



FUSION17 国際会議 出張報告

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

2月20日から24日にかけてオーストラリア、タスマニア州ホバートで行われたFUSION17国際会議について報告をする。本会議は3年に1度の頻度で行われており、重イオン核反応や核分裂、超重元素合成などを議題にしている。今回で、この国際会議のシリーズは7回目となった。会議では、約75件の口頭発表と14件のポスター発表があり、16か国から94名の参加があった。内訳としては開催国のオーストラリア(8名)を始め、アメリカ(13名)、イタリア(13名)、インド(10名)、中国(8名)、フランス(5名)、ドイツ(3名)、その他欧米各地から(13名)の参加があった。なお、日本からの参加者は11名である。ちなみに、私は参加しなかったが、この会議の前の週に低エネルギー核反応に関するワークショップがオーストラリア国立大学で行われ、理論研究に関する密な議論が行われたようである。

2. 会議の所感

オーストラリアの中でも南に位置するタスマニア島が開催地であった。2月は、オーストラリアの季節で夏に相当する。しかし、地理的に南過ぎるせいなのか、半袖になりたくなるような気温にはならなかった。会場は港の前に立地したホテルであり、常に観光客が行き交うにぎやかな場所であった。

この会議のメインサブジェクトは「FUSION」であり、特に低エネルギー重イオン反応に主眼が置かれている。私はその専門ではないが、低エネルギー重イオン反応は、原子核特有の量子効果や多体相関などが顕著に現れる現象であると同時に、半古典的な描像と明確な比較をすることができる、魅力的な研究対象だと感じている。たとえば鉛標的に酸素ビームを入射させることを考える。両者の間にはクーロン力が働いているため、入射エネルギーが低いと二つの核種が融合する確率はとても小さいが、トンネル効果が存在するために融合確率は有限値を持つ。この融合確率を、入射エネルギーを変化させ



FUSION17 の会場のホテルの前の様子

て測定していくと、クーロンバリア近傍のエネルギーで(sub-barrier fusion)、単純な理論計算で予測される値よりも大きくなるという現象が報告されている。この理論計算の過小評価は、二つの核種の集団運動を考慮することによって説明できることが知られている。さらに、入射エネルギーを sub-barrier fusion の時よりも小さくしていくと (deep sub-barrier fusion)、今度は理論計算が実験データを過大評価する傾向がある (fusion hindrance)。この過大評価は、入射核と標的核の表面が接触する際の相対距離が、トンネル効果によってクーロンバリアを貫通した時の相対距離よりも短いときに起きることが分かっている。FUSION2003、2006 の時は、この話題がホットになりつつあったことを記憶している。

しばらくの間、低エネルギー重イオン反応研究の話題に触れる機会が無かったのだが、今回の会議の講演から、deep sub-barrier fusion と fusion hindrance の理解がさらに深まっていることを感じた。近年では、fusion hindrance の原因は、入射核種と標的核種の重なりによる摩擦効果や原子核内部自由度へのエネルギー散逸効果によるものであると考えられているようである。以前から、現象論的な理論モデルによって、fusion hindrance の実験データをうまく説明できていたのだが、現在では原子核の内部自由度を微視的なモデルによって取り入れたり、平均場を基にして重イオン反応の時間発展を計算（時間依存ハートリーフォック法）して、直接そのダイナミクスを調べる手法がメジャーになりつつあるようだ。また sub-barrier fusion だけではなく、重イオンによる核子移行反応に関する研究報告も幾つかあった。この現象の理論的アプローチの一つとして、やはり時間依存ハートリーフォック法を用いた手法がある。核子移行反応をこの手法を用いて理論

的に解析し、原子核内の対相関した二つの核子がトンネル効果によって他の原子核に移る、原子核における「ジョセフソン効果」を見ようとする試みもあり、今後新しい見識が得られることが期待される。

重イオン反応以外に本会議で関心があったのは、新元素探索に関する議題である。ドイツ、フランス、日本からそれぞれ発表があった。新元素を合成し、それを実験的に特定するためには、新元素が α 粒子を放出して軽い元素へ崩壊していく過程を測定しなければならない。そのためには、新しい元素を合成する前に、新しい元素が崩壊していく過程で作られる比較的軽い元素の崩壊性質を知る必要がある。そのための基礎研究が、各国で近年重点的に行われていることが報告されていた。

筆者は中性子捕獲反応断面積における直接反応と複合核反応の干渉効果について発表を行った。共鳴エネルギー領域における中性子捕獲反応では、複合核反応の寄与が大部分を占めている。一方で複合核反応とは別に、入射中性子が電気双極子放射を通して直接標的核に吸収される直接捕獲反応も存在するが、その断面積は複合核反応に比べて十分に小さく、核データ評価において大部分の核種で無視されている。しかし、共鳴エネルギー領域において準位密度が十分に小さい核種は、複合核反応の断面積が直接捕獲反応のものと相対的に同じ大きさになることがある。このような場合には、直接捕獲反応と複合核反応の間に干渉効果が現れるようになる。実際にこの干渉効果は、酸素 16 などの軽い核種で実験的に見つかっている。同じように、準位密度が小さい他の核種でも干渉効果が見られることが期待され、本研究では炭素 13 と中性子過剰核であるゲルマニウム 86、スズ 134 で理論的な計算を行い、その結果を報告した。断面積の評価のために、s-process 元素合成において典型的な温度である 30 keV でのマクスウェル分布平均断面積を用いた。その結果、断面積が大きくて 30 % 増加する可能性があることを報告した。

3. 会議の外で

FUSION 国際会議は、私が初めて参加した物理の国際会議であり、たいへん思い入れのあるものである。参加したといっても発表をしたわけではなく、正式なレジストレーションをしたわけでもない。私が大学 4 年生の時の話である。大学院から修士の学生としてお世話になることになった原子核理論研究室が、その年にちょうど松島で行われていた FUSION06 国際会議のホストになっていた。その機会があり、私の受入教官となる滝川昇先生が、私と私の同期であった A 君を招待してくれたのである。勿論のことながら、当時の私には講演者のトークの内容を全く理解することができず、たくさんの外国人に囲まれてとても恐縮したのを覚えている。FUSION06 の後、3 年後の FUSION09 にも参加したが（このときはオフィシャルに）、その後はしばらく参加していなかった。

最初に FUSION 国際会議に参加してからもう 11 年が経過した。今回は馴染みのある日本人も一緒に参加していたことから、会場内外で会話を楽しむことができた。超重元素合成について、僕が「原子力機構でも新元素合成ができれば良いのにな」とつぶやくと、九州大学の院生である田中君から、「原子力機構のタンデムを本気で使えば可能ですよ！」と熱く語ってくれたのが強く記憶に残っている。その田中君は、上述の超重元素合成のセッションで、理研で行われている次の超重元素合成に向けた研究の現状についてすばらしい発表をした。発表自体もすばらしかったが、発表直後に、彼は日本の巷で流行っているショートジョークを、超重元素合成研究になぞらえて聴衆に披露するパフォーマンスを行った¹。また、ポーランドでポスドクをしている関澤君は、重イオン反応と対相関の関係を調べた研究で、今回の会議の Best talk presented by early carrier researcher 賞 (Zagrebaev 賞²) を受賞した。二人のエネルギーで積極的な活動には、本当に感心した。

この会議の Banquet tour は会場から離れたワイナリーで行われた。ワイナリーまでは、英国にあるロンドンバスのような二階建てバスに乗っていった (次頁写真)。勿論、このバスだけでは全員乗り切れないので、一部は普通の大型バスに乗っていった。ワイナリーはブドウ畑に囲まれ、遠くには海も見えた。夜になると、天の川だけではなく南十字星も見え、多くの人が星空観察を楽しんでいた。

ホバートの町から西の方角に大きな山が見える。なんとも好奇心をそそる形をしている。アマチュア登山家としては、行かないわけにはいかない。山の名前は Mt. Wellington または Kunanyi。他にも呼び方があるらしい。実は、オーストラリアに出発する前からこの山に登ろうと目星をつけていた。勿論、会議には出席しないとイケないため、朝 4 時に目を覚まして出発し、会議が始まるまでに戻ってくることを計画した。出発の時間はまだ暗く、街頭のない道路をひたすら山に向かって歩いていく。カンガルー、もしくはワラビーのような動物がいたるところにいた。道路には動物の礫死体もあった。真っ暗だったので同定できなかったが、後で調べるとどうやらウォンバットだったようだ。登山道は森の中に続いていたが、真っ暗で先に進むことができなかった。日が出るのを待つて山頂を目指すことにした。小鳥が飛び回るくらいの時間になると、日光で体も温まりとても快適なハイキングになってきた。実は山頂まで道路がつながっており、頂上にはたくさんの観光客がいた。帰りはバスに乗って帰ってきた。

¹ お笑い芸人ピコ太郎氏の「ペンパイナッポー・アップーペン」をモチーフにした。りんごをビスマス、ペンを亜鉛に例えて、それをくっつけてニホニウムとなる、というジョークを歌いながら行った。

² 核融合および核分裂、超重元素合成の分野に長く貢献してきた Valeriy Zagrebaev 氏にちなむ。JAEA を含め日本にもたびたび訪れていた。2015 年急逝。



Banquet 会場へ向かう二階建てバスに乗る様子



Banquet 会場はワイナリーでもあった。ブドウ畑に囲まれる。

4. おわりに

私にとって、思い入れのある国際会議のシリーズに再出席できたこと、若手研究者のユーモア溢れる魅力的な発表など、感慨深いだけではなく刺激的な国際会議であった。また、ホストを担ったオーストラリア国立大学の、会議スケジュール編成やそのホスピ

タリティなど、国際会議運営の手本となるような手際には、見習うべきところがあった。近年の世界の状況として、重イオンを低エネルギー領域に加速して十分に実験できる施設は減りつつある。しかしながら、今回の会議では、そのようなネガティブな状況を感じさせるどころか、むしろ今後さらにこの分野が発展していく雰囲気を感じた。このようなムードを生み出したのには、今回の会議の運営に一理あるだろう。つまり、マイルストーンとなる会議の運営次第で、その分野の未来が実際に変わってくるのかもしれない。

会議の最終日には、次回の開催が日本（静岡市が候補地）となることが決まった（東北大学、JAEA 共催）。次回の開催に私が関わるかどうかは分からないが、ただ発表をするだけ、聞くだけの会議ではなく、今回のように世界中から研究者が集まってくる機会を最大限活かした会議が、続いてほしいと思う。

最後に、米国留学直前の自分にアドバイスをくれた有友氏、食事や余った時間を共に過ごしてくれた萩野先生、市川氏、田中氏、関澤氏、鷺山氏に感謝します。



Hobart の街から見える Mt. Wellington にある岩壁群。言うまでもなく、ロッククライマーのゲレンデになっている。



Closing Remark の様子。別れは少し寂しい気持ちになります。



最後の夜に Hobart の港の写真を撮る。この後にホテルの部屋に入れず苦勞する。