

特 別 講 演



特別講演 1 放射線の単位と放射能精密測定技術

電総研 由良 治

1. はしがき

放射線の単位はともかくとしてパーセントあるいはそれを下回る程度の数値の精度の測定は精密測定というのとは他の精密諸科学と比較していさゝかおこがましいのであるが、放射能測定分野でも世界中の多くの研究者の努力に支えられて徐々に測定精度が向上しているのも事実である。電総研は放射線、放射能の標準の確立というや、特殊な目標をかいけ昭和30年代の初期より研究および標準の供給を行って来た。放射化学を専攻される方々との接点とらる事柄を念頭にふまらば、わが国の仕事を中心に述べてみる。

2. 放射線の単位

放射線を取扱う以上、その目的に応じて必要と量があり、これは学術、技術の発達に応じてその種類が拡張され、あるいは精密化される。これが多くの人々にとって共通な概念であり、これは情報と交換に役立っており、その仕事は従来、ICRU(国際放射線単位委員会)によって行われ、その勧告が尊重されて来た。一方、これらの量を数値的にあらわす単位もまた委員会の名称の示すようにICRUによって定義され、名称が与えられて来た。

放射線に限らぬが、科学において用いられる量の種類は増加する傾向にあり、これを表わすだけ少数の統一された単位であらうとするのも自然の方向であり、既に種々の単位系が考えられた中で、1960年の国際度量衡総会は世界の単位を統一する単位系として国際単位系(SIと異称する)を採用した。これは現在、7つの基本単位と、2つの導き基本単位ともいふべき補助単位と、これらの両者の適当な組合せによって得られる多くの組立単位から構成される。これらの外、SIでは10の整数乗倍をあらわす接頭辞もまた定められている。組立単位の1部はV, Hzなどのように特別な名称が与えられている。本来

基本単位の整数乗の積の形で表わせば複雑とらるものを特別な単位名称であらうせば、対応する物理量との結びつきが直観的に明瞭となり、思考の節約とらるものではあるが、他方、そのようにならぬと野放しにするならば特別な単位名ジヤングルとなり、SIのメリットを失うことになる。このようになると国際度量衡委員会も古くからある特別な単位を既に事実として認めてSIを構成しているが、他方、新しく特別な名称の単位を創設することは危険とらるべく、とらるるとして極めて神経質である。またSIでは基本単位で組立てたものに1とらる係数をかけるとは組立単位として認められ、その意味で従来、ICRUが認められているキュリー、レントゲン、ラドなどはSIとしてはすべて失格とらるることとなった。これらの単位は必ずしも古くから用いられて来たものではあるが、新しいSI単位に交換せらるることとなった。このよう単位との交換はどの分野でも共通していえることではあるが、在来単位を使いながら放射線の取扱いはとらるれば苦痛を伴うことではあり、特に医療など一歩誤れば生命の危険にか、ある恐れもあるだけに反対の声もあつた。しかし、放射線の分野も一般的に科学と切り離して存在するものではないとらる、その一端としてあるべきものである以上、長い目で見て、SI化の必要とらる方針がICRUを支配した。これとらるはキュリー(Ci)をそのまゝSI化する

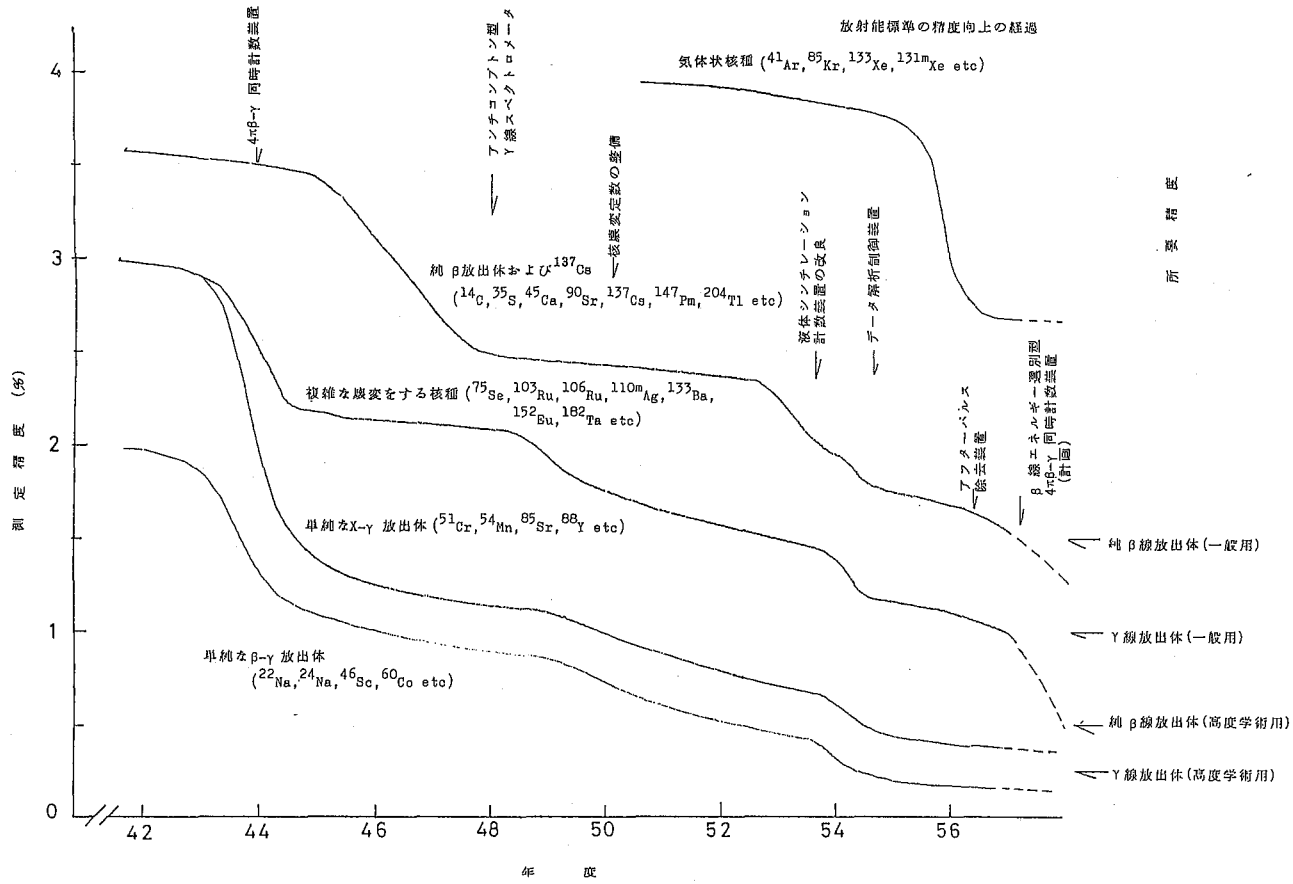
次元の見え方 (海科) とするべきではあるが、それによって (Bq) という特別名称を提案する。この圧力を総括し、外にグレイ、シーベルトなどの単位を国際度量衡委員会に認めさせることに成功し、総会でも認められるに到った。我が国においては計量単位は計量法において規定されており、既に国際度量衡委員会に認められる単位は多少の時間的遅れはあつても逐次、計量法に導入される理前を立つている。計量法といつても法そのものの規定される法令単位と法に從つて出される省令単位があり、前者は使用を強制される(但し、取引証明の目的の場合に學術の場合も含む) ので SI 単位を導入しても当然在来単位と共存する形でどうも使うことも差支えなからうとされている。省令単位は本来、使用を勧奨される程度のものであるがこれにも SI 単位が導入されている。また法律はその性質上、強制を伴い、これは最低限の要求であるが JIS は元来、推奨的のものであるので JIS 化についても積極的であり、JIS 8203 国際単位系およびその使いかた、JIS 8202 量記号および単位記号および化学記号の採用されしており、この点が見易い形にしている。これは JIS の国際版である ISO の規定というがそれと矛盾しないようになっている。

3. 放射能精密測定技術

學問の進歩につれて測定技術もより高度化し、精密化する。その測定技術の進歩が今まで分らなかつた新しい現象の発見につなげるなど相補的の作用の上で測定技術も向上して行くことは事実の教える所である。放射性物質の取扱ひにおいても取扱いが容易な環境の汚染をなくし、これは少量を扱ふにしたり、ある結論を正しく得ることから出来るが、それによってとけらる。特にレーザー技術においては放射能計測印であり、その旨目も果て無制限にありて放射量は少くとも方である。もつとも放射能のあるものは放射線の測定は本来統計的揺動を伴うもので、到達しうる誤差の下限を与えるものである。しかし尙少く計測率にしても測定系が十分安定であるならば、長時間の測定を行うことにより統計的誤差を少くするアッローケもまた可能である。實験技術研究所では、前述の目標に従い、世の中で利用され、あるいはその量を測ることから要求されるように各種の放射性核種について、放射能の絶対測定法を研究、実施し、フエリー単位 (SI ではベクレル単位) で値付けした放射能標準試料を製作、販賣、あるいは依頼試験制度を通じて放射能の校正にたどり着いている。一般に放射能実験においては放射能の絶対値は必要では無く、単にその相対的変化が分ればそれで事足りる場合も多い。しかし絶対値が分つていなければより多い情報を与えるわけである。人体への障害などと論じた場合などは放射能の絶対値を知つておくことが必要である。そのように場合に普通には用いていう放射性核種についての標準試料を用いて現在、測定中の条件下で測定し計測率を求めるとが常道である。これは比較測定であるが、上述のように標準試料自体を自作するならば放射能の定義そのものに従つて測定するいわゆる放射能絶対測定を行ふわけである。このように標準を供給する側は誤差伝播の法則からいへばより高い精度の測定を要求される。空気などは標準を維持する測定の供給に比べる側よりも桁違いの高精度を維持しているが、放射線、放射能の場合にはこの程度の差がらうので標準試料の精度はもつと比較測定の精度と初めからととり兼ねては行かない。また一般の方には通常比較測定に頼らなければならないわけではなく、直接、絶対測定を行ふことも多い。その意味でも我々の絶対測定の方法そのものも広く用いては行かれないとあり願わしいことである。特に標準試料といつても短い寿命のもの

は余り意味が有り、その意味ではアイソトープキャリブレーションのような場々の場々で用いては放射能核種の放射能が分るもの、それも出来るだけ精度の高いものがあればよい。これは必ずしも絶対測定装置でなくてはならず、はじめ標準試料を用いて得たその装置の校正定数を不変に維持出来るものでなくてはならぬ。そういう目的にも標準試料が役立つ。

この放射能の絶対測定といつても、対象とする放射能核種には種々あり、装置の形式が異なる。従つて必ずしも一つの方法で可成りというわけには行かず、ケースバイケースで適した方法を選ばねばならぬ。さらに測定システム誤差を究見し、それを見積るためは一つの測定方法の各ステップを仔細に査査し、その各々の系統誤差の推定から全体の系統誤差を合成推定するのにも一つのアプローチではあるが同一の核種にお互出来るだけ独立した測定を複数回を行つて、相互の一致度からそれらの系統誤差をいかにマクロ的に推定するのも高い方法である。しかしそれも人員、設備の面で必ずしも容易ではないので、一つの放射能標準試料を各国の標準研究所が同一の時刻に種々の方法で絶対測定して結果を比較する国際比較がその代用となる。これは既に種々の核種により10回以上行われ、各国レベルアップに役立つ。放射能の絶対測定法として原理的にもよく出来ていてまたあからぬには行かないのは、 β - γ 、あるいは α - γ とビーステートに之種類の放射線を出す核種について適用出来る同時計数法である。4 π 計数管といつて幾何学的効率が100%の計数管でも計数効率はいずれも100%というわけでは無い。アッパースタイルと計数を増加させるものもあるが一筋には計数損失を伴う原因が多い。それらの補正が必要であるが、それの精度が十分で無いことも多い。それに対し同時計数では計数率と同時に計数効率も正確に測定できるものから与えられるという利便がある。といつても何らかの補正はやはり必要であるが、 β 計数管と4 π β 計数管として4 π β - γ 同時計数法は本来の β 計数効率よりもとに近しいということから補正そのものも極めて少なくて済む方法である。この方法によつて他の測定技術の改良とも相俟つて0.1%程度の測定精度に近づきつつある。さらにこの方法が適用される難しい複雑な構造核種に対しても漸次応用が広がられ、既に β 放射能のようであるのも、所謂、効率トレーサー法といつて測定試料に故意に β 放射能核種を加え、それ以上の4 π β - γ 同時計数を行ひ、後者(トレーサー)の計数効率から目的とする β 放射能核種の計数効率を求めする方法も開発された。既に4 π β 計数管として比例計数管を用いる以外に液体シンチレーション計数管を用いる方法もまた有効であり、両者の差は0.2%程度からなり、ある電線研での測定精度の向上状況を経年的に見たものが図に示した。これは細かい技術の向上の積重ねが必要であつた。右と云は電線研の内部問題では無いが約10~20mgの放射能水溶液を損失なく正しく秤量するのも中々容易ではない。このために考慮されている方法も即考へられるかも知れない。吸着の問題も大切で大まかに計数損失をこうするものもある。これから役に立つような事柄をトビツツ的に述べたい。現在、放射能の国際比較は直接比較でなくいわゆるリファレンスシステムによつて行われる。これは既に、 β 放射能核種には通用出来るが各国の標準研究所が校正した放射能標準液を一定量、所定の角度をつけてフランスの国際度量衡局に送り、そこで4 π 電子電離箱といつて上述のアイソトープキャリブレーションの精密なものを用いて安定なラジウム線源と比較し、いはばラジウム当量の形で各国の相互比較を行つて行っているが電離箱は極めて再現性の高いことが利用されている。これは一筋にも有用なものである。



PLENARY LECTURE 2

25 th Radiochemistry Symposium, Oct 6-8 1981.

"Muonium Chemistry, a Review"

by David C. Walker, Chemistry Department, University of British Columbia, Vancouver, V6T1C6, Canada.

ABSTRACT

Muonium differs from hydrogen only by virtue of having the light, short-lived positive muon as its nucleus rather than a proton. This review of the chemistry of muonium emphasises its role as a readily-observable radioactive isotope of H. It is therefore a discussion of several things: of kinetic isotope effects; of the basic principles of the muon spin rotation (μ SR) technique; some of the underlying elementary particle phenomena; the various types of H-atom reactions; and the significant ways in which muonium chemistry applies beyond the bounds of its own intriguing properties. These include: the revelation of kinetic isotope effects ranging from 10^{-2} to 10^2 in aqueous solutions; the finding that diffusion in water is independent of mass, even for solutes much smaller than the solvent molecules; a marked isotope effect in comparing the hyperfine coupling constants of muonium- and hydrogen-containing free radicals; both experimental and theoretical evidence for the mass and temperature at which quantum mechanical tunneling starts to dominate in bimolecular reaction rates; and the use of electron spin exchange (conversion from triplet to singlet muonium) to study elementary kinetics and as a spin-probe of paramagnetism in systems of biological interest. μ SR utilizes the powerful nuclear physics techniques of single particle counting to study muonium, one atom at a time, on a timescale of 10^{-7} to 10^{-5} seconds where homogeneous thermal chemical reactions with some 60 solutes in aqueous solution and 11 gases have been studied for comparison with H.

