成を見るだけで、ヘルモントの化学がボイルにとって特別重要な地位を占めることは明らかだが、実は、パラケルス派の三原質理論を、三原質は混合物体の一次的構成要素への分解の結果ではなく、その変成の結果だとして斥ける議論が、ヘルモントの『医学の再生』からほとんどそのまま取られているのである。そして、その議論はふくらまされてはいるが、『懷疑的化学者』の中にもそのまま残っている²⁰⁾。

ヘルモントを扱う『考察』の結論部分は、非常に興味深く、しかも、ボイルとヘルモントの関係を探る上で決定的に重要な論点を含むので、そのまま引用してみよう。

しかし、今や、私がヘルモントの見解について一言すべきだと、ご期待の向きもございましょう。この大胆で鋭い術者の主張では、全ての混合物体はひとつの元素に由来するものであり、植物も、動物も、マーカサイトも、石も、金属も物質（質料）的には単純な水なのです。それが、その種子の形成的な効能によって、これら様々な形相に変装したものだと言うのです。水が原初の普遍的な物質だということは、別の者によっても信じられています。そして、『創世記』の第1章では、水が私の見るところ、この宇宙を作り上げる全てのもの質料因（物質的原因）だと指摘されています。……このパラドックスはヘルモントよりもある意味でずっと古いのですが、彼はこれを彼自身の論点で支持しようと努力しています。その中で重要なのは、次の3点だと思われます。

- 1：混合物体が最終的に味のない水に還元されること
- 2：元素とされるものが変化すること
- 3：純粋な水から完全な混合物体が作られること²¹⁾ （数字は筆者の付加）

つまり、ヘルモントによれば、質料因としての水と作用因としての種子原理というたった二つのものから、世界の全ての物体が生じるというわけである。もっと簡単に言えば、水と種子から全てが生じる、ということになる。『考察』におけるボイルは、このヘルモントの考えにかなり好意的である。そこでボイルが留保を付したのは、『医学の再生』の中でヘルモントが鉱物や金属が水から作られることを証明する実験を示していないということ、並びに、アルカヘストによって生じる水が単純実体だということを証明する論拠がそれが透明だということ以外には挙げられていない、という実験的な証拠に係る部分だけだった。『懷疑的化学者』では、ボイルはもっと懷疑的で、ヘルモントの水理論を反証しようとしている。

こういうわけで、ボイルはなるほど、後の『懷疑的化学者』ではかなり批判的な立場に移行しているとはいえ、初期の草稿では一字一句引き写すことがあるぐらいいヘルモントに好意的だったのである。そして、ヘルモント主義をパラケルス派の神秘的な化学哲学からの根本的変革だと見て、この変革の相当部分を受け入れていたのである。

さて、ここで、ボイルを機械論という枠の中にきりつめて、平然と「正しい機械論 vs 誤謬の生氣論」という価値判断を含む二元論図式に落ち着いていられる人からすれば、全く予想外の事態が生じる。ボイルは、この草稿でいかにも生氣論的でスピリチュアリズムの色合いの深い「種子原理」に関して、何の留保も付していないのである。有名な柳の木の水栽培の実験を引き合いに出しつつ、ボイルは、ヘルモントの議論に沿って、植物や動物のみならず、鉱物や金属までが、こうした種子原理の形成力から生じると考えている。『懷疑的化学者』ではこの点もっと慎重になっているが、種子原理を全く否定してしまったわけではない。決定的な箇所なので、その部分をていねいに分析してみよう。

[私カルネアデスは、エピクロスの原理を信奉しているわけでもなく、いわんやアリストテレス派や化学派とも意見を異にします。] そして、ヘルモントとも以下の点において意見を異にします。つまり、ヘルモントはほとんど全ての事物に、そして病気にさえ、それ自身の種 (their determinate seeds) を帰しています。しかし、私はと言えば、その意見は、次のとおりなのです。植物や動物（やたぶん金属や鉱物も）の物体の特異な組み立てはなるほど種子の原理の結果だと私とて考えますが、これらの他にも自然界にはそれ自身の固有名詞を持つ物体や、固有名詞を持つに値する物体が多くあって、そうしたものはそれらを作る物質の構造から生じるに過ぎない。すなわち、特別な種子によってではなく、熱や冷や人工的な混合や複合やその他自然自身が自分のやり方で採用したり、また時には人がその意図したとおりに物質を形作るためその能力と技能を奪って利用したりする別の原因によって生じるに過ぎない、と考えるのです²²⁾。

いかにもボイルらしい持って回ったわかりづらい構文だが、簡単にまとめればこういうことだ。物体の類別の根拠をヘルモントは全く実体的に捉え、それを全て種子のせいにするが、ボイルはと言えば、彼とて植物や動物の場合は文句なくその種子（植物のタネならびに動物の雄のタネと雌のタネ）がその種を決める決定因子だということは認める。「たぶん」という弱い留保が付くが、鉱物や金属の場合にも、植物や動物のタネに当たる種子の原理が働いてその鉱物種や金属種を決める可能性を否定しない。しかし、その他の多くの物体の類別の根拠は、機械的な物質構造に過ぎないので、とボイルは主張しているのである。生命体（動物や植物）の場合には、そのタネ（種子原理）がそのものがどういう種になるかを決めるという

のなら、誰も異存はなかろう。しかし、ヘルモントは万物の種別性・類別性の根拠に、いわば生命的な（植物のタネのような）種子が存在すると考えたのである。中世哲学の論争の言葉を使えば、これは全く完璧な実在論である。しかも、万物は種別化されるものとしてある限りある意味で生きていると考える点で、これは生氣論的な種の実在論である。この完璧な種の実在論に対して、機械論者のボイルは、反対する。生きていらない物体の場合、種別性の根拠はタネのようなものではなく、唯の機械的な物質構造に過ぎない。

我々とは全く異なるパラダイムに属するが、種別化されて現れる万物がある意味で生きていて、全ての種別性の背後にはそれを決定しているタネ（種子的原理）が存在しているというこのヘルモントの考えは、それ自身一貫している。

我々にとってのポイントは、ボイルが、（ ）の中に「たぶん」という推測句を付けて、金属と鉱物を、植物や動物と同等に扱って良いとしているところだ。金属や鉱物に種子的原理の働きを認めているように見える点だ。

何人かの論者は「種子的原理」やこれに類似の用語をボイルが使用しているという事実を指摘して、このことからボイルを鍊金術師だと規定した²³⁾。別の論者はこういう点をほとんど無視して、公的な機械論をボイルが喧伝している部分だけからボイルを鍊金術や神秘主義からはすっかり離脱した機械論者だと主張する²⁴⁾。私はこの点に関しては、もっと広い見通しに立つしかも細部において繊細で動きのある探究が必要だと考える。

次節に移る前に、ここで、本節の議論をまとめおこう。良く知られているボイルのテキストをいさか丹念に読むことで、筆者は、ボイルにとってヘルモントの書物が化学的探究の出発点だったと位置づけられなければならないことを見いだした。そしてその先、議論の分かれ目となるクリティカルなポイントが、金属や鉱物に関してボイルが

「種子原理」の働きを認めているように見える点だ、ということを確認した。

したがって、次節では、この問題を主題として取り上げ、この点の分析に焦点を合わせることとしよう。

第2節 金属の生成と種子原理の検討

初めにクレリクチオの手で印刷された初期ボイルの草稿のうち、最も深く鍊金術的思考を示しているものを掲げよう。第1のものは、「石化精 (lapidific spirit)」と題された草稿である。練達の士の作業は、「金属の中にさえ、効力においてはもちろんその量においても自らを倍加することのできる強力な発酵素が存在するかも知れない²⁵⁾」ということを示している、とボイルはそこで言っている。この草稿の文章は、まさに鍊金術の核心となる考え方を示している。「量と效能における倍加」は、「哲学者の石」の变成の働きの中心的な様相を指す言葉であって、この考えをボイルが最後まで保持し続けたのであれば、彼はまがいもなき正真正銘の鍊金術師だったと判定されなければならない。

草稿の第2は、「鉱物の生成に関する考察と観察」と題されるもので、ボイルはここで、鉱物の生成の原因に4つの可能性を考えている。その原因の第1は、宇宙の創造の最初に土と同時に作られたという可能性だが、これをボイルは重視していない。可能的原因の第2は、適合的粒子の偶然の結びつきだが、偶然を宇宙の何らかの秩序・構造の原因とする原子論の考えを、彼は神学的な理由で端から退けている。第3の可能的原因は、「種子原理あるいは原基 (Seminall Principles, or Rudiments)、またはそうしたもののが働きをなすことのできる何かを生みだすような部分の配列」であって、「これらの種子原理は、個体そのものに宿るか、あるいは多くの場合もっとありそうなことだが、妊娠した多産の子宮 (pregnant and

prolific wombs) の中に宿る²⁶⁾」のである。この文章は、鍊金術師の金属生成に関する通説を示している。金属と鉱物が地球内部という子宮の中で、まるで植物のタネが地中で発芽し成長するようにそのタネから発生し成長するとする考えは、鉱山関係の技術者集団や金属の精錬・抽出・加工に係る術師たちに共通する考え方であって、グラウバー (Johann Rudolf Glauber, 1604–1670) やベッヒャー (Johann Joachim Becher, 1635–1682) など17世紀の鍊金術師によってとくに発展させられた思考形態であった。この思考が多くの文化圏で古代から共通して見られるものであることは、世界的な宗教史学者ミルチャ・エリアーデが『鍊金術師』²⁷⁾で見事に示したとおりである。ここではともかく一度ボイルが、非常に濃厚な生殖のイメージで鉱物の成長を扱っており、種子を個体に関係づけるヘルモント思想の基本的論点に触れているということだけを確認しておきたい。第4の可能的原因は、初めは液体状であったものを固める地下の熱と溶媒の働きである。

さて、以上の草稿が示すのは、成熟したボイルが公式にどういう態度をとっているよりも、初期の若きボイルが鍊金術的な思考の真っ只中で作業したこともあるという事実である。この草稿が結局出版されず、ただの勉強ノートであったとしてさえ、この点は確認できる事がらだ。

我々は、以下、出版されたものにおけるこうした鍊金術的思考の連続と非連続を見てみよう。

1661年に出版された『自然科学的試論集』の「固体と流性」の部分で、ボイルは、上の草稿の第1で扱われた「石化精」の問題に触れている。物体の硬化とくに石化に関して、現代の化学者や哲学者のいくたりかは、その原因がある秘密の内的原理に帰しており、ある者はこれを形相と呼び、別の者はこれを「大部分は液体状の容器の中に潜む石化精」と呼んでいる。この学説史的観察を記した上で、ボイルは、自分自身土の中から規則正し

い形をした石や鉱物を掘り出したこともあるし、また友人が掘り出したのを見たこともあるって、「最も賢明なる創造者がある物質部分に植えつけた形成原理が緊密な構成ときました形をそうした具体物の内に生み出すということなら、私は、かなりそれを認めてよい気持ちでいる。それゆえ、こうした結果が、たいてい通常は、内部原理に依拠していることを否定しあしない。しかし、困難は、この内部原理がどのようにしてその結果を生み出すかを知ることにある。²⁸⁾」と述べている。そして下の部分でこの内的原理を、見た者を石に変えるというメドゥーサの神話に寄せて、「ゴルゴン的精氣」とかあるいは「形成的能」だとか「種子原理」だとか呼び変えている。草稿より慎重な言い回しになっているとはいえ、「種子原理」の働きを基本的には容認している。

以上、議論のポイントは鉱物の結晶形に、何か特別な力の働きを想定している点である。その点に関しては、1663年に出版された『実験哲学の有用性』の方に詳しい言明があるので、次にはそちらを見てみよう。

「硝石や水晶やその他多くの鉱物の形が偶然によって生み出されるのではなく、何か種子的原理に類縁のものによって生み出されること」、と欄外にまとめられている部分で、ボイルは、次のように言っている。

しかし、初めに、硝石や水晶やその他いくつかのものに見られるように、多くの鉱物においてさえ、その高く評価されている形は、疑いもなく、偶然の所産ではなく、その同一の種の塊に見られる一様な規則性など……からわかるように、おそらく種子原理に類縁のものの所産である²⁹⁾。

次いで、時間をおけば同じ場所から再び硝石を取り出すことができるという硝石生産に当たっている鉱夫の話を引いて、ボイルは、硝石は「土中に植えつけられた硝石の種子原理によって」生み

出されるのだと結論づけている。

さらに、ボイルは、この結論を立証する証拠として当時の様々な自然誌的著作から引用を重ねる。まず「鉱物はその全てが世界の最初に作られたのではなく、ふさわしい物質に出会った時その本性を増殖させる力を持つ」点を証明するものとして、Jo. コンラドゥス・ゲルハルドゥスの『自然科学－化学的諸問題』という小冊子を挙げる。

しかし、こうした著者の叙述を疑われることがないように、さらにリンスホーテンとオルタからダイアモンドについての記述を抜き出してお見せしよう。……植物の場合と同じく、これら宝石の種子原理は、それらが成長する鉱山の土中に潜んでいるのだ……³⁰⁾。とすれば、動物の身体に見られる精緻な組立については言うまでもないだろう。動物体の精緻な構造は、偶然の所産などではなく、大いなる知性の結果である。

以上の章句におけるボイルの議論の進め方は、とても重要なポイントをいくつか含んでいる。第1に指摘すべきは、水晶など鉱物のそれぞれの種に応じて決まった結晶形態にボイルを含む当時の人々は「驚異の感覚」を抱いていて、そういう「驚異」の結晶形（「その高く評価されている形」）は偶然の所産（原子の偶然の離合集散）であるはずではなく、そこにはそれぞれの種に特異的な・何か特別な力が働いていなければならない、と、直ちに、自然神学的な文脈で思考してしまうということである。自然に見られる秩序や構造は、知性を持たない死んだ物質の所産であることはできず、何かそれより高次の知的存在（もちろん最終的には神）の働きが関与していなければならぬ、というのが、そうした自然神学的思考の要であった。しかも、その秩序や組立の見事さや精緻さは、そのまま、神の創造のみ技の見事さと精緻さであって、ボイルが宇宙に何か見事な秩序や精緻な組立を見つけた場合には、それは直ちに、神の力と知

恵の発現形態として神の力と知恵のより高い賞賛につながる、という自然神学的文脈で語られるのである。

この点は、ボイルが、鉱物の生成を扱う論脈の他に、「種子原理」という用語を使うもうひとつ論脈においても明らかである。それは、世界の初めにおける生命体の生成を扱う論脈であって、ボイルによれば、神は世界の初めの時に無から物質を作り、その運動法則を立てたのみならず、個々の物質粒子を導いて世界秩序を作りあげたが、それだけではなく、普遍物質のある部分をもっと特別に組み立てて「適当な受容体（あるいはいわば子宮）の中に宿る種子的原器または原理 (seminal rudiments or principles lodged in convenient receptacles, (and, as it were, wombs))³¹⁾」と「植物と動物の体」を作り上げたのであった。しかもこの生命体と種子原理の創造を語る論脈は、同時に、死んだ知性も感覚も持たない物質だけからは、現在見られるような宇宙の秩序も生命の見事な構造体も生み出されることはあり得ないと、原子論的な唯物論に反対する文脈を前提としているのである。

第2のポイントは、こういう場面で、ボイルがその主張の裏付けとして、様々な自然誌の著作から多様な引用を重ねているというまさにその事実である。ボイルはここで、こういうテーマを扱う自然誌の著作の記述法にただただ従っている。そして、鉱物が地中で植物のようにその種子の力で成長するというのは、当時は全く一般的な考え方だった。鉱物の生成に関する17世紀の最も重要な理論的ソースはエチエンヌ・ドゥ・クラープの『石と鉱物に関する哲学的論考、あるいはパラドックス』（パリ、1635）であったが、ガッサンディのような原子論者でさえ何のためらいもなくドゥ・クラープの議論を採用しており、種子的原理として働く特別な分子を前提として鉱物の生成を語っている³²⁾。ミカエル・センディヴィオギウス、アン

セルムス・デ・ポート, エドワード・ジョーダン, ケルケタヌス等, 錬金術師達の見解も, この点では共通していた³³⁾.

さて我々はここで、「種子原理」の概念が分子の概念と出会っているのを見る。「種子原理」が原子論の体系の中でどういう位置を占めるようになったか,あるいは,粒子論・機械論の枠組の中でどういう位置を占めたかについては,扱われるテーマの広さからいって別の論考が必要とされる。当論考では,これまでの議論に基づいて,次の点をまとめることで結論としたい。

第1点. ポイルの思想とヘルモントの思想を体系的に比較することを考えれば, ポイルの機械論的体系は,「ヘルメス的」という語と等置される意味での「錬金術的」な体系ではなかった。この点について,見紛うことはあり得ない。ポイルは,ヘルメス主義のターミノロジーをその機械論的説明体系の中に採用していない。機械論の観点からすれば,生命の比喩(ヘルモント自身の生気論的立場からすれば,我々に現れるほとんど全てのものがある意味で生きていたのであって,したがって,これを「比喩」と語る時,我々は既に機械論的な立場に立っていることを十分踏まえた上でのことだが)に満ち満ちたヘルモントの生気論的な用語法をポイルは自身の体系構築要素とはしていない。

第2点. 筆者は,以前の論考で, ポイルにおける科学と宗教の関係を,自然神学的論証法と純粹の自然科学的論証法の分化の構造の上に成り立つものだ,と主張した³⁴⁾。そして, ポイルの純粹の自然科学的論証法は,生命現象と理性魂に係る事項はその対象外として,機械的説明原理しか認めないものであることを明らかにした。しかしながら,この分化の構造には,いわば境界領域が存在する。生命と秩序を示すように思われた現象が,その境界事例である。生命現象は初めから機械論的な自然科学の論証対象からはずれていたのだから,問題

ないように思われるかも知れないが,自然現象のうち,どこまでが生命現象で,どこからが非生命現象かという,生命と非生命の線引きに関して当時,基本的合意が存在しなかったのである。一方で,デカルトのように思考の働きを本質とする精神現象以外は全て機械として扱えるとする立場があったし,他方,逆に,ヘルモントのように個体として存在するもの種別化されて存在するもの全てをある意味で生きていると考える立場も存在したのである。とくに,神,天使から始まって,人間界,動物界,植物界,鉱物界へと下っていく存在の大連鎖において,連続律を強く取れば,鉱物も必然的にある意味で生きていると考えざるを得ない。こうして,鉱物と金属は,それを大地の母体中で発芽し成長するとみなす錬金術の思考法においても,鉱山関係者の民間信仰においてもある意味で生命を持つものであって,しかも,種ごとに独特な結晶形(秩序)を示すものであってみれば,厳密な機械論の範囲外の扱いを受けていたとして,それほど不思議なことではなかったのである³⁵⁾。

こういう文脈の中で,ポイルは,地中における鉱物現象について「種子原理」を受け入れていた。時にそれを「種子的構造³⁶⁾」と機械論的な用語に言い換えたり,「種子的機能や性質³⁷⁾」をもつ特別な粒子として粒子論の中に鋳直することは試みているとはいって、「種子原理」の概念を受け入れていたことに変わりはない³⁸⁾。

成熟したポイルの思想はなるほど機械論・粒子論のものであって,成熟した思想をつかんだ後のポイルが機械論のプロパガンダに力を注いだことは事実だが,化学的事項に関してはヘルモント主義者として出発したポイルは,人体内部の化学過程の解釈と地中の鉱物の化学的生成現象の解釈の点ではヘルモント主義者だったと,以上のような文脈においては理解することができるのである。

後記 なお,この論文は平成3年度科学研究費(奨励A)の補助を受けて遂行されたもの

である。また、この論文の完成にあたっては、匿名のレフェリー並びに当誌の鎌谷編集長から、誤謬の指摘と数多くの貴重な示唆を頂戴した。ここに記して、感謝の意を表したい。

注と文献

- 1) A. G. Debus, *The Chemical Philosophy* (New York, 1977), pp. 473-484.
- 2) Antonio Clericuzio, "Robert Boyle and the English Helmontians", in Z. R. W. M. von Martels (ed.), *Alchemy Revisited* (Leiden, 1990), pp. 192-99 ; A. Clericuzio, "A Re-definition of Robert Boyle's Chemistry and Corpuscular Philosophy", *Ann. Sci.* 47 (1990), pp. 561-587. 筆者の当論考は「種子原理」に関する資料の点でここに挙げたクレリクチオの2点の論文に多くを負っている。
ヘルモントとその発酵素との兼ね合いで、「種子原理」がボイルの化学過程観にとって重要なことは、ウォルトンが指摘している。Michael T. Walton, "Boyle and Newton on the Transmutation of Water and Air, from the Root of Helmont's Tree", *Ambix*, 27 (1980) : 11-18, p. 17. 「種子原理」に関する言及については他に, Debus, *op. cit.*, p. 477; Charles Webster, *The Great Instauration* (New York, 1975), p. 380.
- 3) 『本誌』17 (1990), pp. 129-141.
- 4) Walter Pagel, "The Religious and Philosophical Aspects of van Helmont's Science and Medicine", *Supplements to Bull. Hist. Med.*, No. 2 (1944).
- 5) Thomas Birch (ed.), *The Works of the Honourable Robert Boyle*, second edition (London, 1772), II, p. 54. (以下, RBW と略記) J. B. van Helmont, *Ortus Medicinae* (Amsterdam, 1648), 241. A. Clericuzio, "Robert Boyle", p. 194.
- 6) これは、バーゲルの用語である。Pagel, *op. cit.*, p. 8.
- 7) *Ibid.*, p. 20.
- 8) RBW, III, p. 426.
- 9) アリストテレス『形而上学』上(出隆訳, 岩波文庫, 1959), p. 78.
- 10) Pagel, *op. cit.*, pp. 1-3.
- 11) Clericuzio, "Robert Boyle", pp. 193-4.
- 12) 拙稿「ロバート・ボイル、人と仕事」『科学の名著 第2期 8 ボイル』(朝日出版社, 1989), pp. cv-cxxvii.
- 13) 機械論・粒子論的思考法が鍊金術的思想体系や鍊金術の操作法に触れた時、どういう緊張・対立・浸透が生じたかという問題は、ずいぶん繊細で動的な扱いが要求される。ボイルの化学の発展段階の正確な研究と共に、この問題は将来の課題したい。
- 14) RBW, I, p. 461; Robert Boyle, *Sceptical Chymist* (London, 1661; Repr: London, 1964), A4-5. (以下, SC と略記) ボイル『懷疑的化学者』大沼正則訳『世界大思想全集』(河出書房新社, 1963), p. 8. (以後、この邦訳版は大沼訳として引用)。なお、既存の邦訳は参考にさせて頂いたが、本文中のものは全て拙訳である。
- 15) RBW, I, p. 584; 大沼訳『懷疑的化学者』p. 17 5; SC, pp. 427-8.
- 16) RBW, I, p. 513; 大沼訳『懷疑的化学者』p. 79; SC, p. 178.
- 17) RBW, I, p. 486; 大沼訳『懷疑的化学者』p. 41; SC, pp. 78-79. 引用文中の "unlockt" は OED の 4. c. の意 (To free from being fixed or immovable) だと解して、こう訳した。
- 18) 「若きボイルの化学研究とイギリス革命におけるヘルモント主義」『科学・技術のインフラストラクチャー』(平凡社, 1993年出版予定, 仮題) 所収。そこでは、当論文が扱わなかった社会史的側面をも扱っている。特に若きボイルの活動範囲の中に現れるヘルモント主義者の社会的活動には重点を置いて記述している。この点については、P. M. Rattansi, "The Helmontian-Galenist Controversy in Restoration England" *Ambix*, 12 (1964), pp. 1-23; P. M. Rattansi, "Paracelsus and Puritan Revolution", *Ambix*, 11 (1963), pp. 24-32; R. S. Wilkinson, "The Hartlib Papers and Seventeenth-Century Chemistry Part II", *Ambix*, 17 (1970), pp. 85-110; R. S. Wilkinson, "George Starkey, Physician and Alchemist", *Ambix*, 11 (1963), pp. 121-152; A. G. Debus, "Thomas Sherley's Philosophical Essay (1672)", *Ambix*,

- 27 (1980), pp. 124-135を見られたし。
- 19) Marie Boas, "An Early Version of Boyle's Sceptical Chymist", *ISIS*, 45 (1954), pp. 153-168. なお、チャールズ・ウェブスターはこの草稿の執筆年代を1658年だと考えている。Charles Webster, "Water as the Ultimate Principle of Nature: The Background to Boyle's Sceptical Chymist", *Ambix*, 13 (1966): 96-107, pp. 105-6.
- 20) Clericuzio, "Robert Boyle", p. 195.
- 21) Boas, *op. cit.*, pp. 164-5. この議論は、大沼訳『懷疑的化学者』pp. 54-55; SC, pp. 115-6; *RBW*, I, pp. 496-7 ではそのまま繰り返されている。
- 22) *RBW*, I, pp. 571; 大沼訳『懷疑的化学者』pp. 157-8; SC, pp. 300-1.
- 23) クレリクチオの他、L. T. More 等。L. T. More, "Boyle as Alchemist" *J. H. L.*, 2 (1941), 61-76. 他に、ボイルを鍊金術・魔術・神秘説と結びつけた研究としては、以下のものが挙げられる。Lynn Thorndike, *History of Magic and Experimental Science*, vol. 8 (New York, 1958), pp. 170-201. Muriel West, "Notes on the Importance of Alchemy to the Writings of Francis Bacon and Robert Boyle", *Ambix*, 9 (1961), pp. 102-114. Michael Hunter, "Alchemy, Magic and Moralism in the Thought of Robert Boyle", *BJHS*, 23 (1990), pp. 387-410. L. M. Principe, "Robert Boyle's Alchemical Secrecy: Codes, Ciphers and Concealments", *Ambix*, 39 (1992), pp. 63-74. L. M. Principe, "The Gold Process: Directions in the Study of Robert Boyle's Alchemy", in Z. R. W. M. von Martels (ed.), *Alchemy Revisited* (Leiden, 1990), pp. 200-205.
- なお、ここに掲げたハンターの研究は、当論文とは別の観点から、ボイルの鍊金術・魔術・霊との交流に対する関心が真正のものであることを十分な資料的説得力をもって示した重要なものである。また、1992年度の『アンビクス誌』に掲載されたプリンチーベの論文は、ボイルが、その著作や草稿の様々な箇所で鍊金術の論考に特徴的な暗号法を用いていることを十分な資料で実証したもので、ボイル研究に新しい視角を切り開くものとなっている。以上、注2)で掲げたクレリクチオの論文を含め、ハンター、プリンチーベ等、ここ数年間のきちんとしたボイル研究は、前向き("future-oriented")の問題関心だけによって歴史のボイルを過剰に近代的に描く("over-modernize")ことなく、後ろ向き("past-oriented")のアプローチをも正当に勘案して、バランスの取れた正面向きのボイル像を描こうと努めている。そうした研究がそろって、ボイルの鍊金術を正当に位置付けようと試みていることは、無視することのできない重要性を持つ。もう十年以上も前にクリスティーとゴリンスキ (J. R. R. Christie and J. V. Golinski, "The Spreading of the Word: New Directions in the Historiography of Chemistry 1600-1800", *Hist. Sci.*, 20 (1982), pp. 235-266) が「化学の歴史記述法の新方向」と名付けた研究動向が、定着し、いろんな方向に展開している様子を、我々は最近のボイル研究に見ることができるのである。
- 24) この点最も強硬なのは、ホール夫妻である。Marie Boas, *Robert Boyle and Seventeenth-Century Chemistry* (Cambridge, 1958), p. 67; Marie Boas, "Newton's Chemical Papers", in I. B. Cohen (ed.), *Isaac Newton's Papers and Letters on Natural Philosophy and related documents* (Cambridge, Mass., 1978), pp. 241-8. Marie Boas and A. Rupert Hall, "Newton's Chemical Experiments" *Arch. Int. Hist. Sci.*, 11 (1958): 113-152, pp. 113-115, 152. 最後のホール夫妻の共著論文では、「彼〔ニュートン〕はどういう実験をなすべきかの手がかりを求めて鍊金術師を読んだかも知れない、しかし、彼自身の解釈は、合理的機械論哲学のものであって、鍊金術師のものではなかった」(p. 119)とか、「それは、鍊金術師ではなく科学者のみがなし得る発見であって、鍊金術的化学者ではなく、科学的化学者としてのニュートンの地位の議論だけに係る事実である」(p. 152)という言葉で、ニュートンの化学研究が評価されている。この評価に見られるのは、歴史研究の前に、価値判断を含む基準として、「合理的・科学的化学 vs 非科学的・神秘的鍊金術」の二元論図式が前提されているという事態である。ボイルに関して言えば、こうしたニュートンの態

度は、「科学から全ての神秘主義を追い払ったロバート・ボイル」の機械論的な自然哲学の影響だと語ることで、ホール夫妻は、ボイルとニュートンをほとんど全く同列に機械論者の陣列にいれている。こういう断定の仕方に見られる二人の「化学的」「粒子論的」「機械論的」という用語の使用法は、「粒子論的」であればあるいは「機械論的」であれば、すなわちそれは「合理的な科学」だ、という無意識の判断の仕方を示している。この無意識の判断の仕方が、彼らの古いタイプの、「実証主義」のイデオロギーを指し示している。夫妻のこうした歴史記述に欠けているのは、そうした価値評価的なカテゴリーそのものの歴史的形成の可能性に対する感受性である。

ホール夫妻に代表される歴史記述の不十分さについては、ゴリンスキの優れた議論を参照されたりし。Jan Golinski, "The secret life of an alchemist", in F. Fauvel et al. (eds.), *Let Newton Be!* (Oxford, 1988), pp. 147-167. なお、Jan Golinski, "Robert Boyle: Scepticism and authority in seventeenth-century chemical discourse", in Andrew E. Benjamin et al. (eds.), *The figural and the literal* (Manchester, 1987), pp. 58-82 も見られたし。

- 25) Clericuzio, "Redefinition", p. 584. Royal Society Boyle Papers, xxvii, fol. 301.
- 26) *Ibid.*, p. 585. Royal Society Boyle Papers, xxiv, fols. 1-17.
- 27) ミルチャ・エリアーデ『鍛冶師と鍊金術師』(大室幹雄訳, せりか書房, 1981).
- 28) *RBW*, I, p. 434.
- 29) *RBW*, II, p. 44.
- 30) *Ibid.*
- 31) *RBW*, III, p. 48. See also *RBW*, V, p. 179. Cf. J. J. MacIntosh, "Robert Boyle on Epicurean atheism and atomism", in Margaret J. Osler (ed.), *Atoms, Pneuma, and Tranquility* (Cambridge, 1991), pp.

197-219.

- 32) Olivier René Bloch, *La Philosophie de Gas-sendi* (La Haye, 1971), pp. 260-1.
- 33) Clericuzio, "Redefinition", p. 584. ボイルは, *RBW*, I, pp. 790-4, II, 156-9 で Anselm de Boodt, *Gemmarum et lapidum historia* (Hanau, 1609) を; *RBW*, II, pp. 587-8 で Etienne De Claves, *Paradoxes, ou Traittes philosophiques des pierre et pierreries* (Paris, 1635) を; *RBW*, II, p. 44, III, 81-4 で Johann Gerhard, *Decas Quaestionum physico-chymicarum* (Tübingen, 1643) を; *RBW*, I, pp. 514, 552 で Anton Günther Billich, *Thessalus in chymicis redivivus* (Frankfurt am Main, 1643) に引用されたケルケタヌスを引用している。拙稿「ボイル全集の引用索引」『本誌』17 (1990), pp. 129-141を参照。
- 34) 拙稿「ボイルにおける科学と宗教の関係 (II)」『科学史研究』第II期第24巻 (1985), pp. 10-17.
- 35) ニュートンは、機械的过程を扱う通常の化学と、動植物だけではなく金属にも生じる成長と生命の過程を扱う生命的化学 (vegetable chemistry) を階層分化的に区分している。B. J. T. Dobbs, "Conceptual problems in Newton's Early Chemistry", in Margaret J. Osler and Paul L. Farber (eds.), *Religion, Science and Worldview* (Cambridge, 1985), pp. 3-32. そして、生命的化学の領域は神学的議論に結び付いた。B. J. T. Dobbs, "Newton as Alchemist and Theologian", in Norman J. W. Thrower (ed.), *Standing on the Shoulders of Giants* (Berkeley, 1990), pp. 128-140.
- 36) *RBW*, II, p. 48.
- 37) *RBW*, II, p. 37.
- 38) 同一の普遍物質の間にどういう仕方で種別性が成り立つか、この問題に機械論がどう取り組んだかについては別の一編の論考が要求される。

Chemical Studies of young Robert Boyle: Their Helmontian Phase and the "Seminal Principles"

Hideyuki YOSHIMOTO

(Tokyo University of Foreign Studies)

Many scholars pointed out that van Helmont's alchemy had a great influence upon young Boyle's chemical studies. My object in this paper is not to indicate the Helmontian influence upon young Boyle in general terms, but to analyze the exact phase of chemical Helmontianism in the early stage of his chemical studies. To do so I first showed by reading his *Sceptical Chymist* in comparison to its early draft that young Boyle adopted Helmontian chemistry as the starting point of his researches in the material world. Second I analyzed the usage of "seminal principles" in his writings.

My conclusion is that "seminal principles" in his writings was used in two cases. First he referred to that phrase when he argued the generation and growth of minerals and

metals in the "womb of the earth". Second he used it when he treated of the creation and propagation of the living bodies at the beginning of the world. In both cases he permitted himself to discuss it in the terms of natural theology which was strictly differentiated from pure physical treatment in his way of argumentation. He supported it by citing many writings on natural history of his days. This discursive practice shows that he followed the contemporary natural history in respect of description of natural things.

Robert Boyle was a Helmontian in respects of his views on the generation and growth of minerals and metals under the earth and on the chemical processes within the living bodies.

[論 文]

H. Staudinger の研究とドイツ高分子化学工業の誕生

—Staudinger のゴムに関する研究と合成ゴムへの道(その 2)—

田 中 穆*

6. Staudinger のゴムに関する研究の展開

前述のごとく、1922年に Staudinger はゴムの水素化の研究を発表したが、同時期に発表された Pummerer の報文と、この Pummerer の実験を評価し、Staudinger の実験に対しては疑念を表明した Harries の報文などのために、彼の主張は容易に耳をかされない状況であった。

その原因は、当時はゴムの取り扱いについて、特に分解に対する対策が充分でなく、水素還元の際、ゴムがかなり分解したり、一部環化を起こしたりして生成物が複雑で、データに明快な説得性を欠いたことと、何よりも問題なのは、巨大分子説を唱えながらも、分子量測定についての適確な方法が見出せないまま、実測値を明示できず、水素化生成物がヘミコロイド性を示すことからもとのゴムは真正コロイド性をもつような高分子量体であろう、といった間接的な証明、説明に終始していた感があり、こうしたことが、低分子説に強く傾いていた当時の学会の中で、彼の立場を弱いものにしていたと言えよう。

さらにまた、前報で説明したように、有機化学的な分子構造論には興味を持っていなかった Katz, Hauser, Wo, Ostwald, あるいは E. Ott といった人たちが1925~26年頃に、物理化学、あるいはコロイド化学的な立場でゴムの構造に関する

所見を発表して学会を賑わしていた時期でもあったので、Staudinger の影は薄く、彼の研究の滑り出しは順風満帆とは言えなかったのである。

かくして彼の苦難の研究が続けられるわけであるが、1922年から30年までの彼の主な報文については前報の表 3 に示しておいた。続いてその後の 1930~40 年の間の、ゴムに関する主な報文は表 5 のとおりである。そしてこれらをまとめて、彼の行ったゴムに関する研究の流れ、あるいは展開の様子を図示したのが表 6 である。

表 6 を参照しながら、大筋での研究の流れを説明してゆくことにしよう。

先ずゴムの水素化実験のあとは、引き続きゴムのハロゲン化水素化を行い、これに亜鉛を作用させるという処理での還元を試みて、ゴムの環化物(シクロゴム)が生成することを見出し⁽⁴⁷⁾、このことからゴムの加熱によって、一部は低分子にまで分解するものと、比較的中程度の分解生成物からは環状物を生成するものがあることを確かめている⁽⁴⁸⁾。こうして彼はゴムの分解について知見を深め、その対策を進めてゆくわけである。もう一つの研究の流れはゴムの分子量の検討である。

1926年スイスからドイツに帰國し、有名なデュッセルドルフの論戦にのぞむ頃から、彼はゴム以外の高分子量化合物の検討に力を入れはじめ、ポリ酢酸ビニルがけん化によって、コロイド性を保持したままポリビニルアルコールに変化することを明らかにし⁽⁴⁹⁾、ポリオキシメチレンについては、高分子量体がX線的に結晶性を示すとの証明を示し⁽⁵⁰⁾、またポリスチロールについては、ヘミ

コロイド性のポリマーと真正コロイド性のものとの物理的性質の差を明らかにする⁽⁶⁴⁾、といった一見、迂回の道を辿りながら、それらの合成ポリマーを活用して分子量を求める方法を模索し、遂に、いわゆる粘度律の誘導に至ったのである⁽⁷³⁾。この賢明なコース選択が、ゴムの研究についても一つの新生面を切り開くことになったわけである。

すなわち、彼は上記のような各種ポリマーを取り扱っていた経験から、ポリマー溶液の粘度が分子量に比例的な関係を示すことに着目し、炭素数24以上のパラフィン⁽¹¹⁰⁾、ポリスチロール⁽⁷³⁾、あるいは水素化ゴム⁽⁹²⁾などの試料を用いた系統的な検討を進めることにより、粘度律、

$$\eta_{\text{spez}}/c = K_m \cdot M$$

但し η_{spez} : 比粘度, c : 濃度,

K_m : 恒数, M : 分子量.

を導いたのである。この粘度律の確立には、当時日本から留学していた人たちが関与したが、その中でも野津（R. Nodzu, 1892-1957）の貢献は非常に大きかったと見られる。

Staudingerは1929年頃の時点では、ゴムの分子量は100,000程度という推定を行っていたが⁽⁶³⁾⁽¹⁰⁸⁾、粘度律の確立された1930年頃になると、精製処理をしたゴムで51,000~73,000⁽⁷⁴⁾、あるいは粗ヘビアゴムで180,000という具体的な数値⁽⁷⁶⁾を提示はじめるに至った。このようにして求められた分子量については、K. H. Meyerのように頑強に批判を続ける人もいたが、兎に角、ゴムの化学構造を論じる場合のイメージは非常に鮮明になったわけである。

再び、ゴムの分解の問題に戻ると、1929年にはゴム、およびグッタペルカについて溶液中の加熱分解に関し、温度、溶媒の種類などの影響について詳細な検討を行い⁽⁶³⁾、分解の様式についての知見を整理するとともに、PummererらのRast法による分子量測定実験に対し、ゴムにとって良好な溶媒とは見られない樟脳やメントールを用いて、しかも、これらの高い融点温度でゴムを処理することによる分解の可能性などの問題点を指摘し⁽⁶¹⁾、追いかけて、樟脳中にゴムを溶融したときの分子量低下の実験データを示して、

表5 1930年以降 Staudinger のゴムに関する主な報文

年	シリーズ 報告 No.	報 告 題 目	文献 No.
1930	K-27 報	水素化ゴムにおける粘度と分子量との関係について	(92)
	K-29 報	高分子量水素化ゴムについて	(93)
	K-30 報	水素化メチルゴムについて	(94)
1931	K-32 報	ゴムの化学構造について	(95)
	K-33 報	ゴムにおける末端基について	(96)
	K-34 報	ゴム溶液における分子あるいはミセル	(97)
	K-35 報	可溶性および不溶性ゴムについて、およびゴムの分別について	(86)
1932	K-36 報	ゴムの化学構造について	(98)
	K-39 報	可溶性から不溶性ゴムへの変化	(99)
	K-40 報	ゴムの弾性について	(100)
1934	K-41 報	ゴムおよびバラタの水素化について	(101)
	K-42 報	ゴムの化学構造について	(102)
	K-43 報	ゴムの基礎科学的研究	(103)
1936	K-45 報	ゴムおよび水素化ゴムの種々の溶媒中における粘度測定	(104)
1941	K-49 報	分子量測定、およびゴム、グッタペルカおよびバラタの構造について	(105)
	K-50 報	ブタジエン重合物の化学構造について	(106)
	K-52 報	ゴムにおける二重結合則	(107)

表 6 Staudinger のゴムに関する研究の流れ

年代	他の高分子量化合物の研究（一部）	ゴムに関する研究	議論の対象者
1922		ゴムの水素化 ・高温高圧化での水素化 (K-5報) ⁽³³⁾	Pummerer: 水素化実験
1924		・常圧下での水素化 (K-6報) ⁽³⁷⁾ →巨大分子の提唱	Harries: K-5報の実験に疑念の見解。
1925		・ハロゲン化水素化物とジアルキル亜鉛との反応による水素化物 (K-8報) ⁽³⁹⁾	
1926	デュッセルドルフでの論戦 ⁽⁴⁾ ・ゴム溶液のコロイド特性から巨大分子量物の主張 ・各種重合物の高分子反応、粘度と物性などのデータ報告	ゴムの化学反応 (K-11報) ⁽⁴²⁾ ・ハロゲン化水素化物からのシクロゴム (K-9) ⁽⁴⁷⁾ ・加熱によるゴムの環化→シクロゴム (K-10報) ⁽⁴⁸⁾ ・ゴムから水溶性塩 (K-12報) ⁽⁵⁰⁾	Hauser: ゴム乳液の粒子について2相説。 Pummerer: 上掲の2相説に従い、可溶ゴムと不溶ゴムとに分別。
1927	ポリ酢酸ビニルとポリビニルアルコール ⁽¹⁰⁹⁾		Pummerer: Rast法によるMW.の測定
1928	ポリオキシメチレン、セルロースのモデル ⁽⁵⁸⁾	ゴムの化学構造 (K-13報) ⁽⁶¹⁾ ・ゴムの高分子説の布衍、融解メントール中でMW.測定の不正確性検証	Meyer-Mark: ゴムのX線解析による構造モデル提案。但し主原子価鎖は、イソブレン単位75~150個程度と主張
1929	ポリスチロール、ゴムのモデル ⁽⁶⁴⁾	ゴムの分解 (K-14 ⁽⁶³⁾ , -16報) ⁽¹⁰⁸⁾ ・ゴムの熱分解、自動酸化分解(溶液の粘度変化)、ゴムのMWを100,000と推定 ・氷点降下法の問題: 溶融樟のうちではゴムは分解 (K-23報) ⁽⁷⁸⁾	
1930	ポリスチロールなどによる粘度法分子量の測定 ⁽⁷³⁾	ゴムの分子量 ・51,000~73,000の値 (K-19報) ⁽⁷⁴⁾ ・粗ヘビアゴム 180,000の値 (K-21報) ⁽⁷⁶⁾ ・水素ゴム同族列のMW.測定 (K-27報) ⁽⁹²⁾	Meyerら: 溶液中でもミセルは存在と主張→粘度法によるMW.のデータに疑念。
1931	報文シリーズ 「高分子量化合物について」	ゴム溶液のコロイド特性 (K-32報) ⁽⁹⁶⁾ ・希薄溶液の特性からミセルの存在否定 ・溶液中の分子の作用領域 (K-42~3) ^{102~103}	Pummerer: 高分子説は認めたが、環状物の可能性に固執。末端基分析の必要性を訴える。
1932		末端基定量法によるMW. (K-33報) ⁽⁹⁶⁾ ・ゴムのMW.を決定するのは難しい	
1934		ゴムの分別 (可溶性、不溶性ゴム) ・Hauser, Pummererの誤りを指摘。 分別による最高MW.値 225,000. (K-35報) ⁽⁸⁶⁾ (K-36報) ⁽⁹⁸⁾	
1936		ゴムの水素化 再実験 (K-41報) ¹⁰¹ ・完全な酸素排除下での実験	
1941		種々の溶剤による粘度測定 (K-45 ⁽¹⁰⁴⁾ , -49報 ⁽¹⁰⁵⁾) ブタジエン重合物の化学構造 (K-50報) ⁽¹⁰⁶⁾ ・IG.社の合成ゴムにつき、粘度法および滲透圧法によるMW.の測定	

Pummerer らの実験に対し批判の意見を述べている⁽⁶³⁾。また、既往の Harries⁽³⁵⁾ や Pummerer ら⁽³⁴⁾⁽³⁶⁾ の水素化の報告に対し、彼はその後もいろいろの機会に水素化ゴムの検討を続け、それらの水素化ゴム同族列に関する知見を基にして、繰り返し反論を行っている⁽⁶⁷⁾⁽⁷⁹⁾⁽⁹²⁾。このような自信に満ちた議論も、執念をもって漸く積み上げられてきたデータに立脚し得たからこそであろう。そして1934年には、念願の、Staudinger にとって納得のいく水素化実験の結果が報告された⁽¹⁰¹⁾。それは、溶媒のテトラリンを純窒素中で1~2回蒸溜し、ゴムは高真空中で精製乾燥した上に、純窒素中でしゃく解するといった具合に、極力酸素を排除した条件で材料を調製して水素化を行ったもので、もとのゴムと殆んど分子量の変わらない水素化ゴム（1例、もとのゴムの M. W. 82,000 に対し、約 50% 水素化したゴムの M. W. 80,000 ~ 82,000）が得られたのである。彼の懸案に対する驚くほどの執着心、集中力を端的に物語る事例である。

その他、1930年頃 Pummerer から環化構造に拘泥した説が出され、末端基定量の必要性が論じられたが、彼はヘミコロイド、つまり重合度が100程度の分子ならともかく、巨大分子中の末端基の化学的分析は精度が得られないことを論じて否定している⁽⁹⁵⁾⁽⁹⁶⁾。また Hauser によって提出され⁽⁴⁰⁾、Pummerer によって支持された⁽⁴⁶⁾、ゴム乳液中の粒子の2相説についても、彼はゴムが溶液中で空中酸素により環化不溶化する可能性を考慮し⁽⁹⁹⁾、Pummerer らの分別の仕方と、注意深く分別をした場合との比較実験データを示して、彼らの誤りを指摘した上でゴムの多分子性の問題を説明している⁽⁸⁶⁾⁽⁹⁸⁾⁽⁹⁹⁾。

このように、ゴムに関する Staudinger の研究は快調に進展していったように見えるが、話を厄介にしたのは Meyer の存在であった。彼は1930年頃から、かなりの力を割いて Meyer らの新ミ

セル説への論争に対処しなければならなかったのだである。Meyer と H. Mark によるゴムの構造モデルの提案⁽⁵⁹⁾については既に紹介したが、主原子価鎖の凝集によって形成されるミセルという概念を打ち出して、分子という言葉を拒否したこと、また主原子価鎖はイソプレン単位が高々150個ほど連結したものであると主張したことが、Staudinger の主張と微妙に喰い違っており、論争がはじまるのである。しかも論争の争点が、Staudinger 苦心の作とも言える粘度律の根幹に関わる問題に移ってきて、泥沼化の様相を呈することになる。Meyer らは分子凝集力から考えて、溶液中でもミセルは存在するはずであるから、滲透圧法や粘度法によって求められた分子量値は過大に見積もられていると主張し⁽⁶¹⁾、後には、ヘミコロイド状ポリマーの測定値から得た粘度律を、真正コロイド性の高分子領域にまで外挿するという、粘度律の誘導の仕方にまで疑念を投げかけたのである。

Staudinger はこれに対し、ヘミコロイド溶液は真正コロイド溶液に変化しないし、ゴム溶液の加熱による粘度低下は高分子の解裂によるものであること⁽⁶⁷⁾、ポリマーの希薄溶液の相対粘度は、冷却と加熱を繰り返しても変化しないこと⁽⁷⁶⁾、炭素数60のパラフィンは有機溶剤に難溶であるのに対し、炭素数10~1,000の水素化ゴムは易溶であること⁽⁷⁹⁾、膨潤の程度は分子量の増大とともに増加するが、ヘミコロイド状物は膨潤しないで溶解すること⁽⁹⁵⁾、溶剤の種類を変えても相対粘度値は余り変わること⁽¹⁰⁴⁾⁽¹⁰⁵⁾、などの論拠を挙げて、希薄溶液中にはミセルは存在せず、従って粘度法による分子量測定は妥当性があると主張したのである。また、その理論的根拠の薄弱さに対する批判についても、躍起になって抗弁を繰り返し、Meyer との間で1936年まで論争が続けられたわけであるが、その詳細については別の論説を参照されたい⁽²⁾⁽⁸⁷⁾。

こうした中で、Meyer らの一部を除けば、粘度律は次第に受容され、巨大分子の分子量というものの認識は定着する方向に向かってゆくわけであるが、続いて Staudinger の関心は、ポリマーの分枝（あるいは分岐）の問題に移っているようである。1941年に Staudinger は、IG. 社で製造された合成ゴムについてこの問題を論じているが、その前に、少し目を転じて、当時の合成ゴムの開発状況に触れておくことにしよう。

7. 合成ゴム再開への機運

7.1 Staudinger の研究による刺激

1925年頃までの間、ドイツでは合成ゴムへの興味は全く失われてしまっていたが、この年英國でとられた天然ゴムの生産制限策によって、1926年にはゴムは Kg. 当り約 3 マルク弱から約 6 マルクまで高騰してしまった。かくて、新たに企業合併によって結成された大企業の IG. ファルベン社（以下 IG. 社）⁽¹¹¹⁾⁽¹¹²⁾ では、合成ゴムの研究の再開を決断したのである。第1次大戦中の苦い経験にも拘らず、こうした決断に至った理由は、何といってもドイツがゴムを生産する植民地を持っていない、という切実な悩みを抱いていたこと、そして一方で明るい見通しとして、ドイツに帰國した Staudinger がつぎつぎと高分子ポリマーを合成し、それらをモデルとしてゴムやセルロースの化学構造の解明に肉迫し、高分子概念形成をリードしはじめたという支えを感じたことにあると見られる。

1926年のデュッセルドルフの講演では、Staudinger は複雑な天然物質の構造究明のために、比較的組成の簡単な合成物質の研究からはじめるべきであることを説き、有機化学者の立場で、前掲の表 1. に示したような諸材料の化学挙動を説明し、それらの実例から、難溶性の高分子量化合物、分子格子とポリマー格子、コロイド状溶解性高分子量物質などの問題をじゅんじゅんと論じた

のである。特に、後者の問題に関し、ポリ酢酸ビニルやポリアクリル酸エステルについてのけん化や再エステル化、あるいはゴムやポリインデンの水素化によって、生成物のコロイド性状が変化しない点で会合性コロイドとは明らかに相違すること、またヘミコロイド性、および真正コロイド性のポリスチロールでは、両者に明らかな物理的性質の差があることなどを示した。こうして広い有機化学の中に、これから研究をスタートすべき高分子量物質の分野が開けつつあるという展望を語ったわけである。この Staudinger の奮闘の姿は、学界の人たちよりは工業界の人たちに鮮烈な印象を与えたようであり、事実、この直後からフライブルグの研究室に対し、いろいろの会社からの接近が始まったのである。

Staudinger 自身、次のように述べている⁽¹¹³⁾。

後には巨大分子物質であることが証明された物質を、ミセル構造であるとする観念が、以前はしばしば支配的であった。しかし次第にこれについての正しい見解が確立された。この間、私はたびたびこの分野で働いている工業界の人びとが、大学の科学者よりもずっとこの新しい観念を採用しているのを認めた。つまり、工業界で実際に物質を扱っていた人びとにとっては、多くの物理化学者たちの主唱する、牽強付会の低分子会合説よりも、豊富な有機化学的な実験データに依拠し、分子量の値までは明示できなかったにせよ、巨大分子量物質の存在を主張した Staudinger の説明の方が理解しやすかったものと思われる。そして、その説明の中には高分子の合成の道が示唆されており、当時合成樹脂や合成ゴムを模索しはじめていた人たちにとっては、F. Hofmann の時代とは違った、もっと明確な支柱ができつつあることを感じとったはずである⁽¹⁸⁾。換言すると、「再び合成ゴム工業を発展させようとする試みを誘発した動機は、ポリマーの特性に関する Staudinger の研究によるもので

あり、この分野の研究はより一層、合理的に計画されるようになった」⁽¹¹⁴⁾ わけである。

7.2 ドイツゴム協会誌の役割⁽¹¹⁵⁾.

1925年にドイツ・ゴム協会が結成されて、*Kautschuk*という雑誌が刊行されたが、そこにはゴムの実際的な応用技術の問題の他に、当時学会で論議されていたゴムの構造に関する寄稿、あるいは講演の集録が行われ、産業界の人たちにも学会の動きが伝えられた。つまり学会と工業界の間の橋渡しの重要な役割を果たしたのである。

前報の表3に*Kautschuk*誌に所載されている論文あるいは講演の題名のごく一部を挙げておいたが、Staudingerはもとより、Katz, Hauser, Pummerer, Markらが登場し、彼らの見解の違い、激しい討論、そして結局において、当初劣勢であったStaudingerの巨大分子説が1927-8年ごろから優勢となってゆく状況が、感銘深く伝達されたものと見られる。IG.社が合成ゴムの研究の再開を決意したのも、このような時代の流れに触発されたものと見ることができるのである。

1931年以降も、Staudingerは本誌にたびたび登場して研究成果の紹介、解説を行い、ゴムの化学の知識の深化に貢献したのである。

7.3 メチルゴムの残したもの⁽²⁰⁾⁽¹¹⁶⁾.

第1次大戦の終了とともにメチルゴムの生産は休止され、合成ゴムに対する熱意は一旦沈静化したが、当時の反省からの問題の見つめ直しの努力の中で、再び合成ゴムにつながる道が開かれることになる。

先ず、メチルゴム原料用アセトン製造のために基盤を築いたカーバイド・アセチレン工業は、平時転換の方策として、アセトンから酢酸、無水酢酸などへ重点を移した検討が進められ、化学産業の基幹的な体系を次第に形成してゆくことになり、こうして酢酸ビニル、そしてブタジエンなどのモノマー合成への志向がはじまってゆくわけである。

次にゴムの加工に関連する問題である。天然ゴ

ムは自然のままに老化防止効果のある不純物を随伴含有しており—この不純物の除去にPummererは拘泥していたわけである—、空気中に放置してもそれほど著しい変化はないが、合成によって得たメチルゴムの安定性は非常に低いものであった。そのためF. Hofmannらはその安定化の検討を行い、芳香族アミンやフェノール類が酸化防止に有効であること、就中、ピペリジンは酸化の抑制のみではなく加硫の促進効果を示すことを見出したのである。その後、こうした努力が継続されて老化防止剤、加硫助剤などの基礎が固まり、これらの多くはまた天然ゴムに対しても非常に有効であることがわかってきたので、このような薬品の業務は大戦終了後もBayer社の重要な事業部門となっており、この面からの合成ゴム受け入れの態勢は整っていたわけである。

またゴムの配合についても当時は知識が充分でなく、メチルゴムからは天然ゴムにくらべて非常に強度および伸びの低い製品しか得られていなかつたが、その後カーボン配合が重要な補強効果を示すことが認識されるようになってきた。Whitbyもメチルゴムについてこのカーボン配合の効果を確かめ、「このような事実がわかつていれば、恐らく戦時下のドイツの合成ゴムの歴史は、いまとは違っていたであろう」とさえ述べている⁽¹¹⁵⁾。

いずれにしても、第1次大戦後ドイツは経済的な苦況にあったこともあるが、合成ゴムに見向きもしなかったような時代の底流では、一見裏腹のような形で、第2の合成ゴムに対する受け入れ準備が進んでいたわけである。

8. 合成ゴム工業化の道のり⁽¹⁸⁾⁽²⁰⁾⁽¹¹⁶⁾

8.1 合成ゴム研究の再開

IG.社が合成ゴムの研究再開を決断したとき、同社のレファーカーゼン、ルートビヒスハーフェン、オッパウ、およびヘキストの工場が参加し分担することになったが、ルートビヒスハーフェン

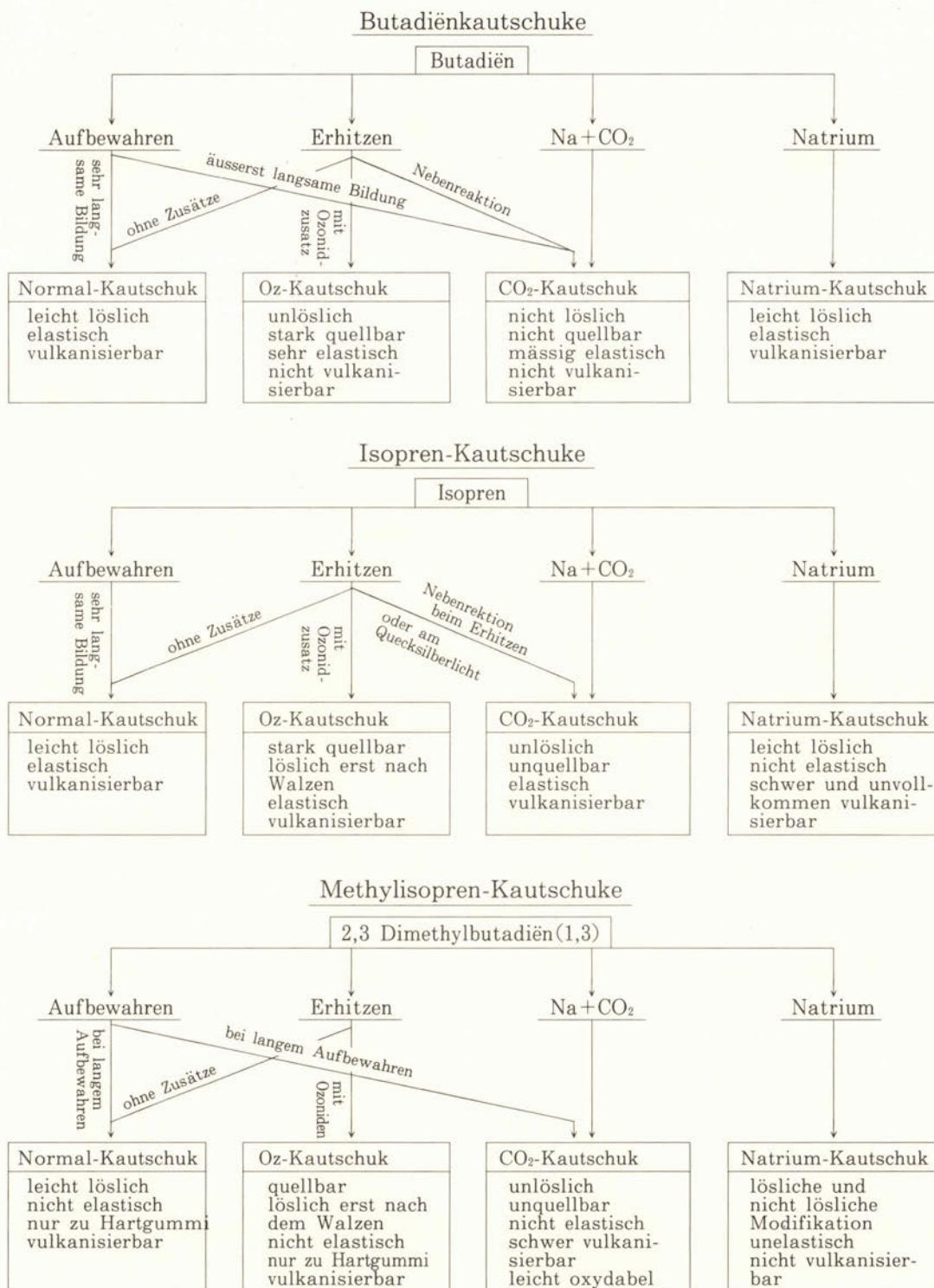


図3 1914年当時に知られていたジエン系ゴム (A. Holt)⁽⁹⁾

とヘキストでは先ずモノマーの製造法について、レファークーゼンではそれまでに蓄積された知見をもとに重合について、それぞれ研究が進められることになった。

問題は出発物質として何を選択するかであったが、検討の末、比較的安価なブタジエンに研究の重点が置かれることになった。

今日ではブタジエンは石油化学の主力製品であるが、当時の出発原料としてはカーバイド・アセチレンに頼る他はなかった。後にメタンをアーク炉で燃焼させてアセチレンを得る方法も採用されるに至った⁽¹¹⁷⁾。アセチレンからアセトアルデヒド→アルドール→1,3ブチレングリコール→ブタジエンという、いわゆる4段階プロセスが採用され、ルートビヒスハーフェンとヘキスト工場において1926年から30年に至る間に生産の検討が行われ、後にシュコパウ (Schkopau) とヒュルス (Hüls) の本格的な合成ゴム工場に移された。さらに追っかけて、アセチレンの高圧反応を利用し、アセチレン+ホルムアルデヒド→ブチンジオール→1,4ブタンジオール→ブタジエンという製造プロセスが開発され、ルートビヒスハーフェン工場で運転された。こうしたモノマーの製造プロセスの開発は W. Reppe (レッペ, 1892-1969) の寄与に負うところが多い⁽¹¹⁸⁾。

重合に関しては過去の経験に照らし、Na 金属による重合法の検討が優先して行われたが、以前に A. Holt⁽⁹⁾ によってまとめられた図3のような知見に基づくものであろう。Holt 自身、C. Harries⁽²³⁾ や英國の F. E. Mathews と E. H. Strange⁽¹¹⁹⁾ が別々に発見した Na 金属による重合法を改良し、ルートビヒスハーフェンでメチルゴム・BK の生産に寄与した人であるが、そうした過去の経験に依拠する他はなかったのであろう。ところがこの Na 重合法によるポリブタジエンは、種々検討が行われたにも拘らず⁽¹²⁰⁾、加工作業性が不良で、汎用性のゴムという域にまでは至らな

かったのである。その理由は後述する。ただこの時期、このゴムについてブタジエンとナトリウムの頭の字をとって 'Buna' (ブナ) の名前が用いられていたが、その後もドイツの合成ゴムの総称として残ることになった。特にこの重合法によって得られるゴムについては、可塑性を示す指数の数字を付けて、ブナ・32とかブナ・85という風に呼ばれ、数字ブナと称せられることになった。この数字ブナはその後、化学装置の内装などの特殊用途のために限定生産は続けられた。

一方、これと平行して乳化重合の研究が進められていた。乳化重合の考えは、当然天然ゴムのラテックスを真似て既に Hofmann の時代にも特許⁽¹²¹⁾ が出されているが、乳化剤、重合触媒、あるいは調節剤などの組み合わせによる検討が続けられて、水中で真正ラテックス状に重合させたポリブタジエンの試製造が進められた⁽¹²²⁾。然しこの場合、高分子量で著しく架橋した、非常に高弾性で加工の困難なものしか得られず、約1000種に及ぶ修正処方条件で重合の検討が根気よく続けられたが、結局改善の見込みは得られなかった。

こうした行き詰まりの状況の中で、ブタジエンに対して 20~45% の第2の重合成分を加えて混合重合-共重合-を試みることによって、乳化重合の研究は大きな前進を遂げることができた。最初に試みられた第2成分はスチロールであったが、加工作業性が良好で、カーボンブラックを配合することによって高い引張り強度を示す、有望な材料が得られたのである。この発見は1929年頃、レファークーゼンの E. Tschunkur (チュンカー、後述) と W. Bock (ボック、後述) とによって行われたもので⁽¹²³⁾、スチロール含有 25~30% のものをブナ・S, 40~45% のものをブナ・SS (このタイプのゴムを文字ブナと呼ぶ) として試製造がはじめられた。

続いて翌年には、スチロールの代わりにアクリロニトリルを用い、ベンゾール、鉛油、あるいは

油脂類に対して膨潤抵抗性のある、つまり耐油性のゴムが得られた。このものはブナ・N（後にPerbunan・N、ペルブナン・Nと呼ばれた）と名付けられたが、この発明はTschunkurとE. Konrad（コンラド、後述）によって行われたものである⁽¹²⁴⁾。

8.2 工業生産に至るまで

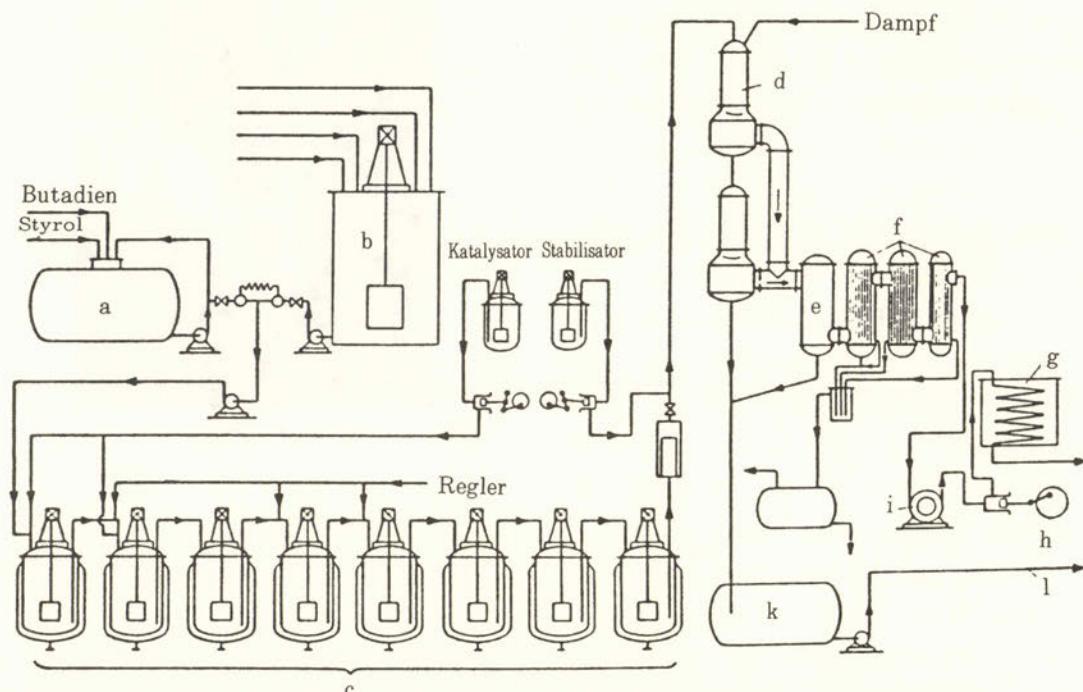
合成ゴムの方向が定まったといつても、その量産がはじめられるまでは多くの検討問題があった。加工性のテスト、作業性改善のための諸検討、

タイヤの試作と走行テストなどが繰り返され、小規模プラントの運転の一方で、ゴムの量産化の検討がなされた。

ところが、一旦高騰した天然ゴムの価格は1932年頃には再び下落してしまったので、進められていた工場新設の計画は消え、研究も縮小せざるを得ない状況に追い込まれた。この間に、天然ゴムを全く再現しようとする目的とするのではなく、新しい性格のゴム状弾性体材料を得ようとする意識が生まれてきて、ブナ・Nが重要視

表7 ドイツにおける合成ゴムの生産能力 (1943年当時)⁽¹²⁵⁾

工 場	生産能力 トン/年	建設期間	生 産 品 質
シュコパウ (Schkopau)	70,000	1935-1937	ブナ・S, 数字ブナ, ラテックス
ヒュルス (Hüls)	40,000	1938-1940	ブナ・S, ブナ・SS, ラテックス
ルートビヒスハーフェン (Ludwigshafen)	30,000	1940-1942	ブナ・S
アウシュヴィッツ (Auschwitz)	30,000	1941-1945	ブナ・S (但し完成後本格生産に至らず)
レフラークーゼン (Leverkusen)	10,000	-	ペルブナン (ブナ・N), ブナ・S



a ブタジエン-スチロールモノマー混合槽, b 乳化剤調製貯槽, c 重合槽, d ラテックス排気装置, e ストリッパー, f 冷却器, g 未反応ブタジエン凝縮器, h コンプレッサー, i 排気ポンプ, k 脱揮後のラテックス槽, l ラテックス処理工程へ

図4 Buna・S 連続乳化重合プロセス⁽¹²⁶⁾

されるようになり、1935年にはレファークーゼンに小さな工場を開設して、その生産、販売が先行することになった。

1934年末には世界恐慌が克服され、また國家指導によるアウタルキー（自給自足）政策の効果が現れはじめるに及んで、IG. 社はブナゴムの大量生産設備の建設を決意するに至ったのである。

1935年にレファークーゼンのブナ・N工場に隣接してブナ・S 250トン／年能力の小プラントが稼働されるとともに、量産設計が進められて、1936年には生産テストプラントがシュコパウに建設され、1937年初めに月産約200トンの生産が行われた。そして翌年には世界最初の本格的な合成ゴム工場の稼働がはじまったのである。最終的には表7のような工場が運転され、1943年には年産約120,000トンに達したと言われている⁽¹²⁵⁾。図4にブナ・S 製造プラントの概要図⁽¹²⁶⁾を示す。

このブナゴムに対する研究費として、IG. 社は1927年から44年かけて約8,000万マルク、プラント設備投資は約10億マルクという巨額をつぎ込んだと言われるが⁽¹²⁵⁾、皮肉なことに、この合成ゴムに自信を得た A. Hitler (ヒトラー) が暴走して第2次世界大戦を引き起こし、大きな損害を蒙ることになってしまうのである。

8.3 合成ゴムの研究開発に貢献した人たち

この合成ゴムのプロジェクトの推進には、IG. 社の有機化学事業部門の支配人であった F. ter Meer (テルメール)⁽¹²⁷⁾ に負うところが多いと言われている⁽²⁰⁾が、ここでは二、三の研究者たちの素描を紹介しておくことにする。

ブナ・S およびブナ・N の発見者である E. Tschunkur (1874-1946)⁽¹²⁸⁾ はリガ (Riga, 現在のラトビア共和国) 地区の出身、学歴はないようである。1907年にBayer社に入社して、F. Hofmann の下で働き、そのときに培われた実務経験を活かして、下火になっていた Bayer 社のゴム研究を支え、大きな成果を挙げたのである



写真2 Dr. E. Tschunkur



写真3 Dr. W. Bock

(写真2).

W. Bock (1895-1946)⁽¹²⁸⁾ は Tschunkur をブレイン的に支援して、ブナおよびブナ・S の研究開発で功績を挙げたが、彼はブラウンシュヴァイク (Braunschweig) 地区の出身で、1921年ゲッティンゲン大学で学位を取得した後、2つほど勤務先を変えて1926年にBayer社に入ったものである (写真3)。

E. Konrad (1894生)⁽¹²⁸⁾ はバーデン州のレン



写真4 Dr. E. Konrad

ヘン (Renchen) の出身、1922年フライブルグ大学で R. Schwarz (シュワルツ、1887生) 教授の下で学位を取得し、1927年までそこで助手を勤めた。Schwarz 教授はフライブルグで無機化学、および分析化学を担当していたが、その後フランクフルト、ケーニヒスベルグ (Königsberg)、およびアーヘン (Aachen) 工科大学へと移り、その間けい素およびけい酸塩化合物の化学、カオリンの人工合成などで業績を挙げた人である。Konrad は、1926年にスイスから移ってきた Staudinger 研究室のメンバーと連名で報文を出している。「ポリマー状けい酸エステルについて」と題するもので、1929年に発表⁽¹²⁹⁾されているが、これは恐らく O. Bächle の学位論文の目的で研究され、これに材料面から Schwarz 研究室の Konrad が、また理論面で R. Signer (ジグナー) が協力したようだ、研究は1928年はじめには終了したとある。ところで Staudinger と Schwarz の名前が連記されていないのは、Staudinger が期待したほどには高分子量化合物が得られなかったこともあって、両者が互いに話し合って遠慮したのであろう。しかし「高分子量化合物について」報文シリーズの第19報としては加えられている。

こうして Konrad は Staudinger の直系の弟子ではなかったにせよ、短時間ながら Staudinger の聲咳に接し、その高分子概念に一応の理解を持ったものと見られる。そして1927年10月に IG. 社のレファーカーゼンの研究所に入り、合成ゴムの研究に従事してブナ・N の発見などの成果を挙げたのである。1938年には新設されたゴム研究所の初代所長となり、重合から加工試験、製品テストに至るまでの、IG. 社におけるゴムに関する技術指導者として活躍する一方、ドイツゴム協会の会長など事業発展の推進役の重責を果たした⁽¹³⁰⁾。1950年には J. Liebig メダル、1952年に C. Harries 賞、1955年には大十字勲章などを受け、1954年にはドイツゴム協会の名誉会長に推された(写真4)。Staudinger にして見れば、自分の思想を工業的に具現化しようとして活躍している彼の姿に、頼もししさを感じていたに違いない。

9. 学会の人たちと IG. 社

9.1 当時の Staudinger の境遇

Staudinger はチューリッヒ在任中の1919年、『國際赤十字レビュー』誌に毒ガス非難の論文を発表したがために、友人であった F. Haber を激怒させて絶交を言い渡された上に、Haber の息のかかったドイツ化学会の多くの学者たちから非愛國的人物という冷たい目で見られる立場に追い込まれており、彼の論争は単に学問上の問題のみではなく、そうした「政治的過去」に根ざす問題もあったと見られる⁽¹³¹⁾。そうした中で1926年以降、彼の研究内容が認識されはじめて工業界からの支援が得られるようになり、孤立の状況から次第に周囲の理解を得るまでに好転してきたが、1933年に Hitler のナチス政権が登場すると、再び彼の「政治的過去」が蒸し返されて圧迫を受けはじめ⁽¹³¹⁾⁽¹³²⁾、彼自身米國への亡命を考えるまでに追いつめられるのである。彼が残している「高分子化学の発展に対するナチズムの影響」と題するメ

モ書き⁽¹³³⁾の中には、彼の受けた迫害の事情が書き並べられているが、周囲に有能な協力者メンバーを集めることができたので、亡命の考えを放棄したと述べている。

このような時期に彼の支えとなったのは、IG. 社のレファークーゼンやヘキストグループを中心とした人たちの精神的、および資金的援助であった。レファークーゼングループでは恐らく上記の Konrad らが介在して応援が続けられたものと見られる。Staudinger の1930年から40年頃までのゴムに関する研究報文、例えば K-23, -25, -35, -43、および -50 報には IG. 社の協力に対する謝辞が記されている。

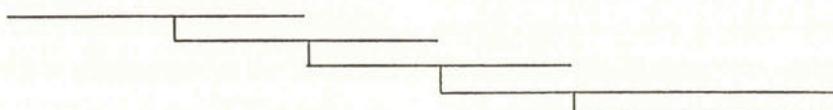
9.2 IG. 社の合成ゴムに関する研究報文

Staudinger が1941年に発表した K-50 報⁽¹⁰⁶⁾において、彼は天然ゴムから転じて合成ゴム、特に IG. 社のポリブタジエンゴムの分子量の問題を取り扱った。ここで彼は、その前に Konrad が行った講演⁽¹³⁰⁾においてブタジエンが1,4-付加とともに1,2-付加の重合を起こして分岐を生じ、場合によっては架橋を起こすことが考えられる旨の発言を行ったのを受けて、Na触媒による重合物、および乳化重合物（いずれもポリブタジエン）について粘度法および滲透圧法による分子量測定を行

い、その結果算定された K_m 値から、これらの合成ゴムは天然ゴムと同じように分岐したものであるがその分岐の様式は異なったものであること（図5）、重合の際に調節剤を多くすると分岐が少なくなることなどを示した。そして同じ重合度で分岐度の異なる重合物と物理的性質の差との関係を知るために、重合条件を変えて詳細に検討を続けるべきであると説いている。IG. 社の研究開発において、ブナ・Sに辿り着く前にポリブタジエンでこぎついた理由もこれで明らかにされたわけである。

興味あることは、この問題を論じるに当たって、彼は Pummerer ら⁽⁸⁹⁾⁽¹³⁴⁾⁽¹³⁵⁾と K. Ziegler (チーグラー、1898-1973) の報文⁽¹³⁶⁾を引用している。Ziegler はこの頃ハイデルベルグ大学に在職していたが、1928年頃から IG. 社の資金援助を受けた各種アルカリ金属、および有機アルカリ金属化合物によるブタジエンの重合初期生成物、つまり金属とジオレフィンモノマーとの付加化合物を丹念に分離、分析するという仕事を進めており、高分子論争には目もくれないといった姿勢で、Staudinger の報文も1件ほどしか引用せず、独自の分野を開拓していた。こうした研究の中から金属の種類、温度、あるいは溶媒などの影響によ

a)



b)

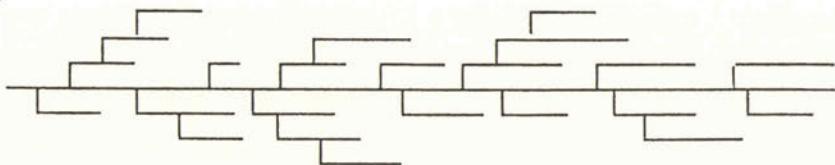


図5 ポリマーの分岐想定図⁽¹⁰⁶⁾

a) グッタベルカ b) ブタジエン重合物

る、1,4-あるいは1,2-付加の起こり易さを解明しつつあったわけであるが、Staudinger はこれらの報文に注目していたようである。言うまでもなく、Ziegler はこうした着実な研究を積み重ねてゆく中で、後年低圧法ポリエチレン製造用の、いわゆる Ziegler 触媒の発見に至るのである。

一方 Pummerer のこの頃の仕事は、ゴムのオゾン分解による、レブリン酸、レブリンアルデヒド、あるいはこはく酸等の生成物の量的関係の追跡から、もとのポリマー中の結合様式を調べようとするもので、オゾン分解の条件、生成物の定量性の向上などの検討を続けていた。それによるとゴム分子内のイソプレン残基の 90% 以上が 1,4-結合で連結されていることが確認された⁽⁸⁹⁾ が、それにしてもなお僅かながら分岐の可能性が考えられること⁽¹³⁴⁾、一方 Na 重合によるポリブタジエンでは 1,4 結合の他に 1,2-結合が相当程度に存在して、ポリマー鎖構造はかなり複雑であること⁽¹³⁵⁾などを明らかにしたのである。そして Pummerer も Ziegler の研究を引用している。

この時期には Staudinger, Pummerer, あるいは Ziegler といった学者たちが、それぞれの持ち味を活かした道を選び、相互に研究成果を討論に引用するという好ましい姿が見られるが、それというのも IG. 社の合成ゴム事業の推進がこうした人たちを引きつけ、一つの方向に集約する時代の流れ、今日的な表現をすると産学協同の姿が形成されていたのであろう。

9.3 Staudinger のゴムの研究の終末

Staudinger のゴムに関する報告シリーズは第 53 報で終わっているが、それは第 2 次世界大戦のぼっ発と、1944 年のフライブルグ大学被災などの影響によるものであろう。この K-53 報⁽¹³⁷⁾ は彼の子息との連名のもので、何か因縁めいたものを感じるが、内容については紙数の関係で省略する。

かくして気の遠くなるような彼の努力によって、ゴムに関する多くのことが解明されたが、然し彼

自身の述懐⁽⁵⁾ のように、「ゴムとバラタに関する問題は今日に至るまで究極的には解決されていない」のである。例えば、末端基や分岐部の詳細については完全には解明されていないのである。

それにしても、長い道のりの苦闘を乗り越えてきた彼はやはり、一連のゴムに関する研究を振り返りつつ、納得と満足の中でこの言葉を語ったに違いない。

10. まとめ

Staudinger のゴムに関する研究の端緒、展開、そして工業界への影響について検討、考察を行った。

彼のゴムに対する関心は、テルペンの熱分解によるイソプレンの合成法の発見にはじまったが、ゴムの化学構造の究明にまで踏み込む意向を固めさせた契機は、F. Hofmann らのゴムの合成、およびメチルゴムの工業化に触発されたことにあつたと見られる。

彼の研究はゴムの水素化から始められたが、Harries, Pummerer, Hauser, Ott, Katz, あるいは Meyer といった人たちの諸説が提案され、論議されていた中で、高分子説を主張するには説得性の点で迫力を欠いていた。そこで彼はゴムの分解の問題について着実な検討を進める一方、迂回の道を選び、種々のモデルポリマーを合成してその高分子性を証明するとともに、それらを活用して粘度法による分子量測定の方法を模索し、遂にいわゆる粘度律を確立し、それに基づいてゴムの分子量のデータを提示することができたのである。このようにして切り開かれた研究ルートに拠って、彼は納得のいく水素化の再実験を成功させるとともに、上記の人たちによって論じられた誤説を解明し、ゴムの化学構造の明確な概念形成を達成したのである。

こうした彼の研究成果はドイツ工業界を刺激し、再び合成ゴム開発の意欲を喚起する結果となった。

IG. 社の合成ゴムの研究開発も決して平坦な道のりではなかったが、Hofmann の時代とは違った高分子説の強力な支柱によって、迷うことなく進められ、成功に導かれた。

この間、彼の警咳に接したことのある E. Konrad らが、工業化推進の中核として活躍する一方、「政治的過去」のために弱い立場におかれていた彼の研究を支援したのである。

かくして彼は、ゴムに関し53報までの研究を行い、初心をほぼ貫くことができたのである。

謝 辞

貴重な私文書の閲読および複写をお許し下さった Dr. M. Staudinger 夫人と、ドイツ博物館古文書室の方、また合成ゴムに関する資料類および写真などの閲覧、提供に御協力を頂いた Bayer A. G. 社古文書室の方々に、深甚なる感謝を申し上げます。

文 献 と 注

- (92) H. Staudinger u. R. Nodzu, *Helv. chim. Acta* 13 (1930), 368.
- (93) H. Staudinger u. W. Feist, *Ibid.* 13 (1930), 1361.
- (94) H. Staudinger, M. Brunner u. E. Geiger, *Ibid.* 13 (1930), 1368.
- (95) H. Staudinger, *Kolloid-Z.* 54 (1931), 129.
- (96) Idem, *Ber.* 64 (1931), 1407.
- (97) H. Staudinger u. H. F. Bondy, *Liebigs Ann. Chem.* 488 (1931), 127.
- (98) H. Staudinger, *Angew. Chem.* 45 (1932), 276.
- (99) H. Staudinger u. E. O. Leupold, *Die hochmolekularen organischen Verbindungen* (Springer Verlag, Berlin, 1932). p. 442.
- (100) H. Staudinger, *Kolloid-Z.* 60 (1932), 296.
- (101) H. Staudinger u. E. O. Leupold, *Ber.* 67 (1934), 304.
- (102) H. Staudinger, *Chemiker-Ztg.* 58 (1934), 225.
- (103) H. Staudinger, *Kautschuk* 10 (1934), 157, 170, 192.
(1934年5月、ケルンのドイツゴム協会集会に
おける講演)
- (104) H. Staudinger u. H. P. Mojen, *Kautschuk* 12 (1936), 159.
- (105) H. Staudinger u. Kl. Fischer, *J. prakt. Chem. N. F.* 157 (1941), 19.
- (106) H. Staudinger u. Kl. Fischer, *Ibid.* 157 (1941), 158.
- (107) H. Staudinger, *Kautschuk* 17 (1941), 101.
- (108) H. Staudinger u. H. F. Bondy, *Ber.* 62 (1929), 2411.
- (109) H. Staudinger, K. Frey u. W. Starck, *Ber.* 60 (1927), 1782.
- (110) H. Staudinger u. R. Nodzu, *Ber.* 63 (1930), 721.
- (111) 文献(11), 429-446頁
- (112) カール・ホルダーマン著、和田野 基(訳)『カール・ボッシューその生涯と業績』(文陽社、東京、昭39)。
和田野 基(訳・編)『ドイツ染料工業の建設者 カール・ドイスベルグ』(産業科学社、東京、昭39)。
- (113) 文献(5), 108頁
- (114) 文献(3), p. 66.
- (115) H. Schnecko, *Kautschuk + Gummi + Kunststoffe* 34 (1981), 183.
- (116) G. S. Whitby and M. Katz, *Ind. Eng. Chem.* 25 (1933), 1204, 1338.
- (117) 加藤邦興『化学の技術史』(オーム社、東京、昭55), p. 168.
- (118) 岡田時夫『化学工業』, 4 (1953), 69.
大作 勝『本誌』, 16 (1989), 38.
- (119) B. P. 24, 790 (1910年10月25日出願)
- (120) B. P. 338, 534 (1929); B. P. 340, 474 (1929);
B. P. 347, 802 (1931) など
- (121) Ger. P. 254, 672 (1912); Ger. P. 255, 129 (1912)
- (122) B. P. 283, 840 (1927); B. P. 307, 938 (1928);
B. P. 312, 949 (1928); B. P. 349, 499 (1931)
など
- (123) B. P. 339, 255 (1929); B. P. 342, 314 (1929);
B. P. 349, 499 (1930) など
- (124) U. S. P. 1,973,000 (1934登録); Ger. P. 658, 172 (1938登録)
- (125) E. Konrad, *Angew. Chem.* 62 (1950), 491.
- (126) H. Hopff, *Kunststoffe* 49 (1959), 494.
- (127) K. ウィンナッカー著、児玉信次郎、関 英夫、
向井幸雄(共訳)『化学工業に生きる』(鹿島研究所出版会、東京、昭49), 55 および 95頁.
- (128) Bayer 社の資料.

- (129) E. Konrad, O. Bächle u. R. Signer, *Liebigs Ann. Chem.* **47** (1929), 276.
- (130) E. Konrad, *Kautschuk* **13** (1937), 1.
- (131) 古川 安『本誌』, **1987**, 3, 144.
- (132) ヴィクトル・ファリアス著, 山本 尤(訳)『ハイデガーとナチズム』(名古屋大学出版会, 名古屋, 1990), 153-156頁。
- (133) *Staudinger Archiv B-* II-76 (Deutsches Museum).
- (134) R. Pummerer, G. Matthäus u. L. Socias-
- Vinalis, *Ber.* **69** (1936), 170.
- (135) R. Pummerer, *Kautschuk* **10** (1934), 149.
- (136) K. Ziegler u. K. Bähr, *Ber.* **61** (1928), 253.
K. Ziegler, F. Dersch u. H. Wollthan, *Liebigs Ann. Chem.* **511** (1934), 13.
K. Ziegler, H. Grimm u. R. Willer, *Ibid.* **542** (1939), 90.
- (137) H. Staudinger u. Hj. Staudinger, *J. prakt. Chem. N. F.* **162** (1943), 148.

H. Staudinger's Research and the Birth of the Polymer Industry in Germany: Staudinger's Research on the Constitution of Rubber and the Path to Synthetic Rubbers (Part 2)

Atsushi TANAKA
(Polyplastics Co.)

In his study of natural polymers, H. Staudinger took a circuitous way by investigating on synthetic polymers as models, such as polyvinyl acetate, polyoxymethylene, and polystyrene, while he continued to study on thermal reactions of rubber, which were complicated by decomposition, cyclization, and cross-linking. Then he established the viscosity law for the determination of molecular weight of polymers.

Thus, he published concretely the molecular weight of rubber at length, though K. H. Meyer had opinions in opposition in long time. Thereafter Staudinger continued to investigate rubber chemistry under support

of I. G. Company until 53rd report was published.

On the other side, I. G. Company decided to start research and development of synthetic rubber in 1926, under the stimulation by Staudinger's research (based on the macromolecular theory) at that time. After they had hard times, they succeeded to erect and operate a large-scale production plant of synthetic rubber, Buna-S, and -N in 1937-1938. E. Konrad, an old acquaintance with Staudinger, worked as a leading spirit for synthetic rubbers, while encouraging his teacher's research.

(寄 著)

L. クライゼンとその人名反応

竹林松二*

はじめに

有機化学の反応にはドイツの化学者クライゼン (Reiner Ludwig Claisen, 1851–1930)^{注1)} の名を付した反応がいくつか知られている。クライゼン転位もそのひとつであって、今年はこの反応が発見されてからちょうど 80 年になる。

よってクライゼン転位に関する研究の経過を中心に、クライゼンの名を付したその他の反応についてもその概要を述べようと思う。

1. クライゼンの略歴と業績¹⁾

1.1 クライゼンの略歴

クライゼンは北ドイツ、ケルン (Köln) の生まれ。1869年、生地のギムナジウムを卒業後、ボン大学に入学してケクレ (Friedrich August Kekulé, 1829–1896) のもとで化学を学んだ。しかし、普仏戦争でドイツ軍の衛生隊員として徴集されたために、彼の学業は中断された。その後ゲッテンゲンでヴェーラー (Friedrich Wöhler, 1800–1882) の研究室で働いたが、1872年、ボン大学に戻り、1874年メジチルオキシド並びにフォロンに関する研究²⁾で博士の学位を得た。

1875–1882年、ボン大学でケクレの助手並びに講師。

1882–1885年、イギリスに渡ってマン彻スターのオウエンス大学で教えた。

注1) 一般に「クライゼン」と呼ばれているので、そのように記すが、R. アンシュツフはこの発音を“Cläsen”と同じ発音（クレーゼン）であると記している¹⁾

1992年11月24日受理

* 大阪大学名誉教授
連絡先



Ludwig Claisen

Fig. 1 L. クライゼン

ドイツに戻って次の4年間 (1886–1890), ミュンヘン大学のバイヤー (Johann Friedrich Wilhelm Adolf von Baeyer, 1835–1917) の研究室で講師として働いた。

そして1890–1897年、アーヘン工科大学で有機化学を教え、1893年、減圧蒸留に使用するクライゼン・フラスコを考案した³⁾。

さらに1897–1904年、キール大学準教授、1904–1907年、ベルリン大学のフィッシャー (Emil Fischer, 1852–1919) の研究室に一室を与えられ、名誉教授 (Honorarprofessor) となった。

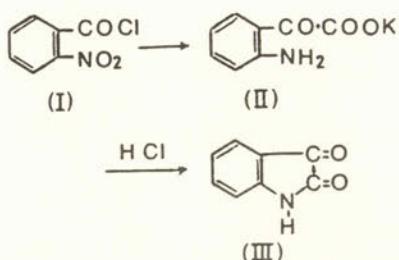
1906年、クライゼンはライン川沿いの町ゴデスベルク (Godesberg) を永住の地と定め、翌年ここに自己の研究室を設立して、1926年まで有機合成に関する研究を続けた。

1.2 クライゼンの業績

クライゼンは若い時代から有機合成の分野で顕著な業績を挙げ、晩年までに彼の名を付した反応がいくつか知られている。

a) クライゼン・シャドウェル反応 (1879)⁴⁾

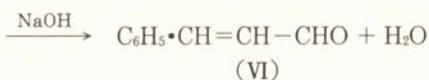
o-ニトロベンゾイル・クロリド (I) からアミノフェニルグリオキシル酸のカリウム塩 (II) を誘導し、過剰の塩酸と処理してイサチン (III) に変える反応である。



b) クライゼン・シュミット縮合 (1881)⁵⁾

芳香族アルデヒド (IV) と脂肪族アルデヒド (V) またはケトンをアルカリで縮合させて α , β -不飽和アルデヒド (VI) またはケトンを生成する反応である。

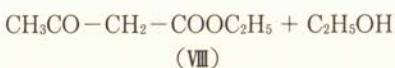
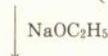
例 $\text{C}_6\text{H}_5\text{-CHO} + \text{H}_2\text{CH-CHO}$



c) クライゼンのエステル縮合 (1887)⁶⁾

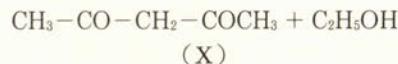
2分子のカルボン酸エストル (VII) が NaOC_2H_5 の存在で縮合して β -ケト酸エストル (VIII) を生成する反応である。

例 $\text{CH}_3\text{-COOC}_2\text{H}_5 + \text{CH}_3\text{-COOC}_2\text{H}_5$



この反応はエストル (VII) とケトン (IX) との間でも起り、 β -ジケトン (X) が得られる。この場合、触媒として NaNH_2 が優れている。

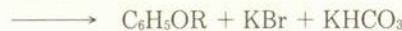
例 $\text{CH}_3\text{-COOC}_2\text{H}_5 + \text{CH}_3\text{-CO-CH}_3$



d) クライゼンのアルキル化 (1913)⁷⁾

アセトン中、無水炭酸カリウムの存在でハロゲン化アルキル (RX) を用いてアルコールまたはフェノール (XI) をアルキル化する反応である。

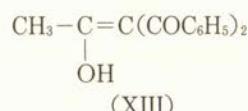
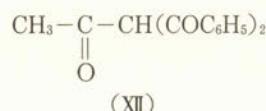
例 $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH} + \text{RBr} + \text{K}_2\text{CO}_3$



e) クライゼン転位 (1912)

この反応は O-アリル化合物が C-アリル化合物に転位する反応で、クライゼンが深い関心を示したもののが一つで、1926年彼の最後の論文 (125篇中) でこの反応の機構を論じている。よって次節に詳述する。

このほか、互変異性に関しても研究を進め、1896年ジベンゾイルアセトンのケト型 (XII) とエノール型 (XIII) を単離して、次式のように表した⁸⁾。



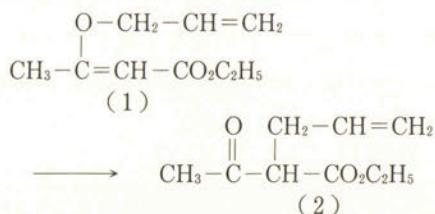
両者とも固体であって、ケト型 (XII) は融点 $109-110^\circ\text{C}$ 、中性であって、アルカリの作用でエノール型に変わる。他方、エノール型 (XIII) は融点 $80-85^\circ\text{C}$ 、酸性を示し、 FeCl_3 反応は陽性で、50% アルコール水と熱するとケト型に移行することを示した。

そして広く、1,3-ジケトン類のケト・エノール互変異性体の構造について論究した。

2. クライゼン転位に関する研究の経過⁹⁾

2.1 クライゼン転位の発見

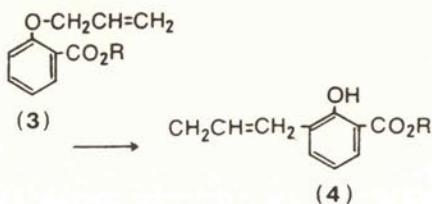
1912年、クライゼンは NH₄Cl の存在で O-アリルアセト酢酸エステル (1) が 150~200°C において高収率で C-アリル誘導体 (2) に転位することを見いだした (Scheme 1)¹⁰⁾.



Scheme 1

つづいて芳香族化合物でもフェノール類のアリルエーテルが約 200°C で容易に転位してオルト・アリルフェノール類に変わる (オルト転位) ことを確認した。

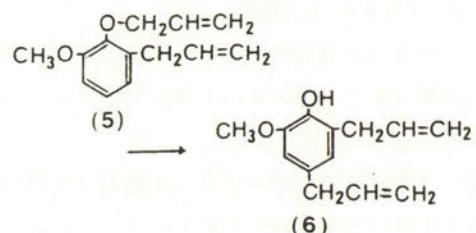
例えば O-アリル・サリチル酸エステル (3) は 230°C で 3-アリル・サリチル酸エステル (4) に転位する (Scheme 2)¹⁰⁾.



Scheme 2

さらにクライゼンはナフトール類のアリルエーテルについても同様の転位を認めている¹⁰⁾.

翌1913年、クライゼンは種々の置換基を有するフェノールのアリルエーテルについて検討し、2個のオルト位に置換基がある場合には、アリル基が p-位に転位することを見いだした (パラ転位)^{11a)}. 例えば 2-アリル-6-メトキシ・フェノールのアリルエーテル (5) は 200°C で 2, 4-ジアリル・6-メトキシ・フェノール (6) を生成する (収率 83%, Scheme 3)^{11b)}.

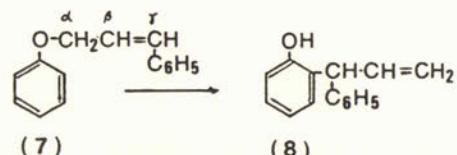


Scheme 3

2.2 クライゼン転位の機構

a) オルト転位

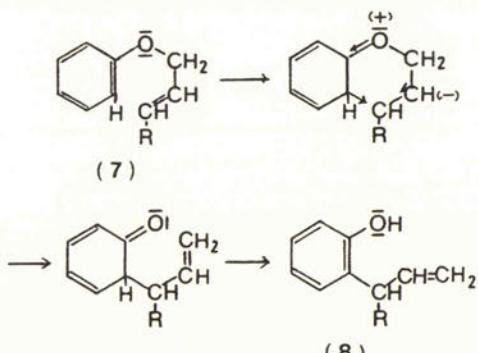
フェノール類のアリルエーテルのオルト転位について、1925年クライゼンはシンナミル・フェニルエーテル (7) から 2-(α-フェニルアリル)・フェノール (8) が生成することを認め (収率 58%, Scheme 4)¹²⁾,



Scheme 4

この反応では、(7) のアリル基の γ-炭素がベンゼン環のオルト位に結合し、α-炭素が酸素原子から分離することを示した¹³⁾.

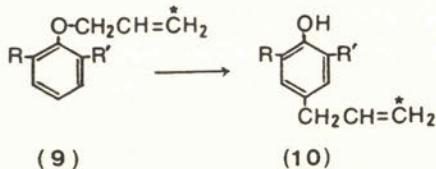
その後アメリカ、ロチェスター大学のターベル (D. Stanley Tarbell) らはクライゼン転位に関する速度論的研究を行い、この反応が一次反応に従う分子内転位であることを明らかにした¹⁴⁾. 現在では Scheme 5 のように表されている¹⁵⁾.



Scheme 5

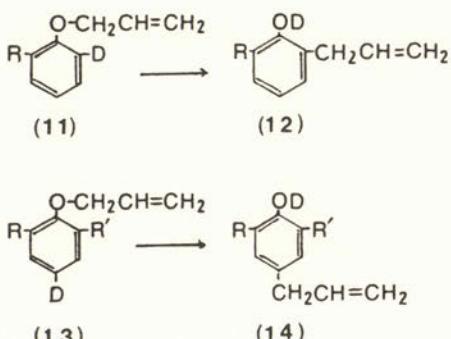
b) パラ転位

パラ転位も一次反応に従うが¹⁶⁾、オルト転位の場合と違つてアリル基の反転は見られない¹⁷⁾。このことは置換基のないアリル基の γ -位 C を ^{14}C でラベルしたフェノール類のアリルエーテル (9) のパラ転位生成物 (10) からも認められている¹⁸⁾ (Scheme 6).



Scheme 6

なお、ベンゼン環のオルト位またはパラ位のHをDに置換したフェノール類のアリルエーテルについては、(11)から(12)が、(13)から(14)の生成することが知られている¹⁹⁾ (Scheme 7).

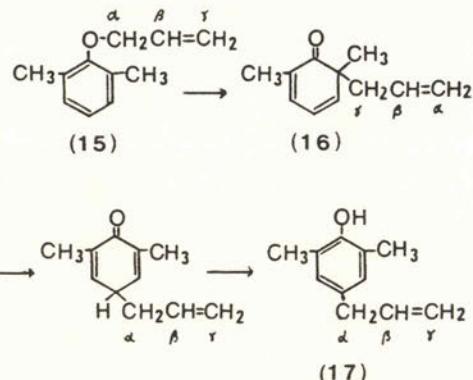


Scheme 7

パラ転位の機構について、かつてキール大学のムム (Otto Mumm) はアリルエーテルのアリル基がフリーラジカルとして分離し、再結合するという説を出したが²⁰⁾、1953年になってアメリカ、コロンビヤ大学のコンロイ (Harold Conroy) らは無水マレイン酸の存在で、2,6-ジメチル・フェニル・アリルエーテル (15) の転位を実施し、少量ではあるが6-アリル・2,6-ジメチルシクロヘキサ2,4-ジエノン (16) と無水マレイン酸との付加物 (Diels-Alder 付加物) を得、これを加熱する

とパラ転位生成物 2,6-ジメチル-4-アリルフェノール (17) に変わることを見いたした²¹⁾.

この結果に基づいてコンロイらはジエノン(16)を中間体とするパラ転位機構を提出した(Scheme 8). この機構は現在一般に認められている²²⁾.



Scheme 8

おわりに

以上、クライゼンの履歴と合成化学上の業績について略述したが、R. アンシュツはクライゼンを高く評価し、「彼は第一級の才能の持ち主であって、数々の発見によって有機化学の発展に大きく貢献した」と述べている。

文 献

- 1) 回想録: R. Anschütz, *Ber.* **67** A (1936), 97.
 - 2) L. Claisen, *Ber.* **7** (1874), 1168; Idem, *Ann.* **180** (1876), 1.
 - 3) L. Claisen, *Ann.* **277** (1893), 177.
 - 4) L. Claisen and J. Shadwell, *Ber.* **12** (1879), 350.
 - 5) L. Claisen and A. Claparede, *Ber.* **14** (1881), 2460; J. G. Schmidt, *ibid.* **14** (1881), 1459.
 - 6) L. Claisen *et al.*, *Ber.* **20** (1887), 651, 655, 2178, 2188.
 - 7) L. Claisen and O. Eisleb, *Ann.* **401** (1913), 29.
 - 8) L. Claisen, *Ann.* **291** (1896), 25.
 - 9) 総説: D. S. Tarbell, *Organic Reactions*, Vol. II (New York: John Wiley and Sons Inc., 1944), p. 1.

- 10) L. Claisen, *Ber.* **45** (1912), 3157.
- 11) a) L. Claisen and O. Eisleb, *Ann.* **401** (1913), 21.
b) *Idem, ibid.*, **401** (1913), 55.
- 12) L. Claisen and E. Tietze, *Ber.* **58** (1925), 275.
- 13) L. Claisen and E. Tietze, *Ber.* **59** (1926), 2394.
- 14) J. F. Kincaid and D. S. Tarbell, *J. Am. Chem. Soc.* **61** (1939), 3085.
- 15) 例えば E. Müller, *Neuere Anschauungen der Organischen Chemie* (Berlin: Springer Verlag, 1940), p. 337.
- 16) D. S. Tarbell and J. F. Kincaid, *J. Am. Chem. Soc.* **62** (1940), 728.
- 17) O. Mumm and F. Müller, *Ber.* **70** (1937), 2214.
- 18) J. P. Pyan and P. R. O'Connor, *J. Am. Chem. Soc.* **74** (1952), 5866; F. Kalberer, K. Schmid and H. Schmid, *Helv. Chim. Acta* **39** (1956), 555.
- 19) G. B. Kistiakowsky and R. L. Tichenor, *J. Am. Chem. Soc.* **64** (1942), 2302.
- 20) O. Mumm, H. Hornhardt and J. Diederichsen, *Ber.* **72** (1939), 100.
- 21) H. Conroy and R. A. Firestone, *J. Am. Chem. Soc.* **75** (1953), 2530; *Idem, ibid.*, **78** (1956), 2290.
- 22) *Molecular Rearrangements*, Ed. by P. de Mayo, Vol. 1 (New York: Interscience Publishers, 1963), p. 660.

L. Claisen and His Name Reactions

Matsuji TAKEBAYASHI

(Prof. Emer., Osaka University)

Ludwig Claisen (1851–1930) was born in Köln, Germany. He entered the University of Bonn in 1864, where he studied chemistry under A. Kekulé, and afterward received the doctorate there in 1874.

Claisen taught at Owens College in Manchester, England, from 1882 to 1885. During the next four years he worked in A. von Baeyer's laboratory in München. Claisen was a professor of chemistry at Aachen Technical College from 1890 to 1897, and at the University of Kiel from 1897 to 1904, and then worked in E. Fischer's laboratory in Berlin from 1904 to 1907. In 1907 Claisen

established his own laboratory in Godesberg, continuing work in organic syntheses until 1926.

Claisen made remarkable contributions to the field of organic syntheses. Some reactions bearing his name are shown as follows:

Claisen-Shadwell Reaction (1879),
Claisen-Schmidt Condensation (1881),
Claisen Ester Condensation (1887),
Claisen Rearrangement (1912),
Claisen Alkylation (1913),

Finally, the discovery and reaction mechanism of the Claisen rearrangement have been explained historically.

会員増加へご協力のお願い

本会の会員を一人でも増やすためにご協力をお願いします。周りの方へ是非入会をお勧め下さい。入会の手続きは、振替用紙に必要事項を記入し、入会金(1,000円)と年会費(6,000円)を払い込んでいただければ完了します。なお、入会案内を作成しましたので、事務局宛て請求下さい。

[特集：技術史シリーズ 第3回]

合成ゴムの技術とその工業

佐 伯 康 治*

1. はじめに

20世紀にはいって、合成ゴムの技術は高分子科学をリードする形で展開した。それにともなって合成ゴム工業が成立した。

第2次大戦後は、合成ゴムの原料を供給する石油化学工業の展開と世界のゴム需要の増加とともに、合成ゴム工業は世界的な規模で拡大し、1991年における世界の合成ゴム生産量は925万tに達している。

しかし、1990年代にはいって、先進国における自動車需要の飽和化や東西の冷戦の終結によって、合成ゴムの需要は停滞局面を迎え、合成ゴム工業は成熟段階にはいった。

こうした合成ゴムについて、合成ゴム開発の歴史的概要、天然ゴムと合成ゴムの関係、ゴムと戦争とのかかわり、ゴムと自動車との関係などを検討し、合成ゴムの現状と今後の方向を探ることを試みる。

2. 合成ゴムの技術の流れ^{1),2)}

合成ゴムの歴史の概要を示すと表1のようになる。

コロンブスがアメリカ大陸を発見した時、現地人が天然ゴムの塊をボールにして遊んでいたのを知ったのが、人類がゴムを認知した最初ではないかといわれている。

1826年、Faradayは天然ゴムの化学分析によって、その組成がC₅H₈に相当することを発表し、

DaltonやLiebig等も天然ゴムの乾留成分を研究した。1860年Williamsは天然ゴムの成分のC₅H₈を単離して“イソプレン”と命名し、これが空気の存在で突発的にスポンジ状の弾性体になることを発見した。この発見が合成ゴムの最初である。1882年Tildenはイソプレンに構造式を与え、ジエン系であるとした。

一方、この時期には天然ゴムの利用技術が開発されていった。1839年Goodyearは天然ゴムの硫黄による加硫法を発見して品質を改良し、実用に耐えるものとなった。Dunlopは自動車用の空気入りタイヤを発明して天然ゴムの需要は大きく伸び、1875年には9,000t、1900年には4.8万tの天然ゴムが使われた。

合成ゴムの研究は20世紀にはいるとイソプレンなどのジエン系オレフィンを原料にしてゴム状物質をつくることがドイツ、イギリス、ソ連などで

表1 合成ゴムの歴史の概要

1826	Faraday, 天然ゴム分析, C ₅ H ₈ の分子式を提示
1913	Holt, イソプレン-Na触媒-合成ゴム発明
1914	Bayer社 ジメチルブタジエン-Na触媒-合成ゴム発明
1914	第1次世界大戦: 2,350t生産
1925	Staudinger 高分子の概念
1931	Carothers クロロブレンゴム発明
1933	IG社 乳化重合SBR, NBR発明
1937	ドイツ BunaS, BunaN工業化
1939	第2次世界大戦
1941	アメリカ GR-S, GR-N, GR-I工業化
1954	Ziegler-Natta 立体規則性重合 Goodrich社 cis-1, 4 IR発明(Ziegler触媒)
1955	Shell社, Firestone社, Li触媒IR発明(リビング触媒)
1956	Goodrich社など, cis-1, 4 BR発明(Co, Ni系触媒)
1957	Natta, EPR発明(V系触媒)

1992年9月4日受理

* 日本ゼオン(株) 常務取締役

連絡先 〒100 東京都千代田区丸の内2-6-1

試みられた。1913年 Badische Anilin und Soda Fabrik の Holt はイソプレンをナトリウム触媒によって炭酸ガス中で反応させると、加工性のよい実用的な合成ゴムが得られることを発見した。

1914年、第1次大戦を惹起したドイツでは、連合国への海上封鎖により天然ゴムの入手ができなくなり、合成ゴムの工業化をはかった。当時ドイツで比較的合成が簡単で、経済的であったアセチレンからのジメチルブタジエンを原料としたメチルゴムの製造を選び、Bayer 社が工業化した。大戦中に 2,350t を生産し、蓄電池用電槽、軽気球のゴム引布、パッキン、電線被覆、そしてタイヤなどに用いた。

このような合成ゴムの製造技術の開発が、Staudinger による高分子や重合という概念の確立前であったことは非常に興味深く、理論である科学よりも経験の積み重ねである技術が先行することのある好事例である。

1925~31年、Staudinger の提唱した高分子の概念が容認され、合成ゴムの科学的な根拠がえられると、再び世界各地で合成ゴムの研究がはじめられた。

ドイツでは、メチルゴムの性質が天然ゴムに比して劣ったことや加工が困難であること、さらに原料としてアセチレンからのブタジエンの合成法が確立されたことから、メチルゴムにかわってブタジエンを用いる合成ゴムの研究が主流となった。最初はナトリウム触媒によるブタジエンの塊状重合が試みられた。しかし、ゴムの樹が生化学的にラテックスの形で天然ゴムを生成することに倣って、乳化剤を用いて、ブタジエンを乳化分散させ、重合する乳化重合が試みられ、重合速度が早く、反応の制御も容易になることがわかった。乳化重合による種々のビニル化合物との共重合も研究され、1933年 IG 社の Tschunkur と Bock は品質と加工性が天然ゴムに近いブタジエン-ステレンの共重合体 (SBR) を発明した。これをドイ

ツでは Buna S と呼んだ。ブタジエン-アクリロニトリル共重合体 (NBR) も発明され Buna N と呼び、耐油性のゴムとして期待された。1937年に Buna S と Buna N は IG 社によって工業生産が開始され、第2次大戦が始まった1939年には 6 万 t/年の合成ゴムの生産能力をもつようになっていた。

アメリカでは、ナイロンの発見者である du Pont 社の Carothers は、ナイロンの発見前の1931 年にはクロロプレンゴムを発明した。また、1939 年 Standard Oil 社はイソブチレンと少量のイソプレンの共重合体のブチルゴムの工業化を行った。Standard Oil 社は石油を原料とする合成ゴムの研究に力を入れ、IG 社の Buna S, Buna N にも興味をもち、第2次大戦の寸前に IG 社との間で、ブチルゴムと Buna 系ゴムの製造技術の交換契約を締結した。

第2次大戦に入ると、アメリカ政府は国防計画の一環として合成ゴムの生産を促進させるため、Standard Oil 社が持っている Buna S, Buna N の権利を、Firestone 社、U. S. Rubber 社、Goodrich 社、Goodyear 社に分権し、国家管理のもとに合成ゴムを製造した。SBR は GR-S (Goverment Rubber-S), NBR は GR-A, ブチルゴムは GR-I と呼ばれた。合成ゴムの生産は日本の参戦でさらに促進され、1945年の終戦の年には 67 万 t が生産されるまでになっていた。この間、大量のゴムの原料を確保するために、原料源を石油に求めるための石油化学の技術開発が行われた。これはのちの石油化学工業の技術的基礎を築くことになった。

第2次大戦の終了後、需要の低下と天然ゴムの供給によって合成ゴムの生産は一時減少するが、1955年、アメリカ政府は戦争中国家管理の下に統制していた合成ゴム工場を民間に払い下げた。それ以後払い下げを受けた民間企業は技術の改良をはかり、世界の合成ゴムの需要の高まりの中で、

世界各国に技術の供与を行った。これによって各国の合成ゴム工業が育成されていった。

日本においては、第2次大戦前から、ドイツなどの情報をもとに合成ゴムの製造についての研究を行っていた。大阪工業試験所、京都大学、東京工業大学などでモノマーの合成から各種の合成ゴムの製造研究が行われた。戦争中は軍需として特殊ゴムの製造が望まれ、クロロブレンゴムが3社、NBRが4社で生産されたが、最盛期の1944年で230tにすぎなかった。しかし、この間の研究と工業化の経験は、戦後のポリ塩化ビニルをはじめとする高分子工業の展開に役立つことになった。

以上の段階までが、合成ゴム技術の第1期に相当するものである。

第2期は、1954年Ziegler-Natta触媒の発見を契機に展開された立体規則性ゴム（ステレオゴム）を中心とした時期である。

ドイツのZieglerは有機金属の研究中、1949年から1954年にかけて $R_3Al-TiCl_4$ の2元系触媒を用いると常圧でエチレンが重合することを発見した。これが“Ziegler触媒”として世界の注目を浴び、ただちに世界の各地で研究が始まった。イタリアのNattaはこの触媒の $TiCl_4$ の代わりに $TiCl_3$ を用いてプロピレンを重合し、そのポリマーの分子構造が立体規則性をもつことを発見し、立体規則性重合という概念を発表した。こうした研究ブームの中で、アメリカのGoodrich社の研究所ではZiegler触媒を使って、エチレンと他のモノマーとの共重合の研究中、イソブレンをコモノマーとして用いた時、たまたまゴム状物が得られ、その分子構造が天然ゴムと同一のシス-1,4結合を98%もったポリイソブレンであることを発見し、合成天然ゴムの成功として1954年12月に発表した。これ以後立体規則性重合の研究は爆発的に拡がり、1955年Goodyear社でも独立にZiegler触媒によるシス-1,4ポリイソブレンの重合に成功した。Shell社およびFirestone社は

それぞれ独立に、Ziegler触媒とは異なるが、Li系触媒によって92%のシス-1,4ポリイソブレンが得られることを発見した。

こうした中で、ブタジエンのシス-1,4への重合研究も進められた。Ziegler触媒ではブタジエンのシス-1,4結合は50~60%にしかならず、むしろトランス-1,4結合が生成し易いことから触媒の改良研究が進められ、1956年になるとアメリカではGoodrich社、Phillips社、Shell社、ドイツではHüls社、イタリアではMontecatini社、SNAM社、日本ではブリヂストン社などが、Ziegler触媒を改質したシス-1,4ポリブタジエンの新しい触媒を、それぞれ、しかも時期をほぼ同じくして発見した。

天然ゴムと同じようなミクロ構造であるシス-1,4結合を90%以上もつポリイソブレン(IR)とポリブタジエン(BR)は“ステレオゴム”と呼ばれて世界の企業の注目をうけ、ちょうど欧、米、日における石油化学の開花と重なって、急激に工業化のブームがまき起こり、まずはモノマーの入手しやすく、安価であるBRの工業化が先行することになった。

立体規則性重合の提唱者であったNattaは、イタリアのMontecatini社の研究陣とともに、エチレンと他のオレフィンとの共重合の研究を行い、エチレンとプロピレンの共重合によって新しいゴムがえられることを発見し、1957年パリットプラントでの製品を“C23ゴム”として市販を始めた。後にこれに硫黄加硫できるようにジェン系のモノマーを3元共重合して、EPDMとなっただ。これは本格的なゴムとして工業化の対象となり、欧、米、日で直ちに工業化された。

このようにZiegler-Natta触媒が発見されて以降の1950年代後半は、まさに新しい合成ゴムの技術開発に世界中が沸いた時期であった。

また、シス-1,4ポリイソブレンの触媒の一つであるLi系触媒は、ブタジエンに対しては立体

規則性を与えたかったが、重合反応末端が常に活性である“リビング重合”という特性をもつ触媒であることから、ブタジエンとスチレンの共重合、あるいはそれぞれのモノマーがブロックに連なったブロック共重合が可能となり、新しいSBRの触媒として注目されるようになり、これが溶液重合によってつくられることから、従来の乳化重合SBR(E-SBR)に対して溶液重合SBR(S-SBR)として新しい合成ゴムの領域をもつことになった。

EPDMやS-SBRの発見以後、合成ゴムとして基本的に大きな新しい展開はない。しかし、市場ニーズの高度化や多様化に対応して、アクリルゴム(ACM)、エピクロロヒドリンゴム(ECO)などの新しい合成ゴムも生まれた。また、既存の合成ゴム多くの改良がなされて今日に至っている。

以上のように、合成ゴムの発見とその工業化は高分子科学とその技術の先導役として、20世紀の前半から後半にかけてかなり華々しい展開をして来たということができる。

表2に第1期と第2期の合成ゴムの種類とそ

の製造プロセスの種類、そして1990年の日本での出荷量を示す。

3. 合成ゴム工業の流れ

合成ゴムの工業化は、前節で述べたように第1次大戦中のドイツにおいてはじめて試みられた。大戦後に天然ゴムの供給が再開されたことと、メチルゴムの品質も悪かったことのために生産は中止された。その後は高分子科学をベースにした系統的な合成ゴムの研究に重点が移ったが、ドイツは第2次大戦前にはすでにIG社でBuna S、Buna Nの工業生産を開始していた。

一方、アメリカは第2次大戦に入ると国策として、合成ゴムの管理開発会社であるRubber Reserve Co.を設立して、GR-S、GR-A、GR-Iの工業化と生産の促進をはかっている。

乳化重合SBRの工業化の系譜を示すと図1のようになる³⁾。

1945年の終戦時の世界の合成ゴムの生産能力は、アメリカ75万t、カナダ6万t、ソ連15万t、ド

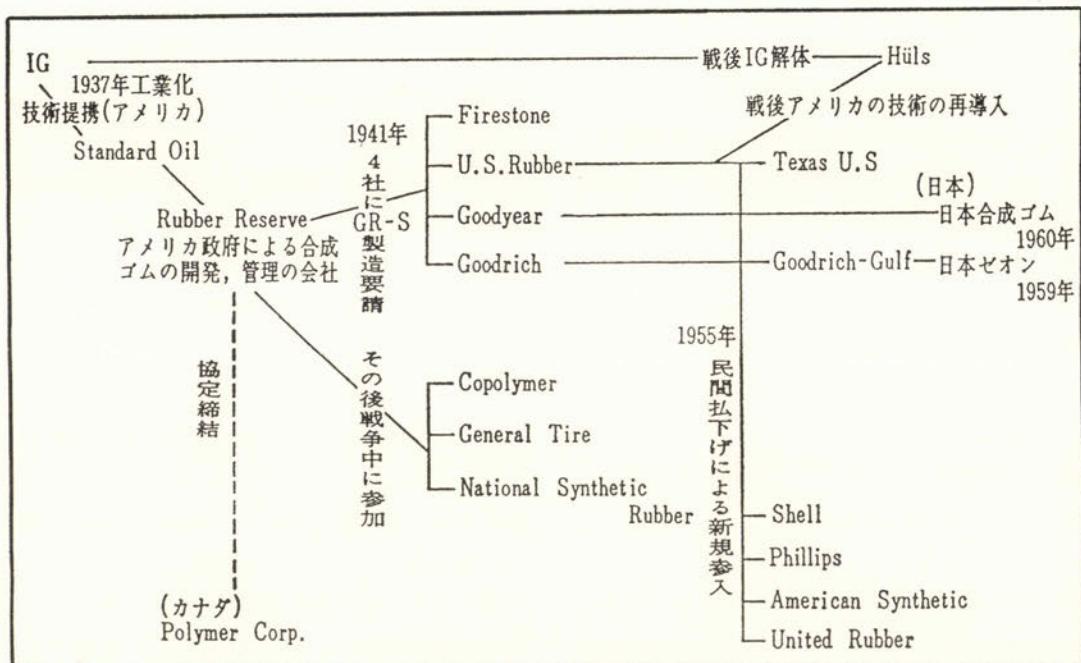
表2 合成ゴムの種類

合 成 ゴ ム		記 号	製造プロセス	1990年* 日本での出荷量
第1期	ブタジエン-スチレン共重合体	E-SBR	乳化重合(ラジカル触媒)	586(千トン)
	ブタジエン-アクリロニトリル共重合体	NBR	乳化重合(ラジカル触媒)	32
	イソブチレン-イソブレン共重合体 (ブチルゴム)	IIR	溶液重合(カチオン触媒) -100°C重合	60
	ポリクロロブレン(クロロブレンゴム)	CR	乳化重合(ラジカル触媒)	47
第2期	ポリブタジエン	BR	溶液重合(Ziegler系触媒 Li系触媒)	218
	ポリイソブレン	IR	溶液重合(Ziegler系触媒 Li系触媒)	50
	エチレン-プロピレン-ジェン共重合体	EPDM	溶液重合、塊状重合 (Ziegler系触媒)	118
	ブタジエン-スチレン共重合体	S-SBR	溶液重合(Li系触媒)	E-SBRに含む
	スチレン-イソブレン-スチレン共重合体	SIS	溶液重合(Li系触媒)	
	スチレン-ブタジエン-スチレン共重合体	SBS	溶液重合(Li系触媒)	
	ポリアクリル酸エステル系共重合体	ACM	乳化重合(ラジカル触媒)	その他として** 27
	エピクロロヒドリン系共重合体	ECO	溶液重合(Ziegler系触媒)	

* 固体ゴムとラテックスゴムを含む

** この他の合成ゴムとしてシリコンゴム、フッ素ゴム、ウレタンゴムがあるが、現在その量は少ない

内 国 出 荷 計	1,138千トン
輸 出 計	279千トン
合 計	1,417千トン

図1 乳化重合 SBR の技術の系譜³⁾

イツ15万tとみられている²⁾。ドイツは戦後連合国側の合成ゴムの製造禁止令によって中断することになる。ソ連は大戦中はナトリウム触媒によるポリブタジエンゴム（SKゴム）が工業化されていたが、戦後は東ドイツの旧IG社の2工場を接收し、技術者と設備をソ連に移して、Bunaゴムの技術を吸収しながら独自に展開していった。

1955年、アメリカで合成ゴムが民間に払い下げられて以降、合成ゴム工業が世界に展開してゆくことになるが、ここで重要なことは、合成ゴムの原料の問題である。大戦中のドイツはブタジエンの原料を石炭からのアセチレンとした。ソ連では醸酵アルコールから製造した。

しかし、産油国であるアメリカは大戦中、合成ゴム、合成繊維（ナイロン、ポリエチレン）、プラスチック（高圧法ポリエチレン、ポリスチレン、ポリ塩化ビニル）の原料を石油からうるための技術開発を行い、石油化学技術の体系を確立した。

戦後のちょうどこの時期は、国際石油資本（メジャー）が、中東、中南米、アフリカでの油田開発に成功し、戦後アメリカの石油消費の増加に対応しようとしていた時である。しかし、高価格を維持していたアメリカ国内への持ち込みは、国内石油資本の抵抗にあい、メジャーはヨーロッパ、日本へ安価な石油を持ち込むことになる。ここで、アメリカについて、ヨーロッパと日本で、エネルギーの石炭から石油への転換がはじまり、石油精製工業が展開した。その中で余剰の粗ガソリン（ナフサ）を原料に用いる石油化学工業が育成されてゆくことになる。

ナフサの熱分解によって生成するC₄留分からブタジエン、エチレンとベンゼンからスチレン、プロピレンからアクリロニトリルが生産され、ナフサ分解成分の総合利用をはかる石油化学にとって、合成ゴムはプラスチックと共に主要な役割をもつことになる。

図1には日本における日本合成ゴムと日本ゼオ

ンの技術の系譜が示されているが、日本合成ゴムは1960年に四日市の石油化学コンビナート、日本ゼオンは1959年川崎の石油化学コンビナートの中に合成ゴムを分担する形で参画し、日本最初の合成ゴムを工業化した。この両石油化学コンビナートはわが国最初のコンビナートであり、その後石油化学工業の発展と共に各コンビナートの中で合成ゴム工業はC₄留分及びC₅留分（イソプレン）を利用する事業として展開することになる。

日本合成ゴムは四日市石油化学コンビナートに続いて鹿島石油化学コンビナートに、日本ゼオンは徳山石油化学コンビナートと水島石油化学コンビナートにそれぞれ進出した。

このように石油化学工業の展開と一緒にになって合成ゴム工業が展開したのは、ヨーロッパにおいても、台湾、韓国、そして中国においても同じであった。石油化学コンビナートの一つに合成ゴム

が組み込まれる形をとっていった。

とくに、合成ゴム技術の第2期の確立期が日本を含めて世界の工業先進国において石油化学工業の展開と重なったため、第2期の合成ゴムの工業化は、その発明と共に世界ではほとんど同時期に工業化されるという状況であった。したがって、世界の合成ゴム工業の生産体制は第1期、第2期の合成ゴムを含めて1970年代にはほぼ確立することになった。

日本における合成ゴムの展開の過程をみると、図2のようになる。生産能力と生産量の推移を示したものである。1960年代モータリゼーションの波と重なって急激に伸びた。1970年にはいると、生産量は頭打ちとなり、生産能力とのギャップは大きくなる（これは稼動率を表している）。とくに第1次（1973年）、第2次（1979年）石油ショックの後で生産量は低下している。しかし、1970年

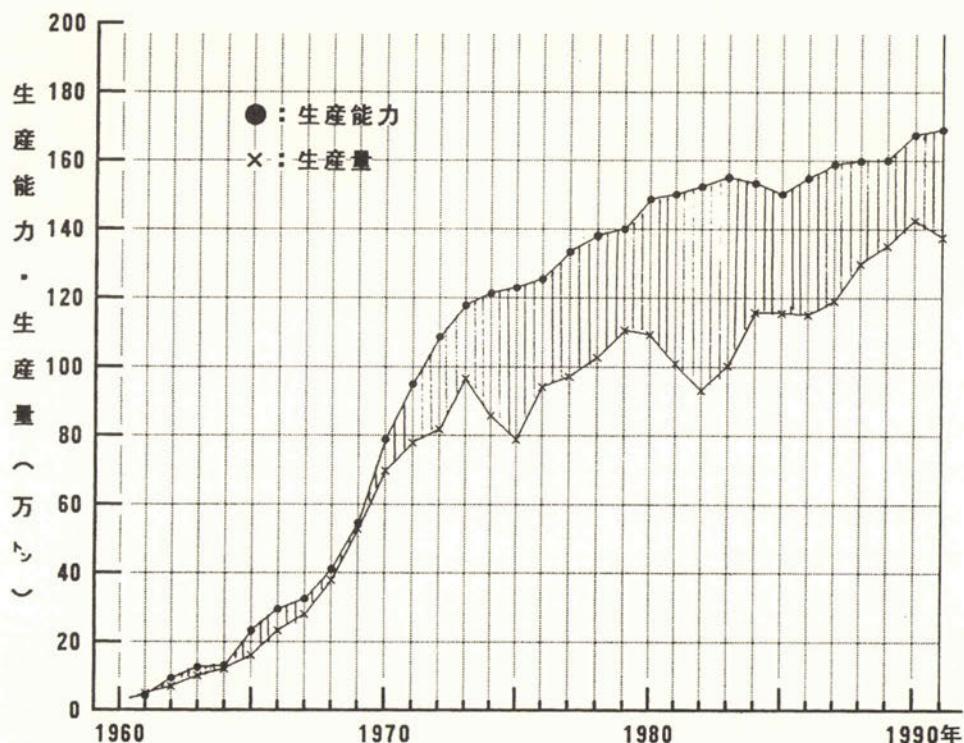


図2 日本における合成ゴムの生産能力と生産量の推移
(化学工業統計年報より)

表3 日本の新ゴム消費量と用途
(1990年)

分類	用 途	使用量 (t)	構成比 (%)
A	自動車用タイヤ・チューブ(自転車含)	1,055,300	58.3
B	ゴムベルト, ホース 防振ゴム, パッキン, ゴム板, ゴムロール等	67,100 236,200 303,300	16.7
C	ゴム履物, 靴底類 ゴム引布, 医療衛生材, 運動競技用 家具, 家庭用品, 事務用品等	26,130 17,070 36,200 79,400	4.4
D	紙加工用ラテックス, プラスチック改質用, 建築資材等	372,000	20.6
	合 計	1,810,000	100.0

(天然ゴム 650,000t 含む)

以降、成長率は低下しているが、全体的には上昇カーブをたどっており、自動車産業と結びついた一つの素材産業として確立されていった。

こうした中で、合成ゴムの需要構造がほぼ定着したものになった。表3はわが国の新ゴム消費の内容を示したものである。自動車用タイヤ・チューブが60%近い需要を占めている。工業用部品としてベルト、ホースなどがあり、17%である。消費者が直接用いるものには履物、靴底、ゴム引布などがあるが、4%程度である。以上のA、B、Cの需要領域はゴムを加工して製品にするいわゆるゴム工業であり、天然ゴム時代から存在するものでその歴史は古い。

ゴム工業以外に用いられるようになったのが、表3のDの需要領域である。接着剤、塗料などの他に高級紙のクレーコート用、プラスチックの改質材、アスファルトの改質材などの用途が開けてきている。これに用いられるゴムはラテックスのままのものが多いが、固形ゴムの利用も多くなりつつある。これらが現在約20%を占めており、今後の展開が期待されるところである。表3の使用量には天然ゴムも含まれている。1990年の180万tの新ゴム消費量の中で、合成ゴム115万t、天然ゴム65万tである。

日本における合成ゴムのメーカーと生産品種を表4に示す。各メーカーはそれぞれの企業戦略の

表4 日本の合成ゴムメーカー

会社名	生産品種
日本合成ゴム	乳化重合 — SBR, NBR 合成ゴムラテックス 溶液重合 — SBR, SBS, SIS — BR, IR — EPDM
日本ゼオン	乳化重合 — SBR, NBR, ACM — H-NBR 合成ゴムラテックス 溶液重合 — SBR, SBS, SIS — BR, IR — CHR アメリカ: NBR, H-NBR, ACM, CHR イギリス: NBR
旭化成	乳化重合 — 合成ゴムラテックス 溶液重合 — SBR, SBS, SEBS, BR
住友化学	乳化重合 — SBR 溶液重合 — SBR, EPDM
宇部興産	溶液重合 — BR
日本エラストマー	溶液重合 — SBR, BR
電気化学 昭和电工・デュポン 東ソー	乳化重合 — CR
三井石油化学 出光・DSM	溶液重合 — EPDM
日本ブチル	溶液重合 — IIR, ハロゲン化ブチルゴム
三菱化成 クラレ	乳化重合 — SBR(カーボン入り) 溶液重合 — IR (日本合成ゴムへ生産委託)
住友ノーガタック 三井東庄化学 武田薬品 大日本インキ化学	乳化重合 — 合成ゴムラテックス

もとに石油化学工業の一つとして、石油化学コンビナートに参画し、合成ゴムのメーカーとなったものであり、ラテックスのみのメーカーも含めて18社にもなっている。

以上のように展開してきた日本の合成ゴム工業であるが、1990年にはいって成熟期を迎えており、合成ゴム工業は技術開発が華やかであつただけに、その工業も大きな可能性を秘めているかのように思われたが、結局、自動車以外に大きな新規需要分野を開拓することができずに、今日までできたといえる。

これはプラスチックが、単なる木材、金属などの代替だけでなく、プラスチックの特徴を生かしたプラスチックとしての需要分野を開拓し、広く用いられるようになったとの対照的である。わが国のプラスチックの国内消費量が1990年で1,143万tであるのに対して、合成ゴムは115万tであり、1/10である。世界全体におけるプラスチッ

クと合成ゴムの比率においても同じである。また、プラスチックの一品種にすぎないポリ塩化ビニルは、同年の消費量が190万tであることからも、合成ゴムの市場の規模が意外に小さいものであることがわかる。

このような合成ゴムの成熟化は世界においても見られる。図3は旧共産圏を除いた、西ヨーロッパ、北米、ラテンアメリカ、アジアとオセアニアでの合成ゴムの生産量の推移を示す。北米においては、1980年代は1970年代より減少しており、アジア(日本を含む)、ラテンアメリカのみに若干の増加がみられるが、総量においては、景気変動による動きはあるが、量的には大きな伸びはみられない。

4. 天然ゴムと合成ゴム

合成ゴム製造技術が著しく発展したとはいえ、全消費量のうち、天然ゴムは世界のゴム消費量の

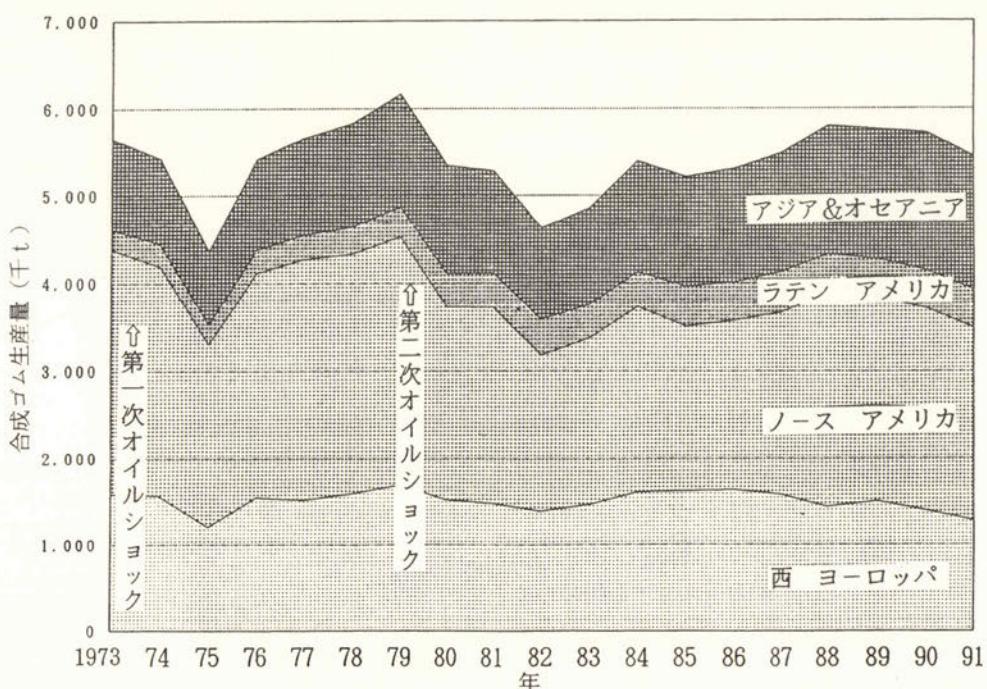


図3 自由圏諸国の合成ゴム生産量推移
[IISRP (国際合成ゴム生産者協会)]

中で35%近くを占めている。とくに最大の新ゴム消費分野の自動車タイヤに多く用いられている。

天然ゴムは、グリーンストレングス（未加硫のゴム配合物の強さ）が大きく、高温領域まで含めた引張り強さが大きい。また高温引裂強度が大きく、耐疲労性がよく、亀裂成長が小さいなどの特徴があり、天然ゴムと同じ分子構造をもつシス-1,4結合の高いIRでもこの特徴はえられない。多くの改良をめざした挑戦が世界的に行われたが、いまだに達成されていない。

天然ゴムの特徴の理由については、より高いシス-1,4結合量、分子鎖中にわずかに含まれているアルデヒド基などの極性基の存在、微量に含まれている蛋白質、脂肪酸類などによるといわれている。しかし、まだよく解明されていないのが現状である。

天然ゴムは合成ゴムよりも引張り強さ、引裂き強度、耐疲労などに優れているため、バス、トラックなどの重荷重のタイヤには現在でも天然ゴムが主成分として用いられる。また、耐久性や高速安定性の要求に応えてラジアルタイヤが普及拡大している。このラジアルタイヤの製造過程で、ゴムのグリーンストレングスの大きいことが要求され、天然ゴムの使用量は再び増加はじめている。

タイヤにおける天然ゴムの使用比率の推移を見てみると、図4のようになる。合成ゴムの品質の安定性や加工性の良さ、耐磨耗性などの特徴ある性質のために、天然ゴム比率は36%台にまで下がったことがあったが、タイヤのラジアル化率の上昇と共に天然ゴム比率は再び上昇し、1985年以降は天然ゴム比率が50%を上回る状況となっている。

しかし、全体の新ゴム消費量においては、日本では1990年で天然ゴム比率は36%である。世界全体でも1962年に天然ゴム比率が50%を切って以降、現在でも35%であるが、タイヤの動向から今後は少しずつ天然ゴム比率が上昇するとみられている。

タイヤにおける天然ゴム比率の上昇は単にラジアル化の影響のみでなく、天然ゴムの大きな価格低下が寄与している。図5に天然ゴムとE-SBRの日本における相対価格の推移を示す。第2次石油ショックの影響で1980年に天然ゴム価格は急上昇する。しかし、1985年以降急速に価格低下をはじめる。これに引きずられる形でタイヤ用のE-SBRの価格も低下し、わが国の合成ゴム工業に大きな痛手を与える。タイヤメーカーは、ラジアル化のみならずタイヤのコストダウンを狙っ

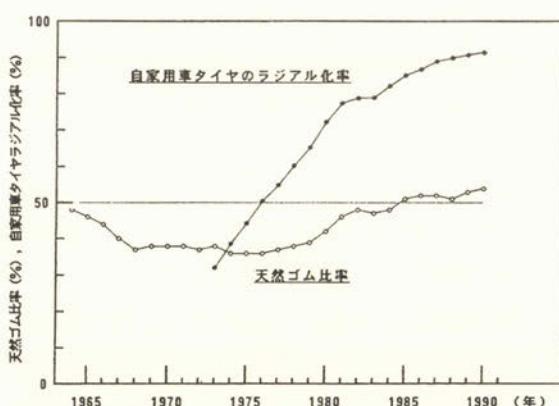


図4 自動車タイヤにおける天然ゴム使用比率と
自家用車タイヤのラジアル化率

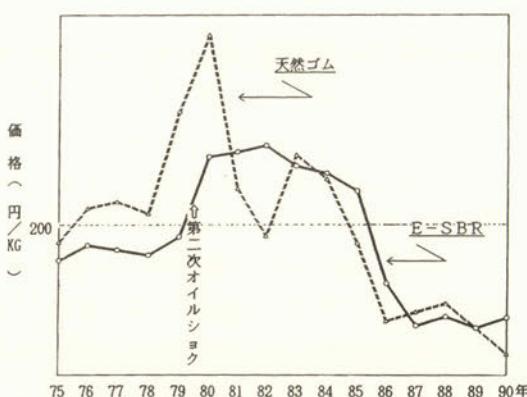


図5 天然ゴムとE-SBRの価格の推移

て、安価な天然ゴムを大幅に使用する生産体制を整えた。こうした複合の結果が、1980年代のタイヤにおける天然ゴム比率の上昇をもたらした。

天然ゴム価格の急激な低下の大きな原因の第1は、円高である。1980年代前半220円／ドル程度だった為替は、1985年以降130円／ドル以下まで円が上昇した。約40%の上昇である。したがって天然ゴムは200円台から、100円台に40%以上低下することになった。

第2は、冷戦の終結である。次節で述べるようにゴムは軍需物資の一つであった。特に軍需で必要な重荷重のタイヤなどに必要な天然ゴムは、国際的緊張によって相場が変動するものであったが、冷戦の終結によって、天然ゴム価格は低位に安定することになった。

しかし、天然ゴムの主要な生産国であるタイ、マレーシア、インドネシア（この3国で世界生産量の75%）は経済の発展途上にあり、労務費の上昇や他の生産物との競合もあって、現在のような低価格では生産が維持できなくなるという生産者の声が起りつつある。今後の天然ゴム価格の推移は合成ゴムおよびゴム工業にとって重要なポイントとなる。

5. ゴムと戦争

ゴムは主要な軍需物質であった。ドイツは1節で述べたように海上封鎖され、天然ゴムの輸入が絶たれることによって、第1次大戦中にメチルゴムの工業化を行った。その後ドイツは合成ゴムの研究に力を入れ、BunaS、BunaNの開発を行い、その工業化を行った後に第2次大戦をはじめている。ヒットラーは合成ゴムの工業化に自信をえて第2次大戦をはじめたともいわれている。

また、アメリカも第2次大戦がはじまるとき、国家管理のもとでGR-S、GR-A、GR-Iの工業化を行い、日本の参戦で日本がアジア方面へ進出し、

天然ゴムと石油の確保の戦略をとった時、一段と合成ゴムの生産を促進し、カナダと共に大量の生産体制を確立している。

ソ連も第2次大戦中は天然ゴムの入手ができない、SKゴムの生産を行って自給体制をとっている。

これらの合成ゴムは、物資輸送用の大型トラックのタイヤ、そして軍用航空機のタイヤやパッキング材などを中心に、戦争には不可欠のものであった。

終戦後、ドイツにおける合成ゴムの製造禁止、1945年から1955年までの10年間もの間、アメリカでの合成ゴムの統制などからも、いかにゴムが軍需物資として重要なものであったかを知ることができる。

合成ゴムが開禁され、世界的に工業化が進められる中でも、東西緊張の中では天然ゴムの国家備蓄が行われていた。戦争がどこかの地点で起こると、ソ連やアメリカでの備蓄がはじまり、天然ゴムの相場が上昇することが起り、世界が安定すると備蓄の放出によって天然ゴムの価格は低下し、合成ゴムの価格に影響を及ぼした。

こうした状況の中で、ソ連は合成ゴム、とくにIRの大規模工場を1970年代初期に建設したと考えられ、天然ゴムからの脱却をはかったものと思われる。天然ゴムに対するIRの物性的欠点は無視したものであろう。詳細は不明であるが、こうしたソ連の動向は、現在ソ連を中心とする東欧旧社会主义国で、1991年の新ゴム消費のうち合成ゴム190万tに対して、天然ゴム15万tであり、95%を合成ゴムが占めていることからもうかがえる⁴⁾。軍需物資としてのゴムの脱輸入、脱天然ゴムの戦略をとったためと思われる。

軍需物資としてのゴムの重要性は、次の事例からも理解される。昨年の湾岸戦争でイラクはソ連の戦闘機を用いたが、「ソ連からのタイヤの供給がない限り、多分数回の離着陸で戦闘機は飛べなくなるであろう」というタイヤ技術者の意見があっ

た。いかにゴムと戦争が密接なものであるかを理解できる一例である。

しかし、すでに東西の大きな緊張と冷戦は終結した。不幸にして局地的な戦争は続いているが、ゴムの需要を左右するほどのものにはならないであろう。

戦争を契機に誕生した合成ゴム工業も、20世紀末になって、戦争との縁が切れたといいうるであろう。

6. ゴムと自動車

合成ゴムの新工場の建設とその開発に携わった筆者が、「ゴムは所詮ゴムである」といったことがある。プラスチックの開発に比して、ゴムの需要分野はあまりにも自動車に固定され、他の新しい需要分野が開けなかったからである。

表3のゴムの需要分野をみても、すでに述べたように、1990年でタイヤ関連で58.3%，ベルト、ホースなどの工業用品もそのほとんどが自動車用部品である。ベルトはタイミングベルト、ファンベルトなどであり、ホースは燃料ホース、エアコ

ンホースなどである。防振ゴム、パッキンなどにしても自動車用が多い。この16.7%の2/3が自動車とすると、新ゴム消費量の70%が自動車に用いられている。これは世界のゴム消費においてもほぼ同じである。

日本における新ゴム消費量の推移と自動車（乗用車、トラック、バス）の生産台数の推移を重ね合わせて示すと、図6のようになる。自動車の生産台数と同一のパターンを描いている。これからもいかにゴムが自動車に依存して、現在までに成長してきたかがわかる。日本における自動車は図6の自動車の輸出にみられるように、1970年以降、国際的に大きく伸びて、生産量の約半数を輸出するまでになっている。1990年には輸出は自主規制を行いながらも好景気に支えられて1,360万台の生産を行った。こうした自動車の伸びに支えられて、日本の合成ゴムも量的には伸びることが可能であった。

しかし、自動車の生産台数は、貿易摩擦による輸出抑制、海外での生産へのシフト、さらに国内での自動車の基本的な飽和化（現在2人に1台）

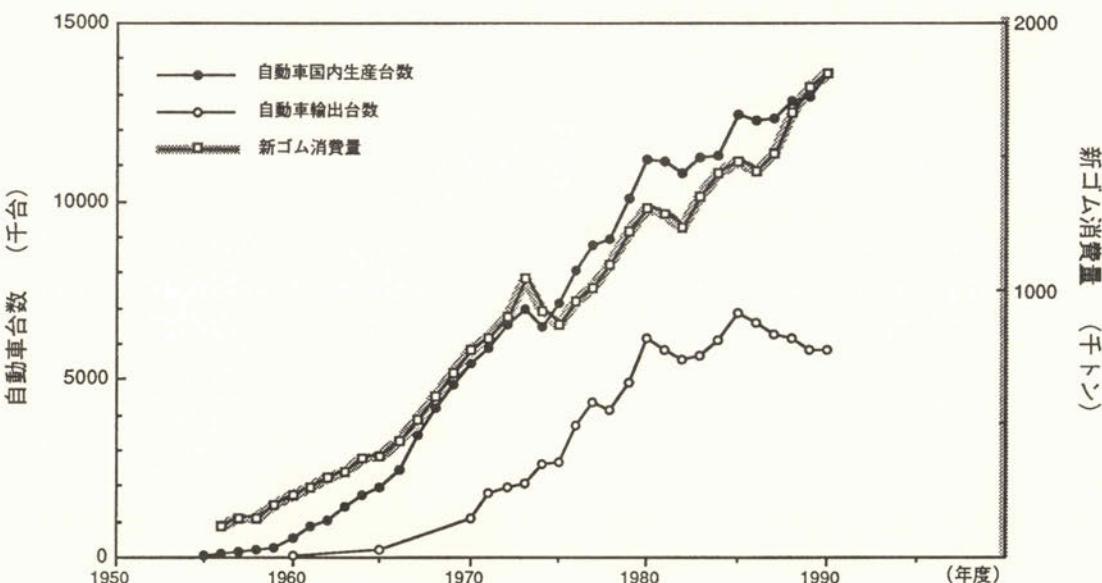


図6 自動車（乗用車、トラック、バス）の生産台数・輸出台数と新ゴム消費量の推移

などから、生産台数の増加は望みがたく、若干減少する（1,200万台という意見もある）ところで飽和するのではないかと考えられる。したがって、ゴムの消費量も1990年をピークに飽和状態に移行してゆくであろう。また、1992年1月アメリカのブッシュ大統領の来日交渉によって自動車部品のアメリカからの調達が義務づけられている。ゴムの場合、タイヤをはじめベルト、ホースなどの輸入をせまられる可能性がある。

こうした中で、日本の合成ゴム工業も大きな転換点に来たと考えねばならないであろう。

7. ゴムと非自動車

ゴムの用途で非自動車という分類は不適正であるかもしれないが、表3の分類で、B領域のゴム板、ゴムロール、およびC領域とD領域に相当するものである。AからCまでがいわゆるゴム工業といわれる分野で、D領域は他の工業に属するものである。

B領域のゴムロールは、製鉄ロール、製紙ロールなどの大型のものが従来からあるが、最近、OA機器、銀行自動払出機、郵便番号選別機などで用いられている紙送りロールはハイテクと結びついた重要部品であり、合成ゴムが用いられ、合成ゴムの分子構造にもとづく特性とゴムの配合において高度の技術が要求される分野であり、特殊な合成ゴムの需要として期待されている分野である。

ゴム工業外のD領域の1990年の用途をまとめたものが表5である。現在の段階では乳化重合によったラテックスの分野が多い。その中でも紙加工用のラテックスが約半分を占めている。写真雑誌、写真週刊誌、カタログなどに用いられる高級紙はクレイ（粘土）をコートしたもので、このバインダーに主としてカルボキシ基をもったE-SBRが用いられる。紙の品質の高級化によってここ10年急速に伸びて來たものである。

今後も伸びると期待されているが、紙の再生というリサイクル化に対応する技術開発が必要になる。

合成ゴムはプラスチックの耐衝撃改良剤として用いられる。その最も代表的なものが、ABS樹脂の幹をなす乳化重合によるポリブタジエン（E-BR）である。E-BRを幹として、これにスチレンとアクリロニトリルをグラフト共重合したものがABS樹脂であり、自動車、家電、OA・通信機器の材料として伸びており、1990年には60万tに達している。またポリスチレン（PS）の耐衝撃改良剤として、BR、S-SBRが固体で用いられている。これも耐衝撃性ポリスチレン（HIPS）としてPSの中で約50%を占めるようになっており、合成ゴムの主要な用途の一つである。しかし、これらはABS樹脂、PSの今後の需要動向いかんにかかって来るものである。

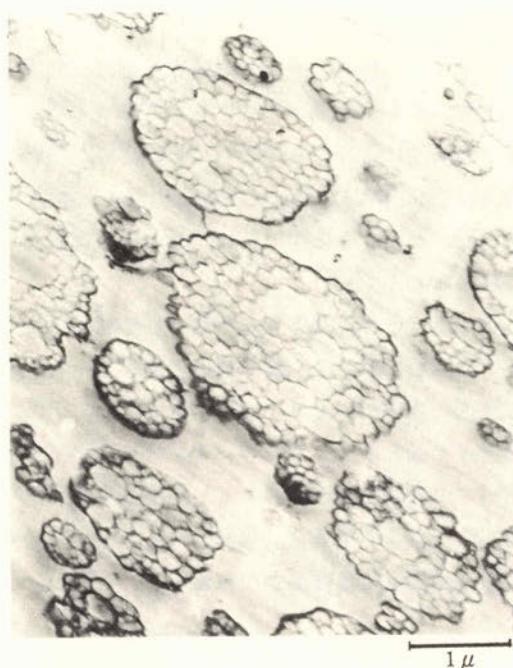
プラスチック、あるいはゴム自体を改質するポリマーアロイの技術が進んでいる。ポリマーアロイの概念は、2種以上のポリマーを混合して、一方を海（ベース）とし他方を島（分散）として分散させ、両方のポリマーの特性を発揮させるものであり、プラスチックとゴムを用いるものが主である。

前述のHIPSもPSの海に、BRなどのゴムを島としてアロイ化したもので、電子顕微鏡写真を示すと図7のようなものである。

ポリプロピレン（PP）にEPDMを分散させて、耐衝撃性を改良して、自動車のバンパーなどに用いられるようになった。また、ナイロン（PA）と特殊なNBRのポリマーアロイは耐フロンガス（オゾン層破壊の少ない新しいフロンガス）のエアコンホースなどに使われている。このような新しいポリマーアロイも、結局はまず自動車材料からはじまるというのも皮肉なものであるが、合成ゴムの特殊性を活かしうる新しい需要分野である。

表5 合成ゴムのゴム工業外用途

用 途	1990年 出荷量(千トン)			主要な合成ゴム
	固 形	ラテックス	合 計 (%)	
紙 加 工 用		161	161(48)	E-SBR
プラスチック用	19	63	82(24)	E-BR, BR, EPDM
織 繊 处 理		30	30(9)	E-SBR, ACM
建 築 資 材	14	8	22(7)	EPDM, E-SBR
接 着 剤	8	5	13(4)	CR, E-SBR, SIS
電線・ケーブル	8		8(2)	EPDM, CR
塗 料 順 料	0.4	0.6	1	E-SBR, IR
そ の 他	17	1	18(5)	EPDM
	66.4	268.6	335(100)	



(白い部分が PS、黒い部分が合成ゴム)

図7 HIPS の電子顕微鏡写真 (1万倍)

この他、不織布のバインダー、タイヤコードの接着剤などにラテックスが用いられている。また各種の粘着テープに接着剤としてSISなどの新しい合成ゴムが使われ出している。道路舗装用のアスファルトの強化剤としてE-SBRが使われているが、さらに高性能化をねらってSBSなどの新しい合成ゴムが用いられるようになりつつある。建築用には窓ガラスなどのシール材やガスケットにシリコンゴムが用いられている。現在、ビルな

どの免震構造にゴムを用いる技術が開発中である。

以上のように、自動車以外の30%に相当するゴムの需要分野において新しい開拓がなされつづり、それぞれゴムの特性を生かした分野であり、技術的には興味あるものである。しかし、20世紀中にゴムの需要構造を大きく変えることまで期待することは無理であろう。

8. 合成ゴム工業の今後の方向

3節で述べたように、合成ゴム工業は成熟期に達している。とくに日本は自動車の輸出規制によって自動車用の合成ゴムは一時期、減少に向かうことも覚悟せねばならない状況にある。しかし、幸いなことに自動車にはタイヤをはじめとして、ゴム部品が必要であることから、自動車がある限り合成ゴムが消滅してしまうことはない。

しかし、自由経済圏においては供給過剰な状態にある(旧社会主義圏内の状況はよくわからない)。しかも、合成ゴムはすでに国際的にボーダレス化されている。したがって、21世紀の初頭に向かって、世界の合成ゴムメーカーは、生き残りをかけての企業間競争に直面することになるであろう。

これを各メーカーのサバイバル戦略と呼ぶならば、その戦略の第1は、コストダウンをはかり、収益性を確保することである。とくに日本の場合、図5に示すように天然ゴムに連動して、最も量の

多い E-SBR の価格が低下し、円高に対応して輸入 E-SBR も加わって市況低下をもたらしている。こうした状況の中でいかにコストダウンはかかる収益性の低下を克服するかがポイントとなる。

第2は、合成ゴムの品質改良である。自動車タイヤといつても多くの課題を抱えている。これらに対応していかに合成ゴムの品質を改良してゆくことができるかどうかである。例えば、自動車の燃費削減の規制によって、省燃費タイヤが要求され、これに対応した新しい合成ゴムの設計が必要になる。またスパイクタイヤの禁止によってスタッドレスタイヤが開発されているが、より安全なスタッドレスタイヤのための新しい合成ゴムも必要となる。これはタイヤメーカーのサバイバルと強く結びついている。こうした既存の需要分野におけるニーズの変化に対応してゆくことが重要となる。

第3は、7節で述べた新しいゴム需要分野への展開である。新しい合成ゴムの設計をいかに早く、的確にやって、この分野で展開してゆけるかどうかである。

以上のような各企業のサバイバル競争がますます激しくなってゆく中で、国際的な規模での合成ゴムの再編成が行われてゆくであろう。すでに1988年以降、ブリヂストンによるアメリカのFirestone社のタイヤ工場とBR、E-SBR工場の買収、ドイツのBayer社によるカナダのPolysar社の合成ゴム部門（カナダ、アメリカ、フランスなどの工場）の買収、日本ゼオンによるアメリカのB.F. Goodrich社の特殊合成ゴム部門とイギリスのBP Chemical社のNBRの買収、イタリーのEnichem社によるアメリカのAmerican Cyanamid社とイタリーのMontedison社の特殊ゴムの買収、フランスのMichelin社によるアメリカのAmerican Synthetic Rubber社とUniroyal Goodrich Tire社の買収、オランダのDSM社によるアメリカのCopolymer社の買収、そして、アメリカShell社の汎用合成ゴムから

の撤退など、多くの国際的な再編が行われている。

今後このような再編成が日本も巻き込んだ形で、進んでゆくものと思われる。

一方、ゴムの需要は先進工業国では成熟化したといつても、発展途上国でのモータリゼーションは進んでゆくであろう。アジアだけみても、NIES諸国に次いでASEAN諸国、そして中国などで、工業化が進むにつれて自動車への要求は高まってゆき、ゴムの需要も大きくなってくるであろう。

しかし、現在の合成ゴムの採算性では、発展途上国で、新しい合成ゴムのプラントをつくることは、経済的に成り立ちにくい。その証拠に、韓国、台湾は1990年代にはいって石油化学の大幅な増設を行ったが、その中で合成ゴムの増設は計画されなかった。

このように今後進展するであろう発展途上国のゴム需要に対して、競争の中で生き残った先進工業国企業が、それを供給するようになるのか、発展途上国モータリゼーションが進む段階では、すべての価格体系が変わって、発展途上国においても合成ゴムの工業化が可能になるのか、この辺の事情は現状では推測がつけ難い。

9. おわりに

合成ゴムの技術とその工業について、歴史の流れをみる中で、合成ゴム工業の問題点と今後の方針を探ることを試みた。合成ゴム工業にとって状況は非常に厳しく、世界的な生き残りをかけた企業間競争が21世紀に向かって進んでゆくであろう。

現在問題となっているゴム製品の廃棄物処理やそのリサイクルの問題については、他で多く論じているので⁵⁾、ここでは触れなかった。

しかし、廃棄物問題の延長線上で、地球の環境問題、資源問題、そして南北問題などを考えた場

合、工業先進国がいつまでも、量の拡大のみを追求し、経済的優位を享受しているわけにはいかなくなるであろう。現在のように成熟した段階を機会に、量の拡大を求めないで、生きてゆく道の選択をせねばならない時期が、いよいよ先進国にはきたのではないだろうか。

文 献

- 1) G.S. Whitby, *Synthetic Rubber* (John Wiley & Sons, Inc., 1954), pp. 32-55.

- 2) 古谷正之、小室経治、「ステレオ合成ゴムの現状と将来」、『ラバーダイジェスト』14[11], pp. 2-9 (1962); 『ラバーダイジェスト』14[12], pp. 7-18 (1962).
- 3) 佐伯康治, 『ポリマー製造プロセス』, (工業調査会, 1971), p. 183.
- 4) *Worldwide Rubber Statistics 1992*, (IISRP, 1992), p. 8.
- 5) 佐伯康治, 『現代技術体系と廃棄物』, (日刊工業新聞社, 1980), pp. 121-133.
佐伯康治, 「21世紀に向かっての廃棄物問題」, 『産業動向』, No. 513, 11月号, pp. 16-21 (1991).

Synthetic Rubber: Technology and Industry

Yasuharu SAEKI

(Nippon Zeon CO., Ltd.)

Synthetic rubber technology has been improved during 20th century in a way leading the polymer science and technology. The industry of synthetic rubber has been developed together with the technology advancement.

After the world war second, synthetic rubber industry has been expanding its size remarkably throughout the world. Consequently, total production capacity in the world reached 9.25 million ton in 1991. This rapid progress has been realized by the pervasion of automobiles in the developed countries and supported by the expansion of petrochemical industry which has been supplying

raw materials to rubber industry.

At the start of 1990's however, it is observed that the synthetic rubber industry is reaching maturity as a consequence of saturation of automobile demands in developed countries and the termination of the cold war.

By reviewing the historical trend of synthetic rubber technology and its industry, future direction of synthetic rubber industry is discussed by investigating the relationship between natural and synthetic rubbers, rubbers and wars, rubbers and automobiles as well as rubbers and non-automobile uses, respectively.

新入会員名簿 (平成4年1月～平成4年10月)

〔解 説〕

工業化学会満洲支部と「満洲」における化学工業 I

田 中 泰 夫*

I. 満洲支部の設立

日本化学会と合併前の工業化学会には各地に支部があった。最初にできたのは1915年の九州支部で、この頃京都大学を中心にして支部設立の計画があったが実現せず、1931年ようやく関東支部と関西支部が設立された。これに続いて1932年当時の所謂満洲、即ち中国東北地区（今後満洲という）に満洲支部が設けられ、やがて台湾及び朝鮮にも支部が設けられた¹⁾。

満洲では1931年9月日本陸軍（関東軍）が所謂満洲事変を引き起こし、これを契機として軍部を中心とした日本の満洲への進出が強化され、翌1932年3月に「満洲国」が成立する。このような情勢のもとに南満洲鉄道株（満鉄）はその中央試験所（以下中試ともいう）の強化をはかり、1931年12月明治専門学校（後の九州工業大学）教授の栗原鑑司を所長に迎えた。そこで在満の化学及び工業化学の関係者は工業化学会満洲支部の設置を企て、その設立は1932年4月の工業化学会総会で可決され、支部は栗原所長を支部長にし、中試に事務所を置いて活動を始めた²⁾。

同年7月22~25日にわたって「支部発会式並びに地方講演」が大連で盛大に行われた。支部会員の約半数54名の他に内地からの参加会員が40名あり、研究報告及び見学会の他に中試の佐藤正典、理化学研究所主任研究員の鈴木庸生（元満鉄中試）、東大教授の田中芳雄、亀山直人、鈴木梅太

郎及び九大教授の西川虎吉の特別講演があった。当時の支部会員数は100名内外であったと見られる。

II. 支部設立当時の満洲の化学工業界

満洲には研究機関としては早くから前述の中央試験所があった。1904~1905年の日露戦争の結果、日本政府は長春以南の鉄道とその付属地の権益を獲得するとともに、大連、旅順を中心とした所謂関東州を中国から租借し、前者には南満洲鉄道株を設け、後者には関東都督府（後の関東州庁）を置いた。中央試験所は初代の満鉄総裁で都督府の顧問を兼ねていた後藤新平の主張によって1907年10月関東都督府立として大連に設けられ、薬学者慶松勝左衛門を所長にしたが、1910年5月にはその拡充をはかって満鉄に移管され、翌1911年工業試験所長高山甚太郎を兼任の所長に迎えた。慶松は所員として研究をつづけて医薬品サルバルサンの合成に成功し（1916年）³⁾、これは第一製薬株によって企業化された。慶松は1920年所長に再任されたが、1922年東京大学医学部薬学科の教授になった。

1931年12月栗原所長の着任とともに中試の機構は拡充され、無機化学科長に大阪工業試験所から転じた内野正夫（後に満洲軽金属製造株理事、戦後は鹿児島大学教授）、有機化学科長に、前から中試にいた佐藤正典⁴⁾（後に次長を経て所長となり、戦後は株科学研究所の社長として同社の理化学研究所への復帰に努力し、千葉工業大学長を経て人事院人事官）、農産化学科長に所長代理であった世良正一（後に満洲重工業開発株の成立とともに

1991年12月13日受理

* 元満鉄中央研究所、元芝浦工業大学
連絡先

にその理事、さらに満洲軽金属製造(株)理事長)が就任し、燃料科長は栗原所長が兼務した。

ところが栗原所長は就任後間もなく病を得て1934年8月に死亡した。栗原は病気が不治とさると長文の遺書を口述、筆記させて所員に後事を託した⁵⁾。この時所長の兼務であった燃料科長には阿部良之助が就任した。

満鉄には中央試験所の他に撫順炭礦及び鞍山製鉄所に規模は小さいが研究所があった。

工業関係の教育機関としては1910年に関東都督府立旅順工科学堂(専門学校程度)が設けられ、これが1922年に工科大学に昇格したが、同大学には工業化学科はなく、一般教育としての化学教室があるのみであった。ここには教授として丸沢常哉が在籍していたが、丸沢はやがて大阪大学に転任し、あとには後に中試に転じた吉村倫之助が助教授として残っていた。大連には満鉄の南満工業専門学校(1922年開設)があったが、ここにも工業化学科はなかった。このように満洲には化学及び化学工業の高等教育機関は設けられていないかった。

工業化学会満洲支部が設立されるまでの満洲の化学工業をみると、窯業と大豆の利用に関するものが主である。

窯業関係では小野田セメント(株)による大連近郊の周水子のセメント工場が1907年に設けられ、各地の建設に寄与していた。中試の窯業の研究は平野耕輔(東京高等工業学校教授の兼務)を中心に開始された。その耐火煉瓦の研究は大連窯業(株)によって企業化された(1913)。空洞ガラスの製造研究をもとにして南満硝子(株)が設立され(1917年)、またその研究の中心であった各務鉱三は内地に帰って今日の各務クリスタル工業所をつくった。マグネサイトの発見にともなう利用、開発については後に触れる。

満洲大豆を用いて各地の油房で豆油、豆粕を製造していた。中試では鈴木庸生がベンジン(石油ベンジン)を用いる大豆油抽出の実験で好結果を

得、中間試験を経て豊年製油(株)によって企業化された(1915年)。また岡田徹平は鈴木の指導のもとに大豆油を原料とする硬化油の製造法を研究し⁶⁾、その成果は大連油脂(株)が企業化した(1916年)。

満洲における化学工業の三大成果というべきものは鞍山の製鉄・製鋼⁷⁾、撫順の頁岩油及びアルミニウムの製造であるが、支部設立当時は前二者がようやく軌道に乗り、アルミニウム製造の研究はまさに盛りになろうとするところであった。

III. 『満洲の資源と化学工業』

工業化学会満洲支部はその創立記念事業として本書の第一版⁸⁾を1933年8月、増補改訂版⁹⁾を1937年8月に出版した。第一版には各業界の権威による満洲の農産及び鉱産資源と農産加工から金属製錬に至るまでの広い意味の化学工業の当時ににおける状態の詳細な記載があり、関係の付表を添付している。増補改訂版ではこれ等の各業種のその後の事情及びその後に設けられた新興事業の記載を加えて1935~36年頃の実態を詳細に説明した。

1937年は7月に日本陸軍が芦溝橋事変を起こした年で、やがて日中戦争を経て太平洋戦争が勃発する。このために改訂版で予告した本書の続篇が発行できなかったのは残念であり、1937年以後の満洲の化学工業を含む工業界のまとまった状況はほとんど発表されていない。従って改訂版、特にその付表における資源の産出高ならびに各種化学工業の一覧は重要な資料であるというべきである。

改訂版の付表に基づいて満洲における1935年の主要資源の産出高を第1表に、同じく主要化学工業の概況を第2表に掲げる。各企業またはその工場の生産高は記されていないが、これは当時すでにこれ等の数字をまとめて発表することは禁じら

れていたのではないかと思う。

第2表以降に新設された工場についてはまとまつた資料が見当たらないので、ここに第3表をつくった。

IV. 満洲資源の発見とその特性

(1) 大豆

大豆は古くから満洲で栽培されていた。満鉄農事試験場による品種改良によって生産が増大し、満洲の特産となって世界の市場を支配して、日中戦争前にはヨーロッパへの輸出が日本内地への輸出を超えた¹²⁾。

(2) 石炭と油頁岩

撫順、本溪湖等における石炭の埋藏は古くから知られており、石炭は満洲第一の鉱産物であって、満鉄は創業（1906年）の当初から鉄道とともに撫

順炭鉱経営を主な業務とした。

撫順炭鉱の炭層の上部に存在する層状の粘土質の鉱石は油分を含んでいることが中試の慶松、鈴木等によって確認され（1909年）、油頁岩（また

第1表 主要資源産出高（1935年）

	品名	数量(千トン)
農 產 物	大豆	3,799
	高粱	3,989
	米穀	442
	小麦	1,005
鉱 產 物	食鹽	901
	石油	10,944
	油頁岩	3,436
	鐵鉱石	1,576
	耐火粘土 (礫土頁岩を含む)	143
	マグネサイト	156

第2表 主要化学工業（1935年）

企業またはその工場名	所在地	主要生産品	工員数	開業年月
大華電気冶金公司	大連	不銹鋼	101	1918. 4
○徳昭和製鋼所製鐵工場	鞍山	銑鐵	590	1919. 4
○ " 製鋼工場	"	鋼塊・鋼材	1,640	1935. 4
○ " 煉瓦工場	"	耐火煉瓦	294	1926.10
○ " 骸炭工場	"	コークス	553	1919. 4
○ " 副産物工場	"	硝酸, 硫安	326	1920. 8
本溪湖媒鉄公司製鐵工場	本溪湖	銑鐵	670	1915. 1
" 骸炭工場	"	コークス	328	1926. 8
○満洲化学工業(株)	大連	硫安, 硝酸	1,380	1935. 6
△関東州小野田セメント(株)	周水子	セメント	637	1907. 6
○大連窯業(株)	大連	耐火煉瓦	324	1913.10
△昌光ガラス(株)	"	板ガラス	338	1917.12
○南満洲硝子(株)	"	空洞ガラス	249	1917.12
○南満鉄業(株)	大石橋	マグネシア製品	589	1919. 8
○撫順セメント(株)	撫順	セメント	-	1935. 7
△満洲石油(株)	大連	石油類	370	1934. 2
○満鉄製油工場	撫順	頁岩油	828	1930. 1
△豊年製油(株)	大連	大豆油	91	1915. 9
○大連油脂(株)	"	硬化油	100	1916. 5
○満洲大豆工業(株)	"	大豆油	-	1935. 7
鴨緑江製紙(株)	安東	洋紙	426	1919. 6
満洲製糖公司	奉天	砂糖	250	1917.11
△昭和工業(株)	大連	味素	147	1927. 2

注：○は満鉄または満鉄傍系、△は内地資本系、無印は日中合弁または中国系を示す（第3表でも同様）。

第3表 主要化学工業 (1936年以降)

企業又は工場名	所在地	主要生産品	設立年月
△満洲ソーダ(株)	大連	ソーダ灰	1936. 5
○満鉄石炭液化工場*	撫順	人造石油	1936. 8
○満洲軽金属製造(株)	"	アルミニウム	1936.11
○満鉄製鉄工場 ^{a)}	"	海綿鉄、純鉄	1937. 9
△満洲重工業開発(株)	(新京) ^{d)}	(持株会社)	1937.12
○満洲マグネシウム工業(株)**	営口	マグネシウム	1938. 5
△満洲電気化学工業(株)	吉林	人造肥料	1938.10
△吉林人造石油(株)*	"	人造石油	1939. 9
大同酒精(株)延吉工場 ^{b)}	延吉	アセトン・ブタノール	1940.-
○満鉄潤滑油工場 ^{c)}	奉天	鉄道潤滑油	1941. 4

* 両社は1943.12合併して満洲人造石油(株)となる。

** 後満洲軽金属製造(株)に合併。

a), b), c) はそれぞれ文献11)の505, 506及び507頁により、その他は文献10)の685頁による。

d) は本社所在地。

は油母頁岩、オイルシェール)と呼ばれた(頁岩(ケツガン)とは層状の岩石のことである)。撫順では1915年から石炭の露天掘りが開始され、そのさい炭層の上部の油頁岩を剥離しなければならない。そこでこの油頁岩からの燃料油、即ち頁岩油の製造が要望され、後に述べるように満鉄はその工業化に成功した。

(3) 鉄鉱石

本溪湖付近に存在する鉄鉱石には大倉組が早くも1905年頃から注目し、1911年に日中合弁の本溪湖媒鉄公司を設立して、同地産の石炭を用いる製鉄に着手した。

一方、1909年に当時の満鉄地質調査所長木戸忠太郎は鞍山付近に鉄鉱石の大鉱床が存在することを発見した。しかし、その大部分は鉄分の含有量が少ない貧鉱だったので、後に記すように満鉄はその富鉱化の技術を開発して製鉄の企業化に成功した。

(4) マグネサイト

1910年頃南満の大石橋付近でドロマイドに類似の鉱石が発見され、1913年中試の分析によって炭酸マグネシウムを主成分にするマグネサイト(菱苦土鉱)であることが確認された。マグネサイトは金属マグネシウムあるいはマグネシア・セメン

トの原料としても用いられるが、その主な用途は高温で焼成してマグネシア・クリンカーにし、クリンカー及びこれから求められるマグネシア煉瓦を塩基性耐火物とするにある。

マグネサイトの産地は比較的限られているが、満洲の埋蔵量は世界屈指であった。しかしオーストリア等のマグネサイトは鉄分の含量が多くて燃結が比較的容易であるのに対し、満洲のものは鉄分の含量が低く純度が高くて燃結が困難であったが、中試では鉄分の添加によって燃結が比較的容易になることを明らかにし、この技術は南満鉱業(株)に委譲された¹³⁾。マグネシア・クリンカーの生産は順調に増加し、1944年のマグネサイト出鉱量は70万トンに達した¹⁴⁾。

(5) 耐火粘土と礫土頁岩

粘土は古くから陶磁器、耐火物等の窯業原料として用いられ、また日本ではアルミニウム製造原料として注目された。粘土の代表的なものはカオリンド、そのアルミナ含量は約40%である。しかし日本内地の粘土はこれよりアルミナの含量が少なく耐火度が低い。満洲では早くからカオリンドの粘土が知られており、大連窯業(株)(前掲)等で耐火粘土として用いられた。その多くは内地の粘土と比べて硬質であるので、しばしば硬質粘土

といわれた。

1924年鞍山製鉄所は炉材用耐火粘土を調査中、鞍山近くの烟台炭礦でカオリン質耐火粘土よりもアルミナ含量の多い粘土を発見した。これと前後して坂本峻雄は烟台における粘土を詳細に調査し、そのうちにはアルミナが50~60%のものがあることを明らかにし、この粘土は満鉄地質調査所によって礫土頁岩と命名された。この発見に刺激されて礫土頁岩は満洲各地で次々に発見され、礫土頁岩を含む満洲産耐火粘土はアルミニウムの製造に重大な役割を果たすことになる。

V. 教育、研究機関の拡充

満洲の発展とともに、その化学及び工業化学の教育、研究機関も次第に整備、拡充された。

以下各機関の敗戦に至るまでの変遷の概要について述べ、敗戦後の状況については項を改めて記載する。

(1) 大陸科学院¹⁵⁾

満洲国ではその資源開発、科学技術の進展をはかるために、理化学研究所長大河内正敏を招いて種々協議の結果、資源の利用を目的とした総合研究機関として大陸科学院の設立を決定し、1935年3月同国の国道局長直木倫太郎を所長とし、大河内正敏と鈴木梅太郎を顧問にして新京（長春）に大陸科学院を設立した。

化学関係の研究官としては満鉄中央試験所から加藤二郎（農産化学）、溝下征（燃料化学）が参加し、内地からは慶應大学の有馬純三（有機化学）、理化学研究所の吉村恂（無機化学）及び東北大学の田丸莞爾（冶金学）等が就任して研究体制に入った。大陸科学院の研究は中試よりも学問的であった。

院長は直木から鈴木梅太郎に交替した（1937年6月）。鈴木は東大の名誉教授になっていたが、理化学研究所の主任研究員を務めていたので、大陸科学院の方は兼務であった。しかし鈴木は任期

が満ちて辞任し（1941年11月）、院長は再び直木倫太郎になり（1943年2月まで）、その後前満鉄総裁大村卓一が院長となって（1945年1月）敗戦を迎えた。

鈴木は辞任にあたって副院長として京都大学教授の志方益三を推薦し、志方は1942年1月に副院長に就任した。志方はチェコスロバキアのプラハ大学に留学し、ハイロウスキイ教授（Jaroslav Heyrovsky）とともに今日化学分析に広く用いられているポーラログラフを発明したことで有名である（戦後は名古屋大学教授）。

なお満洲国では新京、奉天、ハルビンに工科大学を設け、奉天工大の学長は浜松高等工業学校応用化学科教授から轉じた塙本玄門であった。

(2) 旅順工科大学

旅順工科大学では1935年から工業化学科の設置の計画をたて、東大工学部応用化学科助教授の岡俊平をその主任教授に予定し、彼はその開設に努力した。かくして同科は1938年4月に開講され、教授陣は次のとおりであった（括弧内は戦後の役職）。

岡 俊平（東京大学教授を経て東京工業高等専門学校長）

多和田 寛（横浜国立大学教授）

城野和三郎（神戸大学教授）

竹井 素行（熊本大学教授）

岡島 三郎（都立大学教授）

助教授以下に新進の研究者を集めて盛んに研究を行った。

(3) 満鉄中央試験所¹⁶⁾⁻²⁰⁾

中央試験所では栗原所長死亡後所長は本社幹部の兼任であったが、その間世良農産化学科長が本社に轉じて加藤二郎がこれをつぎ、加藤が大陸科学院に移った後は六所文三（後の静岡大学教授）が科長になった。

1936年になって時の満鉄総裁松岡洋右は「中央試験所長としては学者として一流であり、その見

識が高く、軍人や財界人、官僚に対してその所信をまげることのない勇気のある人物を求める」として所長の人選をすすめ、これによって選ばれたのが大阪大学工学部長丸沢常哉であり、丸沢は同年10月に理事待遇の満鉄顧問として中央試験所長に就任した。

この時、丸沢の九大教授時代の教え子であった中試の有機化学科長の佐藤正典はその所長就任を心から喜んだが、丸沢は阪大総長として期待されているということであったので、阪大教授のまま所長を兼務されることをすすめたが、丸沢は「サイはすでに投げられた。いまはただルビコンを渡るのみである」と強い決意を示したという²¹⁾。

丸沢の所長就任にあたり、佐藤は次長となってよくこれを助け、その後任の有機化学科長には猪口金次郎（後の東北大学教授）がなり、またやがて無機化学科長の内野正夫は満洲軽金属製造㈱の設立とともにその技術責任者として同社に轉じ、そのあとを前に述べた丸沢の旅順工大時代の助教授で、その後中試に移っていた吉村倫之助がついだのは奇縁であった。（やがて科は課に昇格）。丸沢所長は研究成果の具体化に多大の努力をはらうとともに、研究内容の向上をはかるために基礎化学の研究を強化することとし、多くの有能な研究者を招聘した。

1940年秋になって丸沢は所長としての任期は4年の約束であったということで、佐藤次長を後任に推して、満鉄幹部の強い引き留めにもかかわらずあっさり辞職し、大阪の自宅に引き上げた。

佐藤所長は就任後丸沢の方針を踏襲するとともによく戦時下の困難に対処し、またいろいろと所員の待遇改善に努めた。やがて吉村無機化学課長が次長となり、その後は有森毅（戦後は京都工芸織維大学教授を経て東京工業高等専門学校長）がこれをついだ。中試の研究のうち工業化された主要なものについては後に記す。

ところが1943年の末になって満鉄総裁小日山直

登は、満洲国の要望によって、満鉄のみでなく広く満洲の化学工業、特に吉林の満洲電気化学工業㈱や吉林人造石油㈱等の推進をはかるために、満鉄に化学工業委員会を設けることを決意し、その委員長として丸沢の就任を強く要望した。そこで丸沢は今度は副総裁待遇の顧問としてその委員長に就任し、再び渡満して新京に常駐した。丸沢はさらに1945年の初夏になって佐藤所長と交替して中央試験所長に再任され、後に述べるように戦後長らく中国に残留し、非常な苦労をなめながら中央試験所を守り、ほとんど無傷のままこれを中国に引き継ぐとともに、新中国における科学、技術の振興に寄与することが大であった²²⁾。

VI. 支部の発展²³⁾

支部の設立当時以来、満洲の化学関係の教育、研究機関は上記のように充実し、また第2及び第3表にあげた主要化学工業の他に、内地の会社で満洲に進出して大連、奉天等に工場を建設するものも多く、これにともなって工業化学会満洲支部における会員数は年を追って増加した。

歴代の支部長をあげると次のとおりである。

年度	支 部 長	所 属
1932		
33	栗 原 鑑 司	中 試
34	佐 藤 正 典	中 試
35	佐 藤 健 三	満 洲 石 油
36	深 水 寿	満 洲 化 学 工 業
37	丸 沢 常 哉	中 試
38	佐 藤 正 典	中 試
39	井 上 正 一	關 東 州 庁
40	国 吉 喜 一	小 野 田 セ メ ン ト
41	岡 俊 平	旅 順 工 大
42	吉 村 倫 之 助	中 試
43	多 和 田 寛	旅 順 工 大
44	阿 部 良 之 助	中 試
45		

支部では支部大会、常会等の他内地から講師を招いて講演会を催し、あるいは各地の見学会を催す等、その活動は他の支部に劣るものではなかった。例をあげると、1933年には満洲における塩業の重要性を鑑み、「塩の講演会」を開き、翌1934年には「大豆に関する懇話会」を催して業界との関係を密接にした。1933年及び1937年に『満洲の資源と化学工業』を刊行したことは前述のとおりである。

1939年には「工業化学会満洲大会」が開催され、8月23日の大連での特別講演会では東大教授の永井雄三郎、東京工業試験所の井上春成部長及び中試の丸沢所長の講演があり、同月27日には奉天で通俗講演会、29日には新京で特別講演会があり、その間各地で見学会が催された。

このような状況のもとに、1941年になって工業化学会は時の会長である大阪大学教授鉛市太郎の主唱の下に「会員増加一人運動」を展開した。鉛はかつて中試に在勤した関係もあるので、満洲支部では国吉支部長以下幹事一同積極的に活動し、支部の会員数は容易に1,000名に達した。この数は支部開設当時の会員数の約10倍で、全国の会員数10,000名の10%に当たる。これによって当時の満洲における化学工業界の発展の著しいこと及びその規模を知ることができる。

翌1942年度は支部長が旅順工大教授の岡俊平であったが、この年は支部設立10周年に当たるので記念に種々の行事を行うことになり、9月3日に「支部設立10周年記念特別講演会」が大連で盛大に行われて内地からの会員の出席も多く、出席者は700名に達した。続いてハルピンで通俗講演会及び見学会があり、10月には新京で「満洲国科学技術連合部会化学研究部会」と共催の連合講演会が行われて、研究報告の他に中試の佐藤正典所長及び大陸科学院の志方益三副院長の特別講演があり、また撫順で特別講演会が開かれて大阪大学教授の香坂要三郎、鉛市太郎及び奉天工科大学の

塙本玄門学長の講演があった。さらに翌年3月の鞍山での常会では昭和製鋼所を見学した。

満洲支部の活動はこの年が最も盛んで、翌1943年からは次第に活動が困難となり、工業化学会満洲支部は1945年日本の敗戦とともに自然に消滅するに至った。

文献及び註

- 1) 日本化学会編『日本の化学百年史』(東京化学同人, 1975), 272, 278頁。
- 2) 支部の行事はずっと『工業化学雑誌』(工化、工業化学会の機関誌)の「本会記事」の項に記載されている。
- 3) 『中央試験所報告』(以下中試報告という) 第3集(1916)第4号。
註:『中試報告』の各号はそれぞれ1つの論文より成る。中試では1932年以前の研究は『中試報告』にのみ発表され、それ以後は各学会誌、主として『工業化学雑誌』に発表し、その抜刷を集めて『中試報告』とした。『中試報告』はあまり広くは配布されなかつたので、現在残っているものは少ないと思われるが、化学技術研究所の亀山哲也氏に調べて頂いたら、同所には最初から第22集(1938)まで揃っており、それ以後は1941年まで各学会誌の抜刷が断片的に送られているという。なお同研究所には中試がその後別に独自に印刷、発行した『満鉄中央試験所彙報』第1, 2卷(1943, 44)及び後に述べる大陸科学院の『研究報告』第1卷(1936)~第7卷(1943)などの満洲関係の文献も所蔵されているという。
- 4) 佐藤正典『一科学者の回想』(私家版, 1971)。
- 5) 栗原鑑司「満鉄中央試験所諸君ニ對スル別辭」『満洲技術協会誌』第11卷(1934), 460頁。
- 6) 『中試報告』第1集(1915), 第16号。
- 7) 製鉄・製鋼は広い意味の化学工業ということができる。文献1)『日本の化学百年史』には「金属工業」の一項を設けて(726頁)鉄鋼及び非鉄金属を取り扱い、鞍山の製鉄・製鋼にも触れている。
- 8) 工業化学会満洲支部編『満洲の資源と化学工業』第1版(丸善, 1933)。
- 9) 同上、増補改訂版(1937)。
- 10) 满史会編『満洲開発40年史』下巻(同会発行, 1964)。
- 11) 满鉄会編『南満洲鉄道(株)第4次10年史』(龍溪書舎, 1986)。
- 12) 現在大豆は主にアメリカで生産され、日本でも大豆はほとんどアメリカから輸入されているが、ア

- メリカの大豆は満洲で改良された品種によるもの
であ。
- 13) 梶原政次『マグネサイトとその製品』(丸善,
1944).
 - 14) 文献10) 281頁.
 - 15) 満洲國國務院発行『大陸科学院要覧』(1938).
 - 16) 『昭和16年版満鉄中央試験所要覧』(中央試験所,
1941) (本書は近く龍溪書舎から復刻される).
 - 17) 技術による経済安定に関する研究会編『技術によ
る経済安定保証に関する調査研究報告書—満鉄中
央試験所の活動』(日本機械工業連合会, 1986).
 - 18) 森川 清「満鉄中央試験所と満洲の資源開発」
『アジア経済』第29巻第2号(1988), 72頁.
 - 19) 杉田 望『満鉄中央試験所=大陸に夢を賭けた男
たち』(講談社, 1990).
 - 20) 廣田鋼藏『満鉄の終焉とその後』(青玄社, 1990),
本書の前半は敗戦前の中試のことである。なお文
献10), 11) には中試のその他の研究にも触れて
いる.
 - 21) 文献4) 131頁.
 - 22) 丸沢常哉『新中国建設と満鉄中央試験所』(二月
社, 1979).

The Manchurian Branch of the Society of Industrial Chemistry and Chemical Industries in Manchuria, I

Yasuo TANAKA

The Manchurian Branch of the Society of Industrial Chemistry (in Japan) was established in 1932 in Manchuria (i.e., the North-Eastern District of China) by electing Dr. K. Kurihara, Director of the Central Laboratory of South Manchurian Railway Co., Ltd. as the head thereof.

The Branch issued "Resources and Chemical Industries in Manchuria" in 1933 and 1937. In the latter issue, main resources and main chemical industries in Manchuria in 1935 were listed. Other important chemical industries established thereafter are added in the present paper together with the characteristic

features of Manchurian resources.

The Central Laboratory was founded in 1907. The Institute of Scientific Research of Manchurian State was established in 1935, and the Course of Industrial Chemistry was opened in the Technical Institute of Port Arthur in 1938.

The Manchurian Branch celebrated its 10th Anniversary in 1942 with the increase of the member from about 100 persons at the beginning to more than 1000 persons in the meanwhile. However, the Branch was dissolved in 1945 due to the defeat of Japan.

新入会員名簿 (続き)

[広 場]

コップとホフマン 死後100年によせて

柏木 肇*



コップ



ホフマン

今年(1992)はヘルマン・コップ(Hermann Kopp)とアウグスト・ヴィルヘルム・フォン・ホフマン(August Wilhelm von Hofmann)逝いて100年に当たる。前者は1817年10月30日ハナウに生まれ、1892年2月20日ハイデルベルクで病歿、後者は1818年4月8日ギーセンで誕生、1892年5月5日ベルリンに逝く。宿痾に苛まれ迎えるべくして一生をおえたコップの後をつい、ほぼ半年後輩のホフマンは生涯の差を拡げないように、身体に些細な違和を訴えただけで遽かに黄泉の人になったと言う。

両者の間に交情が芽生えたのは、ギーセンで享受した共通の師リービヒ(Justus von Liebig, 1803-1873)の薰陶のもとにおいてであった。コップは1838年マールブルクで学位論文を提出した後、間もなくリービヒの膝下に移った。1852年リービヒがミュンヘンに転じた後、ギーセン化学教室経営の責をウィル(Heinrich Will, 1812-1890)と頗かちあい、1863年ブンゼン(Robert Wilhelm Bunsen, 1811-1899)に招かれてハイデルベルクに移るまで四半世紀をギーセンで過ごした。1889年教壇を退いたが、そのままハイデルベルクにとどまり、

生涯を閉じるまでブンゼンとともにあった¹⁾。それに対しホフマンは1836年末、郷里ギーセンの法学部に入学したが、自然科学、中でもリービヒの魅力に抗いがたく、翌年化学教室の一員となった。1845年師の推舉により、英京に新設された Royal College of Chemistry を指導すること20年²⁾、65年帰国しベルリンの教授となり、67年末にマルティウス(Alexander Martius, 1838-1920)、バイヤー(Adolf von Baeyer, 1835-1917)、シャイブラー(Carl B. W. Scheibler, 1827-1899)、シェリング(Ernst Schering, 1824-1899)、ヴィッヒェルハウス(Hermann Wichelhaus, 1842-1927)らの協力を得てドイツ化学会を創設した。ギーセンにあったとき、師命によりアニリンの研究に従ったが、彼のアニリンとの邂逅は、その成果がギーセン化学の声望を高からしめたばかりでなく、19世紀後半におけるドイツ染料工業発展の端緒を築くことになった。

コップとホフマン、両人がギーセンで同学研鑽の仲間として過ごした期間は8年間にすぎなかったが、その友誼はコップの死に至るまで、あるいはその余韻がホフマンの生命に鳴りやむまで実は半世紀に余る永きにおよんだ。ホフマンはコップの訃報に接してから2日後に開催された化学会の例会で『ペリヒテ』16頁分を占めるコッ

1992年11月23日受理

* 名古屋大学名誉教授
連絡先:

詳伝を口演したと言う。この短期間にコップ伝を仕上げるのに、ホフマンは如何なる超人的努力を傾けたのであろうか。すでに学界に令名を馳せていたホフマンの健筆を以てしても、よく、この離れ技を演じ得たとは考えがたい。前年の秋、ハイデルベルクの病床にコップを見舞ったとき、すっかり生氣をなくし、憔悴しきったその姿を見て、ホフマンは別離が間近であることを悟った。愛着と哀惜の念が交錯する中で、彼はコップ伝の草をおこうと決意したに違いない³⁾。

ホフマンが先師、旧友、後進の死に捧げた追悼、回想、伝記の類いは夥しい数に上る。総数60数名に達し、19世紀に活躍した化学者のすべてを網羅しているかの感がある。もし彼の筆がこの種の記事におよんでいない化学者がいたとすれば、それは彼の寿命が、これら化学者の生涯が完結するのを見届けないうちに盡きていたからである。記事のすべては『ベリヒテ』誌上に掲載され、毎頁44行の誌面900頁を超える量に達する⁴⁾。中の十数篇は『先立ちし友の思出』全3卷⁵⁾に収録されているが、他は『ベリヒテ』のバックナンバーに散在するままに放置されている。コップ伝はこの伝記集に含まれていない。もしホフマンにこの筆業がなければ、ギーセンの化学教室は言うまでもなく、ハイデルベルク、ボン、ベルリン、ライプツィヒなど19世紀のドイツの各大学あるいはロンドンやパリで営まれた化学研究とその背景に躍動した人物像に関するわれわれの知識はきわめて貧しいままであつたに違いない。山岡先生が『化学史談』全9冊を編まれた動機は、リービヒ、ブンゼン、ホフマン、グリース、ケクレらに対する愛着はさておき、その一半が膨大なホフマン伝記著作を鳥瞰しつつ、それらの間の脈絡を見出しながら、19世紀のドイツ化学とその周辺の情況を明らかにしようとする意図から出たのは疑いないところである。

ホフマン作伝記の特質は『史談』Iの「グリースの生涯」に間然するところなきまでに描かれている。これらの伝記を繙いて、古きよき時代への憧憬を誘われるのは、今や、まったく過去のものとなったallgemeine Bildungへの熱い思いによって感性がゆさぶられ感傷のとりとなる人々だけであろう。たしかにホフマン伝記は古色を帯びていると見られるかもしれないが、歴史に検証が求められるのは、このような作品を生み、しかもこれを受容しながら拡大再生産の道を辿った化学界が、ヴィルヘルム時代のドイツ社会に果たした役割

と意義である。

さてコップの名は大著『化学史』全4卷⁶⁾の編著者としての名声に結びついている。本書は現在でも通用する化学の通史著作最大の古典⁷⁾として、その先導のもとに幾多の類書の出版を促し、通史の金字塔バーティントンの『化学史』につながる伝統の端緒を築いた。ホフマンはコップ追悼の中で次のように書いている。

この古典的著作の出版によって、当時まだ30歳にも満たなかったコップは一躍有名人となった。徹底的な史料の精査ならびに主題の選別と配列の妙、他国民の如何なる文献の追随を許さぬ業績がここに示されていることを、同時代の人々は異口同音のうちにみとめたのである⁸⁾。

この著作はたしかに現在なお権威ある化学の通史である。しかし、化学史を学ぶ者にとって、とくに思いを新たにすべきは1843-47年という、その出版年代である。たとえば有機化学の歴史に注目し、今世紀の初期に出版されたエールト(1916)やグレーベ(1920)などの著作ならば⁹⁾、有機化学が化合物の組成に関する二元論的見解から出発し、ジェラール、ローラン、ヴュルツからケクレ、ブトレロフに至る過程で、4価の炭素原子をめぐり、化合物を構成する全原子の結合図式を表現する、いわゆる古典有機化学構造論が、二元論と角逐した一元論の発展として成立し、その実践的価値を体験した化学者が擧って評価した視点から、この過程を総括することができた。

それに対してコップの第4巻が上梓されたのは、今にして思えば、上記の過程がまだその半ばにも達せず、有機化学理論が今後如何なる経過を辿るのか、まったく展望がきかない、生々しい截り口を露呈していた時期である。この第4巻には「有機化学史への寄与」と題する部分があり、コップはその中で化合物の合理的な構成(rationelle Constitution)という概念について考察している¹⁰⁾。構成とは元素分析によって与えられる化合物の組成(Zusammensetzung)に関するもので、その起源はコップによればシュタール(Georg Ernst Stahl, ca. 1660-1734)の遠隔成分(enterntere Bestandtheile)と直接成分(nähere B.)の區別に求めることができる。すなわち組成における成分元素の分布は不均一であり、化学反応の種類によって相違があるが、成分中のある部分は比較的の変化(組成からの離脱、他の成分との交換等)を受けやすいが、他は不变に保た

れる。構成は、このような分布の不均一性を媒介する親和力の種々性を探求し、その結果を的確に表現する化学式によって与えられる。化学的事実としての化合物の本質は、このような化学式によって理解される。合理的という言葉はこの手続きに理論的根拠を保証する方法論にかかっている。

1850年代、リービヒ組成論の伝統を継承し、この合理性を実験的に追求したヘルマン・コルベ（Hermann Kolbe, 1818–84）は、化学的事実の解釈へのドイツ「自然哲学（Naturphilosophie）¹¹⁾」の流入、影響を極力排除すべきであると主張した。化合物の成分は、それ自身化学的実在として化合物を現実化させるべきであると考えたコルベ、そしておそらくコップの方法論はケクレ（August Kekulé, 1829–96）のそれとは決定的に対立する。ケクレにおいては、構造式は実在として個々の化合物に対応するのではない。それは化合物を体系化したクソノミーとしての役割を果たす conventional system に包摂される。この観念には哲学的合理性への期待がないかわりに、実在に対する不可知論が胚胎する。

一方ケクレがコルベの批判に反撥し、これを無視することは言うまでもないが、コルベがその廉で彼を糾弾した「自然哲学」に対して、ケクレが如何なる見解を抱いたかは別のことである。かつて1822年「ドイツ自然学者医師協会（GDNA）」がライプツィヒで発会式を挙げたとき、「自然哲学」はドイツ民族の誇るべき精神的資産であり、その旗のもとに領邦国家の統一をめざしたシンボルであった。

ナポレオンの軍隊に蹂躪されて、ただでさえ疲弊していた国土をその極から立ち直らせるために国力の振興を政治的統合にかけたのはドイツ民族の悲願であった。しかし GDNA に集まった科学者が、この「自然哲学」はドイツ民族の自己変革への誓いではなく、各領邦の守旧イデオロギーの象徴に転化したという矛盾と倒錯に気付くには長い時間を要しなかった。多くの化学者がそこに種々の悪弊の根源を見出した「自然哲学」の魔性とは一体何であったか。19世紀が経過する間に化学者がそれを如何にとらえ、実践の中でそれを克服したと信じ、あるいは意図的に忘れ去ろうとした結果は、ドイツ化学の近代化と如何に結びついたのか。

コップの「合理的構成」という観念には、このような課題が存在することを示唆している。コップのいわゆる化学量論的研究は、一般に物理学と化学との間の境界領

域を開拓した業績であると言われている。しかし、これも化合物の構成の背後にあって、それを支えている合理性に実験的根拠を与えることに執念を燃やした実践とみられないであろうか。彼はリービヒ化学のマンパワーたることには背を向けたが、より根源的な側面からその合理性を証明しようとしたのである。

人々は、19世紀を迎えて化学に、自然哲学（イギリスの用語としての）と同じ方法で原理から演繹される哲学的体系、すなわち化学哲学を建設しうる可能性が射程の中にはいってきたと信じた。この期待と並行し、あるいはこれを助長したのが、化学における自律性（autonomy）¹²⁾ の成立であった。化学変化を定量的に論じるために不可欠な基礎技術としての元素分析はこの確信のもとにはほぼ完成の域に達した。元素分析の結果を如何に表現するかについての問題は、19世紀の半ばを過ぎてなお整理されないままにのこったが、それは化学自身の内部的混乱にすぎなかった。この自律性と、これに支えられた化学哲学体系化への期待が、化学者を研究に駆り立てる原動力であったとすれば、他の領域からの概念転移を含むアナロジーや「自然哲学」的原理が化学の研究に侵入する余地は随所に露呈していたと言うことができる。

それゆえ若干の化学者が、化学的実在の本質を理解するために、組成の解釈に際する合理性を如何なる観念によってくみたるべきかについて深刻な問題意識を抱いたとしてもふしげではない。そしてコップはそのひとりではなかったか。

ホフマンがドイツ化学会を創設した中心人物であることはすでに述べた。19世紀のドイツ化学が、ドイツ人の業績だけでなく、各国から有為の人材を集め、圧倒的な優位を誇ったのは紛れもない事実であるにかかわらず、化学会の創設は著しくイギリスに後れをとった。イギリスでは1820年代における設立の試みが挫折した後、科学専門学会の発足があいついだ20年代および30年代のあとを受けて1841年に現実のものとなった。それに較べれば、ドイツでの発足はその後塵を擡すこと四半世紀以上におよぶ。それには種々の理由を挙げができるであろう。先ずリービヒの個人的権威とその組織的才能により、彼の『アーネン』の刊行が、着実かつ久しく続行されて研究成果の発表機関たり得たこと、講演の発表と学者間の情報交換の場は、十分ではなかつたが毎年に開催される GDNA とその分科会によって提供されていた

ことが、早急な学会創設の機運を阻んだと考えられる。けれどもベルリンの地位が、久しく文化、情報、経済、政治の中心として栄えてきたロンドンやパリのそれに遠くおよばなかったこと、またそれにもまして近代国家の建設を通じて領邦国家の止揚と結びつく市民社会の熟成が不十分だったことに最大の理由が求められるであろう。そしてここにも今後の検討をまつべき歴史の課題がのこされている。

注

- 1) コップはライプツィヒやベルリンなど大きな大学から幾度か招聘されたが、その都度辞退した。彼の伝記を書いた門下のソープ(Thomas Edward Thorpe, 1845-1925)によれば、コップはしばしば次のようにその心中を述べたという。“Even Bunsen alone, keeps me fast in Heidelberg”, *Journal of the Chemical Society* 63 (1893), 776-815.
- 2) Gerrylynn K. Roberts, ‘The Establishment of the Royal College of Chemistry: An Investigation of the Social Context of Early-Victorian Chemistry’, *Historical Studies in the Physical Sciences* 7 (1976), 437-85.
- 3) 山岡 望『化学史談』I, 「ペーター・グリースの生涯」東京, 内田老鶴園, 1951, pp. 91-2. 『ベリヒテ』は1868年に創刊されたドイツ化学会の会誌, *Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft (Ber.)*, ホフマンのコップ伝, *Ber.*, 25(1892), 505-521.
- 4) 山岡 望, 前掲書(3), p. 12.
- 5) *Zur Erinnerungen an vorangegangene Freunde, gesammelte Gedächtnissreden*, 3 vols., Brunswick, 1888.
- 6) *Geschichte der Chemie*, 4 vols., Brunswick, 1843-7.
- 7) Jost Weyer, *Chemiegeschichtsschreibung von Wiegleb (1790) bis Partington (1970)*, Hildesheim, 1974, p. 83.
- 8) Hofmann, *op. cit.*(3), p. 515.
- 9) Evard Hjelt, *Geschichte der organischen Chemie*, Brunswick, 1916; Carl Graebe, *Geschichte der organischen Chemie*, vol. 1, Berlin, 1920.
- 10) Kopp, *Geschichte der Chemie*, Vol. IV, 1847, pp. 263-72. Constitution の誤語として「構造」を避けたのはケクレの構造と混同するおそれがあるからである。ただしケクレの用語も Constitution である。
- 11) *Naturphilosophie* はドイツ観念論哲学の流れを汲む自然観、その伝統の頂点にたったのはシェリング(Friedrich Schelling, 1775-1854)。なお英語の natural philosophy はこれと対応しない。しいてこの英語に相当するドイツ語を探すならば、それは Physik であり、英語の physics よりはるかに一般的に使用されていた。
- 12) 化学の自律性は chemical という形容詞と結びついた用語によって端的に示される。たとえば chemical element, chemical atom, chemical composition, chemical structure など。これらは化学哲学の中に前提として含まれる実体概念であり、それまで自然哲学で論じられてきた対応する概念との関係は不間に付したまま論じられたのである。化学哲学という用語自体も、この自律性の中で考察される法則性の体系であることを意味する。ここでは、たちいって論ずるゆとりはないが、ヴィクトリア初期のイギリスでは、化学の自律性が社会における化学的職業層の規格化、大衆化を促し、さらにこのこととあいまって化学の社会的ステータスにも影響をおよぼした。それは地理的位置によって差別される首都対地方の関係に準ずる科学の社会的ランクとも言うべき現象を生んだ。

[広 場]

貝紫と化学教育

日吉芳朗*

1. 地中海沿岸での貝紫染

貝紫はチリアンパープル、古代紫¹⁾、あるいは帝王紫ともよばれる色素で、ある種の貝に由来し、古代の最も有名な染料として歴史の中に登場する。地中海沿岸では染色の起源をフェニキアの地、すなわち現在のレバノンにもつといわれ、紀元前15世紀にもさかのぼることができる。以来、社会、政治、宗教、経済的な重要さを保ちつつ、ギリシア、ペルシア、ローマ帝国をへてヨーロッパに伝えられたが、1453年の東ローマ帝国の崩壊とともに消滅した。

貝紫を生ずる貝はアクキガイ科 Muricidae に属するものに限られ、その体内の鰓下腺、あるいはパープル腺ともよばれる部分に色素の前駆体が含まれている。そして鰓下腺が体外に取り出されると酵素、空気、日光の作用で赤紫色の貝紫を生ずることから、この色素の生成は自然の仕組を最も明確に表現している現象の一つと考えられる。このアクキガイ科の貝は地球上のいたるところの暖かい海に見出され、現在数百種類が知られているが、古代の地中海沿岸で用いられた種は、その後に見出された貝塚などの調査から以下の3種が主であることがわかった(図1)。それはシリアルズ Murex brandaris,

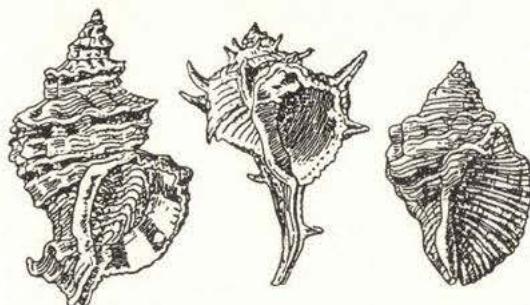


図1 地中海沿岸で主に用いられた貝²⁾
左より Murex trunculus, Murex brandaris, Purpura haemastoma

ツロツブリ Murex trunculus、ヘマストマ Purpura haemastoma で、その中でもはじめの2種はとくによく使われていたようである。Murex brandaris は海底の泥や砂のかなり深いところ(10ないし150m)に、一方他の種は比較的浅いところ(0ないし15m)に見出されるといわれ、なぜ深いところにいるものが優先的に使われたのか定かでない。このほかにもエリナケウス Murex erinaceus、ラピルス Purpura lapillus など数種のものが用いられたがその数は少なかった。

2. 貝紫染の歴史²⁻⁸⁾

神話、歴史、考古学の示すところでは、その発祥の地は前述のフェニキアで、具体的に紀元前1439年とまで記している書もある。それに対してすでに紀元前17世紀以前にクレタ島で行われていたとする説もある。その後紀元前13世紀のほぼ同時期に三つの場所で記録されたものが見出されている。中部エジプトのエル・アマルナで見出された国家文書の中に、シリアのラス・シャムラでの楔形文字の公文書の中に、またクレタ島の線文字B原文中である。しかしそこでは染色された織物が、商売上重要な品物として広く交易されたこと以外に、いかにして染色されたのか、その工程についてはまったくふれられていない。

その後、フェニキアの海岸にあったカナン人の都市国家のチレ(スル)、サレブタ、シドン(サイダ)などが染色産業を支配し、染色工場がいたるところに建てられたといわれているにもかかわらず、記録そのものもまれで、染色工程は記されていない。

また貝紫染は聖書の中にもしばしば登場する、とくにチレの記述が多く、礼拝堂の幕、高僧の法衣の染色に用いられた。

古代ギリシアの記録の中にも貝紫染があらわれるが、短い記述以外にこれまで同様、その染色工程はふれられていない。ギリシアの伝説に「チレの神のヘラクレスが浜辺を散歩中、飼犬が大きな貝をかんだところ、その口が赤く染まった」というのがある。しかしこれも直接貝の汁を塗りつけたことを述べているにすぎない。

このような染色工程の記述の欠落は何を意味しているのであろうか。それに対してはいくつかの見解がある。その一つは秘密保持のためと断定するものである。別の一つは染色工の地位が一般的に古代社会ではほとんど尊重されなかっただめとするもので、秘密保持とは考えられないという。というのは貝紫による染色はローマ時代にすでにほとんどすべての地中海沿岸の民族がなれ親しんでいたからである。さらにまた秘密保持と染色工の地位の可能性を認めつつ、これらに現在のところではわずかな原文の資料だけが遺跡から回収されたにすぎないことを加えている。

貝紫染がはじまって15世紀以上たった紀元1世紀の中頃に、ローマのプリニウス(Gaius Plinius Secundus)がその大著『博物誌』の中ではじめてその工程を明らかにした。これは著者自身が直接観察したのか、しかるべきところから情報を得たのかは定かでないが、貝の採集方法、採集の時期、抽出物の処理法、染色の方法を具体的に記している。この中で貝としてはブルーブラとブキヌムがでてくるが、ブルーブラは *Murex brandaris* と *Murex trunculus* を、ブキヌムは *Purpura haemastoma* をさしているという⁹⁾。さいわいこの本の日本語訳¹⁰⁾が出版されているので、我々はその内容を味わうことができる。そこに記されている染色法として「貝から腺を取り出し、ブルンブムの容器の中で塩と水とともに10日間熱し、周期的に表面から廃物をすくいとり、その液体の染色性を調べたあと羊毛を染色するが、色を加減するのに人尿を加える」とある。このブルンブム *plumbum* はこれまで鉛 *plumbum nigrum* と考えられていたが、近年の化学的研究でスズ *plumbum album* とした方が再現性がよいということである¹¹⁾。そして多くの研究者は、ここで用いられている方法はアイ染でのいわゆる建染を意味していると考えているが、これに反対する意見もある。貝紫と建染の関係は後に述べる。またプルタルコス(Plutarchos)の『アレクサンダー伝』の中にも貝紫を用いた染色にハチミツと油を使うことが記されているが、これも建染とみれば意味がある。

ところで3世紀にエジプトで書かれたライデンパビルスなどにも貝紫染の材料や工程の記述がある。しかしここでの目的はその代用品をつくることにあり、貝紫が植物や昆虫の色素におきかわっている。一方ローマにおいては383年のテオドシウス(Theodosius)の勅令で、

貝紫による商業的染色は禁止され、国家の専売となった。そして純粋な貝紫で染めた服を着た宮廷以外の者は反逆罪で死刑にされたが、実はこれを最初に制定したのは紀元54年のネロ(Nero)である。

638年のアラビア人のイスラム侵入により、貝紫染は縮小され、前述の代用品の利用が増加してきた。そして1453年のコンスタンチノープルの陥落で、地中海での貝紫染は終止符が打たれ、1464年には貝紫のかわりにコチニールを用いるようにとの布告が出された。貝紫で染めた布はある時代にはその重さの金の10~20倍の価値があったといわれている。たとえば、ローマではある時期に一定量の2度染の紫絹が150000デナリに対して同量の模造の紫木綿は400デナリであった。このように貝紫染の歴史は人間の生きざまをあからさまに表現している事例の一つとみることができる。

ところで貝紫染の色の問題がある。古代には色の表現法がなかったことや、混乱した翻訳のためはっきりすることはわからない。その中に「褐赤色から、すみれ、紫、むらのない濃い藍青色をへて、青灰色にいたる」というのがある。現在はargamanとよばれる「濃赤色を背景としたすみれ色」、すなわち赤紫色といわれているが、tekhelet(ヒヤシンス紫)とよばれる青紫色もまた知られている。一方プリニウスは「凝固した血の色で、反射すると黒ずみ、透過光により輝く」と記している。しかしいずれにしても貝紫染の色には幅のあることは確かで、用いられた貝の種類や不純物によりかなり大きな差があったと思われる。

貝紫染の考古学的研究に少しだけふれると、1864年、フランスのガヤルド(Gaillardot)がレバノンのサイダの近くで、*Murex trunculus* の殻からなる長さ120m、高さ7~8mの積層を発見した。それらはすべて殻のある箇所が特別の道具で割られており、その箇所というのが鰓下腺のある位置である。そしてそこから離れた別のところに *Murex brandaris* と *Purpura haemastoma* の積層があった。これは古代の染色工場であったことはまちがいなく、この積層が2つあったところが意味深長である。

現在、科学的に同定された最も古い貝紫は、レバノンのサレブタにあるかつての染色工場跡から出土したつぼの中に付着していたもので、紀元前13世紀のものである。その確認方法は機器分析と化学分析を併用している。荷電粒子励起X線発光分析法PIXE、X線光電子分光法

ESCA, フーリエ変換赤外分光法 FTIR の測定結果と、後に述べる貝紫をロイコ溶液として日光にあてるとインジゴに変換する事実を利用している¹²⁾。

3. 貝紫の化学⁴⁻⁸⁾

貝紫を化学的見地からみたとき、たいていの書が取り上げているのが、1685年のイギリスの医者コール (W. Cole) の記録である。本論文¹³⁾の日本での入手が困難ということで金沢大学理学部の中西孝先生にお願いしてイギリスの Royal Society から直接とていただいた。9 ページの短いものであるが、筆者の英語力ではいさか手におえず、現在のところ詳細な検討を行っていない。それは「アイルランドの海岸で採取された海産軟体動物の体内から出る無色の液体が光にさらされると、うすい緑、濃い緑、海の緑、うすい青、紫がかった赤をへて非常に濃い紫赤色に変わる」というものである。その後、レオミュール (Réaumur) (1711年), デュアメル (Duhamel) (1736年), バンクロフト (J. Bancroft) (1803年), ビジオ (A. Bizio) (1835年) らの研究¹⁴⁾により貝紫の生成には日光や空気が必要なことが示された。そして1876年、ネグリ (A. Negri, G. de Negri)^{14, 15)}は *Murex trunculus* から得られる色素は2つの色素から成り、その1つはインジゴ (図2)

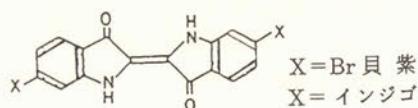


図2 貝紫とインジゴの構造式

であることを示唆した。また1879年、シュンク (E. Schunck)^{14, 16)}は *Purpura lapillus* 400 個から貝紫 7mg を得て、その貝紫はインジゴ系の化合物であると推定した。そして1909年、ドイツのフリードレンダー (P. Friedländer) が地中海産の *Murex brandaris* から得た貝紫より、その構造が 6,6'-ジプロモインジゴ (図2) であることを決定した。その研究は1907年から9年にかけて論文¹⁷⁻¹⁹⁾としてあらわれるが、最も苦労しているのは原料の貝の入手である。そこでは鰓下腺をろ紙に塗りつけ、日光にあてて貝紫を生成させ、抽出、再結晶を行った結果、貝 12000 個から得られた貝紫はわずか 1.4g にすぎず、これは貝 1 個から 0.1mg であることを意味している。その構造決定は元素分析が中心で、このとき臭素が含まれていることを見出したことは特筆すべきことであり、また彼がこれまでにチオインジゴなどのインジゴ系の化合物の研究をしていたことが幸いした。そして大胆にも前駆体の分子 2 個が結合して貝紫ができると推定し、その対称性から異性体の数をしぼり、それらを合成して、貝紫と同じものを探していく。というもの貝紫を分解して分解生成物から構造を決定するには量が少なすぎたからである。これら一連の論文は化学教育的見地からも味わい深いものがある。その後、フリードレンダー²⁰⁾や他の研究者たちはこの化合物は地中海をはじめ他の海で採れる貝が生ずる色素の主成分であることを示した。なお1909年、デュボワ (R. Dubois) は色素の生成に酵素が関与することを確かめたことは重要である。

その後の研究の中心は前駆体の単離と構造の決定、そ

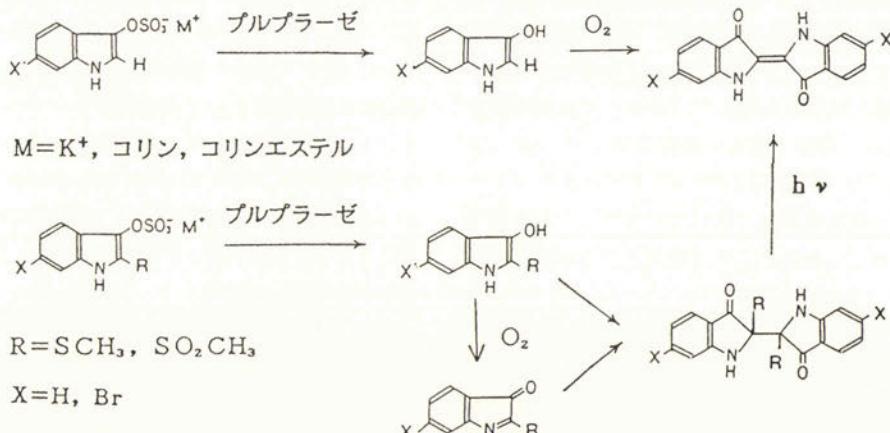


図3 貝紫の発色経路

の発色のメカニズムに移ることになる。それは1950年代から80年頃にかけて数グループの研究者²¹⁻²³⁾によりなされたが、それを整理して述べると次のようになる（図3）。まず鰓下腺は貝の種類により異なった前駆体を含んでいる。基本的にはチリインドキシル硫酸のカリウム塩かコリンあるいはコリンエステルであるが²⁴⁾、その2位置と6位置に置換基をもつものともたないものがある。もし2位置に置換基がないと酵素ブルブラーゼと空気中の酸素の作用だけで貝紫あるいはインジゴを生成する。また2位置に置換基をもつものにも2種あり、地中海産のものはメチルスルホニル基（-SO₂CH₃）をもつものが主で、オーストラリアや日本産のものはメチルチオ基（-SCH₃）をもっており、これが貝紫になるには酵素と空気のほかに日光の紫外線が必要である。ここで注意すべきことは6位置の臭素の有無で、臭素があれば貝紫となり、臭素がなければインジゴとなる。*Murex brandaris* や *Purpura haemastoma* などはほとんどが臭素をもつため貝紫となるが、*Murex trunculus* は臭素をもつものともたないものの両方を含むため、貝紫とインジゴを生ずる。その割合は3:4で²⁵⁾、雌が主に臭素をもち雄はほとんどもたないといわれている²⁶⁾。そのため *Murex trunculus* を用いて染色すると青色をおびることになり、古代のヒヤシンス紫はこれをさしている。そうすると貝紫の生成過程で、たとえばメチルチオ基が脱離することになり、そのままだとメタンチオール CH₃SH が、二量化すると二硫化ジメチル CH₃S-SCH₃ が生じて悪臭を放つことになる。古来貝紫染のさいの悪臭、ニンニク臭といわれるものの原因はこれである。ただメチルスルホニル基が多いと臭いが弱くなるのではないかと考えられる。なおこのとき反応がスムーズにいかないと、たとえば赤色の6,6'-ジプロモインジルピンができるが、これはさきほど述べた微妙な色合いの原因となる不純物であり、また黄色の6-ブロモイサチソができると全体の色調がくすんでくる。このようにして生成した赤紫色の貝紫や青色のインジゴは水に不溶性のため、還元剤を用いていわゆる建染の手法でロイコ溶液とし、可溶性にして布にしみこませ、空気酸化により発色させる。ところで後に述べるようにこの貝紫のロイコ溶液を日光にあてると臭素を脱離してインジゴになるため、これもまた青色をおびる原因ともなりそうである²⁶⁾。

4. 化学教材としての貝紫²⁷⁾

筆者が住む能登半島先端にある輪島市の海岸では、貝紫を生ずる貝のイボニシ *Thais clavigera* とレイシ *Thais bronni* が採集²⁸⁾され、また近くの七尾湾ではアカニシ *Rapana thomasiana* も採れる（図4）。これらはいずれも食料として昔から日常生活の中に見出されたものである。

以下に実験内容とその考察を示すが、ここで用いたイボニシは体長2.5-3.5cm、重さ2.5-5.5g、レイシは体長3-5cm、重さ5-10gのものである。産地はイボニシは輪島市鴨ヶ浦海岸、レイシは輪島市沖20kmにある七ツ島と珠洲市沖10kmにあるヨメグリ礁で、7-8月にかけてイボニシは筆者ら自身の手で、レイシは海女さんにお願いして探ってきてもらった。これらは生きたままポリエチレンの袋に入れ、密封して冷凍しておくと2年間程度なら使用できる。なおイボニシはほぼ全国の岩礁に見出されるといわれ³⁰⁾、肉食性で、養殖ガキにも被害を与えることがある³¹⁾。

やや凍結をといた貝を割り、暗室の電灯下で鰓下腺を取り出す。酵素の作用時間を確保するため器壁に塗りひろげてしばらくおき、エーテルで抽出する。この抽出液を日光にあてると赤紫色の沈殿が生じ、エーテルが蒸発し去るとかなり純度の高い（マススペクトルより）貝紫が貝1個につき1-2mg得られる。抽出溶媒としてはエーテルが最も優れているが、低学年の生徒実験ではエタノールを用いることもできる。なお日光にあてるときの色の変化や発生する悪臭にも注意する。

貝紫をごく少量とり、種々の有機溶媒に溶かしてみる。アセトン、ベンゼンなどの低沸点溶媒には不溶で、ニト

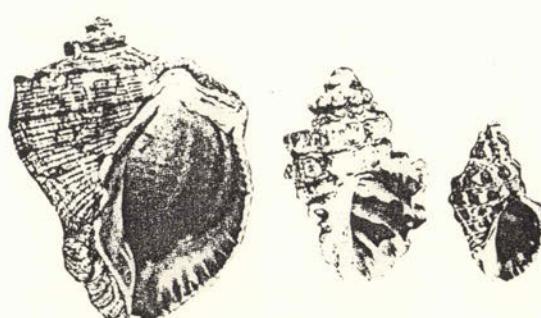


図4 能登半島で採集される貝紫を生ずる貝²⁹⁾
左よりアカニシ、レイシ、イボニシ

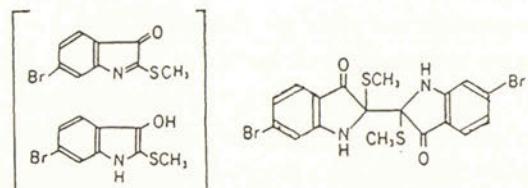
ロベンゼン、キノリンなどの高沸点溶媒には可溶で、熱時には青色をおび、冷えると青色沈殿を生ずる。とくにキノリンはフリードレンダーにより再結晶溶媒として用いられた¹⁸⁾。なお有機溶媒ではないが濃硫酸には溶けた。

貝紫はインジゴと同様に昇華性をもつが、バイルシュタイン反応であざやかな緑色を呈する。この反応が臭素によるものとの確認も可能である²⁸⁾。

貝紫を水酸化ナトリウムとハイドロサルファイトを用いてロイコ溶液にすることができる。これを日光にあてるとすみやかに緑色をへて青色の沈殿となる。このものはバイルシュタイン反応は陰性で、マススペクトルと薄層クロマトグラフィーからインジゴであることが認められた。合成品の5,5'-ジプロモインジゴや5,5',7,7'-テトラプロモインジゴでもこの変化が観察される。この現象は貝紫による染色を行っていた一生徒が見出したものであるが³²⁾、すでに1944年、オランダの研究者が報告している³³⁾。しかし古来より著名な動物染料が、日光によりやはり著名な植物染料に変換することは化学教材としてもたいへん興味深い。

貝紫、インジゴ、さきの青色物質のロイコ溶液からロイコ体をエーテルで抽出することができる。これを窒素気流中で薄層クロマトグラフィー (Merck: Kieselgel 60 F₂₅₄) を行う。ベンゼン:酢酸エチル = 9:1 で展開すると、貝紫は Rf 0.48 の位置に赤紫色の、インジゴは Rf 0.63 に青色のスポットを与える。青色物質ではインジゴのスポット以外にまれに Rf 0.82 の位置に青色のスポットがあらわれることがあり、モノプロモ体の生成をうかがわせる²⁾。なお青色物質を除いた残渣から臭素の検出を試みたが³³⁾、量が少なすぎるためうまくいかなかった。

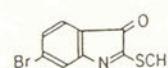
貝紫の前駆体の確認であるが、ここではとくに実験操作中に生成する物質もあることに注意したい。暗所で鰓下腺のエーテル抽出液についてさきと同様に薄層クロマトグラフィーを行うと黄色の3スポット (Rf 0.85 (A), 0.64 (B), 0.55 (C)) があらわれ、これを日光にあてるといずれも赤紫色になる。またまれに青色 (Rf 0.42 (D)) と黄色 (Rf 0.26 (E)) のスポットがみられることがある。これらは日光では変化しない。とくに青色のスポットはインジゴとは異なるようにも思われる興味深い。なお薄層クロマトグラフィーではイボニシ、レイシ、アカニシには現在のところ差は認められないが、



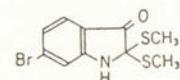
電荷移動錯体

二量体

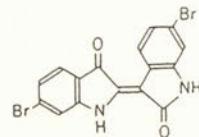
図5 チリバージンの構造式



A (A')

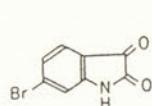


C



6,6'-ジプロモインジルビン

B'



6-プロモイサチン

E (C')

図6 貝紫中間体の構造式

Murex trunculus のこともあるのでさらに検討の必要を感じている。

貝紫の直接の前駆体のチリバージン (図5) を容易に得ることができる。さきのエーテル抽出液を密栓して暗所に放置するだけで、緑色の沈殿が生成してくる。固体のチリバージンは日光や熱で赤紫色になるのに時間がかかるが、クロロホルムに溶かして日光にあてると瞬時に赤紫色の沈殿を生ずる。当初、このものは図5のようなキンヒドロンタイプの電荷移動錯体と考えられていた⁴⁾。しかしその後の研究で二量体であることがわかった²³⁾。そうするとその構造からみて立体異性体の存在が推測されるが、実際、d, l 体とメソ体の存在が確認されている³⁴⁾。またチリバージンを除いた残液の薄層クロマトグラフィーを行うと、黄色のスポット (Rf 0.85 (A'), 0.26 (C')) のほかに赤色のスポット (Rf 0.49 (B')) があらわれる。これまでみてきたスポットのいくつかは文献6, 35) と試料合成から図6のような構造と考えられる。

次に貝紫による染色について触れる。鰓下腺を直接布や紙に塗りつけて日光にあてると悪臭を発して貝紫を生じ付着する。また爪や皮膚に染着すると容易にとれず、

とくに爪でははえかわるまでの約100日間色落ちしない²⁸⁾。エーテル抽出液に木綿片と絹片を暗所でひたし、日光にあてる操作をくりかえすと次第に赤紫色に染色される。また貝紫のロイコ溶液に布をひたし、暗所に置くと赤紫色に、日光にあてると青色に染色される。なおまた *Murex trunculus* にあやかり、貝紫とインジゴの混合物をロイコ溶液とし、布にしみこませて暗所に置いて色調をみるのも興味深い。しかし実際にやってみると、貝紫とインジゴの染色温度や染着速度などが異なるためか、現在のところ良好な結果を得ていない。さらに布に對してはエーテルになじみにくい水溶性の物質、たとえばデンプンや水あめなどを利用して模様を残したり、反応をカラー写真に記録するなどして、実験結果を保存できるようにすれば教育的にも好ましいのではないかと考えている。

ところで貝紫を高校の実験室で合成することができる。実はこの物質は、フリードレンダーが貝紫の構造決定を行う前にすでに人工的に合成されていたことに注意したい^{36, 37)}。貝紫の合成法はこれまでいくつか見出されているが、その一つに化学教材として活用することを意図した *o*-ニトロトルエンを出発物質として合成する方法がある³⁸⁾。しかしここでは臭素や無水クロム酸を使用するため生徒実験としては好ましくない。そこで詳細は別の機会に記すことにするが、筆者は生徒とともに *p*-トルイジンを出発物質として4段階の過程をへる方法で行った³⁹⁾。ここでも有毒な亜硝酸エチルを用いる箇所があるが、教師立会いのもとドラフト中で行うことでしのぐことができる。赤紫色の貝紫を手にしたときの感激は忘れないがたく、合成品を天然物と対比することは教育的にも有意義と思われるし、少量しか得られない天然物の代用品として用いることができて好都合である。なお中間体のいくつかも合成できる。

5. おわりに

これまで述べてきたように貝紫というロマンにみちた物質を化学教材として用いる場合には、その歴史を含めることはきわめて自然であり、色変化の豊かな実験を組みこんだとき、化学史でたどる化学実験⁴⁰⁾の格好の素材の一つと考えられる。そして小学生から大学生にいたるまでの広い学齢層にわたって用いることができる。筆者はこれまで小学校5-6年生を対象とした輪島市ちびっ子化学教室⁴¹⁾、中学生を対象とした石川県立中央児童会

館での化学実験クラブ⁴²⁾、勤務校の科学部⁴³⁾での研究材料として用いてきた。

生物学的観点からも本教材は興味深い。通常辛味成分といえばコショウ、ワサビ、トウガラシなどほとんどすべてが植物から分離されているが、この鰓下腺が辛味成分を含むのである⁴⁴⁾。その成分の一つが中間体の一つ(図6のA)であることがわかっており、辛味の発現は分子中の N=C-S 結合によると考えられている。また貝紫の前駆体と人尿中に含まれているインジカン⁴⁵⁾の分子は同じ骨格を持っていることに注意すべきで、インジカンはトリプトファンの分解生成物である。さらに興味深いことはハワイ産のある擬索類の体内に前もってつくられた貝紫が発見されたという⁴⁶⁾。なお鰓下腺がなぜこのような物質を含むのかの基本的な問題はまだ解明されていない。

謝 辞

本研究をなすにあたり多くの方々のご指導とご協力をいただいた。金沢大学阪上正信名誉教授と石川県教育センター米田昭二郎元参与は教材化のきっかけを与えられた。浜松医科大学医学部藤瀬裕教授は化学教材化にあたり数々の貴重な御教示を与えられるとともに、文献の提供と機器測定を行われた。姫路工業大学理学部中辻慎一助教授は文献の提供とその語学上の援助を与えられ、金沢大学理学部中西孝助教授、三共株式会社大島武史博士、武藏高等学校武藤伸元教諭、慶應義塾幼稚舎高梨賢英教諭は文献の入手に協力された。深く感謝の意を表する。

なお本研究の主要な部分は1991年日本化学会第61春季年会と1991年度化学史学会年会で講演したものである。

文献と注

- 1) 前川悦朗『染料と色、改訂版』(名古屋工業大学、1986), 40頁。
「古代紫は色の名称として用いられるので、貝紫の方が適當であろう。」とある。
- 2) P. E. McGovern, R. H. Michel, 'Royal Purple Dye: The Chemical Reconstruction of the Ancient Mediterranean Industry', *Acc. Chem. Res.* 23 (1990): 152-158.
- 3) P. Friedlaender, 'Über antiken Purpur', *Angew. Chem.* 22 (1909): 2321-2324.
- 4) J. T. Baker, 'Tyrian Purple: an ancient dye, a modern problem', *Endeavour* 32 (1974): 11-17.

- 5) 吉岡常雄, 上野民夫「天然染料と染色—古代の紫を中心」『化学教育』33 (1985): 488–491.
- 6) I. I. Ziderman, 'Biblical dyes of animal origin', *Chemistry in Britain* 1986, 419–421, 454.
- 7) R. H. Michel, P. E. McGovern, 'The Chemical Processing of Royal Purple Dye: Ancient Descriptions as Elucidated by Modern Science', *Archeomaterials* 1 (1987): 135–143.
- 8) H. Zollinger, 'Welche Farbe hat der antike Purpur?', *Textilveredlung* 24 (1989): 207–212.
- 9) 相馬隆「古代の貝紫を探る—フェニキア紫雑考」『染織α』11 (1983): 40–45.
- 10) 中野定男, 中野里見, 中野美代訳『プリニウスの博物誌 I, II, III』(雄山閣, 1986).
- 11) R. H. Michel, P. E. McGovern, 'The Chemical Processing of Royal Purple Dye: Ancient Descriptions as Elucidated by Modern Science, Part II', *Archeomaterials* 4 (1990), 97–104.
- 12) P. E. McGovern, R. H. Michel, 'Royal Purple Dye: Tracing Chemical Origins of the Industry', *Anal. Chem.* 57 (1985): 1515A–1522A.
- 13) 'A Letter from Mr. William Cole of Bristol, to the Phil. Society of Oxford; containing his Observations on the Purple Fish.', *Phil. Trans. Roy. Soc.* 15 (1685): 1278–1286.
- 14) E. Schunk, 'Notes on the Purple of the Ancients', *Chem. Soc. Trans.* 35 (1879): 589–596.
- 15) A. Negri, G. de Negri, *Ber.* 9 (1876): 84.
- 16) E. Schunck, *ibid.* 12 (1879): 1358.
- 17) P. Friedlaender, 'Zur Kenntnis des Farbstoffs des antiken Purpurs aus Murex brandaris', *Monatsheft Chem.* 28 (1907): 991–996.
- 18) P. Friedlaender, 'Zur Kenntnis des Farbstoffs aus Murex brandaris', *ibid.* 30 (1909): 247–253.
- 19) P. Friedländer, 'Über den Farbstoff des antiken Purpurs aus Murex brandaris', *Ber.* 42 (1909): 765–770.
- 20) P. Friedländer, 'Über die Farbstoffe aus Purpura aperta und Purpura lapillus', *ibid.* 55 (1922): 1655–1658.
- 21) J. T. Baker, M. D. Sutherland, 'Pigments of Marine Animals', *Tetrahedron Letters* 1 (1968): 43–46.
- 22) H. Fouquet, H. –J. Bielig, 'Biological Precursors and Genesis of Tyrian-Purple', *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* 10 (1971): 816–817.
- 23) C. Christoffersen, F. Watjen, O. Buchardt, U. Anthoni, 'A Revised Structure of Tyrivedin—the Precursor of Tyrian Purple –', *Tetrahedron* 34 (1978): 2779–2781.
- 24) J. T. Baker, C. C. Duke, 'Isolation of Choline and Choline Ester Salts of Tyriodoxyl Sulphate from the Marine Molluscs Dicathais orbita and Mancinella Keineri', *Tetrahedron Letters* 15 (1976): 1233–1234.
- 25) I.I. Ziderman, 'Blue Thread of the Tzitzit: Was the Ancient Dye Prussian Blue or Tyrian Purple?', *J. Soc. Dyers Col.* 97 (1981): 362–364.
- 26) O. Elsner, E. Spanier, 'The Dyeing with Murex Extracts, An Unusual Dyeing Method of Wool to the Biblical Sky Blue', *Proceedings of the 7th International Wool Textile Research Conference* (Tokyo) 5 (1985): 118–130.
- 27) 日吉芳朗, 藤瀬裕「化学教材としての貝紫」『化学と教育』40 (1992), 390–393.
- 28) 日吉芳朗「郷土の素材を用いた化学教育—貝紫による染色」『同誌』37 (1989), 654–655.
- 29) 渡部忠重, 伊藤潔『原色世界貝類図鑑〔I〕』(保育社, 1965), 40頁.
- 30) 安達治郎「身近にもある貝紫」『染織α』11 (1983), 26–29.
- 31) 田中彌太郎「イボニシのマガキ稚貝に対する加害機構について」『日本水産学会誌』15 (1949), 447–457.
- 32) 日吉宏朗「能登の帝王紫（チリアンパープル）」『第3回石川地区中学高校生徒化学研究発表会要旨集（日本化学会近畿支部）』1988, 48–51頁.
- 33) J. van Alphen, 'Remarks on the action of light on several substances, most of them containing halogen, in particular several indigo dyes, in a reducing medium', *Rec. Trav. Chim. Pays-Bas.* 63 (1944): 95–96.
- 34) Y. Fujise, K. Miwa, S. Ito, 'Structure of Tyrivedin, the Immediate Precursor of Tyrian Purple', *Chem. Letters* 1980, 631–632.
- 35) J. T. Baker, C. C. Duke, 'Chemistry of the

- indoleninones', *Aust. J. Chem.* **26** (1973): 2153–2157.
- 36) F. Sachs, R. Kempf, 'Über p-Halogen-o-Nitrobenzaldehyde', *Ber.* **36** (1903): 3299–3303.
- 37) F. Sachs, E. Sichel, 'Über p-substituirte o-Nitrobenzaldehyde', *ibid.* **37** (1904): 1861–1874.
- 38) 烏本昇, 森本進, 新垣忠男「教材としての貝紫色素の合成」『化学と教育』**39** (1991), 198–201.
- 39) W. Rottig, 'Über eine einfache Synthese des antiken Purpurs', *J. prakt. Chem.* **142** (1935): 35–36.
- 40) 日吉芳朗「化学史でたどる化学実験」を行なって」『化学教育』**22** (1974), 255–261.
- 41) 高木信治「チビッ子科学教室」『かもめ通信（輪島ライオンズクラブ）』**19** (1985), 6.
- 42) 日吉芳朗「化学史で学ぶ実験クラブ—石川県立中央児童会館—」『化学教育』**33** (1985), 437.
- 43) 日吉芳朗「わがクラブの歩み—石川県立輪島高校科学部—」『化学と教育』**39** (1991), 225.
- 44) 國伊久磨『続々パイプのけむり』(朝日新聞社, 1977), 72–76頁.
- 45) 高山貞七「尿「インジカン」, 新試験法ニ就テ」『東京医学雑誌』**25** (1917), 495–502.
- 46) T. Higa, J.J. Scheuer, 'Bisindoxylic-Derived Blue Marine Pigments', *Heterocycles* **4** (1976): 227–230.

新入会員名簿（続き）

[広 場]

マ ン ガ と 科 学 史

大 野 誠*・内 野 若 菜*

は じ め に

マンガが日本の現代文化のなかで一定の役割を果たしていることは、よく知られている。そのマンガの世界で科学史がどう取り扱われているかを見ておくことは、化学史や科学史に関心を寄せ、教育に携わる方にとって意味があると思われる。

ほるぶ出版から山崎正勝・木本忠昭監修指導のシリーズ本「漫画人物科学の歴史（世界編）」が出版されたので、その1冊『バスカル・ニュートン—近代科学への離陸』（1990年）を取り上げ、検討してみることにした。第1部はマンガ好きの学生2人と筆者との座談会、第2部は科学史にも強い関心をもっておられる若手マンガ家の書評である。

なお、このシリーズは全部で13巻からなり、それぞれの巻で科学史上の著名な人物が複数名取り上げられている。たとえば、アリストテレスとアルキルメデス、ダ・ヴィンチとコペルニクス、ガリレオとハーヴィー、アークライトとワットや、ダーウィンとバッソール、アインシュタインなどである。そのなかには、ラヴァジエとドルトンのような化学史にかかわる作品もあるが、この企画の段階では未刊のため、既刊のなかで化学とも深い関係のある人物、ニュートンを扱った巻を選んだ。紙面の都合で、座談会については発言内容を損なわない程度に



図1 左側の人物がニュートン

圧縮し、表現を改めたことを申し添えておく。

第1部 座談会

山崎正勝・木本忠昭（監修指導）佐々木ケン（漫画・シナリオ）『バスカル・ニュートン』（漫画人物科学の歴史、第4巻、ほるぶ出版、1990年）をめぐって

<出席者>

F：藤田維斗（長崎大学工学部1年）

N：中野真一（長崎大学経済学部1年）

司（司会）：筆者

*藤田・中野の両君は、筆者の講義「科学史」（通年科目）の受講生で、講義の際にこの企画への参加を募ったところ、自発的に応募してきた学生である。

藤田君は子供の頃から科学マンガをよく読んできたという経歴の持ち主。中野君は今でもアルバイト先のコンビニエンス・ストアで暇をみつけてはマンガを読みあさっているとのこと。

<日時> 1992年2月19日（水曜日）午後

<場所> 長崎大学文教キャンパス正門前の喫茶店

司：まず、全般的な感想を……

F：昔読んだ、たとえば発明・発見の秘密といったものをちょっとむずかしくして、専門的に書いている感じでした。

N：はっきりいって、面白くなかった。

司：面白くない点は？

N：中途半端に難しい、内容をもっと簡単にすべきだと思います。小学生や中学生では難しそうです。解るのは高校生くらいでしょう。大学生なら読まない。大学で科学史の講義を聞き、歴史の流れがある程度わかっていてれば、この本を読んでなるほどと思うところもありますが、そうでないとどうでしょうか。

司：科学の話をマンガ本で扱うのは、可能でしょうか？

F：友達も含めて、よく子供の頃に読んだマンガ本は、大森実・矢部一郎監修『学研発明・発見の秘密』（学習研究社、1974年）です。

司：監修者は二人とも科学史家で、大森氏は物理学史や日本近世史、矢部氏は日本生物学史を専門とする方々

1992年11月20日受理

* 長崎大学教養部

連絡先：〒852 長崎市文教町1-14（勤務先）

です。これは科学の本で、科学史ではありません。発明・発見物語であるにしても、当時の科学の様子をマンガで表現することは可能で、それも一つのやり方ではないかと思いますが、科学史をマンガ本にするなら……？

N：可能でしょうが、この本では特に解説が小中学生には難しすぎると思います。

司：このなかで描かれているニュートンについては、どういう印象をもちましたか？

N：「いやな奴」という感じです。特にフックの肖像画を捨てたエピソードは、重力の発見過程より強く印象に残っています。

F：ニュートンは、本当にこのように暗い人物だったのかと疑問に思いました。

司：そうした印象は、著者たちのニュートン理解に原因があるでしょう。「近代科学の完成者」だが、実は「陰気な天才」であったというのが、この本の根本的な理解ですから。

F：先生は講義のなかで、ニュートンの生涯を大きく二つの時期に区分され、前半期では重力や光学などの科学研究と共に、鍊金術にかなりの時間を費やしていたこと、また後半期では科学の権威者としてだけでなく、議員や政府高官としても活躍していたことを述べておられました。この本では、これらについてほとんど触れられていませんが、どうしてなのでしょうか。漫画家の方はともかくとしても、監修者や解説を書いておられる方々はニュートンの研究者ですか。

司：ご研究の全部を知っているわけではありませんが、私と同じように、特にそうではないと思います。

F：それにしても、漫画家の方は随分勉強されたのでしょうか。かなり詳しい逸話も紹介されていますから。でも、本当に科学史を勉強するつもりならば、このマンガではやはり無理だと思います。

N：科学の目を育てるという目的にしても、この本では無理でしょう。

司：こうした類のマンガ本で、普通の堅い学術書より有益であったことが何かありますか？

N：結構あります。人生について考えさせられたり、読み終わってから物思いに耽ったマンガもあります。

司：ある種の人生観とか社会観とかを得たというマンガはあると思いますが、科学史でそういうマンガは可



図2 右側の人物がニュートン

能でしょうか？

N：可能でしょう。しかし、この本は、無理やりに科学者の伝記をマンガにしたものですね。

司：仮にこれが図書館にあるとすると借りて読みますか。

N：読みません。もし大学生が借りるなら、明日までにどうしてもニュートンについてすぐ知りたいという場合でしょう。たとえば、レポートや試験で、そのときには利用するかもしれません。1~2時間あれば読めますので「手っ取り早い試験の友」です。
(一同、爆笑)

司：最後にニュートンに関して印象に残った絵を教えてください。

N：キャラクターがよく描かれているので、僕は図1です。

F：僕は図2の方です。

司：どちらも陰気で暗いというイメージのものですね。今日はどうもありがとうございました。

第2部 内野若菜氏による書評

書評者紹介：名古屋大学文学部（西洋史専攻）を卒業後、同大学院修士課程を中退。卒論および大学院では、18世紀イギリスの非国教徒アカデミーの一つ、ウォリングトン・アカデミーやマンチェスター文学・哲学協会の歴史を研究。この後、中日新聞の地方版でカット漫画を担当。現在は、名古屋大学経済学部に勤務。

漫画による科学史——。これまでに歴史上の人物として「科学者」が漫画化されたことはあっても、本シリーズのように系統的に科学史を漫画化したものはなかったように思われる。漫画と一口に言ってもいろいろな表現方法があり、文章表現と視覚表現の両方を兼ね備えたメディアである。また科学史と言った場合でも、何に焦点

をあてるかによってその姿はおのずと違って見えてくる。では本書は漫画作品としてはどのようなものなのか、そして漫画で科学史を表現する可能性は何か、これらについて、ここで考えてみたい。

本書の特徴は、シリーズ名にもあるように「人物」に焦点をあてた人物史であり、17世紀ヨーロッパ世界において「近代科学」というものが離陸していく過程を、パスカル、ニュートンらを通じてわかりやすく伝えるということである。その点、それなりに工夫された作品だと思う。巷にあふれるこの種の漫画のほとんどが、「単調、退屈、無味乾燥」の三拍子が揃った完成度の低いものであることを思うと、少々絵柄が荒くて今風ではないという面はあるものの、それを補って余りある……と言ったら言いすぎであろうか。

あの石ノ森章太郎氏の『マンガ日本経済入門』以来、実用書、学習参考書はもとより、マニュアル、各種のPRパンフレットにいたるまで、漫画による解説書が登場するようになった。この類の漫画は、かつては「学習漫画」と呼ばれ、学習雑誌やその付録に欠かせぬ子供の友だった。国語、算数、理科、社会と各教科に存在し、私もこれで玉川上水の歴史や体積の出し方、バストゥールの伝記などを、授業とは全く別に「学習」した覚えがある。その子供の友が、内容的には「学習」のみならず、歴史ものや難解な理論、文芸作品などをもカヴァーするにいたって今や大手文芸出版社の重要な収入源となり、「漫画」は子供の読むもので、大人の本を出す出版社はまず絶対に漫画本など出さないという時代を過去に押しやった。本書は、あきらかにこの線上にあると思われるが、ではなぜ本書は先に述べたような「単調、退屈、無味乾燥」の三拍子から免れることができたのだろうか。

この三拍子、つまり「面白くない」の陥穰のひとつは、語り口のワンパターン化である。内容をわかりやすく伝えるという目的を持つこの種の漫画の典型は、進行役・狂言回しを用いること。例えば、①白衣を着たひげの博士+②少年・少女、①先生+②生徒・そのペット、あるいはただ単に①大人+②子供、また科学ものによくある①エイリアン+②地球人といった組み合わせがあり、①は「知るもの・教えるもの」で、②は「知らぬもの・教えられるもの」である。(しかし最近では、①にそれまで②の範疇だった「かわいい女の子」が参入している。)この組み合わせの特徴は、「博士、どうしてお空は青いんですか?」「それはね、空気中の細かい粒が……」と

いうようなやりとりに見られるように、②が読者のかわりとなって疑問を発し、それに①が答えていくことによって話を進行させるというところにある。それはそれでひとつの伝え方であり、一般によく使われているのであるが、そこには常に①→②という流れがあるため、おのずと教科書的になる。よって、前述の三拍子に陥りやすくなるということなのだ。

それから、テキストをただ単に絵に置き換えただけ、という場合も陥穰のひとつに考えられる。単に絵に置き換えていくだけでは、事柄の直線的な羅列に終始してしまう。描き手がテキストにどこまで入り込めるか(=有機的に一体化するか)の勝負と言ってもいいかもしれない。その点、ここではおそらく監修者との入念な打ち合わせが繰り返されたであろうことが、クレジットにシナリオ=佐々木ケンと明記されていることから想像することもできる。

本書は、基本的には進行役を用いるパターンにのっとっているが、進行役は地の文のナレーション、つまり作者である。それを受けた登場人物が入れ代わり立ち代わり舞台を引き受け、テンポよく話を進めていく。「学習漫画」の常として、説明部分になると文章や説明図が多くなって読みづらくなるし、描くほうも描きにくいものだが、いきなり生硬な説明の羅列にならぬよう、その発見や業績にいたる思考の追跡、実験過程を多く漫画化することによって、これをかなりクリアしている。ちなみに、取り上げられているのは、「パスカル」においてがトリシェリの真空、パスカルによる追試、それから導かれたパスカルの原理、ゲーリケおよびボイルの法則であり、さらにそれを受けた「ニュートン」では、デカルトを踏まえたのち、ニュートンの「三大発見」(微積分、万有引力、光学)、王立協会、フックとの確執、『プリンキピア』の出来るまで、ライブニッツとの論争、という流れとなっている。

これを讀んでいると、まさに先に書いたような「登場人物が入れ代わり立ち代わり」の17世紀ヨーロッパが結構感じられて興味深い。パスカル、ニュートンといったタイトルロールの17世紀科学革命の巨人だけでなく、様々な人々が上記の諸発見にそれこそ「入れ代わり立ち代わり」関わっており、実際に多くの人々が同じ事について考え、実験をしていたことが描かれている。そして、そういう人々が切り結ぶ場として、例えば「パスカル」ではパリ・メルセンヌ・アカデミー、「ニュートン」では王立協会の活動を紹介し、このような活動が当時の「新

しい学問」=「科学」の場であったことも押さえている。また、ヨーロッパが文通などのコミュニケーション手段によって結ばれていたこと（オルデンバーグの語学能力）、世界初の学術雑誌としての『哲学会報』（これ以後、研究発表は本の体裁ではなく雑誌への論文掲載の形をとることになったこと）なども踏まえられ、今日の「科学」につながっていく重要な時代であることを示している。

となると、「科学」という営みをこのような「場」で行う際のルールのようなものが必要になってくるのでは、ということになる。それも、「科学」の考え方自体に最低必要な基本ルールが、旧弊の考え方を打破する立て役者として、まずガリレオが、それらを実験や観察によってひとつひとつ潰していく（モグラ叩き）、そこへデカルトがそれら全体を根こそぎにして土台から新しく作っていく（ブルドーザー）、パスカルは正しい推論と正しい実験の方法を世に示し（早逝の天才）、さらにニュートンが世界観ともいえる力学を、数学を駆使して証明に導き、「原理」をうちたてていく……この過程を共通認識を持った人々の場を舞台にして、わかりやすく展開している。

その他にも現代の科学活動に通じる諸問題（研究成果の引用、先取権、再現性など）や、ハリー、レン、フックの三人が引力と惑星の橿円軌道との関係について話し合う場面では、コーヒーハウスという場がさりげなく、しかし一応きちんと描かれたりしていて、とにかく読み飛ばせないものがある。テキスト、シナリオの功は大変大きい。

本書には、以上簡単にあげた以外にも読みどころがた

くさんある。科学史の研究成果をそれなりに踏まえており、わかりやすく読者に伝えている。先にも書いたように、わかりやすく伝えるのがこのような「学習漫画」の使命であり、それは教科書の使命と同じであるならば、このように「学習漫画」のスタイルで表現された科学史は、科学史の教科書として、それも質が高ければ「面白い」教科書となることができるだろう。

では、漫画で科学史を表現するということを考えた際、それは上に述べたように教科書としての性格を持ったものにしか当てはまらないのだろうか。ことは全く、映画、文学、演劇といった他のメディアを用いる場合も同じである。そして、科学史の研究成果自体をどう表現するかということにも関わってくる。はたして、研究成果の表現形態の王道は、17世紀に始まったように、学術論文雑誌に掲載される学術論文であり、単行本化されたものであろうか。他のメディアによる表現はあくまでサブ、脇道であるという認識がある以上は、「面白い」教科書の域を越える漫画が登場することは難しいと思われる。むしろ、学術研究（論文）を他のメディアと全く別の道を行くものと限定せず、例えば、当時の時代や人々、その営みを活写するというところに目標（のひとつ）があるとするならば、論文によるのと同様、あるいはそれ以上、あるいはもうひとつの役割を漫画その他のメディアに見ることもできるのではないだろうか。あの『薔薇の名前』のように、まさに研究の成果と物語が一体となった世界が、漫画によっても作られることを期待することは不可能ではないと思いたい。

（内野若菜）

新入会員名簿（続き）

[広 場]

「1992年度化学史研究発表会」傍聴記

藤 井 清 久*

1992年度化学史研究発表会も無事にすんだ約1週間後、あらかじめ編集部から「傍聴記」を依頼されていたので、筆者は二人の友人たちと、今年度発表会について意見を交換した。友人たちの希望で匿名とするが、仮にこの友人たちをA、Bとしておく。A氏は、主として西洋化学史を専攻する若い研究者、B氏は主として日本化学史を研究する中年の化学史家で、司会は筆者である。以下は、三者による座談会の記録である。実は、一杯やりながらの意見交換であったので、多少過激で無礼な意見や筋違いな見解も散見されるが、個人的にはまったく他意はないのでお許し頂きたい。また記録が正確にとれていればどうか、かつまた講演の要約が適切であるかどうか自信はないが、文責はすべて筆者にある。なお発表者に対する敬称は、すべて「会員・会長」に統一させて頂いた。

司会：本年度の研究発表（シンポジウム、一般講演）の特徴は、日本化学史の講演が圧倒的に多かったことだと思います。ですから、Aさんには、少し残念だったと思いますが、それだけにかえって一般的立場から講演を聞けたと思いますので、今日は憎まれ役になって、感じたことを腹藏なく話して頂きたいと思います。それでは、AさんBさんの順で、全体的な印象からお願ひします。

A：いま司会者がいわれたように、西洋化学史の発表が少なかったことは、寂しい気がしますが、考えてみれば、さほど不思議がない気もします。ベックマン・センター長であるベンシルヴェニア大学の化学史家サックリも、英国化学史の研究から最近は専らアメリカ化学史に熱を入れています。アメリカも日本も、科学の発展からみれば後進国ですが、現代では科学技術の中心的位置を占めているのですから、このような著しい発展を遂げた国の歴史に关心が集中することは、ある意味で当然であるわけです。ですから、日本科学史の研究者も、世界から注目を浴びていることを自覚して、進んで研究成果を

外国語で発表する必要があると思います。

B：私もAさんと同感です。これまで、日本科学史の研究は、あまり外国との関連などを意識せずに、もっぱら国内の発展にばかり目を注いで、世界史的な視野に欠けていた憾みがあります。おそらくこれからは、日本史研究者といえども、外国の文献を読む必要があり、研究成果を英語で書くということが、もっと一般的になってよいと思います。ただ、アメリカにせよ、日本にせよ、自国の歴史に熱中する余り、戦時中の「日本科学」のような、奇形的な民族主義的自尊心みたいなものが、高揚されることがないないように気をつけなければならないと思います。

司会：まさかそのようなことが、繰り返されることもないでしょうが、そのような心配は別として、私がベンシルヴェニアに行ったとき、「アメリカ哲学会」の図書館司書の方から、英語で書かれた「日本科学史・技術史」の本を紹介してほしいといわれ、大変返事に困りました。日本科学技術史の研究者がもう少し英語で論文を発表し、それをまとめれば本になると思いますが、そのような努力は、これからもぜひ必要になると思います。ではシンポジウムから、おおざっぱな内容を私がまとめ（詳しい内容は、『講演要旨集』に譲る）。それについてのご意見を伺います。最初は、宗田会員による「宇田川三代と化学」です。もともと宇田川三代（槐園一株斎一榕菴）は、内科医の系統に属し、薬学との関連から化学を学ぶ必要を認識したわけです。ですから槐園は、製薬化学を「製煉術」と名づけ、親子三代にわたる化学への関心が榕菴の『舍密開宗』に結実するわけです。宇田川三代による著述の特色は、主要な原本を中心として、そこに新しいさまざまな知識を加えて一つの訳述書を完成するという、様式上の特色があるというのが、講演の内容です。

A：この講演は、研究発表というよりは、啓蒙的講演という感じがしますが。

B：もちろん蘭学研究者ならば、周知のことですが、分野の異なる会員の場合、知らない人もいるでしょうから、良いのではありませんか。

1992年12月12日受理

* 東京工業大学工学部
連絡先：

司会：シンポジウムというのですから、もちろん研究発表とは限らず、「日本化学の伝統—舍密から化学へー」という主題導入の講演としては、むしろふさわしいといえます。次の松田会員の講演は、身内の御不幸のために、キャンセルされました。三番目は、大岩会員による『舍密』に至るまで—陰陽五行の説から元素へです。

この講演では、朱子学の「理・気」に基づく陰陽五行によって物質を説明する思考法から、西洋的な元素概念への移行が、説明されました。「気」の説明では、三浦梅園の思考が、取り上げられていました。

A：これも、研究発表ではなく、序論的講演ですね。

司会：その次の講演は、菅原会員による「Atom の訳語『原子』への過程をめぐって」です。この講演は、講演者によるこれまでの研究を踏まえているのですが、atom の訳語として分子、極微、元子、原子等々の訳語が用いられたことをかなり完全な「系譜図」によって示し、「原子」という訳語は元来数学で用いられた用語であること、この用語を用いたのは石黒忠憲などの医学者に多かったこと、最終的には東京化学会の訳語委員会の決定によって現訳が定着したこと、などが説明されました。

A：この講演で思い出されるのは、ラヴワジエが化合物の命名法を定めたとき、この命名法を用いることはラヴワジエの化学を受け入れたことだと、見なされたことです。用語の使用というのは、多分に学派の形成と関連しますね。

B：講演者は、医学者の系列と「原子」という訳語の使用とを結びつけて考えているようでしたが、他の科学者の場合は、あまりはっきりと言及しませんでした。しかし、もっと調べてみると幕末明治初期の学派形成と、訳語の使用とは、何か関係があるかも知れません。

司会：次の講演は、大沢会員・土井会員の共同研究「舍密開宗についての二、三の考察」ですが、土井会員が発表されました。内容は、『舍密開宗』の英語原本ヘンリーの著作、および蘭語訳原本・イベイの著作について、現在日本に存在する諸版についての書誌学的研究、榕菴が異なる表題を考えていた可能性、現存する榕菴の書簡の紹介などです。

A：私は、西洋科学史の研究に慣れているものですから、書誌学的研究の価値があまりわからないのです。私などの感覚では書誌学的研究は、なんらかの主題があって、その主題を論証する過程で論じられるべきものだと思います。書誌学的研究そのものに、大きな価値がある

とは思われないのでしょう。

B：Aさんの言われることも一理あるのですが、日本科学史の研究の場合、現存する原典は写本ですから、筆者によっても変わっている場合がよくあります。それで、原典つまり手稿の書誌学的研究も重要な場合があるわけです。

司会：私の感じでは、『舍密開宗』のような有名な書物について從来と異なる研究をするとすれば、写本や書簡まで再検討することが必要になると思います。その意味で、確かにAさんが言うように、現在のところまだ未完ではありますが、今後の研究成果が大いに期待できると思います。次の講演は、八耳会員による「清末期における漢訳西洋科学書の出版と日本への影響」です。この講演では、漢訳西洋科学書が幕末・明治初期の日本に与えた影響、來華宣教師の翻訳活動、19世紀後期に中国で刊行された化学関係書などについて、講演者自身および從来の研究成果の概要が説明されました。そして、幕末・明治初期の科学書を研究する場合、漢訳西洋科学書に関する日本での復刻版の研究だけでは不十分であり、復刻以前の中国訳書についての研究、漢訳書の原典である西洋書の研究、訳者（多くは西洋宣教師）についての研究などが必要とされると、今後の研究の指針となるような重要な点が指摘されました。

B：私は、日本の蘭学・洋学研究には、中国書の研究が必要なことを、この講演で改めて痛感させられました。實際、幕末の学者は、例えこの講演で指摘されたように「電気」の概念は、中国訳書を読むことによって理解したわけです。これまで中国書の研究にまで手が伸びなかったのは、日本の研究者の怠慢でしょう。

司会：最近中国では、日本と中国との文化交流の問題が関心を呼んでいます。その理由は、日本における科学技術の発展の原因を究明し、それを自国の場合と比較し、今後のあり方を探ろうとする点に動機があるようですが、いずれにしても両国の学者が共同して研究すれば、大きな成果が期待できると思います。次の講演は、塙原会員による「『舍密』とオランダ化学」です。この講演では、日本における蘭学の前提をなす、18世紀オランダの科学について説明されました。講演者によれば、18世紀のオランダ科学には、三つの潮流があります。その一つは、ニュートン主義の科学です。この学派は、物質に関して粒子論者であり、この学派を代表するのが、ミュゼンブルックやブイスであり、日本では帆足や青地がそ

それぞれの紹介者となるわけです。もう一つの学派は、デカルト主義者やカント主義者であり、彼らは原子を否認し、力を根源的な作用因と考えるのである。この学派にはユトレヒトにいたダイマン、シュレーダーなどがあり、この学派につらなる見解は日本の高野によって紹介されます。さらに第三の学派はアムステルダムにいた学者たちです。彼らはより実用主義的な志向をもつ折衷派で、この学派に属するボーン・メッシュの見解は宇田川によって紹介されます。さらに講演者は、『舍密開宗』の原本ヘンリーの *An Epitome of Chemistry* (1801) は、ヘンリーの小論文にまで、遡りえることを示されました。

B : この講演を拝聴して、日本の蘭学研究もついにここまできたのかという感じで、正直のところ感激しました。確かに、蘭学を研究するのならば、蘭学のもとになるオランダの科学を知らなければならぬわけですが、語学の障害もあって、今まで誰もそのことをやってこなかった。今度はじめて塙原会員が手をつけたわけで、蘭学研究は今や新時代に入ったということが言えるでしょう。

A : 西洋科学史でも、今までオランダ科学については、その重要性が知られていたにも関わらず、比較的我々の間では語られることが少なかったのですが、今回この講演を聞いて、教えられるところが非常に大きでした。

司会：日本の蘭学者が、このような三つの学派の特徴を認識してわが国に翻訳紹介したとは考え難いのですが、蘭学書のそれぞれは、各学派の特徴を示しているはずですから、それをどのように日本の学者が受け止めたのか、今後の研究が楽しみです。塙原会員の研究成果は、ぜひ早く活字にしてもらいたいものです。次の講演は、坂上会員による「Stockhard 原著『Die Schule der Chemie』と『化学新書』とを比較して」ですが、この講演は、とりあえず両書における挿絵や目次を比較した研究です。

A : いま司会者は、研究といわれましたが、研究というには少し早いのではないですか。

司会：そうですね、紹介かも知れませんが、講演者は両書を比較して現在読んでいるといっていますから、今後を期待しましょう。次は、芝会長による「ハラタマ書簡について」についてです。この講演は、ハラタマが残した書簡を子孫が書物にして出版し、その日本語版が芝会長の翻訳により今度出版されることになったので、その内容を紹介されたものです。この本は、長崎分析究

理所、大阪舍密局の歴史のみならず、幕末・明治初期の日本の国情を知る上で貴重な文献であることが、よくわかります。別に御意見もないで、次に移ります。次の講演からは一般講演になりますが、最初は米田会員・関崎会員の共同研究「燐寸と清水誠の生涯」で、発表は米田会員です。この講演は、日本におけるマッチ工業の先駆者清水誠の生涯に関する研究です。Bさん、清水誠という方についての研究は、初めてなのでしょうか。

B : 実は、技術史の方は詳しくないのですが、『日本科学技術史体系』には、名前がありませんので、草の根の技術者と呼べる人物なのでしょう。しかし、フランスに留学までした人物ですし、全く無名の技術者ではないようです。この人物についての伝記的研究は、顕彰会から伝記もでているのですから、まるっきりゼロから出発したわけではないはずです。このような場合、講演者は自分が初めて明らかにした部分と、既知の部分とを明確にして、自分が発見したことは、大いに誇った方がよいと思います。

司会：次は林会員による『舍密開宗』の実験とその教材化です。この講演は、実験の実演をまじえた講演ですが、実験の方に注目が集中したようです。

A : 私の場合、このような講演は、歴史の学会でよりも教育の学会で行うべきだとという思いがどうしても強いのですが、いわゆる歴史的実験の追試ならば、その実験によってどのような歴史的事実が明らかになるかが、問題なのではありませんか。

B : Aさんの意見は、あまりにも否定的ではないでしょうか。歴史的実験の追試は、教育の場において生徒の興味を喚起し、化学や化学史の学習に効果があるのです。実験をしておいて、歴史的背景を語れば、たいていの場合に生徒は興味をそそられ、ひいては化学そのものにも関心を抱くのです。

司会：Bさんの言ったことだけでなく、私は別な面で歴史的実験の追試がもつ役割があると思うのです。それはつまり、19世紀以前の化学というものは、現在の化学史家が取り扱う自然哲学としての物質理論を別にすれば、理論は親和力理論ぐらいしかなくて、後は薬品の製造法に関する山のような「処方」で埋まっているわけです。このような部分は、歴史家が論文にしようにもできない領域ですから、歴史的実験を再現することは、そのような部分が化学には存在した、実はその部分の方が圧倒的に多かったということを、思い出させることに役立つと

思います。役立つといえば、次の日吉会員による講演「モーベインの発見」もそうですが、Bさんが言うように、単に生徒の化学に対する動機づけに役立つということですませるのではなく、これが化学教育のどのような文脈のなかで役立つか、どのような教育場面に導入すべきなのかは、教育学固有の問題として、検討する必要があると思います。しかしそのことは、Aさんが言うように教育の学会で論議すべきであり、本学会で議論することは適当でないと思います。ですから日吉会員は、教育の問題は、ひとまず棚上げにして、再現実験を忠実に記述したのだと思います。最後の講演は、川合会員による「19世紀における分子間力の研究－古典的アプローチの意義－」です。この講演では、19世紀における分子間力の理論は、界面張力の研究、状態方程式の研究、気体分子運動論の研究、液体の物性に関する研究という、多方面からの研究が総合されて完成されたと説明されています。

A：今日は憎まれ役なので、憎まれついでに言わせてもらいますが、現代科学における重要な概念を歴史的に逆に辿って行くような方法は、*Chemical Review* を読んでいるような気がします。これでは、科学者の書く化学総説とどこが異なるのだろうかという気がします。総説だって歴史的に回顧するわけですよね。歴史家にとって重要なことは、関連する研究を年代記的に並べることではなく、歴史のダイナミズムというか、歴史の法則性というか、なぜそうなのかということを説明することだと思います。そのためには、現代科学史といえども、科

学者の手稿やノートの調査を必要とする……。

B：いやちょっと、Aさんの立場は、歴史家の立場だと思いますが、歴史は何も歴史家だけの所有物ではないでしょう。科学者だって、自分の研究テーマの歴史を遡ることによって、自分の研究の見通しについて、ヒントを得たいと思う場合もあるはずです。この講演は、そのような立場だと思います。

A：いや、将来についてのヒントを得たいならば、ますます歴史的現象を貫く法則性を認識する必要があるのです。

司会：少し待って下さい。AさんとBさんの見解の相違をつきつめると、何のために歴史をやるのか、いやそもそも歴史とは何なのか、という難しい問題に帰着します。ですが、この講演の目的は、歴史的発展から理解される、分子間力研究の方法論を論じ、さらに広く物理化学一般の方法論を科学哲学の問題として考えようとしたのではないですか。ただ、時間がなかったので、なんとなく年代的な発展の羅列に終わってしまったのだと思います。

ともかく年次研究発表会の「傍聴記」はこれでおしまいにしたいと思います。今年度の年会は、若手研究者の活躍が目立ち、化学史研究の将来に明るい見通しを投げかけたという、印象があります。AさんBさん、ご協力有難うございました。まだ、アルコールと食べ物が残っていますので、ゆっくりと化学史学界の将来についてでも論じましょう。

表紙図説明

『舍密開宗』 第四十八章 水の分解 水を分解して水素を捕集する方法の図

甲：水素を捕集するガラス鐘

戊：水の入ったレトルトを熱する炉

乙：分解しないで出てくる水を受けるビン

癸：燈油を貯えたびん

丙：中に巻いた鉄線を入れた鉄の筒

庚：燈油を通す管

丁：鉄の筒を熱する炉

鉄の筒(銃身)の中に巻いた鉄線を入れ、炉の中に横に通し、一端を水を入れたレトルトにつないで、やや高くする。他の端を曲管につなぎ、曲管の他の端を水を満たした水槽のガラス鐘の下に入れる。炉に炭火をおこし、鉄の筒を赤熱し、一方燈油を燃やしてレトルトの水を熱すると、水蒸気は鉄の筒を通過する間に分解される。すなわち、水蒸気の酸素は鉄と化合し、水素は曲管から出てガラス鐘内に集まる。註：この方法はラヴワジエの方法にもとづく。

[紹 介]

科学・技術と社会の会編『年報 科学・技術・社会』創刊号、弘学出版、1992年、B5版、144頁、2000円。

このたび、科学技術史の研究にも密接なかかわりをもつ、ある学術雑誌が創刊された。松本三和夫氏が吉岡齊氏の協力をえて編集された本書がそれである。松本氏といえば、さまざまな学術雑誌に科学技術の制度化や産業化にかかわる歴史社会学の論文を発表されてきた方である。本学会の第4回「春の学校」でお話いただいたことがあるので、読者には馴染みのある方であろう。吉岡氏については、『テクノトビアをこえて』(社会評論社、1982年)から、最近の『科学文明の暴走過程』(海鳴社、1991年)にいたるまで多数の著作を世に問うてこられた、現代科学技術論の論客の一人とさえ評される方。ともに、科学社会学を専攻されている30代の気鋭の研究者である。

本書の発刊団体「科学・技術と社会の会」は、本学会のような正規の学会組織ではなく、松本氏が主宰されてきた研究会を母体としたものである。とはいっても、本書の巻末に示されている全部で40回をこえる月例会の概要をみると、テーマや話題提供者の顔触れが実に多彩であることがわかる。特に来日した海外の研究者に発表の機会を与えていていることが目をひく。

こうして、本雑誌は松本氏の幅広い人脈を基礎として成立したものだが、決して氏の個人的な雑誌でないことは、アドバイザー・ボード(論文の査読者)に8名の学者を迎えてることからもわかる。科学技術史の関係では村上陽一郎、中山茂、山田圭一の各氏の名前が挙げられている。

この雑誌はどういう種類の学問をめざしているのか。冒頭に掲げられているわずか1頁の「創刊趣旨」によれば、次のとおりである。科学技術は、一方でわれわれにさまざまな便益を与えつつも、他方で深刻な社会問題をもたらしている。ではいったい、その社会的あり方はどう考えればよいのか。「このテーマは、増大する社会的重要性にもかかわらず、単独の学問分野で扱える範囲を越えている。科学技術の社会学をはじめ、科学技術史、科学技術政策論、国際政治学、文化人類学、比較文化論など、複数の分野にまたがる共同研究が不可欠である。

いかなるアプローチの研究者からの投稿も歓迎する。本誌は、そのような科学技術の社会科学的研究にもとづく問題の探索と解決を促す場となることを願う。」という次第。

つまり、一言でいえば、科学技術論にかかる学際的な雑誌ということであろう。かつてから漠然としたものではあれ、「科学技術論」と呼ばれた分野があった。ここで、武谷三男氏や星野芳郎氏などの名前を思い出される方も多いに違いない。しかし、その頃と比べ、現在が著しく異なるのは、この間に科学社会学が一個の独立した学問として成立したことである。またこれと歩調を合わせるかのように、科学史の方面でも「科学の社会史」という新たな領域が開拓されつつある。それゆえ、こうした成果を基礎とすれば、研究レベルにおいて、新たな科学技術論を展望することは可能であるし、また必要なことであろう。すでに海外では、十数年も前から*Social Studies of Science*が発刊され、この方面的研究者のみならず、科学史研究者の間でも一定の地位を確保するにいたっている。

本書の内容に移ろう。「創刊趣旨」に統いて、サセックス大学のフリーマン教授による「創刊に寄せて」があるが、本体というべきものは6編の論文である。一番最初に掲げられているのは、吉岡齊氏の「日本の原子力体制の形成と展開：1954～1991——構造史的アプローチの試み」である。巻頭論文というふうにふさわしく、なかなかの力作である。このテーマに関しては、ことがことだけにこれまでの論説はどうしても「最初に立場ありき」式のものが多く、推進または反対のための論拠を提示する目的で書かれてきたが、吉岡論文のユニークさはいずれの派にも距離をとりつつ、原子力体制の「構造」を解明しようとする点にある。この構造とは、原子力の推進利用にかかわるものと、原子力施設の受け入れにかかわるもの(「受容構造」)に大別され、前者については、電力・産業界・通産省連合と科学技術庁グループとの二元構造をとっていたことが明らかにされる。「受容構造」の局面では、土地・海域に対する私権の過剰保護という、反対派にも深くかかわる日本の特殊事情が指摘されていて、示唆に富むものである。

澤田芳郎氏の「科学技術と企業—国家関係—SSC計画を事例として」は、アメリカ政府が1987年から進めている超電導超大型粒子加速器(Superconducting Super Collider)の建設計画(SSC計画)を事例とし

て、先進工業国間における企業と国家干渉の関係を検討しようとしたものである。テーマ自体はたいへん興味をそそられるものだし、事例の具体的な取り扱いはわかりやすいが、事例に入る前に提示されている企業—国家干渉関係のモデルでは、図式の基礎になる「企業」や「国家」の概念が余りにも一般的もしくは抽象的すぎて、事例の具体性と乖離しているように感じられた。また、事例の検討は、日本の数社の新聞記事をもとにしたものだが、アメリカ側の資料も検討しておくべきではなかろうか。

第3番目の論文は、田中浩朗氏の「科学者の社会学と科学知識の社会学—その紹介と位置付け」である。内容は、マートン以来の科学社会学の動向を追跡したものである。科学社会学における問題関心の変化や現状を知るにはよいものであるが、副題にあるように「紹介」に終わっている。氏はこの論文の最後で日本の科学社会学研究の自立を訴えておられるが、そうであればなおさらのこと、この自立にむけての一歩を、氏独自の見方を提示することによってしるべきではなかったか。それは、氏がその一翼を担われているわが国におけるSTS(Science, Technology and Society)運動にとっても意義あることだと思われる。

第4番目は、若松征男氏の「ECの科学技術政策」である。氏は科学技術政策の立案過程や「科学技術の国際化」の意味を探るという問題意識から、国家でも、国際機関でもないECを研究対象として選ばれたようである。この着眼点はユニークなものとして評価されよう。ただし、この論文は氏の目論みにとってはいわば、入口の段階にあるものと感じられた。というのも、「政策」の中身よりも、政策の立案に関わる組織の説明にかなりのスペースがさかれているからである。この点で、論題は誤解を招きやすいものである。とはいえる、その内容はわれわれにとってはほとんど馴染みのないことなので、意義ある試みであろう。

第5番目の論文は、橋本毅彦氏の「『○○』から『○○』へ—飛行機の登場と英國政府の科学者たち」である。この論文は氏がジョンズ・ホプキンズ大学へ提出されたPhD論文の一部であるらしいが、内容は20世紀「交通革命」の一翼を担った航空産業の歴史にかかわるものである。第一次世界大戦をはさんで、イギリス政府の飛行

機開発組織が、その性格を諮問機関から研究機関へと変えてゆく姿を明らかにしたものである。この論文の意義は、「諮問から研究へ」というシェーマそれ自身よりは史料を駆使した具体的な叙述にあると思われる。

最後の論文は、Diana Hicks, Phoebe Isard, M. Hirookaの3氏による「Science in Japanese Companies」と題する英文の論文である。日本の大手企業を対象に、基礎科学研究の進め方などを調査（文書およびインタビューによる）したもの。海外の研究者が日本の大手企業を対象にするならば、技術開発を問題にしてよさそうであるが、そうではなく基礎科学の方を取り上げている点がおもしろい。海外では日本の「基礎研究ただのり」論が盛んだが、そうした関係からも一読に値しよう。びっくりするような結論もないかわりに、海外の日本研究によく見られるような、日本人にとっては常識的なことを意味ありげに語るようなこともなく、いわば「堅実な」論文という印象をもった。この論文には日本人の研究者も加わっておられるので、日本の読者のために少なくとも日本語のレジュメを掲載すべきではなかつたか。

以上の概観からおわかりいただけるように、いずれの論文もたいへん意欲にあふれたものといえる。もっとも、残された課題も多いと思われるが。

最後に、今後のために幾つか注文を述べておきたい。まず、本雑誌名の英語表記についてである。これについては、近藤和彦氏（東大西洋史）が私信でもらっていたことだが、現在の表記 *Japan Journal for Science, Technology & Society* は適切なものだろうか。日本語のタイトルとの一致をはかるために、*Japanese Annals of* ……としてはどうか。

第2は、是非とも書評欄を設けてほしいという点である。創刊号が論文集となってしまったのは、いたしかたないとしても、研究のあり方を絶えず自己点検していくために、書評の意義を軽視すべきではない。

第3は、新しい学問分野には蓄積が是非とも必要であるので、息長くこの雑誌を継続していただきたいということである。松本氏の個人的努力から脱却する方途が探られねばなるまい。

関連学会の一員として、この雑誌の創刊を祝福するとともに、今後の発展を願う次第である。（大野 誠）

[紹介]

Nicole et Jean Dhombres, *Naissance d'un nouveau pouvoir: sciences et savants en France 1793-1824*. Paris: Payot, 1989. 938pp. ff 390,00.

厚みが5センチばかりもあり、量で尻込みしそうになるが、ドンブル夫妻のこの本は、フランス革命期における科学界の変遷をあつかったものとして、この時期の研究者にとって必読の一冊である。この時代を取り上げたものとしては今までに、Maurice Crosland, *The Society of Arcueil* (Harvard Univ. Press, 1967); Roger Hahn, *The Anatomy of a Scientific Institution: The Paris Academy of Science, 1666-1803* (Univ. of California Press, 1971); Charles C. Gillispie, *Science and Polity in France at the End of Old Regime* (Princeton Univ. Press, 1980); Robert Fox & George Weisz eds., *The Organization of Science and Technology in France, 1808-1914* (Cambridge Univ. Press, 1980)などがあるが、最初の二冊は一つの組織を中心に追っており、後の二冊は革命前、革命後の科学制度史ということで革命期全般を扱ってはいない。その点フランス革命200周年の1989年に出されたこの本は、様々な先行研究と本国の豊富な一次史料を踏まえて、より広い視点で激動期の科学界の変遷を浮き彫りにしている。

著者のニコル・ドンブルはナントの歴史教師であり、この時期の科学史を専門とし、特にラプラス研究家として知られている。もう一人の著者で夫のジャン・ドンブルはフランス高等社会科学学院とナント大学の教授であり、主に数学史を専門にするかたわら、幅広い研究活動をおこない、(公的活動からの)ルネ・タトン引退後のフランス科学史界のまとめ役的存在である。

この本の面白さは何と言っても取り扱う話題の幅広さにある。アカデミー・デ・シアンスの廃止や復活、エコール・ポリテクニークの成立と発展といったおきまりの話題の他に、ナポレオンのエジプト遠征下での科学者の役割、移り変わる為政者達の科学政策の特徴、科学に対するロマンティシズムの抵抗、エコール・ポリテクニーク以外の機関での科学教育、帝政期に活躍した科学者たちの経歴比較、知的大衆に人気のあった科学雑誌や記事、科学の制度化の中での女性の排斥等、様々な切り口からこの時代を分析している。従って、一応1793年の恐怖政治下でのアカデミーに対する攻撃に始まり、ルイ18世期の産業化学の出現で終わっているが、単に年代順に書か

れているのではなく、話題毎に時代は前後し、読者は繰り返し、1793年に廃止されたアカデミーとこの組織を支えてきたアンシャン・レジーム期のフランス科学の伝統や、それに対するフィロゾーフ達の思想、とりわけ『百科全書』の哲学に出会い、フランス革命が切断したものと残したものとの軌跡をたどることになる。

例えばラヴワジエは、まず最初の部分で、旧い制度に対する革命家たち（特にジャコバン派）の敵意の中でただ一人、フランスに於ける純粹科学の水準の高さを守ってきた点からアカデミーの有用性を訴えた人物として紹介され、その後、学際的科学を探求していた学者として、あるいはアルクイユ会やエコール・ポリテクニークの手本となる科学者共同体のリーダーとして何度も登場する。しかしこの本の中で最も頻繁に登場する人物は何と言っても、ラヴワジエのかつての共同研究者でもあり、この激動期を見事に泳ぎ切ったラプラスである。ニコル・ドンブルがラプラスに関する博士論文を準備していることもあり、実に様々な面からラプラスの経歴、業績、影響が各所で論じられている。その点でラプラス研究家には見逃せない著作といえよう。

評者が特に面白いと思ったのは、エジプト研究所に関する部分と、自由、平等、友愛を謳い上げたはずのフランス革命の女性差別的側面である。どちらもこの時代を特徴づけるテーマでありながら今まであまり取り上げられなかった話題であり、とりわけ前者は第2章全体を割いて詳しく述べてあるので、興味のある人はぜひ直接本書にあたられたい（その他に巻末の付録に、エジプト科学技術委員会及びエジプト研究所のメンバーのリスト、エジプト遠征時の医学、科学、技術に関する報告の一覧表を載せている）。戦争、政治、といった面でしかイメージされてこなかったナポレオンのエジプト遠征を新しい角度から見ることができるようになるだろうし、ヨーロッパ各地に見られるエジプト博物館やエジプト風工芸品の起源について多くの知見が得られるに違いない。また後者については、量こそ少ないが女性数学者ソフィー・ジェルマンの悲劇を通して、フランス革命による平等の原則が人類の半分たる女性には適用されず、科学の制度化に加えてフランス革命がサロンの伝統を断絶したことによって、むしろこれ以後女性は科学からさらに遠ざけられた事を明らかにしている。これは夫妻という複眼での共同執筆ならではの成果であると言えよう。

全体として、実証主義的なフランス科学史の伝統を踏襲したきめの細かい研究であり、その内容のみならず、一次史料の使い方についても我々日本の研究者にとって学ぶべきところの多い一冊である。 (川島 慶子)

編集後記

☆第19巻の最後の号をお届けします。読み易く、より多くの情報をと、試行錯誤の1年でしたが、70頁建体制もようやく定着してきたことを慶んでおります。前号でもお願いしたことですが、会員は“1年1本の投稿”を、今年はぜひ実現してください。どのような記事でも大歓迎です。論文、寄書はもとより、広場、雑報は勿論のことです。

☆恒例にしたがって、年会の研究発表の傍聴記が掲載されていますが、とくに日本の近代化学の受容に係わる講演は大変興味深いものがあり、化学古典の復刻を目指した研究会も発足したことですから、関連する論文が掲載できるものと期待しております。

☆会の財政的強化を図るために努力がやっと軌道に乗りはじめ、多くの維持会員の入会を得たことを慶んでおります。新入会員増加の努力を改めて呼び掛ける次第です。お手元に届いたと思います入会案内を活用して、多くの方を会員にお説明下さい。学会創立20周年の事業として、この会員増強もぜひ成功させたいものです。

(C. K.)

会員証報

本会会員友松芳郎氏は11月10日逝去されました。
本会は謹んで哀悼の意を表し、御冥福を祈ります。

各種問合わせ先

○入会その他 → 化学史学会事務局

郵便 : 〒133 東京小岩郵便局私書箱46号
振替口座 : 東京 8-175468
電話 : 0474(78)0420, 0474(73)3075 (留守番→FAX)

事務連絡はなるべく FAX でお願いします。

留守番のときは連絡先電話番号を書き込んで下されば、こちらからお電話します。

○投稿先 → 『化学史研究』編集委員会

〒114 東京都北区西ヶ原4-51-21
東京外国语大学 吉本秀之 (気付)

○別刷・広告扱い → 大和印刷 (奥付参照)

○定期購読・バックナンバー → (書店経由) 内田老鶴園

編集委員

委員長 : 鎌谷 親善 顧問 : 柏木 肇

飯島 孝 大野 誠 亀山哲也
川崎 勝 小塙玄也 田中浩朗
林 良重 藤井清久 古川 安
武藤 伸 吉本秀之

維持会員

味の素(株)	富士レビオ(株)
出光興産中央研究所	ナード研究所
荏原製作所	住友製薬(株)
サントリーキャンパニー基礎研究所	塩野香料(株)
第一製薬探索第一研究所	塩野義製薬(株)
ダイセル化学工業(株)	田辺製薬(株)
ダイソーリサーチ研究所	鐘淵化学工業(株)

賛助会員

(株)内田老鶴園	武田科学振興財団
勝田化工(株)	田辺製薬(株)
協和純薬(株)	(株)第一学習社
三共(株)	(株)東京教学社
三共出版(株)	日本ユニカ(株)
山陽化工(株)	肥料科学研究所
塩野義製薬(株)	理研ビニル工業(株)
白鳥製薬(株)	和光純薬工業(株)

(1992年9月30日現在)

化学史研究 第19巻 第4号 (通巻61号)

1992年12月25日発行

KAGAKUSHI Vol. 19, No. 4. (1992)

年4回発行 定価2,575円 (本体2,500円)

編集・発行 © 化学史学会 (JSHC)

The Japanese Society for the History of Chemistry

会長 芝 哲夫

President: Tetsuo SHIBA

編集代表者 鎌谷 親善

Editor in Chief: Chikayoshi KAMATANI

学会事務局

千葉工業大学工業化学科山口研究室

c/o Tatsuaki YAMAGUCHI, Chiba Institute of Technology, Narashino, Chiba 275, Japan
Phone 0474 (73) 3075

印刷 (株)大和印刷

〒173 東京都板橋区栄町25-16

TEL. 03(3963)8011 (代) FAX 03(3963)8260

発売 (書店扱い) (株)内田老鶴園

〒112 文京区大塚3-34-3

TEL. 03(3945)6781 (代)

Overseas Distributor: Maruzen Co., Ltd.

P.O. Box 5050, Tokyo International, 100-31 Japan
Phone 03(3272)7211; Telex, J-26517.

昭和52年3月24日 郵政省学術刊行物指定

[化 学 史 研 究]

第19卷(1992年) 総 目 次

【論 文】

- 液晶研究の初期とその背景および
　　現代化学への寄与 立花太郎 (1)
- 明治期日本における化学工業
　　—人造肥料製造業—(その2)・(その3)
　　鎌谷 親善 (14・73)
- ヘイルズ研究の新視点
　　—18世紀イギリス科学史の革新
　　のために— 川崎 勝 (159)
- H. Staudinger の研究とドイツ高分子
　　化学工業の誕生—Staudinger のゴム
　　に関する研究と合成ゴムへの道—
　　(その1)・(その2) 田中 穗 (172・247)
- 初期ポイルの化学
　　—ヘルモント主義の位相と種子原理—
　　吉本秀之 (233)

【寄 書】

- フェントン試薬を用いる酸化反応
　　—その発見と解明— 竹林松二 (36)
- アルミニウム・アルコキシドを用いる
　　還元反応
　　—Meerwein-Ponndorf-Verley
　　還元の発見と解明の経過— 竹林松二 (105)
- L. クライゼンとその人名反応 竹林松二 (262)

【特 集】

- 技術史シリーズ 第2回 チーグラー触媒
　　によるポリエチレンの製造法
　　木岡 譲・広瀬敬治・柏 典夫 (40)
- 技術史シリーズ 第3回
　　合成ゴムの技術とその工業 佐伯康治 (267)
- 第3回化学史シンポジウム プログラムと講演 (139)
- ラヴワジエ研究入門 第11回
　　ラヴワジエ伝の中のラヴワジエ夫人像
　　川島慶子 (188)

【科学史研究の新潮流】

- Women in Science ことはじめ 小川眞里子 (110)

【研究回顧】

- ウブサラのバイオ分離科学学派の
　　研究史始 高木俊夫 (205)

- 【解 説】
　　工業化学会満洲支部と「満洲」に
　　おける化学工業 I 田中泰夫 (282)

【年会特集】

- 1992年度化学史研究発表会講演要旨 (220)

【広 場】

- ベックマン化学史研究センターの

- 組織と活動 芝 哲夫 (50)
- “中日科学技術発展比較双辺学術討
　　論会”に参加して 小森田精子 (52)
- 1991年度化学史研究発表会に出席して 林 良重 (123)
- 第8回「春の学校」・第1回化学教育
　　フォーラムの報告 大野 誠 (127)
- コップとホフマン その歿後100年に
　　よせて 柏木 肇 (290)
- 貝紫と化学教育 日吉芳朗 (294)
- マンガと科学史 大野 誠・内野若菜 (302)
- 「1992年度化学史研究発表会」傍聴記 藤井清久 (306)

【紹 介】

- 藤野 明『銅の文化史』 芝 哲夫 (57)
- 渡辺正雄『文化としての科学
　　—この人間的な営み』 下坂 英 (58)
- Christine Macleod, *Inventing the Industrial
　　Revolution: The English Patent System,
　　1660-1800* 大野 誠 (59)
- R. Norman Jones, "Analytical Applications
　　of Vibrational Spectroscopy: A Historical
　　Review" 藤崎千代子 (63)
- 新着科学史書から
　　大野 誠・川崎 勝 (66・136・214)
- D.S.L. カードウェル著(金子務監訳)
　　『蒸気機関からエントロピーへ—熱学と動力技術』
　　横山輝雄 (132)
- 高橋憲一・佐藤 徹他著『自立する科学史
　　—伊東俊太郎先生還暦記念論文集—』
　　橋本毅彦 (133)
- 大野 誠・小川眞里子編著
　　『科学史の世界』 橋本毅彦 (133)
- 丸石照機著『アメリカ初期の化学教育から
　　—化学と化学教育の源泉』 小塙玄也 (135)
- 上智大学中世思想研究所編『中世の自然観』
　　三浦伸夫 (212)
- 科学・技術と社会の会編
　　『年報 科学・技術・社会』 大野 誠 (310)
- Nicole et Jean Dhombres, *Naissance
　　d'un nouveau pouvoir* 川島慶子 (312)

【資 料】

- 化学史および周辺分野の新刊書 (1991)
　　編集部 (217)
- 【ニ ュ ー ス】
　　編集部 (138)
- 【会 報】
　　編集部 (69)

KAGAKUSHI

The Journal of the Japanese Society
for the History of Chemistry

Volume 19 Number 4 1992
(Number 61)

CONTENTS

ARTICLES

- Hideyuki YOSHIMOTO: Chemical Studies of young Robert Boyle:
Their Helmontian Phase and the "Seminal Principles" (233)
Atsushi TANAKA: H. Staudinger's Research and the Birth of the
Polymer Industry in Germany:
Staudinger's Research on the Constitution of Rubber and the
Path to Synthetic Rubbers (Part 2) (247)

NOTE

- Matsuji TAKEBAYASHI: L. Claisen and His Name Reactions (262)

THE HISTORY OF CHEMICAL TECHNOLOGY SERIES 3

- Yasuharu SAEKI: Synthetic Rubber: Technology and Industry (267)

EXPLANATION

- Yasuo TANAKA: The Manchurian Branch of the Society of Industrial
Chemistry and Chemical Industries in Manchuria, I (282)

FORUM

- Hazime KASIWAGI: Hermann Kopp and A. W. von Hofman (290)
Yoshiro HIYOSHI: Tyrian Purple and the Chemical Education (294)
Makoto OHNO and Wakana UCHINO: Japanese Comics and History of Science (302)
Kiyohisa FUJII: Report on the 1992 Annual Meeting (306)

BOOK REVIEWS

- (310)

Edited and Published by

The Japanese Society for the History of Chemistry

P.O. Box 46, Koiwa Post Office, Tokyo 133, Japan

Overseas Distributor: Maruzen Co. Ltd.,

P.O. Box 5050, Tokyo International, Tokyo 100-31, Japan

「ヨーロッパ化学史の旅」へのお誘い

化学史学会員の皆様へ

化学史学会創立20周年を迎えて、ご好評をいただいた昨年に引き継ぎ、
学会員の方々によるヨーロッパの化学史蹟を訪ねる旅を企画いたしました。
通常のパック旅行では訪れることが出来ない、ヨーロッパの貴重な化学史蹟
を巡る旅行です。

是非この機会にご参加下さいます様、お願い申し上げます。

記

名 称	第2回 ヨーロッパ化学史蹟を訪ねる旅
企 画	化学史学会
旅 行 代 金	70万円
旅 行 主 催	JTB市川八幡支店 〒: 0473-35-3147

日 程

日次	月日(曜)	内 容 ・宿泊地
1	8月16日 (月)	東京 —————→ ロンドン ロンドン
2	8月17日 (火)	オックスフォード大学、ロイヤルインスティ テューション等視察 ロンドン
3	8月18日 (水)	ケンブリッジ大学、科学博物館等視察 ロンドン
4	8月19日 (木)	ロンドン —————→ フランクフルト ～ マインツ グーテンベルク博物館視察 マインツ
5	8月20日 (金)	マインツ～ギーセン～ゲッティンゲン リービッヒ博物館、ゲッティンゲン大学視察 マインツ
6	8月21日 (土)	マインツ～フランクフルト～ヴェルブルク ゲーテの家、レントゲン記念碑等視察 マインツ
7	8月22日 (日)	マインツ～ハイデルベルク 薬事博物館等視察 ハイデルベルク
8	8月23日 (月)	ハイデルベルク～ミュンヘン ドイツ博物館視察 ミュンヘン

日次	月日(曜)	内 容 ・宿泊地
9	8月24日 (火)	ミュンヘン —————→ パリ ミュンヘン市内視察 パリ
10	8月25日 (水)	パリ技術博物館、キュリー博物館、 発見宮等視察 パリ
11	8月26日 (木)	パリ市内視察 パリ —————→ 東京 機 内
12	8月27日 (金)	東京(成田)着

お申し込み、お問い合わせは・・・・・・

〈旅行主催〉



For Your TravelLife

JTB市川八幡支店

〒272 千葉県市川市八幡2-5-2
運輸大臣登録一般旅行業第64号
一般旅行業務取扱主任者：伊草 康

TEL 0473-35-3147

〈担当〉横山、わしやま

日本交通公社

基幹大蔵登録一般旅行業第64号