

表—4 直ちに改訂できる単位表現法の例

| 量 | 記 号 | 従来よく用いられた記号 |
|-------|--|------------------------------------|
| 長 さ | μm (マイクロメートル) | μ (ミクロン) |
| 質 量 | g (グラム) kg (キログラム) | gr (KG)(キログラム) |
| 時 間 | d (日) h (時) s (秒) | day hr sec |
| 温度(差) | K (ケルビン) °C (セルシウス度) | °K deg. C (セルシウス度) |
| 重 量 | tf (重量トン) kgf (重量キログラム) gf (重量グラム) | t (トン) kg (キログラム) g, gr(グラム) |
| 体 積 | cm^3 (立方センチメートル) | cc |

は全く同じ量であるが、歴史的に使い分ける場合が多かった。すなわち、応力には kgf/cm^2 , tf/m^2 , 圧力では bar, atm, mmH_2O , Torr などである。SI ではともに Pa でよいが、従来の流れをくんで応力に N/m^2 を用いる傾向もある。特に γ が kN/m^3 であるため、応力も kPa よりも kN/m^2 の方が混乱しないとの考えである。将来的には Pa で統一することが望ましいと考えられる。なお、bar はヨーロッパ等で普及し、わが国でも気象関係で用いられているが、Pa に切り換える方向にある。

以上、SI に関する情報を、農業土木的立場を中心に記したが、要は切り換えに対する決意と、単位に対する慣れが問題なのである。それとともに、少なくとも表—4 に示すような改訂は、各人の注意において直ちに実行したいものである。

3. 土壌肥料分野での SI の使い方について

加 藤 英 孝*

(1) はじめに

国際単位系 (SI) は国際度量衡総会で採用され勧告され、以後さまざまな分野で使用されるようになった、一貫した単位系である。SI が使用されるべき理由は、SI が普遍性をもった合理的な単位系であり、ひとたび慣れれば

使いやすいという点にある。

ここではまず、土壌肥料分野での SI 導入に際しての基本的考え方、SI を使用する際の一般的な注意点を示し、つぎに SI 導入に際して主として問題になる点を取りあげる。ついでこの分野に関連のある各種の物理量の名称および使用する単位を列挙し、必要のある場合には SI 単位と従来の単位との間の換算率を示すことにする。

(2) SI 導入に際しての基本的考え方

1) 可能なかぎり SI 単位のみを用いる

SI では基本単位としてメートル (長さ, 記号 m), キログラム (質量, kg), 秒 (時間, s), アンペア (電流, A), ケルビン (熱力学温度, K), モル (物質量, mol) およびカンデラ (光度, cd) の七つを、補助単位としてラジアン (平面角, rad) およびステラジアン (立体角, sr) の二つを取り、これらを組み合わせることによって任意の物理量に対応する単位を組み立てる。SI の長所の一つは、こうして任意の単位を構成する際に何ら係数を必要としないことである。SI をそのままの形で土壌肥料分野に導入することはできないとしても、改変を加える場合にはこの長所がそなわれることのないよう考慮することが必要である。従来用いられてきた、SI 単位の10の整数乗倍 (例: cm^3 , g) は組立単位の分母としてはなるべく使用すべきでない。なお、SI 基本単位および補助単位の定義、SI 組立単位で固有の名称をもつもの、ならびに SI 単位の10の整数乗倍を構成するための接頭語については本号の1. 総論を参照していただきたい。

2) 一部の廃止された非 SI 単位の維持

SI では従来よく用いられてきた単位のいくつかが廃止されている。そのなかには当量 (equivalent) のような、土壌肥料分野では頻りに用いられている単位も含まれている。この種の単位のうち SI 単位による代替が難しいものは、そのまま当分の間は使用してさしつかえないだろう。

3) 量に対する名称について

土壌肥料分野で用いられてきた各種の量に対する名称のなかには適当ではないと思われるものがふくまれている。例えば bulk density (かさ密度) は SI では $\text{Mg} \cdot \text{m}^{-3}$, 従来の単位では $\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$ で表わされるが、これに対して '仮比重' の名を与えるのは本来適当ではない (比重は無次元量)。従来用いられてきた量に対する名称の一部には、このように、量に対する単位のもつ次元との関係において一貫性を欠いているものがある。それらの名称については、SI 使用のメリットを減じないように、再検討が加えられるべきであろう。

* 農業環境技術研究所

(3) SI 使用上の注意

SI のもつ利点を最大限に生かすためには使用にあたってつぎのような注意が必要である。

1) 斜線 (/) は括弧を使ってあいまいさを除外しないかぎり一つの表示式の中に二度以上用いてはならない。

例：畑からの一酸化二窒素 (N_2O) ガス拡散の流束密度 (flux density)

不可 $\mu g/m^2/s, \mu g/m^2 \cdot s$

可 $\mu g/(m^2 \cdot s)$

$\mu g \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$

斜線を用いるよりは負の指数を用いたほうがよい。

2) 組立単位が分数で表わされる場合、その10の整数乗倍は分子の単位にのみ接頭語をつけて表わし、分母の単位には接頭語をなるべくつけない。

例：電気伝導率

不可 mS/cm

可 dS/m または $dS \cdot m^{-1}$

3) 計算式・等式の中では SI 単位のみを用い、その10の整数乗倍は用いない。

例：土壌の含水比 w 、比表面積 s および水の密度 ρ からの土壌の平均水膜厚さ d の計算 (括弧内は単位)

不可

$$d (\text{\AA}) = \frac{w (\%) }{s (m^2 \cdot g^{-1}) \cdot \rho (g \cdot cm^{-3})} \times 10^2$$

可

$$d (m) = \frac{w (kg \cdot kg^{-1}) }{s (m^2 \cdot kg^{-1}) \cdot \rho (kg \cdot m^{-3})}$$

(4) SI 導入に際して主として問題になる点

1) 質量と重量の区別

重量 (weight) は力の一種であるので、質量 (mass) に対する名称として用いてはならない。従来 '乾土重量' と呼んできたものは '乾土質量' に、'重量百分率' は '質量百分率' にそれぞれ改められなければならない。

2) 当量 (equivalent) および規定 (normal)

当量および規定は従来よく使われてきたが SI には加えられなかった単位である。当量にかわるべき SI 単位はモルであるが、従来当量が用いられてきたところにそのままモルを用いると混乱を招きかねない。いくつかのイオン種が共存する溶液に対しても当量は便利な単位であり、当分の間は SI 単位と併用してよいと考えられる。この場合、土壌の陽イオン交換容量の単位は $meq \cdot kg^{-1}$ となる。規定はなるべく用いないほうが望ましい。

(参考) 陽イオン交換容量の単位として $meq \cdot kg^{-1}$ を採用している雑誌の例は *Journal of Soil Science*、*Australian Journal of Soil Research* では meq の使用が禁止

され、陽イオン交換容量は $C \cdot kg^{-1}$ (土壌の単位質量あたりの電荷) で表わすよう指示されている (アボガドロ定数 $N_A = 6.022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$, 電気素量 $e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$ とすると、

$$1 \text{ meq} \cdot kg^{-1} = 10^{-3} \times 6.022 \times 10^{23} \times 1.602 \times 10^{-19} \text{ C} \cdot kg^{-1} = 96.47 \text{ C} \cdot kg^{-1}$$

(5) 土壌肥料分野に関連のある各種の量の名称および使用する単位

土壌肥料分野に関連のある各種の量の名称および使用する単位を表-1に示す。非 SI 単位の一部に対しては SI 単位への換算率を示してある。いちばん右の欄の中の単位は SI 単位と併用すべきではない。

参考文献

- 1) 量記号、単位記号及び化学記号 JIS Z 8202-1978, 日本規格協会 (1978)
- 2) 国際単位系 (SI) 及びその使い方 JIS Z 8203-1978, 日本規格協会 (1978)
- 3) 「物理・化学量および単位」に関する記号と術語の手引, 日本化学会 (1979)
- 4) Hesse, P.R.: SI Units and Nomenclature in Soil Science, Soils Bulletin 28, FAO Rome (1975)
- 5) Incoll, L. D., Long, S. P., and Ashmore, M.R.: SI units in publications in plant science, *Current Advances in Plant Science*, 9, 331-343 (1977)

表-1 各種の量の名称および関係する単位

| 量 | SI 単位およびその 10 の整数乗倍 ¹⁾ | SI 単位と併用してよい単位およびその 10 の整数乗倍 ¹⁾ ならびに当分の間 SI 単位と併用してよい単位 | SI 単位と併用すべきではない単位 |
|---|---|---|--|
| 平 面 角 長 さ 面 積 体 積 時 間 振 動 数 回 転 数 速 度 加 速 度 | rad m, km, cm, mm, μ m, nm m^2, km^2, cm^2 m^3, dm^3, cm^3 s, ks Hz, kHz s^{-1} $m \cdot s^{-1}$ $m \cdot s^{-2}$ | $^\circ$ (度), '(分), ''(秒) \AA ²⁾ $1\text{\AA}=10^{-10}m$ ha $1ha=10^4m^2$ a $1a=10^2m^2$ l ³⁾ $1l=10^{-3}m^3$ $=1dm^3$ d(日), h(時), min(分), y または a(年) min^{-1} または rpm | μ, m, μ cc |
| 質 量 力 圧 表 面 張 力 粘 度 仕 事, エ ネ ル ギ ー 仕 事 率 | kg, Mg, g, mg N, kN, mN $1N=1kg \cdot m \cdot s^{-2}$ Pa, kPa, MPa $1Pa=1N \cdot m^{-2}$ $N \cdot m^{-1}, mN \cdot m^{-1}$ Pa \cdot s J, kJ $1J=1N \cdot m$ W $1W=1J \cdot s^{-1}$ | t(トン) $1t=1Mg$ bar ⁴⁾ $1bar=10^5Pa$ eV (電子ボルト) $1eV=(1.6021892 \pm 0.0000046) \times 10^{-19}J$ | dyn $1dyn=10^{-5}N$ kgf $1kgf=9.80665N$ atm $1atm=101325Pa$ mH ₂ O $1mH_2O=9806.65Pa$ mHg $1mHg=133.322Pa$ Torr $1Torr=133.322Pa$ $dyn \cdot cm^{-1}$ $1dyn \cdot cm^{-1}=10^{-8}N \cdot m^{-1}$ P(ポアズ) $1P=0.1Pa \cdot s$ erg $1erg=10^{-7}J$ kgf \cdot m $1kgf \cdot m=9.80665J$ cal $1cal=4.18605J$ (温度を指定しない時) $1 \cdot atm \quad 1l \cdot atm=101.325J$ |
| 熱 力 学 温 度 セ ル シ ウ ス 温 度 温 度 間 隔 比 熱 容 量, 比 熱 エ ン ト ロ ピ ー エ ン タ ル ピ ー | K $t^\circ C=(t+273.15)K$ K, $^\circ C$ $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}, J \cdot kg^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$ $J \cdot K^{-1}$ ⁵⁾ J | | $^\circ K$ deg $cal \cdot kg^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$ $1cal \cdot kg^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$ $=4.18605J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$ |
| 電 荷, 電 気 量 表 面 電 荷 密 度 電 位, 起 電 力 誘 電 率 電 気 抵 抗 (直 流) 電 気 伝 導 率 | A C $1C=1A \cdot s$ $C \cdot m^{-2}$ V $1V=1W \cdot A^{-1}$ $F \cdot m^{-1}$ Ω $1\Omega=1V \cdot A^{-1}$ $S \cdot m^{-1}$ $1S \cdot m^{-1}=1A \cdot V^{-1} \cdot m^{-1}$ | | mho $1mho=1S$ |
| 波 長 波 数 モ ル 吸 光 係 数 | m m^{-1} $m^2 \cdot mol^{-1}$ | \AA ²⁾ $1\text{\AA}=10^{-10}m$ | |
| 物 質 量 ア ボ ガ ド ロ 定 数 | mol mol^{-1} | | |

| 量 | SI 単位およびその 10 の整数乗 ¹⁾ | SI 単位と併用してよい単位 およびその 10 の整数乗 ²⁾ ならびに当分の間 SI 単位 と併用してよい単位 | SI 単位と併用すべきでは ない単位 |
|---|--|---|---|
| 質量濃度 モル濃度 | $N_A = (6.022\ 045 \pm 0.000\ 031) \times 10^{23} \text{mol}^{-1}$ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$ | $\text{kg} \cdot \text{l}^{-1}$ $\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$ $1 \text{mol} \cdot \text{l}^{-1} = 1 \text{kmol} \cdot \text{m}^{-3}$ | |
| 質量モル濃度 化学ポテンシャル 分圧 活量 (溶質の) 活量係数 浸透圧 気体定数 | $\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$ Pa 無次元量 無次元量 Pa $\text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ $R = (8.314\ 41 \pm 0.000\ 26) \text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ | | atm $1 \text{atm} = 101\ 325 \text{Pa}$ atm $1 \text{atm} = 101\ 325 \text{Pa}$ $1 \cdot \text{atm} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ $11 \cdot \text{atm} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ $= 101,325 \text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ |
| ボルツマン定数 | $\text{J} \cdot \text{K}^{-1}$ $k = (1.380\ 662 \pm 0.000\ 044) \times 10^{-23} \text{J} \cdot \text{K}^{-1}$ | | |
| 電気素量 | C $e = (1.602\ 189\ 2 \pm 0.000\ 004\ 6) \times 10^{-19} \text{C}$ | | |
| イオンの電荷数 イオン強度 ファラデー定数 | 無次元量 $\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ $\text{C} \cdot \text{mol}^{-1}$ $F = (9.648\ 456 \pm 0.000\ 027) \times 10^4 \text{C} \cdot \text{mol}^{-1}$ | | |
| モル導電率 当量 イオンの当量濃度 | $\text{S} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$ | eq, meq $\text{eq} \cdot \text{m}^{-3}, \text{keq} \cdot \text{m}^{-3}$ | |
| 放射能・壊変率 | Bq $1 \text{Bq} = 1 \text{s}^{-1}$ | Ci $1 \text{Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{Bq}$ | dps (壊変毎秒), dpm (壊変毎分) |
| 比放射能 壊変定数 吸収線量 線量当量 照射線量 | $\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ s^{-1} Gy $1 \text{Gy} = 1 \text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$ Sv $1 \text{Sv} = 1 \text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$ $\text{C} \cdot \text{kg}^{-1}$ | rad $1 \text{rad} = 10^{-2} \text{Gy}$ rem $1 \text{rem} = 10^{-2} \text{Sv}$ R $1 \text{R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{C} \cdot \text{kg}^{-1}$ | |
| 密度 (土壌粒子の) [真比重] | $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}, \text{Mg} \cdot \text{m}^{-3}$ | | |
| かさ密度 [仮比重] | $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}, \text{Mg} \cdot \text{m}^{-3}$ | | |
| 比表面積 | $\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$ | | |
| 含水比 | $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ | $\%$ ³⁾ | |
| 体積水分率, 体積含水率 | $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ | $\text{vol} \%$ ³⁾ | |
| 含水率, 水分含有率 | $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ | $\text{mass} \%$ ³⁾ | |
| 蒸発散速度 | $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ または $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ | | |
| 質量流量 | $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$ | | |
| 流量 | $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ | | |
| 流束密度 (ガス拡散の) | $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ | | |

| 量 | SI 単位およびその 10 の整数乗倍 ¹⁾ | SI 単位と併用してよい単位およびその 10 の整数乗倍 ²⁾ ならびに当分の間 SI 単位と併用してよい単位 | SI 単位と併用すべきではない単位 |
|--|--|--|--|
| 流 束 密 度 (水 の) | $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ $\text{m}^3\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ または $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ | | |
| ガ ス 拡 散 係 数 | $\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ | | |
| 水 分 拡 散 係 数 | $\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ | | |
| 水 頭 ⁷⁾ | | m, cm | |
| 透 水 係 数 (水 力 学 的 伝 導 率) | $\text{kg}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-3}$ 8) $\text{m}^3\cdot\text{s}\cdot\text{kg}^{-1}$ 8) $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 8) | | |
| 土 壌 水 分 ポ テ ン シ ャ ル | $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ 9) | | $\text{erg}\cdot\text{g}^{-1}$ $1\text{erg}\cdot\text{g}^{-1}=10^{-4}\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ |
| サ ク シ ョ ン, 吸 引 圧 ¹⁰⁾ pF ¹¹⁾ | Pa Pa | bar ⁴⁾ 1bar=10 ⁵ Pa bar ⁴⁾ 無次元量 | |
| イ オ ン の 流 束 密 度 | $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ | $\text{eq}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ | |
| 全 電 解 質 濃 度 | | $\text{eq}\cdot\text{m}^{-3}$, $\text{keq}\cdot\text{m}^{-3}$ | |
| 陽 イ オ ン 交 換 容 量 | | $\text{eq}\cdot\text{kg}^{-1}$, $\text{meq}\cdot\text{kg}^{-1}$ | |
| 間 隙 率 | $\text{m}^3\cdot\text{m}^{-3}$ | vol% | |
| 酸 度 (溶 液 の) | | $\text{eq}\cdot\text{m}^{-3}$ | |
| ア ル カ リ 度 (溶 液 の) | | $\text{eq}\cdot\text{m}^{-3}$ | |
| 酸 度 (土 壌 の) | | $\text{eq}\cdot\text{kg}^{-1}$ | |
| pH | | 無次元量 | |
| 緩 衝 強 度 | | $\text{eq}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{pH}^{-1}$ | |

注1) すべてをつくしてはいない。

2) Å はなるべく用いないほうがよい。

3) なるべく dm^3 を用いたほうがよい。

4) 新たに bar を使いはじめるべきではない。

5) エントロピー及びその関連諸量については、ケルビン (K) を度 (°C) に置き換えてはならない。

6) ‘比’ はあるものに対する ratio を, ‘率’ は全体を 1 としたときの fraction を表わす。

7) ‘水頭’ の概念は本来 SI とは両立しない。これは単位重量あたりのエネルギー ($\text{m}=\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^2$) の次元を有しており、重力単位系に属する。

8) 透水係数は流束密度の次元および駆動力の次元のとり方によりいくつかの異なる次元をとりうる。

①水の流束密度 ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) が化学ポテンシャル勾配 ($\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$) に比例するとしたとき。透水係数 K の単位は $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{J}^{-1}\cdot\text{kg}\cdot\text{m}=\text{kg}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-3}$

②水の流束密度 ($\text{m}^3\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}=\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) が圧力勾配 ($\text{Pa}\cdot\text{m}^{-1}$) に比例するとしたとき。透水係数 K の単位は $\text{m}^3\cdot\text{s}\cdot\text{kg}^{-1}$

③水の流束密度 ($\text{m}^3\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}=\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) が水頭勾配 ($\text{m}\cdot\text{m}^{-1}$) に比例するとしたとき。透水係数 K の単位は $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

9) 水の密度 $\rho=1\text{Mg}\cdot\text{m}^{-3}$ であるとするとき、 $1\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ はほぼ 1kPa ($=10^3\text{bar}$) に相当する。

10) 負の値をとることはない。

10) pF は土壌水に働くサクシヨンの 1cmHgO ($=98.0665\text{Pa}$) に対する比 (無次元数) の常用対数に等しい。

例: サクシヨンの 1.5MPa ($=15\text{bar}$) のときの pF 値は

$$\log_{10} \frac{1.5 \times 10^6}{98.0665} = \log_{10} 15295.7 = 4.18$$