

## International Conference on Nuclear Data for Science & Technology (ND2010)

April 26-30, 2010, Jeju Island, Korea

### (1) 測定関連

日本原子力研究開発機構

原田秀郎、木村 敦、金 政浩、佐藤大樹

[harada.hideo@jaea.go.jp](mailto:harada.hideo@jaea.go.jp)

名古屋大学 林 裕晃

[hayashi.hiroaki@b.mbox.nagoya-u.ac.jp](mailto:hayashi.hiroaki@b.mbox.nagoya-u.ac.jp)

東北大学 廣瀬健太郎

[hirose@lns.tohoku.ac.jp](mailto:hirose@lns.tohoku.ac.jp)

#### 1. はじめに

核データ国際会議での核データ測定関連の動向を報告するようにと、中村編集長より、原田と木村さんに依頼がありました。プログラムを見ると測定関連の発表が大変多く、金さん、佐藤さん、林さん、廣瀬さんにも執筆協力いただくこととしました。それでも全ての発表を網羅することができず、重要な研究の進捗について抜けが多々あることをご了承ください。執筆分担は、木村さんが「中性子反応・捕獲反応関連」、廣瀬さんが「核分裂反応関連」、佐藤さんが「荷電粒子反応関連」、林さんが「核構造・崩壊データ関連」、金さんが「実験施設関連」、原田が「はじめに」と「その他」を担当しました。また、この記事中の写真は、林さんにより撮影されたものです。

核データ国際会議 (International Conference on Nuclear Data for Science & Technology: ND2010) は、3年に1回の頻度で開催される核データ分野で最も重要な会議です。今回は、世界38ヶ国より395名の研究者が韓国済州島の新羅 (Shilla) ホテルに集結し、4月26日 (月) ~30日 (金) の日程で、核データの測定・評価・理論研究から核融合、医療分野等への応用研究までを含む457件の研究成果が報告されました。韓国開催のため、韓国、日本、中国の発表及び参加者が多い一方、アイスランドの火山噴火の影響でフラ



国際会議の会場となった新羅（Shilla）ホテル（所在地：済州島、中文観光団地）

ンスのカダラッシュのグループが参加できなかったことは残念でした。

以下に、核データ測定関連について、紹介します。

## 2. 中性子反応関連（木村）

中性子反応関連は 26 日（月）の朝から 27 日（火）の夕方まで ND2010 の会場中では最も広い Room A で行われました。口頭発表は、招待講演 1 件を含む 15 件、また、関連するポスター発表が 11 件の合計 26 件の発表がありました。以下に、発表の多かった施設を中心に、その内容を簡単に紹介します。

IRMM の GELINA を用いた発表は口頭発表のみで 6 件ありました。26 日（月）の午前の最初に招待講演として、IRMM の A. Plompen 氏が 200m の位置に設置した 8 台の HP-Ge 検出器を用いた  $^{23}\text{Na}$  の  $(n, n'\gamma)$  反応断面積（中性子エネルギー： $\sim 10$  MeV）について発表を行いました。その後、同日の午後に A. Negret 氏が  $^{28}\text{Si}$  の  $(n, n'\gamma)$  反応断面積（中性子エネルギー： $\sim 18$  MeV）を、J.C. Thiry 氏が  $^{232}\text{Th}$  の  $(n, n'\gamma)$  反応及び  $^{235}\text{U}$  の  $(n, xn\gamma)$  反応の断面積について発表を行いました。また、20m の位置に設置した Li-Glass 検出器及び  $\text{C}_6\text{D}_6$  検出器を用いた吸収及び透過断面積の測定結果について C. Massimi 氏が Au の測定結果について、P. Schillebeeckx 氏が W 同位体及び  $^{241}\text{Am}$  についての発表を行いました。

スウェーデンの The Svedberg Laboratory での実験結果が口頭発表で 4 件あり、M. Tesinsky 氏が 175 MeV での  $^{\text{nat}}\text{Bi}$  の中性子弾性散乱断面積について、A. Ohn 氏が  $^{12}\text{C}$ 、 $^{56}\text{Fe}$ 、



Excursion で訪れた世界遺産（2010/4/28 撮影）：城山日出峰（Seongsan Ilchulbong）

$^{89}\text{Y}$ 、 $^{208}\text{Pb}$  の非弾性散乱の二重微分断面積について、R. Bevilacqua 氏が中性子エネルギー 175 MeV での  $^{\text{nat}}\text{Fe}$  と  $^{\text{nat}}\text{Bi}$  の light-ion (p, d, t, He) 生成断面積について、O. Svoboda 氏が Au、Bi、In、Ta、I の(n, xn $\gamma$ )反応の断面積について発表を行いました。

韓国関連では、KIGAM（次の実験施設を参照ください）を用いた発表がポスターで 4 件あり、0.7~1.2 MeV の中性子エネルギー範囲で  $^{\text{nat}}\text{Ag}$ 、 $^{\text{nat}}\text{Ni}$ （S.K. Lee 氏）、 $^{\text{nat}}\text{Ti}$ 、 $^{\text{nat}}\text{Fe}$ 、 $^{\text{nat}}\text{Cu}$ （G. Kim 氏）、 $^{\text{nat}}\text{Bi}$ 、 $^{\text{nat}}\text{Ta}$ （T. Yang 氏）等の全断面積の測定結果について報告がありました。その他に、KAERI の Pohang Neutron Facility を使った報告が 3 件あり、H. Wu 氏が  $^{169}\text{Tm}$  の全断面積測定（中性子エネルギー範囲：0.01 eV~100 eV）結果について口頭発表を行い、S. Park 氏が  $^{165}\text{Ho}$  について M. Lee 氏が  $^{\text{nat}}\text{Dy}$  の全反応断面積についてのポスター発表を行いました。

その他にも中国関連で China Institute of Atomic Energy に設置されたタンデム加速器での D-T 反応を中性子源とした測定（X. Ruan 氏）や北京大学 Van de Graff 加速器での D-T 反応中性子源とした  $^{143}\text{Nd}$ 、 $^{147}\text{Sm}$ （Y. Gledenov 氏）及び Zn 同位体の放射化断面積測定（G. Zhang 氏）の発表がありました。

### 3. 中性子捕獲反応関連（木村）

中性子捕獲反応関連は、29 日（木）の朝から 30 日（金）の昼まで Room A で行われました。口頭発表は基調講演 1 件、招待講演 3 件を含む 12 件、また、関連するポスター発

表が 5 件の合計 17 件の講演がありました。以下、発表の多かった施設について施設毎にその内容を簡単に紹介します。

北海道大学が、東京工業大学、原子力機構とともに J-PARC の物質・生命科学実験施設に設置した中性子核反応測定装置 (NNRI) に関し、基調講演 1 件、口頭発表 1 件、ポスター発表 3 件がありました。具体的には、基調講演で北海道大学の鬼柳氏が原子力システム研究開発事業の枠組みで実施したプロジェクト全体の概要を発表しました。原子力機構の木村が口頭発表でプロジェクトの中心核種である  $^{244}\text{Cm}$  及び  $^{246}\text{Cm}$  (中性子エネルギー範囲: 0.1 eV~300 eV) 中性子捕獲反応断面積の測定結果を、北海道大学の木野氏、京都大学の堀氏、原子力機構の中村氏が、それぞれポスター発表で装置の概要、Zr 同位体の測定結果、Pd 同位体の測定結果についての報告を行いました。この他にも、NNRI に関する発表は測定技術のセッションで原子力機構の原田氏により招待講演が行われ、全立体角 Ge スペクトロメータを用いた各種測定手法について総括的なレビューが行われました。

東京工業大学のペレトロン加速器を用いた発表は招待講演が 1 件と口頭発表が 1 件あり、東京工業大学の井頭氏が Se 同位体の系統的な測定結果について、片渕氏が  $^{88}\text{Sr}$  の測定結果について報告を行いました。

IRMM の GELINA を用いた発表は招待講演が 1 件と口頭発表が 1 件あり、F. Günsing 氏が 20m の位置に設置した 4 台の HP-Ge 検出器を用いて  $^{209}\text{Bi}$  の中性子捕獲反応時の  $^{210\text{m}}\text{Bi}$  と  $^{210\text{g}}\text{Bi}$  への分岐比の測定結果について発表しました。また、P. Schillebeeckx 氏が 20m の位置に設置した Li-Glass 検出器及び  $\text{C}_6\text{D}_6$  検出器を用いた  $^{241}\text{Am}$  の吸収及び透過断面積の測定結果について発表しました。

CERN の n\_TOF を用いた発表は口頭発表 1 件とポスター発表が 1 件あり、D. Cano-Ott 氏 (本人参加できず、共同研究者の C. Guerrero 氏が発表) が n\_TOF のこれまでの測定結果と  $^{243}\text{Am}$  の中性子捕獲反応断面積の測定結果を報告しました。

原子炉を用いた実験ではベトナムの Dalat 炉を用いた発表は口頭発表 1 件、ポスター発表 1 件あり、T.V. Huu 氏が Re 同位体の中性子捕獲反応断面積について、S.P. Ngoc 氏が Ga 同位体の中性子捕獲反応断面積について発表を行いました。また、ハンガリーの Budapest Research Reactor の冷中性子ビームを用いた  $^{241}\text{Am}$  の中性子捕獲反応断面積測定結果について T. Belgya 氏が発表を行いました。

#### 4. 中性子核分裂関連 (廣瀬)

Neutron-Induced Fission Measurements のセッションは 27 日の午後と 28 日の午前 Room A で開かれ、3 件の招待公演を含む、合計 11 件の口頭発表がありました。

GANIL の F. Rejmund 氏による、 $^{238}\text{U}+^{12}\text{C} \rightarrow f_1+f_2+\text{Recoil}$  を用いた核分裂片の(A, Z)分布測定の発表がありました。この実験では、Recoil を同心円型の SSD テレスコープで捕



まえることで複合核を同定し、核分裂片のひとつを VAMOS スペクトロメータで分析していました。この他、核分裂質量分布に関する発表は、I. Ryzhov 氏による Louvain-CYCLONE で行なわれた、 $E_n = 33, 45, 60$  MeV における  $^{232}\text{Th}$ 、 $^{238}\text{U}(n, f)$  の質量分布測定の結果がありました。

CERN の n\_TOF を用いた発表は 4 件あり、M. Calviani 氏による  $^{233}\text{U}$ 、 $^{245}\text{Cm}$ 、 $^{241,243}\text{Am}$ 、C. Paradela 氏による  $^{237}\text{Np}$ 、D. Tarrío 氏による  $^{\text{nat}}\text{Pb}$ 、 $^{209}\text{Bi}$ 、R. Sarmiento 氏による  $^{236}\text{U}$  の核分裂断面積測定に関する発表がありました。 $^{245}\text{Cm}(n, f)$  の測定からは、 $E_n = 15.5$  eV 付近には共鳴が 1 つのみであり、2 つあるとする ENDF ではなく、JENDL を支持する結果が得られていました。 $^{237}\text{Np}(n, f)$  の測定からは、中間エネルギー領域においては、現行の評価値に比べ 5~6% 大きな断面積が得られていました。 $^{\text{nat}}\text{Pb}$ 、 $^{209}\text{Bi}(n, f)$  では 1 GeV まで、 $^{236}\text{U}(n, f)$  では 2 MeV までの測定データが紹介されました。このほか TOF 法による測定では、F. Tovesson 氏による LANSCE での、 $^{233,238}\text{U}$ 、 $^{237}\text{Np}$ 、 $^{239-242}\text{Pu}$ 、 $^{243}\text{Am}$  の断面積測定の結果がありました。 $^{243}\text{Am}(n, f)$  の測定結果から、ENDF より JENDL の方が実験値をよく再現していることや、n\_TOF の C. Paradela 氏と同様に、 $^{237}\text{Np}(n, f)$  の測定結果は 0.1~200 MeV においては ENDF/B-VI 評価値より大きく、現行の ENDF/B-VII.0 に反映させたことなどの報告がありました。

鉛スペクトロメータを用いた測定では、東北大学の廣瀬が京都大学原子炉実験所で行なった、 $^{243}\text{Am}$ 、 $^{245,248}\text{Cm}$  の中性子核分裂断面積の測定結果を報告しました。このほか鉛スペクトロメータを用いた実験に関しては、Rensselaer の Y. Danon 氏による招待講演があ



プレゼンテーション会場 Room A の様子 (Shilla ホテル)

り、9.87ng といった非常に少量の  $^{239}\text{Pu}$  サンプルを用いた核分裂断面積測定及び断面積測定と同時に進んだ質量分布測定、さらに Sm 同位体の(n,  $\alpha$ )反応の断面積測定に関する報告がありました。

このほか、JINER の V. Maslov 氏、IRMM の F.J. Hamsch 氏による招待講演で即発中性子スペクトルに関する報告がありました。

全体を通すと断面積測定に関する報告が多く、LANCE、Rensselaer、GELINA の報告は 1 件ずつであるのに対し、n\_TOF の報告は 4 件と非常にアクティビティが高いこと、またこれを裏返せば J-PARC における核分裂研究の重要性も高いということが実感できました。また Rensselaer では鉛スペクトロメータの中性子強度を活用した質量分布・TKE 測定などがあり、鉛スペクトロメータでもまだやれることが多いことがわかり、非常に参考になる国際会議でした。

## 5. 荷電粒子反応関連（佐藤）

荷電粒子入射反応の測定に関連した発表は、口頭発表だけで 12 件行われました。その内の半分当たる 6 件は日本の研究者によるものであり、日本には様々なタイプの加速器施設が整備されていること、それらを利用した測定分野の研究が活発であることを伺わせました。以下に、筆者の私見も挟みつつ、幾つかの発表内容をご紹介します。

まず招待講演として、東北大学の馬場氏より東北大学 AVF サイクロトロン施設における Li(p, n)及び Be(p, n)反応を利用した準単色中性子場の開発について報告がありました。数十 MeV 以上の準単色中性子場は、海外においてもスウェーデン Uppsala 大学や南アフリカ iThemba Labs で整備されていますが、東北大学の中性子場は中性子源と測定室までの距離が比較的近く、強度の高い中性子ビームを得ることができるため、大きな関心を集めました。測定された準単色中性子のエネルギースペクトルは、核内カスケード (INC) 模型による計算値と比較されましたが、INC 模型は実験値を適切に再現できませんでした。特殊な準位構造を利用した軽核の反応を汎用的な模型で再現することは困難であり、別のアプローチの検討（実験データを基に評価した核データや経験式の構築など）も面白いと思いました。

Santiago de Compostela 大学の Casarejos 氏は、ドイツ GSI にて測定した核子当たり 200 MeV の Xe イオンと Ti 標的との反応から生成される残留核の断面積について、また筆者は放医研 HIMAC にて測定した様々な種類の重イオン入射反応における中性子生成断面積について報告しました。重イオン入射反応に関するいずれの発表でも、INC もしくは量子分子動力学 (QMD) 模型に基づく計算との比較が行われ、計算では周辺衝突に起因する粒子生成を上手く再現できないことが示されました。今回の会議では、INC 模型にコアレスセンス機構を導入する試みが九州大学の魚住氏をはじめ幾つか報告されました

が、重イオン入射の実験データを再現するには、このような改良が必須であると考えます。

IFMIF-EVADA のための核データ測定として、九州大学の執行氏より、9 MeV 重陽子を種々の厚いターゲットに入射した中性子スペクトル測定の報告がありました。実験は九州大学タンデム加速器において行われ、液体有機シンチレータとアンフォールディング法を用いて導出された中性子スペクトルが、核反応計算コード TALYS の計算結果と比較されました。ご存じのように TALYS は NRG の Koning 氏を中心に開発されたコードであり、TALYS の計算結果のみを編集して構築された核データファイル TENDL は、精度の上で他の評価済み核データに迫ると、本会議でも大きく取り上げられました。しかし、執行氏の実験データとの比較では、Ti ターゲットに対しては前方 10 MeV 以上でスペクトルを過小評価し、W ターゲットについては全領域で実験値を再現しませんでした。また、Cu ターゲットに対しては TALYS に含まれている重陽子に対して最適化した光学模型ポテンシャル (OMP) を使用した方が、通常の OMP の結果よりも実験値と大きな不一致を示しました。TALYS と言えども、幾つかの反応に関しては、まだまだ調整の余地があるようでした。

今回の会議では、測定分野、理論分野共にフラグメンテーション過程の研究が多く見受けられました。本セッションでも、KEK の佐波氏から、陽子入射反応におけるフラグメンテーション過程からの軽核生成断面積について、1) 生成されるフラグメントの大部分は蒸発過程を経由している、2) 相対的に高いエネルギーのフラグメント生成を記述するには新しい理論模型が必要である、3) フラグメンテーション過程を記述するにはクラスタリング効果を考慮する必要がある、との報告がありました。1) については、INC 模型 (Bertini) と蒸発模型 (GEM) を結合した計算から、Bertini では直接過程で高エネルギー粒子を過剰に放出するため、残留核の励起エネルギーが低下し、フラグメントの生成量を過小評価することを示しました。本会議で報告された Liège 大学の Cugnon 氏が開発する時間発展型 INC 模型 (INCL4.5) では、直接過程と蒸発過程の切り替え時間を自己撞着な手法により自動で行います。このような新しい模型を用いれば、適切な残留核の励起エネルギーを見積もることができ、実験値をより再現できるのではとの印象を持ちました。2)、3) に関しては、上述のコアレスセンス機構を導入した INC 模型の他、Liège 大学の Davide 氏よりマルチフラグメンテーションが取り扱える蒸発模型や、原子力機構の国枝氏よりアルファ粒子生成ができる前平衡模型の報告があり、今後の発展に期待されます。

セッション全体を通しての印象ですが、理論模型の計算精度は未だ十分とは言えず、精度向上のためには理論の発展と共に、信頼性の高い系統的な実験データを整備する必要があると感じました。実際、コーヒーブレイクの間にも、理論模型の専門家から「このような実験データの取得はできないか？」との問い合わせを幾つか受けました。はじ

めに触れた通り、日本には様々なタイプの加速器が存在しており、活発な測定が行われています。今後も、この分野では日本が世界を主導していけると感じています。

## 6. 核構造・崩壊データ関連 (林)

核構造と崩壊データのセッションでも常に活発な議論が行われました。

ベータ崩壊核のデータについての講演は、主に中性子過剰核について行われました。Holloway 氏 (USA, Los Alamos National Laboratory) は、核データ評価の観点から、従来の Ge 検出器を用いた実験ではβ崩壊でわずかに分岐がある高い励起準位を十分に検出できていない事が指摘されました。これらの準位は崩壊熱などの計算に大きな影響を及ぼしますが、ENSDF (Evaluated Nuclear Structure Data File) と QRPA 計算を融合させることによって  $^{80}\text{Ga}$  や  $^{146}\text{Xe}$  の計算された遅発中性子スペクトルが実測とよく一致する事が示されました。一方で、全く実験データが無かった場合は平均β線エネルギーなどの計算結果は 100 倍近くもずれる可能性がある事が示唆されました。Tain 氏 (Spain, CSIC-Univ.) は、全吸収検出器 (Total Absorption Spectrometer: TAS) を用いた実験の観点から、遅発中性子やそれに伴うガンマ線のデータが特に安定線から遠く離れた核に対して重要であることを指摘しました。検出器は、 $\text{BaF}_2$  を用いた TAS (~250mm 四方)、 $4\pi$ 中性子カウンター (~500mm 四方) 及び中性子 TOF スペクトロメータが紹介されました。実験はフィンランド・ユバスキラのペニングトラップからのイオンビームを用いて行われ、得られた結果が元素合成プロセス (r-process) の第3ピークに与える影響などが報告されました。また、GSI のフラグメントセパレーター (FRS) を用いた遅発中性子測定の実験計画などが公表されました。TAS 検出器の具体的な解析方法については、Algora 氏 (Spain, CSIC-Univ.) によってより詳しく発表されました。大型の NaI 検出器を用いた TAS 検出器で取得されたスペクトルを、モンテカルロシミュレーション (GEANT4) で生成した応答関数、評価済みの低エネルギー準位の核データ及び統計モデルで推定した高いエネルギー準位の計算結果を用いて解析する方法と、 $^{102,104-107}\text{Tc}$  の解析結果が示されました。高い準位へのベータ線の分岐を新たに検出したことで、JEFF や ENDF などのライブラリーで公表されている値よりも、平均ベータ線エネルギーは 500 keV ほど低く、平均ガンマ線エネルギーは 1000 keV ほど高くなる事が示されました。また、これらの結果が  $^{239}\text{Pu}$  の崩壊熱へ与える影響が大きい事が指摘されました。吉田氏 (東京都市大学) の発表では、これらの全吸収検出器が崩壊熱データに与える影響が総括されました。米国、日本及びヨーロッパで採用されている各々の核データライブラリ中での平均β線エネルギーや平均γ線エネルギーに対して、TAS の実験データが与えた影響が、 $^{239}\text{Pu}$  などの崩壊熱データの歴史的な変遷を例にして発表されました。これまでのβ崩壊の実験では十分に明らかにされていない高い励起状態の評価には、日本では Gross Theory が援用されていることが発表され、ヨーロッパで採用されている JEFF などのデータベースとの違いが議論されました。



核構造については、高スピン状態の核異性体についての実験結果が Moon 氏 (Korea, Hoso-Univ.) によって報告されました。 ${}^{6,7}\text{Li}+{}^{120}\text{Sn} \rightarrow \text{Fission Evaporation}$  反応などの測定から、 ${}^{119,121}\text{Sb}$  及び  ${}^{121,123}\text{I}$  に、高スピン ( $I = 19/2 \sim 25/2$ ) を持ち寿命が数百 $\mu$ 秒の核異性体があり、周辺核との核構造の比較からこれらの準位が 3 準粒子状態で説明できることが示されました。

バリオン-バリオン相互作用の解明のためのハイパー核実験では、Bhang 氏 (Korea, Soul-Univ.) が KEK で行った実験が紹介された。 $\pi^+ + {}^{12}\text{C} \rightarrow {}^{12}_{\Lambda}\text{C} + \text{K}^+$  などの質量スペクトルや  $\pi^0$  粒子などの同定の方法、崩壊幅 $\Gamma$ などの測定結果が報告された。また、GSI の HypHI 実験 (Phase 0) についての報告は Kim 氏 (Korea, Soul-Univ.) によって報告された。ターゲットやドリフトチェンバーの整備状況などが写真を交えて紹介され、粒子識別の方法が示された。さらに Phase 0 実験の改良計画などが示され、Phase 0.5 実験等の今後の 10 年ほどの研究計画によって、生成可能なハイパー核の種類が約 2 倍に増える見通しがあることが発表されました。

即発ガンマ線のライブラリーについては、Sleford 氏 (USA, Lawrence Livermore National Laboratory) によって、新しいライブラリーである EGAF (Evaluated Gamma-ray Activation File) とライブラリー中での評価方法が紹介されました。このライブラリーは、実験データと統計モデルを用いて推定された中性子分離エネルギー近傍までの励起準位を考慮している点が特徴で、複雑な崩壊スキームを持つ  ${}^{104}\text{Pd}(n, \gamma){}^{105}\text{Pd}$  への適用例や既存の ENDF などのライブラリーとの比較が紹介されました。

## 7. 実験施設関連 (金)

実験施設関連の口頭発表として、4 月 26 日午後、27 日は午前と午後に、それぞれ「Experimental Facilities I, II, III」と3つのセッションが開かれました。発表件数は1件のキャンセルがあったものの、各セッション3、4、4件あり、合計11件の報告がありました。

主催国の韓国の施設として、「Nuclear Data Production Facility of KIGAM」というタイトルで G.D. Kim 博士からの報告がありました。この施設は KAERI による核データの R&D プログラムの一部を担っており、主に中性子全断面積の測定を行っています。中性子源としては、 ${}^7\text{Li}(p, n)$  反応、 ${}^3\text{H}(p, n)$  反応、 ${}^2\text{D}(d, n)$  反応等を用いており、中性子のエネルギー範囲は 0.7~1.2 MeV と比較的高速な部分の測定を主としています。測定対象核種としては Al、Fe、Cu 等構造材を中心に測定研究を進めている。現在、中性子捕獲反応断面積を測定する施設についても提案しているとのことで、韓国の原子力に対する注力を感じられた。

また、初日には他にも C. Guerrero 博士によって「Characterization of the New n\_TOF Neutron Beam: Density, Energy Distribution and Resolution」というタイトルの報告があり

ました。内容は、最近よく話題に挙がっている CERN の n\_TOF の新しいビームラインに関するものであります。ここの中性子フルエンスについては、1 秒当たりのフラックスでは、LANSCE や GELINA より 2 オーダー劣るものの、1 パルス辺りのフラックスとしては GELINA より 3 オーダー強く、LANSCE に匹敵するビームが得られるとのことでした。またビームのプロファイルの結果が示され、2mm ほどズレがあるものの、良いコリメーションシステムが構築されていることが示されました。他に、5~6 月期に行われるホウ素水モデレータのコミッショニング計画の概要も示され、7.5 MeV、2.2 MeV のガンマ線が低減され、かつ熱中性子成分を減少させる事が出来ているという見通しが述べられました。

さらに n\_TOF からは、2 日目にも M. Calviani 博士によって「Past, Present and Future of the n\_TOF Facility at CERN」と題するテーマの報告があり、時系列を追って n\_TOF 開発の歴史について紹介されました。2002~2004 年にかけて、25 核種（うち 8 核種が放射性）の中性子捕獲反応の測定が行われ、さらに 11 核種（うち 10 核種が放射性）についてフィッションの測定が行われたという歴史を振り返り、問題点を洗い出し、上記の新しいビームラインに対する熱い思いが語られました。新しいビームラインでは、マイナーアクチノイド核種のほか、天体核物理に関係する核種の捕獲反応測定も考えら得ており、特にマイナーアクチノイド核種に関してはフィッションのデータも精力的に測定する計画とのことでした。

他に、Forschungszentrum Dresden-Rossendorf の A.R. Junghans 博士によって、「The nELBE Neutron Time of Flight Facility」というタイトルの報告がありました。この施設は、TOF 法による測定で、主に高速炉や加速器駆動システム用のデータニーズを満たすことを目的とし、今回は本装置による最初のデータとして  $^{56}\text{Fe}(n, n'\gamma)$  反応の暫定的な結果が示されました。測定はダブル TOF 法が用いられており、入射中性子のエネルギーを TOF で決めるだけでなく、照射サンプルとの非弾性散乱で生成された中性子とサンプルから放出されるガンマ線の TOF も測定する、2 次元測定となっています。暫定的な結果ながら、ENDF/B-VII に納められているデータと良い一致を示していた。今後、中性子強度を 10 倍にする改造が行われるとのこと、測定の幅が広がりそうです。

最後のセッションでは、Joint Research Centre から P. Schillebeeckx 博士によって「Neutron Resonance Spectroscopy at GELINA」と題した発表が行われました。GELINA では、10 meV から 20 MeV までの白色中性子源が利用でき、中性子エネルギーは TOF 法で測定します。10m から 400m までの 10 個のフライトパスが選択でき、サンプルに合わせた測定が可能となっています。ビーム生成には電子加速器を用いており、ウランターゲットによる  $(\gamma, n)$  や  $(\gamma, f)$  反応によって中性子を得ています。今回の報告ではトランスミッションの測定、キャプチャーの測定などの実例を基に活発な研究活動が紹介されました。

## 8. その他（原田）

核データ測定について、中性子を用いて中性子核反応断面積を直接測定する技術が着実に進捗していることが、本国際会議に出席し、改めて認識できました。3年前の国際会議では、欧州セルン研究所や米国ロスアラモス国立研究所での大強度パルス中性子源を用いた測定研究の進展が目を見ましたが、それらの測定技術を磨き上げることにより、さらに精度のよい核データを取得しようとする努力の跡が見えました。さらに、今回の国際会議で注目を集めたのは、我が国における J-PARC での中性子核反応測定装置 NNRI の完成とそれを用いた中性子捕獲反応の研究成果があげられます。我が国でも、世界に肩を並べる核データ測定装置（中性子強度では、すでに世界最高）が完成したことは大変喜ばしいことです。一方、中性子核データの測定で長い経験を持つ欧州共同体の研究所 IRMM での研究成果も多く出ていました。この研究所の施設は決して新しいものではありませんが、測定データの解析技術を高めることや、中性子飛行時間測定法に用いる検出器として Ge 検出器を適用するなどの工夫がなされていました。このことは、J-PARC 等に設置された性能の高い核データ測定装置とともに、その性能を最大限引き出す解析技術を磨き上げることが、より一層品質の高いデータを得るために重要であることを教えてくれました。この他、中性子捕獲断面積測定用の装置として、LaBr<sub>3</sub> 検出器で構成される全立体角スペクトロメータのシミュレーション結果が新潟大の後藤氏により発表されましたが、本分野で著名なケペラー氏より意義の高い研究であるとの評価を得ていました。ソフト（解析技術）及びハード（測定装置）の両面で、測定技術を高めることが必要ということのようです。

一方、中性子の直接測定だけではなく、間接的な測定手法により中性子断面積を導出しようとする研究の報告もありました。エッシャー氏は、代理反応を用いて中性子捕獲断面積を導出できるか否かについて理論的な検討を紹介しました。有効性の実証には、多くの研究が必要そうでしたが、大変チャレンジングな試みを果敢に進められており、今後の進捗が楽しみです。我が国でも、中性子捕獲反応の逆反応過程となる光核反応を用いて、統計モデル計算と組み合わせることにより、放射性核種の中性子捕獲反応断面積を導出する研究成果が、甲南大の宇都宮氏による口頭発表と原子力機構の北谷氏のポスター発表により報告されました。代理反応や逆反応を用いた核データ測定技術の開発は、原子核物理学の分野で開発された研究手法と原子力開発分野で開発された研究手法の融合領域の研究であり、今後、人材交流とともに、どのように進捗していくのか楽しみです。

もう一つ目を引いたのは、中性子反応で発生するガンマ線の分布や多重度を精密に測定するとともに、その情報から中性子断面積の予測にも役立つガンマ線強度関数情報を導出する研究です。ベクバーシュ氏らの 2 step cascade 解析技術などがその代表例です。これらの研究は、核データ測定と原子核反応理論の融合を必要とする分野ですが、直接

測定できない領域の中性子断面積の整備に威力を発揮するとともに、直接測定可能な中性子断面積の精度向上にも貢献することが期待できます。例えば、直接測定のデータ解析にも、低エネルギーガンマ線の強度分布の仮定に起因する誤差の低減が期待できることなどがあげられます。この測定と理論との融合研究がどのように進捗していくのかも大変楽しみです。

次回の核データ国際会議は、3年後の3月にマンハッタン（米国、ニューヨーク）で開催される予定です。どのような進捗が報告されるのでしょうか？



Dinner での民族舞踊（2010/4/28 撮影）