

特集 (その II)

評価核データの一致性と収束性

九大 神田 幸則

まず、たとえ話から。東海村の海から採取した海水と博多湾で採取した海水の密度を測定して、誤差の範囲外で違った値が得られたとする。この違いの原因をさぐる一つの方法は、おのおのの海水の含有物質の量を測定し、それらの密度と純水の密度から、おのおのの海水の密度を計算することである。その時に、必要な物質の密度は理科年表から読みとる。もし、計算値と実測値の比、すなわち C/E が 1 からひどく離れているとき、原因を何処に求めるだろうか。理科年表の値を疑う人はおそらくないだろう。表に載っている密度の値は、ミスプリントでもない限り、疑う余地がない程の信用があるからである。その理由は、多くの精密な測定と、その値を多くの分野で利用してきた実績に裏うちされたものである。核データにはこんな信頼はよせられていない。計算が合わない！ それ核データがおかしい！ これが当り前のようである。これを不当だというわけではない。しかし、本来、核データも物理量の一つだから、密度のように信頼される値として、表にまとめられるべきものであろう。そのためには“核データ”は、どんな条件を充せば良いか、または、充すべきかを考えたい。

核データの測定法には、いろいろな技術や手法があり、それを用いたいくつかの実験がある。しかし、現状では、同じ種類の値に対する実験値の再現性が悪い。いわゆるばらつきがある。この状況を解消するために、測定法改良の努力が重ねられていて、時には合いの良い測定もあるにはあるが、非常によく一致するのは、かえって、偶然に合ったのだと片付けられるような現状である。それでは、どんな合い方をしたら信用できるか、また、信頼されるかを考えたい。

例えば、 $^{235}\text{U}(n, f)$ の断面積 $^{235}\sigma_f$ を誰が測定しても再現されれば、それで、もうよいかということ、それ丈では信用できない。ここにいう測定・実験とは、通常、微分測定・実験といわれるものである。— ^{235}U の断面積には $^{235}\sigma_f$ のほか $^{235}\sigma_n$ 、 $^{235}\sigma_n$ 、といった個々の部分断面積の測定があり、別に、全断面積 $^{235}\sigma_t$ の測定がある。当然、部分断面積の和は全断面積に等しくなければならない。したがって、 $^{235}\sigma_f$ のみが再現性があっても、この条件が充されなければ、信用は出来ない。このような同一核種についての断面積が一致することを自己一致性 (self-consistency) ということにする。

測定では、 $^{238}\text{U}(n, \gamma)$ の断面積 $^{238}\sigma_\gamma$ を直接測定するよりも、これを $^{235}\sigma_f$ に相対的に測定した方が、実験的に容易である。 $^{238}\sigma_\gamma$ の相対測定は、実験上の理由のほかに、 $^{235}\sigma_f$ と $^{238}\sigma_\gamma$ を関係づける貴重な役目をはたしてくれる。 $^{238}\sigma_\gamma$ と $^{235}\sigma_f$ を独立に測定した絶対測定値の比が、直接に $^{238}\sigma_\gamma / ^{235}\sigma_f$ を測った相対測定値と合うかどうかでも、測定値の妥当性が調べられる。これを相互一致性 (mutual-consistency) ということにする。

結局、絶対測定と相対測定値は、上記の自己および相互一致性を満足し、かつ、再現性がなければならない。このように、再現性と同時に一致性を実験値に求めるのは、これらの条件を満足すれば、各実験に伴う系統誤差が除かれたと考えてよいだろう、との思想が根底にある。しかし、こ

のような状態は、現在の実験値と実験技術の改良・発展を見る限り、早急な実現は期待できない。ここに、“評価”という仕事の存在する余地があり、意義がある。

結局、核データの評価は、実験値を基に、そしてその不備な点を補って、自己一致性および相互一致性のある核データの作成を目的にしている。この際、実験値の不足は理論計算に支援してもらおう。

しかし、これだけの条件が充されただけでは、まだまだ、核データが密度の値のような信頼度で、使われるようにはならないだろう。それには、もう一つ、多くの使用経験によって、確実な値であることが確かめられた、という条件が充されなければならない。

現在、核データの大口需要者は原子炉の設計者である。その使用のために、いくつかの国で、炉設計に必要な核種を含んだデータ・ファイルを作っている。その日本版が、最近つくられた JENDL-1 である。これは、現在、最初の使用テストであるベンチマーク・テストを受けている。このテストに合格すれば、さらに広い利用に供されるであろう。このテストに合格する意味を考えてみる。

JENDL-1 には、多くの核種に対する評価核データが収納されている。ただし、採用されている評価核データの評価基準は必ずしも上に論じたようなものではない。その詳細は関係報告書で見てもらうとして、一応、評価核データが集められたファイルと考える。

ベンチマーク・テストでは、各種臨界集合体による積分実験の結果と、それに対する計算の結果とを比較するのであるから、特定の核種のデータがテストされるわけではなく、ファイル全体のテストと考えられる。しかし、集合体の構成核種と特定の反応度との相関を考慮すれば、結果次第で、ある核種のある断面積が正しくないのではないかという指摘が可能といわれる。この点は一応認める。しかし、筆者はこのテストから、特定の断面積について、大きな値を、あるいは、小さな値を採用すべきだと言うのは言い過ぎであろうと思う。積分実験は、評価核データの基にした微分実験とは異質の実験であると考えからである。

冒頭のたとえ話に合わせて、再度、たとえ話をする。積分実験は、純水に食塩、にがり等海水に含まれる物質を既知量だけ溶かした特殊な水溶液、すなわち模擬海水の密度を測ることに対応させてみる。これと、各物質の密度を用いて求めた計算値を比較する。成分比の違う模擬海水の C/E が合うか、合わないかを論ずる。当然、構成物質の密度、成分比が正しく、計算違いがなければ、C/E は 1 である。食塩が多く含まれる模擬海水の C/E が 1 から離れ、にがりを多く含ませた模擬海水の C/E がほぼ 1 になったとする。このとき、食塩の密度の値がおかしいと指摘出来るだろう。また、C/E からのずれ方で、ばらついた食塩の密度の測定値のうち、大きな値のグループが正しい値だと言うことも出来るかも知れない。このたとえ話をそのまま核データのベンチマーク・テストに対応させられれば、断面積の“おかしい”値を指摘する以上に、大きな値、または、小さな値の選択に参考とすべきだ。しかし、ベンチマーク・テストの測定には、このたとえ話ではたとえられない部分がある。実際には、食塩を多く含ませれば、にがりの量をも変化させてしまうような関係にある。すなわち、模擬海水の密度は、成分の密度に線型ではな

い場合に相当している。積分実験は非線型であるところに意味がある。完全に線型と考えられる条件は、食塩のみにすることであり、これは微分実験である。

以上、長々と述べてきた話も、“どんな立派なことを言われても、ベンチマーク・テストに合わないような核データ・ファイルを、炉の設計計算に使うわけには行かない！”といわれれば、これまた当然であると肯かざるをえない。したがって、もし、ベンチマーク・テストに合うと思われる実験データがある場合には、それを評価データとして採用してはどうかとの考えは理解する。しかし、依然として、賛成は出来ない。このような方法で出来たファイルは、新たな原理でなされた評価に基くものと考えらるべきである。

前にも述べたように、評価核データは、およばずながらも、物理定数たるべきことを目標にするべきだと考えている。たしかに、現在、核データが大規模に使われるのは炉設計の分野であるから、その方で正しい結果が得られないものを“定数”とはいえないが、積分実験は定数測定として位置づけられるものではないと考える。むしろ、定数としての核データをチェックする役目をするべきものである。微分実験を補うものではない。それに、この種の議論には、ベンチマーク実験の精度への考慮が極めて安易である。

一方、評価核データの方にも問題がある。それは、無理に一本の線を引くところにある。実用上は、一本の線を引く必要があるのだが、誤差のある測定値、それに、ばらつきまである値から、元来、一本の線を引くのは無理がある。当然、評価データにも誤差をつけるべきである。このような誤差を、評価過程を基にして、意味のある値として示ささえすれば、評価者としての立場は定量的に明確なものとなる。ベンチマーク・テストの結果はこの誤差の範囲内で考察すればよい。一本の線と、それに伴う誤差を与えた後の取扱いは、その利用者に任す、そういう独立した立場をとるべきである。

評価者が独立の立場をとらないと、どうなるか。核データは定数として正しい値に収束しない可能性がある。定数は測定技術の改良でやがては正しい値に近づくことを、われわれは暗黙のうちに期待、または、了解している。評価核データも物理定数の目標にする限り、この収束性をもつべきである。そのためには、そのような収束性が保証される方法を評価に採用すべきである。現在、その方法が確立はされていない。どんな方法がそれに値するかは議論のあるところである。

収束性の件は、JENDLのようなファイルにも関連してくる。特に、修正版を出す場合には、ファイルとしての内容を豊富にすると同時に、本来は、データの質もよくなるべきである。質の向上とは、値が正しい方向に収束性を持つことと考える。JENDLも修正版を出す時は、この点を考えるべきである。そのためには、基になる評価核データが収束の方向にあるかが前提である。しかし、評価核データとベンチマーク・テストを相補的に使って、ファイルを作成した場合には、収束性の問題は複雑で、むしろ、収束性の保証は弱くなるように思われる。それよりは、ベンチマークによる群定数の修正の方が収束の点では優れている。

以上の結論として、評価核データは自己一致性と相互一致性それに収束性を持って、はじめて、物理定数として信頼されうる条件が整うと考える。今後の問題は、その条件を充し得る評価法を確立することである。