

わが研究室を語る

(九州大学) 神田幸則

まず、わが研究室の正式名称から紹介申上げることいたします。九州大学大学院総合理工学研究科エネルギー変換工学専攻核エネルギー変換基礎工学講座。研究室の中でもこれを何人が正確に言えるか心許ない限りです。この様に長くしかも片仮名を含む名称は新しい組織の特徴の一つです。ご多聞に洩れず、わが研究室も発足して13年ですが、全く新しく出来たのではなく、これに至る故事来歴が有ります。しかし、残念ながらそれを述べるには紙数の余裕は有りませんが、前任者の園田正明名誉教授以来、核データを主体とする研究を進め、シグマ委員会活動にもその発足当初から積極的かつ強力に寄与して来たと自負して居ります。現在、研究室内では、核データと直接には関係のないテーマも研究対象として居りますが、これらは核データ研究から派生したものであるに過ぎません。しかし、ここでの紹介は、直接に核データ、特に核データ評価と関係ある話題を中心に致します。

統計学的手法の核データ評価への応用。He生成断面積の測定。これがわが研究室の核データに関する現在の研究課題です。

第一のテーマの一つの例が、JENDL-3の一部となった重核での同時評価です。これが、われわれの所で統計学的手法を導入する出発点にはなっていますが、実際にはこの場合はその特殊な条件下で使っているに過ぎず、統計学的手法の最大の特徴は生かされていません。最小二乗法そのものと言えます。しかし、そのための工夫はそれなりになされており、それがわれわれの方法が成功したポイントですし、他への応用も可能となった理由です。この辺の事情を次に簡単に紹介いたします。

同時評価の考えは評価者にとって同時発生的に出るべくして出た着想だと思って居ります。事実、各国にその発想の兆がありました。相対測定を標準値で一々規格化して、絶対測定と同列にして評価値を出すという作業をしていると、相対測定と絶対測定を同時に扱えないかと考えるのは当然ですし、これらの測定が幾種類もの断面積にまたがっている場合は尚更その考えに至ります。特に重核の核分裂断面積は、 ^{235}U を標準にしている測定が圧倒的に多く、同時評価の効力を最大限に利用出来る領域です。これを最初に実行したのは英国のSowerby等です。それに、米国のPoenitz等とわれわれです。われわれと外2者との最大の相違は連続した断面積変化の表現法です。われわれはスプライン関数を使って、断面積を表わしましたが、外2者はヒストグラムを採用しております。これは0次スプライン関数とも言えます。この違いは極めて重要な相異で、その後の研究の展開とも深く関わっていると共に、外2者に比べて秀れている点であり、このためにこそ後述する多くの応用の可能性が出ました。

ここで、スプライン関数について考えてみます。関数として扱えて、その関数に含まれる定数を決定することによって断面積変化を表わせる、即ち、断面積をパラメータ化出来る利点があります。断面積は実験値でも計算値でも良く、エネルギー変化も追従出来るという特長があります。加えて、スプライン関数は狭い領域で定義する関数なので、遠くの点とは相関を持たない有利さもあります。これらの特徴が、核データ評価に統計学的手法の導入を可能とした道具になっている理由です。

次に、われわれが用いているBayes法ですが、これは統計学に出てくるBayesの公式を基にして居り

ます。或る事象が起こる確率を、事前に仮定した確率（事前値）と実際に起こった事象の確率から決める公式として与えられます。結果を事後値といいます。核データ評価の場合、事前値は或る評価値あるいは模型による計算値であり、実際に起こった事象は実験値です。事後値は新しい評価値です。確率分布、実験値の分布をGauss分布と仮定して実際の計算に使用いたします。前述の重核についての同時評価の場合には、事前値は仮定して居らず、結果としてスプライン関数を実験値に合わせたこととなります。勿論、個々の断面積に合わせる丈ではなしに、複数の断面積を含めた相対・絶対測定値に合わせるという意味で同時評価と言うのですが、数学的には最少二乗法となっております。この後、Bayes法を幾つかの問題に応用して来ましてし、それがわれわれの研究室の特徴的テーマとなっておりますので、それらを次に紹介します。

核反応模型による断面積や放出粒子スペクトル計算には、光学模型パラメータや準位密度パラメータが調整パラメータとなっております。これにBayes法を適用しますと、多核種、多反応を同時に扱えます。機能としては実験値に合う前記パラメータを同時に算出可能です。Feを中心にした中重核6元素の同位体をターゲットにした反応を使って、各種の準位密度パラメータと n 、 p 、 α の光学模型パラメータを同時に求めました。

断面積測定は単色的中性子源による測定（微分測定）と幅の広いスペクトルの中性子源による測定（積分測定）があります。後者の例は、核分裂中性子または厚いBeへの重陽子入射中性子源です。これら積分測定は、従来核データ評価には直接使わず、評価結果を検証するために用いて居りましたが、Bayes法の応用で、積分測定を定量的に核データ評価に利用可能となりました。中性子ドシメトリー用核反応の評価を試みましてし、重核の核分裂断面積の評価値を修正することも致しました。

以上の様なBayes法応用の過程は、測定データをスプライン関数によってパラメータ化して扱うこと、更にそれを核反応模型に含まれるパラメータと結合させたことであると言えます。これを総称して、核データのパラメータ化と呼んでいます。そして、上述した各種の応用で微分測定・積分測定・既評価値・核反応模型計算を組み合わせた評価法を確立して来ましてし。これらをジグソーパズルの各要素にたとえると、これら全体を組み合わせれば核データ評価全体の絵が完成する。それをComprehensive evaluationと表現してみました。ジグソーパズルの譬の他に、パッチワークという表現も考えましたが、後者はソフトウェア分野で当座遊びの修整をすることに使うという芳しからざる用法もあるとかで止めて、何んな結果になるだろうかという未知への挑戦と夢を感じさせる前者を選びました。これを聞いたアメリカ人が”エッシャーの絵”というのはどうかと言って来ましたが、一方から他方へいつの間にか絵の要素が変わってしまう彼の絵では、適当ではないので、ジグソーパズルとして置きます。ところで、Comprehensive evaluationとするためにはどれ丈のジグソーパズル要素が必要なのかは未だ判りませんが、その一つとして中性子データのみならず逆反応である荷電粒子データも含ませることを考えており、その試算を開始しました。しかし、荷電粒子データの収集は、文献データベースが中性子の様によく整備されていないので、思うに任せないこと、物理的興味で実験計画がなされているので評価に適したデータが入手し難いなどの不便が多いのですが、意図するComprehensive evaluationにふさわしい方向を探ろうとして居ります。

われわれが開発している統計学的手法には、当然満たされるべき大前提があります。実験値も核反応模型公式も”相当に”正しいと言うことです。測定がいくらばらついていてもそれは統計的な分布であるし、模型計算の不確かさもその分布程度であるとして居ります。しかし実際には、測定値の分布が皆統計的分布とは思えませんし、模型公式がどれ程正しいかも不明です。今はそれらの不確定な部分は皆パラメータに負わせてしまっているのです。実験データの系統誤差を統一的に推定して少しでも統計的仮定が保証される様にしようとAIの応用もしておりますが、改善の方向に進んでいる保証もないし、確信も持てて居りません。しかし、この様に物理的意味のあるパラメータを総合的に求める方向は、評価データファイルを作る目的とは別に、実験値や模型公式の妥当性を検証する手法として有効なことを認識しつつあります。実験値を基にして、光学模型パラメータや準位密度パラメータをきちんと出して、その系統性を調べてみたいと思っております。現在はそんな様な公式が出揃っており、われわれの手法はそれを繋ぐ道具になりうると思っております。

ここ迄、わが研究室の核データ評価の最近の研究を紹介して来ましたが、その内容は具体的な評価よりは評価法の話でした。実は、これは意図的にした研究室運営の結果です。”核データ評価”は大学の研究であり得るかという疑問が常に付きまといました。特に、具体的に特定の核種なり反応の評価をすることにはその感を強くしたものです。従って、仲々学生の研究テーマには出来ませんでした。しかし、評価方法の開発なら研究たり得ると考え、模索を続けました。上述の統計学的手法の糸口を見だし、これを強力に推進・発展させ、成果を上げることが出来ましたし、今後の応用も考えられる様になりました。初期の核データ評価は秀れて作業的であって、研究とは言い難いと思いつつ続けていたものが今の道に繋がったのです。しかし、この過程総てが実は研究（それが何かは漠然としているのですが、此処では立ち入りません）に至る不可避のものであって、一般性のある過程だったのかと思ひ始めて居ります。

核データに関しては、評価のみならず実験も手掛けているので、それも簡単に紹介しておきます。

中性子ドシメトリーに使用する目的で、微量He原子測定装置を開発して、現在は中性子によるHe生成断面の測定から、陽子によるHe生成断面測定へと移って居ります。これは前述のジグソーパズルのコマを少しでも増やしたいという意図があるからです。

^{238}U の全断面積を原研リニアックによって測定しましたが、これは評価をしていて十分な実験データがないことから、原研との協力研究で実現したものです。核データ評価を通して、測定の必要性を知り選んだテーマです。

以上、わが研究室は核物理学に徹するのでもなく、原子力に取っては必要かも知れないが極めて基礎的な分野を行きつ戻りつした研究をしております。ここで改めて、拙文の冒頭を見て頂きたい。わが研究室は総合理工学研究科に属しており、その設立の趣旨は学際分野の研究・教育をすることにあつたのであり、その観点からはそれにふさわしい研究をしていると思っております。

最後になりますが、これらの研究を推進した、また推進しつつある諸兄に、一々名前を上げませんでしたが、謝意を表すと共に、今後の各々の発展を期待いたします。