

平成 30 年度 JENDL 委員会共分散データ活用促進 WG 第二回会合議事録

文責 千葉 豪（北海道大学）

日時：平成 31 年 2 月 22 日（金）13:00-17:20

場所：原子力機構東京事務所第 7 会議室

出席者：池原正、横山賢治、石川眞、方野量太、国枝賢*、丸山修平、岩本信之（JAEA）、遠藤知弘（名大）、渡嘉敷幹郎（NFI）、東條匡志（GNF-J）、名内泰志（電中研）、西山潤、千葉敏、片渕竜也（東工大）、藤田達也（原子力規制庁、オブザーバ）、千葉豪（北大）

*一部参加

議事録

1. 状況の整理（北大・千葉豪委員、資料 COVP-2-1）

本 WG の活動の目的と現在までの進捗、今後の予定について整理と議論が行われた。WG 活動の最終年度（2020 年度）末に JAEA 公開報告書を作成することが再確認された。不確かさの定量化に関して、核データの測定、評価に加えて、積分データ（炉物理パラメータ）の測定における不確かさについても WG としてフォローする必要性が指摘された。また、共分散データを WG メンバーが実際に利用することで共分散データの問題点をより具体的に抽出できるのではないかという提案があった。

2. 不確かさの定量化と共分散データの評価

2.1. 共分散データの評価と活用へのコメント（東工大・千葉敏委員、資料 COVP-2-2-1）

はじめに、共分散に関する根本的認識を統一する必要性についての指摘、すなわち、評価済み核データファイルに与えられている共分散が、データを与える母集団に対する共分散に対応するものか、母集団の期待値の推定値に対する共分散に対応するものかを明確にする必要性についての指摘があった。基本的には、核データの測定データに与えられているものは前者であり、核データ評価値に与えられているものは後者であるという認識が共有された。次いで核モデル・パラメータを介する核データ評価での共分散評価における縮約の問題が指摘された。これは、測定データのばらつきを近似的なモデルのパラメータに一度落としこむことにより、最終的な核データの共分散に情報の欠落が生じるという問題であり、現時点での理論モデルの不完全さが共分散データには反映されていないということに対応する。さらに、一般的に標準断面積の比として測定される断面積データに関して、標準断面積（中性子束の規格化に用いる B-10 や U-235 の断面積も同様）の不確かさを介して生じる断面積間の相関が無視されていることから、最小自乗法で導入される共分散行列の逆行列が適切に評価されていない可能性が指摘された（このことは、標準断面

積の誤差が測定する断面積の誤差に対して無視できる程度に小さければ問題とはならない)。この点を考慮するためには、測定（値の導出）において用いた標準断面積の詳細な情報を論文等で明確に示す必要があることが指摘されたが、現状で EXFOR にはそのような情報は収納されていないとのことであった。加えて、核分裂収率の共分散に関して、拘束条件付き一般化最小二乗法に基づく評価に関する紹介があった。

共分散データ整備においては、厳密な解析が不可能である以上、直感をフルに働かせて、可能な限り合理的と思われる結果を出す努力をすることが重要であるとの指摘があった。また、以上に加えて、測定データは、過去の他の測定データや評価データから影響を受けているとのコメントがあった。

2.2. 核データに対して想定すべき確率分布（北大・千葉豪委員、資料 COVP-2-2-2)

評価済み核データファイルには期待値とその分散のみが与えられ、確率分布自体は陽に与えられていないため、正規分布を想定するのが一般的である。この場合、相対標準偏差が大きいと、負値に対して有意な確率が与えられることになり、ランダムサンプリング法による炉物理パラメータへの不確かさ伝播解析において問題が生じることがある。本報告では、正規分布に加えて切断正規分布、対数正規分布といった確率分布を想定し各々のエントロピーを比較した CEA の Lahaye らの研究が紹介された。エントロピーを最大化する確率密度関数は正規分布となるが、負値のデータに対して確率をゼロとするという条件の下でエントロピーを最大化する分布は一意に決まるため、エントロピーを最大化する分布を是とするのであればそれを用いればよいのではないかというコメントがあった。

2.3. 核分裂による平均中性子発生数の不確かさについて：測定側から（JAEA・木村委員、資料 COVP-2-2-3)

評価済み核データファイルの開発では、その最終段階において、特定の積分データ（例えば小型高速中性子炉の臨界特性データ）の再現精度を向上させるため、即発中性子放出数 (nu_p) の調整（チューニング）を行う場合があり、その操作の共分散データへの反映が難しいことが問題となっている。そのような背景から、議題 2.4 と合わせて、 nu_p の測定及び評価精度の現状について紹介が行われた。

測定の誤差は 1967 年代の実験ですでに 0.2~0.3% 程度であり、現在の視点から判断しても誤差の評価に非合理性は見られないことが報告された。基本的には Cf-252 の自発核分裂における nu_p を基準に測定されているが、このデータの測定精度も 0.1% を超える程度とのことであった。

2.4. U-235 の核分裂即発中性子数の評価手法（JAEA・岩本信之委員、資料 COVP-2-2-4)

U-235 を例に、 nu_p の評価手法と誤差評価の結果について紹介があった。JENDL-4.0

が与えている誤差は、500eV 以下の低エネルギーでは 0.3% 強であり、それよりも高いエネルギー領域では 0.5~1.0% の誤差となることが報告された。Cf-252 の自発核分裂の ν_p の高精度化が重要であり、2019 年の Croft らの評価ではその不確かさが 0.15% 程度とされており、JENDL-5.0 でも Cf-252 の ν_p の再評価を行う予定とのことである。Cf-252 の ν_p を介した異なる核種の ν_p 間の相関は現状の ENDF フォーマットで考慮することは可能であるが、実際には評価されていないとのことであった。なお、ENDF/B-VIII.0 では ν_p 及びその他の反応断面積を用いたチューニングが行われた旨が論文に明記されているとのコメントがあった。

3. 共分散データの利用

3.1. 臨界安全分野における適用例としての Whisper の紹介（名大・遠藤委員、資料 COVP-2-3-1）

共分散データ（SCALE6.1 付属のデータ）及び感度係数データ（ICSBEP 収納の約 1,100 の臨界実験データ）を利用して、未臨界と判定可能な中性子実効増倍率計算値の上限値（USL）を自動的に評価することが可能なツール Whisper の紹介が行われた。Whisper において、共分散データは臨界実験データベースを用いた GLLS により改訂されるが、臨界実験データに対する χ^2 乗値が閾値を超えないようにデータを選定することであった。また、USL の設定においては未検知のソフトウェア誤差が導入されているとのことであった。これらの閾値や未検知の誤差の定量化の方法は ad-hoc な扱いのようである。また、設計対象の USL の評価では、設計対象と各実験データの類似性の情報に基づいて抽出されたデータにおけるバイアス情報から極値理論と呼ばれる理論に基づいて最大バイアスが決定されるとのことであった。

3.2. 高速炉設計現場からのコメント（JAEA・丸山委員、資料 COVP-2-3-2）

フルモックアップ実験が期待できない次世代高速炉の核設計手法に関する V&V の観点から核データの共分散データを利用することは避けられないこと、現状の共分散データに基づいた場合は設計余裕を大きくとらざるを得ず、経済性へのインパクトが大きいため、積分実験データの利用による不確かさ低減が必要であることが紹介された。また、不確かさの妥当性確認の方法（積分実験データの充足性・包含性の示し方、積分実験データで検証される部分と十分でない部分の分別とその定量化方法、そして不確かさが不適当とされた場合のフィードバック方法など）が今後の重要検討課題となっているとのことであった。情報工学の分野で用いられている「交差検証」の方法によりデータベースの整合性の確認を行えるのではないかという提案があった。

4. 評価済み核データファイルにおける共分散データの位置付け

4.1. 汎用ライブラリとアプリケーションライブラリ（JAEA・石川委員、資料 COVP-2-4-

1)

上述の議題 2.3 で触れた、積分データを用いた核データのチューニングと共分散データの不整合を解決する方策として 2 種類のファイル（A ファイル、B ファイル）を作成することが提案された。A ファイルの共分散データは微分データのみから評価し、B ファイルに積分データの情報を反映した共分散データを収納させる、というものである。ここで、核データのチューニングは不偏推定の原則が崩れない範囲で行われるべきこと、またチューニングに関する情報は公開文献において可能な限り詳細に報告すべきであることが補足された。不偏推定の原則が崩れないとは具体的にはどのようなものか、A ファイルの共分散データはこれまでと同様となることから本質的に問題が解決されていないのではないかと、といった議論があった。一般的に GLLS の式の導出には正規分布の仮定が導入されるが、それとは異なるアプローチで式の導出が可能となるとされる横山委員の 2019 年 JNST 論文について、WG として理解する必要性が指摘された。

5. 今後の進め方に関する議論

今回の会合に向けて、「定量化されていない、もしくは定量化できていない不確かさ」「定量化されていても、その根拠が希薄な不確かさ」を、測定と評価の分野それぞれで、これまでの WG での議論を踏まえながら整理することとした。測定分野については片渕委員、評価分野については岩本信之委員がとりまとめることとした。このとりまとめ結果を基にして、共分散データの活用を推進するために各分野において行うべきアクションを考えることとした。また、炉物理パラメータの測定データにおける誤差評価に関して横山委員が次回会合にて情報提供を行うこと、誤差の定義、応用分野の問題点については千葉豪委員が整理を行うことが合意された。

共分散データの信頼性を担保する方法については、今後も WG 会合の場で議論を行うが、共分散データの活用が最も進んでいる高速炉の核設計分野の関係者で議論を行っていただき、WG での議論の叩き台を準備することを丸山委員が担当することとなった。

評価済み核データファイルにおける共分散データの位置付けに関しては、今回の石川委員が提示した原案を基に議論を継続することとなった。石川委員は今年度で退任することから、来年度以降は横山委員が引き継いで議論を主導することとなった。

以上