



核データライブラリーの調整

錦 織 毅 夫*

中性子の各種核反応断面積は、原子炉解析の基礎データであり、核データライブラリーとして各国で評価、編集されている。日本では原研のシグマ研究委員会を中心に JENDL-2 が完成し、現在改訂版 JENDL-3 へ向けて評価活動が始まっている。評価済み断面積（一まとめに列ベクトル T で表わす）はもとより真値ではなく、それを使って原子炉の特性量 $Rc(T)$ を計算しても測定データ Re と矛盾することもしばしばである¹⁾。原因は断面積 T の誤差の他に、測定データ Re の誤差、及び計算式 $Rc(T)$ の不確かさである。 T の誤差を小さくするには、断面積の詳細な測定を行い、核物理理論の精度を高めるのが正論であるが、膨大な核データのことであり現実には不可能である。そこで炉心特性量の信頼できる実験データ Re を使って核データ T を“調整”する試みが外国では以前から行われており、日本でもシグマ研究委員会 JENDL 積分評価ワーキンググループ等で、日本原子力事業 (NAIG) で飯島氏を中心として、また阪大でも当研究室の竹田助教授により行われようとしている。調整の理論は必ずしも確立しているわけではなく、特に計算式の不確かさをどう考慮するかは未解決の問題である。本稿ではこれに関し最近関係者の間にホットな論争が行われている二つの方式を紹介しよう。

測定値 Re を使って断面積 T を調整するわけであるから、 Re が既知という条件下での T の真値 T_0 の分布 $P(T_0|Re)$ が問題である。確率論で有名なベイズの定理を使うとそれは

$$P(T_0|Re) = P(Re|T_0)P(T_0)/P(Re) \quad \dots\dots(1)$$

により事前確率分布 $P(T_0)$ と結びつけられ

*錦織毅夫 (Takeo NISHIGORI), 大阪大学, 工学部, 原子力工学科, 助手, 工博, 原子炉物理

る。 $P(T_0)$ は評価済みデータ T のまわりで共分散 M の正規分布

$$P(T_0) \propto \exp\left[-\frac{1}{2}(T_0-T)^t M^{-1}(T_0-T)\right] \quad \dots\dots(2)$$

であろう。もし計算式が真であれば、真値 T_0 を使った計算値 $Rc(T_0)$ は真値 R_0 であり、測定値 Re はそのまわりで共分散 Ve の正規分布

$$P(Re|T_0) \propto \exp\left[-\frac{1}{2}[Re - Rc(T_0)]^t Ve^{-1}[Re - Rc(T_0)]\right] \quad \dots\dots(3)$$

とみなせる。求める断面積の最確値 T' は分布 (1) が最大、すなわち

$$\begin{aligned} [\partial L / \partial T_0]_{T_0=T'} &= \min; \\ L &= [Re - Rc(T_0)]^t Ve^{-1}[Re - Rc(T_0)] \\ &+ (T_0 - T)^t M^{-1}(T_0 - T) \quad \dots\dots(4) \end{aligned}$$

なる条件より

$$T' = T + MG^t (Ve + GMG^t)^{-1} [Re - Rc(T)] \quad \dots\dots(5)$$

と定まる。ただし線形近似 $Rc(T_0) \approx Rc(T) + G(T)(T_0 - T)$; $G(T) = \partial Rc(T) / \partial T$ を行った。調整後の断面積 T' を使うと、炉心特性量は

$$Rc(T') = Rc(T) + GMG^t (Ve + GMG^t)^{-1} \times [Re - Rc(T)] \quad \dots\dots(6)$$

となる。

計算式に誤差があり $Rc(T_0) \approx R_0$ の場合に以上をどう拡張したら良いか。(3)式が成立しなくなるが、NAIG 総合研究所の飯島氏は

$$Rc(\tilde{T}) = R_0 \quad \dots\dots(7)$$

で断面積 \tilde{T} を定義し(3)式で $Rc(T_0)$ を $Rc(\tilde{T})$ で置き換える方式を提唱した²⁾。ただし $\tilde{T} (\approx T_0)$ と(2)式中の T_0 とのズレが問題になるが、近似的に

$$\tilde{T} \approx T_0 \quad \dots\dots(8)$$

とし(2)式の T_0 を \tilde{T} で置き換える。けっきょく(4)式で T_0 が \tilde{T} になるが(5),(6)の結果に変わりなく、計算式不確かさは T' , $Rc(T')$

の共分散に影響するだけである。この飯島方式の根拠は、精度の良い実験データを大切にしようという事であり、

$$R_c(T') \rightarrow R_c(\text{真値}) \quad (V_e \rightarrow 0) \quad \dots\dots(9)$$

すなわち、正しい実験データを用いて調整を行えば、計算式に不確かさがあっても正しい答が得られる特徴をもっている。

これに対し、(3)式で $R_c(T_0)$ の誤差を共分散 V_m で考慮し、 V_e を $R_e - R_c(T_0)$ の共分散 $V_e + V_m$ で置き換える方式が当研究室の竹田助教授により定式化された³⁾。(5),(6)式で V_e は $V_e + V_m$ で置き換えられ

$$T' = T + MG'(V_e + V_m + GMG')^{-1}[R_e - R_c(T)], \quad \dots\dots(10)$$

$$R_c(T') = R_c(T) + GMG'(V_e + V_m + GMG')^{-1} \times [R_e - R_c(T)] \quad \dots\dots(11)$$

となる。条件(9)は満たさなくなるが、計算式に誤差があるのでそれで良いという考えである。以上の方式(竹田A方式)の他に竹田氏は別の方式(同B方式)も示している³⁾。飯島方式における(7)式の代りに

$$R_c(T_0) - E_c \approx R_c \quad \dots\dots(12)$$

とし、補正項 E_c は何らかの方法で評価できるとする。すると(3)式は $R_c(T_0)$ を $R_c(T_0) - E_c$ で置きかえて成立し、したがって(5),(6)式で $R_c(T) \rightarrow R_c(T) - E_c$ とした結果が得られる。 E_c の評価の不確かさは T' , $R_c(T')$ の共分散に入る。この方式は、飯島方式と数学的には等価であり、飯島方式でも(5),(6)式を使う前に $R_c(T)$ の補正は出来る限り行うわけである。しかし竹田B方式は E_c をあらわに扱った点意味深長であり、調整方式の新しい方向を示しているように思われる。すなわち、究極的には E_c を十分な精度で評価し、理論不確かさは一切考えなくて済むようにすれば良い。

さて、飯島方式と竹田A方式とどちらが妥当か。あるいは竹田B方式をさらに押し進めるべきか。誤差の範囲内の微妙な問題であり簡単には決着が付きそうにない。飯島方式で、近似(8)をよして \tilde{T} が T_0 のまわりで

$$P(\tilde{T}|T_0) \propto \exp\left\{-\frac{1}{2}[R_c(\tilde{T}) - R_c(T_0)]^t V_m^{-1} \times [R_c(\tilde{T}) - R_c(T_0)]\right\} G(\tilde{T}) \quad \dots\dots(13)$$

なる分布をするとすれば、飯島方式は竹田A方式に帰着する事を最近筆者が証明した。飯島方式は(13)式で $V_m \rightarrow 0$ の極限、 $P(\tilde{T}|T_0) \rightarrow \delta(\tilde{T} - T_0)$ をとる事に相当する。計算式の不確かさ $V_m \neq 0$ を考慮するのが目的であったのに、 $V_m \rightarrow 0$ の極限をとる点、飯島方式は数学的には異常であるが、この処法[すなわち近似(8)]により条件(9)が満たされる。われわれの目的は炉心特性量 $R_c(T')$ の計算であり、したがって条件(9)は捨て難い魅力を持っている。この目的のためには、あたりまえの事などやられていないという訳で思い切った処法をしたのが飯島方式であり、一方、B方式という奥の手があるので、とりあえず出来る範囲の事をしようとするのが竹田A方式のように思われる。

1984年は以上の調整方式の議論で暮れた感がある。飯島親分とその身内みみたいな竹田氏との大論争など、抽象的な議論は出つくしたようで、新年は断面積調整の数値計算で明けることになる。感度係数 $G(T)$ の計算コード(SAGEP)は竹田氏が既に開発済みであり⁴⁾、それを組み込んで調整コードを作るのは簡単である。日米共同のJUPITER計画によりアルゴンヌ国立研究所で測定された高速炉臨界実験データを使って、あるいはオランダのSTEK炉心で測られた核分裂生成核種(FP)の反応度データを使って断面積の調整が行われ、本稿が日のめを見る頃には、既に二つの方式の決着がついているかもしれない。調整済み断面積により懸案のC/Eの系統的ズレが解決し、そこで得られた知見がJENDL-3ライブラリーの評価にフィードバックされ、その信頼性向上に少しでも役に立つ事を関係者一同期待している。(1985年1月9日記)

参考文献

- 1) 竹田敏一：生産と技術，Vol. 36, No. 4, P. 44 (1984).
- 2) 飯島俊吾：日本原子力研究所シグマ研究委員会 FP 積分テストサブワーキンググループ資料，FPIT-84-5 (1984年11月)，同上 JENDL 積分評価ワーキンググループ資料 (1984年12月)。
- 3) 竹田敏一：JENDL 積分評価ワーキンググループ資料 (1984年12月)。