

## 大学（農学系）における分析化学教育

白 井 理

## 1 はじめに

一般的に実験科学は、対象となるものの特性と物質量を把握し、その空間的および時間的な変化を追うことで発展してきた。とくに化学における実験科学は、物質の構造と特性を明らかにし、物質間の相互作用による変化「反応」に着目して目的物質を合成する学問として発展してきた。物理化学、無機化学および有機化学がこの代表として挙げられる。分析化学はこれらの化学において、実験による構造と特性の評価にかかわる。また、対象となる試料の調製、得られたデータの解析にも関係することから、すべての化学（科学）研究の基盤となる学問である。そのため、分析化学は大学（化学系）では基礎学問として重要視されてきた。近年は、技術の進展と共にさまざまな分析機器が開発されている。それぞれの機器の測定原理と限界を正しく理解し、正確に分析することが望まれているので、ますます分析化学教育の重要性が増している。

2 分析化学の重要性<sup>1)</sup>

## 2・1 試料の精製・調製について

試料を分析する際には、対象となる試料について、どのような目的でどのような情報を必要としているかを認識しておかねばならない。その上でどの程度の正確さと精密さが必要かの検討を行い、試料の採取・取り扱いと目的の情報を得るための測定法の選定とそれに適した試料の調製が必要となる。

まず、均質かどうかなど試料の特性を念頭に置き、試料の採取・保管方法が妥当であるかを検討する。つぎに、測定法に応じて適した試料の前処理や調製を行う。溶液試料の場合は希釈や濃縮、ろ過およびpH調整といった作業が必要となる。測定を妨害する成分が共存する場合は、クロマトグラフィー、沈殿、吸着、透析、蒸留などにより分析成分を分離する。あるいは、マスクングにより無害な成分に変換する。固体試料の場合も分離・結晶化や表面研磨等の試料調製を行うことが多い。生物試料や環境試料中の極微量の成分は分離精製・濃縮といった前処理過程がとくに重要である。また、定量においては試料調製において生じる誤差についても検討する必要がある。測定原理を念頭に置き、統計処理が行えるように複数回の測定を行い、誤差を評価することが

求められる。

## 2・2 測定法の選定と分析結果の評価について

沈殿反応のように化学的な特性によって分析成分を分離できる場合は、分析成分の質量を測定する重量分析法がある。容量分析法では、滴定により既知濃度の試薬の体積を変化させて分析成分との反応を進行させる。その際、物理的あるいは化学的特性の変化により反応の終点を調べる。これらの手法は主成分の測定に適している。

古典的分析法（重量分析法および容量分析法）に比べて、試料の物理的性質の計測に基づく機器分析法は、精密さは劣るが高感度で高選択性であるため、様々な物質の定量に使用されている。機器分析法は、一般的に迅速に複数成分を同時に自動で測定できることが多く、幅広い分野で使用されている。

分析結果については、測定原理に基づき、確定誤差及び不確定誤差を考慮しながら統計的な処理を行うことが必要である。その上で有効数字と誤差の伝播を考慮した議論が求められる。

## 3 大学（農学系）における分析化学教育

3・1 農学系の研究における分析化学<sup>2)3)</sup>

農学部は農業、林業、水産業、畜産業にかかわる医学、薬学、工学、理学、そして経済学を扱う学科で構成されており、幅広い学問領域に<sup>またが</sup>った研究を行っている。なかでも実験科学的な研究に携わる分野では前章に記載したように分析化学の知見を必須としている。研究対象となる試料としては、環境試料（海水、湖沼・河川水、土壌等）、生体試料（微生物、植物、動物）、および生物由来の化合物が中心となる。近年では、ホルモンや化学伝達物質などの生理活性物質の代謝・動態および遺伝子解析についての研究が増えており、質量分析装置やシーケンサーを用いた実験が多く行われている。それに伴い、試料の取り扱いや解析法についても目覚ましく変化している。また、各種生体について、細胞・組織を観察し、タンパク質等の挙動や機能解析も行われている。さらに、タンパク質の高次構造の解析と全体および局所構造の変化と細胞機能の相関を解明しようと試みられている。新しい方法論や技術開発に応じてその妥当性を担保する分析化学も進化し続けなければならない。

## 3・2 農学系における分析化学教育

### 3・2・1 学部教育

京都大学農学部は資源生物科学科、応用生命科学科、地域環境工学科、食料・環境経済学科、森林科学科、食品生物科学科の6学科より構成されている。他大学の農学部では学科数や学科の名称は異なっているが、基本的には同じような研究分野を有している。

1・2年生では学部・学科の配当科目は概論的なものがほとんどで、全学共通科目の中から推薦する基礎科学の複数科目を修得するように求められている。筆者が属する応用生命科学科をはじめ、実験科学を主体とする学科の推薦科目で分析化学に関係するのは「基礎化学実験」である。統計処理に関係する科目としては、「情報基礎（農学部）」と「情報基礎演習（農学部）」がある。これらが必須でないのは残念である。なお、2年生から徐々に学部・学科配当の専門科目が開講される。

3年生になると、応用生命科学科では、午前中は専門科目を履修し、午後は月曜日から金曜日まで学生実験を行うことになる。筆者は「分析化学」の講義を3年生の前期に担当しており、応用生命科学科の3年生はほぼ全員受講し、資源生物科学科3年生の希望者も受講する。学生実験では、一番初めの科目が「分析化学実験」となっており、筆者の研究室が担当している。器具の操作法を含め、実験操作一般とデータ解析についても教育している。学生実験は、「分析化学実験」が終わると「生物物理化学実験」に移る（写真は学生実験の様子）。筆者の研究室は「生物物理化学実験」の前半を担当しており、5月半ばくらいまで平日の午後は対応している。「分析化学実験」と「生物物理化学実験」は、20年ほど内容を変更していないので、装置や器具はレトロなものが多い。とくに、「生物物理化学実験」の電導度測定では年代物のブリッジ回路と可変抵抗を用いている。測定原理が分かり易いという点はあるが、60年以上前に製造された装置に多くの学生が感動する。年代物のUV-Vis分光器が次々と故障し、その都度更新してきた。その結果、データがUSBで取り出せるようになり、すべての



写真 分析化学実験の様子

スペクトル測定の結果を個人のPCで漸く実施できるようになった。10年ほど前から実験ノート代わりにノートパソコンを使用する学生が増えてきたが、最近ではスマートフォンを用いて動画や写真を撮影したり、タイマー機能やGoogle検索などを利用している学生が多い。「分析化学実験」および「生物物理化学実験」が行われている期間、講義の方の「分析化学」では、有効数字・誤差の伝播、酸塩基反応、酸化還元反応、分光法の基礎について講義しており、学生実験とリンクするようにしている。2年生の受講者や他学部・他学科の学生と比較すると、学生実験と内容が重複・リンクしている3年生の方がより理解度が高いように感じられる。なお、機器分析法については「分析化学」でも原理の説明は行っているが、主に「有機構造解析学」等の講義で教えられている。他学科では食品生物科学科で「食品分析化学」が2年生後期に開講されている。

4年生になると、各研究室（分野）に配属され、卒業研究を行うのが基本となる。卒業研究を通じて、各研究分野で必要とされる分析化学の知識・技術を身につける。

### 3・2・2 大学院教育

大学院では、集中講義形式で修士課程1年生の4月末に「応用生命科学I」を担当し、統計処理と熱力学の基礎について講義をしている。卒業研究を終えてから改めて統計処理の大切さを伝えると実感が湧くようであり、以降の研究に活かせるように期待している。修士課程1年生では各教員が学部で担当した講義内容のエッセンスとさらに掘り下げた内容を教えている。修士課程2年生では、集中講義形式で各研究室（分野）が担当して専門科目の内容を基礎から応用まで解説している。

### 3・2・3 研究室での教育

生命科学の研究では、研究対象が千差万別であるため、取扱う試料、測定対象となる物質、測定法および条件が大きく異なる。そのため、研究の基礎となる分析化学（科学）の教育は各研究室で行われていると認識している。学会発表や論文執筆についても各研究室（分野）で指導が行われており、研究室での教育は非常に重要であると考えている。筆者らの研究室においては、この10年くらい間に、タンパク質の構造解析にクライオ電顕と単粒子像解析を、タンパク質の構造推定にAlphaFoldを、神経伝導・細胞間コミュニケーションのシミュレーションに電子回路シミュレーターLTspiceを、分子モデルや電極の作製に3Dプリンタを導入し、少しずつ変化している。AIの進化もすさまじく、英文翻訳などでも威力が感じられる。一方、AIに頼りすぎると人間が退化するのではないかと危惧している。

## 4 むすび

分析化学（科学）の基本理念は変わらないが、実験内容や対象は刻々と変化を続けている。したがって、農学部で求められる分析化学教育も絶えず変化していくものと捉えている。しかし、試料の調製・保存法は適切か、測定法およびデータの取扱いは適切であるかは常に意識しなければならない。これは定量的に議論する科学の宿命であり、さらなる分析化学（科学）の発展を望んでいる。

### 文 献

- 1) 今任稔彦, 角田欣一監訳: “クリスチャン分析化学I. 基礎編”, p. 1 (2016), (丸善出版); G D. Christian, P. K. Dasgupta,

K. A. Schug: “Analytical Chemistry, 7<sup>th</sup> Ed.”, (2014), (John Wiley & Sons, Inc.), (Washington).

- 2) 伊永隆史監訳, 芝本幸平訳: “バイオ分析化学実験法”, p. 1 (2006), (丸善出版); K. K. Stewart, R. E. Ebel: “Chemical Measurements in Biological Systems”, (2000), (John Wiley & Sons, Inc.), (Lexington).

- 3) 西村善文編集: “生命科学のための機器分析実験ハンドブック”, p. 1 (2007), (羊土社).



白井 理 (Osamu SHIRAI)

京都大学大学院農学研究科 (〒606-8502 京都市左京区北白川追分町). 京都大学大学院理学研究科博士課程. 博士 (理学). 《現在の研究テーマ》膜輸送, 細胞内及び細胞間情報伝達, 薬物輸送, イオンセンサ. 《趣味》読書.

E-mail: shirai.osamu.3x@kyoto-u.ac.jp

日本分析化学会の機関月刊誌『ぶんせき』の再録集 vol. 2 が出版されました！ 初学者必見！ 正しく分析するための241 ページです。

本書は書籍化の第二弾として、「入門講座」から分析試料の取り扱いや前処理に関する記事、合計 36 本を再録しました。『ぶんせき』では、分析化学の初学者から専門家まで幅広い会員に向けて、多くの有用な情報を提供し続けています。これまで掲載された記事には、分析化学諸分野の入門的な概説や分析操作の基礎といった、いつの時代でも必要となる手ほどきや現役の研究者・技術者の実体験など、分析のノウハウが詰まっています。

本書は下記の二章だてとなっています。

#### 〈1 章 分析における試料前処理の基礎知識〉

- |                                  |                                   |
|----------------------------------|-----------------------------------|
| 1. 土壌中重金属分析のための前処理法              | 11. 大気中揮発性有機化合物分析のための前処理          |
| 2. 岩石試料の分析のための前処理法               | 12. 放射性核種分析のための前処理法               |
| 3. プラスチック試料の分析のための前処理法           | 13. 脂質分析のための前処理法                  |
| 4. 金属試料分析のための前処理                 | 14. 糖鎖分析のための試料前処理                 |
| 5. 分析試料としての水産生物の特徴と取り扱い          | 15. イムノアッセイのための前処理法               |
| 6. 食品分析のための前処理法                  | 16. 加速器質量分析における超高感度核種分析のための試料前処理法 |
| 7. Dried blood spot 法による血液試料の前処理 | 17. 生元素安定同位体比分析のための試料前処理法         |
| 8. 生体試料のための前処理法 (液-液抽出)          | 18. セラミックス試料分析のための前処理法            |
| 9. 生体試料のための前処理法 (固相抽出)           |                                   |
| 10. 環境水試料の分析のための前処理法             |                                   |

#### 〈2 章 分析試料の正しい取り扱いかた〉

- |                           |                    |
|---------------------------|--------------------|
| 1. 生体 (血液)                | 10. 岩石             |
| 2. 生体 (毛髪)                | 11. 食品 (農産物の残留農薬)  |
| 3. 金属 (非鉄金属)              | 12. ガラス            |
| 4. 金属 (鉄鋼)                | 13. 環境 (陸水)        |
| 5. 食品 (酒類)                | 14. 温泉付随ガス         |
| 6. 医薬品 (原薬・中間体・原料)        | 15. 透過電子顕微鏡観察の試料調整 |
| 7. 海水 (微量金属)              | 16. 環境 (ダイオキシン類)   |
| 8. 考古資料                   | 17. 高分子材料          |
| 9. 海底下の試料 (地球深部の堆積物および岩石) | 18. 沈降粒子           |

なお、『ぶんせき』掲載時から数年が経過しているため、記事の中には執筆者の所属も含め、部分的に現在の状況とは異なる内容を含むものがあるかもしれません。本書では、各記事の『ぶんせき』掲載年を明記することで、再録にともなう本文改稿を割愛しました。これらの点については、執筆者および読者の方々にご了承いただきたく、お願い申し上げます。

本シリーズが化学分析の虎の巻として多くの方に活用されることを願ってやみません。