

会議のトピックス(II)

## 日本原子力学会「2020 秋の年会」

企画セッション (核データ部会・「シグマ」調査専門委員会共催)

核データ部会 20 年間の歩みとこれからの 20 年

2020 年 9 月 16 日 13:00~14:30 オンライン開催

### (1) 核データライブラリーの揺籃期から部会設立まで

東京工業大学

吉田 正

[tyoshida@nr.titech.ac.jp](mailto:tyoshida@nr.titech.ac.jp)

#### 1. はじめに

二十年前の 2000 年 3 月、日本原子力学会に核データ部会が設立された。これに先立つ  
ほぼ 35 年の間、「シグマ委員会」(学会の「シグマ特別専門委員会」と日本原子力研究所  
の「シグマ研究委員会」の総称) が核データ活動の揺るぎない中核であった。最大の特徴  
はこれが実際に作業する委員会であった点である。高速炉の開発に核データは不可欠で  
あるとの認識に基づくメーカー各社と日本原子力研究所(現原子力研究開発機構;以下原  
研)の全面的な支援のもと、大学も含め各所に散在した専門家の横断的かつ献身的なヴォ  
ランティア活動という日本の技術開発史上他に類をみないユニークな活動であった。し  
かし、学会の「特別専門委員会」には決められた設置期間があり、核データという息の長  
い仕事のためには、常に理事会の承認を得て延長に延長を繰り返して行かなければなら  
ない宿命にあった。一方、シグマ研究委員会の主体である原研も時代とともにその役割と  
体制を変えて行く。二十世紀終盤、日本原子力学会に「専門分野別研究部会(部会)規定」  
が制定され、翌年「炉物理部会」はじめ 6 部会が発足した。この頃からシグマ委員会活動  
も緩やかだが大きな曲がり角を迎えていた。筆者は核データ部会の設立によって核デー  
タ活動はこの曲がり角を適切に曲がり切ることができたと考えているが、ここで部会発  
足までの核データ開発研究の小史と部会発足の経緯およびその意義を振り返ってみたい。

## 2. 部会設立までの核データ小史

### 2-1. 炉定数の時代

我が国では商用炉として軽水炉が米国から導入され、PWR が 1970 年に、BWR が 1971 年に年にそれぞれ運転を開始した。当時、軽水炉ではこの技術導入という経緯から、専門家の間でも技術の基盤となる核データの重要性はさほど強く意識されていなかったものと思われる。軽水炉三社はそれぞれの提携先から炉心計算コードを導入し、コードにはその一部として核データが「炉定数」の名の下に収納されていた。これは炉心計算ですぐ使えるかたちにまで加工され、コンパクト化された「核データ」に他ならない。ユーザーは核データを特に強く認識せずともコードを動かすことができた。



図1 英語に翻訳された ABBN 炉定数セットのレポート<sup>1)</sup>より

筆者が社会人となってからの最初の仕事は軽水炉ではなく、高速実験炉「常陽」マーク I 炉心の核設計を臨界実験の解析を通じてバックアップすることであった。しかし高速炉開発は我が国の自主開発プロジェクトであったため、設計の基盤も自ら作り上げる必要に迫られる。そこでメーカー各社はそれぞれが独自に多群核定数セット（炉定数）を用意しなければならなくなったのである。その枠組みを提供してくれたのが（旧）ソ連の ABBN 型 25 群炉定数セットである。ABBN は Abagyan、Bazayants、Bondarenko、Nikolaev の頭文字に由来しており、そのレポートはソ連で出版されるとすぐに米国で翻訳・出版されていた<sup>1)</sup>。



図2 かつてはデータ収納の主役だった磁気テープ（左下）とそのハンドラー

ABBN セットには、核種ごと、25 群に分割されたエネルギー区間ごとに、諸断面積、希釈断面積と温度の関数としてのエネルギー自己遮蔽因子、非弾性散乱マトリクスの表等が与えられている（図1）。これを参考に各社が各様に工夫を凝らして炉定数セットを自前で用意し、高速臨界実験解析や炉心設計に使用したわけである。筆者の入社した東芝系の原子力専門会社 NAIG では、シグマ委員会の有力メンバーでもあった飯島俊吾、川合将義の両氏が作成された ABBN 型炉定数セット NNS-5 が使われていた。このセットにより我が国初の高速実験炉「常陽」の初臨界量が高い精度で予測された。25 群定数は今ならスマホの何処かに入れてもそのまま忘れてしまうくらいのサイズしかない。しかし、当時は大型計算機でも内部メモリーに記憶させるには巨大(!)過ぎ、図2左下のような大きな磁気テープにこれを収納して計算一回ごとにテープハンドラーに装着するという次第であった。手間のかかること夥しい。しかし、磁気テープの「コチ〜〜コチコチコチ〜コチコチ」という動きを見ていると、今どの辺りの計算をしているのかが分り、アナログな楽しみがあった。

その後 1980 年代に入ると原研の開発した高速炉核計算のための 70 群核定数セット JAERI-FAST が普及し、メーカー間で設計の基礎となる核定数が（従って計算結果が）異なるという問題は解消していった。当時の問題の核心は、現在の JENDL や ENDF/B、JEFF のように包括的な一つの「評価済み核データライブラリー」から共鳴領域や非弾性散乱の複雑な処理を経て炉定数に至る一貫したコンピュータ処理によって、一意的かつ自己完結的に作成されたものではなかった点である。共鳴が何千本もある  $^{238}\text{U}$  も含めて、ライブラリーの数値をそのまま使った直接 Monte Carlo 計算があたりまえの現在の読者

は不思議に思われるだろう。

これは何も日本だけの話ではない。筆者が 1977～78 年に滞在した西ドイツ（当時）でも事情は似たりよったりで、高速炉研究開発の中心地だったカールスルーエでも ABBN 型 26 群定数 KFKINR（1972 年頃完成）<sup>2)</sup> が炉心核計算の中核として使われていた。世界的にみて評価済み核データライブラリー開発の大先達の一人である J.J.Schmidt の出身母体であり、中性子反応の実験および理論の先進グループを擁し、核データライブラリー KEDAK-3（当時の最新版）を持っていたにも関わらず、KEDAK から ABBN 型定数を生成するコードシステム MIGROS-3（例えるなら NJOY コードに相当する）はまだ試用段階にあった。しかし時すでにおそしで、完成はしたものの政治的理由で臨界に達することのなかった高速原型炉 SNR300 の設計にもこの 26 群定数 KFKINR（あるいはその先代の MOXTO）が使われたはずである。MIGROS シリーズの完成の遅れというよりも、当時の計算機能力の限界との戦いであったというべきかも知れない。

## 2-2. JENDL の開発

当時のそのような状況にも関わらず、シグマ委員会の先達たちは先を読んでいた。明確に年度を特定できる資料を見つけ出すことはできなかったが、早いうちから国産の評価済み核データライブラリーの作成を意図して

いた。1971 年には JENDL 第 0 次版の作成検討を始めている。第 0 次版は一種の「練習」であり、当時高速炉核計算のために原研が開発していた 70 群炉定数セット JAERI-FAST を下敷きにしてきた点が興味深い。核データライブラリー→炉定数の順方向ではなく、逆に炉定数を下敷きに核データライブラリーを作ったのである。「練習」であった所以である。これは 1974

表 1 評価済み核データライブラリー開発年表（公開年度）

Year	United States	Japan	Europe
1968	ENDF/B-I		
1970	ENDF/B-II	(美浜一号 1970、福島一号 1971)	
1972	ENDF/B-III	JENDL-0	
1974	ENDF/B-IV	JENDL-1 (常陽 MK1 臨界)	
1977		(ふげん臨界)	
1978	ENDF/B-V	(常陽 MK2 臨界)	
1982		JENDL-2	
1985		JENDL-3	
1989			
1990	ENDF/B-VI	JENDL-3.1	
1992			JEF-2.2
1994		JENDL-3.2 (もんじゅ臨界)	
2002		JENDL-3.3	JEFF-3.0
2005			JEFF-3.1
2006	ENDF/B-VII		
2009			JEFF-3.1.1
2010		JENDL-4	
2011	ENDF/B-VII.1		JEFF-3.1.2
2014			JEFF-3.2
2017		注) このほかに多くの特殊目的ファイルが適宜公開されている。	JEFF-3.3
2018	ENDF/B-VIII		

年に完成した(表1)。JENDL 第1次版(JENDL-1)はこの意味で我が国初の「評価済み核データライブラリー」であり、1977年秋に公開されている。その後、JENDLは第4次版にまで発展し、General Purpose File と呼ばれる JENDL 本体と、使用目的に応じた多くの「特殊目的ファイル」が開発されて広い用途に用いられており、日本の原子力技術開発の骨格の役割を果たして来たのはご承知の通りである。

ここで話題を一つ。JENDL、ENDF-B と並んで三大ファイル(その後ロシアの BROND、中国の CENDL も台頭)の一つとされる JEFF の E は Europe の E と思われている方がおられるかもしれない。実際のところ“... Evaluated Nuclear Data File format is used all around the world (e.g., ENDF/B-VI in the US, JEF-2.2 in Europe, JENDL-3.2 in Japan, BROND-2.2 in Russia)”<sup>3)</sup> というあたりが大方の認識であっただろう。無理もない。だが JEF あるいは JEFF の E は Europe の E ではない。Joint Evaluated Fission Nuclear Data Library の E なのである。JEF/JEFF はヨーロッパ主導のプロジェクトはあったが、正確には“A joint European-Japanese program on neutron data evaluation”として始まったのである<sup>4)</sup>。この時すでに JENDL を持っていた日本の立場は微妙であった。その初版は 1985 年に公開されているからその前後のことと記憶するが、OECD/NEA (Nuclear Energy Agency) の Science Committee の会議で原研の菊地康之氏は「JEF の coordinate やファイル化は日本も出資している NEA Data Bank がやっている。しかし、日本には既に JENDL があり、これは二重投資となり日本側としては承服しがたい」との論陣を張った。正論である。当時のこの間の事情を知る関係者の多くは物故され、あるいは完全に引退されている。やがて話は忘れ去られる運命にあるのでここに記しまでで他意はない。実際、半生を通じて細く長くベータ崩壊とその周辺の仕事を続けてきた筆者にとって、JEFF はたいへん貴重な存在であったことも述べておきたい。それは JENDL では(正確には JNDC FP Decay Data Library の時代から)ベータ崩壊大局的理論の理論値を大幅に取り入れ、ENDF/B-VI もこれに倣ったため、実験データだけを一貫して採用し続けた JEFF は格好の対照相手であったからである<sup>5)</sup>。複数のライブラリーがあることはたいへん有り難かった。こと FP 崩壊熱に関わる崩壊データに関してはその後 TAGS<sup>6)</sup> 測定の進展により、現在は JENDL、ENDF-B、JEFF 間の差異も次第に収束しつつある。

### 3. 核データ部会の発足

日本原子力学会では 1993 年に「専門分野別研究部会(部会)規定」が制定され、翌年 3 月には「炉物理部会」はじめ 6 部会が発足した。核データ分野はこの状況の中でどのような選択をなすべきなのか、決して簡単な決断ではなかった。この時、シグマ委員会の中で議論を先導されたのが井頭政之(当時東工大)と山野直樹(当時住友原子力)のお二人である。部会発足直後に発行された“NDD ニュースレター 第 1 号(2000/4/19)”に井頭氏がこう書いておられる。

1999年の「秋の大会」のおり、九州大学のM教授から、「シグマ活動を、部会設立も含めて検討した方が良くはありませんか？」とご指摘頂いた。昨今のシグマを取り巻く環境、多様化している核データ・ニーズに対する今後の活動、若手研究者の育成、等々、を考えると当然のご指摘である。早速、関係者と相談し、シグマ運営委員会に「シグマ検討小委員会」の設置を提案することとした。部会設立のためには100名以上の部会員が必要であるが、シグマ委員及びJNDCmail登録者に対して行ったアンケート結果（回答者数：58名、回答率：約33%）は、

\* 発起人に加わっても良い：32名

\* 部会が設立されれば入会する：48名。

この結果と、アンケートに寄せられた「部会設立に関する意見」、及び学会の完全部会制移行の動向等を検討小委員会で分析し、検討した結果、部会設立の機は熟し、3月の2000年春の年会在部会設立総会開催の好機であると判断した。（核データ部会設立案は）最終的に3月23日の理事会で追承認され、「核データ部会」が正式に設立されることとなった。（一部省略、補足追加）

核データ部会は検討小委員会での度重なる検討、学会理事会や事務局との折衝・調整、未来の会員に向けての広報等の努力を経て、ようやく部会設立総会の開催に至ったのである。

愛媛大学での日本原子力学会2000年「春の年会」において、約60名の出席者を得て、核データ部会設立総会が開催された。部会員の企画立案に対する積極的な提案・意見を尊重し、公正に企画立案を行うという企画方針（案）が、山野企画担当委員より説明され、承認された。（同ニュースレターより）。

部会設立までの一部始終を見てきたものとして、井頭、山野両氏の先見性と行動力には深く敬意を表したい。今でこそ部会員218人（2020年6月現在）を要する堂々たる部会であるが、発足当時、最低限必要な部会員数を集められるかどうかの心配から始まって、解決すべき問題も多々あった。アメリカ原子力学会においてすら「核データ部会」はなく、炉物理部会がこの分野をカバーしている。今だったら、核データは炉心計算だけのものではなく分野横断的に広く使われており、部会設立の説明もし易いであろう。が、当時としては海外の先例もなく、設立趣意書（部会HPからアクセス可能）の論理構築も簡単ではなかったと記憶する。だが舵はきられ、上記“NDDニュースレター第1号”記事にある通り、

更田豊治郎氏を部会長に 2000 年の日本原子力学会「春の年会」で正式に発足した。

核データ部会の発足は中長期的に見れば核データ分野のその後の発展の枠組みとして好適なものであった。シグマ委員会活動は高速炉開発に的を絞ったプロジェクトとしてメーカー 3 社の要請に基づいて発足した経緯からも、分野横断的な展開や対外的な透明性の確保、他学会・協会への働きかけや協力は苦手であった。2000 年代に入ると、核データと核物理、天体核物理、核医学といった他分野との接点（接面と言うべきか）は急速に広がり、一方、原子力分野に限っても中性子断面積のみならずさらに広範な原子核にかかわるデータが必要になってくる。このような状況には、誰でも出入りでき、他分野との協力もしやすい学会／部会の方がやりやすい。福島事故以来、残念ながら原子力学会員数は漸減しているものの、核データ部会員数が倍増している背景には上記のような状況があるものと考えられる。

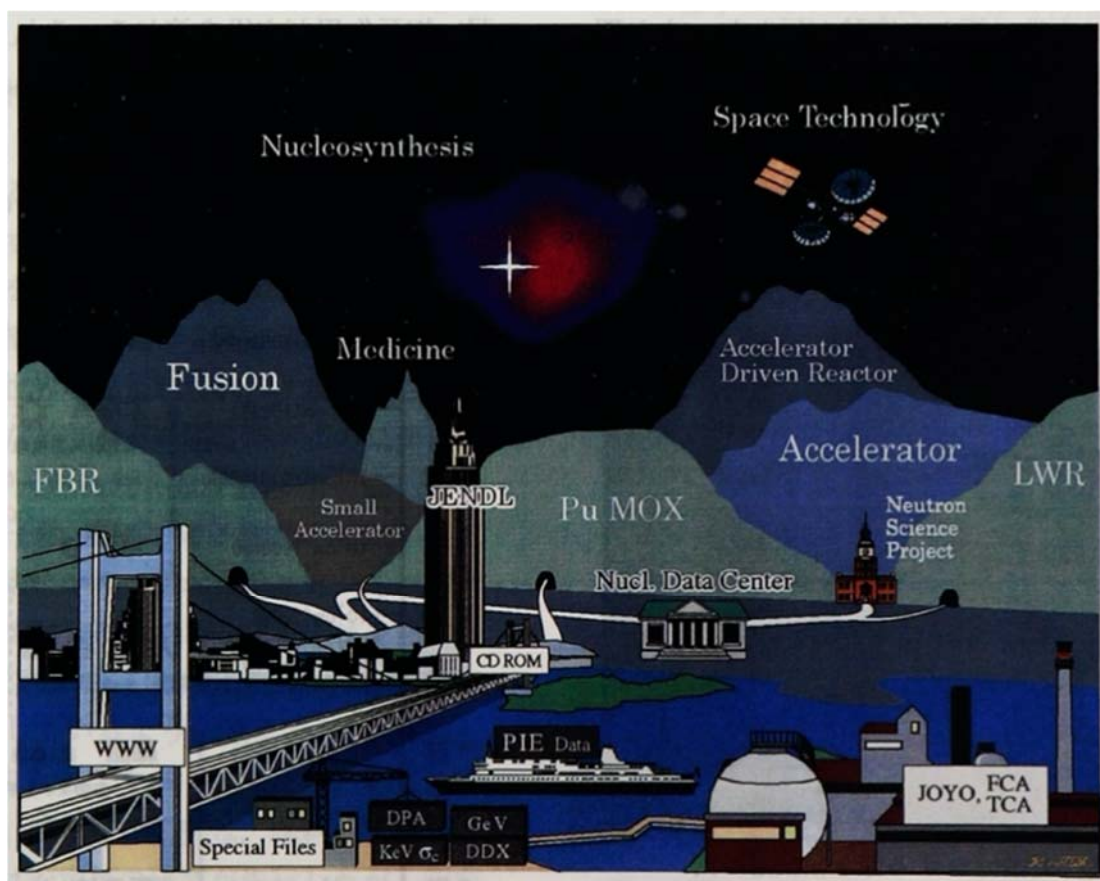


図 3 部会設立の頃の核データを取り囲む状況<sup>7)</sup>

図 3 は部会設立当時の核データを取り巻く状況を図案化したものである。手前が核データ作成側、向こう正面が応用分野である。LWR が脇に追いやられているのは、当時まだ国産核データが、既に全面展開中の商業炉の世界に十分食い込めていなかった状況

を反映している。Pu MOX が目立つのは、当時その LWR への導入が最新の核データを必要としたためである。作図がこれ（2001 年）より 20 年前であったら FBR（Fast Breeder Reactor）が図の中央に大きく聳えていただろう。20 年後の現在であれば、核変換、中・小型炉、熔融塩炉等新型炉、廃止措置、廃炉、クリアランス・・・と中小の山々が正面中央を分け合っていたらう。いずれにせよ、変わるものあり、変わらぬものあり。でありつつも、今後も更に広範かつ信頼度の高い核データが求められてゆくだらう。

#### 4. おわりに

ポストグローバリズムの時代といわれ、自国第一主義が勢いを増す現代、国際関係は超 (!)流動的である。これは国と国との間に、突然、社会の様々の層で予想外の壁を築きかねない。核データ分野とて埒外にはいられない。思えばヨーロッパの同僚たちが、日本をも巻き込んで、なりふり構わず（実質上の）統合ヨーロッパファイル JEF を目指したのは、ENDF/B-V の米国外公開禁止がきっかけだった。以来、筆者は「いつまでも、あると思うな親と NJOY」との思いを持ち続けたが、本企画セッションの翌日、山本章夫、千葉豪、多田健一、小野道隆の各氏が、評価ずみ核データライブラリーから多群定数を作成する FRENDY/MG コードの開発とその検証に関わる四件のシリーズ講演をされた。開発は思いのほか早いペースで進み、検証は広範かつ緻密である。これは筆者に一筋の光明と映った。半世紀にわたり世界を支配した ENDF/B フォーマットの時代がやがて終わり、Generalized Nuclear Database Structure (GNDS)フォーマット<sup>8)</sup>の時代がやってくるとしたら、これに最も柔軟に対処できるのは FRENDY なのではあるまいか。残念ながらこの点を質問し忘れてしまった。

#### 参考文献

- 1) L.P.Abagyan, N.O.Bazayants,I.I.Bondarenko,M.N.Nikolaev, *Group Constants for Nuclear Reactor Calculations*, Consultants Bureau, New York (1964)
- 2) E.Kiefhaber, *The KFKINR-Set of Group Constants; Nuclear Data Basis and First Results of its Application to the Recalculation of Fast Zero-Power Reactors*, KFK-1572, Kernforschungszentrum Karlsruhe (1972)
- 3) RSICC CODE PACKAGE PSR-480、NJOY99.0, RSICC Home Page より
- 4) C.G.Campbell, C.Nordborg, *The European-Japanese Joint Program on Neutron Data Evaluation*, Proc. International Conf. on Nuclear Data for Science and Technology, Antwerp (1982) 991
- 5) T.Yoshida, A.L.Nichols, *Assessment of Fission Product Decay Data for Decay Heat Calculations: A Report by WPEC Subgroup 25*, OECD/NEA, Paris, (2007), ISBN 9789264990340.



- 6) たとえば A.Algora *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **105** (2010) 202501
- 7) 吉田正、大澤孝明、瑞慶覽 篤、深堀 智生、馬場 護、*連載講座 核データ (1) 核データとは何か*、日本原子力学会誌 **43** (2001) 433
- 8) OECD/NEA Nuclear Science Publication, *Specifications for the Generalised Nuclear Database Structure – Version 1.9*, NEA No. 7519, ISBN 978-92-6490-197-1, OECD (2020)