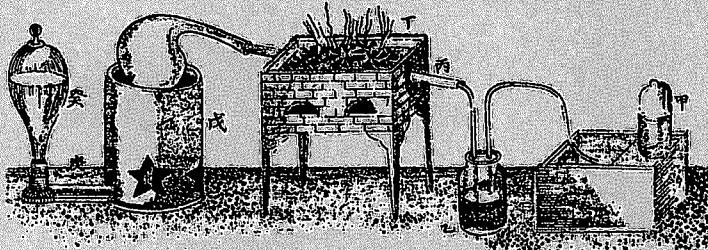


化学史研究

第23巻 第1号 1996年

(通巻第74号)

論文	H. Staudinger の研究とドイツ高分子化学工業の誕生 ポリスチロールおよびポリ塩化ビニルの 工業化に至るまで (その1)	田中 穆 1 (1)
特集	技術史シリーズ 第16回 アンモニア合成技術 (Ⅲ)	江崎正直 15 (15)
寄書	プルシアンブルーの化学	目吉芳朗 54 (54)
広場	日独コロキウムの報告	芝 哲夫 68 (68)
紹介	G. E. R. ロイド著『初期ギリシア科学』 田中一郎著『ガリレオ 庇護者たちの網の中で』 吉本秀之他『科学と国家と宗教』 Anthony S. Travis, <i>The Rainbow Makers</i> 他 芝 哲夫『オランダ人の見た幕末・明治の日本 —化学者ハラタマ書簡集—』 J・バルトルシャイティス『鏡』 E・カッシーラー『シンボルとスキエンティア』 笹本征男『米軍占領下の原爆調査』	和泉ちえ 70 (70) 羽片俊夫 71 (71) 川田 勝 72 (72) 橋本毅彦 74 (74) 八耳俊文 77 (77) 金森 修 79 (79) 金森 修 80 (80) 猪野修治 81 (81)
年会特集	1996年度化学史研究発表会講演要旨	85 (85)



化学史学会

会 告

1996年度化学史研究発表会プログラム

日 時 5月18日(土)・19日(日)

場 所 名古屋工業大学講堂2F会議室(〒466 愛知県名古屋市昭和区御器所町)

参加費 2,000円(会員・非会員とも), 学生無料 懇親会 4,000円

5月18日(土)

開会挨拶 9時50分

芝 哲夫(化学史学会会長)

一般講演(1)

座長 飯島 孝(岐阜経済大学)(10時~11時)

- 1. 東北大理科大学臨時理化学研究所の設立経過と事業
- 2. 「性能」と「環境」の視点から見る自動車用ガソリンの変遷
- 3. 戦後における石炭液化の研究—研究開発の成果と実用化への前進
- 4. 国産技術によるポリ塩化ビニリデン樹脂製造・加工の企業化

鎌谷 親善(東洋大学)
 亀井 修(千葉県立現代産業科学館)
 川合 智(三菱化学)
 佐藤 正弥(千葉経済大学)

シンポジウム「実験室の成立」

座長 成定 薫(広島大学)(13時30分~15時30分)

- 5. 実験売ります—18世紀英国における実験の普及
- 6. 19世紀における大学実験室教育の展開
- 7. 化学史と実験の新しいヒストリオグラフィ

川崎 勝(山口大学)
 柿原 泰(東京大学大学院)
 橋本 毅彦(東京大学)

特別講演

座長 田中 浩朗(福岡教育大学)(16時~17時)

- 8. ドイツ大学と化学

潮木 守一(名古屋大学)

總會 17時より 懇親会 18時より 大学会館

5月19日(日)

一般講演(2)

座長 八耳 俊文(青山学院女子短期大学)(9時30分~10時30分)

- 9. ヨーロッパの医学・化学史博物館
- 10. J. W. Gunning と W. C. Röntgen

石田 純郎(新見女子短期大学)
 阪上 正信(金沢大学名誉教授)

シンポジウム「科学と世界観」

座長 吉本 秀之(東京外国語大学)(10時30分~12時)

- 11. 「科学と宗教」問題序説—科学史学の立場から—
- 12. 科学と世界観—現代神学の視点から—
- 13. 回想の科学史、宗教そして世界観

川田 勝(東京大学大学院)
 芦名 定道(京都大学)
 粕木 肇(名古屋大学名誉教授)

特別講演

座長 鎌谷 親善(東洋大学)(13時30分~14時30分)

- 14. 日本の洋食器の歴史

鈴木 啓志(㈱ノリタケカンパニーリミテド)

シンポジウム「ジェンダーと科学」

座長 川島 慶子(名古屋工業大学)(15時~17時30分)

- 15. 「科学とジェンダー」というテーマはどのような研究領域として設定が可能であるかという問題をめぐる試論
- 16. ジェンダーと博物学
- 17. 「婦人公論」にみる「科学」

塚原 東吾(東海大学)
 小川真里子(三重大学)

—方法としての「ジェンダーと科学」の試み—

- 18. 「男女」研究の明治—澤田順次郎の「博物」的アプローチ

伊藤 伸子・杉山 滋郎(北海道大学)
 斎藤 光(京都精華大学)

会場案内(交通機関)

JR 東海: 名古屋駅(中央線, 普通) → (約10分) → 鶴舞駅下車(名大病院口出口から東へ約400米)

地下鉄: 名古屋駅(東山線) → (約3分) → 伏見駅で乗り換え, 伏見駅(鶴舞線) → (約10分) → 鶴舞駅下車(4番出口から東へ約400米)

講堂は正門を入れてすぐ右です。

【同封の出欠及び委任状を必ずお出し下さい】



〔論 文〕

H. Staudinger の研究とドイツ高分子化学工業の誕生

ポリスチロールおよびポリ塩化ビニルの工業化に至るまで (その1)

田 中 穆*

1. ま え が き

前報までに、H. Staudinger (シュタウディンガー, 1881-1965) が1926年のデュッセルドルフ (Dusseldorf) における講演会で、巨大分子説主張のために提示したいくつかの研究材料のうち、ポリオキシメチレン¹⁾、ゴム²⁾、およびポリ酢酸ビニル³⁾などについて、彼がそれらを選択した理由、あるいは動機と、その後の研究の進展経過、そしてそれらの工業界への波及効果などを論じるとともに、工業界の人たちとの交流から、合成ゴム、ポリ酢酸ビニル、およびポリビニルアルコールなどの工業化が推進されるに至った事情を説明した。

本報では、現在のプラスチック工業の中で重要な地位を占めている、ポリスチロールとポリ塩化ビニルについて、Staudinger と、彼をめぐる人たちの研究の概要と、それらが工業化にまで至る経緯を考察することにしたい。

2. ポリスチロール、およびポリハロゲン化ビニルに関する Staudinger の初期の研究

2.1 デュッセルドルフ講演会における Staudinger の講演⁴⁾

1926年の講演会において、Staudinger は数多くの材料を用いた実験例を提示して巨大分子の存在を強く訴えたが、その中で、‘難溶性の高分子量化合物’の項でポリ臭化ビニルの還元の問題を、

また‘コロイド状溶解性高分子物質’の項では、ヘミコロイド性から真正コロイド性に至るまでの特性を示すポリスチロールの調製法と、それらの性状をやや詳しく紹介した。

すなわち、前者については、難溶性の高分子量物質としてポリオキシメチレンの例について詳しく説明した後に、ポリ臭化ビニルのことに触れ、このものをジエチル亜鉛で処理すると比較的高分子量の炭化水素が得られるが、その分子量を浸透圧法で測定した結果から考えて、もとの臭化ビニル重合物は少なくとも50個以上の基本分子が重合し連結したものであるという知見を得たという簡単なコメントが述べられている。これ以上に詳しいデータは示されておらず、予備実験的なテスト結果を定性的に述べたに過ぎないものと言える。

後者のポリスチロールに関しては、有機コロイドの区分を説明した上で、かなり高温で、あるいは四塩化錫のような触媒の存在下で重合させて得た比較的低分子量の、ヘミコロイド性ポリスチロールと、低温で放置重合させて得た、相当高分子量 (分子量10,000以上と推定) の真正コロイド性ポリスチロールとのことが報告されている。前者については、四塩化錫触媒によって調製した分子量2,600 (氷点降下法による) のポリスチロールを5フラクションに分別し、分子量による物理性状 (融点、粘度、溶解性など) の差を表示するとともに、これらと真正コロイド性ポリスチロールとの間には著しい物性上の懸隔が認められることなどが述べられている。

この当時の Staudinger はポリスチロールに関して、それまでの報文において“メタスチロー

1995年11月8日受理

* ポリプラスチック(株)

ル”と呼ばれて曖昧な理解に止まっていたものに対して、スチロールが正規の共有結合で連結した高分子量化合物であることにのみ興味を持っていて、それ以上には特別な意識はなかったようである。それは、この講演においてポリスチロールと並列的に、ポリインデンに対しても同様な力点を置いた説明を行っていることから窺われる。従って、後にポリスチロールが工業界で非常に注目されるに至ることは、Staudingerとしては全く予想していなかったと思われる。ポリハロゲン化ビニルについても全く同様である。

2.2 講演後の研究発表

デュッセルドルフの講演会で興味ある話題を提供しながらも、Staudinger はそれら多くについて直ぐには正式の研究発表を行わなかった。当時、シリーズ的に研究を続けていたゴムの問題の他には、ポリ酢酸ビニルとポリビニルアルコールの問題⁵⁾と、ポリオキシメチレンについての化学的、および X 線解析的な検討成果⁶⁾とを、それぞれ1927年と28年とに発表したのみであった。ポリスチロールについては1929年になって、やっと報文の形で公表された。これについて彼は次のように語っている⁷⁾。

これに関する研究結果は比較的遅くなって(1929年)発表されたが、これは私が1926年からフライブルグ(Freiburg)で仕事をした初めの頃には無機化学主要講義の聴講者から希望された本である“無機化学の表”の出版に主として携わっていたという事情による。ポリスチロールに関する研究発表を保留していたことは、我々にとって不利益となった。というのは、この物質の構造に関する当時の概念に、我々の新しい巨大分子的解釈よりもはるかに良く適合するように思われた、K. H. Meyer と H. Mark の C. Nägeli の意味における新ミセル説に基づく研究が1928年以來現れ、このため活発な論争を引き起こした

からである。

前報²⁾でも述べたように、この当時の Staudinger の研究の主眼は、ゴムの構造解明に当たって低分子会合説を打破するために、ゴムに水素化やハロゲン化水素化などの反応を行ってもそのコロイド性は失われないという実験事実から、ゴムが巨大分子から成っていることを証明しようとしていたのであるが、ゴムの反応には分解や環化などの副反応が随伴するために生成物が複雑であり、明快な論証が困難なことから、何よりも問題なのは、分子量測定について適確な方法が見出せず、実測値が提示されないまま、反応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持つような高分子量体であろうといった間接的な説明に終始していたため、彼の巨大分子説は明快さを欠いた印象を与えがちであった。

ポリ酢酸ビニル、およびポリオキシメチレンに関する報文は内容的に明瞭で立派なものであり、特に、後者の論文で G. Mie (ミー, 1868—1957) 教授の協力により行われた X 線解析の報告は注目すべきものであったはずであるが、対象物質が天然物でなく合成物であったために、物理化学者優勢の当時の学会の中ではあまり興味を引かなかったのであろう。

これに対して、1928年に K. H. Meyer (マイヤー, 1883—1952) と H. Mark (マルク, 1895—1992) が発表したセルローズ⁸⁾、およびゴム⁹⁾についての X 線解析による構造モデルの提案²⁾は、非常に理解されやすく、高い評価を得て、高分子説の主導役とも言うべき地位に立つ形勢となったわけである。問題なのは、Meyer らは「分子」という表現を避けて、基本単位が精々、前者で60~100個、後者で75~150個ほど連結した、比較的短い高分子主原子価鎖が分子間凝集力によってミセルを構成するという考え方であって、もう1オーダー以上大きい巨大分子を想定し、その存在を主張していた Staudinger の考えが無視されよ

うとする雰囲気になってきたことであった。

Staudinger は急遽ポリスチロールについての既往のデータを整理し、補完するとともに、これを中心に分子量測定の問題に手をつけ、1929年から次々に研究を発表し始めた。同様に、未発表であったポリハロゲン化ビニルについても、講演会で発表した所見に沿った実験を補足して報文としてまとめ上げるに至ったわけである。

かくして、1940年頃までにポリスチロール、およびポリハロゲン化ビニルに関して相当数の報文が発表されたが、それらの中の主なものを年代順に並べて表1に示した。

彼の『研究回顧』¹⁰⁾によると、ポリスチロールに関しては18の報文と7の学位論文が¹¹⁾、またポリハロゲン化ビニルに関しては8の報文と4の学

位論文が掲げられているが、このような分類の他に、“分子量の測定”、“粘度研究について”、および“重合について”の分類の中にも相当数のポリスチロールに関係した報文が含まれているので、総計すればかなりの論文数になる。本稿では、それらの中で検討の対象とすべきもの、注目を要するものを精選して、時代背景を顧慮した形で表記した。

2.3 1928—29年のポリスチロールに関する報文

2.3.1 Staudinger 以前の研究

Staudinger の報文の内容に立ち入る前に、彼以前の研究について簡単に述べておこう。

ポリスチロール——Staudinger 以前にはこのように呼ばれていなかったが——はドイツでは相当古くから知られており、最初の発見者は E.

表1 ポリスチロール及びポリハロゲン化ビニルに関する Staudinger 一門の主な研究発表

年	主な研究発表のタイトル	備 考
1926	[デュッセルドルフでの講演会] ⁴⁾ ゴムの水素化などの研究。	
27	ポリ酢酸ビニルについての研究 ⁵⁾ 。	
28	ポリオキシメチレンについての研究 ⁶⁾ 。	セルロース、ゴムの結晶構造モデルを提案 (Me.-Ma.) ^{8), 9)} 。 親媒性コロイドの粘度について (Ma.-Fi.) ⁵²⁾ 。
29	ゴムのモデルとしてのポリスチロールについて ¹⁹⁾ 。 ポリスチロール溶液の粘度研究 ^{20), 21)} 。 ポリスチロールの還元について ^{23), 24)} 。	St.-Me. の論争始まる ⁴⁸⁾ 。 Carothers 高分子研究に着手。
30	ポリスチロールにおける粘度と分子量との関係 ²⁷⁾ 。 パラフィン ³⁹⁾ 、水素化ゴム ³⁸⁾ などの粘度律。 ポリ臭化ビニルについて ²⁷⁾ 。	ポリスチロールの生産始まる (IG.)。
31	非対称二塩化エチレンポリマーについて ²⁶⁾ 。 重合と自動酸化について ⁶⁸⁾ 。	塩化ビニルポリマーの小規模生産始まる (IG.)。
32	ポリスチロール、ゴムの一つのモデル ⁴⁶⁾ 。 [刊行書の中的一篇として]。	
34	不溶解化ポリスチロール ⁴⁷⁾ 。	ナイロン6・6発見 (du Pont)。
35	浸透圧法および粘度法分子量測定方法の比較 ⁷¹⁾ (Sch. と連名) 連鎖反応としての重合について ⁶⁹⁾ 。	高分子物性問題に統計力学の手法導入 〈溶液粘度、ゴム弾性など〉(Kuhn) ⁶⁰⁾ 。
36		St.-Me. の論争終結 ^{56), 57)} 。
39	ポリ塩化ビニルについて ⁷³⁾ 。	高圧法ポリエチレンの生産 (ICI)。 縮合重合の反応理論 (Fl.)。
53	ポリ塩化ビニルについて ⁷⁶⁾ 。	

注) 略記人名 St.: H. Staudinger; Me.: K. H. Meyer; Ma.: H. Mark; Fi.: H. Fikentscher; Sc.: G. V. Schulz.

Simon (シモン) とされている¹²⁾。彼は1839年頃 'Storax (液状こはく)' を水蒸気蒸溜して液状の油を得て、これをスチロールと命名、さらにこれを放置するとゼリー状の物質に変化することを発見して、これをスチロールの酸化物と考えたのである¹³⁾。その後、J. Blyth (ブリット) と A. W. Hofmann (ホフマン, 1818—1892) がこれを追試し、このスチロールの変化には何らの元素の出入りがないことを確かめ、分子構造の変化によって起こるものと考えて、組成的にスチロールと同じであるこの生成物を“メタスチロール”と呼ぶことを提案し、さらにまた、このメタスチロールは300—320°Cで再びスチロールに戻ることを認め、スチロールとメタスチロールとの間の変化は可逆的であることを明らかにした¹⁴⁾。

続いて、A. Kronstein (クロンシュタイン) はスチロールの加熱による変化について形態的な観察から、二つの過程に区分される重合が進行するものと考え、中間生成物をベンゾール溶液からアルコールで沈でんさせることによって固体粉末を分離し、これを‘ポリスチロール’と名付け、このものが、なお未変化で存在するスチロールと反応して‘メタスチロール’を生成するものとみなし、重合は、この中間体の先行生成があまりないままに直接的に変化する場合と、中間体を経過して進行する場合との二つのタイプに区別されるといふ所見を発表した¹⁵⁾。

その後 H. Stobbe (シュトッベ) が登場し、それまでの諸研究を総括すべく、ライプツヒ (Leipzig) 大学において G. Posnjak (ポスニヤク) とともに、スチロールからメタスチロールへの変化をかなり詳細、かつ系統的に追跡検討したのである¹⁶⁾。注目すべきことは、メタスチロールについて四塩化炭素溶液の沸点上昇法による分子量測定を試み、ゴム、デキストリン、でん粉などのコロイド状物質と同様に沸点上昇効果が非常に小さいこと、別のシリーズの実験で求められたわ

ずかな沸点上昇値から $(C_8H_8)_{10}$ に相当する分子量値を得たことを報告しながら、それ以上に分子構造についての追及を行わなかったことである。むしろ彼らは、この反応の熱、および光による影響を仔細に調べるために、オストワルド粘度計を用いた粘度変化、および屈折計による屈折率の変化による追跡¹⁷⁾を丹念に行うことに努力を傾けている。彼らが分子構造の問題に踏み込まなかった点は惜しまれるが、過去の研究を整理総括した点、そして長鎖分子の生成を示唆した点において、Staudinger らの次の時代の研究者たちにとって十分評価すべきものとして受けとめられたのである。

なお、ドイツではあまり注目されていなかったようであるが、ロシアの化学者 I. Ostromislensky (オストロミスレンスキー, ?) についても少し付言しておく。彼はロシアにあって1910~20年頃、ポリ塩化ビニルとポリスチロールについてプラスチックとしての用途を意識した製造研究を進め、ポリスチロールに関しては、重合の条件に応じて性質が変化することから、低温重合物を‘ α -メタスチロール’、高温重合物を‘ β -メタスチロール’、触媒による重合物を‘ γ -メタスチロール’と名付けて強靱な樹脂の製造条件を調べる一方、残留スチロールモノマーのクレージング(透明な成形品の表面に曇りのような微細クラックを生じる現象)に対する影響なども認識しており、いくつかの特許を出しているが¹⁸⁾、米国の Nautguck Chem. 社に権利は移譲された。面白いことに、Staudinger はポリスチロールの報文ではこの件については何らの言及もしていないが、ポリハロゲン化ビニルの場合には彼の研究を引用し参考に行っていることから見て、全く無視していたわけでもないであろう。

2.3.2 ポリスチロールに関する Staudinger の最初の報文

1929年に現れたポリスチロールに関する Sta-

udinger の最初の報文は¹⁹⁾、「ゴムのモデルとしてのポリスチロールについて」と題するもので、彼を含めて6者の連名から成り、上述のごとく、チューリッヒで M. Brunner (ブルンナー) と S. Wehrli (ヴェールリ) によって行われた研究内容をベースに、これにフライブルグで K. Frey (フライ) と P. Garbsch (ガルプシュ) の研究成果を付加補足したものと見られる。先行の研究としては Stobbe らの報文のみが引用されている。

その内容はデュッセルドルフの講演会で報告された線に沿って、スチロールの重合によって生成するポリスチロールは、共有結合によって連結された、ある範囲の分子量を有する均質ポリマーの混合物 (換言すれば、ポリマー同族列体) であること、平均分子量 (ベンゾール溶液の水点降下法による測定) が 3,000—10,000 のポリスチロールはヘミコロイド性を示し、それよりさらに大きな分子量のものは真正コロイド性を示すこと、ポリスチロールの物理的性質の差は平均分子量に依存し、強靱なポリスチロールは極端に高い分子量のものであること、そしてポリスチロールのベンゾール溶液にアルコールを添加して分別沈でんさせると、最高分子量のものは繊維状で得られるのに対して低分子量のものは粉末状、または軟塊状のものが得られること、巨大分子量のポリスチロールは乾燥するとジエチルエーテルなどに難溶であり、低分子量のものより相当高い軟化点を示すことなどが、データとともに順序よく説明されている。

以上のことからポリスチロールにおいては、ゴムの場合のような不純物による影響や、自動酸化による分解や架橋などの影響も考えられず、純度の良い炭化水素モノマーが共有結合によって長く連結した構造のものであることは明らかで (従来「メタスチロール」の考えを否定)、そのコロイド性は分子の構造、すなわち長鎖巨大分子に基づくものであることが説明されること、逆に、この

ことからゴムはポリスチロールと同様の構造原理を有する巨大分子であることは明らかであると主張したわけである。

溶液粘度については、真正コロイド性ポリスチロール溶液の加熱による粘度低下の問題と、ポリスチロール溶液粘度の濃度依存性の問題とを手短かに述べているが、この段階では粘度と分子量との関係には論及されていない。

最後に本報文の謝辞に注目すると、ポリスチロールの大きな塊を IG 社のヴォルフェン (Wolfen) 工場などから、またスチロールモノマーは同社ユルディンゲン (Ürdingen) 工場から提供されたと記されているが、ルートヴィヒスハーフェン (Ludwigshafen) 工場の名は挙げられていない。

次の報文は「ポリスチロール溶液の粘度研究 I.²⁰⁾及び II.²¹⁾」で、前者は K. Frey、後者は H. Machemer (マッヘマー) との連名で提出されている。I. ではポリスチロール溶液は加温、または強力な機械的振盪によっても粘度変化を示さず安定であり、老化現象を起こしやすい会合ミセルコロイドとは明らかに異なっていることを主張している。II. においては、ポリスチロール溶液では、その鎖長 (分子量) とともに Hagen-Poiseuille (ハーゲン・ポアズイユ) の法則²²⁾からのずれが大きくなる。換言すると、粘度計の毛細管中の液の流下速度によって比粘度値の変動が大きくなることが認められ、そしてそれは糸状分子の溶液中での配向に関係があるものと考えられることが示されている。また真正コロイド性ポリスチロールは溶液中で高温に加熱すると分解しやすく、しかも分解は固体状の場合よりも起こりやすいことなどが報告されている。

続いて「ポリスチロールの還元について」と題する報文も二つ出されており、一つは E. Geiger (ガイガー) と E. Huber (フーベル) との連名²³⁾、もう一つは V. Wiedersheim (ヴィーダー

スハイム)との連名によるもので²⁴⁾である。これらを要約すると、分子量2,000から3,000の比較的低分子量のポリスチロールを水素還元してポリヘキサヒドロスチロールを得たが、これがもとのものとほぼ同じ分子量を有していることから、溶解している粒子が分子であって会合体ではないという証明が得られたのに対し、分子量10,000から100,000の高分子量ポリスチロールの場合には、反応中に相当分解が起こるために高分子量のポリヘキサヒドロスチロールを得ることに成功しなかった、というものである。

1929年代にはこの他に、 α -メチルスチロールの重合の問題²⁵⁾、およびポリスチロールの熱分解の問題²⁶⁾などの報文が提出されているが、説明は省略する。

2.4 ポリハロゲン化ビニルに関する初期の研究報文

ポリハロゲン化ビニルに関しては、1926年の講演会で Staudinger はポリ臭化ビニルについて少し触れただけに終わっている。彼自身、後にその『研究回顧』¹⁰⁾の中で述べているところでは、1927年以来、フライブルグで W. Feisst (ファイスト)と共に研究を始めたことになっている。従って、恐らくチューリッヒでは M. Brunner が簡単な予備実験を行っただけで、本格的な研究に取り組んだのはフライブルグに移ってからということなのであろう。その結果は1930年の *Helvetica* 誌に発表された。

この「ポリ臭化ビニルについて」²⁷⁾と題する報文の前文には、彼の巨大分子説が完全に認容されず、それまでの彼の報文に対して数々の疑念と批判が投げかけられていた時期でもあり、ゴムの還元などについて十分説得性のある成果を示し得なかった悩みや焦りから、何とかして還元法によって炭化水素鎖から成る高分子化合物の証明を得たいという切実な彼の気持が滲み出ている。彼がハロゲン化ビニル重合体を研究に採り上げた動機

は、ハロゲンに対し反応性のある各種試剤によって飽和炭化水素鎖重合体への転換反応を試みることにのみあったと見られる。

この研究結果を要約すると、ポリ臭化ビニルに対しジアルキル亜鉛を作用させた実験では、一部脱ハロゲン化水素化反応を随伴してゴムのような不飽和基を有する組成の生成物しか得られず、亜鉛末、氷酢酸、および塩化水素の系による反応でも高沸点の炭化水素(テトラエチル・ジメチル・ベンゾールと見られる)を得たのみであったが、最後に、沃化水素と燐とによる還元の実験において易溶性、および難溶性のポリ臭化ビニルを用いて検討したところ、例えば、分子量1,400程度の Fischer-Tropsch (フィッシャー・トロプシュ)法²⁸⁾による炭化水素と同様なパラフィン状炭化水素が得られたこと、さらにこれから燐を除去するために精製分別したものは平均分子量750で、X線分析結果からジメチルシロとほぼ同じものであることが分かったというものである。なお比較のため、溶解性の異なる2種のポリ塩化ビニル試料から、上記と同様な還元法により同様なパラフィンが得られたことが報告され、最後に、ポリ臭化ビニルのけん化によりポリビニルアルコールを得る実験を2~3試みたが、不成功に終わったことが付記されている。

また、この報文の前段に臭化ビニルを主体としたハロゲン化ビニル重合体(もちろん、当時は化学構造について明確な認識はなかったが)について簡単な歴史が記されているが、V. Regnault (ルニョー, 1810—1878)²⁹⁾、A. W. Hofmann (前出)³⁰⁾、E. Baumann (バウマン, 1846—1896)³¹⁾らとともに I. Ostromislensky (前出)³²⁾の名を挙げてその研究内容を紹介しているが、F. Klatte (クラッテ, 前報³⁾参照)の特許の引用はない。ポリ酢酸ビニルの場合には Klatte に非常に注目しているにも係わらず、その翌年に出願されたポリハロゲン化ビニルに関する特許に着目しなかった

点が面白い。この報文の実験に供試されたポリ塩化ビニルの試料はヘキスト (Hoechst) 工場に依頼して入手したものであるが、当時の状況から考えると、Klatte がラインフェルデン (Rheinfelden) 工場で試製していたものが届けられたに違いないと思われるにも係らずである。要するに Staudinger 自身、ポリ塩化ビニルについてその還元反応に利用することにのみ関心があり、恐らく Ostromislensky の研究についても知見を得ただけで、ポリ塩化ビニルが工業的に大きな価値を持つに至ることは全く予見していなかったであろう。ただ、工業界の人たちからすれば、このように既往の文献が整理されて引用されていることは大変便利であり、Staudinger の報文の重要な貢献の一面とも言えよう。

なお、この報文の研究で使用された臭化ビニルモノマーは Swarts 法³³⁾で調製されたとあるが、実験データは示されていない。この方法はエチレンジブロマイドにアルカリのアルコール液を滴下して反応させるもので、特に厄介なものではない。ただ、Hoechst 社の古文書集のドキュメント³⁴⁾によれば、1927年5月頃に、Staudinger はヘキスト工場に対してポリ塩化ビニルの他に、臭化ビニル、または塩化ビニルモノマーの分譲を要請しているが、報文中には何のコメントもないところを見ると、目的を果たさなかったのであろう。

上記の報文の前に、塩化アリル重合物についての報文³⁵⁾が出ているが、あまり重要性は認められないので省略するとして、上記報文に続いて、「非対称ポリジクロロエチレンについて」と題する報文³⁶⁾が同じ著者名で発表されているので、少し付言しておく。これは前報と同様に、非対称ポリジクロロエチレン (ポリ塩化ビニリデン) について赤燐と沃化水素とを反応させて、分子量 1,400-1,500 のものと、分子量 2,400 との炭化水素混合物が得られたが一方、加熱、あるいはジェチル亜鉛などの作用で積極的に不飽和炭化水素鎖を

得ようとした実験では、なおハロゲンを含む不溶性の生成物しか得られず不成功に終わったというものである。なお、この重合物は X 線的に明瞭な結晶性を示すことから、彼らはこの重合物が規則的な頭-尾結合から成る鎖状分子であることを強調しているが、これは今日から見ても重要な発見であったと言える。

以上の報告が行われた後は、Staudinger のハロゲン化ビニル重合物に関する研究は1939年頃まで中断され、ポリスチロールを主体にした研究が推進されることになる。

3. 1930年代前半の Staudinger の研究

3.1 いわゆる「粘度律」の問題提起

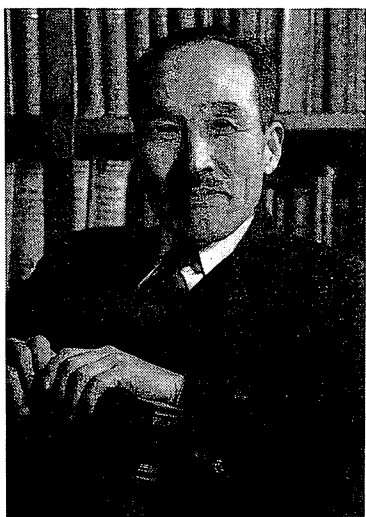
1930年になって Staudinger は溶液粘度値から分子量を算定する、いわゆる「粘度律」の問題を提起するわけであるが、その最初の報文は「ポリスチロールにおける粘度と分子量との関係」と題するもので、W. Heuer (ホイエル) との連名で発表された³⁷⁾。続いて水素化ゴム³⁸⁾、および分子量が 336~744 のパラフィン³⁹⁾について R. Nodzu (野津龍三郎, 1892—1957, 写真 1.) との連名で、続いて H. Freudenberger (フロイデンベルガー) とともに酢酸セルロースについて⁴⁰⁾、さらに E. Ochiai (落合英二, 1898—1974) とともに長鎖脂肪酸エステルについて⁴¹⁾報文を発表して、同一溶液濃度で測定された粘度、すなわち η_{sp}/c が次式のように分子量に比例することを示し、この様な関係の粘度式が典型的な高分子化合物にも適用し得ると主張した。これが粘度律と呼ばれるものである。

$$\eta_{sp}/c = K_m \cdot M$$

η_{sp} : 比粘度, c : 濃度 (モル/l),

K_m : 恒数, M : 分子量

V. E. Yarsley⁴²⁾が Staudinger 夫人から聞いた話では、当時、Staudinger は分子量測定のために超遠心機⁴³⁾の購入を願っていたが、資金確保の



Ryuzo Nozaki (1882)

写真1 野津龍三郎 教授

あてがないためその解決策を長く思案していたある日曜日、恒例の黒い森への散策の途上でこの問題を論議した末に、帰宅してから彼はこの粘度式に思い至ったという。話はいささかできすぎの感はあるが、前述したような研究の行き詰まりからの脱却のため、分子量測定が氷点降下法や沸点上昇法に依存できないとすれば多年にわたって体験していた溶液粘度に打開の道を求めざるを得なかったのであろう。野津の留学は1926—7年頃であるから、その頃からデータを温めながら思考の反復を重ねていたに違いない。

高分子物質の溶液粘度の問題について、それまでの Staudinger はいわゆる会合ミセル液との差を強調するために、溶媒の種類、温度、あるいは濃度を変化させたときの溶液の挙動についての論議に重点を置き、ゴム⁴⁰⁾、ポリ酢酸ビニル⁴¹⁾、及びポリスチロール⁴²⁾などの報告においても、分子量と溶液粘度との間の関係は示唆の程度に留まっていた。それが1930年に至り、ようやく決断された姿で、粘度式という形にして提案されるに至ったわけである。

上掲のポリスチロールに関する「粘度律」の報文の要旨は、先ず、溶液粘度の理論的考察の基礎になる Einstein (A.アインシュタイン1879—1955) の式⁴³⁾についての考察から始まって、球状分子(サッカロース、グルコース誘導体など)の溶液に対してはこの式が適用できるが、糸状分子には適用できないことを説明し、溶液中に占める分子容積をシリンダー状のものと考えて Einstein の式を変形し簡略化することによって、上記のような粘度律の式を導き、一方、実験では主として0.25モル/l程度希薄溶液において、あらかじめ各種の方法で分子量の測定された、分子量1,750—約10,000のポリスチロールの溶液粘度を測定し、この両者の対比から K_m 恒数を算定し平均 0.25×10^{-3} の値を得、この値を用いて粘度式から真正コロイド性ポリスチロールの分子量を算定したデータを例示するという構成になっている。

水素化ゴム、およびパラフィンに関する報文では、前文の説明は省略され、 K_m 恒数としてそれぞれ、平均 0.3×10^{-3} (前者)、 0.10×10^{-3} (後者)の値を求めた実験データと若干の考察が示されているのみである。

この後1932年には、Staudinger の高分子量化合物に関するそれまでの研究を集大成した著書⁴⁴⁾が刊行されたが、その中に「ポリスチロール、ゴムの一つのモデル」と題し、「高分子量化合物について」の報文シリーズ第63報という形で、W. Heuer との連名になる所論が収録されている。約68ページにわたりポリスチロールに関する研究問題が記述されているが、重合などに比して溶液粘度に関するデータ量が非常に多く、この当時の研究の焦点であったことが窺われる。粘度の問題について既報のものの上に新規データが相当付加されたので、研究報文の形式をとったのであろう。他にモノマー中の不純物によるポリスチロールの不溶解化についての報告⁴⁵⁾が出ているが、こ

これらの内容の説明は省略する。

3.2 Staudinger と Meyer の論争

K. H. Meyer と H. Mark のセルロース、およびゴムに関する考えは、基本分子が長く連結した高分子鎖を想定してはいたが、その連結単位の数はあまり大きくなく、いわゆる巨大分子という概念にまでは至らず、むしろ分子間力の計算⁴⁰⁾からミセル形成を重視したものであった。そしてこのようなミセルの存在のゆえに溶液中で溶媒和層を形成し、十分に分子状分散するまでに至らないことを予想して、溶液の浸透圧や粘度の測定値から算定される分子量は過大に見積もられる可能性があり、従って Staudinger の粘度律の提案は首肯し難いものであると主張したわけである。

K. H. Meyer は1929年に「H. Staudinger の論文に対する所見」と題した見解⁴⁹⁾を発表したが、これは Staudinger がゴムに関する研究報文⁵⁰⁾の中で、Meyer らがゴムの鎖の長さをイソプレン単位が75—150個程度連結したものと考えているのに対して、さらに1桁以上大きな高分子鎖分子であると主張したことに対する反論である。その所見は上述の考え方に立ったものであった。この時点から両者の間の論争が始まったわけであるが、Staudinger は Meyer らの考え方を「新ミセル説」と呼び、従来の低分子会合説におけるミセルの考えから進歩したものではないという攻撃を続けたのである。

C. Priesner はその著書⁵¹⁾で、この間の両者の文書や論文での応酬の様子を詳しく紹介しており、また筆者も別のところで書いたこと⁵²⁾もあるので重複は避けたいが、話の順序としてごく要点にのみ触れておくことにする。

上記の Meyer の論文とほとんど同時期に、H. Mark は H. Fikentscher (フィケンチャー、後述) との連名の形で「親媒性コロイドの粘度について」という論文⁵³⁾を発表しているが、これは未だ Staudinger が正式に粘度律を発表していない

時点でその考え方に先制攻撃をかけたようなものである。すなわち、親溶媒性のコロイドの粘度は複雑なもので、Staudinger が考えているように分子鎖長にのみ単純に依存するのではなくて、重合物と溶媒との相互作用にも影響されるという考え方から出発して、溶質分子が溶媒和によって回転楕円体の形状をとるものとして Einstein の式を変形してゆくと、高分子同族列の等粘度溶液においては分子量の平方(二乗)が溶質濃度に逆比例するという、次式の関係が導かれるというわけである。

$$c_1/c_2 = M_2^2/M_1^2 \quad \text{あるいは}$$

$$M_1^2 : M_2^2 : M_3^2 : \dots = \frac{1}{c_1} : \frac{1}{c_2} : \frac{1}{c_3} : \dots$$

しかし H. Morawetz⁵⁴⁾が指摘しているように、回転楕円体モデルの考え方には妥当性はなく、また上記結論に対する実験検証がない点に疑問の残る内容である。恐らく Fikentscher は上記の式の誘導の過程で必要とされた溶液粘度の測定データ(硝化綿やクレープゴムなど)を提供したのみで、論議は主として Mark によって進められたものと見られるが、これら試料の分子量が不詳である以上、先走りの感は否めないものである。

Meyer と Mark らの考え方は基本的に、溶液からの分子量測定に対する疑念にあるが、Staudinger が粘度律の提案をするに当たって、それが比較的剛直な棒状分子を仮定したものであること、また相当低分子量(準高分子)の試料について求められた恒数を高分子量物にまで外挿適用して分子量を算定していることなどの問題を論議する方向に矛先を転換して行った。

確かに Staudinger 側の粘度律に対する理論的説明は単純素朴なものであったが、彼の許には豊富な実験データがあり、例えば、同じ高分子の溶液の比粘度 η_{sp} は良溶剤であればその種類によっても、温度によっても変わらず、従って一定の安定な溶解状態にあるに違いないとの確信を持ち、

また等重合度的反応を行っても η_{sp} はほとんど変化せず、このような事実は分子状分散の証明であるという根拠を以て主張を曲げなかったのである。また幸いにも、当時彼が行った実験の多くが、ポリスチロールやセルロース誘導体などの比較的屈曲性の少ない分子であったことも粘度律の適合性に大きな綻びを生じさせなかった。

Mark はナチスのユダヤ人排斥政策の難を逃れてウィーン (Wien) に逃避⁵⁵⁾してからは、次第に論争から遠ざかるが、Meyer はジュネーブ (Genf) に移ってからも Staudinger への批判を止めようとはしなかった。しかし、1936年になって *Berichte* 誌は機を見計らい、所載の Staudinger の論文⁵⁶⁾の後にコメントを付して両者の論戦終結を宣し、K. Freudenberg (フロイデンベルグ、1886—1983) による仲裁の文章⁵⁷⁾を掲載することで終止符を打ったのである。

かくして Staudinger が一応勝利した形で決着したが、やがてポリスチロールやポリ塩化ビニルなどにおいて、粘度律がうまく適用し難い問題に直面することになる。これについては後で述べることにする。

3.3 論争の余波

高分子量物質の分子量が希薄溶液の粘度と直接的に関係することを認めたのは Staudinger の功績である。溶液粘度の測定は簡便容易な方法であり、工業的に利用しやすいことから今日でも広く採用されている。問題はその精度とか理論的な基礎を論議するとなると、粘度律の考え方はあまりにも単純過ぎるし、さりとて Meyer の主張するような溶媒和されたミセルの存在に拘泥する考え方も偏執すぎるものと思われる。両者の長年にわたる論戦は十分に噛み合わないまま不毛の年月を費してしまったと言えるが、この論争によって多くの研究者たちの分子量問題に対する関心呼び、1930年代後半から40年代にかけて、統計力学や熱力学の考え方を導入した高分子溶液論の新分

野が進展し始めたことを考えると、あながち非難の目で眺めるべきではないであろう。

後世、強引とも独断的とも批判されるこの当時の Staudinger の言動も、有機化学者であった彼がその限界を意識しつつ新しい展開への一步が踏み出せないままに、不毛の論議に巻き込まれてゆく苛立ちや焦りがあったであろうと推量されるのである。彼には新しい手法の導入のために物理化学者の協力が必要であったはずである。やがて1933年には、G. V. Schulz (シュルツ、1905—) がフライブルグの研究室に入ることになるが、これについては後述する。

有機化学者と物理化学者との協力については、溶液の問題ではないが、すでに Freudenberg と W. Kuhn (クーン、1899—?) がセルロースの加水分解反応速度の問題に統計力学的手法を導入して解析を行い、成果を挙げた実績があった⁵⁸⁾。これについて P. J. Flory (フローリー、1910—1985) は次のように述べている⁵⁹⁾。

以来この統計的手法は重合物質の構造、反応および物理的性質の取り扱いに際し支配的な役割を演ずるに至った。高分子物はその構成分子の微細構造からその性質を機械論的に推論するにはあまりにも複雑である。重合体はその構造があまり複雑で正確に記述できない。重合体およびその性質の合理的な解釈を一見手に負えないものにした複雑さこそは、実は統計的手法を応用するに理想的な場を提供したことになるであろう。

その Kuhn はその後溶液粘度やゴム弾性の問題について統計的手法による考察を進め、1934年に、高分子の各鎖員の自由屈曲性を考慮して糸まり状巨大分子に対する粘度関係式を導いた⁶⁰⁾。さらに1940年に入って桜田 (一郎、1904—1986)⁴⁵⁾ や R. Houwink (ハウィンク)⁶²⁾らが改良粘度式の検討を進めて、要約すると次式のような関係に到達した。

$$\lim_{c \rightarrow 0} \eta_{sp}/c = [\eta] = K \cdot P^m$$

$[\eta]$: 極限粘度, P : 重合度, m : 恒数

ここに m は低重合度域では 1, 高重合度域および Kuhn の式では 0.5 の値となり, ポリ酢酸ビニルやポリアクリル酸メチルなど屈曲性の大きい, 多くの合成ポリマーでは 0.6 程度⁶¹⁾, Staudinger が考えていた剛直な糸状分子では 2 の値⁴⁵⁾ になるとされている。

それでは完全に Staudinger の式が否定されたかと言えば, P. Debye (デバイ, 1884—1966) によれば⁶³⁾, 糸まり状分子の内部を液体が自由に流通移動するような状態, つまり分子のすべての部分が流動する溶媒と接触するような屈曲性の少ない分子の場合は粘度律に従うということであり, 彼の直感によって導かれた式は生きていくことになる^{45, 64)}。

さらに言及しておきたいことは, Fikentscher が別の粘度式を提案したことである。彼は Meyer と Mark らが Staudinger との論争に注力しているのをよそに生産現場の立場から, 直接分子量を求めるのではなくて, 粘度測定からある

恒数 (K 値, 固有粘度, あるいは Fikentscher 恒数とも呼ぶ) を求め, その値を比較することによって分子の大小を判別 (特性化) する方法を提案した⁶⁵⁾。この「溶液の粘度に基づくセルロースの体系化」と題する報告では, 主としてセルロース誘導体やポリ酢酸ビニルなどの豊富な粘度データを用いて, Duclaux (デュクロ)⁶⁶⁾—Arrhenius (アレニウス, 1859—1927) の式⁶⁷⁾の変形から濃度 (c , g/100 cc) と相対粘度 (η_{rel}) とで表される粘度曲線の形状を示す, 次のような経験式を誘導し, この式からある濃度での粘度値における K を求め, これを比較するという考え方が述べられている。

$$\log \eta_{rel}/c = \frac{75K^2}{1+1.5K \cdot c} + K$$

その後この方法は種々のポリマーへの適用が可能で, また粘度測定もかなり高濃度 (5~10%) で行うことができることが明らかになり, ドイツで生産される多くのポリマーの特性づけにこの K 値を用いて品質管理する方法が広く採用されるようになった。これも粘度律に触発された一つの成果であった。

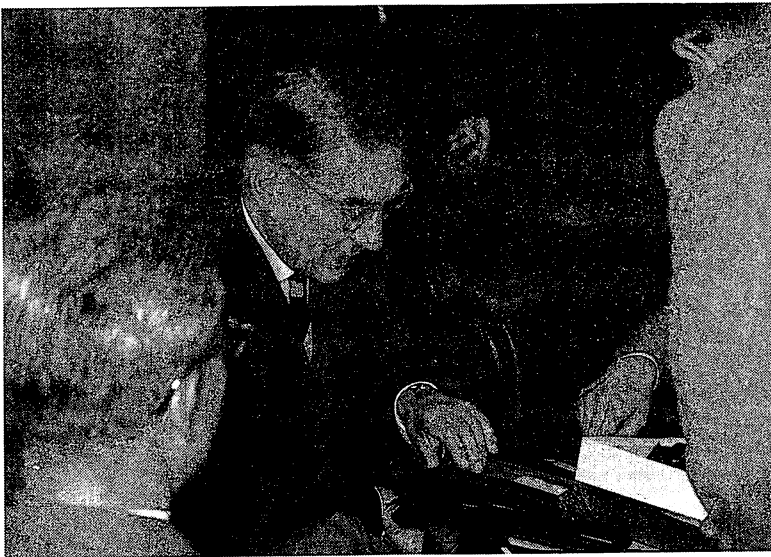


写真2 Prof. Dr. G. V. Schulz

3.4 重合に関する報文

Staudinger は1920年の、高分子分野に踏み込んだ最初の論文「重合について」⁶⁸⁾の中で、すでにビニル化合物の連鎖重合的な高分子生成の可能性を示唆しているが、本格的に重合の問題に取り組み始めたのは1930年の頃からである。

1931年に彼は L. Lautenschläger (ラウテンシュレーガー) との連名の形で、「重合と自動酸化について」という報文⁶⁹⁾を発表した。これはカールスルーエ (Karlsruhe) 工科大学で知り合った Lautenschläger の学位論文 (1913年) に補遺を加えたもので、要するに、ビニル化合物は酸素の存在下で迅速に重合すること、つまり自動酸化は重合を促進すること、しかし過酸化物を単離すると触媒作用は相対的に低下することなどの事実を、スチロール、イソプレン、シクロペンタジエンなどの実験例で示したものである。これは久し振りに重合問題に取り組むに当たったの予報のようなものである。

1935年になって「連鎖反応としての重合について」の題名の論文⁷⁰⁾が W. Frost (フロスト) との連名で発表されるに至った。長い寄道を経てやっと重合反応について自分の所説を述べるという思い入れか、彼は緒言で、「生命ある自然界の発生、生長、そして消滅と、有機化合物における生成、転換、そして分解などを結び付けて考える必要性」といった格調高い言葉から筆を進めている。そして重合においては低分子的中間体は分離されず、反応の初めでも終りでもほとんど同じ粘度、つまり同じ重合度のものが生成することから、重合は光、熱、あるいは触媒によってモノマー分子が活性化され、これに次々と不飽和分子が付加してゆく連鎖反応により進行すること、そして全体の重合速度は 1) 活性化、2) 生長、3) 停止の素反応に依存することなどを説明している。興味あることは、工業的に有用な高分子量ポリマーを得るには、反応 1) を促進させて 3) の

反応を抑制することが必要であり、それには乳化重合法が適していることが述べられている。これは当時 Fikentscher が、後述のように、塩化ビニルの乳化重合法の研究を進めていたことに示唆されたのではないかと推察される。報文末尾の謝辞にはルートヴィヒスハーフェンとユルディンゲン両工場の名が記されている。

この報文はビニル重合が連鎖反応であることを明らかにした最初のものとして声価は高いが、有機化学者 Staudinger としての役割はここまでで、さらに進んで動力学的な考察に踏み込むのは G. V. Schulz の協力を得るようになってからである。Schulz の略歴と活躍については後述するが、その写真をここに載せておく。

文献と注

- 1) 田中 穆, 『本誌』, 1986, 169.
- 2) 田中 穆, 『本誌』, 19, No. 3, 172 (1992); 19, No. 4, 247 (1992).
- 3) 田中 穆, 『本誌』, 20, No. 4, 243 (1993).
- 4) H. Staudinger, *Ber. dtsh. chem. Ges.* (以下 *Ber.*), 59, 3019 (1926).
- 5) H. Staudinger, K. Frey u. W. Starck, *Ber.*, 60, 1782 (1927).
- 6) H. Staudinger, H. Johner u. R. Signer, G. Mie u. J. Hengstenberg, *Z. physik. Chem.*, 126, 425 (1927).
- 7) H. シュタウディンガー著, 小林義郎 (訳) 『研究回顧—高分子化学への道』 (岩波書店, 東京, 1966), p. 184.
- 8) K. H. Meyer u. H. Mark, *Ber.*, 61, 593 (1928).
- 9) K. H. Meyer u. H. Mark, *Ber.*, 61, 1939 (1928).
- 10) H. シュタウディンガー著, 小林義郎 (訳) 『研究回顧—高分子化学への道』 (岩波書店, 東京, 1966), pp. 182-189, pp. 200-203.
- 11) V. E. Yarsley, *Chem. and Ind.*, Feb. 18, 1967, p. 256.
- 12) C. E. Schildknecht, *Vinyl and Related Polymers*, (John Wiley & Sons, New York, 1952), pp. 2. 桜田一郎著, 『化学の道草』 (高分子刊行会, 京都, 1979), pp. 207-213.
- 13) E. Simon, *Ann.*, 31, 287 (1839).
- 14) J. Blyth u. A. W. Hofmann, *Ann.*, 53, 289 u. 311 (1845).

- 15) A. Kronstein, *Ber.*, **35**, 4150 u. 4153 (1902).
- 16) H. Stobbe u. G. Posnjak, *Ann. Chem.*, **371**, 259 (1909).
- 17) H. Stobbe, *Ann. Chem.*, **409**, 1 (1915).
- 18) I. Ostromislensky, *USP* 1, 541, 175-6; *USP* 1, 683, 401-5.
- 19) H. Staudinger, M. Brunner, K. Frey, P. Garbsch, R. Signer u. S. Wehrli, *Ber.*, **62**, 241 (1929).
- 20) H. Staudinger, u. K. Frey, *Ber.*, **62**, 2909 (1929).
- 21) H. Staudinger, u. H. Machemer, *Ber.*, **62**, 2921 (1929).
- 22) Hagen-Poiseuille の法則: 細い円管を通して粘性流体を流すとき, レイノルズ数が小さければ, 流速は管の軸に平行でその大きさは
- $$u = -\frac{dp}{dx} \cdot \frac{1}{4\eta} (a^2 - r^2)$$
- で与えられる。 dp/dx は圧力勾配, η は粘性率, a は管の半径, r は軸からの距離, これをハーゲン・ポアズイユの流れという。
- この関係から流量, つまり単位時間に断面を通過する量は $\pi a^4 \cdot dp/dx \cdot 1/8 \eta$ で与えられ, 半径の 4 乗と圧力勾配に比例し, 粘性率に反比例する。
- 23) H. Staudinger, E. Geiger u. E. Huber, *Ber.*, **62**, 263 (1929).
- 24) H. Staudinger, u. V. Wiedersheim, *Ber.*, **62**, 2406 (1929).
- 25) H. Staudinger, u. F. Breusch, *Ber.*, **62**, 442 (1929).
- 26) H. Staudinger, K. Frey, P. Garbsch u. S. Wehrli, *Ber.*, **62**, 2912 (1929).
- 27) H. Staudinger, M. Brunner u. W. Feisst, *Helv. chim. Acta*, **13**, 805 (1930).
- 28) F. Fischer (フィッシャー, 1877-1947) と H. Tropsch (トロプシュ, 1889-1935) がカイザー・ウィルヘルム石炭研究所において, 1921年から32年にかけて, 水性ガスを金属酸化物系の触媒によって反応させて, ガソリン代用品としてのパラフィン系炭化水素を得る方法を開発した。この方法はドイツで工業化されて, 1939年末には年産75万トンの能力に達したと言われる。
- F. Fischer u. H. Tropsch, *Ber.*, **60**, 1330 (1927).
- 29) V. Regnault, *Ann.*, **15**, 63 (1835).
- 30) A. W. Hofmann, *Ann.*, **115**, 271 (1860).
- 31) E. Baumann, *Ann.*, **163**, 312 (1872).
- 32) I. Ostromislensky, *Chem. Zent.*, **1912** I, 1980; *ibid.*, **1913** II, 1187; *ibid.*, **1916** I, 1027, 1068.
- 33) Swarts, *Chem. Zent.*, **1901** II, 804.
- 34) *Dokumente aus Hoechst Archiven—Beitrage zur Geschichte der Chemie* (Farbwerke Hoechst AG.) Heft 15: Zur Strukturklärung der Makromoleküle—Ein Briefwechsel zwischen Prof. Staudinger und Dr. Kränzlein (1966), Dok. Nr. 16.
- 35) H. Staudinger u. Th. Fleitmann, *Ann. Chem.*, **480**, 92 (1930).
- 36) H. Staudinger u. W. Feisst, *Helv. Chim. Acta.*, **13**, 832 (1930).
- 37) H. Staudinger u. W. Heuer, *Ber.*, **63**, 222 (1930).
- 38) H. Staudinger u. R. Nodzu, *Helv. Chim. Acta.*, **13**, 368 (1930).
- 39) H. Staudinger u. R. Nodzu, *Ber.*, **63**, 721 (1930).
- 40) H. Staudinger u. H. Freudenberger, *Ber.*, **63**, 2331 (1930).
- 41) H. Staudinger u. E. Ochiai, *Z. physik. Chem. (A)*, **158**, 35 (1932).
- 42) (11) の文献, p. 261.
- 43) 詳細は例えば, P. J. フローリー著, 岡 小天, 金丸 競 (訳) 『高分子化学 上巻』 (丸善, 東京, 1955), pp. 285-288 参照。
- 44) H. Staudinger u. H. F. Bondy, *Ann.*, **468**, 1 (1929).
- 45) A. Einstein, *Ann. d. Phys.*, **19**, 289 (1960); *ibid.*, **34**, 591 (1911).
- 参考文献: 桜田一郎著 『高分子化学概論』 (高分子化学協会, 東京, 1948), pp. 166-219; 桜田一郎, 「研究回顧・高分子溶液の粘度と分子量」, 『化学』, **27**, No. 9, 867 (昭47) など
- 46) H. Staudinger, *Die hochmolekularen organischen Verbindungen—Kautschuk und Cellulose* (Springer Verlag, Berlin, 1932).
- 47) H. Staudinger, u. W. Heuer, *Ber.*, **67**, 1164 (1934); H. Staudinger, u. E. Husemann, *Ber.*, **68**, 1618 (1935).
- 48) M. Dunkel, *Z. phys. Chem. (A)*, **138**, 42 (1928).
- 49) K. H. Meyer, *Angew. Chem.*, **42**, 76 (1929).
- 50) H. Staudinger, M. Asano, H. F. Bondy u. R. Signer, *Ber.*, **61**, 2575 (1928).
- 51) C. Priesner, *H. Staudinger, H. Mark und K. H. Meyer—Thesen zur Größe und Struktur der Makromoleküle* (Verlag Chemie, Basel, 1980).
- 52) 田中 穆, 『化学』, **46**, No. 1, 32 (1991).
- 53) H. Fikentscher u. H. Mark, *Kolloid-Z.*, **49**, 135 (1929).
- 54) H. Morawetz, *Polymers—The Origins and Growth of a Science* (J. Wiley & Sons, New York, 1985), pp. 105-6.

- 55) H. Mark, *J. Chem. Educ.*, **58**, 527 (1981).
56) H. Staudinger, *Ber.*, **69**, 1168 (1936).
57) K. Freudenberg, *Ber.*, **69**, 1503 (1936).
58) W. Kuhn, *Ber.*, **63**, 1503 (1930).
K. Freudenberg, W. Kuhn, W. Dürr, F. Bolz u. G. Steinbrunn, *Ber.*, **63**, 1510 (1930).
59) 文献43), pp. 21-2.
60) W. Kuhn, *Kolloid-Z.*, **68**, 2 (1934).
61) 桜田一郎, 『日本化学繊維研究所講演集』, **5**, 33 (1940, 昭15).
62) R. Houwink, *J. prakt. Chem.*, **157**, 15 (1940).
63) P. Debye, *J. Chem. Phys.*, **14**, 636 (1946).
64) 桜田一郎, 『高分子』, **3**, 10 (1954).
65) H. Fikentscher, *Cellulosechemie.*, **13**, 58 (1932).
66) A. Duclaux u. E. Wollmann, *Compt. rend.*, **152**, 1580 (1911).
67) S. A. Arrhenius, *Biochem. Ztschr.*, **11**, 112 (1917).
68) H. Staudinger, *Ber.*, **53**, 1073 (1920).
69) H. Staudinger u. L. Lautenschläger, *Ann. Chem.*, **488**, 1 (1931).
70) H. Staudinger u. W. Frost, *Ber.*, **68**, 2351 (1935).

アンモニア合成技術 (Ⅲ)

江崎 正直*

9. 技術の複雑さ

9.1 合成プロセスの変遷

アンモニアは $3\text{H}_2 + \text{N}_2 \rightarrow 2\text{NH}_3$ のように水素と窒素から合成され、発熱かつ容積減少の反応であるから、理論的には高圧低温ほどアンモニアの生成に有利になる。

窒素は空気から容易に得られるが、水素の製造にはいくつもの方法があり、しかも製品アンモニアのコストを支配するので大量で安価な水素をいかにして得るか、原料と技術両面から多くの実用化プロセスの消長を経て今日に至っている。アンモニア合成の歴史はそのまま水素製造の歴史でもある。

今日でこそ水素製造原料は多様化しているが、戦前は石炭、コークス、コークス炉ガス、水電解の4つであった。電解水素法はアルカリ水溶液の電解で純粋な水素が得られるから、プロセスは簡単であるが、電力が豊富で安い地方でないと引き合わない。わが国でも合成アンモニア草創期のころから、水力電気を利用した電解水素のプラントがいくつか採用された。特に昭和4、5年ころは電力過剰時代で電解水素花ざかりの感を呈したが、硫安のコストが電力代に大きく左右されるほか、豊水期と渇水期の電力供給量に著しい差が生じ、月々の供給量も不安定であった。

操業安定のため、昭和10年ごろからは石炭とコークスを原料とするガス法のプラントが大勢を

占めるに至った。戦後は電力代が割高となり、昭和46年昭和電工・川崎工場を最後に電解法プラントは終りを告げた。

原料の多様化もさることながら脱硫、 CO_2 除去、 CO 除去等、それぞれにいろんな方式が開発され、企業環境と立地に応じて各地各工場はベストと思われる技術を組み合わせて採用しているので、世界中で過去80年間にわたり建設されたアンモニア合成工場の工程は相当な数にのぼる。それらの中から代表的なものを選び出して工程の変遷を簡略化して書けば第9-1図のようになる。

水電解法は純粋な水素と純粋な窒素を混合してアンモニアを合成するから、工程が最も簡単で技術確立が比較的容易であり、カザレー法のようにアンモニア合成の草創期に採用されて成功を収めた。水性ガス旧法はハーバー法とクロード法の原型である。水性ガスの水素分離でえられる水素中には CO が1-1.5%残る。 CO はアンモニア合成の触媒毒であるから、中低圧合成では徹底的に除去しなければならないので、ハーバー法では10% NaOH を用い200気圧、 230°C で除去した(第4-2図)。クロード法では高圧を採用しているためこのままアンモニア合成で処理することができた。

水性ガス新法はハーバー法の現代版で、戦前から戦後の昭和30年代まで広く採用された。旧法に比べると新法は水素分離や空気分離が不要なため電力の節約が大きく、かつ CO 転化を採用したことで水素効率が向上し水素コストが著るしく改善された。

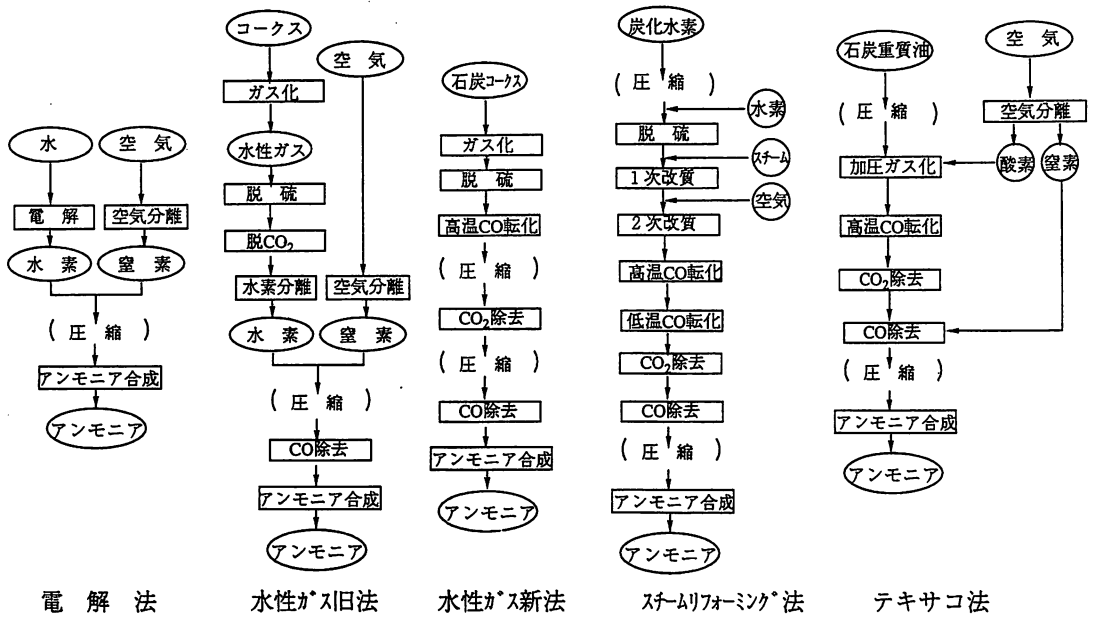
スチームリフォーミング法は1930年代アメリカで天然ガスを原料に工業化された。戦後はICI社やアメリカのケロッグ社がナフサ原料の革新技術

1995年11月25日受理

* 関東天然瓦斯開発㈱

連絡先 〒103 東京都中央区日本橋室町3-1-20

(三井別館)



第9-1図 アンモニア合成ガス源・プロセスの変遷

を開発し、わが国で昭和40年から始まったアンモニア大型化に幅広く採用された。日産500t以上の工場で30気圧の加圧ガス化が実現し、大型の遠心式圧縮機の採用と徹底的なエネルギー回収がはかられた結果、アンモニアのコストが著しく低下した。初期にはナフサ原料が多かったが、アンモニア工場が資源国立地になるにつれて、現在では天然ガス原料の工場が多くなっている。

テキサコ法は石炭や重質油を原料とするので、今後採用工場が世界的にふえる傾向にある。

9.2 原料ガスの製造

本項および次項「原料ガスの精製」は紫田勝太郎『触媒化学—アンモニア合成』(1938年)の要約である。

9.2.1 水素

現在行われている製法を大別すると(1)~(5)のようになる。

(1) 石炭原料

コークス原料に適しない劣質炭あるいは粉炭の利用とコークス製造に伴う多大の熱損失を防ぎ、最も経済的に合成用ガスを得んとして最近発達し

つつある方法で、そのうち実用化されているものにウィンクラー式、コッパース式等がある。

ウィンクラー式は粉状炭を下部火格子上に装入し同時に酸素と水蒸気を吹込み、攪拌機により液体の沸騰状態のごとくして連続的にガス発生を行うもので、炉内温度は約1,000℃に達し石炭から揮発する炭化水素類は大部分分解される。酸素の純度を下げてアンモニア合成に必要な窒素を含ませ得るもので、本邦にもすでに実施されている。

コッパース式は直立炉でコークス原料とならない劣質炭を使用することができる。本邦では宇部窒素が採用した。

(2) コークス原料

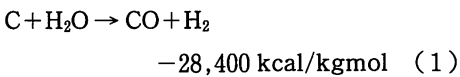
過熱水蒸気および酸素を用いる連続式と、ブローすなわち空気吹込みによる温度上昇とランすなわち水蒸気吹込みによる水性ガス発生の作業を交互に繰り返す不連続式とあって、給炭と灰の排出および操作を自動的にした不連続式機械炉が一般に用いられており、パワーガス式、ウェスターンガス式、U. G. I. 式その他があるが、下部回転式火格子の構造型状の差が主なものである。

ークスを原料とするために不純物少なく、発生した水性ガスにブロー時の廃ガスの一部を混合し、あるいは発生炉ガスを混合して窒素の配合を適当にした後、CO 転化炉に送ってアンモニア合成用ガスとする。

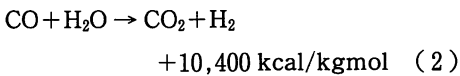
固定炭素85%以上のークスならば水性ガス約73%、ブローガス約27%の混合ガスでよく、アンモニア1t当たり約2tのークスが必要である。

CO の水素への触媒転化法について述べる。

水性ガス



中のCOをさらに触媒を用いて水性ガス反応



すなわち転化反応により水素を得るのである。

水蒸気を水性ガスの3倍量(容積)用いてCO₂除去後、転化ガス中のCO残量を低圧法すなわち水柱1m位、450-550°Cで2%、高圧法すなわち25-30気圧、250-350°Cで0.5%前後にすることができる。

(3) 液化分離

COG から深冷法で水素を得る方法は、第一次大戦前からリンデ社により実用化された。1914年ブロン(Bronn)はアンモニア合成用水素窒素混合ガスを得ることを提示し、1920年ごろに初めて本格的なアンモニア合成工場にリンデ式(Linde)またはリンデ・ブロン式として応用されるに至った。その後クロードによりクロード式ができてカザレー、クロード、ウーデなどのアンモニア合成法と組み合わせて大工場に採用された。

水性ガスから水素を分離してアンモニア合成に供することは、工業の草創期にBASF社のOPPau工場を初め各地で採用された。しかし本法は水素以外のCOやメタンなどを全部棄てるためコスト高になり、OPPau工場では1913年工業化の

際にCO転化法を採用し、それ以降液化分離法は水性ガスに全く使用されなくなった。現在はCOGあるいは石炭完全ガス化法にのみ液化分離法は採用されている。

(4) メタン含有ガスの分離

日本にはメタン系として天然ガスは余り多くはないが台湾から出る。このほかにCOGまたは同ガスから水素分離後の残ガスの有効処理法として考えられているが、まだ工業的には実施されていない。(筆者注;東洋高圧・大牟田工業所では、戦時中、人造石油合成に使ったカウパ(Couper)炉を戦後に活用し、COGに水蒸気を加えて1,300-1,400°Cで含有メタンを熱分解してアンモニア原料ガスとした。(1945~61年稼働)

(5) 水電解

10-30%苛性カリ水溶液を2.3-2.6Vで電解する常圧法が一般に用いられている。高圧法は200気圧まで実験して消費電力も少なく、経済的に有利であるといわれるが実用されていない。電解用直流電力は常圧法では5.2KWH/m³である。高圧法では3.3KWH/m³前後である。触媒に有毒な不純物を含まず99.9%の高純度水素が得られるので合成効率がよい利点であるが、特殊な低廉電力が得られない限り石炭から出発する方法よりも遙かに高価になる。

9.2.2 窒素

窒素はアンモニアの本体とはいえ源は空気から出発するものであるから、いずれの方法によるもその生産費はアンモニア生産費の数%以下である。水性ガスを原料とする場合は、水性ガス発生炉から出る廃ガス(ブローガス)を転化工程前に適当量混入して、特に窒素を造って加えることをしないが、アルゴン等の不純ガスが合成系内に蓄積して能力低下を来す欠点があるので、別に窒素を作って配合することもある。

窒素分離器にはリンデ(Linde)、クロード(Claude)、ハイドラント(Hydrandt)、メッ

サー (Messer), ハンプソン (Hampson) 等があるが, いずれも酸素分離器とほとんど同じで, 少し操作を替えることにより酸素, 窒素両用可能である. 原理的には圧縮空気の自由膨脹によるかまたは断熱膨脹による. リンデ法は前者に, クロード法は後者に属し, 両者が窒素製造機の代表的なもので他は改造型である.

9.3 原料ガスの精製

戦後のスチーム, リフォーミング法では流体原料の炭化水素を最初に脱硫して改質したあと CO 転化, 脱炭酸そしてメタネーターで精製するだけであるから工程が極めて簡単である. しかし戦前の固体原料プロセスでは合成触媒保護のため, 原料ガスの精製には細心の注意が拂われた. 資源および製法によって含有する不純物も異なり, また精製法もいくつもあるので, 実際の精製工程はそれぞれの場合に適應するように選択して組み合わせられた.

9.3.1 硫化物の除去

硫黄化合物はアンモニア合成用触媒に対する毒作用はもちろん, 金属に対する腐食性も大きいので, なるべく工程の初めで完全に除去する必要が

ある.

S の大部分は H_2S で, これはアルカリ洗浄または水洗浄で容易に除くことができるが, 少量含まれる有機性の CS_2 , $HCNS$, COS , C_4H_4S , CH_3SH などの除去は容易ではない.

H_2S の除去には, (1)乾式 (酸化鉄法), (2)湿式, (3)吸着法の三法がある.

(1) 乾式

最も古くから一般に使用されている函式と新しい塔式とがあり, 鉄は無定形酸化鉄または水酸化鉄 (天然物または人工) であって, この再生には空気が用いられる.

(2) 湿式

主に H_2S の酸性反応を利用するアルカリ性洗浄液によるものと, 還元性を利用する被還元性物質とアルカリを併用する二つの方法がある.

アルカリには Na_2CO_3 , NH_3 , 被還元剤には SO_2 , $(NH_4)_2S_2O_6$, $(NH_4)_2S_4O_6$, $K_3Fe(CN)_6$, $Fe(OH)_3$, $Na_3AsS_2O_2$, $(NH_4)_3AsS_2O_2$ などが使用される. 特徴は液の循環再生および S の回収がすべて機械的連続式であるのと, 設備の所要面積が非常に小さくてすむ点などである.

第 9-1 表 脱硫方法

方法	脱硫剤	操作	回収物
1. 酸化鉄法	水酸化鉄とおがくず		硫黄
2. 活性炭法	活性炭	吸着→水蒸気脱着, 酸化	硫黄
3. Seaboard 法	炭酸ナトリウム水溶液	吸収→空気吹込みによる再生	硫化水素
4. Girbotol* 法	モノエタノールアミン水溶液	吸収→加熱 (減圧) による再生	硫化水素
5. Staatsmijnen 法	鉄シアン錯塩のアンモニア水溶液	吸収→加熱, 空気吹込みによる再生	硫黄
6. Thylox 法*	亜ヒ酸ナトリウム, アンモニア水溶液	吸収→空気吹込みによる再生	硫黄
7. Vetrocoke 法*	アルカリ性ヒ酸塩, 亜ヒ酸塩水溶液	吸収→二酸化炭素による酸性化, 空気吹込みによる再生	硫黄
8. Shell 法*	リン酸カリウム水溶液	吸収→加熱, 減圧	硫化水素
9. Sulfinol 法*	ジイソプロパノールアミン (ビス (2-ヒドロキシプロピル) アミン), スルホラン水溶液	吸収→加熱	硫化水素

*最近よく用いられる方法を示す。

1) S. Kodama, *et al.*, *Bull. Chem. Soc. Japan*, **28**, 318 (1935).

2) H. Bohlbro, *Acta Chem. Scandinavica*, **15**, 502 (1961).

3) H. Topsøe, *et al.*, *Chem. Eng. Prog.*, **63**, No. 10, 67 (1967).

* $CO_2 + 4H_2 = CH_4 + 2H_2O$ の反応で消失する.

出所) 日本化学会『化学便覧応用編, 改訂 2 版』丸善 昭和48年11月10日. p. 54.

本法の欠点は機械的設備が多く、維持費が比較的多くかかることで、 H_2S の含量が大きいほどまた処理ガス量が大きいほど有利になってくる。 $(NH_4)_3AsS_2O_2$ あるいは $Na_3AsS_2O_2$ を吸収剤とするタイロックス法 (Thylox), $Fe[Fe(CN)_6]$ を用いるオットー法 (Otto) と Na_2CO_3 を用いるシーボード法 (Seaboard) またはアメリカ法, あるいはこれに $Fe(OH)_3$ を懸垂させたフェロックス法 (Felix), またはクラウス法 (Claus) などがある。 H_2S の脱硫率は設計値が適切ならば90%以上100%近くになる。

(3) 吸着法

活性炭のような吸着剤によるもので、ドイツで相当大規模に実施されている。

有機性硫黄の除去法も吸着式、湿式、高温式の三つに分けられる (詳細は省略)

以上は昭和13年時点での脱硫法の概要であるが、それから35年後の昭和48年における脱硫法の現状を第9-1表に示す。

9.3.2 CO_2 除去

CO_2 含量の大きいときは高圧洗浄により、また10%以下であるときはアンモニア水、またはアミン類の水溶液でまずその大部分を除き、残る少量を苛性ソーダ溶液で完全に除くのが普通である。

高圧水洗後の CO_2 残量は古くは2%くらいであったが、最近では塔の高さを30m近くまで高くし (35-50mm アルミまたは碰製リング充填) 0.1-0.5%に減少してきている。洗浄水は高圧タービンで送込み、 CO_2 を溶解した排水でタービン直結の水車を動かし、動力の35-45%を回収するかまたは別に発電機を動かし電力として回収する。

アンモニア水は NH_3 の蒸気圧が高いので3%前後の稀薄液が用いられるが、それでもなお NH_3 の蒸気がガスに伴われていくために、その後には必ず洗浄塔を置かねばならない。最近では200°C以上の沸点を持つ MEA, TEA またはテト

ラミンのような CO_2 吸収剤を使用することが考えられるようになった。これらは蒸気圧が低くて濃厚溶液で使えるから吸収能力も大きく、高濃度 CO_2 除去にも用いられる。しかし粘度の高いのと鉄に対する腐蝕が大きいのが欠点である。第2次大戦後、腐蝕防止剤が開発され実用化された。

9.3.3 CO 除去

CO はアンモニア触媒に対して一時的というよりはむしろ永久的毒作用をなすために、あらかじめ完全に除去する必要がある。液化分離法で水素をつくる場合に、最近では分離器内でガスを液体窒素で洗浄してCOを0.001-0.01%程度まで減少させている。

またデュボン法のように高圧転化では、出口COは0.5%前後になるため、ガス精製工程中では別にCO除去操作を要しないという歌い文句であったけれども、本法を採用した東洋高圧・大牟田では後述のごとく触媒の被毒と崩壊で初期の目的を達成できなかった。一般の低圧転化ではCOはなお2-3%残り、ハーバー法のようにCO吸収剤を用いる必要が生じてくる。すなわち10-20mmの洗浄塔を用い、アンモニア性蟻酸銅溶液で50-200気圧の高圧下でCOを次の複塩として吸収し

$Cu(NH_3)_2^+ + CO + NH_3 \rightleftharpoons Cu(NH_3)_3CO^+$
 残留COは0.01%前後になる。この洗浄液を減圧して60-80°Cに加熱すると約1%溶解している水素と窒素を放散するから、水洗してアンモニアを除き原料ガスに返還して液は循環使用する。同種吸収液の第一塩化銅溶液は腐食性が強い。

それぞれの方法によって異なるが、除去したあとも0.01-0.5%COが残り、0.01%のように少ない場合はそのままアンモニア合成に供せられる。CO残が0.5%と多い場合は合成装置内に別にアンモニア合成触媒またはニッケル触媒を充填した前処理用の反応器を置き、約350°Cでメタン反応および微量 O_2 の燃焼 ($CO + 3H_2 \rightarrow CH_4 + H_2O$,

$O_2 + 2H_2 \rightarrow 2H_2O$ により CO は 0.001%, O_2 はゼロとなる。特殊な例としてはこの前にもう一つメタノール合成触媒を充填した合成管を置いて、これに 3-5% CO を含んだままの混合ガスを導入して、同様の温度で $CO + 2H_2 \rightarrow CH_3OH$ によりメタノール合成を行い、CO を 0.5% 前後に減少させ上記と同様にして完全に除く方法も行われている。

9.3.4 NO の除去

水素分離機使用の際、熱交換器に NO が凝縮堆積し、 NH_3 および CO_2 と水分との共存下にガス中の C_2H_2 が装置材料の銅と複作用でアセチレン銅を生成する。そうすると軽い衝撃あるいは気液混相流で静電気放電により爆発を起こす恐れがあるから注意を要する。

水性ガス中には $0.05-1 \text{ mg/m}^3$ であるが、コークス炉ガス (COG) 中には空気の漏洩により増加することがある。 0.1 mg/m^3 以上の場合は危険とされている。酸化鉄脱硫器で 50% 前後は除去されるが、再生の際十分にエアリングしてやらないと、前に吸収していた NO を逆に放出することがあり、あるいはアンモニア水洗浄塔内で NO を生成するというとも言われているから注意を要する。また COG の場合はアンモニア回収飽和器中で NO はほとんど除かれるともいわれている。水素分離機に入る前に特殊の触媒によって N_2 と H_2O に分解する方法、 400°C において銅触媒で分解または活性炭のような吸着剤によって除去する方法等が報告されている。

9.4 合成管

第 5-1 表にみるようにハーバー法の工業化をきっかけとして、いくつものアンモニア合成法が開発された。各法において最初に採用された合成管の構造は、基本的にはボッシュが企業化に成功した第 4-4 図と同型のものであった。高压技術は全く未知の分野であり、金属材料の耐压データも乏しく、溶接技術も幼稚であったから、合成管は

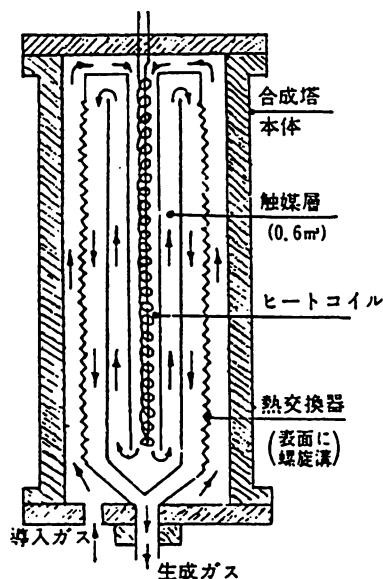
大砲に擬して造られた。弾丸に相当する触媒筒 (カートリッジ) が砲身 (耐压筒) で保護された形がアンモニア合成管と思えばよい。

アンモニア合成管の容量は日産数 t からスタートし、1940 年以前は日産 20-50 t、1940 年代は日産 70 t 程度、1950 年代は日産 130~180 t であったが、1963 年アメリカのアモコ社が世界最初の日産 600 t の合成管を設置して以来、遠心圧縮機の採用による大型化と相まって、日産 1,000~1,500 t の合成管が一般化した。

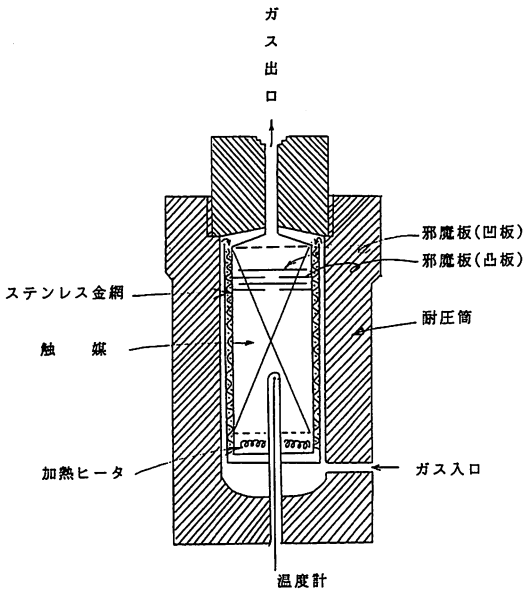
9.4.1 高压合成用

カザレー法 (750-800 気圧) とクロード法 (1,000 気圧) がこれに属する。

カザレー法の合成管略図を第 9-2 図に示す。原料ガスは合成管本体 (耐压筒) の内側を上昇して耐压容器の安全を保ったのち、触媒筒中央のヒートコイルで加熱されながら下降し、下から触媒層に入り、反転して再び触媒層を通して 18-20% のアンモニアを含んだガスは合成管下部から出る。大正 12 年延岡に設置された日本窒素肥料の合成管はアンモニア日産 7.5 t であったが、増設分から



第 9-2 図 カザレー式アンモニア合成管
出所) 旭化成資料



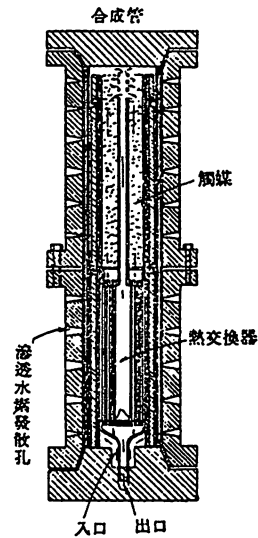
第9-3図 クロード式アンモニア合成管
出所) 三井東圧化学資料

は日産 20 t (触媒層 0.6 m³) となり、昭和46年工場停止までこの構造の合成管が使われた。

第9-3図はクロード式合成管の略図である。原料ガスは耐圧筒の下から入り、反転して触媒筒の外側のステンレス金網で熱交換され、加熱ヒータで所定の温度に昇温されて触媒層に入る。盲(凹板)と穴明き(凸板)の邪魔板が交互に入れられ、ガスのバイパス防止と側壁との熱交換はがかられている。アンモニア濃度20-25%のガスは上部から出ていく。フランスから導入された合成管は内径200ミリ、外径300ミリ、長さ2mの耐圧筒の中に触媒筒が納められていたから、触媒量は合成管1本当たり、20lの小さいものであった。このあと触媒量60lについて120lまで拡大され、昭和46年の三井東圧・大牟田の工場停止まで使用された。

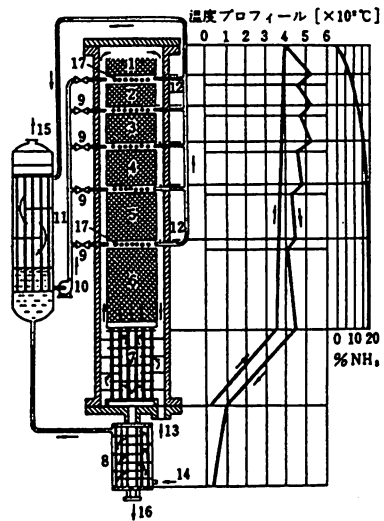
9.4.2 中低圧合成用

ハーバー法 (200気圧) ファウザー法 (200-300気圧) N. E. C. 法 (300-400気圧) 東工試法 (300気圧) ウーデ法 (90-100気圧) などである。代表例としてハーバー法合成管を第9-4図に示す。合



第9-4図 ハーバー法合成管

出所) 柴田勝太郎『触媒化学』アンモニア合成. p. 80, 尚賢堂 (1938)



1~6: 触媒層, 7: 内部熱交換器, 8: 外部熱交換器, 9: 冷却水バルブ, 10: 冷却水ポンプ, 11: 廃熱ボイラー, 12: 冷却水出口, 13: ガス入口, 14: ボイラー給水口, 15: 水蒸気出口, 16: ガス出口, 17: 冷却管 (c) Fauser 転化炉 (冷却水式)

温度プロフィールを示すため従来型を収録した L. Hein, Chem. Eng. Prog., 48, 412 (1952).

第9-5図 ニューファウザ法合成管

出所) 『化学便覧・応用編』改訂2版. p. 58, 丸善 (1973)

成管の容量は日産 20-50 t で、高压合成用と比べて触媒量が多く、反応温度を制御する上から、触

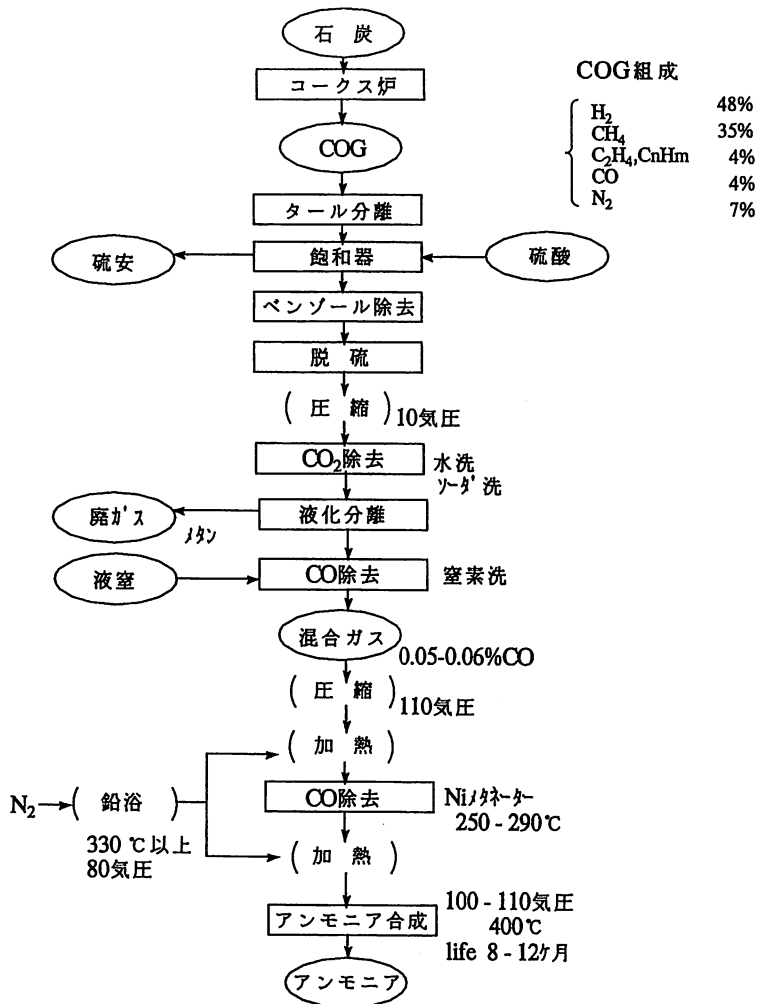
媒層に熱交換チューブが設置された。

合成原料ガスは耐圧筒下部に置かれた多管式熱交換器に入り、出口ガスと熱交換したあと触媒層に入る。触媒層入口にはヒータが装入されていて、触媒還元時の熱源とするが、平常運転に入れば反応熱だけでよい。

戦後になると合成管の大型化と省エネルギーが進められ、日産 100 t が現われた。その先陣を切ったのがニューファウザー法合成管と呼ばれる断熱多段層式合成管で、第 9-5 図に示す。触媒層は数

段に分割され、断熱反応で触媒層を出た合成ガスは冷却用熱水で間接冷却されて次の触媒層に入る。このようにして順次反応させ、触媒層温度分布を理想に近づけようというものである。1950年代になると冷ガスで直接冷却するものも現れた。

プラントが大型化されるにつれて、アンモニア合成反応器は触媒の出し入れが迅速にできるように構造が簡単なもの、あるいは細かい径の触媒を使用して反応器を小さくし、同時に圧力損失も小さくする構造のものが主流となっている^{1,2)}。



第 9-6 図 ウーデ法フローシート
(モンスニ、ヒルベニア両工場とも)
アンモニア日産 20 t

9.5 草創期のアンモニア合成法

前述の横山武一のレポートから昭和3(1928)年当時のウーデ法、ファウザー法、クロード法のプロセスを紹介したい。

9.5.1 ウーデ法

ドルトムント市の西方にあるモンズニ、およびヒベルニア両工場を見学した。両工場共COGを原料とするアンモニア日産20tの工場である。

フローシートは第9-6図のとおりでリンデ・ブロン式液化分離装置で水素を分離したあと、液体窒素洗浄でCOを除去して $H_2:N_2=3:1$ の混合ガスを得る。ウーデ法触媒は低温活性で不純物殊にCO被毒を受けやすいので、昇圧昇温後ニッケル触媒でメタネーション反応を起こさせ、微量のCOを徹底的に除去してアンモニア合成管に入れる。

ニッケル・メタネーター炉およびアンモニア合成管に入る前のガスの加熱方法がユニークである。80気圧の鉛浴で約350℃に加熱した窒素ガスを熱源に、熱交換器で間接的に合成ガスを昇温するものである。鉛の融点は330℃であるから加熱

浴として最適であった。ウーデ触媒は熱に敏感であるから過熱をさけるためこのような方法がとられたものである。

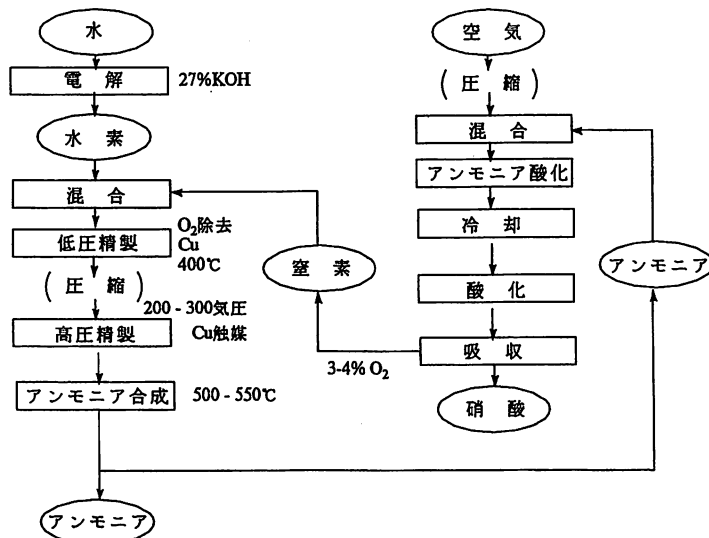
9.4.2 ファウザー法

イタリア北部にあるメラノ工場を訪問した。この工場はミラノの東北250kmアルプス南麓にある。フローシートは第9-7図の通りでアルプスの水でおこした2万kWの水力発電をベースに、27%苛性カリ溶液で水の電気分解を行い原料水素を得る。窒素源として硝酸工場廃ガスを利用する。この廃ガス中には3-4% O_2 が残っているので水素と混合したあと400℃に加熱し、金属銅を使った低压精製炉で O_2 を除去する。

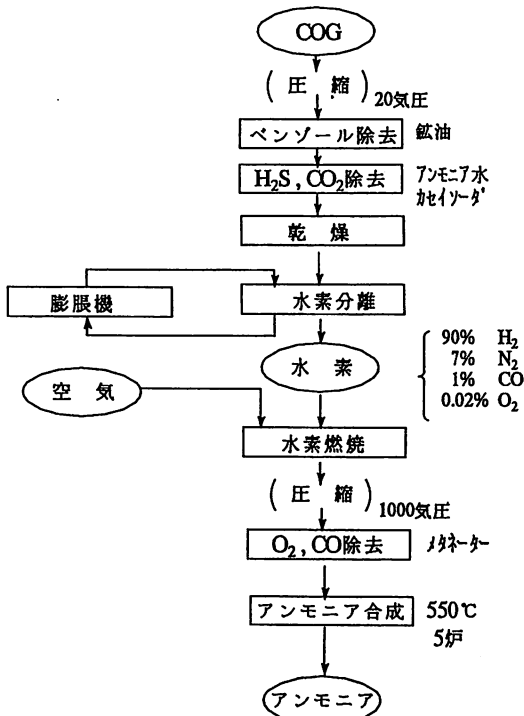
アンモニア合成は日産10tの8系列で、日産80tのアンモニア生産能力を有する。1塔につき触媒が 0.5 m^3 充填してあり200-300気圧、500-550℃で反応させ、出口 NH_3 濃度は8-13%である。

9.4.3 クロード法

ウーグレ工場を見学した。ベルギー国リージュ市郊外にあるソシエテ・ベルジェ・ド・ラゾート



第9-7図 ファウザー法フローシート
(イタリア・メラノ工場
アンモニア生産能力 日産80t)



第9-8図 クロード法フローシート
(ベルギー・ウーグレ工場)
アンモニア 日産 25 t

社 (Societe Belge de l'Azote) の工場である。1928年5月アンモニア日産 25 t でスタートしたばかりの工場であった。

水素源として COG を用い、窒素源として空気を用いる (第9-8 図)。水素燃焼炉内で空気を燃して窒素源とするぜいたくなプロセスであった。微量の CO と O₂ をメタネーターで除去した。

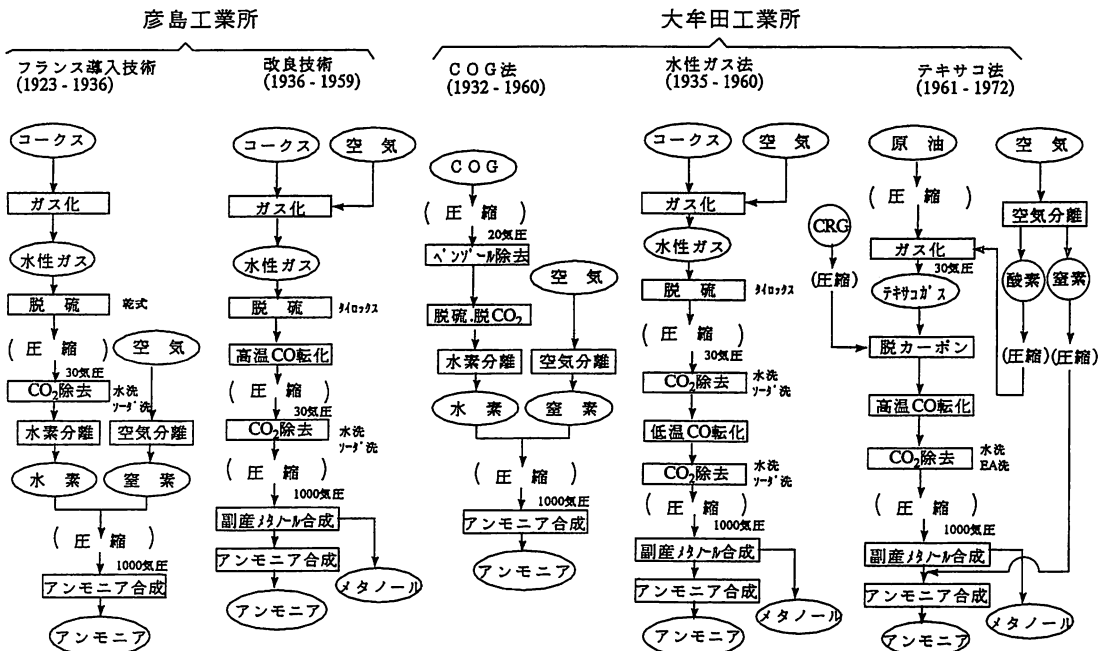
1,000気圧, 550°C でアンモニアを合成, 40% のガスが反応し, 出口 NH₃ 濃度は25%であった。

9.6 東洋高圧のプロセス変遷

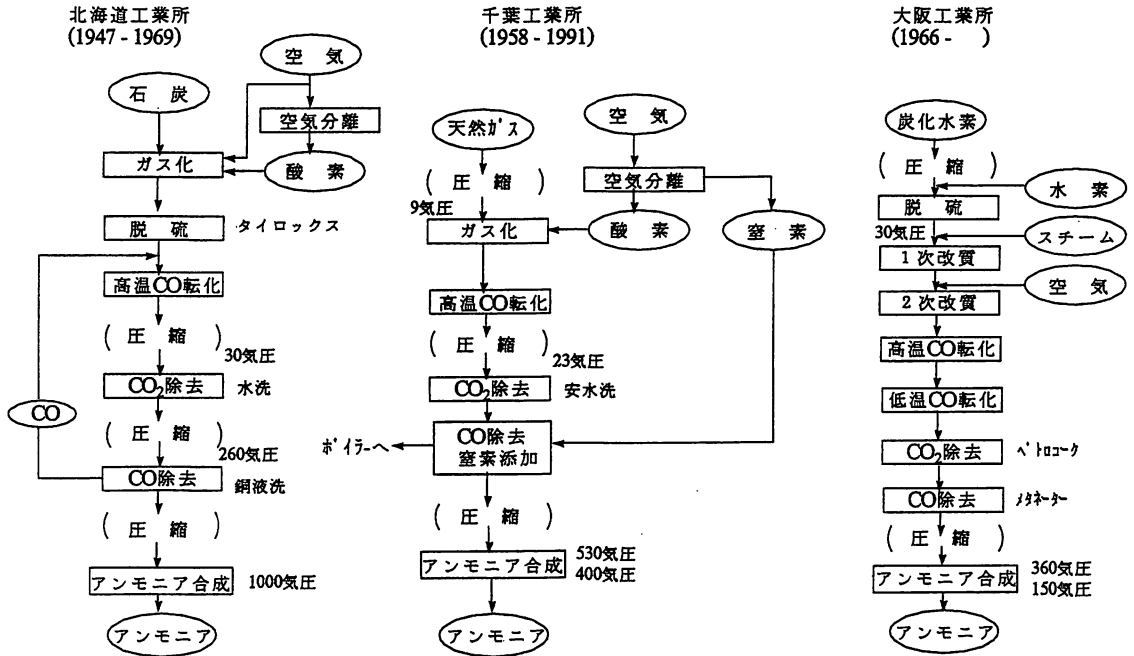
9.6.1 概要

ハーバー法が工業化されて80年, これまで世界中に建設された各方式のアンモニア合成工場は相当な数にのぼり, 厳密にはそのひとつひとつが固有のプロセスを持つといっても過言ではない。1社だけとってもいかに複雑なアンモニア合成の歴史を持っているかの例として東洋高圧 (現三井東圧化学) を採りあげて, 1,000気圧のクロード法が低圧化していく過程を辿ってみたい。

工場の建設年次順にプロセスの変遷を第9-9 図



第9-9図 東洋高圧のプロセス変遷 (1)



第9-9図 東洋高圧のプロセス変遷(2)

に示す。

鈴木商店の彦島クロード工場を買収した三井鉱山は大牟田に昭和6年三池窒素を設立、さらに本格的な硫安会社を旨として昭和8年東洋高圧を設立、大牟田を本拠地として北海道、千葉、大阪とアンモニア工場を建設していった。クロード法で出発した東洋高圧のこれら工場の特徴を技術的に要約すると次のようになる。

彦島；①クロード法（フランス）1,000気圧アンモニア合成技術の工業化（1924年）②副産メタノール合成技術の確立（1933年）

大牟田；デュボン法（アメリカ）加圧低温転化技術の導入（1935年）

北海道；大型合成管の開発，1基日産9t→50t（1958年）

千葉；①天然ガス加圧ガス化技術の導入（1958年）②クロード法の低圧化1,000→530および400気圧（1958, 1960年）

大阪；①大型化技術の導入，日産500t（1966）1,000t（1969年）②日産500tアンモニア合成

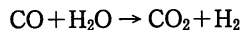
管の自社設計（1966年）

9.6.2 COの有効利用と除去

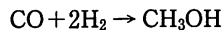
ガス法では原料価格もさることながらCOをいかに効率よく水素に転換してガス精製工程を最適化するかに技術開発のポイントが置かれた。

COの有効利用には次の二つがある。

(1) CO転化反応で水素にする



(2) 副産メタノールにする



副産メタノール法はメタノールが製品として得られるものの、プロセスとしての汎用性に乏しく、クロード法の東洋高圧でのみ採用された技術である。

副産メタノール合成出口ガス中に含まれるCOはアンモニア合成触媒を充填した清浄管に導かれ300-400℃でメタン反応、 $\text{CO} + 3\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}$ により充分除去される。

副産メタノール法は触媒毒のCOを価値ある薬品に変えるという優れた着想で、クロード法を導

入したアメリカのデュポン社で1927年ごろ企業化されたものの、運転が難しく数年を経ずして中止されたという。彦島工業所で昭和8(1933)年企業化、その4年後、皮肉にもデュポン社から大牟田工業所に導入した加圧低温転化法の不備を補うために副産メタノール法が採用された。

アンモニア合成触媒は微量のCOで被毒されやすいが、その度合いは低圧ほど大きく高圧になれば緩和される。1,000気圧のクロード法ではCO 1%まで許容できるものの、3倍容の水素が消費されるのでCOは低いに越したことはない。被毒されてもクロード合成管は小型で触媒交換が容易なため半日もかからなかった。それに比べると中低圧法の合成管は大型で触媒交換が容易でなく、1週間以上を要するので極めて慎重に運転された。このような事情から中低圧法では副産メタノール方式は採用されなかった。

CO転化は戦前にはもっぱら高温転化法で、デュポン社だけが低温転化法を開発して大牟田工業所に導入された。高温転化法のCO残は3~5%に対し、低温転化法では1%以下まで除去される。このように優れた性能にも係わらずデュポン法は触媒の寿命が短く、広く普及するに至らなかった。戦後になって優秀な低温転化触媒が開発されて、高温転化と低温転化を直列に使用するプロセスが確立された。

9.6.3 彦島工業所

すでに第8章のクロード法で詳述したので、ここでは簡単に述べる

フランスから導入したままのクロード法では水性ガスを深冷分離して水素のみを取り、COリッチの残ガスは大気放りまたはボイラで燃していたので原料炭の利用率は低かった。

水性ガス発生炉では石炭またはコークスを炉の中に入れ、空気を吹き込み燃焼させ(ブロー工程)炉床の温度が十分あがったところで空気を止めて水蒸気を吹き込む(ラン工程)。ブローは発

熱反応、ランは吸熱反応で、うまく熱バランスをとりながら交互に運転する。

フランスより輸入した旧設備を廃して昭和11年に新設されたアンモニア工場では、カネのかかる深冷分離装置を止めてCO転化装置を設置しCOの有効利用をはかった。さらにBPG(プラストパーズガス)の回収を始めた。すなわちブローとランを繰り返して水性ガスを発生させるに当たって、ラン直後のブローガス中には有効なCO、H₂のほかN₂も含まれる。これをBPGとして採取し水性ガスと混合して(これをBRGと呼ぶ)アンモニア合成原料ガスとした。こうして空気分離装置も省略され電力代の削減に寄与した。

水性ガスその他のガス分析値の例を第9-2表に示す。

戦災を免がれ戦後復興期に主力工場であった彦島工業所は、原料、電力の不利な供給条件のためガスコストの合理化余地が乏しく、主力のアンモニア系製品が他の大規模工場の製品に押されて、しだいに競争力の低下が目だつようになった。彦島工業所のアンモニア、メタノールの生産は昭和27(1952)年5月には創業以来の最高を記録している。

しかし、このころからアンモニア、メタノールのガス源転換を中心とする合理化競争が激しくなり、彦島工業所のコスト引き下げ努力も限界に達してきた。その後いくつかの合理化も焼石に水に

第9-2表 水性ガス、BPG、BRC、COGなどの組成例
(彦島工業所、三池窒素、大牟田工業所の例、vol%)

	CO ₂	O ₂	CO	H ₂	CH ₄	N ₂
水性ガス	9.4	0.1	32.6	54.2	1.3	2.4
BPG	9.8	0.1	24.5	20.5	0.5	44.6
BRG	9.2	0.1	29.8	42.4	1.1	17.4
COG	1.8	0.2	5.5	49.2	30.3	9.2
CRG	2.9	0.1	15.9	72.8	1.9	6.4
テキサコガス	7.4	0.1	42.4	50.0	0.3	1.0

① COG中にはC₂H₄ 2.3% C₆H₆ 0.9%含む
② CRGはCOGを分解したガス

終った。昭和33年に天然ガスからスタートした千葉工業所の安いアンモニアの前には全く歯が立たず、長い伝統と輝かしい歴史を誇るアンモニア、メタノール工場は、昭和35年2月29日停止された。

9.6.4 大牟田工業所

三井鉱山は彦島のクロード法を大牟田へ持ってきてCOG(コークス炉ガス)を深冷分離して水素を採りアンモニア合成を開始した(COG法)。COGは主として発電用燃料に供されていたが、ガス中に50%を占める水素は発熱量も小さく、燃料よりも化学原料に使った方が得策との判断に基づくものである。

COG中にはメタンなど水素以外の多くの成分が含まれ、それらの洗浄除去、冷却して凝縮分離、加温除去、アセチレンの危険性など、操作しやすい工業装置とは言い難かった。戦後不要になった人造石油時代のカウパーストーブ(メタン分解炉)にCOGを通して炭化水素を熱分解させることによって安定性が向上し、深冷分離操作が楽になった。クロードの深冷分離法は断熱膨脹により水素を分離する方法であるが、電力の消費が大きく水素成分しか有効利用できず、かつ運転管理も複雑なため次第に使われなくなった。

工場は一箇所にまとめるのが常識であるが三井は大牟田でアンモニア工場と硫安工場をそれぞれ分離して建設した。アンモニア工場は山側の大浦にあり、製造したアンモニアを約3kmパイプで圧送して海側の横須工場で硫安を生産した。

横須ではすでに亜鉛製煉所が操業し硫酸が副産されていたので、それに隣接して硫安工場を建てることで問題はなかったが、アンモニア工場を海、山いずれに建設するかで検討された。COGを発生するコークス炉は山側の大浦にあったからである。①大浦から横須までCOGを送ると大きな配送管になり保守も大変である。②近い将来コークス原料の大規模アンモニア工場を建設する

にはコークス炉の近くがよい、との判断から大浦にアンモニア工場を建設し、アンモニアは三井鉱山専用鉄道に添わせて横須まで圧送するという二工場分離案が採用された。

三井鉱山は大牟田にコークス原料の本格的硫安工場(水性ガス法)を建設するに当たり、アメリカのデュポン社が開発して間もない加圧低温転化法を30万ドルで独占契約して導入した。

水性ガス法の工場では常圧高温転化法でCOを80%転換して出口ガス中にCOが5%残る。これをアンモニア合成の直前で銅液洗浄により除去しなくてはならなかった。

クロード法では高圧ゆえCO1%以下であればあとはメタネーターで十分除去できる。デュポン法はCO転化率99%が期待できるので出口COは確実に1%以下になり、厄介で建設費もかかる銅液洗浄設備は不要でアンモニア工場全体が簡素化され、総建設費も安くなるというのが魅力であった。常圧高温転化法は鉄・クロム触媒を用い350-500℃で転化されるのに対し、デュポン法では銅・亜鉛・クロム三元触媒を使い、25気圧、入口温度240℃で運転するようになっていた。入口スチーム・ガス比を高くして反応温度を制御するように設計されていたから、転化器の周りに強力な熱回収システムを設け、多量のスチームを使うエネルギー多消費型の装置であった。また高温高圧の炭酸水を循環させるため装置材料の腐食にも気を配らねばならなかった。

三池炭はよその石炭より硫黄含有量が多いため転化器の前にも水洗塔とソーダ塔を設置してCO₂や無機有機硫黄を除去し転化率の向上をはかったが、微量の硫黄化合物は転化器まで飛来して触媒が被毒された。このため反応温度の上昇を招き転化率の低下は避けられなかった。加えて触媒は飛来するミストにより粉化されて差圧がつきガスが流れにくくなる。被毒と粉化で触媒の寿命は短命で工業的使用の限界であった。

入口温度240°Cの設計が300°Cで運転されるようになったため、CO転化率は設計値の99%を大幅に割りこみ約90%で出口COは常時3%を超えるに至った。このCOを除去する必要に迫られ、彦島工業所で成功して間もない副産メタノール方式を急遽導入して操業を安定させることができた。デュボン社の加圧低温転化法は昭和35年テキサコ法導入まで20有余年稼働した。

テキサコ法導入後、副産メタノールの運転法を改良してメタノールとアンモニアの生産比率を1:1までもってくることに成功し、製品バランスと市況に応じた柔軟な運転が可能となったが、アンモニア、メタノール大型化で昭和46(1971)年工場は停止した。

9.6.5 北海道工業所

(1) 立地から試運転まで

当社は昭和13(1938)年、大牟田に次いで北海道の中央部空知炭田に近い砂川町に年産100万tの東洋一の硫酸工場建設を決定した。当初は砂川でアンモニアを生産し、硫酸と硫酸は約60km離れた北海道北部唯一の不凍港留萌で製造する計画であった。砂川から留萌までアンモニアを圧送し、硫酸は留萌港から船で国内外へ運ぼうというのである。この留萌計画は液安パイプの敷設と輸送上の問題、港湾施設の不備、さらには建設費の圧縮から用地買収(後日返還)だけで昭和14年夏には中止され、硫酸年産100万t計画は50万tに縮小された。その後第一期計画として25万t設備を建設することになった。

当初アンモニアの生産は先に最新技術を駆使して建設した大牟田のプロセスを踏襲し、デュボン社の加圧低温転化法と副産メタノール方式による簡素化された工場を建設する方針であった。しかし北海道地区ではメタノールの需要が少ないことに加えて大牟田で加圧低温転化触媒によるトラブルが頻発していたため断念せざるを得なかった。結局、当時最新流行のガス化方式ウィンクラール法

で砂川・美唄の低品位炭をガス化し、イーゲー式常圧高温転化、銅液洗浄、1,000気圧アンモニア合成という最も堅実なプロセスを選定した。

昭和14(1939)年10月15日に起工式を挙行、折から泥沼に入った支那事変に続く太平洋戦争の勃発と戦争の激化に伴い、当初計画を大幅に縮小して取りあえず1系列硫酸7万5,000t設備を完成させることになった。

建設工事が本格化したのは昭和15年春からである。寒冷地という未経験の建設作業に加えて戦時中の資材難や労務者不足により工事は遅れる一方であった。ドイツに発注した超高压圧縮機やウィンクラールガス発生炉の部品を積んだ輸送船がインド洋で撃沈されて海の藻くずと消えたため、超高压圧縮機は止むなく神戸製鋼所から調達することとした。

泥炭地帯の軟弱地盤に重量物の圧縮機を据えるのだから、振動防止のため特に頑丈なコンクリート基礎を必要とした。建設工事が終わってガス工場、合成工場が総合試運転にこぎつけたのは昭和21(1946)年3月のことで、着工以来実に6年5ヵ月が経っていた。アンモニアの初生産は4月7日午後5時、待望の硫酸が生産されたのは4月15日であった。

東洋高压はCO除去銅液運転の経験がなかったので、東亜合成/名古屋と日東化学/八戸の技術指導を受けた。

(2) 賠償で決意した尿素

昭和21年4月硫酸の初生産を見て、今後の発展を期待していた矢先の同年8月13日、硫酸工場2系列のうち1系列が連合軍総司令部(GHQ)より突如賠償指定を受けた。当時アンモニア生産能力の硫酸換算7万5,000tの半分に相当するアンモニアの行き先がなくなるわけである。GHQのすすめもあり柴田社長はかねてから研究開発中の尿素の大規模生産を決断し砂川に肥料用尿素工場を建設することが決定された。しかし彦島、大牟

田ですでに生産していた工業用尿素のコストは硫安の5倍しており、肥料として果たして農家に使ってもらえるのか危ぶむ声も強かった。検討の結果、日産50t規模であれば硫安の1.5倍程度までコストダウンできる見通しがつき、昭和22年6月社運を賭して尿素年産1万5,000tの工場が着工された。工事は順調に進み昭和23年7月31日の総合試運転に続き、8月5日に待望の尿素の初生産をみた。肥料用尿素として世界最初の生産にも拘わらず、営業の努力で予想を上回る早さで農家に普及し、尿素工場の操業度は順調に上昇していった。

(3) 設備の増強と合理化

アンモニアと尿素の生産が軌道に乗ったのでアンモニア、硫酸、尿素の増産工事に着手し、27年4月念願の3単位設備が完成し、生産能力は硫安換算23万8,000tに達した。

昭和27年3月にはアンモニア合成後の残ガス中の水素を回収する目的で深冷式メタン分離装置が設置された。

昭和28年11月28日午前6時55分、合成工場ポンプ室でガス爆発がおり、死者4名、重軽傷者13名を出す大事故が突発した。事故原因は銅液洗浄系で、炭酸アンモニアによる材質腐蝕であった。

昭和20年代後半には30気圧炭酸ガス水洗塔の液面自動調節、1,000気圧液安セパレーターの液面自動調節が実用化され、運転の安全化と人員合理化に貢献した。

ウィンクラーガス発生炉では微粉炭を酸素富化した空気でガス化し、窒素濃度20%のガスを精製処理してアンモニアを合成する。空気吹き込みを止めて全量酸素でガス化すればウィンクラー炉のガス化能力が増強され、設備の部分増強のためのわずかの資金でアンモニアを増産することができる。北海道工業所では低窒素操業と称して昭和33年からこのガス化方式を採用、別に1,000気圧用の窒素圧縮機を調達してアンモニア合成直前に窒

素を補給してアンモニアの30%増産に成功した。

(4) 合成管の大型化

大正末フランスから彦島に導入されたクロード法1,000気圧のアンモニア合成管は触媒容積20lの中試験反応器みたいなもので、いわば大砲の砲身の一部に触媒が詰った形をしており、構造が簡単で触媒交換も容易なのが特徴であった。触媒層は当然のことながら断熱型で、触媒筒に充填された触媒には偏流防止用の邪魔板があるのみで、入口ガスは常に電気加熱を必要とし触媒層温度は成り行きまかせという最も原始的な触媒反応器である。触媒が苛酷な条件に曝されるため触媒寿命は200時間から長くても700時間に過ぎなかった。

大牟田と北海道では1基当たりの触媒容積を110lとしたほかは第9-3図と同じ構造であった。110l合成管の触媒寿命は長いもので2,000時間、1基当たりのアンモニア生産量は日産平均9tであった。

北海道では低窒素操業に合わせて大型合成管を採用しようということになり東京工業試験所と東北大学の指導のもと、東工試式触媒(KSH)を採用して日産1基50tの合成管を設計した。いまの日産1,000tからみればまことに小型であるが、当時にとっては画期的なことであった。

実用化した大型合成管の特徴は次のとおりである。

- ① 触媒容積を670lとしアンモニア生産量1基日産50t
- ② 触媒筒はU字管3通路式のスチームの回収型、スチーム回収量1基1時間当たり1.4t
- ③ 触媒は北海道工業所製東工試式触媒(KSH)を使用

低窒素操業で北海道工業所のアンモニア生産量は日産250→350tとなった。この増産分日産100tを新設の大型合成管2基でまかなった。従来の小型合成管では10基以上必要なところを2基だけですませ装置が簡素化された。

日産 50 t の大型合成管は次節以下に述べる千葉、大阪の本格的な大型合成管のはしりであった。

(5) 合成触媒

彦島でクロード法導入時はフランスからの輸入触媒を使用した。昭和 4 年から彦島で自家生産を開始、三池窒素のスタートに際しては彦島品が使用された。クロードの合成触媒は屑鉄に促進剤としてアルミナ、カリウム、カルシウムを加え電気炉で溶融してつくられた。

東洋高圧が設立されるや、彦島の能力では間に合わず、デュボン法の低温転化触媒 (CPC) の生産に合わせて大牟田に触媒工場が建設された。触媒工場跡地にテキサコ工場を建設したため、昭和 36 年以降北海道品を使った。

北海道では創業当初から合成触媒が生産された。昭和 33 年大型合成管採用に当たり、東工試内田博士の開発になる東工試触媒 (KSH) が生産されて使われた。KSH はクロード触媒と異なり純鉄粉を使用し、焼結工程を取入れ水素の還元雰囲気処理するなど、きめこまかなプロセスでつくられる高活性のアンモニア合成触媒である。

KSH は千葉工業所の日産 100 t 合成管そして大阪工業所の第 1 次大型化に際して日産 500 t の自社設計大型合成管に採用された。第 2 次大型化の日産 1,000 t 合成管では、プロセス全体がケログ社の設計のため採用されなかった。

(6) 工場停止

昭和 30 年代に入りガス源転換を検討していた時期に、製鉄化学コンビナートの建設計画を持っていた富士製鉄と合弁会社構想がまとまり、アンモニアの生産枠として砂川の 1 単位分をリプレースすることによって、折半出資で昭和 36 年 7 月 1 日室蘭製鉄化学工業(株)を設立した。富士製鉄室蘭製鉄所のコークス炉ガスを原料とするアンモニア年産 3 万 6,000 t の工場を建設、38 年 11 月より生産を開始した。生産された液安は毎日タンクローリーで 200 km 離れた砂川へ輸送され尿素を製造

した。一部は大阪、八戸 (日東化学) などへ送られ、また 25% 安水としてフィリピンやオーストラリアへ輸出された。

昭和 40 年増強後は年産 4 万 t、実生産は 4 万 5,000 t に達した。

昭和 40 年代に入りアンモニア設備の大型化が急速に進展し、東洋高圧は北工の 1 単位のリプレースと東洋瓦斯化学、室蘭製鉄化学などを含めた割り当て枠日産 355 t により、昭和 41 年大阪工業所に日産 500 t のプラントが建設された。さらに同所に第 2 次大型化の日産 1,000 t のアンモニアプラントが操業するに至り、昭和 44 年 11 月北海道工業所が、続いて昭和 46 年 12 月室蘭製鉄化学が生産を停止し、北海道におけるアンモニア生産に終止符が打たれた。

9.6.6 千葉工業所

彦島、大牟田、北海道三事業所のアンモニア合成工場は石炭、コークスを原料に軌道に乗ったが、昭和 20 年代末になると更なるコストダウンを求めて流体原料化が不可避となってきた。検討の結果、千葉県茂原と新潟の天然ガスを利用して工場進出を決めた。

千葉工業所のアンモニア工場は、昭和 32 年から第 1 期工場の建設に入り、アンモニア日産 120 t、尿素日産 200 t の設備が翌 33 年 6 月に完成して 8 月から営業運転に入った。

(1) 第 1 期工事

石炭と石炭のコークス化、それに伴う運搬、ガス化、粉塵処理、硫黄除去という固体の取扱いといったこれまでの複雑な工程がなくなり、天然ガスの 10 気圧加圧下での接触分解から工程が始まる。硫黄を含まない天然ガスを原料として加圧流体操作だけで水素を得ることができて工程が極めて単純化かつ小型化されるとともに、圧縮動力をはじめエネルギーが大幅に節約された。ガス精製工程は約 25 気圧の加圧下で操作され、安水洗浄、清水洗浄、アルカリ洗浄、そして最後に液体窒素

り CoMo と ZnO 触媒で完全に脱硫される。

約30気圧でガス化後、水性ガス転化工程では高温転化と低温転化の組み合わせにより CO 転化率が向上した。次にベトロコーク式脱炭酸工程で CO₂ 除去率を高めることにより、合成触媒毒となる微量の CO、CO₂ がメタネータで除去される。CO 除去に銅液洗浄や窒素洗浄のような大げさな装置が不要となり、ガス精製工程ひいてはアンモニア工場全体が大幅に簡素化された。

(c) アンモニア合成

日産 500 t のアンモニア合成管には北海道工業所製の東工試式触媒 KSH を使用し、自社設計による360気圧の内部熱交換型反応器が採用され、クロード法の特色は全くななくなってしまった。

2次改質ガス中の残留メタン、メタネータでの生成メタンおよび2次改質炉の空気に含まれるアルゴン、これらはいずれも不活性ガスとしてアンモニア合成系内に蓄積してくる。これを防ぐためパージガスとして系外に拔出しアンモニアを回収したあと ICI のガス化炉で燃焼させた。

圧縮系はガスの処理流量と圧縮比の関係で遠心式圧縮機の採用は難しく、いずれも往復動式の2台のチャージガス圧縮機と1台の循環ガス圧縮機という構成になった。

国内で初めてプロセス・コンピューター(IBM-1800)が導入され、アンモニア工場が装置産業として進歩したものとなった。

日産 500 t の設備は昭和54年に13年余の歴史を閉じた。

(2) 第2次大型化

(a) 経過

第1次大型化によりアンモニア業界の合理化が進んだとはいえ、大型設備の比率は30%に過ぎずまだ十分とはいえなかった。国際競争力の一層の強化が急務となり、通産省は再度行政指導に乗り出した。これが第2次大型化計画と呼ばれるもので、1系列日産 1,000 t 以上の大型設備を、業界

ぐるみのスクラップ・アンド・ビルドによって実施するという新しい基準で構造改善に取り組むことになった。第1次大型化の日産 500 t 基準決定からまだ2年10ヵ月しか経っていない段階で、わが国アンモニア工業は2倍スケールの日産 1,000 t 時代を迎えることになった。

北海道工業所の全面リプレースおよび大牟田工業所の合理化を中心に大型化計画を進めてきた当社は、通産省の新基準を受けてアンモニア日産 1,000 t、尿素日産 1,500 t 計画を策定、昭和43年1月30日には第2次大型化計画のトップを切って認可を得ることができた。

アンモニア日産 1,000 t 設備はケロッグ社(米)に設計を依頼、プラント建設を東洋エンジニアリングに発注した。LPG を原料とするガス発生から精製までのプロセスは日産 500 t の設備と基本的に同じであるが、アンモニア合成工程が異なり、圧縮機系に初めて遠心式圧縮機を採用したことが特徴で、昭和44年5月完成、7月から生産開始した。

(b) 大型技術の完成

日産 1,000 t 設備は 500 t 設備で得られた知見が設計上に生かされてはいるが、アンモニア合成工程が基本的に異なる。合成反応は150気圧と低く大量のガス循環によって低転化率を補い、これに対応して反応器も単純な多段触媒層を用いて供給ガスによる直接冷却方式で、内部熱交換を止めて全て外部熱交換とした。

圧縮機系は循環機を組み込んだ大型の遠心式合成ガス圧縮機1台(予備なし)が採用された。これによりアンモニア設備の単系列大型化が達成され、従来の往復動圧縮機と異なり1年間の連続運転が可能となった。

設備の特徴の一つに電力の代わりに動力としてのスチームの使用があげられる。改質炉の廃熱や各所触媒反応の反応熱の回収により発生するスチームを、大型遠心式圧縮機やその他の回転機械

の駆動等、スチームの圧力レベルに応じた最適利用を行って、高価な買電を削減しプラント全体のエネルギー効率を高めアンモニアのコスト低減をはかった。

アンモニア合成パージガスは500 t設備のものと一緒にして深冷装置で回収して水素を合成工程に戻し、アンモニア生産能力の1割増強に成功した。

日産1,000 tのアンモニア設備は500 t設備停止後も操業を継続し、操業開始から25年を経過して今なお、基本プロセスは操業開始当時のままで大きな変更はない。この間原燃料としてLPG(ブタン、プロパン)のほかに、近傍のエチレンセンターや製油所のオフガスおよびLNGが適宜使用できる汎用性の高い設備となった。またアンモニア合成管を反応の最適化のため小差圧の内部熱交換型に改造してエネルギー効率を改善する等、省エネルギーや運転効率化のための種々の改善を行ない、触媒改良とも相まって操業当初に比べ大幅なエネルギー原単位の向上が達成されている。

当工場よりあとに建設された設備では圧縮機系の改良に伴い、同じタイプのプラントでも300気圧を超える合成圧力の設備も建設された。高圧にすることにより合成反応率を高め循環ガス量を減少できるので効率のよい省エネ型の設備となるが、その規模に応じた機械設備の信頼性、安全性並びに建設コストを考慮した最適な選択が必要である。

アンモニア製造プロセスは幾多の変遷を経て現状の完成された技術に到達したが、さらに高温部の低温化(主にガス化工程)と高圧部の低圧化(主に合成)による省エネルギー比は、高活性触媒の出現を待たない。

10. 戦後のあゆみ

10.1 天国から地獄へ

10.1.1 戦後復興と肥料二法¹⁾

戦後の食糧増産のための最重要施策として肥料工業の復興が緊急の課題となり、石炭、鉄鋼とともに肥料工業は超重点産業の一つに位置づけられ傾斜生産方式が適用された。すなわち、①復興金融公庫など国家資金の重点投入、②価格差補給金制度による赤字補填、③原料・資材の優先投入などの助成措置がとられ、肥料配給公団が設置された(1947)。

1950年ころには戦前水準の硫安生産160万tまで回復し、また尿素、熔成磷肥などの新しい肥料も現れてほぼ国内需要を充足するまでになった。1950年肥料配給公団を廃止、戦時中に引き続き配給統制が撤廃された。

その後は逆に余剰の硫安を輸出するまでになったが、この頃には世界的にも肥料工業の再建が終了して肥料市況が軟弱になったので、国内価格以下で硫安が輸出された。殊に1952年末インド向けに硫安の大量出血輸出を強行したことは、国内消費者を無視するものとして農業側の大きな反感を買い、輸出赤字の国内価格への転嫁が重大な政治問題化するに至った。

1954年「臨時肥料需給安定法」並びに「硫安工業合理化及び硫安輸出調整臨時措置法」のいわゆる肥料二法(5ヵ年の時限立法)の誕生となる。内需の量と安定した価格を確保し、一元化された輸出により、輸出赤字は国内価格に転嫁することなく硫安輸出会社に積立て、硫安工業の合理化を促進し、国際競争力を高めるというものであった。輸出の一元化に伴いメーカーはコストの公開を義務づけられ、1950年代前半三白景気を謳歌したのも束の間、肥料産業は冬の時代を迎えた。

10.1.2 報いられない合理化

肥料二法の施行を機に10年間、硫安価格安定のためにバルクライン方式が採用され、メーカー締めつけが厳しくなった。すなわち価格統制の基礎となる原価算定は、国内需要に見合う数量まで低

コストの工場から順に工場別生産計画量を積み上げてラインを引き、このライン内のコストを加重平均してこれをそのまま生産者の最高販売価格の基準とする方式がとられた。これによって硫安価格は年々確実に引き下げられることになった。

同じ時期に業界では安い原料を求めてガス源転換が急速に進むことになるが、合理化努力はすべて消費者である農民へ還元されて、企業は再生産のための利潤を確保できなかった。最も大切な日本の高度成長期に肥料企業はやれどもやれどもアリ地獄が続くことになり、肥料産業は生かさず殺さずという苦しい立場に立たされて体力を消耗し、いくつかの企業は脱落していった。

肥料二法は1959年に5年間延長され、1964年廃止、同時に「肥料価格安定等臨時措置法」が施行された。新法は輸出会社の存続と、生産業者と国内販売の過半をおさえている全国購買農業協同組合連合会(全購連)との間で、コストベースで自主的に交渉して価格を取り決めることを骨子とするものであった。新法は自由化の波の中で1989年6月廃止された。

肥料二法が成立して間もなく日本硫安輸出株式会社が設立されて、輸出赤字はこの会社に積立てられた。各社はぼう大な売掛金を資産に計上することによって経理上の苦しさをカバーすることができた。その後、日本開発銀行の特別融資などの優遇措置を受けながら各社は長期にわたって赤字を償却、昭和57年輸出会社はその使命を終えて解散した。

10.1.3 肥料市場の飽和

世界の肥料工業は、戦後復興をほぼ完了した1950~52年から約10年間、供給過剰による不況に苦しんだ。1960年ごろから人口増加と食糧問題が深刻化し、国連の飢餓解消運動や共産圏諸国の重農主義への転換などもあって、食糧増産のための肥料需要が増加しはじめ、加えて1963年初めの寒波の襲来により世界的に肥料需給が逼迫した。そ

こに新たにナフサ接触改質法による大規模生産技術が開発されて世界的に設備ラッシュがおこり、1970年ごろから再び供給過剰の基調となった。

大型化を終えた日本のアンモニア系肥料メーカーは主として中国、東南アジア諸国向けの輸出で操業度の維持につとめてきたが、輸出先の自給体制が整うにつれて日本製品は競争力を失い、輸出量は激減していった。1980年代に入るとその傾向に一段と拍車がかかり、採算が極度に悪化して大型プラントの休止が相次いだ。現在稼働中のアンモニアプラントは9工場であり、メタノールの例にみるごとく遠からず液安輸入が始まれば、日本でのアンモニア生産は困難となる見通しが強い。

10.2 技術の交流

10.2.1 硫安技術分科会

大正から昭和にかけて各社が競って導入したアンモニア合成技術は当時のハイテク、つまり最先端技術であり、特許があるとはいえ各社とも極度に秘密主義でノウハウの漏洩を恐れた。ハーバー法の生みの親 BASF 社社長ボッシュが第一次大戦の停戦講和会議に臨んで「ドイツ側に少なくとも10年の先進した知的資本と技術の蓄積があるから、勝利者たちが没収した特許や、奪い取った工場だけでは何もできないだろう」と言ったことを裏づけるかのように、大戦中日本政府は工業所有権戦時法でハーバー法のすべての特許を没収しながら手も足も出なかった事実がある。

技術者の引き抜きは当時から珍しくなかった。その一例として鈴木商店の倒産でクロード式アンモニア工場が三井に買収された折、数名の技術者は住友へ移り、新居浜でアンモニア工業を興した。そのほか技術者の移籍はいくつかあるものの、これらのごく一部に限られており技術の交流とは程遠いものであった。

技術の秘密主義の流れを戦争が変えることになる。日中戦争の昭和15年5月、農林省は硫安工場

の効率的な生産をはかるために硫安増産協議会を設立し、硫安関係技術の公開交流を促進した²⁾。技術面から増産に大きく貢献することになり、この経験が生かされた。

労使協力して硫安工業の振興に当たるために昭和22(1947)年6月10日硫安復興会議が発足した。生産、労務、技術、資材、資金など7つの専門委員会が設置された³⁾。この中の技術専門委員会に昭和23年発足した分科会はまことにユニークな試みで、アンモニア合成技術の全分野を網羅する次の19分科会で構成された。すなわち土建、電気、汽缶、瓦斯発生炉、ウィンクラー炉、CO転換、脱硫、高圧精製、空気・ガス分離器、電解、高圧圧縮、合成、触媒、硫安、分析、計測器、機械、環境改善作業能率、技術教育の19分科会⁴⁾。

これらの分科会は終戦後の国是ともいふべき硫安増産を錦の御旗に、技術のルーツが異なる同業者同志が席を同じくする会議を年1回以上持ち、工場見学を含めて細部にわたって技術の開示を行い、日本のアンモニア工業技術の向上に著るしく貢献した。とはいえ技術の交流には歴史の違いに基づくこだわりもあり難しい面も少なくなかった。

10.2.2 レベルアップに貢献

技術にはハードウェアとソフトウェアがある。高圧装置、触媒、機器などモノに関する分野がハードであり、ソフトは装置、機器の取扱いノウハウをいう。既存装置については機器も配置もすでに決っており、簡単に変更するわけにはいかないが、増設、新設の場合は参考になることが多かった。ソフト面では装置、触媒、機器などの取扱いに始まり、単位操作技術の組み合わせ、機器の配置に至るまで真剣に討議された。特に高圧ガス保安技術、災害事例の交流などはお互いに身近かで極めて切実なものがあり、分科会の中で最も成果を収めた分野であった。

戦後の食うや食わずの時代であったにも係わら

ず、環境改善作業能率分科会が含まれている卓見に敬服するが、戦後の流行となった作業改善を中心に米国占領軍司令部のアドバイスによるものと思われる。

戦後復興も完了した昭和20年代半ばには高圧ガスおよび安全衛生関係法規が整備され、災害事故の取締りが強化されて各事業所には保安課が新設された。当初は対官庁の窓口業務および事故防止もモノを重視した改善対策業務が中心であった。30年代に入り人災さらには労働者の健康管理が重視され始めた。40年代半ば環境問題がクローズアップされてからは公害対策の業務が主流を占め、環境保安の名称で呼ばれるようになり、時代とともに重点対象が変わり名称も変更された。

昭和26年講和条約締結後は欧米の情報が入ってくるようになり、技術導入の再開に伴い分科会活動はかなり制約を受けるようになった。昭和27年にはガス、合成、製品、電解、施設、動力、管理の7分科会に集約され、さらに昭和39年には電解分科会が解散して6分科会となった。昭和40年代になると各社とも技術導入を前提としたプラントの大型化に取り組んだため、従来のような技術交流は形骸化し、自然消滅の形を辿った。

この20年間の技術交流により各社は他社の優れた技術を吸収し、相互の切磋琢磨により啓発され技術の向上がはかられた。昭和30年代のガス源転換、それに続く40年代のプラント大型化と、欧米とは戦中戦後の大きなブランクがあったにも係わらず、いずれも海外から導入した高度の技術を速やかに消化して追いついた裏には、世界に例をみない優れた技術交流があったからである。

固有の技術は秘密にする、あるいは特許で保護するという現在の通念からはとても考えられないことであるが、戦争および戦後の肥料増産という非常事態が超法規的な技術交流を可能にしたのである。

10.2.3 官の指導による技術向上⁵⁾

以上は民間の交流による技術向上について述べたが、同時期に官の指導によっても技術向上がはかられたことについて触れたい。

ポツダム宣言で終戦を迎えた日本政府は、日本経済の再建を農業に求め、昭和20年10月「食糧増産確保に関する緊急措置」を策定し、化学肥料工場の復旧に必要な資金、機器、資材、原材料の優先的確保を規定した。

施策をより円滑に推進するため東工試の所長井上春成の提唱により窒素工業技術懇話会（以下窒素懇話会と略す）が昭和20年12月15日に発足した。窒素懇話会は井上所長を会長に産官の権威者で構成され、事務所を臨時窒素研究所の後身である東工試第4部（目黒）に置いた。

政府は昭和21年春肥に必要な窒素肥料を農民に公約し、各硫安工場に生産数量を割当ててノルマを課したが、工場の復旧は思うにまかせず、目標は未達に終わってしまった。そこで政府は8月に入って「硫安工場調査団」を編成、責任を果たせなかった5工場の立入調査を実施し増産を督励した。

調査団の報告によれば、生産阻害因子は次の二つに集約された。

- ① 銅液ポンプのパッキングの品質低下
- ② アンモニア合成触媒の性能低下

①は翌年夏までに解決されたが、②の解決には触媒の基本的な改良が必要である。そこで商工省と東工試の主導で昭和22年2月1日「触媒対策委員会」が発足し、会社・組合双方から委員が選出されて活動を開始した。

戦前、アンモニア合成触媒は輸入に頼っていたが、戦時中から自家生産品を使用するようになり、戦後の混乱のなかで各社触媒には著しい性能の差が認められた。委員会の実施細目によれば、窒素懇話会は各社に触媒サンプルを提供させ、その組成を日東化学が分析して東工試の研究成果をふまえて高性能触媒を適当な製造業者に作

らせ、商工省の指導のもとに日東化学横浜工場で実施試験を行う。試験結果の技術的検討を窒素懇話会で行い、最終的に委員会が優秀な触媒を決定し、商工省の指導のもとに必要な原料および資金を援助して専門製造工場で触媒を本格的に生産し、それを各社に提供するという、かなり強力でかつ、はっきりとした役割分担が決められていた。そのなかでも高性能触媒を開発する東工試と、技術的検討を行って優秀な触媒を決める窒素懇話会の役割は極めて重要であったといえる。

触媒の性能増加に関する研究では、東工試の内田熙らは粉末冶金法によるカーボニル鉄より得られた純鉄粉と促進剤を混合焼結した後、酸化溶融する方法でアンモニア合成触媒をつくり、促進剤の組成を検討することにより高活性で耐熱性に優れたものを得ることに成功した。性能試験結果では当時の国産触媒よりはるかに優秀で、昭和電工川崎、東亜合成名古屋、東洋高圧の北海道、彦島、大牟田の各工場で使用された。

検討の過程で窒素懇話会は触媒サンプルのみならず各社のアンモニア合成管の図面ならびにアンモニア合成条件、触媒の組成や製造法等の詳細なデータを取り寄せて技術検討を行い、各社に触媒や合成管の改良に関する技術指導を行っていた。

各社が所有する特許やノウハウを提出させ、内容の検討を行った東工試並びに窒素懇話会、それらの検討結果を踏まえて触媒製造技術の改良を各社に要請した触媒対策委員会は、肥料増産という国是のもとでかなり強力にそれぞれの役割りを発揮し、技術向上に貢献したことは高く評価される。

10.3 戦後に新設された工場

戦後復興をなしとげた戦前からの16工場は、昭和30年代のガス源転換を経て40年代の大型化へ突入していくことになるが、30年代に新設された中規模工場について述べる。

第10-1表に示すように12工場が新設されたが、

第10-1表 戦後に建設されたアンモニア工場

会社・工場	ガス源	設立時 アンモニア 日産 t	操業期間 (西暦)				
			1960	1970	1980	1990	1995
協和発酵・宇部	重質油	110	57	71			
三菱瓦斯・新潟	天然ガス	100	57				
東洋瓦斯・新潟	天然ガス	110	58		77		
三井東庄・千葉	天然ガス	110	58				91
旭硝子・千葉	天然ガス	110	60				
日産化学・長岡	天然ガス	110	61	71			
製鉄化学・姫路	COG	125	61	71			
徳山曹達・徳山	原油	120	62				83
東洋曹達・南陽	原油	100	62				85
新日鉄化学・戸畑	COG	110	63				88
室蘭製鉄化学・室蘭	COG	110	64	71			
旭硝子・北九州	ブタン	160	68				86

大別すれば、①天然ガス利用、②鉄鋼 COG 利用、③ソーダメーカーの進出の三つになる。

10.3.1 天然ガス利用

天然ガスの水蒸気改質法で日本のメタノール業界に旋風を巻き起こした日本瓦斯化学（現三菱瓦斯化学）は、その余勢をかりて同じく天然ガスを原料にアンモニア業界にも進出した。それに負けじと東洋高圧は帝国石油との合弁で新潟に東洋瓦斯化学を設立、また独自に千葉県茂原に工場を建設した。日産化学も富山工場のほか天然ガスを求めて長岡に工場を建設した。ソーダメーカーの旭硝子も外房の天然ガスを引いて内房でアンモニア生産を開始した。

10.3.2 鉄鋼 COG 利用

化学会社の COG 利用は戦前から東洋高圧・大牟田、戦後になって三菱化成・黒崎と日本水素・小名浜がある。

鉄鋼業の COG は自社燃料に使用されていたが、戦後製鋼法の技術革新の中で上吹転炉による酸素製鋼の採用により COG が大量に余剰となった。鉄鋼資本は昭和34年ごろから余剰 COG を化学工業原料、特にアンモニア原料とする計画に着手し、富士製鉄（現新日本製鉄）と別府化学（製鉄化学、現住友精化）日本鋼管と昭和電工、八幡

製鉄（現新日本製鉄化学）がそれぞれ提携して工場建設に入った⁵⁾。

COG は燃料評価であり、安いアンモニア原料と考えられたが、ガスの圧力が低く深冷分離自体も動力費がかさむ、COG 精製のために設備費が割高につく、製鉄業の景気変動に伴う操業度の影響を受けるなどのために、必ずしも安い原料とはなりえなかった。またわが国の肥料形態の主流が硫安から尿素に変わったこともあって、COG では十分な炭酸ガスを入手できないという欠点もあった。従って COG アンモニアは液安としての販売か他の肥料形態をとるかしかなく、COG 全体の経済効率からみて好ましい形にならず、プラント大型化でいずれかの計画に吸収されて工場は停止した。

10.3.3 ソーダメーカーの進出

ソーダ灰を生産するアンモニアソーダ法のメーカーではアンモニアと炭酸ガスが必要であり、アンモニアは購入、炭酸ガスは石灰石を焼いて自給する形が戦前からとられていた。アンモニア工場ではアンモニアとともに炭酸ガスが副生するのでソーダメーカーにとっては理想的である。

戦後ソーダメーカーも規模拡大、合理化の中で旭硝子、徳山曹達、東洋ソーダ（現トソー）、

宇部ソーダ(現セントラル硝子)4社のうち宇部ソーダを除く他の三社がアンモニア自給に踏み切った。アンモニアプラント大型化で安い液安が出回り、中規模プラントを稼働して自給するよりアンモニア購入の方が安くつくようになった。徳山曹達、東洋曹達および旭硝子北九州の3工場はプラントを停止してアンモニア購入に戻った。

10.4 ガス源転換

原料別アンモニア生産能力の変遷を第10-1図に示す。

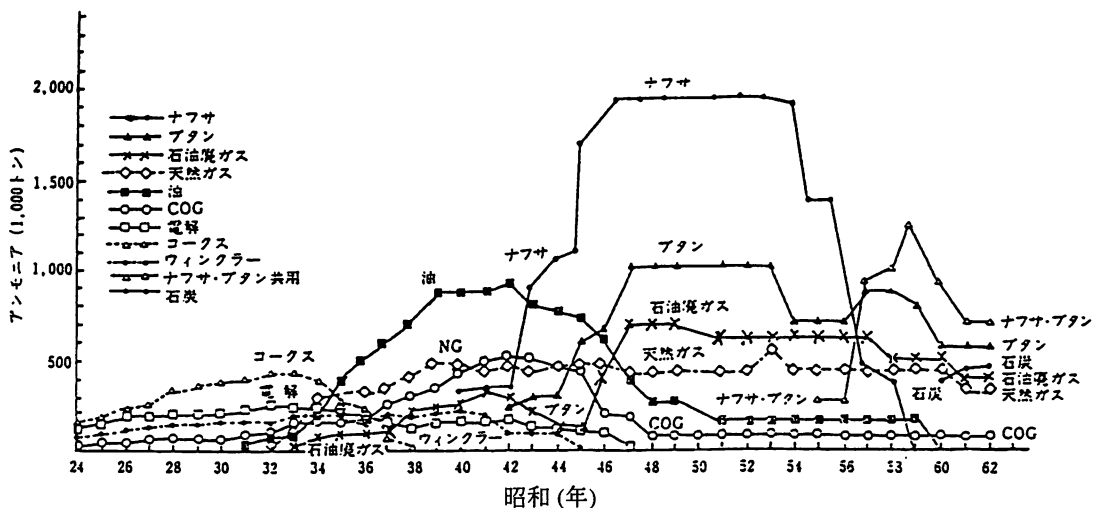
戦前は水電解と石炭・コークスのみであり、昭和28年ころまでこの状態が続いた。その後水電解は衰退の一途をたどる。電力の需給構造の変化と産業の高度化に伴う夜間需要が増大し、低廉かつ大量の電力入手が限界にきたためと、技術革新により経済性の面でアンモニア原料としての電力の相対的地位が急速に低下したからである。

同時に固体原料(石炭・コークス)から流体原料(天然ガス・原油・石油化学廃ガス)への原料転換が始まった。流体原料を使用すれば、水性ガス発生炉のような断続操作がないので、ガスホルダーも不要となり自動制御も容易になる。加圧ガ

ス化が可能となり圧縮動力が大幅に節約される。石炭のように大量の灰が出ないなど、固体原料がかかえる欠点をカバーして多くの長所を有するため、流体原料を使用するアンモニア合成が昭和30年代に入って急速に普及した。顕著な動きとして原油を原料とするテキサコ法の大幅採用、千葉と新潟の天然ガス使用プラントが稼働した。この時期は日本の高度成長期と重なり、製鋼法の技術革新に伴いCOGが余剰になったので、製鉄コンビナートに隣接してCOGを利用したアンモニアプラントが建設された。

昭和40年代になると大型化が進行し、ナフサやブタンの水蒸気接触改質法が主流を占めるようになる。大型化の過程で窒素肥料産業は輸出に過度に依存する脆弱な体質になってしまった。こうした状況のもと昭和48年秋に発生した第1次オイルショックは大きな影響を及ぼした。一時的にせよ世界的な需給の逼迫と仮需が発生して価格が高騰し、肥料産業は好況を享受したのも束の間、原燃料価格の高騰で国際競争力が著しく低下した。

その対策としてナフサからLPG、石炭ガス化への多様化、省エネルギー化などが積極的に進め



第10-1図 原料別アンモニア生産能力の変遷

られることになった。昭和54年には第2次オイルショックがあり、過剰設備をかかえる窒素肥料業界には構造改善法が適用された。操業度を87%に引き上げることがを前提に、昭和52年度456万tのアンモニア生産能力の50%以上が設備処理された。この過程で昭和56年わが国最大の日産1,550tの能力を持つ日本アンモニアが休止されたのは、日本の肥料工業を象徴するできごとであった。

第10-1図にみるように、昭和54年以降、原料多様化によるドラマチックな変遷がうかがわれ

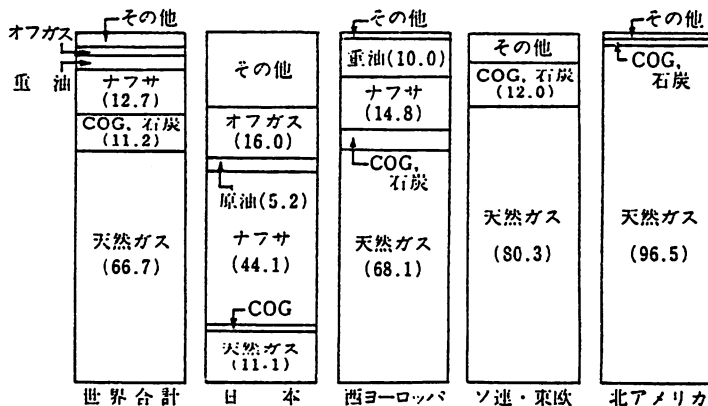
る。昭和55年からはナフサ・ブタン共用の工場が現れ、ナフサ専用工場は58年で姿を消した。昭和60年からは新たに石炭専用の宇部アンモニアがスタートした。

第2次オイルショックを経て石油と石炭の価格差がはっきりしてきた。宇部興産は将来的には石炭が石油より割安であることに着目し、ナフサベースの既設の大型アンモニアプラントのガス化部分を、勇敢にも技術開発されてまだ日も浅いテキサコ式石炭ガス化方式に取り替えてしまった。宇部興産におけるアンモニア合成原料の変遷は第

プロセス	原料	設備能力 (t・NH ₃ /day)	西暦年
宇部ケミカル工場			1934 → 1965
Koppers	Coal	300	1960 → 1972
Texaco	Crude Oil	420	1972 → 1973
〃	Atm. Residue	425	1979 → 1982
〃	Vac. Residue	425	1982 → 1982
〃	Heavy Fuel Oil	1,000 (CO Gas)	1982 → 1982
〃	Petrocoke	〃	1982 → 1982
堺工場			1967 → 1982
I.C.I. Kellogg	Naphtha	700	1980 → 1980
〃	LPG/LNG	700	1980 → 1980
宇部アンモニア			1972 → 1981
I.C.I. Kellogg	Naphtha	1,250	1981 → 1984
〃	LPG	1,250	1984 → 1984
Texaco	Cosl	1,000	1984 → 1984

第10-2図 宇部興産におけるガス化用原料の変遷

(単位：%)



(資料) 1978年 ISMA

第10-3図 主要国におけるアンモニア原料ガス源別構成比

10-2 図のように極めてユニークである⁶⁾。

世界のアンモニア原料のガス源別構成比をみると1978年においては第10-3 図の通りで⁷⁾天然ガスが3分の2に及ぶ。1988年になると天然ガスはさらに増加して全体の77%を占める⁸⁾。天然ガスは豊富にありガス化が容易で運転しやすく建設費も安く低廉なアンモニアがつくれるからである。日本は資源に乏しく大部分を輸入に依存するので、諸外国とは著るしく異なる原料構成になっている。

10.5 大型化

10.5.1 第1次大型化

昭和30年代の後半になってアンモニアの需要は合成繊維原料のカプロラクタム、アクリロニトリルをはじめ、各種合成樹脂、各種工業用に急増し、化学肥料輸出の好調と重なって需給が逼迫し

始めた。折からアンモニア製造装置の大型化技術が開発され、世界のアンモニア設備は日産500tから1,000t時代を迎えていた。すなわちアメリカのケロッグ社は高圧の大型耐圧塔の製作や遠心圧縮機の開発で建設費の引き下げと大型化を実現し、イギリスのICI社はナフサ接触改質技術確立し、ケロッグ社のエンジニアリングとの結合により昭和39年に日産900t設備3基の建設に着手していた。

わが国の化学肥料各社も内外需要の拡大と技術革新を背景に、大型設備の建設を計画したが、通産省は昭和40年3月に「アンモニアの設備調整について」を決定してその行政指導に乗り出した。その内容は、①新設するアンモニア設備は日産500t以上とする、②42肥料年度の供給能力不足を2割と予想し、これを各社の能力比で配分す

第10-2表 アンモニア第1次大型化計画の概要

会社工場名		新設能力 (日産t)	完成時期	技術原料	リプレース (日産t)	委託契約による 業務提携会社名	尿素設備 (日産t)
化成水島	水島	250	昭40.9	自社技術 オフガス		東北肥料, 日本水素	220
東洋高圧	大阪	500	41.4	ICI・ 自社技術 ブタン	145	東洋瓦斯化学, 室蘭製鉄化学, 石原産業	720
住友化学	新居浜	750	42.5	ICI ナフサ	480	協和ケミカルズ, 製鉄化学	500 (200tの リプレースを含む)
宇部興産	堺	600	42.5	ICI ナフサ	チッソ 45	東亜合成化学, チッソ, 旭化成, 東洋曹達	330
昭和電工	川崎	500	42.8	ICI ナフサ	310	日東化学	200
日産化学	富山	430	42.8	ICI ナフサ	313		現有216を 340に増強
計		3,030			1,283		
旭硝子	牧山	150	42.11	日揮式 ブタン			
日本瓦斯化学	アラスカ	265	43.10	CCC 天然ガス	日本瓦斯化学147 三菱油化 73	三菱油化	st 500

注：日本瓦斯化学・アラスカの尿素設備のstはショートトン
出所：『日本硫安工業史』

る、③日産 500 t に達しない場合は既存設備の廃棄、数社の枠の持ち寄りによって共同で建設する、などであった。

第 10-2 表のように大型化に踏み切った 6 社 6 工場の生産能力は日産 3,030 t にのぼり、このうち 5 社が ICI ナフサ水蒸気改質法を採用した。この当時の技術革新はめざましく、欧米の設備大型化はわが国のそれを上回り、規模も日産 1,000~1,500 t となった。アンモニア第 1 次大型化計画に基づく設備の建設が進行するなかで、各社はこれを上回る大型設備の運転計画を検討しはじめた。国際的な需要の増加と輸出市場多様化が進み、わが国の肥料工場が本格的な輸出産業への歩

みを開始する一方、国内における工業用需要が急激な増加を示してきたからである。同時に昭和 41 (1966) 年秋の中国向け輸出価格の急落は、わが国アンモニア工業に再度大型化によるコストダウンを求める契機となった。

10.5.2 第 2 次大型化

第 1 次大型化によりわが国の大型設備の比率は 30% を上回り、原料転換によるコストダウンも加わって国際競争力は強化されたが、イギリス、オランダ、アメリカなどに比べてなお大型設備の比率は低かった。加えてコスト引き下げに大きく寄与する遠心圧縮機を採用したのは日産 750 t 設備を建設した住友化学 1 社のみで、他はいずれも従

第 10-3 表 アンモニア第 2 次大型化計画の概要

会社工場名		能 力		完成時期	原 料	リプレース能力 (年産 t)	尿素能力		出資比率(%)
		(年産 t)	(日産 t)				(年産 t)	(日産 t)	
三井東庄 化学	大 阪	330,000	1,000	昭44. 7	ブ タ ン	三井東庄 113,000	495,000	1,500	
						東亜合成 48,500 計 161,500			
三菱化成	黒 埼	330,000	1,000	45. 6	ナ フ サ	164,100	264,000	800	
日本化成	小名浜	330,000	1,000	45. 7	ナ フ サ	東北肥料 96,800	297,000	900	東北肥料 15.4 三菱金属 7.7 三菱化成 41.0 三菱商事 19.3 その他 16.6
						日本水素 77,100 計 173,900			
旭化成	水 島	264,000	800	46. 4	石油化学 オフガス	旭化成 35,400 チ ッ ソ 27,300 計 62,700	-	-	
鹿島アン モニア	鹿 島	313,500	950	45.10	石油化学 オフガス L P G	三菱油化 51,500	462,000	1,400	日東化学 50.0 三菱油化 50.0
						日東化学 150,100 計 201,600			
日本アン モニア	千 葉	511,500	1,550	46. 4	石油化学 オフガス L P G	日産化学 22,200	363,000	1,100	住友化学 28.0 製鉄化学 24.0 昭和電工 24.0 日産化学 24.0
						昭和電工 20,700 製鉄化学 75,800 計 118,700			
宇部アン モニア	宇 部	412,500	1,250	46.10	ナ フ サ	宇部興産 113,700	-	-	宇部興産 37.53 協和発酵 29.97 セントラ ル硝子 22.50 西部石油 10.00
						協和ケミカルズ 93,500 計 207,200			
合 計		2,491,500	7,550			1,089,700	1,881,000	5,700	
三菱瓦斯 化学	松 浜	264,000	800	52.10	天然ガス	三菱瓦斯 化学 115,500	198,000	600	

出所：『続日本硫酸工業史』

来の往復動（レシプロ）型であった。

ヨーロッパ各国では内外市場を一元的に調整できるカルテル機構を持ち、輸出についてはナイトレックス（NITREX）を結成して一丸となって対処していたほか、将来はアメリカの国際石油資本や社会主義諸国が輸出市場に登場することが予想されるなど、国際競争力の一層の強化が急務となっていた。

昭和42年8月に、日本硫安工業協会はアンモニア設備大型化実施要領を決め、これに基づき各社計画の調査を開始したが、各社計画の合計は需給見通しを大きく上回ったため、12月には通産省に再度、行政指導を要請することになった。通産省に対する要請の骨子は国際競争力強化のため日産750 t以上の大型設備を建設することを明らかにする一方、政府に対し各種の助成措置を要望したものであった。

これに対し通産省は昭和43年1月22日に「アンモニアの構造改善について」を正式に決定し、1系列日産1,000 t以上の大型設備を、業界ぐるみのスクラップ・アンド・ビルドによって実施するという新しい基準を決定した。第1次大型化の日産500 t基準決定からまだ2年10ヵ月を経過したにすぎない段階で、わが国アンモニア工業は2倍の日産1,000 t時代を迎えることになった。

これが昭和45年から46年にかけて実現した第2次大型化設備である。1系列日産最大1,550 tの設備が稼働するに至った。わが国アンモニア実生産能力は昭和47年4月1日現在、日産1万3,760 t、年産461万1,300 tとなり、原料もナフサ、ブタン、オフガスなどに変わった。（第10-3表）

大型化が可能になったのはICI社やトプソ社などによって脱硫と改質触媒が開発され、水蒸気改質技術が実用化されるとともに、関連プロセスや大型機械化の技術が完成したからである。この方式は、①窒素を得るための空気分離装置は不要、②低温転化の採用でCOの利用効率の向上、③熱

回収を最大限に行って動力源およびプロセスに利用、④ガス精製にメタネーターを採用、⑤日産600 t以上の設備には遠心圧縮機の使用が可能、などでコスト低減に極めて有利な技術である。

11. 技術の進歩

11.1 ガス源転換

昭和28年ころのアンモニア原料ガス源は、水と石炭・コークスなどの固体原料が全体の95%を占め、ガス化工程では第6-2表のように水電解槽、水性炉、ウィンクラール炉が大部分であった。

第2次大戦後、中東で大量の油田が発見され、天然ガスとともに石油をガス源とする新しい波が日本へも押し寄せてきた。日本では新潟と千葉で天然ガスを原料とするアンモニア工場が出現した。昭和31年日本瓦斯化学は新潟の天然ガスを利用し、ケミコ法（米）を導入してメタンの加圧水蒸気改質法の工場を建設した。この方式は後の大型化プラントの本流となる。同じ時期に東洋高压はレールリキッド社（佛）から天然ガスの加圧部分酸化法を導入し、千葉と新潟で企業化した。

昭和29年に日産化学は流体原料化の先陣を切って富山で重油を原料とするファウザー式常圧ガス化方式を採用したが、重油が割高なため普及しなかった。

ガス源転換で技術上特筆すべきことはテキサコ法の登場である。重油・原油の加圧部分酸化法によるこの方式は、低硫黄のデューリー原油（インドネシア産）を採用することで、昭和33年別府化学を皮切りに、採用工場が相次いだ。30気圧という加圧ガス化には動力比が少ない、いかなる重質油も使用できるという長所があった。しかしせいぜい1系列日産200 tまでで、大型化に限界があり、その後の発展はみられなかった。テキサコ法の系統図は第9-1図のとおりである。

11.2 大型化技術

11.2.1 プロセスの流れ

1962年英国のICI社がナフサのスチーム・リフォーミング法を開発したことで大型化のめどがあった。ナフサなら地球上のどこへでも自由に運ぶことができる。これをベースに米国のケロッグ社(Kellogg)がプラント全体の合理的設計をやり、大量のアンモニアを極めて安く生産する技術が確立された。大型アンモニアプラントの幕開けである。

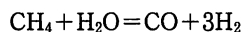
ICI-Kellogg法は第9-1図に示したスチーム・リフォーミング法に相当するが、初めから終わりまで触媒によって各反応が促進される。使用される炭化水素の種類は天然ガス(メタン)、ブタン、ナフサ、石油化学廃ガスなどである。炭化水素中には不飽和物、硫黄や窒素の化合物などが含まれており、改質反応を妨害するので除去しなければならない。天然ガスは活性炭で精製できる。ブタンやナフサでは水素を加えてCo-Mo触媒上で処理する。生成された無機硫黄は次に酸化亜鉛により脱硫される。

前処理された炭化水素にスチームを加えて1次改質で水素とCOに改質される。2次改質では窒素源として空気が加えられて酸素は燃焼し、その熱によりメタン濃度が0.2%まで下げられる。改質触媒は1次、2次とも酸化ニッケルを主成分とする触媒が使用される。廃熱ボイラーで冷却された改質ガス中のCOは、鉄・クロムからなるHTS(高温転化)触媒により2~3%に下げられ、亜鉛・銅のLTS(低温転化)触媒でさらに0.3%まで下げられる。CO₂を除去したあと、残COと微量のCO₂は、酸化ニッケルのメタネーター触媒上でCO+CO₂ 10 ppm以下に除去される。精製された水素：窒素3：1の合成ガスは、鉄触媒を使ったアンモニア合成塔でアンモニアとなる。

11.2.2 ガス化

大型プラントの原料炭化水素の前処理は、一般に天然ガスのような軽質炭化水素では活性炭吸着

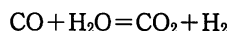
が、ナフサなどの比較的重い炭化水素ではCoMo触媒の水添分解が初めより採用され、その後顕著な進歩はない。H₂Sは次の酸化亜鉛脱硫剤で1 ppm以下に除去される。1次改質炉では原料炭化水素にスチームを加え、30気圧、800°CでCOとH₂が生成する。



この反応は吸熱反応であるから加熱しなくてはならない。高温高压に耐える反応管を可能にしたのはHK-40という25Cr-20Niの遠心鑄造管の開発であった。直径3~4インチ、長さ10 mものが使用される。1次改質炉出口ガス中のCH₄は7~8%である。2次改質炉では必要な窒素に相当する空気を加えて、燃焼熱により残ったCH₄は改質されて0.2%になる。

これまでの技術では窒素は空気分離装置から供給されていたが、2次改質炉の採用で空気を圧入するだけで窒素の供給ができるようになった。大型プラントの大きな技術革新の一つである。

CO転化反応は次の式で表される。



ハーバー法の工業化以来、もっぱら鉄・クロムのHTSが採用され、しかも常圧転化のためCOは3%まで下げるのが限界であった。大型化ではHTSに加えて、銅・亜鉛系のLTSが採用され、COは0.3%まで下げることが可能となった。反応温度はHTS 350~500°C、LTS 200~280°Cである。CO転化反応は発熱反応であるから、温度は低いほどCOを少なくすることができる。しかしLTS触媒はHTS触媒に比べ硫黄に被毒されやすい。原料炭化水素の脱硫技術が向上したことでLTS触媒の採用が普及した。脱COプロセスの中でメタネーション方式が最も効率的かつ安価であるが、CO+3H₂=CH₄+H₂Oの反応でCOと同時に3倍量のH₂が消費されるのでCO濃度の高いガスには不利である。LTSが開発されCO濃度が0.5%以下になって普及した。メタネーション

ン方式の採用で建設費、動力費が大幅に節減された。

ある時期に HTS-CO₂ 除去-HTS-CO₂ 除去の HTS 2 段転化方式が採用されたこともあったが、出口 CO は 0.5% 程度に下がるものの CO₂ 除去が 2 重になるなどコストが高かつき、間もなく出現した LTS には勝てなかった。

11.2.3 不純物除去

合成ガス中の不純物である CO₂ 除去には古くから高圧水洗法が採られてきた。尿素生産の増加に伴い CO₂ 吸収に適した化学薬品を用いて除去する方法が発展した。アンモニア水、アルカチット、モノエタノールアミン (MEA)、熱炭酸カリなどの単独または組み合わせによる方式が採用された。これらの方法には概して建設費が高い、動力費がかさむなどの欠点があった。

第 1 次アンモニア大型化が計画されたころ、ベトロコーク法 (伊, Giammarco Vetrocoke) が開発された。吸収液として熱炭酸カリの水溶液に無水亜硫酸を使用する。無水亜硫酸は腐食防止剤として働くほか、触媒的な作用により CO₂ の吸収および放散速度を速める。かつまた操作温度が低いので (熱炭酸カリは 110~150°C, ベトロコークは 60~65°C) CO₂ の分圧が極めて低くなる。したがって処理ガス中の残留 CO₂ を 0.03% まで下

げることができるので、第 1 次大型化では各社ともこの方式が採用された。

その後ニュー・ベンフィールド法 (New Benfield), カタカーブ法 (Catacarb) ズルフィノール法 (Sulfinol) が開発された。昭和 40 年代に入り公害問題が顕在化し、砒素は毒性があるので嫌われ、第 2 次大型化ではもっぱらカタカーブ法が採用された。

カタカーブ法ではバナジウムが腐食防止剤として使用されている。溶液に毒性がなく建設費も安いなどの特徴がある。テキサコ法のように硫化水素を含むダーティガスの CO₂ 洗浄ではレクチゾール法 (Rectisol) が使われる。メタノールは硫化水素と反応しないが、その他の薬剤は硫化水素と反応して再生できないからである。

CO 除去については第 11-1 表に示すように動力消費の大きい深冷分離法、銅液洗浄法、液体窒素洗浄法から触媒万能の時代に入って、最近ではメタネーション法がもっぱら採用されている。

11.2.4 アンモニア合成方式の変遷

草創期のアンモニア合成では、それぞれプロセスに固有の構造を有するアンモニア合成管が用いられた。規模が小さいこともあって戦前の合成管はいずれも内部熱交換方式であった。

戦後になってモンテカチーニ社が出した

第 11-1 表 一酸化炭素除去プロセスと操業条件

プロセス	除去方法	操業条件		残留 CO [ppm]	CH ₄ , Ar に対する影響
		温度 [°C]	圧力 [atm]		
1. 銅液洗浄	銅の炭酸塩 (ギ酸塩) とアンモニア水溶液	常 温	250	20以下	CH ₄ , Ar は不変. ガス製造工程で残留, 混入した CH ₄ , Ar はそのまま合成工程に入っていく
2. 窒素洗浄法*	液体窒素で物理吸収, 同時に配合	-170	13~20	5 以下	ガス中の CH ₄ , Ar はすべて除去され, 合成工程に導入されない
3. 副産メタノール法	接触反応により CO+2H ₂ = CH ₃ OH	300	800	30	残留 CO 分だけ CH ₄ 分がふえる
4. メタネーション法	接触反応により CO+3H ₂ = CH ₄ +H ₂ O	350	30	5 以下	ガス中の CO, CO ₂ 分だけ CH ₄ がふえる. Ar は不変

*1970年現在最も多く用いられているプロセスを示す。

出所) 日本化学会「化学便覧応用編・改訂 2 版」丸善. 昭和 48 年 11 月 10 日 p. 55. に加筆

ニュー・ファウザー法の合成管では、初めて触媒層を多段に分割し反応熱をスチームとして回収することに成功してから、他の方式でも熱回収への努力が拂われるようになった。同時に触媒層の反応温度を適温に保持できるようになり触媒の寿命が延びた。ICI-Kellogg 法では冷ガスを吹き込んで温度制御するクエンチ方式、トプソ法ではラジアル・フロー方式を採用するなど工夫がこらされている。

合成圧力は開発の経緯から第 5-1 表に示すように低圧法、中圧法、高圧法の三つがあり 100~1,000 気圧の広い範囲にわたっていたが、その大半は 300 気圧前後の中圧法であった。その後触媒の改良もあり ICI-Kellogg 法が 150 気圧で合成する技術を確立し、アンモニア合成の面では若干不利とはいえ遠心式圧縮機の採用など、設備全体が大幅に合理化された。

スチーム駆動の遠心式圧縮機の採用は、それまで予備機まで持たねばならなかったモーター駆動の往復動圧縮機に比べて、電力消費量が著しく節減された。1 基で十分なため建設費が安くなり、運転保守が容易で稼働率も高く、アンモニアのコストダウンに大きく貢献した。

最近では合成圧力は 150~200 気圧になっている。

アンモニアプラントの中でもアンモニア合成管は最も重量の大きいものであるが、第 2 次大戦後までは引張強度 50 kg/mm² 程度の鍛造材で製作された。現在では 70~80 kg/mm² の材料も使用され、かつ引張強度ベースでなく、いわゆる降伏点ベースなので実際の設計応力は 2 倍にもなっている。鍛造に加えて溶接技術も向上し、多層容器の製造技術も進歩して、はるかに大型の合成管も製作可能になった¹⁾。そのほか大口径高圧鋼管、大口径高圧バルブなどが大型アンモニアプラントを支えている。

1 次改質炉では高温高圧材料の開発、25Cr-

20Ni の遠心鍛造材の開発が今日の成功の端緒を開いた。2 次改質炉では出口の廃熱ボイラーのシリカによる汚れが問題となったが、触媒やレンガの改良で解決した。

計装技術の進歩、コンピューターも大きく貢献した。高圧下での液体の液面制御や大型のダイヤフラムバルブの採用など、合理化、省力化に大きく寄与している。

11.3 触媒の進歩

化学工業において触媒はプロセスの心臓部であり、その重要さは今も昔も変わりはない。戦前、触媒は特に重視され、技術導入契約の重要な項目として触媒製造法が入っていた。導入後は工場の片隅で自家消費のみ秘密裡に生産されて外部に出されることはなかった。

現在の最新鋭アンモニアプラントでは 10 種類に近い触媒が使われている。戦前は合成触媒のほか、それに高温 CO 転化触媒が加わるくらいで、品種も少なく自家生産で充分需要を満たすことができた。

触媒が商品として流通しはじめたのはアメリカで、1930 年代からである。天然ガスがアンモニア原料に使われるようになって脱硫、改質、転化、メタン化、合成という一連の触媒を使用する現行アンモニア工場の基本フローが確立された。触媒の種類がこのように多くなると自家生産では割高につく。アンモニアプラントもその後続々と建設されたので、触媒が汎用化されて触媒専門メーカーが出現した。

触媒メーカーの努力およびユーザーの使用技術の向上によって触媒の寿命は長くなり、製品コストに占める触媒の比重は著しく低くなった。アンモニア生産能力日産 1 t 当たりで、1968 年に使用された触媒のコストは 1956 年の 4 分の 1、1941 年の 10 分の 1 になったといわれる²⁾。

大型アンモニアプラント用触媒の活性成分並びに使用温度範囲は第 11-2 表のとおりである³⁾。

第11-2表 スチーム・リフォーミング法アンモニア・水素プラント用触媒の活性成分、使用温度範囲

ステップ	活性成分		使用温度範囲 (°C)
	使用前	使用時	
水素化脱硫 脱硫	CoO, MoO ₃ ZnO	Co ₉ S ₈ , MoS ₂ , MoO ₂ ZnO, ZnS	350~430 350~430 (LTS ガードは200~250)
リフォーミング	NiO	Ni	500~1,000
高温 CO 転化	Fe ₂ O ₃	Fe ₃ O ₄	300~500
低温 CO 転化	CuO, ZnO	Cu, ZnO	200~280
メタネーション	NiO	Ni	250~500
アンモニア合成	Fe ₃ O ₄	Fe	400~550

第11-3表 触媒寿命とアンモニア1トン当たりの触媒コスト (北米)

触媒	平均寿命 (年)	購入コスト (セント/トン)	全コスト (セント/トン)
活性炭	5.37	2.79	16.25
酸化亜鉛	4.0	2.94	3.38
1次改質	2.06	14.60	19.06
2次改質	4.3	9.35	10.86
HTS	2.85	10.45	21.62
LTS	2.2	33.60	50.97
メタネーター	5.1	5.63	7.09
アンモニア合成	7.9	5.70	27.88
合計	-	87.06	157.11

第12-1表 世界アンモニア生産能力の原料別割合 (1990年)

原料	割合 (%)
天然ガス	77
ナフサ, LPG, 製油所ガス	6
燃料油, 重質油	3
コークス, 石炭, COG	13.5
電解, 副生水素	0.5

出所) Max Appl <Modern Ammonia Technology>
Nitrogen No. 195, January - February 1992, p. 2.

第12-2表 原料別アンモニア生産工場の相対建設費と全エネルギー消費

原料	プロセス	全エネルギー消費 GJ/t NH ₃ (LHV)	相対建設費
天然ガス	水蒸気改質	28	1
重質油	部分酸化	38	1.5
石炭	部分酸化	48	2.0-3.0

出所) Max Appl <Modern Ammonia Technology>
Nitrogen No. 195, January - February 1992, p. 5.

装入時に酸化状態の触媒は使用時には還元状態になっている。北米のアンモニアプラントで使われている触媒について、寿命とコストを調べたのが第11-3表である⁴⁾。触媒メーカーから購入した触媒は反応器に充填したあと還元して使用し、使用後は取り出して廃棄する。その一切のコストが全コストで表されている。

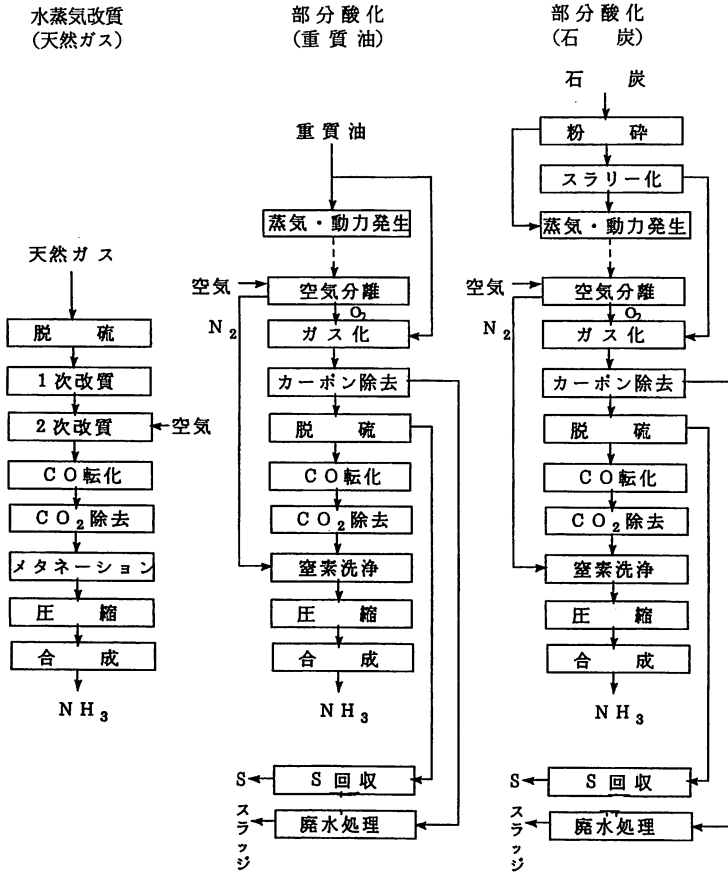
12. 今後の展望

12.1 原料

世界のアンモニア生産能力の原料別割合は第12-1表のとおり、天然ガスが77%を占めるが、石炭やナフサベースのアンモニアプラントの多い中国を除けば天然ガス原料の工場はなんと92.5%に達する¹⁾。

アンモニア合成の今後の主要原料である、天然ガス、重質油、石炭の三つについて、全エネルギー消費と建設費の両面を比べると、第12-2表に示すように天然ガスが断然優れている。

原料とガス化技術は一体不可分の関係にあり、原料が与えられるとそれに適したプロセスは決まってくる。上記三つの主要原料についてアンモニア合成プロセスを比較すれば第12-1図のようになり、石炭原料が最も複雑で重質油がそれに続



第 12-1 図 原料別アンモニア合成プロセス

第 12-3 表 北西欧における原料別アンモニア製造コスト(1991年, 1,800 t/d 新プラント)

原 料	天然ガス	重質油	石 炭
プ ロ セ ス	水蒸気改質	部分酸化	部分酸化
原 料 価 格 \$/100万 Btu	3.1	2.3	2.1
全 エ ネ ル ギ ー 消 費 100万 Btu/t	27	36	45.5
原料・エネルギーコスト \$/t NH ₃	83.7	82.8	95.5
そ の 他 の コ ス ト \$/t NH ₃	30	40	60
直 接 コ ス ト \$/t NH ₃	113.7	122.8	155.5
償 却 費 6 % \$/t NH ₃	21.2	30.2	50.4
金利, 建設費の60%に対し8%	17.2	24.2	40.3
投資利益率16%時の利潤 (建設費の40%) \$/t NH ₃	22.6	32.3	53.8
総 コ ス ト \$/t NH ₃	174.7	209.5	300.0
建 設 費 100万 \$	210	300	500

出所) Max Appl <Modern Ammonia Technology> Nitrogen No. 195, January-February 1992, p. 5.

第 12-4 表 化石資源の現状 (1990年)

	石 炭	石 油	天然ガス
埋 蔵 量	1,079×10 ⁹ t	137×10 ⁹ t	119×10 ¹² Nm ³
年 間 消 費	4,338×10 ⁸ t	3,148×10 ⁸ t	2,059×10 ⁹ Nm ³
可採年数(年)	238	44	58

出所) Max Appl <Modern Ammonia Technology>
Nitrogen No. 195, January - February 1992, p.5.

き、天然ガス原料は最も簡単なプロセスですむ。ガス化技術は石炭と重質油で部分酸化法、天然ガスは水蒸気改質法である。全エネルギー消費と建設費を比較した第 12-2 表ではプロセスの差がそのまま表れて天然ガス原料の建設費は最も安くエネルギー消費が最低で工場効率が最も高い。

日産 1,800 t の新プラントについてアンモニア製造コストのモデル計算をしたのが第 12-3 表で、天然ガスが断然安い。これら化石資源の埋蔵量は第 12-4 表のとおりで石油が 44 年、天然ガスが 58 年、そして石炭は 238 年で最も埋蔵量が多い。

これら原料入手の難易により中国のように局地的には石炭や石油原料のアンモニアプラントが稼働するところもあるが、21 世紀に入ってもなお当分の間は天然ガスがアンモニア原料の大勢を占めることは間違いない。

12.2 技 術

現行のアンモニア合成は触媒性能面から 150～300 気圧で行われている。最近、アンモニア合成にルテニウム触媒 (後述) が開発されたことは、技術の大きなブレイクスルーといえよう。この触媒を使えば 100 気圧以下の合成が可能で、合成圧力でのガス化、つまり合成ガス圧縮機不要のアンモニア合成工場が出現する日も遠くなくろう。

12.2.1 合成ガスの製造

(1) ガス化

第 12-1 図の 3 つのプロセスについて考察したい。

水蒸気改質法はニッケル触媒を用いて天然ガスやナフサなどの軽質炭化水素をガス化するプロセスである。ガス化圧力を上げて残留メタンを減す

にはガス化温度を高くせねばならない。耐熱性の高い材質を必要とすることから、現状では 40 気圧が限度と考えられる。

11.2.2 <ガス化> の項で HK-40 の遠心 casting について述べたが、最近 HP と称するユオブ入りの新材料が開発された。新材料は HK-40 よりも強度が高くて肉厚を薄くできるため、既存設備の 1 次改質炉に適用すると、触媒が増量され増産することができる。

現行の固定床触媒に代わって流動床方式のガス化技術が開発されれば高圧ガス化が可能となる。ガス化前脱硫でガスの精製が簡略化され工場全体がコンパクトになり、安価なアンモニアを製造できるのが天然ガス原料の長所である。

部分酸化法は無触媒プロセスで、原料には重質油と石炭が使われる。

重質油の場合、原料油は回収炭素と混合され、加圧、予熱後、高圧水蒸気と酸素とともにガス化炉に吹き込まれる。ガス化は 1,200-1,400℃、圧力はシェル (Shell) プロセスで 60 気圧、テキサコ (Taxaco) プロセスで 85 気圧程度である²⁾。

第 1 世代の石炭ガス化法は水性ガス炉やウィンクラー炉に代表されるように常圧ガス化であった。第 2 世代の加圧石炭ガス化としてテキサコ法が出現した。ガス化は 30-70 気圧 1,300-1,500℃で行われ、100 気圧も可能といわれる³⁾。

(2) CO 転化

CO 転化反応の触媒には 350-500℃で使用される高温転化触媒 (Fe₂O₃-Cr₂O₃) 200-280℃で使用される低温転化触媒 (CuO-ZnO-Al₂O₃) また 200-500℃で使用され、硫化水素や COS を含むガスに使用される耐硫黄転化触媒 (CoO-MoO₃) などがある。1% 銅混入の高温転化触媒が最近上市され、高温転化触媒より 20-30℃低温で反応する。

上記触媒の中で、低温転化触媒は硫黄や塩素化合物に極めて弱い。改質法のガス中には硫黄化合

物が 0.1 ppm 以下と少ないので、高温転化触媒と低温転化触媒の組み合わせで用いられ、残留 CO は 0.3% まで下げられる。

重質油や石炭が原料では生成ガス中に硫化水素や COS が混入してくる。転化工程前で脱硫しても完全脱硫は難しいので、Co-Mo 転化触媒を用いるケースが増えてきた。Co-Mo 触媒は酸性ガス転化 (Sour Gas Shift) 触媒と呼ばれ、部分酸化プロセスの CO 転化にこれから大幅に採用されることになる。

12.2.2 ガス精製

(1) 脱硫, 脱炭酸プロセス

重質油や石炭を原料とする場合には、最終精製プロセスとしてガス中の CO は -170°C の深冷において液体窒素で吸収除去されるので、ドライアイス生成による装置の閉塞を防ぐため、CO₂ 除去は残留 CO₂ が 5 ppm 以下となるプロセスを選ばねばならない。

12.2.3 アンモニア合成

(1) 新型合成管⁴⁾

材質の進歩と加工技術の向上により、従来の大型プラントで使われてきたクエンチ式温度制御方式に代えて、合成管内部に熱交換器を組み込んだ自己熱交換により温度制御することで、合成管出口アンモニア濃度を高めることを可能とした。Kellogg 社は大型合成管を横型とし触媒層の圧損を減らすことに成功した。Wallace⁵⁾ は Casale, Topaoe, TVA, ICI, BASF など新形式の合成管について解説している。

プラントの大型化に伴い、遠心圧縮機が採用されて動力も電力から水蒸気変わった。アンモニアの平衡転化率は高圧ほど好ましいから、遠心圧縮機の製作技術の進歩と大型化の進展の結果、以前 150 気圧であったのが約 300 気圧まで圧縮可能となり、この圧力での合成もすでに実現している。しかし省エネルギーの観点から合成圧力の最適化が検討されており、最近のプラントは 140~220 気

圧となっている。

(2) 低温合成触媒

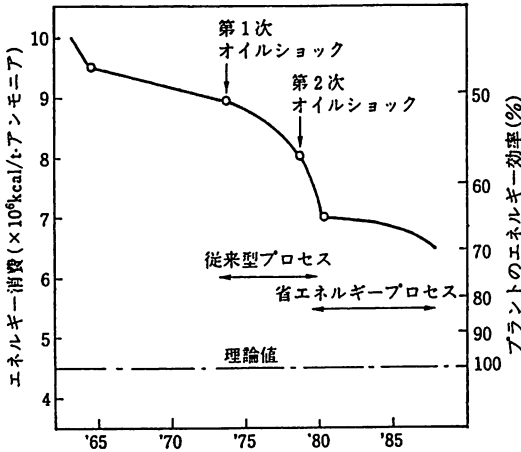
1992年11月10日、鉄触媒に代わり炭素担持ルテニウム触媒を用いた KAAP (Kellogg Advanced Ammonia Process) プロセスによる日産 600 t アンモニアの工場生産が、カナダの Ocelot アンモニア工場で始まった⁶⁾。低合成圧力 (従来法の 150-300 気圧に対し 70-105 気圧) 低入口~出口温度 (同 $370\sim 510^{\circ}\text{C}$ に対し $350\sim 470^{\circ}\text{C}$) で操作される。1913 年以来 80 年間君臨してきたハーバー・ボッシュ法の鉄触媒による合成技術にブレークスルーがおきた。反応は鉄触媒では N₂ の吸着律速であるが、ルテニウム触媒では H₂ が吸着律速であるから、ルテニウム触媒上でのアンモニア合成は H₂/N₂ 比 1~2 対 1 で行われる。工業用のルテニウム触媒はアルカリ金属を促進剤とし、触媒活性は在来の鉄触媒の 10 倍⁷⁾ であるから合成ループを低圧、高転化率で運転することができ、高圧循環の大きなエネルギーを節約することができる。

ガス化圧力が高圧化してきている折から、今後の技術蓄積によりガス圧縮機の不要なアンモニア合成工場が実現する日も遠くない。

12.2.4 省エネルギーへの努力⁸⁾

アンモニア製造プロセスは今後とも省資源、省エネルギーを目指して、研究開発が進められるであろう。1965 年以降、天然ガスを原料とするプラントのエネルギー消費量がいかに年々合理化されてきたかを第 12-2 図に示す。大型プラントが建設された当時の燃料消費量は天然ガスベースで $9.0\sim 9.5\times 10^6$ kcal/mt NH₃、ナフサベースで $10\sim 11\times 10^6$ kcal/mt NH₃ であったが、最近のプラントでは 6.5×10^6 kcal/mt NH₃ のプロセスが工業化されるに至った。

触媒活性の向上のための研究が進められており、1 次改質触媒では低水蒸気/炭素比改質、高圧改質を目指している。CO 転化触媒では高温転



第12-2図 天然ガスの原単位の変遷 (低位発熱量ベース)

化触媒を含め、より低温での活性を示す触媒の開発が進みつつある。アンモニア合成触媒もルテニウム触媒など第2世代の合成触媒が実用化されるころまで来た。

ガス精製プロセスについては省エネルギー面より、溶液の再生エネルギーの小さい物理吸収プロセスが採用される傾向にあるが、腐食防止剤の開発や廃熱の高度利用と相まって化学吸収プロセスも改良が進められている。

一方、石炭ガス化プロセスについては、石炭の原料としてこの利用時期が多少遠のいたため、開発速度が落ちているが、経済性を追及して高圧ガス化、高温ガス化による石炭処理量の向上、石炭のガス化へのドライフィードなどを狙った開発が進められている。

今後アンモニア製造プラント内で多く使用されている遠心圧縮機やその駆動機である水蒸気タービンの効率も一層改善されてゆくであろう。

13. おわりに

1913年ハーバー法の企業化以来、アンモニア合成工業は安価な水素の入手、これに伴う触媒開発の歴史であったといえよう。過去数十年に及ぶ技術開発の努力により、アンモニアは大量にかつ安

く供給できるようになった。

日本におけるアンモニア工業導入の歴史を限られた資料からまとめた。いまでは日本でアンモニア工業は斜陽化しているが、アンモニア工業こそは第1次大戦から第2次大戦にかけての最先端技術であり花型産業であった。進取の気性に富む何人も企業家が先を争って外国技術を導入、それに国産技術も加わって、わが国化学工業の発展に顕著な貢献をした。このような戦前の技術の基礎と蓄積があったからこそ、第2次大戦後の高度成長が達成されたといえよう。

アンモニア工業は日本でこそ斜陽化したとはいえ、世界的にみれば爆発的に増加する人口の食糧を確保するための成長産業である。成熟したかにも見えるアンモニア合成技術ではあるが、技術の進歩はこれからも限りなく続くことになろう。ハーバーの開発した鉄触媒が80年君臨してアンモニアが数100気圧で合成されてきたが、つい最近ルテニウム触媒が実用化されて数10気圧での合成が可能となった。理想は常温常圧合成であるが、そこに到達するにはまだまだ長い道のりを要することであろう。

浅学非才をも顧みず合成アンモニア工業の発展史をまとめてみたものの、幅も広く奥も深い工業史のごく表面を撫でたにすぎない。かつ資料入手の難易により記述に濃淡があることをお許しいただきたい。

本稿をまとめるに当たっては多方面の方々に多大のご協力を賜った。ここに一括して紙面を借りて厚く御礼申し上げたい。なかでも本稿執筆のきっかけを与えていただき、ケミカル・アブストラクトの膨大な文献の中からクロード、カザレー、ファウザー3氏の業績やその他の資料の入手に労を惜しまれなかった三井東洋化学・総合研究所・総務部長・篠崎由記氏の絶大なるご協力に対し、ここに特記して深甚の謝意を表したい。

9章

- 1) 日本化学会『化学便覧』応用編改訂2版丸善. 昭和48年11月10日, p. 58.
- 2) 日本化学会『化学便覧』応用化学編I. プロセス編, 丸善, 昭和61年. p. 129, 130.
- 3) 『三井東洋化学社史』三井東洋化学株式会社, 平成6年3月29日.

10章

- 1) 平凡社『世界大百科事典』㊟ 1981年4月20日 p. 105.
- 2) 日本硫安工業協会『日本硫安工業史』昭和43年7月10日, p. 175-180.
- 3) 日本硫安工業協会: 前出, p. 302.
- 4) 日本硫安工業協会: 硫安技術, Vol 2, No. 3, 通巻7号 (昭和24年8月1日) 技術分科会一週年記念特輯.
- 5) 化学工業技術懇話会編『化技懇—化学工業技術懇話会の記録』平成2年 (1990年), 3月6日, p. 56, pp. 66-69.
- 6) 日本硫安工業協会『日本硫安工業史』昭和43年7月10日, p. 633-4.
- 7) 三山雅敏: 化学経済. 1988年12月号, p. 59.
- 8) 朝比奈静夫: 化学経済. 1984年7月号, p. 13.

- 9) Max Appl "Modern Ammonia Technology" Nitrogen, January-February 1992, p. 2.

11章

- 1) 化学工学協会『化学プロセス集成』東京化学同人. 1970年, p. 32~35.
- 2) R. Habermehl: *Chem. Eng. Progr.*, 65, No. 16, 55 (1969).
- 3) 江崎正直: 化学装置. 1972年10月号, p. 25.
- 4) R. Habermehl: AIChE Ammonia Safety Symposium, 1979, p. 195.

12章

- 1) Max Appl: Nitrogen No. 195, January-February 1992, p. 2.
- 2) 日本化学会: 『化学便覧 応用化学編I プロセス編』丸善. 昭和61年, p. 123.
- 3) 日本化学会: 前出, p. 125.
- 4) 日本化学会: 前出, p. 128.
- 5) B. Wallace: AIChE Safety Meeting, 1988, August.
- 6) *Chemical Engineering*, March 1993, p. 19.
- 7) 秋鹿研一: ペトロテック 17 (2), 130 (1994).
- 8) 日本化学会: 前出, p. 129-130.

History of Ammonia Synthesis Technology

Masanao ESAKI

(President Kanto Natural Gas Development Co. Ltd.)

The ammonia synthesis technology of fixing nitrogen in the air was an innovational technology which was developed at the beginning of the twentieth century.

Since the industrial revolution, it had been of urgent necessity to secure foodstuffs to cope with the fast growth in population. It had been indispensable to use fertilizer to increase yields of agricultural products, and thus the uses of guano and Chile niter from South America had been increased. At the end of the nineteenth century, there had been anxiety about famine owing to the exhaustion of these natural resources. It was the ammonia synthesis technology of fixing nitrogen in the air which solved this big issue.

This technology is capable of manufactur-

ing fertilizer during peace time and gunpowder during wartime. It was industrialized by two Germans, Dr. Haber and Dr. Bosch, in 1913, just before the First World War, and became widely used around the world.

In Japan, various processes of the cradle based on this technology such as the Casale process, Claude process, Fauser process, NEC process and Uhde process were introduced reflecting the fertilizer boom after the First World War. Even though the ammonia synthesis technology was the first-ranked technology of those days, plants based on a wide variety of foreign and domestic processes numbered 16 in Japan before the Second World War, making Japan look like a world technology exhibition. The ammonia industry was surely

a pioneer in various chemical industries of Japan.

The stories of those birth pangs are interesting when studying the history of the ammonia synthesis technology. In this paper, the saga of plant construction in the cradle stage such as the progress of technology introduction, the criteria for selecting the plant site, and the construction and test running of the plant, are outlined.

In Japan, after reconstruction from the

damage of the Second World War, the ammonia synthesis industry strongly promoted rationalization by change of the gas sources, and was highlighted as an export industry. Then, larger plants were constructed by introducing new technology from abroad. However, since the export market has been promoting the self-support of ammonia, only the amount of ammonia corresponding to its domestic consumption is produced in Japan at present.

〔寄 書〕

プルシアンブルーの化学

日 吉 芳 朗*

1. はじめに

化学の歴史上の実験を化学教育に生かす試みの中で^{1,2)}、その発見にいくぶん特異なきっかけのあるプルシアンブルーに興味をもった^{3,4)}。そしてそれにかかわる再現実験などを検討しているうちに、本物質はシアンの化学の源流であるとともに、現在なお実験的、理論的研究が物理学や化学の重要な対象となっていることがわかった。これらのことからプルシアンブルーにまつわる展開が、化学教育ではファラデー (M. Faraday, 1791-1867) の有名な『ロウソクの科学』⁵⁾のロウソクにあたるのではないかと考え、ほぼ20年前にその可能性を指摘し⁶⁾、その一試案を示した⁷⁾。その後さらに実験的、文献的検討を加えているうちに、化学教材としてプルシアンブルーはたいへん魅力的な物質であることをますます強く認識した。以下にその発見にはじまりシアンの化学への発展の過程、並びにプルシアンブルーそのものの研究史を概観するとともに、それに基づく化学教材としての展開を述べる。なおプルシアンブルーの古典的研究はグメーリン (L. Gmelin, 1788-1853) のハンドブック⁸⁾ (以下グメーリンと略す) に詳しく、同書は研究のみならず化学教材の宝庫である。また現代的な研究は文献⁹⁾に興味深くまとめられている。

2. プルシアンブルーの発見からシアンの化学へ

プルシアンブルーの発見については現在入手できる著書や論文をみると多くの食い違いが認められる。著者は以下のように推定したが、これはプルシアンブルーの製法を公にしたラテン語の論文の英訳およびその脚注¹⁰⁾と、著名な化学史書であるコップ (H. Kopp, 1817-1892) の著書¹¹⁾などを基にしている。

1704年、ベルリン在住の染料業者のディースバッハ (Diesbach) が、コチニールの煮出汁から赤色染料を沈澱させるため、いつものようにアルカリを加えようとした。ところがたまたま手元になかったので、同室で研究していたディッペル (J. C. Dippel, 1673-1734) から借りたアルカリを用いたところ青色染料が沈澱してきた。ディッペルは、その原因についてそのアルカリがかつて動物油を精製するのに用いられた回収品であり、しかもそれが動物の血液からつくられていたことを思い出し、その青色染料ができたのは動物の血液に原因があると考えた。そして乾燥した牛の血液を、炭酸カリウムと焼いて水で浸出し、得られた溶液に硫酸第一鉄とミョウバン溶液を加えて沈澱させ、煮沸後、塩酸を加えて得る製法を発見した。その染料は1710年、*Miscell. Berolinensia* 無毒な染料として発表され、発売されたが、その発見者と製法は秘密にされた。その後、1724年、イギリスのウッドワード (J. Woodward) がその製法をドイツから入手し、ラテン語で *Phil. Trans.* に発表した。

一方、グメーリンには次の記述がある¹²⁾。

プルシアンブルーは1704年、ディースバッハにより硫酸第一鉄を含む溶液と炭酸カリウム溶液を混合したとき偶然に発見された。炭

1995年1月27日受理

* 石川県立輪島高等学校

酸カリウムはディッペルが別の目的 (明らかに鉄の存在下) のため有機性の窒素を含む物質と熱したのであり、当時未知の $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$ を含んでいたものであった。ディッペルは染料としてのプルシアンブルーの製造に対する条件を見出すのに成功した。その染料の発見は1710年、はじめて公にされたが、製法は記されなかった。(匿名1710年)。秘密のままであった製法をウッドワード (1724年/1725年) が新たに発見した。ここで発見年といわれる1704年については、さきの2書にはこの年号がみあたらないのが注目される。またパーティントン (J. R. Partington, 1886-1965) の著書¹³⁾をはじめとする多くの化学史書もこの年代を採用しているものの、その根拠は不明である。ただ一説¹⁴⁾によればディースバッハとディッペルが同時にベルリンにいたのは1704年から少なくとも3年の間に限定されるためだという。なお1710年はプルシアンブルーが雑誌に公にされた年であるから、これをもって発見年とする見方もできる。なおウッドワードが実験研究を行い製法を再発見したとは認めがたく、文献¹⁰⁾には「ウッドワードへのドイツからの通信」とある。

プルシアンブルー生成の原因を現代の知識に基づいて考えると以下のようなになる。まず動物質中に含まれている有機窒素化合物がアルカリにより分解されてシアン化物イオン CN^- を生ずる。次に硫酸第一鉄より生じた鉄 (II) イオン Fe^{2+} とシアン化物イオンとからフェロシアン化物イオン $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$ ができる。一方、鉄 (II) イオンの空気酸化で鉄 (III) イオン Fe^{3+} が生ずるため両者が反応してプルシアンブルー $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$ を生成する。この前半部分は現在、黄血塩の製造原理の一つとなっている。

プルシアンブルーの発見のきっかけを与えた動物油であるが、これは正しくは動物油の一部をな

すディッペルの動物油と考えられる。動物の骨、肉、血液、鹿角などを乾留すると黒色で流動性のある不快臭をもつ液体である動物油が得られる。これを蒸溜したときの低沸点部分で無色、透明、悪臭のある液体がディッペルの動物油である¹⁵⁾。その発見は1700年ともいわれるが、それ以前の1670年頃にイギリスの医者ゴッダード (J. Goddard, 1617-1674) が痛風の特效薬としてつくったゴッダードの滴剤というのがある。これについてはラウォールの『世界薬学史』に以下の記述がある¹⁶⁾。「人骨あるいは頭蓋骨をよく乾燥し、砕いてレトルトに入れて乾留すると、粘液、糖、油および揮発性塩が得られる。それを土中に埋めて3ヶ月間おき、さらに弱い火の上に2週間おいたあと油分を分離して貯える。」この滴剤は製造直後はシアン化物イオンを含むが、長期間放置して置くとこれが検出されなくなるため、土中に埋めるなどの操作はこのことを経験的に知ったものと思われる。なおまた『遠西医方名物考』にもディッペル油の名で神経病の諸症に用いられた薬剤の記述があり¹⁷⁾、「軽くて清らかな澄んでいて香のしみとおる油」とある。いずれにしてもここで強調しておきたいのはプルシアンブルーの発見のきっかけを与えたのはこのような薬剤ではないかということである。

プルシアンブルーがシアンの化学の源流とされるのは、この物質から図1のような一連の図式を描くことができるからである¹⁸⁾。まずプルシアンブルーを水酸化カリウムや炭酸カリウムで処理して黄血塩がつくられた。これは現在の黄血塩からプルシアンブルーがつくられることの逆である。そしてシェーレ (C. W. Scheele, 1742-1786) は1782年-83年の論文の中で、シアン化水素の発見とシアン化カリウムの合成を発表した。彼は黄血塩を酸で分解してシアン化水素を得たことで、プルシアンブルーの色の原因となる物質を取り出したと考えた。またこのカリウム塩のシアン化カリ

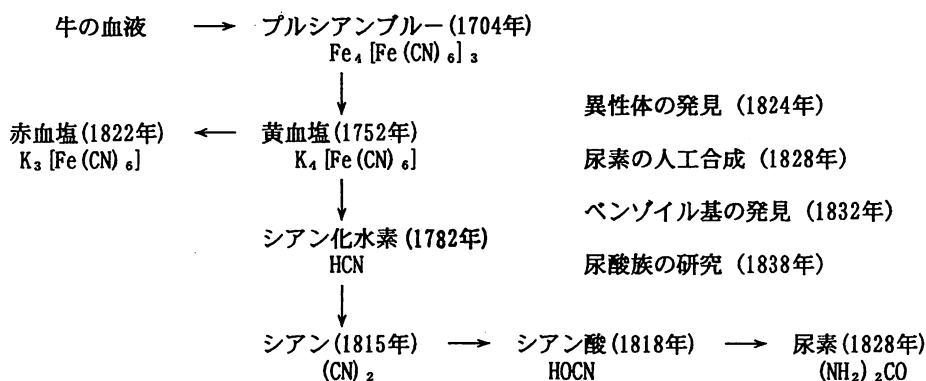


図1 プルシアンブルーに始まるシアンの化学

ウムを石墨と炭酸カリウムと塩化アンモニウムから合成したが、これこそ無機物質から有機物質の最初的人工合成と考えられる。ここで白色のシアン化カリウムがなぜ青酸カリと呼ばれるかの理由は明らかである。青色のプルシアンブルーがその源にあるためである。「シアン化水素はすでにベリマンにより発見され、シアン化カリウムもマルクグラフによってつくられていたかもしれない。」とする記述¹⁹⁾もあるが、系統的な研究を基にその製法と性質を明確に記したのはシェーレであり、その意味で両物質の発見者と呼ばれるのであろう。なお青酸 (prussic acid) すなわちシアン化水素の命名はギトン・ド・モルヴォー (L. B. Guyton de Morveau, 1737-1816) による。またシアン化水素中には酸素が含まれていないことを示したのはベルトレ (C. L. Berthollet, 1748-1822) である。また1802年にはポリム (Bolim) が苦扁桃中にシアン化水素が含まれていることを認めたが、これはその後さらに桃仁やバクチ葉中にも見い出された。なおシアン化水素の猛毒性を確認したのはその無水物を作ったフォン・イトナー (von Ittner) である。また1808年、ポレット (R. Porret) がプルシアンブルーとポリ硫化カリウム溶液を煮沸してチオシアン酸カリウムを得たことも注目される。1815年、ゲイ・リュサック (J. L. Gay-Lussac, 1778-1850) はシアン化水素の塩であるシアン化水銀 (II) を加熱してシア

ンを得て、彼はこれを最初の基の単離と認識した。そして1818年、ヴォークラン (L. N. Vauquelin, 1763-1829) はこのシアンをアルカリで処理してシアン酸を得た。

このシアン酸の研究が、1824年のヴェーラー (F. Wöhler, 1800-1882) とリービッヒ (J. von Liebig, 1803-1873) による異性体の発見や、1828年のヴェーラーの尿素の人工合成へと発展するのである。すなわちヴェーラーが研究していたシアン酸の銀塩とリービッヒが研究していた雷酸の銀塩がいずれも AgCNO という同じ組成をもつことがわかった。当時は同じ組成をもてば同じ物質であると考えられていたが、前者は穏やかな物質であるにもかかわらず、後者は激しい爆発性をもっていた。2人の研究に誤りはなく、ゲイ・リュサックはこれは元素の結合方法に原因があると考え、ベルセーリウス (J. J. Berzelius, 1779-1848) はこれを同分異性と呼んだ。これが現在の異性体のはじまりである。またヴェーラーはシアン酸アンモニウムを得るべく反応溶液を加熱したところ、シアン酸アンモニウムと同じ組成の尿素を得た。当時、尿素は哺乳動物の尿中に含まれていることがわかっており、動物の代謝産物として認識され、生命力がないと合成不可能と考えられていたので、実験室での合成は不可能事であるとされていた。ヴェーラー自身、生命力説を打破する実験との認識は乏しかったものの、この実験が

生命力説が崩れる一つのきっかけを与えたことは否定できない。

この異性体の発見をきっかけに親交を結んだヴェーラーとリービヒは、1832年、共同で「安息香酸の基についての研究²⁰⁾」を発表した。それは苦扁桃の種子から得られるアミグダリンという配糖体を分解して得られる苦扁桃油（ベンズアルデヒド）とシアン化水素に注目したもので、前者を酸化して得られる安息香酸はシアンから尿素に至る研究の延長線上に位置づけられる²¹⁾。彼らはこの研究でベンゾイル基と名づけた原子団を見出し、基の理論を展開したが、この研究は有機化学構造研究の先駆をなすものとして高く評価された。

また1838年、やはり2人が共同で行った「尿酸の本性に関する研究²²⁾」も尿素とともに人尿に含まれる尿酸に目を向けたことにはじまる。そしてニシキヘビの尿石から得られる尿酸を基にした研究は、古典有機化学研究の模範とされた。

一方、1822年、レオポルト・グメーリンが黄血塩を塩素で酸化して赤血塩をつくったが²³⁾、この化合物の発見は同年につくられたコバルト錯塩 $K_3[Co(CN)_6]$ とともに錯体化学の研究史上画期的な研究の一つといわれている²⁴⁾。そしてこの赤血塩と第一鉄イオンから得られるターンブルブルーとプルシアンブルーの同一性の問題は、つい30年前までは未確定のままであった。なお赤血塩の発見は黄血塩の発見と70年の差があることにも注意したい。

3. プルシアンブルーの古典的研究

18世紀の後半から20世紀の初頭にかけて、プルシアンブルーの製法、物理・化学的性質、その組成と構造などが詳しく研究された⁹⁾。

その製法のいくつかをみると、まず含窒素有機化合物やシアン化物イオンを含む物質と鉄あるいは鉄塩との反応がある。これはまさに発見時の方

法で、前述のように動物質をアルカリと焼くとシアン化物イオンが生成する。硫酸第一鉄と塩酸で処理する操作は現行の定性分析におけるシアン化物イオンの検出そのものである。そして現在は窒素の検出にもこの反応を用いるが、アルカリの炭酸カリウムのかわりに金属ナトリウムを用いたと考えればよい。また第二鉄イオンと黄血塩からのプルシアンブルーの生成はすでに1761年、マルクグラフ (A. S. Marggraf, 1709-1782) が記述しており、彼はこの反応を水中の鉄の検出に用いている。さらに第一鉄イオンと黄血塩から得られる白色沈澱を例えば過酸化水素水で酸化することでも得られる。現在工業的につくられているプルシアンブルーは原理的にはこの方法によっている。また第二鉄イオンと赤血塩を反応させて得られる褐色物質を例えば過酸化水素水で還元してもよいし、ベルリングリーンを還元しても得ることができる。さらに黄血塩や赤血塩を硫酸のような酸で分解しても生成してくる。

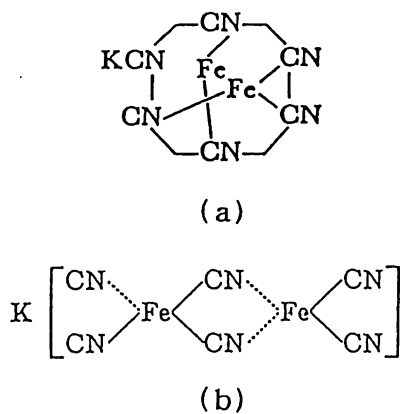
物理・化学的性質としてはプルシアンブルーは酸性や中性の状態ではたいへん安定であるが、アルカリ性の状態では速やかに分解される。例えば水酸化カリウム溶液を加えるとただちに褐色の水酸化鉄を沈澱し、黄血塩の溶液が得られる。マケ (P. J. Macquer, 1718-1784) はこの方法で黄血塩を得たわけである。ところでこのプルシアンブルーには水に不溶性と可溶性のものがある。黄血塩に過剰の第二鉄イオンを作用させると、不溶性プルシアンブルーが沈澱する。一方、逆に第二鉄イオンに過剰の黄血塩を作用させると可溶性プルシアンブルーが得られる。しかしこれは通常の意味で溶解しているのではなく、コロイドの状態になって分散している。このプルシアンブルーコロイドについては、コロイド化学の基礎を築いたとされるグレイアム (T. Graham, 1805-1869) の研究が現れる前の1847年、すでにセルミ (F. Selmi, 1817-1881) により詳しく研究されてい

た²⁵⁾。またプルシアンブルーの色調はそれが生成するときの条件により微妙に異なるといわれている。赤色や緑色をおびた青色、青色、藍色、紫色があり、特に1845年に見い出されたウィリアムソンヴァイオレットはまさに紫色あるいは紫青色を呈し、ブルーといわれるにはほど遠い。また通常はそのアルカリイオンはカリウムイオンであるが、このイオン種によっても異なる。そしてその粒子の大きさは極めて小さく約0.05 μmの平均直径をもち、大きな結晶を得ることは困難とされている。また熱には比較的安定で180℃までは数時間では分解しないが、空気中では140℃を越えると発火し、燻ようになる。

プルシアンブルーの組成についてはすでに1806年、プルースト(J. L. Proust, 1754-1826)がシアンと鉄から成り、現在の表現をすれば第一鉄イオンと第二鉄イオンを同量含んでいることを示したといわれる。しかしその化学量論的な組成についてはその後も様々な提案があり、一定の結論を得ることができず、一応の決定をみたのは20世紀に入ってからである。それは不溶性プルシアンブルーは $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$ を、可溶性プルシアンブルーは $\text{KFe}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ の組成式をもつが、これらに含まれる結晶水の数も特定できなかった。ところで先に述べたターンプルブルーであるが、グ

メーリンが赤血塩を発見したときはこれをプルシアンブルーと同じものと考えていた。しかし後にこの考えを変更したともいわれている。そのターンプルブルーに対して当時与えられた式は不溶性ターンプルブルーは $\text{KFeFe}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$ あるいは $\text{KFe}_2\text{Fe}_5[\text{Fe}(\text{CN})_6]_5$ であり、可溶性ターンプルブルーは可溶性プルシアンブルーと同じであったことは興味深い。一方、その立体構造であるが、その原料となる黄血塩や赤血塩の構造は1893年、ヴェルナー(A. Werner, 1866-1919)により八面体的であることが示唆されたもののプルシアンブルーは不明のままであった。しかし例えば1916年、ヴェルナーの説に批判的な立場から環状構造式が提出された²⁶⁾、また1927年、多核構造式も提案された²⁷⁾(図2)、後者は導電率と磁化率の測定から否定的な結論が下された²⁸⁾。

18-19世紀にかけてプルシアンブルーが精力的に研究された原因の一つはその顔料としての有用性にあったと思われる。歴史が示すところでは青色や紫色の顔料や染料は赤色や黄色のそれに比べてたいへん少なく、プルシアンブルーが発見される以前の青色顔料といえばウルトラマリン、すなわち群青が唯一のものであった。このものはラピス・ラズリ(青金石²⁹⁾)の粉末で、アフガニスタン、インド、中国などから海を渡ってヨーロッパへ持ち込まれたのでこの名がつけられ、当時は金に匹敵する価格で取り引きされたといわれる³⁰⁾。そのためそれにかわる青色顔料が動物の血液から得られたというので人々が注目したのも当然である。化学的には19世紀の中頃からすでに述べたように分析化学に広く利用されたし、青写真にも用いられた。また変わった応用としてはワインの味を乱す過剰の鉄を黄血塩を用いてプルシアンブルーとして沈澱させ除去している。それにブドウ畑にヘリコプターで殺虫剤を散布するときプルシアンブルーを混入して散布場所を知る目安にしているともいう。そのうえグラムあたり50-100 m²



(a)と多核構造式(b)

図2 プルシアンブルーの環状構造式

と表面積が大きいと、不純物除去を目的とした吸着剤としても使われている。現在、プルシアンブルーの最大の需要は新聞の黒インキで、カーボンブラックにプルシアンブルーを混入することで読みやすい黒としている。またカーボン紙もプルシアンブルーであることは意外に知られていない。広い意味では現在プルシアンブルーはフタロシアニンブルー³¹⁾にとってかわられているが、この顔料の発見者の名前が同じディースバッハ (H. de Diesbach) というのも不思議な偶然である。

4. プルシアンブルーの現代的研究

古典的とか現代的とかの区別はもちろんはっきりしたものではないが、プルシアンブルー研究の一つのキーポイントとなったのが1936年、ケギン (J. F. Keggin) らにより行われた可溶性プルシアンブルーの X 線構造解析と考えられる³²⁾。そこで明らかになったことはプルシアンブルーは第一鉄イオンと第二鉄イオンが塩化ナトリウム型に配列した重合構造だということである (図 3)。このときシアン化物イオンは両鉄イオンを結ぶ直線上にあるとしているものの、いずれの鉄イオンが炭素原子と窒素原子と結合しているのかはこの論文からは読み取れない。実際、炭素と窒素の両者を X 線により識別することは困難³³⁾との見方も

ある。一方、カリウムイオンと水分子は一つおきの小立方体の中心にある。このとき同時に白色のベルリンホワイトや緑色のベルリングリートの構造も調べられたが、前者はすべての鉄が第一鉄イオンであり、後者では第二鉄イオンであって、後者にはカリウムイオンは存在しない。しかし不溶性プルシアンブルーの構造は明らかにされなかった。一方、ポーリング (L. Pauling, 1901-1994) は1939年、彼の有名な著書『化学結合論³⁴⁾』の中で「磁氣的測定値から鉄原子の半分はほとんど完全な共有結合であることがわかるが (これは恐らく隣にあるシアン基の炭素原子に結合しているものであろう) 残り半分の鉄原子はイオン結合をつくるであろう。」とし、その脚注で「その数値からは共有結合で結ばれている鉄が 2 価であるか 3 価であるかはわからない。」と述べている。

当時のプルシアンブルーの問題点の一つに、第二鉄イオンがフェロシアン化物イオンに結合しているのか、第一鉄イオンがフェリシアン化物イオンに結合しているのか、あるいはもはや第一鉄イオンや第二鉄イオンとして識別されなくなっているかが議論されていた。これに対して1954年、数種類の金属フェロシアン化物とフェリシアン化物の赤外線吸収スペクトルが測定され、このものとプルシアンブルーのスペクトルが比較された³⁵⁾。一般にフェロシアン化物は $2,075\text{ cm}^{-1}$ 付近に強い吸収極大を、フェリシアン化物は $2,150\text{ cm}^{-1}$ 付近に弱い吸収極大をもつ。一方、プルシアンブルーは $2,085\text{ cm}^{-1}$ に極大をもち、フェリシアン化物イオンの存在が認められなかったことからフェロシアン化物と推定された。このことはまた第一鉄イオンがシアン化物イオンの炭素原子と結合していることを示唆している。またその青色の原因であるが、1962年、配位子場理論に基づいて議論され³⁶⁾、第一鉄イオンの 1 個の電子が第二鉄イオンへ移る電荷移動吸収であることが示された。すなわちプルシアンブルーは 680 nm に吸収

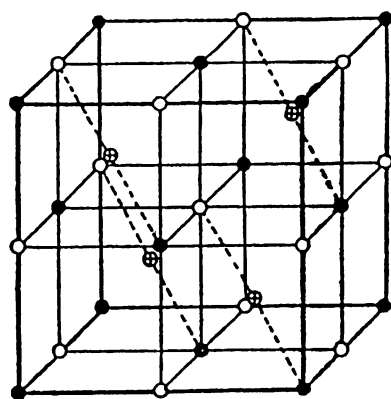


図 3 可溶性プルシアンブルーの構造
●: Fe³⁺, ○: Fe²⁺, ⊕: K⁺

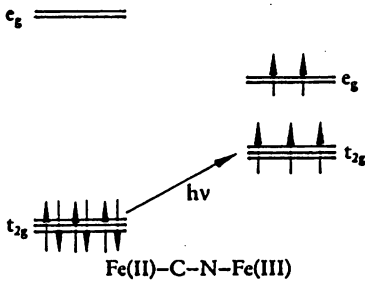


図4 プルシアンブルーの電子遷移

極大をもつが、図4で示されるように⁹⁾フェロシアン化物イオンは低スピン型配置を、第二鉄イオンは高スピン型配置をとり、この間の遷移ということになる。ここで基底状態では光電子は大部分(99%)がフェロシアン化物イオンにあるという。そのため前者には不対電子はないが、後者には5個の不対電子があることになる。実際、可溶性プルシアンブルーはその1分子あたり5.72 B. M.の磁気モーメントをもつことがわかっている。このことは5個の不対電子の存在を示唆している。なおまたここで注意すべきことはプルシアンブルーは一つの元素を二つの異なった酸化状態で含

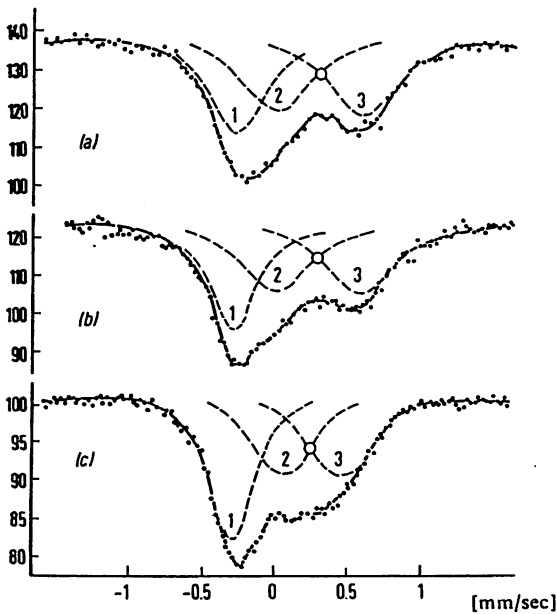


図5 不溶性プルシアンブルー(a), ターンブルブルー(b), 可溶性プルシアンブルー(c)のメスバウアースペクトル (143K)

む、「混合原子価化合物」だということである³⁷⁾。この場合第一鉄イオンと第二鉄イオンの化学的環境が似ており、比較的小さなエネルギー障壁をこえれば $\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+}$ から $\text{Fe}^{3+}\text{Fe}^{2+}$ への転換が可能であるが、 Fe^{2+} と Fe^{3+} は明確に区別されるのが特徴である。この種の結晶性化合物は一般に半導体としてふるまい、例えば黒雲母などもこれに属する。プルシアンブルーも真性半導体で、電気抵抗は室温で約 $10^7 \Omega \cdot \text{cm}$ である。

1963年、ドイツとオーストラリアでプルシアンブルーとターンブルブルーのメスバウアースペクトルが測定され^{38,39)}、不溶性、可溶性、いずれのプルシアンブルーもターンブルブルーと同じスペクトルをもつことが示された。図5は不溶性、可溶性プルシアンブルーとターンブルブルーのメスバウアースペクトルである⁴⁰⁾。いずれも基本的には同じスペクトルを示し、曲線1はフェロシアン化物イオンの特性を示し、一方、曲線2と3からなるスペクトルは第二鉄イオンに特有なシフトをもつ四極子分裂をしたピーク (0.5 mm/sec) に相当する。なおまた曲線1と(2+3)の下の面積の割合は正確に3:4であり、 $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$ の式に一致する。また可溶性プルシアンブルーのその比は1:1で同様に $\text{KFe}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ と一致する。もし第一鉄イオンが存在すると1.5 mm/secにピークが存在するはずである。このことから赤血塩溶液と過剰の第一鉄塩の溶液を混合すると同時に $\text{Fe}^{2+} + [\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-} \rightarrow \text{Fe}^{3+} + [\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$ が起こると考えられ、このことは標準電極電位からも期待されるものである⁴¹⁾。これより一時的にいわれた $\text{Fe}^{2+} + [\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-} \rightleftharpoons \text{Fe}^{3+} + [\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$ のような振動原子価説や $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-} \leftrightarrow [\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$ の共鳴説は明確に否定された。そしてまたこのことは第一鉄イオンはシアン化物イオンの炭素と共有結合的に結合しており、第二鉄イオンは窒素原子とイオン結合的に結合していることを示唆している。またその後に行われた研究⁴²⁾で

も 1.6-300 K の範囲で 3 者は同じスペクトルを与え、かつ広い速度範囲のスペクトルの観察からも第二鉄イオンの磁気的分裂とフェロシアン化物イオンの鉄のピークが認められた。

1971年、プルシアンブルー中の鉄の挙動が電子分光法 (ESCA) で調べられた⁴³⁾。その結果、6 個の炭素原子に取り囲まれている低スピンの鉄は不対電子をもたない共有結合性の鉄の第一鉄イオンであり、6 個の窒素原子で取り囲まれている高スピンの鉄は不対電子 5 個をもつイオン性の第二鉄イオンであることが明らかとなり、これまでの分光学的研究から得られた結論をより確かなものとした。

さて再びその構造に戻ることにする。近年になりようやく不溶性プルシアンブルーの X 線構造解析が行われた^{44,45)}。均一の結晶を得ることがいかに困難であったかが推測されるが、このときでも 0.1 mm 程度の結晶が得られたに過ぎなかった。ふりかえてみるに可溶性プルシアンブルーの組成式では第二鉄イオンと第一鉄イオンの比は 1:1 になっており、これは X 線構造解析の結果と一致する。ところが不溶性プルシアンブルーではその比は 4:3 であり、第二鉄イオンの方が多く、この構造モデルをそのままあてはめることはできない。これに対する一つのモデルとして図 6 のよ

うな構造が提唱された。それはこの格子の中央の第一鉄イオンが一つ欠落するものである。そうすると鉄イオンの比は 4:3 となる。そして第一鉄イオンに配位していたシアン化物イオンを除き、その部分へ 6 個の水分子をおき、これを第二鉄イオンに配位させ、なおかつこの水分子に 8-10 個の水分子を水素結合させると水分子は 14-16 個となる。そうすると現在正しいとされている組成式中の結晶水である 14-16 個の水分子には、配位結合したものと、いわゆるゼオライト水と呼ばれる 2 種類があることになる。これは通常の水を重水で置換し、これの中性子線構造解析を行うことで決定された⁴⁶⁾。なお $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ の $x = 14$ として同種の鉄イオン間の距離は 1.0179 nm、密度は 1.81 g/cm³ である。

以上述べてきたように現代的研究の特徴の一つは、物理化学的手法による構造研究にあるといえる。その意味では逆にプルシアンブルーは機器分析の効力を試すテスト物質として適していたということもできるし、今後ともその可能性を大いにもつといわれている⁴⁷⁾。優れた顔料として実用面で人間社会に貢献したプルシアンブルーは、発見後まもなく 300 年になるとうする現在、物理学や化学の研究に別の重要性を担った物質に生まれ変わっている。

5. 化学教材としてのプルシアンブルー

プルシアンブルーの発見から始まり現代の研究に至るまでの過程にみられる実験とその解説は、化学研究の歴史を反映しており、化学教材としても優れた素材と考えられる。以下にそのカリキュラムの概要を記すが、そこでの番号は表 1 のものである。

1) プルシアンブルー発見のきっかけとなったコチニールは、メキシコ原産の昆虫でサボテンの葉の上で生育しており、その雌虫の体内に赤色色素が含まれている。16 世紀にヨーロッパへ持ち込

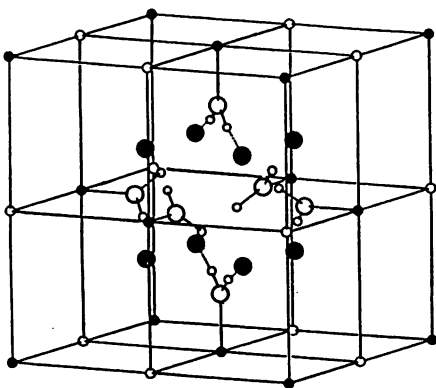


図 6 不溶性プルシアンブルーの構造
 ●: Fe³⁺, ○: Fe²⁺, ○ ○: H₂O (配位水),
 ●: H₂O (ゼオライト水)

表1 プルシアンブルーにかかわる実験と解説

1) コチニールで布を染める	14) 青写真をつくる
2) 牛の血液からディッペルの動物油をつくる	15) プルシアンブルーを分析化学に応用する
3) 牛の血液からプルシアンブルーをつくる	16) プルシアンブルーの構造についての古典的な諸説の説明
4) プルシアンブルーから黄血塩をつくる	17) プルシアンブルーのX線構造解析や中性子線構造解析などによる構造研究の解説
5) 黄血塩からシアン化水素をつくる	18) プルシアンブルーの赤外線吸収スペクトルや電子分光法などから得られる知見
6) シアン化カリウムを合成する	19) 結晶場理論や分子軌道理論によるプルシアンブルーの青色の説明
7) 黄血塩から赤血塩をつくる	20) プルシアンブルーとターンプルブルーとの同一性の問題とメスバウアー分光学を用いての研究の解説
8) シアン酸銀と雷酸銀を合成しその性質を比較する	21) 錯体化学でのシアン化物イオンの意義
9) 尿素を合成し、人尿より得られたものと比較する	22) シアン化物イオンの生命の起源における役割
10) 杏仁よりベンズアルデヒドを得て、その関連化合物を合成する	
11) ニシキヘビの尿石から尿酸を取り出す	
12) いろいろな方法でプルシアンブルーとターンプルブルーをつくる	
13) プルシアンブルーの物理・化学的性質を調べる	

まれた。この色素を水で煮出して酸、アルカリ、塩化スズなどの塩類溶液を作用させてみる。またこの色を布に染めつけることもできる⁴⁸⁾。

2) ディッペルの動物油と思われる液体をつくることできる⁴⁹⁾。まず牛の乾燥血を乾留して赤褐色の動物油をつくる。これを蒸留してその低沸点部分を集めると無色透明の強い異臭をもった液体が得られる。これがディッペルの動物油と考えられ、シアン化物イオンを含んでおり、このことがプルシアンブルーが発見された原因となる。

3) 牛の乾燥血を炭酸カリウムと焼き、その残渣を水で抽出するとその中にシアン化カリウムが含まれている。これを硫酸第一鉄と塩酸で処理すると濃青色のプルシアンブルーが得られる⁵⁰⁾。当初用いられたミョウバンはその後不要であることがわかった。ここでは必ずしも牛の血液である必要はなく乾燥した動物質であればよい。牛の血液の入手は難しいので、現在、牛のレバーで代用している⁵¹⁾。その他に魚や人間の乾燥血、人間の毛髪、爪、角化した足の裏の皮膚、鰹節、それに生成過程を考えると味の素でもよい。この実験も強い異臭を伴うが、できてくるプルシアンブルーのみごとさから生徒諸君には好評である。

4) プルシアンブルーから黄血塩をつくるのは

すでに述べた。

5) 黄血塩からシアン化水素をつくる実験は、生じたシアン化水素を単離するわけにはいかない。もちろん実験はドラフトの中で行うが、これを水酸化カリウム溶液に吸収させ、最終的にはプルシアンブルーに戻して確認している。

6) シアン化カリウムの合成は、活性炭と炭酸カリウムと塩化アンモニウムを強熱するとできる。活性炭よりは石墨の方が好ましいが、このときはマッフルなどを用いて高温にする必要がある。

7) レオポルト・グメーリンが行った方法で赤血塩を合成してみる⁵²⁾。黄血塩の溶液に適量の塩素を通すとできるが、このタイミングが難しく、少ないと未反応の黄血塩が残り、過剰になるとベルリングリーンができてしまう。現在は反応溶液に塩酸を加えて反応を安定させている。なおグメーリンの論文⁵³⁾は現在なお化学研究の模範とすべき内容を含んでおり、一読の価値があると思われる。

8) シアン酸銀と雷酸銀の合成は容易であるが、特に雷酸銀は興味深く、硝酸銀を濃硝酸に溶かしておき、これにエタノールを加えるとできてくる。激しい反応が起こるし、生成した雷酸銀を

火の中に入れると大きな音をたてて爆発する。ただ両者の元素分析ができないのが難点である。

9) 尿素の人工合成はヴェーラーが行った2通りの方法で行っている。シアン酸鉛と濃アンモニア水、シアン酸銀と塩化アンモニウムからである。現在よく行われているシアン酸カリウムと硫酸アンモニウムからの方法は後世に見い出されたものである。この人工尿素と人尿から得られた尿素を比較してみるのも教育的には有意義である。ただ人尿から尿素を得るのはそれを蒸発させる必要があり、いささか臭いが強いことから生理的嫌悪感を示す生徒諸君もいる。しかしきれいな結晶として得ることができる。

10) ヴェーラーとリービヒがベンゾイル基を発見したときの実験の再現である。彼らは苦扁桃からベンズアルデヒドを得たが、このものの日本での入手は困難なためアンズの種子である杏仁を用いた。この杏仁をすりばちでどろどろにすりつぶし、これから脂肪油を除いた残渣を水蒸気蒸溜し、留出液をエーテル抽出すると無色、透明で芳香をもったベンズアルデヒドを得ることができる。このベンズアルデヒドから種々の化合物をつくることになるが、ここでも元素分析ができないのは残念である。

11) 上の研究と並び高く評価された研究が、1838年に行われた尿酸族の研究である。ここでの尿酸の原料がニシキヘビの尿石であったことが彼らの往復書簡⁵⁴⁾からもわかる。この尿石の入手には苦労したが、最終的には群馬県の赤城山の麓にある日本蛇族学術研究所のご好意でいただくことができた。ちなみに尿石の90%以上が尿酸であることを見出したのはプラウト (W. Prout, 1785-1850) であり、彼はまた原子の水素起源説であるプラウトの仮説の提唱や尿素の正しい元素分析を行ったことでも知られている。また尿酸は濃硝酸とアンモニア水で赤紫色のムレキシンドを生ずるが、色調は貝紫に似ている。そのためムレキシンド

の名は貝紫を生ずるアクキガイ *murex* に由来しているのは興味深い。

12) プルシアンブルーそのものを先に述べたような様々な方法でつくり、その色調や溶解性を比較する。特にウィリアムソンヴァイオレットは興味深く、例えば濃塩酸中に塩化第二鉄と黄血塩の溶液を同時に注ぎ込むとでき、まさに紫色という表現があてはまる。この色調の差の原因の一つは粒子の大きさによるものと考えられる。

13) 得られたプルシアンブルーの性質を調べる。酸、アルカリ、塩類溶液との反応である。濃塩酸には溶けて黄色を呈し、水で薄めると再び青色のプルシアンブルーが析出してくる。シュウ酸溶液にも溶けて青色溶液となる。しかしアルカリでは速やかに分解されてしまう。また例えば炭酸アンモニウム溶液に溶けて紫色を呈するが、やがて脱色されてしまう。プルシアンブルーコロイドをつくり⁵⁵⁾、コロイドの一般的な性質を確かめることができる。

14) プルシアンブルーを応用して青写真をつくることもできる。これは天文学者のハーシェル (J. F. W. Herschel, 1792-1871) が1842年に創始したといわれている。

15) 分析化学での応用はすでに述べた。

16) その2例についてはすでに述べた。

17-20) このような歴史をもつプルシアンブルーを現在の観点から眺めてみることで一つのしめをすることができる。すなわちすでに述べた実験的、理論的に得られた結果を解説することで、現代的な意味でのプルシアンブルー像にせまることである。それは X 線構造解析や中性子線構造解析などによる構造研究であり、赤外線吸収スペクトル、メスバウアー分光法、電子分光法などによる知見である。さらに結晶場理論や分子軌道理論によるその色の説明もまた長年の課題の一つの解決である。

21-22) ここではふれることができなかった

が、シアン化物イオンの錯体化学での意義や生命の起源における役割⁵⁶⁾も興味深いことである。

今後の教材化の課題について若干ふれることにする。プルシアンブルーの良好な解析データを得るためにはある大きさの単結晶をつくる必要があるであった。ごく少量の塩化第二鉄とフェロシアン酸⁵⁷⁾を濃塩酸に溶かし、極めてゆっくりと水分を蒸発させると8-10週間で一辺が0.1 mm程度の結晶が得られ、このものの色は黒色であるという⁵⁸⁾。また第一鉄イオンと赤血塩からターンプルブルーをつくる時電子の移動がみられ、第二鉄イオンが生ずるのをチオシアン酸カリウムを加えておくと赤色を呈することで認めることができるといわれる⁵⁹⁾。さらにまたプルシアンブルーの表面積が極めて大きいことからさらに一般的な吸着剤として利用できる可能性がある⁶⁰⁾。

6. おわりに

はじめにも述べたようにこのプルシアンブルーは化学教育的に『ロウソクの科学』のロウソクになりうる資格をもっていると思われる。ところが『ロウソクの科学』の著者ファラデーは19世紀を代表する科学者の一人であり、彼の語る言葉の一語一語に科学がにじみ出ているといわれることを思うと、筆者はその才能にいささか絶望感を抱えてしまう。しかしまた一方において筆者なりの『プルシアンブルーの化学』あるいは『絵の具の青の物語』があってもよいのではないかと考えるようになった。そのカリキュラムは化学の歴史上の実験を土台におき、生徒諸君自らが再現実験を楽しみながら、先人の研究をしのびつつ、その中に自分たちの研究課題を探すところに特徴をもつ。

ところでプルシアンブルーはたいへん多くの名前をもっていることに注意したい^{61,62)}。プルシアンブルー、ベルリン青はこの顔料が発見された地名に由来している。パリ青はそこで大量に生産されたところからきたものである。さらに中国青、

ミロリブルー、モンティールブルー、ウィリアムソンヴァイオレットの名もあり、特にウィリアムソンヴァイオレットはすでにみたようにそのつくり方により紫色を帯びるからである。ミロリ(A. Milori)、モンティール(J. H. Monthiers)、ウィリアムソン(A. W. Williamson)はその顔料を改良したり研究した人の名前である。ほかにガスブルー、ブロンズブルー、スチールブルー、アンチモンブルーなど多彩である。日本では普通、紺青と呼ばれているが、古くはべろ藍、ヘロリンともいわれ、この名はベルリンに由来している。

このようにみえてみるとプルシアンブルーが顔料として人間社会に果たしてきた重要さをかいまみる思いがするし、そこにはたくさんのドラマがあったはずである^{14,63)}。ヨーロッパではモネ(C. Monet, 1840-1926)、ゴッホ(V. van Gogh, 1853-1890)、セザンヌ(P. Cézanne, 1839-1906)もプルシアンブルーを愛したといわれ、20世紀に入ってからピカソ(P. R. y Picasso, 1881-1973)は盛んに用いたという。日本では発見されて60年ばかりたった1763年、平賀源内(1726-1779)がその著書に記し、1800年代に入ってから世間への広がりを見せたという⁶⁴⁾。葛飾北斎(1760-1849)の『富嶽三十六景』、その後の安藤広重(1797-1858)の『東海道五十三次』にも用いられており、彼らの絵はプルシアンブルーを抜きにして語るができない。さらにまた1880年代にイタリアでイカのスミからプルシアンブルーをつくり、これを用いて羊毛を青色に染色したという記録⁶⁵⁾もあり、なかなか奥の深い顔料のようである。化学とともにこの方面からのアプローチも欠くことができないであろう。

謝辞

本稿を記すにあたり立教大学中原勝儼名誉教授、金沢大学阪上正信名誉教授、姫路工業大学理学部中辻慎一助教授からは多大な御指導をいただ

いた。また三共株式会社医薬開発部大島武史博士、金沢大学理学部福島紀子氏、石川県立中央高等学校茶谷丹久教諭には文献の収集に御協力をいただいた。ここに深く感謝の意を表する。

なお本稿の基本的な部分は1994年度化学史学会年会で講演した。

文献と注

- 1) 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.
- 2) 阪上正信, 米田昭二郎, 日吉芳朗『たのしい化学実験—化学史でたどる—』(講談社, 1984).
- 3) 日吉芳朗「プルシアンブルーをきずなにした諸実験—化学史と化学教育—」『化学教育』23 (1975), 491-495.
- 4) 日吉芳朗「プルシアンブルーの源流をたずねる」『本誌』1983, 56-60.
- 5) 原著名は*The Chemical History of a Candle*で以下の邦訳がある。矢島祐利訳『ロウソクの科学』(岩波書店, 1933); 三石 巖訳(角川書店, 1962); 吉田光邦訳(講談社, 1972); 日下実男訳(旺文社, 1974); 白井俊明訳『ろうそく物語』(法政大学出版局, 1974).
- 6) 日吉芳朗「プルシアンブルーの源流をたずねて」『化学史研究会1976年度総会プログラム講演要旨』1976, 8.
- 7) 日吉芳朗「プルシアンブルーと化学教育」『日本理化学協会研究紀要』10 (1979), 68-69.
- 8) R. J. Meyer, *Gmelins Handbuch der Anorganischen Chemie*, 8 Aufl. Eisen B (Deutschen Chemischen Gesellschaft, 1932), pp. 670-723.
- 9) A. Ludi, 'Berliner Blau', *Chem, unserer Zeit*, 22 (1988) : 123-127.
- 10) J. Woodward, 'Method of Preparing Prussian Blue', *Phil. Trans., (abridged)*, 7 (1809) : 4-6.
- 11) H. Kopp, *Geschichte der Chemie*, Bd. 4 (Braunschweig, 1884), pp. 369-370.
- 12) 文献8), p. 671.
- 13) J. R. Partington, *A History of Chemistry*, Vol. 3, (Macmillan and Co, Ltd., 1962), p. 51.
- 14) 「プルシアン・ブルーの道②」『日本経済新聞』1990. 6. 9.
- 15) H. v. Fehling, *Neues Handwörterbuch der Chemie* (Braunschweig, 1871), p. 728.
- 16) チャールス・エイチ・ラウウォール著, 日野 巖, 久保寺十四夫訳『世界薬学史』(厚生閣書店, 1932), 265頁.
- 17) 宇田川榛斎訳述, 宇田川榕菴校補『遠西医方名物考』(須原屋伊八, 1822), 頁不明.
- 18) 田沢康夫「ベルツェリウスとウェーラー (II) —プロメテウスの忍苦—」『化学の領域』13 (1959), 738-748.
- 19) F. Ferchl, A. Süssenguth 著, 原野太郎訳『化学技術史』(慶応書房, 1942), 191頁.
- 20) F. Wöhler, J. Liebig, 'Untersuchungen über das Radikal der Benzoensäure', *Ann.*, 3 (1832) : 249-287. O. T. Benfey, *Classics in the Theory of Chemical Combination* (Dover Publication, Inc. 1963), pp. 15-39. に全文の英訳がある.
- 21) 田中 実『化学者リービヒ』(岩波書店, 1951), 115-117頁.
- 22) 山岡 望『化学史談 VII—リービヒ・ウェーラー往復書簡 (ギーゼン時代)—』(内田老鶴圃新社, 1966), 158頁. に論文の内容要目が記されている.
- 23) 日吉芳朗, 中辻慎一「赤血塩の発見をめぐる」『本誌』1988, 112-118.
- 24) G. B. Kauffman, *Inorganic Coordination Compounds* (Heyden & Son Ltd, 1981), pp. 61-62, 171.
- 25) F. Selmi, 'Studien über die Pseudolösungen des Berlinerblaus und den zerstörenden Einfluß von Salzlösungen auf dieselben', *Ostwald's Klassiker*, 217 (1926) : pp. 147-167. 原論文の出版は1847年.
- 26) J. A. N. Friend, 'A Cyclic Theory of the Constitution of Metalamines and of Ferro- and Ferri-Cyanides', *J. Chem. Soc.*, 109 (1916) : 715-722. G. B. Kauffman, *Classics in Coordination Chemistry Part 3*, (Dover Publication, Inc., 1978), pp. 45-51, 60-73. に解説と全文がある.
- 27) H. von Reihlen, W. Zimmermann, 'Über das Berlinerblau und die komplexen Metallcyanide', *Ann.* 451 (1927) : 75-108.
- 28) D. Davidson, L. A. Welo, 'The Nature of Prussian Blue', *J. Phys. Chem.*, 32 (1928) : 1191-1196.
- 29) 組成は一定していないが, その一つとして $\text{Na}_6\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{S}_4$ がある. プルシアンブルーとは逆に酸に弱く, 耐アルカリ性である.
- 30) 坐隠子「Gmelin 家の人びと (続)」『現代化学』No. 50 (1975), 62-67, 66頁.
- 31) 西 久夫『色素の化学—インジゴからフタロシアニンまで—』(共立出版, 1985), 77-78頁.
- 32) J. F. Keggin, F. D. Milles, 'Structures and Formulæ of the Prussian Blues and Related

- Compounds', *Nature*, **137** (1936) : 577-578.
- 33) 佐野博敏『メスバウアー分光学—その化学への応用—』(講談社, 1972), 153, 155頁.
- 34) L. Pauling 著, 小泉正夫訳『化学結合論』(共立出版, 1942), 130頁. 原著の出版は1939年.
- 35) G. Emschwiller, 'Spectres Infrarouges de Ferrocyanures et de Ferricyanures et Constitution des Bleus de Prusse', *Compt. Rend.*, **238** (1954) : 1414-1416.
- 36) M. B. Robin, 'The Color and Electronic Configurations of Prussian Blue', *Inorg. Chem.*, **1** (1962) : 337-342.
- 37) 文献 9), pp. 124-125.
- 38) W. Kerler, *et al.*, 'Untersuchung komplexer und kovalenter Eisenverbindungen mit Hilfe des Mößbauer-Effects von Fe^{57} ', *Z. Physik*, **173** (1963) : 321-346, pp. 333-336.
- 39) J. F. Duncan, P. W. R. Wigley, 'The Electronic Structure of the Iron Atoms in Complex Iron Cyanides', *J. Chem. Soc.*, **1963** ; 1120-1125, p. 1124.
- 40) D. E. Fluck, W. Kerler, W. Neuwirth, 'The Mössbauer Effect and its Significance in Chemistry', *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.*, **2** (1963) : 277-287, pp. 283-284.
- 41) $\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-} + e^- = \text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$ の標準電極電位は +0.36 V である.
- 42) A. Ito, M. Suenaga, K. Ōno, 'Mössbauer Study of Soluble Prussian Blue, Insoluble Prussian Blue, and Turnbull's Blue', *J. Chem. Phys.*, **48** (1968) : 3597-3599.
- 43) J. K. Wertheim, A. Rosencwaig, 'Characterization of Inequivalent Iron Sites in Prussian Blue by Photoelectron Spectroscopy', *J. Chem. Phys.*, **54** (1971) : 3235-3237.
- 44) H. J. Buser, A. Ludi, 'Single-crystal Study of Prussian Blue : $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ ', *J. Chem. Soc. Chem. Comm.*, **1972** : 1299.
- 45) H. J. Buser, *et al.*, 'The Crystal Structure of Prussian Blue : $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ ', *Inorg. Chem.*, **16** (1977) : 2704-2710.
- 46) F. Herren, *et al.*, 'Neutron Diffraction Study of Prussian Blue : $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$, Location of Water Molecules and Long-Range Magnetic Order', *Inorg. Chem.*, **19** (1980) : 956-959.
- 47) 文献 9), p. 127.
- 48) 文献 2), 表 1 の 1), 3), 8), 9), 10), 11), 14) の実験を含む.
- 49) 文献 4), 57-58頁.
- 50) 文献 3), 表 1 の 3), 4), 5), 6), 8), 9) の実験を含む.
- 51) 日吉芳朗「乾燥動物質を用いてプルシアンブルーをつくる」『化学と教育』**43** (1995), 216.
- 52) 文献 23), 113-114頁.
- 53) L. Gmelin, 'Ueber ein besonderes Cyaneisenkalium und über eine neue Reihe von blausauren Eisensalzen', *Schweiggers J. Chem. Phys.*, **34** (1822) : 325-346.
- 54) 文献 22), 23, 27頁.
- 55) 千谷利三, 白井俊明監修『理科実験大事典化学編』(全教図, 1981), 98頁.
- 56) 例えば M. Calvin 著, 江上不二夫, 他訳『化学進化-宇宙における生命の起源への分子進化-』(東京化学同人, 1970).
- 57) $\text{H}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$. 黄血塩溶液に塩酸を加えると容易に得られる.
- 58) 文献 45), p. 2705.
- 59) A. Simon, W. Haufe, 'Über aktives Eisen—Die Berlinerblaureaktion', *Z. anorg. Chem.*, **230** (1936) : 148-159, p. 149.
- 60) 文献 9), p. 124.
- 61) 文献 8), p. 670.
- 62) 77510 C. I. Pigment Blue 27.
- 63) 「プルシャン・ブルーの道①, ③-⑤」『日本経済新聞』**1900. 6. 2, 16, 23, 30**.
- 64) 宗田 一『渡来薬の文化誌—オランダ船が運んだ洋薬—』(八坂書房, 1993), 141頁.
- 65) I. I. Ziderman, 'Blue Thread of the Tzitzit : Was the Ancient Dye a Prussian Blue or Tyrian Purple', *J. Soc. Dyers Col.*, **97** (1981) : 362-364, p. 364.

Prussian Blue—its Historical Studies and Educational Application

Yoshiro HIYOSHI

(Wajima Senior High School)

The authors' interest in prussian blue, discovered in a rather peculiar way, was aroused in the course of the attempts to introduce chemical experiments based on the history of chemistry for chemical education. On the way to duplicating the experiments relating to this compound, I found that prussian blue led to the emergence of the chemistry of cyanogen compounds. And even today, prussian blue is an important experimental and theoretical object in both physics and chemistry. For the author, the progress of prussian blue science looks educationally similar to *The Chemical History of a Candle* by Michael Faraday. This paper discusses the following themes:

- the growth of the chemistry of cyanogen compounds.

- general outline of the history of prussian blue studies.
- the development of prussian blue science as chemical educational material.

It is hoped in the future that this curriculum will expand into "The Chemistry of Prussian Blue" or "The Story of Blue Pigment, Prussian Blue". Furthermore, it is instructive to touch upon the large role of this compound in society as a blue pigment. The classical studies of prussian blue are described in detail in *Gmelins Handbuch der anorganischen Chemie* and this description seems to be the most wonderful source of information from the view-point of chemical education as well as chemical studies.

[広 場]

日独コロキウム—ザクセンにおける 日独自然科学交流の伝統—の報告

芝 哲 夫*

1995年9月19, 20日にドイツ ザクセン州のターラント Tharandt において日独コロキウム—ザクセンにおける日独自然科学交流の伝統— Deutsch-Japanisches Kolloquium —Tradition der Deutsch-Japanischen Wissenschaftsbeziehungen in Sachsen— が開催された。

ターラントはザクセン州ドレスデンの南西10数キロメートルに位置する小高い丘に囲まれた小さい街で、ここにドレスデン工科大学林学科がある。なぜこのコロキウムがこの地で開催されたかについてはわが国の化学史に深い関係があったからである。

化学という日本語がわが国に最初に現れたことで知られている川本幸民著の稿本『化学新書』はオランダの J. N. Gunning の *De Scheikunde van het onbewerkte en bewerkte Rijk* (1855) の和訳であったが、このオランダ本の原著はドイツの Julius Adolf Stöckhardt の *Schule der Chemie* (1846) である。この書の初版は1846年に Stöckhardt がケムニッツ Chemnitz の職業学校に勤めていた時に著したものであるが、翌1847年から1883年までターラント農学校の教授となり、この教科書を用いて化学教育を行った。この *Schule der Chemie* は化学実験を多く盛り込んだきわめてすぐれた化学入門書であったために、ドイツのみならず世界各国の言葉に翻訳されて、多くの若者を化学の道に誘う大きい役目を果たした。オランダ訳書を経て日本語に訳された『化学新書』も刊行はされなかったものの、蕃書調所、開成所における日本の極めて初期の化学教育に役立った。

この稿本『化学新書』の復刻が本学会の20周年記念事業の一部として企画されているが、特にこの書の解説のための研究調査に携わってられる阪上正信金沢大学名誉教授が『化学新書』の原本である *Schule der Chemie*

とその著者 Stöckhardt の調査のために1991年以来3度ターラントを訪れたことが一つの契機になって、ドレスデン工科大学林学科 O. Blossfeld 教授によって上記のコロキウムが企画され、日本から4名の演者が招待されて、ドイツ側と併せて10演題の発表が行われた。

このコロキウムが計画されたのにはもう一つの背景がある。ターラントには第一次大戦まで10人、以後第二次大戦までに16人の日本人が留学している。中でも明治年間にここに留学した本多静六が帰国後、宮中の庭園をはじめ日比谷公園など日本の近代公園の造園家として令名を馳せたことを現在のターラント林学部が大いに誇りとしていることが、この日独自然科学交流の伝統に関する討論の場をこの地に設定した動機となっている。したがって、このコロキウムの演題は特に化学と農学に焦点を当てた両国の交流史が中心となった。

日本人の発表者の氏名と演題を次に掲げる。

阪上正信 (金沢大学名誉教授) :

Stöckhardts Chemie-Lehrbuch und sein Einfluß auf die Chemie-Ausbildung in Deutschland und Japan.

芝 哲夫 (大阪大学名誉教授) :

Organic Chemistry in Japan originated under Influence of German School.

坂上信次 (東京農工大学前学長) :

Historical recollection on collaboration between Sachsen and Japan.

村瀬房之助 (九州大学教授) :

Geschichte, Organisation und Aufgabe der Lehrwälder in Japan.

以上のうち、特に化学に関係するものは阪上正信と芝哲夫の発表であった。阪上正信は当日出席できなかったため、芝がその講演内容を代読した。それは Stöckhardt の経歴をまとめて、*Schule der Chemie* の刊行、翻訳についての詳細な調査結果を報告し、さらに川本幸

1996年1月20日受理

* 大阪大学名誉教授

民の『化学新書』と Gunning のオランダ書, Stöckhardt のドイツ書をそれぞれの用語, 図に至るまで詳細に比較検討し, 『化学新書』が *Schule der Chemie* まで遡った忠実な翻訳であることを立証したものであった。

芝の報告は日本の化学の発端である『舎密開宗』より『化学新書』を経て, 幕末に至るまでのオランダ化学との関係を概観した後に, 明治に入ってからドイツ化学の影響, とくに多くのドイツ化学者の来朝ならびに日本人のドイツ留学の史実をまとめて紹介した。中でもターラントに近いライプツヒヒの W. Ostwald の許に留学した池田菊苗についても触れた。

坂上信次, 村瀬の両氏は主として農学の立場からの報告をした。坂上信次は『化学最新』を著した志賀泰山の紹介もした。ドイツ側の発表の中で特に化学に関係するものとしては, ケムニッツ工科大学の G. Marx 教授が

ケムニッツにおける Stöckhardt の化学的業績について, またドレスデン工科大学 O. Wienhaus 教授はターラントにおける Stöckhardt の業績についてそれぞれ述べた。またフライベルグ工科大学の W. Schule 教授は東アジアとヨーロッパの陶器の比較, ドレスデンの E. Wächtler 教授はフライベルグの冶金学者 Adolf Ledebur と Curt Netto の日本との関係について発表した。

このコロキウムは規模は小さいながら, 日本の化学に由緒のある Stöckhardt の故地で互いに科学上の過去の伝統ある歴史を回顧し, 再認識したことには大きい意義があり, これを契機としてこの地方との新たな科学交流が始まることが強く期待された。

本コロキウムの講演内容は後日, ドイツ側においてまとめられ, プロシーディングとして刊行される予定である。

会員名簿について

新しい会員名簿を皆様のお手元にお届けしました。作成には慎重を期したつもりですが, もし誤りがありましたお知らせください。また最近, 住所・勤務先等の変更のあった方は事務局まで, 葉書またはファックスにてお知らせください。

化学史学会事務局

第10回化学会館展示について

A. H. ベックレルによる放射能の発見100年にちなんで, 日本化学会では下記において「日本の放射化学研究—放射能の発見から100年」と題する展示を, 本年8月まで行っています。

展示場所: 日本化学会, 化学会館, 化学図書情報センター

東京都千代田区神田駿河台 1-5

電話 03-3292-6171

〔紹介〕

G. E. R. ロイド著 山野耕治・山口義久訳『初期ギリシア科学—タレスからアリストテレスまで—』xv+216 pp. 法政大学出版局, 1994年, 2,472円。

原著が、ケムブリッジ大学古代史教授モーゼス・フィンレー監修の Ancient Culture and Society シリーズの一書として W. W. Norton 社 (New York・London) から世に出たのは、1970年のことである。このシリーズには、旧来の古典学の定説に盲従しない12の野心作が名を連ね、一般向けの概説啓蒙書を旨とするにはかなり冒険的な企画であった。この種の書物があくまでも一般啓蒙書として広く流布し、西洋古典学初心者の白紙の頭脳に染み入る時、保守本流を常とする古典学アカデミズムの岩にも、新しい風が吹き始める。それを裏付けるかのように、原著は1970年に英語圏で出版されるや否や1973年にはアルゼンチンで、その翌年にはフランスで、さらに1978年にはイタリアで続々と翻訳作業が完了し、「研究者たちの間に古代ギリシア科学に対する関心をかきたてた」(本書前書き)。原著の目的は、1980年を待たずしてすでに達成されたのであった。その潮流から遅れること四半世紀、1994年によく邦訳が出たことは、大学ゼミの購読テキストに用いられたという原著の試訳を「根気よく熱心に」(本書 P. 215) 訳者山野氏に提出し続けた理科系学生(村松氏)の熱意がその原動力になったとはいえ、極東日本における西洋古典学の受容の特質を如実に物語る出来事といえよう。なぜなら、文学、歴史、哲学の三部門が厳しく色分けされる日本西洋古典学界の殿堂においては、原著に代表される「ギリシア科学史研究」なる新参分野は未だその末席にさえ連なり難く、著者 G. ロイド氏の二度の来日に触発されたとはいえ、氏の Greek Science を巡る幾多の斬新な著書の翻訳を敢行する心あるギリシア哲学プロパーは(ただし氏の *Aristotle*, 1968, London は、1973年に川田殖氏の訳を得ているが)、皆無に近い状況が続いていたからである。その意味において本邦西洋古典学界は、四半世紀前の原著の問題提起を受けるに足る段階によく辿り着いたというべきか。「研究者の間に Greek Science に対

する興味をかきたてる」ことは、1960-70年代の北西ヨーロッパのクラシカルソサイアティーの閉塞状況を打破するためのうちなる改革のスローガンの一つでもあった。

では、本書の誘う Greek Science の実体とは一体なにか。それはひとえに、従来のギリシア哲学プロパーが、フィロソフィアの根幹には触れぬ些末な科学的雑記として不当に廃棄し続けてきた古典文献の塵積の中から、「自然および宇宙をめぐる考察」を丹念に拾い集め、それらを丁寧に洗い直し縫い合わせ、科学の血脈の源を占める古代ギリシアにおける自然と人間の対峙の軌跡を、Greek Science の演題の下に一大絵巻として再現してみせた、その魅力あるストーリーそれ自体を指し示す。その各場面はいずれも明瞭な輪郭で象られ、当時の「自然探求(ペリ・フェセオース)」の問いと答えの内実の一つ一つが、あくまでも啓蒙書の規を越えずに、しかしながら厳密に活写されている。例えば、タレスの地震の説明について、アルキュタスの三次元運動体作図について、デモクリトスの幾何学的原子論の孕む認識論的問題について、ヒポクラテス医学の哲学的視座について、プラトンの科学哲学について、前四世紀の天文学の具体的内実について、アリストテレスにおける科学と哲学の関係について、等々。これらの項目を個別のかつ包括的に再構成しながら、その相互の関連性および哲学的意義と問題点を端的斬新にかつ軽やかに提示する G・ロイド氏の筆の背後にある空恐ろしいまでの知識の量と聡明な反骨精神の在処に思いを馳せるとき、ブリティッシュの古典教育のエッセンスを消化し尽くした知的エリートの、しかもケルトおよびドルイドの香気に触れつつ幼年時代を過ごしたという氏のウェーリッシュ固有の世界感覚の、その豊饒なる客観性のしなやかさ強さに行き着く、といえはあらぬ勘繰りとお叱りを受けようか。

さあれ本書は、例の哲学、文学、歴史云々の色分けなしには生計を立てられないその道のプロパーにこそ読んでほしい正真正銘の啓蒙書といえよう。ギリシア科学史研究の醍醐味の一つは、その学問区分縄張り争いの虚しさを、それらが渾然一体と美しく混淆しあっていたエーゲ海の古代の波動の中に小気味よく投げ棄てる快感にこそある、と密やかに告白する不遜をどうかお許しください。(和泉ちえ)

【紹介】

田中一郎著『ガリレオ 庇護者たちの網の中で』中公新書，中央公論社，東京，1995年6月25日，227 pp，720円，ISBN4-12-101250-X

ガリレオほどの著名人ともなると，様々な取り上げ方が可能だ。一般的には，運動理論の研究や，天文学における望遠鏡の利用とコペルニクス説支持など「科学革命」の主要な担い手の一人として，あるいは『天文対話』の主要なきっかけとするガリレオ裁判の当事者として描かれることが多い。運動論の問題一つにしても，中世の先駆者やガリレオが利用したソースの特定から，実験や数学的自然観などの技術的・方法論的なテーマまで様々な掘り下げ方があり，ガリレオを出発点とするガリレオ学派の形成などへと展開していくことも可能だ。

著者田中一郎氏はかつて，スティルマン・ドレイクの『ガリレオの生涯』（全3巻，共立出版，1984年）を翻訳している。ドレイクの著書が，彼なりのマニュスクリプト解釈を中心に，もっぱら科学者としてのガリレオの生涯を綴った年代記であったのに対して，この本は，ガリレオ研究の最も基本的な文献であるファヴァロの『ガリレオ全集』に集録された書簡やメモを手がかりに，著者の言うところの「ガリレオの日常」，すなわち家族，友人，知人，庇護者たちとの交流を中心に据えた伝記的作品となっている。そしてこの伝記を特徴づけているのは，そのサブタイトルに示されているように，ガリレオが生涯を通じて求め続けた庇護者（パトロン）との関係が全体を貫く主要なテーマとなっている点であろう。

ガリレオの決して短くはない生涯における大きな転機には，これらの庇護者の影響力が様々な影を落としている。フィレンツェ出身の若き数学者が，ピサやパドヴァ大学の数学教授職に就任する際に助力を仰いだのはグイドバルド・デル・モンテ侯であったし，ヴェネツィアに移ってからも，彼のつてを通じて有力者の知遇を得ることができた。またガリレオが登りつめたトスカナ大公付き首席哲学者兼数学者という宮廷学者の地位が，メディチ家のコジモ二世（そしてその子フェルディナンド二世）という君主を庇護者としていることは言うまでもない。ヴェネツィアの友人たちには，共和国下のパドヴァ大学を離れ，一君主といううつろいやすい庇護者のもとに赴くガリレオの決意は危険な行為と映ったようだが，これも庇護者に左右される学者の地位を物語っている。そのほか，1611年のローマ訪問の機にアカデミア・デイ・リンチェイの会員に選ばれているが，これもガリレオにとっては，教皇庁のあるローマに有力な人脈を得る契機となった。

当然ながら，ガリレオが庇護者を得るために行った努

力もけっしてささやかなものではなかった。彼が自ら製作・改良し世間を驚かす天体の新事実を発見した望遠鏡は，ケプラーをはじめとする天文学者に提供されるかわりに，トスカナ大公国の大使を通じて科学とは縁遠い各地の有力者に贈られた。ガリレオがパドヴァ大学における待遇改善の約束を勝ち取り，さらにそれを袖にしてフィレンツェに宮廷学者の地位を得たのも，望遠鏡とそれによる発見，そして木星の四衛星をメディチ星と名付けて献呈したことが直接のきっかけであった。具体的な成果こそなかったが，この衛星を利用した海上における経度決定法を考案し，スペイン政府と交渉に臨んだことも知られている。

さらに学問上の論争でさえも庇護者（パトロン）・被庇護者（クライアント）のシステムと無縁ではない。論争相手はもちろん，論争の仲介者の格にも配慮して，弟子に相手をさせたり，本人が対応する場合も，弟子の名前とガリレオ自身の名前を相手に応じて使い分けている。また，有力者への著書などの献呈も，こうしたシステムを前提として成立しているものだろう。庇護者との関係という視点は，ガリレオ裁判へつながる動きの説明にも現れる。フィレンツェ出身の枢機卿マッフェオ・バルベリーニは，以前からガリレオのよき理解者であり，アカデミア・デイ・リンチェイの関係者とも縁の深い人物だった。この人物が教皇ウルバヌス八世として即位したときに，ガリレオは「フィレンツェにおける身分の不安定さを，教皇の庇護を得ることで補強する」（p.162）絶好の機会が到来したと考えた（コジモ二世が逝去し，幼いフェルディナンド二世が後を継いだ直後であった）。新教皇への謁見は好意的に受け入れられ，ガリレオは状況の好転を期待して『天文対話』の執筆・出版という行動に出る。裁判の結末に関しても，著書は「1616年には，たまたまガリレオを擁護する高位聖職者が数の上で優位を占めており，今回はそうではなかったのである」，「さらに前回とは違い，教皇庁の外で彼らに影響力を行使できる庇護者がいなかった」（pp.201-2）と，庇護者との関連を重く見ている。

このように，本書では主に庇護者との関係が浮かび上がってくるような形でガリレオの生涯が描かれている。もちろんこれは言ってみれば鳥瞰図であり，もっと対象に接近しようとすれば，複雑な人間関係の網の目を解きほぐす膨大な作業が必要になってくるであろう。恐らくそれは新書という枠に収まるものでもないだろう。

このほか，随所に書簡やメモから引かれたガリレオの経済状態や健康状態をうかがわせる記述があり，家族，とくに長女マリア・チェレステ修道女との間で交わされた書簡も紹介されている。

なお，イタリア語の表記で，フィエゾーレ（→フィエゾレ），チェシ（→チェージ）など，いくつか気になるものがあった。（羽片俊夫）

〔紹介〕

吉本秀之, 川崎 勝, 大野 誠, 藤井清久, 柏木 肇, 梅田 淳, 古川 安, 鎌谷親善, 亀山哲也著『科学と国家と宗教』平凡社, 1995, 315頁, 3,500円。

わが国の歴史の中で, 国家, 科学, 宗教の三者の関係が昨今ほど喧しく取り沙汰された年も珍しい。ある宗教団体が若き科学者を集めて化学兵器を製造し, それを用いて国家の転覆を狙った, と報道されている。その中で, この宗教団体の中で「科学」はどのようなものと考えられていたのか, 優秀な科学者がこのような宗教団体に帰依していくのはなぜなのか, といった疑問が次々と出され, もっともらしい解答が探られている。しかし, 当面の我々の不安感を払拭するようなアドホックな解答を考えてみるだけでなく, 宗教と科学との共存に対して, このように驚きの気持ちを持ち, 疑問を發するのは何故なのか, と立ち止まって考えてみることもまた意味のあることに違いない。つまりわれわれが自明のものと考えている国家観, 科学観, さらにそれら同士の間を改めて問直ししてみることである。そのような思考によってこそ, 目前の衝撃的な事件, 事実に囚われすぎることなく問題の本質を理解し, 行く末を見つめるための, 具体的で有効な示唆が得られるであろうからである。そのような中で本書のような歴史的研究が上梓されたことの意味は大きい。

本書は, 日本の化学史, 科学史研究において長年にわたって指導的な役割を担ってこられた柏木 肇先生の古希の記念として企画, 執筆された論文集である。それぞれの論者がそれぞれの専門領域での研究をもとに, それぞれの関心から執筆された論文は, 全体として一つのテーマ「科学と国家と宗教」に組織的にアプローチするような書物を構成しているわけではないが, 緩やかにこのテーマのもとに入れられるのが適切な問題を論じており, それぞれからも, また全体からも, 大きな示唆を得ることかできるであろう。

本書冒頭に鎌谷による鳥瞰的説明が付されており, 内容的にそれと重なる部分も多かろうが, 本書を手にしていない読者の便宜のために, それぞれの論文の内容を簡単に紹介しておこう。

吉本による論考「ヘルモント主義と若きボイルの化学

—錬金術」は, 初期ボイルの社会的背景についての説明, また『懐疑的化学者』の初期草稿の分析などを通して, ボイルが同時代人によって, ヘルモントとの親近性を感じられていたこと, パラケルスス派の神秘的化学哲学の改革者としてヘルモント主義を受け入れていたことを明らかにしている。特に鉱物現象における「種子原理」をボイルが受け入れていたことを明らかにしたことは, これまでのいわゆる「機械論者ボイル」という単純な理解に反省を迫るだけでなく, 「生命現象」と「非生命現象」というわれわれの二つの概念分類が現代的先入見に支配されがちで, そのことがさらに「機械論」という概念の理解を恣意的なものにしがちである, という警鐘にもなっている。さらに, ボイルにおける自然神学的論証法(宗教的思考)と自然学的思考(科学的思考)を捉え直すきっかけを与えている, と読むことができる。

川崎による論考「ニュートン主義と社会的営為—ヘイルズにおける自然探究の社会的位相—」は, 17世紀科学革命と19世紀における科学の制度化(第2の科学革命)との狭間にある18世紀における自然探究と社会との関係を, まずヘイルズを中心に捉え直すことで, 全般的に見直す方向性を探ろうとし, さらに現在の科学と社会の関係に対するオルタナティブを探ろうとしていると考えられる。

大野による論考「啓蒙主義と産業革命のはざま—ソサイエティ・オブ・アーツ設立期の懸賞活動—」は, これまであまり知られてこなかったイギリスのソサイエティ・オブ・アーツの設立前後についての研究である。懸賞による産業の振興を目的としたこの団体は, 主に海外の品物の代替品の作成, という商業上の成果を重視していた。このことから大野は, 懸賞活動の背後に「帝国運営の視点」を嗅ぎとる。18世紀イギリス科学を, ジェントルマンの政治文化という社会的視点から捉え直すことによって, 従来の啓蒙主義と産業革命の異位相説に異議を唱える。思想文化と物質文化, というナイーブな二分法が一つの文化を理解する際に通用しないことを具体例を以て示していると言えよう。

藤井による論考「一八世紀ユニテリアンの教育理念—J・プリーストリとマンチェスター知識人の教養教育論—」は, 十八世紀末イングランドにおける異端ユニテリアンを代表するジョーゼフ・プリーストリの教育理念を検討することによって, 彼が主に産業都市マンチェスターにおける「新疑似ジェントルマン」階層, つまり小

売商人から商業実業家へと成り上がりつつある階層に、国民の自由と財産、国家の富・力・安全に寄与するという期待感を寄せて、功利主義的教養教育理念に基づく教育を施したことが述べられる。非国教徒から通してみた産業革命、という興味深い視野を開いてくれる論考である。

柏木による「和しつつ諍う知の司祭—ヴィクトリア科学 序曲—」は、現代科学は、19世紀ヴィクトリア科学を媒介にして成立した、という認識のもと、ヴィクトリア科学を先導する役割を担ったイギリス科学振興協会の特徴を生き活きと描いている。ハーコートによって見取り図が描かれたこの協会の実質運営は、主としてリベラル・アングリカンに属する23名の「科学の紳士たち」によって担われることになるが、これらの「科学的クレリシー」の強調と論争とのせめぎ合いの中で、協会は「制度化」されていくことになる。科学論上の重要なトピックである「科学の制度化」論の具体例とそれを論じる意味とを示唆してくれる貴重な論考である。

梅田による論考「十九世紀イギリスにおける紳士教育と科学—W・ヒューエルを中心に—」は、ヴィクトリア社会の「もっとも典型的なスポークスマン」ウィリアム・ヒューエルの教育観、科学観、哲学・神学思想を検討している。ヒューエルは一見、伝統的な教養教育理念を唱えているが、それには台頭してきたジェントルマン層の要求に応える、という面があったこと、また科学の国家援助や、研究領域の細分化に反対したこと、それらの根底には観念論的な科学哲学・神学思想があったことを指摘している。また、19世紀後半のジェントルマンのイメージとの相違も論じ、「教養」という概念が変質するものであることも指摘している。

古川による「シュタウンディングアの科学活動と政治的葛藤—第一次大戦からナチズムの時代まで—」は、高分子化学の創始者ヘルマン・シュタウンディングアが、第一次大戦期、ドイツの毒ガス使用に対して反対の論陣を張ったことから始まるフリッツ・ハーバーとの論争、また、ナチスが政権を掌握した後は、ハイデガーらによる圧迫といった厳しい政治的文脈の中で、高分子説が辿った曲折を、未公開資料や、シュタウンディングアの未亡人マグタへのインタビューなどを通して明らかにした白眉の論考である。学問と政治、科学者と戦争など現代でも重要な問題を考えるうえで、様々なヒントを読みとることができるであろう。

鎌谷による論考「第一次大戦と研究体制の構築—新たなCOEとしての大学附置研—」は、第一次大戦時に国際的に展開された化学技術体制の国家的整備、戦時動員のあおりを受けて理化学研究所とともに創出された帝国大学附置研究所の実態を、伝染病研究所、航空研究所、金属材料研究所、化学研究所の創設過程や特徴を詳しく調べることによって明らかにしようという試みである。それらを通じて、基礎研究の重視が、科学至上主義とナショナリズムの融合を生みだし、大学附置研設置の大義名分になったこと、国家原資の不足から東大附置研を除いて別に収入源を見いださねばならず、収入に結びつく研究が中心になっていったことなどが指摘されている。

亀山による論考「日本最初の大型プロジェクトはいかにして遂行されたか—臨時窒素研究所について—」(第9章)は、世界的に注目を浴びる日本の国家主導型大型プロジェクトの出自を明らかにしようという試みである。亀山はこの問題に関して、すでに1977年、鎌谷との共著論文「臨時窒素研究所の10年」(『化学工業資料』13(1979), 177-239頁)で包括的な研究を発表しているが、本論考ではそれをもとに、大正時代、軍事、農業、工業上重要とされた窒素工業、特にアンモニア合成技術の開発が、軍・官・学の協力体制で国立試験研究機関「臨時窒素研究所」(大正7年創設)で進められたこと、また、それが国外の研究の進行状況、産業・工業界との関わり、国内的社会的課題との関わりの中で、将来を見据えた「適切な」行政判断のもとで成功裡に使命を終えたことを明らかにしている。

以上概観したことからも、吉本論文は、科学革命期を問題にしているにしても、川崎、大野、藤井、柏木、梅田の五氏の論文は、科学革命以降の英国科学についての論文であり、古川、鎌谷、亀山は、20世紀の大戦中、それも後二者は、日本を舞台にしている、という点で、本論集にはテーマに偏りがあることに気づく。国家と科学の関係を捉えるときにも、科学と宗教の関係を捉えるときにも、これらの限定された範囲からのみ論じることが十分でないことは明らかであるが、科学革命という概念の問い直し、聖俗革命の内実のより詳細な研究、戦中戦後の科学体制の研究、我が国における「国家」と科学の関係史、など科学史一般にとってこれからますます重要になると予想されるテーマに切り込む視点を与えてくれているという点でも、本書の持つ意義は大きいと言えるであろう。

(川田 勝)

〔紹介〕

Anthony S. Travis, Willem J. Hornix and Robert Bud eds., "Organic Chemistry and High Technology, 1850-1950," a special issue of *The British Journal for the History of Science*, vol. 25 (March 1992).

Anthony S. Travis, *The Rainbow Makers: The Origins of the Synthetic Dyestuffs Industry in Western Europe*. Bethlehem: Lehigh University Press; London and Toronto: Associated University Press, 1993. 335 pp.

染料合成の開発史は、化学の歴史において最重要のテーマの一つであろう。パーキンのアニリン・パープルの発明、続く合成染料の開発、それとともに有機化学という専門分野が形成され、化学工業という一大産業が成長していったのである。その歴史は、科学と技術と経済社会とが密接に絡まりあって展開した過程であり、今日の科学技術論の格好の題材ともなっている。しかしこの科学史上の大テーマに関しては、1959年に出版された J. J. Beer の *The Emergence of the German Dye Industry* が著名であるが、以降それを乗り超えるような著作が登場せず、まとまった研究書・解説書の出現が待ち望まれていた。近年オランダの化学史家を中心に、企業の史料や化学者の遺稿に依拠しつつ、科学史・技術史・産業史の総合的観点から書かれた研究論文や研究書が多く発表され始めている。それらの成果をまとめた作品が、ここで取り上げる BJHS の特集号と化学史家 Anthony Travis による *Rainbow Makers* である。以下この二つの研究書の内容を順に紹介する。

前者は、1990年にイスラエルのヘブライ大学で開かれた化学技術史の会議での講演発表を論文集としてまとめたものである。序文で Beer が述べるように、収録された8編の論文は、有機化学とその産業の成立史という交響曲の各楽章を構成しているかのようである。

オランダの技術史家 Johann Schot による第1論文「衰退する技術」は、合成染料以前の自然染料の生産技術を題材にしたものであり、オランダにおける旧来のアカネ染料製造の工程を分析し、その発展と衰退の事情を社会的背景とともに論じたものである。修士論文をもとに書かれたこの論文は結論で、オランダとフランスの技

術とその競合を検討することにより、衰退期を含む技術発展のモデルを議論している。

第2論文「科学の強力な協力者」は *Rainbow Makers* の著者 Travis によるもので、パーキンの師であるアウグスト・ホフマンに焦点を当て、彼のアニリンとアニリンからの誘導化合物についての研究を扱ったものである。パーキンがアニリン・パープルを発見し、企業化のために王立化学学校を去っていった後の、いわばその後のホフマンの活動を扱ったものである。化学者ホフマンが、もう一人の卒業生であり企業家・技術者であるニコルソンの援助を得て、アニリン染料の分類と分析を遂行していったことが解説されている。

第3論文「何故独占が崩壊したか」は、フランスにおける合成染料の産業の勃興と衰退を扱ったものである。フランスでは、パーキンの発明直後アニリン・レッドあるいはフクシンと呼ばれる合成染料が発明され、企業化されたことはよく知られている。しかし、フランスにおける合成染料の産業はドイツだけでなく英国に比べても、衰退の度合いが大きくまた速やかであった。フクシンの製造と販売を独占したフクシン社は、どうして衰退したのであろうか。従来の見解では、仏独の特許制度の差がこの原因として強調されている。すなわち染料合成の製法に特許を認めるドイツに対し、製品だけに特許を認めるフランスにおいては、当該製品のすべての製法を独占する企業が出現することにより、新技術の開発が疎かにされてしまったのだ、と、オランダの技術史家である著者 Van den Belt は、この見解に対し、フクシン社没落の他の原因として、同社の経営上の失敗や、砒素の利用による環境破壊をフランス政府機関によって責任追及されたこともあると指摘している。

第4論文「製法からプラントへ」はオランダの技術史家 Willem Hornix によるもので、アニリン・パープル発明後のパーキンが、染料合成の過程を実験室から工場へといかにしてスケールアップしたか、その際の困難とそれを克服する技術の開発が語られる。実験室に生じた反応現象を大規模に工場のプラントで再現することは、単純で自動的な移行ではない。発生する熱、圧力、腐食などの問題を回避するために、例えば蒸気機関で利用されるような技術が応用されたことが指摘されている。

第5論文「企業研究所の登場」もオランダの研究者によるものである。「企業研究所」とは何か。著者 Ernst Homburg はその誕生の経緯を解説することにより、そ

の間に答えていこうとする。企業の化学コンサルタントの私設実験室から、助手をもち研究開発の指揮権をもつ化学者を擁する組織へと、ドイツ工業界の企業内研究組織は1870年代から徐々に成長していった。「企業研究所」と呼べるような制度の嚆矢は、この時期 BASF 社とヘキスト社で成立したとされている。また成立した企業研究所に雇用された化学者は、特許対策の調査が業務の重要な部分となっていたことも指摘されている。

第6論文「英国の化学産業とインジゴの取引」はリバプールの博物館員 Peter Reed によるもので、英国のインジゴ製造産業の没落を扱っている。英国では植民地インドでインジゴが栽培され藍染料が製造されたが、ドイツにおいてインジゴ染料の合成が1880年代に開発されることにより、インドの植民地経済が壊滅的な打撃を受けたことが知られている。この論文では、ドイツから渡英したレヴィンシュタイン一族とりわけイヴァンとその子ハーバートに焦点を当て、衰退する英国の染料産業の中での奮闘が描かれる。第一次大戦における輸入途絶によって、英国の化学工業における不十分な研究開発組織の痛感され、企業再編とともに ICI (Imperial Chemical Industries) 社が創設されていく経緯が語られる。

(これら6論文に加えて、19世紀から20世紀初頭にかけての醸造業の歴史と20世紀のドイツ人化学者 Walter Reppe の研究についての論文が掲載されているが、染料合成というテーマから外れるので紹介は省略する。)

以上のように、BJHS の特集号は、染料合成から化学工業の成立までの化学と化学技術の歴史における重要な側面を、斬新な問題設定の下に分析し論述したものであり、まさに各論文がこの歴史の交響曲を構成している。また上述のとおり著者の多くは、オランダ人研究者であるが、彼らは1984年に『染料産業の発展』という論文集を公刊しており、このテーマに関して精力的に共同研究を進めていたようである。

次に、Travis による *Rainbow Makers* (『虹をつくる人々』) を紹介しよう。著者 Travis は、25年繊維産業や印刷業に関わり染料を取り扱った経験をもち、現在はヘブライ大学で科学史を講じる人物である。この著作は、パーキンのアニリン・パープル発明からバイヤーによるインジゴの開発に至るまでの、19世紀後半の合成染料の開発の歴史を最近の歴史研究を踏まえて整理しまとめたものである。

本分は4部に分かれ、それぞれモーブ・マゼンタ・ア

リザリン・インジゴというそれぞれの合成染料について、それらの開発と販売における経緯が解説されている。4種の染料によって4部に分かれているとはいっても、基本的には1850年代のアニリン・パープルの発明から19世紀末におけるインジゴ合成法の開発までの歴史を、時代を追ってテーマごとに追った形式になっており、4種の染料は各時期を代表する染料として位置づけられていると言えよう。

第1部のモーブでは、パーキンのアニリン・パープル発明から、それを製造しモーブとして販売されるという、染料合成の歴史において最も有名なエピソードを解説している。量産技術の開発とともに、新しい紫色染料がビクトリア女王にも好まれ、パリのファッション界でも流行色としてもはやされるようになったことに触れられている。サプライはダイヤモンドがあってこそ成り立つ。流行色ともなり当初から販売が順調に進んだことは、染料合成というベンチャー・ビジネスにとって大変幸運なことであった。

第2部のマゼンタでは、まず第3章でマゼンタすなわちアニリン・レッドが発明され、その化学構造がホフマンらによって当時のタイプ理論と呼ばれる分子構造論に従って解明される様子が説かれている。第4章では染料合成の製造と生産の方法が解説され、続く第5章では特許係争と英仏の染料企業の消長についてが論じられている。とりわけ上述のとおりフランスのフクシン社の盛衰は劇的である。Travis は Van den Belt の研究成果を援用して、フクシン社の独占を許すことになった特許係争の経緯を解説している。結果的には同社の起業家ルナール兄弟が開発したとされるアニリン・レッドとそのあらゆる製造法に特許が承認される訳だが、その判決までには紆余曲折の過程があり、その法廷論争には科学技術論的にも興味深い論点が含まれている。係争の関係者たちが作り出す染料の同一性や新奇性をいかにして証明するか。また染料の合成法についてはどうか。そしてこれらの問題について専門家の意見が、法廷でどれほど尊重されるものなのか。パーキンの師ホフマンが認めるとおり、当時の化学工業においては産業界で開発される製法が大学や専門学校での実験研究の成果よりもはるか先を進んでおり、企業から独立な科学者の考えが中立的で確定的な意見として信頼し得ないという事情が事を複雑にしていた。続く第6章「製造の背景、販売の構造、教育、発明」では、染料企業の経営、化学教育、そして

企業研究所の先駆である工場内実験室やコンサルタント化学者などが語られている。

アリザリンを扱う第3部の最初の章は、「英国からドイツへの技術移転」が論じられている。アリザリンの構造決定と合成法の発明は、ベルリン職業専門学校のアドルフ・バイヤーの許でのグレーベとリーベルマンとによってなされ、その鍵はアリザリンの基になる分子が3個のベンゼン環が結合したアントラセンであることの認識であった。このアリザリンの合成方法を改良し製造方法を開発した人物がハインリッヒ・カロである。章のタイトルに技術移転と名づけられているのは、このドイツ出身のカロが英国滞在中に仕入れた英国化学産業の様々なノウハウをドイツに持ち帰り、実験室の手続きを工場の製造方法に仕上げていくという重要な作業をこなしていったことに注目したことによる。著者 Travis はカロについての論文も書いており、この著作後半部の重要な論点はカロがドイツ化学工業の勃興におけるキーパーソンであることを示すことにある。

アリザリンの製造方法は、カロと同時期にパーキンによっても開発されたが、ドイツの BASF 社と英国のパーキン社は、フクシン社で壮烈に争われた特許係争を回避すべく、欧州の市場を英国と大陸とに分割し両者の市場競争と特許係争とを回避した。続く「アリザリン産業」の章では、その後の製造と販売の形態が英独を比較して論じられている。パーキン社が圧倒的優位を占める英国のアリザリン産業では、家庭的経営形態の小規模からなる企業がほとんどであったのに対し、ドイツでは大企業が乗り出し技術開発にも熱心であったことが指摘されている。

第4部はインジゴについてであり、その唯一の章である第9章には「科学に基づく技術革新」とタイトルされている。インジゴの合成法を開発したのはベルリンからストラスブルク大学に移っていたバイヤーであったが、

その際にもバイヤーの協力者としてカロは重要な役割を果たしている。タイトルのとおりインジゴ合成法の発明にあたっては、有機化学の知識が主導的に働くのであるが、カロのもたらす実践的な経験や知識がここでも不可欠であったことが示されている。

そして最後の結論においては、特許やカルテル等について論じられるが、特に注意を惹いたのがユダヤ人たちの役割であった。カロと逆にドイツから英国に移住し染料産業に身を投じたレヴィンシュタイン家の人々は、カロやバイヤーとともにユダヤ人であり、彼らは企業家・科学者・技術者・商人たちとの強いつながりをもつとともに彼らの仲立ちをすることができたのである。ヨーロッパ、とりわけドイツの有機化学工業の発展において、化学・技術・市場を結びつけたユダヤ人の存在の重要性を改めて認識させられる。

全体として本書は、最近の研究成果を踏まえ、しかも非常によくまとまった解説書に仕上がっている。著者の産業界での経験と専門学校などでの教育経験が、技術的な詳細にわたって行き届くとともに読みやすくバランスのとれた歴史解説を提示するのに発揮されているように思われる。ただ、著者が力を入れて論じるカロについては、ドイツ博物館と BASF 社に遺稿コレクションがあるのだが、Travis はこの著者ではそれらを活用していない。また科学と技術の関係、そしてそれらと社会との関係について科学論や科学社会学的な視点から議論されることもない。それらの点で *Rainbow Makers* は、本格的な研究書というよりも教科書・解説書の性格をもつものと言えよう。とはいえ解説書としては第一級のできなのではないだろうか。大手の出版社からの刊行ではないので、日本ではまだあまり知られていないようだが、化学史に関心もつ人々の間で広く読まれてほしい著作である。

(橋本毅彦)

〔紹介〕

芝 哲夫『オランダ人の見た幕末・明治の日本—化学者ハラタマ書簡集—』菜根出版、1993年、167頁、3,000円。

本学会の会長である著者が長年のハラタマ研究の成果をまとめ、ハラタマの書簡の翻訳とともに上梓された。ハラタマは幕府採用の初の理化学教師として、慶応2年来日、明治4年に離日するまで、幕末から明治初期の日本に本格的な理化学教育を行った。恐らく本誌の読者には最もよく知られたお雇い外国人であろう。

ハラタマについては、これまで大阪舎密局での科学講義が目ざされ、大阪舎密局の創設計画の立案者である田中芳男の関連資料の紹介や、大阪舎密局およびハラタマ邸の建築学上よりの考察など、いくつかのトピックについて専門的な研究が積み重ねられてきた。著者は新しい史料を発掘するとともに、これらの成果を取り入れ、ハラタマの全体像を提供し続けてきた。

「あとがき」によれば、著者がハラタマというより大阪舎密局に関心をもったのは、昭和18年に大阪城広場で学徒出陣の壮行会が開かれ、その帰り「舎密局址」の石碑を発見したのがきっかけという。その後、「この舎密局の擒になって、一生そのお付き合いをすることになってしま」い、その間に「日本国内での史料の見るべきものは皆当たった」という。これが決して誇張した表現でないことは多くの人も認めるであろう。評者はかつて著者の論文「大阪舎密局の跡を求めて」（『自然』1975年6月号）で、舎密局の位置確定のため、新しい建築工事が行われると何か発掘されないか、終電までシャベルの横で見続けたとの内容の文に出会い、舎密局にかける執念を垣間見たような気がした覚えがある。この執念は国内の史料博搜のあとオランダ調査へと向かわしめ、ハラタマが日本滞在中、オランダに住む兄ヤン宛に送った書簡との邂逅をもたらした。

来日外国人に興味を持った場合、その人の発表資料や接触のあった日本人の関連資料を調査収集するのは、多くの人が経ることである。公文書を探し、記録に残された行動を復元しようとするのも、標準的な研究といえる。そうこうしているうちに、やがてこの人物の内面が知りたくなる。日記や手帳や書簡は現存していないだろうかと、それらを書き残さない人かもしれないし、たとえあっても処分されたり紛失したかもしれない。研究者

が入手できるか否かは運としか言いようがない。

著者はオランダに渡り、ハラタマの子孫を知り、交際を続ける中、この書簡に出会うことになった。これを契機にオランダ側でもハラタマ研究は進展し、書簡がハラタマの末孫 R. エギンク氏によりタイプに打ち直され、それをもって、同氏を含め3人の論考と、注釈が付いた『日本人の師となりて—K. W. ハラタマ博士の1866年より1871年に至る日本滞在期間の書簡』が、1987年に刊行された（Leraar onder de Japanners: Brieven van dr. K. W. Gratama betreffende zijn verblijf in Japan, 1866-1871. Amsterdam. De Bataafsche Leeuw, 1987）。

今回、出版された本書は、この書簡の翻訳である「ハラタマ書簡」と、書簡を読むための導入として書かれた解説文「ハラタマと日本」から成る。書簡は著者とオランダに在る日本学の研究者フォス美弥子氏との共同により翻訳された。翻訳はオランダ書刊行前から着手されており、本書につく豊富な訳注は、著者の長年の研究の成果に基づくものである。オランダ書の注釈も利用されているが、邦訳版として独自の価値も持っている。

本書の序章「ハラタマと日本」では、蘭学のはじまりから、ハラタ馬來日の背景、ハラタマの長崎、江戸、大阪での活動、ハラタマが日本に残した足跡が要領よくまとめられている。長期にわたりハラタマ研究に従事してきた著者だけに、今回紹介される書簡も含め史料がよく咀嚼されており、本章を読むだけで、近年のハラタマ研究の成果を得られるであろう。文章も良く練られており、日本の近代化学史に関心を持っている人はぜひとも読んでもらいたい。

ハラタマは独身として来日し、日本滞在中は兄弟とくに2つ歳上のヤン・ハラタマとたびたび手紙のやり取りをした。本書の主体である二部の「ハラタマ書簡」は、このヤン兄あての手紙が大半を占める。

これまでハラタマについては、三崎囃輔が伝える舎密局開講において数百人の聴衆を前に盛装で声朗らかに演説する姿、写真に残る三十代というのに顔の下半分が覆われるほど髭を伸ばした顔から、評者は西洋文明の教育者としての使命感に燃えた「強い」人と思っていた。ハラタマの生活の様子は、オランダ領事 A. J. ボードウィンの書簡にも記録されているが、そこでは「彼はたった一人ぼっちで、ヨーロッパ人の誰からも数時間離れた大阪で、五十万人の日本人のど真ん中で暮らしています」と記されており（フォス美弥子訳『オランダ領事の幕末

維新』新人物往来社, 1987年, 154頁), まだまだ排外的雰囲気の中の濃い中, 単身で乗り込む姿はこのイメージを裏付けるものであった。

しかし書簡を読むと, 私的なものとはいえ, 兄たちの家族の様子を気遣う言葉が繰り返し出てきたり, 離日前のヤン兄あての手紙に「故郷に帰って, こちらの生活とは対照的なあなたの家庭での静かな心暖まる生活を楽しめるようにと, 毎日心嬉しい準備の日を送っています」と漏らす(122頁)など, 旅行は好きだが, 異境の地で活動するより, 本来的には家族と穏やかに日々を過ごすことを好む人であったことが分かる。

また何事にもプラスとマイナスの側面があると考え, 醒めた目の持ち主であったようである。例えば国民性について「すべての民族はそれぞれ欠点を持っています。卓越したわれわれオランダ人でさえそうですから, 日出づる国の住民もその例外ではありません」とある(40頁)。ともすれば二者選択の思考が跋扈した時代の発言としてはバランス感覚があると言えないだろうか。

この冷静な目はヨーロッパにも向けられている。普仏戦争を引き起こしたフランス人に対し, あの「文明の先駆者をもって自称するフランス人」も「所詮人間は人間でしかなく, その高貴さは虚飾で被われた脆い外面だけで保たれていて, ちょっとこすっただけでたいていはげ落ち, 本来の姿の人間が顔を出」すと辛辣で(120頁), ハラタマというよりオランダのヨーロッパにおける独自の地位を伺わせる。『舎密局開講之説』にも, 「欧羅巴の學術は, 支那に関らず, 其興も亦た後れたり」, 「西人と雖ども, 自己の短を棄て, 他方の長を取り」と, ヨーロッパ文明にやや距離をとった文が登場する。これは日本人向けの講演だからというより, 彼の真意であったと解釈してよいであろう。

どうやら日本の文明開化にも諸手をあげて賛成していたわけではなかったようである。書簡中で繰り返し日本の自然の変化の豊かさを讚美し, 横浜の発展に対し「文明が自然美を駆逐しはじめています」と嘆き, 「むしろ昔の横浜の方が好ましく思います」と述べるに至っては(130頁), ハラタマが文明開化の単純な信奉者ではなかったことを物語っている。

ハラタマが日本語の学習を進めていたことも確かめられた。前述の『オランダ領事の幕末維新』には長崎でハラタマが熱心に日本語を学んでいたことが記録されているが(133頁), 本書の書簡では, 江戸に移ってから本

語の学習を続け(56頁, 65頁), 横浜居留中は日本語の教師が毎朝やってきて, 「天気の良い日には一緒に近くの丘まで日本語で会話を交わしながら散歩」したとあり(83頁), 日本語の学習に積極的であったことが分かる。開成所勤務のときは化学の講義ができなかったが, この時期に兄に依頼した書籍の注文には日本語の文法書や学習書が含まれており, また大阪でもホフマンの『日本文典』を入手するなど, 日本に滞在中は終始日本語に関心をもっていたことが, これでははっきり示された。ハラタマの語学関係の日本側資料としては, 渡部温が幕末から明治初めに出版した『英吉利会話篇』と『英蘭会話篇訳語』があるが, ハラタマが開成所で川本幸民や内田正雄に英語を指導した史実は知られても, それ以上は不明であったので, 本書刊行の意義といえよう。

化学史的には, 兄宛の書簡のため, 専門的なことが論じられてはいない。それでも長崎での分析研究所のこと, 江戸での理化学学校設立の準備状況, 大阪での舎密局の建設工事中から講義開始までの様子が, 断片的でも述べられていて興味深い。兄を通じて化学書も注文しているが, これは数は少なく, それも第2版や続巻の依頼が主のため, 講義用の基本書はすでに所持していたと思われる。

ハラタマは物理学と化学が学問の基礎であるとの考えを, 幕末明治初期の日本に持ち込んだとの印象が強い。しかし書簡を見る限り, 理化学のみならず博物学にも関心を寄せていたことが分かる。これも本書刊行の成果にあげられよう。例えばたびたび日本での住居の庭木のことを話題にしたり, 日本の植物の苗木や種子, 球根を積極的に送ったり, といった具合である。ハラタマの日本で定期購読していた雑誌が, 化学の専門誌ではなく, 旅行・地理雑誌の *Tour du Monde* と博物学系の *Intellectual Observer* であったというのも, 彼の博物学への関心が現れている。19世紀は万人が博物学者といわれるが, 彼もその例外ではなかったのである。

このように本書は今までの研究では推測も及ばなかったハラタマの様々な側面を明らかにしてくれた。ハラタマ研究も高い水準に達し, 本書でもって一段落がついたことは間違いないが, 決して完了したわけではない。これからは19世紀オランダ史の中で彼の活動を理解する研究が進むであろうし, それが一段落すれば, 再び日本史の中でハラタマの活動が考察の対象となろう。そのときに備え, 日本側からオランダ側からのハラタマ研究は今後も続けられねばならない。(八耳俊文)

〔紹介〕

J・バルトルシャイティス著、谷川 渥訳『鏡—バルトルシャイティス著作集第四巻』、国書刊行会、1994年、xi+508頁、6,800円。

ユルギス・バルトルシャイティス、このわれわれには不思議に響く名前の持ち主の仕事は、本来の彼の住処であったはずのヨーロッパ中世美術史という一定の枠組みを遙かに越えて文学、哲学、思想史の大海のなかに、さらには造形美一般が与える心象世界のなかにその反響を響かせ続けている。彼の仕事は、国書刊行会の貴重な四冊のコレクション、バルトルシャイティス著作集によって我々の手に届くものになった。『アベラシオン』『アナモルフォーズ』『イシス探求』と続いてコレクションの最後を飾るのが本書『鏡』である。

そのやるせない<逸脱の遠近法>の雰囲気は本書でもわれわれを十二分に堪能させてくれる。もっともこのコレクションの訳者の一人である高山宏風に、ルネサンスの遠近法を<近代合理主義>の権化と捉え、それからの逸脱と非合理主義とを重ね合わせてそのありさまを楽しむという、それ自体よく見られる解釈も、別に強く反論する必要はないとはいえ、バルトルシャイティスの読みとして特に面白いものではないように思える。鏡の筒をのせて初めて形が浮かび上がるアナモルフォーズも、人の顔と動物の顔とを連続的に変形させて人に獣性の痕跡を見るという擬動物主義も、珍しい石の断片に風景や人を浮上させる石の宴も、そのいずれもが、非合理主義などという陳腐な概括ではとてもその本質を規定しようとは思えないからである。例えばアナモルフォーズの場合、形の歪みを計算し、それが平面的には何かはわからないのに筒に写されたときに初めて通常の形を取り戻すという営みのなかにあるものは、非合理的の遊びであるどころか、遠近法などの空間表象制御という極めて合理的色彩の強い背景があって初めて可能になるものなのだ。最も興味深いものは、それ自体単純化された近代や合理性をあげつらい、それへのアンチテーゼを立てることではなく、合理性自体のなかに潜む狂気を見極めることだ。狂うとき、最も先鋭に狂えるのは他ならぬ合理性そのものなのである。

本書『鏡』がその多様な姿を開陳する鏡は、そんな<合理的の狂気>に古来から絶好の物質的並びに象徴的援護を与えてきた装置である。鏡はものを写しだし、反転させ、増殖させ、歪める。鏡は凹面の姿とともに火を生み出す武器にもなる。もっともその恐ろしい武器というイメージは歴史的事実というよりは単なる伝説にすぎないと後の科学者は留保をつけるのだが、鏡は部屋を埋め尽くし、そのなかに入る人の視覚世界を錯乱させる。小さな鏡でもそのうえにわざとでこぼこや曲面をあつらえることで、特殊な歪曲が与えられる。人は自らの容姿を歪めてみて、変身の妙を楽しむ。

月も水滴も、鏡になる。月に浮かぶ顔、水滴に映る顔、蜃気楼のような気象学的幻影。虚像という言葉がもつ本来の意味がまさに光学からでてきたように、鏡を操る知識は必然的に実在の固体性を陵辱する。それは水晶球に映し出される怪しげな未来の透視さながらに、人を欺き、陥れ、狼狽えさせる。『鏡』の終結部分に近い章が魔法や幽霊、詐欺や錯覚に捧げられているという事実はなんら偶然ではない。鏡は必然的に錯誤の揺らめきを生きる。その自明性を傍らにおけば、むしろわれわれには本書が思いのほか先に触れた武器としての鏡に多くの紙数を割いているという事実が不思議に思える。集光装置としての鏡、光を集め敵船を燃え上がらせるという恐怖の鏡。その姿とそれを巡る議論は、本書のなかでは最もくありそうもない>話題の展開だともいえる。

美術史の専門家としての出自を否応なく思い出させる豊富な図版が与える楽しさはあえて言うまでもあるまい。むしろそれよりも、多少なりとも工学的仕立てをもった装置や幾何学的説明を進める多くの図示の引用の方が我々の目を引く。また歴史記述のなかでたいていは周辺に位置づけられるのが普通のアタナシウス・キルヒャーなどの奇才の姿が全面に押し出されているのは痛快だ。

造形的世界と象徴的世界、言説的世界と論理的世界を自在につなぐバルトルシャイティスの手並みは、<歴史記述>と一言で表される事態が、そのなかに本来はらんでいる途方もない広がりや豊かさをわれわれに再度思い出させてくれる。このたぐい稀なコレクションの完成を心から祝いたい。

(金森 修)

〔紹介〕

E・カッシーラー著、佐藤三夫他訳『シンボルとスキエンティア』、ありな書房、1995年、270頁、4,635円。

世の中には、その仕事の質や量からみてなぜこれほど紹介や研究が進んでいないのかその理由がよくわからない程、不当にも不十分な扱いしかされていない学者がいるものだ。今世紀最大の思想史家であるだけでなく最大の哲学者の一人といってもいいカッシーラーの場合にも、どちらかといえばそういわざるをえないような気がする。もちろん思想史や哲学に若干でも馴染んだ者ならば、彼の名前を聞いたことがないという人はいないはずだし、その膨大な著書のいくつかはすでに通読しているというのが普通ではあろう。だが我々は彼の仕事の広がりや本質を理解しているといえるのか。例えばその『実体概念と関数概念』は今世紀初頭に書かれた古典であるにもかかわらず、一九世紀までの近代科学の基礎概念形成を巡る認識論的省察としては依然として最高度の完成を示す重要著作である。だが彼の仕事は『実体概念と関数概念』や『シンボル形式の哲学』のような高名な著作だけで言い尽くされるものではない。科学史的知見をも視座に取り込んだ近代の包括的な思想史である『近代の哲学と科学における認識問題』のような重要な著作はいまでも依然として翻訳がない。しかもそこで主張されていることが思想史家の暗黙の前提になるという程には、十分な咀嚼は進んでいないようである。

そんな嘆かわしい間隙をほんの少しでも埋めるべく、いくつかの小論文を適宜選択して一冊の書物にまとめたものが本書である。より正確には本書は主にルネサンス思想を扱ったカッシーラーの論文を九つ集めたものに、訳者の序論と解題をつけ加えたものである。そのいずれにおいても、訳者たちの思い入れが自然に感じとられる熱気がある。だがあえて一層、量的にもう少し拡大した解説があってもよかったのではないかと思う。

集録されている論文では例えばフィチーノ、ピコ、ヴェサリウス、ケプラーなどという人たちの仕事の分析がなされている。もっともそれと同時にデカルト、スピ

ノザ、シャフツペリと時代的にはルネサンスとはいいがたい著者たちの分析をした論文も掲載されている。例えば九つの中でも量的に最も長いピコ論文では、ピコのことを多様で相矛盾する潮流と一緒にした折衷主義者として捉えるという従来頻繁に見られる解釈を一蹴したうえで、彼の思索の本質に象徴的思考をかいま見るといふ読みが提示される。それはピコの解釈であると同時にカッシーラー自身に対するわれわれの了解を再確認させてくれるものでもある。

だがこれらの論文を最初から順に通読したときの印象は、カッシーラーが近世哲学史と近世科学史を研究し浩瀚な大著を書こうとした際に付随的に集められた資料を元に、彼が順次まとめあげていった副産物が並べられているというものに近い。だからやはりどこか中途半端な感じが残るのは否めない。ピコ論文のようにピコという一人の思想家の短いながらも卓抜な素描という読後感を与えてくれるものは他にはあまりない。デカルトもスピノザも、対象の大きさからみて致し方ないといえばそれまでだが、何か一つの切り口が与えられたと述べるにはあまりに簡単な検討しかなされていない。だからその意味では、カッシーラーが扱っている対象自体の分析の程度から見ても、カッシーラー自体の仕事の輪郭を知らしめてくれるという観点から見ても、依然本書では十分なものとはいいがたい。本書はより正確なカッシーラー紹介に向けての初動的試行という位置づけが最も正確なのかもしれない。

とはいえ冒頭で述べたようにカッシーラー紹介がかくも不当に遅れている現状を鑑みれば訳者たちの仕事はもちろん貴重なものだ。そして訳者たちも述べているように、多様な対象を扱いながらもつねに、論述の中心に神秘的で了解不可能な核を潜ませる姿勢をとる思想に対して、またはある特定の思想家にそのような核を簡単に割り当てる思想的言説に対して、あくまでも論理的、理性的にアプローチし、対象の本質に知解可能なままで肉薄していくというカッシーラーの手並みは地味ではあるが模範的なものだといってよい。我々がこの本から学ぶべきまず最初のは、思想史的言説を組み立てる際に彼が示す、その種の一貫した決意そのものだといってもいいのかもしれない。

(金森 修)

【紹介】

笹本征男『米軍占領下の原爆調査』新幹社、1995年、A5版、367頁(+8頁)、3,811円。

アメリカのワシントンDCにあるスミソニアン航空宇宙博物館が企画した「エノラ・ゲイ」50周年記念特別展示は、日本への原爆投下が第二次世界大戦を終結させ世界に平和をもたらしたとするアメリカ国内の「原爆神話」、共和党の躍進に伴うアメリカ政府議会の保守化、さらに退役軍人協会の猛烈な反発、などが相俟って中止に追い込まれた。この間、アメリカ国内に熾烈な原爆論争を呼び起こしたが、歴史の見直し作業の困難さと歴史家の仕事の重要性を改めて知らされた。

博物館のマーティン・ハーウィット館長、トマス・クラウチ学芸員たちが提起した学問的・歴史的な資料に裏打ちされた展示台本の最初の企画書（フィリップ・ノビール/バートン・J・パーンスタイン編著『葬られた原爆展』三国隆志他訳、五月書房、1995）を読むと、原爆投下した当事国の歴史家たちが日本への原爆投下を「自省的」に認識し、その歴史の全体像のありさまをアメリカ国民に問いかけるという構想は「大衆の教育」にそのねらいがあった。かれらの企画は敗北を余儀なくされたとはいえ、一連の原爆論争が一般の人々に見える形で提起されたことだけでも、大きな収穫であったと言わねばならない。

日本の政治思想の状況に目を転じて見ると、日本の戦争責任問題を巡るあきれたばかりの「国会決議」を見ると、原爆論争はおろかな政治政党の駆け引きに利用され、官僚主導のわけのわからない無内容な決議で終わった。われわれが原爆論争から学ぶべきことは、日本帝国主義のアジア侵略の詳細な学問的・歴史的研究と戦後も無反省・無批判のままになっている思想状況を打ち崩すことである。しかもその研究は学問のための学問であってはならず、それらの研究は市民のなかに投げ返されるときともに、市民運動と連動するものでなければならない。

ここに紹介するのは、上記のような徹底した市民の立場の観点から歴史の見直しを行ったもので、米軍占領下の時期に広島、長崎の原爆投下の犠牲になった原爆被害者の調査を巡る原爆調査の神話を学問的・歴史的な資料に基づいて打ち崩すとともに、昭和天皇、軍部、日本政

府がどのように原爆加害者になったのか、さらにその思想がこんにちの医学や科学の研究体制にいかにか引き継がれていったかを明らかにしたものである。

評者が本書に注目するのは、戦前の日本帝国主義下で中国人に対する細菌戦・人体実験を実施した多くの医学者たちの幹部が戦後においても、細菌戦・人体実験のデータをアメリカ側に提供することで戦犯逃れを果たしたばかりか、日本の医学界の枢要な位置を保持し続けたことと深く連動したもので、その思想は戦前も戦後もなにも変わらない「一貫」したものだと考えるからである。細菌戦部隊の医学者たちの動向については『消えた細菌戦部隊—関東軍731部隊』（常石敬一著、海鳴社、1981）や『細菌戦部隊と自決した二人の医学者』（常石敬一・朝野富三著、新潮社、1982）、さらに一昨年来、全国各地の市民によって開催された「隠された細菌戦・人体実験・部隊展」（731部隊展・全国実行委員会）の市民運動によってよく知られるようにはなっているが、敗戦直後の広島、長崎の原爆被爆調査で日本の医学者をはじめとする科学者たちが、一体どのような目的でどんな役割を果たしたのかについてはあまり明らかではなかった。というよりも、「被害者意識」だけが叫ばれ、原爆被害調査の本当の意味が覆い隠されてきたのである。

著者は長年、一貫してこの原爆被爆調査問題の実態解明にあたってきており、本書の構成も論理も実に明晰である。全体は8章構成で、著者の結論は最終章の第8章「原爆加害国になった日本」で明確にされ、第1章から第7章までにその論拠が見事に記述されている。そこでまず先に著者の結論を考察し、次にその論拠となる各論（第1章から第7章）を考察していこう。

原爆投下直後から日本の敗北と降伏を経て連合国軍（実質的にはアメリカ軍）の日本占領時期からサンフランシスコ講話条約までの原爆調査の歴史を詳細に分析し、著者は原爆被爆国であるはずの日本が原爆加害国となった理由を具体的に述べている。

ポツダム宣言を条件付きで受諾した日（8月10日）に、日本は「新型爆弾は国際法に違反する」と抗議するが、その目的は、日本の連合国軍捕虜虐待を厳罰に処するとする連合軍側に対する取引にするとともに、被爆調査をアメリカに全面的に提供するという占領協力という国策を隠蔽するものである。さらに降伏文書に調印（9月2日）の翌日の3日には、日本陸軍軍医学校が実施した原爆調査で正式に残留放射能の存在を否定するという

日本の利害と全面的に反する調査報告書を連合軍司令部に提出していた。これは原爆加害国アメリカの核戦争を想定した核戦略の政策に利用され協力したことを意味する。

学術研究会議原子爆弾災害調査研究特別委員会には日本軍、政府関係省庁、医科大学などが総動員されるが、この中には日本軍による中国人の人体実験として悪名高い細菌戦部隊の研究に関わっていた人物がいたこと、また、その原爆被爆の調査結果は戦後アメリカの大量の原爆開発生産の過程で不可欠の資料であったのである。

さらに重要で特筆すべきことは、1947年1月、アメリカ大統領指令によって設置された国家研究評議会原子傷害調査委員会（CAC）の下部研究機関として広島、長崎、呉に原爆傷害調査委員会（ABCC）が設置されるが、この委員会の原爆の遺伝調査に、現在エイズの血液製剤を巡る問題で大きな社会問題となっている厚生省所管の予防衛生研究所（1947年5月設立）が全面的に協力するのである。この研究は原爆被爆者の救済・援護にあるのではなく、将来の「原子力時代」の人類の福祉のためであるとされた。もうこのときすでに原爆被爆国の日本が「平和のための原子力」などと述べているのには驚くばかりである。なんと身変わりの早いことか。なお日本政府は原爆遺伝調査に莫大な研究費（2,035万円）を支出し、これに広島市、長崎市、呉市などの地方自治体が全面的に協力したことは言うまでもない。

このような大規模の原爆遺伝調査の結果とその意味がサンフランシスコ講話条約以後になって、隠蔽された歴史があったこと、さらに、原爆遺伝調査をするには被爆者と非被爆者の比較対象実験が必要であり、その非被爆都市（コントロール・シティ）に呉が選定されたが、被験者は乳幼児と子供が中心であり、これらの被験者に対して、この調査の目的が全く説明されることのない冷酷なものであった。日本帝国主義の36年間の植民地主義支配によって、広島、長崎に移動を余儀なくさせられた多くの朝鮮人や中国人も原爆の犠牲者になった。かれらは帝国臣民として侵略戦争に動員させられたにも関わらず敗戦後は外国人であるとし、日本政府は原爆被爆直後から現在まで本格的な被爆調査を行っていない。

以上、日本帝国主義の敗戦直後のアメリカ軍による占領下の時期から講和条約までの原爆調査による著者の結論を、評者のつたない浅読みながら要約したが、次にその論拠となった各論を手短かに考察していこう。

まず「序文」で著者の問題意識として、原爆論争のさてもそうであったように、日本は非人道的な原爆攻撃を受けたことはまぎれもない事実だけれども、第二次世界大戦終結の前後の歴史の全体像を考えるさい、被害者意識に基づく歴史認識は、戦前のアジア侵略や戦後の原爆被害調査における加害の歴史の本質を隠蔽するのに貢献したばかりか、被爆国日本は原爆加害国アメリカの原爆被害調査について全面的に協力したのだと述べられる。

第1章「初期調査と原爆被害利用」では、原爆投下直後の日本軍、日本政府による原爆被害調査の主な目的はまずもって被害者の救援にあたることではなく、むしろ原爆被害を利用することであったことが述べられる。原爆投下直後のトルーマン声明の傍受で新型爆弾は原爆であることを知った日本軍は8月8日、大本営調査団を派遣し新型爆弾を原子爆弾と確認する。中国の細菌戦部隊の元締めであった日本陸軍軍医学校（校長井深健軍医中將）が中心となる原爆調査体制が強化され、日本軍は、原爆被爆実態の把握に務める一方、アメリカ軍の日本占領を前にして、予想される捕虜虐待の処罰の取引に原爆被害を利用する情報戦を展開する。

第2章「日本の降伏、占領一初期日米調査協力」では、マンハッタン計画の過程の段階からすでにアメリカ国内でプルトニウム人体実験を行ったうえで日本に原爆を投下したアメリカ軍の調査団が来日するとまもなく、日本は学問研究という口実のもとに大調査プロジェクト「原子爆弾災害調査研究特別委員会」を発足させ、戦時科学動員体制を支えた科学者たちがそのまま占領軍下の原爆被爆調査に関わって行く様子が述べられる。

第3章「CACとABCCの設置と予備調査」では、米大統領指令によって国家研究評議会に設置された原子傷害調査委員会（CAC）の日本における現地機関「原爆傷害調査委員会（ABCC）」の日本各地での予備調査の概要と『ABCC報告書』の内容が詳述されている。アメリカはビキニ環礁の原爆実験の効果と広島、長崎の原爆の効果と比較する目的で調査団を派遣するが、ABCC調査団はその直後の1946年11月25日から12月30日まで、東京、大阪、京都、呉、広島、福岡、長崎の日本各地で原爆被害調査とくに遺伝的影響の調査にあたった。

このABCC調査団の日本側の原爆調査には学術研究会議議長で東京帝国大学名誉教授林春雄が責任者となり、実質の調査は東京帝国大学教授都築正男が指導し

た。都築正男は重要な占領協力者で45年8月15日に公職追放されるが、ほぼ1年後適用除外され大きな役割を果たすなど、原爆被害国の日本と原爆加害国のアメリカの双方に協力する日本国家の姿そのものであったとされる。こうして『ABCC 総合報告書』(47年3月25日)が発表されるが、日本人被害者の遺伝調査は軍事活動の一環の研究対象とされたのである。

第4章「ABCC・予防衛生研究所体制」では、ABCCと厚生省に新設された予防衛生研究所の日米共同調査団が、産婦人科医と助産婦を総動員しての妊婦と乳幼児に対する遺伝計画調査を中心とする原爆調査が記述される。こんにちでも大きな問題をかかえる国立予防衛生研究所の研究体制の体質の起源は設立当初の体質がそのまま残存しているところにあると思われる。厚生省の予防衛生研究所はGHQの要請によって東京帝国大学附置研究所であった伝染病研究所を分離し設置された。その初代所長に北里研究所副所長で慶応大学教授小林六造が任命された。この予防衛生研究所の支所としてのちに広島、長崎、呉に原子爆弾影響研究所が設置されるなど、日米共同の大規模な原爆調査が実施された。また人口動態統計・妊娠登録制度・助産婦の改革が計られ、原爆長期調査統計の基盤が形成される。

ABCC側が具体的に提示した遺伝計画調査に対して日本側が全面的に協力する研究の目的は、原爆の初期急性障害の調査が変質し、原爆被害者の救護治療の方針が将来の原子力利用と遺伝的影響の研究に移行して行くのである。

第5章「日本政府、GHQへ『原爆傷害調査計画』を提出」では、これまでその存在が確認できなかったGHQへの日本政府厚生省公式の原爆調査計画「原子爆弾傷害調査計画」の分析である。著者はこの重要文書を日本政府の公開公文書からではなくアメリカ占領軍の資料から発見したのである。これは日本の情報公開の貧困性と政治性を端的に示す証でもある。この調査目的にも原爆被害者の救護治療がなく原子核分裂を利用した平和な原子力時代の人類の利益が目的とされた。

第6章「原爆報道とプレス・コード」では、原爆投下直後からの日本とアメリカの双方側の原爆報道と検閲の状況が詳細に述べられている。原爆投下直後、日本政府は国内に投下された爆弾が原爆であることを知らせず、国外には原爆の非人道性を強調する原爆攻撃宣伝を展開する。日本の原爆被害暴露情報戦に対してアメリカ側

は、マンハッタン計画に関わった科学者に、アメリカ国内の核実験でも残留放射能は認められないなどと語らせ、日本側の報道を否定する。占領軍が進駐すると原爆被害暴露情報放送は禁止されるが、日本軍の過去の歴史と敗戦の責任を原爆に転嫁するとともに、原爆調査の被害についての雑誌新聞報道はしだいに占領軍に歩調を合わせていく。これは原爆被害調査にあたった都築正雄が医学者の立場から原爆による被害は沈静化しており、今後は将来の原子力の平和利用に調査資料を使用する旨の談話に端的に表れている。

第7章「歴史の再考」では、上記の第1章から第6章までの原爆投下直後から占領下の原爆調査の歴史的検証を踏まえ、日本国家の支配権力(昭和天皇、日本軍、日本政府)と原爆調査関係の歴史記述の見直しが述べられる。ここは歴史を学ぶ者にとっては重要なところであるので少々、詳しく考察していこう。著者は『厚生省50年史』、広島市長崎市原爆災害誌編集委員会編『広島・長崎の原爆災害』の公式文書を丹念に解読し巧妙に隠蔽された「歴史的事実」を明らかにする。日本国厚生省と地方自治体(広島・長崎・呉)の歴史記述には、厚生大臣所管の国立予防衛生研究所から3,000万円という巨額な国家予算が研究費にあてられ、妊産婦、乳幼児が調査された事実、コントロール・シティー(比較対照都市)呉に言及していない等々、原爆加害国アメリカの原爆調査に全面的に協力した事実、さらに日本政府が呉原子爆弾影響研究所(予研支所)を設置した事実が隠蔽されているという。呉市がコントロール・シティーにされた事実の隠蔽に対する著者の思い入れは、アメリカの核実験場にされてきたミクロネシア諸島の人々の思い入れとつながるなど、普遍性をもった記述となっている。

あの悪名高い中国における細菌戦部隊とアメリカ人捕虜の九大捕虜生体解剖事件のからみで、戦前731部隊の細菌戦研究に従事した医学者と西部軍司令部の命令で捕虜の生体解剖を行った九州帝国大学医学部が、戦後の原爆調査でも再び国策として動員された事実は重大である。

最近、アルバカーキー・トリビューンがアメリカでプルトニウム人体実験の材料にされた人物を追跡調査し実名を公表して話題をまいたが(『マンハッタン計画 プルトニウム人体実験』広瀬隆訳・解説、小学館、1994)、この人体実験が行われた時期と日本における日米の原爆調査の時期がぴったり重なることを考えると、日本への

原爆投下もその後の被爆調査も一連の行為であり、アメリカの核戦略の「人体実験の材料」とされたと考えるべきである。

さらに、大日本帝国の36年間（1910-1945）にわたる朝鮮の植民地化政策により国外に流亡させられた広島・長崎在住の朝鮮人被爆者に関する被爆調査を日本政府は本格的に行っていないことは重大な国家犯罪である。著者によれば、被爆当時の広島・長崎における被害者総数は7,000人、死亡者4,000人に達していた。これに日本政府はどう応えるというのであろう。

以上、市民の立場から本格的に占領史の研究に関わる著者の長期にわたる原爆被爆調査の歴史の実態を考察してきたけれども、評者は、本書を丹念に追跡しながら、そのテーマと内容のあまりの重さに耐えきれず、執筆途中なんども中断しては考え込まざるをえなかった。その中断の原因は、単なる本書の紹介の領域を超越し、本書

で論じられた原爆被爆調査の加害性と犯罪性を歴史的に温存しているこの日本の社会に生きる評者の生き方、それ自体を問い直さざるをえないという思いからであると同時に、評者と同世代の著者の占領史研究にかける強い思い入れに敬服するからである。さらに、アカデミズムの世界で、わけもわからない研究に多額の研究費の国税を分捕りながら、安住な立場に身をおく御用学者の「学問」とは対極の立場に身をおき、著者は恐らく身銭を切りながら多大の時間と労力を費やし、この執念の作品を刊行したことであろうと想像すると、本書への共感はずばかりである。

本書で明らかにされた原爆被害調査の日本の加害性と犯罪性の実証の歴史研究は、日本軍の2千万人を超えるアジア人殺戮、従軍慰安婦、南京殺戮、細菌戦部隊等々の戦争責任問題の研究につながっている。これらの実証の歴史研究なくして、日本と日本人は国際的に「自由」になれないのである。
(猪野修治)

新入会員名簿 (1996年1月～3月)

<会員の出版物>

- ・石田純郎『ヨーロッパ医科学史散歩：医史跡・医科学史博物館25カ国ガイド』考古堂書店、1996年2月、248頁、3500円。
- ・エドアール・グリモー著、田中豊助・原田紀子・牧野文子共訳、『ラボアジェ 1743-1794』内田老鶴圃、1995年11月、322頁、3914円。

〔一般講演〕

東北大理科大学臨時理化学研究所の
設立経過と事業

鎌谷親善（東洋大学）

東北大附置金属材料研究所（金研）は、本多光太郎とともに著名な存在である。しかし、本多の業績を再検討する必要性はすでに指摘され¹⁾、同時に金研の前身である臨時理化学研究所（臨時理研）の少なくない不詳の点については検討を試みた²⁾。新史料を得たことから、今回は臨時理研とその第一部を主たる対象に考察したい。

臨時理研の設置は大正4年8月である³⁾が、直前の5月に第一次大戦に対処して帝大の研究体制が総長全員と文部次官・専門学務局長等の間で協議された⁴⁾。東大には伝研に加えて航研の設置が内定し、京大と東北大ではともに内部措置として同時期、前者に理科大学附属化学特別研究所が、後者に臨時理研が設置された⁵⁾。

臨時理研は、大正4年5月に三共専務取締役塩原又策が東北大工学専門部教授佐藤定吉が実施していた「満洲」大豆を原料にした熱硬化性樹脂「サトウライト」の研究に奨学資金1万5千円を寄付したことが契機となって設立された。そのさいの北条時敬東北大総長、佐藤、塩原等の「協議要録」によると、佐藤の「半工業的」研究に奨学資金を提供する、成果を収めたときは塩原が事業化する、事業が成功したときは利益の一部を東北大学の学術研究に寄付すること等が合意され、いわゆる産学協同で「国富ノ増進ヲ図ル好模範」を創ることを意図しており⁶⁾、同時にそれは時局の要請に応じた措置であった⁷⁾。換言すれば、臨時理研は寄附金支弁方式の研究機関で、後の附置研の事業目的「学理及应用ノ研究」よりも、応用を重視した研究を目的にしていた。

三共から奨学資金助成が先例となり、本多光太郎の鉄鋼研究に対して住友家から研究費の寄付が実現したこと、そのさいに北条と住友総理事鈴木馬左也の人間関係が大きな役割を演じたことは言うまでもない。そこで、大正5年4月に臨時理研の内部分掌を二分して、化学部門を第一部、物理学部門を第二部としたのである。

臨時理研第一部の主任、佐藤は引き続き「サトウライト」の開発研究を進め、同5年9月から翌6年5月までアメリカに留学し、帰国後の同6年9月には新設の東北大理科大学応用化学科教授に昇進した。並行して、大正

5年4月に塩原は「サトウライト」株式会社（資本金200万円）を設立し、佐藤の研究成果の工業化に着手した。大正7年1月になると佐藤は住居を東京に移し、会社と大学との両方の勤務をはじめ、翌2月には工業化に専念するために東北大を退職した⁸⁾。

臨時理研における佐藤の研究は囑望されており、本多の研究とともに東北大での優れた成果として、大学を訪ねる著名人に見学させていた。そして、サトウライトの工業化は順調に進捗していると思われ、大きな期待が持たれていた。それを背景に、事業利益をもとにした奨学資金の寄附に関し、「覚書」がサトウライト株式会社から東北大総長に提出された。佐藤が開発したサトウライトの製造販売にあたって、「研究奨励ハ国益増進ヲ図」るうえで重要で、会社が堅実経営で利益をあげたときは一定の「計算及条件ヲ以テ将来貴大学奨学費トシテ寄附可致此段予メ申告仕候」と記していた⁹⁾。大学研究機関に対する寄附金支弁に関する新方式の提示といえる。

しかし、サトウライト株式会社が製品を出荷はじめると、それは品質的に不安定で、期待外れの商品であった。会社は大正8年1月に廃止が決まった。佐藤は直後の4月1日に東北大を退職満期で退職した。佐藤を要員に予定していた工科大学は、改正大学令の施行で工学部として同8年5月22日に発足し、同じ日に臨時理研第二部は東北大学附属鉄鋼研究所（鉄鋼研）になった。他方、臨時理研第一部は、工学部化学工学科の井上仁吉・原龍三郎が事業を継承したが、鉄鋼研が大正11年8月に金研に昇格した直後の12月に廃止された。しかし、臨時理研における先駆的な経験が、鉄鋼研一金研ばかりか、帝大附置研の創設や運営に継承・反映されている。

注 1) 例えば、河宮信郎「日本における金属工学の成立と展開—本多光太郎を中心として(1)」『科学史研究』第118号(1976年)80~88頁。2) 鎌谷親善「東北大学金研の設立事情、とくに臨時理化学研究所について」『科学史研究』第22巻第1号(1995年3月)69頁。3) 「明治四十四年度以降 年報綴」(東北大所蔵)。4) 西田幾多郎『廊堂片影』(教育研究会, 昭和6年)537頁。5) 鎌谷親善「第一次大戦と研究体制の構築」『科学と国家と宗教』(平凡社, 1995)218~251頁参照。6) 「寄付関係書類」(東北大所蔵)。7) 前掲「明治四十四年度以降 年報綴」。8) 前掲『廊堂片影』625頁。東北大学編・刊『東北大学五十年史』上(昭和35年)947頁。9) 前掲「寄付関係書類」。サトウライト会社の寄附は合計2万円で、三共時代との総計は4万円。

〔一般講演〕

「性能」と「環境」の視点から見る
自動車用ガソリンの変遷

亀井 修

(千葉県立現代産業科学館)

T型フォードにはじまる自動車の普及はガソリン需要の急激な増大をもたらした。この時代にはじまる石油精製技術の研究開発は、できるだけ多くのガソリンを製造するため行われてきたといえる。すでに今世紀初頭の1913年には、パートンによる重質油分解の技術が実用化されている。

この後しばらくは、生産の量的拡大とオクタン価を中心とする高出力型ガソリンの開発が続くこととなる。

この楽観的ともいえる量的拡大の時代と重なるように、欧米では1950年代に、我が国でも1960年代に入って、自動車の排気ガス等による環境への影響が無視できない事態を迎えることとなる。結果だけを見れば、工業技術の発達や改善が、むしろ問題現象の量的拡大に貢献してきたこととなる。

自動車燃料＝ガソリンの生産の基本となる石油精製の基本的部分となる常圧蒸留装置には、これらの時代を通じて、大きな変更は加えられておらず、もっぱら量的拡大への対応が行われている。従って、これらの新しい問題へのガソリン側からの対応としては、常圧蒸留装置以外の装置に関わる技術開発が寄与するものと考えられることができる。

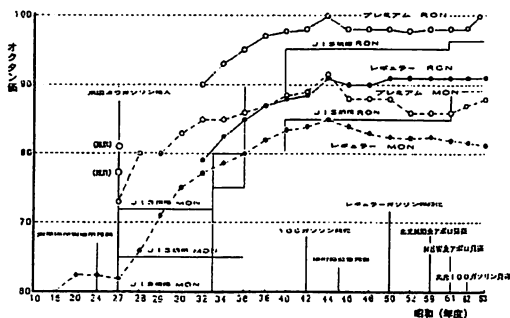


図1 自動車用ガソリンのオクタン価の推移と影響を与えた社会事象

現代においても自動車＝ガソリンを大量に必要とするという社会的な要請によって、問題現象は必ずしも減少しつくしているとはいいがたく、物的生産が需要に規定されるという基本的部分においては変化は生じていないとの指摘もできようが、ここで利用されている触媒やプロセスなどは、確実に長足の進歩を遂げてきているといえる。

ガソリン変遷の流れは、自動車排気ガスによる大気汚染、環境問題についての関心の高まり、急がれる環境対策等の社会的要請を受け、ガソリンの基本的特性を維持した上での低環境負荷型ガソリンおよびその生産装置が開発されてきたと概観できる。

このような製品開発は、利用者側のニーズによる開発と分類で、逆に開発の展開から見れば、利用者側のニーズによる製品開発こそが、自動車用ガソリン開発の特徴であるともいえる。ここでの開発形態は、単なる科学から技術への単線型のR & Dではなく、ユーザーからのリクエストに敏感に反応するDemand Articulation型の形をとっている。この形態は今後の科学・技術と社会との関わりを考えるうえで参考になるものといえよう。

ガソリンをはじめとする炭化水素資源の利用については、環境に対しての様々な影響が語られているが、今後しばらくの間はこれに依存しなければならないことは、まず間違いのないことといえる。今まで石油文明の恩恵を受けていなかった国や地域でも、この物質の利用がはじまることを考えると、ここで見たような開発の変遷は十分すぎるほど急激ではなかったという感じさえる。

ここでは、自動車用ガソリンに求められる機能や性能の変化に伴う開発について、出光興産(株)中央研究所石油技術センター燃料油研究室の協力で行った調査に基づいて報告を行う。

文 献

- 1) 小野勝弘「重質水素化分解技術」『現代産業科学館展示運営協力会資料調査報告書』1994。
- 2) 仙洞田雅博「自動車用燃料の品質動向」(株)石油産業活性化センター石油基盤技術研究所、1994。
- 3) 渡辺徳二編著「生産力構造転換のダイナミズム」日本評論社、1995。
- 4) 「自動車ガソリンとガソリンエンジン」出光興産、1994。

〔一般講演〕

戦後における石炭液化の研究 —研究開発の成果と実用化への前進—

川 合 智
(三菱化学)

1. はじめに

第二次世界大戦当時、かなり高いレベルに達していた我が国の石炭液化技術は、敗戦とそれに続く占領軍の政策によって、長い間、研究の中止を余儀なくされていた。

一方で、戦後の復興のエネルギーとなった石炭は、朝鮮戦争を契機とする経済の発展の時機をピークとして、エネルギー源としての役割を徐々に石油にとって替わられて来た。戦後の石炭政策の中で、時として強く囑望された石炭の液化は、ある種の偶然も推進力としながら今日に至るまで営々と研究が続けられて来た。

ここでは、戦後の再開から現在までの約40年間の石炭液化の歴史を、技術的成果と実用化への前進という観点から振り返る。

2. 昭和30年～39年 石油化学工業振興のための研究

昭和30年、石炭コスト引き下げの目的で「石炭鉱業合理化の臨時措置法」が施行されたが、この時期に合わせ、黒川真武（工業技術院長）らによって化学工業の立場から石炭利用を推進するため「石炭化学工業の振興に関する意見」が政府に対して提出された。このように、石炭鉱業を合理化する、あるいは石炭化学工業を振興するという一つの流れの中で、大学や、炭鉱を保有する民間各社、戦前から石炭液化の経験を持つ企業によって石炭液化の研究が再開された。大学では、武谷 愿を中心とする北大、京大、竹下健次郎を中心とする九大で行われた。北大は戦前から直接液化研究の実績があり、京大では間接液化研究の実績がある。国立の研究所では資源技術試験所がある。民間では、戦前、間接液化の工業実績を持つ三池合成と、自社の炭鉱を保有して石炭の付加価値増をねらった北炭がある。

この時期行われた研究は石炭化学の基礎に重点を置い

たもので、実用化とは大分離れているものであった。北大では石炭の化学構造と反応特性を直接液化の立場から調べた。京大では化学的分析（現在の機器分析に対する概念）の手法で石炭の化学構造をかなり明らかにした。九大でも化学構造の研究を行ったが京大の硝酸分解法に対してアルカリ溶融法を採用した。

資源技術研究所の実験は、将来を見据えた、工業化への展望も持った直接液化の研究で、小規模ではあるが、高温高压の連続装置である。この研究は坂部 孜らによって報告されているが、この技術が将来資する所あるを願って纏めたと記されており卓見である。

三池合成の研究は芳香族化学品を得ることが主目的で、企業化に対する考察も行っている。この考察では、高価な水素と高価な設備を用いることの不利を説き、石炭の特性に合った利用法を検討すべきことを述べている。北炭の研究は、唯一、フミン酸の土壌改良材への利用として商業化につながっており（本来の研究目的は直接液化であった）、特記してよいだろう。

3. 昭和40年～47年 石炭政策の転換と石炭液化の研究

昭和40年頃のエネルギー源は、石油の供給が低廉で安定的に行われており、石炭政策は明確に縮小均衡の道を辿った。この時期、石炭利用の研究は低調であったが、北大や資源技術研究所では研究が続けられた。

他方、コークスメーカー（製鉄会社、三菱化成工業、三井コークス工業など）では、良質の粘結性炭の入手の困難性を予測して、石炭の軽度の液化によって増粘結材を製造することを研究した。このような会社は後に石炭液化研究を進めることとなった。

4. 昭和48年～54年 第一次石油危機後の研究

石油危機勃発の昭和48年、新エネルギー技術開発の推進を産技審は政府に答申し、これを受けて昭和49年サンシャイン計画が発足した。サンシャイン計画の中で、石炭の直接液化は最も中心となるものであった。この計画の中では多くの大学、研究所、民間会社が研究に携わったが、1 t/d 程度の小型の液化装置と、液化の反応機構が中心であり、いわば、本格的液化研究の再開とでもいうものであった。この時期の液化の研究で、液化のメカニズムの理解は著しく進歩し、また、次の大型パイロットプラントの段階に移行する準備もでき上がった。

5. 昭和55年～平成7年 NEDO 設立後の研究

第二次石油危機（昭和54年）を契機として、サンシャイン計画を加速度的に進めるため NEDO（新エネルギー総合開発機構）が設立された。NEDO 設立以後、研究テーマが調整され、民間では主として大型パイロットプラントを、大学と国立研究所では基礎的研究を推進し、相互で協同、補強しあうこととなった。

大型パイロットプラントでは日本褐炭液化㈱がオーストラリアに 50 t/d の液化プラントを完成し、実用化可能な技術を作り上げた。その後の補完研究により、液化油コストは 20 \$/bbl 台に達している。

現在は、日本コールオイル㈱が 150 t/d 大型パイロットプラントの完成を目前にしており、石炭液化の実用化に向けて一層前進することとなるであろう。

〔一般講演〕

国産技術によるポリ塩化ビニリデン樹脂製造・加工の企業化

佐藤正弥
(千葉経済大学)

家庭用ラップフィルムの約70パーセントを占めるクレラップとサランラップの原料は、塩化ビニリデン樹脂であるが、日本の全合成樹脂生産量の0.5パーセントにとどまる。この樹脂を生産する企業は世界でも少ない。第二次世界大戦後、海外からの技術導入で発展した日本の化学工業のなかで、この樹脂の製造・加工技術の開発に取り組み、独自の技術で企業化を成し遂げた呉羽化学の歩みを概観する。

1. 呉羽化学工業の誕生

日本の塩化ビニリデンの技術開発は、人絹工業にまで遡る。呉羽化学は我が国絹工業の第二次膨脹期の1934年に、森財閥系の昭和絹として発足した。そして呉羽紡績の人絹部門である龍山人絹をはじめ三重人絹などを合併し、中規模の人絹企業となったが、戦時中に呉羽紡績に合併され、化学部門を分離して、1944年呉羽化学工業が設立された。戦争末期の同社は、他社からの導入技術で有機塩素系の爆薬などの製造を行っていた。

2. 塩化ビニリデンの研究開発

2.1 戦後の復興

同社は過燐酸石灰の製造から戦後復興の歩みが始めるが、戦時中から手がけた有機塩素系製品の技術に加えて余剰塩素の有効利用を目的とした塩素系有機合成技術研究の一環として、塩化ビニリデンの研究に着手する。

2.2 塩化ビニリデンの基礎研究

1948年頃から山本三郎らにより塩化ビニルの企業化に関心もたれ、翌年12月に経済安定本部などで塩ビの調査経験の深い本田仁が呉羽化学に入社するや、塩ビ事業は急速に具体化へと踏み出し、この一環として真弓亮爾らにより、「PBレポート」を頼りに塩化ビニリデンの研究が推進され、1950年6月に月産10トンのパイロットプラントが完成する。さらに51年初めには月間30トンの需要が見込まれたことから、月産30トンへと設備拡張の決定をみる。

2.3 ダウ社との交渉不調と特許問題

月産30トンへの設備拡張が動き出そうとしていた頃、旭化成がダウ社と塩化ビニリデンの技術導入交渉を進め

ている旨の情報に接し、呉羽化学は自社技術での企業化の方針ではあったが、後日の特許係争等为了避免のため、技術提携をダウ社に対して打診した。しかし交渉は不調に終わった。呉羽化学は、ダウ社の日本特許ならびに「連合人工業所有権戦後措置令」を詳細に調査の上、自社技術がダウ社の特許に抵触しないとの確信を得て、自社技術での企業化を推進する。

2.4 懸濁重合法の確立

特許紛争の懸念は払拭できたが、良質の樹脂製造には、懸濁重合法によるべきであるとの結論を得ていた真弓らは、懸濁重合法の基礎研究に取り組んでいた。研究は難行したが、53年8月に偶然のできごとからヒントを得て、日ならずして懸濁重合法の確立をみた。

3. 塩化ビニリデンの企業化

3.1 呉羽化成の設立

懸濁重合法を確立した呉羽化学は、呉羽紡績と共同で53年9月に呉羽化成を設立、まず、第一期計画として月産150トンの設備を建設し、55年4月に操業を開始した。なお、この建設には、千代田化工建設の熱心かつ良心的な仕事ぶり、スケールアップについて五味真平ら化学工学専攻の若手技術者の活躍が特記に値する。

3.2 創業期の苦難

ダウ社技術により2年前に操業を開始していた旭ダウ同様、呉羽化成も化繊企業の子会社であることから、まず、塩化ビニリデンによる合成繊維を企業化したが、物性上から衣料用に向かず、苦難を経験する。しかしこの間、合繊で出遅れていた呉羽グループは、いち早くフィルムに重点を移すこととなる。

3.3 クレハロンフィルム事業の展開

1954年頃から、呉羽化学の技術部では、繊維が売れなかった場合を想定してフィルムの開発を計画し、加工機械の設計・製作の道を摸索するとともに、企画調査課では食品包装用としてのフィルムの製品開発を考え、1956年に入り錦工場でクレハロンフィルムの生産を開始した。このフィルムに大きな用途を開いたのは、1954年3月に起こった焼津の鯖漁船のビキニ岩礁での水爆実験被爆による需要激減打開策として、水産各社が手がけた魚肉ソーセージである。当時、包装材として主流であった塩酸ゴムに対して、物性上の優位性からクレハロンフィルムが、これに代わって市場を独占する。その後、家庭用ラップ分野、海外市場へと事業を展開し、旭化成とダウ社のサランとともに市場を二分している。

こうした自社技術による企業化に対し、昭和37年度の日本化学会化学技術賞が授与されたのである。

〔シンポジウム〕

実験売ります—18世紀英国における
実験の普及

川崎 勝

(山口大学)

はじめに

とりあえず、時代を16~17世紀の「科学革命」によるいわゆる「新科学」の誕生以降に限定してみたとしても、「実験」という営為はその目的や性質を大きく変化させてきた。もちろんそれは「科学」そのものの目的や性質の変化と相即的に行われてきたものである。

本シンポジウムのタイトルは「実験室の成立と科学の専門職業化」であるが、非常に大雑把な言い方を許してもらえば、この両者が進行したのは19世紀中葉以降のことであり、それはそのまま今日われわれが知る形での実験や科学の誕生であったと言えるであろう。逆に言えば、それ以前の時代においては——それが「新科学」の成立以降であろうとも——「実験」という営為は今日と根本的に異なった性質を有していたことになる。

なぜこのように当たり前のことにこだわるのかといえば、本シンポジウムのテーマである19世紀に生じた「実験室の成立と科学の専門職業化」の真の意義を理解するためには、18世紀までの「実験」のあり方とその変遷を確認しておく必要があるからに他ならない。本発表はもっぱらこの点を目標としている。

1. 17世紀における実験

通常、近代科学的な実験は、17世紀に、例えばフックやボイルのような優れた実験家とともに始まったと理解されている。これはこれで異存のない見解であるのだが、最近の科学史研究が明らかにしたように、そこで行われた実験は、非常に特異な文脈の中で遂行されていた点に注意しなければならない。

この文脈の中で最も特徴的なことの一つは、実験が極めて特権的な営為であったことである。例えば、科学史上有名なボイルの空気ポンプは、今日で言えばサイクロトロンになぞらえることが可能な前例のない大がかりな装置であったことが指摘されているが、そのような装置

を個人的に賄えるのはボイルのような自ら大貴族であった者か、さもなければそのような人物をパトロンとすることができた極めて幸運な者に限られていた。当然のことながら、仮に実験によって「新事実」が明らかになったとしても、今日のように全く別の場所で比較的容易に再現実験を行うことなどは望むべくもなかった。

また、これは実験のように実際に手を使って行う技に関してはかなり普遍的に言えることであるが、それを遂行する上で一番重要な「手で覚える技法」は直接的経験こそがものをいうため、なかなか言語化されづらく、したがって共有されづらい。特に、「標準的」器具も手法も存在せず、「新科学」を積極的に推進した人々の間の交流も極めて限定されており、定式化された実験報告の形式も存在しなかった時代において、これらの制約は非常に厳しいものであり、当時の自然研究のあり方を根本的に規定していた。例えばボイルは、自らの実験を記述する際に、異様に詳細な状況や手順の説明を記していたが、これは、実際に手を使って実験を行う上で非常に重要ではあるが伝授が困難な技法を少しでも公にし、同時に自らの実験の記述を読んだ者にあたかもそれを見たかのような「仮想目撃」をもたらすことをねらっていたことが指摘されている。

2. ピーター・ショウとポータブル・ラボラトリー

このように、17世紀から18世紀初頭にかけて、実験とは例外的に恵まれた状況環境下にある少数者のみが行うことのできる再現困難な特権的な営為であったわけだが、こうした時代状況の中で非常に注目に値する活動を18世紀中葉の英国で行ったのがピーター・ショウである。彼は「実験」を徹底的に「商品」にした。

彼が器具製造業者と共同開発し、売り出したポータブル・ラボラトリー・セットは、移動可能ないくつかの部品（炉など）と試薬をセットにしたもので、部品を様々な組み合わせ100を超える多数の化学を中心とした科学実験が行えるように工夫したものであった。

彼の活動の特に注目に値する点は、明らかに富裕で自然探究に対してアマチュア的関心を寄せてはいるが、実験の事柄に関して全く知識を有しない純然たる素人を主たる「顧客」に想定し、それに対応した「販売戦略」を採った点にある。まず採った戦略は、「実演販売」である。広告を出して有料（ただし比較的安価）で人を集

め、そこで実際にポータブル・ラボラトリー・セットを用いて多数の化学実験の演示を行った。そして、そこで関心を示した者に対して同セットを積極的に販売していったのである。

このポータブル・ラボラトリー・セットが実際にどのくらいの数で売れたのかは不明であるが、翌年同様の実演販売が行われたことから、ショウの試みは少なくともある程度の好評を得たことは推測できる。

3. 実験と化学の普及

ピーター・ショウの実験演示は彼が独自に再構成した化学の講義とともに行われ、この講義は後にもポータブル・ラボラトリー・セットの販売とは切り離されて行われ、さらにその後書物として刊行されている。そこからわれわれは彼が化学をどのようなものとして聴衆に提示しようとしたかが見て取れる。

彼の理論的バックボーンはかなり素朴な進歩主義的・啓蒙主義的なベイコン主義である。いや、むしろ、彼が大胆な編集を施し、膨大な注釈と解説を付してベイコンの著作選集を刊行していることから、最近まで信じられてきたベイコン像を作り上げる上で彼自身が一定の役割を果たした可能性も指摘できる。

ともあれ、18世紀初頭まで物質に手を加える過程における秘術的側面が一因となって錬金術的・秘教的雰囲気を引きずる場合が多かった物質の分解と合成の技を彼が徹底的に世俗的な関心に応える「有益な技」として化学として再構成したことは重要である。聴衆の関心を引くために派手に炎を上げたり、視覚や聴覚や嗅覚等に訴える実験を次々に駆使する一方で、彼は化学が「社会改良」に大いに有益であることを訴え続けた。当時、化学の世俗的側面は薬剤処方を通じて、もっぱら医学の補助学としての捉え方が一般的であったが、ショウはこれを

社会全体の改良に役立つものとして位置づけ直したのである。

その際、「娯楽」的色彩を強く有し、見よう見まねで聴衆も実験を行うことを可能とするショウの戦略は彼らの支持を得る上で有力な手段となったであろう。

おわりに

実験といえば新事実の発見や革新的理論の検証に役立ったものばかりを重視する旧来のヒストリオグラフィにおいては、基本的にすでに行われていた多数の実験の彼なりの体系に則った再構成であるショウの諸実験はほとんど着目されることはないであろう。しかし、実験という営為の性質や化学の社会的位置づけを歴史的に解明しようとした際に、ショウの活動は様々な示唆を与えてくれる。

例えば、本シンポジウムの主題である「実験室の成立」に関しては、それがすべての科学者に対して実験の手法の「標準化」をもたらした点、また、科学者を志すものに対して言語化されづらい技法を体験を通じて訓練する機会を広く与えるようになった点が重要であることがただちに指摘できるだろう。むしろ、当り前すぎてあえて指摘されないが、今日では、そうした技法を身につけている者こそを科学者と呼ぶのである。

もちろん、実験という営為のさらなる普及、あるいは実験室の成立という科学史上の極めて重要な——しかし、従来それほど着目されなかった——できごとは、そのままずっとショウの活動の延長線上に生じたものではない。そこには科学史的に今後解明していかなければならない様々な紆余曲折が存在する。ここでは、実験に着目することが科学の専門職業化の真の意義の解明にも戦略的重要性を有していることを指摘して本発表を終えたいと思う。

[シンポジウム]

19世紀における大学実験室教育の展開

柿原 泰
(東京大学大学院)

19世紀に科学の制度化・専門職業化が進行したとする見方はすでに科学史研究において通説となっているが、その過程においては、様々な要素が含まれる。吉田 忠のまとめでは、科学者 (scientist) の誕生、大学における科学教育、実験室の制度化、学会の成立過程という四つの側面に着目して、科学の制度化・専門職業化が考察されている。ここで注目するのは三つめの実験室の制度化についてである。

ここでは、演示実験の起源としての大学の解剖教室、それにならった大学の物理学や化学の実験教室、科学者の自宅などに設けられるような私設実験室などを挙げた後、18世紀末に小規模ではあるが学生が直接参加する教育用実験室の例が鉱山学校や工兵学校に見られるようになり、エコール・ポリテクニクが学生実験を制度化したことを述べる。そして、中心的に考察されるのが、ドイツの大学、とりわけリーピヒのギーセン大学の化学実験室である。その後の化学実験室教育のドイツ各地への波及、生理学実験室について述べ、ギーセン・モデルのフランスやイギリスでの定着が論じられる。

科学の制度化における実験室の言及のしかたとしては、このようなものが標準的であろう。しかし、ここでは吉田が言及していない学生のための大学物理学実験室の成立・展開について、イギリスを例にして取り上げたい。

1. 大学実験室教育—化学から物理学への拡張

19世紀に大学の実験室は革命的に普及・充実していった。19世紀前半のイギリスでは、実験室 (laboratory) といえば化学実験室のことを指していたことからわかるように、1820年代以降まず化学で大学実験室教育が普及していった。グラスゴー大学のトーマス・トムソンなどが有名であろう。

19世紀後半に物理学実験室が設けられるようになるが、グラスゴーのウィリアム・トムソンやロンドンの

フォスターなどのように、実験物理学の実験室を運営した科学者の中には化学実験室で教育を受けた者が多かったと言われる。これは、イギリスよりも若干物理学実験室の普及の早かったドイツの場合も同様である。

イギリスの場合、1860年代後半から大学物理学実験室が次々と設立されるようになり、1885年ころには大学における科学の中心に実験室での実践が位置づけられるようになった。

イギリスにおける初期の物理学教育実験室の設立

- | | | |
|------|-------------------------------|-------------------|
| 1855 | University of Glasgow | (William Thomson) |
| 1866 | University College London | (G. C. Foster) |
| 1866 | University of Oxford | (R. B. Clifton) |
| 1868 | University of Edinburgh | (P. G. Tait) |
| 1868 | King's College London | (W. G. Adams) |
| 1870 | Owens College Manchester | (B. Stewart) |
| 1872 | Royal School of Mines, London | (F. Guthrie) |

[出所：G. Gooday (1990), p. 29より]

化学および物理学の実験室の普及は、精密測定的重要性ということが増大したためであるが、それはもっぱら研究上の要請から内的に進んだというわけではなく、中等教育の教員養成や産業界からの要請などといった需要の増加という事態も効いていたのである。

2. 工学教育における科学と実地

次に、イギリスの大学の工学教育における実験室教育の位置を考察しておきたい。

理論と実践という問題を考えてみると、工学教育にとってはとくに実践が重要であり、実験室教育がまさに重要であったはずであると思われるかもしれない。ところが、1840年にグラスゴー大学で始まった大学での工学教育においては、理論と実践の調和を図ることが目指されたものの、大学で実地教育を行うことには否定的であった。

技術者の養成は、大学と無縁のところ、徒弟修業・見習い訓練が行われる伝統があったため、大学に工学教育が位置づき始めても、グラスゴー大学のランキンやエジンバラ大学のジェンキンのように、大学での工学教育は、主として科学教育を行うことにあるのであって、実地面の教育を大学で行うことには反対で、それは従来どおり現場で熟練技術者を見習うことで訓練すべきであるとされた。

とはいえ、技術者におけるそうした経験主義が問題になる場合も生じていく。それは例えば、19世紀半ばの大

西洋横断海底電信敷設事業において起こった。この事業の過程で、経験主義のホワイトハウスは解雇され、ウィリアム・トムソンの主導の下、理論的な設計、実験室での試験・精密測定を推し進める方針が採用されたのである。つまり、ウィリアム・トムソンの物理学実験室教育が、電信技術者の養成にとって重要な位置を占めるようになっていったのである。

3. 工部大学校の実験室教育

最後に、こうしたイギリスにおける実験室教育の展開と、日本の工学教育の起源との関連について触れておきたい。

19世紀中葉以降のイギリスでは、国内での需要が一段落したこともあり、インド、オーストラリア、南アフリカなどで港湾、鉄道、電信などの建設にあたる技術者の離散が起こった。そうした中で、日本はイギリスからの大量のお雇い外国人の指導の下、それらインフラの建設を行い、さらに日本人技術者の養成のために工学教育を開始した。

工部大学校では、理論と実践の結合という理想の下、サンドイッチ型カリキュラムを組み、科学教育と実地教育との両面の工学教育を行おうとしたと言われる。理学・電信学を担当したエアトンは、ウィリアム・トムソンの指導を受けた人物であるが、工部大学校で物理学実験室教育を始めた。

理論と実践の結合という理想を掲げたものの、工部大学校の工学教育において、大学校内での科学教育と現場での実地教育がうまく結合していたとは単純には言い難い。電信工学教育の場合、当時緊急の課題であった電信網の建設との関係からも、実地教育では、当初ひたすら現場での電信建築実習が優先されたのだが、そうした中で、エアトンはそうした実地教育に対して一定程度の評価を下しつつも、電気試験の教育の重要性を主張してい

たことが注目される。つまり、エアトンは、実験室教育により、精密測定を日本に定着させようと思図していたと考えられるのである。

ただし、こうした精密測定を日本に定着させようとするエアトンの思想には、文化帝国主義的なものが嗅ぎ取れることを指摘しておきたい。

以上、実験室教育の展開に着目して、科学の制度化・専門職業化の一断面を考察した。そこには、様々な問題を見出すことができるが、実験室教育に注目することによって、科学の内容面での変化、制度面での変化、両面からの歴史的研究が進展するものと考ええる。

主要参考文献

吉田 忠「科学と社会—科学の専門職業化と制度化」、村上陽一郎編『科学史の哲学』（朝倉書店、1980年）所収、pp. 93-171.

Frank A. J. L. James, ed., *The Development of the Laboratory: Essays on the Place of Experiment in Industrial Civilization* (London: Macmillan, 1989).

Graeme Gooday, "Precision Measurement and the Genesis of Physics Teaching Laboratories in Victorian Britain," *British Journal for the History of Science*, vol. 23 (1990), pp. 25-51.

Graeme Gooday "Teaching Telegraphy and Electrotechnics in the Physics Laboratory: William Ayrton and the Creation of an Academic Space for Electrical Engineering in Britain 1873-1884," *History of Technology*, vol. 13 (1991), pp. 73-111.

柿原 泰「近代日本の工学教育における科学と実地の相克—工部大学校における電信工学」、年報『科学・技術・社会』第5巻（1996年近刊）。

Mary Jo Nye, *From Chemical Philosophy to Theoretical Chemistry: Dynamics of Matter and Dynamics of Disciplines, 1800-1950* (Berkeley: University of California Press, 1993), Chap. 2.

[シンポジウム]

化学史と実験の新しいヒストリオグラフィー

橋本毅彦
(東京大学)

講演者は以前『化学史研究』(1993年)に「実験と実験室(ラボラトリー)の新しいヒストリオグラフィー」と題して、理論よりも実験を重視しようとする最近の化学史研究をサーベイしたエッセイ・レビューを寄稿した。しかしその大半は物理学史の研究であり、化学史の研究はわずかにラボラトリーの起源に関するものだけであった。その後出版された Jed Z. Buchwald ed., *Scientific Practice: Theories and Stories of Doing Physics* (1995) も、その副題が語るとおり物理学における実験を主題とした歴史的哲学的研究を集めたものである。このように物理学史家の間では、確かに実験への関心が再燃されているように思われる。

小論で紹介したとおり、実験への新しい関心の由来は様々であろう。社会構成主義やエスノグラフィー、あるいは発見過程の研究や科学教育の歴史などを、そこでは指摘しておいた。一方上記論文集 *Doing Physics* においては、合理主義から相対主義へと揺れたクーン以降の科学哲学への反省が動機として存在している。一人の著者は、理論家の共同体とともに実験家の共同体を自律した存在として考え、共約不可能性という科学哲学における隘路をなんとか切り抜けようとしているし、他の著者は再現実験(replication)と呼ばれるものの意味を分析し、理論からは自律した物質的再現(material reproduction)という概念をその一種として提示したりしている。

このような哲学的な関心が伏在しつつ、実験を巡る新しい歴史研究が物理学史家の間で進められることを、化学史家はどのように受けとめるべきなのであろうか。小論の結語において「化学史の研究においては以前から一貫して実験というテーマが検討されてきている」という化学史家の批判を引用しておいた。古くから実験に関わってきた化学史にとっては、新しい実験研究などことさら新味はないのであろうか。あるいは理論と実験との関係を、化学史の事例に即して歴史的哲学的に再検討し、*Doing Physics* ならぬ *Doing Chemistry* なる論文集を編

集するべきなのだろうか。近年の化学史の研究を引用しながら、このことについて考えることを述べたいと思う。

1. 実験装置

まず最初に Andrew Ede による最近の論文 “When is a Tool not a Tool? Understanding the Role of Laboratory Equipment in the Early Colloidal Chemistry Laboratory,” *Ambix* (1993) を取り上げよう。19世紀末から20世紀初頭にかけてのコロイドの性質を研究するための各種実験装置の発展を追ったものである。コロイド自身の理論を形成するための前提条件は、同一コロイド粒子を選別することである。そのためには集合体としてのコロイドではなく、単一粒子のコロイドを選び分ける、あるいは作り出すことが必要なのだが、それは非常に困難な作業であった。コロイド研究のための実験装置を追うことにより著者は、それらの実験装置がコロイド自体の研究から外れた研究の道具として利用されていたことを指摘する。例えば一定の大きさのコロイド粒子のゾルを生み出すスヴェドベリの実験方法は、電気泳動や光の屈折の研究に活用され得るものであった。このような実験装置自身の発展の論理を描くことにより、「実験とは孤立した事象ではなく、過程の一部であること」つまり実験家は一つの実験を次へのさらなる実験のステップとして捉えていると、著者は指摘するのである。

実験装置に関しては、ラボラトリーにおける装置からプラントへの装置への移行に着目することも重要であろう。Willem Hornix, “From Process to Plant,” *BJHS* (1992) はパーキン以降の合成染料の生産現場における反応装置の発展を追ったものである。最近の産業史の研究においても、例えば山本潔『日本における職場の技術・労働史』(1995年)の後篇は、日本の化学工業の発達における生産現場における装置と労働形態を時代ごとに分析している。化学史における実験装置と産業史における生産現場の分析とがうまく噛み合うことを期待したい。

2. 産業界のノウハウ

化学史の重要なテーマとして19世紀後半の有機化学研究と染料合成技術の発達史がある。最近このテーマに関して、上記 Hornix 論文を含む *BJHS* の特集号や *Rainbow Makers* といった著作が発刊されている。前者はこの歴史を様々な切り口から議論したものであるが、その大半は産業界の技術や企業研究所について論じたものである。アウグスト・ホフマンのタイプ理論と染料開発と

の関係を論じた論文もあるが、その標題はホフマン自身の言葉「科学の強力な伴侶」(産業技術のこと)となっている。大学で有機化学を研究するホフマン自身、その分野の知見に関して産業界が大学をリードしていたことを自覚していたのである。

各種染料とりわけアリザリンとインジゴの合成法開発においては、化学と技術との密接な協力関係があった。これらの製法の開発は、ケクレの弟子アドルフ・バイヤーと英国マンチェスターで染料業界のノウハウを吸収したハインリッヒ・カロとの共同作業によるところが大きい。合成法がまず開発されてから、染料の分子構造が決定されたりするところに、技術開発と科学研究との密接な絡み合いを見て取ることができる。

また新染料の開発競争において、同様の染料が複数の化学者によって発明されることにより、その先取権が法廷で争われることになる。その際先取権の判断に先立ち、各染料とそれぞれの合成法について、それらが同一のものなのか異なるものなのかが決定されなければならない。産業化のノウハウが未だに科学界の共通認識になっていない時代、染料の同定そのものがしばしば困難であった。研究開発の成果に対する特許のあり方は、そのような状況の中で定められていったのである。これを実験室と法廷における再現実験の問題として、科学論の格好の課題とみなすこともできるのではないか。

3. 化学革命再考

最後に「化学革命」に関して述べたい。『化学史研究』においてもラヴォワジェ研究入門が企画され、「遅れた科学革命」の立役者ラヴォワジェを様々な側面から分析する近年の歴史研究が紹介された。その個々の紹介の中には、ラヴォワジェの実験について論じるものも含まれているし、実際ラヴォワジェ論には定量分析が欠かせない。しかし化学史におけるラヴォワジェの意義は、まずはフロギストン燃焼理論に代わって酸素の燃焼理論を提唱し、新しい元素体系を樹立するという優れて理論的な功績を成し遂げたところにある。その功績がずばぬけて大きいことは疑問の余地はないのだが、彼以前の化学の活動の歩みをラヴォワジェに向かう道筋の上に捉えてしまうのでは、歴史の重要な側面を見落とすことになりかねない。例えば敵役のフロギストン概念を歴史的に遡及し、シュタールやベッヒャーをその概念の創始者として扱ったのでは両者の活動の歴史的意義を十分には把握できないように思われる。

Pamela Smithの最近の著作*Business of Alchemy* (1994)は、フロギストンの創始者・カメラリズムの提唱者としてのベッヒャー像を越えて、ベッヒャーの思想と行動を追いつつその歴史的意義を論じたものである。Smithの著作の中において化学史研究におけるベッヒャーの位置づけを論じる際に、ドイツの化学史家Meinelの諸論文が引用されている。Meinelは(Smithの言葉によれば)「18世紀の化学史を理論の転換としてよりも、科学的実践の組織や連携における転換として見る。そして化学を経済活動と連携させるようにしたのがベッヒャーであり、その連携は18世紀を通じて強化された大きな成果を生み出していった」というのである。

Meinelは、1750年頃にウプサラ大学の化学教授ワレリウスによって提唱された「純粋化学(chemia pura)」と「応用化学(chemia applicata)」という概念の歴史的意義を論ずる。その背景には、理論と実践という二分法を乗り越えて理論と実践の双方の要素を含みつつも大学で教育されるにふさわしい概念が必要とされたことがあった。中世以来大学という場は基本的に理論的学問を教える所である。敢えて教えられる技芸は、自由人の技芸に限られる。だが化学とは優れて実践的技芸的な営みである。その理論的の上澄みだけを教えて何になるろう。そこで純粋化学と応用化学という新概念をもち出し、化学を自然学の一部と位置づける一方で、その広範多岐にわたる有用性を強調しようとしたという訳である。ちなみに応用化学の中には医療化学、鉱物学、冶金学、農芸化学、染料化学などが含まれている。有用性の強調が評価される歴史的背景として、ベッヒャーに由来するカメラリズムの伝統が指摘される。化学は国家にとって役に立つという主張が、一見大学には相応しくない化学の存在意義を支えたというのである。このような化学と産業経済との深い関係と専門分野としての化学の成立という視点から、ベッヒャーだけでなくシュタールも見直すべきであるし、いわゆる化学革命の歴史的意義についても「実践の組織のされ方」に注目しながら再考されるべきではないかと考える。

以上まとめると、出自からも成長の過程からも化学という専門分野の発展史における大きな特徴は科学(理論)と技術(実践)との極めて密接な関係であり、その問題を分析するにあたっては最近の実験や科学実践に関する歴史的哲学的社会学的研究は大いに役立つと思われる。

〔特別講演〕

ドイツ大学と化学

潮 木 守 一
(名古屋大学)

ノーベル賞が設定されたのは1901年である。以来最初の30年間に授与されたノーベル賞のうち、3分の1までがドイツ人学者によって獲得されている。このことに端的に示されているように、20世紀初頭のドイツの科学研究は圧倒的な強みを見せていた。こうしたドイツの圧倒的な優位を証拠立てているのは、ノーベル賞の受賞数だけでなく、例えば、19世紀最後の25年間に世界の生理学の領域で行われた独創的な研究のうち、60%はドイツでなされた。同じ時期に熱・光・電気・磁気の領域におけるドイツでの発見はフランス、イギリスそれぞれの2.5倍に達している。

こうしたドイツ優位の背後にフリードリヒ・アルトホーフという稀代の文部官僚・学術官僚の活躍があったことは、あまり世間では知られていない。彼は1882年から1907年までの25年間、プロイセン文部省の中枢にあって、プロイセン邦ばかりでなくドイツ全体の科学研究の推進に重大な役割を演じた。彼の在職期間中、ドイツの大学は史上稀にみる発展を遂げた。彼は「ふとくにピストルを用意するようにして」大蔵省とかけあい、大学のために多額の予算を獲得しようと努めた。彼は各地の大学に時代の最先端をゆく実験室を作り上げた。また、優れた研究者とみれば、大学の反対を押し切ってでも、その人物を教授のポストに据えようとした。アルトホーフの援助・支援によって教授職を得た者、実験室・研究所を獲得した者は多数にのぼった。彼らのなかには、それをきっかけとして優れた研究成果を生み出し、それによってノーベル賞を獲得した者もいる。

そのため、彼は「影の文部大臣」あるいは「大学のビスマルク」と呼ばれた。その並々ならぬ行政手腕は高く評価され、多くの者が感謝と称賛の言葉を送ったが、その反面、彼は大学の権威を貶め、学問の威信を失墜させた。非難・誹謗もされた。彼を中心としてできあがった体制を「アルトホーフ体制」と呼び、多くの大学人はそれを批判し、恐れ、憎悪さえした。ドイツの大学と学問のためにあらゆる抵抗と反対を押し切り、それが発展できる基盤を作り上げたアルトホーフが、なぜ批判・誹謗・憎悪の対象とされたのだろうか。

まず、大学は彼の専制的な人事を非難している。当時

ドイツの大学や研究所はすべて国の予算で運営される国立の機関であり、そのため、文部省は大学教授や科学者の目から見れば教育、学術、研究の面で絶大な権限をもつ官庁であった。教授選考にあたって、学部教授会には教授候補者を3名推薦する提案権が認められていたが、文部大臣は教授会が推薦しない人物を正教授に任命する権限を有していたのである。その人事権を具体的に行使していたのはアルトホーフであった。文部省内で彼のポストはそれほど高くはなかったが、長年のキャリアと、並はずれて豊富な情報を備えていた。教授選考の最終決定権が文部省に置かれている限り、最善の人事を目指すのは、文部官僚の責任であり、義務である。多くの文部官僚が大学との摩擦を避け、ことなかれ主義に墮するなかを、アルトホーフは文部官僚として忠実にその職務を果たそうとした。結果的に彼はその権力を用いてしばしば大学の意向に反した人事を強行している。生理学者パウル・エールリヒやエミール・フォン・ベーリングなどの実例に見られるように、才能があるにも関わらず大学の教授会の閉鎖性から見向きもされない研究者を、文部官僚がその恵まれない研究環境から救い出し、大学や研究所に押し込み、チャンスを与えたのである。

実際、彼の選択には、学部教授会以上に広い視野に立って行われた教授選考であると評されるに十分な根拠があった。彼は教授候補者リストを徹底的に検討・吟味し、必要とあれば候補者の教室まででかけ、その人物の適性を判定しようとした。また、彼は候補者と同じ専門分野に属する他の大学教授からの意見聴取を頻繁に行っていた。各地の大学に「腹心の教授」を抱えるなか、これらのルートを通して、どこの大学にどのような教授がいて、どのような研究をし、それが学問世界でどう評価されているのか、また、どこに若手の逸材が埋もれているかを知ることができたのである。

では、いったいアルトホーフを徹底的に嫌う人々は彼の何を批判し、非難し、恐れたのであろうか。アルトホーフ時代、学問の世界は厳しい就職難であった。教授資格試験に合格しているのに、教授職にありつけない状態の者が数多くいた。当時、大学は政府の財政事情から、どこでも一専門分野の正教授は1名だけという体制をとっており、正教授を中心に、その下で大勢の者が助手として働くというピラミッド構造ができあがっていた。当然、学問の世界を目指した者はだれしも正教授のポストを夢見た。しかし、年々、正教授への待ち時間は長期化し、競争率も増加した。こうした学問の世界での労働力の供給過剰は、文部省の権限をいやが上にも強める結果となった。そして、大学教師のポストをめぐる競

争が激化すればするほど、アルトホーフの存在は絶対のものとなっていったのである。

このような絶大な権力を握った者に対する評価というもの、愛憎相半ばするのはごく自然のことであろう。弱者からすればその権力に依存しなければならないが、同時にそれは不安を呼び、恐怖心、そして憎悪をも誘い出す。しかし、アルトホーフの場合にはそれが普通の限度を超えていた。それは権力主義的で、目的実行のためには手段を選ばないという彼の人格のみが原因ではなく、彼を中心にできあがった「アルトホーフ体制」が人々に恐怖心を抱かせ、憎悪をかったからである。

しかしながら、そうした批判、非難にも関わらず、ドイツの科学・学問・大学の発展がアルトホーフのたぐい稀な企画力と実行力に多くを負っていたことは否定できない事実であった。アルトホーフには「組織作りの天才」という名も与えられた。例えば、カイザー・ヴィルヘルム研究所の設立構想、民間資金と国家資金との融合による科学研究の支援システム、さらにダーレムを中心とする学術研究センター構想、これらの新機軸のかなりの部分はアルトホーフの発案だったと考えられる。

後世に名高いカイザー・ヴィルヘルム協会は、1910年ベルリン大学創立記念祝典での皇帝の演説がきっかけとなって発足している。この演説のポイントは二つあった。一つは、大学とは別に学生を教える義務から解放され、研究だけに専念できる研究所という機構を設立することであり、第二には、そのためにいまや民間基金を集めることが必要だ、という点である。同協会設立に関する事業計画を「建議書」にまとめ、皇帝に提出していたハーナックは、その中で繰り返し「ドイツ科学の立ち遅れ」を訴え、世界は「研究所競争」の時代に入ったと力説した。結局、カイザー・ヴィルヘルム協会は資本家や銀行家を中心に約3,800万マルク（現在価格約30億円）もの拠出金を得て、化学研究所を中核とする八つの研究所を設立した。また、ハーナックは建議書の段階で、すでに明確にダーレムを新しい研究所群を設立する地域として特定している。しかし、これにはアルトホーフが極めて早い時期からベルリン大学のスペース不足という事態を予測し、ダーレムへの大学移転、一大学術センター構築の構想を練り、人々を説得しようとしていたという前史があった。ハーナックは建議書の構想作成の協力者としてエミール・フィッシャーとヴァッサーマンの二人の名前を挙げているが、もう一人ハーナックが言及しなかった影の草案者、その人物こそがアルトホーフなのであった。

しかし、こうした功績の一方で、彼はあまりに多くの人々の憎悪、非難をかってきた。いったい、我々はこのアルトホーフという人物をどう評価すべきなのだろうか。

そのためには、まず、この時期できあがった国家と大学の依存と対立の緊張関係という構図に着目する必要がある。すなわち、いまや世界の頂点に立つことになったドイツの大学に自信と誇りをもった大学人を一方に、大蔵大臣と戦いながらドイツの大学と学問を世界の最先端に導こうとする文部官僚を他方にもつ構図である。学問・研究・大学の一大変革期という未曾有の時代にあって、彼らは相互に依存し、対立しなければならない宿命にあった。従って、アルトホーフに対する批判、非難を彼個人のパーソナリティに帰することは正しくない。そこには、彼のパーソナリティを超えた時代の構造があったからだ。

その時代の構造とは、要するに学問研究が個人の等身大の規模を超え、巨大な資金と莫大な労働力を動員しなければ成立しなくなったということである。もはや学問研究は個人の資産、頭脳、時間、エネルギーの規模を超え、国家の資金投入なしには不可能な規模まで巨大化してしまった。研究は個人の自律的な活動であることを止め、国家へ、そして官僚機構へ依存せざるを得ない活動へと変身した。こうして登場した強力な官僚主義のもとに展開される大学政策・学術政策・科学政策を前に、大学人は大学の権威の失墜、学問の誇りに対する挑戦を感じとった。ここに官僚機構と大学との依存と対立のアンビヴァレンス、アルトホーフをめぐる称賛と憎悪のアンビヴァレンスが生じる原因があった。このことを考えれば、アルトホーフに向けられた称賛、賛美、感謝、批判、誹謗、反発、憎悪、これらはすべて付随的なことにすぎない。この異能というべき組織作りの天才は、毀誉褒貶すべてを一身にまわって、この世を去った。それがアルトホーフという人物の宿命であり、時代の宿命でもあった。

現代の大学・科学・学問は、基本的には同じ構図のなかで、より巨大化し、複雑化している。優れた官僚機構をもちうるか否かは、大学と学問がいかに優れているかにより、逆に、官僚機構もまた自分の姿に合った大学と学問しかもちえない。国家と大学は依存と対立の関係のなかを、たがいにその姿を作りあっているのである。その構図はすでに1世紀前に用意された。現代の我々はその構図のなかを生きているのである。

〔シンポジウム〕

ヨーロッパの医・化学史博物館

石田 純 郎

(新見女子短期大学)

演者は、1985年以後約20回訪欧し、また1990年から1年間半オランダのライデン大学(医史学)にも留学した。この間、ヨーロッパ16ヵ国を訪れ、医・化学史博物館、史跡を見学した。演者が訪れた主な医・化学史博物館について紹介する。

〈イギリス〉 ロンドン、ウエルカム医史学博物館：ヘンリー・ソロン・ウエルカムのコレクションを基に作られたこの博物館の展示は、ヨーロッパで最大、最良の展示で、科学博物館の上2階を占める。科学博物館(Science Museum)自体も大規模な博物館であり、化学関係の展示も多い。

オックスフォード科学史博物館：化学器具、蒸留器、医療器具、顕微鏡などが展示されている。

ケンブリッジ、ウィップル科学史博物館：大学の科学史、科学哲学講座付属の小規模な博物館で、医療器具、化学器具、顕微鏡、望遠鏡などを展示し、図書室を付設する。

エジンバラ、外科カレッジ歴史博物館：外科医師会館に隣接する中規模な外科史博物館で、展示の質が良い。

〈イタリア〉 フローレンス、科学史博物館：化学を含む科学器具、天文器具などを展示する中規模な博物館である。

ボロニア大学博物館：大学本館の中に置かれる。産科学関係の展示が優れている。

〈スイス〉 チューリッヒ大学医史学博物館：中規模の質の良い、医史学の展示がある。

バーゼル、スイス薬史学博物館：16世紀前半に哲学者エラスムスが住み、パラケルススも訪れた建物の中に、ヘフリンガー教授のコレクションを中心に展示している。錬金術師の実験室も再現されている。中規模で質の良い博物館である。

〈オーストリア〉 ウィーン大学医史学博物館：中規模な質の良い医史学展示があり、医史学図書館を付

設する。

ウィーン産業技術史博物館：大規模な産業技術に関する博物館である。現在は移転のため閉鎖中である。

〈ハンガリー〉 首都ブダペストにゼンメルワイス医史学博物館、医史学図書館がある他、国内主要都市に、保存薬局、薬局博物館が多数置かれ、ヨーロッパで薬史関係施設の最も充実した国である。

〈北欧〉 コペンハーゲン大学医史学博物館：中規模な質の良い医史学の展示がある。

スウェーデン・ヨーテボリ医史学博物館：大衆向け医史学博物館である。

フィンランド・ヘルシンキ大学医史学博物館：小規模な医史学博物館である。

〈ドイツ〉 インゴルシュタット、ドイツ医史学博物館：中規模な質の良い医史学展示がある。

ハイデルベルク、ドイツ薬事博物館：ドイツ最大の薬史博物館で、修道院の復元薬局薬局の他、錬金術師の部屋や化学用具の展示がある。

ミュンヘン、ドイツ博物館：ヨーロッパ最大の科学博物館で、化学史関係の展示も多い。

〈フランス〉 パリに病院博物館、リヨンに病院博物館、モンペリエ大学に解剖学博物館などがあり、医史学系の博物館は充実している。

〈ベルギー〉 ブリュセルの王立古典美術館には、「錬金術師の化学実験室」(David Ryckaert III, 1612-61)や、「パラケルススの肖像画」などの油絵が展示されている。

〈オランダ〉 歴史的化学器具を展示している博物館としては、ウトレヒトのテラー博物館、ライデンのブルハーヴェー博物館、ハーグのミュージオン、グローニンゲン大学博物館、ウトレヒト大学博物館などがある。大学史の博物館としては、フラネケル市立博物館、ハルデルワイク・フェルプス博物館などがある。オランダはヨーロッパでも、科学史系博物館が最も充実し、かつ密度の濃い国である。

これらの博物館の情報は、考古堂から2月に公刊した拙著、『ヨーロッパ医科学史散歩——医史跡・医科学史博物館25ヵ国ガイド』に収載している。この本は、340もの医科学史博物館・史跡を収載しており、類書より豊富な情報を、コンパクトにまとめたものである。

〔一般講演〕

J. W. Gunning と W. C. Röntgen

阪上正信

(金沢大名誉教授)

X線発見100年を期に、昨今は Röntgen (1845-1923) の業績とその影響、その人となりにつき数多く言及されているが、その生い立ちと若年での歩みを知ることは、科学の歴史をつくりあげてきた人物の人間の基盤を知る上で意味がある。一方で演者は川本幸民『化学新書』復刻の仕事との関わりで、その原著であるドイツ J. A. Stockhardt 著 *Schule der Chemie* をオランダ語に訳し、しかもその蘭書の第3版では数々の独自の補注をし、それが『化学新書』のもととなった著者 Gunning への関心を深めていた。これらのなかで、Röntgen と Gunning の間の意外な深い関わりあいを見出したので、今回の発表とする。

Röntgen はドイツ Köln 北部の町 Lennep 生まれで、生家がここに残り、Röntgen 博物館もある。母 Charlotte は1806年 Amsterdam 生まれオランダ由来である。一家は Röntgen 3歳の春、オランダ Apeldoorn に移住し、ドイツ国籍を放棄しオランダ籍となった。この学校に16歳まで学び、オランダ語を話したのでドイツ語の話でもそのなまりが残っていたという。そして1862年17歳になり、両親は彼を Utrecht に送り、工業学校に入り、住んだのがほぼ同年齢の学生もいた J. W. Gunning の所であった。この時期の思い出は、数十年後の Röntgen の知人の娘への手紙にあり、Gunning のしっかりした人柄、家庭の雰囲気もうかがわれ、生涯生活のよきモデルともなった。

当時1827年生まれの J. W. Gunning は35歳であった。彼は Utrecht 大学で G. L. Mulder のもとに学び、1849年よりその助手、1854年講師となり、その講義も担当した。しかし間もなく起こった Mulder との確執のためそれをやめ、1857年11月同市の工業学校教師となり、国の財政部の自然科学顧問でもあった。なお Stockhardt 著書の蘭訳第3版の刊行は1855年(蘭訳初版'47年、2版、'50年刊)であり、川本幸民、清一、坪井信良訳「化学読本」の原著である Gunning 自身の著作 *Leerboek der Scheikunde* が準備されつつあったのはこの後で(国会図書館にその第2版として刊行の金属篇'64年、非金属

65年、有機篇'66年あり)、Gunning 家にいた Röntgen もその付録の学習問題集の作成を手伝い、それには W. C. R. のイニシャルの付記があるという。1865年より Gunning は Amsterdam の由緒ある市立アテネアの化学・薬学の教授となった。1876年それは大学となりその教授を担当し、1877年には25歳の van't Hoff の同大学講師就職の世話もしている。

Utrecht の工業学校に学んでいた Röntgen は、教師の風刺漫画の落書きをした友人をかばったできごとでそこをやめざるをえず、1865年卒業証書も無いので正式学生ではないものの Utrecht 大学に登録されて化学・物理・動植物の講義にも出席した。やがて工業学校での友人から、スイス Zürich の Eidgenössisches Polytechnikum では入学試験にさえ合格すればよいと聞き、この工学部応用数学(力学)専攻に進学、製図の成績以外は優秀で1868年機械技術士の資格を取得した。父がすぐ就職を求めなかったのも、さらに R. Clausius の後継者となった若き物理学者 A. Kundt の講義等を聞き、その勧めで物理学者への道を進み、1869年その博士論文も受理された。その後 Kundt の助手として Würzburg、ついで Straßburg の大学と移り、1874年講師、30歳になって Hohenheim 農業アカデミー教授となるが、1年半で Straßburg にもどり、1879年 Gießen 大学教授、1888年より Würzburg 大学教授となり、1895年11月 X線を発見したのは50歳の時である。その翌年には大きな反響が世界におよび、68歳の Gunning も2月9日温かい祝贺便を送ったが、いろいろと多忙となった Röntgen がそれに心からの返書を書いたのは、やっと時間の余裕をえて休暇に行っていた4月1日 Naples 近くの Sorrento からである。Gunning は Amsterdam 大学を1896年69歳で退官、1900年歿した。彼と若い頃関わりがあった Röntgen と van't Hoff は、くしくも1901年それぞれ物理と化学の第1回ノーベル賞を受賞した。

文 献

- 1) Schedel, A., Keil, G., *Der Blick in den Menschen W. C. Röntgen und seine Zeit*, Urban & Schwarzenberg, Wien, 1995; "Röntgen Rays Centennial" (Exhibition Catalog), Würzburg University, 1995.
- 2) Snelders, H. M., *De geschiedenis van de scheikunde in Nederland*, Delftse Universitaire Pers, 1993.
- 3) Gunning, J. W., *De Scheikunde, Der de Nederduitsche Uitgave van Stockhardt's Schule der Chemie*, S. E. van Nooten, 1855.

〔シンポジウム〕

「科学と宗教」問題序説

—科学史学の立場から—

川 田 勝

(東京大学大学院)

「科学と宗教」の関係を問う¹⁾、という問題自体は、科学史という学問が制度化される以前から、広く関心を引いてきたが、科学史学が制度化されて以降、この新興の学問の内部でもこの問題は盛んに議論をされてきた。この問題に広い意味で関わりのある論文、著書、論集の類は枚挙に暇がないほどであり²⁾、その詳細を論じることが不可能であるが、ここでは、科学史学内部での主な議論の流れを概観、整理し、そこから得られる教訓と、それを踏まえて今日この問題に取り組むときの問題の設定の仕方を探ることを目標とし、ディスカッションの素材としたい。

1. 科学史学と「科学と宗教」問題の学説史概観

「科学と宗教」という問題を「科学史学」の内部で議論する場合、「科学史学」という学問的営為の目的が、その問題設定と歴史記述そのものに影響を及ぼすこと、また実際に及ぼしてきたことは当然である。言い古されてきていることではあるが、やはりここでも、「宗教」はともかく、「科学」という言葉によって何が含意されているか、ということが、この問題への取り組み方に一つの決定的な枠組みを与えてきた。ここでは、いわゆる「ドレイパー・ホワイト」テーゼのもととなった歴史記述を手始めに、中世と近代の「連続性問題」、ガリレオ問題、進化論問題、マートンテーゼなど、古典的問題とそれらについての歴史記述、またそれらに対する、社会的科学史叙述などの流れを概観し、それらの特徴を明らかにしつつ、これまでの「科学的」アプローチの持つ特質を探る。また、日本における研究伝統についても触れたい。

2. 科学史的問題設定の整理と問題点の指摘

1. を踏まえて、これまでの問題設定の在り方を整理する。特に科学と宗教の歴史的、現在の関係を、「闘争」、

「独立」、「対話」、「統合」という形で捉える I. G. Barbour の整理の仕方とそれが持つ可能性、またそれに伴う問題点を考察する³⁾。また W. B. Drees, J. H. Brooke, M. Rudwick らの議論も採り上げて検討する予定⁴⁾。それらの中で、特に科学史学内部では、「科学」そのものの問い直し、常に宗教との関わり方の理解においてやはり基本的に重要であること、また科学的言明と宗教的言明の関わり、という面からだけではなく、それぞれの領域での真理性の異同、有効な説明の受容可能性の異同等の面から捉える必要があることを確認する。さらには、そもそも「科学」と「宗教」の理念的ダイコトミーを前提とする議論に潜む陥穽も指摘し、望まれる議論の方向性を示唆する。

3. 有効な問題設定の模索—ディスカッションのために

問題設定の仕方、設定された問題に対する有効な解答の形式などは、基本的(究極的)関心によって定められる(「関心—解答」連関)という立場から、歴史においてなされた問題設定の仕方、またそれに対して与えられた解答の形式を手がかりに、逆に基本的関心を明らかにする、という方向性を持った思想史、社会史研究の重要性、必要性を主張したい。つまり、「科学と宗教」問題の歴史を、科学史学の内部で扱うには、この問題を扱う論者の「基本的関心」の在処の変遷史、という形の歴史研究として探求されることの有為性を確認したい。

注 と 文 献

- 1) 本論では、宗教という場合、第一義的にはキリスト教のことを指している。
- 2) この問題についての書誌的情報に関しては、J. Hübner, (ed). *Der Dialog zwischen Theologie und Naturwissenschaft: Ein Bibliographischer Bericht*, München: Kaiser, 1987.
R. H. Macleod, R. Petersen and P. Ames, *Contemporary Issues in Science and Christian Faith: An Annotated Bibliography*, Third Printing, Revised and Expanded, Ipswich, American Scientific Affiliation, 1992.
Who is Who in Theology and Science: An International Biographical and Bibliographical Guide to Individuals and Organizations Interested in the Interaction of Theology and Science. Compiled and edited by the John Templeton Foundation, Framingham, Mass., Winthrop Publishing Co.,

1992. などを参照。また、
- J. H. Brooke, *Science and Religion: Some Historical Perspectives*, New York, Cambridge University Press, 1991, の巻末に付された Bibliographic Essay, や, D. C. Lindberg and R. Numbers, (eds). *God & Nature: Historical Essays on the Encounter between Christianity and Science*, California, University of Chicago Press, 1986 (『神と自然』 渡辺正雄監訳, みみず書房, 1994) 巻末の A Guide to Further Reading なども有用。
- 3) I. G. Barbour, 'Ways of Relating Science and Theology' in R. J. Russell, W. R. Stoeger, S. J. George, V. Coyne, S. J. (eds). *Physics, Philosophy and Theology*, Vatican, Vatican Observatory, 1988, pp. 21-48. (『宇宙理解の統一をめざして』 柳瀬睦男監訳, 南窓社, 1992, pp. 31-70), I. G. Barbour, *Issues in Science and Religion*, Englewood Cliffs, Prentice-hall, 1966.
- 4) Willem B. Drees, *Religion, Science and Naturalism*, Cambridge University Press, 1996, esp. pp. 1-53.
- John Hedley Brooke, *Science and Religion: Some Historical Perspectives*, New York, Cambridge University Press, 1991.
- Martin Rudwick, 'Senses of the Natural World and Senses of God: Another Look at the Historical Relation of Science and Religion' in A. R. Peacocke, (ed). *The Science and Theology in the Twentieth Century*, Indiana, University of Notre Dame Press, 1979, pp. 241-261.

〔シンポジウム〕

科学と世界観—現代神学の視点から—

芦名定道

(京都大学)

1. 問題

今回のシンポジウム「科学と世界観」において、現代神学の立場から発題するにあたり、次のように問題設定を行うことにしたい。まず、現代神学あるいは宗教学の視点から、宗教と科学（とくに自然科学）の関係を考える場合、両者の関係を問うための前提として、「人間は意味世界において生きている」という点を確認しておくことが有益であろう。人間の生きている世界（生活世界）は意味連関において人間にとって有意味で了解可能なものとして構成されている。人間の生きる現実世界は人間にとって実在性を有する所与であると同時に、人間の共同体的文化的行為による構築物である。また人間は出来事や事象の意味の理解に執着する存在者である。もし、人間が意味世界に生きているということを認めるならば、次の三つの契機が人間の本質に属していると考えることができる。

①意味世界の象徴・イメージによる具体的な表現・把握（→世界観・神話）、②意味世界の究極的根拠の探求（→宗教）、③意味世界とそこにおける経験の客観的構造・法則の解明（→科学）。意味世界の歴史的な原初形態においては、①②③の三つの要素が未分化な仕方でも統合されているが、次第にこれらは分化し、それぞれ独立した自律的な精神領域として分離してゆく。以下の発題では、人間が意味世界において生きる存在者である限り、その世界は①②③の三つの要素を要求せざるを得ないこと、そして、意味世界の具体的な象徴的把握としての世界観（世界像）が宗教と科学の関係を論じる場として設定可能であることを前提にしたい。

2. 宗教と科学の関係史

以上のような前提から、西洋世界における宗教と科学の関係史のアウトラインを理念的に図式化する場合、次のような枠組みが設定できるように思われる。これは、

ティリッヒにおける「原初的神律（破られざる神話）→自律の生成（破られた神話）→自律と他律の対立→自律の平面化と他律の偶像化→新しい神律の待望」、「conflict→tolerance→cooperation→reunion」という枠組みをアレンジしたものであり、具体的な歴史研究による検証が必要な作業仮説（現象を整理するためのモデル）と考えていただきたい。

〔宗教と科学の関係史のアウトライン〕

- 1: 未分化→古代
- 2: 分化・相互交流→古代～中世
- 3: 分化・緊張→中世～近代
- 4: 分化・対立→近代
- 5: 分裂・対立→19世紀
- 6: 分裂・分離・無関係→20世紀前半・弁証法神学
- 7: 再相互交流・緊張・対話→現在の主要動向の一つ
- 8: 再相互交流・再統合→未来?

現在の神学的な問題状況は、6から7の段階にある。進化論論争に象徴される啓蒙思想以降の「分裂・対立」の状況への反省（あるいは反動）から、20世紀神学は、近代科学に対する「分裂・分離・無関係」を基調としており、この傾向は未だ支配的である。しかし、様々な理由から今や神学の状況は7の段階への移行を推進し、さらには8の可能性の模索を開始しつつある。

3. 20世紀神学における科学

6と7が20世紀の現代神学における「科学」との関わりを特徴づけていると言えるならば、神学における宗教と科学との関係の問題状況を理解するには、6と7の段階に対応する神学の議論を具体的に検討することが必要になる。

6の実例としてのブルトマンの非神話論化（Entmythologisierung）を取り上げよう。

非神話論化の諸前提：

- a: 近代的な科学体系における二元論→自然と歴史・精神・自由・道徳の二分法
- b: 主体性が真理である、客観性に対する主体性の優位（キルケゴール的）
- c: 古代の世界観の無意味化→世俗化後の宗教（近代人にとって有意味な宗教）は聖書の神話論と世界観からその実存的真理を抽出することを要求する。
- d: 神話、世界観、科学は、客観化する思考方法に属する。

非神話論化→神学における世界観、神話、科学、自然といった問題群の過少評価

次に、6から7へと向かう神学の新しい動向へ考察を進めたい。

1：自然・世界観の復権→焦点：創造論、終末論の再解釈

2：対話の実践的意義→倫理的諸問題（生命・環境）
モルトマン、パネンベルク、マクファグュー、トランスなど。Zygon, Journal of Religion & Science

4. 結び

宗教・神学と自然科学との関係はいかなるものであるべきなのか、あるいはいかなるものであり得るのか？とくに、7における宗教と科学の「対話」は、いかなる必然性に基づいて要求されるのか、こうした点について、若干のコメントを行うことによって、発題の結びとしたい。

1で論じたように、人間が意味世界において生きることを欲求する存在者であるとするならば、宗教と科学を世界観において相関させようとする試みは、人間の本性に属すると言えるかもしれない。もちろん、宗教と科学のいわゆる「対立」以後の世界に生きる現代人にとって、この対話・統合がどのように実現可能であるかは自明ではないし、現代科学と対話すべき宗教を伝統的な諸宗教に限定できるかも自明ではない。日本においては、

こうした対話の場を模索するために、まず科学史と神学思想史の二つの学問領域に属する研究者が科学と宗教の関係についての歴史研究を共同で進めることが重要ではないだろうか。

文献表

1：芦名定道

1993：『宗教学のエッセンス』（北樹出版）。

1994：『ティリッヒと現代宗教論』（北樹出版）。

2：Paul Tillich

1958：The Relationship Today between Science and Religion, in: J. Mark Thomas (ed). *The Spiritual Situation in Our Technical Society*, Paul Tillich. Mercer University Press 1988.

1959：Religion, Science, and Philosophy, in: *ibid.*

3：Rudolf Bultmann

1948：Neues Testament und Mythologie, in: R. W. Bartsch (hrsg.). *Kerygma und Mythos I.*

1955：Wissenschaft und Existenz, in; *Glauben und Verstehen. Bd. 3.*

4：Jürgen Moltmann, *Gott in der Schöpfung. Ökologische Schöpfungslehre*, Kaiser 1985.

5：Sallie McFague. *Models of God. Theology for an Ecological, Nuclear Age*. Fortress 1987.

6：Wolfhart Pannenberg, *Wissenschaftstheorie und Theologie*. Suhrkamp 1977.

7：Vincent Brümmer (ed.) *Interpreting the Universe as Creation. A Dialogue of Science and Religion*. Kok Pharos Publishing House 1991.

〔シンポジウム〕

回想の科学史、宗教そして世界観

柏木 肇

(名古屋大学名誉教授)

ここ半世紀あまりの、科学史研究の推移を回想し、若干の点についてこれに論評を加えてみたい。先ず近代科学史に着目すると、そこでは「17世紀の輝かしい達成」と評価された「科学革命」と「19世紀に実現した科学の制度化、職業化」という二つのできごとが特記され、科学史家は両者によって仕立てあげられたトラップに捕獲された科学者英雄や、ロイヤル・ソサイエティ (R. S.) のように著名な機関に関する微にいり細を穿った研究に関心を集中させてきた。科学史研究がこのような趨勢に固定化された結果、歴史家相互の間の議論は途絶えがちとなり、科学史も「まことに成熟した学問分野となった。そして、この間歴史記述におけるホイッグ史観への反省が生まれたことは、科学史にとって、たしかに歓迎すべきできごとではあった。しかし、そもそもホイッグとは何かについて、科学史家の、見解はいまだに整理されていないから、近代科学史が作りあげたトラップが、実はまことに頑固なホイッグ主義でかためられており、これをいかに打破するかという基本的な課題さえ歴史家の間で等閑視されているのが現状である。

このような観点から近代科学史を考察すると、その弱点は極めて多岐にわたっていることがわかる。これらの中で最大かつ構造的なのは、この歴史の宗教に対する、ほとんど無視に近い取り扱いであろう。それゆえ、ここでは例をイギリスに求め、主として宗教に関連する諸問題を論ずることとする。

1. 啓蒙主義と宗教

近代科学史は「科学革命」以後の17、18世紀科学の特徴に、しばしば啓蒙主義という概念をあてることがある。すなわち宗教が他のもろもろの神秘的観念とともに人の思考から徐々に後退し、かわって理性の判断が登場するのは、人間の本性であるという目的論を仕立てて、この概念を説明するのである。思考方法のこのような変化は、それ自身の中に原因を含むから、その記述は単なるクロノロジーに還元され、歴史を構成する余地がない。そこでは誰が啓蒙運動を推進したかは問われず、そ

の根底にひそむイデオロギーの本質を明らかにする必要も生じない。しかしキリスト教信仰は西欧人の精神構造の根幹をなしており、理性をめぐめさせ、情念を抑制して、自然の理解に迫ろうとしたのも、ひとえに信仰と結びついた規範的行動にほかならなかったのである。

2. ベイコン主義からニュートン主義へ

17世紀、至福千年の終末論をかかげ、フランシス・ベーコンのエールに励まされたピューリタンは、革命から内乱ついで *interregnum* を生きぬいた。彼らも自然誌の重要な役割を認めた。その探究を通じて、人類を幸福に導く神の配慮が天に地にみちみちていることを理解したからである。

R. S. は王政復古とともに発足したが、トマス・スプラットの筆になる、その『ヒストリ』(1667)は、R. S. の創立と初期の活動に関する記録より、これが国教会の信仰に忠実な団体であることを示そうとした弁明に重きがおかれている。そこには、たしかにベイコン主義への言及もあるが、それは弁明のレトリックと化してすでに形骸化していた。R. S. のベイコン主義は18世紀末から19世紀にかけてソサイエティに君臨したサー・ジョージフが、自ら構想した壮大な自然誌プロジェクトを実現するまで、久しい間、蘇らなかったのである。

かわって R. S. のチャンピオンとして登場したのはニュートンである。彼の『プリンキピア』は、神が構想した世界の秩序を理解する体系(自然哲学)の手本とみなされた。山野を彷徨して、ささやかな自然誌の発見に恵まれた人々も、神の摂理を垣間みた思いで、自らニュートンの同類であると確信することができた。また、ある者はその業績を神学的イデオロギー(自然神学)にしたて、彼に惜しみない讃辞を送った。彼が衆望を担ったのは、彼を「科学革命」の最終局面で近代科学に礎石をおいた人物とみる時代錯誤の評価によるものではない。彼に対する同時代の支持と尊敬を復元するには、これを信仰の問題としてとらえるほかはない。

3. 科学、市場原理からの疎外

かつて人はある自然哲学を体系化し、または選択するときには、自らの信仰上の立場から、固有の世界観を提示して、世界の秩序をいかに理解するかについて責任を明らかにしなければならなかった。ベイコン主義やニュートン主義などの呼名は、それに固有な世界観が随

伴していることをも意味している。

このことは、科学や哲学が市場原理とは無縁であるという、極めて重要な認識を導くと同時に、イングランド科学について、すでに論じられている若干の特質を解明する鍵を提供する。例えばイングランド科学が、いわゆるレセ・フェール政策のもとで政府の保護を受けなかった理由を明らかにすることができる。

イングランド社会では、貴族や土地所有者からなる上流階級が、知的な職業人として公認された聖職者、医師および弁護士を従えて支配層を構成する。彼らは、この体制構造を固定化するために、その権力を支えるアングリカンの価値観を保全しなければならない。そこでカレッジ教育によってエリート層を不断に再生産するオクスブリジの機能を長期にわたって維持しながら、職業構成における社会的流動性を最小限に抑えた。それゆえ、政府その他の公権力が科学を保護するのは、世界観の多様化を促し、これが保守的上流層の特権基盤を脅かし、ひいては社会の混乱を招く恐れがあると警戒したからである。

18世紀のイングランドでは、個人または団体による私的な科学の助成や庇護が広く行われたが、それはレセ・フェール政策の反面であり、人々の知的欲求を満足させるためのガス抜きのフィランソロピーでもあった。

科学の庇護が、このような閉鎖的な関係の中でなければ実施されない社会では、科学の進歩という観念は生まれえない。その際、科学者に酬いられるのは、その努力が神の英知といかに交わり得たかを自らに納得させたときに味わう信仰上の個人的充足感である。そこには成果を競って、学界から高い評価を得、収入の増大を期待する近代的な研究者意識に匹敵する社会的意義は存在しない。

4. ヴィクトリア期の科学と宗教

19世紀にはいり、アングリカン体制の指導力には、漸く弱体化の兆しが現れた。その端緒には種々のものがあるが、最大の理由は自らを中間階級とみなした新興資本家階級の功利主義イデオロギーが支配層の統治能力に及ぼした甚大な影響であった。

この影響はテューダー末期以後、ロンドンのシティ地区の経済的繁栄に基盤をおいて成立し、やがて革命時の緊張感を失って停滞期にはいったピューリタン科学を賦活させた。一方 R. S. を指導したサー・ジョージも、

この危機に対応するために、イングランド支配層の科学の、いわば内部シフトともいべき大胆な政策転換を企てた。こうして一世紀以上の永きにわたって隔離されていた R. S. とシティの科学との間に「核対周辺」ともいべきモデルで説明されるような新しい関係が生まれる。シティの科学を担う工商業者たちは R. S. 指向を強め、後者はこれを受け入れたのである。

この気運はやがてロイヤル・インスティテューションを、最終的には事実上イングランドの産業革命を指導したスコットランド功利主義の進出を象徴するユニヴァーシティ・カレッジの創設をみて、ロンドン科学の様相は一変した。

しかし、この変化はアングリカン・チャーチの伝統的価値観に対する挑戦を意味するから、これに対する上流社会の抵抗が執拗に続けられたのも当然であった。イギリス協会 (BAAS) が、ロンドンや地方産業都市に簇生した科学を醇化するためのキャンペーンとして、エリート層の発意によって創設されたのは、その一例である。イギリス協会で主役を演じたのは、ケインブリッジ、とくにトリニティ・カレッジの一群の学問改革者であった。彼らは協会を舞台として、地方の科学に、自ら許容する規範を示しながら、これを管理して、王国全土の科学の再構成をはかろうとしたのである。主として新興中間階級からなる産業地域の科学者は、当初この運動が彼らの文化的ステータスの上昇につなげる上で、極めて効果的であることを知って、これを歓迎した。しかし、このようにして行われた両者の和解は、一時的かつ戦略的な成功にとどまり、それ以上のもではなかったから、エリート層の協会に対する関心はやがて冷却した。

さらにヴィクトリア初期から、中間階級や、合理化による社会変化に伴って発生した大量の新型職業人の思想を代弁する活発な言論が展開された。その担い手は、主として中間階級出身の作家、社会思想家、政治哲学者らであった。自由競争による知識の市場化を主張する、これら一群の人々の発言は、エリート科学者にとっては、イギリス協会で遭遇した草莽の科学より、遙かに手強い相手であった。その対抗策として有効であるためには、アングリカン神学はあまりにも素朴であり、脆弱であった。それゆえ支配層の価値観を保全するために、今や神学の改革は不可避となり、ここに知識運動は新しい段階に移行した。

もともと神学改革の作業が手に負えず、加えて、漸く

社会に対する科学の役割に目覚めつつあったヴィクトリア期の科学者は、この運動から撤退した。彼らはこれまでタブーとされてきた科学と市場原理との関連に興味を示し、科学の制度化と国家による科学への投資を求めるために、信仰の自由を犠牲にすることの可否につき、長期にわたって深刻な論争を繰り広げることになる。このような動向は、ヴィクトリア科学が、広範な宗教論争すなわち教会史 (ecclesiastical history) を無視しては語り得ないことを示している。

そこで以下「進化論々争」のほかに、思いつくままに

ヴィクトリア期の科学と宗教の関連についての問題の若干を拾うと、次のようなものを挙げることができる(説明省略)。

コールリジのロマン主義、功利主義との対立、ヴィクトリア期における知的トポグラフィの変遷、クレリシー、神学による知の検証者、科学に対する評価と信仰、自然神学の終焉、問題の書『論文と評論』をめぐる論争、価値観の対立から一体化へ、「首都対地方」のモデル、オクスブリジにおけるドン革命、X-クラブ、T. H. ハクスリの問題提起、その他。

〔特別講演〕

日本の洋食器の歴史

鈴木啓志

(株)ノリタケカンパニーリミテド)

1. 幕末の通商

江戸幕府はキリスト教禁止を名目として中国、オランダを除く外国人の渡来と通商、そして日本人の海外渡航を禁止する政策すなわち鎖国を1693年(寛永16年)から1853年(嘉永6年)のペリー提督の来航まで200余年続けた。

5年後の1858年(安政5年)にはアメリカを皮切りにオランダ、ロシア、イギリス、フランスと矢継ぎ早に修好通商条約を締結した。これらの締結によって、日本は外国との通商が行われたと言っても、日本商人が外国へ出かけて貿易をしたのではなく、日本に居留している外国商人を相手に行う取り引きであった。しかも、この取り引きには日本人の海外通商の未経験、両替に対する無知に付け込んで、不当な手段での取り引きであったり、資本力を物言わせて横暴な商行為がいたる所で起こった。開国による通商状況は当時の幕府の政治の混乱と同様に混乱を極め、深刻なものとなった。一部の開国反対論者は外国商人や日本人貿易業者に襲いかかる事態まで発生し、また、国民生活を脅かす物価高騰が生じ、憂慮すべき事態が続いた。1863年頃の文久年間に入って、幕府はようやく貨幣制度の改革、一部条約の改定、商取引の改善、大型船の建設や輸出産業の振興の施策を取り入れたのである。文献によるとこの文久3年に長崎港から和陶磁器が約57万個輸出されたことが記録されている。

2. 海外貿易への決意

1858年(安政5年)のアメリカとの修好通商条約の批准書交換のために1859年(安政6年)10月幕府は外国奉行兼神奈川奉行の新美(豊前守)正興を全権大使(正使)とする特使77名をきめた。

翌1860年(万延元年)2月にワシントンで歴史的な条約の調印が行われた。これに先立ち、当時、江戸で諸大名屋敷に出入りしていた袋物商の5代目森村市左エ門一家は米国派遣正使の新美正興家に出入りを許されており、これが縁で、米国派遣特使の土産品や調度品を一切

調達することや米国で通用するメキシコ貨幣(銀)と日本の金銀の小判の両替の仕事を引き受けた。この時、6代目森村市左エ門は何か釈然としないものを覚えたのである。純度の高い日本の金銀小判と粗悪で銀量の少ないメキシコ銀貨が交換されていることに気が付いた。

「これは大変なことになる。このようなことをしておったら日本の純度の高い金がすべて海外に流出してしまう。」と怒りを感じたのである。その頃、幕府に出入りした大名の中で、九州中津藩(大分)の奥平家の家老の桑名登と森村市左エ門は懇談する機会があり、このことを相談した所同じ中津藩士であった福沢諭吉先生に引き合わせてくれた。先生は「輸出貿易を隆盛させ、この金を取り戻さねばならない」と言われた。市左エ門はこの時海外への貿易を強く決意した。

3. 森村組の創設とモリムラブラザースの発足

折しも幕府も輸出貿易の必要性が切実なものと考え、学術修行や貿易のため、1866年(慶応2年)海外渡航の許可を決め、渡航志願者を募ったり、またパリ万博の発展等も促し、輸出拡大策を講じておた。

市左エ門は早速、他家へ奉公に出ていた弟の豊^{トヨ}を呼び寄せ、年来の希望である海外貿易の決意を語り、弟に協力を求めた。この時弟は13歳で、一身を捧げてこの事業に当たると深く決心された。海外渡航のために慶応義塾に入学させ、1874年(明治7年)同塾を卒業した。

その当時、偶々ニューヨークで事業を起こしていた佐藤百太郎が事業拡大のため有為な青年を募り帰国中で、再渡米する話が福沢諭吉先生の耳に入った。かねてから森村兄弟の望みを知っていた先生は渡航を進め、そして森村兄弟は1876年(明治9年)東京、銀座4丁目に森村組を設立した。

豊は同年3月、佐藤百太郎、新井領一郎、鈴木東一、伊達忠七等5人とともに渡米、ニューヨークに向かった。6月から英語の勉強のためにリバーサイドのイーストマン商業学校に通い、同年9月同校を卒業した。佐藤らと共同出資でニューヨークの6番街の258番地に雑貨商の日之出商会を設立した。2年後の1878年(明治11年)には共同経営から独立し、モリムラブラザースを発足させた。

4. 森村組創業時の取扱い品は骨董品

輸出貿易を開始した森村組の創業時の取扱い商品は専

ら古道具で仕入れた骨董品で、有田、伊万里、九谷、京都の陶磁器の他に漆器、花瓶、置物、額、屏風や装飾品等で、外国人が珍重しそうなものであった。

5. 帯灰色の磁器

このような商品を販売している間にニューヨークのモリムラブラザースは1882年（明治15年）頃になると陶磁器が将来有望な商品になると見極め、その後陶磁器を主力商品として取り扱うようになった。これに伴い、愛知県瀬戸の窯屋5-6軒と生地購入の特約を結んだ。その後日本の輸出陶磁器の生地は大部分これらの窯屋からのものとなり、中でも春光（加藤春光窯）が最大手の窯屋であった。しかし、生地は鼠色味を帯びた磁器であった。

6. 日本調の絵柄から西洋風の絵柄へ

森村組は生地専属窯屋と同様に画付工場も1884年（明治17年）頃から専属工場を保有していたが東京、京都、名古屋、九谷等に分散していた。

当初、絵柄は伊万里、有田、九谷調の日本調のものであったが陶磁器貿易の発展のためには洋風への転換が必要であることを痛感し、それに取掛かった。しかし、日本調の画付け画工に洋風の絵柄を描かせることは容易なことではなかった。強い抵抗と反対に遭い、多くの困難に直面しながら説得と試作を重ね、ようやく洋風画の花瓶、壺、置物、額皿さらにはコーヒー碗皿等いわゆるファンシーウェアができた。

7. 専属画付工場の統合

東京、京都、名古屋、九谷等に分散していた画付工場では非効率であり、また破損の多発、輸送費の増大等で費用が高み、1896年（明治29年）頃から集約化を計り、3年掛かりで名古屋に統合した。

8. 白磁器への改良とその苦闘

これに先立ち、1889年（明治22年）市左エ門らはパリの万博と欧州の工場を視察するに及んで、工場設備、施設、製造方法、製品等において、遅れを痛感した。またアメリカ市場での灰色味生地の不評は行詰りが予測され、さらに純白なものへの強い要望と1894年（明治27年）ニューヨークの百貨店ピキンサイダーの店主からも「生地は灰色ではなく純白のものでないと」と忠告を受けた。

一方、モリムラブラザースの販売第一線では今後さらに発展するにはファンシーウェアだけでは将来性がないと判断した。さらに、取引先からもアメリカ人の必需品であるディナーウェアが有望であるとの意見や助言等もあり、白磁器への改良とディナーウェア製造を決心する。森村組は名古屋の画付工場の一隅に試験窯を築き、白磁器改良の研究に取り組んだ。技術者をドイツに派遣する等したが5年の歳月を経過しても目標とする白磁器の生産は一步も前進せず、研究と改良は困難を極めた。

9. 日陶3・3生地

白磁器研究の苦闘の最中、1902年（明治35年）ニューヨークのモリムラブラザースにロンドンのローゼンフェルト社の社長 B. ローゼンフェルト氏が来訪、さらに同年名古屋を訪れたローゼンフェルト氏の子息兄弟に白磁器製造の困窮を打ち明け助言を仰いだ。ローゼンフェルト氏一家の理解と厚意で、オーストリアのカールスバッドの工場視察とドイツのゼーゲル試験所の訪問、白生地の原料配合と釉薬調合の手順等の教えを受け、大きく前進した。その後の度重なる研究の結果、天草陶石54、蛙目（ガイロメ）粘土23、長石23の配合が最適であることを見極め、永年の目標であった白生地（磁器）の完成をみた。後年この白生地が業界で言われた「日陶の3・3生地」である。

10. 日本陶器合名会社の設立

白生地の完成をみた森村組は1904年（明治37年）1月愛知県愛知郡鷹羽村大字則武（現在の名古屋市西区則武新町）に日本陶器合名会社を設立し、輸出用洋食器の生地生産工場を建設し、翌1905年（明治38年）2月磁器焼成の第一号窯（直径4Mの2階建単独窯）の火入れを行った。

11. 日陶3・3生地では8寸皿（24cmのディナープレート）はできない。

生地生産工場を建設し、ディナーウェアの製造に取り組んだが8寸皿（ディナープレート）がどうしてもできなかった。ディナープレートはディナーウェアの最も重要なアイテムであり、これができなければディナーセットがまとまらないことで、会社としても最大の課題であった。これに取り組んだ技術陣は日夜不眠不休で、生地成分の基礎研究、配合、調合等あらゆる角度から何度

も繰り返し研究を続けた。然しながら、8寸皿は底面積が大きいために底下がりが発生し、満足な形状が得られず苦闘が続いた。再度ドイツのゼーゲル研究所に技術陣を派遣し、8寸皿の焼成の苦闘を訴え、製法の教示を要請した。

12. 8寸皿の完成とディナーセットの完成

同所の所長の答えは次のごとくであった。

- (1) 原土石は純良なものであること。
- (2) 粒子を細かくすること。
- (3) 土(粘土)を寝かせること。
- (4) アルミナを多くすること。

この四つの条件を満たすことで取り組んでいるうちに珪目(ガイロメ)粘土に不純物が多いことが判明、直ちにツェットリツのカオリンを購入、天草陶石54のうち18をカオリンに置き換えた。また、トロメルの回転を18時間を24時間に延長して粒度を細かくするとともに、皿の底部の肉取りを改正した。皿底の中央部の肉を若干厚くしたこと等によって長年苦しんだ8寸皿の完成をみた。時に、1913年(大正2年)の7月で、翌1914年(大正3年)6月に待望の93ピースからなるディナーセットができ上がり、白色磁器の改良とディナーウェアの創作を志して以来、またデパート等取引先の忠告、助言を仰いでから実に20年の苦難の歳月が経過していた。

13. 日本経済を支えた陶磁器産業

明治時代の我が国の貿易は生糸、絹織物、製茶、陶磁器等が主力商品であったが中でも、第一次、第二次大戦を挟んで、陶磁器産業はある期間日本の経済に貢献してきた。そればかりでなく、輸出が一般的でなかった時代に日本製品が海外市場で十分太刀打ちでき、通用することを日本人に教えたという大きな意味を持った。

陶磁器産業が日本の貿易にいかに関与したかという証しを披露すると、

- (1) 日本関税協会が発行している日本貿易統計、輸出ベスト10(平成5年9月発行)によると、
1866年(明治元年)から1909年(明治42年)迄42年間
1912年(大正元年)から1938年(昭和13年)迄25年間
1940年(昭和15年)から1942年(昭和17年)迄3年間

1947年(昭和22年)から1952年(昭和27年)迄5年間いずれも連続で輸出ベスト10の商品にランクされていること、さらに、

(2) 地元の名古屋港管理組合の輸出統計によると、1907年(明治40年)名古屋港が正式に国際港として開港し、輸出業務に携わって来たが、それ以来45年間連続で陶磁器輸出額が第一位を占め、多い時には年間名古屋港輸出額の73%にも達したことである。以上のごとく、いかに地域産業に、また日本経済に貢献したかが理解頂けると考える。

14. 輸出秩序を守った陶磁器業界

このように隆盛の道を進んで来た陶磁器であったが決して自由放任の貿易ではなかった。これ程多くの数量を出荷をしてはと業界内では出荷統制、管理の必要性を強く認識し、1909年(明治42年)には名古屋陶磁器貿易商工組合を設立し、業界内の輸出秩序の確立を計った。さらに、大正、昭和時代に入って各地に輸出陶磁器の連合会や組合等が結成され、製造量の統制、あるいは輸出数量の統制を始めた。

1933年(昭和8年)には輸出数量の統制、1935年(昭和10年)にはアメリカ合衆国向けに業務用の食器即ちホテルウェアの輸出抑制措置を実施した。さらに、戦後貿易再開を契機に多量の陶磁器が海外に輸出されるに至り、再度輸出統制に踏み切り、1952年(昭和27年)には日本陶磁器輸出組合を結成し、多いときには、輸出商社に対して26項目にわたる輸出協定(規制)を実施した。このようにして、業界では戦前から貿易摩擦発生を事前に防御した。これらの規制や統制は業界内で出荷相手国の事情を具に視察し、毎年項目ごとに確認した。また、これらは決して当時の政府機関の指示あるいはアメリカを含む海外業界からの軋轢によって設定されたものでなく、自主的に設定したもので正しい輸出秩序を遵守してきた。

昨今の規制緩和あるいは時代に背かぬ規制等は解消しているが、日本陶磁器輸出組合はただいま知的所有権を保護する見地から陶磁器意匠の保護と模倣に関する規制は依然として継続しており、今後もその方針を維持して行く所存である。

〔シンポジウム〕

「科学とジェンダー」というテーマはどのような研究領域として設定が可能であるかという問題をめぐる試論

塚原 東吾
(東海大学)

「科学とジェンダー」という研究領域は「科学」の側からも「ジェンダー」という概念を巡る側からも多様性を持つ。しかし日本ではそもそも問題意識の低い分野であり、いわゆる「婦人科」や「女性学」の問題としてある種の「囲い込み」を受けている領域でもあるので、このテーマがいかなる研究領域を含むものであるのかについて概観を行う必要性を感ずる。そこで本シンポジウムでは、劈頭に司会の川島慶子より簡単な用語解説が行われたが、本シンポジウムはそれに続けてこのテーマの研究領域の設定範囲についての試論を提示したい。

本シンポジウムがここで示す試論とは、以下の2点である。(1)「ジェンダー」と「科学」については、その個々の概念および概念間の関係から、いくつかの研究の「フェーズ (phase)」があるという点；(2)すでに設定されている諸領域のなかで、「ジェンダー」という問題の立て方がいくつかの諸領域間の位置関係の変換を引き起こす要因になっているという点。

(1) 研究のフェーズという問題については、以下のよりに例証される。

「科学とジェンダー」という領域については小川真理子によって本誌19巻第2号に優れた紹介がなされているが、そこではこの領域が「Women in Science」とされている。小川はこのなかで、1 科学史における女性；2 科学知識とジェンダー；3 性差の科学的証明；4 生殖技術の発展と女性、の4点からこの領域を論じている。しかしこれを議論のフェーズに沿って再排列するなら、1は科学の「中での」女性という意味で Women in Science であろうが、4は女性「についての」科学という意味で、Science (and Technology) about Women であろうし、3に至っては性差自身が問題なので、科学が見た女性と男性、Women を議論することで内包される Men (Wo+Men)、そして「人間 (Man)」をいか

に定義するかなどといった問題ともなる。このように「女性と科学」という問題の立て方は、女性たちが「が」科学を巡って何をなしたかという問題から、女性たちが「を」科学がどう見てきたか、ひいては女性たちが「と」男性たちの関係など、研究としては視点も方法も異なるものを含むのである。

(2) 研究領域自体の変換については、2つの角度から論じたい。まず科学史・科学論の議論に「女性」という観点を導入したい。一般に想起されるのはいわゆる「女性科学者」の「物語り」であろう。「女性科学者」への注目がフェミニスト的な発想から顕彰にいたるまで様々な動機によるものがあるが、この分野での研究の蓄積は着実に進んでおり、これまでこの分野に十分な関心を持っていなかった人々にも考察のきっかけを与えたことは有意義であったと考えられる。

しかし検討されるべき点としては、このテーマ自身、「男性に負けずと秀でた」女性を、科学の「英雄」の末席に叙せんがためのテーマではもはや無くなったのであるという点である。つまり現在では忘却されているものとして、そんな「欠如の補完」としての存在もしくは科学の英雄たちの間隙を埋める存在としての「女性」を見出すことは、この研究の視野ではすでになくなっていく。ここで問われているのは全く逆のこと、すなわちなぜ科学史が「科学の英雄としての男性たちの武勲譚」として滔々と詠い継がれてしまったのかという理由が、「性」の問題に光をあてることで逆照射されはじめたのである。科学に内在する隠されたしかしシステムティックな女性の排除というメカニズムの深層が、いまややと垣間みられ出した、とそれは言い換えてもよいことかもしれない。

次に第2の点として、科学論の最前線が、いわゆる内学科学史 (インターナリズム) 対外的科学史 (エクスターナリズム) という分極化を超えて、技術と社会の接合面を巻き込んだかたちで、STS 研究として展開していることはいまや疑いようがない。そこで留意すべきなのは、この戦線に重要な戦略的塁堡を築きつつあるのが、またジェンダーと科学の分析から得られた成果であるという点である。これについては、主にジュディ・ワイスマンらによって領導されるいわゆる「フェミニスト技術論」の展開として追って行きたい。

〔シンポジウム〕

ジェンダーと博物学

小川 眞里子

(三重大学)

自然に名前をつけることは、いわば科学の専売特許である。理論もモデルも記述も、すべては精密に仕立てられた名前なのだ。この名前をつけるという作業を通じて、科学者は「自分が選んだ自然との関係や観点に従って」自然を作り上げると同時に抑えつけもする。むろん個々の科学者が、自らと自然との「関係や観点」を自由に選ぶわけではない。……関係や観点の選択は、「名前をつける」作業の第一段階であり、これによって現場の科学者が使用する言語セットに一定の枠がはめられるのである（『ジェンダーと科学』第一部序文）。

ケラーはこの後、科学という名前と呼ばれる営みがどのような営為を意味するのかを検討していくのであるが、その中心をなす彼女のアイディアは、「知る(know)」という動詞が“Adam knew Eve his wife, and Eve conceived”などで使用される意味すなわち「性交渉する」という意味を孕んでいることと関係している。ケラーによれば、「知るという体験の根源には肉欲がある」とされ、「自然を知る」という「科学という名前と呼ばれる営み」も、知るという点でこれと無縁ではありえないのである。話を名前をつけることに戻そう。ケラーは「理論もモデルも精密に仕立てられた名前なのだ」といい、いかなる関係や観点から理論を構築するかがまさに問われているのだという。この関係や観点の選択が「名前をつける」作業の第一段階というのである。ここでは、さらにこれの前段階というべき自然の事物そのものに名前をつける過程を考え、さらに自然の事物に読み込まれたジェンダーについて、ロンダ・シーピングの仕事を紹介しつつ見てみたい。自然の事物に名前を与える時にも、なにがしかの関係や観点は確かに選り取られているはずで、この過程にジェンダーが重大な影響を及ぼしているのである。

フーコーが言うように、博物学とは、まさに可視的なものに名をあたえる作業である。私たちは、私たちを取り巻くあらゆる自然の事物に名前を付けてきた。星にしる、さまざまな物質にしる、動物・植物などおよそあり

とあらゆるものに、博物学はいわばもっとも素朴な名付けの行為であり、分類することは名付けたものをさらにある特別な関係や観点から再度名付けることと考えられる。まずは動物や植物の分野での名付けの興味深い事例を挙げて、ジェンダーの深いかかわりを示したい。

哺乳類という分類名の社会的背景

名付けのもっとも興味深い事例といえば、シーピングによって明らかにされた例に勝るものはないであろう。哺乳類という動物の分類名が創案された社会的文化的背景は実に興味深い。今日、哺乳類という分類名はきわめて馴染み深いものであるが、この名前の誕生は意外に新しいもので、18世紀の半ば過ぎにリンネによって初めて提唱されたものである。それまでは哺乳動物というグループ分けはなく、およそそれらに対応する動物グループとしては、アリストテレスが用いた四足獣なるカテゴリーが2千年の長きにわたって用いられてきた。リンネはアリストテレスの権威と伝統のある用語に代わって哺乳類という名称を選び取り、乳を持つ動物というカテゴリーを作ったのである。（日本語では哺乳と訳されているが、英語のmammalは、ラテン語のmammaに由来し、乳を吸うとか与えるとかでなく、まさしく乳房そのものを意味し、直訳すれば乳房類と言う方がふさわしいものである。）そればかりか彼は、この哺乳類の中に大胆にも、神の理性を分かち与えられた特別な存在として動物とは一線を画してきた人間も含めてしまった。こんなにもリンネが哺乳類という名前にこだわったのはなぜなのか。

哺乳類として分類される動物は、乳房の他にも、体毛に覆われているとか、三つの耳骨をもつとか、四室からなる心臓をもつなど、分類の指標となりうるいくつかの共通の特徴を有しており、乳房は数ある指標の一つにすぎない。それどころか乳房は構成員の半数の雌についてのみ特徴的であり、さらにその機能まで含めれば授乳期の雌だけのきわめて限られた特徴でしかない。そうして見るとリンネが雌の乳房に注目した理由は、単に動物の特徴だけから出て来るものではなく、当時の社会的政治的状況を考慮しなければならないだろう。リンネが哺乳類という分類名にこだわった18世紀は、乳母制度全盛期であったが、おりしも高い乳児死亡率から乳母制度の弊害が指摘され始め、母乳保育が奨励されつつあった。そしてリンネ自身も1752年には乳母制度を非難する論文を書き、母乳を賞揚した。それが礎となって、やがて彼は

画期的な分類名を案出するのである。人間も哺乳類の一員であることを主張することにより、他の動物同様、自分の乳で子供を養育することこそ女性の本分であるとする当時高まりつつある社会通念の強化にリンネは加勢したのである。

慎み深さと性の補完性

こうしてリンネは、もっと中立的な分類項目を立てることもできたのに、ジェンダーを色濃く反映した名前を採用したのである。リンネも含め18世紀の博物学者たちは、動物や植物そのものに大いにジェンダーを読み込んで観察していた。霊長類という名前も同じくリンネが考案したものであるが、これには人間と類人猿のほかサルやコウモリまで含まれていた。18世紀の博物学者たちは、人間と動物を繋ぐミッシングリンクの発見として類人猿に注目し、とりわけ女性と雌の類人猿との類似性をめぐって活発に論じた。ライオンのように雌雄が簡単に区別できる動物は別として、多くの動物について雌雄の区別はそれほど明瞭ではない。ところが18世紀の博物学者たちの目に映る類人猿は、一目でそれと分かる男らしさ女らしさが付与されたものであった。雄のチンパンジーはあくまで男らしく、雌のチンパンジーは慎み深く女らしく描かれた。ゴリラやチンパンジーのような類人猿どころか小さな昆虫に至るまで、雌については人間社会の望ましい女性像を付与して眺められたのである。

18世紀には、それまでとりたてて性差に言及することのなかった諸分野において、ことさら性差が強調されてくる。たとえばヴェサリウスが1543年に『人体の構造』というみごとな解剖図を出版した時、彼は人間の体構造の解明をめざしていたのであって、男女の解剖学的差異には特にこだわっていなかった。まして骨格の構造ともなれば、男性の骨格は男女の骨格を代表するものと考えられた。ところがこれら解剖図は、18世紀になると男女の性差が強調され、女性の骸骨はそれこそ骨の髄まで女らしさが匂うものに賞賛が集まることになった。女性の理想の骨格を象徴するものとして、ダチョウが取り上げられることもあった。すなわち理性の岩である頭骨は小さく、骨盤は安産を期待させるように大きくといった具合である(ダチョウは最大の卵を産む)。女性に課された最大の任務は頭の大きい男児(大きいことは良いことを意味していた)を産むことであり、その任務遂行に都合の良い身体が求められたのである。このような性差が強調される社会的背景をもう少し詳しく見てみよう。

啓蒙時代以降、封建時代のような圧倒的な家父長的男性中心社会はもはやそのままでは維持しがたくなる。ただちに実現されるものではないにしても、男性と女性の人間としての基本的権利の平等が見えてきた時、従来の上下関係に代わってひとまず男女を横並びにして男女の役割の補完性を強調し、その上で男女の役割分業の正当性を説く必要に迫られた。男女の役割の相違は自然が定めた男女の根本的な差異に基づくものであることを明確にするために、社会はこれを裏付けてくれる科学を必要としたのである。他方近代国家の整備上、経済的にも軍事的にも人口の増加は急務となり、高い乳児死亡率は大きな社会的問題となった。これに対処するに、乳母制度を廃止し女性が我が子をその手で養育する重要性が説かれたことは先に述べた通りである。こうして18世紀を境に、女性はことさら女性らしさととりわけ慎みの徳が強調され、一人の人間として生きるよりもまず良き母・良き家庭人としての人生が理想とされたのである。

こうした社会的背景のもと18世紀の博物学者たちは、人間の女性に限らず類人猿から昆虫に至るまで、雌はあくまで女らしく描き出したのである。雌に付与された慎み深い徳性は、彼ら博物学者が妻や娘に望んでいたものであった。ビュフォンによる雌ゴリラは、きわめて濃厚なジェンダーの眼鏡で観察が行われた傑作と言える。研究対象とする生物に性の区別がある限り、ジェンダーが反映するのは至極当然のこのように思われるかもしれない。しかしことはそれほど単純ではなく、これが卵と精子となると女らしさや男らしさはそれほど自明ではないはずである。それにもかかわらず、女性とは慎み深く男性の訪れを待つべきものとする女性観は、卵と精子の受精場面にまで浸透し、まったく受動的に精子の訪れを待つ卵のイメージは絶対的で、卵が受精に果たす積極的役割が明らかになったのはごく最近のことである。自然の事物を観察する時、ジェンダーがどんなに色濃く反映しているかまだまだ研究は始まったばかりである。

参考文献

- エヴリン・フォックス・ケラー著 幾島幸子・川島慶子訳『ジェンダーと科学』、工作舎、1993。
 ロンダ・シービンガー著 小川・藤岡・家田共訳『科学史から消された女性たち』、工作舎、1992。
 ロンダ・シービンガー著 小川・財部共訳 *Nature's Body*。工作舎、印刷中。

〔シンポジウム〕

『婦人公論』にみる「科学」

—方法としての「ジェンダーと科学」の試み—

杉山滋郎・伊藤伸子
(北海道大学)

1. 科学の「受容」における女性の役割

「科学の歴史」には、科学の理論がいかに誕生し発展したかという側面のみならず、科学理論がどのように受容されていったかという側面も含まれる。そして、科学理論の「受容」といったとき、専門家集団の内部での「受容」のみならず、科学研究の現場とは無縁の一般庶民による「受容」も含まれることは言うまでもない。さらには、この「受容」は、別の共同体において完成されたものを単に「受容」するだけではなく、逆に理論の生成や発展を——論者によっては、理論の「内容」も付け加えるであろう——左右するような回路を併せもった「受容」である。

上に記したような意味での「受容」の担い手の半数は女性である。しかるに、これまでは、その「半数」に見合うだけの注目を、科学史家は女性に向けてこなかったように思われる。その理由として、次のようなものが考えられる。

A. 「受容」する集団として専門家のみを想定する場合（たとえば、ラヴワジェの説がフロギストン説をどのように駆逐していったか、などを論ずる場合）が今なお多く、かつ、その専門家集団の中には女性がごく少数しかいない。その結果、女性への注目度が低くなる。

B. 「受容」する集団として一般庶民を想定したとしても、

a) 女性の発言は男性の発言に比べてきわめて少ないし、

b) この現実の社会においては、女性の発言は影響力（科学の発展方向を左右するなど影響力を発揮する回路）をもっていない

と考えられ、その結果、女性への注目度が低くなっている。

しかし、上記の a), b) は妥当な認識であろうか。

a) これまでの歴史家（主として男性）が注目してこなかった「女性の世界」——たとえば、井戸端会

議や女性雑誌の投書欄、主婦向けの TV 番組など——に目を向けてみると、女性たちが科学技術に関して予想外に多弁である、という可能性はないだろうか。

b) 女性の発言にはほんとうに影響がないのだろうか。「政治的無関心も一つの政治的立場である」とは、しばしば指摘されることである。すなわち、「発言」がなくても現実的に「力」——概して現状肯定的な——を発揮し得るのである。

このことを上記の b) にあてはめれば、

β_1) 仮に女性たちが口頭や文章では「発言」していても、たとえばある種の消費行動に走るなどの形で科学技術の発展に対し影響力を行使しているのではなかろうか。

β_2) 科学技術（の発展）に対し（発言し）「影響力」をもつというとき、たとえば「公害反対運動」のような、「反対」的行動のみを考えるのは片手落ちである。（もの言わぬ形で、何かを）「肯定」することがあったとき、それもまた「影響力をもった」というべきであろう。たとえば、仕事をもつことに魅力を感じた女性たちが、（家事（食生活）の合理化のために、あるいはこの種の自覚なしに）食品添加物の多用された食品を、そうでない食品よりも好んで購入するようになったとすれば、この時の女性たちの（声なき）「発言」は、間違いなく、影響力をもつであろう（たとえば、食品添加物についての研究が加速されるであろう）¹⁾。

本報告者たちは、以上のような問題意識から、女性を読者対象とする雑誌を取り上げ、そこに見られる「科学」の様相を分析することを思い立った。そして、手始めとして、『婦人公論』を取り上げた。したがって本報告は、「ジェンダーと科学」について正面から論じようとするものではない。科学の「受容」を包括的に解明することが目標であり、そこへ至る重要な一つのステップとして、半数を占める女性に注目したのである。（以下は、伊藤伸子の調査ならびに考察による。）

2. なぜ『婦人公論』を選んだか

婦人雑誌には、2つのタイプがある。政治・経済・社会問題なども記事のテーマに含む教養総合雑誌と、読んですぐに役立つ実用主義を主眼においた実用雑誌である。前者を代表するのが、『婦人公論』と『婦人之友』、

表1 『婦人公論』の編集方針の変遷 (1916-1965)

時期	編集方針
1916-1923	観念的な視覚から女性を啓蒙
1924-1928	具体的・客観的な角度で問題をとらえ、読者とともに考察
1929-1944	批判精神を堅持しつつ、近代女性が興味を示すすべてのものを探求
1945-1951	変動する法律、それにつれて婦人の生活はどうあるべきかを啓蒙
1951-1956	戦後の急激な女性解放とそれに対する批判との双方から、女性はどう生きるべきかを考察
1957-1965	女性は弱い立場ではなく、男性と同じ立場で考え、生きることを目標

『婦人公論の五十年』より作成

後者を代表するのが、『主婦の友』、『婦人倶楽部』、『主婦と生活』、『婦人生活』である。それぞれ「婦人教養二誌」、「四大婦人雑誌」といわれ、戦後の婦人雑誌界をリードしてきた²⁾。ただし、1980年代に入ると、女性誌乱立の波にもまれ、1996年現在、生き残っているのは、『婦人公論』、『婦人之友』、『主婦の友』だけである。

『婦人公論』は、次のような編集綱領を掲げて1916年に創刊された。女性の権利の向上を目指した、初の婦人教養総合雑誌が誕生したのである。「一、高尚にして興味豊かな小説読物を満載して以て現代婦人の卑俗にして低級なる趣味を向上せしめ、二、穩健優雅なる実践的

教養を鼓吹して以て突飛極端なる新思想と古ろう頑迷なる旧思想とを極力排撃す」

女性解放・男女同権を目指す『婦人公論』の基本姿勢は、現代にいたるまで基本的に変わっていない(表1)。誌面を構成する2本柱は、性・恋愛・結婚・離婚に関する記事と、女性の社会的自覚を促す啓蒙・教養記事である³⁾。そして大きな特徴として、読者が「手記」を通して議論に参加するというシステムをもつ。

以上のような、『婦人公論』の編集方針、婦人雑誌全般の趨勢などを考慮すると、

- i) 女性の生き方について他誌を圧倒するほどの意識の高さを誇ってきた『婦人公論』が、科学技術をどのように扱い、論じてきたのか、きわめて興味深い。
- ii) 「読者の手記」は、われわれにとって、主婦たちの「井戸端会議」の様子をうかがい知る窓口になるのではないか。

3. 『婦人公論』にみる「科学」

3.1 図1に、1955年～1990年の、科学に関連した用語を見出しに含む記事の総数をまとめた。それらの記事が扱っているテーマは、医療一般・婦人科系医療・生殖問題・生命倫理・食品・環境問題(公害を含む)・原子力・美容・家電製品・情報などであった。教養記事として「母と子の科学問答」(1956-57)、「家庭の科学実験

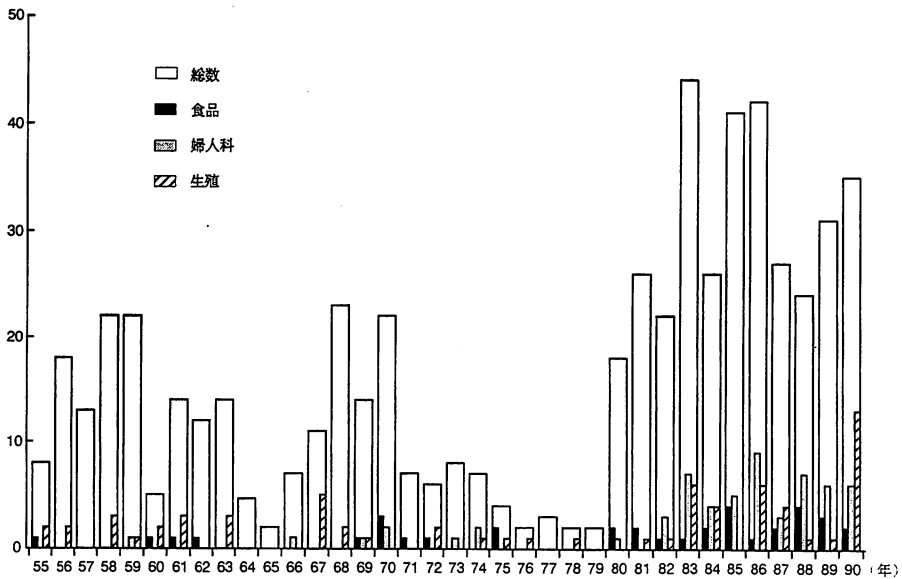


図1 科学に関連する用語を見出しに含む記事の数

室」(1959),「生命科学への招待」(1985-86)といった、一定期間連載された記事も含まれている。「Woman & Science」という、毎回、女性の科学者や技術者を主として取り上げる記事は、1967年以降、ごく最近まで継続した。

『婦人公論』が科学技術に関連した記事を少なからず掲載するのは、主婦にとっても科学技術を無視することができないような社会状況になっているからであろう。ところが、少し詳しくみると、次のことに気づく。

- i) 科学技術に関連した記事の数は、時代とともに増減しているし、採り上げられるテーマも時とともに変遷している。ではあるが、その時々社会的に論議をよんだ(ホットであった)科学技術上の問題を採り上げているとはいえない。
- ii) 科学技術を扱った記事でありながら、科学や技術について「きちんと」解説するでもなく、科学技術に批判的な論調でもない。

一例として、食品に関する記事をみてみよう。食品に関する記事をさらに分類すると、病気・健康(20)、食生活・食文化(5)、教養(5)、安全性(4)、行政批判(2)、PR(1)である(カッコ内は記事数)。他方、食品に関連してホットであった問題としては、たとえば60年代から70年代にかけての食品添加物・農薬禍や加工食品、70年代から80年代にかけての自然食ブームがあげられる。ところが、食品の安全性について最も議論が盛んだったと思われる70年前後の記事の扱いを『婦人公論』で探してみると、「危険な食品」(69年)と「いま私たちが食べられるもの」(72年)のわずか2つである。また自然食については、とくに推奨するような記事もなければ、科学主義的観点から問題視するような記事もない。

また、食品とは別に、病気・健康関連記事の多さが際立っている。これらの記事は80年代に集中している。これらの大半(20のうち11)は、特定の食品がもつ何らかの効果を強調する記事である。ガン・成人病・アトピー・骨粗しょう症など、疾病構造の変化との関連で「食の見直し」が社会的に話題になってきていたにもかかわらず、そうした問題を扱った記事はみられない。しかも、「食用藻スピルリナの神秘」(スピルリナ研究者、1980)、「梅健康法 症状別処方箋」(梅研究会会長、1983)、「中国茶は健康によいのか」(1988)といったように、その時々で話題になっている食品が、多くの場合はその食品を推奨する立場の執筆者によって記されている。この

手の記事に特徴的なことであるが、「科学的に証明されている」という常套句で効果が強調されている。

3.2 婦人科系医療と生殖問題に関する記事には、食品に関する記事とは違った面を指摘することができる。

- i) これらは、『婦人公論』を構成する2本柱の一つと密接に関連するものであり、また近年の生殖技術の革新には目覚ましいものがあるため、年に数回の特集が組まれるなど、そもそも食品とは重さの置き方が異なる。
- ii) 1980年代以降、女性執筆者の数が急速に増えている(1955~1979年の男女比は約3:1、1980~1990年は約1:3)。これら女性の執筆者は、婦人科医や医療ジャーナリスト、一般のジャーナリストなどである。
- iii) その結果、かつて男性の執筆者たちによって「非科学的」として排されてきた、感情的・生理的・個人的な側面が「権威づけ」されるようになった。1980年以前の男性執筆者の手になる記事の多くは、啓蒙的であり「科学的」であった。しかし、女性執筆者が書く記事は、テーマについて「科学的」に解説するのはもちろんであるが、その科学技術が影響を及ぼすであろう「人間」に対しても配慮を忘れないのである。こうして、婦人科医療・生殖問題については、『婦人公論』のお家芸である「読者の手記」の活用もあいまって、「読者とともに考える」スタイルができあがっている。

3.3 『婦人公論』は、創刊以来、一貫して「婦人解放」をスローガンに掲げてきた雑誌である。婦人問題だけではなく、政治や経済、社会全般に対する意識の高さは、数ある婦人雑誌の中で、異彩をはなっている。そして、その「婦人解放」の問題と科学技術とを関連づけて捉えようとする方向性が、少なくとも婦人科系医療や生殖問題などについては認められる。

註

- 1) 西洋史における「女性の領域」研究も参考になる。
- 2) 『出版年鑑』(出版ニュース社、1951-1990)。岡崎男『この百年の女たち——ジャーナリズム女性史』(新潮社、1983)。
- 3) 『婦人公論の五十年』(中央公論社、1965)。中野好夫「婦人公論功罪史」、『婦人公論』1960年12月号。野上弥生子「『婦人公論』の使命」、『婦人公論』1955年10月号。

〔シンポジウム〕

「男女」研究の明治—澤田順次郎の
「博物」的アプローチ齋藤 光
(京都精華大学)

シンシア・イーグル・ラセットが、*Sexual Science* (邦訳『女性を捏造した男たち』上野直子訳、工作社、1994(原著1989))で示したように、特に19世紀後半には、進化論の強い影響下、人間の自然科学的研究が盛んになった。そうした中で、ダーウィンによる「性選択」の提唱とも関係を持ちながら、「性差」が生物学的に注目されていった。

もちろん、「自然選択による進化」という理論の出現(1859年の『種の起源』出版を一応ポイントとすることができよう)以前にも男女差研究や「性差」に関する思想がないわけではない。特に骨相学などには、男女差に注目する傾向が強かった。しかし、ラセットのまとめによると、19世紀後半の「性差」への関心・注目は、男女間に根本的、本性的、生物的溝・壁を認めるという点で、それ以前とはかなり異なっていたとされている。つまり、男女間に越え難い質的差異(しかも生物学に根差す差異)を設定することが、19世紀後半の特質であるのだ。男女間の質的差異性を強調する前提や背景のもとで、「性差」研究のデータは、この時期に、多量に集積されていったのである。

ラセットによれば、性心理学者として、世紀末から20世紀前半、欧米や日本においてかなり注目を集めたハブロック・エリスは、1894年に『男性と女性』を出版したが、それこそが、データ集積の典型例であった。この本には、「人間の第二次性徴の研究」(A Study of Human Secondary Sexual Characters.)という副題がつけられていた。その点だけからも分かるように、ダーウィンの『人間の由来』とのつながりが明らかである。というのも、1871年出版の『人間の由来』の初版をみると分かるが、その19章と20章は「ヒトの第二次性徴」(Secondary Sexual Characters of Man.)とされており、エリスは、自らの著作に、ダーウィン以来20年にわたるこうした分野のまとめと整理を担わせようと意図していたのである。

現在の時点から、エリスの研究も含めて、当時の「性

差」の研究を眺めてみると、男女間の関係についての当時の社会的意識が、あるいは意識化されない前提が、その理論の中に、また、その「実証的」データの中に無批判に組み入れられている、と分析できる。1970年代のフェミニズム運動やその学術的展開が生み出したといわれている「ジェンダー」概念を援用するならば、「社会的文化的ジェンダー差」であるはずのものを、「生物学的な性差」と「誤解」した形で、さまざまな論が展開されていった、といってもよいかもかもしれない。

もちろん、上で示した単純な図式でいいのか、つまり、生物的性差と社会文化的ジェンダー差という二項対立で、「性差」に関する言説群を分析・理解していくという楽天的で、安易なやり口が問題ではないのか、という根本的疑問はないわけではない。しかし、今回はそこについては踏み込む用意がない。従って、その点に関しては、保留しておこう。ただし、当時の「性差」研究が、当時の社会や文化内に根を下ろした男女関係の制度や言説や観念や態度と深く関わっており、それが生物学的な「性差」を問題にする時にも、何らかの形で、しかも、強力に関与したであろう、ということは認めておいてよいだろう。

さて、ここで報告するのは、今まで説明してきた「性差」研究の最前線の話ではない。当時、最前線は、ヨーロッパにあったのが、東洋の新興国である日本でも、ヨーロッパの知や科学の最前線を何とか消化し導き入れようと、「性差」研究の「紹介」がなされていた。いまだその全容はつかめていないのであるが、例えば、1887(明治20)年には、山縣悌三郎が、『男女淘汰論』を著し、一応ではあるが、性選択(sexual selection)をかなり広く紹介している。その際に、「男女心力ノ差」などが扱われてもいる。

「性差」研究の最前線からの、知識・言説の導入という状況下、「男女」研究を、専門的とはいわないまでも、かなり手広く行った人物は、澤田順次郎であろう。澤田順次郎は、最近、近代日本での「性」の構築過程と構造が問題とされるなか、大正期の通俗性慾学者の一人として、羽太鋭治や田中香涯らとともに注目を浴びつつある人物である。澤田は、大正期には、クラフト＝エビングの流れに近い「変態性慾」学/論の普及・通俗化を行い、「体制内の異常性愛研究」のジャーナリストと位置付けられたこともある。だが、彼の活動を、その初期から調べていくと、そうした位置付けには収まりきらない姿が

見えてくる。

例えば、1911（明治44）年の著作である『民種改善模範夫婦』をみてみよう。実は、この本は、「民種改善」という表題の一部からも分かるが、優生学を扱っていた。内容的に検討すると、かなり本格的な、優生学・民族衛生学を体系的に紹介した書物である。にも関わらず、日本の優生学史上では今まで全くといっていいほど注目されてこなかったし、言及もされていない。大正期以降、彼の活動の中心が、性や性慾になったため、彼の評価もバイアスがかかったものとなり、こうした事態になったのかもしれない。

また、翌1912（明治45）年著された『ダーウキン言行録』も別な意味で重要と思われる。この本（パンフレット）は、「偉人研究」というシリーズものの「第六十八編」であり、どちらかといえば、当時の修養主義の流れに乗って出てきた青少年向けの、立身出世の範型を提供する、伝記であるのだが、中身を検討すると、ほぼ、いわゆる「ダーウィン自伝」の翻訳（＋少々創作）であることが分かる。つまり、ダーウィンの生涯や自伝を紹介してきた経緯に関係する、注目されていなかったが、重要な小冊子であることが判明している。

そうした、科学知識や科学思想の移入史の面で、かなり興味深い人物である澤田順次郎が、日本の学術的な世界にデビューするのは、1901（明治34）年である。彼は、この年の5月5日、坪井正五郎の紹介により、東京人類学会で「男女進化論要項」（あるいは「男女」）と題して発表を行った。この発表・報告はすぐに「男女」と題されて、『東京人類学雑誌』に論文として掲載された。

内容的にみると、この発表・報告は、男女の「性差」を扱っている。“男は大強で、筋骨逞しく、挙動活発にして何でも雄大なことを好みますが、女の方は躰が小さくて筋骨弱くして、その性質も柔和であることは、一般の有様”だとする。そして、“此の如く男女躰格心性に差異あることは、独り人類のみならず、動物界におきましても、雌雄の躰格に差異あることは、明らかなる事実で、雄は通常強大で、雌は弱うございます”と論じていき、「男女」のつまり現在でいうところの「性」の起源

に関する生物学的な説明へとつなげてゆく。そこから反転して「性の系統史」をさかのぼり、「人間」の問題、さらには人類の未来までもを簡単に図式化している。

澤田は、この後、生物学的な、あるいは、その網羅的なやり方から見て、博物的な「男女」研究を、明治の30年代40年代に、多数書物の形で発表する。最初の著作は現在分かっているところによれば、大鳥居三との共著である『男女之研究』（光風館、1904（明治37））である。さらに、1907（明治40）年には、再び大鳥居と共著で、『婦人論』を出し、同年には、単著で、『科学より見たる男女の関係』や、生物学的な性の根源からの視角をそなえ、「徹底的な良妻賢母主義批判」との現代からの評価さえある『最新学説 女子教育論』を出している。

さらに、澤田が著した、明治期の「男女」研究関連書籍だけを並べておけば、次のようになる。『男女と自然』（嵩山社、1908（明治41年））、『自然界に於ける両性の秘密 一名 人類性別学』（博文館、1908（明治41年））、『雌雄進化論』（博文館、1909（明治42））、『胎内に於ける雌雄分性の原理及応用』（広文堂、1909（明治42））、『両性問題』（実業之日本社、1912（明治45））、『男女之由来及分化法（附録：食品分析法）』（巖松堂、1912（明治45））。

共著ではあるが、『男女之研究』などは、非常に好評であったように見え、1911年までに14版を重ねている。また、『婦人論』に付されている「婦人問題研究の参考洋書」は、タイトル数で71ほどあり、ダーウィンやヘッケルの著作をはじめ、エリスの『男性と女性』や、ゲレスとトムソンの共著による『性の進化』におよんでおり、知識と科学の最前線を探求する澤田（と大鳥居）の熱意がうかがえるし、どういう理論や図式が、彼（あるいは彼ら）を通して日本語文化圏に移入されたか、ということへの推論の手がかりを提供している。

澤田自身が、何らかのオリジナルな図式や理論を提供しているかどうか、その点はまだ分からないが、20世紀はじめの彼の活動が、日本語文化圏での、生物学的な「男女差」図式形成の一翼を担ったことは確かであるといえよう。

編集後記

印刷発行が遅くなりましたこと、お詫び申し上げます。またかなりの大部な号になってしまいましたこともご容赦下さい。

4月初旬に開かれたフランスとのシンポジウムに向けて発表準備をしている最中、大変面白い史料に巡り会いました。歴史研究の喜びを味わうとともに、史料調査という科学史家・技術史家の責務を改めて感じています。
(橋本)

複写される方に

本誌に掲載された著作物を複写したい方は、著作権者から複写権の委託をうけている次の団体から許諾を受けて下さい。
学協会著作権協議会
〒107 東京都港区赤坂 9-6-41 社団法人 日本工学会内
Tel: 03-3475-4621 Fax: 03-3403-1738

維持会員

旭化成工業(株)	住友製薬(株)
味の素(株)	第一製薬(株)
出光興産(株)	ダイセル化学工業(株)
(株)荏原製作所	(株)ナード研究所
鐘淵化学工業(株)	日揮(株)
参天製薬(株)	三菱化学(株)
塩野香料(株)	三菱ガス化学(株)

賛助会員

(株)内田老鶴圃	(助)武田科学振興財団
三共(株)	(株)東京教学社
三共出版(株)	(助)肥料科学研究所
(株)第一学習社	和光純薬工業(株)

(1996年4月1日現在)

各種問合わせ先

○入会その他 → 化学史学会事務局

郵便: 〒101 東京都千代田区神田錦町 2-2
東京電機大学工学部人文社会系列
古川研究室
(下線部を必ず明記してください)

振替口座: 東京 8-175468

電話: 03-5280-1288 (Fax 兼用)

事務連絡はなるべく Fax でお願いします。

○投稿先 → 『化学史研究』編集委員会

〒153 東京都目黒区駒場 3-8-1
東京大学教養学部科学史・科学哲学研究室
橋本毅彦(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)内田老鶴圃

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 小塩玄也 田中浩朗
塚原東吾 橋本毅彦 林良重
藤井清久 古川安 武藤伸
八耳俊文 吉本秀之

化学史研究 第23巻 第1号(通巻74号)

1996年3月25日発行

KAGAKUSHI Vol. 23, No. 1. (1996)

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 Office

東京電機大学工学部人文社会系列古川研究室
% Yasu FURUKAWA, Tokyo Denki University, 2-2 Kanda-Nishiki-cho, Chiyoda-ku, Tokyo 101, Japan

Phone 03-5280-1288

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)内田老鶴圃

〒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』投稿規程 (1992年3月21日改訂)

化学史学会編集委員会

1. 投稿資格 著者のうち少なくとも一人は本学会員であること。但し、編集委員会が認めた場合あるいは依頼した原稿についてはこの限りではない。

2. 投稿期日 本誌は年4回(原則として3月, 6月, 9月, 12月)発行するので, 余裕をみて投稿すること。但し, 査読を要するものは, さらに最低1ヶ月の査読期間を見込むこと。

3. 原稿区分 つぎのいずれかを著者が選択して指定すること。但し, 編集委員会が変更することがある。

—論文・寄書・総説・解説・原典翻訳・紹介・資料・雑報・広場・討論—

なお, 新しい知見をまとめ一定の結論に導いたものを論文, 断片的ではあるが新しい知見を含むものを寄書と区分する。

4. 原稿の審査 論文・寄書については編集委員会あるいはその依頼する者が査読を行い, その結果によって編集委員会が採否を決定する。その他のものについても訂正を求める場合がある。

5. 校正 著者校正を一回行う。そのための原稿の写しは著者の手許に保管しておくこと。それに基づいて再校以降を編集委員会が行うので, 校正刷はなるべく速やかに返送すること。

6. 別刷 掲載された論文などの別刷を希望する場合は, 著者校正の際に必要な部数を申し込み, 別に定める料金を支払うこと。

7. 著作権および転載 掲載された記事等の著作権は本会に所属するが, 編集委員会の承認を得れば他に転載することができる。

8. 投稿方法 原本およびその写し一通を別に定める稿先に書留便にて郵送する。

なお投稿先は変更される場合があるので, 最近号の会告に注意すること。

執筆要項

1. 原稿はなるべく400字詰原稿用紙を用い, 完全原稿とする。水性のインクや目より硬い鉛筆はなるべく避ける。ワープロ原稿に関しては書式を22字×37行に設定し, 禁則処理を行うことが望ましい。

2. 投稿原稿の第1枚目に, ①投稿区分, ②題名, ③著者名(ローマ字書きを添える), ④所属, および⑤校正等送付先(電話番号)を記すこと。

3. 論文・寄書・総説・解説には, 欧文で題名, 著者名, 所属および要旨を別紙添付すること。欧文要旨は約200語(ダブルスペースでタイプ用紙1枚程度)とし, なるべくタイプする。

4. 論文は400字詰原稿用紙40枚をもって一応の限度とする。ワープロ原稿に関しても, これに相当する量をもって一応の限度とする。

5. 原稿は横書き, 現代かなづかいによる。

6. 読点はコンマ(,), 句点はピリオド(.)を用い, 文中の引用は「」の中に入れる。

7. 元号その他西暦以外の紀年法によるときは, 必要に応じて()内に西暦年をそえる。

8. 外国人名や地名は, 次のいずれかの方法に統一する。(a)原綴を用いる場合は初出の個所に()内にカタカナによる表示をつける。(b)カタカナを用いる場合は, 初出の個所に()内にその原綴またはローマ字転写を示す。(c)よく知られたものについてはこの限りではない。

9. 欧語は, タイプまたは活字体で記すこと。

10. 引用文が長いときは, 行を改め本文より2字下げて記す。

11. 図および構造式などはそのまま製版できるように墨または黒インクで白紙上に仕上げ, それぞれ挿入個所(必要に応じて大きさも)を赤字で原稿の右側に指定すること。なお, 粗書き原稿で希望する場合には本会でトレースさせ, 別途代金を請求する場合がある。

12. 写真等はなるべく原本を添付し, 返却希望の場合はその旨を明記すること。

13. 単行本および雑誌名は, 和漢語の場合には『』の中に入れ, 欧語の場合にはイタリック体(下線を付す)を用いて表す。

14. 論文の題名は, 和漢語の場合には「」の中に, 欧語の場合には' 'の中に入れること。

15. 単行本などの中の特定の章または節の題名, および編纂物等に含まれる文書名も, 和漢語の場合には「」に入れ, 欧語の場合には' 'に入れる。

16. 文献と注は通し番号1), 2)……を用い, 本文中の相当個所に肩つきで番号を示し, 本文の最後に一括して記すこと。

17. イタリック体は下線_____, ゴチック体は波線~~~~~を付け, それぞれ赤字で原稿中に指定する。

18. 引用文献の書き方は, 以下に示す事例に準ずる。

例

〈論文〉

- 1) 仁田 勇「化学史周辺雑感」『本誌』1983, 123-126頁。
- 2) 辻本満丸「姥鰹肝油中の新炭化水素について」『日本化学会誌』(以下『日化』と略す) 55 (1934), 702。
- 3) Wallace H. Carothers, 'Polymerization', *Chemical Reviews* (以下 *Chem. Rev.* と略す) 8 (1931): 353-426, p. 355。

〈書籍〉

- 4) 日本化学会編『日本の化学百年史—化学と化学工業のあゆみ』(東京化学同人, 1978), 580-597頁。
- 5) Arnold Thackray, *Atoms and Powers: An Essay on Newtonian Matter-Theory and the Development of Chemistry* (Cambridge, Mass: Harvard University Press, 1970), pp. 14-18。

投稿先 〒153 東京都目黒区駒場3-8-1

東京大学教養学部科学史・科学哲学

研究室 橋本毅彦(気付)

『化学史研究』編集委員会

KAGAKUSHI

The Journal of the Japanese Society
for the History of Chemistry

Volume 23 Number 1 1996

(Number 74)

CONTENTS

ARTICLE

- Atsushi TANAKA:** H. Staudinger's Research and the Birth of the Polymer Industry in Germany—The Process to Foundation on Industrial Production of Polystyrol and Polyvinylchloride Plastics 1 (1)

THE HISTORY OF CHEMICAL TECHNOLOGY SERIES 16

- Masanao ESAKI:** History of Ammonia Synthesis Technology 15 (15)

NOTE

- Yoshiro HIYOSHI:** Prussian Blue—its Historical Studies and Educational Application 54 (54)

FORUM

- Tetsuo SHIBA:** Report on "Deutsch-Japanisches Kolloquium—Tradition der Deutsch-Japanischen Wissenschaftsbeziehungen in Sachsen—" 68 (68)

BOOK REVIEWS

70 (70)

1996 ANNUAL GENERAL MEETING

- Program and Abstracts 85 (85)
-

Edited and Published by
The Japanese Society for the History of Chemistry
c/o Yasu Furukawa, Tokyo Denki University
2-2 Nishiki-cho, Chiyoda-ku, Tokyo 101, Japan
Overseas Distributor: Maruzen Co. Ltd.,
P.O. Box 5050, Tokyo International, Tokyo 100-31, Japan