

核データ共分散に関する国際ワークショップ CW2014

日本原子力研究開発機構
炉物理標準コード研究グループ

横山 賢治

yokoyama.kenji09@jaea.go.jp

核データ研究グループ

國枝 賢

kunieda.satoshi@jaea.go.jp

1. はじめに

Los Alamos National Laboratory の南東約 30km に位置するサンタ・フェで核データ共分散に関する国際ワークショップ CW2014 が開催されました。本ワークショップは、3年ごとに開催されており、今回は第3回目となります。第1回は「中性子断面積共分散に関するワークショップ」と題して、2008年にアメリカのポート・ジェファーソンにおいて開催されました。第2回は、「中性子断面積共分散に関するワークショップ」と題して、2011年にオーストリアのウィーンにおいて開催されました。なお、第1回目のワークショップについては、核データニュース No.91 (2008)で、LANL の河野氏が報告をされています (<http://www.ndc.jaea.go.jp/JNDC/ND-news/pdf91/No91-02.pdf>)。この報告によると、1991年、1999年に先駆けとなる会議が2回開催されているようですので、この会議を含めると既に20年以上の歴史を持っていることとなります。

次回の会議については、フランスの原子力・代替エネルギー庁 (CEA) のカダラッシュ研究所が担当することが決定されており、今回の会議の最後のセッションで、CEA の C. De Saint Jean 氏から3年後にカダラッシュにおいて第4回目となる会議を開催するという公式のアナウンスがありました。今回の会議からは「CW2014」という名前が前面に出されており、今後は「CW 年号」という名前で認知されて、今後ますます規模を拡大して定期的に行われていくものと期待されます。

なお、発表者のスライドは近日中に会議ホームページ (<http://t2.lanl.gov/cw2014/>) において公開予定です。また、本会議での発表論文は、査読後に Nuclear Data Sheets の 2015年1月の特別号として発行される予定です。技術的な詳細について興味がある方は、ス

ライドや論文をご覧いただくことにして、本稿では会議の概要をご報告させていただきたいと思います。

2. 会議概要

本ワークショップでは、セッション区切り毎にテーマが与えられていましたが、大きく分けて8つのテーマ、1) 世界における核データライブラリと関連する不確かさの定量化の現状、2) フォーマット、ベンチマークと目標精度、3) 炉心解析への応用、4) 天体物理学、5) 最新の核分裂実験、6) 実験による共分散評価と核データ評価、7) 核データ評価手法、8) 核分裂収率の評価、に分類することができます。ワークショップの参加者は17ヶ国からの58名、報告は全部で44件あり、すべて口頭発表で行われました。日本からは本稿を執筆している二人が参加しました。北大の千葉豪先生も参加される予定でしたが、当日参加できなくなったため、LANLの河野氏が代理で発表されました。

(1) 核データ・共分散評価、評価手法に関連した発表内容

今回の会議で最も多かった発表テーマはウランやプルトニウム等の核分裂即発中性子スペクトルの誤差・共分散評価に関するものでした。その背景には、炉物理研究者側から誤差・共分散データに基づいた品質保証が強く求められていること、そして評価手法自体が途上の段階にあること等があります。特に米国ロスアラモス国立研究所では、測定と理論研究者が一体となったプロジェクト的研究が推進されており、モデルを用いた共分散推定において測定に関する知見をできるだけ反映させようという試みが行われています。

米国の核データライブラリ (ENDF) における共分散データに関するアクティビティとしては、オークリッジ国立研究所における共鳴パラメータの共分散評価、ロスアラモスやブルックヘブン国立研究所における高速エネルギー領域の断面積共分散評価があります (これらの評価結果は、ENDF/B-VII.1 に反映されています)。また、JENDL-4.0 (主にマイナーアクチノイド核種) や IAEA 中性子標準核データライブラリの共分散が積極的に取り入れられています。さらに COMMARA とよばれる共分散に特化した研究プロジェクトが ENDF 開発と連携して進められています。

欧州諸国においては、モンテカルロ法を用いた断面積共分散の評価手法が積極的に取り入れられているようです。これは、断面積測定値のばらつきに応じて、核反応モデルパラメータ値をランダムに与えることによって共分散を推定する方法です。この手法の利点は、通常用いられる決定論的な手法では解析が困難である散乱中性子の角度分布やスペクトル等の誤差・共分散を容易に扱えることです。また、従来の誤差分布はガウス型に制限されていましたが、その制約がなくなる等の利点もあります。会議では、モンテカルロ法の特徴を活かした研究例として、14 MeV 中性子漏洩スペクトル測定値 (大阪

大学 OKTAVIAN における積分測定値) に対する解析結果が核データ起因誤差と共に示されました。さらに、核反応モデルパラメータの拘束条件に断面積測定値のみならず原子炉実効増倍率等の積分測定値を加えて断面積共分散を推定しようといった研究が試みられています (これに関しては賛否両論あり、活発な議論が行われました)。

この中で国枝は、中性子共鳴領域における R 行列理論解析に基づいた酸素-16 共分散の解析結果を報告しました。適用エネルギー上限等の質問を受けた他、系統誤差の取り扱い方や角度微分断面積の解析に関して質問やコメントがありました。その他、核データ測定における誤差の解析および評価、熱中性子散乱則の共分散、核分裂収率の誤差、統計論関係、フォーマット関係等々、多岐に亘る発表がありました。

(2) ベンチマークと目標精度、炉心解析への応用に関連した発表内容

ベンチマークと目標精度に関するセッションでは、米国 INL の G. Palmiotti 氏から、炉定数調整法を適用する際に注意すべき点等をまとめた報告がありました。具体的には、炉定数調整結果を分析する際に着目すべきパラメータ、異なる反応の核データの調整の相殺によって一見すると積分実験データをよく再現しているように見える「相殺効果 (Compensation effect)」の問題とこの問題を避ける方策、事後共分散データの物理的意味、共分散データに含まれる負の固有値 (正定値性) の問題等です。この報告は、OECD/NEA WPEC の活動 (CIELO、Subgroup 39) と関連しており、炉定数調整計算結果、すなわち積分実験データを微分核データの評価に反映するという観点から、議論が行われています。このテーマに関連して、横山は炉定数調整法における共分散データの重要性と、炉定数調整計算結果を分析する方法の提案と Pu-239 捕獲断面積の調整量に着目した分析結果を報告しました。

一方で、同じテーマのセッション内で、感度係数を利用し、設計対象の目標精度から核データに必要な精度を逆算する Inverse Sensitivity/Uncertainty (S/U) と呼ばれる手法に関連した報告が 3 件行われました。この手法を使うことで、どの核種、反応、エネルギーの核データの精度を向上させれば、核データ評価のコストを最小にしつつ、設計対象の目標精度を達成することができるかということを定量的に評価することができます。この手法は、炉定数調整法を逆向きに使ったような手法と考えることができますが、炉定数調整法とは異なった方法で、積分実験データや設計対象の積分核特性と微分核データの間関係を定量化することができるため、炉物理と核データの分野をつなぐ手法として今後の発展が期待される分野だと思えます。

炉心解析への応用に関連したセッションでは、INL の M. Salvatores 氏から、革新炉の設計における不確かさ定量化の重要性と、目標精度を達成するためには、不確かさの低減が不可欠であることを強調した発表が行われました。続いて、ANL の G. Aliberti 氏から共分散データ COMMARA-2.0 と 2.1 を利用した高速炉及び ADS の設計精度評価の結果

が報告されました。その他、燃焼計算や臨界安全解析に対して核データ共分散を適用した不確かさ評価に関する報告が 3 件ありましたが、いずれも決定論的手法ではなく、モンテカルロ法をベースとした感度解析手法が利用されているのが印象的でした。

3. おわりに

最後の Farewell セッションでは、前述の次回会議のアナウンスがあった後、今回の会議の Local organizing committee の Chair である D. Neudecker 氏から Proceedings 原稿の提出は会議終了時までなので、今がまさにその締め切りですという厳しいお言葉とともに会議終了が宣言されました。その直後に、サプライズで D.L. Smith 氏から、D. Neudecker 氏に会議運営とりまとめのお礼を込めた花束贈呈がありました。女性ということもあつてか、会場全体がとても暖かい雰囲気になって、会議が成功裏に終わったことを印象づけるものでした。このときの写真をつけて本報告を締めくくりたいところですが、報告者もなんとなくこのとき雰囲気に飲まれてしまって、写真を撮るのをすっかり忘れていました。



会場の様子

(全てのセッションが一つの会議室で行われた為、筆者らはどのセッションを聴講しようかと迷う必要がありませんでした。さらに、参加者との意見交換も行きやすい環境・雰囲気でした。)



会場となったホテル La Fonda

(サンタ・フェでも最も高級といわれているホテルだそうです。参加者は事前に予約すればお値打ち価格で宿泊することができました。レストランやバー、カフェ、おみやげものを売る店も入っていて、ホテルの中はにぎやかな感じでした。)



ホテルの横にある聖フランシス大聖堂

(写真では少しわかりにくいかもしれませんが、海拔 2130m と高いところに位置しているため、雲が低く感じられるのがとても印象的でした。)