第 30 回国際核データ委員会（INDC）会合報告

ロスアラモス国立研究所
河野　俊彦
kawano@lanl.gov
国際原子力機関
大塚　直彦
n.otsuka@iaea.org
日本原子力研究開発機構
深堀　智生
fukahori.tokio@jaea.go.jp

1.　はじめに

隔年で開催される International Nuclear Data Committee、通称 INDC は今年で 30 回を数えます。この会合は各国・地域の研究機関の核データ関連代表者が出席する政治的な色合いの濃いものですが、大まかに二つの側面を持ちます。一つは IAEA の核データセクション(Nuclear Data Section、以下 NDS と略す)の現在の活動についての報告を受け、それについての意見を述べるという公聴会的側面。もう一つは各地域が核データ需要を報告し、それに基づいた NDS への提言を行うものです。これらの意見は NDS が計画・遂行する国際協力プロジェクトに対する国際的な裏書としての意味を持つ重要なものです。6 月 3 日～6 日開催の本会合には、日本からは JENDL の代表として深堀が参加しました。また河野はアドバイザという立場で過去何度か出席しています。

2.　NDS 設立 50 周年記念式典

今年は NDS の前身である NDU（Nuclear Data Unit）の Physics Section への設置から数えてちょうど 50 年です。そこで、本会合冒頭(月曜午後)はその記念行事“50th Anniversary of the Nuclear Data Section”に充てられました。冒頭、原子核科学・応用（NA）局の M. Daud 氏と原子力（NE）局の A. Bychkov 氏が祝辞を述べました。NDS は組織図上は NA 局内に

ありますが、核データ事業の予算は主に原子力局の事業が関係するプログラム（Major program 1）に属しており、従って NE 局とも深い関係にあります。

続いて次の各氏による講演がありました（括弧内は在職期間）：R. Forrest (2009-), A. Nichols (2001-2009), D. Muir (1978-1980, 1989-1992, 1996-2001), H. Lemmel (1964-1996), P. Obložinský (1993-2000)。当初は NDS 創設（1969 年）から 1992 年まで 22 年の永きに渡って課長を務めた J. Schmidt の出席が予定されていたのですが、氏が行事直前に逝去され、参加がかなわなかったのは惜しいことでした。残る歴代課長である C. Dunford は、ご夫人が NDU の初代ユニット長の Westcott の秘書であるなど、NDS と公私に渡って御縁のある方ですが、あいにくの欠席となりました。全ての講演をご紹介することは不可能ですので、以下では Lemmel と Obložinský のお話の内容の一部をご紹介いたします。

図 1　NDS50 周年式典会場（Vienna International Centre Building M Board Room A）

Hans Lemmel の講演から

NDU 創設期から 33 年近くに渡って職員であった Lemmel（彼の着任は本行事のほぼ 50 年前の 1964 年 6 月 1 日）は NDS の生き字引といえます。彼の講演はキューバ危機（1962 年）以降の冷戦時に開始された NDS の国際協力がなぜにかくも成功したのか、という問いかけで始まりました。

NDU 発足に当たり、当時の局長の Henry Seligman のもとに発足した"International

Nuclear Data Scientific Working Group"（INDSWG）で、NDU が行うべき事業が議論されました。文献索引情報の米欧ソ間での交換を勧告した 1964 年 11 月の第三回会合（ワルシャワ）が特に重要で、そこには日本から百田光雄氏が参加しました。続く第 4 回会合が東京で開催され、その後、INDSWG が常置委員会（INDC）に再編されたことについては、百田氏の JNDC ニュースの記事（No.3 p.37）をご覧ください。

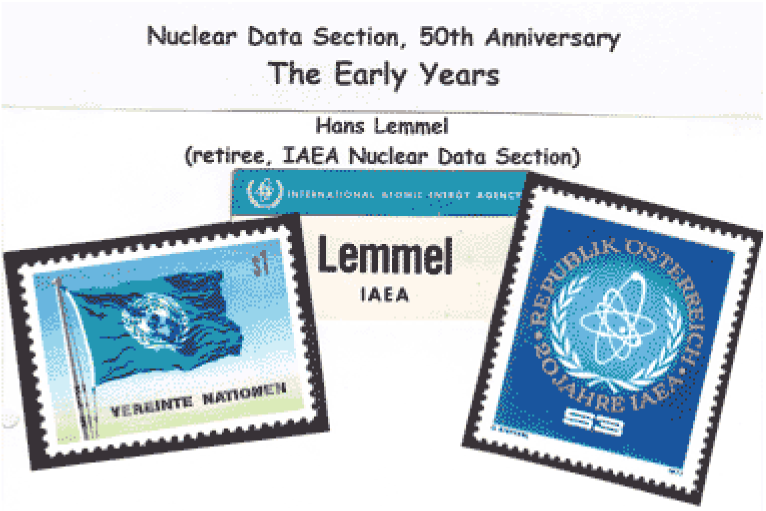

図 2　Lemmel 氏のスライドの表紙

図 3　Hans Lemmel 氏（1964～1996 在職）

さて、今でこそデータ交換はメールへの添付で極めて簡単に行えますが、当時は西側がIBMの80桁のパンチカードを用いていたのに対し、旧ソ連はサイズこそ同じでも方式が異なるパンチカードを用いていたという事情があり、Lemmelはカード情報を変換するためのプログラムをAutocoderという言語を用いて作成したのだそうです（Lemmelに言わせると、これが電子媒体を通じた初の科学情報の東西交換）。当初は数値データのみの交換だったようですが、実験情報など付随情報を交換する書式（EXchange FORmat）が1969年にモスクワとオブニンスクで開催された第5回4中性子センター会議にて決定されます。当時の合意に関する後日談が面白いので、Lemmel の文章から引用しておきましょう:

> "The agreement on the EXFOR principles was reached fast and in an optimistic spirit. However, it was a meeting of physicists, and when the center heads returned home, they had to go through a thunderstorm of critique by their programmers. Consequently, a programmers' workshop was organized."

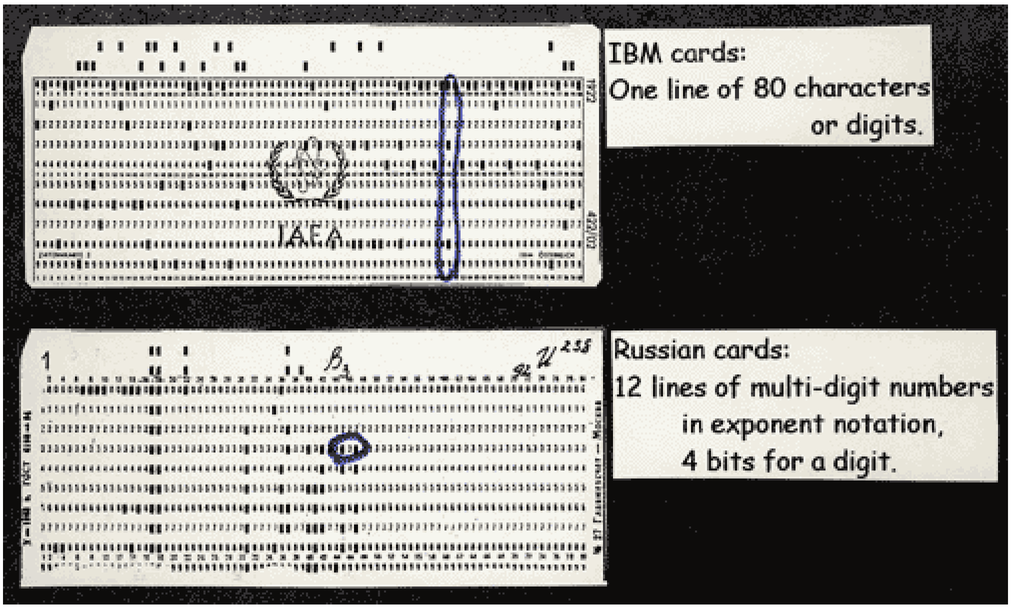

図4　Lemmel氏のスライドよりIBMパンチカード(上)とロシア式パンチカード(下)

実際のEXFOR systemのプログラミングはNDUのプログラマだったP. Attreeが当時アメリカにいたR. Cullenとともに行ったそうです。一方、評価済反応データの交換の開始はこれよりも遅く、ENDFがそのための書式として合意されたのは1987年に中国で開催されたINDC会議を待たねばなりませんでした。

IAEA本部は市内環状道路(リンク)のオペラ座近くにあるグランドホテル（その後一時はANA ホテル、在留邦人にとっては和食レストラン「雲海」のあるホテルとして有名）

に職員数百人の規模で開設され、門番は職員一人一人を名前で呼ぶほどだったそうです。その後の規模拡大でグランドホテルは手狭となり、1979 年に IAEA 本部は現在地（Vienna International Centre, VIC）に引越しました。この狭隘化の問題は VIC 完成以前から深刻になっていたようで、NDS は VIC 完成以前の 1972 年にウィーン大学近くの Wasagasse に移転しています。計算機が職員と同時に移転しなかったため、NDS の職員は 3 km ほど離れたリンク沿いの IAEA 本部までテープやパンチカードを抱えて路面電車で頻繁に出かけざるを得ず、1976 年の NDS からの 4 センター会議への報告書にも"Since the staff has to travel frequently between Wasagasse and Kärntnerring, NDS encounters an effective loss of manpower between 5 and 10 percent."という文章が見られます。

NDU から NDS への昇格以降、その活動範囲は INDC の助言に従い、CRP 等による研究契約を通じた加盟国の核データ活動の促進へと広がっていきました。各種のハンドブックもこのような研究契約の成果物で、1974 年に出版された"Handbook of Nuclear Activation Cross Sections"はその代表格だそうです。実際、この本は NDS から配布されている各種電子出版物の中で 2011 年に最も多く（1984 回）ダウンロードされていることが分かっており、出版後 40 年近くたっても根強い人気があるようです。なお、本書の改訂版とも言うべき"Handbook on Nuclear Activation Data"の出版の顛末は元 NDS 職員の岡本浩一氏の核データニュースの記事（No.36 p.85）に記されています。

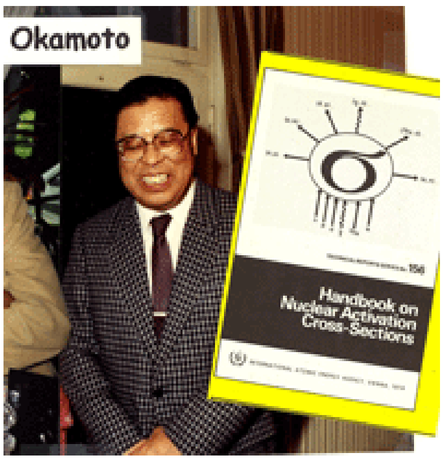

図 5　“Handbook of Nuclear Activation Cross sections”と岡本浩一氏（Lemmel 氏のスライドから）

Pavel Obložinský の講演から

在職期間こそ 7 年と NDS50 年史に占める割合は Lemmel の 33 年に比べて短い Obložinský ですが、Dunford の離任から Muir の着任まで、課長代理として NDS の歴史上でおそらく最も難しい状況を乗り切った彼の話は印象的でした。彼がスロバキアの首都ブラチスラバから赴任したのは 1993 年 6 月、ソ連邦の解体の 4 年後、またチェコスロバキアがビロード革命によりチェコとスロバキアに分離した年でもありました。彼の赴任当時はスロバキアがまだ IAEA に未加盟で、赴任後正式な職員となるまでに半年ほど要したようです。東西冷戦終了やチェルノブイリ事故など、当時の原子核科学のおかれた状況は厳しく、加えて Schmidt の後継課長に予定されていた東独出身の D. Seeliger の任用に対して統一ドイツ政府の同意を得られず、NDS にとって難しい時期となる兆しが感じられたようです。後継者が決まるまで、ということで赴任した Dunford も親元の NNDC の状況が怪しく、赴任後 2 年で NNDC に戻ることになりました。

図 6　Pavel Obložinský 氏（1993～2000 在職）

このような状況で、課長代理に Obložinský が指名されたのが 1995 年 7 月です。当時、事務局長室による外部評価の噂があったようですが、Dunford は Obložinský に「特に何の動きもないし、夏の間は何も起こらないから」と言って去って行ったそうです。実際には、同年 4 月の第 20 回 INDC 会合冒頭で事務局長補佐官の H.S. Cherif が、「核データプログラムを継続するためには、その重要性が各加盟国の意思決定レベルにもっと理解さ

れる必要があり、そのための外部委員会を組織する必要性がある」と述べています（菊池康之氏による核データニュース No.51 p40 の記事参照）。そして、Dunford 離任わずか 1 週間後に Obložinský は NDS が国際評価委員会（いわゆる"Arima Panel"）のレビューを受けることを伝えられます。この委員会（Consultants' Meeting）が開催されたのは 8 月 31 日〜9 月 1 日で、彼にとっては事態が異常な速さで推移したことがうかがえます。

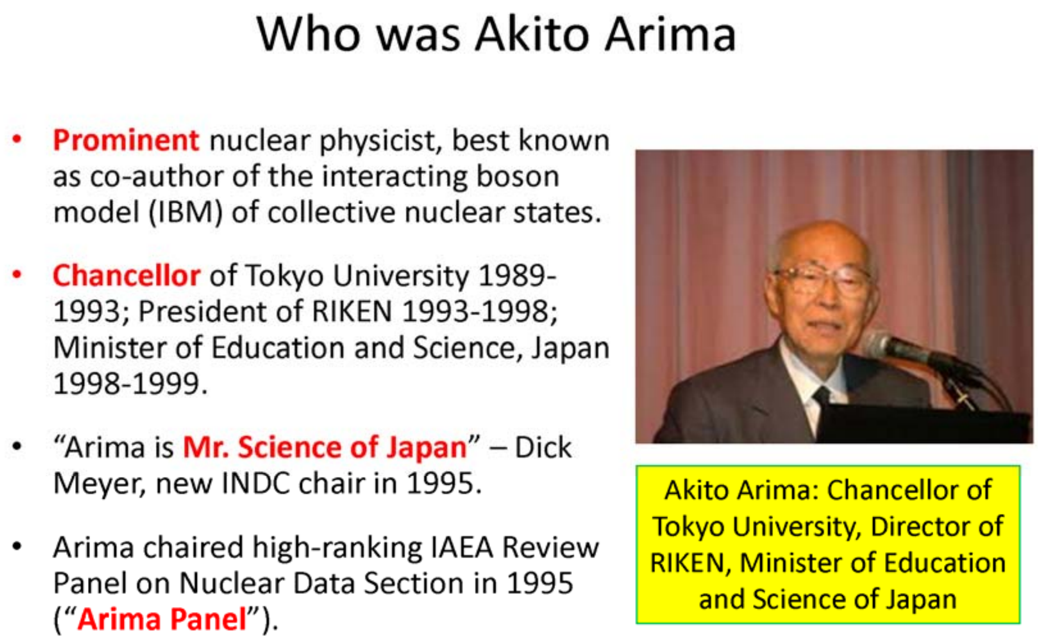

図 7　Who was Akito Arima（Obložinský 氏のスライドから）

Obložinský はこの委員会の答申の内容によっては世界の核データ活動が相当なダメージを受けることを危惧し、Lemmel、Dunford、D. Meyer（当時の INDC 議長）とともに全力を挙げて準備を進めました。委員会の議長に選ばれたのが有馬朗人氏（当時理研理事長）で、Obložinský からの電話を受けて有馬さんに事情を説明したのは、A. Mengoni 氏（当時理研）でした。また、これ以外に中・米・独・露から委員 4 人が選ばれました。各委員とも核データ分野に直接関わりのない方々です。Obložinský は一枚のスライドを有馬さんの紹介に割かれ、Meyer が"Arima is Mr. Science of Japan"と言ったことなどが紹介されました。この有馬パネルの報告書は Obložinský が

> "Outcome was highly positive to NDS! Arima appeared to be enlightened leader, preferred long-term views and felt strongly that nuclear science and technology need to

be duly supported. One-page summary put NDS into delight. NDS situation stabilized, transition into a new millennium become possible.”

と記し、また長谷川明氏の核データニュースの記事（No.55 p.1）にも見られるように、IAEAにおける核データ事業の重要性を極めて明確に強調したものとなっています（例えばNDS の事業はいかなる他の国連機関の事業とも直交したものであり、できれば事務局長直属の、あるいは少なくとも局長直属の部のレベルに格上げされ、その予算が他予算との競争にさらされるようなことがあってはならない、など）。この苦労談は、空気や水のごとく誰もがアクセスできるように維持されているがゆえにその事業の重要性が一般にはなかなか見えがたい、という核データ事業の難しさを端的に示しているように思われます。

3.　30th INDC Meeting

NDS は R. Forrest をヘッドとし、Nuclear Data Service, Nuclear Data Development, Atomic & Molecular Data の 3 つのユニットから構成されます。会合の前半は Forrest 並びに主に各ユニットからの報告で、2012 年から 2013 年にかけての活動報告に続き、現在進行中のプログラム、および将来予定されている国際協力プロジェクトの紹介が行われました。委員会側からは、現在必要あるいは近い将来重要となるであろう核データの提言、並びにNDS の活動に対する意見・要望が出されました。後半は 2 つのワーキンググループに分

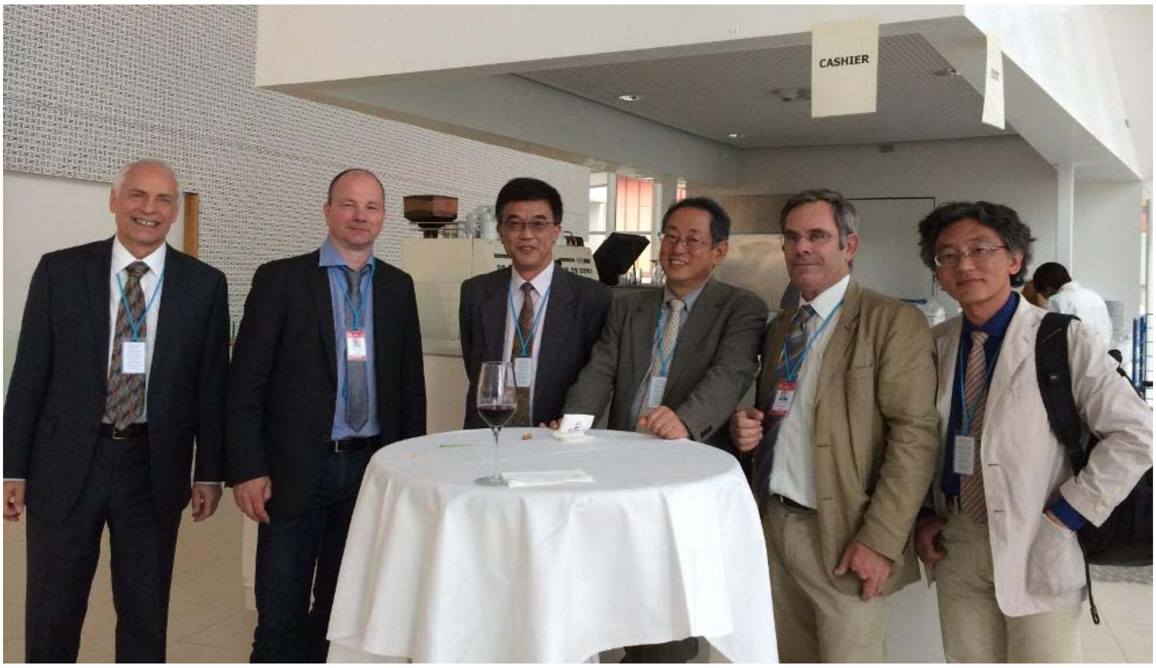

図 8　50 周年記念講演会場にて。左から M. Herman (BNL), A. Plompen (IRMM), Z-G. Ge (CIAE), T. Fukahori (JAEA), J-C. Sublet (CCFE), T. Kawano (LANL)

かれ、WG1 が核データ開発に関するもの、WG2 が核データ利用促進や国際協力ならびに核データの評価・利用のための技術支援（トレーニング）に関するものとして、各々のグループが NDS に対するレポートをまとめる作業を行いました。

NDS への意見・要望では各国各研究機関の利益を代弁するようなものが出されるため、話が噛み合わないこともしばしばあり、また NDS が必ずしも国際機関として個々に対応できる訳ではありません。NDS は INDC のそういった要望を汲みつつ、将来への舵取りを行います。

INDC からの要望では、核データ処理コードに関するものが少し議論になりました。ある INDC メンバーから出された要望で、評価済み核データファイルだけではなく、処理コードを通した ACE ファイルを NDS から配布して欲しいといった内容です。おそらくは二つの理由があり、一つは輸送計算用ライブラリを作成できる人が限られているということ。そしてもう一つは処理コード自体の配布に制限がかかっていることでしょう。NDS からも PREPRO が処理コードとして配布されていますが、これを NJOY のように利用できるようにするには、かなりの労力を必要とします。

NDS の成果報告から

報告された活動内容を全て紹介することはできませんので、2012/13 年成果報告から核データニュース読者の興味を惹きそうなもののみ取り上げます。

評価済み核構造データファイル ENSDF を利用しやすくするためのソフトウェアが開発されています。一つは LiveChart という Web インターフェイスによるもので、以下の URL からアクセス可能です: http://www-nds.iaea.org/livechart/。もう一つは Android のアプリとして昨年公開された Isotope Browser で、スマートフォン上で核構造データを簡単に参照できる便利なものです。現在は Android 版のみ公開されています。

新しいドシメトリファイ IRDFF 1.03 が公開されています。核融合炉や加速器駆動原子炉での利用も視野に入れ、反応によっては最大エネルギーが 60 MeV ないし 200 MeV へ拡張されています。IRDFF のファイル検証の一貫として核分裂中性子スペクトル平均断面積との比較を行っていますが、反応の実効閾エネルギーが高くなるほど計算に用いるスペクトルの不確かさの影響が大きくなるため、核分裂スペクトルの詳細な評価も同時に必要になるようです。

なお、核融合炉開発用の評価済みライブラリとしては、最近の Coordinated Research Project（CRP）の成果の一つである FENDL-3 も公開されております。この FENDL-3 CRP には JAEA の国枝氏と九大の渡辺氏が参加しており、伝統的に JENDL の貢献の大きな IAEA プロジェクトです。

核データプロジェクトの現状

NDS が遂行する核データのプロジェクトには、Coordinated Research Project（CRP）と Data Development Project（DDP）、ならびにトレーニングの 3 つがあります。近年終了したもの並びに現在活動中の CRP としては、以下のものがあります。

- Updated Decay Data Library for Actinides (2005 - 2010)
- Nuclear Data Libraries for Fusion Devices, FENDL-3 (2007 - 2011)
- Testing and Improving the International Reactor Dosimetry and Fusion File, IRDFF (2013 - 2016)
- Prompt Fission Neutron Spectra for Actinides (2009 - 2014)
- Reference Database for Particle-Induced Gamma-ray Emission, PIGE (2011 - 2015)
- Nuclear Data for Charged-Particle Monitor Reactions & Medical Isotope Production (2011 - 2016)
- Reference Database for Beta-Delayed Neutron Emission (2012 - 2016)

これらの多くには日本の核データ研究者も参加されており、核データニュースにも活動紹介の記事が書かれていますので、詳細な内容については省略します。INDC が活動中の CRP について意見することは基本的にはありませんが、質疑応答レベルでの情報交換はあります。例えば核分裂スペクトル CRP に対しては、最終的な評価データを一つに絞るのかどうかという質問に対して、その予定であるという回答が得られました。この CRP に限らず、多くのプロジェクトでは幾つかの核データ評価結果が各国から提案されますが、各々自分らのデータには思い入れがあるものです。そういった状況で CRP 参加者が全員納得できる結果をまとめるのは、いつでも微妙な作業となります。

DDP は、NDS のスタッフが中心となり、時に外部からの研究者のコンサルタントを得て核データ研究開発を行うもので、CRP の活動ほど外部には知られていないかもしれません。現在活動中の主な DDP として、先に紹介した IRDFF のための評価活動のほか、以下のようなものがあります。

<u>Maintain the International Neutron Standards File and Evaluation Techniques</u>

標準断面積そのものは CRP として数年前に評価が完了しています。評価の際に用いられた実験値データベースを維持し、また新たに測定された実験値をそのデータベースへ追加して、新しい標準断面積を効率良く評価するためのものです。実際近い将来、標準断面積の改訂が予定されています。

<u>CIELO Collaboration: Coordination and Technical Work</u>

NDS は CIELO へ積極的に参加しており、Empire コードを用いた ^{56}Fe と ^{238}U の評価デー

タを提案しています。Capote らは非弾性散乱断面積のモデル計算の改良を行っており、これは 2013 年 12 月に NDS が開催した次期 RIPL に関するコンサルタントミーティングでも言及されました。変形核に対する統計模型計算の方法そのものを見直す必要があるという結果が、NDS, LANL, CEA による非公式会合で確認されています。

計画されている CRP

現在計画されている CRP として、RIPL（Reference Input Parameter Library）の拡張、及びγ線データに関するものがあります。

Recommended Input Parameters for Fission Cross Section Calculations

核分裂計算に特化した RIPL-4 の整備の為の CRP が計画されています。核分裂断面積を統計模型で計算する上で重要なパラメータには、核分裂障壁と核分裂準位密度があり、新 CRP ではこれらの数値データベースを作成する予定です。しかしながらどのようにコードを作成するかで、全く同じパラメータを用いても異なる結果が出てしまうのが核分裂断面積計算の難しいところです。この CRP には実際に統計模型コードを作成している専門家を集めて、コードそのものの相互比較することも視野に入れています。

Compilation and Evaluation of Gamma-ray Data

γ線に関する新 CRP ということですが、そのスコープ並びに期待される成果が曖昧で、会議でも INDC 側から説明を求められていました。過去の CRP で光核反応のライブラリがまとめられていますが、その改訂作業という訳では無さそうです。光核反応の実験データを収集し、そこから得られる光吸収反応断面積並びにγ線強度関数をデータベースとして整備、測定手法の違いからくるデータ間の矛盾の理解等が CRP のスコープとして挙げられています。

光吸収断面積は光核反応評価における最も重要な量には違いありませんが、これだけを表にまとめただけでは実用性に欠きます。この結果を ENDF 形式にまとめるのか、光反応評価ライブラリの改訂までもっていくのか、そういった質疑応答がありました。また、γ線強度関数そのものは中性子捕獲断面積計算にも重要なものですが、そういった計算への応用は目標としない、という話です。

INDC からの提言

INDC が会議最終日にまとめた NDS への提言を、以下簡単にまとめておきます。これらの提言は将来新たに組織される CRP, DDP へと繋がる可能性もあります。提言は 2 つのワーキンググループによるものが文書化されており、WG1 は核データ開発に関するもの、WG2 がデータ配布・国際協力・技術支援に関するものとなっています。

以下、羅列となってしまいますが、WG1 から次の核データに関して NDS からのサポートの考慮並びに継続が報告されています：熱中性子散乱則データ、崩壊データ、核分裂生成物収量、放射線損傷、アクチノイドに対する即発 γ 線生成断面積、医療用核データ、イオンビーム解析に関する核データ、マイナーアクチノイドに関する核データ、CIELO への貢献、共分散データ、標準断面積、TAGS データの崩壊データファイルへの取り込み、アプリケーション用ライブラリの配布。EXFOR に関するパラグラフは多めに割かれており、その重要性が広く理解されていることを裏付けています。

WG2 の報告では、(1) 核データ普及、(2) Nuclear Reaction Data Centre (NRDC)と EXFOR、(3) Nuclear Structure and Decay Data (NSDD)の 3 項目に対する提言がまとめられています。現在の NDS の活動状況を肯定的に評価するものが中心ですが、幾つかを拾い上げてみます。

(1) 核データ普及

- セキュリティの向上並びにサービスのクラウド化
- モバイル機器への対応の促進
- PREPRO コードの輸送計算ライブラリ作成への拡張
- EXFOR を新しい標準断面積及び崩壊データで再規格化したデータベースの充実

(2) NRDC, EXFOR

- 世界各地の実験施設で得られる生の測定データを保存する仕組みの検討
- 先端的な実験装置で産み出される測定データが、しばしば EXFOR の枠組みに収まりきれないことへの対応
- より詳細な実験誤差情報の収集
- 将来の ENDF, EXFOR, ENSDF フォーマットの統合を見据え、WPEC Subgroup 38 への積極的な貢献

(3) NSDD

- NSDD 会合の開催、International Centre for Theoretical Physics (ICTP)ワークショップ、並びに個々の契約による核構造データ評価者の育成の重要性の認識
- 評価者の減少による、将来の核構造データ評価作業の遅れを関連諸国の共通認識として持つこと

4. おわりに（河野）

IAEA の核データセクションの活動には、CRP 等に参加するだけではあまり見えてこない部分が多くあります。特に発展途上国の学生・研究者に対する評価者育成支援、並びに NDS が積極的に核データ整備に関与する DDP は、NDS の重要な任務となっています。今回の会議参加報告は、そのような活動を日本の核データ研究者の皆さんにお伝えする

良い機会となったのではないでしょうか。

さて、Im wunderschönen Monat Mai には少々遅かったものの、会合の間まずまずの天気に恵まれ、気持ちよいウィーン滞在を楽しむことができました。ドナウの向こう側に安くて美味しいギリシャ料理のレストランがあるということで、大塚、深堀、Y-.O. Lee 氏、それに河野が連れ立ってランチに出かけました。

現地の生活に慣れておられる大塚さんは当然ドイツ語のメニューを受け取ったものの、他の三名には英語のメニューが配られました。僕がそれを開きながらうっかり“die Speisekarte ...”と呟いたものだから、ウェイターは「なんだドイツ語分かるんじゃん」とばかりに僕のメニューをふんだくり（文字通りふんだくられました）、ドイツ語のものと交換されてしまいました。それで分かったのですが、おもしろいことに安いランチメニューはドイツ語版の方にしか載っていなかったのです。あやうく観光客料金での昼食となるところでした。もちろん注文前に大塚さんが気づかれたことと思われますが。

帰国前日、一日だけの自由時間。大塚さんの車で近郊の山 Schneeberg へとハイキングに出かけました。標高 2076 m ありますが、山頂付近まで登山電車で登ることができます。その後 1 時間ほど歩いて頂上に到着。おそらく石灰岩質の山肌が白く雪のように見えるのが名前の由来だと思いますが、6 月だというのに山頂付近にはまだ本物の雪が残っていました。その上を盛大に滑り落ちて行かれた方もおられたようです。

本稿作成にあたりスライドの転載を快諾くださった Hans Lemmel 氏と Pavel Obložinský 氏にお礼申し上げます。

図 9　レストランから川の向こう岸の国連ビルを眺める

図 10　Puchberg am Schneeber（連邦鉄道から登山電車への乗換駅）

図 11　Schneeberg 頂上にて