

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

文責 千葉 豪 (北海道大学)

日時：平成 30 年 9 月 11 日（火）13:30-17:40

場所：原子力機構東京事務所第 1 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、岩本修、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)、竹田敏 (阪大、オブザーバ)、藤田達也 (原子力規制庁、オブザーバ)、千葉豪 (北大)

### 議事録

#### 1. WG 活動の目的、予定など (北大・千葉委員、資料 COVP-1-1)

本 WG の活動の目的と予定が確認された。活動期間を 3 年間とし、基本的には毎年度 1 回のペースで会合を行うこと、最終年度（2020 年度）末に JAEA 公開報告書を作成することが合意された。2020 年 9 月に日本で開催予定の Covariance Workshop 2020 については、WG メンバーが個別に対応することとし、そこで得られた知見も報告書に反映させる方針とした。なお、可能であれば今年度中に 2 回目の会合を開催することとした。

#### 2. 核データ測定における不確かさ評価

##### 2.1. 核データ測定における不確かさ評価 (東工大・片渕委員、資料 COVP-1-2-1)

核データ測定における不確かさとその評価方法について、keV 領域の中性子捕獲断面積測定を例にして説明が行なわれた。モンテカルロ計算のモデルやガンマ線放出比などの核データに起因する検出効率の不確かさ、測定試料の仕様情報の不確かさ、絶対値を導出するための標準断面積の不確かさ、非測定領域に対する外挿の不確かさなどが挙げられた。定量化が困難な不確かさについては、研究者の経験に基づいた保守的な評価が行われていることであり、保守的であることが妥当であるか議論があった。また標準断面積の不確かさや同一試料を用いることによって生じる測定結果の不確かさの相関については、核データの評価では考慮されている場合があるが、評価済み核データファイルに相関情報が格納されることはないという現状が確認された。

##### 2.2. 核データ測定における誤差 (JAEA・木村委員 (片渕委員代理発表)、資料 COVP-1-2-2)

核データ測定における不確かさとその評価方法について、重核の中性子捕獲断面積測定を例にして説明が行なわれた。誤差として、統計誤差と 3 種の系統誤差（規格化誤差、一つの値に比例する誤差、複数の値に起因する誤差）が挙げられた。研究者の経験から見積

らざるを得ない誤差の存在や、測定対象の核データ自体を補正計算に利用せざるを得ない自己吸収・多重散乱の補正における問題点、試料中の想定していない不純物による影響などが説明された。

### 3. 核データ評価における不確かさ評価

#### 3.1. スムースパートの断面積：JENDL-4.0 の共分散評価 (JAEA・岩本修委員、資料 COVP-1-3-1)

スムースパートの断面積に対する共分散評価について、JENDL-4.0 のアクチニド核種の断面積を例として説明が行なわれた。共分散評価の基本は測定データを用いた最小二乗法であること、核分裂断面積の不確かさについては同時評価の結果生じる核種間の相関も含めて評価されていること、捕獲断面積の不確かさについては測定データの状況によって僅かに異なる方法を探っていることなどが説明された。JENDL-4.0 では最小二乗解を採用していないことから、共分散行列において最小二乗解と評価値の差を考慮しているが、この取り扱いが適切であるか（共分散行列が正定値行列となるか）、議論があった。測定データの系統誤差の相関の考え方など、評価者の経験に基づくものがいくつか挙げられた。なお質疑の中で、JENDL-4.0 の主要重核核分裂断面積の標準偏差は、実験データ間の相関が十分に考慮されていないため小さくなりすぎているとして、同時評価による値に factor 2 が掛けられているが、これは  $\chi^2$  乗値を同時評価で得られた分散に掛けておけば必要のない措置であったことが確認された。

#### 3.2. 共鳴断面積・共鳴パラメータ (JAEA・国枝委員、資料 COVP-1-3-2)

共鳴領域の核データに対する共分散評価について、JAEA で開発中の AMUR コードを用いた N-15 核データの評価を例として説明が行なわれた。AMUR は R 行列理論に基づく核データ評価コードであり、KALMAN フィルタを用いた測定データ解析（共鳴解析）も可能となっている。核データの評価は基本的には測定値に基づいて行われるが、原子核理論に基づく情報・知見も含めて包括的に評価を行うべきだとの主張があった。また、測定値の絶対値を補完するものとして、原子核理論によって生じる制約・条件を活用できる可能性が（核種によっては）あることが紹介された。現状では測定値の共分散データは対角成分のみを使用していることから、非対角成分を考慮することにより評価値の分散が大きくなる可能性が指摘された。

#### 3.3. 核分裂収率と崩壊データ (JAEA・岩本信之委員、資料 COVP-1-3-3)

核分裂収率、崩壊データの共分散評価の現状と今後の計画について説明が行なわれた。崩壊データについては、共分散（相関）を評価する予定は無いが、必要性があれば対応することであった。また、核分裂収率については、遅発中性子収率や質量収率、崩壊熱などの情報に基づいて Bayesian Monte Carlo (BMC) により共分散データを導出予定との

ことであった。核分裂収率の共分散データに関しては WPEC の SG37 において 2013 年から 2016 年の期間、検討が行われた旨の紹介があった。

#### 4. 核データから炉物理パラメータへの不確かさ伝播計算とデータ同化（名大・遠藤委員、資料 COVP-1-4）

表題に関して、方法論のレビューと現在の開発状況が報告された。不確かさ評価については、評価対象の複雑化・大規模化に伴い、古典的な感度係数を用いる（摂動理論に基づく）手法だけではなくランダムサンプリング法 (RS 法) に関する研究も進展していること、Reduced Order Modeling 等の計算コストを低減させる手法の開発が進んでいることが報告された。また、データ同化についても、感度係数を用いる方法及び RS 法のいずれについても手法が整備されていることが紹介された。炉物理分野で用いられているデータ同化については、地球科学などの分野で採用されているアンサンブル・カルマンフィルタ法や粒子フィルタ法と本質的には同等の方法であり、このような分野での研究成果が活用できる可能性が報告された。課題としては、核データ以外の要因の不確かさ（プラントパラメータなど）の取り扱いや、共分散データが与えられていない核データについては不確かさを考慮していない点が挙げられた。

### 5. 実機設計への応用

#### 5.1. 軽水炉（GNF-J・東條委員、資料 COVP-1-5-1）

軽水炉設計・解析における共分散データの活用状況について、日本原子力学会 2017 年春の大会での発表資料に基づいて説明が行なわれた。共分散データは、NJOY で処理した共分散マトリックスを SCALE の COVERX 形式に変換することで、SCALE と同様の方法で共分散データの合成や補正が行われた。このように処理・作成された共分散データと BWR 炉心静特性及び過渡解析に RS 法を適用した不確かさ計算を行った結果、BWR の炉物理パラメータや過渡解析結果については、水密度などを介したフィードバック効果により、核データに起因する不確かさが全体的に小さなものになることが紹介された。ただし、無限増倍率でみると依然として不確かさは大きく、その低減が望ましいことも報告された。しかも今回の解析で用いた共分散データには、水分子中の水素の熱中性子散乱則データや核分裂収率データのものについて考慮していないことであって、これらを考慮すれば不確かさは更に増大傾向となると考えられる。また、燃焼後の無限増倍率については、分布が正規分布から有意に外れることが紹介された。一般的に、共分散データに基づいて評価される炉物理パラメータの不確かさは、炉物理パラメータの実測値と予測値の差から比較すると大きくなることから、ユーザ側としては、「いかに共分散データから評価される不確かさを低減するか」という点に重点が置かれているという現状であるとのコメントがあった。この検討では JENDL-4.0 で共分散データが評価されていないものについては ENDF などのものを利用したが、本来、そのような対応は望ましくないことから、ユーザからの

ニーズを評価側が効果的に汲み上げられるような仕組みが必要だととの認識を共有した。

### 5.2. 高速炉（JAEA・石川委員、資料 COVP-1-5-2）

高速炉設計・解析における共分散データの活用状況について説明が行なわれた。高速炉設計では近年の V&V・UQ への要求に対応する必要があること、感度係数を用いた方法論を採用していることが紹介された。問題点として、共分散データにより評価された実効増倍率の不確かさが、実際の測定値と予測値の差異と比べて大きいことが挙げられた。これは核データ評価において積分テストの結果がフィードバックされている一方で共分散データの評価にはそれが反映されていないことに由来する。この問題点を解決するための方法として 2017 年 11 月の IAEA 専門家会合での提言が紹介された。積分データの核データ評価へのフィードバックと共に分散データへの反映はこの WG で議論すべき重要事項の一つであることから、今後の WG において議論を進めることとした。

### 5.3. ADS 設計における共分散データの活用（JAEA・方野委員、資料 COVP-1-5-3）

ADS 設計における共分散データの活用状況の報告と活用推進に向けた提言が行なわれた。JAEA の ADS 開発グループでも、基本的な方法論は高速炉開発グループと同様であり、実験施設での部分モックアップ実験によって実機 ADS の核設計精度が向上可能であることが示され、共分散データの重要性が指摘された。また、共分散データの活用推進のため、感度係数のデータベース化が提案された。この点については、リアクター積分テスト WG でも同様の議論が行われていることから、WG 間もしくは JENDL 委員会の本委員会で調整が必要であろうというコメントがあった。また、高速炉の炉物理パラメータの感度係数については、高速炉データベースに関する JAEA 報告書に添付されている旨、コメントがあった。

以上