

大学（理工系）における分析化学教育

小川 信明

1 分析化学とは

もっとも端的に言うなら、「分析化学とは、分離と計測の化学である」¹⁾。もう少し詳しく言うと、「分析化学は、天然や人工の物質の化学的組成を定性的・定量的に識別するための方法（論）を開発・確立することを目的とする化学の一分野である」²⁾。または、「分析化学は物質の化学的な立場からの特徴描写（キャラクターゼーション）に関する学問であり、定性と定量の両面を含む」³⁾。ウィキペディアでも、「分析化学」の項目が掲載されており、かなり丁寧に記載されている。分析化学は大学の化学教育において基礎科目の一つであり、環境化学への展開や高度な分析技術の開発などが研究のテーマとなっている。」と、教育についても最後に触れられている⁴⁾。

2 分析化学の移り変わり

分析化学は、湿式分析の基礎である、化学平衡論を用いた酸塩基平衡・酸化還元平衡・溶解平衡・液液分配平衡・イオン交換平衡及び化学反応速度論などの基礎理論を学習し（これらは、時代が変わっても、ほとんど変わらないところであるが…）、それぞれの機器分析（原子吸光分析、発光分光分析、蛍光X線分析、中性子放射化分析、電気化学分析、紫外・可視吸光分光法、蛍光分光法、光熱変換分光法、NMR、ESR、赤外・ラマン分光法、ガスクロマトグラフィー（GC）、質量分析（MS）、メスバウアー分光法、X線・中性子・電子線回折、旋光性分析、円二色性分析、共焦点レーザー走査型蛍光顕微鏡、透過型電子顕微鏡、走査型プローブ顕微鏡、AFM、走査型近接場光学顕微鏡、SECM、X線光電子分光法、キャピラリー電気泳動、ICP-MS、GC-MS、LC-MSなど）の原理・装置構成などを理解することである。ただ、上にあげた機器分析の装置・技術の発展は目覚ましく、どんどん新しい分析法・機器が開発されつつあり、例えば、X線結晶構造解析、中性子線結晶構造解析の急速な進歩により、タンパク質などの4次構造も見えてきている。さらに、AIなどIT技術の進歩に伴い、これまでは人がやっていた実験手順の自動化が急速に進み、それはそれで良いのであるが、化学系の学生さんには、ブラックボックス化した装置の構造や分析原理はしっかりと、教授すべきである。これは、原理上あり得ない値や

誤差を出していても、平気で報告することがないように学習してもらうためである。もう一つ、実分析で重要なのは、サンプリングの方法（場所、時間、採取量など）及びサンプリングした試料の前処理である。これは、実践的なところであり、教育としても、大学・学科・研究室によって、違いが大きい部分ではあるが、用意された試料の分析だけではなく、実試料のサンプリング・試料の前処理・分析・分析結果の報告まで、教育してほしいところである。

3 分析化学教育（理工系）…化学系とそれ以外の学科

分析化学教育つまり講義の部分であるが、前項をもう少し教育内容で見ると、理工系、特に化学系では、1. 分析化学（理念、原理—溶液内反応〈酸塩基、酸化還元、沈殿滴定、錯生成滴定、相関分配（液液平衡、溶媒抽出）、電位差滴定、電気分解、イオン交換平衡）、定性分析、定量分析、重量分析、反応速度論的分析、誤差とデータ処理）の原理の部分と、2. 機器分析化学（原理、装置、改良、分光測光、ボルタンメトリー、クロマトグラフィー、X線（中性子線）結晶構造解析）を教育するのが、今でも一般的である。理工系特に化学系では、分析化学講義+分析化学実験（専門）であるが、もちろん文系では、化学の中で少し分析が出てくる程度で、分析化学という専門の講義はない。

化学教育の観点で見ると、ぶんせきの談話室⁵⁾でも書いたが、文科省の化学系学科の設置審で認められているように、多少の科目名の違いはあっても、「分析化学」は、「物理化学」、「無機化学」、「有機化学」とともに、化学系の学科の3年次までに学ぶ必修科目であることは間違いのないところなので、これらの4科目は、ご専門の先生がおられなくても、化学系の先生方が教えることになる。秋田大学で生命化学科（後に生命科学科）を立ち上げるときには、分析化学の講義は、4科目8単位あった。今でも分析化学は、化学の中で、主流の学問分野であり、必要な学問である。学問・研究分野としての別の指標が、学術雑誌のIF（インパクトファクター）である。IFだけで雑誌や研究のクオリティをはかれるわけではないが、アメリカ化学会の四つの分野、物理化学、無機化学、有機化学、分析化学であり、それぞれの雑誌は *J. Phys. Chem. A, B, C, Inorg. Chem., J. Org. Chem.,*

Anal. Chem. である。この4分野・6雑誌の中で、*Anal. Chem.* のIFが最も高く（各雑誌のIFは文献5を参照）、化学の中で、研究分野としても、大変重要な位置にあることが分かる⁵⁾。もちろん、世界的にも分析化学と名の付く講義は、医学部、薬学部、農学部、理学部、工学部、理工学部、理系の総合学部など、理系の学部（学系）では、必ずあるわけで、その意味で、分析化学的研究も、それらの学部（学系）・学科中心に、行われている。そのことは、*Anal. Chem.* や *Anal. Sci.* に投稿されている研究者の所属機関を見ても明らかである。今では、分析化学ではなく、生命分析化学や環境分析化学という言葉もよく使われ、“分析”の対象物質が、無機元素・分子・有機物質、主体から、生体分子・物質（タンパク質等）や環境中の微量有害物質に代わってきている。それでもなお、分析化学が重要であるのは、対象物質の生体内、細胞内、環境内での構造・挙動を知るには、やはり、まず“分析”からなのであるから…。近年、生化学的な分析では、物質・分子（特にタンパク質）の2次構造はもちろん、3次構造や4次構造も分析することができるようになってきている。分析手法は、古くから使われてきた化学分析や分光分析だけではなく、X線結晶構造解析法（EXAFSを含む）、クライオ電子顕微鏡法、溶液NMR、単粒子解析法、クライオ電子線トモグラフィ（クライオET）、FIB-SEM、電子（線）回折法（MicroED）、X線自由電子レーザー（XFEL）法、時分

割解析法、in-cell NMR、高速AFM、などの新しい方法論の開発・展開も分析化学の研究分野である。であるから、このような分析・解析手法を研究・開発できる人材を育てるのも、分析化学教育の使命である。これらの新しい手法を開発する研究はもちろんであるが、その最新手法の深化・改良・普及のため、これら最新の手法を使って、分子・物質の構造・構造の時間変化を追跡し、反応速度をはかり、反応機序を推定するのも、分析化学的研究であり、研究レベルも十分に高いものと確信している。

3・1 講義時間

講義時間は、化学系では、講義が4～8単位、実験が1～3単位、それ以外の学科では、講義が2～4単位、実験が1～2単位というところである。

3・2 シラバス

ここに載せてあるシラバスは、秋田大学理工学部生命科学科 分析化学Ⅰシラバス（化学系）（表1）及び工学資源学部地球資源学科分析化学シラバス（非化学系）（表2）、のものである。内容的にはほとんど同じであるが、化学の単位が少ない地球資源学科は環境中での実際のサンプリング・前処理、化学系の生命科学科は、生体試料のサンプリング・前処理について、それぞれの現場に即した内容を取り入れている。

表1 分析化学Ⅰシラバス（化学系）

科目コード	[]			[]		
授業科目名	分析化学Ⅰ					
授業科目名英字	Analytical Chemistry I		単位数	2	条件	必修
対象年次	2年次		授業形式	講義	時間数	30
【担当教員名】		【所属名】	【学内室番号】	【電話番号】		
[] [] [] [] [] [] []						
イ/オ/ア/	曜日・時間	[] [] [] [] [] []	場所	[] [] [] [] [] []		
授業の目的・概要	生命現象を化学を中心に原子・分子レベルで解析することにより、医薬品や健康食品などの生命科学産業にとって必要な基礎的素養を身につけた人材を育成するために必要な大学の化学の中で、分析化学では、生体物質の様な、混合物から純物質を分離・抽出する過程、その化学組成を正しく認識し、その濃度を正しく評価する過程、化学種の溶存状態を特定する過程を理解するために、その基礎となる平衡論を理解する。本講義では、主に、溶液内化学種濃度を酸塩基平衡・錯生成平衡・溶解平衡から理解することを目標とする。					
到達目標	<ol style="list-style-type: none"> 1. 実試料のサンプリングの理解ができ、分析データの簡単な統計処理ができる。 2. 溶液及び酸塩基平衡の概念（歴史的を含む）を説明できる。 3. 酸塩基平衡と中和滴定の理論が理解でき、化学種の平衡濃度の計算ができる。 4. 錯生成反応の理解ができ、化学種の平衡濃度の計算ができる。 5. 溶液平衡の理論が理解でき、化学種の平衡濃度の計算ができる。 					
コース(7/07/54)の学習・教育到達目標との関係	生命現象を化学的に理解するための分析化学は、平衡論を使った化学種の濃度を求める方法の理解と、機器分析法の原理・装置の理解の分野からなっており、本講義は、その前半部を学ぶ。					
カリキュラム上の位置付け	分析化学は、化学系（理学、工学、薬学、農学、資源学、環境工学）の基礎科目としての位置づけが重要であり、化学系のどの分野にとっても必要とされることである。2年次の必修科目である。また、生命科学科では、2年後期に、この科目に連続して、「分析化学Ⅱ」を開講する。					
授業の進行予定と進め方						
本講義は、基礎化学Ⅰ、Ⅱなどの物理化学系の科目と、基礎化学実験などを履修したあとに学ぶことを想定している。定性分析、定量分析で重要な、溶液反応の取り扱いを、物理化学の平衡論を基礎に、体系的に学ぶ。この講義で学ぶ項目は次のようである。						
<ol style="list-style-type: none"> 1回目 分析化学とは？ 2回目 分析の実験。 3回目 分析データの評価及び整理（3回目：レポート課題1）。 4回目 溶液の物理化学的理解。 5回目 溶液と溶解。 6回目 化学平衡論。 7回目 分析化学で使う化学平衡（7回目：レポート課題2）。 8回目 酸塩基平衡（塩・酸・塩基を溶かした時の溶液とpHと化学種の濃度）。 9回目 酸塩基平衡（多酸塩基を溶かした時のpHと化学種の濃度）。 10回目 中和滴定（HClによるNaOHの滴定の各段階での溶液のpHと化学種の濃度）。 11回目 中和滴定（リン酸の滴定時の各段階でのpHと化学種の濃度）（11回目：レポート課題3）。 12回目 錯生成平衡（化学種の濃度）。 13回目 錯生成平衡の応用（13回目：レポート課題4）。 14回目 溶解平衡（化学種の濃度）。 15回目 溶解平衡の応用（15回目：レポート課題5）。 16回目 最終試験。 その他、毎回、授業のキーワードを書いて、提出していただく。						
授業に関連するキーワード	溶液内反応	標準偏差	酸塩基平衡	錯生成平衡		
成績評価の方法と基準	期末試験(80%)、レポート・受講態度(20%)で総合的に評価する。総合点で、60点未満D、60点以上70点未満C、70点以上80点未満B、80点以上90点未満A、90点以上Sとする。 総合点で、60点以上合格。					
教科書・参考書等	書籍名、著者、出版社等			ISBN		
	教科書：原書7版「クリスチャン分析化学Ⅰ-基礎編」G.D.Christianら著、今任、角田監修			978-4-621-		
	参考書：「分析化学-溶液反応を基礎とする」大橋・小島・鎌田・木原 共著；三共出版			978-4-7827-		
	参考書：「定量分析化学」デー・アンダーウッド 共著；鳥居・康 共訳；培風館			978-4-563-		
メッセージ	しっかり勉強しないと、ついてこれません。全出席が原則で、遅刻もしないようにしてください。レポート課題が出たら、必ず、次の週の授業開始までに提出してください。遅れたものは、評価しません。					
備考						

表2 T学科分析化学シラバス(非化学系)

科目コード	0000	曜日	前期木3,4	対象学生	地球資源学科
オフィスアワー	時間・場所				
担当教員名	所属				
授業科目名	和名: 分析化学 英文: Analytical Chemistry				
所属学内室番号・電話番号					
学期時限	3年次前期	単位・条件	2 選択		
授業の形式と時間数	講義	30時間			
授業の目的・概要及び達成目標	<p>1. 目的・概要 自然環境を守り生命を尊重する"豊かな人間性"を育成するために必要な分析化学は、混合物から純物質を分離・抽出する過程、その化学組成を正しく認識し、その濃度を正しく評価する過程、化学種の溶存状態を特定する過程を理解するために、その基礎となる平衡論を理解する。また、環境問題の一つである酸性雨における汚染物質の平衡について理解する。</p> <p>2. 達成目標 1. 実試料のサンプリングの理解ができ、分析データの簡単な統計処理ができる。 2. 溶液及び酸塩基平衡の概念(歴史的を含む)を説明できる。 3. 酸塩基平衡と中和滴定の理論が理解でき、平衡濃度の計算ができる。 4. 錯生成反応の理論が理解でき、化学種の平衡濃度の計算ができる。 5. 溶解平衡の理論が理解でき、化学種の平衡濃度の計算ができる。</p> <p>学科(プログラム)の学習・教育目標との関係 地球資源学科A、Bコースの「F-1」に対応する科目である。 カリキュラムの位置付け 分析化学は、化学系(理学、工学、薬学、農学、資源学、環境工学)の基礎学問としての位置付けが重要であり、化学系のどの分野にとっても必要とされることとされており、3年次の必修に近い科目である。また、高校の化学I,II,B,熱力学的平衡論を履修していることを前提とする。</p> <p>授業の進行予定と授業の進め方 本講義は、基礎化学I,IIなどの物理化学系の科目と、基礎化学実験などを履修したあとに学ぶことを想定している。定性分析、定量分析で重要な、溶液反応の取り扱いを、物理化学の平衡論を基礎に、体系的に学ぶ。 この講義で学ぶ項目は次のようである。 1~3. 分析化学とは?及び分析の実際と分析データの評価及び整理(3回目:レポート課題1)。 4,5 溶液。 6,7 化学平衡(7回目:レポート課題2)。 8~10. 酸塩基平衡と中和滴定(10回目:レポート課題3)。 11,12 錯生成平衡とその応用(12回目:レポート課題4)。 13,14,15 溶解平衡とその応用(15回目:レポート課題5)。 16. 最終試験。 その他、毎回、授業のキーワードを書いて、提出していただく。</p> <p>授業に関連するキーワード 溶液内反応 酸塩基平衡 錯生成平衡 溶解平衡 標準偏差</p> <p>成績評価の方法と基準 試験(80%),レポート・受講態度(20%)で総合的に評価する。総合点で、60点未満D,60点以上70点未満C,70点以上80点未満B,80点以上Aとする。レポートは、課題が出された翌週の授業開始までに提出すること(遅れたら、評価しない)。なお、最終試験は、1回のみで、追試・再試は行いません。総合点で、60点以上合格(C)</p> <p>教科書・参考書等 教科書:「クリスチャン分析化学I-基礎編」G.D.Christian著,原口監訳,角田,本水ら共訳,丸善 参考書:「分析化学-溶液反応を基礎とする」大橋・小熊・鎌田・木原 共著;三共出版。など 備考 技術者や研究者を目指す人にとって、重要な基礎科目であるので、予習・復習を欠かさず、内容をしっかりと身につけてください。</p>				

3.3 教科書

世界的に分析化学の教科書(翻訳本を含む)としては、古くは、シャルローの定性分析化学⁶⁾、最近では、ハリス⁷⁾とクリスチャン³⁾のものがかなり使われており、日本人が書いたものでは、大橋弘三郎²⁾、宗林由樹と向井浩⁸⁾、庄野利之と脇田久伸⁹⁾、湯地昭夫と日置昭治¹⁰⁾、姫野貞之と市村彰男¹¹⁾、などであるが、特に機器分析に関しては、実験と演習の教科書を分析化学とは別に出版しているケースも多い^{1)9)12)~15)}。

4 まとめ

結局、理工系の分析化学の教育は、既存の定性分析・定量分析の原理や手法および機器分析の原理・装置などを理解するために、まず物理化学・無機化学・有機化学・生化学・環境化学などの化学の基礎科目を学習し、理解し、そのうえで、分析化学という学問分野の全貌を

把握し、卒業研究・修士課程研究・博士論文研究を完成させるところがいわゆる大学教育である。さらにそれらを踏まえ、新しい分析手法の開発や既存の分析方法の改良などに取り組める技術者・研究者を輩出していくことが、分析化学の教育・研究に課せられた使命であると思う。

文 献

- 1) 井村久則, 樋上照男編: “基礎から学ぶ 機器分析化学”, (2016), (化学同人).
- 2) 大橋弘三郎, 小熊幸一, 鎌田薩男, 木原壮林: “分析化学—溶液反応を基礎とする—”, (1992), (三共出版).
- 3) G. D. Christian, P. K. Dasgupta, K. A. Schug: “Analytical Chemistry, 7th Edition”, (2014, 2004), (John Wiley & Sons, New York). 今任稔彦, 角田欣一 監訳: “クリスチャン 分析化学”, I 基礎編, II 機器分析編, (2016), (丸善出版).
- 4) ウィキペディア: “分析化学” <https://ja.wikipedia.org/wiki/分析化学>, (accessed 2023. 8. 4).
- 5) 小川信明: ぶんせき (*Bunseki*), 2023, 118.
- 6) G. シャルロー 著, 曾根興三, 田中元治 訳: “改訂版 定性分析化学 I, II”, (1976), (三共出版).
- 7) D. C. Harris: “Quantitative Chemical Analysis, Ninth Edition”, (2016), (W. H., Freeman and Company, New York), 宗林由樹 監訳, 岩元俊一 訳: “ハリス 分析化学, 原著 9 版”, (1976), (化学同人).
- 8) 宗林由樹, 向井浩: “基礎 分析化学”, (2007), (サイエンス社).
- 9) 庄野利之, 脇田久伸: “入門機器分析化学”, (1988), (三共出版).
- 10) 湯地昭夫, 日置昭治: “分析化学”, (2015), (講談社).
- 11) 姫野貞之, 市村彰男: “溶液内イオン平衡に基づく 分析化学”, (2001), (化学同人).
- 12) 石橋雅義: “実験分析化学 改訂版”, (1952), (共立出版).
- 13) 日本分析化学会北海道支部 編: “増補 新版分析化学実験”, (1978), (化学同人).
- 14) 日本分析化学会北海道支部, 東北支部 編: “改訂版 分析化学反応の基礎 演習と実験”, (1994), (培風館).
- 15) 梅澤喜夫, 本水昌二 渡会仁, 寺前紀夫 編: “機器分析化学”, (2002), (東京化学同人).



小川 信明 (Nobuaki OGAWA)
 秋田大学名誉教授(〒010-8502 秋田市手形学園町 1-1). 大阪大学大学院理学研究科博士課程単位取得退学. 理学博士.
 《現在の研究テーマ》酵素内包タンパク質ナノカプセルを用いた新規分析手法の開発. 《主な著書》“はかってなんぼ—分析化学入門”, (丸善), (分担執筆). 《趣味》ワインを飲みながらスポーツ観戦.
 E-mail: ogawa@gipc.akita-u.ac.jp