

## 中等物理化学教育における物理量の表現と その導入法について

森川 鉄朗\*・室谷 利夫\*

(平成11年4月6日受理)

### 要 旨

現代の物理や化学では、2 N, 10 m, 2 g/cm<sup>3</sup>のような、表現(数字列)(空白)(単位記号)が使われている。本稿では、この表現を処理する場合、分解して数字列の代数演算をするならば日本算数方式とよび、まとめてそのままあつかうならば国際方式とよぶ。日本の中等物理化学教科書には、日本算数方式の伝統があり、国際方式は国際文書や英語圏の教科書などを含めて、世界で広く採用されている。両者のあつかい方を分析し、相違の四論点として、「(数字列)(空白)(単位記号)は物理量(の表現)」「数字列は数でない」「空白はかけ算」「単位は物理量」を抽出した。このとき、国際方式の判定条件として、複数の表現を直接的に乗除算していること、を採用した。また、「単位は物理量」とははっきりと意識しているか否かは、ケルビンとセルシウス度との間の換算式をみて判定した。国際方式は、歴史的地理的に温度差はあるけれども、これらの四論点を肯定する方向に進んでいるように思われる。日本算数方式による物理化学教科書では、物理量の意識がきわめて薄いことがわかる。そこで、日本の中等物理化学教育では、どのような順序で四論点を肯定的に導入するべきかを論じた。さらに、物理量間の演算では、代数演算で利用される比例式や方程式に替えて、常に物理的に意味のある表現を逐次たどるべきであるとした。

### KEY WORDS

|                     |          |                           |         |
|---------------------|----------|---------------------------|---------|
| physical quantity   | 物理量      | (physical) unit           | (物理) 単位 |
| number              | 数        | numerical value           | 数値      |
| space               | 空白       | quantity calculus         | 量の計算法   |
| textbook            | 教科書      | science education         | 科学教育    |
| physical expression | 物理的表現(式) | junior/senior high school | 中学高等学校  |

### 1 序 論

物理量と単位にかかわる表現法は、いうまでもないことだが、自然科学教育にとって、特に物理と化学(物理化学)の教育にとって、極めて大事な事項である。自然法則は物理量間の関係式として表現され、どの物理量も単位<sup>1)</sup>を用いて定量的に具現されるからである。さらに広くいえば、科学における表現法は、科学情報の伝達と科学的思考のための手段でもある。本論文では、中等科学教育における、物理量と単位をめぐる表現とその導入法について検討する。

現代の物理化学では、数字とアルファベット文字や記号を並べる表現が使われている。たと

\* 上越教育大学自然系教育講座

例えば、 $2\text{ N}$ ,  $2\text{ N} \times 10\text{ m}$ ,  $2\text{ g/cm}^3$ ,  $3\text{ m} + 5\text{ m}$ ,  $\theta/^\circ\text{C} + 273.15$ ,  $f = m \times \alpha$  などである。本稿では、これらの物理的に意味のある表現あるいは式を「物理的表現」と総称する。細かくみると、ひとつの物理的表現は、さらに(数字列)(空白)(単位記号)の形の表現を含むことがある。このとき、数字列と単位記号の間には空白があり、単位記号には、複数のアルファベット文字や/や・やその他に、空白も含まれることがある。物理的表現については既に詳論してある<sup>2)</sup>ので、以下では主に、より小さな物理的表現である(数字列)(空白)(単位記号)について取り上げる。

日本の多くの中等物理化学教科書<sup>3,4)</sup>で採用されている量の計算法では、以下で詳しく説明するように、数字列だけを取り出して演算する。つまり、物理的表現をそのまま使わないで、分解してから処理する点に特徴がある。この方式は、日本の中等教科書に典型的に見られ、算数からの影響と思われるので、日本算数方式<sup>5)</sup>とよぶことにする。一方、表現(数字列)(空白)(単位記号)をそのまま物理的表現としてあつかう方式は、国際文書<sup>6)</sup>や英語圏のみならず世界<sup>7)</sup>で広く採用されているので、以下では国際方式とよぶことにする。このような両方式の相違は、すでに一部議論<sup>8)</sup>したが、本稿ではさらに詳細に検討する。

中等科学教育で指摘される生徒の学習上の困難性は、どれも物理量に強く関係している。たとえば、法則の理解とは物理量間の関係をとらえること、関数やグラフのあつかいは物理化学的な現象を量的に視覚的にあらわそうという試みであること、計算問題の解法とは物理量とその表現のあつかい方の学習であること、などだからである。以下で説明するように、日本算数方式の弱点は、物理量とその表現を意識することがあらゆる場面で極めて薄いことだ、と指摘できる。物理量をめぐるこれらの問題点は大きな課題であり、稿を改めて議論するべきであろう。本稿では、その準備のため、まずは表現(数字列)(空白)(単位記号)の教育上必要となる分析をおこなう。また、日本算数方式に替えて、物理的表現を使いいかに問題を解くべきかをも議論する。なお、簡略化のために、とりあげる例題では、有効数字のあつかいは無視する。

## 2 物理量の表現と記号について

ふたつの物理化学系において、同種の物理量を比較することを測定という。比較の方法(測定の原理)は、あつかう物理量によってさまざまである。紐を机にあててその長さや幅を比べる、天秤で左右の皿に物体をのせて質量を比べる、などの類である。ここで、基準あるいは標準として選ぶ物理量を、単位とよぶ。測定の結果、数値が得られるので、物理量/単位=数値あるいは物理量=数値×単位とあらわすことになる。ここで、記号×と/は、それぞれ、かけ算と割算を意味している。

例として質量をとりあげてみる。もろもろの物理化学系の質量を考え、それらの全体を、質量という物理量の集合があると理解する。集合での質量という名称は、次元の名前のことである。その質量という集合には、自分が測りたいものの質量  $m$  も、キログラム原器の質量も、入っている。原器の質量を記号で、 $\text{kg}$  とあらわす。つまり、ある単位の記号とは、その単位の表現のことである。当然のことだが、単位とその表現は自然法則で決まるものではなく、人間が選んだ物理量とその表現ということになる。質量  $m$  と原器の質量  $\text{kg}$  とを比較する。そのとき、 $m/\text{kg} = 1.0$  となることもあるし、 $m/\text{kg} = 10.0$  となることもある。そこで、 $m = 1.0\text{ kg}$  とか、 $m = 10.0\text{ kg}$  とか、書くことになる。まとめると、物理や化学で使われている表現

(数字列)(空白)(単位記号)は、数値と単位のかけ算(数値×単位)のことで、まとめてひとつの物理量(の表現)をあらわしている。この理解の仕方を、以後「(数字列)(空白)(単位記号)は物理量」とよぶことにする。

物理化学の教科書やその他の出版物で、表現(数字列)(空白)(単位記号)を物理量とみなしているか否かは、複数の(数字列)(空白)(単位記号)の乗除の仕方をみれば、より正確に判定できる。数字列は数字列同士でのみ、単位記号は単位記号同士でのみ、乗除算をするのが、物理量の乗除法の規則である。この乗除の結果は、新しい(数字列)(空白)(単位記号)つまり、新しい物理量となる。このように、表現(数字列)(空白)(単位記号)をまとめてあつかう方式は、以下で順次述べるように、国際方式の量の計算法とよんでよい。

例題(仕事):力  $2\text{ N}$  と作用点の(力の方向の)移動距離  $10\text{ m}$  とから仕事(エネルギー)  $W$  を求めよ、を考えてみる。たとえば、 $W = 2\text{ N} \times 10\text{ m} = 20\text{ J}$ 、と計算していれば、国際方式と判定できる。一方、日本の多くの中高教科書のやり方では、たとえば、 $W = 2 \times 10 = 20\text{ [J]}$  とか、 $W = 2\text{ [N]} \times 10\text{ [m]} = 20\text{ [J]}$  とか、計算する<sup>3,4)</sup>であろう。そこでは、数の間だけの代数演算をしていて、単位をかこむ  $[\ ]$  は備忘のために(付箋あるいはメモ用紙のように)わきに添えているのである。この量の計算方式は、後述するように小学校の算数計算から始まるので、国際方式と対比させて、日本算数(教科書)方式とよぶことにする。

日本算数方式での  $2$  と  $[\text{N}]$  の間は、数値×単位でいうかけ算ではない。つまり、「力  $2\text{ N}$ 」といういいまわしを使っている、 $2\text{ N}$  から  $2$  を切り離せるとして、 $2\text{ N}$  をまとめて一つの物理量と考えていない(単位がなければ物理量ではない)のである。日本算数方式の特徴は、仕事という物理量に  $W$  という記号をあてながら、計算するときには、上の例のように、 $W$  が数値と等号で結ばれている点にもみられる。最新検定本の付録で「物理量は数値と単位の積」と書いている高校教科書<sup>3)</sup>もあるが、数値×単位の複数乗除を採用していない場合には、国際方式といえない。なお、国際方式では、 $(2\text{ N})(10\text{ m}) = (2 \times \text{N}) \times (10 \times \text{m}) = (2 \cdot \text{N}) \cdot (10 \cdot \text{m}) = (2\text{ N}) \times (10\text{ m}) = (2 \times 10) \times (\text{N m}) = 20\text{ J}$ 、のような表現も使われることがある。

次の例題<sup>3)</sup>を解いてみると、日本算数方式の考え方の特徴がよりはっきりとする。例題(密度):ある物体の密度を  $2\text{ g/cm}^3$  として、体積  $10\text{ mm}^3$  の質量を求めよ。日本算数方式を教えられている生徒は、この例題を次のように解くであろう。体積  $1\text{ cm}^3$  つまり  $1000\text{ mm}^3$  の質量は  $2\text{ g}$  で、 $10\text{ mm}^3$  の質量は何グラムか、と聞かれている。そこで、求める質量を  $x$  グラムとおく。数を取り出して、比例式  $x:2 = 10:1000$  をたてる。この比例式を解いて、 $x = 2(10/1000) = 0.02\text{ [g]}$ 、と最後に  $[\text{g}]$  をつける。無論、答の、 $0.02$  と  $[\text{g}]$  との間はかけ算ではない(と、日本算数方式教科書は述べている)のだろう。もしかけ算とすると、この計算式は、左辺は数だけで右辺は数ではない記号がつくので、無意味になってしまうからである。思うに、 $[\text{g}]$  は付箋のつもりで置いてあるのであろう。したがって、この計算式は、数式としては( $[\text{g}]$  を付箋とみれば)正しいといえる。では、 $2 \times 10/1000 = 0.02$  と数の計算式を示してから、(答)  $0.02\text{ g}$  と単位をつければ、問題はないのだろうか? 日本算数方式の問題点は後で詳しく議論することにして、ここでの計算過程から読み取れる日本算数方式の(暗黙の)了解事項をまとめてみる。表現(数字列)(空白)(単位記号)をまとめて物理量とみなしていない(ので数字列と単位記号とを切り離せる)こと、数字列を数とみて代数演算をしている(ので数式である比例式を使える)こと、 $[\ ]$  付きの単位は備忘用付箋のようなものである

(ので数式の計算の最後に添付できる) こと、などがよくわかる。これらの了解事項の意味を国際方式と対比させながら、さらに検討してみる。

計算式  $W = 2 (10/1000) = 0.02$  [g] の問題点は、[ ] 付き付箋を利用することではなくて、たとえば、 $2\text{ N}$  から  $2$  をとりだし、数の演算にかけていること、すなわち、 $2$  を数と知っていることにある。数(すう、実数、英語の real number)とは、四則演算に対して閉じている実数体の要素のことである。上のふたつの例題が示しているように、日本算数方式はあくまで、数の演算をしているようにみえる。算数あるいは数学の教科書では、単位(の記号)は数ではないのだから、単位をはずして数のみの演算をするのは当然であろう。あくまで、数の導入のために、単位付きの量を利用しているのである。一方、物理化学で、体積  $v$  に対して  $v/\text{cm}^3 = 2$  で、密度  $d$  に対して  $d/(\text{g}/\text{cm}^3) = 2$  であったとする。このとき、どちらも  $2$  だからといって、等しいと置けないし、加えることもできない。すなわち、表現(数字列)(空白)(単位記号)における「数字列は数ではない」のである。そこで、物理や化学では、数とは違う名称を使うことになる。このときの数字列を、英語では numerical value とよび、日本化学会では数値と和訳している。この、number ではない、numerical の意味を味わう必要があるのではなかろうか。数値は、単位と切り離しては、ありえない(物理的に意味がない)のである。以後、この理解の仕方を「数字列は数ではない」あるいは「数値は数ではない」とよぶことにする。日本の中高生には、物理や化学での数値は、数学の数とは同じ数字を使うけれども違うものだよ、と教えずにはならない。さらにすすめていけば、物理や化学では数学の(数の)四則演算とは違う、物理的表現を考えながらの物理量間の演算法<sup>10)</sup>を教えるべきである。

物理量の表現(数字列)(空白)(単位記号)で忘れてならない注意点は、中間にみられる空白である。この空白は、「物理量=数値×単位」で説明したように、かけ算を意味している。つまり、物理量の乗除で使われる表記法  $2\text{ N} \times 10\text{ m} = 20\text{ N m} = 20\text{ J}$  や  $2\text{ g}/\text{cm}^3$  は、数学で使われている文字式の約束たとえば、 $2a \times 10b = 20ab$  や  $2a/b$  と類似していて、数字列と文字列との間にはかけ算なのである。ただし、文字列は、数式では数をあらわしているが、物理量の乗除法では単位(物理量)である。空白<sup>11)</sup>は、数式ではつめても混乱は生まれにくい、物理量の計算では無視できないと、生徒に注意しなくてはならない。ひとつの単位記号に複数のアルファベット文字が使われていて、単位記号同士は空白または中黒点で分離される約束だからである。科学教育としては、「数字列と単位記号の間はかけ算」「単位記号間の空白はかけ算」と心得るのが大事な事項となる。

「物理量=数値×単位」で説明したように、物理や化学では、単位は特別な(つまり、人間が選んだ)物理量である。注意すべきは、教科書や参考書が表現(数字列)(空白)(単位記号)をまとめてあつかっていても、「単位は物理量」とははっきり認識しているとは限らない点である。SIの基本単位<sup>12)</sup>のなかで、ケルビンという「単位は物理量」となったのは、1967年(第13回国際度量衡総会)であった。セルシウス度  $^{\circ}\text{C}$  も、ケルビンとの関係式から、物理量となった。ケルビンは、水の三重点の熱力学的温度の  $273.16$  分の  $1$  とする、と定められている。つまり、水の三重点を  $T_3$  とすると、 $T_3/273.16 = \text{K}$ 、すなわち、 $T_3 = 273.16\text{ K}$ 、である。定義はこれだけで、ケルビンは物理量であるとは、SIのどこにも書かれていない。でも、文脈からは、 $\text{K}$  が物理量であることは明らかであろう。この1967年以前にも、国際方式つまり(数字列)(空白)(単位記号)の一括あつかいはされていた<sup>13,14)</sup>し、すでに1901年に質量の単位はキログラム原器を使って定められていた(第3回国際度量衡総会)のだから、現在からみれば、質量の単

位はそのときすでに物理量であった。だが、今世紀の初頭の頃「単位は物理量」と考えた人達は、たぶん少数派<sup>15)</sup>であったろう。

教科書や参考書が「単位は物理量」とあつかっているかいないかは、温度の単位 K と °C と間の換算式をみれば、よりはっきりと判定できる。今でも  $K = ^\circ C + 273$  と書く教科書<sup>16,17)</sup>は、「単位は物理量」と考えていないといえる。このときの単位の記号はあきらかに数値をあらわしているからである。この1967年のあと出版された英語圏の物理化学の教科書<sup>17)</sup>でも、K を物理量とはっきり意識していないようである。最近の出版物<sup>18)</sup>では、K が物理量のあつかいになりつつある、そういう現状ではないだろうか。

数値と単位とをこみで直接的に演算するのが便利だと述べた人物は、イギリスの Lodge (1888)<sup>13)</sup>で、ここらあたりが、国際方式の歴史的地理的発祥源であろう。国際方式は、すでに英語圏の中高大の教育現場は無論、アジア各国の教科書<sup>19)</sup>でも採用されている。世界的にみれば、日本算数方式の使用例は少ない。学術論文では、自然法則を物理量(をあらわす記号)間の関係式として表現する方法は普通に使われているが、一方、紙面の節約のためか、数値×単位を代入しての計算つまり国際方式は、あまりみあたらないようである。計算結果は、むしろ、表やグラフにされることが多い。

物理化学のハンドブック<sup>20)</sup>をみってみる。表の第一行の融点 mp にたいして mp/°C で、その下に数字がカラムで並んでいる。ここは、「物理量=数値×単位」の立場からみれば、融点という物理量を、同種の特別な物理量である単位 °C で割ると、その下の数値になる、と読むべきところである。日本算数方式を学習した生徒や学生は、単位は [ ] 付きでわきに添えるものなので、この斜線も mp [°C] と同じ使い方、つまり、mp は単位 °C を使っていて斜線は単なる区切り記号と考えるであろう。融点という物理量にたとえば、mp in degrees Celsius とつけるのは、英語の習慣であって、日本算数方式の付箋のあつかいとは違うものである。グラフの縦横軸には数値のみを目盛り、わきに物理量/単位を添える表記法も「物理量=数値×単位」の立場からみれば、きわめて自然なやり方といえる。ただし、物理量に単位を添える仕方(たとえば、力  $f$  にたいして、 $f$  [N] や  $f$  (N) や  $f/N$  など)や「単位は物理量」の受けとめ方は、ヨーロッパやアメリカの歴史的地理的条件によっても、物理系や化学系や工学系などの学会の違いによっても、温度差はある。ここで注意しておくが、物理量に単位を添えるとき、 $f$  (N) のように [ ] や ( ) 付きにする表記は国外でもみられるが、その表記をそのままつかう乗除法は国外文献ではあまりみあたらない。

### 3 中等科学教科書にみる物理量のあつかい方の問題点

日本の児童が学校教育で、表現(数字列)(空白)(単位記号)に最初に本格的に出会うのは、小学校低学年で使われる算数の教科書であろう。たとえば、長方形の辺の長さを 3 cm や 5 cm などと与えて、周囲長を求めさせるのである。無論、 $3 + 5 + 3 + 5 = 16$  (cm) と計算している。このときの計算法が、前述の物理量の計算法に関する日本算数方式の始まりなのである。この方式に、中高の科学教科書が強く影響をうけているのは明らかであろう。

すでに述べたように、日本算数方式による中等科学教育では、表現(数字列)(空白)(単位記号)から数字列を取り出し、数字の間だけで代数演算をする。単位記号は、備忘のために [ ] または ( ) 付きでわきに添える。つまり、生徒を指導するさいに、(数字列)(空白)(単位記号)

をまとめてひとつの物理量（の表現），という意識が薄い。そこで，生徒や学生に実験レポートを提出させると，どのような単位をつければよいですかという質問がでてしまう。また，量の計算においても，教師から「答えには単位をつけなさい」ということが度々ある。単位を忘れていた生徒に注意しているのである。これらは，数だけの演算をして後から単位をつける指導法に原因があるように思われる。数値と単位をまとめて物理量とみなし，いつも物理量の間で直接的に演算をしているならば，このようなことは起こりにくいのではないだろうか。学生がたとえば，pH の定義にあらわれる対数関数に， $\log(2 \text{ mol/L})$  のように，物理量を平気で入れることは，物理量と数との区別がついていないからだと思われる。

SI<sup>6)</sup>によれば，キログラム原器の質量は，1 kg ではなくて，kg であることに注意しよう。前者の差は一見どうでもよいようであるが，その背景の違いは科学教育において重大である。前節での「物理量＝数値×単位」の説明をくりかえす。質量 1 kg とは，ある物体の質量と原器の質量とを比較して，ちょうど数値が 1 であったときの表示である。基本単位である kg は，質量という次元の中から選ばれた基準であり，質量の測定法とは別に定められている特別な物理量なのである。つまり，特別な質量（人間が約束した唯一，絶対とみなす物理量）にだけ，kg という記号を使うわけである。「物理量＝数値×単位」を意識していない傍証のひとつが，長さの単位を 1 メートル（記号では 1 m）は云々と，キログラム原器の質量を 1 kg と，単位としてのモルを 1 mol と定義することにもみられる。このように，日本の中等科学教育では多くの単位が物理量ではなくて，単にわきに添える印（記号）あるいは目盛としてあつかわれてきた。「単位は物理量」という考え方が，世界的にみて歴史的な流れの中で定着してきて，ついに，SI でも最後にそうなった（1967）のがケルビンと説明した。念のためコメントするが，「単位は物理量」は SI の明言する約束ではない。SI の背景にある考え方（単位のあつかい方）である。生徒や学生を前にする教師は，SI の基本単位を理解しようとするならば，その歴史的な背景を知っておくことが必要ではなかろうか。

単位を物理量とみなさない教育実践例<sup>21)</sup>は，よくみかける。数だけの計算をして，最後に [ ] 付きで単位をわきに添える仕方は，単位は単に記号であり数値と単位は分離できると考えているから，そうするのであろう。単位はただの記号と考えているならば，力の単位  $N = \text{kg m/s}^2$  は記号を置き換えるための式と解釈するであろう。この解釈に対立する立場が「単位は物理量」である。「単位は物理量」と理解しているならば，式  $N = \text{kg m/s}^2$  はニュートンの運動方程式  $f = m \times a$  の特例であると解釈するし，もし  $N = \text{kg m/s}^2$  を物理量間の関係式と受とめていないとすると，それは  $f = m \times a$  がわかっていないからと考えるであろう。

日本算数方式は，物理量の教育目標からみるとさらに，どんな点がまずいか。物体にはたらく重力  $m \times g$  [N] と垂直抗力  $f$  [N] がつりあっている，と述べている教科書の文章があるとしよう。この文章を式にすれば， $m \times g = f$  となるのだが，この式は単位を全く使わないで成立している物理量間の関係である。生徒のよくある誤解は，単位ニュートンで測った（ので） $m \times g$  と  $f$  という数（値）が等しい，とするものである。人工的な単位を必要としない関係式，すなわち物理量間の自然法則，として教えられていないのである。単位 kgw のかわりに，N を導入するのは難しいと，中等教育の現場から聞くことがある。現在の生徒に単位なしの， $m \times g = f$  を理解させるのは困難かもしれないが，物理法則を物理量間の関係式として理解させることは，物理化学教育のひとつの目標である。もし，生徒がその目標に向かって教えら

れていれば、kgw を N に変えても、大きな混乱や困難は起こらないはずであるし、もし起こっているならば、そのように教えられてこなかったのである。物理化学的關係式を自然法則として教えようとする立場からこそ、「単位は物理量」の意味がはっきりするのではなからうか。単位をつけたければ特別な關係、たとえば  $\text{kg m/s}^2 = \text{N}$  で辺と辺とを割算して、 $m/\text{kg} \cdot g/(\text{m/s}^2) = f/\text{N}$ 、とすればよい。別の単位  $\text{kgw} = \text{kg } 9.80 \text{ m/s}^2$  を使えば、 $m/\text{kg} \cdot g/(9.80 \text{ m/s}^2) = f/\text{kgw}$ 、である。例題(仕事)での  $2 \text{ N}$  を  $2.00 \text{ kgw}$  に置き換えて、仕事  $W$  を計算すると、 $W = 2.00 \text{ kgw} \times 10 \text{ m} = 196 \text{ J}$  となる。「単位は物理量」と考えることで、単位、たとえば、ニュートンを測定から導入するという道筋が自然にでてくる。

前述の物理量間の直接乗除法や後ででてくる表現  $\theta/^\circ\text{C} + 273.15 = T/\text{K}$  は、人によっては奇妙だと思うかもしれない。運動方程式の表現  $f = m \times a$  も、日本語の文法からみると、まことに奇妙ではある。述語をあらわす記号  $=$  が文末にないからである。だが、この運動方程式の表現を変だと主張する人は、ほとんどいないであろう。いずれの表現もただの習慣にすぎないのに、である。しかし、[ ] 付きの計算法を使っていることは慣れだけではなくて、結局は次のどれかを考えていないのではなからうか。質量について述べると、質量という物理量の集合の全体を意識していない。したがって、その集合のある要素をひとつの記号  $m$  であらわせない。したがって、その物理量  $m$  を特別な物理量  $\text{kg}$  で測れない。したがって、 $m/\text{kg} = 10.0$  すなわち  $m = 10.0 \text{ kg}$  と表現できない。故に「(数字列)(空白)(単位記号)は物理量」と思っていない。

前節の例題(密度)の議論を続けよう。このときの密度  $2 \text{ g/cm}^3$  はある物体の全体を考えているし、 $10 \text{ mm}^3$  はその部分である。このように、系とその部分系、あるいは、ひとつの系のふたつの状態に注目して、数式でいうところの比例關係を問う演習問題は数多い。例をあげてみる。

例題(速さ)：速さ  $2 \text{ m/s}$  で移動している物体が、時間  $10 \text{ ms}$  で進む距離を求めよ。

例題(圧力)：気体の圧力を  $2 \text{ N/m}^2$  として、面積  $10 \text{ cm}^2$  におよぼす力を求めよ。

例題(濃度)：溶液の濃度を  $2 \text{ g/dm}^3$  として、体積  $10 \text{ cm}^3$  中の溶質の質量を求めよ。

例題(物質質量)：溶液のモル濃度を  $2 \text{ mol/dm}^3$  として、体積  $10 \text{ cm}^3$  中の溶質の物質質量を求めよ。

例題(モル質量)：水素のモル質量を  $2 \text{ g/mol}$  として、その物質質量  $10 \text{ mmol}$  の質量を求めよ。

前出のように日本算数方式で、求める数を  $x$  とおき比例式を解けば、確かに正解を得ることができる。では、数式での比の關係から求める方法のどこが、物理化学教育としてはよくないのだろうか。前節の計算過程から読み取れる了解事項を参照すれば、問題点があぶりだされる。すなわち、表現(数字列)(空白)(単位記号)をまとめて物理量とみなしていない(物理量の意識が薄い)こと、数の間だけの代数演算にこだわっている(数字列を数とみなしている)こと、単位は備忘用付箋として添えるものである(空白をかけ算とっていない)ことなどである。

物理化学の計算問題は、生徒や学生に単に計算をさせ、答をださせるためにだけ、与えるものではないはずである。例題(密度)では、問題の要求は確かに答を求めているだけであるが、その教育的ねらいは、密度という物理量の性質を理解させるためのものであろう。均一な物体

の密度とは、その物体の全体でもどの小部分でもひとつの物理量であらわせる、物理量のそういうつかみ方ができるようになるのがもっとも大事であるし、それを確認させるための計算問題であろう。つまり、この例題では、密度は示強性<sup>22)</sup>の物理量ということ（示強性という言葉を使っても使わなくても）教えようとしているはずである。日本算数方式で解答すれば充分とするならば、ただ答をだせばよいと考えているふしがみられるということになり、それは指導者側のせめられる点である。数式による計算では、いわば、物理しているあるいは化学している、とはいいがたい。

上記の複数の例題の、物理量間の一般的な構造を述べてみる。最初の条件文には、一つの系あるいはひとつの状態における、二種類の物理量で割算して生まれる示強性の物理量を与えられている。たとえば、例題（密度）では与えられた密度を  $d(\text{物体})$  と書くと、 $d(\text{物体}) = 2 \text{ g/cm}^3$  となる。後半部分では、部分系あるいは別の状態における示量性の物理量を与えて、そのときの未知の示量性の物理量を求めよと述べているので、この未知の物理量に文字をあてると、示強性の物理量をあらわせることになる。たとえば、例題（密度）では未知の質量を  $m$  とすると、 $d(\text{部分}) = m/(10 \text{ mm}^3)$  となる。いずれも「物理量＝数値×単位」と表現されていることに注目しよう。こうして、サイズや状態の異なる、ふたつの系あるいは状態を比べるために使える示強性の物理量二種を得たことになる。この論理の流れにそって展開する物理量を強く意識する解法は、節を改めて述べる。上記の例題は、さまざまな変形が可能であることに注意しよう。二種類の示強性物理量には四種の示量性物理量が使われるので、それらのうちの三種の示量性物理量の与え方によって、各種の演習問題ができることになる。例えば、例題（密度）を変形してみれば、体積  $10 \text{ mm}^3$  あたり  $20 \text{ mg}$  の物体があるとして、物体  $2 \text{ g}$  の体積を求めよとなる。このとき、未知の体積を  $v$  とすれば、示強性の物理量（密度）は、 $d(\text{部分}) = 2 \text{ g}/v$  とあらわせるし、もう一つの示強性物理量（密度）は無論、 $d(\text{物体}) = 20 \text{ mg}/(10 \text{ mm}^3)$  となる。

表記法は、歴史的文化的背景をもとに、採用され使われる。自然科学教育においては、自然科学の事実（客観的存在）と歴史的文化的経緯の中で確立される内容（文化）との違いを、意識して教えないならならぬだろう。力という物理量を、地球外の知的生物でも、もし存在するならばそして地球人以上の知性をもつならば、地球人と同じく所有しているに違いない。これが、力という物理量は客観的に存在する、という意味である。一方、力という物理量は、日本語では力といい、英語では force といい、表現（数字列）（空白）（単位記号）をまとめてひとつの物理量（の表現）とみなしたりみなさなかつたり、 $2 \text{ N}$  や  $f [\text{N}]$  とあらわすのは、文化（より狭くいえば表現法）である。自然科学教育としては、客観的存在をより強く意識できる表現法が望ましいのではなかろうか。

物理量と単位をめぐる本稿の議論は、主に計算法と図や表の表現形式（単位を [ ] や ( ) でそえるなど単位の付け方）だけを問題にしているわけではない。日本の中高教科書での背景に読み取れる物理量の認識「物理量＝数値×単位」が薄い、物理量をはっきりと把握しているか、あるいは物理量を理解するように教育しているかという、科学教育の在り方に深くかわりあっている。これが、表現（数字列）（空白）（単位記号）を全体として物理量ととらえるか否か、の問題の本質である。黒板あるいは個人的な計算で、 $2 \text{ N} \times 10 \text{ m} = 20 \text{ J}$  と書くべきところを、 $2 \times 10 = 20$  と数値だけの演算をして、そのわきに単位 [J] を書き加えても、それはあくまで、便宜的なあるいは個人的な表記法にすぎない。本稿では、広く頒布される中



等物理化学教科書や辞典などの影響力の強い媒体にみられる表記法について、議論している。

こうして、科学教育において、「数字列は数でない」と「数字列と単位の間はかけ算」とをはっきりさせながら「単位は物理量」を導入すれば、学習者は容易に「(数字列)(空白)(単位記号)は物理量」と受け入れるであろう。その逆、つまり「(数字列)(空白)(単位記号)は物理量」と認める者はだれでも「単位は物理量」を受け入れるかということ、かならずしもそうならないのが難しい点である。これについての歴史的な流れは、ケルビンの議論のところで述べた。日本の中等物理化学教科書は、これらの四論点をはっきりと視野におさめて、日本算数方式から国際方式に移行すべきではなかろうか。次の節では、それらの導入の順序を考察する。

#### 4 中等科学教育における物理量の表現法の導入について

中等科学教育の物理化学的内容においては、特に、教える側が理解しておくべきことと教えられる側が理解すべきことを、よく吟味しはっきりと区別しておくことが大事である。教える側が理解でき消化できる内容の中から、教えられる側にとっても理解でき受け入れられる内容が選択されるべきである。生徒の学習環境や教科書の現状など、さらに高等科学教育への継続性も忘れてはならない。前述までの議論によって、中等科学教育でひろく採用されるべき物理量の表現のあつかいは、次のような流れが適当であると思われる。

中等物理化学教育では、表現(数字列)(空白)(単位記号)の一括処理方式つまり国際方式を採用する。当然、物理量間の乗除は、直接演算となる。この段階で、「(数字列)(空白)(単位記号)は物理量」と「単位は物理量」とを、中高生に明示する必要はない。それらは、教師側が心得ていればよいことである。生徒は、もし国際方式に慣れていれば、日常生活で体験する表現(数字列)(空白)(単位記号)に違和感を持たないですむし、高等物理化学教育で「単位は物理量」と教えられても、あっそうかと無理なく理解できるはずである。しかしながら、 $2\text{ N}$  と  $2[\text{ N}]$  のいずれでも、計算に単位をつけさえすれば大きな違いはないのではないかという疑問が、まだでるかもしれない。前者  $2\text{ N}$  ではまとめて一つの物理量とみなしているのであり、一方、 $2[\text{ N}]$  は備忘用の付箋を数字のわきに置いているにすぎないと、くり返し述べてきた。教師側は物理量の直接的な乗除法を採用することで、生徒が「(数字列)(空白)(単位記号)は物理量」を受け入れる下地を、まずは準備するのである。

物理量の演算において、乗除法の規則はすでに述べた。国際方式を採用するには、あと、加減法の規則にもふれなければならない。二種類の紐、 $3\text{ m}$  と  $5\text{ m}$ 、が与えられているとき、つなげることを  $3\text{ m} + 5\text{ m}$  と表現するとしよう。また、セルシウス温度を  $\theta$  であらわすと、 $\theta/^\circ\text{C}$  は無論、数値となる。そこで、表現  $3\text{ m} + 5\text{ m}$  や  $\theta/^\circ\text{C} + 273.15$  は物理的に意味のある表現つまり物理的表現となる。物理化学の学習者が、二種類の物理的表現が等価であると判断できれば、それは物理化学での量的な関係を把握したということになる。たとえば、 $8\text{ m}$  と  $T/\text{K}$  とを使って、 $3\text{ m} + 5\text{ m} = 8\text{ m}$  や  $\theta/^\circ\text{C} + 273.15 = T/\text{K}$  のようにである。物理量の加減法においては、たとえば、水  $50\text{ mL}$  とエチルアルコール  $50\text{ mL}$  とを加えても  $100\text{ mL}$  にならないように、物質の性質に依存するような場合が現れるので、物理的表現か否かの判断が乗除法よりも難しい。

国際方式の採用とは、物理量を加減乗除するとき、たとえば、 $2\text{ N} \times 10\text{ m} = 20\text{ J}$  のように、 $[\ ]$  をなくして表記することであった。このとき、生徒が物理量の加減乗除を混乱なく正確に

できるようにするために、「数値と単位の間はかけ算」と「単位はローマン体で」と (cm のような)「接頭語付きでひとつの単位」を指導しておくべきであろう。ただし、この教育段階までは前述の歴史的な流れからみて、表や図とかでの、力  $[N]$  や  $f [N]$  や  $f/N$  などの表記法をいずれかに強制しなくてもよいであろう。板書<sup>23)</sup>では、アルファベットで単位をあらわすときには、筆記体ではなくていわゆる活字体で、物理量を単位とは区別してあらわしたいときは下線を引けばよい。

「数値は数でない」は、数値は数の四則演算にしたがわない、という意味であった。いわゆる有効数字のあつかいは、数値のもつ不確かさに関する議論のことで、「数値は数でない」とは違う内容であることに注意しよう。有効数字のあつかいは、数値の演算をして、新しい数値を求めるときに必要となるものである。こうして、生徒が表現 (数字列)(空白)(単位記号)をまとめてひとつの量 (物理量といわなくてもよい) とあつかいながら、新しい表現 (数字列)(空白)(単位記号)を生成できるように指導するのである。

上述の国際方式の採用とは、教師と教科書との心は「(数字列)(空白)(単位記号)は物理量」であるが、生徒にはそれを明示しないというものであった。だが、次の段階として、生徒の学習の進捗に応じて「(数字列)(空白)(単位記号)は物理量」と説明してもよいかもしれない。生徒は、もし、中等物理化学教育の初期段階から、長さも面積もみんな物理量だと教えられていれば、物理量という言葉にそれほど違和感をいだかないであろうから。「単位は物理量」も同様に、その導入は高等物理化学教育にまかせてもよいけれども、中等科学教育の後段階では可能かもしれない。たとえば、質量の単位についていえば、単位 kg はキログラム原器の質量のことと教えていることはすなわち、質量の「単位は物理量」としていることにほかならないからである。ケルビンのあつかいで述べたように、「単位は物理量」は英語圏の教科書では、日本のそれと比べると、より楽に移行しつつあるようにみえる。日本との歴史的な違いは、物理量の間の加減乗除法を採用してきたことにある。日本の中等物理化学教科書でも、まずは表現 (数字列)(空白)(単位記号)の一括処理方式の全面採用ではないだろうか。

いままでの日本算数方式での数の方程式をやめるとしたら、どう置き換えたならよいのだろうか。まず、アメリカの教科書などに広く採用されている物理量の一括処理方法、QRM (quantity ratio method, dimensional analysis ともいう)<sup>24)</sup>で、例題 (密度) を解いてみる。与えられた密度を  $2 \text{ g}$  と  $1 \text{ cm}^3$  に分解し、体積  $10 \text{ mm}^3$  と  $1 \text{ cm}^3$  の割合をつくってから、 $2 \text{ g} (10 \text{ mm}^3/1 \text{ cm}^3) = 20 \text{ mg}$  と計算する。QRM は、単位の換算とか前記の例題以外にも使われている。QRM の特徴は、同種の物理量の比、ここでは  $10 \text{ mm}^3/1 \text{ cm}^3$  を使う点にある。この計算法の根拠は、物理量間の比例式、 $m : 2 \text{ g} = 10 \text{ mm}^3 : 1 \text{ cm}^3$  にあるように思われる。この比例式を解けば、QRM と同じ結果となるようにみえるが、このときの問題点はすでに議論<sup>25)</sup>した。

数の比例計算法に替わる、新規の計算法<sup>2)</sup>はすでに報告してある。例題 (密度) でいえば、物理量である密度の性質 (示強性) を強く意識する解法である。この解法のエッセンスを、例題 (密度) をもとに述べてみる。例題 (密度) ではすでに、 $d(\text{物体}) = 2 \text{ g/cm}^3$  と  $d(\text{部分}) = m / (10 \text{ mm}^3)$  と書いている。いまの場合、 $d(\text{物体}) = d(\text{部分})$  と気付くのがこの解法の眼目で、結局、 $2 \text{ g/cm}^3 = m / (10 \text{ mm}^3)$  という未知の物理量  $m$  をふくむ物理的表現が得られる。両辺に  $10 \text{ mm}^3$  をかけ算して、 $m = (2 \text{ g/cm}^3) (10 \text{ mm}^3) = 20 \text{ mg}$  と解くことになる。密度に関する等価性をあらわす物理的表現つまり物理化学的な条件  $d(\text{物体}) = d(\text{部分})$ こそ、教育す

べき密度の性質(示強性)であった。同様に、前出の例題(速さ)(圧力)(濃度)(物質量)(モル質量)で、示強性物理量間の方程式をたててみる。それぞれ、 $2 \text{ m/s} = q/(10 \text{ ms})$ ,  $2 \text{ N/m}^2 = q/(10 \text{ cm}^2)$ ,  $2 \text{ g/dm}^3 = q/(10 \text{ cm}^3)$ ,  $2 \text{ mol/dm}^3 = q/(10 \text{ cm}^3)$ ,  $2 \text{ g/mol} = q/(10 \text{ mmol})$ となる。ここで、未知の示量性物理量をいずれも  $q$  と置いてある。このように、物理的表現を次々と作成することは、すなわち、物理化学の問題を物理化学の言葉を使って考えていくことなのである。

## 5 結 語

現代の物理や化学で使われる、自然情報の伝達と思考の手段としての、表現(数字列)(空白)(単位記号)を詳しく検討して、その解釈と利用法は国際方式と日本算数方式とに大別される、とした。国際方式は、歴史的地理的に温度差はあるけれども、四論点「(数字列)(空白)(単位記号)は物理量」「数字列は数でない」「空白はかけ算」「単位は物理量」を肯定する方向に進んでいる、と思われる。日本の中等科学教育(教科書)には、日本算数方式の伝統があり、四論点と照合すると、物理量の意識がきわめて薄いことがわかる。その背景には、表現(数字列)(空白)(単位記号)を全体として物理量(の表現)にとらえるか否か、物理量をいかに導入するかわからないかという、科学教育の在り方に深くかかわりあう問題の本質がみえる。そこで、日本の中高教科書が、これらの四論点を肯定的に受けとめる準備として国際方式を全面的に採用するならば、物理量の理解の教育に向けての大きな前進となるであろう。物理量の学習は、生徒と学生が物理的表現の正否について判断できるようになることを、ひとつの目標としているからである。

## 謝 辞

昨年末(1998年12月)に、理科教育メーリングリスト(rika@rika.ed.ynu.ac.jp)において、単位をめぐるいろいろな議論がかわされ、著者のひとり(Morikawa)はそれに参加しました。本稿の一部はこのメーリングリストの議論のおかげです。ここに深く感謝いたします。さらに、本稿は、大原繁男氏(名古屋工業大学電気情報工学科)と大政光史氏(近畿大学基礎機械工学科)のご示唆によって、いいまわしの一部を改良しました。ここに、謝意を表します。

## 注 と 文 献

1. 日常生活などでは、いろいろな単位(風のもの)をみかける。台とか帳とかで、助数詞(広辞苑)という。これらと物理化学の分野で使われる単位とは、はっきりと区別しなくてはならない。
2. T. Morikawa and B. T. Newbold, A Listing and Equating Method for Solving Chemistry/ Physics Problems「上越教育大学研究紀要」第18巻第2号 pp. 667-672 (1999)をみよ。

3. 中学理科 (教育出版 平成 9 年 1 月), 中学校理科 (大日本図書 平成 4 年 1 月), 新訂理科 (啓林館 平成 8 年 1 月) などでは, 数値に [ ] をつけて計算する  $2 [N] \times 10 [m] = 20 [J]$  式である。新版中学校理科 (大日本図書 平成 9 年 2 月) では, 国際方式である。物理 IB (東京書籍 平成 6 年 2 月) や高校物理 IB (実教出版 平成 6 年 1 月) では, 答にのみ [ ] をつける  $2 \times 10 = 20 [J]$  式である。気体定数の計算例をみると, 高校化学 IB 新訂版 (実教出版 平成 9 年 1 月) では, 答にのみ [ ] をつける方式を採用していて, 化学 IB 改訂版 (三省堂 平成 9 年 1 月), 高等学校改訂化学 IB (第一学習社 平成 9 年 1 月), 新訂化学 IB (大日本図書 平成 9 年 1 月) などでは, 全ての数値に [ ] や ( ) をつけて計算している。ここでの教科書の調査では, 広瀬庄一氏 (山梨県立北富士工業高等学校) の助けをかりた。
4. 教師用指導書の問題解答をみると, 高等学校化学 IB 改訂版教授資料 (啓林館, 1998), 指導資料化学 IB (東京書籍, 出版年はみあたらないが, 平成 9 年検定教科書に対応), 新訂化学 IB 教授資料 (大日本図書, 1998) などでは, 答にのみ [ ] をつける方式である。改訂版高等学校化学 IB 教授資料 (数研出版) では国際方式を採用している。化学 IB 新訂版指導資料 (実教出版, 出版年はみあたらないが, 平成 9 年検定教科書に対応) では両方式が混じっている。
5. この量の計算法を, 森川鉄朗・西山保子, 科学教育における量の計算法について「上越教育大学研究紀要」第17巻第1号 pp. 365-375 (1997) では, 日本式とよんだが, その起源を推定してみると, むしろ日本算数方式とよぶのが妥当かもしれない。
6. たとえば, 次の文献とその引用文献をみよ。I. Mills *et al.*, *Quantities, Units and Symbols in Physical Chemistry*, IUPAC, Blackwell Scientific Publications, Oxford (1988); second ed., 1993. 第一版の翻訳は, 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) である。本書は, 量や記号に関する IUPAC の推奨である。
7. 文献 6, 14, 18, 19などをみよ。
8. 両方式の相違の議論の一部は, 文献 5にある。
9. この例題は, 文献 2にある例題と類似している。
10. 物理量間の演算法の注意点は, 文献 2に詳しく述べられている。
11. 単位間や数字と単位の間には, 各種の規格で, 空白を入れるように推奨されている。SI では, ミリニュートン mN とメートル×ニュートン m N は, 空白の有無で区別されるのだから, 空白はおろそかにできない。もし, m m や mm と書くと, それぞれメートル×メートル, ミリメートルの意味となる。日本語では中黒点が, m · N のように, 空白の代わりに使われることもある。なお, 斜線 (/) は, ISO の文書では solidus とよんでいるが, 英米語ではその他に shilling, virgule, slash ともいう。日本工業規格 JIS Z 8202(量記号, 単位記号及び化学記号) や Z 8203 (国際単位系) や国際標準化機構 ISO 31-0:1992 (E) を参照せよ。前記の教師用指導書では, 空白のない(空白を無視している)表現もみかける。
12. SI 単位系については, 文献 6 を参照せよ。森川鉄朗・西山保子, 初等中等科学教育における物理量と単位系について「上越教育大学研究紀要」第16巻第1号 pp. 279-288 (1996) には, SI の規則と ISO などの推奨との区別が, あいまいな記述がある。たとえば, 「SI では, 物理量として斜体を, 単位の記号としてローマン体 (立体) を使うように, 要請されている」とあるが, 正確には, 単位の記号としてローマン体を使うのは SI の規則で, 物理量として斜体を使うのは ISO などの推奨による。

13. A. Lodge, The Multiplication and Division of Concrete Quantities, *Nature* 38, 281-283 (1888) で、物理量同士の加減乗除法がなぜ便利かが、詳しく議論されている。
14. E. A. Guggenheim and J. E. Prue, *Physicochemical Calculations*, North-Holland Publishing Company (1955)；藤代亮一・鈴木啓介・天谷和夫 共訳「物理化学計算法」内田老鶴園新社 (1957)。
15. 日本の例では、片山正夫, 化学本論 (内田老鶴園 大正5年再版) で、 $P = RT/V = 0.0821 \times 273/34.1 = 0.657$  気圧, などとみえる。大原繁男氏 (名古屋工業大学電気情報工学科) によれば, 最新物理学精義, 森総之助 (積善館 大正13年発行) には,  $f = ma = 5 \times 20 = 100$  だいん, と書いてあるとのこと。付箋方式の歴史は古い。
16. 化学IB改訂版 (三省堂 平成9年1月), 新訂化学IB (大日本図書 平成9年1月), 化学IB新訂版 (実教出版 平成9年1月) など, いずれも,  $T = t + 273$  を採用している。
17. R. Resnick and D. Halliday, *Physics for Students of Science and Engineering*, John Wiley & Sons, New York (1960) では, 物理量の直接演算をしているが,  $t = T - 273.15$ ,  $t$  °C や  $T$  °K としている。長く使われた, R. C. Smoot, J. Price and R. G. Smith, *Chemistry — A Modern Course*, Merril Publishing, Ohio (1965-1987) では,  $5 \text{ dm}^3 = (5 \text{ dm}^3/1) (1000 \text{ cm}^3/1 \text{ dm}^3)$  などと計算しているが, 熱力学的温度とセルシウス温度の換算式として  $K = ^\circ\text{C} + 273$  を採用している。同様なあつかいは, L. Michels, *A Basic Math Approach to Concepts of Chemistry*, Brooks/Cole Publishing, Pacific Grove (1978-1993) にもみられる。また, S. B. Newell, *Chemistry — An Introduction*, Little, Brown and Company, Boston (1977-1980) では, 単位を含む物理量間で乗除しているが, 換算式を  $^\circ\text{C} = K \times (1^\circ\text{C}/K) - 273.16^\circ\text{C}$  としている。
18. たとえば, アトキンス「物理化学」第4版, 千原秀昭・中村恒男 訳, 東京化学同人 1993年; P. W. Atkins, *Physical Chemistry*, W. H. Freeman and Company, New York (1990), fourth ed., Example 1.3 では,  $T/K = \theta/^\circ\text{C} + 273.15$  (exactly) を採用している。
19. 中華人民共和国で使われている, 九年義務教育三年制初等中学教科書物理第一冊 (人民教育出版社, 1997) や高級中学課本物理第一冊 (人民教育出版社, 1997) では,  $W = 2 \text{ 牛} \times 10 \text{ 米} = 20 \text{ 焦}$ , と計算する。この式は,  $W = 2 \text{ N} \times 10 \text{ m} = 20 \text{ J}$  を意味している。これらの教科書は, それぞれ, 日本でいえば中学校と高等学校に相当する学年で, 採用されている。表 (初等中学教科書物理の第十四章 p. 168) では移動距離  $s$  に対して  $s$  (米) などと, 物理量のわきに ( ) 付きで単位をそえる, 表記法である。定義式 (高級中学課本物理の第四章),  $1 \text{ 焦} = 1 \text{ 牛} \times 1 \text{ 米} = 1 \text{ 牛} \cdot \text{米}$ , も見られる。以上は, 黎子椰氏 (上越教育大学生生活健康系) 提供の資料による。根本和昭氏 (茨城県立日立第一高等学校) によれば, 大韓民国の教科書, 物理学 (p. 53, 著者名は李應\*, \*は「韻」の字の偏と「護」の字の旁, 創知社) では,  $W = F \cdot s = 5 \text{ N} \times 120 \text{ m} = 600 \text{ N} \cdot \text{m} = 600 \text{ joule}$  で, 香港の教科書, PHYSICS A NEW APPROACH (p. 241, 著者はWilkinson, 出版社はMACMILLAN) では,  $W = F s = 5 \times 8 = 40 \text{ J}$  とのこと。マレーシアでは, 高田泰英氏 (マレーシア政府派遣留学生予備教育派遣教員, マレーシア工科大学) 提供の資料, 物理「FIZIK」TROPICAL PRESS SDN. BHD, 化学「KIMIA」MUSTAMAM ENTERPRISE によれば,  $5 \text{ N} \times 1.5 \text{ m} = 7.5 \text{ J}$ , などとしている。
20. D. R. Lide, *CRC Handbook of Chemistry and Physics*, 76th ed., CRC Press (1995) などを見よ。
21. たとえば, 田村健治, 魅力的で理解しやすい授業展開の開発 (I) 単位の取り扱いと物質

- 量（モル）の単元の指導「化学と教育」第46巻第11号 pp. 744-745（1998）をみよ。
22. 示強性の定義は、二つの物理化学系あるいは一つの物理化学系の二つの状態を強く意識する必要がある。文献5を参照せよ。
  23. SIの規則では、単位の記号として、普通に使われる活字ローマン体を使うことになっている。しかし、日本語のテキストがSI準拠とうたっていても、規則どおりに書かれているわけではない。たとえば、SIの解説書などでもよくみかけるが、マイクロメートル $\mu\text{m}$ はこのように、マイクロがローマン体になっていない。（通常のワープロにはローマン体のギリシャ文字がない。）欧文活字は、ローマン体とかイタリック体とかといっても、多くの種類があり、呼称もさまざまである。イタリック体は文字を傾げるだけではなくて、小文字では筆記体風にみえる。ミリグラム $\text{mg}$ は空白なしのローマン体であり、物理量のかけ算である質量 $\times$ 加速度は $m\text{g}$ のように、イタリック体と空白（または $m\cdot\text{g}$ ）であらわす。イタリックの $m$ と空白とローマン体の $\text{g}$ 、つまり $m\text{g}$ は物理的表現とすれば、エムが数値で単位がグラムと読むことになり、もし空白をとれば、物理的表現とは読めない。古くからのタイプライタ文化をもつ欧米人に通用する慣習では、イタリック体がなんらかの都合で使えないときはローマン体にアンダーラインする。日本の物理化学教科書の編集では、アルファベットの大小文字の違いを生徒がみのがしがちだとして、よく注意されているが、ローマン体とイタリック体との違いや空白にも同様に配慮する必要がある。
  24. QRMの紹介は、文献2にある。
  25. 物理量に関する比例式の問題点は、文献2で指摘されている。

## Physical Expression and its Introduction in Junior/Senior High School Education

Tetsuo MORIKAWA\* and Toshio MUROTANI\*

### ABSTRACT

Expressions (string of Arabic numerals) (space) (symbol of units), such as 2 N, 10 m and 2 g/cm<sup>3</sup>, appear in the physical and/or chemical literature. There are two methods of operating such expressions; hereafter, one is called an arithmetical method which deals with all expressions under the rules of arithmetic; the other is called an international method in which every expression obeys the rules of quantity calculus. The former is adopted in many textbooks of Japan, and the latter is of world-wide use in international documents and textbooks in English. The present note makes four points of the argument clear such that: The expression stands for a physical quantity; the string of Arabic numerals is not a number but a numerical value; the space means a mark of multiplication; and the symbol of units denotes a physical quantity. Then a given method of operation can be regarded as international when the expressions are multiplied and/or divided directly by themselves. Whether the unit is a physical quantity or not in textbooks, is judged in terms of conversion relationships between degrees in Kelvin and Celsius. It seems that the international method has been developing gradually according to the direction of the four points, and that there is little sense of physical quantities in physical/chemical textbooks which make use of the arithmetical method. The present note hence discusses a course for teaching the four points in the physical/chemical education of the junior/senior high schools of Japan, and suggests that every physical/chemical problem should be solved step by step by use of the physical expressions.

---

\* Division of Science