

地球科学分野における国際単位系 (SI) の使用： 問題点と解決策

茂野 博¹⁾

1. はじめに

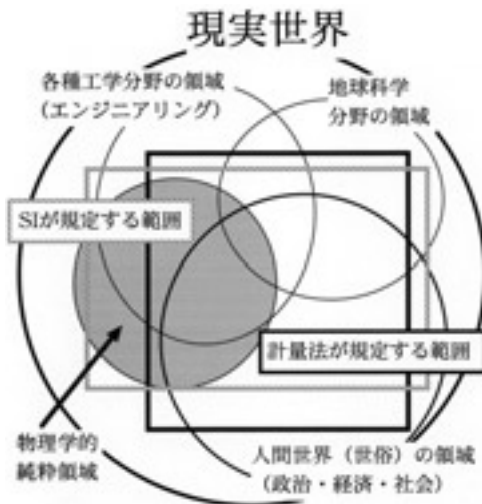
地球科学およびその関連分野(以下, 地球科学分野と略記)に携わる方々の多くは, 近年使用されている「単位」に疑問を持ったり不便を感じたり, というような経験をお持ちではないでしょうか? これは, 新しい計量法が1992年に成立し, 学校教育, 学術研究などで国際単位系 (Le Système international d'unités, その最新版について以下現SIと略記) の使用が推奨されていることに起因している. インターネット-WWW (以下WWWと略記) で調べたところ, これに関する問題提起がすでに行われている(例えば, 長, 1992).

現SIは, 物理学の大きな体系に基づいて統合的な単位系を構成しており, 普遍性・一貫性, 高精度化・絶対化などを特徴としている. そして, その使用の推奨に当たっては, 「一量一単位の原則(理想)」が掲げられている(例えば, SI単位等普及推進委員会, 1999). しかし, 地球科学分野では, 地球の実態-歴史の解明やその利用・保全を研究・応用の対象としており, 現SIに沿ってはデータが合理的かつ分かり易くは表現できない場合が少なくない. 人間活動を主要対象とする経済・社会的な分野などでも, 同様の問題の存在が推測される. 参考として第1図に, 複雑な現実世界においてSIと計量法が規定する範囲の概念図を示す.

筆者は, これまで単位系について特に興味を持っていた訳ではないが, 近年のSI使用について違和感があり, また憤慨する機会にも遭遇した. 現在, 筆者は「地理情報システム(GIS)を利用した地熱資源の評価(アセスメント)の研究」を進めており, 多種多様なデータを取り扱っている(例えば,

茂野・阪口, 2002; 茂野, 2004). その中で単位系についての問題意識が深まり, 若干時間を掛けて色々検討し, 本説を取りまとめることとした.

なお, 筆者は, 基本的には単位系の学際的, 国際的な統合化の理念やその幅広い適用(例えば, アメリカ合衆国におけるヤード, ポンドなどの使用に対して)について否定するものではないことを予めお断りする. しかし, 単位系の統合化には, 抽象性が高い理念世界(理想という意味ではない)と人間が体感・体験する現実世界の間, 無理のない調和(妥協)が必要ということが本説の要点である. 本説が, 単位の使用について再検討の一機会(現SIの信奉者, 批判者ともに)となれば幸いである.



第1図 複雑な現実世界における現SIと計量法が規定する範囲の概念図. 物理学的純粋領域の大部分は, 現SIが規定する範囲に含まれる. しかし, それ以外の各領域(他に無数の領域がある)と現SIと計量法が規定する範囲とは, 複雑な関係にある.

1) 産総研 地圏資源環境研究部門

キーワード: 国際単位系, SI, 計量法, 地球科学, 標準大気圧, カロリー, 年, マグニチュード, 直観性, 投稿規定

第1表 世界および日本における単位系の主な歴史(概略1800年以降)。

西暦年(元号年)	主な出来事(元号年が付くものは日本に関する事項である)
1795	フランス共和国でメートル法が誕生(以後、友好国が採用化)
1875	国際メートル会議でメートル条約の締結(国際度量衡局の設立)
1886(明治19年)	日本がメートル条約に加盟
1891(明治24年)	度量衡法の公布(メートル原器を基礎に尺貫法とメートル法を公認)
1921(大正10年)	度量衡法の改正(メートル法への漸次統一化)
1948	第9回国際度量衡総会で国際単位系(SI)の提起(検討が始まる)
1951(昭和26年)	計量法の公布(法の対象の拡大とメートル法への統一;翌年施行)
1960	第11回国際度量衡総会でSIの決議・成立(その後、各国で採用化へ)
1966(昭和41年)	計量法の大改正(電気測定法を計量法に統合など)
1992(平成4年)	(新)計量法の公布(国際単位系(SI)の採用など;翌年施行)
1998	第21回国際度量衡総会に沿ったSIの一部改訂(SI文書,第7版)
2000	第21回国際度量衡総会に沿ったSIの改訂作業(SI,2000年追補)

2. SIの概要

2.1 SIとは何か

単位系の概要については、本説では述べないが、多数の分かり易い書籍など(例えば、高田, 2000)があり、最近ではWWWによっても知識を得ることができる。第1表に、単位系について近世以降における主に制度的な歴史を示す。

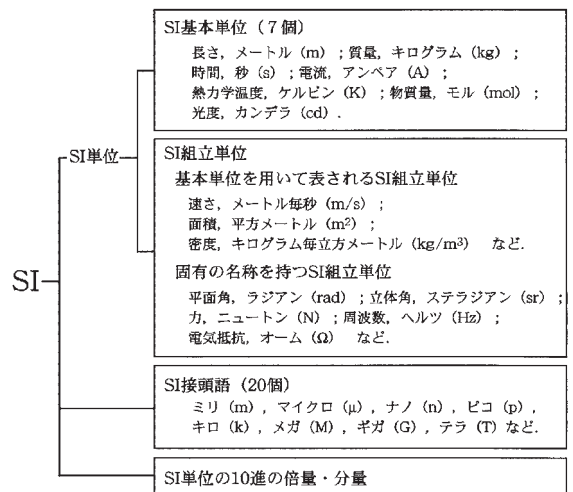
本題のSIは、単位系の一つで、国際度量衡総会(Conférence Générale des Poids et Mesures)で制定され、国際度量衡局(Bureau International des Poids et Mesures, 以下BIPMと略記)で普及・改良が進められているものである。その歴史は1950年頃まで遡る(第1表)が、現在SIについて第7版の小冊子が出版されて(BIPM, 1998)、その追加・修正版が公開されている(BIPM, 2000)。

色々な地域で複雑な経緯と基準によって成立した各種の単位系(ヤード・ポンド法, 尺貫法など)に対して、10進法に基づくメートル法は地球規模で合理性・一貫性の高い単位系を提供し、CGS系(複数の系がある)、MKS系(重力単位系を含む)、MKSA系などへと発展した。しかし、電磁気学、量子力学などの分野の発展や科学・工学技術の高度化・高精度化などにより、より統合的な単位系が必要とされるようになった。その解決策として成立したSIは、物理学の大体系に基づいて単位系をより統合的に体系化しており、より強力な普遍性・一貫性、高精度化・絶対化などを特徴としている。

現SIについては、計量標準総合センター(2002)のパンフレットやWWWホームページなどから、概要を知ることができる。これらに基づいて、現SIの基本構成を第2図に示し、基本単位、その他の単位などについての概要を第2表、第3表に示す。現SIでは、一貫性を追求する結果、過去に広く用いられた単位の中に、使用が推奨されない単位(第3表G, H, Iに含まれるものなど)を生じている。

2.2 計量法とSIの関係

「単位」は、非常に幅広いもので様々な分野で定義され使用されているが、日本ではその基礎となる



第2図 現SIの構成の概要(計量標準総合センター(2002)に基づく)。

第2表 7つの現SI基本単位の概要 (計量標準総合センター (2002) に基づく)。

項目	名称	記号	定義
長さ	メートル	m	メートルは、1秒の299 792 458分の1の時間に光が真空中を伝わる行程の長さである。
質量	キログラム	kg	キログラムは質量の単位であって、単位の大きさは国際キログラム原器の質量に等しい。
時間	秒	s	秒は、セシウム133の原子の基底状態の二つの超微細構造準位の間の遷移に対応する放射の周期の9 192 631 770倍の継続時間である。
電流	アンペア	A	アンペアは、真空中に1メートルの間隔で平行に配置された無限に小さい円形断面積を有する無限に長い二本の直線状導体のそれぞれを流れ、これらの導体の長さ1メートルにつき 2×10^{-7} ニュートンの力を及ぼし合う一定の電流である。
温度	ケルビン	K	熱力学温度の単位、ケルビンは、水の三重点の熱力学温度の $1/273.16$ である。
物質質量	モル	mol	1. モルは、0.012キログラムの炭素12の中に存在する原子の数に等しい数の要素粒子を含む系の物質質量である。 2. モルを用いるとき、要素粒子が指定されなければならないが、それは原子、分子、イオン、電子、その他の粒子又はこの種の粒子の特定の集合体であってよい。
光度	カンデラ	cd	カンデラは、周波数540テラヘルツの単色放射を放出し、所定の方向におけるその放射強度が $1/683$ 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である。

ものとして「計量法」がある (第1表)。メートル法に基づいた (旧) 計量法は1951年に公布されたが、何度かの改正を経て、SIに基づいた現在の (新) 計量法が1992年に公布された。計量法および関連法令については、最近では法務省 (2004) のWWW法令データ提供システムなどから、無料ダウンロードが可能となっている。

計量法は、その第1条で「計量の基準を定め、適正な計量の実施を確保し、もって経済の発展及び文化の向上に寄与することを目的とする」とされている。計量法の第2条では、法の対象とする量が指定されており、それらに関する「取引」や「証明」は計量法の制約を受ける (第8条)。

(新) 計量法はほぼ一貫的にSIを基礎としている

ことを一つの特徴としており、前述したように例えばSI単位等普及推進委員会 (1999) では「一量一単位の理想」が掲げられている。これによって、法定計量単位の体系性が非常に高くなっているが、旧法の単位の中で新法では削除されるものを生じた。これにより発生が危惧される問題などに対処するため、移行猶予期間が設けられた (1999年終了) が、2004年現在も計量法で認められている4群の非SI単位がある (例えば、SI単位等普及推進委員会, 1999, p.6-11)。日本固有の事情があり、これらはBIPM (1998, p.104-108) による非SI単位群 (第3表参照) とは若干異なっている。

近年教育分野で使用する単位について、計量法と現SIの規定を重要視する流れがあり (例えば、

第3表 現SI単位および現SIに属さない単位の整理 (計量標準総合センター (2002) に基づく)。

表番号	分類された単位群の名称と単位の例
A	1 SI基本単位：長さ (m)、質量 (kg)、時間 (s)、電流 (A)、熱力学温度 (K)、物質質量 (mol)、光度 (cd)。
B	2 基本単位を用いて表されるSI組立単位 (例示)：面積 (m^2)、速さ (m/s)、加速度 (m/s^2)、密度 (kg/m^3) など。
C	3 固有の名称とその独自の記号で表されるSI組立単位：力 (ニュートン, N)、エネルギー (ジュール, J) など。
D	4 単位の中に固有の名称とその独自の記号を含むSI組立単位 (例示)：熱容量 (ジュール毎ケルビン, J/K) など。
E	6 SIに属さないが、SIと併用される単位：分 (min)、時 (h)、日 (d)、度 ($^\circ$)、分 ($'$)、秒 ($''$)、リットル (l)、トン (t) など。
F	7 SIに属さないが、SIと併用される単位で、SI単位で表される数値が実験的に得られるもの：電子ボルト (eV) など。
G	8 SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位 (●◎推奨しない)：アール (a)、バル (bar)、バーン (b) など。
H	9 固有の名称をもつCGS組立単位 (●推奨しない)：エルグ (erg)、ガウス (G)、マクスウェル (Mx)、ガル (Gal) など。
I	10 SIに属さないその他の単位 (例示) (●推奨しない)：キュリー (Ci)、標準大気圧 (atm)、カロリー (cal) など。

表番号、A-Iは計量標準総合センター (2002)、1-10はBIPM (1998) の該当表番号を示す。●は現SIの立場からは使用が推奨されないもので、◎はBIPM (1998) で現状では受け入れられているもの (各使用文書中にSI単位との関係の定義記載を要す) である。

文部省, 1999), これに対する問題点が指摘されている(例えば, 兵頭, 2002). 学術分野についても, 現SIの使用を推奨する動きがあり(例えば, 計量標準総合センター, 2002), 影響を与えている. しかし, このことが多様性の高い学術分野の振興に, 必ずしも良い結果を生むとは限らない.

3. 本説の考え方

3.1 基本的な視点

定量的なデータの分かり易い表示法については, 様々な要素がある. 具体的には以下のような点が重要であろう. なお, 10進法アラビア数字表記のような基盤的な事項は省略した.

- (1) 1~3桁程度の整数値, 小数点以下2桁程度までの小数値などによる表示.
- (2) 体系性の高い単位系に基づく表現.
- (3) 感覚や経験に結びつく直観性の高い単位による表現.
- (4) 従来とのデータとの継続性の高い単位による表現.
- (5) 値の変化幅が非常に広いデータについては, その対数値の指標化などによる表現.

上記(5)については, 地球科学分野では例えば, 地震のマグニチュード(M), 水中の水素イオン濃度(pH)が挙げられる. これらには, 直接得られる測定データや歴史的な経緯などとの関係もある.

地球科学分野の場合には, 特に地球上での人間の体感や体験に沿った直観性の高い数値データの表現が分かり易く, 重要である. 具体的には以下のような点が挙げられる.

- (1) 長さについては, 地球の大きさとの関連性.
- (2) 質量としては, 規格体積についての大気圧(-常温)下の水の重さとの関連性.
- (3) 時間としては, 地球の自転周期(日)および公転周期(年)との関連性.
- (4) 力に関しては重力加速度, 圧力としては標準大気圧との関連性.
- (5) 温度としては, 標準大気圧下での水の凝固点・沸点との関連性.
- (6) 位置に関しては, 地球の自転軸や平均海面との関連性.

3.2 何が問題か

現SIの大きな問題点は, 前述した「一量一単位の原則」の適用である. これにより, 上述した地球科学分野の数値データについて, 直観性の高い分かり易い表現が許されない場合を生じる.

その結果として, 以下のように無視できない様々な問題が発生することが危惧される.

- (1) 学術的には直観性が失われることによって, 考察, 議論, 理解などの進行が滞る.
- (2) 教育の場では, 基礎知識に乏しい生徒・学生の理解が難しくなり, 対象への興味が失われる.
- (3) 実験などの測定や操作の場では, 直観性が低下するため, 瞬間的な判断を要する場合などに失敗を生じ易く, 危険な状況が発生する可能性もある.

現SI以外の単位の使用が寛容化されることによって, 上記の問題が解決される利益が期待される. しかし, 単位系の一貫性が失われることによって, 不利益も発生するはずである. 両者の程度は, 対象分野や個別の単位によって異なるであろう.

3.3 問題の背景について

若干協道に逸れるが, 理解を深める目的で上述した問題の背景について少し考えてみたい. それは, 基礎的な物理学の分野と地球科学分野の間における, (1) 本質的な学問の対象・目的の違いと, (2) 単位基準を巡る歴史的な経緯である.

(1) 現在, 単位系についての研究は, 基本的に物理学体系を学んできた測定技術の専門家を中心に進められている. 従って, 単位系の精緻化, 統合化, 普遍化などが, その進歩として追求される傾向が強い. しかし, 地球科学分野では地球の実態, 特に地表付近の環境・現象の解明とその応用が中心課題であり, その場について分かり易い単位の使用が必要不可欠である. 単位の更なる精緻化は重要ではない場合が多い. このように両分野では単位系についての「理想」が大きく異なるため, 前者の人々が現SIを推奨する(特に, 単位を解説する書籍の執筆などを通じて)のに対して, 後者の人々は違和感を持つとともに, 問題を抱えることとなる.

(2) メートル法の成立~全盛時代には, 長さや時間の単位基準について地球科学分野(測地学~天

第4表 現SIおよび計量法で使用が問題となる地球科学分野の単位例。

項目	単位名	記号	現SI #	現計量法 ##	現SIによる値
圧力	標準大気圧	atm	Table 10	表2.3	~ 101 kPa
熱量 *	カロリー	cal	Table 10	(表2.4)	~ 4.185 J
時間	年	(y or yr)	X	X	~ 31.6 Ms
長さ	光年 (light-year) (l.y.)		X	X	~ 9.46 Pm
地震 *	マグニチュード	M	X	X	%
濃度 \$	ピーエッチ	pH	X	表2.3	%%

*, エネルギー, \$, 水素イオン濃度 (活量) である。

#, BIPM (1998) により, Table 10は, 非SI単位で, SIの長所を壊すため推奨されないもの, Xは, 記述が見当たらないものである。

##, SI単位等普及推進委員会 (1999) により, 表2.3は, SI単位のある量の非SI単位で法定計量単位として認められるもの, (表2.4) は, 用途を限定する非SI単位で特定分野について認められるもの, Xは, 記述が見当たらないものである。

%, Esを地震波放出エネルギー (J) として, $\log Es = 4.8 + 1.5 M$ などで換算される。

%%, a_H を水素イオンの相対活量として, $pH = -\log a_H$ で定義される指数である。

文学) が中心的な役割を果たした。SI提唱前から使用されてきた単位には、地球科学分野との関係が深いものが少なくない。しかしその後、技術革新により高精度の測定が可能になると、地球の観測による単位基準には問題を生じるようになり、原子・量子レベルの現象が利用されることとなった(第2表)。それらに基づいた、より幅広い新しい体系化が現SIであるが、上述したように一貫性を理想とし、従来の単位の多くを非SI単位としてその使用を推奨しないこととなった。これが、本説が論じている問題の歴史的な背景となっている。

4. 具体的な問題例

地球科学分野の次の4つの仮想的な事例では、現SIの基本に沿ったデータの表現を行っている。しかし、それらは文末に括弧書きで示した非SI単位による表現に比較して、直観性が低く分かりにくい。

- (1) 水深100 mの水圧(大気圧分を含めて)は、概略1.1 MPaである(~11 atm)。
- (2) 海水の温度を30℃上昇させるには、11(リットル)あたり概略126 kJの熱エネルギーを要する(~30 kcal)。
- (3) 太平洋プレートは日本列島の下に概略3.2 nm/sの速さで沈み込んでいる(~10 cm/y)。
- (4) 今回の大地震の規模(地震波動エネルギー)は、概略63 PJであった(~M 8.0)。

以上の4例について以下に若干説明する。第4表には、各例文に括弧書きした単位などについて、現SIと計量法における取り扱いなどを整理して示す。

(1)の圧力については、パスカル(Pa, N/m²)が現SI単位(固有の名称とその独自の記号で表されるSI組立単位)である。従来の他の圧力単位については、現SI単位系には含まれず使用が推奨されないこととなっている。しかし、圧力は、まず第一に人間が水圧・気圧として体感し、第二には歴史的に水柱や水銀柱の高さとして定量的に測定されたものである。パスカルという単位は古典力学系から導出されたものであり、直観性が悪い。標準大気圧(atm)は、厳密な単位基準化が困難であり高精度データへの適用には問題を生じるが、直観性が非常に高い。なお計量法では、圧力単位として非SI単位のbarおよびatmが、mmHg(医学分野の血圧に限定)とともに当面認められている。

(2)のエネルギーについては、ジュール(J, N・m)が現SI単位(固有の名称とその独自の記号で表されるSI組立単位)である。他のエネルギーの単位については、現SI単位系には含まれず使用が推奨されないこととなっている。熱エネルギーについては、歴史的にも個人的にも人間は気温・水温などとして温度を感じ、典型的に水の加熱によって「熱エネルギー」の定量的把握ができるようになってきたものであろう。ジュールという単位は古典力学系から拡張されたものであり、熱に関しては直観性がない。これに対してカロリー(cal)は、1 gの水の温

度を1℃上昇させるのに必要な熱エネルギーの単位であり(複数の定義があって問題を生じ易いが), 熱に関しては直観性が高い。なお計量法では, 栄養学分野のcal, kcalなどの使用は当面認められている。

(3)では, 時間について秒(s)が現SI単位(SI基本単位)となっており, 分(min, 60s), 時(h, 3600s), 日(d, 86.4ks)については, SIに属さないがSIと併用される単位となっている。しかし, 年(y または yr と略記される)については, 現SIでは取り上げられていない。年は, 太陽年(概略365.242 d), 恒星年(概略365.256 d), 各種暦年(暦法や閏年によって日数が異なる)などの区別が必要であるが, 地球科学分野のみならず, 経済・社会分野などで必要不可欠な時間単位である。現状では, 地球科学分野で本質的にあるいは常識的に年単位で表現される平均値, 集計値などの多種多様なデータについては, 現SIを離れて年(y)を使用する必要がある。例題とした速さについては, 現SIではm/s(基本単位を用いて表されるSI組立単位)に, 必要に応じてSI接頭語を付けて表すこととなっている。しかし, 今回のような例に対して, 3.2 nm/sのような表現は直観性に欠ける。年という単位は非常に重要であり, 恒星間, 銀河系間の距離などについては, 直観性が高く応用性が広い非現SI単位の光年(light-year)による表現が一般に行われている。

(4)については, (2)で述べたようにジュールがエネルギーの現SI単位となっている。しかし, 地震(波動)エネルギーのマグニチュード(M, リヒタースケールを起源とする)表現のような指標化による表示は, 測定上の問題, 分かり易さ, 歴史的な継続性など(3.1参照)から, その使用が継続的に容認されるべきであろう。物質に関してはモル(mol)が現SI単位(SI基本単位)となっているが, 水中の水素イオン濃度のpH表現などについても同様のことが言える。なお, pHについては, 計量法で当面の使用が認められている。

5. 問題の解決策

5.1 簡単な暫定的解決策

一般論として, 理念的には理想的としても, 過度の統合化は, 現実世界の各部分領域では様々な

問題を生じる場合が多い(例えば, 自治体や企業の合併の場合など)。その現実的な解決策は, 恐らく理想を現実に沿って柔軟化するというところであろう。

本説の主題については, 現SIで推奨されない単位についても, 合理性があり現象の理解が非常に容易になるのであれば, その使用を認めるということである。簡単な解決策として, (1)どちらかの数値・単位を括弧書(主に現SI単位を想定)して併記する方法がある。これは簡単で丁寧であるが, 長くなりまどろっこしいという欠点もある。(2)どちらかの数値・単位(同上)について, 他方の数値・単位からの換算式などを脚注や末尾に示すという方法が, 一般的により妥当かも知れない。

5.2 学会誌などにおける現状と解決策

学術研究の発表などについては, 日本において現SIの使用は法的に強制されている訳ではない。推奨されているということである。従って, 学術雑誌の投稿規定などで, 現SIを尊重するが, 合理的で分かり易い単位の使用を幅広く容認することが方針となっていれば, 4.に例示した問題は解決される。著者と査読者の間に問題を生じた場合には, 編集委員会の責任で解決することが望まれる。

仮に, 現SIの厳格な使用が投稿規定などとして強要されることにより, 貴重な研究成果の発表が失われる, あるいはその内容の理解が得られないような場合があるとすれば, 大きな損失である。要は格言で言う「角を矯めて牛を殺す」ということであり, こだわりが強い研究者に対して妥当な限り自由度を広く尊重することによって, 優れた研究成果が発現する可能性を妨害しないということであろう。

さて, 近年WWWの発展により, 各種の学術雑誌などについて投稿規定などを入手することが容易となった。第5表と第6表は, 各々日本および欧米の地球科学分野の学術雑誌などの例について, 投稿規定類中の単位の使用に関する部分をまとめたものである。両表の右端列の記号は, SI使用の厳格さについて整理を試みたもので, ◇は単位系について特に指定がないもの, ▽はメートル法とヤード・ポンド法の両者の使用を認めるもの, △はメートル法として指定があるもの, ◎はSIを中心とす

第5表 日本の地球科学関連学会などの各種投稿規定における単位系の取り扱い (WWW上の公開情報に基づく)。

日本地質学会 (2003) 「日本地質学会誌」投稿規定 II. B. 6. 単位は原則としてメートル法により、ローマ字による省略形を用いる。	△
日本火山学会 (2003) 投稿規定・投稿細則・「火山」原稿作成の手引き (使用する単位系に関する記述は、見当たらない。)	◇
日本地震学会 (1999) 「地震」投稿規定・投稿細則 6.8 単位は、原則として、国際単位系 (SI) を使用する。特に、sec.は秒または小文字のsに、kineではなくm/sを使用する。	●
日本地球化学会 (2004) 「地球化学」投稿規定 2.7. 単位はSI系 (国際単位系) を使用することを原則とする。	●
物理探査学会 (1998) 「物理探査」投稿規定・投稿細則 30.2) 単位は半角の英数字を用いる。(合成文字は使用しない) 例 kg, m, cm, A	◇
日本地熱学会 (1998) 「地熱学会誌」投稿規定 「和文原稿」2. (3) 単位は国際単位 (SI) 系により、ローマ字による省略形を用いる。当分の間、やむを得ず他の単位系を用いた原稿も受け付けるが、その場合は、最初に使う時に、該当するSI単位系での値を必ず併記すること。まぎらわしいと思われる単位の例を付表に示す (year, bar, Gal などを含めて13項目)。	◎
資源地質学会 (1998) 資源地質学会投稿規定 2.2 1. 単位はメートル法とし、理科年表によるローマ字の記号を用いる。	△
資源・素材学会 (2003) 「資源と素材」投稿要領・原稿の書き方 2.3.8. 度量衡の単位は、原則として国際単位系 (SI) による。(SI単位記号表が付随し、SI単位と併用できる単位としてy, bar, atm, calなどが上げられている。)	◎
石油技術協会 (1999) 「石油技術協会誌」投稿要領 4.4 (9) 単位は原則としてSI (国際単位系) を用いる。やむを得ず従来単位を用いる場合は、脚注または末尾にSIとの換算式を一括して付記する。	◎
日本応用地質学会 (2004) 「応用地質」投稿規定 執筆要領 2.5) 単位系は原則として国際単位系 (SI) とする。	●
日本情報地質学会 (1998) 「情報地質」編集規約および投稿規定 (使用する単位系に関する記述は、見当たらない。)	◇
日本測地学会 (2000) 「測地学会誌」投稿規定・和文投稿原稿執筆要領 (使用する単位系に関する記述は、見当たらない。)	◇
日本気象学会 (2004) 「天気」投稿および内容案内 (使用する単位系に関する記述は、見当たらない。)	◇
日本惑星科学会 (2004) 「遊・星・人」投稿規定・原稿作成の手引き 6. 使用単位については特に統一しない。ただし、gcm ⁻³ , cms ⁻¹ などはせず、g/cm ³ , cm/sとする。	◇
地質調査総合センター (2002) 「地質調査研究報告」投稿・執筆手引 5. (3) d. 単位は原則としてSI (国際単位系) を使用する。	●
地質ニュース編集委員会 (2004?) 「地質ニュース」原稿作成の手引 (使用する単位系に関する記述は、見当たらない。)	◇

行末尾の◇, △, ◎, ●は、類似のものを定性的にグループ化した (本文参照)。

るがその他の単位の使用に比較的寛容なもの、●は基本的にSIのみを認めるものである。

日本、欧米ともに、全体的には幅広い考え方が認められる。同時に、分野毎に類似の傾向が認められて興味深い。現状では全体としては、平均的にかなり高い寛容さが認められる。残念ながら筆者にとって頭が痛い点は、筆者に関係が深い学術雑誌類では非SI単位の使用に非寛容な場合が多いということである。場合によっては、研究成果発表の論文投稿誌をこの基準で考え直す必要があるかもしれない。

5.3 将来の体系的な解決策

将来の体系的な解決策は、現状の問題を集積・整理し、幅広い議論を通じ相互理解を経て、現SIをよりよいものにするのであろう。学術分野での現SIの使用に絞って考えれば、現状ではあまり労力を掛ける必要はないと思われる。しかし、3.2で述べた非SI単位の使用制限による教育の困難化、直観性の低いSI単位の使用による事故発生などの問題が深刻であれば、各学会などで関係する単位の使用について検討する機会を設ける必要があるかもしれない。

第6表 欧米の地球科学関連学会などの各種投稿規定における単位系の取り扱い(WWW上の公開情報に基づく)。

• Geological Society of America (2004), <i>Geology</i> , Author information, Geology guidelines, Units of measure. Use the International System of units (metric) in captions, illustrations, and text. Where English measurements are necessary, follow metric with English in parentheses.	◎
• American Geophysical Union (2004), Tools for authors, Manuscript preparation. (No specific description for units.)	◇
• Elsevier (2004), <i>Geochimica et Cosmochimica Acta</i> , Guide for authors, Symbols and fonts. ... Use standard SI symbols, units and abbreviations, ...	●
• Society of Exploration Geophysicists (2004), <i>Geophysics</i> , Instructions to authors (Manuscript preparation), Examples of style for units. Physical quantities should be expressed in SI units. Exceptions to this rule may be permitted at the discretion of the Editor, when field measurements were obtained or equipment was specified with different units. In such cases, the value of non-SI units should be followed by its equivalent in SI units, enclosed by parentheses, e.g., 7200 ft/s (2200 m/s). ...	◎
• Elsevier (2004), <i>Journal of Volcanology and Geothermal Research</i> , Guide for authors. (No specific description for units.)	◇
• Elsevier (2004), <i>Geothermics</i> , Guide for authors, Units. Units should conform to the Systeme International (SI units).	●
• Society of Economic Geologist (2003), <i>Economic Geology</i> , Instructions to authors, Abbreviations, units and terminology. ... Authors should, as far as possible, use only SI (metric) units of measurement; ...	◎
• American Association of Petroleum Geologists (2004), <i>AAPG Bulletin</i> , Manuscript submission to AAPG Bulletin, Manuscript parameters. Use metric units of measure with the English unit equivalent in parentheses or, conversely, English units with metric equivalent in parentheses. Laboratory measurements do not require conversions.	▽

行末尾の◇, ▽, ◎, ●は, 類似のものを定性的にグループ化した(本文参照)。

これには, 非常に多くの労力と長い時間が掛かることが懸念される。しかし, 現在ではインターネットが発達しており, これを通じて広い理解が得られれば, 比較的短期間で現SIの再検討・修正に至る(BIPMなどのレベルにおいて)可能性がある。将来SIが修正されれば, その後ある程度の期間の内に計量法も修正されることが予想される。

現状では上記の体系的な解決策は空想的な話であり, 筆者がそのことを呼び掛けている訳ではない。現SIのより徹底した一貫化を主張する方々もあろうし, 合意形成は非常に難しいことである。しかし, いずれにしても本説が単位系のよりよいあり方や運用に向けて, 広く何らかの参考となれば幸いである。

6. おわりに

最後に, 小題を「超理想的な単位系?」として, SF的(若干寓話風)に本説を締め括りたい。

— 遠い将来, 色々な星から宇宙人が集まって「理想的な汎宇宙単位系」を決める会議を開いたでしょう。しかし, この時に地球人が現在のSIを提案しても, 受け入れられることはありそうもない。

その理由は, 現SIは母星「地球」に規定されており, 「汎宇宙」的には不純な要素に満ちているためである。すなわち, 起源的に現SIのメートルは地球の円周長の40,000,000分の1の長さ, キログラムは地球表面の妥当な条件での1,000 cm³に相当する水の重さ, 秒は地球の平均自転周期の(24×60×60)分の1の時間に制約されている。従って, 他の宇宙人からは当然反論を受けることとなるでしょう。

それでは「理想的な」単位系は何になるかと言え、恐らく「原子単位系」のように理想状態の各種素粒子から高精度で測定できる基本量が利用されることになるでしょう。すでに現SI (第2表参照) は、この方向に進みつつありますが、「地球人」の日常活動への利便性などに答えるために「非理想的な」制約に縛られていると言えます。なお、汎宇宙単位系では、10進法ではなく2進法(その拡張系を含む)あるいは6, 12, 60進法などが主張されるといった問題なども生じるのではないのでしょうか？

すでに地球でも一部の超最先端の研究機関では、来るべき宇宙時代の単位系を戦略的に検討中かと思えます。しかし、上記のような単位系は地球人に使いにくいし、大多数の星々の宇宙人にも使いにくいことでしょう。従って、これは宇宙基本単位系として統合物理学、宇宙科学などの学術分野、宇宙連盟-連合機関(?)、宇宙間交易などでは使用されるが、個々の地球人・宇宙人が日常生活で使用することはほとんどないのではないのでしょうか？

現在のSIは、ある意味でこれと類似の問題を言っているように思います。地球環境に住む我々にとって、よりよい理解や行動のための合理的で分かり易い単位系の柔軟な利用が望まれるのではないのでしょうか？ 学際的な大統合体系化、国際的な商業的利便化などの観点から「一量一単位が原則(理想)」とする柔軟性の低い制度は、むしろ大多数の人々に無理解-失興味を生じることとなり、その結果として古に徳川家康氏が治世方針としたと言われる「知ら(分から)しむべからず、よろしむべし」的世界を生むことになる危険性をはらんでいると思います。

謝辞：産業技術総合研究所の野田徹郎氏(評価部)と中島善人氏(地圏資源環境研究部門)には、

粗稿について貴重なご意見を頂いた。駒澤正夫氏(地質情報研究部門)には、重力データに関する単位系の現状についてご教示を頂いた。これらの方々に感謝します。近年WWWでは、単位系について様々な情報がまとめられており、現SIの使用の是非についての意見なども掲載されている。今回これらの一部を利用して頂いた。必ずしも文献に明示していない場合もあるが、ホームページ作成・提供の方々に感謝します。

文献(および関連WWW-URL)

- Bureau International des Poids et Mesures (1998) : Le Systeme international d'unites (SI), 7e edition (The International System of Units (SI), 7th ed.). 152p. (<http://www.bipm.fr/>)
- Bureau International des Poids et Mesures (2000) : Supplement 2000: additions et corrections a la 7e edition (1998) (Supplement 2000: addenda and corrigenda to the 7th edition (1998)). 10p. (<http://www.bipm.fr/>)
- 長 尚(1992) : 国際単位系への統一に反対. (<http://www.avis.ne.jp/~cho/siun.html>)
- 法務省(2004) : 計量法. (<http://law.e-gov.go.jp/cgi-bin/idxsearch.cgi>)
- 兵頭俊夫(2002) : 教科書検定の問題点. 日本物理学会誌, 57, 154-158. (<http://maildbs.c.u-tokyo.ac.jp/~hyodo/Edu-Report2002/node30.html>)
- 文部省(1999) : 義務教育諸学校教科用図書検定基準. (http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/kyoukasho/kentei/990102.htm)
- 産業技術総合研究所 計量標準総合センター(2002) : 国際単位系 (SI) は世界共通のルールです. (<http://www.nmij.jp/index.html>)
- 茂野 博・阪口圭一(2002) : 地理情報システム (GIS) を利用した地熱資源の評価 (アセスメント) 新計画. 地質ニュース, no. 574, 24-45.
- 茂野 博(2004) : 地熱井の温度・地質・変質データの簡易データベース化と地図上統合表示-GISを利用した地熱資源評価研究の一環として「豊肥」地域を例に. 地質ニュース, no. 595, 43-56.
- 高田誠二(2000) : 図解雑学 単位のしくみ. ナツメ社, 223p.
- 通商産業省 SI単位等普及推進委員会(1999) : 新計量法とSI化の進め方-重力単位系から国際単位系 (SI) へ-. (<http://www.meti.go.jp/topic/downloadfiles/e90608kj.pdf>)

SHIGENO Hiroshi (2004) : Problems and their solutions for using SI in Earth Sciences.

<受付：2004年7月22日>