

大学（理工学系）における分析化学教育

上原伸夫

1 はじめに

令和になり、感染症のパンデミック、大国による隣国への侵攻、および生成（対話型）AIの出現など、私たちを取り巻く社会情勢は目まぐるしく変わっている。この社会情勢に変化は大学教育にも変革を求めているようである。田舎大学の工学部に籍を置く筆者でも、大学教育に対する変革の波を感じる。そこで頂いたお題を「これからの分析化学教育はどうなっていくのか。～理工系の視点から～」と読み替えて考えてみることにする。

分析化学が、有機化学、無機化学、物理化学といった他の基礎的な化学と根本的に異なる点は、分析化学が大学の専門科目としてだけでなく、分析業務に携わる方にも直接的に必要な知識となっている点である。そこで、“大学での教育”という観点と“実務者への知識提供”といった観定の2点から、お題について考えてみることにする。本稿は筆者の浅見に基づいているので、批判的に高覧頂きたい。

2 大学の理工学系学部における専門分野としての分析化学

2.1 分析化学のこれまでの変遷

図1には、分析化学の視点から見た化学の歴史的展開を示す。錬金術を起源とする化学が興った時に、すでに分析化学はその中心であった¹⁾。錬金術の操作におい

て何が生じたのかを明らかにすることは、錬金術でも一番の関心事であった。17世紀に入り錬金術は近代化学の発展とともにすたれていく。これ以降、19世紀に向かって隆盛を迎える元素発見の時代は、まさに分析化学によって支えられていたといっても過言ではない。未発見元素の単離は緻密な分離操作と同定作業によってはじめて可能となる。この時期、溶液内におけるイオン平衡反応に関する理解が元素の分離や単離技術の発展とともに深まった。これにより、溶液内でもイオン平衡に関する化学的な基盤が確立するとともに、容量分析や重量分析の基礎が確立した。容量分析や重量分析は1960年代まで分析の中心的な役割を果たした。

分光光学もまた未発見元素の同定に重要な役割を果たした。中でも、原子スペクトル分光は容量分析や重量分析では到底到達することのできないレベルの微量元素の定量に威力を発揮する。現在、原子スペクトル分光法（質量分析法も含む）は微量元素の主力分析法となっている。20世紀後半、分光光学は学問として著しい発展をみせた。放射光といった高エネルギーのX線を利用する分光法から、ラジオ波を利用する核磁気共鳴まであらゆるエネルギー領域の電磁波を利用する分析法が確立した。

多くの自然現象、社会現象の栄枯盛衰はS字プロファイルを示す。容量分析や重量分析は1970年代以降、基本原理において目立った発展は見られない。分光光学も同

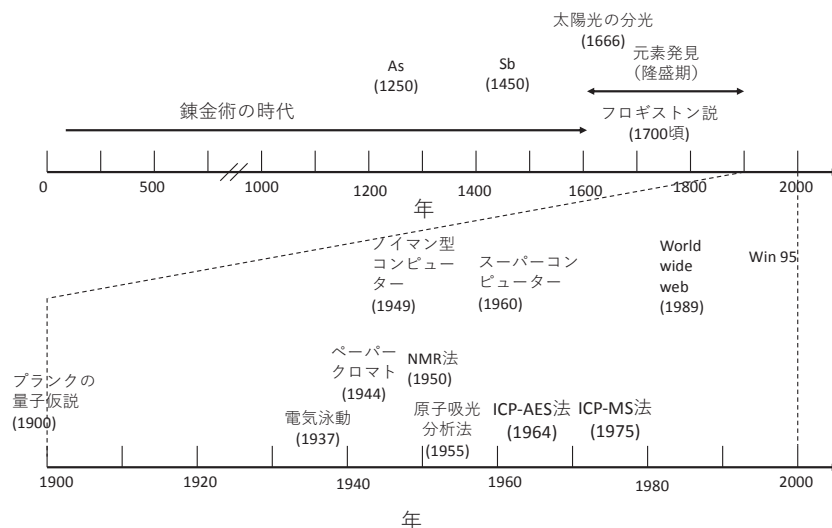


図1 分析化学にかかわる歴史的なトピックス

様であり、21世紀になると学問的な発展よりも機器の高性能化が分光学をけん引した。コンピュータの高性能化もまた分析技術の発展に寄与している。多変量解析といった数学的なアプローチは分析化学の分野においても新たな方法論を生み出している。

2・2 大学での分析化学において今後も変わらないと予測されるもの

前項で言及した分析化学の発展の歴史は現在の分析化学の教科書で取り扱われている項目に色濃く反映されている。表1に、理工系学部で使われている幾つかの分析化学の教科書でよく取り上げられている項目をまとめた²⁾。これらは分析化学の発展とともに蓄積されてきた知見であり、かつ、時間の流れの中で精選された事項である。これらの重要性は今後も変わらないものと予測される。中でも、容量分析・重量分析はビュレットの読み値や天秤の表示値から直接分析値を算出できる絶対分析法であり、検量線作成用の認証標準物質の値付けには不可欠である。それと同時に、“各種分析機器の基本原則”もまた分析化学に必須の事項であり、分光学と密接な関係がある。これらに加え、分析値の取り扱いについては、その重要性に論を待たない。

表1 多くの分析化学の教科書に取り上げられている項目

化学平衡 (滴定を含む)
酸塩基平衡, 錯生成平衡, 酸化還元平衡, 沈殿生成平衡, 二相間分配平衡
データの取り扱い
検量線, 濃度計算, 有効数字, 不確かさ, 有意差検定
分光分析
X線分光, 紫外可視分光, 赤外(ラマン)分光, 吸収分光(ランバートベール則)
分析手法(分光分析法を除く)
クロマトグラフィー, 電気泳動法, 質量分析法, 電気化学分析法

2・3 大学での分析化学において今後変わると予測されるもの

前述したように、コンピュータの高性能化とそれに支援された情報技術の高度化は、今後の分析化学教育に多大な影響を及ぼすものと考えられる。現状、思いつくものを上げるとすれば、AIに支援された分析機器の進歩、解析手法の高度化、ブラックボックス化(現在でも、化学分析において、多変量解析で得られた結果を直接化学的に説明することは往々にして難しい)といったところであろうか。もしかしたら、AIがSOP(標準手順, standard operating protocol)を勝手に作り、PCに接続された装置を自動的に動かすようなことも、すでに実用化の域に入っているかもしれない。分析業務におい

て、人の判断が入り込む余地がどんどん減っていくように思われる。このような状況に対応する術(知恵)を身に着ける必要が出てくる。これも、これからの分析化学の重要な課題であろう。

さて、変わると予測されるもう一つ重要な視点は、学ぶ側の状況であろう。端的には少子化に伴う18歳人口が減少中である。これは、一つの大学において定点観測した場合、入学者の平均学力が低下するという現象として観察される。状況は大学ごとに多少異なるようである。筆者の所属する大学でも、「高校までに学修する数学、物理および化学の知識を一通り理解できている」という前提がおぼつかなくなっていることを実感している。高校までに学修する数学、物理および化学の知識は、分析値の取り扱い、容量分析・重量分析の基礎原理を理解する上で不可欠な内容ばかりである。さて、どうしたものか。

2・4 変わるもの、変わらないもの、どう折衷するか

以上見てきたように、これまで精選されてきた重要な知見に、新たな時代に対応するための智慧が加わり、学問としての分析化学に求められるものが増えるばかりである。どの学問領域でも同じような状況であり、限られた時間枠の中で、分析化学の時間だけを増やすことは難しい。その一方で、学生側の状況もまたのびきならない。同じ内容を習得するのに、これまで以上に時間がかかるようになっていく。

残念ながら、筆者はこの難しい状況に対応する答えを持ち合わせていない。対象となる学生、重要視する項目、そして掛けられる時間、といった要因を明確にして、その都度、最適解を出していくしかないであろう。学習の効果を上げる工夫が今後さらに求められる。このような状況を見透かすかのように、アクティブラーニング、e-ラーニング、ハイブリッド授業、更にはブレンディッドラーニングといったカタカナ語のキラキラした教授法が百花繚乱の状態である。本質的な教授法を見抜く日も、大学教員に求められるようである。

3 分析の実務者が必要としている分析的知識

さて、分析業務に携わる実務者に目を向けてみると、大学での教育とは全く異なる様相が見えてくる。分析業務は工業生産活動の基幹をなすことから、企業や公的事業所などにおいて分析業務に携わるオペレーターは今後も必要とされ続ける。注意しなければならない点は、必ずしも大学で分析化学を専門科目として学んだ人が分析業務に携わっているというわけでは無いということである。また別の視点として、終身雇用制からJob型雇用へと雇用慣行が変化してきたことに伴う、OJT(on job training)に代表される社内教育の退潮がある。この流れは、分析業務に携わるオペレーターにも及んでいる。

ここで注意しなければならないのは、企業などで行われる社員教育の場合、“分析技術”の習得に主眼が置かれ、ともすると分析化学や分析技術の基礎となる関連学問分野についての理解は後手になりがちになることである。

具体的にはどういうことか。詳しくは鉄鋼の湿式化学分析をテーマにした拙稿に譲る³⁾。現在、分析技術が分析化学に裏打ちされているという感覚が喪失しつつあるように思えて仕方がない。換言すれば、分析技術の空洞化が進んでいるように見て取れる。この傾向は、湿式化学分析で特に著しいように感じる。もう少し具体的に説明すると、多くの分析業務では、標準的な測定手順 (standard operation protocols, SOP) が定められている。ところが湿式化学分析の場合、SOP通りにやってもうまく結果が得られないことがある。一例として、キレート滴定の当量点を考えてみよう。滴定の終点では、指示薬と分析対象金属イオンとからなる錯体がキレート剤 (エチレンジアミン四酢酸) と配位子交換反応を起こし、その結果、指示薬が金属イオンから遊離したことにより変色が生じる。この時、金属イオンによっては、指示薬錯体の配位子交換反応が遅いことがある。反応を促進するために、SOPでは適温での加熱が指示されているかもしれない。錯体からの指示薬の遊離が変色の原理であることを理解していれば、加熱の指示も容易に理解できるであろう。ところが、反応の原理を十分には理解していないオペレーターにとっては、単なる指示にしか過ぎない。SOPに従ったとしても、加熱の程度にムラがあれば、終点もばらつくことになる。湿式分析にかかわる化学反応を十分に理解していなければ、標準的な測定手順を習得しても適切な操作を行えない可能性がある。分析技術の空洞化ともいえるような状況である。

社内教育の退潮と分析技術の空洞化は全く別の事象で

はあるものの、分析技術の空洞化には社内教育の退潮が色濃く反映している。令和の日本全体というスケールで見ると、分析技術にかかわる知的基盤の整備は我が国の分析技術のレベルを維持するために不可欠である。これに対して日本分析化学会といった公的な機関のかかわりが強く求められる。

4 おわりに

元号が新しくなり、分析化学を取り巻く状況が急激に変化しているとしても、分析化学が化学という学問の中でも基礎的な部分を担い続けるということは変わらないであろう。とはいえ、分析化学が変わらず重要な学問であり続けるために、分析化学も変わらなくてはならない部分があるように思われる。

文 献

- 1) サバドバリー著：阪上正信，本浄高治，木羽信敏，藤崎千代子訳：“分析化学の歴史—化学の起源・多様な化学者・諸分析法の展開”，(1988)，(内田老鶴圃)。
- 2) 小熊幸一，上原伸夫，保倉明子，谷谷哲行，林 英男，編著：“これからの環境分析化学入門 改訂第2版”，(2023)，(講談社)。
- 3) 上原伸夫：ぶんせき (*Bunseki*), 2022, 63.



上原 伸夫 (Nobuo Uehara)

宇都宮大学工学部 (〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東7-1-2)。東北大学大学院材料科学専攻博士前期課程修了。博士 (工学)、危険物取扱者 (甲種)。《現在の研究テーマ》新規分析試薬の開発、鉄鋼湿式分析。《主な著書》“これからの環境分析化学入門 改定第2版”，(執筆分担)，(講談社)，(2023)。《趣味》ツーリング、湯治。
E-mail : ueharan@cc.utsunomiya-u.ac.jp