

1. 化学という学問

この章では化学という学問の性格について概観する。もとより「化学とは何か」を定義するのは困難であるし、定義すべき必然性もない。これからの学習を通じて各人がそれぞれに化学のイメージを持つべきである。しかし、諸君のこれからの学習の姿勢を規定する側面があるので、あえてこのような章を設けることにした。

1. 1 自然科学の性格

■**自然科学** 自然科学は一言で言えば、人類が自然を理解し利用しようとするための営みの総体、である。自然科学の目的は「自然の理解とそれに基づく利用」であるといってもよい。このように考えると、自然科学はもとより自然の存在を承認していることがわかる。哲学においては「意識とは独立に物質の存在を認める」立場を**唯物論**という。したがって、自然科学の基本的な哲学的立場は（素朴）唯物論であるといえる。哲学として唯物論に対立する考え方は**観念論**であって、ここでは意識が一義的であり、意識の存在故に物質が想定されるところとする。この講義は哲学の講義では無いからこの問題については深入りしないが、哲学の基本や「科学とは何か」といった科学哲学の問いは、自然科学を真剣に学ぼうとするなら若い時期に一度は考えてみるべき課題である。

自然科学のうち「理解」に重点を置いた科学の営みがいわゆる**基礎科学**あるいは**純粋科学**である。**理学**と呼ばれることもある。他大学の理学部の（古典的な）学科名にある数学、物理学、化学、生物学が含まれると解することが多い。諸君がこれから学ぼうとしている基礎科学としての化学はこの範疇に含まれる。一方、「利用」に重点を置いた科学の営みは**応用科学**あるいは**実用科学**であり、技術という言葉との重なりも大きい。**工学**、**農学**、**医学**、**薬学**などが一般的には応用科学としての色彩を色濃く持っているが、個々の研究がどのような性格を持つかは一概にはいえない。

■**化学史から** 自然科学の性格を考える上で、その発展の歴史を振り返ること

表 1.1 化学史の抜き書き

?	最初の化学技術：火の使用
BC4000 年頃	焼き物と金属の利用
BC1000 年-0 年	単体（元素）仮説 例：「水，火，空気，土」エンペドクレス
BC400 年頃	原子仮説 レウキッポスやデモクリトス
1-16 世紀	錬金術の時代
17 世紀	ボイルによる純粋化学の立場の表明
18 世紀	ラバアジェによる近代化学の確立
1803 年	原子説（ドルトン）
1811 年	アボガドロの仮説
1828 年	尿素合成（ウェーラー，有機化学のはじまり）
19 世紀中頃	熱力学の成立
1869 年	周期表の発見（メンデレーエフ）
1896 年	ウランの放射能の発見（ベクレル）
1897 年	電子の発見（トムソン）
20 世紀初め	古典統計力学の成立 アボガドロ定数の測定（ペラン）
1911 年	原子核と電子からなる原子模型（ラザフォード）
1916 年	共有結合のモデル（八隅説，ルイス）
1920 年	高分子概念の提唱（シュタウディンガー）
1925 年	量子力学の発見（シュレーディンガー，ハイゼンベルク）
1927 年	水素分子の量子力学的理論（ハイトラー，ロンドン）
1953 年	DNA の二重螺旋構造の発見（ワトソン，クリック）

は有益である．表 1.1 は 20 世紀半ばまでの化学史の年表の抜き書きである．人類にとって最初の（能動的な）化学技術との出会いは「火の使用」であったと考えられる．焼き物（今でいうセラミックス）と金属の利用がそれに続く．知的探求としての「化学」の萌芽は紀元前 1 世紀頃の単体（元素）仮説に見出すことができる．エンペドクレスの仮説は，物質の種々の性質を「冷たい，熱い」，「軽い，重い」という対立する性質の組み合わせで説明しようとしたもので，この 4 種の性質を代表する元素として「火，水，空気，土」を考えた．こうした考え方は，紀元前 400 年頃の原子仮説へと繋がる．このような「単体」とそれを物質的に表現した「原子」の組み合わせという仮説は，物質の混合による金の創成という錬金術へとつながる．元素転換のすべを持たなかった時代であ

るから、錬金術は成功しなかったが、15 世紀にも亘る（無駄な）試みは無数の化学実験による化学的知見の蓄積をもたらした。ただし、この頃、錬金術は師匠から弟子へと伝承されるものであり、公的な意味で社会にとっての知識の蓄積にはならなかった。実際、世界で最古の大学（university）が設立されたのは 11 世紀（現在のボローニャ大学）であるが、カトリック教会が後ろ盾であり、神学、法学、医学、学芸などが教えられた。この中には錬金術は含まれていない。基礎科学としての化学が科学の歴史に現れるのはようやく 17 世紀であり、意識的に純粋化学の立場を表明したのは気体の法則で有名なボイルであった。18 世紀にはラバアジェが天秤を使用して化学研究を行い、定量性を持った学問として近代化学を確立した。この成果を基にドルトンは現代に繋がる原子説を提出した。実験結果の解釈において圧倒的な成功を収めた原子説であるが、アボガドロ定数を測定するという形でそれが確立されたのは 20 世紀であったことを強調しておかなければならない。これには古典**統計力学**が必要であった。1925 年の**量子力学**の発見は高校の化学の教科書には記載が無いが、1.4 節で説明する通り、現代化学にとって極めて大きな出来事であった。統計力学と量子力学なしに現代化学の発展は不可能であったといってもよい。

■**自然科学の性格** 表 1.1 から自然科学の特徴として次の様なことを読み取ることができよう。まず、化学が錬金術と密接な関係を持っていたわけであるが、錬金術はまさしく金を得るという実利と結びついていた。この意味で実用科学として発生したといえる。このような事情は、天文学が農業上の必要から生まれ、また、毎年の洪水の後に土地を測量することで幾何学が発展したという具合に自然科学の他の領域でも見ることができる。

しかし、一旦、生まれ出た学問は人間の知的好奇心を背景に独立に発展をはじめ、このとき実用科学としての性質は薄らぎ、基礎科学へと発展していく。それを支えるのは大学などの組織的な教育体制（大学）であり、そこでは職業的科学家が発生する。職業的科学家は生産活動に直接的に携わっていないが、人類の知識を増やすことで究極的には福祉に貢献していると考えられる。自然科学自体も究極的には人類社会に貢献すべき性格を有しているのである。

自然科学は実用科学として発生したが基礎科学として独自の発展を遂げてきた。この過程では、研究の成果が個人の知識や、少数の人々の中だけで共有される「秘伝」であってはならないことはいうまでもない。自然科学が自然の理解という目的を持つことも考慮すると、自然科学の研究は

観察・実験 → 発見 → 公表 → 次の研究 → …

というサイクルを持つことがわかる。このことから直ちに、実験・観察の重要性と結果をまとめて公表することの重要性が結論できる。大部分の諸君はこれからわずか 3 年後、卒業研究でこの研究のサイクルに参加することになる。実験を大切にすること、結果を適切にまとめること、それを公表することの重要性をしっかりと覚えておいてほしい。

1. 2 自然の階層性と自然科学

目に見える物質は原子・分子からなっている。分子は原子からなり、原子は原子核と電子からなっている。原子核は陽子と中性子からなる複合粒子であり、陽子や中性子を素粒子という。素粒子はまたクォークからなっている。一方、目に見える物質からより大きなスケールに目を転じると、目に見えているほとんどの物体は地球という惑星の上にあり、複数の惑星と太陽から太陽系が構成される。多数の恒星が集まって銀河を作り、さらに最近の研究によれば銀河もまた銀河団を構成しているという。

このように自然には（比較的）少数の種類の要素が集まって新しい構造を作り、それがまた次の構造の要素になるという大まかな構造があるように見える。ピンポン球の運動を議論する際にピンポン球が多数の分子から原子・分子からなっていることを考慮する必要はなく、古典力学を考えればよい。一方、ピンポン球を作っている高分子化合物の性質を議論する際には、その化合物がどのような素粒子からなるかを問う必要はない。したがって、自然は構造に階層的な構成（あるいは構造）を持つだけでなく、そこで重要となる法則にも階層的な特徴があることがわかる。これを一般に自然の階層性とか階層構造という。

自然の理解を目的とする自然科学にもこの自然の階層性は反映されている。

物理学は自然の究極的解明を目指し、すべての階層において、できる限り**普遍的**な法則を探求することをもっとも大きな特徴としている。このため、物理学で確立された法則は、自然を理解する上で基本法則としての位置を占める。自然科学のあらゆる分野に大きな影響を持つことになる。揶揄的に「物理帝国主義」という言葉が使われることもある。後述する通り、化学についてもその影響は、ある意味で決定的である。

化学は物質の学問であり、自然の階層でいえば原子・分子の領域を受け持っている。原子の種類は（ほぼ）有限であるが、その組み合わせは無限にあるから、物理学とは対照的に、物質世界の**多様性**を明らかにするという性格を持っている。このため、化学には記載的あるいは博物学的な性格が必然的に発生する。ただし、ここでいう博物学的性格は（古典的）生物学や地学における博物学とは少し趣を異にする。これらが有限の種の記載を目的とするのに対し、化学は積極的に記載すべき物質を創造するからである。積極的博物学とでもいえば良いかもしれない。ちなみに現在までに人類が認識した化学物質の総数は約一億種類である。

生物学は生物・生命を対象とする自然科学である。博物学的研究（生物個体や集団の記述と分析あるいは解剖学）から出発した生物学であるが、現在ではそのメカニズムを分子のレベルで解明しようとする研究（分子生物学）が主流を占めている。このため、生物学研究における化学の役割はますます大きくなっている。

自然科学の中で**数学**は、階層横断的という点で特別な位置を占めている。ものを数えることから自然数が生まれ、測量の必要から幾何学が生まれたという具合に、その起源は自然（あるいは物質）にあるのだが、少なくとも現在の数学は物質性を捨象し、数・図形とそれらの関係に関する学問として発展している。その一方で、「自然という書物は数学という言葉で書かれている」（ガリレオ・ガリレイ）といわれるほどに自然の記述、特に物理学的記述に有用であることも事実である。

数学、物理学、化学、生物学といった自然科学の境界は時代と共に変化して

きた．たとえば，原子の構造を明らかにすることは，20 世紀初めには明らかに物理学の課題であったが，現在では「原子構造」は「化学の基礎」であり議論の土台である．別の例としては，現在，物理化学（physical chemistry）でもっとも権威のある学術雑誌である *The Journal of Chemical Physics* は化学物理（chemical physics）の雑誌として 1933 年に創刊された．

こうした分類の柔軟性と表裏一体の問題として，分類をどちらにして良いかはっきりしない**境界領域**も存在する．たとえば化学と物理学を例にとると，目に見える物質の性質（**物性**）を研究対象としたとき，物理学の立場（物性物理学）といえども具体的・個別的物質の性質を観測・記述することから始めざるを得ないのはいうまでもない．物質の多様性そのものに重きを置けば物性化学的研究，多様性の中の普遍性に重きを置けば物性物理学的研究ということになるが，明確な線引きはできないのが実情である．生物化学と分子生物学についても同様の関係がある．さらに，これらのような「いかにもありそうな境界領域」以外に，数学的色彩の強い理論化学の研究（たとえばグラフ理論による芳香族性の解明）のようなものもある．

1. 3 化学の目的

■**物質観の深化** 自然の理解という立場から化学の目的を端的に表現すれば「人類のもっている物質観を広め・深める」ということができる．

化学のもっとも基本的な性格である物質世界の多様性を明らかにすることを主に担っているのは**分析化学**や**合成化学**である．**分析化学**は「どんな物質が存在するか」，「物質がどんな風に存在するか」を分析する化学の一分野である．**合成化学**は「どんな物質が存在できるか」，「どんな反応があるか」を追求している．物質の特殊な存在形態である生命に化学の立場から挑む**生物化学・天然物化学**や「私たちはどこにいるのか」を明らかにする**環境化学・地球化学**も広義に言えば「物質がどんな風に存在するか」を明らかにしているといえよう．

多様性を明らかにし理解するには羅列を超えて，「物質・性質・反応を分類」したり，「分類の基準を作る」必要がある．これには他の化学の分野以上に物理

学と緊密な関係が求められる。この部分を主に担っているのが**物理化学**である。

■**直接的貢献** 自然科学の性質には成果をもって人類の福祉に貢献するという実学的な側面もあった。この性格がもっとも色濃く表れるのは有用化合物の合成である。望みの化合物を自由自在に作り分けることを目指す**合成化学**，化学反応の制御を目指す**触媒化学**が代表である。身の回りで広く使われる材料として物質を研究対象とする**材料科学（化学）**も有用化合物の合成を重要な内容として含んでいる。

地球温暖化の危険性が強く認識されるようになり、「地球を理解する」ことは人類にとって知的興味にとどまらない重大問題になってきた。この意味で、**環境化学・地球化学**はいまや人類の福祉に直接的に貢献する実用科学としての性格をも持つに至ったといえる。

1. 4 現代化学の特徴と研究体制

■**20 世紀以降の化学** 表 1.1 には高校の化学の教科書に載っていなかったが、現代化学にとって極めて重要な歴史的事実が記載されている。それは、**統計力学**の成立と**量子力学**の発見である。量子力学は一言でいうと原子や分子の世界の力学である。その発見が 1925 年であったということは、それ以前の化学は原子・分子を対象とした学問であったにもかかわらずその運動を支配する基本法則を知らなかったということである。実際、6 章で説明する通り、量子力学によって初めて周期表の意味が明らかになった。このことの化学における重要性は容易に理解されよう。歴史的大事件のもう一つ、統計力学というのは原子・分子の運動や状態から気体・液体・固体などの巨視的物質の性質を知る処方箋である。実はいささか逆説的だが、統計力学は原子説（物質世界が小さな粒子からなっているという考え方）の実験的な証拠を提出するのに大きく貢献した。この二つの物理学上の出来事は原子・分子を基礎に物質の性質や反応を研究対象とする化学の足場を作る、極めて重大事なのである。逆に言うと、量子力学や統計力学を勉強せずに「化学をする」というのは、「19 世紀に帰る」ことだといっても過言ではない。

■**化学の対象** 化学の目的との関連で先に化学の諸分野を簡単に紹介したが、ここでは研究対象に注目してもう少し詳しく諸分野を概観する。ただし、各分野についての以下の記述は多分に主観的である。

原子核を化学の対象として取り扱うのが**核化学**や**放射化学**である。原子核反応で「合成」された数原子の新元素の化学的性質を調べるようなことも行われている。放射化学では放射能測定という超高感度測定(1原子ごとに測定できる)を利用した分析化学的研究も行われている。

単一の分子の構造と性質に注目すると、量子力学に基づいて理論的あるいは計算科学的に電子状態を調べる**量子化学**や主として光と分子の相互作用を通じて実験的に分子構造等を調べる**分子分光**学がある。これらは物理化学に分類されている。一方、有機化合物、無機化合物を問わず**合成化学**もどちらかという単一の分子の性質に注目することが多いのが実情である。

反応を研究対象とする分野としては、反応機構の立場から化学反応を研究する**化学反応論**や、むしろ反応速度の制御に力点を置いた**触媒化学**などがある。合成化学においても反応機構の解明や新しい反応の開発が主要な目的とされることもある。化学平衡や熱化学は**化学熱力学**と呼ばれる分野の対象である。

巨視的な物質を対象とする場合、主に構造と分子運動を研究対象としているのは**構造化学**であり、分子集合体の物性と分子の性質の関係を解明しようとするのが**物性化学**である。物質が高分子化合物である場合にはその分子構造の特異さ故に独特の性質がある。ここに注目した化学が**高分子化学**である。

巨視的な物質には実は表面(界面)がある。そこでどんなことが起きるかを主な研究対象とするのは**表面化学・界面化学**である。固体触媒を対象とする触媒化学と非常に密接に関係している。粒子の直径を小さくしていくと、全分子数に対する表面にある分子の数の割合が非常に大きくなると共に、独特の性質を示すようになる。このような現象を取り扱っているのが**コロイド化学**である。

生物化学は物質の特殊な存在形態である生命に化学の立場から挑んでいる。生物学と化学の境界領域として両方の知識が必要とされることはいうまでもない。

以上のような化学物質を対象とした化学の他に、研究の方法を対象とした研究もある。新しい実験法の開発などが代表であるが、化学情報の蓄積と利用から新しい価値を生み出そうとする**化学情報学**などもこの範疇に含めることができるだろう。

■**化学者の組織** 世界中どの国でも化学の専門教育（専門家の育成）は大学を中心に行われている。国内の主要な理工系大学には必ず化学に関係した学科（専攻）がある。理学系学類（他大学の理学部）の化学科（専攻）はどちらかというと基礎化学に重点を置いており、工学系学類（他大学の工学部など）の化学科（専攻）は応用化学科などの名称をもつことが多く、どちらかというと応用的な側面に重心を置いていることが多い。最近ではアメリカなどの例に倣い化学・生物化学科などの名称をもつ学科（専攻）を置くところもある。これらとは別に、薬学部あるいは工学部の無機材料工学科や金属工学科でもやや内容に偏りがあるものの専門的な化学教育が行われている。

研究会を開催したり研究論文を発行するために研究者が自主的に集まって作る組織を一般に**学会**という。国内の化学の全分野を網羅する学会は**日本化学会**である。会員数は約 3 万人で、日本物理学会の約 1 万人よりかなり大きい。国内では学会組織としても大きい方である（化学系学会としては世界的にみても有数の規模である）。会員になるための資格は化学系の大学に在籍以上であるから、学生諸君も会員になれる。日本化学会のほかにも研究分野ごとの学会が多数組織され、国内における化学研究の発展に寄与している。大学教員や企業の研究者の多くは、何らかの学会に入会して活動を行っている。

世界各国の化学会の連合組織として**国際純正・応用化学連合**（International Union of Pure and Applied Chemistry, **IUPAC**）がある。個人会員制度もあるが、主たる機能は学会組織の連合体で、化学に関係した単位や記号の統一のための勧告を行い、また、そのために他の分野の対応する組織（国際純正・応用物理学連合 IUPAP や国際結晶学連合 IUCr など）と協議を行うなどしている。

■**化学情報** 化学における情報は、化学の「物質の多様性を明らかにする」という特質（博物学的特質）に根ざした特別な性質がある。たとえば、古文書に

「いろは山の麓の大きな木の葉を煎じて飲むと頭痛が直った」と記されていたとする。この情報が本当であれば、その「木」を特定することで有用な未知化合物が発見される可能性がある。したがって、情報を無駄にすることなく、しかも円滑に流通させることには重要な意味がある。

このことに早い時期に気づき、その業務を実質的に担ってきたのはアメリカ化学会の Chemical Abstracts Service (CAS) である。Chemical Abstracts (ケミカル・アブストラクツ, 略称「ケミアブ」) のデータベースには 1907 年以降の 30,000,000 件以上の一次情報 (学術雑誌の論文, 学位論文, 特許公報など) が収録されており, 毎日約 4,000 件の情報が追加されている。現在では, このデータベースは SciFinder としてオンラインで供給されている。なお, ケミカル・アブストラクツのような網羅性は無いものの, Google Scholar のようなインターネットの無料検索サイトでも化学情報が検索できるようになりつつある。

参考書

岩崎允胤, 宮原将平, 「科学的認識の理論」, 大月書店, 1976 年。

原 光雄, 「化学入門」(岩波新書), 岩波書店, 1953 年。

朝永振一郎, 「物理学とは何だろうか 上・下」(岩波新書), 岩波書店, 1979 年。

久保昌二, 「化学史 -化学理論発展の歴史的背景-」, 白水社, 1959 年。

アーサー・グリーンバーグ, 「痛快 化学史」(渡辺・久村 訳),

朝倉書店, 2006 年。