

2. どのように改定するのか

いくつかある基礎物理定数から質量に関連する最適な定数を選択し、定数の数値を決定してキログラムを定義する。候補として絞られたのは、「プランク定数」と「アボガドロ定数」である。両方とも物理や化学の世界では重要な定数であるが、「メートル」の定義に選択された「光の速さ」に比較すると、社会での認知度は低く、直感的な説明

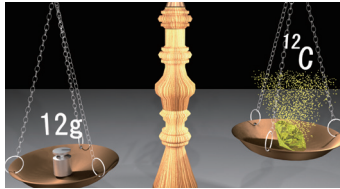


図4 12 gまで炭素12を積上げる

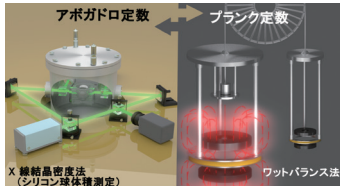


図5 プランク定数を決定する2つの測定法 (ワットバランス法はNISTのHPを参考に編集)

も難しい。それでも、アボガドロ定数は、現行(改定前)のモルの定義に基づいて「12 gになるまで炭素12の原子を積上げたときの原子の数(図4)」とイメージすれば、質量との関連は理解できる。他方のプランク定数は、質量とエネルギーが等価であること、光子のエネルギーがプランク定数と振動数の積であることから、質量との関係を導くが数式に頼らずイメージするのは難しい。

ところが、結果的にキログラムの改定に採択されたのはプランク定数である。SIの体系全体を俯瞰すれば、このほうが電気標準にとっても都合がよい。

さて、プランク定数の採用により、別候補のアボガドロ定数の位置づけはどのように変わったのか。実はプランク定数とアボガドロ定数の間には、他の基礎物理定数を介して、一方が決まれば他方も決まる関係がある(図5の矢印はこの関係を示す)。アボガドロ定数はワットバランスとは全く異なる測定法から得られるため、異なる経路から検証されたプランク定数の信頼性は格段に高まる。メートル条約下で質量関連量を検討する質量関連量諮問委員会(CCM)は、両測定の一一致を改定の前提条件として推奨している。

3. キログラム原器による定義と何が違うのか

実際のアボガドロ定数の測定では、図4に示す12 gと炭素12の代わりに、精密に測定できる1 kgのシリコン28を用いる。2003年産業技術総合研究所 計量標準総合センター(NMIJ)は、当時として世界最高の精度でアボガドロ定数を測定した。その時の不確かさは 2×10^{-7} (1億分の20;プランク定数に換算しても

計量啓発標語 (平成28年度の最優秀作品賞及び優秀作品賞)



信頼と 未来を築く ひと目盛り

奈良県 航空大中学生 なかの ひろあき
中野 弘品さん



世界をつなぐ 確かな基準で 正しい計量

茨城県 保健師 おおやま あかね
大山 茜さん



正しく計量 小さな目盛りも 大きな信用

兵庫県 村岡 むらおか たかし
孝司さん

【計量啓発標語とは】

多くの方々に正確な計量への意識を高めていただくことを目的に、平成13年度から計量啓発標語の募集を毎年実施しています。16年目にあたる昨年(平成28年度)は、全国から422点の応募がありました。

何でもはかってみようコンテスト

(平成28年度の最優秀作品賞及び優秀作品賞)



400mトラックのながさをはかってみよう

神奈川県 小学1年 うえさか たいき
上坂 泰希さん



野菜のしぼり汁によるデンプンの分解の速さくらべ

茨城県 小学6年 うちだ まな
内田 愛さん



ぼくのからだは記憶ゴム

神奈川県 小学6年 たけうち かずと
竹内 一翔さん

【何でもはかってみようコンテストとは】

小学生が、学校や家庭生活の中の身近なものについて、「はかることの楽しさ・大切さ」を実践する機会を提供して、小学生の理科教育及び考える学習の推進を図ることを目的に、平成17年度から「何でもはかってみようコンテスト」の募集を毎年実施しています。12年目にあたる昨年(平成28年度)は、全国から119点の応募がありました。

※平成28年度入選作品については、(一社)日本計量振興協会のホームページで詳しくご覧いただけます。

募集から入選作品決定までのスケジュール

- 6月中旬 地方計量行政機関、計量関係団体、企業、及び(一社)日本計量振興協会HPを通じて作品を募集します。
- 9月初旬 応募を締め切ります。
- 10月中旬 「計量記念日実行委員会」及び「何でもはかってみようコンテスト審査委員会」において、厳正に審査し、入選作品を決定します。
- 11月1日 計量記念日全国大会において、最優秀作品及び優秀作品を発表・表彰します。

発行日 平成29年9月25日

発行所 一般社団法人 日本計量振興協会

〒162-0837 東京都新宿区納戸町25-1 TEL.03-3268-4920(代表)

日計振 で 検索

質量の単位
「キログラム」の
定義を改定

11月1日は計量記念日

計量の ひろば

質量の単位「キログラム」の定義を改定

1. なぜ改定が必要なのか

2018年の第26回国際度量衡総会において、「キログラム」の定義の改定が審議される予定である。この改定では、メートル条約が成立して以来、120年以上も質量の単位「キログラム」の定義を実現して

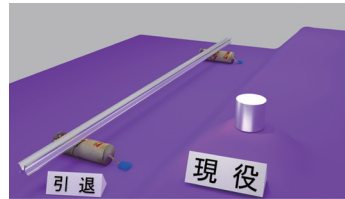


図1 今も現役のキログラム原器とすでに引退したメートル原器

きた国際キログラム原器(IPK)が、基礎物理定数に置き換わる。これにより、「キログラム」は長さの単位「メートル」が通った道を、半世紀遅れでたどることになる(図1)。

長さや時間が不変な定数による定義に置き換えられる中、人工物であるIPKの不安定性が懸念されてきた。白金とイリジウムの貴金属合金で精密に作られたIPKは安定しているように見えるが、1889年の設定から50 μg程度(5×10⁻⁸、1億分の5に相当)変化してきた(図2)。



図2 長期間では不安定な国際キログラム原器

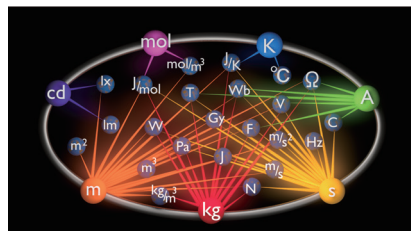


図3 7つの基本単位は多くの組立単位の要



不確かさは同じ)であり、世界最高であるがIPKの長期安定性より劣っていた。このような事情を背景に、2004年より「アボガドロ国際プロジェクト」が開始され、参加国が得意な技術を分担して各技術の課題解決を目指し



図6 得意な技術を持ち寄ったアボガドロ国際プロジェクト(国旗は役割分担を厳密に示すものではない)

た。図6にプロジェクトに結集したシリコンの「同位体濃縮結晶」、「球体への研磨」、「モル質量の測定」、「格子定数の測定」、「体積の測定」等の各要素技術を示す。この結果、2011年に不確かさは3×10⁻⁸(1億分の3に相当)まで改善し、最近では2×10⁻⁸程度(1億分の2に相当)に達している。今日、10年以上の長期間の研究の成果が、SIの最大の技術課題に終止符を打つ段階にまで到達した。

さて、図6には示されていないが、1 kgのシリコン球の質量は現在のIPKを参照して測定されている。そもそもIPKの不安定性が改定の動機であるから、測定でIPKを質量の基準とすることに疑問を持つかもしれない。図2で問題となったのは、IPKの長期的な不安定性である。短期的にはIPKは安定し、質量を校正する技術も確立され不確かさも小さい。そこで、各研究機関が現在(改定時)のIPKを基準にプランク定数の数値を決めれば、IPKの長期的な変動の影響を受けることなく、整合性のとれた値が得られる。逆に、今後プランク定数から実現する1 kgは、100年後であっても現在のIPKが示す1 kgになる。現在のIPKの質量がプランク定数の数値に取り込まれ、実際のIPKの変化と無関係になったと解釈すれば理解しやすい。結果的に「キログラム」の長期的な不安定性は排除され、プランク定数から質量を実現する際の不確かさの向上や、微小質量への展開が技術的な課題となる。

4. 暮らしへの影響

今回の改定に関して、日常生活で変化を感じる機会はあるだろうか。結論から言えば、将来の先端的な科学や技術には大きな進歩をもたらすことが期待されているが、日常的な生活への影響はほとんどない。前述したように、定数の測定に用いる質量の基準は現在のIPKであり(図7の背景)、IPKの質量が定数の数値に反映される。この結果、改定の前後で現在の1 kgは継承され、日常の測定に影響しない。

一方で、最高レベルの質量測定では不確かさの増加を懸念する声もあった。近年の研究者の努力により、技術的な進歩やデータの蓄積が十分な段階に達し、理解も進んだようである。懸念の背景に

は、現行の定義で特段の不都合は顕在化していないため、改定は拙速ではないかという視点がある。SI改定の成功例である「メートル」は、原器の廃止(クリプトン86の波長を採用)が1960年であり、前後して始まった電子デバイスの集積化の流れを支えた。今回の改定も質量に関係する様々な測定量の技術革新、特に微小量や微小領域での新たな計測技術の基盤となることが期待されている。

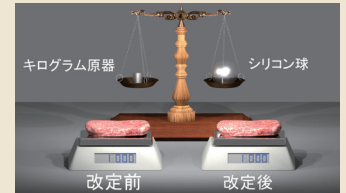


図7 改定前後で日常での測定に不連続は生じない

5. 改定後のSI基本単位

2018年の国際度量衡総会では、質量の単位(kg)だけでなく、電流(A)、熱力学温度(K)、物質量の単位(mol)についても、それぞれの定義の改定案が審議される予定である。さらに、残りの時間(s)や長さ(m)、光度(cd)についても、定義の内容に変更はないが、改定に整合した記述となることが予定されている。図8に改定後の各単位が参照する定数を示し、同時に各単位間での関連を矢印で表した。例えば「メートル」の実現に「秒」が必要のように、「キログラム」は「メートル」と「秒」に関係する。

また、改定により図8の岩に示す定数の不確かさがゼロになり、代わりにIPKの質量や磁気定数(真空の透磁率、μ₀)、水の三重点(T_{tpw})、炭素12のモル質量(M^{(12)C})が不確かさを持つ。図4は炭素12を、定数となったアボガドロ数まで積上げたときに、ある不確かさをもって12 gの分銅を校正している図として解釈が変わる。最後に、単位と定数の関係について、国際度量衡局は簡潔な図9を公開している。国際度量衡局を含めて計量関係者は、「今回の改定が現行システムの安定性を確保しながら、精度の向上と将来の技術革新を支える」ことを多くの人々に理解してもらい、同時に計量(科学的な側面も含めてMetrology)の重要性を再認識してもらう機会となることを願っている。

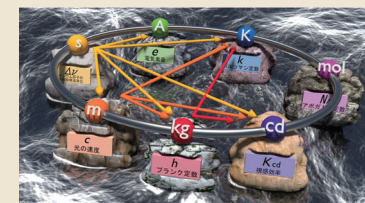


図8 基本単位と参照される定数(図では定数を不動の岩で象徴)



図9 基本単位と参照される定数(BIPM HPから)