

話 題 (II)

E G N A S H の 里 帰 り
— 「Activation Cross Sections for Fission and
Fusion Energy Applications」 専門家会議出席
報告を兼ねて —

(データ工学) 山室 信弘

広辞苑の「里帰」の項を引くと、(1)結婚後新婦が初めて生家に行く儀式。(2)他家に奉公する者が生家へ一時帰ること。とある。標題は厳密にとると(1)にも(2)にも当たらないが、(2)の意味を少し拡張すればよかろう。G N A S H コード (当時の新版) は 1984 年著者の一人である Young から日本に送られてきた。これが JENDL-3 のファイル作成のための核反応計算に利用されたことは広く知られていることである。私も利用者の一人であるが、原版の問題点の解決に取り組む間に私なりの G N A S H が生まれつつあった。問題点の一つは余りにも自由なパラメータが多すぎて、その入力形式が複雑なことである。これでは一つ二つの核種の計算に多大な時間を消費し、且つほとんど一般性のある知識が残らない。

問題解決の第一歩は Global Potential の採用と、当時粒子透過係数の計算を E L I E S E 3 によって別に実行していたものを合体することである。そこで E L I E S E 3 の中から粒子透過係数の計算に必要な部分を取り出し、変数名の若干の調整によって G N A S H と結合させた。同時に選定した Global Potential を内蔵させ、又可能な限り入力データを減らして入力形式を簡略化したものを E G N A S H と名付け、このコードを含む全体を簡易入力核断面計算システムと呼んでその第 1 版 (S I N C R O S - I) のマニュアルを出版した。

核断面計算を効率的に進めることのできるシステムができると、一つの核種の断面計算に要する時間が大幅に短縮され、水戸会議の時点で 25 核種の計算結果が生まれた。多数の核種の計算をすることで私の経験が豊富になり、かつ判断力が向上し、又いろいろな物理量間の系統性が見えるようになって一層自由なパラメータを減らすことができるようになった。こうして S I N C R O S - II が生まれ、今回の ANL での専門家会議に臨む際には 50 核種以上の断面計算が手中にあった。この中には核異性体生成断面計算や、超長半減期核種生成断面計算も含まれており、それらの結果が如何に評価されるか期待を持ってアメリカに飛んだのである。

4 年ぶりのアメリカはやはり遠くて、そして広かった。成田から約 12 時間、出発時間とほぼ同時刻にニューヨークに到着する空の旅は私の身体にとっては非常に過酷なものであった。このことを初めに予想し、最初は非公式な行事としたいため、前の週の週末を 14 年ぶり 3 回目の R P I 訪問に当てたのは成功であった。親友の Prof. Block 家に滞在して日本式の風呂に入ったりしているうちに、私の身体もアメリカ時間を受け入れるようになっていた。

ANL での会議は 9 月 11 日から開始された。近くの Willowbrook Holiday Inn からバスで約 10 分

到着し、所定の場所以外には出入り出来ない不自由さがあったが、主催者側の適切な会議運営で順調に進行した。先ず最初の2日間はIAEAのlong-lived Activation に対するコンサルタント会議であり、9月13日からの3日間が標題の専門家会議で、2つの会議は同一場所、参加者もほぼ同じ顔ぶれであった。これらの会議については核データ研究会で原研池田裕二郎氏の適切な報告があったし、原子力学会誌での国際会議報告のために原研中島豊氏が原稿を用意されていると聞いている。従ってここでは全部の議題や参加者名の紹介は省略して、私の印象に残った発表に絞り最後にEGNASHの里帰りの話題を述べよう。

IAEAの会議に出て、私は初めてActivation cross sections for the generation of long lived radionuclides に対するCRP(Coordinated Research Program) のあることを知った。そしと日本からの正式な参加者が0であることを聞いて驚いた。実は出発2~3日前にIAEAのDr.Wang DaHaiから手紙が来てlong-lived activation cross sections の計算に用いている理論の現状について発表してくれないかとの依頼があった。私はこの会議はオブザーバーとして参加する予定であったし、数日で英語での発表を準備することは難かしいので断る積りでいた。ところがなんとagendaに私の名前が記されていたのであった。幸い次週に開催されるOhioでの会議用にlong-lived activity の発表を予定しており、その論文の総てを発表するには時間は多分不足すると予想していたのでその一部を発表することにした。この会で私の発表に先立って行なわれたいくつかの発表の中で、Vonachらの"Existing knowledge on(n, 2n) reactions on ^{109}Ag , ^{151}Eu , ^{153}Eu , ^{159}Tb , ^{187}Re and ^{193}Ir " やGreenwood, Bowersの"The production of ^{49}V , ^{93}Mo , $^{93\text{m}}\text{Nb}$ and other long-lived isotopes in fusion materials with 14 MeV neutrons" で示された最新の実験値が私の計算値と比較されることになる。

Greenwood らの発表には、今まで彼らが測定した14MeV付近のlong-lived isotopeの生成断面積がまとめられおり、その中から $^{63}\text{Cu}(n, p)^{63}\text{Ni}$ ($T_{1/2} = 100$ 年), $^{94}\text{Mo}(n, p)^{94}\text{Nb}$ ($T_{1/2} = 2 \times 10^4$ 年), $^{94}\text{Mo}(n, 2n)^{93}\text{Mo}$ ($T_{1/2} = 3500$ 年) などが私が会議に持参した計算値と直ちに比較できた。 $^{63}\text{Cu}(n, p)^{63}\text{Ni}$ の断面積には次に述べるようないきさつがある。

$^{63}\text{Cu}(n, p)$ 断面積の15MeVでの私の計算値は50mbであったが、Allam(1961)及びQaim(1977)の測定値はいずれも100mb以上であった。普通このような場合実験データに規格化するところであるが、私はそれを退けた。なぜならそのようなことを行なえば、他の計算結果といろいろな影響を与えて総合的に見て改善にはならないからである。又半減期が100年というような長い放射化断面積の測定には相当の誤差が入り得るだろうことが、実験屋であった私には十分予想できたからである。会議で発表されたGreewoodの測定値は 54 ± 4 mb であって誤差以内で私の計算値と一致したのである。(Greenoodの $^{63}\text{Cu}(n, p)$ の値は既に水戸会議でQaimの総合報告の中に示されていた。)頑固なことは進出の大きな障害になることが多いけれど、今度の場合私の頑固さが役に立ったと思っている。 $^{94}\text{Mo}(n, p)^{94}\text{Nb}$ の世界最初で最新の

実験データである 55 ± 6 mb も私の計算値と一致した。しかし $^{94}\text{Mo}(n, 2n)^{93}\text{Mo}$ の測定値が 550 ± 136 mb と与えられたが、これは私の計算値と比べ因子2小さい。 $(n, 2n)$ 断面積の値には比較的簡単な質量数依存性があるが、そのことから見ても550 mb という値は小さ過ぎる。結局 ^{93}Mo の半減期3500年の見直しが必要であることが認識された。以上のようなこともあって私の即席の発表は比較的好感をもって受け取られた。

I A E Aの会議の後半はC R Pの現状確認の作業に向けられ結局12のしきい値反応と4つの (n, r) 反応が今後の研究対象としてまとめられた。この中には上述の $^{63}\text{Cu}(n, p)$ や、 $^{94}\text{Mo}(n, p)$ がなお残されており、14MeV以外のエネルギーでの断面積の値が求められている。会議終了前に議長のVonachから私のC R Pへの参加の要請があり協力を約束した。又D.L.SmithからANL/LANL/JAERIの共同実験で進めているC R P関連の研究への参加が求められ、帰国後手紙の交換の後に協力の約束が成立し、今後はANL/LANL/JAERI/DEプロジェクトと呼ぶことになった。

3日目からはActivation Cross Sectionの専門家会議に移った。この会議の目的は放射化断面積の分野において、intelaboratoryのワーキンググループを形成して共同研究を推進しようというものである。そのため会議では当分野の研究の現状がレビューされた。会議では研究発表も行なわれたが、topical discussionと称して、選ばれたテーマ毎に発言者があり、その後その主題に関する議論をするという運営方法がとられた。こうした議論に対等に参加できないのが、私に代表されるような英語に弱い人間の泣き所だろう。こうした会議の進め方を、比較的層の厚いと思われる分野について日本でも試みたら如何なものであろう。

専門家会議の発表で印象に残っているのはやはり新しい測定結果が出たことである。Vonachらの“Neutron Activation Cross - Sections of ^{58}Ni and ^{60}Ni for 8 - 12 MeV”やMannhartらの“Measurement of the $^{47}\text{Ti}(n, p)^{47}\text{Sc}$ Reaction Cross Section”などである。又理論の方ではChadwick, Youngの“Calculation of the Production Cross Sections of High - Spin Isomeric States in Hafnium”が秀れた研究と思われた。当会議での私の発表は核異性体生成断面積の計算に関するものであったが、ここでも二つの会議で発表されたVonachらの $^{60}\text{Ni}(n, p)$ の測定値及び $^{109}\text{Ag}(n, 2n)^{108\text{m}}\text{Ag}$ の評価値と私の値とが、極めてtimelyに比較されたのである。

$^{60}\text{Ni}(n, p)^{60}\text{Co}$ の断面積にはPaulsen(1967)の実験データがあり、最近まで実験データがなかったためか、ENDF/B-VもJENDL-3もPaulsenのデータを認める評価になっている。私は初めからこの測定データに疑問を持っていたが、Grahamら(1987)、池田ら(1988)、つづいて核異性体生成断面積に関する加藤ら(1989)の実験データが出るに及んで私の計算に対する自信を深めていたところ、上記のVonachらの新データが提出されこれが私の計算結果にかなり一致したところから、Paulsenのデータのほぼ完全な否定が決定づけられた。これも私がSINCORSでの計算結果を当初から堅持していた頑固さが幸いした

ものである。

$^{109}\text{Ag}(n, 2n)^{108\text{m}}\text{Ag}$ 生成断面積については、Vonach らが自身の基底状態生成断面積の測定値を $(n, 2n)$ 全断面積の系統性による推定値から差し引いて $665 \pm 73 \text{ mb}$ の値を出したが、Lu Hanlin (IAEB) の測定データが $230 \pm 7 \text{ mb}$ であってその差が甚しかった。 $^{108\text{m}}\text{Ag}$ 生成断面積の私の値は 14 MeV で 690 mb 、 15 MeV で 770 mb である。やや高いが基底状態生成断面積の値は Vonach らの値によく一致しているところから、その差は $(n, 2n)$ 全断面積の彼らの推定値の誤差に帰着できる。結局この場合も計算値と実験値の差は ^{108}Ag の核異性体状態の半減期 127 年の見直しを必要とするとの結論に導かれた。

会議中放射化ワーキンググループの初会合が、14日の夜 Holiday Inn で開催され、次回を 1991 年 5 月の Jülich での国際会議の際に開くことを決めると共に、ワーキンググループの初めのプロジェクトとして、(1)実験グループは $^{58}\text{Ni}(n, p)$ をテストとして、実験に用いた中性子スペクトルに関する補正手法の相互比較を、(2)理論グループは $^{60}\text{Co}(n, p)$ 断面積の計算を試みることが決まった。私は Young (LANL), Fu (ORNL) など核断面積計算に経験豊かな研究者に加わって、理論グループのプロジェクトに参加することになった。

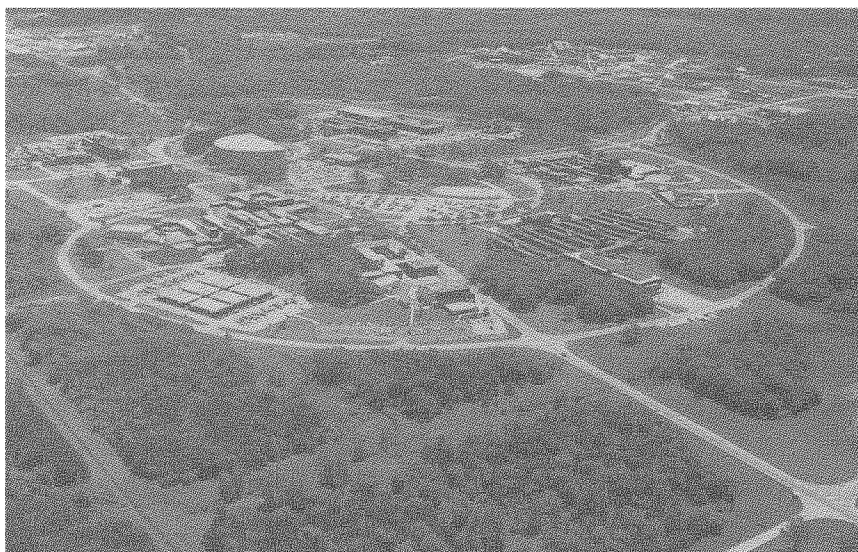
ANL で開かれた二つの会議とさらに次週に開催された Ohio 大学での会議の間、GA の Cheng とは時に食事を共にするなどかなり密接なコンタクトがあった。彼が台湾出身の親を持つということもあってお互いに親しみ易かったからであるかも知れない。Cheng は核融合の立場から核データの必要性をきめ細に調べ上げており、利用者の立場から優れたデータのニーズを発表していた。彼も私の SINCROS を評価してくれ、IAEA の CRP に含まれないいくつかの重要な断面積計算が出来ないかとメモを用意して帰国前の私に渡した。その期待に応えたいものだと思うている。

私が開発整備したプログラムはいくつか異なる名前と呼ばれた。昨年 11 月頃 ECN の Kopecky には既に 40 核種ほどの私の計算結果を送ってあったが、彼は彼らの発表の中で私の計算を引用し、これを simplified GNASH によるものと紹介していた。LANL の Hale は私との個人的会話の中で super GNASH と呼んだ。その時私はアサヒスーパードライを思い浮かべていた。私としては EGNASH という呼び名を定着させたいと思っており、GNASH ファミリの一員ではあるが、GNASH 原版とは違うので EGNASH の名を用いることを Young に話して、了解を得ている。

ANL と Ohio の会議を通じて行動を共にしていた Dr. Young は最後に私に EGNASH をロスアラモスに送ってくれるかと問いかけてきた。私はこれは大へん嬉しいことだと感じ即座に快諾した。何故なら EGNASH の原版はロスアラモスの生れであり、その原著者が私の仕事を認めたことになるからである。こうして EGNASH の里帰りが実現することになった。同時に Kopecky の要望もあって、EGNASH はオランダへも旅することになっている。但し 12 月上旬の時点でこの約束はまだ実行されていない。それは EGNASH 2 を含む SINCROS-II のマニュアルの出版がやや遅れていることが主な理由である。しかしこの報告が読者の眼にふれる

時期には多分里帰りは実現しているだろう。

今私は改めて、Hauser - Feshbach理論と前平衡理論を組合せた核断面積計算の理論は非常に優れたものであり、適切なパラメータの選択をすれば、十分未知断面積の予測が可能であることを実感している。最後に日本からの参加者を含め多くの人々のお世話になったことに感謝して筆を措く。



A N L 全 景