

連載 (講義)

SIにつながる真の電子スペクトルを求める実験法 (II)

後藤 敬典

名古屋工業大学〒466-8555名古屋市昭和区御器所町

(2004年6月16日 受理)

前回は、計測の基となる単位系について、現代の単位系であるSI単位系の背景、SIの構成、日本の単位系、と表面電子分光法の標準化の背景を述べた。今回は標準化に必要な標準電子分光器について、最初に要求される‘Calculable’な分光器とはどのようなものをこれに求められる特性を挙げ、これを可能にする項目を挙げて解説しながら背景も眺めてみる：1. Calculableとはどういうことか、2. 電磁波は標準となっている、3. 電子分光では電圧[V]が最も有力な標準の可能性を有する、4. 仕事関数の評価ができなければ標準は無い、5. 絶対的電子分光器ではその透過率が実験により求められしかも計算した透過率とも矛盾しない値でなければならない。これら普遍的に要請される項目を述べた。

A way to get “true” electron spectra of SI compatible by experiments (II)

Keisuke GOTO

Nagoya Institute of Technology, Gokiso-cho, Showa-ku, Nagoya 466-8555

(Received: June 16, 2004)

In the former issue, present units system of SI was viewed in perspective and that of Japanese was shown as well. In the present issue, for the standardization of surface electron beam analysis, a ‘calculable’ analyzer is the mandatory necessary features. The scope for the calculable analyzer is viewed and the characteristics for the analyzer are presented: 1. The term of calculable is viewed, 2. Electromagnetic waves can be a standard, 3. voltage [V] should be a standard in the electron energy analyzer, 4. Work function of every part in the analyzer must be determined, 5. Transmission of the analyzer must be measured by experiments, which shall show little discrepancy with calculation. These terms shown above are required in general for the standard analyzer.

5. Calculable な電子分光器：

5. 1. Calculable とは：

もし電子分光を行なうときに、「標準スペクトル」なるものが存在しなかったら、分光器を使って得られたスペクトルの“エネルギー”と“強度”はどのように評価すべきであろうか。答は「分光器をそのように」創っておかないと出来ない。この‘そのように’というのが「Calculable」ということである。即ち、**理論的に**計算した通りの電子の軌道が実現出来れば、その分光器で得られたスペクトルはそれのみで、他の手段・パラメーターの助けを借りることなく、それ自身で**絶対的に正しい値**が得

られることである。この項目は度量衡においてもっとも基本的で重要なことである。AES, XPS ともにこの要請により報告された機器・スペクトルのいずれも存在しない。すべての分野が高度に発展を遂げている現代にあって表面電子分光が未だにこのような状況にあるのはちょっと不思議な事である。この機関誌の嘉藤氏の連載に見られるごとく、計算機を使えばどのように複雑な系の電子・イオンの軌道でも、よほど変わった物で無い限り、完全に細かいところまで計算できる。現代の技術と知識を動員すれば計算に基づいた分光器を製作できると思われる。しかし、計算では通常仕事関数は

一様・不変としているところに一番の問題がある。

仕事関数(接触電位差)を計算に入れることなどは大した問題ではないはずであるが、たとえ計算は出来てもそれが現実の分光器に直接応用できるかどうかが問題になる。従来の答えは“分からない!”が正解であった。この様な現実を解決すべく開かれているのがNPL主催のQSA(Quantitative Surface Analysis:最近はナノの分野も加えてQSnA)である。この研究会で、記録には無いが、AESの標準につき、私が‘絶対AES・・・’と題して発表した。私の発表に対してNPLのSeah氏がすかさず「絶対計測にて標準スペクトルを語るなら、分光器はCalculableで無ければならないが・・・、貴方のCMAは・・・」とコメントされた事によりこの項目に対する認識を新たにした。私は元々スペクトル強度のみを絶対的に計測すれば自分の仕事は終わると考えていたのでエネルギーにはそれほど関心がなかった(これについては、Powell氏、とSeah氏、あるいは、Kövr氏らが既に精密な値を報告していたので)が、誠に幸運にも、CMAは可能な限りCalculableに作ってあったので、「ほとんど99.9%くらいCalculableです」と答えた。しかしながら、次のQSAあるいはECASIAの時に、私は以前指摘されたCalculableを意識して発表したところ、当のSeahが「なぜCalculableで無ければならないのだ!」と質問してきた。このときは彼の真意が分からず虚を突かれた感じだったが「貴方に指摘されてやっているが・・・」と答えた。更に彼は、「試料位置やプローブ径に敏感なCMAよりもそのようなわずらわしさの無いCHAの方がはるかにすぐれているのに、何を今更CMAか?」と。これに対して私は「CHAでも真にCalculableにできていれば、CMA同様のはずですが・・・、それは・・・」と反論した経緯がある。しかしながら彼が度量衡の研究所にいながらなぜこのようなコメントをしてきたのか未だに分からない(この辺りから彼はAESから離れ、XPSとSIMSに向かった様である)。話はここでは終わらず、Fax(二人ともまだe/mに不慣れだった)のやり取りで議論(エネルギー基準をも含めて)を続けた。しかし彼の指摘は、標準電子分光を確立する上で、もっともなことであり又当たり前のことで、指摘されて以来私の意識から離れた事は無く強く意識するようになった。

電子分光の黎明期の分光器は、現代的な意味では精度は劣るが、すべてCalculableであった。この辺りのことは本誌でも述べたので参照されたい。

この黎明期にあつては、‘度量衡’的に、長さ[m]、熱量[J]、電磁気量[V, A, T]を用いて電子のエネルギーを求めている。J. J. Thomsonが e/m を求めるために行なった有名な実験は、物差し、熱量、磁場、電場、およびこれらを組み合わせて値を出している。これ以外の研究は、当時放射線の測定から流用した磁場型(高エネルギーに向いている)の分光器であった。エネルギーの絶対値を求めるには熱量として求めるのが最も直接的であるが、技術的に精度を上げることは困難である。これはたとえば、類似の計測法を用いる光度[cd]のSIの定義でもせいぜい0.1%しか精度がないことから難しさがわかる。磁場型のものは乾板に記録されたスペクトルを標準尺・コンパレーターで計測するが、磁場の値(電流を計測して)が正確に見積もれない欠点がある。ほとんどは空芯コイルによるもので、ベクトル量である磁場(大きさ、方向、一様性)を正確に見積もるのは並みの事ではなかったはずである。鉄心も使われたが、ヒステリシスの問題も加わり更に困難であった。これらの問題は現代でも技術は向上してきたが事情は以前と変わらない。磁場型は電気絶縁の心配が要らないことで高いエネルギーに向いていること、磁場中での速度が変わらないので相対論補正が簡単であることである。一方、電場型は50年代以降に一般的になるが、数keVまでなら、理想に近い物が出来る。精密な計測には相対論補正が必要になるが、形式により、エネルギーと強度のいずれも補正量が異なり又収束条件も変わってくるがいずれも計算可能である。エネルギーの補正はCMAでは5keVで10.6eVでおそらく0.1eV位の不確かさは可能であろうと思われる。一方強度は収束条件が変わるので同じ条件(非相対論的軌道)でせいぜい1%減少するくらいで問題にするほどではないと思われる。相対論効果は、分析器の電場に垂直な電子の速度成分の二乗に比例して効いてくるからである。

スペクトル強度は、写真乾板の黒化度あるいはクオドラント(象限電位計;一種の静電電位計で電荷量を電圧で示し、エレクトロメーターのはしり)で計測しており、相対的あるいは任意単位のものであった。‘Calculable’な特性を語るときには、分光器に入射する信号量と出力として得られる信号量が‘不確かさ’で定義されていなければならないが、従来より現代に至るまでこれを実行したものは発表されていない。たとえ‘Calculable’な分光器ができたとしても、計測の原理である「アッペ

の原理」(Ernst Abbe 1890 年, 元々「長さ計測」において考えられたものであるが, 計測一般に適応できる)を厳密には適応できず, [標準]との間に何らかの変換手段が必要である。これは例えば, 分光器の幾何学的形から決まる, エネルギーと電圧の係数である。

5. 2. 電磁波:

荷電粒子の計測では, 上で見たように, 標準となるものがないことがわかった。一方, 電磁波は, 可視光, 紫外線, X線の周波数とプランク定数によりエネルギーが計算できることからエネルギーの「標準」として使われている。光電子分光法では間接的ではあるが, この電磁波のエネルギーを電子エネルギーの物差しに使っている。

スペクトル(ニュートンが導入した述語)計測は, 波長(光速/周波数)と強度, ニュートンのプリズムによる分散・合成実験以来不思議な現象として観測が続いていた。特に太陽光に見られる「暗線」および, これと全く同じ位置(波長)に観測される炎色反応のスペクトルは, ニュートンも見つけていたが, これを研究した学者の名を付けてフラウンホーファー線として研究され, これが原子固有のスペクトルである事が分かった。フラウンホーファーは又「回折格子」を分光に導入したことで先駆的であった(1822年)。回折格子は機械的に刻むものでまさに「Calculable」な要素であり, 後に精密な波長の計測に必須なものとなる。すなわち「長さ」に基準を置いており, 精密実験の走り, 欧米の学者・技術者が叡智と技を競い合い20世紀の初めにはその精度は可視光で 10^{-3} Åに達している。1885年にバルマーが原子の放電スペクトルの波長の系列にきれいな規則性を発見して, これが原子の構造の研究の足がかりとなった。この成果が水素原子の構造を決める決定的な事実となり, 20世紀の, ラザフォード, ボーア, …と量子力学の巨星の出現が続く。

真空紫外線から軟X線の領域までは回折格子が一般的だが, それ以上のエネルギー領域では結晶格子を回折格子として使う。これはラウエ(1912年)やブラッグ(1913年)により発表されており, 自然の回折格子であり普遍的な原子標準といえる。

一方, 黒体輻射に「光量子(h)」の概念を導入したプランクの考えから, アインシュタインは電磁波のエネルギーは“プランク定数(h)×振動数(ν)”という有名な「光量子仮説」を発表した

(1905年)。これは, レナートの光電子の実験にヒントを得ているが, ミリカンの光電子放射実験(1916年, エネルギー分布計測による, 仕事関数の証明)により実験的に検証された。この「振動数」と「エネルギー」の関係はあまりにも簡単であるが, 以後のことを考えると評価できないほどに偉大で革命的な出来事であり, 今ごろになって, ただ驚くばかりである。現在, 光速は $c = 299792458 \text{ m s}^{-1}$ と定義されており, またプランク定数は $h = 6.6260755(40) \times 10^{-34} \text{ Js}$ (1998年)と調整値が発表されている。したがって電磁波のエネルギーはこれらの「不確かさ」で決定できる。これは荷電粒子の計測で得られているエネルギー精度に比べ桁違いに優れている。幸い光電子分光では, 電磁波(X線)をプローブとして使い, 原子の結合エネルギーの差に対応する電子のスペクトルを観測するので, エネルギーを決める1つの方法は, X線分光で精密に測られた結合エネルギー値を用いて, それらの差はX線でも荷電粒子でも同じとして, そこからエネルギースケールを割り出して, ほかの結合エネルギー領域にも外挿して目盛を決めるものである。もうひとつの方法は, XPSで広く用いられている方法であるが, 正確に定義されているX線のエネルギー, たとえば $\text{Al K}_{\alpha 1}$ (1486.70 eV, 0.833934 (9) nm), がすべてフェルミエッジにある電子に与えられるとする。するとこのエネルギーを得て放出された光電子はこのX線のエネルギーを運動エネルギーとして持っていると言えるのでこの光電子のスペクトル(フェルミエッジ)を基準にエネルギーの目盛を作り, これによりスペクトルのエネルギー(結合)を求める方法である。いずれの方法も直接的ではなく問題を含んでいるが, 特に後者は, わかりやすいが電磁波から電子へのエネルギー変換の機構がはっきり解明されておらず今なおかなり問題があるといわれている。この問題についてもSeah氏や, 何人かの専門家に尋ねて回ったが, 結論は得られていない。電磁波のエネルギーが電子に与えられるときの波動の収斂を考えると古典論で計算したRahkonenとKrause(1978)の補正式が使えると思うのだが, 賛同してくれる人はいない。この方法にはまた, 実験的には大変弱い強度の立ち上がりを検出しなければならないという実際上の困難さもある。この立ち上がりは分光器の分解能関数と価電子帯の状態関数の畳込み積分で検出されるので, 真の立ち上がりを得られた特性から決定するのも大変困難な作業である。また, 基準を

ある特定の物質(Au, Ag, Cu, Ni, ...)のフェルミエッジとするのも普遍的とはいえない。現在ISOで決まりつつある, AESのエネルギー基準は, XPSの計測で同時に得られるX線励起のCuLMMの最も強度の強いスペクトルの運動エネルギー値(フェルミエッジからの値で, 運動エネルギーに換算するときは銅の仕事関数の代表値? 4.5eVを差し引く)としているが, 少々問題である。

5. 3. 電圧[V]の標準:

電圧の単位ボルト[V]はSIの基本単位ではないが, 組み立て単位として電気の標準の一つとなっている。現代, この単位はSIの基本単位から導かれるのではなく, 量子力学的にジョセフソン接合で定義されている。即ち, ジョセフソン係数の定義は $2e/h$ であるが, 1990年に決められた値は $K_J-90 = 483597.9\text{GHz/V}$ である。これより, ジョセフソン標準電圧は $V_n = (h/2e) \cdot n \cdot f$ [V]であらわされるが, ここに e は電荷素量で $1.602176462(63) \times 10^{-19}\text{C}$, n は整数, f は周波数[Hz]である。通常一つの接合では値が小さすぎるので約2万個直列に接続して, そこに74~76GHzの電磁波を照射して10Vを得る(国際標準)。この標準電圧を元に増倍・分割をして, その他の電圧を作っていく。このようにして, 1000Vまでは, 校正機関で5ppm位までの校正ができる。電圧を電子分光法の‘標準’に採用することは最も可能性があり, 現に簡便な校正には日常的に使われている。

もし, 電子分光器が‘Calculable’にできており, 分析される荷電粒子の運動エネルギーと電場(CMA, CHAなどの静電偏向型)の関係を示す変換係数(相対論効果も含んで)がわかっておれば, 分光器に印加した“電圧”から運動エネルギーが求まる。ここでは試料と分光器の全ては同じ仕事関数値を有しているとしている。したがってもし相互の仕事関数が異なるときは, その分を何らかの方法で補償してやれば, “Calculable”な特性となるはずである。

AESでは, 一次加速電圧に背面弾性散乱電子の熱電子のエネルギー分布のピーク位置を求めて加え, 一次電子エネルギーとすることがよくおこなわれる。このとき試料原子と一次電子は弾性衝突を行い, この電子はわずかではあるがエネルギーを失う。この失う量は古典的な力学計算で計算できる。ここで熱電子のピーク位置が問題となる。実際にこれを実験で求めるのは大変難しいが, オフセッ

ト関数法(吉原ら), あるいはこのピーク位置が加速電圧によらないような(通常使われている電子銃で100V以上の加速電圧なら0.1eV位の誤差で成り立つと思われる)条件があれば, ‘繰り返し法’あるいは二点以上の実験値で連立方程式を解いて, ピーク位置が求まる。

5. 4. 仕事関数:

上の5.3節でも少し触れたが, ‘Calculable’な電子分光器が構築できない要因の一つは‘仕事関数’にあることは明白である。即ち, 異種導体を電氣的につなぐと, 一般に, 全体の電氣的平衡を保つために電荷の移動が起こり接触電位差を生ずる。これが分光器の内側, あるいは分光器と試料間で, 生ずるとそこに電位勾配が現れる。これは計算外の効果であり, 従って‘Calculable’でなくなる。すべての物質の仕事関数が同一で普遍ならば, 電磁波分光に並ぶ精密計測技術が完成していたと思われる。しかし, 仕事関数がすべての物質について同一では, 世の中の可能性はその分少なくなり面白みはなくなる。私にとっては, 仕事関数の概念は, 自分でも実験事実として観測しており実在のものであると言うところまでは来たが, 今なお大変わかり難いものであり, かれこれ10年は悩んでいるが未だに終わらない。内外の文献・書物も勉強したがこの状態である。有名な教科書や参考書でさえも混乱している様である; 起電力と接触電位差(仕事関数の差)。両者がそれぞれ異なる現象であることはKelvin(1898)が計測法も含めて報告している。即ち, 前者はSebecあるいはPeltier効果によるものであり熱力学的な伝導電子の熱運動による起電力(electromotive force)である。したがって一般に内部抵抗は小さくエネルギーを外部に取り出すことが容易に出来る。Galvani(1780, 1791)の電気やVolta(1800)の電池は電気化学的な起電力であり類似の効果である。一方, 後者は表面の電荷の移動により発生した電位差であり, 一般にほとんど無限大の内部抵抗を示し, このエネルギーを取り出すことは技術的に容易ではない。このように述べてもまだあいまいな説明であり判然としないので, 諸兄に批判を頂きたく以下に私の理解にまでは達していないところを述べる。

仕事関数は電磁氣的には真空中に浮いた電位であるので, 電気計測的な手段で簡単に測れそうな気がするが波動関数的な統計量であり, 結線して測ることはできない。ただし, 異種導体を電氣的に

接触した時に観測される‘接触電位差’は表面に分布している電荷(Q)を電位差 $\Delta V = Q/C$, C は計測する電極間の容量, の関係で知る事が出来る事はケルヴィンにより実験的に示されている(1898年). 接触電位差は仕事関数の差であるが, 観測されるのは, 接触した時に移動した電荷の量である. この様に接触電位差は実在の量である事が分かる. 光電子や2次電子の立ち上がり特性からも接触電位差は分かるはずであるが周到な準備と電子放射機構の詳しい説明が必用である.

導体が単独で真空中に浮いていれば, 外部より電荷を与えられない限り, それはマクロ的には中性であり, 電磁気的には, 電位は‘0’Vでなければならない. しかしその表面辺りには仕事関数という‘負のポテンシャル’が存在する. このポテンシャルは自由に動き回れる自由電子によってもたらされる. 全体は‘0’Vであるので, 表面の極く内側の何所かにそれに見合う‘正’の電荷(ホール; 動き難い)が存在しなければならないことになる. 導体の内部には静電的に電荷は存在し得ないので‘正・負’の電荷は表面近傍に局在することになる. 自由電子は動きやすく, その存在確率は波動関数の振幅の二乗で表される. 波動関数は固体原子と真空との境界からはみ出しても存在している. この波動関数のはみ出しが仕事関数のポテンシャルを与える. 一方, ホールのほとんどは表面あたりに分布しているはずである. したがって, はみ出した電子とホールはパイポールのようなものを形成することになり, 従ってこれによるポテンシャルは表面を離れるにつれ急速に減衰し, 1 nmも離ればほとんど効かないといわれている. この様に考えると, 仕事関数は実質的に効果を及ぼさないという考えも出てくる. 同一の導体のみの系ならこれは正しい. ならば, 仕事関数的に異種の物質を電気的につないだときはどうなるか. この場合は, 導体の性質(定義でもある)により, 全体の伝導帯(フェルミ準位)が同一電位になる. 即ち, もし両者間に電位の差があれば, 自由電子はその電位勾配で高い方から低い方へ流れて行き(ほとんど瞬間的に), 同一電位(平衡)になったところでこの流れは止まる. この結果, 仕事関数の低い物質の方へは仕事関数の高い方から電子が流れて行き負に帯電し, 一方仕事関数の高い方には正の電荷(ホール)が残る. この系を外から離れて見ると, 全体としては中性であるが, それぞれの導体は同じ量の逆の極性に帯電しているのを見つける. この帯電が接

触電位差として観測されるのである. ここでは両電極は実際に帯電しており, したがって実在のポテンシャルが存在する. 平衡に達するまでに移動する電荷の量は, 接触電位差(物質により決まる)と幾何学的構造で決まる電気容量で決まるが, この電荷がどこに存在しているのか, 恐らく波動関数で確率として考えるのであろうが, 著者にはわからない.

いくつかの異なる物質で構成されている分光器では, 一般に, いろいろな表面ポテンシャルの組み合わせでありこれを評価することは容易ではない. 即ち, これだけをとっても‘Calculable’ではないことがわかる. ‘Calculable’の要請の為に少なくとも, 分光器一体は同一の仕事関数を安定に維持していなければならない, たとえ同一の物質で構成されていたとしてもこの条件を満足させることは容易な事ではないことは経験者なら誰でもわかる. 我々は分光器のコーティングに使いえる材料を探しているが, 経験的に使ってきた‘煤’が有力な候補者であることが分かった(次回に報告). 分光器の仕事関数に加えて, 実際の分析には, 種々様々の試料が持ち込まれるが, 当然のこととして, それぞれ仕事関数は異なる. ‘Calculable’な結果を得るには, 試料と分光器の仕事関数(差)を補正しなければならない. われわれはこれらの項目をそれぞれ解決すべく作業を続けている.

5. 5. 分光器の透過率:

分光器が‘Calculable’ということは, 分光器の透過率も計算可能であるということであり, 当然計算通りの透過率が発現していなければならない. 当初, 分解能さえ計算どおりの値が出ていれば, 即ち透過率も計算通りに出ているはずだと思い込んでいた. しかしながら, Powell 氏に機会あるごとに「透過率を確かめたか?」と確認されるに至り, その度に「光学的方法では実際のメッシュについて実験をした」と答えていた. しかしこれでは度量衡的な透過率ではないことがわかった. 度量衡的には, やはり, 試料位置から放出される電子を実際に計測して, そのどれくらいの割合が実際に信号として検出されるかを求めなければならない. これが判明しないことには絶対計測とはいえないのである. 現在, この実験を実行すべく進めているが, 大変に困難な作業である.

[参照した文献など]

- [1] J. C. Maxwell, "A treatise on electricity & magnetism vol.1" Dover ed. (1954).
- [2] J.J.Thomson, Phil. Mag. **44**, 293(1897).
- [3] Lord Kelvin, Phil. Mag. **46**, 82(1898).
- [4] Max Born, "Atomic Physics," 2nd ed. Blackie & Son (1937).
- [5] K.Siekbahn, Ark.Mat. Astr. Fys. **30A**(No.20)(1944).
- [6] D. A. Lind, J. Brown, D. Klein, D. Muller, and J. DuMond, Phys. Rev. **75**,1544(1949).
- [7] A. van der Ziel "Solid State Physical Electronics", Prentice-Hall (1957).
- [8] O. Keski-Rahkonen and M. O. Klause, J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom., **13**, 107 (1978).
- [9] CRC, '77, '80.
- [10] L.I. ポノマリョフ (澤見英男・訳) 「量子のサイコロ」, スプリングー (東京) (1996).
- [11] 朝永振一郎, 「量子力学 I」, みすず書房, 昭和 38 年, 第 15 刷.
- [12] 清水忠男, 科学, **71**, 215 (2001).
- [13] クリス・エヴァンス (橋本洋, 上野滋・共訳), 「精密の歴史」, 大河出版 (1993).
- [14] ピーター・モーア, バリー・テラー, パリティ, No. 11 (2001).
- [15] K. Goto, J. Surface Anal. **9**, 18(2002).
- [16] 数理科学, 特集「*h*バーの世界」No. 7 (2003).
- [17] Net Scape Int. Net. からの検索.

[追記 1] 前回の (I) の追記として, 査読者に頂いたエピソードは「標準」の厳しさを語っていると思われるので以下に紹介したい:

—— メートルを決めるための測量物語は私 (査

読者) も最近読みましたが, メシヤンは実験ノートがいい加減 だったので, 現在の [1 m] はフランス革命が意図した本当の 1 メートルに比べて 0.2 mm 短いそうです. メシヤンもそれに気づいていて発狂したというようなことが書いてありました. (The Measure of All Things, The Seven-Year Odyssey and Hidden Error That Transformed the World, Ken Alder, The Free Press, NY, 2002)——

[追記 2] 単位系の「単位」の定義とその量の「実現」を図にしてみたのが Fig. 1 である. いわゆる, “一休さんのトンチ” だが, 幼少以来このトンチには釈然としないものを感じていた. 「言うに事欠いて…」としか思えなかった. しかし, 単位系の世界はまさにこのような世界であることが分かって来た. 即ち, 「単位」は定義であり言葉でかかれている ([kg] 原器を除いて) ! これを実際に使うには, ‘Calculable’ な手段で「量」を実現しなければならない. これを「誰か」が実現しなければならないのである. 表面分析の分野では未だ「絵」もないのであるが, どういうわけか既に縄で捕えてこれを元に利益を得ている人は多い. 急がねば!

[次回予告] 標準分光器の形式の選択, 設計, 製作, 改造・改良, データの取得; 相対論, 一次電子のリコイル, 仕事関数などの補正, 分光器の透過率計測; エレクトロニクス of 校正, 製作, 改良; 試料, 磁場遮蔽, 実験室, の条件などにつき述べたい. なお最初に申し訳をしたように, 未だこの仕事は完成していないので, 十分落ち着いて原稿を書けないことをお詫びする.

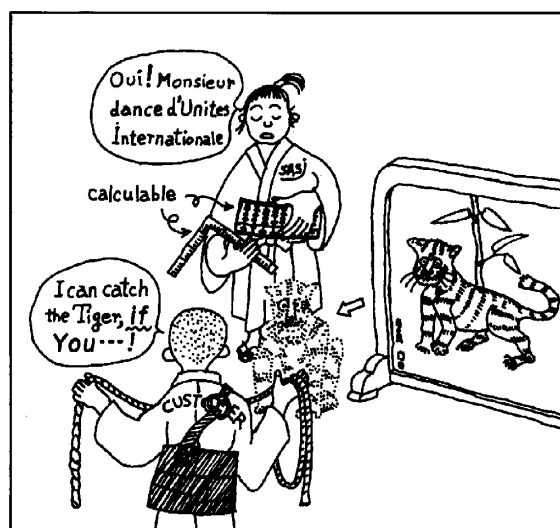


Fig.1. Units system after the clever ‘Ikkyu-san.’ Definition of standard being in the picture, but we must prepare an actual standard in a ‘calculable’ way for the customer who wants to catch (use).