

気体から固体への状態変化を何とよぶか？

実教出版 編修部

ことの経緯

学習指導要領の改訂時には、先生方から様々なご質問を頂戴するが、そのなかには、用語やその定義に関するものも少なくない。用語については、IUPACの勧告を中心に、弊社編修部も常に留意しているが、今課程で想定外の質問が舞い込んだ。それは、「気体から固体への状態変化を“凝結”とよぶようになったのか？」というもので、聞くに、一部の教科書で「凝結」という用語が新たに使われているとのことであった。弊社編修部は、専門家の意見を集めた上で、ここ十数年、一貫して「その状態変化を指す正式な用語はない」というスタンスであったため、質問を受けて混乱した。

この「凝結」については、高校、大学の先生方の間でも話題に上り、最後は日本化学会を動かすに至り、とりあえずの決着をみたようだ（後述）。「気体→固体」の状態変化については、数十年に渡って様々な経緯があり、今回の件で弊社編修部も改めて整理することができた。そこで、頂戴したご質問への回答の意味も込め、ここに概要を記したい。内容は、この問題に長年携わっていらっしゃる、お茶の水女子大学の細矢治夫先生の許可を得て、先生の論文から一部引用させていただいた。

「昇華」という用語の定義

「気体→固体」の状態変化を表す際、少し前までは「昇華」という用語が充てられていたことはご承知の通りである。では、「昇華」の正しい定義とは何であろうか。辞典類、専門書の記述は様々であるが、熱力学的な観点もふまえ、おおよそ次のように認識して良いようだ^{1) 2)}。これは、

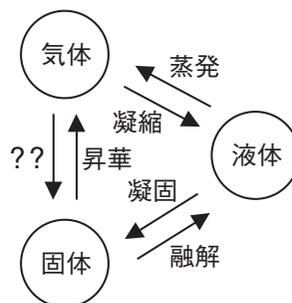


図 三態変化とその用語

英語の sublimation の使われ方と同様である。

- (1) 「固体→気体→固体」全体の過程，操作
- (2) 「固体→気体」の過程

(1)は、物質の精製、分別などに用いられるものであるが、「昇」と「華」の漢字の意味とも合致することから、本来の「昇華」はこの過程を指していたと考えられる。そして、熱力学諸関数の定義がすべて(2)の過程でなされる必要があったことから、(1)の一部である(2)の過程も昇華と定義するようになったと推察される¹⁾。

このように、昇華の定義は、「気→固」を指していない。仮にそう定義されてしまうと、熱力学上の定義が混乱してしまう。それでは、なぜ「気→固」の変化をも昇華とよぶに至ったのだろうか。

「昇華」の定義が誤用された理由

一般に、用語の定義の根拠となるものは辞典類である。科学の分野では理化学辞典(岩波書店)を拠り所にすることが多く、分野を問わず広く用語を網羅したものとしては広辞苑(岩波書店)が有名である。結論から言えば、前述したような「昇華」の厳密な定義が、辞典類の記述を惑わせ、誤用のきっかけとなってしまったと推察されている³⁾。

具体的には、1950年代まで遡る。この時代の

理化学辞典と広辞苑において、昇華の項は次のように書かれている（下線は弊社編修部）。

理化学辞典（第2版，1953年）

「固体が液体を経ずに直接に気体になる事をいい、またその逆の過程をも含めていう場合もある。」

広辞苑（1955年）

「固体が液状になることなしに直接気体になること。（中略）また、その逆の変化をいうこともある。」

下線部は、同じようで大きく意味が異なる。理化学辞典は、正しい定義である「固→気→固」を示しているが、広辞苑は「気→固」を示す記述となってしまう。見方によっては、理化学辞典も曖昧さを含んだ表現であり、どちらも、辞典の特性である「簡潔な記述」を目指した結果であろう。以後、辞典や教科書に同様の誤用が現れ始め、一般的な認識として浸透してしまったようだ³⁾。

修正の動きとその経過

その後、このような昇華の誤用に対して、1984年の新谷光二先生をはじめとし、細矢治夫先生や石井菊次郎先生などの方々も長年に渡って問題提起を繰り返してこられた^{1) 2) 3)}。

細矢先生が編集協力された、理化学辞典の第4版（1987年）では、昇華の項目は「物質が固相から液相を経ずに直接に気化すること。（中略）なお、固体の精製を目的として固体を気化させ再び固化する操作を昇華法と呼ぶ。」と修正され、「固→気」と「固→気→固」の概念の違いが明確になっている。しかし、細矢先生が編集から離れた第5版（1998年）では、また誤用を含んだ記述となってしまうなど、混乱は続いてきたようだ。

「凝結」という用語の出現

このような状況で、2005年に次の転機が訪れた。細矢先生が編集幹事をされた標準化学用語辞典第2版（丸善，日本化学会編）において、昇華が次のように記述されたのである（下線は弊社編修部）。

「物質が固体状態から液体を経ずに気体になること。注意。この数十年の間、気体が直接固体になることも昇華と書かれているが、これはまったくの誤り。（中略）昇華熱および凝結の③の項参照。」

そして、下線部の凝結③項は次のように書かれた。

「昇華の逆。気体から固体に凝結するという。」

この「凝結」は、「気→固」を指す用語としては初めての出現で、すぐに認識されるには至らなかった。しかし、2012年、前述の通り、一部の高校用の化学の教科書にこの「凝結」が採用されたことで、新たな混乱がよび起こされた。この混乱は、新用語の出現という点だけではなく、地学（気象）分野において、「凝結」が「気→液」を指すものとして使用されているという点が大きい。中学校で「気→液」と習ってきた生徒が、高校化学で「気→固」と教えられるという問題が生じるのだ。

「凝結」の削除と今後の展望

この「凝結」による混乱が新たなきっかけとなり、「気→固」を指す用語の問題が再注目されるようになった。様々な議論が展開されるなか、2013年、細矢先生ご自身が、「凝結」という用語は適切ではなかったとする論文を「化学と教育 61巻7号」に投稿された³⁾。それを受け、日本化学会は、「凝結」の記述のきっかけとなった標準化学用語辞典を次のように修正すると発表した⁴⁾。

167ページ，項目「凝結」の③項を削除いたします。
318ページ，項目「昇華」の①項の最後の文章の「昇華熱および凝結の③の項参照」を「昇華熱の項参照」に修正します。

「凝結」による混乱はこれで収束に向かうだろうが、「気→固」を指す用語が存在しないという問題は残ったままである。細矢先生は「^{きょうか}凝華」という用語を提案されているが³⁾、日本化学会は検討を要するとの判断のようだ*。弊社としては、より正確な記述に向けて、今後の動向に注視しながら、教科書、教材の編修にあたる所存である。

* 日本の動きとは関係なく、最近の中国や台湾の高校化学の教科書には、それぞれ「凝华」や「凝華」と記述されている。

参考文献

- 1) 新谷光二 化学教育, 32(6) (1984), 528-529
- 2) 石井菊次郎 化学と教育, 47(3) (1999), 202-203
- 3) 細矢治夫 化学と教育, 61(7) (2013), 366-367
- 4) 化学と工業, 66(10) (2013), 859, 日本化学会 HP など