

はかる—計・測・量—(1)

はかる—計・測・量—の基礎

小池 昌義 独立行政法人産業技術総合研究所計量標準総合センター

キーワード：測定の結果(Measurement Result), 尺度(Scale), トレーサビリティ(Traceability), 不確かさ(Uncertainty), 相互承認取り決め(MRA)

測定は、「計る」「測る」「量る」といろいろに表現されており生活に密着した行為であるが、社会・生活の中では普遍性を確保することが、重要である。測定の結果が普遍的であるためには、数値化のための尺度と単位の共通化が必要である。またその信頼性確保のためには、基準となる計量標準とその国家標準へのトレーサビリティが重要であり、計測誤差の代わりに、測定値のあいまいさを表現した「不確かさ」が使われている。さらに、校正機関の認定と併せて計量標準の国際的なネットワークが生まれようとしている。

はじめに

人の五感極めて有効な計測システムである。人は、見る、聞く、嗅ぐ、触る、味わう、など周囲の状況を測定し、その行動を決めている。人は誕生して以来、いろいろな学習を積み重ね、五感をフルに利用してその生存という目的を達している。しかし、一部の例外を除いて人間の五感による測定は誤差が大きいといわれている。測定システムとしては問題があるが、生存という目的が達成されている限り、人間は極めてパフォーマンスのいい計測システムであるといえる¹⁾。

しかし、人が1人で生きていくにはそれでもよいが、複数の人間で構成されている社会の中で活動しようとするとき、何らかの客観性が必要になる。測定される対象を定量的に表すという行為が必要である。歴史的にも、「はかる」という言葉に対して、測る、量る、計るなどのいろいろな意味を持たせ、その多様性を表現してきた。同音異義語の多さは、「はかる」という行為が生活に密着してきたことを表している。「測る」は一般的な測定に、「量る」は体積や質量などの測定に、「計る」は数や時間の測定に使われてきた。また、「度・量・衡」という言葉は、それぞれ、長さや容積や重さを尺や拵(ます)や秤(はかり)を用いて測定することを意味している。これらの量の表現は、もともと税金の徴収にかかわってきたことと密接に関係があるといわれており、歴史的社会的に重要なものであるという認識が持たれてきたことを表している。

現在では、知識の獲得、取引・証明、生産活動などの目的で、いろいろな量を測ることが必要になっている。そこ

では、測定された量の表現に対して、客観性、共通性、一貫性が要求されており、共通の尺度の存在が重要になっている。それを確保するための概念として、測定のトレーサビリティ、測定の不確かさの表記が要求されている。

本稿では、このような測定、計測に関する基礎的な問題と現状の紹介を行うことにする。

1. 測定と計測

一般に使われる用語として、測定、計測、計量などが使われているが、その違いについて紹介する。手ごかりは、JIS Z 8103 計測用語²⁾である。そのなかでは、

測定は“ある量を、基準として用いる量と比較し数値又は符号を用いて表すこと”

計測は、“特定の目的をもって、事物を量的にとらえるための方法・手段を考究し、実施し、その結果を用い所期の目的を達成させること”、さらに、

計量は“公的に取り決めた測定標準を基礎とする計測”と定義されている。

計測は、ある目的を達成するために対象量を定量化する方法を考え、実施し、活用するという一連の行動であり、目的指向の行動である。一方、測定は、対象量を定量化するという作業的な活動であり、計測の中核をなすものである。例えば、ある地域の環境悪化の状況をみるためにどのような特性を測るか、また、どのような地点で測定してその地域の環境悪化を評価するかは計測の問題であり、CO₂など測定する特性が決まって、実際にある地点で測る作業は測定の問題である。

しかし、一般には、計測、測定の区別はあまり意識されていないのが現実であり、筆者も無意識に区別せず使っていることもある。また、計量は、計量法に基づく計測のように、計測の公的な側面を強調したものであるが、公害関連の法律などでは計量はあまり使われていないようであり、計量法関連に限定されているようである。

英語の場合、測定に“measurement”を、計測には“instrumentation”を対応させているが、工業的にはともかく、必ずしも対応関係はよくないと思われる。また、“metrology”を“計量学”と訳しているが、英語も日本語もそれほどポピュラーな用語ではない。

表-1 SI 国際単位系

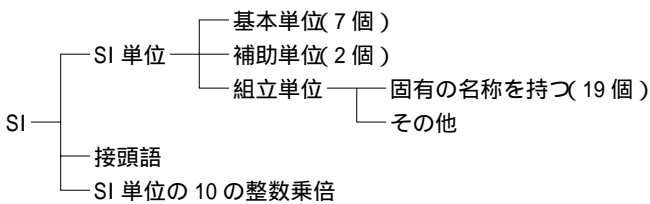


表-2 SI 基本単位

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
熱力学的温度	ケルビン	K
物質質量	モル	mol
光度	カンデラ	cd

2. 測定の結果の表現——数値と単位

測定においては、測定したい量(測定量という)を数値で表すことが本質的である。測定の結果は、数値とその単位を併記して報告される。数値は、測定量が単位とする量の何倍であるかの「量の大きさ」を、単位は、その数値がどのような測定量を測定したものであるかの「量の種類」を表している。

定量化には、尺度(スケール)が必要である。尺度の種類には、比例尺度、間隔尺度、順序尺度、名義尺度がある。

長さや質量など比例尺度の場合には、ゼロ点と単位量が規定されており、ゼロ点からの距離と量の大きさととの比例関係を基にして、倍量、分量が可能である。それによってものさし(尺度)をつくることができる。それに対し、間隔尺度では、ゼロ点からの距離に意味はなく、基準となるある測定量の点からの差に意味を持たせている。間隔尺度の代表例は、セルシウス温度であり、水の氷点と沸点の間を100等分することによって、セルシウス温度の尺度がつけられている。それに対して、熱力学的温度は物理的な絶対ゼロ点(-273.15)と単位量を1 = 1 Kとして定義された比例尺度である。例えば、圧力一定の条件での気体体積は、熱力学的温度に比例するが、セルシウス温度には比例しない。比例尺度は、加法性が成り立っているため、数学的にも、物理的にも扱いが容易であり、測定の尺度としては一般的なものである。間隔尺度は、測定量の差に意味があるため、差の加法性は成り立つが、測定量の数値そのものの加法性は成り立たない。

順序尺度は、量の大きさを順番に並べたものであり、名義尺度は単にカテゴリーで分類した尺度である。いずれも基準が与えられ、それとの直接比較で尺度化される。例えば、順序尺度にはモース硬さなどが挙げられている。また、おいしさを評点付けして5段階に分けた場合の尺度も順序尺度の一つである。おいしいもの、まずいものというのは名義尺度である。しかし、おいしさは人によってその基準が違い客観性がないから順序尺度ではないという考え方もある。Aさんがおいしさに段階を付けたものという名義尺度の一つであるという考え方である。比例尺度、間隔尺度は物理的に単位量が意味を持っているが、順序尺度、名義尺度では、たとえ数値をそれに対応させたとして

も、物理的な意味、数値自身の意味はあまりなく数学的な扱いは難しい。また、心理量や価値観が伴うものの場合、客観的な尺度をつくることは難しい。さらに、多くの変数を属性として持つ対象を一つの軸で定量的に表現する方法として、マハラノビスの距離、MTS(マハラノビス・タグチ・システム)などの方法³⁾がある。

物理量の場合、尺度の実現は計測器によってなされる。長さにおいて、“物差し”は連続的な量の尺度の実現になっており、“ブロックゲージ”は離散的な量の尺度の実現である。質量において、“はかり”は連続的な量の尺度の実現になっており、“分銅”は離散的な量の尺度の実現である。一般に、連続的な量の尺度を実現し、連続的な量の測定ができる計測器が“計器”であり、離散的な量の尺度を実現し、離散的に量を実現している計測器が“実量器”である。現実には、はかりと分銅のように、計器と実量器が組み合わされて、正確な測定が可能になるようなシステムが一般的にとられている。

測定値には、必ず“単位”を伴う。単位は測定値がどのような測定量であるかを表す。今世界で各技術分野共通に使われている単位系は、表-1のSI国際単位系である。

SI国際単位系⁴⁾は、量の種類を表すSI単位と、数値の桁数を表す接頭語あるいは10のべき乗で構成され、これによってシンプルな形での測定値の表現が可能になる。単位のなかで、基本単位の選び方には理論体系によって任意性があり、例えばCGS単位系は三つの基本量cm, g, sに基づく三元単位系、MKSA単位系はm, kg, s, Aの四元単位系であるが、SI単位では表-2の七つの基本単位が、さらに、補助単位として、平面角(ラジアン)と立体角(ステラジアン)が規定されている。

基本単位系の組合せで、各種の量の単位を表現することが可能であるが、簡単のため、固有の名称を持つSI単位として、19の組立単位が決められている。例えば、力の単位であるニュートン(N)は $\text{m} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$ であり、圧力のパスカル(Pa)は N/m^2 または $\text{m}^{-1} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$ である。また、量記号はイタリックで、単位は立体で表記するなどの約束も、そのなかにある。このような表記法は一つの約束事である。

あり、それを守ることによって間違いのないコミュニケーションを図ることが目的である。詳細については、参考文献や学会のSIガイド⁵⁾を参照していただきたい。

もともと、測定は生活に根ざしたものであって、昔からの単位系である尺貫法やヤード・ポンド系などは、その国の文化や生活と切り離せない根拠を持っている。1尺は時代によって差があるが、ほぼ30.30 cmであり、1フィートが30.48 cm というように、人間の一步の歩幅に近い値になっている。1坪は人間1人の生活空間であり、1石は人を雇うことのできる米の量に相当している。しかし、生活に身近な昔からの単位は、逆に、メートル尺・曲尺(カネジャク)・鯨尺のように、同じ尺という名称であっても地域や時代、適用分野による微妙な差を生んでいる。

一方、フランス革命直後にタレーランにより提唱されたメートル法がSI国際単位系の基礎になっている。そのなかで、1メートルは地球の緯線の長さ(実際にはフランスのカレーからマルセイユの距離の測定に基づいて決められた。)⁶⁾から決められており、また、1 kg は、水の密度が一番大きいときの1 lの水の質量から決められている。このように、メートル法による単位は必ずしも生活実感に基づいたものではないが、一般性は持っている。最初はメートル原器やキログラム原器のような人工物でその量の単位量を実現されていたが、より一般的、客観的に、どこの国や地域でも同じように実現できるように、物理現象量子現象に基づいて単位量が決められるように発展してきている。例えば、現在、長さの単位メートルの定義は光の速度を基にした定義となっている。唯一、器物(キログラム原器)により定義されている質量も、いずれ力や原子の数などを基にした定義に変えられることになるであろう。このような量の定義とその実現の変更は、測定の客観性と高精度化の要求に基づくものである。

3. 計測標準とトレーサビリティ

測定では、定量化のために、測定量と尺度を比較して、測定量に対応する数値を求めることが行われる。測定量はある特定の点ではないため、実量器ではなく、計器を用いるのが一般的である。例えば、質量の場合、量の比較器として天びんが用いられる。薬用の上皿天びんのように、ある決められた量を量り取るために天びんを使うときには、少数の分銅で十分であるが、尺度としては大から小まで多くのものを揃えた組分銅が必要である。一般に、対象となる質量を測定するためには、竿ばかりや直示天びんを用いるように、連続的な尺度を持つ計器を用いるのが普通である。

実際の測定システムでは、図-1のような形で、測定対象量を何らかのセンサ(一次変換器)を用いて感知し、処理

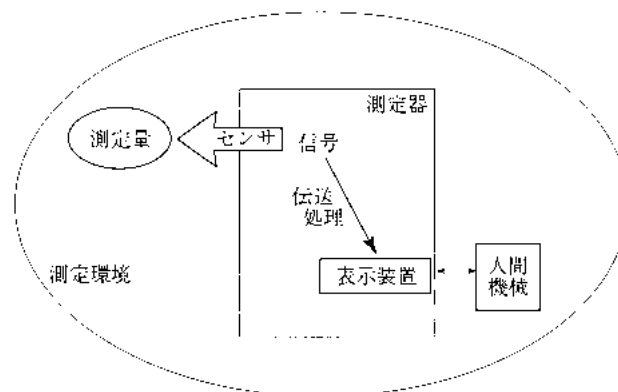


図-1 測定システムの構成

しやすい信号を取り出し、その信号の大きさを処理し、人間にわかりやすい表示を行うことによって、測定が行われる。

計測器が正しく動いて、測定量をきちんと測定していることを確認するために、校正が行われる。校正とは「計器又は測定系の示す値、若しくは実量器又は標準物質の表示値と標準によって実現される値との間の関係を確定する一連の作業。[備考]校正には、計器を調整して誤差を修正することは含まない」と定義⁷⁾されている。値のわかった測定物(計測標準という)を測定して、測定システムが示す値が正しい値を示すかどうかを確認する行為である。また、測定システムが示す値に「ずれ」が生じていれば、それを補正あるいは修正すれば、より正確な測定が可能になる。校正では、上の備考が述べているように、修正までは含んでおらず、「ずれ」を知るところまでとしている。

そのような「ずれ」は、ある場合には器差と呼ばれているが、修正しない場合にはそのまま「誤差」になる。測定に要求される精度がそれほど高くない場合には、誤差がある程度より小さければ、そのまま使っても実際上問題はないことがある。しかし、高精度の測定をするためには、誤差あるいは器差の修正が不可欠になる。その選択は、その測定システムを用いる測定者が行うものであり、校正サービスを提供する校正機関が決める問題ではない。どのような測定者の要求にもこたえられるように、校正結果を提供するのが校正機関の役割である。より正確な校正結果を提供するためには、より正確な計量標準による校正ができることが必要である。

より正確な校正を確保するための仕組みが、トレーサビリティ制度である。より正確な計測標準との比較を行う校正を連鎖的に繰り返して、最終的に、国家標準あるいは国際標準にたどり着くことができるとき、その測定システムにより得られる測定値はトレーサビリティがとれているという。それを保証するために、図-2のような計量標準の供給体制がある。標準供給の立場からは、標準の値が下の

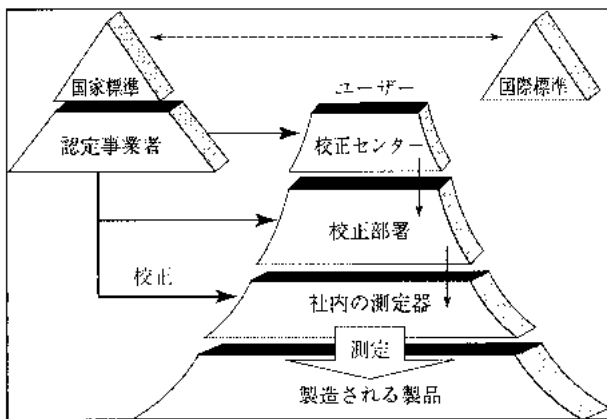


図-2 校正の階層：計量標準の供給

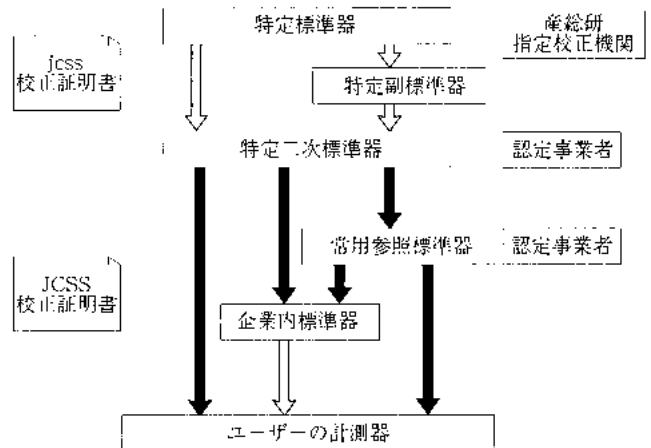


図-3 計量法計量標準供給制度(JCSS)の仕組み

階層に送られて、現場の計測にその値が受け渡されていくという意味で矢印は下向きで表現できるが、現場の計測のトレーサビリティをとるといふ当事者の立場からは、より正確な標準の値を求め、最後は国家標準に達するという意味で矢印は上向きになる。

校正では、上位の標準に比べてどれだけのずれを生じているかを調べるから、そのずれを補正することによって、より正確な(かたよりのない)値を知ることができる。最終的に、校正の連鎖によって、個々の測定システムが国家標準に対して、どれだけずれ(誤差)を生じているか、その大きさを明らかにすることができる。したがって、トレーサビリティがとれている測定の値は一般性のある測定の結果であると、主張することができ、正確な測定を行うための前提である。

各国のトレーサビリティの頂点に立つのは、国家計量標準である。日本では、SI基本量をはじめ、組立単位の多くのものについて(独)産業技術総合研究所計量標準総合センター(NMIJ/AIST)が、また、時間・周波数では、国際時間標準(UTS)に同期した国家標準を、NMIJおよび(独)通信総合研究所が維持・供給している。これらの国家標準機関が、国家計量標準を研究・維持・管理しており、その校正サービスによって標準の値が受け渡される。

日本のトレーサビリティ制度として代表的なものは、JCSS(Japan Calibration Service System)制度である。この制度は、計量法標準供給制度とも呼ばれており、計量法の規定の下に多くの量の標準供給が行われている。JCSS制度は、図-3のように、産総研・指定校正機関あるいは認定事業者による段階的な校正が行われ、最終的にユーザーの計測器が校正される。より正確な計量標準による校正の実施を確保することと、校正機関の校正能力を確保するために、校正事業者を認定することとの組合せで運用されている。

校正事業者の認定では、国際規格ISO/IEC 17025⁴⁾ 試験

所・校正機関の能力に関する一般要求事項⁴⁾を援用し、それに規定された管理的要求事項と技術的要求事項を満足した品質システムを認定している。認証機関として、(独)製品評価技術基盤機構(NITE)が実際の認定を運用している。現在、18区分での標準供給が、約100の認定事業者の手によって進められている。

また、一般的に試験所・校正機関を認定するシステムとして、日本国内には、ISO/IEC 17025に基づく認定を行っているJAB(財)日本適合性認定協会)、化学系の試験所の認定を行っているJCLA(日本化学試験所認定機構)、JISに基づいた試験を行う試験所の認定としてはJNLA(工業標準化法に基づく試験所認定制度)などがある。しかし、ISO 9000の品質システムは普及しており、よく知られているが、ISO/IEC 17025による品質システムの認定はまだあまり知られていない。

4. 不確かさ——測定値の信頼性

トレーサビリティをとることによって、個々の測定値が国家標準の値に対してどれだけずれているかを明確にすることができるが、そのなかでの上位の標準との比較は「不確かさ」の表記を伴うことが要求されている。不確かさは、最近、計測の世界で重要視されているファクタの一つである。

測定値の誤差を考えると、正確さと精密さという二つの側面がある。かたよりとばらつきを評価したものに相当する。正確さは、測定値がいかに真の値に近いかを表しており、前に述べたトレーサビリティをとり、ずれを修正することにより、正確さを確保することができる。一方、同じものを同じように測定しても、その結果である測定値がばらつくことはよく知られている。精密さは、測定値がいかにお互いに近いかを表す。精密さは、測定方法や測定システムの構成によるところが大きく、個々の測定値での誤

差を修正することはできない。“精密な測定が必ずしも(正確さと精密さを含めた総合的な意味での)精度のよい測定であるということとはできない”というのが、長い測定の経験の結果である。誤差をどのように評価し、表現するか、長い間、議論されてきた。

計測で得られた測定値の信頼性を定量的に表す方法としては、従来から“誤差”の概念が使われてきた。誤差は、“測定値と真の値の差”として明確に定義され、概念的には明快であったが、実際の測定において測定量の真の値が不明であるため、それを定量的に表現することに困難さがあり、誤差の大きさを推定する方法や概念にも、技術分野、国によって大きな違いがあった。例えば、“精度”という基本的な用語においても、機械・物理計測では、かたよりとばらつきを合わせた総合的なよさを表していたが、化学計測・分析分野では、ばらつきの小さい程度を表す、というように、歴史的な背景の違い、技術の発展状況の違いなどによって考え方が違っていた。

そのような状況を克服すべく、1993年にISOから“計測における不確かさの表現のガイド(GUM)”が出版され、“不確かさ”という概念で測定値の信頼性を定量化しようという方向が明確にされた。“不確かさ”は、測定の宿命である真の値が不可知であり、誤差が評価できないということから離れて、真の値が不可知であっても評価可能な“不確かさ”を測定値の評価指標として使おうというものである。

不確かさとは、測定値の“dispersion”(ばらつき)を表すパラメータである。測定値は、認識できる系統効果の補正を行った後の“測定量の最良推定値”である、すなわち、トレーサビリティをとるなどの手段によって、誤差のかたよりの成分はなくなっている、と仮定する。そのとき、測定量の値と測定量の最良推定値の差は、測定のばらつきによる部分と我々の知識の欠如により、真の値に到達できない部分であるということが出来る。すなわち、測定値が確定せず、ばやけている大きさを定量的に見積もって、表現した値が“不確かさ”である。

統計的な分布と同じように、ばらつきの大きさは標準偏差で表現する。不確かさを標準偏差で表したものを標準不確かさ(u と表記する)と呼び、成分を合成するときには分散の加法性を用いる。いろいろな不確かさ成分を加算した標準不確かさを合成標準不確かさという。さらに、 2σ 、 3σ と同じように、包含係数 k を乗じて求めた不確かさ $U = ku$ を拡張不確かさという。拡張不確かさは、測定値の大部分が含まれる区間を与える値であり、 $\pm U$ の区間は測定値の信頼区間のようなものと受け取られている。

GUMでは、測定結果を報告するときに、測定値とその不確かさを併記することを推奨しており、それをセットで

表記したとき、完全な測定結果の報告と呼んでいる。ISO/IEC 17025に準拠する、校正機関や国家標準機関が発行する校正証明書では、必ず完全な校正の結果、すなわち、校正値とその不確かさを表記することを義務づけている。現在、まだまだ、不確かさに対する認識が薄く、不確かさの表記された測定の結果を要求するユーザーは少ないが、今後、不確かさに対する認識が高まっていけば、それが普通になると思われる。

測定値に不確かさが併記されていれば、測定値のばやけ具合がわかり、その測定値を用いて判断をし、対策をとる際に、その間違いの危険性も合わせて予測することができる。

測定値の不確かさを評価する立場からは、測定値が何を表そうとしているかによって、不確かさの大きさは変わる。本来、測定値の不確かさは、測定システムの不完全さからくるばらつきの大きさを評価し、定量化する。例えば、ある地域の大气汚染の状況を知りたいために、その地域から大气をサンプリングして測定(分析)したとする。このとき、試験成績書に分析の結果が書き込まれるが、その成績書が、試験所に持ち込まれた試料の成分の値を報告するものであるか、その地域の大气の成分の値を報告するものであるかによって、測定値につけられる不確かさの値は異なる。後者の場合、前者の分析(前処理も含めて)自身の不確かさに、その地域内での成分値のばらつきが加わる。すなわち、その地域内でのサンプリングによって推定した地域内の成分値のばらつきを考慮して、不確かさを評価しなければならぬことになる。不確かさを表記するために、不確かさを評価することは、測定者に測定の内容や目的を再認識させることになる。

5. 国際相互認証——計測における国際的な動き

社会がグローバル化し、生産活動をはじめいろいろな活動が国境を越え、国際化するなかで、計測の世界でも、より一般的で共通的に適用できる結果の確保が要求されるようになってきた。例えば、トレーサビリティ制度が各国で国家標準を頂点に構築されたとしても、国家標準が同等でなければ、それぞれの国の中での測定の結果が一般性を持つといえない。このような国境を越えた一般性、共通性を確保するために必要なインフラの整備としての国際的な活動が進められている。

その一つが、BIPM MRA(国際度量衡局 相互承認取決め)である。国際度量衡委員会が中心になって、各国の国家標準の同等性を確認し、計測の一般性・共通性を明確にするための国際相互承認のための条件整備である。

国家標準の同等性が確認されれば、後は、トレーサビリ

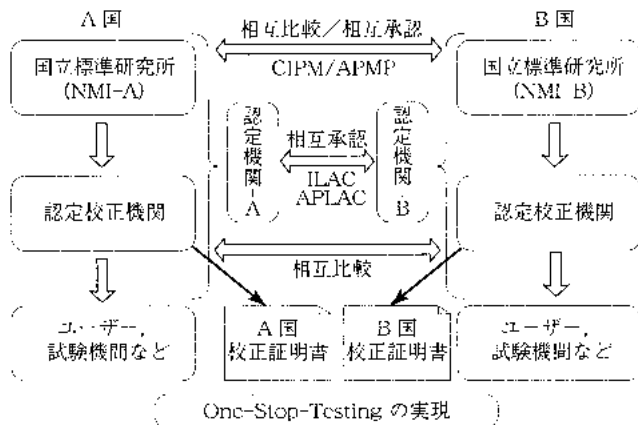


図-4 計量標準の国際間の相互承認

ティ制度のなかでの校正機関による校正の質が問題になる。二つめのインフラ整備は、校正機関の認定制度の国際相互承認であり、ILAC(国際試験所認定協力)を中心に進められている。ILAC MRA(国際試験所認定協力 相互承認取決め)では、各国の認定制度を相互に認め合うことによって、それらの制度で認定された試験機関が発行した証明書(校正・試験証明書)を認めることになる。図-4のように、BIPM MRAとILAC MRAが車の両輪になって、各国のトレーサビリティ制度の一般性を認めることができるようになる。例えば、海外通商・貿易において輸出国、輸入国双方で測定をすることなく、1回の測定で済むという、ワンストップテストングが実現する。

BIPM MRAは、1999年、各国の国家標準機関長会議で署名されたもので、現在その内容を確認するための活動が進められている。MRAには、三つのデータベース(DB)があり、利用可能である。Appendix Aは、国家標準機関のDBで、どのような機関が標準機関として活動しているかを示す。Appendix Bは、国際比較のDBで、国家標準の同等性確認のために行われた国際比較の結果をまとめている。さらに、Appendix Cは、国家標準機関が提供している校正サービスのDBであり、各国家標準機関がどのような量の校正サービスを、どのような不確かさで行っているか、をまとめている。特に、Appendix Cは、国家標準機関とユーザーの接点である校正サービスを示したもので、実際のトレーサビリティ制度にとって重要なものであると認識されている。

現在、Appendix CのDBの作成のために、2003年12月を暫定期限として、各国の国家標準機関はデータの提供を行っている。Appendix CのDBに校正サービスを登録するためには、①国際比較を行っている、②ISO/IEC 17025に基づく、あるいは、同等の品質システムを持っている、③テクニカルピアレビューにおいて技術水準が確保されていることを確認できる、という条件が必要である。NMIJ

では、その校正サービスのAppendix C登録のために、品質システムを確立するとともに、海外のNMIの研究者によるテクニカルピアレビューを実施している。2003年4月現在、NMIJは、34種類の物理量、65以上の校正品目の校正サービスについて品質システムを確立し、それに基づいてAppendix Cに校正・測定能力を登録している。

おわりに

測定、計測にかかわる問題を駆け足でみてきた。基本的なことから現在の問題まで、駆け足になりすぎたようでもある。また、多くの事項をカバーしようとしたため、広く、薄くなって、あるところでは「不確かさ」が大きいところもある。これが、いろいろな測定・計測を見直すきっかけになれば幸いである。個々の項目については、参考文献で確認していただきたい。また、各機関のホームページは、最新の情報を提供している。

“正しい測定なしには世界の正しい認識はできない。”

参考文献

- 1) 小池昌義：計測におけるパフォーマンスとその評価、産総研計量標準モノグラフ、No.1(2002)、産業技術総合研究所(計量標準総合センター)
- 2) JIS Z 8103(2000)：計測用語(2000)、(財)日本規格協会
- 3) 兼高達貳編：MTシステムにおける技術開発(2002)、(財)日本規格協会
- 4) 国際度量衡局編、工業技術院計量研究所・監修：国際文書第7版(1998)国際単位系(SI)グローバル化社会の共通ルール(1999)、(財)日本規格協会
- 5) (社)空気調和・衛生学会編：SIガイドライン(1996.3)、(社)空気調和・衛生学会
- 6) JIS Q 17025(2000)：試験所・校正機関の能力に関する一般要求事項 ISO/IEC 17025：1999と同等(2000)、(財)日本規格協会
- 7) 飯塚幸三監修：ISO国際文書 計測における不確かさの表現のガイド(1996)、(財)日本規格協会；GUM(Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement)の完全訳である。

(2003/6/3 原稿受理)



小池昌義 こいけまさよし
最終学歴 東京大学大学院物理学専攻修士課程修了/専門 計測におけるマン・マシンシステム、品質設計システム、計測設計、計測の誤差評価/所属学協会 物理学会、精密工学会等/学位 工学博士