

3 キログラム原器の製作

メートルとキログラムを基本とする単位のシステムが、メートル法です。フランスで生まれたこのシステムの利点がある他国にも認められ、1875年、メートル法にもとづく、国際的な単位の統一を目的とする国際条約「メートル条約」が締結されました。日本も近代化にむけた取り組みの一環として、1885年(明治18年)にメートル条約に加盟しています。また、より厳密にキログラムを定義するために、国際キログラム原器が1880年代に製作されました。その材料には、当時の最先端技術で作られた白金イリジウム合金が用いられました。さらに、同じ材料を使ってメートル条約加盟国用キログラム原器40個が製作され、それらの質量が国際キログラム原器を基準にして測定されました。質量測定を実施したのは、フランス・パリ郊外にある国際度量衡局です。これらの原器群の製作完了をうけ、1889年、キログラムは国際キログラム原器の質量として再定義されました。日本には、No. 6と番号付けされたキログラム原器が割り当てられました。

4 キログラム原器の役割

1890年(明治23年)、キログラム原器が日本に到着しました。これをうけて、欧米の学問や技術をスムーズに導入できるように、キログラム原器を質量の基準とする



図2 キログラム原器(上段中央)、キログラム副原器(上段左)と真原器(下段左および右)(©産総研)

計量単位制度にかかる法律「度量衡法」が1893年(明治26年)に施行されました。当時の度量衡法は、メートル法を基礎としつつも、基本となる質量の単位はそれまで日本で使われていた単位「貫(かん)」でした。ただし、貫はキログラム原器の質量の4分の15として定められており、国際的なメートル法に間接的に準拠していました。度量衡法施行後、日本はキログラム原器の質量変動を監視するために、国際キログラム原器の複製を国際度量衡局から追加受領し、キログラム副原器として運用しました(図2)。さらに、貫の実際上の基準とするために、真原器も受領しています。度量衡法は1921年(大正10年)に改正され、キログラムが質量の単位の基本となりました。その後、度量衡法の役割は1951年(昭和26年)に公布された計量法に引き継がれましたが、キログラム原器は一貫して質量の国家標準としての役割を果たし、計量単位制度の礎として、日本の近代化およびその後の産業発展に大きく貢献しました。

計量啓発標語

(令和3年度の最優秀作品賞及び優秀作品賞)

- 最優秀作品賞**
計量は暮らしを支える社会の基盤
東京都 山田 響子 さん
- 優秀作品賞**
計量は知恵と努力と技術力
神奈川県 南和男 さん
- 優秀作品賞**
**計量は品質を守る第一歩
正しい計量深まる信頼**
神奈川県 安沢 弘晃 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、計量啓発標語の募集を毎年実施しています。21年目にあたる昨年(令和3年度)は、全国から510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

(令和元年度の最優秀作品賞及び優秀作品賞)

- 最優秀作品賞**
**ちょっとした坂やスロープをこえる
ためにかかる力は?**
大阪府 小学6年 上島 康暉 さん
- 優秀作品賞**
朝と夕方では足の大きさはちがう?
大阪府 小学5年 山本 幸輝 さん・小学1年 山本 和輝 さん
- 優秀作品賞**
**いろいろなすなでだいじっけん!
～どのすながいちばんはやくみずをとすかな?～**
神奈川県 小学1年 磯部 芳太郎 さん
- 優秀作品賞**
空気のでめんぼうを飛ばそう
宮城県 小学4年 畔柳 遼太 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、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。15年目にあたる令和元年度は、全国から91点の応募がありました。
※新型コロナウイルスの影響により、令和2年度と3年度はコンテストの募集を中止いたしました。令和4年度は3年ぶりに作品を募集いたします。過去の入選作品については、(一社)日本計量振興協会のHP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。

計量のひろば No.65

11月1日は 計量記念日



ただ **正しくはかることは、
すごく大切なんです!**

特集 キログラム原器の重要文化財指定と新しいキログラムの定義

さかなクン
©2022 AMAN and Tm

特集 キログラム原器の重要文化財指定と新しいキログラムの定義



1 はじめに

1889年から2019年までの約130年間、質量の単位「キログラム」は、世界に一つしかない分銅「国際キログラム原器」の質量として定義されていました。日本のキログラム原器はこの国際キログラム原器の複製の一つであり、我が国の質量の国家標準として、明治以降の近代化と産業発展に大きく貢献してきました(図1)。2022年3月、このキログラム原器の歴史上および学術上の価値が認められ、国の重要文化財に指定されました。ここでは、キログラム原器の歴史や2019年から施行されている新しいキログラムの定義との関係を紹介いたします。



図1 明治、大正、昭和、平成、令和にわたる約130年間、日本の質量の国家標準であったキログラム原器(©産総研)

2 キログラムの誕生

計測は科学の基本であるばかりでなく、商取引や法規制を介して社会生活にも大きな影響を与えます。計測の基盤となるのが単位であり、正確な測定を実現し、社会生活が円滑に営まれるためには、信頼性の高い世界共通の単位が必要です。国際的に統一された単位を制定しようとする試みが始まったのは、18世紀末のフランスです。当時、約800もの異なる質量や長さの単位が国内で使われており、フランスが国家として発展していく上での大きな障害となっていました。この問題を根本的に解決すべく、いつでも、だれでも、どこでも共通に使うことのできる単位をつくり出すための科学的な検討が行われました。その結果、パリを通る子午線の北極から赤道までの長さの1000万分の1として、メートルが定義されました。さらに、1リットルの水の質量を基準にして、キログラムが定義されました。世界中のだれにとっても受け入れやすい単位とするため、地球の大きさや水の性質が基準として選ばれたのです。

5 人工物に頼らないキログラムの定義

国際キログラム原器は国際度量衡局で厳重に保管されていましたが、表面汚染などのため、その質量が変動してしまう可能性のあることが懸念されていました。そこで、2011年、世界中どこでも変わらず、時間とともに変動しない普遍的な物理定数「プランク定数」にもとづく定義に将来移行する方針が、国際的に合意されました。ただし、この時点では、プランク定数が十分な確かさで分かっていませんでした。そこで、世界の多くの研究機関がプランク定数の精密測定に取り組みました。測定にはキップルバランス法とX線結晶密度法の二つの方法が用いられました。図3は産業技術総合研究所でのX線結晶密度法による測定に用いられた、シリコン単結晶製の球体です。

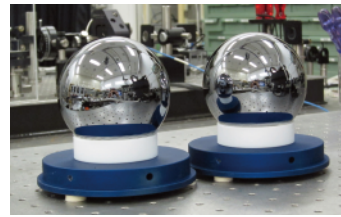


図3 シリコン単結晶球体(©産総研)

2017年、八つの高精度なプランク定数の測定値から、新しいキログラムの定義の基準となるプランク定数が決定されました。2019年5月20日には、このプランク定数を基準とする新しい定義が施行されています。歴史上初めて、人の手によって作られた人工物ではなく、普遍的な物理定数によって質量の単位が定義されたのです。

6 科学の歴史に残るプランク定数決定への貢献

新たなキログラムの基準となったプランク定数の値は、「プランク定数の定義値」と呼ばれています。この定義値は、2017年までに論文発表された八つの高精度なプランク定数の測定値から決定されました(表1)。産業技術総合研究所は、三つの値(IAC-11、IAC-15、IAC-17)の測定に、国際研究協力「アボガドロ国際プロジェクト」を通じて貢献しました。さらにNMIJ-17は産業技術総合研究所がほぼ独立に測定したものであり、これは我が国の科学技術力が世界最高水準にあることを裏付けます。また、科学の歴史に残る重要な定義値の決定に、日本の研究機関の名前(NMIJ:産業技術総合研究所 計量標準総合センター(National Metrology Institute of Japan)の略称)および日本人の研究者の名前(Kuramotoら、Azumaら)を明確に刻むことができたことは、世界に向けて誇ることでできる快挙と言えます。

表1 プランク定数の定義値の決定に貢献した測定結果が報告された論文(a)

報告論文(b)	測定値名	測定を実施した研究機関など	測定方法
Schlammingerら(2015)	NIST-15	米国国立標準技術研究所	キップルバランス法
Woodら(2017)	NRC-17	カナダ国立研究機構	キップルバランス法
Haddadら(2017)	NIST-17	米国国立標準技術研究所	キップルバランス法
Thomasら(2017)	LNE-17	フランス国立計量研究所	キップルバランス法
Azumaら(2015)	IAC-11	アボガドロ国際プロジェクト	X線結晶密度法
Azumaら(2015)	IAC-15	アボガドロ国際プロジェクト	X線結晶密度法
Bartlら(2017)	IAC-17	アボガドロ国際プロジェクト	X線結晶密度法
Kuramotoら(2017)	NMIJ-17	産業技術総合研究所	X線結晶密度法

(a):Newellら, Metrologia, 55, L13, 2018 / (b):測定結果が報告された論文の著者および出版年

7 重要文化財への指定

キログラムとともにメートル法の根底を支えるメートルは、1889年から1960年まで、国際メートル原器にもとづいて定義されていました。日本は、この国際メートル原器の複製の一つであるメートル原器を、1893年(明治26年)から長さの国家標準としていました。1960年、メートルの定義は光の波長にもとづくものに改定され、メートル原器はその役割を終えました。2012年にはメートル原器の担ってきた役割が評価され、「メートル条約並度量衡法関係原器」として重要文化財に指定されています。

一方、プランク定数にもとづく新しいキログラムの定義の施行に歩調をあわせて、2019年(令和元年)5月、日本の質量の国家標準は、キログラム原器から、プランク定数にもとづき質量が測定された複数の分銅「標準分銅群」に変更されました。キログラム原器およびキログラム副原器はこの標準分銅群に組み込まれており、引き続き、我が国の産業や科学技術を支えています。2022年3月には、キログラム原器、キログラム副原器、貫原器について歴史上および学術上の価値が評価され、メートル条約並度量衡法関係原器に追加指定されました。対をなして日本の計量単位制度の根幹としての役割を果たしてきたキログラム原器とメートル原器が、ともに重要文化財に指定されたのです。

8 新しいキログラムの定義がもたらすもの

現代科学の歴史を振り返ってみると、単位の定義改定は技術革新のきっかけとなっています。1983年、メートルは光の速さを基準として再定義されました。これによって、ナノメートル(10億分の1メートル)オーダーの正確な長さ測定が可能になり、ナノテクノロジーの基礎が築かれました。今回のキログラムの定義改定も、新しいテクノロジーへの扉を開くことを期待されています。たとえば、以前の国際キログラム原器を基準とするキログラムの定義の下では、正確な質量測定には、キログラム原器を基準として質量が測定された分銅が必要でした。ただし、無限に小さな分銅は物理的に作ることができず、ナノグラム(10億分の1グラム)オーダーの微小な質量を正確に測定することは困難でした。一方、新たな定義の下では、分銅を用いなくても、プランク定数を基準として任意の質量を直接測定することが原理的には可能です。このため、今回の定義改定をきっかけとして、微小な質量を高精度に測定するための技術開発が、世界各国で進んでいます。

国立研究開発法人 産業技術総合研究所 倉本直樹