

## 特集

### 化学の哲学とは何か

—科学哲学における化学—

植原 亮 関西大学 総合情報学部

#### 1. はじめに——化学の哲学？

サミール・オカーシャ『1冊でわかる 科学哲学』<sup>(1)</sup>は、そのタイトルが示す通り、実に手際よくコンパクトにまとめられた科学哲学の入門書である。刊行後しばらく経ってから、原書第二版もわずかに改題のうえで「新版」として邦訳された<sup>(2)</sup>ことから、日本国内でも好評をもって迎えられ、多くの読者を獲得したことがわかる。

このオカーシャ著では、科学と疑似科学の線引き、科学的な推論や説明、実在論と反実在論といった、広く科学哲学一般において論じられる定番の問題はもちろん、個別科学 (special sciences) における哲学的問題も1章を割いて扱われている。それぞれ手短めではあるけれども、物理学の哲学では、絶対空間をめぐるニュートンとライプニッツの論争が取り上げられ、生物学の哲学では、生物種とその分類にまつわる問題が扱われ、心理学の哲学では、モジュール仮説 (心は機能特化した無数のモジュールの集合体からなるとの見方) の妥当性が検討を加えられる、という具合である。このことは「新版」でも変わらない。

ところが、一見して気づくように、ここには物理学と生物学、そして心理学はあるのに、どういうわけか化学はない。個別科学のひとつとしての化学の広範な重要性を考慮すると、これはいささか不思議なことに思える。化学は、物理学・天文学に次いで科学革命の起こった知的フィールドであり、現在も基礎科学の一分野として盛んに研究が進んでいるし、その応用先も農業やエネルギー、医学・薬学をはじめとして、人間の生活と社会の隅々に及んでいるからである。それでも、先のオカーシャ著に限らず、科学哲学の概説書や入門書で化学が題材として大きく扱われることは、通常なかなかなることではない。まして日本語での科学哲学関連の一般的な文献となると、そもそも化学について主題的に扱われる機会がめったにないといつてよい (ただし、落合洋文氏の『哲学は化学を挑発する』<sup>(3)</sup> という例外があるのだが、これについては後で触れることにしたい)。加えて、物理学の哲学や生物学の哲学については、それを単独の主題とする書籍が国内には多々ある。

こうした状況は、「化学の哲学 (philosophy of chemistry)」が個別科学の哲学の一分野として確立されるに至ったのが比較的最近のことである——1990年代に誕生し2010年代以降にはとくに急速な発展を見せている——という事情を部分的に反映している。そのせいで、科学哲学を専門としない方々にとっては、国の内外を問わず、化学の哲学とはどのような分野なのかを——

そもそもの分野の存在すら——把握するのが難しくなっている。

では、個別科学の哲学としての化学の哲学とはどのような分野なのか。化学の哲学について簡単に紹介し、私なりのコメントを交えながら、読者に資すると思われる情報を提供する、というのが本稿の目的にほかならない。国内への紹介という意味では、既存の邦語文献にもできるだけ触れるようにしよう。<sup>(4)</sup>

とはいえ、化学の哲学の全貌を網羅的に扱うことはもとより不可能なので、実際にはある程度テーマを——たとえば「自然種 (natural kind) に関連する話題を中心に——絞らざるをえない面も出てくる。しかし、その結果として、この分野の感触だけでも伝えることができれば、私の望みは十分になったことになる。なお、先述した落合著の内容と私の関心とでは重心が若干異なっており、幸いにもそこで中心的な扱いを受けていない論点を私は以下で取り上げることができる、ということをおきたい (落合著には第3節の末尾であらためて言及する)。

#### 2. 化学と (科学) 哲学の歴史

ある分野の特徴を述べるやり方のひとつは、その歴史について説明するというものである。まずは、近年になって確立された分野としての化学の哲学に先立って、化学と哲学の一般的な関係に関する概略的な歴史叙述から始めることにしよう。<sup>(5)</sup>

物質の本性と変化の探究としての化学は、歴史的には長らく哲学と一体的に結びついてきた。17世紀に生じた科学革命以前には、西洋では古代ギリシア以来のアリストテレス哲学にもとづく世界観が支配的であったが、それはエンペドクレスの四元素説を踏襲したものであった。すなわち、万物は空気・土・火・水の四元素からなり、それらの混合と離散によって物質の変化は説明される、というのである。アリストテレス自身はさらに、この四元素を生み出し、万物を成立せしめる「第一質料」なるものがあると主張した。<sup>(6)</sup> 現代であれば化学に分類されるアリストテレスの研究は、『生成消滅論』と『気象論』にまとまった分量で、また『自然学』と『天体論』の一部分で、確認することができる。

また、こうした主流派とは別に、やはり哲学の源流付近においては、デモクリトスらによって原子論が唱えられている。それ以上分割できない物体である原子 (および空虚) の配置や結びつきによって万物の成立と変化を捉えようとする原子論は、哲学の歴史を通じて伏流として存在し続け (ヘレニズム期にはエピクロス派によって採用されていた)、やがて18世紀に

ドルトンやラヴォアジエらによって復権を遂げることになる。このように、哲学史においては、現代の化学でも用いられる「元素」や「原子」といった基礎的な概念がすでに登場し、哲学的なアイデアを表現するための重要な役割を果たしている。もっとも、そこにはやはり、科学革命以降の化学には見られない特徴も色濃く存在する。ヴァネッサ・A・セイファートが述べているように<sup>(7)</sup>、物質の本性と変化に関する問いが、惑星の運行、人生の意味、宇宙の始まり、魂の本性、事物の根源的カテゴリー、などにまつわる問いと絡み合っていたのである。すなわち、哲学（とりわけ形而上学）と化学をはじめとするサイエンスは、別々の探究分野ではなく、世界とそこの中における人間の位置についての統一された企てを形成していたのだ。錬金術——貴金属の錬成が同時に術者の魂を向上させる過程でもあるとする——などはその代表例である。

時代を一気に科学革命以降に進めると、ドイツ観念論のカントからヘーゲルへと連なる系譜（18世紀から19世紀）や、20世紀フランスの科学認識論（エピステモロジー）を代表するガストン・バシュラールやピエール・デュエムの名前などが、化学と哲学の接点として挙げられる。<sup>(8)</sup>しかし、現代の化学の哲学が最も深く関係するのは、20世紀初頭のウィーンで始まった論理実証主義に由来し、戦後は主として英語圏で発展した、こんにち「科学哲学」といえば通常はそれを指す分野ないしは潮流である。<sup>(9)</sup>

残念ながら、論理実証主義の初期から20世紀末までの長期にわたり、科学哲学において化学はおよそ一貫して軽く扱われ続けたといつてよい。現在の化学の哲学にきわめて初期の段階から貢献しているヤープ・ファン・ブラケルは、この事態を端的に「無視（neglect）」と表現しているほどだ。<sup>(10)</sup>これは、ひとつには科学哲学における物理学偏重のためである。論理実証主義以降の科学哲学が、そもそも相対論や量子論の出現が引き起こした哲学的困惑を起源としているだけに、この偏重には致し方ない面もあるだろう。あるいは、科学理論の論理的な構造が主たる関心の的であったために、化学で重要な実験や観察といった実践が軽視されがちだったことも関係するかもしれない。

物理学の次に科学哲学が向かった個別科学は生物学である。20世紀後半になると生物学の哲学は隆盛を迎え、それが現在も継続している。ここでは化学がスキップされているとの印象を思わず抱いてしまうけれども、遺伝学や分子生物学の著しい発展という背景に加えて、むしろ化学よりも物理学との著しい対照が見られることが生物学に注目が集まった一因だろう、と私は推量する。物理学に見られるような普遍的な自然法則は生命現象に関しては成り立たず、そこに見出されるのは例外の多いラフな一般化や歴史的な偶然のもとで成り立つメカニズムでしかない、と捉えられがちだからである。物理学とのその手の際立った相違は化学には見出しがたいように思われたため（しかし現在では化学における法則とは何かが問われるようになっていくが）、あえて化学を哲学的考察の俎上に載せる機運はなかなか高まらなかったのではないだろうか。<sup>(11)</sup>

もっとも、個別科学としての化学が対象というわけではないにせよ、化学に関連するトピックが科学哲学で扱われるケースがなかったわけではない。読者の中には、科学哲学といえど何といてもトマス・S・クーンのパラダイム論を想起する方もいるかもしれないが、まさにクーンの『科学革命

の構造』はそうした例である。<sup>(12)</sup>ここでは、燃焼の理論としてのフロギストン説の放棄と酸素説の確立に向かう抜本的な転換や、親和力にもとづく物質の構成や溶解に関する理論<sup>(13)</sup>が廃れていく過程が、革命と呼ぶべき世界観の変化として論じられている。フロギストン説とは、物質の燃焼は、その物質に含まれるフロギストンという元素が放出されることであるとする理論のことである。

また、クーンの衣鉢を継ぐイアン・ハッキングは、その『表現と介入』の中で、やはりフロギストンを扱っているほか、わずかながら酸にも触れている。<sup>(14)</sup>他にも、物理学と化学にまたがる対象ではあるが、原子やカロリック（熱の正体として想定された弾性流体で「熱素」とも呼ばれる）などが、個別科学を主題とするのではない一般的な科学哲学では検討の素材として取り上げられてきた。<sup>(15)</sup>いずれも、現代の化学の哲学においても、重要なトピックとして引き継がれているものである。

また、科学哲学とも関係が深く、同じく20世紀後半の英語圏で発達した分析哲学でも、語の指示や事物の本質についての言語哲学・形而上学などの領域で、元素や化合物が登場する。金や水がその代表的な例で、ときに奇抜な思考実験を伴ったが、現代の化学の哲学ではそれらをめぐる議論にいつそう丹念な検討が加えられるようになっていく。詳しくは本稿の後半で説明することにしよう。

こうした歴史を経ながら、化学の哲学はひとつの独立した分野として徐々に確立されていく。先ほども出てきたファン・ブラケルは、化学の哲学の誕生は、第1回の化学の哲学国際会議がロンドンで開催された1994年のことだとしており<sup>(16)</sup>、これ以降、*Hyle*などの専門のジャーナルも創刊され、また論文集<sup>(17)</sup>もいくつか刊行されていく。2000年代には、エリック・R・セリ（周期表に関する著作が邦訳されている<sup>(18)</sup>）、マイケル・ワイスバーグ、ロビン・F・ヘンドリー、ポール・ニーダムといった、化学の哲学をいまも牽引する人物たちの活躍が目立つようになる。さらに近年の2010年代以降になると、スタシス・シロスのように科学一般についての哲学——とりわけ科学的事実論の研究——で名を馳せた科学哲学者や、現代形而上学の研究者で著書が邦訳されているトウオマス・E・タフコなどもこの分野に参入している。<sup>(19)</sup>このように、化学の哲学は、今世紀に入ってようやくはじめての活況を呈するに至った、といつて差し支えないだろう。

### 3. 化学の哲学の基本問題

では、確立された分野としての化学の哲学では、どのような問題が論じられているのだろうか。ワイスバーグとニーダムの整理を借りれば、化学の哲学には大きく次のふたつのテーマがある。<sup>(20)</sup>

- (1) 化学における一般的な科学哲学上の問題：化学という文脈で、实在論、還元、説明、確証、モデル構築などについて探究する。それを通じて、たとえば、化学者の用いる方法と物理学や生物学や社会科学の方法に、どのような興味深い相違があるのかが明らかになる。
- (2) 化学特有の概念的な問題：化学そのものの中で生じる概念的に込み入った問題を分析する。元素や物質の本性、化学結合、分子構造、物理学と化学の関係、などが論点となる。

上記の整理は2010年の論文にもとづいているけれども、現在でもその大枠は依然として有効である。本稿ではこの二大テーマの内容をすべて扱う余裕はないが、本節では哲学一般の古典的な分類に即した、私なりの位置づけと補足をしていきたい。ただし、本稿の目的に照らし、それぞれについて深入りすることは避けよう。

まず、(1)における实在論や還元は、化学における「形而上学」の問題として捉えることができる。<sup>(21)</sup> 形而上学では、この世界は根本的には何によって成り立っているかを問う。したがって、原子についてのボルツマンの实在論とマッハの反实在論の対立は、典型的に形而上学の問題をめぐる論争である。すなわち、原子のような観察不可能な対象は、果たしてこの世界の中に実際に存在するのか、それとも単に理論の中で道具として働く虚構にすぎないのか、と。類似の問いは化学結合などについても立てることができるので、实在論は(2)における論点を具体的な題材として検討される——それが化学の哲学の固有の特徴ともなっている。

形而上学の問題としてのここでの還元は、酸化還元反応の還元ではなく、もっぱら化学が物理学に還元できるかに関わっている。<sup>(22)</sup> たとえば、原子や分子、あるいはそうした対象の化学的な性質、化学結合のような現象は、量子物理学で扱われる対象やその相互作用の産物にすぎないのか、というのが還元の問題である。ここでは(1)の問題を(2)の具体的な論点に定位して検討することができる。還元ができなければ、化学の対象や性質には「創発(emergence)」という観点から捉えられなければならない——物理学だけでは説明尽くせない——面が存在することになる。<sup>(23)</sup> なお、こうした還元の話とはさしあたり別に、還元反応そのものを(2)で扱うことは可能であろう。

形而上学的な問題としては、ここまで出てきたもの以外に、周期表は何らかの自然法則を捉えているのか、そもそも化学における自然法則とは何か(物理法則とはどのような関係にあるのか)、化学反応は因果関係の一種なのか、などの問いを挙げることができる。そのうちで最も重要なのは、金や水は(どのような)自然種かという問いであり、実際には(2)の元素や物質の本性や分子構造に関する議論に直結するのだが、これについては次節で詳しく説明しよう。

次に、(1)の説明や確証、モデル構築といったトピックは、「認識論」や「方法論」の問題として位置づけることができる。おおまかにいえば、認識論とは、知識とは何であり、われわれは世界をどのように認識しているのかについての考察であり、方法論とは、知識や真理に達するためにはいかなる手立てを用いるべきかを特定しようとする試みである。

具体例のひとつは、20世紀初めにフランスのジャン・ペランが、原子と分子が実在することの経験的証拠を提出した際に、どのような説明や推論が行われたのかを検討するというものである。ブラウン運動に関するさまざまな実験手法を通じて導き出されたアヴォガドロ数の計算結果が一致することから、ペランは原子のような観察不可能な対象がこの世界に実在することを確証したとされる。これは形而上学ないし实在論の問題とも深く関連する事例だが<sup>(24)</sup>、ここではたとえば、ペランが用いた推論の種類や信頼性などが問われることになる——その推論は、ある種の「アブダクション」ないし「最良の説明への推論」と

いってよいのか、競合する他の仮説をどのような根拠から排除したのか、などなど。同時に、そうした推論が信頼できること自体を保証する(「メタ正当化」といわれる)試みも、化学に限らず科学一般に関する問題として取り込まれることになる。

また、とくに説明に関しては、化学におけるメカニズムによる説明が、(1)と(2)にまたがる論点となっている。<sup>(25)</sup> メカニズムによる説明とは、扱う対象や現象やプロセスを、その構成要素や要素間の相互作用から説明するものであり、生物学の哲学を中心に議論の蓄積が進んできた。化学の場合、たとえば化学反応の機序について、反応の前後で物質の構造や荷電状態がどのように変化するかを描き出すことで、メカニズムによる説明がなされる。これもまた科学における説明とは何であるかの考察の題材を提供すると同時に、そもそも化学結合や分子構造とは何なのかという化学における概念的な問題を提起する。

あるいは、科学哲学におけるモデルへの関心の高まりに照らすと、化学におけるモデルの構築や使用が興味深いトピックとなることもごく自然である。<sup>(26)</sup> 構造式や反応式、ワトソンとクリックによるDNAの二重らせん構造の発見を導いた分子模型、といった具象物のモデルに加えて、分子内の各電子のふるまいを波動関数として記述する分子軌道や、高校でも習う気体の状態方程式などの数理モデルが、化学では研究にも教育にも盛んに用いられる。モデルと理論の関係や、モデルが説明や理解<sup>(27)</sup>に果たす役割が、化学に登場する具体例とともに検討される、というわけである。

最後に、「意味論」に属する問題に手短かに触れておこう。主としてこれは、化学で用いられる語——「元素」「原子」「化合物」「酸」「高分子」「化学結合」「分子構造」——が何を意味しているのか、という問いに関わっている。検討のほとんどは「指示(reference)」にまつわる問題であり、たとえば「原子」という語は何を指すのか(つまりその語の指示対象は何か)、そしてどのようなメカニズムでその対象を指示しているのか、という問題に費やされる。

もしかすると、「原子」の語の指示対象が、水素原子や酸素原子といった原子の集合であるのはいままでのことではないか、と思われるかもしれない。けれども、それではデモクリトスの時代における「原子」は何を指示していたと考えるべきなのかとか、いつから「原子」の語は現代的な意味を備えるようになったのか、といった疑問はおかしなものではない。「元素」についても同様の問いが立てられるだろう。ヘンドリーは指示と分類を主題とする論文の冒頭で「たとえば、アリストテレスは誤って水は元素だと思っていた、とわれわれは本当に述べてよいのか」との問いを投げかけているが<sup>(28)</sup>、そのポイントはまさに「元素」(そして「水」)という語の意味ないしは指示対象が古代と現代とで同じなのかにある。

哲学者の関心を引くのは、「フロギストン」のように、科学の歴史を通じて消去されるに至った語の指示をめぐる問題である——その指示対象は端的に「無」なのか、それとも何らかの意味で酸素を指示していたと見えず余地はあるのか、というように。語の意味は、世界の側の指示対象よりも、その語が含まれる理論の内部でほかの語とどのようなネットワークを形成しているかによって決まるとの見方もあり、とりわけ科学革命のような抜本的な理論の転換を通じての意味論的な

性質の変化をどう捉えるかは——これはクーンの設定した問題でもあるが——化学の哲学でも重要な課題となっている。

以上には、第1節で言及した落合著で扱われている論点もあるので、あらためて当該書に触れて本節を終えよう。元素や原子にまつわる概念的な問題、化学結合の実在性、化学と物理との関係や還元の可能性、電子軌道の数理モデルをはじめとするモデルの解釈、化学における推論（アブダクション）と知識、などがそうした論点の例である。他方で、理想気体に見るバイアスの混入やアフォーダンスとしての化学的な性質といった、著者独自の観点が光る話題もあり、それがこの書に個性を与えているといえるだろう。

#### 4. 化学の対象は（どのような）自然種か——微視的本質主義は成り立つか

この節では、化学における「自然種」をめぐる問いを扱いたい。前節で確認した論点がひととき集約的に現れるから、というのがその理由である。自然種とは、人間がそれをどう認識・分類しているのかとは無関係に、世界つまり自然の側で独立したグループとしてまとまっている事物の集合のことをいう。電子やニュートリノといった素粒子、ツチブタやラフレシアなどの生物種が自然種の典型例である。化学については、金やアルミニウムなどの元素、水や黄鉄鉱といった化合物、ヘモグロビンのような高分子などが自然種の例として挙げられ、「化学種(chemical kind)」という表現も用いられる。

自然種は、化学の哲学のみならず、広く科学哲学全体においてもきわめて重要な概念である。というのも、世界が科学によって探究・解明できるのはなぜかという根本問題に関わっているからである。あるアルミニウム片が、特定の色や光沢、融点や熱伝導率をもつことが説明できたり、酸を加えるとどのような反応が生じるのかが予測できたりするのは、それがアルミニウムという自然種に属するサンプルだからにほかならない。要するに、世界のある部分を自然種として把握・分類していることが、現象の説明と予測という科学の主たる目標と密接に結びついている、と考えられるのである。ここには、「世界はどのように成り立っているのか」という形而上学上の問いと、「世界についての知識はどのようにして得られているのか」という認識論上の問いに対して、「世界は（少なくともその重要な部分が）自然種から構成されており、自然種について知ることがまさに世界についての科学的知識を可能にしてくれる」という解答の方向が可能であることが見てとれるだろう。

自然種一般についてはこれくらいにして<sup>(29)</sup>、化学の哲学に固有の仕方でも議論になる点に話を進めよう。ここでは、金などの元素、水のような化合物、そしてヘモグロビンなどの高分子、の三つを取り上げるが、共通するのは「微視的本質主義(microessentialism)」というキーワードである。

##### 4.1 元素

元素の概念そのものは古代からあるが、以下で扱うのは「化学的元素(chemical element)」、すなわち「化学的分析によってはそれ以上分解できないもの」というラヴォアジエ以降の定義にもとづく元素である。哲学では、元素は自然種の最も典型的な事例とされるが、これには化学の哲学での議論に先

立つ分析哲学での扱いの影響も少なくない。ソール・A・クリプキが1970年に行った講義にもとづく『名指しと必然性』の次の箇所を見てみよう。

金の原子番号が実際に79であると認められたとすれば、原子番号79でないものが金でありうるだろうか。科学者が金の本性を調べ上げて、原子番号79をもつことが、いわば、この物質のまさに本性の一部であることを発見したとしよう。そこで、われわれが最初に金を同定するために使ったすべての性質と、その後発見された付加的な性質の多くをもった、何か別の黄色い金属あるいは何か別の黄色い事物を見つけたとしよう。もともとこの性質の多くを備えたものの例は黄鉄鉱である。前に述べたように、われわれはこの物質を金とはいわないであろう。<sup>(30)</sup>

この後には可能世界を用いた議論が続くが、何よりも重要なポイントは、金という元素は原子番号79であるというその本性によって必然的に金である、という形而上学的な主張である。ここでいう「本性(nature)」は「本質(essence)」と読み替えて構わないものであり、元素をはじめとする自然種についての「本質主義(essentialism)」が表明されている。すなわち、この世界の中には、金のような元素を筆頭に、その本質によって他とは区別される固有のグループつまり自然種が、人間の関心(分類や認識)とは独立に存在する、と捉えるのである。なるほど、金の見た目は黄鉄鉱に似ているけれども、それでも原子番号79であるという金の本質——「必要十分条件」——によって、黄鉄鉱とはあくまでも別物として区別されねばならない。

こうした本質主義の見方は、意味論上の見解とも結びつくことになる。「金」という語が、黄鉄鉱ではなくまさに金を指示するのはなぜか。クリプキの細かい議論は省略するが、表面的な性質のみでときに誤って黄鉄鉱を「金」と呼んでしまうことがあっても、その語は世界の側にある金という対象を変わず指示し続けてくれる。それはひとえに、金だけがその奥に79個の陽子からなる原子核を中心とする構造を有しており、そうした本質を備えた自然種として存在しているおかげなのである。

ここから示唆されるのは、この本質主義が化学の哲学で「微視的本質主義」と呼ばれるタイプのものだということだ。金の本質は、表面に現れる黄色い光沢のようなマクロ(巨視的)な性質ではなく、原子レベルの微視的な内部構造にほかならない。金の色や光沢、展性や融点、熱伝導性といったさまざまな性質は、この微視的な構造に由来する、というのである。「微視的本質主義」はニーダムが批判的な立場から用いているが<sup>(31)</sup>、定訳があるわけではないので「ミクロ本質主義」と表記してもよい。実際のところ、同じ内容を表すのに、ヘンドリーは「微視的構造主義(microstructuralism)」を、セイファートは「微視的構造本質主義(microstructural essentialism)」をそれぞれ使っており、まだ用語が統一されていないとはいいたい。<sup>(32)</sup>

長らく分析哲学では、この微視的本質主義が自然種に関する本質主義のスタンダードだったが、化学の哲学でそれを元素に適用しようとするのに対しては、異論が提起されることになる。原子番号だけで元素の種を正しく同定できるわけではない事例があるように思われるからである。セイファート

トが整理・検討しているように、第一に同位体の存在、第二に単体の純物質を形づくる元素の原子の個数（物質のサイズ）が問題となる。<sup>(33)</sup>

水素には、原子番号すなわち原子核中の陽子数は同じでも、中性子数は異なる重水素やトリチウム（三重水素）があり、有毒性や沸点、密度などの性質もそれぞれ違う。原子番号だけで同じ元素と見なせるのだとすると、同じ水素に属するはずなのに、互いに異なる性質が観察されるサンプルが含まれてしまうことになるのである。だが、それは複数の異なる自然種をひとつの自然種に押し込めているにすぎないのではないか。この問題にヘンドリーはおおよそこう応答している。<sup>(34)</sup> 一般に、ある元素の質量数（陽子数と中性子数の和）の相違がもたらす影響は、その原子量が増えるほど急激に減少する。その中で、原子量が小さい水素は、同位体の影響が例外的に大きい極端なケースにすぎず、原子番号（陽子数）が同じなら同位体も含めて同じ元素と見なす、という現在の分類実践を揺るがすものではない、と。<sup>(35)</sup>

同位体の事例よりも興味深いのが、単体の純物質を構成する原子の個数（物質のサイズ）にまつわる問題である。たとえば、通常の大さの金の塊は黄色く光沢があるが、ナノスケールの「金コロイド」になると黒か赤色、という具合に観察可能な相違が生じる。ナノスケールの物質の状態や構造は物理的に不安定なので、化学反応性などの化学的性質の差もはっきりと出てくる。ここから、原子番号にもとづく微視的本質主義を捨てて、化学反応性という巨視的な性質をベースに元素を自然種として捉えるべきだと提案もなされている。<sup>(36)</sup>

セイファート自身はこれについて、微視的本質主義の放棄ではなくあくまでもその改訂を主張する。たとえば原子番号だけでなく、中性子や電子に関わる性質・構造や、それらの配置・幾何学的構造などの関係的な性質も含めて、微視的な構造と捉えるべきではないか、というのである。一方で、自然種を特徴づけるのに関係的な性質を持ち出すのは許されない、とする厳格な自然種観に立つ論者もいる。自然種としての元素とその本質をめぐるこうした議論はまだ継続中だが、次に見るように、微視的本質主義は化合物についても同程度に（あるいはそれ以上に）ホットなテーマとなっている。

#### 4.2 化合物——水はH<sub>2</sub>Oか？

ヒラリー・パトナムは、クリプキと並ぶ分析哲学上の重要人物の一人だが、クリプキとほぼ同時期に、自然種について似たような微視的本質主義（およびそれと結びついた形而上学的・意味論的な見解）を唱えている。クリプキが金つまり元素を事例に使ったのに対し、パトナムが引き合いに出すのは、水素原子ふたつと酸素原子からなる化合物、すなわち水である。

水についてのパトナムの議論は、悪名高い「双子地球」の思考実験によってよく知られている。<sup>(37)</sup> 地球とそっくりの双子地球では、海や川や湖は水とそっくりの液体に満たされているが、それは色や透明性や臭いといった表面的な性質に限ったことであって、水に似たその液体の微視的な構造は、H<sub>2</sub>Oではなく、きわめて複雑な構造をしている（そのため「XYZ」という省略表現が用いられる）。パトナムの議論の詳細や奇想天外な思考実験を援用すること自体の方法論的な是非<sup>(38)</sup>につ

いてはスキップするが、要するに水のような化合物の本質も微視的な構造——水の場合はH<sub>2</sub>Oであること——として捉えられる、という点をここでは押さえておきたい。

水もまた分析哲学ならびに科学哲学では自然種の典型例と見なされてきたが、化学の哲学での微視的本質主義をめぐる議論は、ほかならぬ水を焦点のひとつとしている。とりわけニーダムによる一連の論文は、それを通じて論争を惹起しており、大きな注目に値する。<sup>(39)</sup> ニーダムの主張のポイントは、「これぞ水の本質」といえるような唯一の固定的な構造や性質などないこと、そして水の同定（あるサンプルが水という自然種に属するかどうかの判定）は巨視的な性質によって行われうることである。ごく簡単に述べると以下ようになるが、いずれも熱学的な視点が導入されている。

水はどんな熱学的な条件にあるかに応じて、個々の水分子（H<sub>2</sub>O）の状態や分子の相互作用の仕方がある程度まで変化する。気相・液相・固相のどれかによって、分子内の水素原子と酸素原子の結合の長さ、ふたつのOH結合が作る角度、そして分子同士が互いに及ぼし合う影響は、それぞれ変動するし、液相では水分子自体も、H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>イオンとOH<sup>-</sup>イオンのふたつの状態を行き来する。あるいは水分子どうしが水素結合によって連鎖し、大きな分子のような状態を形成したりする点で、水の液体には——あくまでもニーダムの見立てであり極端な印象を受けるけれども——混合物として捉えてもよい面もある。したがって、水はその微視的な構造や状態によって水に分類されると考えるべきではない、とニーダムは主張する。そして、むしろ巨視的な性質である三重点の方が、水を水として同定可能にするという。ニーダムのこうした見解は、自然種かどうかに限らず、そもそも何かが同じ物質といえるための条件は何か、という哲学的に興味深い問題に関わるものだ。

ニーダムの主張に対してはヘンドリーなどから反論がなされており、そうした応酬を中心に水についての議論は現在も活発に続いている。<sup>(40)</sup> たとえば、元素をめぐる議論との関連でいえば、水素には重水素やトリチウムのような同位体があるため、水という自然種はそうした同位体を含む重水やトリチウム水を含むのか、といった問題が生じる。また、日常的に「水」と呼ばれている液体のほとんどが純物質ではない一方で、「お茶」は大部分が水であるのに「水」とは呼ばれないといった事実について、意味論的な検討を加えることも可能である。さらに、ニーダムが提唱する、三重点のような巨視的な性質のみで物質を同定する基準では、水分子ひとつだけでは水とは見なせなくなるし、何より「水をほかならぬ水たらしめる本質」に相当するものが三重点だというのは直観的には受け入れがたい。

他には、水に限らない化合物全般については、分子式は等しいけれども各原子の配置が異なっている異性体が存在するケースもあり（エタノールとジメチルエーテルなど）、それについても化合物の本質となる「微視的な構造」とはどの範囲まで及ぶのか、という問いが提起されることになる。この点は、次に扱う機能種をめぐる問題とも関連が深い。

#### 4.3 高分子——機能種としての

化合物の中には、微視的な構造ではなく、それが果たす機能によって何らかの種として同定されるものもある。そう

した種を「自然種」と呼んでよいかについては別途問題になるが、一般に「機能種 (functional kind)」というカテゴリーでまとめられるものである。ここでいう機能には、化学的なものも生物学的なものも含まれる。アルコール、カルボン酸、アミン、ケトンなどは、化学的な機能 (官能基) にもとづくグループの例であるが、微視的本質主義をめぐる議論にとって興味深いのは、生物学的な機能にもとづく高分子の分類である。たとえば、タンパク質、核酸、ビタミンなど、生理学的なプロセスに登場する高分子がこのグループには属している (「生化学種 (biochemical kind)」という呼称が用いられることもある)。

機能種としての高分子については、現在の形で化学の哲学が確立する以前にもちらほらと言及が見受けられる。1990年代のダニエル・C・デネットの著作には、心の哲学における機能主義を説明する流れに置かれた次のような一節がある。

重要なタンパク質であるリソチームの化学的な変種は100種類以上ある。そのすべてをリソチームとして一括するのは、どれもリソチームとしての価値をもっているから、つまりリソチームにできることができるからである。変種同士は、ほぼどんな目的においても互換性がある。<sup>(41)</sup>

心の諸機能は、人間の脳でもシリコン製のコンピュータでも素材を問わず実現できる、というのが機能主義の基本的主張であるが、デネットはそれをリソチームという機能種のあり方を引き合いに出して説明するわけだ。あるいは、自然種に関して重要な成果を残しているクロフォード・L・エルダーという哲学者は、やはり90年代の論文中で以下のような問題提起を行っている。

はじめの分類では単一の自然種と思われたものが、あとから複数の異なる種であるということが判明することもある。たとえば、ビタミンBは、リボフラビンや葉酸やそのほか13の物質であるということが判明した。さて、なおも「ビタミンB」は単一の自然種といえるだろうか。<sup>(42)</sup>

こうした問題意識は現代の化学の哲学でも共有されており、結局のところそれは、機能種としての高分子をその微視的な構造だけで (自然種として) 捉えることはできないのではないか、という疑問に帰着する。たとえばヘモグロビンは、生体内で酸素を捉えて放出する機能を有する高分子のグループのことだが、その微視的な構造はさまざまに異なっており、ヒトのヘモグロビンには1,000を超えるヴァリエントが存在する。蛍光タンパク質もまた同様に、微視的な構造は多様ではあるけれども、光を照射されると蛍光を発するという共通の働きによってひとつの機能種として括られる。<sup>(43)</sup> およそ機能は微視的な構造によらない「多型的に実現可能」なものであるがゆえに、こうした機能種の例は微視的本質主義を掘り崩してしまうように思われるのである。

これに対する応答もいくつかあるが、ここではセイファートの整理を借りて簡単に触れるにとどめたい。<sup>(44)</sup> 一方では、自然種についての多元主義をとるべきだという方向が採られる。自然種には、微視的な構造を本質とするものだけでなく、

機能にもとづいて分類されるものなども含めてよい。または、化学種と生物学的な種というふたつのタイプの種が存在し、互いに互いの一部を包摂する関係にあるが、生化学種という中間的な自然種があるわけではない、などとする。

他方では、微視的本質主義を維持する試みがなされる。たとえば、微視的な構造と機能の両方でどの種であるかが決定される自然種の存在を認め、まさに高分子のような生化学種はそれに当たると捉える。あるいは、機能よりも微視的な構造の方が根元的な役割を担っているものと見なし、そこから機能種としての高分子についても微視的本質主義が成り立つと論じる。すなわち、全体としての微視的な構造はさまざまでも、高分子をひとつの機能種として括る際に基準とする機能そのものは、結局のところ何らかの共通する微視的な構造や性質によって支えられていると考える、といった方向である。

こうした応答には、1970年代の分析哲学由来のスタンダードな自然種の概念そのものを改訂することを要請するものも少なくない。それは化学における具体的な事例に即した検討が、哲学上の重要概念に深化や変革をもたらす可能性を示すものである。ともすれば思弁にふけりがちな哲学の議論に、化学の豊かな資源を使って新たな活力を与える——化学の哲学の醍醐味は、ひとつにはこうした点にあるのではないだろうか。<sup>(45)</sup>

以上、この節では化学の対象を自然種という点から見てきたが、こうした議論のもつ科学哲学上の意義についても簡単に述べておこう。それは何よりもまず、人間の知的営為としての科学によって把握可能な世界は、どのような要素から構成されているのか、という大きな問いに一定の解答を与えることに存する。すなわち、この世界のある部分は、元素や化合物といった自然種から構成されており、またそれによって区切られる構造を有しているのだ、と。この見方のもとでは、化学という営みは、そうした要素や構造の本性或変化を扱う探究として位置づけられることになる。

## 5. おわりに

本稿では主に科学哲学としての化学の哲学に焦点を当ててきたが、最後に締めくくりとして射程を広げ、現代の哲学一般の関心事と化学とのつながりに少しだけ触れておきたい。それは、ウィルフリド・S・セラーズの議論に由来する、「日常的な像 (manifest image)」と「科学的な像 (scientific image)」というふたつの世界像の関係の解明と、それらの一つのヴィジョンへの融合という哲学上のプロジェクトである。<sup>(46)</sup> 日常的な世界像では目の前に白い机があっても、科学的な世界像では微視的な無色の粒子の集合体にすぎず、机としては存在しない。前者では怒りや悲しみのような人間の心の動きが語られるが、後者に登場するのはニューロンの活動や神経ホルモンの濃度などである。このように、しばしばこのふたつの像は著しい対照をなすため、哲学では何らかの調停を目指すことになる。

それでは、水はどうだろう。われわれが普段から飲み、入浴時に浸かり、空から雨として降ってくる、無味無臭で透明なあの液体は、日常的な世界像にももちろん位置している。しかし、無数のH<sub>2</sub>Oからなり、分子間の水素結合のおかげで異常に高い沸点をもつという、科学的な世界像に登場する例の物質もまた、紛れもなく水であろう。水は、何らかの意味で、ふたつの像を

またいで存在しているのだ。同じことが、水に限らず、塩や糖、衣服に使われる高分子の繊維、貨幣やアクセサリに含まれる金属、燃焼や溶解のような現象、薬や化粧品、電池、ゴム、肥料……といった身近な事例にも当てはまるだろう。

このように、化学の対象は、しばしば日常的な世界像と科学的な世界像の接合部分に見出されるように思われる——だが、それはいかにしてなのか、十分な検討はまだなされていない。本稿で紹介してきたように、化学の哲学は、科学哲学の一領域として、取り組むに値する興味深い固有の問題を提供してくれる。しかし、それだけにとどまらず、ふたつの像の関係の解明と融合という現代哲学におけるひときわ重要な課題に対しても、化学の哲学からのアプローチが豊かな実りをもたらすものと見込まれるのである。化学の哲学には有望な将来が開かれている。

## 注

- (1) サミール・オカーシャ『1冊でわかる 科学哲学』、廣瀬覚識、岩波書店、2008年。
- (2) サミール・オカーシャ『哲学がわかる 科学哲学（新版）』、廣瀬覚識、岩波書店、2023年。
- (3) 落合洋文『哲学は化学を挑発する——化学哲学入門』、化学同人、2023年。
- (4) 本稿で取り上げる邦語文献を検討するうえで、伊勢田哲治氏のウェブサイトの「科学哲学日本語ブックガイド」が有益であったことを記しておきたい（翻って、化学史については、膨大な邦語文献とそれに伴う分厚い研究の蓄積が国内にもある）。
- (5) 本稿が大きく負う以下の文献でも、化学の哲学とは何であるかを説き起こすうえで、アリストテレスの自然学を出発点に置いており、ここでもその記述を参照している。Weisberg, M., Needham, P. and Hendry, R. F. (2019). Philosophy of chemistry, in E. Zalta ed., *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*; Seifert, V. A. (2023). *Chemistry's Metaphysics*. Cambridge University Press. なお、化学に関連する哲学的思索は、歴史的には東アジアやアラビアなどにも見られるものだが、ここでは西洋哲学の流れのみを扱う。
- (6) 詳しくは以下を参照。高橋久一郎「アリストテレスの『第一質料』論——質料論序説」『哲学』、日本哲学会、第37号、118-128頁、1987年。
- (7) Seifert前掲書(注5)：1-2.
- (8) van Brakel, J. (2000). *Philosophy of Chemistry: Between the Manifest Image and the Scientific Image*. Leuven University Press: 7-17.
- (9) 論理実証主義の歴史的概観については（またフランスの科学認識論についても）以下を参照。飯田隆編『哲学の歴史 11 論理・数学・言語（20世紀Ⅱ：科学の世紀と哲学）』、中央公論新社、2007年。
- (10) van Brakel, J. (2014). Philosophy of science and philosophy of chemistry, *HYLE: International Journal for Philosophy of Chemistry*, 20: 11-57.
- (11) 他にも、認知科学の哲学や、経済学や社会科学の哲学なども20世紀中から活況を呈している分野だが、本稿では割愛して構わないだろう。認知科学の哲学については邦

語の入門書・概説書はいまのところ存在しないが、社会科学の哲学については幸い以下がある。吉田敬『社会科学の哲学入門』、勁草書房、2021年。

- (12) トマス・S・クーン『科学革命の構造（新版）』、イアン・ハッキング序説、青木薫訳、みすず書房、2023年。とくに第VI節・第VIII節・第X節などを見よ。
- (13) なじみのない読者のために、親和力にもとづく理論ではどのような説明をするかの例を補足しておこう。たとえば、銀が塊として存在するのは原子間に親和力が働いているからとか、銅が銀溶液に溶けて銀を沈殿させるのは銅と酸のペアの方が酸と銀のペアよりも親和力が大きいからだ、といった具合である。
- (14) イアン・ハッキング『表現と介入——科学哲学入門』渡辺博識、筑摩書房、ちくま学芸文庫、2015年。フロギストンはさまざまな箇所に出てくるが、酸については第6章にまとまった検討がある（ただし科学哲学の文脈というよりも、本稿の第4節で触れる、指示に関するパトナムの議論の批判という性格が色濃くというべきかもしれない）。
- (15) 国内の科学哲学者による研究書では、たとえば下記の第4章がカロリック（熱素）をめぐる議論の検討に当てられている。戸田山和久『科学的実在論を擁護する』、名古屋大学出版会、2015年。
- (16) van Brakel（注6）：38.
- (17) セリが編者を務めているものとしては以下が挙げられる。Scerri, E. and McIntire, L. eds. (2015). *Philosophy of Chemistry: Growth of a New Discipline*, Springer; Scerri, E. and Fisher, G. (2016). *Essays in the Philosophy of Chemistry*. Oxford University Press. ちなみに後者には、『科学論の展開——科学と呼ばれているのは何なのか？』（改訂新版、高田紀代氏・佐野正博訳、恒星社厚生閣、2013年）によって日本でもよく知られているアラン・F・チャルマーズも寄稿している。ロバート・ボイルの粒子説を扱ったその論文を含め、チャルマーズは化学の哲学でも業績を上げているのだ。
- (18) 化学の哲学というよりも化学史寄りの著作である。Scerri, E. R. 『周期表——成り立ちと思索』、馬淵久夫・富田功・古川路明・菅野等訳、科学史ライブラリー、朝倉書店、2009年。Scerri, E. R. 『周期表——いまも進化中』、渡辺正訳、サイエンス・パレット、丸善出版、2013年。後者は前者のダイジェスト版という性格である。
- (19) たとえば、以下がその例である。Psillos, S. (2011). Moving molecules above scientific horizon: On Perrin's case for realism, *Journal of General Philosophy of Science*, 42: 339-63; Tahko, T. E. (2020). Where do you get your protein? Or biochemical realization, *The British Journal for the Philosophy of Science*, 71 (3): 799-825.
- (20) Weisberg, M. and Needham, P. (2010). Matter, structure, and change: Aspects of the philosophy of chemistry, *Philosophy Compass*, 5 (10): 927-37.
- (21) Seifert前掲書(注5)は、化学の形而上学を主題とする近年の優れたモノグラフである。
- (22) ただし、化学内部での還元の問題として、物質はすべて分子に還元されると考えてよいか、といった問いも検討

- の対象となる。Weisbergら前掲(注5)の第6節を参照。
- (23) 化学における創発についてはヘンドリーによる以下の概観がある。Hendry, R. F. (2019) Emergence in chemistry: substance and structure, in S. Gibb, R. F. Hendry, and T. Lancaster eds., *The Routledge Handbook of Emergence*, Routledge. なお、下記は生命現象やその起源をめぐる考察であるが、第6章が水のような化合物も題材にした創発についての検討を含んでいる。クリストフ・マテラール『生命起源論の科学哲学——創発か、還元的説明か』、佐藤直樹訳、みすず書房、2013年。
- (24) Cf. Seifert前掲書(注5)：24-27. ちなみにペランの著作には邦訳が存在する。ジャン・ペラン『原子』、玉虫文一訳、岩波書店、岩波文庫、1978年。
- (25) Weisbergら前掲(注5)の第5節などを参照。
- (26) Weisbergら前掲(注5)の第7節などを参照。モデルを主題とする科学哲学については以下が重要な邦語文献である。マイケル・ワイスバーク『科学とモデル——シミュレーションの哲学入門』、名古屋大学出版会、2017年。
- (27) 理解もまた現代の科学哲学ではホットな論点になっているが、とくに化学に関しては、非常に幸運なことに、われわれは次の邦語論文を参照することができる。野村聡「科学的理解の観点から見た有機電子論」『科学基礎論研究』、科学基礎論学会、50-1: 33-45頁、2022年。
- (28) Hendry, R. F. (2021) Science, the vernacular and the “qua” problem, in S. Biggs and H. Geirsson eds., *The Routledge Handbook of Linguistic Reference*, Routledge: 359.
- (29) 詳しくは以下の拙著を参照されたい。植原亮『実在論と知識の自然化——自然種の一般理論とその応用』、勁草書房、2013年。
- (30) ソール・A・クリプキ、八木沢敬・野家啓一訳『名指しと必然性——様相の形而上学と心身問題』、産業図書、1985年、146頁。
- (31) Needham, P. (2010). Microessentialism: What is the argument? *Noûs*, 45: 1-12.
- (32) Hendry, R. F. (2006). Elements, compounds, and other chemical kinds, *Philosophy of Science*, 73, pp. 864-75; (2014). Chemistry, in M. Curd and S. Psillos eds., *The Routledge Companion to Philosophy of Science*, second edition, Routledge; Seifert前掲書(注5).
- (33) Seifert前掲書(注5)：6-8.
- (34) 注32で挙げた文献(とくに2006)を参照。
- (35) セイファートはヘンドリーの議論をこのようにあっさりともまとめているが、実際にはそこからはさらにジョセフ・ラポルテによる意味論的不確定性にもとづく議論への応答が続いている。ラポルテの議論が見られる以下の書籍も化学の哲学ではしばしば参照されるものである。LaPorte, J. (2004), *Natural Kinds and Conceptual Change*, Cambridge University Press.
- (36) こうした議論や提案は以下に見られる(セイファートが明確に記していないナノスケールの金が「金コロイド」であることなども確認できる)。Bursten, J. R. (2014). Microstructure without essentialism: A new perspective on chemical classification, *Philosophy of Science*, 81 (4): 633-653.
- (37) とくに繰り返し引用される重要な論文が次の『「意味」の意味』である。Putnam, H. (1975). The meaning of ‘meaning.’ In his *Mind, Language, and Reality: Philosophical Papers*, vol. 2. Cambridge University Press. ちなみにパトナムの議論に対してはチョムスキーが反論を展開しており、日本語で読むことができる。ノーム・チョムスキー「言語と自然」『言語基礎論文集』、福井直樹編訳、岩波書店、2012年、所収。とくに第2節を参照。
- (38) 近年の実験哲学(experimental philosophy)では、パトナムの思考実験で提示される仮想的状況に対して下される直観的な判断が必ずしもすべての人に共有されるわけではない、との知見が示されている。Tobia, K. P., Newman, G. E., and Knobe, J. (2020). Water is and is not H<sub>2</sub>O, *Mind and Language*. 35-2: 183-208.
- (39) すでに注31で挙げた論文以外では、以下がそうした論文である。Needham, P. (2000). What is water? *Analysis*, 60 (1): 13-21; (2007). Macroscopic mixtures, *The Journal of Philosophy*, 104 (1): 26-52; (2017). Determining sameness of substance, *British Journal for the Philosophy of Science*, 68 (4): 953-979. またWeisbergら前掲(注5)：4.5およびSeifert前掲書(注5)：9-12の整理も参照。
- (40) 水を単一のテーマとする次の書もしばしば言及される。Chang, H. (2012) *Is Water H<sub>2</sub>O? Evidence, Realism and Pluralism*. Springer.
- (41) ダニエル・デネット『心はどこにあるのか』、土屋俊訳、草思社、1997年、125頁。
- (42) Elder, Crawford L. (1994). Higher and lower essential natures, *American Philosophical Quarterly*, 31 (3): 259.
- (43) ヘモグロビンと蛍光タンパク質はどちらもTahko前掲書(注19)で検討されている例である。なお、固定的な立体構造をもたないまま機能する天然変性タンパク質を題材に、多元主義を批判的に検討したものとして、以下の論文がある。Goodwin, W. (2011). Structure, function, and protein taxonomy, *Biology and Philosophy*, 26: 533-545.
- (44) Seifert前掲書(注5)：19-20.
- (45) 化学における自然種をめぐる議論に関して、本節で扱った以外に重要な事例はハッキングも触れている酸であり、近年は活発な議論がなされている。ブレンステッド酸とルイス酸をそれぞれ別々の自然種に分類するのか、それとも酸という単一の自然種にまとめてよいのか、という問いが議論の発端だが、種という分類のためのカテゴリーの自然性と人工性(人為性)を分ける基準は何かといった点にまで議論は及ぶ。Cf. Seifert前掲書(注5)：6-8.
- (46) 本稿の第2節でも出てきたファン・ブラケルの書籍の序文などを参照。セラーズ自身の議論は以下のとくに第1章に見られる。W・S・セラーズ『経験論と心の哲学』、神野慧一郎・土屋純一・中才敏郎訳、勁草書房、2006年。

発行日：2024年6月30日

Copyright © 2024 Society for Science and Technology



This article is licensed under a Creative Commons [Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International] license.



<https://doi.org/10.11425/sst.13.3>