

## Workshop on Neutron Cross Section Covariances

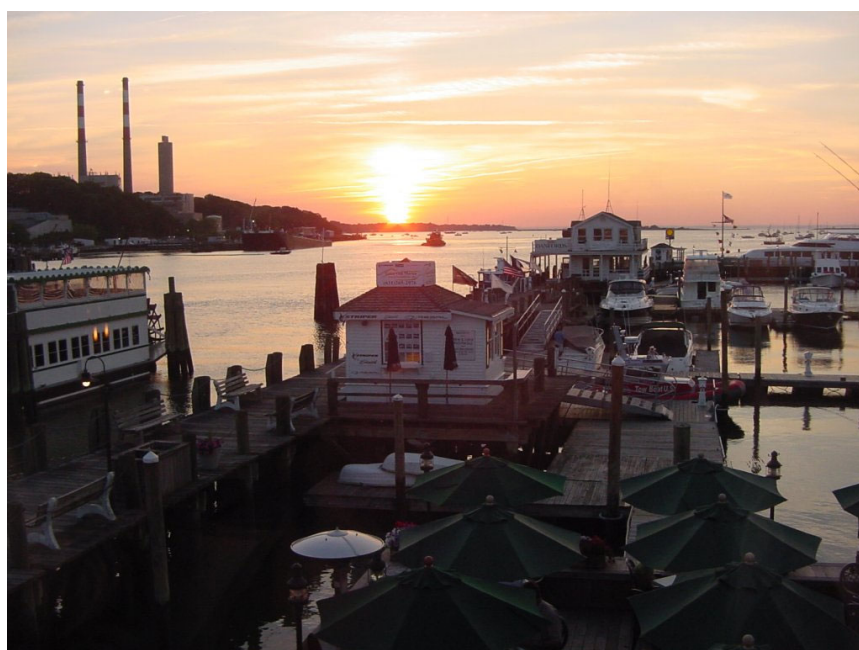
Los Alamos National Laboratory

河野 俊彦

kawano@lanl.gov

### 1. はじめに

Brookhaven National Laboratory からほど近い港町 Port Jefferson の Danfords Hotel & Marina にて6月24日から4日間、核データ共分散に関するワークショップが開かれました。このホテル、以前は確か Danford's Inn と呼ばれていたと思うのですが、レストランは結構有名で、BNL 出張の折に何度か食事に出かけたことがあります。BNL 主催の会議ということで、宿泊料金が割安になり、このチャンスを逃すまいと参加を決めた次第…というのは言い過ぎですが、会合のローケーションが参加決定の大きな要因になりがちなのは、去年の Yosemite の会合で実証済み。内容が共分散データと言うことで、できるだけ避けたいトピックスではありました。



Port Jefferson の夕暮れ (撮影：石川氏)

BNL は過去に 2 度、共分散関連セッションを含む会議を主催しており、1991 年には核データ評価の方法論に関するもの。幾つかの共分散評価関連の発表がなされています。この時の会議、何故か自分も後半だけ参加致しました。夕方、何かの特別会合が開かれ、なんとテーブルにビールが並んでいます。でも栓抜きが無い。一体どうやって飲んだものかと考えあぐねていると、隣のカウボーイっぽい紳士（相容れない表現かも）が「こいつは、手で開けられるんだ」と、ビールの栓を開けてくれました。それが実は Phil Young との最初の出会い。LANL に転職した後、その時のことを覚えているかと聞いたことがあります。さっぱり覚えて無いとのこと。

それはさておき、二度目の共分散会議は 1999 年。ANL の D.L. Smith 氏が中心になって進行したと記憶しています。この会合にも、核データセンターの柴田氏と共に出席していますので、何となく BNL との縁は深い。後日 Proceedings が ORNL のレポートとして出版されましたが、何故か柴田さんと私の分が送られて来ない。ORNL に苦情を言うと、製本されたものでは無く、そのコピーが送られてきました。我ながら詰まらないことを根に持っているものです。

約 10 年の間を開けて 2 度やったのだから、3 度目も BNL 主催です。以前と違うのは共分散への需要、実際の応用、それに評価活動そのものの活性化があり、3 日半の密度の高い会合になったこと。もちろん国内参加者が最多で、アメリカの国立研究所からの参加者だけで半数を超えています。それでも、ヨーロッパとアジアの幅の広い地域からの参加があり、世界中から 50 人を越す参加者が集まりました。日本からは、JAEA の石川氏と岩本氏が参加されました。

## 2. 会議の背景

会議の Web Site (<http://www.nndc.bnl.gov/cw2008/>) に全発表のスライド、それに D.L. Smith 氏による素晴らしいまとめが置かれています。これを読めば会議参加による単位が取得できるのですが、それでは原稿依頼された立場がないので、以下に簡単に、発表スライドだけでは分かりにくい背景等を述べておきます。

アメリカで共分散データの需要が以前にも増して高まっている理由は、AFC (Advanced Fuel Cycle) にあります。日本やフランスでも以前から行われていることですが、核変換に用いられる高速炉の設計に、誤差・感度の考え方を応用するというもの。ただ、一部に誤解があるようですが、ここから直接大きなお金が出ているから共分散をやっているという訳ではありません。また、Gen-IV はこの AFC に吸収されています。

合衆国での共分散ビジネスの一つの柱が、臨界安全にあります。実際に共分散評価という形で予算が付いているのは、このプロジェクトです。ORNL の TSUNAMI と呼ばれる誤差感度解析システムでは、種々の臨界システムを解析するために広範囲にわたる核データ共分散が必要になります。このために、とりあえず ENDF/B-VII.0 の全核種に共分

散を付けてみようというプロジェクトが始まりました。もちろん非現実的な話ですので、主要重核の共分散は LANL が評価するしっかりしたものを入れておき、それ以外はとりあえず形になるだけでも良いから簡便に評価したものを用意しようということになりました。LANL の R.C. Little 氏がこの共分散データを Low Fidelity と呼んだことから、Low-Fi という単語がすっかり定着してしまいました。怪しい感じが漂ってきます。

この Low-Fi を含む共分散評価は、BNL、LANL、ORNL が分担しています。評価手法は主に JENDL で開発された KALMAN コードを用いたものが用いられますが、水素からフェルミウムまで共分散を付けようとする、中には誤差の評価をしようがないような核データもありますし、 $^{155}\text{Fm}$  の共分散データを一体誰が使うのか疑問でもあります。手法としては "my estimate" 等という怪しげなものも出て来ます。PUFF-IV や ERRORJ で処理できるようなデータベースを、とりあえずすべて用意しておき、より重要なものは追々改訂して行こうという考え方です。

### 3. 会議概要

会議内容は、利用側からの要求と応用例、共分散データ処理、手法と評価に分かれています。残念ながら実験での共分散に関する講演は含まれませんでした。

Salvatores 氏は共分散データ利用側の観点から共分散データの必要性を述べ、共分散評価と応用に関する最近の国際協力、および将来拡大するであろう核データ共分散について総括しました。石川氏は JENDL における共分散評価と利用に関する講演を行い、実際に高速炉設計での目標精度を達成するには、このような手法が不可欠であることを、数値例を挙げて説明しました。

データ処理に関しては PUFF-IV の最近の開発状況、それに ERRORJ の使用例等、評価手法は共鳴領域とそれ以上での領域に分かれます。共鳴領域での共分散評価は ORNL での SAMMY によるものと、共鳴積分を考慮した Low-Fi 評価、それに BNL の Mughabghab 氏の評価値を EMPIRE に取り込むという方法。高速領域では、LANL/BNL がすすめている KALMAN コードを用いるものと、D.L. Smith 氏が提唱するモンテカルロに基づく手法、それに GMA、SOK、GLUCS 等の最小二乗法があります。また、モンテカルロでの感度計算結果に実験データ共分散を組み込む GANDR というシステムが、IAEA で開発されています。

実際に評価された共分散データとしては、ORNL での共鳴パラメータ共分散、BNL と LANL での高速領域の結果、それに LANL における軽核評価の結果、JENDL アクチニドファイルでの共分散評価、さらに標準断面積評価についての発表等、最近になって臨界性に対する核分裂スペクトルの感度が大きいことが「再」発見され、それに関連する講演も数件ありました。

会議主催のディナーでは、M. Herman 氏による特別講演が開かれました。Herman 氏は核データ相関係数と現代芸術の関連について述べ、モダンアートにおいてキャンバス一面単色に塗りつぶされた油絵が、相関係数 100%を表現しているという解釈を披露しました。また、モンドリアンやカンディンスキーの表現する抽象画は正定値行列では無いことを、視覚的に証明しました。



会議の様子

(撮影：石川氏)

#### 4. 所感雑感

どの発表もかなり内容の濃いものばかりで、ワークショップそのものは成功に終わったと言っても過言ではないと思います。共分散データの実際の利用がますます現実的になって来たこと、JENDL を始めとする共分散データ付き核データが着々と整備されつつあること、そして評価手法上のおもしろい試みが色々と提案されて来たことが、この分野の活性化に繋がっているようです。

モンテカルロ利用に関して特に話題になったのが D. Rochman 氏による発表で、TALYS への入力パラメータと共鳴パラメータをすべてサンプルして数千の ENDF-6 フォーマット化された核データファイルを生成し、そこから  $k_{\text{eff}}$  の分布を求めてしまおうというもの。要は共分散ファイルを作らずに TALYS と Godiva を直結するというアイデアで、今年になってすでにあちこちで発表されているので聞いた方もあるかもしれません。現実的かどうかはさて置き、講演者が今後の核データセンターのあり方にまで言及したのには、少々寒気すら感じました。

モンテカルロは結局、模型パラメータの感度計算をしているに過ぎないのですが、なんだかその cool な響きからか欧州で流行っているようです。個人的には摂動計算なんて数値微分で十分だと思うし、たかが誤差伝播計算するのにモンテカルロまで持ち出すのは時間と労力とコンピュータの電気代の無駄としか思えないのですが。何となくやり方が cool だから、出来上がった共分散は「良い」共分散だと言っているように聞こえてなりません。

もう一つ話題の中心となったのが、積分データを共分散評価に組み込むかどうかという内容。こういうことを言い出す人は決まって共分散データをどこか勘違いしていて、まるで共分散が断面積とは関係なく評価できるように感じているようです。積分データを入れたいのなら、それを含んだ共分散データを用意すればいいだけのことで、それを微分データだけの場合と比較しても意味がありません。実際の議論では、積分データによる評価値の「汚染」を心配する声の方が大きかったようです。

関連する内容ですが、共分散データをどうやって validate するのかという声も何度か上がりました。そういう場合にすぐに出る声が、積分データと比較すれば良いというもの。こういう勘違いの出所は、結局、共分散データを断面積のような物理データと混同することにあります。共分散データを許認可に利用できるようにするには、その有効性確認は避けられないという声もあり、その手段の一つとして、河野家の隣に核施設を建てれば良いというアイデアもありました。

そう言えば、Integral Data とか Sensitivity とか Adjustment とかの印象的な単語が講演中に出る度に、必ず手を上げて質問する日本人参加者がおりました。色んな人が「彼は日本人にしては珍しく、会議に積極的だねえ」と僕に言ってきました。そんな誤解を解くのにこちらも大変でした。「いえいえ、彼は長旅で疲れてるんですよ。普段は、あんなもんじゃないんだから」