

最後に「Eureka!」をつかみそこねた話

京都大学原子炉実験所 宇根崎博信

unesaki@kuca.rri.kyoto-u.ac.jp

1. はじめに

本誌編集担当のY氏より今回の特集「私のEureka!」の原稿執筆依頼を受けた時は、あまり深く考えずに「いいですよ」と安請け合いをしたものの、よくよく考えてみると、どうも要求されているような、天地がひっくり返るほどの、しかも人様に自慢できるようなEureka!に出会った試しが無いことに気がついた。苦し紛れではあるが、Y氏のメールにあった「面白いネタをお持ちではないですか?」にかこつけて、勝手に趣向を変えて、結局Eureka!を「つかみそこねた」話を書かせていただき、恥をさらすことによって自戒の材料とするとともに、若手研究者、学生諸君などのフレッシュな方々への反面教師として、せめてものお役に立てれば、と考えた次第である。

主題は、熱中性子炉における Thermal Cutoff Energy についてである。

2. MOX系の Thermal Cutoff Energy

熱中性子炉の核計算においては、数eVのエネルギーを境として、高エネルギー側と低エネルギー側での扱いを変えている、すなわち、上方散乱の扱い、散乱則における分子構造の考慮、共鳴自己遮蔽などの取扱いを変えていることが多い。この境目のエネルギーが Thermal Cutoff Energy である。小生の浅学ゆえ、元々の由来は不詳であるが、ウラン燃料の熱体系では、歴史的に0.6eV近傍の Thermal Cutoff Energy が用いられることが多いようで、筆者も、京都大学臨界集合体(KUCA)の実験解析などで、この0.6eVを何の疑いもなく用いていた。ただ、極端に堅い中性子スペクトルの炉心では、Thermal Cutoff Energy 近傍でスペクトルにわずかな不連続が生じることが若干気にはなっていた。

1993年より、京大炉が窓口となって、炉物理研究に関連する日本の大学の連合体と、フランス・CEAの間で、次世代炉の炉物理に関する共同研究がスタートし、そのテーマとして、稠密MOX燃料格子の減速材ボイド反応度に関するベンチマーク計算が実施されることになり、小生がSRAC、MVPを用いて解析に当たることとなった。その年の秋に開催された第2回技術会合(「日仏セミナー」)の準備段階で、CEA側の担当者(S. Cathalau氏)とデータ交換を行っていたところ、特に高ボイド側での振る舞いが全く異なることがわかった。1群断面積を元にして、 k_{∞} の差異を分析してみたところ、プルトニウムの寄与が全く異なることが判明した。常識的に言ってライブラリの差では説明できない程の違いであり、互いにあら探しを続けることがしばらく続いた。結局原因がよくわからないまま、コルシカ島での(一部関係者間では notorious な)会合に赴き、顔をつきあわせてあれこれ言い合っているうちに、Pu-242のgiant resonanceのself-shieldingの取り扱いの話になった。こちらはPEACOで扱っているがお前はどうか、などと話しているうちに、ふと Thermal

Cutoff Energy はいくらかと尋ねたところ、APOLLO-II では 4eV だが、との答え。一瞬にして頭の中を中性子スペクトルと Pu 同位体の様々な共鳴が駆けめぐって、自らのミスに気がつき、恥ずかしい思いをするとともに、Eureka!、これは結構面白いかも知れない、と思った次第である。確かに、計算をしてみると MOX 系では Thermal Cutoff Energy によって k_{∞} が大きく変化し、特に SRAC で PEACO を使う場合には、中性子スペクトルの thermal peak の影響と、resonance self shielding の影響とが関連して、最適な Thermal Cutoff Energy を決定することが難しいことなど、興味深い現象が確認できた。ところが、文献を調査してみた結果、原研の秋江氏が 1989 年に既に JNST にて Pu の低エネルギー共鳴の扱いについてのペーパー(JNST 28[3], 391 (1989))を公表しておられることを知り、改めて自らの浅学に恥じ入って、この問題は既知であると思い、さらに深く掘り下げることをあきらめていた。また、U 系では、従来より言われていたように、Thermal Cutoff Energy の違いによる k_{∞} の変化は高々数十 ppm と小さいため、この問題は MOX 系においてのみ留意すべきものであると信じこんでいた。

3. U 系の Thermal Cutoff Energy : ちいさな Eureka! を見つけたこと

数年後、CEA との共同研究も大詰めに入ってきたころ、Thermal Cutoff Energy のことを思いだし、同様の現象、つまり、Thermal Cutoff Energy 近傍における散乱則の違いや共鳴の取扱が中性子スペクトルや反応率に与える影響は、Pu に限らず、eV オーダーの共鳴を持つ核種すべてに共通して表れるに違いない、ということは、U-235 についても同様のことが起きてもしかるべき、ということに気がついた。早速、U 系の燃料セルに対して、反応率データを用いて Thermal Cutoff Energy の違いによる反応度差 (高々数十 ppm) を核種別、反応別、エネルギー別に breakdown してみると、予想どおり Thermal Cutoff Energy が違うと熱エネルギー領域の中性子スペクトル、ひいては反応率が確かに変化していることがわかった。しかも、Thermal Cutoff Energy を変えたとき、U-235 の反応率は、Thermal Cutoff Energy を挟んで正と負、逆方向に変化するため、正負の cancellation によって、積分量である k_{∞} にはほとんど差異が見られない、ということがわかってきた。派手ではないけれども、これはなかなか面白い! コルシカ島での Eureka! は続いていたのである。

思い直して、たとえば U 系における TRU の燃焼特性に与える影響であるとか、可燃性毒物の反応度効果に対する影響などをサーベイし、MOX 系のように顕著ではないものの、ある程度の効果があることを確認していた。また、MOX 系に対しては、MVP を利用して、上方散乱の効果と共鳴自己遮蔽との関係を核種毎にチェックするという作業を行っていた。しかしながら、頭の隅では、基本的には既にある程度解明されている問題である、という思いがあったためであろうか、継続的にこのテーマに取り組むことなく、他の研究の合間に少しずつデータを集めている、という状態がしばらくつづいていた。

4. 結局 Eureka!をつかみそこねたこと

そうこうしているうちに、この Thermal Cutoff Energy に目を向けるきっかけとなった CEA との共同研究も、難産の末に論文として世に出ることになり、N.S.E.誌の 135 号に無事掲載の運びとなった。さて、一仕事済んだし、これまで真剣に取りかかっていた Thermal Cutoff Energy について、これまでの知見をまとめて、ペーパーに仕立てあげるべく、ドラフトをつくりつつ、散乱則の勉強にとりかかろうと、まずは Error Function 等と格闘を始めた矢先のことである。送られてきた N.S.E.誌を見て愕然とした。自分たちの論文の少し後に、J-M. Paratte & S. Pelloni による "Influence of the Thermal Cutoff Energy on the Calculation of Neutronic Parameters for Light Water Reactor Lattices" (NSE 135, 48-56(2000)) という大論文があった。タイトルも、まさに準備していたドラフトのものとはほとんど変わらず。論旨の展開もほぼ同様。ただし、先方はきっちりと散乱則の再評価まで進めた、完結した仕事であった。この業界は早いモノ勝ちである。結局、最後に Eureka!をつかみそこねた、という次第である。

5. Eureka!を確実につかむためには

なにやら話がうまく出来過ぎている、と思われる方もおられるかも知れないが、以上述べたことは真実であり、最後の「オチ」に遭遇した時の筆者のダメージは強烈なものであった。

小さい Eureka!は、日常的とは言わないが、結構遭遇するチャンスがあると思う。そして、大きな Eureka!は、これらの小さい Eureka!を大事に育て、真剣に対峙した人間にのみ与えられる喜びなのであろう。このためには、なんといっても、小さな Eureka!の背後に広がる世界を見ることのできる知識と眼力、そして真剣な気持ちが不可欠であろう。小さな Eureka!を見つけ、それを育むことは、すなわち、日々の精進である。こつこつとした努力を続けて、はじめて、真の Eureka!を見いだす資格が与えられるのであろう。

6. おわりに

...とは言っても実はまだあきらめ切れていない。今回、この小文を書きながら、改めて手元のデータを眺めて、ちょっと違った切り口でまとめることはできないか、と思いをはせている。今度こそ、小さな Eureka!を大事に育てていこう、と自戒しつつ。

(完)