

会議のトピックス(I)

第一回「長寿命核分裂核廃棄物の核変換データとその戦略」 ワークショップ参加報告

日本原子力研究開発機構

核データ研究グループ

湊 太志

minato.futoshi@jaea.go.jp

1. はじめに

3月6日から8日にかけて、理化学研究所（理研）で行われた「長寿命核分裂核廃棄物の核変換データとその戦略」ワークショップ（WS）に参加した。このWSは理研の櫻井博儀氏が研究代表者となっている文科省の「国家課題対応型研究開発推進事業（原子力システム研究開発事業）」の研究プログラムの一環として開催されたものである。今回のWSの前に、2014年2月にキックオフ会として理研本部にて非公式の会合があったが、今回が公の形としての正式なものとなる。

このWSの趣旨は、のちほど研究リーダーの櫻井氏の発表内容を紹介するところでもう一度触れるが、国内の核変換やそれに関連する研究を行っている専門家を呼んで講演を行ってもらい、核変換の現状を認識し合うとともに、核変換研究者間のネットワークを構築しようというものである。基礎物理を主な専門とする核物理側からも多くの参加者がおり、これまで培ってきた知見を原子力諸問題の解決に応用したいという話がしばしば聞かれた。どの講演者の発表もたいへん興味深く、参加者との間で活発に意見が交換された。以下、登壇者の方々の発表内容について、簡単に紹介したい。

2. 発表内容

最初に、代表者である理研の櫻井氏が研究プログラムの趣旨について説明を行った。この研究プログラムには2つの目的がある。一つは、理研のRIビームファクトリー（RIBF）に備えられた超伝導RIビーム分離装置 BigRIPS と逆運動学法を用いて、核変換に有用な実験データを取得することである。対象核種は Sr-90、Tc-99、Cs-137 であり、核破砕などの核データを取ることを目的としている。もう一つの目的は、上記で言及した通り、長寿命核分裂生成物（LLFP）の核データに関するWSを開催し、核変換に関する日本の工学・理学の専門家がどこで何をやっているかをお互いが認識し、今後の課題と可能性を探ることである。そして、研究者間のネットワークを構築し、全国的な核変換用核デー

タ戦略をスタートさせるきっかけを作ることである。日本の原子力と核物理の間には、研究対象としているものが近いにも関わらず、研究者間の交流が希薄であった。その間にあるギャップを埋めたいという意味合いも、この WS には含まれている。また、櫻井氏は平成 26 年度も 2 回程度、このような WS を開催することを予定していることを紹介した。

次に、日本原子力開発研究機構(原子力機構)の原田秀郎氏がマイナーアクチニド(MA)の中性子断面積に求められる実験データの精度について話をした。LLFP には実験データが存在しない、あるいは収束していないものがあること、また高い比放射能をもった MA を測定するには大強度の中性子ビームが必要であることを話した。さらに世界各国の中性子ビーム施設とともに、東海村の大強度陽子加速器施設 J-PARC の物質・生命科学実験施設(MLF)に設置された中性子核反応測定装置(ANNRI)について紹介した。

東工大の中村隆司氏は RIBF に設置された多種粒子測定装置(SAMURAI スペクトロメーター)および中性子検出器(NEBULA)を用いた不安定核実験について講演を行った。Pb 標的によるクーロン分解、ハロー核、di-neutron correlation などの研究について紹介した。SAMURAI による($p,2p$)による核分裂バリアの測定が計画され、実行される予定であることも紹介された。

甲南大学の宇都宮弘章氏は、中性子捕獲断面積(n,γ)と光核破砕反応(γ,n)の関係性について講演を行った。これまで行ってきた(γ,n)の測定を、ノルウェーのオスログループが行ってきた($^3\text{He},\alpha\gamma$)や($^3\text{He},^3\text{He}'\gamma$)と合わせて紹介した。最後に国際共同実験 KOBe について紹介をした。

東大 CNS の清水則孝氏は、最新の殻模型計算を使った E1 励起の研究について、実験や乱雑位相近似(RPA)計算の結果と比較しながら講演を行った。LLFP を計算する場合の計算時間を議論し、比較的重い核にも殻模型が適用になることが期待されることを紹介した。その一つの方法としてモンテカルロ殻模型計算(MCSM)による Ca-48 の光核吸収断面積の計算結果が紹介された。

理研の中務孝氏は、密度汎関数法が成功してきたこれまでの歴史的経緯を、原子核の変形に着目しながら講演をした。また変形とともに E1 励起がどのように変化していくかを議論した。正準基底を用いた時間発展 Hartree-Fock 計算の核分裂現象の理論分析についても触れた。

京大の森義治氏(1日目の講演)と理研の松崎禎市郎氏(2日目の講演)は、それぞれミュオンを用いた LLFP の核変換について紹介をした。ミュオンによる核変換の特徴は、効率よく Z-1 元素を生成でき、副産物が少ないことである。核変換について Sr-90、Tc-99、I-129、Cs-137 を例として紹介し、原子炉からの LLFP がどの程度で消滅処理が可能か議論をした。ミュオン生成効率の課題と改善方法についても議論をし、また松崎氏は理研のミュオン実験施設やカナダの TRIUMF 研究所で行われたミュオン実験について紹介を

行った。

東大の下浦享氏は RIBF で進行中の「OEDO プロジェクト」について講演を行った。現在の RIBF では低いエネルギーの核反応を調べることができない。そこで、10 MeV 近辺の不安定核の励起状態を調べるための、新しい装置とそのアイデアについて紹介をした。

東北大の篠塚勉氏は、“核変換に関して：サイクロ屋と不安定核屋からのコメント”と称して講演を行った。加速器を用いた中性子の作り方、AVF 型加速器の可能性、核変換を目的にしたサイクロトロン計画について紹介をした。また Th-229 の eV オーダーの励起エネルギーの存在の真偽や RI ビーム再利用について紹介をした。

東大の大塚孝治氏は、東京大学での原子力研究と人材育成の活動について紹介をした。日本の核物理と原子力工学は共通基盤であるものの、別々に発展している実態があり、震災以降その状況をずるずると継承することが許されなくなっている現状にある。大塚氏の紹介した活動は、原子力の研究課題を根本的に見直し、原子核物理学のミッションも原点に立ち返って考え、他分野と連携して取り組もうというものであった。

原子力国際協力センター (JICC) の向山武彦氏は核廃棄物の地層処分の課題を、世論的な視点を加えつつ講演を行った。また、地層処分と、高レベル廃棄物の再利用+中性子等による核変換 (群分離・消滅処理) を比較して、議論を行った。また加速器駆動システム (ADS) について MA の核データの高精度化についても話をされ、原子核物理コミュニティへの期待を強調されていた。

原子力機構の大井川宏之氏は、ADS を用いた核変換技術の研究開発について講演を行った。向山氏も紹介されていたが、使用済燃料の潜在的有害度について、大井川氏は「歴史」を交えて説明された。また、群分離や加速器、ビームトリップ事象の影響等、ADS の実現に向けて解決すべき必要な技術と、核データの精度の重要性についても議論した。

理研の矢野安重氏は、2008 年から行われた分離変換技術検討会に自身が入った経緯と、科学技術・学術審議会の群分離・核変換技術評価作業部会委員会でのエピソードを話された。また、加速器のメカニズムの話を交えながら RIBF での MA の加速の実現可能性について議論した。

中部大学核融合科学研究所の佐藤元泰氏はイオンサイクロトロン共鳴加速を用いた中性子源のシステムについて講演を行った。通常のサイクロトロンとの大きな違いは、荷電粒子としてプラズマ (マクロには電氣的に中性) を利用することである。イオンサイクロトロンの概念と、核融合中性子による長寿命核種消滅処理のアイデアについて紹介し、その問題点と可能性について議論をした。

九州大学の渡辺幸信氏は、重陽子加速器中性子源に関連した核データ研究と核変換の応用について講演を行った。理論計算による高エネルギー重陽子入射による中性子源の

二重断面積の評価や、9 MeV の重陽子を用いた $^{64}\text{Zn}(n,p)^{64}\text{Cu}$ の研究、さらに Cs-137 と Sr-90 の中性子による核変換について議論をした。

原子力機構の深堀智生氏は、原子力機構の核データ研究グループの紹介を行うとともに、LLFP の生成量についての考察について講演を行った。その中で、LLFP の半減期や、ADS で新たに見当する必要がある核分裂収率について紹介した。

北海道大の合川正幸氏は、“国際連携による原子核反応実験データベース”と題して、原子核反応データベース研究開発センター (JCPRG) の活動、理論計算を用いた研究について講演を行った。また、EXFOR 中の Cs-137 や Sr-90 のデータについて紹介をした。

大阪大学核物理研究センター (RCNP) の緒方一介氏は、半古典歪曲波モデルによる二重断面積の計算や連続状態粒子振動結合法 (cPVC 法) の計算、離散化連続チャンネル結合法 (CDCC 法) の計算について講演を行った。クーロン励起では多段階の寄与が関係していること、 $^{14}\text{N}(p,2n)^{13}\text{N}$ の放射化断面積の理論計算結果について紹介し、最後に陽子・重陽子ターゲットから逆運動学的に中性子データを実験的に測定できるかについて議論した。

原子力機構の西尾勝久氏は、原子力機構のタンデム加速器で行われている代理反応実験について紹介するとともに、核分裂片の質量分布について講演を行った。また JST の原子力システム事業で現在進行中の、遅発中性子の測定実験についても触れた。

高度情報科学技術法人の仁井田浩二氏はモンテカルロシミュレーションコード PHITS について講演を行った。PHITS の歴史的経緯、PHITS で扱える物理現象等、そして最近の PHITS の発展について紹介をし、医療、宇宙船・航空機内の被曝量評価、除染、加速器設計等様々な分野に応用されていることを紹介した。

理研の上垣外修一氏は RIBF 加速器施設の最近の開発項目、さらに現状の性能について講演を行い、次のステージへ向けた高度化案についても紹介した。また、大強度の陽イオンを加速できる RIBF の性能を利用して $^{209}\text{Bi}(\alpha,2n)$ 反応から At-211 を作るなど、RI 製造も検討していることを紹介した。

RI 協会の柴田徳思氏は高レベル放射性廃棄物の処分に関する学術会議の回答と核変換に対する意見、そしてこれまでの処分の方針、地層処分の安全性と課題について講演を行った。学術会議から原子力委員会への提言や、検討委員会の現状の認識も紹介し、核変換への期待についても言及された。

東北大学の笠木治郎太氏は、常温核融合からその後の Cold Fusion の議論が、どのように考察されるようになったかの経緯について紹介をした。また、固体核融合の実験と追試の現状について紹介をし、化学反応エネルギーでは説明できない熱エネルギーの存在の可能性について紹介をした。

理研の天津秀暁氏は、BigRips を用いた核破碎反応の実験計画について紹介を行った。この実験は平成 26 年 4 月に実施され、まずは Cs-137 を $\text{CD}_2\text{-CH}_2$ 、 $\text{CH}_2\text{-C}$ ターゲットに照

射することで行われるということであった。

名大の柴田理尋氏は、オンライン同位体分離装置を用いた核分裂生成物の崩壊核データ実験について講演を行った。ベータ崩壊エネルギーの測定や崩壊スキームの決定法について紹介し、 $A=160$ 近傍の核で全ベータ線と γ 線の Q_{β} を測定することによる崩壊データ取得および TAGS についての紹介を行った。

原子力機構の湊は、加速器中性子による RI 製造について発表を行い、RI の生成・抽出の一連の流れを構築した「GRAND プロジェクト」について紹介をした。

理研の岸田隆氏は、科学コミュニケーションについて話をした。科学に対する世論調査の紹介などをした。科学の中身以上に、科学者を知ってもらうことの重要性や、正確な情報・共感／共有、ニュアンスを辛抱強く伝えることの重要性を訴えた。

3. おわりに

長寿命核分裂片の廃棄処理は、原子力を使う限り、解決しなければならない課題である。福島第一原発事故後、一般人・専門家含め多くの人がこの問題に関心を持っていると思い、省略をせず登壇者全員の発表内容を紹介することにした。しかしながら、講演者全ての方の発表内容を事細やかに書き連ねるには限界があるので、一人 4~5 行以内にまとめるよう努めた。そのため、的確な情報を伝えられていない部分が数多くあると思われるので、講演の詳細については、発表者本人に尋ねてほしい。長寿命核分裂廃棄物の問題解決は長い道のりになると思われるが、このような WS を重ねて、少しずつでも前進していくことができれば、と思う所存です。

