

CNR\*09 - 2nd International Workshop  
on Compound Nuclear Reactions and Related Topics  
October 5 - 8, 2009, Le Mercure Cite Mondiale,  
Bordeaux, France

ロスアラモス国立研究所

渡邊 健人

watanabe@lanl.gov

---

昨年の2009年、10月5～8日の4日間にわたりフランスはボルドーでCNR\*09が開催された。河野俊彦氏（ロスアラモス国立研究所, LANL）とJ. Escher氏（ローレンス・リバモア国立研究所, LLNL）が世話人となった2007年カリフォルニア州ヨセミテ国立公園で行われた会議に続いて、第2回目である。既に次回のアナウンスが会議中になされ、2011年にM. Krticka氏（Charles 大学, Prague）が世話人となり、プラハで開催される予定であるとのことである。

今回の会議では、口頭発表は13セッションに分かれ、59件の発表がなされた。また、ポスター発表は15件であった。口頭発表のセッションは、(第1日目) 光学模型、 $\gamma$ 線強度関数、準位密度に関するセッション、(第2日目) 中性子入射反応、代理反応、核分裂に関する測定のセッション、(第3日目) 核分裂に関するモデル、核反応モデルのセッション、(第4日目) 重イオン反応、核融合反応核データ評価、天体核物理のセッションと多岐に渡った。Osloサイクロトロン研究所(OCL)で行われている準位密度と $\gamma$ 線強度関数の測定、重イオンビームをつかった実験とその解析、そして代理反応(Surrogate reaction)に関する発表が盛んに行われている印象を受けた。重イオン融合反応に関する実験、理論の発表が多数あったことが、ヨセミテで開催された第1回目と異なる点であろうか。ドイツの重イオン研究所(GSI)やフランス国立重イオン研究所(GANIL)からも日本人ポスドクの方が参加されていた。

会議第3日目の午後は Excursion が企画され、ボルドー近郊のワインの産地として有名なサン・テミリオンを訪ねた。辺り一体は葡萄畑に囲まれ、落ち着いた色調の石造りの家々が軒を並べていた。この町には、地下の石灰岩をくりぬいて造られたモノリス（一枚岩）の教会があり、ヨーロッパで最大規模のもののようなものである。教会内に入ると空気がひんやりしていた。また、その地下空間は人が掘ったとは思えないほど大きく、山をも動かすいにしえの人々の信仰心に敬服する思いがした。観光した後ここでディナーを取ったが、ワインボトルが次々と空けられていた。なお、CNR\*09 のホームページ (<http://www.cnr09.com/>) から、会議中と Excursion のときに撮影された写真を見ることができる。



写真1. 会場のあった建物の屋上から撮影したボルドーの風景



写真2. サン・テミリオンの町並み

ロスアラモスでの生活が10ヶ月経とうとしていた筆者にとって、ボルドーでの食事は感激の連続であった。会議の参加費には昼食代も含まれており、毎昼食コース料理で、昼間からテーブルにはワインボトルが並べられていた。また、石造りの建物が整然と立ち並ぶ街の景観は重厚で美しく、毎朝会場まで15分程度歩いて行くことですら心を弾ませた。ただ、トラムの乗り方がわからなかっただけという話もあるが。ここに会議の世話人として尽力してくださったフランス原子力庁（CEA/DAM）とボルドー・グラディニャン原子力研究所（CENBG）の方々に感謝の意を表す。



写真3. サン・テミリオンの葡萄畑



写真4. 会議中の昼食の様子

ここからは一部分ではあるが、口頭発表の内容について報告する。なお、全体の詳しい内容については Proceedings を参照して頂きたい。Proceedings は EPJ Web of Conferences (<http://www.epj-conferences.org/>) で公開予定である。

### Optical Model Calculations

F.S. Dietrich 氏 (LLNL) より、 $0^\circ$ 方向の角度微分弾性散乱断面積の理論下限値を示す Wick's limit を利用した反応断面積導出の説明がなされた。この評価方法では、測定で得られている全断面積の誤差の伝搬が軽減され、弾性散乱の角分布測定で絶対値測定が不要となる。

G. Blanchon 氏 (CEA) より、標的核の密度行列と核内での有効相互作用である  $g$  行列から求めた微視的光学ポテンシャルによる弾性散乱の計算が  $^{208}\text{Pb}$  に対して報告された。密度行列は、閉核の集団励起を記述する密度依存有効相互作用 DIS を利用した Hartree-Fock-Bogolyubov 計算で求められる。

P. Chau Huu-Tai 氏 (CEA) より、CDCC による重陽子入射による核子移行反応の再解析結果が報告された。RI ビームを利用した exotic 原子核構造の理論解析にも利用されるようである。

M. Avrigeanu 氏 (ルーマニア国立物理原子力研究所, IFIN-HH) より、重陽子に対するエネルギー依存光学ポテンシャルが紹介された。ポテンシャルは Double-Folding 模型を利用して、存在する弾性散乱微分断面積と反応断面積の実験値を再現するようにして決定された。

### Optical Model

H. Leeb 氏 (ウィーン工科大学) より、励起状態にある原子核に対する核子光学模型ポテンシャルの理論計算について報告がなされた。励起状態にある原子核を Bethe-Goldstone 方程式で扱い、求められた  $g$  行列と核密度の folding から計算される。

### Statistical Model and Gamma-ray Strength Functions

まず、F. Becvar 氏 (Charles 大学, Prague) より、中重及び重い核の粒子放出以下の励起エネルギーにおける、Monte Carlo 法を用いた  $\gamma$ 線カスケード崩壊のシミュレーションに関する発表がなされた。また、A.C. Larsen 氏、S. Siem 氏、A. Bürger 氏 (Oslo 大学) より、Oslo サイクロトロン研究所 (OCL) で行われている ( $^3\text{He}, \alpha\gamma$ ) 反応を利用した  $\gamma$ 線強度関数の測定に関する報告がなされた。

### Level Densities

M. Guttormsen 氏 (Oslo 大学) より、OCL で測定された  $^{117,116}\text{Sn}$  に対する準位密度関数

の報告がなされた。基底状態から中性子分離エネルギーまでの励起エネルギーにおける準位密度関数に構造らしきものが見られ、中性子クーパー対の崩壊であるかもしれないという説明がなされた。

G. La Rana 氏 (Napoli Federica II 大学) より、 $^{32}\text{S} + ^{107}\text{Ag} \rightarrow ^{139}\text{Eu}$  ( $E_{\text{ex}} = 90 \text{ MeV}$ ) 反応の蒸発軽荷電粒子の測定結果 (Differential Multiplicity) と、 $N-Z$  と  $Z-Z_0$  ( $Z_0$  は  $\beta$  安定核の  $Z$ ) のアイソスピン依存性をもつ準位密度を用いた計算結果の比較が報告された。同じ研究目的で P. Marini 氏 (GANIL) からは、GANIL で行われている  $\text{Ar} + \text{Ni}$  核融合断面積の同位体依存性の測定の予備的結果が報告された。

S. Hilaire 氏 (CEA) より、組み合わせ (combinatorial) 法を用いた準位密度の理論計算について報告があった。Hartree-Fock-Bogolyubov 計算で求めた一粒子準位の情報から、励起された核の励起エネルギー、核スピンの対称軸成分、パリティを満足する組み合わせの数から状態密度を計算する手法である。

### Neutron Induced Reactions

G. Meierhofer 氏 (ドイツ, Eberhard Karls 大学) より、 $^{76}\text{Ge}(n,\gamma)^{77,77\text{m}}\text{Ge}$  捕獲断面積と即発  $\gamma$  線のエネルギーの測定結果の報告がなされた。 $^{76}\text{Ge}$  の二重  $\beta$  崩壊検出のため、 $^{76}\text{Ge}$  で濃縮されたソースをそのまま HPGe 検出器として使用するが、宇宙線によって生成した中性子が  $^{76}\text{Ge}$  に捕獲されると即発  $\gamma$  線を放出し、また  $\beta$  崩壊を起こすのでバックグラウンドとなる。

O. Roig 氏 (LANL, CEA) より、LANL の LANSCE にある DANCE ( $4\pi$  型  $\gamma$  線検出器) による、熱領域から 100 keV までの  $^{176,175}\text{Lu}(n,\gamma)$  捕獲断面積測定の報告がなされた。

V. Méot 氏 (CEA) より、冷中性子と  $^3\text{He}$  検出器を用いた、 $^{177\text{m}}\text{Lu}$  に対する中性子 super elastic scattering の測定結果が報告された。

R. Bevilacqua 氏 (Uppsala 大学) より、TSL (The Svedberg Laboratory) の準単色中性子源を用いた 175 MeV における軽イオン生成二重微分断面積の測定結果が報告された。20° から 160° まで測定され、標的には Fe と Bi が用いられた。

### Surrogate Reactions

代理反応を利用した間接的断面積測定に関して 4 件の発表があった。まず、J. Escher 氏 (LLNL) が代理反応を利用した中性子捕獲断面積測定に関する成功例や展望について説明した。

M. Aiche 氏 (CENBG) により、代理反応  $^{232}\text{Th} + ^3\text{He} \rightarrow \text{p} + ^{234}\text{Pa}^*$  を利用した  $^{233}\text{Pa}(n,\gamma)^{234}\text{Pa}$  中性子捕獲断面積の測定結果が報告された。

W.P. Peters 氏 (米 Rutgers 大学) より、 $(d,p\gamma)$  反応を利用した  $^{75}\text{As}(n,\gamma)$  断面積の検証的実験に関する報告がなされた。

最後に B. Jurado 氏 (CENBG) より、代理反応を利用した短寿命アクチナイド核に対する中性子誘発核分裂断面積の測定についての発表があった。

### Fission Measurements

X. Derkx 氏 (GANIL) より、多重核子移行 (Multi-nucleon transfer) 反応を用いた、励起エネルギーとアクチナイド核に対する系統的な核分裂生成物質量分布の測定に関する報告がなされた。 $^{238}\text{U}$  ビームを  $^{12}\text{C}$  標的に入射させ、 $^{238}\text{U}$  から  $^{247}\text{Cm}$  までのアクチナイド核を生成する。移行反応で生成した軽反跳核の同定とエネルギー測定から核分裂核の同定がなされる。

J. Benlliure 氏 (Santiago de Compostela 大学) より、GSI で行われた  $^{238}\text{U}$  核分裂生成物の励起エネルギー依存性に関する実験報告がなされた。 $^{238}\text{U}$  ビームを Pb と Be に入射させ (Peripheral Collision)、クーロン励起させる。

Y. Arimoto 氏 (FLNR) より、 $^{238}\text{U}(^{36}\text{S},f)$  と  $^{238}\text{U}(^{30}\text{Si},f)$  反応からの核分裂生成物質量分布測定の解析結果の報告があった。両反応の低エネルギー入射における核分裂反応で、非対称分裂と対称分裂がそれぞれ主要であることが、彼らが開発した Unified Model のポテンシャルエネルギーの考察から理論的説明がなされた。

### Nuclear Reaction Mechanisms

M. Dupuis 氏 (CEA) より、微視的なアプローチによる直接非弾性散乱の計算について報告がなされた。準粒子乱雑位相近似 (QRPA) で原子核の基底状態と励起状態を、基底状態を用いて密度行列を取り扱う。G 行列は、密度行列との folding により光学ポテンシャルを求めて歪曲波を計算するため、また DWBA の遷移行列要素を計算するために用いられる。

### Nuclear Data & Evaluations

A.J. Koning 氏 (オランダエネルギー研究機構, NRG) から、汎用核反応理論計算コード TALYS による微視的、及び現象論的なモデルに基づく計算結果のトレンドについて報告がなされた。これは、ドリップライン近傍にある核も含めて多くの原子核に対する計算結果から得られたものである。TALYS は、Hartree-Fock-Bogolyubov 法による質量、変形パラメータ、核分裂障壁、 $\gamma$ 線強度関数、準位密度、光学ポテンシャルの計算結果をテーブルとして包含しており、計算に利用するオプションがある。

J. Wilson 氏 (パリ大学オルセー原子核研究所, IPN Orsay) より、OCL でアクチナイド核の系統的な準位密度測定がなされるとの報告があった。熱中性子炉での Th サイクルで重要となる  $^{233}\text{Pa}(n,\gamma)$  捕獲断面積の計算値の信頼性を高めるために使用される。

V. Maslov 氏 (ドゥブナ合同原子核研究所, JINR) より、 $^{231}\text{Pa}(n,f)$  核分裂断面積を代理反

応を通してどう決定するかについての説明がなされた。O. Grudzevich 氏 (Obninsk 州立工業大学) から、直接過程、前平行過程、そして蒸発過程の核反応の 3 ステップのモデルを統合した MCFx コードの説明がなされた。

### **Nuclear Astrophysics**

A.M. Mukhmedzhanov 氏 (テキサス A&M 大学) より、トロイの木馬 (Trojan Hourse) 法を用いて間接測定された  $^{15}\text{N}(p,\alpha)^{12}\text{C}$ 、 $^{18}\text{O}(p,\alpha)^{15}\text{N}$ 、 $^{17}\text{O}(p,\alpha)^{14}\text{N}$  の天体物理学的  $S$  因子の報告がなされた。

S. Holloway 氏 (LANL) より、中性子星の地殻 (Inner Crust) の組成計算が報告された。

Y. Iwata 氏 (GSI, Germany) より、荷電平衡化 (異なる  $N/Z$  比をもつ核が衝突し均一の  $N/Z$  比に到達する過程) について、3 次元時間依存 Hartree-Fock (Skyrme 力) の計算結果を用いて、衝突エネルギーと質量分布の観点から議論された。