



『シグマ委員会 50 周年にあたって』

シグマ委員会 50 周年を祝して

元核データセンター室長

五十嵐 信一

sntigrs31752@palette.plala.or.jp

思いがけなく、核データニュース編集担当の中村詔司さんからメールをいただき、50周年を記念して拙文を寄稿することになりました。半世紀に亘る研究委員会の活動は極めて貴重であり、驚異でもあります。しかも、多くの成果を挙げ、世界的にも揺るぎない信頼を得ていることは本当に誇りでもあります。これまでに貢献されてきた幾多の方々に敬意と称賛の念を禁じえません。以下に私見を交えながらシグマ委員会の歩みを振り返ってみます。

1. 核データはどのように思われていたか

思い起こしてみると、10年前の40周年記念の折にも拙文を寄稿いたしました。そこでも委員会発足当時のことに少し触れました。また、50年前のことは、委員会の初代主査であり、委員長でもあった百田光雄先生や中嶋龍三さんなどが詳しく述べられています。そこでは、後進国であった日本がどのようにして世界の核データ活動に参加して行ったかの苦勞が述べられています。

これらの話に少々付け加えることとして、シグマ委員会発足当時の国内で核データがどのように見られていたかを述べてみたいと思います。1955年に原子力の平和利用が許されたとは言え、日本は敗戦国でしたから、国の復興のために、政府も産業界も急いで原子力発電所を造ろうとしていました。風潮としては米国の物を丸写ししてでも建設しようとしていたようです。そんな状況ですから、核データなどと言う基礎的なデータは余計なものとして一顧だにされなかったようです。初期の原子力委員会で委員をされた湯川秀樹先生が、確立した基礎研究から始めることを主張されたのが採用されず、以後、

原子力の分野から去って行かれた、と言う話を聞いたことがあります。そこにはこのような後進的世相背景が強くあったようです。ですから、核データなど無くても原子炉は造れるとまで言われたものです。

こうした世相、雰囲気の中でシグマ委員会は 1963 年にスタートしました。ここで一寸振り返ってみると、欧米先進国でも核データの研究はそれ程進んでいなかったことに思い当ります。中性子反応断面積のデータ集として有名な BNL-325 もまだまだ僅かな測定データを載せているにすぎませんでした。そんな状況の中でも原子炉は設計され、建設されていました。その当時、私は原子炉内の中性子スペクトルを計算したことがあります。その時に使った核データは米国の Westinghouse 社で使った物でしたが、素性があまり良く分からないデータで、何か不可思議な数値が並んでいた部分があったように記憶しています。私が核データに危機感を覚えたのがこの時でした。このような背景があったから欧米でも OECD 傘下の核データ委員会 EANDC (後の NEANDC) や IAEA の INDSWG が作られ、データ収集・整備とそのための情報交換を始めたのだと思います。

2. シグマ委員会の活躍

言うまでもなく、核データの研究やデータ収集、評価、整備などは国際協力なしには容易にできるものではありません。1965 年に 4 センターネットワークができ、日本も OECD 傘下の CCDN、現在の NEA/Data Bank から必要なデータや情報を入手できるようになったのは、やはり大変幸運なことであったと言えましょう。シグマ委員会の活動はこうした好条件の下で、しかも、ほとんどの委員が volunteer という画期的な組織で行われました。このように書くと総てが順調に行っていたようですが、実態は手探りで、試行錯誤の連続でした。

シグマ委員会は、1963 年に「昭和 38 年度の原子力平和利用研究委託金」を日本原子力学会が受け、その使用のための受け皿として発足しました。種々の経緯など細々したことは先述した百田先生や中島さんなど、幾人かの人達が既に書かれています。ここでは委託金の一部で「未知断面積の数値計算」を行うために計算機コードの ELIESE-1 を作り、試験計算を行ったことだけを記しておきます。これ以外にも幾つかの試験研究が行われ、後のシグマ委員会活動に寄与しています。

シグマ委員会では幾つかの専門部会やグループを作り、核データに関する文献収集や計算・評価研究などを始めました。CINDA や RENDA (後の WREND) への寄与は国際協力として行われました。JENDL-1 の作業が具体的に開始されたのは 1974 年ですが、それ以前に、日本独自の評価済み核データファイル JNDF を作ろうと言う計画がありました。これについては、核データニュース No.35 に少し触れておきました。この計画は当時の外国依存体質もあって潰されてしまいました。しかし、外国製の素性のわからない核データを基にした炉定数は不評でした。こうした苦い経験を経て、核データの評価研究は

真剣に取り上げられるようになりました。

JENDL の基になっている重要核種の核データや核分裂生成物 (FP) 核種の核データ評価などが盛んに行われるようになりました。国際会議や専門家会議での日本の研究が注目されるようになってきました。1977 年に JENDL-1 を公開してからはシグマ委員会の活動がさらに活発になっていきました。JENDL-2、JENDL-3 と JENDL が版を重ねて充実し、現在は汎用の JENDL-4 に加えて特殊目的の JENDL ファイルが多数できていることは大変喜ばしいことです。

シグマ委員会の活動は JENDL 関係だけでなく、核構造核データや崩壊熱評価用核データなど多岐にわたって活発です。また、これらのデータを用いる応用分野との連携も巧く機能していることは大変重要な事です。シグマ委員会のこうした活発な活動は国際的にも注目されるようになりました。

3. 新しい国際協力へ

1980 年代に入ると韓国や中国などが核データに関心を持ち、接触してきました。1978 年から毎年開いている「核データ研究会」にも外国からの参加者が加わるようになりました。アジア地域の諸国も日本の活動に刺激されて核データの研究を開始いたしました。1985 年頃だったと思いますが、日本の自動車世界的に売れ出したことに準えて、「核データも JENDL がやがて ENDF/B を駆逐するようになるだろう」などと A.B. Smith さんが冗談を言ったのを思い出しました。そんなことは兎も角、JENDL が ENDF/B、JEF と共に 3 大核データライブラリーと言われるようになりました。

1984 年の NEA NDC では、こうした日本の活躍を見て、1988 年に予定していた核データに関する国際会議を日本で開けないかと提案してきました。この国際会議は欧米では持ち回りで 2~3 年ごとに開いており、当時のソ連では Kiev 会議として開いておりました。勿論、アジア地域では初めての会議です。その準備にはシグマ委員会を始めとして関係機関全体の協力が必要でした。水戸での国際会議は 4 年の準備期間を経て 1988 年 5 月 30 日から 6 月 3 日にかけて、参加者 330 人、発表論文 262 件の大きな会議として成功を収めました。2001 年にも日本で第 2 回目の国際会議がつくばで開かれました。

アジア地域での活動が盛んになる一方で、欧米では研究者の減少や予算の削減で厳しい状況になりつつありました。NEANDC では以前からこの問題を取り上げ、議論してきましたが、1988 年の NEANDC 会議で、日、米、西欧 3 者の協力を具体化するための Task Force を設置し、これを NEANDC と NEACRP の傘下に置くことを決めました。これが現在の NEANSC です。

4. 今後への期待

シグマ委員会がスタートした 1963 年から私が原研を定年退職し、シグマ委員会から離

れた 1990 年頃までの裏話のようなことは核データニュース No.35 や No.74 などを見てください。現在は一人の OB として核データセンターのホームページや核データニュースに時々アクセスして皆さんの活躍振りや昔の記録などを見て楽しんでいます。特に、核データセンターのホームページの内容の豊かさには驚いています。まさに 20~30 年前とは隔世の感があります。やはり半世紀の時の流れは偉大であると思っております。

核データニュース No.99 の吉田さんの pandemonium 問題の話や No.100 の光岡さんの環境放射線モニタリング、No.102 の遠藤さんの線量評価に ENSDF を利用する話などは、福島県二本松市が故郷の私には、特に引かれるものがありました。東京電力の大失態は科学・技術に対する国民の信頼を根底から覆す事態になりました。帰省した折に聞く人々の話には一人の老科学者として痛切な責任を感じざるをえませんでした。大地震、大津波があったとは言え、予備電源などの基礎的事項に手ばかりがあったことは否めません。先にも触れたように、基礎軽視の風潮が体質的なものとして未だに残っていたと思われる。勿論、応用研究や開発研究も重要です。基礎、応用、開発の 3 者が良くバランスしてこそ、社会的にも信頼される科学技術の発展があるのだと思います。

シグマ委員会の体質には基礎重視の伝統があると同時に応用研究も盛んに行うエネルギーがあります。シグマ委員会活動の特徴が volunteer 的であることは、参加されてきた多くの委員の皆さんが核データの重要性を確りと認識され、基礎データとして、そして、それを如何に有効に用いるかを重視しているからに外なりません。

最近では原子力分野に限らず、核データ研究と他の多くの研究分野との連携も進んでいるようです。また、国際協力も充実してきているようです。大変頼もしく、喜ばしいことです。核データの充実とその応用、そして、それらを担うシグマ委員会活動の一層の発展を願う一方、恐らく、今後は東電事故の後始末や使用済み核燃料の処理・処分に関わる分野への協力も大きくなるのではないかと思います。シグマ委員会 50 周年が大きな曲がり角に差し掛かってきているのかも知れません。どのような状況の変化があろうとも、委員会の皆さんの旺盛な研究意欲がそれらを見事に解決していくことでしょう。皆さんのご健闘を願って止みません。



シグマ委員会 50 周年によせて

九州大学名誉教授

神田 幸則

シグマ委員会が発足して 50 年を迎えることは、嘗てその末席を汚したことのある一人として大変嬉しく、且つ感動さえ覚えます。同委員会の発足から今日まで、企画、運営、管理、発展に寄与された多くの先輩、同輩、後輩の方々に敬意と感謝を申し上げます。その中の幾人かは既に鬼籍に入りました。その方々は 50 周年記念を如何様に受け止めたであろうかと思うと感無量です。共にお祝いすることが出来なかったのは誠に残念です。あらためて、感謝を捧げたいと存じます。

私がシグマ委員会の活動から離れてもう 20 年が経っています。この間、関係者との交流は続いていますが、“老兵は死なず、ただ消え去るのみ”で、シグマ委員会の話はしませんでした。現在、「シグマ委員会」自体は原子力学会にしかないことさえ気付きませんでした。言ってみれば、もはや部外者でしかありません。しかし、振り返れば、ある時期、私の人生は核データ、シグマ委員会と共にありました。そんな経験を踏まえての話です。

右の図は 1991 年発行のドイツ 10 マルク紙幣のコピーです。紙幣ですので片隅に Specimen と入れました。人物はガウス、小さくて見難いですが、中央に肝心のガウス分布の曲線と式があります。その後の建物はゲッチンゲン大学で、ガウスはその天文台長をしていました。肖像の右に、1777-1855 Carl Friedr. Gauß とあります。裏面は、やはりガウスが貢献した測量学にちなんだ六分儀の図です。この紙幣は 1991 年 5 月に Jülich で核データ国際会議があった時に気づき、帰路 Aachen 駅の売店で新札を手に入れました。核データ評価



の過程で、関係する誤差の処理が気になり、いろいろと誤差について調べました。結局はガウス分布を基にした誤差論しかありません。誤差処理といえばガウス。それを強調したくてこの紙幣を掲載しました。しかし、これは数学の話で、ガウス分布をする事象

は殆どないのが現実です。この紙幣は現在もユーロに交換可能ですが、私にはこの紙幣の方が遙かに価値があります。紙幣に採用する人物もさることながら、式や曲線が詳細に書き込まれているなど、ドイツと日本、彼我の文化の違いが読み取れるような気がします。

ここで、話題を変えます。アメリカのある大学人が、「日本の Doctor of Engineering とは何か？ Doctor of Philosophy とは違う。Engineering は Technology である。」と問いました。すなわち、Engineering は学問ではないと言っているのです。彼は核物理の実験屋さんです。文明開化の際、我が国は世界では先例のない工学部を大学に置きました。基本は物理学、化学の応用ですが、物作りのための学問です。そこに、工学という“学”を見たのが我々の先輩です。それが現在の我が国の発展につながっています。一方、物理学の学はまさに哲学の学です。ただ、核データは物作りのためのデータですが、物理量それ自身でもあり、核物理学との関係が気になります。それがシグマ委員会での核データ評価の考え方にもつながっておりました。

核データ評価では、核物理の手法、すなわち微分実験で測定されたデータを使い、測定値のないものは核反応理論を参考にします。これに対して、原子炉を模擬した積分実験の解析から、評価済み核データに変更コメントが出ます。評価者側は積分実験の間接性と精度を問題にしました。評価者の殆どが物理出身ですから、核データは微分実験で測定するのが当たり前であると思っております。当時、世界的にも核データ測定は加速器中性子源による微分実験が当然でした。この問題でも、両者の誤差比較に関心を持ちましたが、誤差の問題は数学ではなく物理の問題です。中性子特有の物理的性質に基本的原因があります。それがまた、微分実験と積分実験の並立を可能にしております。もう微分実験は終わり、今後は高性能の計算機使用が積分実験からの核データ評価の精度を高めるでしょう。しかし、工学の立場からはどちらでも良いのではないか。核データの出どころが微分実験であろうが積分実験であろうが、信頼できる“一本の線”、断面積、物理量、があれば良い。私自身、こう考えるようになったのは最近のことです。しかし、まだ、私には微分実験に拘る心情は残ります。

核データは情報システムであり、JENDL はそのデータベースである。唐突な言い方ですが、私はそう思っております。システムでは、多くの要素を組み合わせ、目的に適合する機能を発揮させます。それを構築する手法と道具の開発、そして、それらの連携を組織的にまとめることが必要です。これらそれぞれはシステムであり、まとめたものもシステムです。シグマ委員会と原研核データセンターは、まさにこの手法で、核データという情報システムをまとめ上げて来ました。現在、JAEA-NDG のホームページを開けば、情報システムとしての成果を見ることが出来ます。そこにはデータベース JENDL-4.0 を中心にした典型的情報システムがあります。シグマ委員会には JENDL 作成という明確な目標があり、更に、目的を国際的に共有している使命感、安心感もあって、

従来この種の機能を余り意識せずには果たしてきたと思います。そして 50 周年を迎えました。それが原研と学会にあったシグマ委員会でした。

傘寿を迎えた老兵が、シグマ委員会とは何だったのかと問いながら綴った思いです。

今後とも、シグマ委員会の更なる発展を、真摯に期待しております。



シグマ委員会 50 周年によせて

東北大学サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター

馬場 護

babam@cyric.tohoku.ac.jp

50 年前といえば半世紀前の 1963 年、私にとっては大学に入学した年であり、その後の卒業、社会人、退職という我が身の変遷や社会の大きな変化を思えば、ずいぶん昔のことになる。その後、シグマ委員会が一つのミッションのもとで活動し、「制度疲労」などが言われながらも何世代にも亘って、成果を挙げ続けてきたことは驚異的であり、関係者の努力に改めて敬意を表したい。特にシグマ委員会が「不惑を迎えた」(五十嵐信一氏、核データニュース No.74、40 周年記念号) 時からのこの 10 年は「旧原研の法人化と核データセンターの消滅」そして「福島原発事故」と原子力界そして核データコミュニティにとってまさに激動の 10 年であった。しかし、その中でもシグマ委員会は「不惑」に生き続け、JENDL-4 の完成という大事業を成し遂げた。JENDL-4 は今や ENDF/B とともに世界に冠たる内容と質を誇り、核種数はもとより、誤差ファイル、ベンチマークテストによる品質保証、核融合炉用データや中高エネルギーデータの品質などの誇りうる特色を持つ。また、守備範囲においても在来型原子炉、高速炉から加速器、医療、宇宙など非原子力分野までをカバーしていることも重要と思う。加えて、従来日本で手薄とされた核反応計算コードについても、独自の開発が進められたことも大いに評価されるべきと思う。

上記核データニュースによると、シグマ委員会は全てを欧米に依拠せざるを得ない中で「自力で原子炉設計をするための自前の核データを確保する」という技術者・研究者の思いを原動力に、ほとんどゼロの状態からスタートした。そのよちよち歩きのキャッ

チアップの状態から今日まで、JENDL が長足の成長を遂げたアクティビィを可能にしたものは何か、は上記特集号でも触れられており、ハングリー精神に加えて今では当たり前前の企業・大学・研究機関にわたる産官学連携をシグマ委員会という形で束ね、原研核データセンター（当時）が事務局として引っ張るといふ独自の組織形態だったと考えられる。この牽引力は核データセンターの消滅によって減退してしまった感がぬぐえず、今後どう対応するかは重い問題である。

私事で恐縮であるが、私自身は JENDL-2 から JENDL-3 に向かう '70 代後半に実験屋としてシグマに仲間入りしたが、日本の国際的地位の変化を身を以て感じた。私が初めて核データ国際会議に参加した 1978 年 Harwell の会議では、参加者 200 名弱の内日本からの参加は若輩の筆者を含めて僅か 5 名であり、日本の寄与も決して威張れるものではなかったと思う。私の発表は Be 二重微分断面積の実験データを計算値、ENDF/B（当時は version IV）と比べ ENDF/B の問題点を指摘したものだったが、まだ国内外の事情もよく分からない中で恐る恐るといふのが正直なところであった。幸い、当時 ENDF のボスである Pearlstein 氏に渡したコピーがロスアラモスの L. Stewart や P.G. Young 氏らに渡ってコンタクトができ、ようやく世界の仲間入りができたという思いであった。この頃から 80 年代にかけては高度成長の中で大学や研究機関に様々な加速器や実験装置が設置され、核融合やトリウム炉など特定枠の科研費が手当てされるなど、核データ実験にとっても右肩上がりの時代であった。我々もその流れに乗って世界のトップランナーとして実験を展開でき、国際会議への参加者や発表件数も鰻登りとなって、日本の貢献度を実感できるようになった。

その後も実験の隆盛は続いているが、各大学や研究所でのこぢんまりした実験から、阪大核物理センター、放医研、J-PARC などの大型装置を用いた機関横断、All Japan 的な実験へのシフトの傾向が明らかになってきた。トップレベルのデータが得られていることは心強いが、一方では、大学等でのアクティビィの低下を意味し、世界的な加速器施設の閉鎖とともに、科学分野の人材育成の観点から憂慮すべき面があり、見直しを進める必要があると思う。

東日本大震災と引き続く福島原発事故は日本社会と原子力界に大きな反省を迫るものとなった。巨大津波、原子炉の過酷事故という起こりえる事態に対する想像力と備えを欠いていたことには弁解の余地がなく、原子炉工学から距離のあるシグマ分野にとってもまず反省が次への出発の前提になるべきと思う。一方、この災害・事故によって、それまで顧みられることの少なかった様々な知見や情報の重要性がクローズアップされた：今回の津波に匹敵する巨大津波の痕跡が地質学者の地道な研究によって明らかにされていたこと、環境放射能とその動態に関する長年の測定と分析、原子力事故時の対応に必要な情報とデータ、の重要性等。私が知る限り、事故対応に使われた情報やデータのほとんどは IAEA や ICRP によるもので、日本では食品基準ですら事故後に“暫定的”に

定められたもので、事故直後の無策とともに国内での備えの甘さが露呈された（こうした問題の背景に、専門性と現場を大事にしない、誤謬を認めない、という日本のお役所システムの問題があると思うが、本題からはずれるのでこれ以上触れない）。普段、光があたりにくい不可欠なものがあることを改めて思い知らされた。従来から「縁の下の力持ち」と言われてきた核データもそうであると短絡するつもりはないが、やはりその重要性は改めて指摘されて良い、と思う。核データは、原子力はもとより放射線や中性子の利用に不可欠であるとともに、良く知ることはより良いシステムの設計を可能にするもので、要求される内容や精度が変わることはあっても必要なものであり続けると思う。原子力の今後は甚だ不透明であるが、膨大な貿易赤字を見るにつけ、安全最優先を前提に、方向性は自ずと明らかであると思う。

今後について勝手な意見を言わせていただければ、「結果の信頼性までを的確に予測できるようにすること」、及び「必要なときに必要なデータを得ることができるようにすること」、が核データに期待される方向性のように思える。前者にはデータそのものと共分散の高精度化、後者にはデータとコードのパッケージ化、がキーになると思われる。後者では輸送計算までできてしまう統合システムが目指すゴールである。これらを進めつつ、これを開発できる、中身を知り扱えるような人材を育成することが、今後シグマの向かうべき方向の一つと思える。「行うは難し」であるが 50 年前のように思い、夢もまた重要と思う。

シグマ委員会と私の人生

東京工業大学

吉田 正

tyoshida@nr.titech.ac.jp

シグマ委員会 50 周年ということで、本誌の「シグマ委員会創立 30 年記念号」(1993)を開き年表に目を通す。これによると 1963 年 1 月 28 日に学会理事会が「シグマ (臨時) 専門委員会」の設置を承認したとあり、ここに全てが始まったことになる。のちに 16 年にわたり奉職することになる武蔵工大 (現東京都市大学) の研究炉が、その翌々日の 1 月 30 日に臨界に達したとの記載もあり、奇縁を感じさせる。半世紀も前のことである。

私が日本原子力事業 (NAIG) に入社した 1971 年の欄には、東大「弥生」が臨界となり、JENDL ワーキンググループが発足したとある。修士まで山田勝美先生のもとで核理論を学び、NAIG 入社後すぐ高速炉部門に配属された。上司の故飯島俊吾さんのはからいで早くからシグマ委員会のメンバーに加えて頂き、核データの仕事に携われたのは、大きな僥倖であった。核データの仕事は、細く長く、その後の私の人生を貫くことになる。

当時、高速炉の炉心核計算は、自己遮蔽因子テーブルを持つ Bondarenko 型の 25 群定数を用いて行われていた。3 メーカーはそれぞれ独自の 25 群定数を開発し、私のいた東芝グループでは、飯島さんと川合将義さんを中心に NNS-5 という 25 群定数を開発し、「常陽」マーク I 炉心の核設計にはこれが用いられた。私の入社以前から、シグマ委員会は JENDL 作成に向けて動き出していたわけだが、私は「評価済み核データライブラリー」の意義を十分理解してはおらず、Bondarenko 型の 25 群定数があれば十分じゃないの、くらいの認識しか持っていなかった。自らの不明は恥じるとして、半世紀先 (つまり現在 ~) をも見据えた、JENDL を開発するんだという先達たちの大きな決断には最大の敬意を表したい。

1974 年にはシグマ委員会内に崩壊熱核データ WG が発足し、私は、飯島さん、故中嶋龍三さんらの指導を受けながら、理論計算を担当することになった。結果的には、その後 40 年にわたり FP 崩壊熱に係り続けたことになる。そこでは故田坂完二さんをはじめ国内外の多くの方々に、ご教示ご指導をいただいた。その間の経緯については学会誌「アトモス」2012 年 3 月号を参照頂けると幸いである。崩壊熱核データ WG はその後崩壊熱評価 WG となり、来期、平成 25 年度からは核種生成量評価 WG と統合され、より拡大された視野で活動が継続される予定である。

あれから 40 年、私は東京都市大を退職し、現在は東工大に籍を置かせて頂いている。そこで、neutrino による炉心監視に興味を持つ学生さんと議論しているうちに、40 年にも

わたりベータ崩壊を相手にしながら、その根源にある弱い相互作用を十分に理解していないことに気づき、千葉敏さんに相談したところ「クォークとレプトン」という本を紹介いただいた。この2か月をかけてこの本にあっさり目を通し、得るところはたいへん大きかった。千葉さんのご教示もいただきながら、「第12章 弱い相互作用」を目指して丁寧に読み進めてゆくのが楽しみである。とはいえ、「少年易老學難成」をつくづく実感してもいる。



1995 年ころの思い出

元日本原子力研究開発機構

中川 庸雄

シグマ委員会ができて50年経ったという。これは日本で組織的に核データの整備を始めてから50年経ったということでもある。この50年間の最大の成果と言えば、JENDL だと思う。その最新版は2010年に公開された JENDL-4.0 である。JENDL などの成果は、インターネットを通して国内はもとより海外でも広く利用されている。歴史をさかのぼってみると、原研の核データセンターが WWW (World Wide Web) のホームページを作成してインターネットによる核データの公開を始めたのは、1995年のことであった。アメリカ国立核データセンター (NNDC) と NEA データバンクのホームページの公開はその前年であり、遅れること僅かに数か月から1年程である。

私が WWW を知ったのは1994年11月だった。当時使われていたブラウザは Mosaic が主であったと思う。ブラウザでいろいろな情報を見ているうちに韓国原子力研究所の張鍾和 (Chang Jonghwa) さんの核データチームが WWW 上で核図表を公開しているのを知った。それを見て、日本は大分遅れをとっていると思った。当時、シグマ委員会には「JENDL-3 普及方策検討小委員会」があり、JENDL を広く使ってもらうための方策を模索していた。JENDL 普及のために我々も早急にホームページを作らなければならないと痛切に感じた。全く偶然のことであるが、幸いにも私は原子力研究交流制度の一環でその11月下旬に Chang さんのチームを訪問することになっていた。韓国に着くと、早速 Chang さんに核データチームのホームページについて質問し、ホームページを作成するた

めの簡単な手ほどきを受けることができた。

実際にホームページの作成を始めたのは 1995 年 2 月である。それまでに、深堀智生さんが中心になって、核データセンターが管理していたワークステーションにメーリングリストや WWW サーバーなどのソフトをインストールした。1 月 17 日には阪神・淡路大震災が起これ、多数の情報がインターネット上で交換され話題となった。多くの人々がインターネットの利用法を模索し、その情報伝達力を実感していた時期であった。我々も 2 月 1 日にメーリングリスト JNDCmail の運用を始めた。ホームページについては、簡単な試作版を作成して核データセンター内に公開したのが 2 月 6 日。更に改良したホームページを原研外のシグマ委員数名に試験的に公開したのが 3 月 1 日であった。3 月上旬には、当時最新版であった JENDL-3.2 の数値データをダウンロードできるようになった。3 月末には JENDL-3.2 の 300 K の pointwise データを載せた。4 月上旬にはホームページを仮オープンした。

その後もホームページの改良を続けた。6 月には、JENDL-3.2 から作成した断面積の図を載せる作業を行った。図は jpeg と gif 形式で提供できるようにしたが、手作業の部分が多く、かなり時間を費やしてしまった。また、Chang さんが作成した断面積作図機能 (endfplot) を提供してもらい、サーバーにインストールした。7 月には、Chang さんが来日した折に endfplot の修正をしてくれた。7 月末からは核図表の作成を開始した。核データセンターは 4 年毎に核図表を作成していた。その WWW 版を作ることにしたのである。核種の性質を表す図柄や色などは印刷版とほぼ同じにした。WWW 版の核図表は 8 月末に完成した。見た目にもきれいで、Chang さんの核図表にひけを取らない出来であった。核種を表す枠をクリックすればその核種のいろいろな情報を表示できるようになった。JENDL の数値データを検索する機能もこのころ完成した。その後もホームページの改良を続け、現在は多くの核データ関連情報を提供している。このホームページは、間違いなく JENDL の普及に一役買っていると思っている。

もうひとつ、インターネット関係の思い出として「第 1 回インターネット核データシンポジウム (ISND-1)」のことがある。1995 年 12 月下旬、WWW と e-mail をうまく使えば国際会議ができるのではと考えついた。WWW 上で発表論文を公開し、それについての質問や返答を e-mail で交換する。論文を載せるサーバーは発表者の近くにあるサーバーが良い。質疑応答は WWW に載せて誰もが見えるようにする、というものであった。うまくいけば、会場や旅費の問題を気にせずに核データの会議ができると思った。早速、会議の案をまとめ、実行委員をシグマ委員数名に依頼し、御用納め迄に実行委員を決めた。年が明けると実行委員の間で e-mail による議論を重ね、1 月中旬には第一次案内を JNDCmail に流した。下旬には英文の案内をホームページに載せた。この呼びかけに対して最終的には 26 件 (海外から 3 件) の発表申し込みがあった。会議は、4 月 8 日から 6 月 15 日までの約 2 か月のあいだ行なった。私は 4 月から外部へ出向になってしまい、4

月以降の会議の進行とまとめは深堀智生さんがやってくれた。しかし、結果は残念ながら「成功」と言える状況ではなかった。論文へのアクセスはあったが e-mail による議論が全く進まなかったのである。準備期間を長くとり、雰囲気を高めることが必要だったのかもしれない。この会議の記録としては、会議の案内が核データニュース No.53、会議の報告が核データニュース No.55 にそれぞれ載っている。26 件の論文をまとめた報文集は JEARI/Conf 97-004 (1997) として発行されている。

シグマ委員会 50 周年にあたり、インターネットを利用し始めた 1995 年ころのことを思い出したので、当時のメモを基に拙文を書いてみた。今では核データ評価研究グループのホームページを通して、核データ活動 50 年の成果が多数公開されているが、そのデータが「古く」ならないように、データの質を高める努力が常に必要であろう。シグマ委員会や核データ評価研究グループ、核データ部会の今後の活躍に期待している。



シグマ委員会 60 周年を目指して

東京工業大学 原子炉工学研究所
井頭 政之
iga@nr.titech.ac.jp

シグマ委員会が 50 周年を迎えたことは御同慶の至りです。シグマ委員及び関係者の絶え間ない努力に敬意を表するとともに、陰に陽に支援を頂いている関係各位に心より御礼を申し上げます。

さて、前回のシグマ委員会 40 周年に際しては、JENDL-3.3 が前年の 2002 年に公開されたばかりの時期でもあり、「シグマ委員会をメーカーに例えると主要開発製品は JENDL であろう。良い製品を開発しても売れなければ優良企業にはなれない。」「JENDL は果たして十分に売れたであろうか？」等と書いた。

核データ研究開発を推進するのは大学や研究機関等であり、これらをエンジンに準えれば、シグマ委員会はさしずめナビゲータであろうか。また、実験装置と理論計算プログラムは、少し無理気味かもしれないが、ホイールであろうか。

理論計算プログラムについては、JENDL-3.3 以降、国産の CCONE や POD 等が開発さ

れ、2010年に公開された JENDL-4.0 の評価に大いに用いられた。時期を得た開発者の努力に大いに敬意を払いたい。

実験装置についてはどうであろうか。大強度陽子加速器施設 (J-PARC) の物質・生命科学実験施設 (MLF) に中性子核反応測定装置 (ANNRI) を設置する気運が高まり始めたのは ND2001 の頃であり、2008年5月末に初ビームを受け入れることができた。しかし、ANNRI での核データ測定結果が公表されたのは ND2010 が殆ど最初である。即ち、成果が出るまでに約 10 年の歳月を要した ANNRI での測定結果は、残念ながら JENDL-4.0 には殆ど反映されていない。

大学や研究機関等の核データ活動はどうであろうか。全くの主観だが、大学での活動がやや低下した反面、研究機関等の活動が少し活発化し、トータルでは平衡状態を維持している。しかし、大学での活動低下は人材育成の低下を意味し、ひいては研究機関等での将来の活動低下の要因となる。即ち、トータルとして核データ活動の低下に繋がる。

最近、CIELO (Collaborative International Evaluated Library Organization) の考え方が提案されており、今年3月に開催される ND2013 の Opening Talk となる予定である。CIELO は世界共通ライブラリの布石と捉えるのが自然であろう。

次の 60 周年を目指すためには、ナビゲータであるシグマ委員会は何をすれば良いか？ JENDL 委員会及び核データ部会等と緊密な連携を取り、今後 10 年間の戦略を可及的速やかに策定し、核データ・カーを目的地に向かって適切に誘導することを期待する。



雑感（原研での核データ測定の思い出）

東京工業大学

水本 元治

mizumoto.m.aa@m.titech.ac.jp

私が JAEA (旧原研) に入所したのは昭和 44 年ですから、もうかれこれ 40 年以上も前のことになります。当時、原研での中性子核データ研究は、物理部の 3 つの研究室で行われていました (核物理第一研究室でのヴァンデグラフを用いた高速中性子測定、核物理第二研究室での電子リニアックを用いた低速中性子断面積と核構造関連の測定、核デ

ータ研究室での評価研究です)。研究室の人員構成は、実験系でそれぞれ研究者が約 10 人、技術者が約 5 人 (総勢約 30 人)、また、第一研究室には理論屋さんが 2~3 人、核データ研究室には 5 人前後の人達がいたと思います。

今と比較するとかなりの人数で研究が行われていたことが分かります。また、当時、研究所には、計算センター、エレクトロニクス課、工作工場、分析センターなどのグループがあり、装置や解析方法開発などの支援を行っていました。こう書くと、現在、少人数で、技術スタッフの支援が乏しい中で苦勞している人達からみるとうらやましい状況に映るかもしれませんが、当時は、加速器、測定装置、計測システムなどを研究所外に発注するにしても、十分な体制が整っておらず、測定に必要なことは、研究所内で行わなければならない状況にありました。

研究者は、毎日のように、ドリル、金槌、鋸、はんだごて等を使って測定器の製作や整備をし、回路系の故障は自分達で直すのが一般的でした。加速器も、研究室単位で、運転、保守するものでした (電子リニアックですら研究室の手作りでした)。また、パーソナルコンピューターの無い頃でしたから、データ解析には、研究所に一台あった大型計算機を使用しました (その性能は、現在、家電専門店で 5 万円位で購入できる PC より劣るものであったように思います)。データの輸入はカードで、計算の入力から出力を得るまで、最低 3 日等というのがざらでした。今の人達は、私達が経験したように、データを一点一点自分で方眼紙にプロットしていくことなど多分無いでしょうし、実験の制御プログラムを機械語でプログラムするなどということも無いでしょう。今から考えてみますと、すべからく非効率極まりない、しかし、それを当然のこととして甘受していた時代です。

反面、そんな時代でしたから、今と違って何をやっても、既に誰かがやっちゃっているといったある種のあきらめや恐怖はありませんでした。興味深い新しい研究の芽は至る所にありましてし、有能であれば、世界の最先端を突っ走ることなども可能だったのではないかと思います。つくづく、もうちょっと頑張っていればと悔やまれてなりません。

しかし、核データの実験的研究や評価の仕事の基本的な中身は、この間にそれほど変わっていないのではとの印象も持っています。昔から測定の困難なデータの精度は相変わらず十分ではありませんし、反応のメカニズム、核特性など分からないことも山積のようです。新進気鋭の研究者の活躍の場はまだまだ至る所に転がっています。また、新たに建設された J-PARC の施設で中性子核データの興味深い実験が開始されました。様変わりした実験環境の中で、私も、若い人達と共に、大いに楽しみながら参加させてもらっています。

ところで、原子力分野での現在の最大の関心事は、残念なことではありますが、福島原発事故でしょう。その原因は今後もっと明らかにされていくでしょうが、一つには、知識や技術が体得されてこなかったことにもあるようです。最近の技術の発展は目覚し

いものがありますが、一方で、それらを使う人たちの技術や心構えがその発展についていないということも指摘出来そうです。様々な機器が専門の業者の手によって製作され、コンピュータの発達で、データ解析は効率良く行われ、見事な図面があつという間に出来上がるご時勢です。しかし、それらの新鋭の機器や見事な図面も、実際の物に即した知識を身につけていなければ役に立ちません。ここに、古い時代の手作りの利点も見えて来そうです。

しかし、今更昔に戻って手作りだというのは不可能です。そこで、技術の取得や訓練のツールとしてコンピュータの技術を活用すべきだというのが考えられる現実的な対応策です。ネット上にある豊富な情報や知識を有効に使い、IT 機器を駆使して即座に情報を検索、その信頼性を見分け、それを利用するまでのタイムラグをできるだけ短くする。さらに、最も重要な知識は常に内部メモリーに常駐させて（自ら頭脳に記憶して）おき、それらをもとに I/O 機器（つまりは自分の手足）を即座に動かす、などなど。起こりうる諸々の事象に的確に対応するのにこれらの技術が役に立つでしょう。しかし、これは、結局、昔の人が言ったように、繰り返し、繰り返し訓練を重ね、技術を体で覚えておけということと本質的には同じことです。

我々熟年も含めて現代人は、好むと好まざるとに関わらず、アクセスしなければならない膨大な情報にサラされています。これらの情報を自ら実験で検証し、得られたデータを収集し、かつそれらの信頼性を吟味し、利用しやすい形に整理し、利用する。これらのことは発足以来、核データ分野の研究者が積み上げてきたノウハウでもあります。この情報過多の時代、今後とも核データ活動を持続・発展させ、その知識や手法を一般の人達に普及し体得してもらうことによって、社会に大いに貢献していくことが核データ分野の研究者に課せられた使命ではないかと思えます。



シグマ委員会 50 周年で思うこと

長岡技術科学大学

片倉 純一

j_katakura@vos.nagaokaut.ac.jp

シグマ委員会 50 周年とのこと、基礎・基盤的な地味な活動が半世紀も続いてきたことは驚くべきことである。この間、シグマ委員会の事務局を長く続けてきた日本原子力研究所（原研）の核データセンターは、原研の日本原子力研究機構（原子力機構）への改組に伴い、原子力機構の核データ評価研究グループへと衣替えをした。この変更は単に名前の変更ということだけではなく、研究が主体でセンター業務は陰に隠れてしまったことを意味している。また、原研のシグマ研究委員会も原子力機構の JENDL 委員会へと変更になった。更に、日本原子力学会（学会）のシグマ特別専門委員会も常設の委員会から 2 年毎に更新手続きが必要な通常の特別専門委員会となった。これらの変更は一義的には組織の改組に伴うものではあるが、委員会の変更は目的の明確化、透明化等社会的な要請の一面をもっている。旧来の原研と学会が一体となつての活動というよりは学会、原子力機構のそれぞれの委員会の役割を明確にし、かつ連携を図っていくということが求められているとも言える。本稿が掲載しているこの「核データニュース」も旧来の原研-学会の一体となつたシグマ委員会活動ではなく、学会の核データ部会の活動となっている。このような大きな変化にさらされながらも学会の特別専門委員会や核データ部会、原子力機構の委員会が機能的に連携して、核データ活動が今なお活発に続けることが出来ているのは、学会の他の常設特別専門委員会が既に無くなったことを考えれば、これまでの諸先輩がシグマ委員会のもと多くの実績を上げてこられた賜物であると新ためて感じ入る次第である。

翻ってこれからのシグマ委員会（上に述べたように旧来とは意味が異なって来ており、再定義が必要であろう）を考えてみるに、上で述べたような変化に加え、一昨年の中東大震災、それに続く福島第一原子力発電所の事故が発生したことは、基礎・基盤的で地味な核データ活動に対しても、何らかの影響を与えることになることと思われる。福島第一以後の脱原子力、嫌原子力の風潮の中、原子力利用としての核データについても新ためて問い直す必要があるのかもしれないが、核データの核となるのはやはり、原子力利用であろうと思われる。そもそも、核データ活動は原子力利用のために始まったものである。原子炉や核燃料に関しての中性子の振る舞いの基礎となるのは言うまでもなく中性子と物質の構成元素の原子核との核反応を表す断面積データ、即ち、核データである。このため、核データと原子力利用、特に炉物理とは当初から切っても切れない関

係にあった。昨今、核データの応用分野も広がり、医学や加速器あるいは宇宙での元素合成等でも必要とされるようになってきている。そのこと自体は大変喜ばしいことではあり、今後の核データ活動でも重要な一翼を担っていくことは間違い無いと思うが、原子力利用としての核データは核データ活動の基本であると言うことが今の風潮の中ないがしろにされるのではないかと若干危惧される。

最新の評価済核データライブラリ JENDL-4.0 が 2010 年に公開され、米国の ENDF にもその評価の一部が採用されるなど国際的にも高く評価されているが、このように高い評価が得られているのは利用側で実施された様々なベンチマーク計算の結果が評価に反映されているからと思っている。原子力利用で要求される計算精度を達成するには評価側単独では不可能で、利用側からのフィードバックが常に重要である。JENDL を核とする日本の核データ活動はこの評価と利用の連携がうまくとられて来ており、その連携の上に JENDL-4.0 を始めとする多くの実績が積み重ねられてきたものである。このような連携があり精度の向上がもたらされた実績があることによって、他の分野への利用も進めることが出来て来たのではないかと理解している。核データ評価に利用側からのフィードバックが掛るような要求精度があるのは、依然として原子力利用なのではないだろうか。核データ評価は単にデータの需要を満たすだけでなく要求精度を満たすような質の高さがあることによって成り立っていると思っている。このためには言うまでもないことであるが常に利用側との連携が不可欠である。

もちろん、核データ活動をこれからも活発に続けていくには、若い人たちの力が必要で、若い人たちにとっても魅力のあるものでなければならないことは当然である。それをどのように構築していくかということは今後の活動に当たっての大きな課題である。単に今までの活動の維持・継続ということだけでは立ち行かなくなることも明らかであろう。世界的に見ても、核データ評価に携わる人たちは高齢化により、年々減少してきており、技術や知識の継承が問題となってきたのも事実である。ただ、このような状況はある意味、過去のしがらみを断ち切り、核データに係る新たな枠組みを国内のみならず、国際的にも構築してゆく良い機会なのかもしれない。

シグマ委員会 50 周年という節目に当たり、まとまりも無く思うところを書いてみた。核データ活動の新たな枠組みを構築し、更なる活動へと発展することを期待する次第である。



シグマ 50 年・思い出すことそして今後への期待

元日本原子力研究開発機構

長谷川 明

Hasegawa_a@mvc.biglobe.ne.jp

かつてバブル華やかなりし頃、会社の寿命は 35 年ということが盛んに言われたことがあった。会社は、どんなに長くても、35 年位で賞味期限は終わり、衰退していくというのが意味するところであったのだが、それをはるかに乗り越えての 50 周年まことにおめでたい。

私も、シグマ委員会に参加して 40 年以上が経過し、その後退職して現場からも離れて久しい。今浦島の状態にあるのだが、この機会に、その間の折々思い出すこと、記憶の底に残っていることを記してみたい。

国産の核データを用いて原子炉を設計したいと言う熱い思いを抱いて、日本全国から手弁当に近い形でこの活動に参画した関連分野の専門家（核データの測定者、評価者、編集者、利用者）の方々のたゆまぬ努力と、日本全国の利用者からのフィードバックにより、いまや世界に認められる第 1 級の核データファイルである JENDL-4 が完成している。シグマ委員会と言う組織は、当初からボランティア活動が主体で、ALL JAPAN を指向した組織であった。

1970 年代になると、電力生産炉としての軽水炉（熱炉）はもはや実用炉で研究開発の対象とはなりえないとの時代の要求の基、次世代の炉として的高速炉である、常陽・もんじゅを対象に、素姓の分からないデータは用いたくないとの一念から、国産核データファイルはスタートしている。それまで、使われていた、英国のファイルである UKNDL などを嚆矢とした、日本の利用者にとって中身が全くのブラックボックスである借り物ファイルからのくびきを逃れるべく産官学が結集して日本独自の核データファイル JENDL をつくろうということになった。当時、炉物理核計算用の多群定数セット JAERI-Fast-Set (70 群、25 群) が開発され、我が国独自の群定数による高速炉の炉心設計が主流となる流れの中で、さらに中身の分かった微視的核データから整備しなくては、最終的には完結しないとの問題意識がその出発点であった。核計算等の利用に当たって、問題点がでて、すぐにそれに関連するデータまで、またその評価者まで立ち戻れることが出来ることの重要性がその根底にあった。そのため、こういった試みが当時実際に出来るかどうか、試行ファイルの作成が行われスタートしたのが、JENDL-0 であり、これは、JAERI-Fast-Set を再現する微視的核データファイルの作成で、国産ファイルの実現可能性を追求したトライアルケースである。その後、シグマ委員会で行った評価の結果

をまとめた JENDL-1 が編集された。

その後、当時の最新ファイルである ENDF/B-V の非公開、それに対抗すべく立ち上がった JEF (Joint Evaluated File) の新規開発等の暗黒時代を乗り越え、その時々ニーズを基に日本の核データファイルをどう展開していくか目標を定め、基本データのあり方を検討し、実用ライブラリーとしては、JENDL-2 から、4 までを開発してきた。この間、常に各分野のトップクラスの人年間数十名がほとんどボランティアで参加し、JENDL の作成を支援してきた。今から振り返っても、実にまとまりのよい、実行力に富んだ、効率の良い組織であった。日本のシグマ委員会 (JNDC) の組織そのものは、欧州等でもまねられ、その後の JEFF (Joint Evaluated Fission and Fusion) の開発ではこの開発形態が JEFF の作業をものすごく効率化することになった。

核データの国際協力では、NEA、IAEA の 2 大組織を中心に、核データ各分野での協力が今でも続いている。この間、核データに関する文献情報である CINDA の中止、実験核データの EXFOR への登録の遅れによるデータ利用の不便等が現実には続いているものの、作業が止むことはないと思信している。核データについて言えば、いまや、絶滅危惧種とまで、原子力機構内部では言われているらしいが、この状況をどう変えていくか。これはかなり難しい問題である。炉物理が一時「もう研究することがない」というようなことを言われていたが、確かに計算手法等は確立されてきており、最後の計算精度を決めるものは、入力定数となる核データによるとの結論となっている。また、この定数 (核データ) は、まだ確立されておらず、測定、評価 (理論計算を含む)、編集、利用フィードバックといった過程を経て決定されるため当面 open-end となっており、現在でもなお、ひたむきな、縁の下の力持ち的なこれらの作業が担当者により精力的に続けられてきているし、今後も続いていかざるを得ないと思うが、絶滅危惧種とまで言われているような現状では、果たして続けられるだろうか心もとない。

それを救うべく、国際統一ファイルの動きが出ている。これまでも、核データに関する国際的組織の再編の際には折にふれ登場していた問題である。確かに、今言われている、国際ファイルにも一理はある。ユニバーサルコンスタントである核データに各国版はいらない。それも確かではあるが、本当にそれで済むなら、あまり問題はないだろう。しかし、現実はかなりちがっていると筆者は考えている。現実には、各ライブラリー内に存在する誤差のたまたまの相殺により各ファイルが同じような (それぞれが高精度を誇示する) 結果をもたらしているのであって、本当のユニバーサルには程遠いものがある。ただ local なファイルは、各国が自国の目的と自国の利用者の利益のために作成しているのであって、かなり目的化されている (ある程度のバイアスがかけられている) と思っ

ている。JENDL は、世界一を目指してきたのも事実、それに向かって、シグマ委員会が、日本が、All Japan であってきたのも事実。まだ統一されるまでにはかなりの道のりがあると思っ

これまで、国際関係の軋轢もいっぱいあった。ENDF/B-V の非公開の話はすでにしたが、その際にも JENDL と JEF のつばぜり合いがあった。一時（1980 年代初め）は、JEF への統合も要請されたが、JENDL の独立性と、目的、方向の違いから統合に乗ることなく JENDL の開発が続行された。その他、他グループからの強圧的な協力要請と公開時期の延期の問題等々、現場ではいろいろと問題が起こったのも事実である。

福島原発事故以来、原子力に対する期待と理解はすっかり変わってしまった。今後、原子力の中での、核データの重要性はどう評価されるのか。将来炉の優先度が後退した時に、喫緊の課題としてのデータ要求は意味を持つのであろうか？ 基礎核データの重要性・必要性は論をまたないと思うが、この作業への資源配分の低下は JENDL の現状維持すらおぼつかなくなり、将来さらなる危機的水準への低下を意味することになる。それで果たして、日本の責任は果たせるのだろうか。

原子力のメリットと自然災害の大きさと人工物である原子力機器との相克にどう折り合いをつけるのかも問題である。自然の力は計り知れない、世の中で可能性のあることは起こりえるのである。原子力の事故もそれを免れることができないものである。事故は時間積分したら、かなりの確率でおこるのである。これまで 30 年間で 3 回も大事故を起こしている。今回の事故は、いろいろ問題はあっても、人の造ったものの弱さを明確にしたと思っている。計り知れない自然の力の前で、そういう状況に陥ったら、自動的に事故シークエンスが進んでしまう、原子力の持つ、モンスター的な力に対し、人は制御できるのか？ その辺の、理解なくしては、我々は、次に進めないと思っている。今、我々は、大きな曲がり角にきているのも事実であろう。今の状況を考えると、次世代炉は喫緊の課題となるのであろうか？

核データが物理データであり、ユニバーサルなデータであることは論をまたない。核データが複雑な手順を経て、特に評価という非常に高度な knowhow を駆使した作業の後に生まれてくることから、使えるまでになるデータの生産には極めて多大な人的資源が必要とされる。また、これらは全く地道な作業であり、膨大なエネルギー域に対して一本の線を引き評価専門職としての職人的な技術が要求される。データが必要とされる核種数は多く、最近では不安定核種までもがリクエストにあがってきている。当然、評価値としてのデータの唯一性、網羅すべき核反応・エネルギー域の完全性を担保する必要があり、そして今やデータの信頼性を表すための共分散データが利用側からは当然として求められる時代に入っている。これは、利用側からの、本来核データの評価作業というものが、共分散データの作成と等価であるとの認識から出てくるのであるが、これまでの作業の経緯、作業量からははなはだしく作業量が増えることになり、現実の進捗ははかばかしくない。これら共分散評価作業の効率化を目指しての、メカニカルエヴァリュエーションや、理論核計算の試みは既に何回も俎上に上がったが、今もって実現できていない。構成核子が 300 に近い多体系の精度の高い理論計算等出来るはずもなく、唯

一測定頼みの現実を前に、志は折れるほかないのが現状であろう。では、何ができるのだろうか。

当面の目標は、最新の JENDL ファイルが再現できる、全てのデータが格納されたデータベースの整備にあると思うのだが、いかがであろう。JENDL が生まれてくるデータベースの構築、それには、EXFOR に代表される測定核データのデータベースとその利用システムの拡充と、核反応理論計算システムの整備拡張、それらを基にした、評価支援、編集支援が必須である。さらには、各原子力システムの利用のための利用支援、評価者や同じような利用者の為の利用結果のフィードバック情報支援と言った各種の支援システムを整備し、測定データから、最終利用までが完全に一体となったデータベースの構築が求められていると、強く感じている。幸いなことに、作業の基本となるかなりのもの（核データのホームページを始め）はできている。それらを基に、既存のシステムで統合出来るものは統合し、どうしても必要なものを新たに開発していく事にして、それらを IT クラウドの形に、シグマ委員会が中心になり、全員参加型で作成しつづけていけば、最終形が出来るのではないかと思っている。利用者がこのデータベースを常に使っていくことにより、最新の利用知見が積み上げられると同時に、評価作業へのフィードバックや、延いては測定へのリクエストまでも出来る事になり、データ測定から利用までもが完結することになる。

原子力のインフラとしての核データは全ての原子力の開発にとって必要不可欠のものであり、これはまた、原子力以外の他分野の幅広い応用にも貴重なデータとなるものである。次の 50 年へ向けて、JENDL を通してのシグマ委員会の更なる発展を願ってやまない。



シグマ委員会 50 周年を迎えて

高エネルギー加速器研究機構
(元東芝原子力技術研究所)
現環境省福島環境再生事務所
川合 將義

MASAYOSHI_KAWAI@env.go.jp

日本に米国の原子力発電が導入決定されて 50 年余、それと期をほぼ同じくしてシグマ委員会が 50 年の年月を経た。去年の 3 月には東京電力福島第一原子力発電所で、東日本大震災後の津波による電源喪失によって炉心溶融次いで水素爆発を経て 4 基もの原発が破壊され、東日本の土地を汚す事態を引き起こした。その原因は未曾有の天災と言われているが、日本の原発開発の師とする米国の安全設計を疑わず、それ以降の原発で取られた電力系統等の日本的な設計思想のバックフィットを怠った咎も指摘されている。日本のメーカーが、GE の設計を日本の地勢を考慮してレビューさせて欲しいと申し入れたが、ターンキー契約故に断られたとも聞く。同じ時期に導入された台湾の原発が、建設後ほどなくして洪水にあったが、全く米国設計という訳でなかったので重大事故にならずに済んだと聞く。これは、ものの本質に取り組む思想につながっている。

核データと言えば中性子と物質との核反応を定量的に評価するための基礎データである。50 年前の核データと言えば、唯一 BNL-325 の断面積の図表があって、重宝した。測定データと部分的に評価曲線が付いていたように覚えている。図表にはデータが欠落している核やエネルギーが多かった。それでも、理論計算や経験則で補足して作られたであろう断面積の群定数を用いて原子炉が設計され、うまく稼働していた。軽水炉だけでなく、高速炉の EBR-1 も 1951 年に稼働していたから驚きである。これらは、臨界模擬実験の知見とともに本質を離れない炉定数のおかげであろう。ただ、経済的に見合い、安全性の高い原子炉開発のためには、より精度の高い核データが要求された。この要求に応えるべく全日本的な形で核データの整備作業に取り組んだのがシグマ委員会と言える。

私は、シグマ委員会の発足（1963 年）から 5 年後に社会に出て、核データ評価活動に取り組む事になった。会社（NAIG）の先輩であり、やがて上司になった飯島俊吾氏に誘われたからである。この頃の実験データは疎らであり、実験による食い違いも大きく、評価値を決めるのは容易でなかった。それゆえに論文を一生懸命読み、データの善し悪しを判断した。実験値を一点一点方眼紙にプロットした。その上に計算値を重ね、最後に評価曲線を引き、炉定数を作った。そして日本で統一的なライブラリーを作ろうということで、産官学の人がボランティア的に集まって核データ評価を開始した。途中、

ENDF/B-III、-IV 等が入ってくると、それを使ったら良いのではという声も無かった訳ではない。それでもシグマ委員会は、核データの本質を目指して活動を続け、今では世界一ともいえるべき JENDL-4 と原子炉の崩壊熱計算の標準データである JNDC FP 核データを完成させた。このメモは、私が関与した活動についての記録である。

(1) JENDL 開発に至るまで

私が社会に出た 1968 年は、高速実験炉の設計が始まった頃である。核設計には、原研で開発された多群の 1 次元拡散コード EXPANDA が使われた。断面積データ（群定数）は、ソ連の 25 群の ABBN セットである。開発者の名前の頭文字を並べたものであるが、責任者の Bondarenko の名前で呼ばれることもある。この群定数は、共鳴の自己遮蔽因子を持ち、ドップラー効果なども計算できる優れたものである。その頃には、YOM セットやハンセンローチなどの群定数があった。高速炉の炉心特性についてのベンチマーク計算の結果、 k_{eff} でさえ数%を超える食い違いが報告されていたため、群定数を見直すことの必要性が認識されていた。私も、その作業を手伝う事になり、先ず、Pu-239 を評価した。丁度、ソ連からアルファ値 ($=\sigma_a/\sigma_f$) について従来より高い測定値が報告され、それが最大の関心事であった。そこで、実験値と評価済み核データライブラリー ENDF/B-III やドイツの KEDAK (KfK-750) の評価値を重ね合わせて一点ずつプロットした。一方、共鳴の自己遮蔽因子を得るため Strength Function モデルによる断面積計算コードを作成した。この頃のプログラムは、カードにパンチして作成するものである。連日、パンチングマシンに向かってしこしこ作った。飯島氏から「値はともかく、計算結果が出力できるまでにカード入力を 5 回以内でできたらビールをごちそうする」と言われて、必死にカードをチェックして成就できたことを覚えている。計算機に入力できるのは、1 日 1 回しかなかったので、目でデバッグしたのである。このコードには、共鳴の自己遮蔽因子の計算ルーチンも組み込んだ。また、この計算結果は、実験値の少ない中性子捕獲断面積などデータの無いエネルギー領域を補うのに用いた。

先ず核分裂断面積についてプロット図から 25 群の値をメノコで決めて ABBN セットの値と組み替えた。さらにアルファ値を決め、中性子捕獲断面積も決めた。その秋の原子力学会の折に Pu-239 を中心とした会合が開かれて、原研の西村和明氏や五十嵐信一氏や当時東大生だった菊池康之氏などを紹介された。これがシグマ委員会に入るきっかけになった。それから、U-235 や U-238 についても同様の処理によって修正し、上記プログラムによる共鳴自己遮蔽因子を置き換えて NNS-1 セットとした。米国 ANL における ZPR-6 等の高速臨界実験値の再現性を確かめ、ABBN セットより良い結果を得て俄然やる気が出た。

翌年、評価済み核データライブラリー UKNDL や ENDF/B から群定数を作成するコード PROF-GROUCH を開発した原研の桂木学氏が、シグマ委員会の炉定数専門部会内に炉定

数のワーキンググループを発足させ、ENDF/B や ENDF/A のデータを処理する事になった。私もこの WG に参加し、住友原子力の松延廣幸氏、日立の瑞慶覧篤氏、富士電機の中村久氏らと面識になった。その後、PROF-GROUCH による処理結果を原研で取捨編集して JAERI-FAST セットが作成され、動燃から高速炉解析の参照セットとされた。しかし、この頃、原研には、JAERI-FAST セットの外に 3 つの群定数があった。

一方、NAIG では、水田宏氏と亀井孝信氏が、共鳴の自己遮蔽効果だけでなく、異なる核の共鳴の相互的な遮蔽効果を正確に評価するために乱数を使って発生させた共鳴パラメータから温度依存のポイントワイズの断面積を作っていた。そこで、この断面積データを使って燃料核種の自己遮蔽因子のセットを作成した。さらに別途評価した中重核の群断面積で置き換え、臨界実験値の再現性を確かめながら NNS 群定数を更新していった。同様に他のメーカーも独自の群定数を作っていた。

1970 年頃に高速炉の専門家会議を東京で迎えた。この会議には、日本の高速実験炉の核設計について多くの講演がなされた。ところが、炉心の安全性に重要なナトリウムのボイド反応度についてまちまちの結果が出された。そこで、外国からは「日本として一体どれが正しいと思うか」と問われて、統一ライブラリーを持つことの必要性が認識された。その結果、シグマ委員会内で JENDL 作成の検討が始まり、原研、メーカー、大学が挙って協力した。とにかく、この頃は、高速炉の開発を目指して、核データだけでなく、解析技術の向上のため協力して行こうという機運がみなぎっていた。

(2) Pu-239 の評価

JENDL 作成の活動は、原子炉設計のための核種を対象としたものと FP 核種の 2 つに大別できる。後者は、JENDL 以前に軽水炉で重要な FP 核種の断面積の評価を受け継ぐ形で活動していて先行していた。前者の評価活動のため、重核と軽中重核の 2 つのワーキンググループ (WG) が編成された。私は、重核 WG に参加して Pu-239 (後の JENDL-3 で Pu-242 も) を担った。最初の頃は、測定データの格納システムが国内で未整備であり、文献を集めて、実験法などを吟味しながら測定値を 1 点毎にグラフにプロットした。おかげで、夫々の測定結果のエネルギー依存性や他のデータとの高低などが自然と分かり、測定法の完璧さも考慮して重み付けができ、いわゆる eye-guide で評価値を決めることができた。

一方、シグマ委員会内で断面積データの検索システム WG が作られた。メンバーは、原研の更田豊治郎氏、浅見哲夫氏、河原崎雄紀氏、法政大の中嶋龍三先生、船研の山越寿夫氏と吉村富雄氏、高エネ研の加藤和明氏などの錚々たる人に中川庸雄氏と私だった。最初は、システムとは何かと勉強しながら手探りでやっていた。当時米国の核データセンターでは SCISRS が、CCDN では NEUDADA が使われていた。我々は NEUDADA を基にした検索システムを作成することにし、データの格納検索システム NESTOR が中川氏

らによって開発された。さらに Calcomp のプロッタを使ってグラフを作成するプログラムも作られた。私も、このデータを読み取り、断面積を規格化してプロットできるプログラムを作った。Calcomp は、最初ペンの位置を mm 単位のピッチで与えて動かすために、斜めの線を引くのでさえ、ギザギザに動くなど、動作が非常に鈍かった。それでも、我々がプロットするよりは速く正確だったので、非常に助かった。また、描画の遅さは、測定値の特徴を理解するのに役立つ、そのことは、データの取捨選択に活かす事ができた。従って、今日のように一括して最小二乗法に任せたフィットよりは、測定値の個性を考慮した評価ができたと思っている。こうして決めた評価値が JENDL-1 としてまとめられ、1977 年に公開された。

1977 年の 4 月に遮蔽の国際会議出席等のため海外出張した折に、核データの評価に携わっていた BNL の A. Prince、M.R. Bhat や KfK の F.H. Froehner に会って議論ができた。そこで、彼らも我々同様に手書きでグラフを作り、eye-guide で評価値を決めていることを知った。また、Prince からは、ENDF/B-IV の Pu-239 の非弾性散乱断面積の評価に JUPITOR-1 コードで計算した直接過程の寄与を取り込んでいることを教えられた。それからまもなくして、KfK に留学していた NAIG 同僚の吉田正氏から KfK の K. Kari が彼の Pu-239 の 1 MeV 以上の核分裂断面積の絶対測定値を JENDL-1 と比較したところ、非常によく一致したという情報もたらされ、嬉しさとともに自分の評価に自信がついた。

JENDL-1 は、 10^5 eV から 15 MeV までのエネルギー範囲だった。そこで上限エネルギーを 20 MeV まで広げた JENDL-2 の評価が始まった。このライブラリーは、高速炉の核設計の標準ライブラリーとして性格づけられ、高速臨界実験値の再現性を保証することが義務づけられた。特に高速炉の炉心における U-235、U-238、Pu-239 の核分裂率の比などのスペクトルインデックスの再現性が重視された。従って、核分裂断面積の評価には、夫々の核種との相対的測定値のデータも考慮しての同時評価に近い仕組みで決めた。そのため、U-235 の松延氏、U-238 の神田幸則氏 (九大)、Pu-240 の村田徹氏 (NAIG)、Pu-241 の菊池氏と議論を重ねた。ANL の ZPR や ZPPR の臨界実験値の解析側からもたらされた情報は、Pu-239 の核分裂率が U-235 の核分裂率や U-238 の中性子捕獲率に対する比が過小評価されていることで、やむなく Pu-239 の断面積を実験値のばらつきの範囲で上げた。その結果、JENDL-2 は、もんじゅの核設計と大型高速炉のための模擬実験である JUPITER 計画の解析に使用され、日本原子力学会の特賞の榮譽を得た。面白いことに米国の ENDF/B-V も同様の性格を持ち、臨界実験値などの積分テスト結果に基づいた断面積調整がなされた。それもあってか、ENDF/B-V の主要データが非公開になり、JENDL 作成の必要性が一層認識された。なお、上述の Prince が計算した Pu-239 の直接過程の非弾性散乱断面積は、JENDL-2 にも採用した。このことは、JENDL の重核について非弾性散乱直接過程の最初の適用例として記録できる。

核データへのニーズが核融合炉や原子力施設の安全性解析からも強くなり、また、1970

年後半以降断面積の測定値が多く報告されたので、そのデータを考慮して JENDL-3 を作ろうということになった。核種数も FP 以外の核種だけでも約 170 核種に拡大された。燃料重要 5 核種の 30 keV 以上の核分裂断面積の評価には、ベイズの方法に基づき測定値の共分散と重み付けを考慮した同時評価の方法が採用された。コードは、当時九大にいた植之原雄二氏が開発したものである。この同時評価の結果は、1985 年に Santa Fe で開催された核データの国際会議で報告された。一方、ナトリウムのボイド反応度に寄与の大きい 1~30 keV の Pu-239 の断面積については、一人で決める事ができた。そこで、JENDL-1、-2 での元々の評価の経験に基づき、新しい実験値も含めて信頼性の高い測定を選び出し、そのデータに基づいて評価値を決めた。また、非分離共鳴パラメータを菊池氏が開発した ASREP コードを使って決めた。非弾性散乱断面積は、直接過程を ECIS コードで、複合核過程を五十嵐氏開発の CASTHY コードによって計算した。また、(n,2n)と(n,3n)反応断面積は多段階統計モデルに基づく GNASH コードによって計算した。1 keV 以下の共鳴パラメータについては、吉田氏が Derrien らの評価値をベースに決定した。

その後、JENDL-3 は、幾たびか積分テストが行われ、JENDL-3.2、-3.3 と改訂された。Pu-239 については、一時ナトリウムのボイド反応度の再現性の悪さが指摘されたが、それは炉定数を作る際の解析側の核データ処理に問題があることが分かり、それ以降特段に問題点が見つからず、大澤氏による核分裂中性子スペクトルの評価データの入れ替えだけで 20 年以上生き延びた。JENDL-3.3 の Pu-239 の断面積評価の詳細と積分テストについては、2004 年の核データ研究会で報告している。そして、最近新しく評価された JENDL-4 にバトンタッチした。

(3) FP 核データの評価

FP 核データは、核種数について JENDL に含まれるものの半分を占める。その評価は、FP 核データワーキング・グループによって行われた。この WG は 1969 年に Fast FP WG として始まり、1997 年 6 月 17 日に一旦活動を終息した。シグマ委員会の中では常置グループの CINDA などを除くと最長のワーキンググループであった。その間に 1971 年ごろから断面積データの評価を始め、JENDL-1 用 28 核種 (1975 年)、JENDL-FP-1.5 (1977 年。正式にはこのような名称はなく、JENDL-1 の補遺として NEA Data Bank に JENDL-FFP-WG の名で送付登録されている。ここでは説明の便宜上この名前を与える) の追加 34 核種、JENDL-2 向けの 100 核種 (1985 年)、さらに最終的な成果である JENDL-3.2 用の As-75 から Tb-159 までの 172 核種 (1994 年) の核データを評価して来た。なお、最初の JENDL-1 FP ライブラリーは、15 MeV までの中性子断面積を含むが、分離共鳴パラメータは BNL-325 third edition のものを採った。そして、JENDL-2 以降ではエネルギーの上限を 20 MeV に上げるとともに分離共鳴パラメータも中性子断面積と同様に独自の評価を行なっている。また、JENDL-3.1 以降は、燃料の燃焼計算だけでなく放射化計算や核

融合炉など、より広い範囲の用途に応えられるようにしきい反応断面積も含めた。核種の数 172 は、ENDF/B-V や ENDF/B-VI の FP ライブラリー (Ge-72 から Dy-164 までの) 193 核種に匹敵する。その後、NEANSC の核データ評価国際協力活動 (WPEC) にも参加して、JENDL-3.2 や JENDL-3.3 の評価が質的にも優れている事が確認できた。対象とした核種の多さと評価とともに自前による積分テストを含む活動の殆どをワーキンググループメンバーのボランティアに頼っていたことを思えば、かように長期に渡ったことはやむを得ない事かも知れない。否、中川氏が開発された核データ評価システム NDES 等が無かったらもっと時間を要したであろう。NDES は、実験データ検索システム NESTOR とも繋がっていて、評価済み核データと実験値の重ね合わせプロットだけでなく、光学模型による全断面積の計算を通じて光学模型パラメータの決定、非分離共鳴パラメータからの断面積の計算と実験値の重ね合わせプロットなどの機能を持っている。こうした機能を用いて評価を促進できた。このコードは、実験データをグラフから読み取って数値化する digitize 機能を持っていて、遮蔽積分テストで後述する鉄などの構造材の MeV 域の全断面積の共鳴構造を読み取るのに活用された。

一方、FP 核種の(n,p)、(n, α)、(n,2n)反応断面積の測定値は限られており、計算で補う必要があった。これには、飯島氏の努力により、14 MeV での断面積の系統性と前平衡過程を考慮した蒸発模型に基づく PEGASUS コードを用いた。さらにレベル密度パラメータ決定などの評価促進のためのミニプログラムが飯島氏や核データセンターで開発された。また、五十嵐氏の開発された CASTHY と TOTAL コードには、JENDL-1 用核データの評価の段階から随分とお世話になった。

共鳴パラメータの評価では、部分幅間の系統性チェックの計算や実験値の重み付け平均を取るコードや断面積から非分離共鳴パラメータを求める ASREP コードが菊池氏によって開発された。彼は、常に評価の先頭を切り、担当核種の共鳴パラメータ評価の報告書を書いた。我々も報告書を仕上げようと努力したが、残念なことに、菊池氏と中島豊氏以外は発刊には至らなかった。

評価活動の詳細については、核データニュース No.60 『FP 核データサブワーキンググループ活動 26 年を振り返って』で紹介しており、そちらをご覧になって頂きたい。

<http://www.ndc.jaea.go.jp/JNDC/ND-news/pdf60/no60-04.pdf>

この評価には、飯島俊吾氏の存在は絶大であったことを特記したい。評価対象核種の選定から、測定データの少ない FP 核種の評価の基本的な考え方、断面積および核モデルパラメータの系統性の見つけ方、積分テストとそれに基づく断面積の調整など非分離共鳴エネルギー領域以上の断面積の評価の多くが飯島氏のアイデアを基にしている。彼は、こよなくビールを愛した。ワーキンググループの集まりの後では、長老の中嶋先生や兄貴分的な菊池氏も含めて慰労の飲み会を楽しんだものであり、我々がシグマ委員会活動に親しんで来られた素と思う。

上記の 26 年間で成し遂げられなかったのが、国際協力で行われていた FP 核種の非弾性散乱断面積の評価の活動 (SWG10) である。断面積評価についての結論は出ていたが、STEK 炉心における Mo や Zr 等の質量数 100 近傍の核種の反応度値の過小評価の原因について未解決だった。その後、ドイツ人の K. Dieze 博士と原研の高野秀機氏の協力と川崎重工の渡部隆氏、松延氏、瑞慶覧氏による高精度の輸送計算と考察によって、オランダの Petten から与えられていた STEK 炉心の随伴中性子スペクトルの誤差に起因すること、その誤差が特に Mo や Zr 等の反応度値への非弾性散乱断面積の寄与に効いていることを見出し、2001 年に最終報告 NEA/WPEC-10 ができた。この成果は、SWG17 で JENDL-3 の FP の核データの優秀性を示し得た成果とともに、シグマ委員会活動を国際的にアピールできたものとして特筆できる。

(4) 2 次ガンマ線と高エネルギー核データの評価

遮蔽計算のために 2 次ガンマ線生成核データや放射化断面積のニーズが出てきた。先ず、BNL から東工大に来られた高橋博氏と北沢日出男氏を中心に 2 次ガンマ線の計算法の検討が始まり、飯島氏と参加した。手始めに BNL で使っていた前平衡過程も考慮した多段階蒸発モデルに基づく GROGI コードによって計算し、モデルパラメータと生成ガンマ線や粒子スペクトルとの関係や実験値の再現性が調べられた。数 MeV 以上の中性子入射の場合の前平衡過程の重要性が認識された。その結果は、1979 年米国ノックスビルの核データ国際会議で発表した。

後述する JENDL-2 の遮蔽積分テストや核融合炉ニュートロニクス実験から、数 MeV 以上の高エネルギー中性子入射における中性子スペクトルを再現するには 2 重微分断面積が必要であることが指摘された。そのため、2 次ガンマ線と 2 重微分断面積の計算法の検討 WG ができた。五十嵐氏は、CASTHY コードに中性子捕獲ガンマ線の計算機能を追加した。東工大グループは、山室信弘、北沢両先生指揮の下ペレトロン加速器での FP 領域の核の中性子捕獲断面積と 2 次ガンマ線の測定を行い、その物理的解釈を試みた。その中でピグミー共鳴や巨大共鳴のパラメータの系統生、sum rule だの議論したことが懐かしく思い出される。

2 重微分断面積や 2 次粒子放出断面積の評価のため、前平衡過程や直接過程を扱うコードが整備された。前者には多段階の統計モデルに基づく GNASH コードがあり、老いも若きも参加して計算の流れを図に示して皆で勉強し、その後の JENDL-3 の MeV 以上の中性子断面積の評価に用いられた。そして、私も GROGI を諦めて GNASH コードに移った。東工大を退職された山室先生は、この GNASH コードを改良し、放射化断面積の計算に専念され、いろいろと評価された。特徴は、レベル密度と前平衡過程のパラメータの与え方で、その際に役立ったのが FNS での測定であった。最初は、実験に合わせるという形だったが、そのうちに計算が実験をリードする形になった。この山室先生の学会での

プレゼンの資料は、できるだけ行数を少なくしたもので、絵も大きく分かりやすかった。これだと本当に知らせたい情報を伝えることができ、我々が見習って良い事だと思っている。知識をたくさん並べるのは、凡人の自信のなさの反映かも知れない。

直接過程を扱うコードには、菊池氏がフランスから持ち帰った結合チャンネル理論の ECIS、NEA/CPL から導入された WKB 近似のコードが、JENDL-3 の構造材核種や燃料として重要な核種の非弾性散乱断面積の評価に用いられた。入射エネルギーの増加と共に重要となってくる前平衡過程に対しては、九大の河合光路先生らが提唱された半古典的歪曲波近似 (SCDW) モデルに基づき、渡辺幸信氏らによって前平衡過程の多段階直接反応成分を計算するコードの開発も行われた。

その後、IFMIF (国際核融合材料照射施設) や核破砕中性子源用 GeV 陽子加速器開発のため、20 MeV 以上の中性子断面積の評価をすることになった。このあたりになると、新しいコードの開発や核データの評価は、若い人に任せて、我々 (シグマ委員会における) 中年以上は全体がうまく進行するように見守り、結果の議論につきあう事にした。例えば ALICE-F コードが深堀氏により、核破砕反応計算コード NMTC の改良が RIST の仁井田浩二氏らにより、また、量子論的分子動力学法のコード JQMD が千葉敏氏によって開発された。深堀氏は、ALICE-F コードをもとに高エネルギー中性子核分裂反応断面積や Bi の中性子放出断面積について実験値を非常に良く再現できる結果を得た。また、JQMD は、多体の中性子と陽子の集合体としての原子核に高エネルギーの陽子または α 粒子が衝突した後の過程をモンテカルロ法で解析するものであり、その描像が動画で示されたのは非常に印象的であった。NMTC コードは、JAM コードと組み合わせることによって、20 MeV 以上の広い範囲で実験値との再現性の良い放射化断面積を得る事ができた。さらに、軽核のブレークアップ反応を扱うため、SCINFUL コードが九大の渡辺氏によって整備、改良された。そんな若者の活躍する中で、かつて NAIG の 5 MeV のバンデグラフ加速器を用いて 3 重水素の原子核反応断面積の測定と理論的解明をやられた村田徹氏が、本領を発揮されて中間共鳴理論の知識のもと、軽い核の断面積の評価に取り組んでおられるのは、頼もしい。そして IFMIF 用の核データライブラリーと GeV 中性子のライブラリー、陽子反応断面積や光核反応断面積ライブラリーが作成された。

一方、高エネルギーの中性子等による材料の照射損傷を評価するためのデータベース作成が持ち上がり、PKA スペクトル WG が飯島氏をリーダーとして 1989 年に発足した。これには、高エネルギー核データの評価の深堀氏、渡辺氏と CRC の岸田則生氏、材料の照射損傷に関心のあった日立の真木紘一氏、住友原子力の山野直樹氏に加えて JAEA で長く材料の照射損傷研究をやっていた有賀武夫氏などが参加した。まずは DPA 断面積の勉強会を経て、飯島氏が反跳原子の平均エネルギーによる DPA データの近似計算式を記述し、JENDL による計算結果をまとめ、学会誌で発表した。それから、真木氏がこの計算式に則って JENDL-3.3 ファイルを処理して核融合炉用の DPA 断面積と KERMA 因子の

データセットを作成した。

次いで、照射損傷評価のため材料科学分野で取られている分子動力学に基づくシミュレーション解析に使用される PKA スペクトルの計算式を定式化した。 $(n,2n)$ 反応は、本来 2 段階反応であるが、核データライブラリーには、そうした履歴は消えているので、第 1 番目の中性子の放出段階での反跳エネルギーが主要部を占めていると仮定して定式化した。その近似が悪くない事は、岸田氏が多段階反応過程を扱ったモンテカルロ法で確かめた。その定式に基づいて深堀氏と一緒に ESPERANT コードを開発した。軽い核の場合、3 体分岐など生成される原子核が多様であり、すべての核による材料損傷を考慮することが必要で、SCINFUL コードを用いて渡部氏が計算した生成核のエネルギースペクトルから有賀氏の開発したコードで DPA 断面積を計算し、それぞれの寄与を明確にした。これらの結果を、プラハで開催された原子炉ドジメリーの国際会議にて発表した。その後、ESPERANT を用いて IFMIF 核データライブラリーから PKA スペクトルのライブラリー作りに着手した。ところが 1997 年に高エネルギー加速器研究機構への転職に伴い、シグマ委員会活動に時間を割く事が難しくなり、PKA スペクトル WG の集約を深堀氏に引き継いだ。

以上の経過を経て作成された高エネルギー核データライブラリーは、JENDL-HE ファイルとして公開されている。なお、2012 年 3 月に科研費基盤研究 S「材料損傷機構の実験および理論による包括的研究と高エネルギー量子ビーム場用材料開発」の一環で、核破碎中性子源場で核反応過程から材料損傷に至る過程を扱うマルチステップーマルチスケールモデルによる材料照射損傷評価システムのひな型を、東大名誉教授の石野葉先生監修のもとに京大の義家正敏氏が中心となって開発した。その原子核反応過程には、NMTC コードから発展した PHITS コードを用いた。その開発は、シグマ委員会の PKA スペクトルを扱うグループとの連携によるものであり、 (n,α) 反応模型等の高度化、電子励起過程や PKA (1 次衝突原子核) と媒質原子との相互作用の分子動力学的な過程を取り込んで原子弾き出しまで追えるようにする仕事が今後の課題として残されていて、その完成を期待したい。

(5) JENDL の遮蔽積分テスト

私が関係したシグマ委員会活動には、炉定数専門部会の遮蔽積分テスト WG がある。日本の遮蔽計算で輸送コードが本格的に採用されたのは、1974 年の原子力船「むつ」の放射線漏洩の事件がきっかけになっている。その事故評価と改修設計、建設中の高速実験炉「常陽」の遮蔽設計の見直しにおいてである。この頃、Sn 輸送計算コードとして 1 次元の DTF-IV と 2 次元の TWOTRAN が、さらに多群 3 次元モンテカルロコードの MORSE が NEA-CPL から日本にもたらされた。上記の輸送コードと船舶技術研究所の竹内清氏によって開発された PALLAS コードを用いて常陽や「むつ」の遮蔽を解析し、ストリーミ

ング効果を調べた。その結果、常陽では除去拡散法による設計に余裕があることが確認できた。その初臨界のニュースを1977年遮蔽国際会議の開催されたノックスビルで聞き、祝杯を上げた。

この頃、遮蔽計算の精度については、1桁や2桁とも言われたように、今日的な意味で核データの誤差による影響を議論できる状況になかった。従って、JENDL 自体への要求よりも、利用できるようになった米国の評価済み核データファイルの ENDF/B-III、やがて ENDF/B-IV から遮蔽定数を作成する事の方に主眼が置かれた。即ち、遮蔽計算では中性子束の一方的な流れが重要であり、媒質原子核との非等方散乱を正確に扱う事の重要性が認識されていた。米国の ORNL 等で開発された輸送計算コードでは、散乱断面積を球面調和関数である Legendere 多項式フィットして表した群定数を専ら用いていた。そこで、この方式の群定数を作成するために RADHEAT-V3 が原研の宮坂駿一氏らによって開発され、1980年に ENDF/B-IV を処理して得た中性子100群の遮蔽定数 JSD-100 が作成された。これは、JRR-4 での「むつ」の空隙部中性子ストリーミング模擬実験の解析、常陽の主遮蔽解析やその後の遮蔽実験の解析に用いられた。一方、角度を離散的に扱ったコードとしての RADHEAT-V4 や SLDN コードシステムが日本独自のコードとして開発された。前者は、原研の小山謹二氏と山野直樹氏によるものであり、後者は、Invariant-Imbedding 法に基づく輸送計算コードであり NAIG で開発された。このコードは1ランで反射関数を計算でき、微分アルベドデータを得る事ができた。それぞれのシステムには、群定数の処理コードが開発された。また、共鳴事故遮蔽因子の計算等に高精度処理に特徴を持つ PROF-GROUCH-G が原研の桂木学氏と長谷川明氏によって開発中であった。

こうした中、高速炉核設計同様に日本で統一の遮蔽定数を作るべく、シグマ委員会に遮蔽定数 WG が発足した。メンバーは、原研の小山氏、長谷川明氏、桜井淳氏、船研の山越氏と植木紘太郎氏、動燃の大谷暢夫氏、さらに東大の中沢正治氏や橋倉宏行氏。メーカーでは、山野氏、三井造船の松本誠弘氏、MAPI の佐々木研治氏、川崎重工の竹村守男氏、IHI の万代新一氏などなど。このワーキンググループでは、遮蔽群定数の仕様とベンチマークテストについて議論した。この頃、輸送計算コード自体の信頼性も兼ねて JSD-100 セットによるベンチマーク解析も炉物理委員会等で進行中であり、それらの活動と渾然一体だったように思う。でも、この解析があったので、JENDL の積分テストにも比較的スムーズに入れた。

また、RADHEAT-V4 には感度解析コードが組み込まれていたもので、その高度化と利用研究に参加した。鉄の微量同位元素の離散準位への非弾性散乱断面積や全断面積の共鳴構造の影響について一般的な感度解析法や直接摂動法で調べた。その結果、それぞれが中性子スペクトルに重要な影響を与える事を示す事ができ、JENDL-2 への要求とした。そのため、JENDL-2 以降、鉄やニッケル等の構造材の全断面積の評価には、NDES を使用して微視的な構造が考慮されるようになった。この成果は、1979年の核データの国際

会議で報告した。この発表の後、夕食を菊池氏、高野氏ととった。隣の女子学生がサラダバーを注文し、皿一杯にサラダを盛り上げているのを見て、負けじとばかりに盛った。その上、生ビールを注文する際、何オンスとか言う量がわからないままに 3 ピッチャーと頼んだ。注文を取りに来た店員がニコッと笑って応じた。出て来たのは、想像を絶する大きなグラス。「日本男児負けるな」とばかりに飲み干したのは申す迄もない。二人とは、その後も核データの積分テストのことで屢々議論し、それぞれの活動に活かすことができた。

JENDL-2 が完成後、その多群定数が RADHEAT-V4 と PROF-GROUCH-G2 で処理され、積分テストが行われるようになった。前者は、ORNL の鉄、ナトリウムの実験や英国 Winfrith のウランコンバータ源を用いた鉄透過実験と黒鉛体系からの光中性子透過実験や LLNL の 14 MeV 中性子を用いた Li、炭素、酸素、鉄球遮蔽透過実験 (Hansen の実験) が解析された。高速炉体系は、遮蔽ベンチマークテストの試験と言った要素が強く、核データの質よりも、ENDF/B-IV と比較した議論が中心となった。一方、核融合炉のニュートロニクス評価用に阪大の OKTAVIAN や原研 FNS における 14 MeV 強力中性子源を用いた実験が数多くなされ、その解析のために JENDL-3 PR1 が作成された。この実験は、試料厚が比較的薄く数 mfp 程度だったので、中性子スペクトルが核データに強く依存するため、核データの質を明確に議論できた。その結果、鉄体系の高エネルギー中性子スペクトルの食い違いは、非弾性散乱直接過程の扱いの拙さから来ていると指摘された。

それらの問題点も考慮して評価された JENDL-3 が 1989 年にできた。そしていろいろと積分テストが行われた。我々は、核分裂中性子場の遮蔽問題について、次の実験を解析した。(1) ORNL における酸素、鉄、ナトリウムに対するブルームスタック実験、(2) ASPIS における鉄に対する深層透過実験、(3) KfK における鉄球からの漏洩スペクトル測定、(4) ORNL における鉄、ステンレススチール、ナトリウム、グラファイトに対する中性子透過実験、(5) RPI におけるグラファイトブロックからの角度依存中性子スペクトル測定。また、D-T 核融合炉中性子源問題については以下の 2 つの実験を解析した。(6) LLNL における黒鉛、鉄球からの漏洩スペクトル測定、(7) 原研 FNS におけるベリリウム、グラファイトからの角度依存中性子スペクトル測定である。解析は 1 次元 Sn 輸送計算コード ANISN、DIAC、2 次元 Sn 輸送計算コード DOT3.5 および 3 次元ポイントモンテカルロコード MCNP を用いて実施した。計算作業は、主として原研の大型計算機を用いて行われた。

ブルームスタック実験では、透過中性子スペクトルが全断面積の共鳴構造を敏感に反映しており、MeV 域の共鳴の谷による中性子スペクトルのピークの再現性が未だ不十分であること、それを改善するには断面積測定における分解能の補正が必要である事を評価側に伝えた。ASPIS 実験等の鉄体系では、非弾性散乱断面積の直接過程の影響が十分に取り込まれていないことを、その他、ORNL におけるナトリウム透過実験解析により、

ナトリウムの 6~10 MeV の全断面積についての過小評価を指摘した。核融合炉で重要なベリリウムの評価について、JENDL-3 は優れていて、特に弾性散乱断面積の角度分布が非常に良いことを指摘した。炭素についても良好であった。但し、酸素の MeV 域の全断面積については、過大評価と考えられた。上記の指摘事項の多くが、後の JENDL-3.2 や -3.3 に反映されたことは申すまでもない。上記積分テスト結果を核データ評価にフィードバックさせる議論には、核データ評価側の代表として菊池氏が、大いに発言されたことを思い出す。

なお、高速炉系の試料が厚い体系の透過実験では、やはり 30 % 以上の誤差を残しているエネルギー域もあった。一方、14 MeV 中性子の透過実験では、実験値の再現性が良く、概ね 10 % 内の誤差で議論できたという印象が残っている。この精度改善は、1980 年頃に高速炉の遮蔽設計の裕度についてファクターいくつとか議論していたことに比べると隔世の感であった。1980 年頃、断面積の不確かさが遮蔽設計に及ぼす誤差を断面積の共分散データを用いて、感度解析法で評価する試みがあったが、一次摂動近似の適用範囲を超えているということで沙汰やみになった。最近では、MCNP や VMP という計算モデル誤差が少ないモンテカルロ法で解析できるし、核データの精度も向上したので、断面積の感度解析によって誤差の議論だけでなく、これまで以上に細密な議論ができるものと思う。JENDL-4 では、そのような試みがなされて良いと思う。

(6) おわりに

核データは、世の中の動きと要求に合わせて日々更新されて行く。高速炉開発のための JUPITER 計画や JASPER 計画、さらにもんじゅ設計にそれが役立ったことは、誇りでもある。これは、原子力華やかなりし頃の思い出かも知れない。核データの評価は原子核反応の真実を求めての道でもある。つくばにある産総研の計量標準総合センターは、光速度やアボガドロ定数などの決定や絶対計測の研究を行っている。高度化した科学技術を支えるには、こうした基礎が重要であろう。核データも今後とも多様なニーズに合わせて評価が継続されることを期待する。それに我々の経験が役立てば幸甚である。

シグマ委員会では、ずいぶんいろいろなワーキンググループに顔を出した。また、時には本委員会にも呼ばれた。そして、シグマ委員会生みの親とも言われた百田光雄先生、後の原子力安全委員長になられた松浦祥次郎氏をはじめ色々な人に会い、核データだけでなく人生や学問上の話など教えて頂き、また多くの方々に協力頂いた。本当に有り難く、茲に感謝申し上げる次第である。感謝したい方々の中の幾人かは鬼籍に入られた。こうした方々に改めてご冥福をお祈り申し上げます。