

化学記号と指示のメカニズム——因果説と記述説を超えて
Chemical Symbols and the Mechanism of Reference: Beyond the Causal
Theory and Descriptivist Theory

肖天磊

Abstract

This paper investigates the philosophical mechanism by which chemical symbols (formulas, names) refer to chemical substances. We argue that chemical symbols pose a unique challenge to standard theories of reference. Two central paradoxes are identified: (1) According to the general understanding in chemistry, molecular formulas and other chemical formulas imply distinct referential pathways, yet their corresponding chemical names are treated, in the philosophy of language, as belonging to the same category of natural kind terms. (2) Although the names of chemical substances are regarded in classical philosophy as rigid designators under the causal theory (following Kripke and Putnam), but chemical practice exhibits different characteristics while using chemical symbols. Drawing on Evans' s case of "naming by rule," I argue that what is treated as a marginal issue in general debates on reference turns out to be the core mechanism in chemical naming. The paper concludes that neither the classical causal nor the descriptivist theory suffices to explain chemical reference, thereby calling for a revised theoretical framework.

(1) 研究テーマ

本研究は、化学式・構造式・元素記号といった化学的記号表現が、いかなる対象をいかなる様式で指示するのかを検討し、さらにそれらを化学名称の指示と対応づけながら、言語哲学と化学の実践の交差点において考察するものである。本稿の目的は、化学記号の指示機構が既存の言語哲学的枠組みにいかなる挑戦を突きつけるのか、そしてなぜ独立の哲学的分析を要するのかを明らかにすることにある。

化学の実践において、記号表現は化学的実在と我々の認識を媒介する不可欠の道具であるにもかかわらず、その「指示機能」の哲学的構造は化学哲学においてこれまで十分に検討されてこなかった。

本稿は、化学記号が「デジタル（離散的）」な言語体系として「名前」と同

様の指示作用を有することを指摘し、この観点を織り込むならば、標準的な指示理論に対して特有の課題を提起することを示す。具体的には、次の二つの核心的パラドクスを指摘する。

(1) 化学の一般的理解によれば、分子式(例: CO_2)とその他の化学式(例: Fe_3O_4 、 SiO_2 、 CH_3COONa)とでは、含意される指示経路が異なる(前者は「微視的分子から巨視的物質へ」、後者は「直接に巨視的物質を指示する」)。しかし、それらに対応する化学名称は、言語哲学においてはいずれも同一種の自然種名として扱われてきた。

(2) 化学物質名は典型的指示理論においては Kripke/Putnam に従う因果說的固定指示子と見なされてきたが、化学実践においては、化学名称それ自体も、また一定の規則に従って相互に「翻訳」可能な化学式も、少なからず記述主義的な性格を示す。Gareth Evans の「規則による命名」(naming-by-rule)の事例に依拠しつつ、この点が一般の指示理論では周縁的と見なされがちであるにもかかわらず、化学名称においては看過しえない中核的機構であることを論証する。

(2) 研究の背景・先行研究

化学記号表現の指示をめぐる哲学的議論は、主として以下の三領域において展開されてきた。

第一に、化学哲学における「化学物質の存在論」である。化学記号が指示する「化学物質」とは何であり、その同一性条件はいかなる水準(分子・結晶構造・相)において定立されるべきかが問われてきた(van Brakel, 2012)。また、元素概念の二義性に関する Paneth (1962)の古典的区別(basic substance / simple substance)は、元素記号の指示先を論じる際の理論的基盤をなしている。

第二に、言語哲学における指示理論である。Kripke (1980) および Putnam (1975) は、自然種名(例:「水」「トラ」)が、その名称が指す対象の微視的本質(例: H_2O)によって固定的に指示されるとする「指示の因果説(固定指示子の理論)」を提示した。「水は H_2O である」という有名な命題は、この理論の正当性を支える中心的論拠として扱われてきた。

第三に、化学記号の表象論である。ここでは、化学式(ベルツェリウス式から構造式に至るまで)が、その対象を「言語的」記号(arbitrary symbol)として指示するのか、それとも「図像的」記号(icon)として(類似性によって)表象するのかをめぐる、記号論的な論争が展開されてきた(Klein 2003, pp.23-35; Goodman 1976)。

しかしながら、これら三領域を相互に架橋し、指示理論の観点から、指示子としての化学記号が実際にどのように指示機能を果たしているのかを分析する試みは、いまだ十分とはいえない。本研究は、まさにこの理論的空白を埋めることを目的とするものである。

(3) 筆者の主張

本稿の主張は、化学記号表現の指示メカニズムを既存の言語哲学の枠組みの中で理解しようとするとき、二つの深刻なパラドックス—すなわち、核心的な哲学的問い—が立ち現れるという点にある。この二つのパラドックスを明確に提示し、その理論的含意を明らかにすることこそが、本研究の主要な貢献である。

3-1. 議論の前提：化学式は「言語」である

本論に入る前に、一つの潜在的な反論に先立って応答しておく必要がある。それは、「そもそも化学式は『言語（名詞）』ではなく、『図像的モデル（アナログ的ツール）』であり、名称の指示理論の分析対象とするのは不適切ではないか」という問いである。

確かに、構造式や立体化学式は、その視覚的側面から「具象的」あるいは「図像的 (iconic)」な記号と見なされてきた。それに対して、アルファベットを用いるベレツェリウス式（例： H_2O ）は「言語的」「論理的」記号として位置づけられ、この両者の間にはしばしば二元論的区分が想定されてきた。たとえば、ベレツェリウス式を「口頭化学の速記」にすぎないと断じ、空間構造を表現する図示的化学式こそが真の科学的「ツール」であるとする見解が挙げられている (Klein, 2003)。

しかしながら、このような二元論的区分は、記号論的観点—とりわけ Goodman (1976) の理論的枠組み—に立脚して分析するならば、もはや維持することは困難である。Goodman によれば、言語的システムと非言語的（図像的）システムを分かつ本質的差異は、C.S. Peirce が言うような対象との「類似性」ではなく、その記号体系が「密度 (density)」を有するか否かにある。筆者もこの見解を支持する。もしそうでなければ、漢字（特に古代漢字、たとえば甲骨文における「龜」など）のような象形文字や、動物の鳴き声をその動物の名称として用いるような事例は、もはや「言語的名称」として扱えなくなってしまうであろう。さらに、もし「図示された化学式」と「口頭化学における速記的表現」との二分法に従って分類を試みるならば、構造式から示性式、さらには分子式や組成式といったより簡略化された化学式へと至

る体系の間には、必ずしも明確な境界が存在するとは限らないため、示性式がいずれの範疇に属するかを明確に定めることは困難であるといえる。

画像的システム、すなわちアナログ的体系は、構文的にも意味論的にも「密」であり、記号単位の間には明確な離散的区切りが存在しない。これに対して、言語的システム、すなわちデジタル的体系は、明確に区別される離散的単位によって構成されている。この Goodman の枠組みに従えば、ベルツェリウス式が有する「図的暗示性 (graphic suggestiveness)」(Klein, 2003)は、その言語的性格を否定する根拠とはなり得ない。たとえ三次元的な立体化学式であっても、それは原子や結合という離散的な構成単位を持つ「デジタル・システム」であり、言語的記号体系の側に分類されることになる。

したがって本稿では、化学式（構造式を含む）を、「それが指示する対象の構造に関する情報を内包した、言語的記号体系」として扱う立場をとる。化学者が「 KMnO_4 が欲しい」と書くとき、その化学式「 KMnO_4 （過マンガン酸カリウム）」は、日常言語における「水が欲しい」という文における名詞「水」と同様に、指示的機能を果たしているのである。

この前提を踏まえ、以下では、化学記号の指示をめぐる二つのパラドックスを順次検討していく。

3-2. 第一のパラドックス：指示メカニズムの不均質性

出発点となるのは、化学における以下の一般的な理解である。

(a) 分子性物質の分子式（例： CO_2 , $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ）は、まず特定の分子という微視的実体（またはその種）を指示し、それを經由して、当該分子から構成される巨視的物質（気体・液体など）を指示する (cf. Vollmer, 2006)。

(b) 非分子性結晶などの非分子性物質の物質の化学式（例： SiO_2 , NaCl ）は、構成原子比（化学量論比）などの情報から、巨視的物質（たとえばイオン結晶など）をしばしば直接に指示する。

この区別自体は化学教育における常識であるが、両者を「指示子」として捉え直すならば、ここには二つの異なる指示の経路、すなわち二つの異なる「指示メカニズム」の併存が示唆される。前者は「化学的構成・構造情報→分子（微視的実体）→巨視的物質」という三段階の指示であり、後者は「化学的構成・構造情報→巨視的物質」という二段階の指示である。

この理解が正しいとすれば、この考察を、対応する化学「名称」へと拡張した途端、深刻な哲学的問題が立ち現れる。

「二酸化炭素」や「エタノール」という名称と、「二酸化ケイ素」や「塩化ナトリウム」という名称は、言語哲学においてはいずれも「トラ」や「水」

と同様に、固定指示子としての「自然種名」に分類されてきた。とりわけ、これらの化学物質の名称は、自然界における化学物質の種を指す名称として扱われている。Kripke/Putnamによる指示理論の枠組みにおいては、これら物質名の指示メカニズムに本質的差異があるとは通常想定されない。

しかし実際には、これらの化学名称は恣意的なラベルではなく、ほぼ厳密な命名規則に基づき、化学式を言語的に転写したものである。命名規則を習得した化学者であれば、十分に特定された化学式（少なくとも異性体を識別できる程度の情報量をもつもの）から、対応する化学名称を機械的に導出することができる。

では、指示メカニズムが異なると考えられる二種類の化学式から、なぜ指示メカニズムが均質的であるかのように振る舞う化学名称が生成されるのだろうか。

ここに、本研究が解明すべき第一のパラドックスが浮上する。この問いは、次の三つの困難な選択肢のいずれかを採ることを我々に迫る。

(i) 化学記号と化学名は、指示機能において本質的に異なる。

しかしこの見解は、論文・実験ノート・化学者の日常等において両者が実践的にほぼ完全に互換的に使用されているという事実を説明しにくい。

(ii) 化学名もまた、二種類の指示メカニズムをもつ。

すなわち「二酸化炭素」と「二酸化ケイ素」が物質を指示する時、その指示メカニズムが根本的に異なることになる。この帰結は、自然種名の言語哲学におけるきわめてラディカルな挑戦である。

(iii) 化学記号もまた、統一的な指示メカニズムをもつ。

この場合、当初の素朴な区別（分子式の三段階／ほかの化学式の二段階）は、指示メカニズムの分析において表層的な誤認であったことが示唆される。

いずれのルートを採用にせよ、最終的には「化学名称もまた、何らかの形で化学的構成・構造を介して物質を指示しているのではないか」という、次なる問いへと必然的に導かれるのである。

3-3. 第二のパラドックス：記述説と因果説のジレンマ

本節で扱う「次なる問い」とは、化学記号表現の指示メカニズムが、言語哲学における二大理論である指示の因果説（causal theory）と記述説（descriptivist theory）のいずれにも容易には収まらない、という問題である。先に述べたように、Kripke と Putnam は「水は H₂O である」を因果説の典型例として扱ってきた。しかし化学の実践、とりわけ IUPAC 命名法に代表される体系的命名に目を向けるならば、その様相はむしろ強い記述主

義的性格を帯びている。すなわち化学名称は、当該物質が「その名称が含意する構造的記述に実際に合致する」ことによって対象との関係を成立させているように見える。この緊張関係を可視化するため、次の思考実験を提示する。

思考実験（未発見物質の指示）：ある化学者 A が、既存の化学法則に照らして安定に存在し得るはずの、きわめて複雑な有機化合物の構造を構想する。A はその構造式を描く（また、構造式に基づいて IUPAC の規則に基づいて一意かつ正確な名を付与する）。この化合物は化学的に安定で存在可能だが、この時点ではまだ誰も合成しておらず、また自然界のどこにも存在しないと仮定する。ところが偶然にも、別の化学者 B のフラスコ内で副生成物として微量に生成し、誰にも同定されないまま数時間存在した後、廃液として処理されたとしよう。——この場合、A が付与した名称は、過去に B の廃液槽内に存在したその物質を的確に指示していた、と多くの化学者は認めるだろう。

この帰結は因果説では説明が難しい。A と廃液中の物質のあいだには、命名儀式やサンプルの受け渡しといった歴史的・因果的連鎖が一切存在しないからである。ここでの指示の成立は、「その物質が名称の含意する構造的記述に合致する」という事実のみに依拠しているように見える。

しかし、記述主義的アプローチを採用するとしても、より深い問題が残る。すなわち、その名称が含意するとされる「微視的構造についての正確な記述」が何を指すのか、という点である。記述説とは、ある名前が、それに関連する一連の記述に当てはまる対象を指示するという立場である (cf. Michaelson, 2024)。この議論を、化学物質、特に有機化合物の同定に用いられる構造式に適用して考察する。構造式によって示される構造は、一見すると、その物質の物理的実体に関する明確な確定記述であるかのように思われる。しかし、紙面上に記号として描かれるこの「構造」が、具体的にいかなる物理的状態を指示するのかは自明ではない。「この構造式に対応し、物質の同一性を保証するに足る、厳密かつ十分に特定可能な微視的物理状態の確定記述とは何か」と問うとき、その答えは容易に得られない。現代の計算化学においては、量子力学的な電子状態や結合様式という観点から記述を試みることも一応可能であるが、そうした手段が利用できなかった時代においては、この困難はより顕著であった。こうした確定記述の困難性は、Robert B. Woodward に代表される有機化学者が活躍した時代、あるいはそれ以前の時代——すなわち、『Naming and Necessity』における因果説と記述説をめぐる弁論にも先立つ時代——における有機化学の実践を想起するならば、一層

明瞭となる。当時の化学者たちは、構造式という記号システムを用いて未知化合物を表示し、その全合成を達成していた。しかしながら、紙面上に描かれる「化学結合」や「原子配置」が、物理学的にいかなる実在に対応するのか、その存在論的地位は必ずしも明確ではなかった。以上の考察から、記述説が要請する水準での「名称に対応する確定的記述」が、そもそも物理的実在として対応可能なのかどうか自体が疑わしくなる。

3-4. 規則による命名：化学的指示の核心

この第二のパラドックス、すなわち因果説と記述説のジレンマは、G. Evans (1973) が提示した例を検討することで、さらに深刻な様相を呈する。

Evans は、クリプキの因果説（指示の伝達連鎖）への反例として、「規則による命名」の事例を挙げた。例えば、ある特定のルール（例：長子は父方の祖父の名を継ぐ）に従って新生児に名が与えられる文化（例：ヴァグラ・インディアンの事例）では、共同体の一員はそのルールを適用することで、指示の伝達連鎖（誰かからその赤子の名前を聞くこと）を経ずとも、その赤子を正しく指示する名前を「創出」し、使用することができる。

Evans やクリプキにとって、これは固有名の指示における周縁的な（あるいは特殊な）事例であったかもしれない。しかし、化学の領域においては、この「規則による命名」こそが、周縁的どころか、IUPAC 命名法に体现される中心的かつ支配的なメカニズムである。このプロセスは、思考実験で見たように、対象との因果的連鎖を必要としない。

ここに、本研究が解明すべき核心的な問いが明確になる。化学記号の指示は、因果説が想定する「歴史的伝達」を組織的に回避し、記述説が想定する「確定記述」の基盤すら曖昧である。化学記号表現の指示は、既存の記述説／因果説のどちらの枠組みにも収まらないのではないか。

(4) 今後の展望

本稿で提示した二つのパラドックスは、化学記号という特殊な記号システムが、従来の言語哲学における指示理論に対して重大な挑戦を突きつけていることを示している。

「水は H_2O である」という代表的な命題から出発するのではなく、化学の実践の内部で、化学式や化学名がいかにしてその指示対象を獲得し、維持しているのかを詳細に記述する必要がある。

今後の展望として、化学記号表現の指示は、既存の記述説／因果説のどちらの枠組みにも収まらない、化学という知的実践の内部でのみ良く機能する、

独自の指示理論、あるいは二つの理論のハイブリッドなモデルを必要とするのではないか、という仮説を探求していく。

(5) 参考文献

- Evans, G., and Altham, J. E. J., 1973, “The Causal Theory of Names.”, *Proceedings of the Aristotelian Society*, Supplementary Volumes 47, 187–225. <http://www.jstor.org/stable/4106912>
- Goodman, N., 1976, *Languages of Art: An Approach to a Theory of Symbols* (2nd ed.), Indianapolis: Hackett Publishing Company.
- Klein, U., 2003, *Experiments, Models, Paper Tools: Cultures of Organic Chemistry in the Nineteenth Century*, Stanford: Stanford University Press.
- Kripke, S., 1980, *Naming and Necessity*, Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Michaelson, E., 2024, “Reference.”, in E. N. Zalta and U. Nodelman (eds.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Summer 2024 ed.), <https://plato.stanford.edu/archives/sum2024/entries/reference/>.
- Paneth, F. A., 1962, “The Epistemological Status of the Chemical Concept of Element (I)” (H. R. Paneth, trans.), *The British Journal for the Philosophy of Science* 13(49), 1–14.
- Putnam, H., 1975, *Philosophical Papers, Volume 2: Mind, Language, and Reality*, Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- van Brakel, J., 2012, “Substances: The Ontology of Chemistry.”, in R. Hendry, P. Needham, and A. Woody (eds.), *Handbook of the Philosophy of Science, Volume 6: Philosophy of Chemistry*, 191–229, Amsterdam: Elsevier.
- Vollmer, S. H., 2006, “Space in Molecular Representation; or How Pictures Represent Objects.”, in D. Baird, E. Scerri, and L. McIntyre (eds.), *Philosophy of Chemistry: Synthesis of a New Discipline*, Vol. 242, 293–308, Dordrecht, The Netherlands: Springer.

(京都大学)