

## いのちの水、しかばねの水

産業技術総合研究所環境化学技術研究部門 副研究部門長

中岩 勝

### 1. 錬金術師の夢想

ここでは、最新の化学工学の話題というよりも、遙かいにしへの昔に生まれた技(わざ)が我々の未来に繋がっているというお話しをしたいと思います。蒸留技術は紀元前に香料を精製するために使用されるなど、最も古くから使われている化学技術のひとつです。その原理はいうまでもなく加熱による溶液の蒸発と冷却による凝縮により溶液成分の沸点差で液体を分離するものであり、操作としてはいわゆる単蒸留が行われてきました。紀元前 3500 年頃には花卉や葉から香料を集めるために原始的な形式の蒸留装置が使われていた形跡が残っています。また世紀初頭(約 2000 年前)のギリシャの錬金術の書物には当時の典型的な蒸留器が図示されています。これは蒸留される混合液を入れる本体、放出口を持つ頭部、受器、そして加熱炉から構成されています。その後、アルコールや酸の製造などでも蒸留の技術は使われてきました。

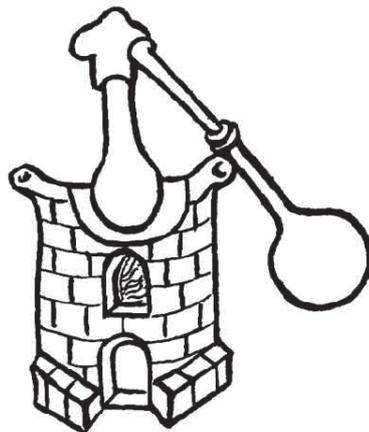


図1 紀元初頭の蒸留器 — 本体、頭部、受器、そして加熱炉から構成される  
(E.J.ホームヤード、錬金術の歴史 1957 (大沼正則監訳) 朝倉書店 1996)

後ほどやや詳しく述べますが、石油精製等で用いられている連続蒸留塔の技術は20世紀のはじめにほぼ確立されました。それ以来、比較的単純な装置構造であるにもかかわらず高精度な分離と大型化・大量処理が可能であるという特徴により、その基本構造をほとんど変えることなく現在まで使われ続けています。その用途は上に述べた石油精製はもちろんのこと、化学、製紙、食品、金属精錬などほとんどのプロセス産業に広がっています。また半導体産業における超高純度シリコンや高純度ガスの製造にも蒸留が用いられています。廃液の回収など環境保全技術にも蒸留は不可欠となっています。

さて、蒸留技術の発展を語る際に欠かせないものに錬金術があります。錬金術（自然魔術）の重要な技術として、蒸留はイタリアルネッサンス期には様々に応用されてきました。それが18世紀から19世紀にかけて熱がエネルギーの一形態であることや蒸発潜熱の概念が明らかにされ、蒸気の持つ熱で液体を加熱できることがわかって、様々な試みを経て19世紀末に現在の連続蒸留技術の基礎が確立されました。高い濃度の液体を得るためには単蒸溜を繰り返すため複数の加熱源と複数の冷却源を必要としていたものが、ひとつの加熱源と冷却源で高濃度な製品を作れるようになった訳です。

それでは「錬金術師」と言うと、どのようなイメージをお持ちになりますか。怪しげな人物、無からでも価値のあるものを簡単に生み出せると主張して人々を惑わす詐欺師的人物、などではないでしょうか。例えば「現代の錬金術師」といえばバブル経済に乗じて短期間に莫大な利益を上げた人などを揶揄するときに使われる言葉で、尊敬の念は入りません。しかしながら錬金術そのものは紀元前にも存在しており、現在化学の祖とも言える技術体系です。文献等で明らかになっている錬金術の発達、錬金術師の活躍時期は8世紀から16世紀のイタリアルネッサンス期あたりです。ルネッサンス期は宗教的、神秘的な世界観から科学的世界観にヨーロッパが大きく転換し、ニュートンやガリレオが「科学」の概念を打ち立て切り開いた時期でもあります。それ

までの人々の間での自然の理解をかたち作っていたものは錬金術と、もうひとつ、占星術でした。これらはその当時には「科学的」な概念のみならず、呪術的、オカルト的な価値観を含んでいたのです。それが近代的な科学の出発点として整理されていった背景にはそれらの経済的な価値への認識があったように思われます。

さて、そのような時期の錬金術において、中核をなす技（わざ）は蒸留術と冶金術でした。当時の有名な錬金術師（自然魔術師）、ジャンバッティスタ・デッラ・ボルタは錬金術師に要求される知識について次のように述べています。

「魔術師（錬金術師）は金属、宝石、石の性質を見抜かなければならない。さらに蒸留の術に優れた腕を持たねばならない。蒸留の術というのは、娘が母親から生まれ母親に似ているのと同様に、天からの驟雨や露をもたらすものである。誰もこのことに疑念を挟まないと思う。蒸留の術は毎日いたって不思議なものを創案したり、実に機知に富んだ工夫を生み出したりしている。また人間が利用して益するものを数多く見出す方法も教えてくれる。例えば事物から水蒸気や清しい匂い、あるいはアルコール、それに凝固物やゴム状のどろどろした液を取り出す方法を、である。事物の最深部に潜む精がこの術を作動させ効果を生み出すのであって、比較的大きな力を生じていると思われる。このことを魔術師は粗野で通俗的な方法でなく、その原因と理由を知ったうえで学ばなければならない」（デッラ・ボルタ、自然魔術 1558(澤井繁男訳) 青土社 1990)

注目すべきは、この中の「事物の最深部に潜む精がこの術を作動させ効果を生み出す」との記述です。これは蒸発潜熱を想起させますが、書かれたのはスコットランドの化学者ジョセフ・ブラックによる蒸発潜熱の発見よりおよそ200年も前のことです。この本ではそのほかにも「磁石の不思議について」、「新しい植物の産出について」、など、広範囲に渡る「魔術的作用」が紹介されています。中には「料理術について」、「女性を美しくすることについて」など生活に結びついた(?)術も書かれています。デッラ・ボルタはまた、錬金術師は火、土、空気、水や稲妻など自然の全体、医術、



図2 16世紀ドイツの錬金術師の仕事場 —蒸留器がいくつも見られる  
(E.J.ホームヤード、錬金術の歴史 1957 (大沼正則監訳) 朝倉書店 1996)

薬草や植物を見極める目を持たねばならないとも述べています。要するに蒸留、冶金に関連する知識だけでなく、今で言う「理科系」のほとんどの分野に精通しろと言っているわけです。この言から、近代科学・技術の多くの分野はその出発点において錬金術の一部をなしており、蒸留術はその中心的技術であったと解釈できるかもしれません。さらに脱線すれば、近代科学・技術は化学工学と金属工学が原点にあると言えないでしょうか。

## 2. いのちの水

錬金術師は蒸留術により様々な有用物を生み出しましたが、蒸留術の生産物として最も有名で広く知られているものは強いエタノール飲料、すなわち蒸留酒でしょう。13世紀にはワインからブランデーの原型が造られていました。スペインあたりが最初のようなようです。中世には2段バッチ蒸留で共沸点付近のエタノールが作られています。これは「いのちの水 (Aqua vitae)」と呼ばれ、修道院などで薬草を漬け込んで医薬品として使われていました。

スペインで作られた蒸留酒の製法はイタリアからフランスに渡りコニャックなどのブランデーが生み出されました。これとは別に、スペインから海を越えてアイルランドを経てスコットランドに至り、ビールを蒸留する技術となりました。スコッチウイスキーの誕生です。その後、この技術が北上して北欧4カ国に来てその名もずばり「アクアヴィット」ができます。ジャガイモを主原料とする蒸留酒です。アクアヴィットにはハーブで香りを付けた独特の風味のあるものも作られています。ここから東に進んでロシアの大地でウォッカになりました。さらにタイやインドネシア、中国を経てわが国で泡盛、焼酎が生み出されたのは言うまでもないでしょう。ヨーロッパからコロンブスにより新大陸に伝えられた蒸留術によりカリブの海賊を元気にしたラム酒、情熱の国メキシコの竜舌蘭からテキーラが作られます。これら以外にも多くの国で多様な原料から作られる多彩な蒸留酒があります。それぞれ個性的であり、個々の国、地域の文化に深く根ざして祭りや儀式には欠かせないものとなっています。

これとは別に「いのちの水」の名前は14世紀にヨーロッパで大流行したペスト（黒死病）が生み出したとの説もあります。ペストの流行はヨーロッパ各地に大きな爪痕を残し、人口の激変をもたらしました。この際、エタノールの殺菌効果からエタノール飲料を飲んでいる人は病気に罹りにくく、ペストに罹っても死なないことが信じら



図3 テキーラ（メキシコ）の町にあるモニュメント  
周りに植えられているサボテンのような植物が竜舌蘭

れて、「いのちの水」の名がついたというわけです。

話は変わりますが、エジンバラ在住の女性作家のベストセラー小説であるハリーポッターシリーズ。現在のイギリスを舞台にして、異世界にある魔法使いの学校での生徒たちの活躍を描いたものです。映画も同じくシリーズ化されています。その第1作で大ヒットしたのが「ハリーポッターと賢者の石」です。この映画（小説をかなり忠実に映画化しています）ではhogwarts魔法魔術学校で密かに守り続けられてきたものとしてタイトルにもある「賢者の石 (Philosopher's Stone)」がストーリー上重要な役割を果たします。賢者の石は錬金術には欠かせないアイテムです。これは鉄のようなありふれた金属を金に変えるものと紹介されますが、作用としては要するに触媒です。賢者の石を溶かして精製するものとして「いのちの水」が登場します。錬金術の英語 alchemy の chemy は chemistry と同じ語源ですが、もとは金属を変えるという意味で賢者の石を指した言葉です。このような錬金術に登場する物質の変容（反応）は蒸留などの分離技術と双璧をなして化学工業における基本操作でした。中世ヨーロッパには蒸溜を生業とする専門家集団のギルドがあり、現在、化学工業と言われる分野で活動していました。ギルドとはメンバー各人の財産・利益を守り、技術の伝承や市場の独占を目的とした一種の組合であり、様々な職業ごとにギルドが存在していました。蒸留ギルドは武器や農機具に使われる金属の精錬に不可欠な酸類、香水、医薬品、そしてもちろん「いのちの水」の製造にかかわることによって大きな利益と権力を握っていたのです。私たちは映画の中の架空の魔法魔術学校の授業風景に驚きますが、もし中世ヨーロッパの蒸留ギルドが現在の大学化学工学科の授業参観(?)に来て、その内容と目的を知ったならば高度に体系化された「錬金術」「蒸留術」に驚き、多額の寄付をしてくれたかも！大いに産学連携が発展したかもしれません。

話を戻して、恐ろしい疫病の大流行が去った後も蒸留酒を飲む習慣はヨーロッパ社会全体に定着しました。むしろビールやワイン以上にポピュラーになったと言えます。現在と同じで強いアルコールを飲むことによる依存症などの弊害も目立ってきたの

でしょう。15世紀にはいくつかの都市では蒸留酒の中毒を防ぐための法律も制定されます。そして穀物をエタノールに変える事に貴族から一般市民まで反対の議論が巻き起こります。これはエタノールの飲用がもたらす害というよりも、貴重な食料を使ってしまうことの罪が問題視されたようです。何やら現在の状況にも通じるようなお話ですね。但し、蒸留酒の製造技術と共沸点を超える無水エタノールの精製技術は別物で、化合物としてのエタノールの発見はずっと後のことです。

ニュートン以前の錬金術師たちの時代には科学と技術の区別はありません。最近、亡くなった映画「2001年宇宙の旅」の原作者でSF作家のアーサー・C・クラークは「高度に発達した技術は魔法と区別が付かなくなってくる」という趣旨のことを書きました。理学部と工学部の区別が見えなくなりつつあると聞くことがあります。昨今の環境を重視する技術の進歩と、自然への理解を目的とする科学の発展が接近するのは素直な流れであり、かつての錬金術（自然魔術）が尊重していた自然観や哲学的世界観に良い意味で回帰しようとしているのかもしれませんが。

### 3. しかばねの水

しかばね（屍）の水とは、おどろおどろしく穏やかではありませんが、ここでは海の生物、動植物の死骸がもとになって生まれたもの、すなわち石油（原油）を意味しています。石油の起源には諸説ありますが、生命誕生の比較的早い時期からの下等なプランクトンの死骸が枯死した海底植物と混じって堆積し、嫌気性バクテリアの活動によって、長年月のあいだに炭化水素になっていったとの説が有力です。

石油が本格的に使われだしたのは、せいぜいこの100年ぐらいの間であり、石油文明と言われる時代の始まりは米国では南北戦争期、我が国でいえば幕末期に相当します。それ以前には「燃える水」としてわずかな量が一部の地域で使われていましたが、それは自然に地上に染み出してきたもので、積極的に汲み出されたものではありませんでした。古代メソポタミアなどでは染み出した石油の低沸点成分が蒸発して残った

アスファルトが、石像などを作る際の接着剤として、またエジプトのミイラにも使用されています。これらは香料を精製するために蒸留が使われだすよりも古い紀元前4000年頃からと考えられています。時代はずっと下りますが、中国の漢書や日本書紀にも燃える水の記述が出てきます。7世紀に越後国から天智天皇に燃える水が献上された話は有名です。水が火を生み出すわけで、その神秘的な作用から世界中で信仰の対象となったことは容易に想像できます。もちろん洋の東西を問わず戦争の武器として利用されてきました。皮膚病や腫瘍の薬としても使用されていたようです。

文明を激変させた近年における石油産業の発展を見る際に欠かせない人物が二人います。ひとりには1859年にペンシルベニアで地下油田を発見したドレーク大佐、そしてもう一人は資源開発、石油精製、輸送、貯蔵から取引市場の創成まで総合的な企業集団を組織し、米国が世界をリードする資本主義国として発展するきっかけを作ったロックフェラーです。

ドレーク「大佐」はニューヨーク近郊の鉄道の車掌を務めていた人物です。彼が石油採掘にかかわるようになったのはそれほど積極的な理由ではありません。きっかけはニューヨークの弁護士が、医薬品としての使用を目的にダートマス大学の研究室に持ち込まれた「ロックオイル」の分析結果を目にしたことです。彼、ジョージ・ビゼル弁護士は化学の知識があったのでしょう。彼はその分析結果から、これは大量に生産できれば照明用の油としてビジネスが可能だと考えました。当時の灯火には鯨から取れる鯨油が使われていました。アメリカのペリー提督が黒船でやってきて、日本に開国を迫った一番の理由は当時太平洋で活動していたアメリカの捕鯨船に、食料や燃料を供給する港を日本に開かせようとするものでした。当時の米国では捕鯨は肉をとるためではなく、灯火用の鯨油をとるためだけが目的だったのです。使用量の増大に伴って鯨油の価格も高騰を続けます。一方で鯨油は悪臭が非常に強いことが大きな問題となっていました。

ビゼル弁護士は何人かの資本家を募り、当時の塩水を採掘する技術を使って石油の

掘削を試みようとしてしました。そのときに出資した資本家のひとりが技師として声をかけたのがエドウィン・ドレーク氏でした。彼は石油の地下貯蔵の可能性が高いとされたペンシルベニアのタイタスビルという小さな町に入り、試験採掘を始めました。このとき、ドレーク氏が小さな町で仕事をするのに町の人々の印象を強くし仕事をやりやすくするために「大佐」という肩書きを名乗りました。実際の軍歴はありません。なかなか石油は出ず、様々な紆余曲折を経て一時は事業の撤退も検討されましたが1959年8月、ついに石油の汲み上げに成功し石油文明はその歩みを始めることとなります。これによりビゼル弁護士と、出資した資本家は大きな利益を得ましたがドレーク大佐は名声を得たものの、その後、経済的には決して恵まれた状態ではなかったようです。技術に携わる者として筆者は同情を禁じ得ません。

話をジョン・D・ロックフェラーに移しましょう。彼は1839年ニューヨーク州で6人兄弟の2番目として誕生しました。彼の父は葉の行商人でしたが、様々なビジネスにも手を染めていたようです。母は聖書を読んで日々の生活を慎ましやかに過ごす静かな女性でした。ロックフェラーは高等学校を中退後、16歳で地元にある商社に簿記係として就職し、鉄道輸送や運河、五大湖の船舶による水上輸送ビジネスを担当していました。このころの経験がその後のビジネス展開の基礎になったようです。1859年、奇しくもドレーク大佐が石油採掘に成功した年に友人と商社を設立し、食材などを売買していましたが、ほどなく石油ビジネスに参入します。1860年代前半にすでに精油所を所有し利益をあげていました。また1865年に南北戦争が終結しアメリカは急速な経済発展期に入りますが、そのタイミングもロックフェラーには絶好だったのでしょうか。彼は最新鋭の設備投資と、一方での徹底したコスト管理により事業を拡大していきました。そして1870年、弟や友人と資本金100万ドルでスタンダード石油を設立します。当時の100万ドルがどのくらいの価値なのかピンと来ませんが、すごいスピードでビジネスが進んでいたことは想像できます。その後のスタンダード石油の発展や変遷はある意味で若い国アメリカが20世紀に世界を席卷する歴史と深く関

わっていますが、詳しくは文献などをご参照ください。彼は一代で世界有数の財閥を築いた石油王であり、若い時代に努力と幸運で石油を掘り当て、油井から吹き出る黒い水を浴びながら歓喜するイメージがありますが（ジェームスディーンが出演した映画の「ジャイアンツ」のように）、実際には油井を発見したことはありません。むしろすぐれたビジネスモデルと時代の流れにマッチした商品にいち早く目をつけるという、極めてオーソドックスな成功過程を歩んだように思えます。余談ですが、ロックフェラーは生涯にわたって「いのちの水」、すなわちアルコール飲料を口にするとはなかったそうです。

19世紀終盤になると野心的な事業家が次々とロックフェラーに続きます。ロシアのロバート・ノーベルはバクーで石油事業に乗り出し大成功します。ダイナマイトの発明者でノーベル賞を創設したアルフレッド・ノーベルはロバートの弟です。金融業で財をなしたロスチャイルド一族も同じくロシアで事業を展開します。そしてロイヤル・ダッチやシェル設立へと石油を巡るビジネスは展開していきます。前に石油文明という言い方をしましたが20世紀の発展は重化学工業の発展であり、国家を越えた企業集団による資源戦略が、国家そのものの存在にも影響を与えてきました。当然、多くの国家間の紛争、戦争にも関連しています。近年の世界情勢は石油メジャーが利益のために戦争ですら画策する、というような単純なものではありませんが、「しかばねの水」はその成り立ちによる名前ではなく、パンドラの箱を開けてしまった人類への警告を含んだ名前なのかもしれません。

#### 4. そして雷の力を

話を錬金術師に端を発する蒸留器（装置）に戻しましょう。本稿の最初に約2000年前のギリシャの錬金術の蒸留器を紹介しましたが、その原理は加熱による溶液の蒸発と冷却による凝縮により溶液成分の沸点差で液体を分離するものであり、操作としてはいわゆる単蒸留が行われてきました。その後、蒸留酒や酸の製造など、またイタ

リアルネッサンス期には錬金術（自然魔術）の重要な技術として様々に応用されてきましたが、基本的には回分操作でした。先に述べたように、このころの蒸留器は加熱部分、本体、凝縮した液を受ける部分でできており、その後の蒸留酒製造に用いられたポットスチルの原型といえます。

当時の錬金術師は蒸留術における本体や頭部の形状（デザイン）が蒸留術の要であることは充分理解していました。デッラ・ポルタは以下のようなおもしろい解説をしています。「勤勉な技術者は自然を模倣することによって容易に学ぶことができる。ライオンや熊のように怒り狂った動物の胴体は分厚く首は短い。つまりガスを発生させる液は、容積の大きい容器から出て行くもので、濃密な部分は底の方にたまることわかる。しかし牡鹿、ダチョウ、駱駝、その他優しい動物はしなやかな胴体と長い首を持っている。つまり薄くて微細なスピリト（エタノール）は長くて狭い通路を通過して、それが純化されるに至るまで高められなければならない」ちょっとこじつけな気がしなくもないですが、合理的に設計された装置が生物的な造形となることは我々がしばしば経験することです。確かにポットスチルの長く伸びた首は優雅な鳥を連想させますね。

さて、蒸留術のツールである蒸留器はルネッサンス以降の科学・技術の発展に伴って蒸留装置となり近代の化学工業を支えました。

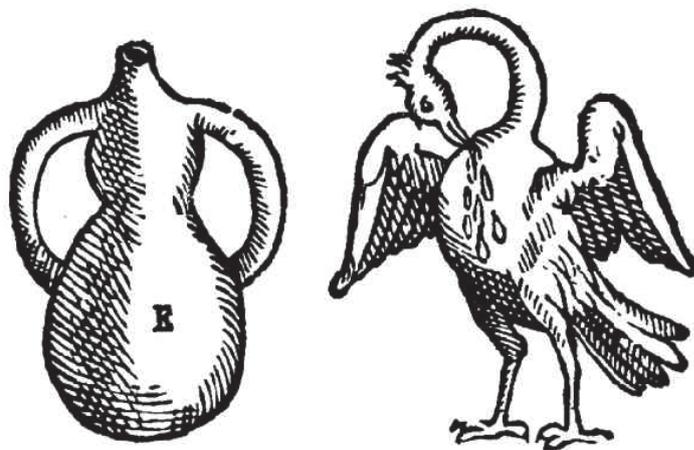


図4 ペリカン: 左は錬金術用、右は鳥としてのペリカン  
(E.J.ホームヤード、錬金術の歴史 1957 (大沼正則監訳) 朝倉書店 1996)

この過程で回分式の蒸留のみならず連続式の精留塔が開発され、エタノール、アンモニア、タール、石油精製から一般の化学工業へと分離工程の中核的な装置として多用されるようになったのです。16世紀以降の300年を超える技術の歴史の詳細な紹介は本稿の目的を超えてしまうので、ここでは特徴のある技術を紹介します。

下の図はコフィーのペテントスチルと呼ばれるもので、ウィスキーの製造工程、特にグレーンウィスキーで用いられたものです。グレーンとは穀物のことですが、ウィスキーの原料としては通常「とうもろこし」のことを指します。ちなみにモルトウィスキーのモルトとは大麦麦芽です。グレーンウィスキーはモルトウィスキーに比べるとマイルドで飲みやすいのですが、逆に言えば個性に乏しいのでモルトウィスキーとブレンドさせることが多いようです。モルトウィスキーはポットスチルによる通常2回の単蒸留で精製されます。これに対してペテントスチルはエタノールの発酵液を連続的に蒸留しようとするもので、図の右側がもろみ塔、左側が精留塔になっています。もろみ塔はダウンカマーのある棚段ですが、精留塔は原料（もろみ）タンクからのパイプが蛇管状に各段を通過するような構造であり、原料を予熱すると同時に塔内は各段が分縮器の役割を果たし、蒸留と熱回収を同時に行っています。この構造はその後開発される連続蒸留塔の設計理論から見ても合理的であり、ペテントスチルはアンモ

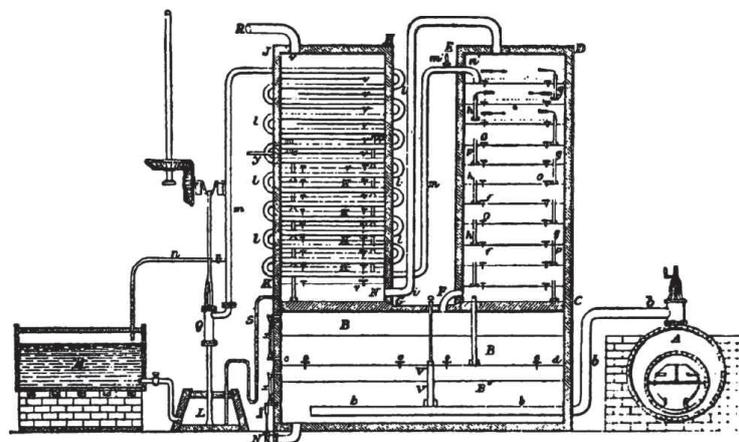


図5 コフィーのペテントスチル

加藤邦興；“化学機械と装置の歴史,” 産業技術センター（1978）

ニア回収など広く使われることとなりました。

次に目を石油精製に向けましょう。「しかばねの水」、石油は様々な成分の混合物です。しかし先に紹介したように使われだした初期の頃は、ランプに使う灯油のみが製品となり他の成分は燃やされるか、捨てられていました。最初に石油精製に連続蒸留塔を用いたのは先に述べたバクー油田を持つロシアであったと言われています。ロシア政府のブレインとしてその研究に携わった研究者のひとりにメンデレーエフがいます。例の周期表でおなじみの大化学者です。彼の開発した連続蒸留塔は単蒸留を複数組み合わせた構造のようです。簡単な構造なので 1880 年代から石油産業に限らず広く使われました。周期表の発見は 1869 年ですから、それより前になります。

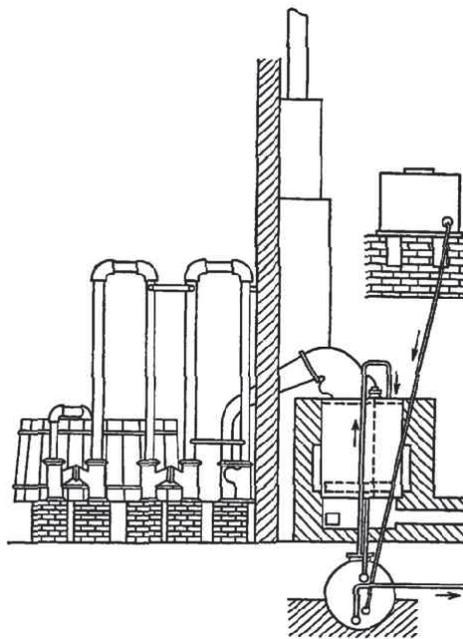


図 6 メンデレーエフの連続蒸留装置

加藤邦興；“化学機械と装置の歴史,” 産業技術センター (1978)

これも余談ですが、ロシアの知人に聞いたところによると、ロシアでは「いのちの水」ウォッカの強さ（アルコール度数）を決めたのはメンデレーエフということになっているそうです。

灯油は照明に不可欠な燃料として使用量の拡大が続きましたが、やがて街燈ではガ

ス燈が競合し始めます。そして 1880 年代にエジソンが白熱電球を実用化し、照明用としての灯油はその役割を急速に失っていきました。石油産業からみたこの危機的状況は別の大発明により一変します。1885 年に馬がいなくても走る車、自動車がドイツのベンツにより発明され、その動力源としてシリンダ内で燃料を爆発させ、ピストンを動かす内燃機関（オットーの 4 サイクルエンジン）が開発されて、そのための燃料として石油から作られる灯油より揮発性の高いガソリンが使われるようになったのです。これをきっかけとして石油の精製は 20 世紀に入って工業として急速に発展、拡大しました。この工程で用いられている分離法のほとんどは蒸留です。ガソリンの製造過程に接触分解というプロセスがありますが、これはガソリンの需要に応じて、ガソリンを分離した残りの油の一部を分解（クラッキングと呼ばれます）して、新たにガソリンにしようとするものです。ガソリンと同様の精製物であるナフサは、エチレンをはじめとする今日の化学工業に欠かすことのできない基礎化学品の基となっています。

さて、話を蒸留術とエネルギーに向けましょう。蒸留はエネルギー多消費な分離技術といわれています。その特徴としては、通常の蒸留過程には加熱と冷却の両過程が同時に存在することが挙げられます。冒頭に紹介しました蒸留器も頭部と受器の部分を冷却器とみなせば、本体と加熱部分、冷却部分の組み合わせです。これは現在の連続蒸留塔でも基本的に同じ要素で構成されています。直感的には頭部の冷却で奪った熱を底部の加熱に使えばよいと考えられますが、残念ながら沸点の関係から加熱温度は常に冷却温度よりも高くなり、直接冷却の熱を使うことはできません。この問題を解決するのに何か良い方法はないのでしょうか。

時計の針を少し戻して、ドレーク大佐が油田を発見した 19 世紀中盤前後にこの問題解決に関連する科学・技術的進展として、いくつもの重要な発見、発明がなされています。まず基礎となる熱力学について 1843 年にジュールが、熱もエネルギーの一形態であることを明らかにし、1847 年にはヘルムホルツが熱力学の第一法則、すなわ

ちエネルギー保存の法則が成り立つとの結論を得ています。続いて 1850 年にはクラジウスが熱量と絶対温度の比にエントロピーという名前をつけて、宇宙のエントロピーの総量は常に増加するという熱力学の第二法則を確立しました。これによれば熱は高温の物体から低温の物体へは伝わりますが、その逆は決して起こらないこととなります。1852 年にはジュールとトムソンが、気体の膨張に内部エネルギーを使うことにより（等エンタルピー膨張）気体の温度が降下することを発見しました。そしてトムソン教授（後のケルビン卿）は同年の論文で、蒸気を使って圧縮機、膨張器、熱交換器の組み合わせにより、一見熱力学の第二法則に反するように熱を低温から高温へ移動させ、冷房や暖房が可能になることを示しました。このアイデアを元に 1870 年代には冷蔵庫、冷凍機の開発が進みました。ちなみに電気の発見はもっと前です（フランクリンの凧の実験は 100 年以上前）。圧縮に必要な動力を使い、低温流体から熱を奪い昇温し、高温流体を加熱することができます。ひとつのアイデアとして、この原理を使うことで蒸留過程を、より合理的にすることができるでしょう。

エジソンの白熱電球の発明は 1880 年代ですから、電気を光に変えるより電気（動力）で熱を移動させる技術の方が早いこととなります。白熱電球は石油の「照明源」としての役割を終えさせました。上に述べた冷蔵庫のアイデアは今日、ヒートポンプとして石油の「暖房源」としての役割を小さくしていくと思われます。そして一次エネルギーのベストミックスの問題はあるにしろ、燃料電池車、電気自動車などの出現で燃料としての役割はどうなるのでしょうか。石油は燃料と化学製品の原料という 2 つの役割を持っています。石油はもちろん限りある資源です。これをどのように使っていくかは、これからの人類の持続的発展にとって非常に重要な意味を持っています。

地球温暖化問題における人類活動の寄与がどれくらいのものなのかは議論の余地があります。しかしながら好むと好まざるとにかかわらず、「いのちの水」（バイオエタノール）と「しかばねの水」が一次エネルギーとしてどのように役割分担するかは今後食糧供給の問題も巻き込みながら我々のライフスタイルや将来を間違いなく左

右します。技術のみならず、政治、経済、社会など多面的に行くべき方向を決めるのに残された時間は多くないと考えるべきでしょう。

最後にもう一度魔術師デッラ・ボルタの450年前のことばを引用したいと思います。

「この学の専門家は金持ちになるべきである。金に不自由してはこの領域では仕事にならないからである。私たちが豊かにしてくれるのは哲学ではない。哲学者として振舞うためにはまず裕福にならねばならないのである」

関西化学機械製作株式会社様のますますのご発展を祈念して、この稿を終わります。

#### **参考文献** (本文中に示したものを含む)

デッラ・ボルタ(澤井繁男訳) ; ” 自然魔術, ” 青土社(1990)

E. ダルモン、J. カリエ (三浦礼恒訳) ; ” 石油の歴史, ” 白水社(2006)

加藤邦興 ; ” 化学機械と装置の歴史, ” 産業技術センター (1978)

頼実正弘 ; ” 蒸留工学ハンドブック, ” 朝倉書店 (1966)

R. フォーブス (田中実訳) ; ” 技術の歴史, ” 岩波書店(1956)

E. J. ホームヤード (大沼正則監訳) ; ” 錬金術の歴史, ” 朝倉書店(1996)

I. アシモフ(小山慶太、輪湖博訳) ; ” 科学と発見の年表, ” 丸善(1996)