

## 国際単位系 (SI) について\*

清水 逸 郎\*\*

## 1. はしがき

国際単位系 (Le Système Internationale d'Unités, 略称は SI) は、計量単位を国際的に統一するために、MKS 単位系から発展して整備された実用単位系である。

近年、交通や通信の手段が飛躍的に進歩して、人の交流、情報の交換、貿易の量などが非常に増大するにつれて、計量単位統一の必要性が各方面で痛感されるようになった。これまで、計量単位の国際的統一をはかろうとするときには、各国が用いている単位系を持ちよってそれらの間の妥協点を求めようとしてきたがうまくいかなかった。そこで近年はまず国際的に合意された規格を先に作って、各国が採用できるようになったらこれを国の規格としてゆくという方法が取られるようになった。

SI はこの線に沿ったものであり、またこれまでのどの単位系よりも合理的で使用に便利に作られているので、世界の各国はいま古い単位をすてて新しい SI へ移行しようとしている。イギリスは1975年、ソ連は1978年、西ドイツは1980年、アメリカは1983年を目標に SI に切り換える計画であることを明らかにしている。日本でも1974年から国の規格 JIS を SI に切り換えることになった (JIS Z 8203, 1974)。

SI を学術の計算に使用する利点は大きく、世界気象機関 (WMO) の気象常用表 (WMO, 1973) にも既に取り入れられており、アメリカの気象学会でも、国全体の切り換えに先んじて1975年から SI を用いることに決定した (AMS, 1974)。日本においてもやがて SI が普及するようになるものと思われるので、気象に関係のあるものに重点を置いて解説を試みることにする。

## 2. SI の歴史

現在の MKS 単位系の基礎は18世紀の終りごろフラ

ンスの学者達によって作られ、その国民議会によって採択されたものである。これが各国から注目されるようになり、世界共通の計量単位制度を確立する必要性が強く認識されて、1875年5月に18ヶ国が参加してパリで「メートル条約」が結ばれた。我が国はその10年後の1885年 (明治18年) に加盟した。この条約によって、全加盟国の代表によって構成される国際度量衡総会 (以下総会という) が設立されることになった。この総会は4年毎 (はじめのうちは6年毎) にパリで開かれている。

1889年の第1回総会において、白金イリジウム製の国際メートル原器と国際キログラム原器とが承認された (国際単位系の手引, 1975)。また時間の単位秒は、平均太陽日の  $1/(24 \times 60 \times 60)$  と定義されている。この頃には、実用単位として国際的に統一する必要のあるものは、度量衡つまり長さ、体積、質量と時間や角度ぐらいのものであった。その後、科学の実用化が始まり、工業上の諸単位がたくさん設けられるようになった。CGS 単位系や重力単位系などである。これに次いで、電磁気の単位が加わるようになって、CGS 静電単位系、同電磁単位系、MKSA 単位系など、単位系の分裂はさらに複雑なものになった。

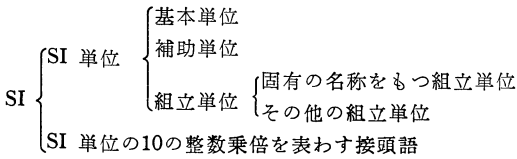
このために、第2次大戦後計量単位の統一が国際的に論議されるようになり、1948年の第9回総会で、メートル条約加盟国のすべてが採用し得る実用的計量単位系を確立するための決議が行なわれた。これに基づいて多くの努力がなされた結果、1960年の第11回総会において国際単位系 (SI) が採択されるようになった。この単位系は、基本単位、補助単位、組立単位から成り、一つの物理量には、ただ一つの単位が対応し、各単位にはそれぞれ一つの記号が与えられている。

一方、この単位系の基礎である基本単位の定義は、計測技術の進歩につれて次々に変更されて現在に至ったも

\* On the International System of Units.

\*\* I. Shimizu 気象庁企画課。

表1 SI の構成



のである。長さの単位メートルは、メートル原器による場合にその比較の精度は $10^{-7}$ の程度であったものが、光の波長を用いることによって $10^{-8}$ の程度に向上し得ることが明らかになった(高田, 1970)ので、第11回総会で、波長によるメートルの定義に改正された。時間の単位秒についても、同様のことから、1967~1968年の第13回総会において、光の周期によって定義されることになった。

温度の単位については、水の三重点のほうが氷の融解点よりよい精度で設定できることが明らかになったので、水の三重点に対して、273.16ケルビン度という温度を与え、それを基本定点とすることにより熱力学温度目盛を定義することに第13回総会で決議された。この場合、セルシウス度の零は、水の三重点の温度より0.01度だけ低い温度であると定義されている。

3. 国際単位系 (SI) の内容

SI は、国際度量衡総会で採用され 勧告された一貫した単位系であって、基本単位、補助単位及びそれらから組立てられる組立単位並びにそれらの10の整数乗倍から成る。このうち、基本単位、補助単位及び組立単位をまとめて SI 単位という。この関係を表1に示す。

3.1 基本単位

一つの単位系における基本単位は、物理学上、一義的に決められるものではなく、そこには任意的な要素が存在する。SI においては、これまでの歴史と、次元の立場から見て独立なものであるとみなされる長さ、質量、時間、電流、熱力学温度、物理量及び光度を選定して基本単位とした。それぞれの名称と記号を表2に示してある。

国際単位系における基本単位はそれぞれ次のように定義されている。

メートルは、クリプトン86の原子の準位  $2p_{10}$  と  $5d_5$  との間の遷移に対応する光の、真空中における波長の1,650,763.73倍に等しい長さである。

キログラムは、質量の単位であって、それは国際キログラム原器の質量に等しい。

秒は、セシウム 133 の原子の基底状態の二つの超微細

表2 基本単位

量	名称	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
熱力学温度	ケルビン	K
物質質量	モル	mol
光度	カンデラ	cd

準位の間の遷移に対応する放射の 9, 192, 631, 770 周期の継続時間である。

アンペアは、真空中に1メートルの間隔で平行に置かれた無限に小さい円形断面積を有する無限に長い2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メートルごとに  $2 \times 10^{-7}$  ニュートンの力を及ぼし合う一定の電流である。

ケルビンは、水の三重点の熱力学温度の  $1/273.16$  である。

注 単位ケルビンとその記号Kは、温度差を表わすのにも用いられる。

ケルビンで表わされる熱力学温度(記号T)のほかに、次の等式で定義されるセルシウス温度(記号t)も用いられる。ここで、

$$t = T - T_0$$

であって、定義として  $T_0 = 273.15 \text{ K}$  である。セルシウス温度はセルシウス度(記号 $^{\circ}\text{C}$ )で表わされる。単位「セルシウス度」は単位「ケルビン」に等しく、かつ、セルシウス温度の温度差もセルシウス度で表してよい。

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と等しい構成要素を含む系の物質質量である。モルを使用するときは、構成要素を指定し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。

カンデラは、101,325パスカルの圧力のもとで、白金の凝固点の温度にある黒体の、 $(1/600,000)$  平方メートルの表面の垂直方向の光度である。

3.2 補助単位

国際度量衡総会では、純粋に幾何学的な二つの単位、すなわち、平面角の単位と立体角の単位については、基本単位とも組立単位とも決定せず、これらを補助単位と呼ぶことにした。その名称と記号を表3に示してある。

補助単位の定義は次の通りである。

表3 補助単位

量	名称	記号
平面角	ラジアン	rad
立体角	ステラジアン	sr

表4 固有の名称をもつ組立単位

量	名称	記号	定義
周波数	ヘルツ	Hz	s <sup>-1</sup>
力	ニュートン	N	kg・m/s <sup>2</sup>
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m <sup>2</sup>
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N・m
工率, 放射束	ワット	W	J/s
電気量, 電荷	クーロン	C	A・s
電圧, 電位	ボルト	V	W/A
静電容量	ファラド	F	C/V
電気抵抗	オーム	Ω	V/A
コンダクタンス	ジーメンズ	S	A/V
磁束	ウェーバ	Wb	V・s
磁束密度	テスラ	T	Wb/m <sup>2</sup>
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A
光束	ルーメン	lm	cd・sr
照度	ルクス	lx	lm/m <sup>2</sup>
放射能	ベクレル	Bq	s <sup>-1</sup>
吸収線量	グレイ	Gy	J/kg

ラジアンは、円の周上でその半径の長さに等しい長さの弧を切り取る2本の半径の間に含まれる平面角である。

ステラジアンは、球の中心を頂点とし、その球の半径を一辺とする正方形の面積と等しい面積をその球の表面上で切り取る立体角である。

### 3.3 組立単位

組立単位は、7個の基本単位と2個の補助単位を組み合わせて構成された単位である。このうち、17個の単位については実用上の便宜のためにそれぞれ固有の名称と記号を与えており、それらは基本単位や補助単位と同様にその他の組立単位を表すために用いることができることになっている。それらを表4に示す。また、基本単位と補助単位とより構成される組立単位の例を表5に、固有の名称を持つ組立単位を含む組立単位の例を表6に示してある。

### 3.4 SI 単位の10の整数乗倍を表わす接頭語

SI 単位は、完全な一貫性を保つように構成されているために、量によっては常用の大きさを表わすのに適当

表5 基本単位及び補助単位によって構成される組立単位の例

量	名称	記号
面積	平方メートル	m <sup>2</sup>
体積	立方メートル	m <sup>3</sup>
速度, 速さ	メートル毎秒	m/s
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s <sup>2</sup>
角速度	ラジアン毎秒	rad/s
角加速度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s <sup>2</sup>
運動量	キログラムメートル毎秒	kg・m/s
密度	キログラム毎立方メートル	kg/m <sup>3</sup>
比体積	立方メートル毎キログラム	m <sup>3</sup> /kg
拡散係数	平方メートル毎秒	m <sup>2</sup> /s
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m <sup>2</sup>
物質量の濃度	モル毎立方メートル	mol/m <sup>3</sup>

表6 固有の名称を持つ組立単位を含む組立単位の例

量	名称	記号
力のモーメント	ニュートンメートル	N・m
粘性係数	パスカル秒	Pa・s
表面張力	ニュートン毎メートル	N/m
熱伝導率	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m・K)
熱容量	ジュール毎ケルビン	J/K
比熱	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg・K)
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m
放射強度	ワット毎ステラジアン	W/sr

なものになっているとは限らない。例えば、圧力の単位パスカル (Pa) は大気圧を表わすには小さすぎるし、静電容量の単位ファラド (F) は常用には大きすぎる。そこで、SI 単位の接頭語をつけることによって、その単位の10の整数乗倍を表わすものとすれば、極めて大きい量や、極めて小さい量を表わすのに便利になる。これらを表7に示す。

この接頭語の記号は、すぐ後に付ける単位記号と一体になったものとして扱う。この点は、これまでの MKS 単位系などにおける使用方法と同様である。例えば、

$$1 \text{ cm}^3 = (10^{-2} \text{ m})^3 = 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$1 \mu\text{s}^{-1} = (10^{-6} \text{ s})^{-1} = 10^6 \text{ s}^{-1}$$

$$1 \text{ mm}^2/\text{s} = (10^{-3} \text{ m})^2/\text{s} = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

などである。ここで特に注意しておきたいことは、これまで長さの単位としてミクロンがよく用いられていたが、

表7 10の整数乗倍を表わす接頭語

倍数	名称	記号
10 <sup>18</sup>	エクサ (exa)	E
10 <sup>15</sup>	ペタ (peta)	P
10 <sup>12</sup>	テラ (tera)	T
10 <sup>9</sup>	ギガ (giga)	G
10 <sup>6</sup>	メガ (mega)	M
10 <sup>3</sup>	キロ (kilo)	k
10 <sup>2</sup>	ヘクト (hecto)	h
10	デカ (deca)	da
10 <sup>-1</sup>	デシ (deci)	d
10 <sup>-2</sup>	センチ (centi)	c
10 <sup>-3</sup>	ミリ (milli)	m
10 <sup>-6</sup>	マイクロ (micro)	$\mu$
10 <sup>-9</sup>	ナノ (nano)	n
10 <sup>-12</sup>	ピコ (pico)	p
10 <sup>-15</sup>	フェムト (femto)	f
10 <sup>-18</sup>	アト (atto)	a

SI ではこれはマイクロメートル ( $\mu\text{m}$ ) となり、 $\mu$  はミクロンとは読めなくなったことである。また、ミリミクロンという単位も用いられていたが、SI では、 $\text{m}\mu\text{m}$  というように、接頭語を重ねることは禁じられていて、 $\text{nm}$  (ナノメートル) と書かなければならない。

質量の単位キログラムには接頭語“キロ”が含まれているので、質量の単位に限っては、“グラム”という語に接頭語を付けて構成する。例えば、マイクロキログラム ( $\mu\text{kg}$ ) ではなくて、ミリグラム ( $\text{mg}$ ) とする。この点は SI の持つ弱点である。

4. SI 単位及びその接頭語の使い方

(1) 接頭語は、原則として数値が 0.1 と 1,000 の間に入るように選ぶ。この原則によると

$$101,325 \text{ Pa (標準大気圧)} = 101.325 \text{ kPa}$$

と書くことになる。したがって、SI によればこれまでの 700 mb の天気図は 70 kPa の天気図ということになる。

(2) 単位記号は、直立体 (ローマン) 文字とし、一般に小文字とするが、固有名詞から導かれたものについては第 1 番目の文字だけを大文字とする。単位記号には複数形を用いず、終止符号 (ピリオド) を付けない。例えば次のようなものである。

m (メートル), s (秒)

A (アンペア), Wb (ウェーバ)

(3) 組立単位が二つ以上の単位の積で構成される場合

表8 SI と併用される単位

量	名称	記号	SI 単位での値
時間	分	min	1 min = 60 s
	時	h	1 h = 60 min = 3,600 s
	日	d	1 d = 24 h = 86,400 s
	平面角	度	$^{\circ}$
分		'	$1' = (1/60)^{\circ}$ $= (\pi/10,800) \text{ rad}$
秒		''	$1'' = (1/60)'$ $= (\pi/648,000) \text{ rad}$
体積	リットル	l	1 l = 1 dm <sup>3</sup> = 10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup>
	質量	トン	1 t = 10 <sup>3</sup> kg

には、次のいずれかの方法で書くのがよい。

N·m    N, m    Nm

なお、接頭語の記号と同じ単位記号を用いる場合には、混同を避けるために特別の注意を払う必要がある。例えば、力のモーメントの単位ニュートンメートルはミリニュートン mN との混同を避けて Nm 又は N·m と書く。

(4) 組立単位が一つの単位を他の単位で除して構成される場合には、次のいずれかの方法で書く。例えば、 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$  又は m/s 若しくは  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  のようにする。また、あいまいさを避けるために、どのような場合でも斜線を同一の行に二つ以上重ねてはならない。例えば、 $\text{m}/\text{s}^2$  又は  $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$  として、 $\text{m}/\text{s}/\text{s}$  としてはいけない。また複雑な場合は、負の整数乗倍又はかっこを用いる。例えば、 $\text{m}\cdot\text{kg}\cdot\text{s}^{-3}\cdot\text{A}^{-1}$  又は  $\text{m}\cdot\text{kg}/(\text{s}^3\cdot\text{A})$  としてはいけない。

5. SI に含まれない単位の取り扱い

SI は一貫性のある単位系であるから、それに含まれない単位は使用すべきでないということになるが、実用上重要なので、表8に示される諸単位は SI と併用されることになっている。また、表9には SI と共に暫定的に許容される単位を示してある。

表7に示す接頭語は、表8及び表9に示す単位にも付けることができる。また、表8及び表9の単位と SI 単位及びその10の整数乗倍との併用で組立単位が構成されることがある。例えば、mbar, km/h などである。

表10には、固有の名称を持つ CGS 単位が書いてある。これらは SI とは併用しないほうが望ましい単位となっている。

この他、長さの単位ミクロン ( $\mu$ )、熱量の単位カロリー (cal) など SI と併用しない方が望ましい単位とな

表9 SI と共に暫定的に許容される単位

名 称	記号	SI 単位での値
海 里		1 海里 = 1,852 m
ノ ッ ト		1 ノット = 1 海里毎時
オングストローム	Å	1 Å = 0.1 nm = 10 <sup>-10</sup> m
ア ー ル	a	1 a = 1 dam <sup>2</sup> = 10 <sup>2</sup> m <sup>2</sup>
バ ー ン*	b	1 b = 100 fm <sup>2</sup> = 10 <sup>-28</sup> m <sup>2</sup>
バ ー ル	bar	1 bar = 10 <sup>5</sup> Pa
標 準 大 気 圧	atm	1 atm = 101 325 Pa
ガ ル	Gal	1 Gal = 1 cm/s <sup>2</sup> = 10 <sup>-2</sup> m/s <sup>2</sup>
キ ュ リ ー	Ci	1 Ci = 3.7 × 10 <sup>10</sup> s <sup>-1</sup>

\* 有効断面積の単位で、原子核の断面積程度の量である。

表10 固有の名称をもつ CGS 単位

量	名 称	記 号
エネルギー } 仕 事 }	エ ル グ	erg
力	ダ イ ン	dyn
粘性係数	ポ ラ ズ	P
動粘性係数	ス ト ーク ス	St
磁 束	マクスウェル	Mx
磁束密度	ガ ウ ス	Gs
磁界の強さ	エルステッド	Oe

っている。

6. SI を使用する時の注意

これまでに述べてきたことの中で、気象に関係の深いものについて二三の注意事項を述べておきたい。

表10には、エルグ、ダインなど CGS 単位系で用いられている特殊な名称を持つ単位をあげて、SI とは併用しない方がよいとしている。しかし、SI では、基本単位の10の整数乗倍の使用を認めているから、センチメートルやグラムなどの単位はいつでも使用することができる。従って、速度の単位を cm・s<sup>-1</sup> としてもよいし、含水量を g・m<sup>-3</sup> の単位で表わすこともできる。

エネルギーの単位は、SI ではジュールであって、カ

ロリーやラングレーの使用を認めてはいないので太陽常数は W・m<sup>-2</sup> の単位で表わすことになる。

SI の温度の単位はケルビン (K) であるが、同時にセルシウス度 (°C) も定義されているので、気温の単位についてはこれまでと変りはない。しかしセンチグレイド (centigrade) という呼び方は決して使われない。

SI の気圧の単位はパスカル (Pa) である。気象界においては mb が普及してこれは暫定的に使用が認められているが、いずれは問題になるであろう。1975年5月にジュネーブで開かれた第7回世界気象会議においても、圧力の単位パスカルの使用について討論されたが、気象情報についてはミリバルが普及しているということで、すぐにパスカルの使用を勧告するといった決議には至らなかった。また、パスカルを使用するようになったとき、気圧の単位を現在の mb に等しいヘクトパスカルとするか、キロパスカルにするかについて意見が分れ、どちらとも決定しなかった。この点はこれからも討議されることになるであろう。

7. 結 び

以上、SI について簡単に解説をした。我が国ではすでに MKS 単位がよく普及しているので、SI に移行するのにそれ程大きな問題はないと思われる。

この解説を書くに当っては、日本工業規格の“国際単位系 (SI) 及びその使い方”と日本規格協会の“国際単位系 (SI) の手引”とを主に参考とした。記して感謝の意を表したい。SI についてさらに詳しく知るためには、この両書を参考にすることをおすすめする。

参 考 文 献

American Meteorological Society, 1974: SI units to be used in AMS journals., B.A.M.S., 55, 926-930.  
 国際単位系の手引編集委員会, 1975: 国際単位系 (SI) の手引, 日本規格協会。  
 日本工業規格, 1974: 国際単位系 (SI) 及びその使い方, JIS Z 8203. 日本規格協会  
 高田誠二, 1970: 単位の進化, 講談社ブルーブックス。  
 WMO, 1973: International Meteorological Tables.