

Title	高等学校理科教科書における量と単位の扱いにおける問題点、その影響、および改善案について
Author(s)	有賀, 哲也
Citation	(2018)
Issue Date	2018-08
URL	http://hdl.handle.net/2433/235933
Right	
Type	Others
Textversion	author

高等学校理科教科書における量と単位の扱いにおける 問題点、その影響、および改善案について

京都大学大学院理学研究科化学専攻、高大接続・入試センター 有賀 哲也*

1 量と単位の扱いにおける問題点 — [] 記号の濫用とその弊害

国際単位系 (SI)[1] は、計量において国際的に用いられるべき単位を定めているだけでなく、量と単位の関係について、以下の基本的考え方を定めている。

- 質量、体積、モル濃度などさまざまな種類の「量」の大きさを表すために、まず、それぞれの種類の量についてある特定の大きさの量を単位量と定め、これを「単位」と呼ぶ。
- 量の大きさは、その量が単位の何倍にあたるかによって定められる。すなわち、「量 = 数値 × 単位」と表される。

「量 = 数値 × 単位」と表す目的は、これにより、(1) 単位の選び方によらず量の大きさを一意的に定めることができ、さらに、(2) 量の間関係式をただ一通りに定めることができるようにすることにあると考えて良いと思う。この考え方に従うだけで、正確、簡潔、柔軟で、国際的に通用する量の定量的扱いが可能となる。しかし、残念ながら我が国の中等教育においてはこの基本ルールからの逸脱が続いており、いまだに是正されていない。

以下では、教科書における量と単位の扱いの状況、その問題点について述べる。

1.1 量と単位の規則に関する記述

理科の各科目のうち、物理と化学は量の計算を多く扱っている。なかでも化学は、量を具体的な「数値×単位」と表した計算を行うことにより理解が深められることが多い。以下では、化学教科書における記述の典型例を、ある「化学基礎」教科書から引用する。他の多くの化学基礎、化学の教科書にも同様の記述が存在する。

単位のついた量を物理量という。すなわち、物理量は数値と単位の積である。

例えば、モル濃度 1.0 mol/L という物理量は、数値 1.0 と単位 mol/L との積である。したがって、同じ1つの物理量でも、単位を変えると数値も変化する。

(例) $1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa}$

物理量どうしを計算するときには、数値の計算と同時に、単位の計算も行う。

(例) 質量 $m = 1.0 \text{ g}$ 、モル質量 $M = 40 \text{ g/mol}$ 、溶液の体積 $V = 0.050 \text{ L}$ のとき、

* aruga.tetsuya.4e@kyoto-u.ac.jp

その溶液のモル濃度は、

$$\frac{m}{M} \times \frac{1}{V} = \frac{1.0 \text{ g}}{40 \text{ g/mol}} \times \frac{1}{0.050 \text{ L}} = 0.50 \text{ mol/L}$$

これは、量と単位に関して国際単位系で定められた取り扱いを述べた正しい記述である。ただし、本項の最初に述べた国際単位系の考え方のうちの最も基本的な考え方、「量の大きさを表すときに比較の基準とする単位量のことを『単位』という。」に触れられていない。これは、「単位とは、物差しが目盛りのような何か抽象的な「尺度」である」という誤解を避けるために重要な点である。なお、かつて基本用語として用いられた「物理量」を使うことは差し支えないが、一般には「量」が用いられる [2]。

1.2 [] 記号の注釈用法

我が国の理科の各教科の教科書における量の扱いに見られる特徴として、[kg]、[mol/L] など、単位記号を [] 記号で囲んだ記法がある。この [] 記号は国際単位系で定められたものではない。[] 記号は化学基礎、化学の教科書でとりわけ多く用いられている。通常の記事では使われることの少ない記号であるが、その意味するところについて、現行の化学基礎、化学の教科書の多数を調べたが、説明は見あたらなかった。しかし、説明がないにもかかわらず、複数の全く異なる意味で使われている。

化学基礎の教科書で具体的に量的扱いがはじまる章のはじめの方に、以下のような記載がある。

$$\begin{aligned} \text{物質質量 [mol]} &= \frac{\text{質量 [g]}}{\text{モル質量 [g/mol]}} \\ \text{物質質量 [mol]} &= \frac{\text{気体の体積 [L]}}{22.4 \text{ L/mol}} \end{aligned}$$

つづけて、関連する例題とその解答例が提示される。

例題 2 (2) アンモニア 4.25 g の体積は標準状態で何 L か。

解 アンモニア NH₃ のモル質量は 17 g/mol なので、NH₃ 4.25 g の物質質量は、

$$\frac{4.25 \text{ g}}{17 \text{ g/mol}} = 0.25 \text{ mol}$$

標準状態での気体のモル体積は 22.4 L/mol なので、NH₃ 0.25 mol の体積は、

$$22.4 \text{ L/mol} \times 0.25 \text{ mol} = 5.6 \text{ L}$$

ここで、数値の後の単位記号には [] 記号が無いのに対して、量の名称の後には単位を [] 記号で囲んで、「物質質量 [mol]」、「質量 [g]」などと記載されている。例題の記載と見比べると、

$$\begin{aligned} \text{物質質量 [mol]} &= 0.25 \text{ mol} \\ \text{質量 [g]} &= 4.25 \text{ g} \\ \text{モル質量 [g/mol]} &= 17 \text{ g/mol} \\ \text{気体の体積 [L]} &= 5.6 \text{ L} \end{aligned}$$

などの対応関係があり、このことから、[] は注釈として「物質質量」、「質量」、「モル質量」、「体積」などの量の単位を示していると考えれば、物質質量 = 0.25 mol など、量 = 数値 × 単位 の関係を正しく読み取ることができる。1.1 項で引用した説明や例示とあわせて読めば、国際単位系における量と単位の間関係を簡潔、明瞭に示している。この例において、[] 記号は初学者の理解を助けるために、量

がいかなる単位で測られるかを注釈していると考えられる。以下ではこれを注釈用法と呼ぶ。

1.3 [] 記号の単位分離・固定用法

化学、化学基礎の教科書においては [] 記号が多く使われているが、そのうち、特に化学基礎における量的扱いの導入部における用例は、1.2 節で示したように注釈用法であることを読み取ることができる。また、その他の多くの用例も注釈用法と矛盾しないようにみえる。

一方、数多い [] 記号の使用例のうち、注釈用法としては解釈不可能な用例が、各社の化学基礎の教科書に 1 カ所、化学の教科書に 1 カ所、ほぼ共通に存在する。以下に、化学基礎における該当箇所の例を示す。他の教科書の記述もほぼ同様である。

濃度 c [mol/L]、体積 V [mL] の a 価の酸の水溶液に、濃度 c' [mol/L]、体積 V' [mL] の b 価の塩基水溶液を加えたとき、過不足なく中和したとする。このとき、中和反応の量的関係より、次式が成り立つ。

$$a \times c \text{ [mol/L]} \times \frac{V}{1000} \text{ [L]} = b \times c' \text{ [mol/L]} \times \frac{V'}{1000} \text{ [L]}$$

なお、左辺は「酸から生じる H^+ の物質量」、右辺は「塩基から生じる OH^- の物質量」を表す、という注記がある。

ここで、文章中の「 V [mL]」が式中では「 $V/1000$ [L]」に変更されていることに注目する。1.1 項で当該教科書から引用したとおり、量は数値と単位の積で表され、同じ量であっても単位を変えると数値も変化する。この規則に従うと、 V の単位を mL から L に変更すれば、 $V = 10 \text{ mL} \rightarrow V = 0.010 \text{ L}$ と変化する。しかし、単位を mL から L に変更したとしても、 $10 \text{ mL} = 0.010 \text{ L}$ であり、量 V の大きさは変化しない。単位を変えても量の大きさが変化しないのは、国際単位系における量の取り扱いの最も重要な性質である。

さて、たとえば $V = 10 \text{ mL}$ として、上式左辺の「 $V/1000$ 」の項に代入してみる。 $V/1000 = (10 \text{ mL})/1000 = 0.010 \text{ mL}$ となる。 $V/1000$ の項に添えられた [L] の注釈に従って、単位を L に変更すると、 0.000010 L となる。本来の $V = 10 \text{ mL}$ とは異なる、意味不明の量になってしまう。そこで、先に V の単位を注釈通りに L に変更することとし、 $V = 10 \text{ mL} \rightarrow V = 0.010 \text{ L}$ としてから「 $V/1000$ 」に代入してみる。やはり $V/1000 = (0.010 \text{ L})/1000 = 0.000010 \text{ L}$ となってしまう。いずれの場合も、因子 $1/1000$ があるために意味不明な量の大きさの変化が生じてしまう。因子 $1/1000$ を加えることは明白な誤りであることがわかる。

この誤りはどうして生じたのか。仮に文章中で「体積 V [mL]」と表された V が、量としての体積そのものではなく、量としての体積 V_0 を、mL を単位として測った数値部分のみを表していると考えてみる。すなわち「 $V_0 = V \text{ mL}$ 」と表されるとする。そうすると、単位を mL から L に変更すると、「 $V_0 = V \text{ mL} \rightarrow V_0 = (V/1000) \text{ L}$ 」となる。変更後の数値部分 $V/1000$ を使えば、教科書の式と一致する。

つまり、教科書で「 V [mL]」と示された V は、体積という「量」を表す記号ではなく、体積を数値 \times 単位と表したときの数値部分のみを表していることがわかる。そうであれば、「 $V \text{ mL}$ 」と表記すべきだが、教科書では [] を用いて「 V [mL]」としている。この [] 記法の意味するところは、前項で述べた注釈用法とは明らかに異なっている。本来、数値 \times 単位で表される量を示すはずの記号 V から、単位を「分離」して記号 V を単なる数値パラメータ化するとともに、体積の単位 m^3 、L、mL、 μL などのうちから、特定の単位 mL に「固定」してしまう、という意味で、[] 記号の単位分

離・固定用法と呼ぶことにする。

また、 V が単なる数値を表すのであれば、「 $V \text{ mL}$ 」(数値 × 単位) と記載すべきだが、あえて「 V [mL]」という異なる表記がされていることから、後者が前者と同じ「数値 × 単位」を表しているとは考えにくく、「 V [mL]」全体で、「数値」のみを意味しているのだろうと推測せざるをえない。これも、〔 〕記号の曖昧な点である。

以上のとおり、上に引用した教科書の式において、[mol/L]、[mL]などは単位分離・固定用法と解されるので、左辺、右辺は、物質量を「数値 × 単位 (mol)」と表した時の「数値」のみを表していることになるのではないか。そうであれば、教科書に示された「酸から生じる H^+ の物質量」等の注記は誤りであり、これらの式が量を表すためには単位 mol を乗ずる必要があると思われる。このような混乱は、単位分離・固定用法においては避けがたいものと思われる。しかし、教科書には、学習者に注意を促すような記述はなく、問題視されていないように思われる。

1.4 注釈用法と単位分離・固定用法の混在がもたらしている問題

単位分離・固定用法に近い意味をもち、文字変数が数値のみを表し単位は別記される「 $V \text{ mL}$ 」の記法は、かつて頻繁に用いられた。しかし、この記法は、国際単位系の規則に抵触することから、現在では用いられなくなった(ただし、いくつかの教科書に少数が残存している)。執筆者が明確に意識されているかどうかとは別に、少なくとも外形的には、「 $V \text{ mL}$ 」式記法の代替として、注釈用法と見なせば合規則的な〔 〕記号を、脱規則的な単位分離・固定用法として用いることになってしまっている。繰り返すが、〔 〕記号が担っているこれら二種の用法について、化学基礎、化学の教科書には全く説明がなされておらず、学習者は独自に、あるいは教師の助言により、対応を迫られることになる。たとえば、下線部のみが異なる次の二つの問があったとしよう。

- 問 A. (1) 濃度 c [mol/L]、体積 v [L]の溶液中に含まれる溶質の物質量を求めよ。
(2) 濃度 0.15 mol/L 、体積 0.020 L の時の溶質の物質量を求めよ。

- 問 B. (1) 濃度 c [mol/L]、体積 v [mL]の溶液中に含まれる溶質の物質量を求めよ。
(2) 濃度 0.15 mol/L 、体積 20 mL の時の溶質の物質量を求めよ。

問 A では、体積の単位 L が一貫して用いられている。教科書の記述の多くはこのようになってい。問 B では、濃度 c の単位に含まれる体積の単位 L と体積 v の単位 mL とが使われ、SI で定められた接頭語 m (ミリ) の有無のみが異なっている。〔 〕記号を二つの用法のいずれと解するかにより、「正解」は以下ようになる。

・〔 〕を注釈用法と解釈する場合(すなわち、 c 、 v がそれぞれ数値 × 単位で表されると考える場合) :

- 問 A. (1) cv
(2) 物質量 = $cv = (0.15 \text{ mol/L}) \times (0.020 \text{ L}) = 0.0030 \text{ mol}$

- 問 B. (1) cv
(2) 物質量 = $cv = (0.15 \text{ mol/L}) \times (20 \text{ mL}) = (0.15 \times 20) \times (\text{mol mL})/\text{L}$
 $= 3.0 \times (1/1000) \text{ mol} = 0.0030 \text{ mol}$

・〔 〕を単位分離・固定用法と解釈する場合 (c 、 v は数値のみを表すと考える場合) :

問 A. (1) cv mol

$$(2) cv = 0.15 \times 0.020 = 0.0030 \quad \text{よって、物質量は } 0.0030 \text{ mol}$$

問 B. (1) ($cv/1000$) mol

$$(2) cv/1000 = (0.15 \times 20)/1000 = 0.0030 \quad \text{よって、物質量は } 0.0030 \text{ mol}$$

二つの用法のいずれと解釈するかにより、解答過程に二つの違いが生じる。注釈用法と解釈する場合は、問 A、問 B の両方に対して全く同じ計算（乗算 $c \times v$ および代入）により答えが得られる。単位分離・固定用法と解釈すると、問 B において因子 $1/1000$ を加える必要がある。また、 c 、 v が数値のみを表すので、すべての計算結果に単位 mol を補う必要がある。

[] 記号を注釈用法と解する場合、必然的に国際単位系の定めに従った計算を行うことになり、量の単位が接頭語 m（ミリ）、k（キロ）などの有無により変化しても、常に同一の計算をすることになるため、具体的な数値 \times 単位を代入する計算の結果として得られる量の大きさは全く影響を受けない。また、量記号が単位を内包しているので、計算結果への単位の付け忘れということも生じ得ない。

一方、単位分離・固定用法では、記号同士の計算において、国際単位系による計算では生じ得ない $1/1000$ 等の因子が現れる場合があり、また、計算結果が数値のみであることを失念して「単位の付け忘れ」（量であるべきものが単なる数値になってしまう）のミスをおかすことも避けがたい。

以上、示したとおり、単位分離・固定用法は、注釈用法と外見上まったく区別することができない。にもかかわらず、一見、量記号であるように思われる V が、量ではなく数値のみを表し、しかも、特定の大きさの単位に固定されているなど、国際単位系で定められている基本ルールから逸脱している。

教科書においては、注釈用法と解釈すべき [] 記号の模範的用例と、単位分離・固定用法と解釈される少数の（誤った）計算例、そして、いずれの用法とも解釈可能な多くの用例が共存している。また、本稿では触れないが、教科書によってはこれら以外の用法もある。そして、繰り返しになるが、これらの [] 記号の意味に関しての説明は一切与えられていない。

この結果として何が起きているか。学習者からすれば、一見単純な [] 記号に、断りも無しに複数の用法が存在するとは想定しがたいであろう。仮に、学習者が [] 記号を単純明快な注釈用法と解釈したとすると、単位分離・固定用法に基づく教科書の記述は理解不能になる（1.3 項冒頭の式、問 B(1) の例など）。その結果、学習者は、これらだけではなく、これら以外を含むすべての [] 記号について、単位分離・固定用法もしくは個々人の独自解釈に基づくこれに類した用法と解釈せざるを得なくなる。そのように解釈した場合、多くのケースにおいて教科書で想定されている正解らしきものが得られてしまうからである（問 A(1) の例）。ただし、上に述べたように、単位分離・固定用法では単位を別途記載する必要があるのだが、単位があらかじめ「固定」されていることや、[] 記号自体の意味の曖昧さのために、教室においてはその意義が不可視化されているのではないか。およそこのようにして、量と単位について、曖昧でかつ誤った認識が固定化してしまっているものと推測される。

本節で示したような教科書の混乱の結果として、学習者の理解に多大な悪影響が生じていることを示唆する調査結果が得られている。これについては 2 項で紹介する。

なお、上に示した中和反応や、化学の教科書における凝固点降下、沸点上昇など、実験との比較のために体積の単位として mL を使わせたいなどの場合には、意味の曖昧な [] 記号を使わず、正しい量の関係式を示したうえで、量を数値 \times 単位で表して、異なる大きさの単位同士の除算 (mL/L など) を含む計算トレーニングを行うのがよいと思われる。このような計算は米国の教科書等でも多く取り入れられているが、量と単位についての理解を深めるのに有効と考えられる。また、量の大きさ

を表す接頭語 (M、k、m、 μ など) は、特別の組み合わせ (kg、hPa など) に限らず、自由に使用できることも、必要に応じて教えるべきと思われる。

1.5 物理教科書における単位省略

いくつかの物理基礎、物理の教科書においては以下のような説明がみられる。

物理量をもつ単位を明示したほうがわかりやすい場合、本書では、記号の後に〔 〕で単位を示した。

すなわち、これらの物理教科書では、〔 〕記号は注釈用法に限定されており、かつ、そのことが明示されているように読める。

一方、

本書では、表記を簡潔にするなどのため、物理量の単位を省略して数値のみで物理量を表すことがある。

との注意書きもある。この注意書きの通り、実際に単位が省略された記述の実例を示す。

1 気圧、 t [°C] の空気中を伝わる音の速さ V [m/s] は、

$$V = 331.5 + 0.6 t$$

である。15 °C の空気中を伝わる音の速さは約 340 m/s である。

同様に単位を省略した式は多くの物理基礎の教科書に示されている。

ここでは、「表記を簡潔にするなど」のために右辺の 331.5、0.6 に対応する単位がすべて省略されている、というのが教科書の説明である。しかし、ここでの単位の省略は、実は、「 t [°C]」、「 V [m/s]」における〔 〕記号が単位分離・固定用法で用いられていることを前提としている。 t 、 V の単位を固定しなければ、式中の数値「331.5」、「0.6」などは、その大きさが定まらない。 V の単位を km/s とすれば、331.5、0.6 はそれぞれ 1/1000 の大きさになるのだが、そのようなことを上の式のみから読み取ることはできない。

この記述では、量 t 、 V から単位を分離したうえで特定の大きさの単位に固定してしまっていることから、同書の p. 3 に示された「物理量をもつ単位を明示したほうがわかりやすい場合」（注釈用法）以外にも〔 〕記号が使われていることになるとと思われる。

すなわち、〔 〕記号が単位分離・固定用法で用いられ、式中の単位がすべて省略された結果として、音速を示すべき V 、セルシウス温度を示すべき t は、単に数値のみを表す記号になっている。また、右辺の数値 331.5、0.6 に対応する単位がすべて省略されているため、この式だけでは、これらの数値がどのような物理的意味を持つのかも曖昧になっている。

この式を、単位を省略せずに書くと、

$$V = 331.5 \text{ m/s} + (0.6 \text{ (m/s)/}^\circ\text{C}) t$$

となる。このように書くと、教科書の記述では単なる「数値」であった 331.5、0.6 は、単位を伴う「量」であることが明確になる。331.5 m/s は $t = 0$ °C における音波の速さを、また、0.6 (m/s)/°C は温度変化に伴う音波の速さの変化の度合いを表すことが理解できる。

おそらくは表記の簡略化を目的として、あえて国際単位系の規定に反してまで右辺の単位が省略さ

れているものと思われる。しかし、その結果として、式の物理的意味が失われている。このように単位を省略することが生徒の深い理解に役立っているとは考えにくく、逆に、量概念の形成を阻害している可能性も否めない。むしろ、単位を省略しない式に、具体的に数値 × 単位で表した温度を代入して、

$$\begin{aligned} V &= 331.5 \text{ m/s} + (0.61 \text{ (m/s)/}^\circ\text{C}) \times (22 \text{ }^\circ\text{C}) \\ &= 331.5 \text{ m/s} + (0.61 \times 22) \text{ m/s} \\ &= 331.5 \text{ m/s} + 13.42 \text{ m/s} \\ &= 344.9 \text{ m/s} \end{aligned}$$

(註. V を小数点以下 1 桁まで正しく求めるため、数値 0.6 を 0.61 に改めた。)

のように「量の演算」を行わせれば、量 = 数値 × 単位の関係をきちんと守ることが量の関係式の確かな理解に繋がることを認識させる適切な教材になると考えられる。

2 教科書の混乱が生徒の大学進学後まで及ぼしている影響

前項に述べたような教科書における混乱が、学習者に及ぼす影響を調べるため、京都大学理学部 1 年生から 4 年生までの学生 (1、2 年生は専攻希望分野を問わず、3、4 年生は主に化学系学生より、計 153 名を無作為抽出。) を対象に調査を行った (平成 30 年 4 月実施)。調査では、調査対象者に以下の 3 パターンの問題を提示し、各問題が解答可能と考える場合は解答を、解答不能と考える場合はその旨を回答するよう要請した。なお、() 内の文章は本稿における注釈であり、調査対象者には示されていない。

パターン 1 モル濃度 c mol/L、体積 V mL の NaCl 水溶液中の Na^+ の物質量は？
(記号 c 、 V は量ではなく単に数値のみを表す。非 SI 記法。)

パターン 2 モル濃度 c 、体積 V の NaCl 水溶液中の Na^+ の物質量は？
(記号 c 、 V は量を表す。国際単位系 (SI) の規定に準拠した記法。)

パターン 3 モル濃度 c [mol/L]、体積 V [mL] の NaCl 水溶液中の Na^+ の物質量は？
(高校教科書に見られる [] 付き記法。教科書と同様に [] の意味説明無し。)

解答の集計結果は別表 (文書末尾に添付) の通りである。

パターン 1 は、高校の教科書にわずかに残っている用法であり、正解は「 $cV/1000 \text{ mol}$ 」である。 c 、 V は数値のみを表す記号と解釈できるので、解答には単位 mol を明記する必要がある。しかし、1 年生の 4 割、2、3 年生の 3 割は単位を付さないで解答した。単位の重要性をよく認識できていない可能性がある。

つぎに、パターン 2 について。これは、国際単位系の基本的な規則を身につけていれば容易に正解 cV が得られる問題である。しかし、驚くべきことに、大学入学直後の 1 年生のうち、正解を答えた者は 1/3 に過ぎず、残りの大部分が「解答不能」と答えるなど、量と単位の取り扱いを正しく理解していない学生が多数を占めることが明らかになった。単位が「指定」されていないと解答できないと考

えているようである。化学を専攻する3, 4年生においてもおよそ1/4が「解答不能」と答えており、大学での基礎教育を経た後でも誤った概念が正されていない。

大学1, 2年生における化学、物理の授業においては、さまざまな量の計算が扱われているが、高校の教科書と異なり、大学の教科書や講義で〔〕記号により単位が分離・固定されることは無く、そもそも〔〕記号が用いられることもない。おそらく、高校生のように、〔〕記号の二つの用法を明確に区別、認識することなく、各人の混沌とした解釈のもとに「処理」してきたため、量概念になんらかの根深い混乱が残っているのではないだろうか。

一方、高等学校化学教科書で多用される〔〕記号を用いたパターン3については、〔〕を注釈用法と解釈して解答した学生はほとんどおらず、大多数が単位分離・固定用法またはそれに類するものと解釈しているらしいことがわかった。しかし、〔〕を単位分離・固定用法と解釈すれば、パターン1と全く同じ問題になるが、パターン1とは解答傾向が異なっており、単位分離・固定用法のルールを明確に整理できていない学生が少なくないことも伺える。パターン1に対する解答ではほとんど見られない〔〕記号で単位を付す解答が全体の1/3を占めた。曖昧なものには曖昧に解答する、という習慣がついているのかもしれない。高等学校の教科書に〔〕記号の意味が全く説明されておらず、各人が独自に解釈することが求められている以上、当然の結果とも言える。

以上の結果は、高等学校化学教科書において〔〕記号が濫用され、注釈用法と単位分離・固定用法が一切の説明無しに混在していることにより、生徒の概念形成に重大な悪影響が生じている可能性を示唆しているものと言えよう。

3 上記問題点を是正するための改善案

第1項で示した問題点はすべて、本来、生徒の理解を助けるために導入されたはずの〔〕記号が、当初の目的から外れて、さまざまな異なる意図のもとに使用されてきたことに由来していると考えられる。教科書によっては、本稿で示した二つの用法では解釈しきれないものもあるし、通常の「0.15 mol/L」とともに、「0.15 [mol/L]」のように数値の後の単位に〔〕記号を付す記述がされているなど、生徒ばかりか教員にも記述意図がわかりにくくなってしまっていると思われる例も少なくない。

高等学校に進学したばかりで量と単位の正しい扱いに慣れていない生徒に対し、単位の注釈なしに量の計算を正しく行わせることは容易ではなく、教育上の補助として〔〕記号が導入された経緯は十分理解できる。しかし、そのような配慮が、結果として量と単位についての生徒の正しい理解を妨げており、科学的リテラシの根幹ともいべき量と単位に関する取り扱いが世界標準から逸れて「ガラパゴス化」する原因になってしまったことは否定しがたい。

このような状況を脱するためには、基本に立ち返り、誰にも理解され、生徒が大学に進学したり社会に出てからも、また広く国際的にも通用するシンプルなルールに基づいて整理し直すほかないのではないだろうか。

これらの点も考慮にいれたうえ、以下に示す9つの具体的な改善策を講じることを提案する。

1. V 等の量記号が量 = 数値 × 単位を表すことを教科書の適切な場所に明記する。
2. 「量 = 数値 × 単位」を説明する際に、単位とは、抽象的な「尺度」ではなく、量の大きさを表す基準となる「単位量」であることを明記する。
3. 教科書の記述において量記号を数値のみを表す記号として用いない（国際単位系 (SI) の規則に

従って無次元量として表される量の記号を除く。)

4. 教科書の記述において、〔 〕記号は一切用いない。
5. 量の単位を「注釈」する必要がある場合は、注釈の場合に一般的にひろく用いられる () 記号を用いたうえで、「体積 V (単位は L)」のように、注釈であることに誤解の余地が少ないように表記する。
6. () 記号による「 V (単位は L)」などの記述において V は量を示し、かつ、() は注釈を示すことを、教科書の適切な場所に明示する。
7. () 記号で注釈として示す単位は、原則として SI 基本単位またはそれらの組立単位に限る。なぜなら、例えば SI 基本単位ではない mL を用いて「体積 V (単位は mL)」と表記すれば、特定の大きさの単位 mL に「固定」していると誤認されるおそれ大きいからである。
8. 式中での単位の省略を行わない。(スペースの制約により、式変形の途中過程において誤解の余地がない範囲で省略する場合を除く。) 物理教科書等における「単位の省略」は、〔 〕記号の単位分離・固定用法にあたる記述を言い換えているに過ぎず、適切ではない。
9. 過度に量記号のみによる記述とせず、1.4、1.5 項で述べた通り、具体的に「数値 × 単位」で表した量の間演算を従来以上に取り入れることにより、正しい量概念の形成に一層の配慮を払う。化学ではとくに中和反応、凝固点降下・沸点上昇などの式の説明においてこのような配慮を払うことが、量についての正しい理解を促すうえで重要かつ有効と思われる。

謝辞

本稿を纏めるに当たり、京都大学理事・副学長、高大接続・入試センター長の北野 正雄先生、法学研究科教授、高大接続・入試センター副センター長の木南 敦教授に貴重なご助言を頂いた。また、調査にご協力頂いた化学専攻教員の皆様、京都大学理学部学生諸君に感謝する。

参考文献

- [1] 国際文書第 8 版国際単位系 (SI) 日本語版、訳・監修 (独) 産業技術総合研究所 計量標準総合センター (2006).
([https://www.nmij.jp/library/units/si/R8/SI 国際文書 8J.pdf](https://www.nmij.jp/library/units/si/R8/SI%20%E5%9C%B3%E6%9C%AC%E6%9C%A9%E6%9C%8C%E6%9C%8C%208J.pdf))
- [2] *International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms, 3rd edition (VIM3)*, Joint Committee for Guides in Metrology (JCGM) (2012).
(https://www.bipm.org/utis/common/documents/jcgm/JCGM_200_2012)

別表：「量と単位に関する理解」調査の結果

「量と単位に関する理解」調査の結果 (H30.4)							
調査対象：1, 2年生：京大物理学部理科学学生、3, 4年生：同 化学系登録学生。							
		1年生	2年生	3年生	4年生	計	註
パターン1 括弧無し単位 c mol/L, V mL	cV/1000	14	7	16	6	43	c, Vが数値であると理解していない
	cV/1000 mol	13	10	25	25	73	非SI用法における「正解」
	cV/1000 (mol)	4	0	0	1	5	()の意味不明
	cV/1000 [mol]	1	4	2	2	9	[]で曖昧な理解をごまかしている
	cV/1000 mol/L	0	0	1	0	1	
	1000cV	1	1	1	1	4	
	1000cV mol	0	1	1	1	3	
	cV	0	0	0	0	0	
	cV mmol	0	1	1	4	6	非SI用法における「正解」
	解答不能	4	0	1	2	7	
無回答	0	2	0	0	2		
小計		37	26	48	42	153	
パターン2 記号のみ c, V	cV/1000	0	1	2	1	4	
	cV/1000 mol	0	0	0	0	0	
	cV/1000 (mol)	0	0	0	0	0	
	cV/1000 [mol]	0	0	0	0	0	
	1000cV	0	0	0	0	0	
	cV	13	9	32	26	80	SIルールにおける正解
	cV mol	0	0	2	1	3	
	cV [mol]	0	0	1	0	1	
	cV (mol)	1	0	0	0	1	
	cV(単位不明)	1	0	0	0	1	量が単位を含むことを理解していない
解答不能	22	16	10	14	62	量が単位を含むことを理解していない	
c	0	0	1	0	1		
無回答	0	0	0	0	0		
小計		37	26	48	42	153	
パターン3 〔 〕付き単位 c [mol/L], V [mL]	cV/1000	11	8	18	9	46	[]を単位分離・固定用法と解釈したが、単位が必要なことを理解していない。
	cV/1000 mol	10	2	7	8	27	[]を単位分離・固定用法と解釈した場合の正解
	cV/1000 (mol)	4	0	1	3	8	()の意味不明
	cV/1000 [mol]	9	11	18	14	52	[]を単位分離・固定用法あるいは類するものと解釈した解答。解答の〔 〕が曖昧。
	cV/1000 mol/L	0	0	1	1	2	
	1000cV	1	1	1	1	4	
	1000cV mol	0	1	1	1	3	
	cV	0	0	0	0	0	[]を注釈用法と解釈した場合の正解
	cV mmol	0	0	0	1	1	[]を単位分離・固定用法と解釈した場合の正解
	cV [mmol]	0	1	0	2	3	[]を単位分離・固定用法あるいは類するものと解釈した解答。解答の〔 〕が曖昧。
c [mol/L]	1	0	0	0	1		
解答不能	1	0	1	2	4	問題中の〔 〕が意味不明なことを指摘していると思われる。正当な指摘。	
無回答	0	2	0	0	2		
小計		37	26	48	42	153	