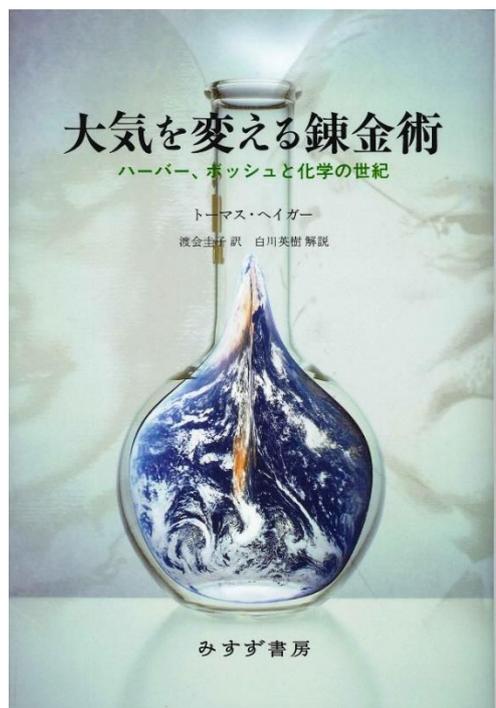


タイトル「大気を変える錬金術——ハーバー、ボッシュと化学の世紀——」(全 303 頁)

出版社:みすず書房, 2010 年 5 月 20 日



著者：トーマス・ヘイガー 訳者：渡会圭子 解説：白川英樹

著者はオレゴン州在住の医科学系ジャーナリスト、アメリカ癌研究所を経てフリーランスのライター。

はじめに

これは空気をパンに変える方法を発明した二人の男の物語である。彼らの功績は歴史上最も重要な発見だと私は信じている。どれほどの人の生死にかかわっているかという視点から、彼らの業績に匹敵するものを他に思いつくだろうか。今の世界の人口の半分は、彼らの開発したもののおかげで生きていられるのだ。

著者の狙いは、他者の幸せを目指す科学が、政治、権力、プライド、金銭、そして個人的な欲望と対立したときにどうなるかを描くことだ。

第 I 部 地球の終焉 天然物由来の窒素肥料の時代＝グアノ(海鳥の糞)あるいは砂漠の硝石鉱床からの窒素肥料の時代(1840 年～第一次世界大戦の前後まで)

1 危機の予測

1891 年に行われた英国科学アカデミー会長クルックスの会長就任演説で、クルックスは、産業革命以降の人口増加に伴う農業人口の減少、新しい耕作地の不足、土壌の生産力低下、肥料不足等々による食物生産量の低下について警鐘を鳴らし、さらに、問題解決には空中窒素固定による化学肥料の生産技術開発しかないと訴えた。彼の演説の最後は、「これが避けられない問題であることを自覚しないと、偉大な白色人種は世界の 1 級民族としての地位を失い、小麦から出来たパンを食べない人種によって絶滅まで追いやられてしまうだろう」と締めくくった。

2 硝石の価値、3 グアノの島、4 硝石戦争、5 チリ硝石の時代

その頃の先進国において肥料原料は南米からの天然硝石に頼っていた。その前は、英国では国王の命を受けた硝石収集人が全国を回り、家屋や家畜小屋のトイレの床からふん尿を原料とする硝石が見つければ、強制的に上屋を壊し硝石を収集していた。また英国は世界中の硝石鉱山を探し、インドガンジス川流域で硝石鉱床を発見し、これが英国のインド植民地化の一因になった。

1840年～1860年代には、ペルー沖の海鳥の糞(グアノ)で覆われた島から硝石が採掘され、世界に輸出されていた。これが当時のペルーの国庫収入の75%に占めていた。

アメリカでは肥料の需要が大きく、ペルーからの輸入では間に合わなくなり、世界のどこであろうとグアノがあり人のいない島の所有権を主張し始めた。その結果、現在も太平洋上にある8つの島が今でもアメリカの帰属になっている。

グアノを無制限に採掘し続けたペルーは、グアノの枯渇により政府財政は破綻した。これに代わり、当時ボリビア、ペルー、チリの3カ国に分割されていたアタカマ砂漠に埋まっている硝石をめぐって、1879年から1884年にかけて起きた「砂漠をめぐる太平洋戦争(砂漠の上でなく、戦場は太平洋上であった)」の結果、硝石利権はすべてチリのものとなった。それ以降、アメリカ、ヨーロッパの農作物、爆発物はチリ硝石に全面的に依存した。アメリカ、ヨーロッパ在住のチリの硝石鉱山の資本家は天国を味わっていたが、1907年に軍隊まで出動する大労働争議が起こるまでは、チリにおける硝石採掘の現場はあたかも奴隷工場であった。労働者の給料は鉱山会社が発行する特殊紙幣で支払われていて、労働者はどこにも移動できなかった。硝石採掘はそれ以降30年間続くが、ハーバー・ボッシュ法の工業的確立によって、チリ硝石の販路は断たれてしまう。

第II部 賢者の石(合成チッソ肥料の時代=ハーバー・ボッシュ法によるチッソ肥料の時代(1917年 BASF ロイナ工場完成、第一次世界大戦終戦まで))

6 ユダヤ人、フリッツ・ハーバー

ハーバーはアンモニア合成の基礎的研究論文の一部を1906年に発表した。そして、1913年にドイツの化学会社 BASF のボッシュがハーバー法の工業規模のプロセスの開発に成功した。ボッシュの超人的な総合エンジニアリング力で1917年 BASF ロイナ工場が完成し、本格的な合成チッソ肥料の時代になった。クルックスの警鐘演説以来、4半世紀で問題解決の扉は開けられた。

ハーバー・ボッシュ法確立以前、1900年にドイツ化学界の大御所であった物理化学者オストワルドが、鉄の針金を用いて、窒素と水素から高温高压下でアンモニアを作ったと公表し、特許出願も行った。そしてこの技術を当時ドイツ最大の化学会社であった BASF に持ち込んだ。BASF では、入社1年目であったボッシュに評価をさせた。アンモニア生成の原因は、用いた鉄の針金に付着していた不純物である鉄窒化物の熱分解の結果であり、アンモニア合成ではないことが明らかになった。オストワルドの敗北であった。オストワルドは最初、この若造が何を言うかと怒ったが、最終的には自分のミスを認め特許も取り下げた。

1907年ハーバーで開かれたブンゼン応用物理学会でハーバーは彼の着想を自信を持って発表した。しかし、その席上でオストワルドの弟子であり、熱力学第3法則の発見者であるネルンストからもアンモニア合成実験の結果が発表された。両者の合成実験でのアンモニア収率に微妙な差があった。ネルンストは彼の発表の最後に、「ハ

ハーバーの数字は誤りに満ちていて正確ではない。次はハーバー教授が本当に正確な数字を出せる実験方法を採用されるよう提言致します」とハーバーにとっては屈辱的な批判を受けた。ハーバーはその後カールスルーエ大学でさらにアンモニアの研究に没頭した。

7 BASF の賭け、8 ターニングポイント

その後1年ばかりの時間の後、ハーバーとその協力者ル・ロシニョールはおびただしい実験を繰り返した後、それまでの研究者が出していたアンモニア収率の数倍を得る成果を出していた。ハーバーをこの結果の工業化のために、1908年 BASF に話を持ち込んだ。当時の BASF の社長ブルンクは先見の明があり、新しい物好きであった。かれはハーバーの持ち込みアイデアを認め、会社としての研究開発を決め、同時にハーバーに潤沢な研究資金を提供することにした。さらに、ハーバーの特許はすべて BASF に帰属するものとし、その代わりに BASF がアンモニアから得る純利益の 10% をハーバーが受け取ることにした。

1911年9月にヘキスト社がハーバーの基本特許の無効審判を起こした。加圧下で窒素と水素からアンモニアが生成することは、ハーバーの報告の1年以上前にネルンストが実証しているというのがヘキストの主張であった。BASF はネルンストと話し合いをし、彼は BASF の研究室を自由に使える優遇措置をえた。1912年3月裁判の当日、ネルンストはハーバーと腕を組んで現れ、且つハーバーの発明のオリジナリティを認める演説をした。訴訟は却下された。

9 促進剤、10 ボッシュの解決法

ボッシュによるアンモニア工業の誕生

ボッシュは BASF の中でハーバーの技術を工業化するための技術開発の責任者となり、その生涯の大半をアンモニア技術と共に生きることとなった。彼は卓越したエンジニアリング能力を持っていたが、その一方、作業着の汚れも厭わず現場に入り込む現場技術者でもあった。アンモニア製造技術に係わるあらゆる分野での開発に指導性を発揮した。アンモニア合成のための触媒開発から鋼材の水素脆化の研究さらには水素脆化を避け、高温(500℃)高圧(200気圧)に耐える反応器構造の開発(当時の常識では高圧といえばせいぜい20~30気圧であった)、高圧コンプレッサー設計、純度の高い水素製造法、等々に関して超人的貢献を成し遂げた。付言すれば、触媒開発では、BASF の触媒研究者であったミタッシュの貢献が大きい。

BASF 社長のブルンクの強力なバックアップもあり、ボッシュプロジェクトは 1914年にオッパウ工場で完成した。この時、生産量は日産30ト。その後、オッパウはフランス国境に近かったので、想定もしていなかったフランス空軍の空爆を受けたことで、フランス国境と離れたロイナに、ドイツ皇帝の支持の下にオッパウの2倍の生産量を有する新しいアンモニア合成工場を建設した。ボッシュによるアンモニア工場の完成によって、近代装置産業がスタートしたとって過言ではない。

11 アンモニアの奔流、12 戦争のための固定窒素

ボッシュは1917年にフランス国境から離れたロイナに新しいアンモニア製造工場を完成させた。同時にここでは爆薬製造のためのアンモニアを原料とした硝酸塩の製造工場ともなった。オッパウとロイナの工場によって、ドイツが戦争を継続できた。

第Ⅲ部 SYN

13 ハーバーの毒ガス戦

ハーバーはハーバーボッシュ法の発明者として、ドイツ化学界で重きをなし、ついには、カイザー・ウイヘルム研究所の所長になった。それでもユダヤ人であったことから、常にドイツ社会の上層に到るための野心と闘争心を秘めていた。皇帝に尽くし、栄光を熱望していた。ドイツ人以上にドイツの役に立とうとし、戦争に尽くそうとした。彼の研究所は徐々に軍事研究センターに変容しつつあり、彼の関心事もアンモニアから毒ガスに移っていった。開発は成功したが、実戦での成果は限定的なものであった。それでも、皇帝から鉄十字勲章を授与され名声は維持できた。ハーバーの妻クララは夫の研究に強く反対し、そして彼女の自殺という悲劇を迎えたが(1915年)、彼の研究は続いた。大戦後、ハーバーは連合国からの戦犯指名を恐れていたが、結局は指名されなかった。逆に1918年に「元素からのアンモニア合成法の開発」でノーベル化学賞を受賞した。なお、1917年にハーバーは20歳年下の女性と再婚したが、結局は幸福な家庭を築けなかった。

14 敗戦の屈辱

戦争終結交渉においては、戦勝国側が如何にハーバーボッシュプロセスをドイツから取り上げるかが焦点になり、ドイツ代表団の中心にはボッシュがいた。最終的には、ドイツにあるアンモニアプラントはドイツが運転維持できるが、その代わりドイツの技術を開示しドイツと同じ仕様のアンモニア工場をフランスに建設し、僅かばかりのロイヤリティでフランスがドイツに支払うことで交渉は決着した。この戦後処理交渉を成功させた功績で、このあと数年でボッシュはBASFの経営トップに立った。

15 新たな錬金術を求めて

敗戦でどん底に落ちたドイツを、ハーバーは再度化学の力でなんとか立ち直らせようとした。ドイツの戦争賠償金の解決に寄与すべく、かつて空気から窒素を取り出しパンに変えたように、今度は海水から金を取り出そうとした。ハーバーの頭の中には当時の最高級の化学知識と実験技術があった。大西洋の海水を分析するため、ドイツとアメリカを結ぶ定期船の中に特別の実験室を作り、海水から金を沈殿させようとしたが、5年続けた実験で彼の得た結論は「大西洋の海水の金濃度は低い」ということであった。賠償金問題の解決は他人の手に委ねるしかなかった。5年間の蓄積データの一切を封印した。

それ以降は、ハーバーは研究所長として研究所の運営に集中し若手研究者の発掘と育成に注力した。物理、化学基礎的テーマに関して優れた成果も生み出し、研究の理想郷とまで言われるようになった。しかし、家庭においてはまったく逆で、二度目の妻との間も危機的状況は続き、結局は離婚となり、それ以降精神的不安定状態が続いた。

16 不確実性の門

大戦後のドイツの騒乱の中、ボッシュが社長になってすぐにアンモニア工場で労働争議が起こり、工場はストライキに見舞われた。技術者ボッシュには、合理的労働争議解決は出来ず、労働者解雇という結論に到った。その後労働争議のトラブルメーカーを外し、一人ずつを再雇用した。この争議の後で、ボッシュはBASFの家族主義的会社経営を目指したが、時代は変わっており、彼は徐々に疲れていった。

1921年9月にオッパウ工場は大爆発を起こした。ボッシュはすぐに原因追及と再建計画を立て始めた。

しかし、亡くなった労働者の追悼式の後、帰宅途中でボッシュは「壊れて」しまった。彼になにが起こったのか、正確に伝えている情報はほとんどない。その後数ヶ月は世間から隔離された状態で過ごしたとのことである。彼の不在中、工場爆発の原因追及が行われ、製品肥料(硫安)の貯蔵ホッパーの中に、戦時中作られていた硝酸ナトリウムが残留しており、これが爆発の原因と判明した。死者 561 人、負傷者 1700 人。損害額5億マルクであった。ボッシュの片腕であったクラウフがボッシュに代わって3ヶ月で工場をフル稼働に戻した。一方、被害者への補償金額は正社員と非正規社員の間で大きな差が付き、後々長く会社に対する不満が残った。ボッシュは 1922 年に仕事に戻った(48 歳)が、技術に対して積極的に取り組んでいた以前の彼とは違っていた。

17 合成ガソリン

インフレが落ち着き、農家の肥料購入力が回復し、マルク安から海外でのアンモニア肥料購買量も増加し、BASF に入るお金が増えた。一方、大戦以降英・米・仏その他外国により、ハーバー・ボッシュ法の特許は戦後賠償として連合国に接収され、アンモニアプラントも各国に建設され肥料をそれぞれの国で作り出したため、アンモニア肥料の価格は世界的に下がってしまい、BASF の経営を脅かすようになった。

BASF のみならず当時のドイツ化学工業は共通して大戦後の苦境に陥っており、打開策を求めていた。そして、ドイツ化学工業会は、トラスト形成の道を選び、代表的化学会社9社が 1925 年に合同し IG ファルベンが誕生、ボッシュはその社長となった。

ボッシュは戦後、自分の世界に閉じ籠もりがちになったが、心の底にはアンモニア合成に代わる新しい技術を創りたかった。1923 年彼はアメリカへ行った。そこで自動車の将来を見た。そして当時の原油事情から、いずれ将来におけるガソリン不足を補う方法を確認した。彼の得意分野である触媒と高圧技術による石炭からの合成ガソリンの製造である。この頃、既にベルギウスが石炭の高圧水素添加反応による石炭液化技術を完成させており、ボッシュはベルギウスの特許を買い、自分のチームで工業化研究を進めさせ、1927 年には石炭からのガソリン製造技術を工業化した。ガソリン合成反応条件;400~500°C, 200~500 気圧は、アンモニア合成反応条件にほぼ同じである。

なお、ベルギウスは、カールスルーエ工業大学で F.ハーバーの下で高圧反応を学んだ弟子であった。

18 ファルベンとロイナ工場の夢

IG ファルベンのアンモニア以外の製品の生み出す利益が、ロイナ工場に流れ込み、ボッシュの手でロイナ工場が徐々に合成ガソリン工場へ転換されていった。

ボッシュはアメリカで合成ガソリンの夢を共有する会社を探し、最終的にはスタンダードオイルと組み、合成ガソリンの特許を共有した。スタンダードオイルからの莫大な金がボッシュに流れて来て、ボッシュの合成ガソリン製造技術がより完璧なものになるはずであった。

19 大恐慌のなかで

ところが、1920 年代末にオクラホマ州で発見された油田の埋蔵量が膨大なものであることが判ってきて、合成ガソリンへの夢に陰りが出始めた。しかし、IG ファルベンの主たる製品であるチツソ肥料、合成ゴム等が利益を上げ

ていたので、ボッシュはロイナにおける合成ガソリン年間 10 万トンの生産は軌道に乗りかかっていたが、先行きは不安であった。

ボッシュがスタンダードオイルと手を組んだ数ヶ月後、アメリカ市場での株の大暴落が起き、世界は大恐慌に陥った(1930年)。ドイツも大混乱になった。

そんな中で、1931年にボッシュはベルギウスと共に「高圧化学の研究」でノーベル化学賞を受賞した。

20 ハーバー、ボッシュとヒトラー

1933年にヒトラーが首相になった。それから間もなく、公職からユダヤ人を排斥する法律が発令された。ただし、第1次大戦に従軍した退役軍人は例外とされたが、ハーバーは苦渋の決断であったが、カイザー・ウィルヘルム研究所長を辞することにした。

その後、イギリス、パレスティナの研究所から声は掛かったが、彼の心は千々に乱れ何も決めることが出来なかった。不眠、別れた妻への経済的負担、将来への不安から心身共にコートダジュールで静養生活を送っていた。

ヒトラーが出る前には、ハーバーは化学分野ではドイツ社会において成功を収めていたが、最後にはユダヤ人であることからドイツから存在を拒否された。最後にハーバーはボッシュに助けを求める手紙を書いたが、ボッシュからの返事はないまま、失意の中で1933年の暮れに心臓発作で亡くなった。

21 悪魔との契約、22 窒素サイクルの改変

そのころ、ボッシュは自分の反ナチス感情を抑えながら自社の多くのユダヤ人社員を助けることと、合成ガソリン研究、ロイナ工場の運転に忙殺されていた。ロイナ工場の生産継続は、結果的にはナチスに協力したことと同義であった。ナチスの意向を無視してマックス・プランクは1934年にハーバー追悼集会を開催した。ボッシュは会社を挙げてこれを応援した。この式の後、ボッシュはナチスから危険人物と見なされ、IGファルベンも彼を会社経営から外し名誉職に祭り上げた。そしてボッシュは徐々に鬱状態になり、公の場から姿を消し、1940年2月にはシチリア島に引き籠もった。そして4月に息を引き取った。家族に残した言葉は「未来が見えるのは、残酷な能力だ。私に見えている世界は悲惨なものだ。自分にはそれを乗り越えられない。」

ロイナ工場はナチスドイツの生命線であった。ドイツ空軍の燃料の70%以上が、合成ガソリンであった。これを死守するため、ロイナ上空は連合軍から「高射砲地獄」と呼ばれるほどで、戦争終結までロイナに落とされた爆薬の量は18,000トン以上であった。徹底的に連合軍の爆撃を受けたが、それでも敗戦時にはロイナでのガソリン製造能力は往事の15%ほどが残っていた。

ボッシュの高圧化学の夢は、第3帝国の夢と共に粉碎された。しかしクルックス卿が19世紀の最後に描いた希望と夢は、ハーバー・ボッシュ法として第1次大戦後の世界に広まり、世界中の人間に食物を与えている。

エピローグ

ボッシュは昆虫や鉱石に関して関心が深く、それぞれに膨大なコレクションを残した。ボッシュの息子がこれを管理していたが、大戦後これらをアメリカのスミソニアン研究所が買い上げた。

ハーバーとクララの息子は戦後自ら命を絶った。

IGファルベンの重役23人が、ニュールンベルグ裁判で有罪となった。巨大カルテルであったファルベン社は解体され、BASFが復活した。1950年代にはボッシュの未亡人エルゼが会社の監査委員会メンバーとなった。

ロイナ工場は復活され、東ドイツにより操業が継続された。現在はヨーロッパで最大級の化学工場となっている。

(補足①)本書には詳しくは書かれていないが、参考までにアンモニア生産量と世界の人口の増加傾向の相関関係を図-1 に示す。(出典:難波哲哉,アンモニア合成と利用における新たな展開,化学と教育,67 巻第 11 号(2019),p.530)

(補足②)アンモニア合成反応の基礎となる反応熱の正確な測定、いろいろな反応条件下での平衡定数の計算を行いハーバーを支えた日本人がいた。1907年(東大卒業後3年目)にドイツ留学し最初はネルンストの研究室にいたが、1908年にハーバー研究室に移った田丸節郎である。その貢献度は高く、ハーバーをして「死ぬほど働く人」と言わしめた。(出典:田丸謙二、大山秀子、田丸節郎資料(写真および書簡類)、化学と工業、Vol.66-7, p.636, July 2012)

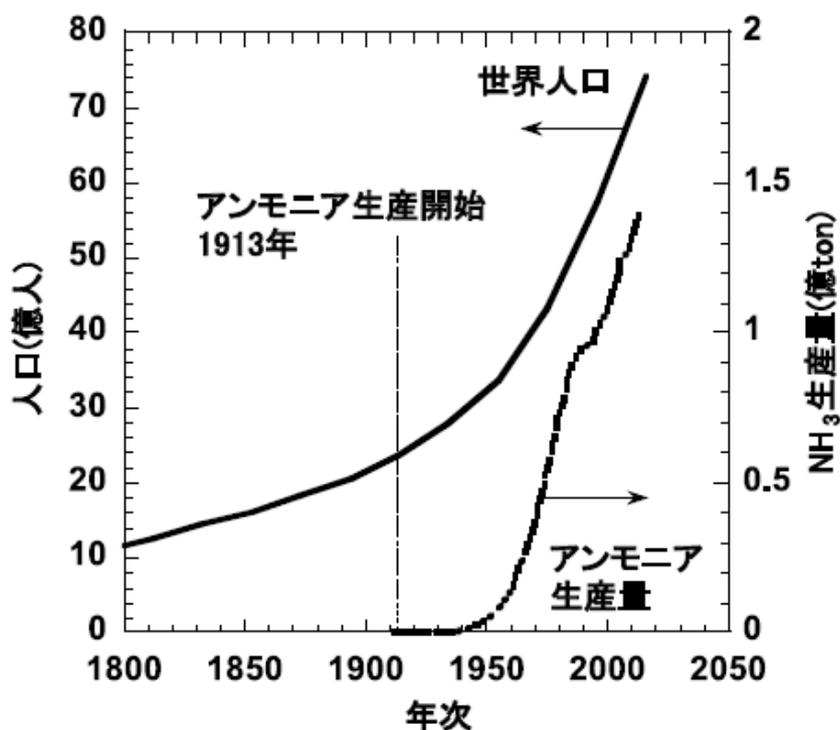


図1 人口とアンモニア生産量推移