

1993年核データ研究会に参加して

昭和大学歯学部

原田 康雄

はじめに

11月18日と19日にわたって日本原子力研究所(東海)大講堂で開かれた表題の研究会に初めて参加し、印象に残ったことを書かせて戴きます。参加したのは19日だけのため、ここでは「5. 新分野からの核データニーズ」と「7. シグマ委員会30周年記念パネル討論会」の2つのセッションに限定して書くことにします。「6. 不安定核ビーム」については本誌に解説があるので略します(谷畑勇夫「不安定核ビームを用いた研究」、核データニュース、No.42、p.42~55、(1992))。また多くの話題が私の知識を遥かに越えた広い領域を扱ったものであるため、発表された内容を正しくお伝えできるとはいえないことをお断りしておかなければなりません。後日報文集が出版される予定ですので関心を持たれた方はバックページの連絡先に問い合わせをされるとよいと思います。

新分野からの核データニーズ

このセッションでは医学、宇宙工学、宇宙進化論の3つの分野からそれぞれの立場で原子分子および原子核データ(以下核データと総称)に対するニーズが述べられました。まずそれぞれのユーザがどんな問題を抱えているかを理解することが他の分野のユーザにもデータ提供者にも重要です。データの種類や精度、優先度についてのコンセンサスが得易くなるからです。

医学用の原子分子および原子核データ

北里大の岩波氏によると、現在医学で利用されている放射線は光子と電子が大半を占めているそうです。したがって、この両者に対する物質との相互作用データの要望が圧倒的に他のものより多いようです。しかし放射線治療のための電子以外の荷電粒子や中性子に対するデータも限られた施設では重要視されています。核医学検査に利用されている非密封放射性医薬品の核種は、検査機器の物理的特性や製造法と半減期の関係で、数種のものに限定されており、また治療に利用されている密封線源の核種も多くはありません。したがって核変換データについてはかなり満足している現状と思われる。

医学用核データは日本医学放射線物理学会から出版予定の『医学物理データブック』

によると線量測定に関連する項目の多いことが特徴です。光子の減弱係数や荷電粒子の阻止能に関連したデータが重要と思われます。特にデータの質（精度）の点で要求が厳しく、例えば放射線治療では線量の決定に絶対値で5%以内の精度が要求されています。20年間で集められた子宮頸癌400例の放射線治療成績を見ると線量が制癌率に及ぼす影響の大きさがよくわかります。

近年X線、 γ 線、中性子線による治療や診断および防護の問題について（中性子ラジオグラフィでは不明）、あるいは放射線生物学での電子トラックの問題について、モンテカルロ計算によるアプローチが多く用いられるようになりました。このためさまざまな物質に対する光子と電子および中性子の微分断面積が高精度で要求されるようになったことに注目されます。

一般に医学分野からの核データに対する要求は量（数）が少ないといわれています。しかし日本は先進国の中でも医療に高度先端技術をいち早く取り込むことに熱心な国であり、事実CT装置の普及率に象徴されるようにそれ等の技術に対する経済的投資も高い水準です。したがって技術的側面から見ると核データを求める潜在的ニーズは存在しているはずですが、ところが実際のユーザの側面から見ると、病院や大学、研究所でそれらのデータを主に必要としているグループ（Medical Physicist、医学物理士と呼ばれています）は、先に紹介した医学放射線物理学会の会員数の最近10年の推移を見てもほとんど増加しておらず、その研究論文や発表の数も会員数に応じて現在頭打ちの状態となっています。これは医学物理士という人材を養成する組織的な機構が不足していたためと、医学物理士の正式なポストが組織の中に確立されなかったためです。高齢化社会を迎えるわが国の医療のよりよい発展のためにも、今後これらのことが改善されるよう期待されます。技術や学問の進歩でも、よく世間でいわれているように人・物・金の3者の調和が大切なことを改めて知らされた報告でした。

宇宙工学と核データ

NASDAの島野氏は、宇宙環境での vacuum、microgravity、thermal effect、radiation effect、atomic oxygen、meteoroid、space debris などの問題から、radiation effectとして galactic cosmic ray、solar flare、radiation belt により衛星に積んだ電子機器に異常が起こる現象を取り上げました。特に南米の一地域ではヴァン・アレン帯の高度が下がっているところがあってそこを通過した衛星の電子機器では DRAM や SRAM を用いた回路に [0,1] 信号の反転 (upset) が頻繁に起こるそうです。半導体に何かおこっているか。表面障壁型半導体検出器では鉄などの重イオンや陽子と電子が空乏層を貫通して密な電離を起こしていることが推測されます。特定の回路でこのような系の upset を予測するニーズは大きいそうです。例えば Intel 社の Z164A という DRAM を用いた実験では、LET を $\sim 10 \text{ MeV/mg/cm}^2$ まで変え、陽子に対する upset を測定すると 2 MeV/mg

$/\text{cm}^2$ 以上で急激に反転断面積が 10^{-5} から 10^{-2} cm^2 に増加することが観察されます。いろいろな半導体チップについてこのようなデータが蓄積されつつあるそうです。このデータが異なると何百万ドルもかけた衛星がたちまちにして通信不能になります。計算では Si 原子と陽子との相互作用断面積に基づき、特定の半導体チップについて反転断面積をもとめることとなりますが、 $2 \mu\text{m}$ 程度の空乏層の厚みや半導体の有感領域のディメンジョンが正確に知られていないため困難があるようです。半導体を放射線検出器として利用するとき幾何学的な情報が不足しているためにその特性を予測したり、計算できなかつたりする例にしばしば遭遇します。最終的な計算の信頼性は計算に用いた全てのパラメータの精度に依存するため、たったひとつのパラメータの精度が不明でもそれが結果の信頼性を大きく引き下げてしまうことがあるので深刻です。よい解決策はないかメーカーの方からも意見をお聞きしたいものです。

宇宙進化論と核データ

東工大の永井氏によると、宇宙進化論では、現在の全宇宙の質量数とその存在量でプロットし、分布を3つの部分に分けているそうです。現在量を調べてみても、Big Bang（大爆発）直後にできたと考えられる軽い質量の元素、星の内部で生成したと考えられる中程度の質量の元素、そしてその後には創られた重い元素と、質量数分布曲線を3つの部分に分ける谷が2つ現れます。そこでこのような現在量を説明するさまざまな仮説が提案されてきましたが、それらの仮説の帰結を導くには陽子や中性子を含むさまざまな核種相互の反応断面積が必要となります。

初期宇宙の Si までの元素、質量数 7 までの元素の生成モデルに対して、出発物質として陽子と中性子だけを想定する従来の説は不十分かも知れないという意見があります。また星雲（銀河）の物質密度を動径方向にドップラー法で測定すると半径のあるところまで存在量は増加し、その後一定になっているそうですが、計算では半径の平方根に逆比例して存在量が減少する結果となります。したがって光っている星雲物質の間に何等かの暗黒物質（dark matter）が存在している証拠と考えられています。その候補としてはバリオンなどが挙げられていますが、これらの「隠れた質量」の空間分布は物質間の反応を非常に異なったものに導くため重要です。これまでいわれていたように陽子と中性子が一様に存在するとした核融合反応では、Li 以上の元素の生成は、不均質に存在すると仮定した場合より5桁も少なくなり、現在の質量数分布を説明するのは困難なようです。

第2段階として、恒星の内部で鉄などの重い元素が生成する過程では、中性子捕獲実験と関連した知識や捕獲断面積のデータが重要です。太陽のような恒星の内部では、rapid process や slow process といわれる過程が進行しており、その研究が重い元素生成の機構を説明する鍵となるようです。星の表面では H が燃えて水素ガスの対流を生じ

ているが、その内側には燃えかすとしての He が蓄積されており、中心部では高温高圧のため He の熱核融合反応によって生じた C や N と O の反応が進行してさらに重い元素が創られていると考えられています。これらの過程を解析するために特に O、C、Fe についての詳細な断面積データが必要ですが、星の中性子エネルギーは Boltzman 分布となっているのでその断面積データが $1/v$ 則に従うものは必ずしもエネルギーの関数として知る必要はないようです。

シグマ委員会30周年記念パネル討論会

ここではどなたの発言か断り無しに独断と偏見で書くことにします。このセッションには「岐路に立つ核データ活動」という副題が付いていたのですが、まずその岐路が学問的な問題なのか、それともマネジメントの問題なのか分けて考える必要があるという指摘がありました。確かにそれによって組織や各人の対応のしかたは大きく変わります。

シグマ委員会の活動 30 年を振り返って、その体制、進め方、国際協力、実験グループの激励、どれも成功してきたようだが、理論の若手が加わらなかったのが残念であると総括されました。米国では主に核物理屋が核データの研究をやってきたが、わが国では炉物理屋が主体でした。これまでの活動は良くも悪くも米国指導型といえます。しかし、最近米国ではあちこちの有名な原子力関連の研究所が次々と閉鎖されて、研究者もこの分野から離れていっているため今後はあまり期待できません。そこで、国内の核物理屋の協力が是非とも必要であるといえます。私もクリントン・ゴア政権の情報産業と環境保全を重視した省エネルギー型の政策を米国が続ける限りはこの状況は当分変わらないだろうと思います。その意味で早くから自前の核データを整備してこられた方々は今から見ても卓見でありました。ただ今後は炉物理のグループだけでなく、幅広い分野からの協力が必要な時期に来ているというのがこの研究会に出席した人々の共通の認識になりつつあるように感じました。学問的にも、経済的な効率の上からもそれが必要なのでしょう。幅広い学問分野の勢力を結集するには、核データ活動自体が多彩で学問的にも魅力あるものでなければなりませんし、一方では普及活動が大切に思えます。普及によって新たなニーズが生まれ、新しい研究分野が開拓され、それがフィードバックされて核データ活動が一段と活発で広範なものになっていくのではないのでしょうか。

この点に関連して、核データのコミュニティーで広い分野に目を向けるのはよいが、核分裂、核融合の主流からは逃げないでほしいという声もありました。しかし今日では 30 年前と異なり、核データの提供者とユーザとが一体ではなくなったので、両者を結ぶ新しい方法を探すべきであるとも発言されました。また、これまでの核データはメイ

ンフレーム指向の閉じた世界を形成してきました。現在ユーザの主流となっているオープンシステム（仕様が公開されていて複数のベンダーにライセンスが供与されているもの）の PC や WS の環境で扱えるスプレッドシートや市販ソフトとのリンクをもっと取り易くするべきであるという意見がありました。同感です。データの提供者はともすると精度の高い完備したデータが全てという考えになります。確かに学問としてはその通りなのですが、数値データの核心はノウハウという殻を被っていて、それが末端のユーザからは近づき難くしているように見えます。米国で開発された ORIGEN-2 コードが優れていると思われるのは、完全な核データベースを備えていると同時に、ユーザフレンドリーな顔を持っていてみんなが使っている点だそうです。日本では後者の点で少し努力が足りないのではないかという指摘もありました。

パネラーやフロアからさまざまな意見、希望、提案が出され、活発な討論が続き、予定の3時間があつという間に過ぎてしまいました。初めて参加した私には幅広い分野の方々の核データに寄せる貴重な意見を一同にして聴け、また今後の核データ活動に対する数多くの具体的な提案も知ることができ実り多い一日でした。

おわりに

ENDF は複雑なフォーマットでマニュアルだけでも 3 cm の厚さがあり読む気がしないとシンポジストのひとりであった核データセンターの方が述べておられました。私自身医学で核データを利用する立場にいて、この発言に思い当たるところがあります。10 年程前に、核データセンターから ENDF フォーマットの光子断面積データをオープンリールの磁気テープで提供していただいたのが核データとの関わりのきっかけでした。当初、この方面の知識がまったくなかったため、ENDF については核研の中村尚司（現東北大）、上叢義明両先生から御教授いただきました。また、当時 PC 程度しか身近な利用環境を有していなかったため、東大医科研の伊藤彬（現癌研）先生の協力を得て磁気テープを VAX で読み公衆回線を経由して PC のフロッピーディスクにダウンロードしました。しかし、そのままのフォーマットでは PC で利用するのに不向きと考えデータを編集し直して公表したところ予想外に多くの方々から引き合いがありました。これも、センターを初めとする多くの方々の御協力のおかげであり、この場を借りて御礼申し上げます。当時 1200 bps のモデムを用いた転送では半日以上かかったのも、いろいろな所でイーサネットによるネットワークが普及した今となっては懐かしい思い出です。

今日のコンピュータ・ネットワークの爆発的な発展を見るにつけ、核データの普及に是非インターネットを活用して頂きたいとセンターの方にお問い合わせ申し上げます。日本は

ブラックホールのように情報を吸い込むだけで外に出さないと諸外国（特に米国）から責められることが多かったようです。経済界での貿易不均衡だけでなく、学問の世界でも情報の不均衡があるというのです。センターにはJENDL-3を初めとする世界に誇るライブラリーがあるのでこの汚名を返上する絶好の機会ではないでしょうか。anonymous ftp サーバに全部のライブラリーを置くことも昨今のWSに付く2次記憶装置の値下がりを見ると現実的な提案に思えます。またインターネットを利用できない方のためにデータをCD-ROMにプレスして配布してしまうのはいかがでしょうか。1枚が70円程度でできる容量600MBのCD-ROMにデータ圧縮技術を用いれば、Oxford Dictionaryですら収まってしまう世の中です。これを大量配布の媒体に利用しない手はないと思います。

私自身も会場の参加者の核データ活動に寄せる熱意に刺激されて、最後に勝手なことを書き連ねてしまいました。そんな会場の活気をまだ未体験の方は来年は参加してみたいかがでしょうか。その際、一見の価値ありは東芝の吉田氏のイラストです。彼は閉会の辞に代えて核データ活動の現状とこれから進む道をユーモアを交えて的確に示されました。私の拙ないペンではとてもその見事なイラストをお伝えすることはできません。是非一度実物をご覧ください。

