



は・か・る・の・基本

特別付録：
はかる単位ポスター

はるか昔、私たち人間には、長さをはかるものさしも、重さをはかるハカリもありませんでした。では、例えば長さはどうにしてはかったのでしょうか。実は、私たち人間の体の一部を、基準つまり単位にしていた。そのことは、ちよつと昔の長さの単位の名前からわかります。はかるとは「単位の何倍か」を知ることです。

イギリスとアメリカでは今でも使われている、ゴルフやアメフトなどで使われる「フィート」という長さの単位があります。これは約30センチですが、足の長さ（フット。複数形でフィート）のことです。中国にも尺（しゃく）という単位がありました。これは手のひらを使ったはかり方で、伸ばした親指の先から人差し指までの長さです。

歴史の中に現れた長さの単位で最も有名なのは、古代オリエントの「キュービット」です。これは指先をびんと伸ばして腕を直角に曲げたとき、中指の先から肘までの長さ。紀元前6000年のメソポタミアで広く採用され、象形文字にもきちんと残されています。この単位は広く使われ、ピラミッドもこのキュービットを単位として作られたと言われています。

長さと同じように、量あるいは重さも、穀物の生産が始まると必要になりました。そこで基準になったのは、穀物そのものでした。グレイン（穀類。小麦一つぶの重さ=0.065グラム）にその名残があります。おもしろいのは、単位にどんな穀物を選んだかで、西洋は麦でしたが、

では東洋は？ 答えはキビで、稲作は後の時代に起こったためにコメは単位にはなれませんでした。

時間については、1日という誰でもわかる共通の単位がありました。しかし、季節がめぐる1年間を知るためには、月の満ち欠け、星の位置の変化を観測しないといけません。そこから暦ができ、天文学が誕生していきました。面積については、「牛2頭で耕せる広さ」といったような、さまざまな単位が世界各地で考え出されました。

いずれにせよ、長さ、面積、体積、重さ、時間といった単位は、それぞれの文化に固有のものでした。「キュービット」にしても、王様かわれば、当然身体つきが違うので変わりました。そうした歴史をかかえながらも、ある程度、広い範囲での統一がとられてきたのです。しかし、人間の交流範囲が世界中に広がると、さまざまな混乱が生じてきました。単位の名前は同じなのに、中身が違うということも起こりました（今でも、1バレルと言ってもアメリカとイギリスでは量が違います）。

フランス革命の頃、「メートル法」という単位系が、フランスで作られました。個人差や個体差がない不偏的な単位が求められたのです。さらに80年の時を経て、1875年にメートル条約が締結されました。「はかる」や「単位」が、どんな文化や地域でも同じものであるために、世界の人々が話し合つて決めた、現在もずっと受け継がれているとても大切な考え方です。



文明の進歩と「はかる」

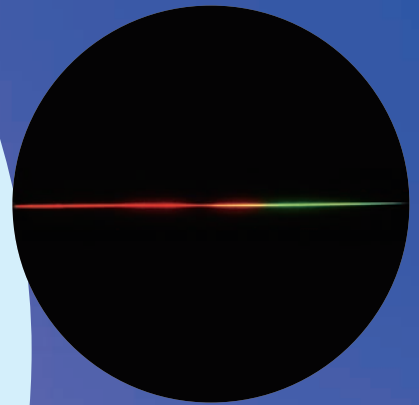
「はかる」からノーベル賞がいっぱい

「はかる」という研究分野は、ノーベル賞の宝庫とされています。よく考えると、これはきわめて自然であることがわかります。「共通のものさしを使う」というのは私たち人間社会の最も基本ですから、人類は常により確かで正確なものさしを求め続けています。それには、新しい現象を発見したり新しい仕組みを発明して、それまでとは別の原理に基づいた新しい「はかる」を創造することが必要です。だから計測の分野でたくさんのノーベル賞受賞者がいるのは、いわば当然のことなのです。

2005年のノーベル物理学賞がそうです。「光（周波数）コムを含む精密なレーザ分光学への貢献」によりJ.L. ホールとT.W. ヘンシュが物理学賞を受賞しました。産総研でも研究が進められている「光コム」とは、特殊なレーザと光ファイバーによって作られる、非常に規則的に並んだ光の櫛の歯（コム）です。これを利用することによって、光の周波数を従来よりも1000倍も正確に求められるようになりました。長さはレーザ光で決まっているので、より正確で使いやすいものさしができたということです。

1997年のノーベル物理学賞は「原子泉（げんしせん）」という仕組みを編み出した研究者に贈られましたが、これはセシウム原子時計をさらに精密にすることと深く関係しています。

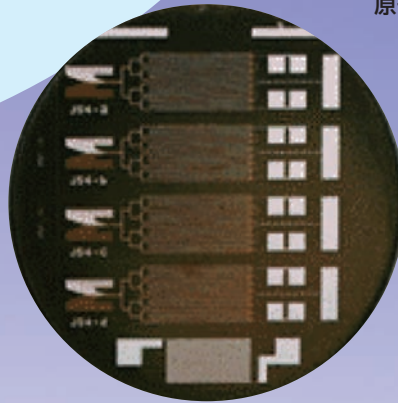
電気関係の「はかる」も、ノーベル賞の仕事がすでに利用されています。電圧（ボルト）はジョセフソン効果（1973年ノーベル賞）という原理を利用して国家標準が作られていますし、電気抵抗（オーム）も量子ホール効果（1985年ノーベル賞）という原理を使った器械が国家標準になっているのです。



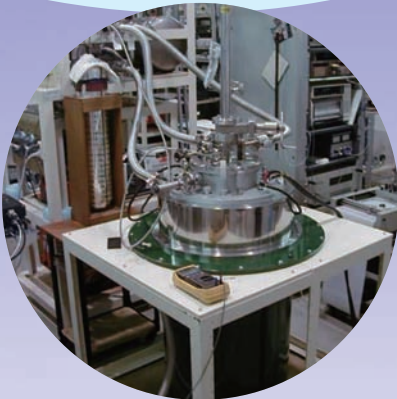
光コム



原子泉方式セシウム周波数標準器



ジョセフソン効果電圧標準



量子化ホール抵抗標準

● お肉屋さんのハカリ

スーパーの肉売り場のハカリ。お肉を乗せて、100グラム
いくらの数字を店員さんが打ち込むと、いくらくらとラベル
が出てきます。お店や品によって単価は違いますが、重さの
例えば「210グラム」は、どこのスーパーやお店でも同じです。
ハカリは「重さ」をはかります。



● 水道メーター

毎月の水道料金は、どれだけ水を使ったかで決ま
ります。隣のお宅も自分の家も、みな同じ水道メーター
がついていて、同じ量を使えば同じ料金を払うよう
になっています。これは当たり前のように見えますが、
もし水道メーターの性能が一つ一つ違っていたら、そ
うはいきません。公平であるということは、メーター
がみな同じである、ということから来ているのです。
水道メーターは、「水の流量」をはかります。ガソリン
スタンドの料金メーターがはかるのも同じ「流量」です。

● ガスメーター

都市ガスの毎月の料金も、どれだけ使っ
たかで料金を支払うようになっています。
だから毎月、「これだけ使いました」という
書類と一緒に請求書がくるのです。たく
さん使えばたくさんお金を払う仕組みです。
ガスメーターは、水道のような液体ではな
く、「気体の流量」をはかります。



● 電気メーター

電気は目に見えないので実感が薄いのですが、
これもまた、どれだけ電気を使ったかで毎月の料
金を支払う仕組みになっています。携帯電話を充
電したり、テレビやラジオやDVDを見たり聞い
たりすると、電力が消費されます。このように
電気エネルギーをどれだけ使ったかをはかるのが
「積算電力計」です。



生活の中の「はかる」

日常の暮らしに欠かすことのできない「はかる」、健康と安心を保つための「はかる」。ふだんは見過ごしているさまざまな「はかる」が、実は身のまわりにたくさんあります。それに気がつくと、もし「はかる」がなかったら、いったいどうなってしまうのだろう、と考えられずにはいられないでしょう。

このような「はかる」は、自然にうまくできているわけではありません。多くの人々、研究者、技術者、また科学や技術の発展を通して、正しく「はかる」が実行されるよう、日々努力維持されているのです。



● 温度

熱をはかる体温計。温度計や血圧計は、病気の診断など健康管理での大切な「はかる」です。



● タクシーメーター

タクシーに乗ってどこかに移動する。小型車や中型車では基本料金は異なりますが、何キロメートル走ったかは、どの車でもみな同じです。同じ距離なのにタクシーごとに距離メーターが違ってしまったら、それこそ運転手と乗客が喧嘩をしてしまいます。タクシーメーターは「移動した距離」をはかります。

このように見てみると、私たちの生活の中には「はかる」が満ちあふれていることがわかります。「はかる」は、まだまだあります。体重計、血圧計、騒音計、振動計。

環境汚染を調べるための「はかる」には、ダイオキシンの土壌汚染、排ガス汚染、排水汚染なども、みんな「はかる」があるからわかるのです。

正しい「はかる」があれば、インチキは起こりません。私たちの公平な生活を支える「計量器」は、すべて、法律に基づいた検定に合格したものしか使えないようになっています。それが「特定計量器」で、現在18種類が決められています。



「はかる」と産総研

産総研はさまざまな「はかる」について、日本国を代表している機関です。その役割はたくさんありますが、中でも重要な二つのテーマが、トレーサビリティの確保と新しい正確なものさしをめざした研究開発です。

トレーサビリティ

現代のメートル原器は「ヨウ素安定化ヘリウム-ネオンレーザー」で、1000億分の1という非常に高い精度を誇っています。それだけ短い長さを精密にはかれるのですが、私たちが日々の生活の中で使うものさしは、センチメートルやメートルといった単位が多く、精度もそこまで必要としません。では、どうするのでしょうか。

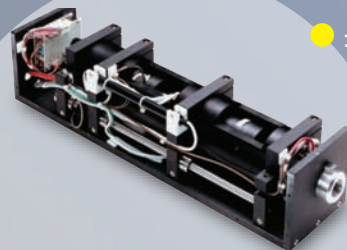
それには、いちばん正確な小さなものさしから、大きなものさしへと何段階も長さのスケールを移していくのです。産総研にある「ヨウ素安定化ヘリウム-ネオンレーザー」が日本の国家標準であり、「特定標準器」と呼ばれています。次に、いろいろな人や所でも使えるような「特定二次標準器」があり、これは産総研の国家標準と正確に合わせてあります。この「特定二次標準器」もヨウ素安定化ヘリウム-ネオンレーザーで作られています。

次の段階が「実用標準器」です。これはブロックゲージというものさしが全体の約80%を占めています。これは熱膨張の少ない固い材料で作られています。この精度はだいたい1000万分の1です。そして、このブロックゲージの下の段階が「汎用測定器」と呼ばれるもので、ノギス、マイクロメータ、ダイヤルゲージといったものです。これらの器械の精度はだいたい10万分の1です。

長さに限らず、さまざまな「はかる」に対して、国家標準器→特定二次標準器→実用標準器→汎用測定器と、順に前の精密なものさしで

はかっています。このように仕組みを「トレーサビリティ」と呼んでいます。トレーサブル(追跡可能)である最終的な行き先が国家標準器で、このような仕組みがきちんと実行されるように、さまざまな活動をしているのが産総研・計量標準総合センター(NMI)です。

● 長さの国家標準



ヨウ素安定化ヘリウム-ネオン レーザ

波長633nmの非常に安定した光源を持ち、光波を干渉させることで、波長の1/2を目盛りとする正確なスケールが実現します。

● 実用標準器



ブロックゲージ

直方体の向かい合う面の寸法(長さ)がそのまま標準に利用されます。形状は高精度に研磨され、絶対長さを0.05nmより正確にできます。



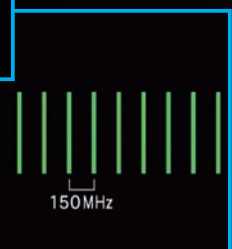
ノギス

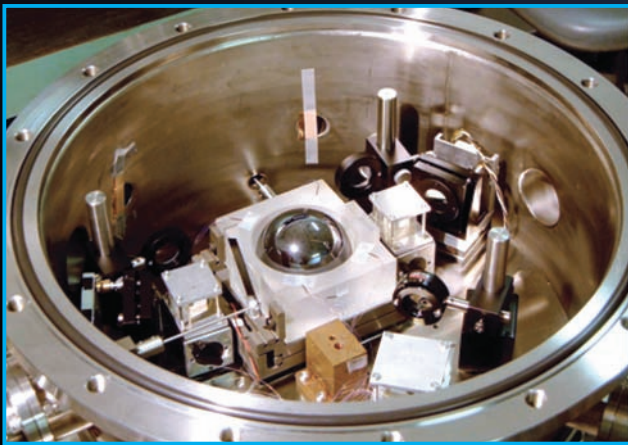
マイクロメータ

ダイヤルゲージ

● 汎用測定器

ものづくりに使われる各種測定器





シリコン球の直径を測るレーザー干渉計

真球になるまで超精密に研磨した単結晶シリコン球（1キログラム）の直径を測定します。

新しいものさし

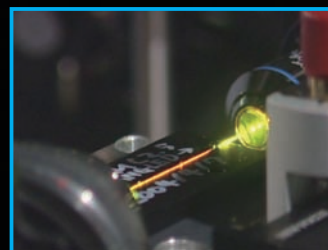
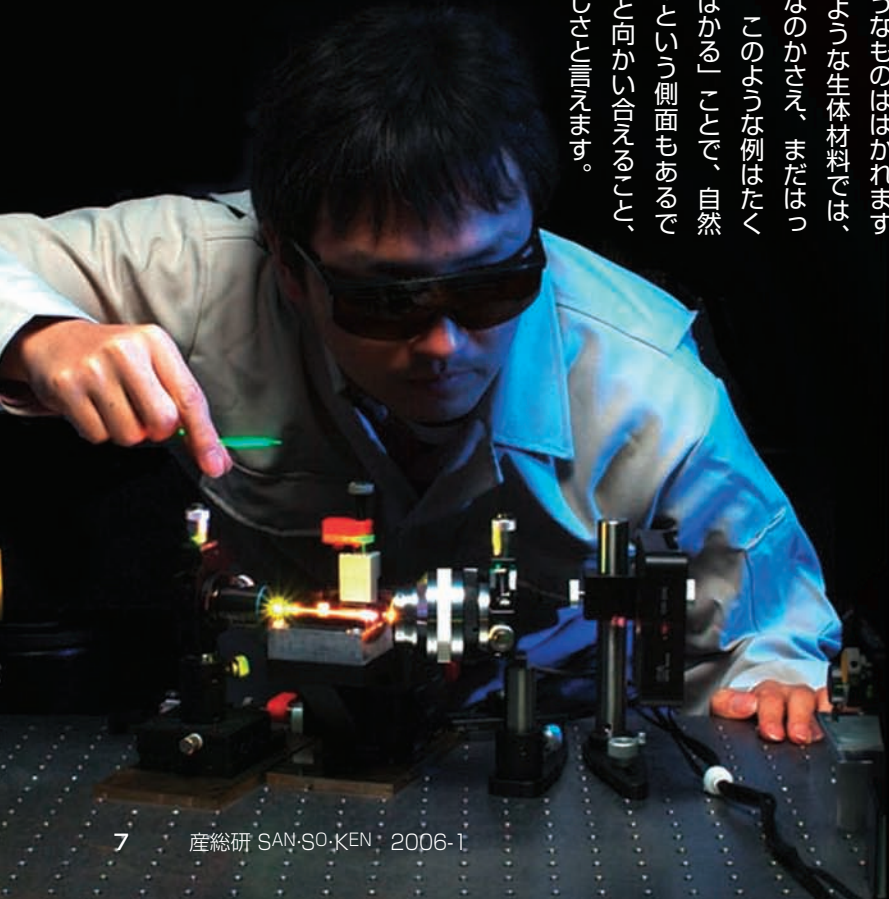
ものさしは、人工物（例えばメートル原器など）から、物理学の基本的性質（光の速さなど）に基づく仕組みへと移ってきました。ところが重さ（正確には質量）だけは、なお「キログラム原器」が使われています。重さをもっと正確な方法で決めるべく、産総研では新しい研究が続いています。それは教科書に出てくる「アボガドロ定数」を利用するやり方です。実は、アボガドロ数という1モルの原子数は、それほど正確に測定されているわけではありません。これを精密にはかることは、原子の数を精密にはかることですから、それに原子の重さをかけ算すれば「重さ」を決めることができるのです。

具体的には、集積回路などに使われる高純度の単結晶シリコン（1キログラム）を、ほとんど真球になるまで超精密に研磨します。そして、このシリコン球の直径をレーザー干渉計で求め、真空中で球の密度を測定し、また結晶の格子定数（原子間距離）とモル質量（3種類の同位体を考慮した平均原子量）を求めます。これらのデータから、2002年に7桁という高い精度でアボガドロ定数を決めることに成功しました。原子の数が100万分の1の正確さでわかるようになったのです。このような研究により、200年くらいのおうちには、キログラム原器よりも正確で確かな質量標準に置き換わるはずですよ。

はかれないものを「はかる」

「はかる」ことは、科学技術の進歩だけでなく、私たちの知性をも広げてくれます。産総研で進めている「はかる」の研究はまだまだたくさんあり、ここで紹介したのは本場にほんの一部です。温度・湿度、光の明るさ、音響・振動・硬さ、力・圧力、流量・流速、化学物質といったテーマについても、さまざまな研究が行われています。

それでもなお、まだ「はかれない」ものはいくらもたくさんあります。例えば「硬さ」というのも、金属や鉱物のようなものははかれますが、例えば手のひらのような生体材料では、いったい何が「硬さ」なのかさえ、まだはっきりしていません。このような例はたくさんあり、それらを「はかる」ことで、自然の本質がわかっていくという側面もあるでしょう。そんな不思議と向かい合えることが、それが「はかる」の楽しさと言えます。



光の周波数をはかる最先端「光コム」

モードロックレーザーと特殊なファイバによって発生させる特殊な光。「光コム」は、赤から青までのいろいろな成分を含んだ7色の虹のようですが、拡大してみると、太陽光のように連続しているのではなく、非常にシャープな櫛状に並んでいます。



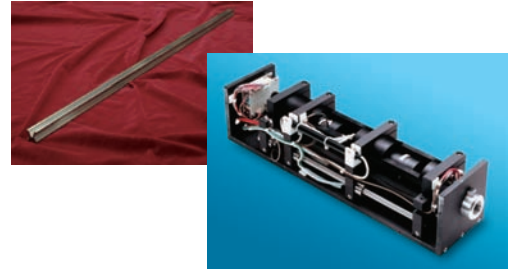
「はかる」基準の進歩

私たちにとって最も身近によく使われる「はかる」は、長さ、時間、重さでしょう。これらの基準をもっと正確にするために研究が進められています。

長さ

現在使われている長さの基準は、「メートル原器」ではありません。それは「ヨウ素安定化 ヘリウム-ネオン レーザ」という非常に正確な波長を出す器械なのです。「光が真空中を、1/299 792 458秒間に進む距離」が1メートルであると1983年に会議（国際度量衡総会）で決められました。

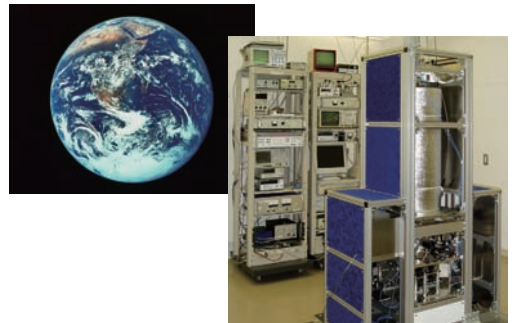
この器械で決められた長さは、実に、1000億分の1という非常に高い精度を持っています。こんなに高い精度で決めたということは、“人間社会でそれが必要になっている”ということの裏返しです。マイクロメートルは100万分の1メートル、ナノメートルは10億分の1メートルですが、集積回路のチップなどのように、現在の科学技術ではナノメートルは普通に出てきます。そこでは、きちんとナノメートルがはかれる“ものさし”がなければ話になりません。昔の「メートル原器」では、こんな精密な長さをはかれないのです。



時間

では、時間はいまだどのように決められているのでしょうか。昔は“平均太陽日の1/86400”でした。1日は86400秒ですね。ところが、このような地球と太陽の動きが変化することがわかりました。そこで、いろいろな研究が行われ、1956年に、現在のような「セシウム133原子の基底状態の二つの超微細準位 (F=4, M=0 と F=3, M=0) の間の遷移に対応する放射の 9 192 631 770 周期の継続時間」という国際的な決まりができました。“セシウムという原子は約10ギガヘルツの電波を安定して出す”という現象を利用してつくられた超精密な時計が「セシウム原子時計」というわけです。

カーナビや人工衛星などは、このような100億分の1秒という超精密な時計があってこそ実現する技術です。1億分の1秒すれただけで、電波や光は3メートルも進む距離がずれ、位置測定もそれだけずれてしまいます。



重さ

重さという単位は、いまなお「キログラム原器」が使われています。1889年（明治22年）に作られたもので、直径と高さが約39ミリメートルの円柱形をしたもので、白金90%、イリジウム10%の合金です。日本の重さ（正確には質量）は、すべて、産総研にある「日本国キログラム原器」ときちんと合うようになっているのです。

いくら精密で安定なキログラム原器といっても、金属の表面はどうしても化学物質や水分などが付着するので、微妙に変わってしまいます。そこで、約30年ごとに、バリ近郊にある国際度量衡局に持っていき、「国際キログラム原器」と比較校正します。最近では1993年にこの比較が行われましたが、この約100年間での変化は、7マイクログラムでした。100年で10億分の7くらい変化してしまうとも言えます。現在、もっと普遍的なかたちで重さを精密に決めることをめざして、単結晶シリコン球の原子数を求める研究などが進められています。

