

教育をやめたら研究はもっと進むか？ — 化学史から学ぶ —

林 久史

日本女子大学 理学部 物質生物科学科

(2011年9月8日受理)

要 旨 教育と研究を両立させてきた超一流の化学者が、教育に厭いて異動した時、彼らの研究はさらに進んだか？ リービッチとファント・ホッフの生涯をたどって考える。ドルトン、ネルンスト、メンデレーエフが残した、教育の研究への効用例についても紹介する。

キーワード：リービッチ、ギーセン大学、教育-研究実験室、ヴェーラー、往復書簡、ファント・ホッフ、アムステルダム大学、「空間における化学」、「シュタースフルトの塩類鉱床」、「ソロモンの忠告」、パラケルスス、ドルトン、ネルンスト、熱力学第3法則、メンデレーエフ、「化学の原論」、周期律

1. はじめに

大学全入時代を迎え、大学教育に対する関心はかつてないほど高まっている。大学教員はそれぞれの大学のミッションに応じて学生を教育し、学生に付加価値をつけ、卒業生が世の中に通用するよう努力しなければならない¹⁾。しかし多くの大学教員は、まず研究者でありたいと思っており、良い研究をすることには憧れても、良い教育をすることへの誘因はあまり感じていない。加えて、教員の多くは教育の訓練をほとんど受けていないこともあって、重要性は認識していても、教育への負担感はかなり強いと推測される。

私は2010年度より、高橋征三先生の後をうけ、「化学の歴史」という教養科目を担当している。高橋先生は毎年200名近い聴講生を集められたそうだが、私の場合、2010年度の受講者数は54名、2011年度は126名と、まだまだ及ばないのが実情である。私の生硬な講義で、学生が不利益を被っていると思うと、内心忸怩たるものがある。しかし化学の先達の努力や成果、そして誤りを、単なる結果の堆積としてではなく、血の通った精神活動の結果として、分野外の学生に教える機会を得たことは、私にとっては非常な幸運であった。今回これに報いるた

めに、大学教員の主要課題である「教育と研究の両立」について、化学史の視点から情報提供をしたい。教員の皆様や、これからアカデミックポストで活動することを考えている学生諸氏に、わずかでも参考になれば幸いである。

2. リービッチ

教育と研究との関わりを考える上で、化学史的にまず外せない人物は、ユストゥス・リービッチ (1803-73 : Fig. 1)^{2, 3)} である。蒸留に使う「リービッチ管」にも名

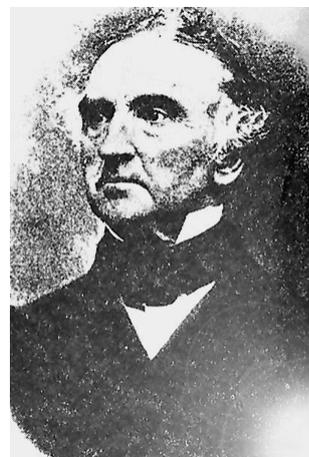


Fig. 1. ユストゥス・リービッチ

前を残している、このドイツが生んだ19世紀最大の有機化学者は、教育と研究をともに行う「教育-研究実験室」の創始者でもあった。

リービッチは1803年、ダルムシュタットの薬物卸売商の10人の子供の次男として誕生した。1811年にギムナジウムに入学したが、勉強よりも父親の仕事や実験を手伝うのが好きだったため、成績はよくなかった。1817年には、リービッチが強い関心を示した物質、雷酸塩の爆発事故を起こしたため、ギムナジウムを退学させられている。その後、父親のついででボン大学のカルル・カストナーの助手になり、「気体反応の法則」で有名なゲイリュサックとパリで共同研究した。そして1824年、ドイツ・ヘッセン州の小さな学園都市にある大学、ギーゼン大学に准教授として採用され、薬学者や化学者を育成する教室を開設した。時にリービッチ21歳。

赴任当初、リービッチは大学の教育より、薬学校の設立に興味があったらしい。しかしリービッチの研究室は、「学生を研究に向けて訓練し、研究室の構成員となる準備をさせる、はじめての大学実験室」として有名になった。リービッチが選んだ研究テーマは有機分析であった。有機分析とは、有機化合物を完全燃焼させ、その燃焼ガス中の二酸化炭素と水の質量を測定し、化合物中の炭素、酸素、水素の組成を知る方法である。現在では、化学の大学入試問題に頻出の、標準的・古典的な方法になっているが、1824年当時は、この方法の進歩は十分ではなく、大きな発展の余地があった。

有機分析におけるリービッチの最も有名な発明は、燃焼ガス中の二酸化炭素の質量を測定するための「カリ球」である。これは五つのガラス球をガラス管で連結したもので、そこに水酸化カリウムを満たして使用する。燃焼ガス中の二酸化炭素はここで吸収され、炭酸カリウムになる。燃焼ガス導入の前後でカリ球の質量を測定すれば、質量の増加から、試料中の二酸化炭素量が正確に計算できる。カリ球は、液はねなどの測定の不具合がおこらないよう工夫されていたので、分析に不慣れな学生でも、これを使えば迅速かつ正確な有機分析ができた。リービッチは「こんなに方法をやさしくしたのだから、猿だってちょっと利口なら分析できるはずだ」とコメントしている（もっとも学生は、「だったら、ダーウィンの進化論には何か間違いがあるのだろう」と陰口をたたいていたらしいが⁴⁾。当時は有機化学の発展期であり、有機化合物の数は急激に増大していたが、カリ球ひいてはリービッチ研究室は、それらの分析に対する要請に見事に応え、有機化学の確立に多大な貢献をした。カリ球は、その歴史的役割とデザインの美しさから、現在のアメリカ化学会のシンボルとして使われている。

1826年、23歳のリービッチは生涯の友を得た。史上は

じめて無機物（シアン酸アンモニウム）から、有機物（尿素）の合成に成功した、フリードリッヒ・ヴェーラーである。1826年当時、ヴェーラーはシアン酸銀を研究していたが、この物質の組成が、リービッチお気に入りの雷酸銀と同じであると発表した。雷酸銀は爆発物だが、シアン酸銀には爆発性がないなど、両者の化学的性質は全く異なっていたので、リービッチは初め、ヴェーラーを手ひどく攻撃した。しかし直接会って、一緒に分析した結果、どちらの分析結果も正しいとわかった。リービッチは、自分がヴェーラーの分析を不正確と述べたことを謝罪し、二人は意気投合、「化学史上で最もすばらしい友情と協力関係」³⁾が成立した。リービッチとヴェーラーの間には1,500通近くの往復書簡が現存しており、その一部は日本語に翻訳されている⁵⁾。この往復書簡は、リービッチの晩年を考える上でも、またとない史料である。

1830年代半ばから、リービッチ研は国際的に多くの優秀な学生を集めるようになり、実際的な訓練と研究活動を織り交ぜて、体系だった実験室教育のコースを作り上げていった。リービッチ研の卒業生の活躍は素晴らしく、1824年から1852年の間に700人以上の化学・薬学の学生がリービッチ研に入学し、1830年から1850年の間に13人の卒業生が化学の大学教授、12人が工科大学の教授、5人が製薬化学の教授、33人の外国人学生が大学教授になった。また卒業生のうち93人が化学工業会社に就職し、53人が化学コンサルタントに、17人が政府の技術関連部局に就職した。リービッチ研の影響はイギリスでも顕著であり、イギリスの大学の化学教授や化学系の学術団体のトップは、リービッチ研の関係者で独占された。1837年頃からリービッチは、生化学へ研究分野を移しはじめ、肥料としてのリン酸塩の製造にも着手した。こうしてリービッチの化学は時代の主役となった。ヴェーラーはリービッチへの手紙にこう書いている。「君は研究や著作で化学を大いに流行させている。今や世界中誰も彼も化学を学ばねばならなくなったのかと人々に心配をかけるようになったのは、全く君の責任だ。自分が引き起こした損害は自分でおわらないといかん。⁵⁾」

しかし有機化学から応用化学への転身は、リービッチの運命を微妙に狂わせていった。1845年、「リービッチの特許肥料」が、前宣伝にもかかわらず、効果が全くないことが判明し、リービッチの人気は落ち始める。1847年、疲れはじめたリービッチは、7月の手紙でヴェーラーにあててこう書いた。「僕のためを思うなら、どうか山街道（ダルムシュタットからハイデルベルグへ続く山道）まで一緒に行くことにしてくれないか。大きな旅行に出かけるにはもう歳をとりすぎた。化学についてはもう何も知りたくない。少なくとも歩き回っている間はすっかり忘れてしまいたい。⁵⁾」これに対して、ヴェーラー

は「流石の君もくたびれたか。化学疲れだな。実はそれこそ僕にとって本式の慰安である。君は今まで判ってくれなかった。」⁵⁾と応じた。

1850年、47歳のリービッヒは、かつての彼ならば決して言わなかっただろう言葉をはき出すに至った。「研究室や学生実験室に足を踏み入れるが早いのか、俄然すべての調子が狂ってしまう。消化も不良、夜通し眠れない。少しも仕事をしなくてもこの通りだ。……いっその事、一切の機械よ、止まってしまえ、それが万事めでたしめでたしだと祈願したい位である。若い人々と一緒に仕事をするのは、以前には僕の何にも勝る喜びだったが、いまでは苦しくてたまらない。質問や報告をされると、僕は全くみじめな気持ちになってしまう。」⁵⁾そして1852年、バイエルン王マクシミリアン2世に招聘され、ミュンヘン大学への異動を打診されたリービッヒは、ヴェーラーにこう書いた。「……国王は僕によって農業を振興させようと考えている。しかし農業は一度脱ぎ捨てた古外套みたいなもので、もう二度と被る気はない。しかし一方で心を動かすものに、教鞭をとる必要がないという厚遇がある。人は歳をとると、教えるということがいやでたまらなくなるものだ。」⁵⁾ここには、「教育—研究実験室」の創始者の面影は、もはやない。結局、リービッヒはこの年(1852年)の10月にミュンヘン大学に異動した。

ミュンヘンでのリービッヒは実験を止め、講義と文筆を中心とする生活へと切り替えた。そして、「教える義務のある生徒はひとりも実験室に入れない」ようにした。しかし、そのことはリービッヒを、あまり幸せにはしなかった。1857年のヴェーラーへの手紙では「……僕は農業なんかには手を出してむだ骨を折るように、運命から呪われてしまった。僕のやることはみんな無駄なのだ……」とぼやいている。それでも大学生生活の傍ら、肉エキスを製造する会社を設立し(1865年)、幼児用ミルクの作成にも関わるなど(1867年)、最後の活動を続けた。1873年、リービッヒはミュンヘンで死去した。死後、彼の肉エキスには栄養価は全くないことが判明した。

3. ファント・ホッフ

教育と研究の関わりを考える上で重要な、もう一人の化学史上の人物は、オランダの化学者、ヤコブス・ヘンリクス・ファント・ホッフ(1852-1911: Fig. 2)^{2, 3)}である。第1回ノーベル化学賞を受賞したこの物理化学の創始者は、彼が見出した浸透圧の公式($\Pi V = nRT$)を通じて、生物系の学生にもなじみがある。

ファント・ホッフは1852年、ロッテルダムで医師の子として誕生した。1872年、ボン大学に在籍していたリービッヒの弟子、アウグスト・ケクレ(ベンゼン環の構造



Fig. 2. ヤコブス・ヘンリクス・ファント・ホッフ

決定で名高い、あのケクレ)のもとに留学した後、パリ大学のアドルフ・ヴェルツ(やはりリービッヒの弟子)の下で研鑽をつみ、1876年ユトレヒト獣医学校の講師になった。光学異性体の偏光実験から炭素原子まわりの原子空間配列を明らかにした論文(「有機化合物の原子式とその溶液の旋光性との間に存在する関係について」)は、この時期にオランダ語で発表された。ほぼ同時期にフランスのル・ベルが同様の趣旨の論文、「有機物の分子式とその溶液の旋光性との関係について」を発表したことに刺激され、22歳のファント・ホッフは自分の理論をフランス語で「空間における化学」⁶⁾と題して本として発刊した。「……もし、炭素原子が正四面体の中心に位置し、その頂点の方向に炭素原子の結合が向いていると考えれば、理論は事実と調和する」と結論したこの本は、後の有機構造化学の礎となった。

ところが、リービッヒやヴェーラーが主導していたドイツ化学が主流だったこの時代、「オランダの若僧」の理論を待ち受けていたのは、酢酸合成で有名な有機化学者(ヴェーラーの弟子)ヘルマン・コルベによる嘲笑だった。「幻影のようで軽薄な近頃のファント・ホッフの宣伝文句を、読むに耐えられるなら読んでご覧になるとよい。精密な化学研究は、彼の趣味に合わないようだ。彼がふさわしいと考えたのは、獣医学校から借りてきたらしいペガサスにまたがり、大胆にも化学のバルナツソス山の頂上目がけて飛行しながら、原子が宇宙空間にどのように配置されてみえるかを宣言することだった。地道な化学の世界は、このような幻想につきあっている暇はない。……獣医学校の無名の化学者が、決して解き明かされることがないかもしれないような化学の基本命題について、厚かましくも見解を述べ、……そして本物の科学者達をただただ驚かせるばかりの自信と横柄な態度で、その解答を提唱するのは、無批判と反知性に満ちた今日の特徴なのである。」⁷⁾

若きファント・ホッフはコルベの酷評にさらされる中、それでも1878年にアムステルダム大学の化学教授に就

任した。そこで物理化学を中心に研究と教育に従事すること18年。彼は、無機化学と有機化学を週5時間、鉱物学、地質学、結晶学、古生物学をそれぞれ週1時間ずつ講義した⁸⁾。さらに約100人の医学生と20人の理科専攻生への実験指導も行った。これだけの教育負担にもかかわらず、ファント・ホッフの研究はアムステルダムで花開いた。1884年に「化学反応速度論に関する研究」を出版、化学平衡の熱力学の法則を応用し、反応次数を求める新たな手法を提唱した。1886年には「希薄溶液の浸透圧は絶対温度と溶液のモル濃度に比例する」という有名なファント・ホッフの法則を発見、浸透圧を表す式が理想気体の状態方程式と同じ形であることを示した。酷評された炭素原子の立体構造の理論も、特に若い化学者に急速に受け入れられていった。彼の理論に従えば、分子構造や化学反応の予測可能性が大きく増大したからである。実際、エミール・フィッシャーらはこの理論を糖類の合成研究に大いに活用している⁸⁾。

物理化学の第一人者として、ファント・ホッフの名声は年ごとに高まり、1893年にはイギリスの王立協会からデーヴィ・メダル、翌年にはフランス政府からレジョン・ド・ヌール勲章、そして1901年には第1回ノーベル化学賞が授与された。

栄光につつまれ、43歳になったファント・ホッフは、リービッヒとよく似た感慨をもちやすくなる：「20年近くの間、毎年繰り返して、過マンガン酸カリは酸化作用をもつ、などということをおぼえていて、あきあきはじめる。⁸⁾」そして研究を主務とし教育を副務とするような、研究専任の特別職を望みはじめた。ファント・ホッフが外国に転出することを恐れたオランダの教師・研究者たちは、政府にファント・ホッフの要望を満たすよう請願書を提出するが、政府はこれに難色を示した。わずらわしさを避けるためか、1895年の夏休みから1896年にかけてファント・ホッフは妻子を連れて旅行にでかけ、そのまま3月にベルリン大学の化学教授として異動してしまった。ベルリン大学は、ファント・ホッフの私宅に実験室を提供し、教育の負担をとりはらい、研究に専念させた。

アムステルダムのファント・ホッフは、彼が暗唱するほど好んだ詩人バイロン同様、友人をあまり求めず、孤高を愛する風があった。しかしベルリンのファント・ホッフはこれまで吸わなかったタバコを吸い、社交的になり、人とよく談笑し、旅行を好むようになったという。ベルリン大学での研究テーマは、カリ肥料の世界的資源として有名な「シュタースフルトの塩類鉱床」の生成過程の研究であった。ファント・ホッフがこのテーマを選択した背景には、当時のドイツの国家的利益がからんでいた。研究面でも社交的になり、多くの人を雇うようになった

ファント・ホッフは、のべ30人の助手をこの研究に投入し、10年以上に亘って継続、55報の論文としてまとめた。しかしこれらの論文の科学的価値は、「彼が22歳のときわずか数日間で書いた11ページの小論文に劣る⁸⁾」とされている。ファント・ホッフは1906年秋に肺結核を発症し、1911年に58歳で死亡した。

4. 教育をやめたくするとき

リービッヒとファント・ホッフの例は、「教育の負担を厭い、新天地を求めても、必ずしも研究が進むものではない」ことを証明している。また両者ともに、教育への嫌気が、肉体的・精神的能力の減退とリンクしているのも示唆的である。つまり教育を負荷と感ずるのは、自らの能力低下のサインかもしれないのである。40歳半ばにある種の能力が低下するのは、生物としての人間の宿命かもしれない。三浦朱門も「自分の才能、体力の限界を見定め、思い知らされながら、それに即応した人生をつくっていくのが中年の課題⁹⁾」と書いている。問題は、その課題にどう対処するかであるが、童話「ソロモンの忠告」の中に、次のような、ありふれた、しかしきわめて実際的な忠告が見出される。いわく、「新しい道のために古い道を捨ててはならない¹⁰⁾。中年期に壁に直面した者は、新天地での新たな冒険に心ひかれる。これまでの自分を捨て、新しい自分を生きてみたくなるかもしれない。しかしソロモンの格言は、本来の道からあまりにも外れることを警告している。類似の格言は枚挙に暇がないのだが、もう一例だけ、漫画「鋼の錬金術師」のモデルにもなった、ルネサンス初期のスイスの有名な医師・錬金術師、パラケルスス（フォン・ホーエンハイム）の有名なモットーも挙げておきたい。「汝が汝自身でありえなくとも、別人になるなかれ¹¹⁾」

5. 教育の研究への効用

教育活動を放棄せずに凌いでいくにしても、何か励みになる事実や言葉は化学史にないものだろうか。意外(?)にも少なからぬ例があったので、以下で紹介したい。

「教育は気分転換になる。教育しなくていい金持ちになっても、研究に割く時間が増えるとは思えない¹²⁾。イギリスの化学者、ジョン・ドルトン (1766-1844)^{2, 3)}の言葉である。ドルトンは、定比例の法則や倍数比例の法則で、高校の教科書でおなじみだが、はじめて元素記号を考案し、原子量を導入した人物でもある。ドルトンは生涯、大学とは無縁であり、マンチェスターに私塾「数学アカデミー」を開き、数学、実験物理学、化学、英文法などを教え、一生その教師にとどまった。生涯独身、下町での謙虚で慎ましい生活は、M. ファラデー同様、彼がクエーカー教徒であったことも関係しているのかもしれ

ない。ドルトンは偉大な師にもつかず、同時代の科学者との交際も特に求めなかった。歴史に残る成果は、余暇の研究から生まれたものである。教育に多くの時間を割き続けた独創的な研究者の言葉として、上の言葉は非常に示唆的である。

講義中に、独創的なアイデアが閃くこともある。有名な例が、ワルター・ネルンスト (1864-1941)¹³⁾ による「熱力学第3法則 (=絶対零度には絶対到達できない)」の発見であろう。ネルンストは熱化学と電気化学の分野で数多くの業績をあげた、ドイツの天才的科学家である。現在の電気化学の基礎をなし、しばしば物質生物科学科の学生を悩ませる(?)「ネルンストの式 ($E = E^0 + (RT/nF) \ln (a_O/a_R)$)」は、ネルンスト25歳の成果である。1905年、41歳のネルンストはベルリン大学の教授になったが、赴任直後に熱力学の講義をしているときに、第3法則の着想が閃いたという。彼が講義した講堂は、ネルンスト生誕100年にあたる1964年に「ワルター・ネルンスト講堂」と命名された¹⁴⁾。この「講義中の閃き」による業績に対し、1920年度のノーベル化学賞が授与された。

講義用のテキストや教科書の作成が大発見の契機になることもある。こうした事例の化学史における代表者は、ロシアの化学者、ドミトリー・メンデレーエフ (1834-1907)^{2, 3)} であろう。メンデレーエフは、1863年サンクトペテルブルグ化学技術大学の化学教授に就職したが、1867年、大学の講義用の教科書として「化学の原論」^{15, 16)} を書きはじめ、その過程で元素の周期律を発見した。ハロゲンとアルカリ金属以外の元素について、どうすれば順序よく教科書に記述できるかを試行錯誤する中で、夢をヒントに周期律の着想に至ったという。こうして見出された「原子量の大きさによる元素間の関係」¹⁵⁾ は、「化学の原論」(原著第2部)の巻頭を飾っている。

「化学の原論」を読むと、メンデレーエフが百科全書的な知識をもっていたことがよくわかる。たとえば窒素と空気に関する章¹⁶⁾では、単体としての窒素の性質や反応だけでなく、ペルーの海鳥の排泄物には窒素が豊富に含まれているから肥料として優れているとか、海洋上の空気は概して酸素が少ないとか、乾燥した空気は健康に悪いとか、空気の消毒に塩素がよいとか、(真偽は別として)非常に多くの関連事項が記されている。メンデレーエフの講義では、こうしたエピソードや脱線情報がよく披露されたこともあって、化学をあまり知らないものでも楽しめたようである。著名なアナキストのクロポト

キンもメンデレーエフの講義を聴講しており、「メンデレーエフの講義は知性への興奮剤であり、科学的に考える訓練だった¹⁷⁾」と回想している。こうした教育への熱意と関心が、面白い教科書を書こうという誘因になり、それが元素周期律の発見につながったことは、大学教員にとってまことに教訓的である。

6. おわりに

恩返しのためで書き始めたこのノートも、書き終えてみると、「化学の歴史」の講義同様、最大の受益者は著者のような気がする。「化学の歴史」の引き継ぎに際し、多数の講義資料(パワーポイントファイル)をご提供下さった高橋征三先生に感謝いたします。また、こうした毛色の変った教育ノートの掲載を快く了解してくれた、本学紀要委員会の先生方にも御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 山崎 徹, 渡辺千鶴, 井上久男: 危ない大学 - 最高学府の耐えられない軽さ -. 洋泉社, 東京 (2011).
- 2) Brock, W.H.: 化学の歴史 I (大野 誠, 梅田 淳, 菊池好行 訳). 朝倉書店, 東京 (2008).
- 3) Levere, T.H.: 入門化学史 (化学史学会 監訳). 朝倉書店, 東京 (2007).
- 4) 久保昌二: 化学史 化学理論発展の歴史的背景. 白水社, 東京 (1973).
- 5) 山岡 望: 化学史談 VII リービッチ=ウェーラー往復書簡 (ギーセン時代). 内田老鶴圃新社, 東京 (1966).
- 6) van't Hoff, J.H. and Kant, I.: 立体化学・火について (田中豊助, 石橋 裕, 原田紀子 訳). 内田老鶴圃, 東京 (1985).
- 7) Klotz, I.M.: 幻の大発見 科学者たちはなぜ間違ったか (四釜慶治 訳). 朝日新聞社, 東京 (1989).
- 8) 原 光雄: 化学を築いた人々. 中央公論社, 東京 (1973).
- 9) 三浦朱門: 中年前後. 旺文社, 東京 (1982).
- 10) Chinen, A.B.: 大人の心に効く童話セラピー (羽田詩津子 訳). 早川書房, 東京 (2008).
- 11) Seligmann, K.: 魔法 - その歴史と正体 (平田 寛 訳). 平凡社, 東京 (1974).
- 12) Greenberg, A.: 痛快化学史 (渡辺 正, 久村典子 訳). 朝倉書店, 東京 (2006).
- 13) Cropper, W.H.: 物理学天才列伝 (水谷 淳 訳) 上. 講談社, 東京 (2009).
- 14) 山本義隆: 熱学思想の史的展開 3. 筑摩書房, 東京 (2009).
- 15) Mendeleev, D.I.: 化学の原論 (上) (田中豊助, 福渡淑子 訳). 内田老鶴圃, 東京 (1990).
- 16) Mendeleev, D.I.: 化学の原論 (下) (田中豊助, 福渡淑子 訳). 内田老鶴圃, 東京 (1991).
- 17) Strathern, P.: メンデレーエフ 元素の謎を解く (寺西のぶ子 監訳). バベル・プレス, 東京 (2006).

— 教育をやめたら研究はもっと進むか？ — 化学史から学ぶ —

Does Abandonment of Teaching Bring Brilliant Scientific Achievement?

— A Perspective of Chemical History —

Hisashi Hayashi

Department of Chemical and Biological Sciences,
Faculty of Science, Japan Women's University

(Received September 8, 2011)