

会議のトピックス(II)

核データ共分散に関する国際ワークショップ CW2022

北海道大学工学研究院
応用量子科学部門 原子炉工学研究室

千葉 豪

go_chiba@eng.hokudai.ac.jp

1. はじめに

2008年にアメリカのポート・ジェファーソンで初めて開催されたこのワークショップも、2011年の第2回(ウィーン)、2014年の第3回(サンタ・フェ)、2017年の第4回(エクス・アン・プロバンス)を経て、第5回を迎えることとなった。第1、3、4回の会議報告は核データニュースの91、109、119号でそれぞれ報告されている。第5回であるCW2022は日本が主催することとなり、私もその運営の一翼を担うことになった。以下では、運営側の立場から会議の所感を述べていきたいと思う。あくまで著者の所感であるため、会議での発表内容に対しては誤った理解をしている可能性も高い。従って、プロシーディングなどをしっかり確認していただくことを強く推奨する。なお、以降では日記形式で綴っていくこととする。

2. 会議2日前(2022/9/24)

会議のChairである東工大・千葉敏氏のご尽力により、準備万端、あとは会議の開催を待つだけの状況である。ここでは、これまでの経緯を振り返りたいと思う。

前回のCW2017における日本からの参加者は私のみであったが、この会議の最中に、「次のCWは日本で行って欲しい」という依頼を関係者から打診された。「私一人でどうこうなる問題ではないので待つて欲しい」と回答を保留し、帰国後に日本の関係者で相談した結果、「東工大が場所を提供するとともに、千葉敏氏がChairとなり、それを岩本修氏と千葉豪で補佐する」という方針に決まった。2017年10月15日のことであった。

その後、2019年5月になり、上記3者の中で「そろそろ具体的な準備を始めよう」ということになり、会議とレセプションの会場の予約やら、プロシーディングの準備やら、組織委員会の立ち上げやらが、千葉敏氏を中心に進められた。開催時期は2020年9月と決まり、「CW2020」のabstract投稿受付が2020年1月に開始された。そこから、皆さんよく覚えておられることと思うが、「コロナ時代」が始まるのである。

2020年5月に1年の延期が決まったが、その1年後の2021年5月の時点でも、とても対面で開催できる状況ではなく、Advisory boardのメンバーに対して、Virtualでの開催か、さらなる延期かを問うた結果、さらに1年の延期と決まった。そして2022年3月、コロナの状況・対応が各国で大きく異なることと、ロシアのウクライナ侵攻により国際情勢が大きく変化したことで、対面で実施することは未だ非現実的であると判断された一方、これ以上の延期はするべきではないと考えに基づき、2022年の9月にVirtualで開催することに決まった。

2022年9月24日現在、コロナの第7波は落ち着いてきたようだが、ロシアのウクライナ占領地での住民投票実施のニュースが流れており、戦術核の使用可能性といった、きな臭い分析も目に入ってくる。国内でも、記録的な豪雨により静岡で大きな被害が出ているというニュースが流れており、非常に心が痛い。

核データの共分散データの大口のユーザーは、現在でも、原子炉解析や遮蔽解析の分野の技術者・研究者と言える。20年ほど前は、共分散データを用いた原子炉特性の不確かさ評価と言え、摂動論に基づいて計算した感度係数と多群処理を行った共分散データを用いる方法が一般的であったが、今や、共分散データに基づいて多数の核データセットを生成し、それに基づいて原子炉・遮蔽解析を行い、関心のある応答パラメータの標本群から統計量を得る、という方法が主流となった。SCALEコードシステムにそのような機能(Sampler)が追加されたことがこの流れを加速したとも言えるであろう。2006年にNSEに掲載されたLANL河野氏の論文[1]ではモンテカルロ法を用いた積分データと核データのデータ同化が報告されており、当時は「このような方法があるのか」と大変新鮮に感じたものだが、それから15年を経て、このような方法が一般的となっている状況に、技術の移り変わりの速さ(と河野氏の先見の明)に驚きを感じざるを得ない。話が脱線してしまったが、共分散データを利用した原子炉・遮蔽解析結果の不確かさ評価、という点では、この10年で技術・ツールが大きく進歩し、最近ではモンテカルロ法に基づく不確かさ計算を効率的に行うための代理モデルの開発に軸足が移りつつあるという状況かと思う。

3. 会議1日目(2022/9/26)

「会議2日前」に続くべき「会議1日前」の節がないのは、別件でいろいろバタバタしたこと、日曜日だったので午後を家族との散歩に充てたことで、執筆する時間がとれなかったからである。

さて、日本時間の5時、米国東海岸時間の16時、そして欧州中央時間の22時に、いよいよCW2022の開催を迎えた。Opening sessionの参加者は41名、この日の参加者は45~50名を推移し、比較的盛況な中で会議が進められた。

「軽核の共分散」「共分散に基づく核データ調整」「評価済み核データライブラリの共分

散」の3つのセッションが行われ、合計で9件の発表があった。2つ目のセッションは全て日本からの発表であり、核データ調整に用いられる積分データの測定値や数値計算に基づく予測値の共分散データの妥当性を考えるための新しい手法などが提案された。JAEA 横山氏は、高速炉用統合炉定数のこれまでと現状について発表し、核データ評価で積分データの情報が考慮されている一方で共分散データにはそのことを反映するのが難しいという問題に対しての具体的なアプローチと JENDL-5 を用いた適用例を示した。JENDL 委員会の共分散活用促進 WG で熱心に議論が行われた内容が反映されており、この WG に関与したものの一人として大変嬉しく感じた。また、3つ目のセッションでは JENDL-5 の共分散評価に関する報告が JAEA 岩本修氏より行われた。質疑において「積分データを考慮しない評価済みデータファイル（いわゆる scientific library）を作らないのか」といった話が上がっており、このあたりは今になってもなかなか議論が収束しないことが窺える。また、中国のライブラリ CENDL-3.2 の状況が報告された。70 の FP に共分散データが与えられているとのことで、2024 年までには中重核種や重核種、そして断面積のみならず共鳴パラメータや角度分布に対しても共分散データの評価を行うとのことであった。核データそのものではなく、その「不確かさ」情報に対して Bayesian Neural Network、Artificial Neural Network を適用する方法が紹介されていた。

4. 会議 4 日目 (2022/9/29)

節タイトルが「会議 1 日目」から一気に「会議 4 日目」にとんでしまったわけだが、これは会議 2、3 日目にこの原稿を執筆する余力が無かったからである。今週は、毎日、朝 5 時から仕事を始めていることになるので、夕方 5 時にはすっかり疲れ切ってしまい、早々に仕事を切り上げる、というのが続いてしまったのであった。

会議 2 日目は Herman 氏の共分散評価に関するレクチャー形式の発表で始まった。共分散の評価手法、核データの共分散評価の例、エネルギー平均断面積を求める際の標準データに関する検討など、共分散に関わる広い分野の解説が行われた。名大の遠藤氏からは、未臨界体系や非中性子増倍体系での即発中性子減衰定数の測定データを用いて原子炉の臨界固有値の予測精度を向上させるこれまでの研究のレビューが行われた。また、UKAEA の Ivo Kodeli 氏から、決定論に基づく炉物理・遮蔽分野のパラメータの不確かさ評価を行うツールである XSUN の最近の開発状況が報告された。ガンマ線束も含めた不確かさ評価が可能とのことである。今や連続エネルギーモンテカルロ法に基づく放射線輸送計算とランダムサンプリング法を用いた不確かさ評価手法が主流となっているが、このような決定論コードシステムの高度化が地道に進められていることに触れ、私自身のモチベーションも大きく上がった。

会議 3 日目は、宇宙核物理分野、ドシメトリー分野で重要となる共分散データ、核分裂収率の共分散データ、臨界特性とその他の積分特性の相関、共分散評価手法などの発

表があった。PSI の Rochman 氏の発表では、核データ評価におけるモデルの違いによって生じる影響を考慮することで、多くの核データ間に強い相関が生じる可能性があることが示唆された。核分裂収率も含め、真面目に共分散データを評価しようとする、相関情報が膨大となってしまい、とてもではないが気が遠くなる話である。結局のところ、共分散データは、評価済み核データではなく、核データ評価の最上流（核モデルパラメータなど）に持たせておき、不確かさ評価を行いたい場合には Total Monte Carlo のようなアプローチをするのが現実的と感じるが、TMC では全てを「包括的」に行ってしまうため、それを構成する個々の「パーツ」について検証する余地がない。一方、これまでのような「ステップ・バイ・ステップ」のアプローチは、確かに手間がかかるが、手間がかかることで細かい検証がなされていくことになるので、TMC のようなアプローチへの誘惑は断ち切って、これまでのような地道なやり方を続けていくことが重要だと個人的には感じた。

最後に、本日（会議 4 日目）の内容であるが、PFNS と核分裂収率に関する共分散も含んだ評価に関する検討、弾性散乱断面積の P1 係数の不確かさ（いわゆる $\mu\text{-bar}$ ）に関する事柄についての報告があった。さらに、JAEA の木村氏、東工大の片渕氏から、現在、日本で行われている核データ測定のアクティビティの紹介が、測定値の誤差評価も含めて行われた。今回の CW2022 では核データ測定に関する発表がそれほど多くない印象ではあるが、共分散データ評価における核データ測定の不確かさの取扱いについての検討が米国などで活発に行われており、種々の意見交換が行われた。また、本日の最後には以下の 3 つの Discussion session が並行して行われた。

- The missing link between ND covariance and users
- Going beyond covariances into an uncertain future
- Fission yield covariances

これらについてはそれぞれのセッションのコーディネータが最終日（明日）の最後のセッションでサマリーを紹介することになっている。私は一つ目の項目のコーディネータを拝命したので、この 2 か月の間に久しぶりに共分散データの処理やそれに基づく不確かさ評価を JENDL-5 や ENDF/B-VIII.0 に対して行った。大した結果は得られなかったが、久しぶりに Ivo Kodeli と技術的なやりとりをし、ERRORJ 関連の仕事に携わっていた頃を思い出した次第である（今や「ERRORJ」で話が通じる人はもはや数えるほどとなったであろう）。

5. 会議 80 日後くらい（2022/12/10）

時間は一気に飛んで、今や 2022 年の師走の時期を迎えている。ここまで（比較的）順

調に続けていた会議報告であるが、最終日の報告を 2 か月以上後になって行うことになるとは全く想定していなかった。最終日は 9 月 30 日の金曜日であったが、その翌週からは大学の秋タームが始まるため、CW2022 終了後、それまで放置していた講義の準備に頭を切り替えねばならず、秋タームが終わって一息ついた現在、ようやくこの場所に戻ってこれた、ということである。

会議の最終日は、「Application of covariance methodology」「Covariance in resonance region and beyond」「Advanced covariance methodology」のセッションで計 8 件の報告があった。東工大の千葉敏氏のグループからの核データ理論から応用の幅広い範囲に亘る 3 件の発表や JAEA 遠藤氏の測定に関する発表、NFI 渡嘉敷氏からの共分散データの検証方法の提案に関する発表が行われた。KAERI の Lee 氏からは、共鳴パラメータの共分散データから、計算対象依存の多群共分散行列をモンテカルロ法で計算する研究が紹介され、炉物理解分野における共分散データの新たな利用方法となりうる可能性を感じた。そして最後に、LLNL の Schunck 氏から、Nuclear Density Functional Theory に対する Autoencoder（機械学習の 1 種で、ニューラルネットワークを用いた次元圧縮のためのアルゴリズムとのことである）の適用に関する研究報告が行われた。報告者は核データ・不確かさ評価への代理モデルの適用例の 1 つとして理解した。

最後の closing では、前日行われた discussion session での各セッションでの議論の内容が紹介され、それに関連した活発な議論が行われた。オンライン実施でありながら、発表と質疑が繰り返されて淡々と終わるイベントにはならず、参加者間の議論、意思疎通が活発に行われたものと考えている。closing の最後は、元 ANL の Smith 氏、LANL の Neudecker 氏のスピーチに続き、本ワークショップの Chair である千葉敏氏から「締めめのスピーチ」が行われた。参加者の皆さんに楽しんでもらう予定であった秋の東京の風景を紹介しながらの、落ち着いたスピーチが展開されている中、突然、話し手である千葉敏氏が Zoom から失踪するという事件が発生！この突然の展開に、驚き、慌てる参加者達であったが、何とも言えぬ不思議な（楽し気な）雰囲気の中、千葉氏の復帰を喜び、再開されたスピーチを拝聴し、CW2022 は終了を迎えた。突然の Chair の失踪劇が、参加者の一体感をさらに増した中での、何とも言えぬ「素敵な幕切れ」となり、運営側の一人として大きな充実感を味わったのであった。

6. おわりに

会議報告を終えるにあたって、改めて準備段階からのことを思い出すと、「面倒臭いな～」と思いながらの種々の事務的作業、久しぶりの核データ関係の検討、会議での海外の方々とのやりとり、終わった後の大きな充実感など、非常に良い思い出となった。運営メンバーの 1 人にイベントがこのように良い思い出として残ったことは、Chair である千葉敏氏の強力なリーダーシップ、行動力、そしてお人柄に帰するところが大きであった

と言えるであろう。千葉敏氏も私も JAEA に在籍していた頃、同僚の奥村氏は、千葉敏氏と私を区別するため、千葉敏氏を「大きい千葉さん」と呼んでいた。私としては、身長の違いがそのような呼び方の違いとして現れていたものとずっと思っていたが、もっと広い意味での違いだったのかもしれないなど、CW2022 の諸々を思い出しながら、ふと考えたのであった。

参考文献

[1] T. Kawano, et al., Nucl. Sci. Eng., 153, p.1 (2006).