

これまで見てきたとおり、計測の単位系を構築するには、決して変動しない基準を単位の定義とすること、その定義をそのとおり技術的に実現（現示）出来ることが必要です。この点で現在の質量定義は、キログラム原器という破壊・摩耗・紛失の恐れがある器物に頼っているということで問題があります。また、電流の場合定義それ自体は不変でも、「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」という現示は困難で、絵に描いた餅に過ぎません。このため定義とは直接関係の無いジョセフソン電圧標準と量子ホール抵抗標準で現示されている訳です。

[Vol.89](#)でも述べたとおり予定される改定は、これら現在のSIが抱える本質的な問題や事実上の不整合を相当程度解消することが期待されます。そして改定前後の基本単位の相互関係とは下記の通りになります。（[Vol.89](#)の図1および[Vol.90](#)の表1に示したシンボルを援用）

各基本単位の決定には、シンボルで示した物理定数に関わります。単位相互には矢印の元にある量との組み合わせによって定義づけられます。

さて、図1を見ると、質量をはじめ多くの基本単位の定義に秒(s)が関わる一方、秒は何ものからも指図されていません。これは改定前の現在も同じで、つまり秒がいちばん正確に測定できる、ということを示しています。例えばプランク定数の決定で8桁レベルを問題にしているのに対し、秒は原子時計があれば13桁レベルは一般的に測定できます。他の単位に比べ、圧倒的に不確かさが小さいので、矢印の先にある基本単位の定義・現示に際し、精度の悪化に寄与しないのです。

では、秒の定義は安泰で、問題はないのでしょうか。まずは現在の定義を見てみましょう。

「秒は、セシウム 133 の原子の基底状態の二つの超微細準位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。」

原子は原子核とその周りの軌道を周回する電子からなります。電子は原子核に近い側から埋まって安定した状態にありますが、外部から電磁波などのエネルギーが与えられるとそれを電子の軌道や磁力の変化などの形で蓄えます。そして元に戻る際、エネルギーをやはり電磁波の形で放出します。その時の電磁波の周波数は、原子の種類と状態で決まっています。丁度、バイオリンやギターなど、弦楽器の弦をつま弾くようなものです。弦楽器にはいくつか弦がありますが、特定の弦をつま弾けば同じ周波数の音が発生します。定義

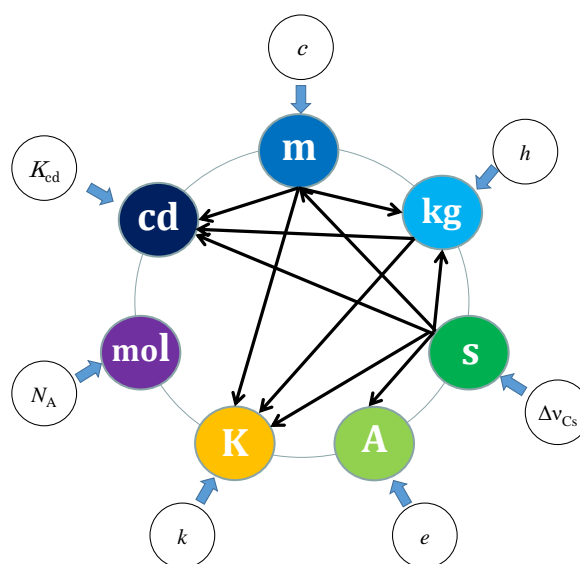


図1. 基本7単位の依存関係  
および関係する定数

にある「セシウム 133 の原子」というのは弦楽器の種類、「基底状態の二つの超微細準位の間の遷移」というのはその楽器の特定の弦を指すようなものです。そしてその音の周期を 9 192 631 770 回数えると、1 秒になる。言い方を変えるとその周波数は約 9.2 GHz である、ということです（なお、[Vol.70](#) で黒体からの放射を紹介しましたが、これは熱によって原子や分子などの粒子が放射する電磁波で、上記で示した原子の内部状態の変化による電磁波の放射とはメカニズムが異なります）。このように原子の内部状態の変化による特定の電磁波を、精度の高い時間の基準とするのが原子時計です。

現在の秒の定義は 1967/68 年に掛けて採択されました。およそ 50 年前です。この定義が採択される当時、いくつかの原子時計（ルビジウムを用いるもの、水素を用いるもの、など）が定義の候補に挙がっていました。そのようななかセシウムが採用されたのは、実際当時一番精度が良かったのですが、精度を出せた理由として

- セシウムには自然界に同位体が存在しない（同位体は原子核の中の陽子の数は同じでも中性子の数が異なる元素。先のたとえば弦楽器の種類が微妙に異なるので同位体毎に周波数を特定する必用がある）
- 当時 9.2 GHz という周波数が測定に丁度良かった（先のたとえば弦の音がマイクで拾える程度の高さだった）
- 沸点が低く金属としては低温でガスに出来る（原子時計として放射を得るためにはガス化する必要がある）

など、もっぱら技術的・実用的な利点があげられます。こうしてみると秒は原子時計によって他の単位より桁違いに正確な測定が可能とは言え、定義については特定の物質に依存していることとなります。現示の手段が定義になった、とも言えます。熱力学温度が水の 3 重点を基準としているのと似ています。このような定義が定められてから 50 年、秒の現示はどうなっているのでしょうか。

図 2 は原子時計の精度の進歩を示しています。定義採択当時、マイナス 12 乗ほどの精度だったセシウム原子時計は現在 15 乗ほどの不確かさに達しています。一方、急激に不確かさを低減しているのが、「光周波数時計」という新たな原子時計です。既にセシウム原子時計を凌駕する精度が期待されていますが、定義であるセシウム原子時計自体の精度を超える評価が出来ない事態に到っているのです。このような事情から、秒についてもいずれ定義の改定が必用ではないか、と議論されています。精度の追求は、果てしがないのです。

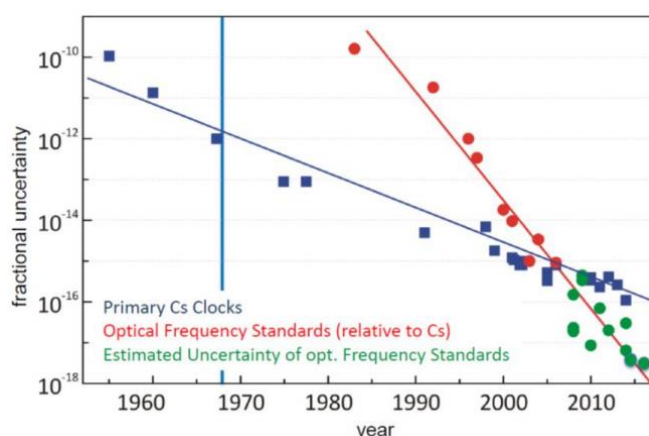


図 2. 原子時計の相対的な不確かさの変遷  
(時間周波数諮問委員会資料から)