

初等中等科学教育における物理量と単位系について

森 川 鉄 朗*・西 山 保 子*

(平成8年4月30日受理)

要 旨

計量法が国際単位系(SI)に全面的に移行しつつある。初等中等科学教育であつかわれる物理量と単位系は、大きく影響を受けている。本稿では、物理量や単位とは何かをまず論じ、このことを基にして、SIと現行教科書の単位系とは、単位間の換算のみではすまされない、多くの相違点があることを明らかにする。科学教育の参考書や教科書には、単位に関係する多くの誤解や誤謬があることをも合わせて指摘する。さらに、SIを理解するための教材としての典型例を提案する。

KEY WORDS

SI	国際単位系	physical quantity	物理量
unit	単位	science education	科学教育

1 序 論

日本国計量法は、1992年5月に公布され、1993年11月に施行され、2年から5年の猶予期間があるが、国際単位系(SI)¹⁾に移行しつつあり、初等中等科学教育においても、SIの科学教育的な観点からの検討が必須²⁾となってきている。SIは第11回国際度量衡総会(CGPM, 1960年)で採択された。CGPMとは、国際メートル条約(1875年)により開催されている国際会議のことである。

量は、あらゆる科学と技術において、もっとも基本的な概念である。量(連続量)を計量するときは単位を必要とする。ある時代に利用される単位系は、その時代までに発達した自然科学の集大成である。したがって、単位系の理解は科学教育に欠かせないものとなり、単位系を学ぶことは同時に自然科学の基礎を学ぶことでもある。

後述のように、SIと現行の初等中等教育での単位系(や量)とを比較すると、考え方の基本が違っていて、両者間での単位の換算方法を教えるだけではすまされない、多くの問題点がみつかる。そこで、本稿では、まず、SIの基礎を理解するのに必要と思われる物理量と単位について検討する。次に、両者間の考え方を比較し、相違点を明らかにする。特に、SIの基本単位七種に言及し、参考書や教科書にみられる誤解や誤謬を指摘する。さらに、SIを理解するための基本的例題を作成して、科学教育におけるSI導入の一助とする。

* 自然系教育講座

2 物理量と単位について

実在世界(自然界など)の量のいくつかは、物理量とよばれる。初等中等教育では、科学教育にかぎらず、多数の物理量(たとえば、長さとか面積とか)を教えるが、では物理量とはそもそも何か。化学で使う量は化学量かと質問した本学の学生がいたが、化学で使う量でも化学量とはいわないで物理量とよぶ。ある量が物理量かそうでないかは一つ一つ調べるしか決めかたはない。桜井³⁾は、物理量とは、“自然科学や技術がものの大きさを表現する際に対象とする量”としている。本稿では、物理量とは次のように操作的に定められるとしておく。測定方法をまず定め、それにより測定できる量をその物理量とする。長さ、面積、体積、時間、電流、温度、力、圧力などが物理量の例である。物質を定量的にあつかう場合に、特別に重要な物理量が物質量である。あとで詳しく説明する。

ある物理量と別の物理量とを比べる。比較できるならば、それら二種の物理量は同じ次元⁴⁾であるといい、比較できなければ次元が異なるという。異なる二つの次元、たとえば、山の高さとか歩く速さとは比較できない。比較できるかできないかは、物理量と同じように、一例ごとに調べるしか方法はない。同じ次元に一つの名前を用意する。歩く距離、山の高さ、穴の深さ、家の間口などは、長さという次元をもつ。このように、同値関係により対象(複数)を同一視する操作を、数学では類別とよぶ。つまり、次元とは、ある物理量(複数)の同値類と考えてよい。

同じ次元に属する物理量(複数)は、それらのどれかを基準(ものさしのようなもの)に選び、残りの物理量と比較できる。ここでの基準の物理量を単位とよぶ。一種類の次元に一種類の単位を選べばよいことになる。そこで、ある物理量の測定とは、単位を基にして、その何倍かを知る作業⁵⁾になる。単位系とは結局、物理量の単位(複数)を決める約束⁶⁾のことである。

ある物理量を別の次元に属するいくつかの物理量に分解できる場合もある。たとえば、面積を長さとか長さの積に分解し、速さを長さ割る時間に分解し、力を質量かける速さ割る時間に分解するなどである。こうして、さまざまな物理量の類別と分解をすると、自然界の全ての物理量を表現するのに、いくつの次元が必要となるかが問題となる。この議論は前世紀から現今も続いている。ニュートンの運動方程式は、力、質量、長さ、時間の四種の次元の関係を定めるので、それらのうちから三種を選べばよい。SI では、後の三種を基本に選ぶ。どの次元を基本に選ぶか、さらに、どの単位を基本に選ぶかは恣意的である。ここでの恣意的とは、自然法則で決定されるのではなくて、人間の都合による⁷⁾という意味である。例えば、温度とエントロピーでは温度を基本に選ぶ。温度とエントロピーの積はエネルギーに等しいので、いずれを選んでもよいが、温度の方が計測しやすいのである。

3 SIの考え方

ある物理量の測定とは、同種の物理量である単位とよばれる基準をあてはめてその何倍かを知ることであった。結局、物理量割る単位は数値に等しい、または、物理量は数値と単位の積であらわされる。これがSIの背景にある基本の考え方である。以下に、説明を加える。

日本の初等中等教育の教科書では、 x メートル、 y キログラム、ここで $x=0.1$ 、 $y=10$ 、など

と書く。数値を記号(文字)であらわし、単位を別に書く方式である。国際的(CGPM)には、一つの物理量とその記号(の定義)は、特定の単位を意味しないように要請されている。つまり、物理量の記号を単位と無関係に用いる方式を採用する。例示すると、圧力 p とすれば、 $p = 1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg} = 1013 \text{ hPa}$ のように書く。この関係式を日本式に表現するには、項ごとに記号が必要となり煩雑である。

日本の初等中等教育の使い方では、単位は物理量の大きさをあらわす記号としてあつかわれている。目盛とは、通常、単位を用いて量を表現するための道具または方法³⁾をいう。義務教育段階で学習するセルシウス温度の記号 $^{\circ}\text{C}$ は、この意味での目盛(ガラス管に刻む)の記号である。一方、SIにおける $^{\circ}\text{C}$ は、目盛ではなくて、基準の物理量をあらわす。そこで、SIでは、 2°C は、温度という物理量を、物理量 $^{\circ}\text{C}$ を基準にして計量すると、 $^{\circ}\text{C}$ が2倍あることを意味している。

上述の、(物理量)/(単位) = (数値)の表現法は、科学計算や表、グラフの作成に推奨される書き方として利用されてきている。以下の表の例は氷の融解熱 H (273 K, 1013 hPa, 1 mol あたりのエンタルピーで、エネルギーの単位 kJ)を示す。 T は熱力学的温度をあらわす。

T/K	273
$H/\text{kJ mol}^{-1}$	6.01

SIでは、基本単位7種と補助単位2種の掛算と割算だけで、全ての単位をつくる。基本単位はどれもただ一つの次元に属する。物理量の名前と単位の名前を区別する。単位の記号はローマン(立体)で、物理量の記号は定められていないが、斜体(印字できないときは下線を引く)を使うように勧告されている。固有の名称をもつ組立単位(誘導単位)は、19種($^{\circ}\text{C}$ を加えて)である。一貫性のある(coherent)単位系とは、単位間の換算係数が1であるように、全ての単位が定められているときをいう。SIはその例である。仮に、圧力の単位として atm を採用すれば、 $\text{atm} = 101325 \text{ m}^{-1} \text{ kg s}^{-2}$ となり、換算係数は1とならない。単位をつづりで書くときは、SIの約束ではないが、単位記号の大小文字にかかわらず、第一文字を小文字にし、複数形はそれぞれの国の文法に従う。(英語) 60 kilograms, 273.15 kelvins, (日本語) 60 キログラム, 273.15 ケルビン。

接頭語と単位を組み合わせる単一の記号とみなすのも、SIの特徴である。SI接頭語は、10の累乗、または、10の累乗分の1の大きさをあらわす。接頭語は、 10^{24} から 10^{-24} まで定められている。接頭語の記号は、ローマンとし、kmのように、単位記号との間にスペースを入れない。単位の記号間には、m kg (mkgでなくて)のように、スペースをいれる。接頭語の使い方と記号の間違い例を以下に記す。二重に接頭語を使わない(kkgは、Mgのように、接頭語を一つにまとめる)。 cm^3 は c^3m^3 のように分割できない。質量 750 KG(本学のエレベータ)は、750 kg のように書く。同様に、周波数 Mhz では、MHzのように、大小文字の使いわけに留意する。mol は、mols のように複数にしない。温度 M°C は正しくない($^{\circ}\text{C}$ には接頭語をつけない)。文末以外では、単位にフルストップを打たない。

4 SI 単位の定義について

SI では、基本単位として下記の 7 種を採用する。それら 7 種について、以下でやや詳しく検討する。

物理量の名称	基本単位の名称	基本単位の記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学的温度	ケルビン	K
物質質量	モル (mole)	mol
光度	カンデラ	cd

メートル¹⁾の定義とその和訳は次のようである。(原文) The metre is the length of path travelled by light in vacuum during a time interval of 1/299 792 485 of a second (17th CGPM, 1983). (訳) メートルは、光が 1 秒の 1/299 792 485 の時間に真空中を進む行程の長さをいう。

メートルが物理量であり、目盛でないことがこの英文定義で良くわかる。この定義の中の分母⁸⁾の分母は光速に関係する。真空中の光速 $c = 299\,792\,458\text{ m s}^{-1}$ は定義値である(約 0.3 Gm/s で、1973年に測定値として採用され、1983年には定義値となる)。かつての国際メートル原器(白金90%、イリジウム10%の合金製)がつくられたのは1875年である。かつての日本国メートル原器(No.22, 明治18年)は、いまま通産省計量研究所にしまわれている。⁹⁾

キログラム¹⁾の定義とその意訳を以下に示す。(原文) The kilogram is the unit of mass; it is equal to the mass of the international prototype of the kilogram (3rd CGPM, 1901). (意訳) キログラムは国際キログラム原器の質量に等しい。

国際キログラム原器(世界でただ 1 個)は、パリ郊外、国際度量衡中央局に保管されている。白金90%、イリジウム10%の合金製の円柱形で、直径、高さ、ともに 39 mm である。国際キログラム原器は600年に一度、証器(参照原器、6 個)と比較される。各国原器は、100年に 3 回、証器と比較される。日本国原器(No.6)は、1.000 000 169 kg (1889年)、1.000 000 170 kg (1949-1950年)で、国際原器と比べて、0.170 mg 大きく、60年間に 1 μg 変化している。単位としての要件は、一定不変で容易にかつ精密に再現できることであるが、基本単位の中で原器(人工物)というハードウェアが残るのは、kg だけとなった。

立方デシメートル(1 m の10分の1を 1 dm といい、その3乗)の体積を占める最大密度の蒸留水の質量を 1 kg とした(1793年)。この質量にあわせて国際キログラム原器がつくられた。のちに、キログラム原器をもとにすると、最大密度の水 1 立方デシメートルは、0.999 972 kg であった。そこで、1 リットル = 1.000 028 立方デシメートルとなる。リットルの定義は、1964年まで、最大密度をもつ温度で水 1 kg の占める体積とされた。いまでも、なごりがある。1964年からは、リットル (SI ではないが、SI と併用してもよい単位で、小文字 l (エル) または大

文字 L)は立方デシメートル dm^3 の別称となり、水とは無関係である。人名に由来する単位記号のみを大文字とする約束だが、L は唯一の例外である。

秒¹⁾の定義とその和訳を以下に示す。(原文) The second is the duration of 9 192 631 770 periods of the radiation corresponding to the transition between the two hyperfine levels of the ground state of the caesium-133 atom (13th CGPM, 1967). (訳) セシウム-133原子の基底状態に属する、二つの超微細レベル間の遷移にともない放出される光の振動周期の、9 192 631 770倍を秒と定める。

要するに、原子の出す光の振動数を使う。日本では1972年以後採用されている。地球の自転を利用する(1951年の計量法)のも、地球の公転を利用する(1958年)のも昔のこととなった。

アンペア²⁾の定義と和訳は以下のとおりである。(原文) The ampere is that constant current which, if maintained in two straight parallel conductors of infinite length, of negligible circular cross-section, and placed 1 metre apart in vacuum, would produce between these conductors a force equal to 2×10^{-7} newton per metre of length (9th CGPM, 1948). (訳) 無視できる程度に断面が小さく無限に長い2本の導体を、真空中に1メートルだけ隔てて並行に張り、それに定電流を通じたとき、その導体間に働く力が導体の長さ1メートルにつき 2×10^{-7} ニュートンであれば、その電流をアンペアとする。

電流は紙の背面向い流れているとする。右ネジの法則により、紙面上に時計回りの磁場ができる。そこで、二本の電線に同方向に電流が流れると、電線を互いに近づける方向に力が働く。

古いアンペアの定義(1908年)は、硝酸銀の水溶液から1 s間に 1.118 mg の銀を析出させる定常電流の強さであった。硝酸銀 AgNO_3 水溶液を電解する。1 クーロンの電気量で析出する銀の量は、原子量をファラデー定数で割ればよいので、現在の数値では、 $(107.8682 \text{ g/mol}) / (96485.309 \text{ C/mol}) = 0.00111797 \text{ g} = 1.11797 \text{ mg}$ となる。このように1 Cの電気量で析出(または溶解)する化学物質の質量を、かつては電気化学当量とよんだ。

ケルビン³⁾では以下のようである。(原文) The kelvin, unit of thermodynamic temperature, is the fraction $1/273.16$ of the thermodynamic temperature of the triple point of water (13th CGPM, 1967). (訳) ケルビンは、水の三重点の熱力学的温度の $1/273.16$ とする。

この定義により、温度は物に刻まれた印を離れ、Kは単位(目盛ではなくて物理量)となった。熱力学的温度は、1954年以前は絶対温度とよばれることがあった。古くは、°Kが使われたこともあるが、1967年以後、Kとなる。Kは、Lord Kelvin (W. Thomson) に因む。最低極限の温度を0 Kとするので、水の三重点は 273.16 Kとなる。定義値の 273.16 は、なぜこんな端数なのだろうか。

水の沸点を 100°C とし、水の氷点を 0°C とし、 1°C はその100等分としたのは、はるか昔の話(A. Celsiusによる、1742年)だが、今でも、そう信じている人々がいる。上記のように定義値を定めると、現在のセルシウス度でも、水の融解点と沸点がそれぞれほぼ0と100となるからである。水の沸点は測定してみて、 99.975°C (1991年)と推定されている(100°C ではない)。氷の融解点は、 0.0025°C 付近である(0°C ではない)。つまり、セ氏温度目盛からセルシウス温度に移行しても日常経験の数値はほぼかわらないのである。

セルシウス温度 θ の定義は、物理量/単位=数値の表現を使えば、 $\theta/^\circ\text{C} = T/\text{K} - 273.15$ となる。セルシウス温度の原点は、 $0^\circ\text{C} = 273.15 \text{ K}$ (定義による)である。単位はセルシウス度、

記号は℃、大きさはケルビンと同じ。

水の三重点は、273.16 K (=0.01 °C) である。三重点(triple point)とは、一成分系の状態図で、気相、液相、固相が同時に平衡(共存)状態にあるときをいう。相律により、自由度は0である。三重点セル(ジュアビンのように、内壁と外壁と二重になっている間)に純水を入れて、空気を抜いて封じる。三重点セルにドライアイスを入れると、セル内の水の一部は氷になる。つまり、二重壁の内側では、水が気相、液相、固相の3相共存状態となる。残りのドライアイス捨てて、氷を少し融かして管壁から離す。セルの中に温度計をいれ、測定する。温度は氷がなくならないかぎり、0.000 01 °C (10万分の1)の変化もない。歴史的には、氷(水の中の)が融解する温度を氷点と定めた。現在(1967年以後)では、氷点は水や氷と全く無関係に定められている。氷点とは 273.15 K (または 0 °C)の温度をいう。

モル⁹⁾は物質をあつかうときに特に重要である。(原文) The mole is the amount of substance of a system which contains as many elementary entities as there are atoms in 0.012 kilogram of carbon-12. When the mole is used, the elementary entities must be specified and may be atoms, molecules, ions, electrons, other particles, or specified groups of such particles (14th CGPM, 1971). (部分訳) モルは、0.012 kg の炭素-12に含まれる炭素原子と同数の要素粒子を含む系の物質質量である。

物質質量の単位モルについてはいろいろな議論があったが、上の定義は次第に受け入れられてきている。ここの 0.012 kg の数値は厳密である。要素粒子とは、原子、分子、イオン、電子、その他の粒子またはこれらの組み合わせなどであり、明確に規定されていることが必要である。教科書によくみられる間違いについて少しふれる。長さ m をメートル数とよばないし、100 K の温度を100ケルビン数とよべないのと同じく、物質質量に対して、記号 n をつかうとき、 n をモル数とよんではならない。¹⁾ モルあたり(molar)は物質質量でわったという意味だけに使う。アボガドロ定数とは物質 1 mol に含まれる要素粒子の数をいう。これをアボガドロ数とよぶ書物を見かけるが、国際文書では全く使われない。¹⁰⁾ 原子量に g をつけた質量を、古くは、1 グラム原子とよび、分子量に g をつけた場合はグラム分子または、1 モルとよんだ。現在は、グラム原子、グラム分子、グラム当量、グラムイオンを使わない。次の例のように、モル質量(molar mass)を使う。水 18.02 g mol⁻¹、炭素(化学元素) 12.01 g mol⁻¹、電子 548.58 μg mol⁻¹など。

カンデラ¹¹⁾は次のように定められている。(原文) The candela is the luminous intensity, in a given direction, of a source that emits monochromatic radiation of frequency 540×10^{12} hertz and that has a radiant intensity in that direction of (1/683) watt per steradian (16th CGPM, 1979). (訳) 周波数 540×10^{12} ヘルツの単色放射を放出し、所定の方向の放射強度が、1/683ワット毎ステラジアンである光源の、その方向における光度をカンデラと定める。

光度は、光源の明るさをあらわす物理量で、古くはローソク(candle) 1本の明るさを基準にした。人間の眼が感じる明るさは、光の波長に依存している。そこで、肉眼に対する効果をもっとも強いとされる光(その周波数は 540×10^{12} Hz で、波長 555 nm に相当する)が、定義に取り入れられた。このカンデラの定義は、 $\text{cd} = \text{lm/sr} = (1/683) \text{ W/sr}$ により、最高の視感度(眼の感度)を 683 lm/W と定めたことに相当する。日常使われる多くの光源は連続光を放射しているので、この場合の光源の光度は、視感度を考慮して計算あるいは測定により決定される。

5 SIを理解するための計算例

単位を学習するには、典型的な例題を教材とすることが有力である。以下では、代表的な単位について、例題を提示する。

力の単位ニュートンの定義は、 $N = m \text{ kg s}^{-2}$ で、ニュートンの運動方程式、力 = (質量) × (加速度)、に基づく。 $N/9.8 \text{ m s}^{-2} = 102 \text{ g}$ なので、地上で100 gのりんごにかかる力(手に感じる力)が、ほぼ1 Nとなる。体重(質量)61 kgをもちあげる力は約600 Nとなる。cgsからSIへの力の変換は、 $\text{dyn} = \text{cm g s}^{-2} = 10^{-5} \text{ N} = 10 \mu\text{N}$ を使う。

エネルギーの単位ジュールの定義は、 $J = N \text{ m}$ である。そこで、地上で100 gのりんごを1 m持ちあげると約1 Jとなる。仕事率の定義は、 $W = J/\text{s}$ なので、地上で、100 gのりんごを1秒間で1 m持ちあげると仕事率は1 Wとなる。電場による仕事は、 $J/C = V$ なので、電荷1 Cを電場に置いて、1 Nの力が働くとき、1 m動けば、1 Jの仕事をするから、この電位は1 Vである。 $J = N \text{ m} = W \text{ s} = A V \text{ s} = V C$ 。JをSI以外のエネルギーに換算してみる。

$$J = \text{kg (m/s)}^2 = 10^3 \text{ g (10}^2 \text{ cm/s)}^2 = 10^7 \text{ erg} = (1/4.184) \text{ cal}$$

圧力の単位パスカルの定義は、 $\text{Pa} = \text{N/m}^2$ であるので、地上で1平方メートルに100 gのりんご1個を置いてあるとき、約1 Paとなる。SIでは推奨しがたい²⁾としている単位として、atm, mmHg, Torr (または torr) がある。3 Torrは、ほぼ400 Paである($101325/760 \times 3 = 399.967$)。圧力の換算はややこしい。次は、水銀の密度 13595.1 kg/m^3 を使った標準大気圧¹⁾の計算例である。

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg} = 760 \text{ Torr} = 13595.1 \text{ kg/m}^3 \times 0.76 \text{ m} \times 9.80665 \text{ m/s}^2 = 101325 \text{ Pa} = 1013.25 \text{ hPa}$$

気体定数 R の計算として (標準圧力) × (理想気体の標準モル体積) / (氷点) = $p(V/n)/T$ を求めてみる。¹⁾

$$R = 10^5 \text{ Pa} \times (22.71108 \text{ L/mol}) / (273.15 \text{ K}) = 8.314508 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$$

(電子1個の電荷) × (アボガドロ定数) = ファラデー定数なので、1 molの電子の電気量を求める。

$$1.60 \times 10^{-19} \text{ C} \times 6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1} = 9.65 \times 10^4 \text{ C mol}^{-1}$$

これにより、電子 $10 \mu\text{mol}$ やナトリウムイオン $230 \mu\text{g}$ の電気量がほぼ1 Cとなる。

消費電力 60 W の白色電球 (全光束 760 lm, ルーメン) が点光源とみなせるとしよう。さらに、光の放射は、全方向に一様であると仮定する。すると、光度は、全光束 760 lm を $4\pi \text{ sr}$ で割ると、60 cd となる。光束の面積密度を照度(単位 lx, ルックス)という。電球から1 m 離れている机の面の照度は、全光束 760 lm を、半径1 mの球の表面積 $4\pi \text{ m}^2$ で割ると、 $60 \text{ lm/m}^2 = 60 \text{ lx}$ となる。

注 と 文 献

- 1) SI全般については以下のMillsをみるのがよい。本稿の和訳は、朽津を参照して、

少し手を加えた。I. Mills et al., *Quantities, Units and Symbols in Physical Chemistry*, IUPAC (国際純正応用化学連合 International Union of Pure and Applied Chemistry), Blackwell Scientific Publications, Oxford, 1988, second ed., 1993. 日本化学会標準化専門委員会監修, 朽津耕三訳, *物理化学で用いられる量・単位・記号*, 講談社 (1991)。SI と国際単位を混合してはならない。岩波理化学辞典 (第 4 版) によれば, 国際単位とは実用単位の一つで国際的な承認を得た場合をいう。国際実用温度目盛はその一例である。電磁氣的諸量に関する国際単位は, 1948年 CGPM で廃止された。

- 2) 計量法で使われなくなる例をかかげる。ミクロン (μ) はマイクロメートル (μm) に, ホンはデシベル (dB) に, ダイン (dyn) はニュートン (10^{-5} N) になる。重量キログラム (kilogram-force, $\text{kgf} = 9.806\ 65$ N, これが正式名で, 初等教育ではキログラム重ともいい, kgw と記すこともある) はニュートンになる。カロリー (cal) にはいろいろあるが, 熱化学カロリー $\text{cal}_{\text{th}} = 4.184$ J, 国際カロリー $\text{cal}_{\text{IT}} = 4.1868$ J, $15\ ^\circ\text{C}$ カロリー $\text{cal}_{15} = \text{約}4.1855$ J は, 全てジュールになる。このような混乱をさけるのも SI の目的の一つである。
- 3) 桜井弘久, 温度とは何か——測定の基準と問題, コロナ社 (1992)。
- 4) 青野修, 次元と次元解析, 共立出版 (1982)。
- 5) どのような量でも, 単位を用いて, 測定できるのではない。高田誠二, 単位と単位系, 共立出版 (1980), によれば, 比例量 (ある基準の何倍かで求められる量で, 長さはその例), 間隔量 (基点からの差を求めるもので, 時間競争のタイムはその例), 比率量 (比で定義される量で, 相対湿度はその例), 対数尺度量 (比率量の対数で定義される量で, 溶液の pH はその例), 順序量 (大小順で定められる量で, 鉱物のモース硬度など), 規約量 (規約により定められる量で, 例として, 不快指数, 写真の感光度など) があり, SI は, 比例量と間隔量と, さらに比率量 (の一部, 平面角と立体角) をあつかうとされる。
- 6) SI 以外にもいろいろな単位系がある。cgs 単位系では基本単位として, cm (センチメートル), g (グラム), s (秒) を使う。SI のうまれたふるさとは MKSA 系である。MKSA 単位系では, m (メートル), kg (キログラム), s (秒), A (アンペア) を使う。重力単位系では, m, kgf , s を基本単位とする。誘導単位の例として, cgs 単位系では, 力 dyn など。SI は物理単位系 (絶対単位系) で, 工学単位系 (重力単位系) ではない。cgs 系と SI とを併用しないように勧告されている。cgs-esu 単位系と cgs-emu 単位系は既に廃棄されている。SI ではないが, SI と併用される単位の例として, 時間の単位 (記号), 分 (min), 時 (h), 日 (d), 平面角の度 ($^\circ$), などがある。馬力は, 工業上用いられる仕事率の単位で, 1 仏馬力 (PS) = 0.7355 kW と, 1 英馬力 (HP) = 0.7461 kW がある。一見すると単位のようにあるが, 単位の記号ではないものもある。例えば, %, ppm, pH, ASA など。ただし, 計量法ではこれらを単位の略字とよぶ。
- 7) 現在の多くの単位には長い歴史がある。日本の (海の深さや紐の長さをはかる) 尋 (ひろ), イギリスのフィートなどは, 人間の体が基準であった。真珠をはかる匁 (もんめ), 1 mom = 3.75 g) は世界の基準となっている。日常みかける単位として,

牛乳パックの ml, 気温の °C, 天気予報の hPa など。

- 8) 数字表記法は、国際標準化機構 (ISO, International Organization for Standardization) の規約に基づく。整数を 3 桁ごとにコンマで区切るのは日本式で (ISO では禁止), CGPM では、コンマまたはフルストップを基準に 3 桁ごとに半スペース (少数部分も整数部分も) あけるように推奨している。小数点は、日本式や米国式ではフルストップを使うけれども、世界的にみれば、コンマが多く使われる。³⁾
- 9) 高田誠二, 大井みさほ, 単位のカタログ——国際単位系に親しむ, 新生出版 (1978)。
- 10) 佐藤弦, 化学教育, 26(2), 124 (1978)。なお, constant の訳である定数は, 定数 (ていすう, じょうすう), 常数, 恒数, 不変数などと使われてきたが, 現在は, 文部省学術用語集によりどの専門分野でも, 定数 (ていすう) と統一されている。朽津耕三, 化学, 50(5), 262 (1995) をみよ。
- 11) 標準大気圧は, $101\,325\text{ Pa} = 1013.25\text{ hPa} (= 1\text{ atm})$ と決められている。標準状態圧力または標準圧力は, $10^5\text{ Pa} (= 1\text{ bar})$ で, 1982年以降, IUPAC により勧告されている。

Physical Quantities and Units in Science Education

Tetsuo MORIKAWA* and Yasuko NISHIYAMA*

ABSTRACT

This paper discusses what the physical quantity is and how the physical unit is defined. This discussion clarifies the difference between units in Japanese science textbooks and SI (International System of Units). It is suggested that in the textbooks there are a number of misunderstandings and errors relating to physical units. We propose a prototype for each physical unit as a teaching material, which helps us to understand SI.

* Division of Science