

話 題 (II)

第20回原子核物理国際シンポジウム参加報告

(九州大学総合理工学研究科) 渡辺 幸信

本シンポジウムは、ドレスデン工科大学のグループがオーガナイザとなって、例年、旧東ドイツ・ドレスデン近郊にあるガウシヒ (Gaussig) で開催されており、東欧・ソ連圏の原子核物理学の研究者の参加が多いシンポジウムである。今回は20回目を迎え、主テーマを『核反応メカニズム』に設定して、1990年初頭より、その準備が進められていた。1989年11月9日のベルリンの壁崩壊後(この当日は、まさに前回のシンポジウムの開催期間中であった。)、ドイツ統一に向けた政治経済の急激な変化の波が東ドイツに押し寄せた激動の年であり、シンポジウムの開催を心配する声もあったが、予定通りのスケジュール(1990年11月12日-16日)で開催の運びとなり、東西ドイツの統一後、早々に行なわれた記念すべき国際シンポジウムとなった。以下、本シンポジウムの内容と今最もトレンドな国、ドイツを訪問中に感じた印象をいくつか紹介する。

1. シンポジウムの概要

今回のシンポジウムは、『核反応に関連した基礎的な諸問題』、『核反応メカニズム』、『原子核反応(実験)』、『単位密度/励起された原子核』、『核分裂』の5テーマの下に研究発表が行なわれた。参加者は、開催国のドイツ(27名)が多く、ソ連(3)、イタリア(3)、ベルギー(2)、チェコスロバキア(1)、アメリカ(1)、メキシコ(1)、アルジェリア(1)の順で、日本からは、九州大2名(神田幸則、渡辺幸信)、山形大1名(高橋良雄)、データ工学1名(大竹巖)の計4名が参加し、2件の発表があった。例年通り、会場はドレスデンの東約40 kmのガウシヒにあるドレスデン工科大学所有の保養施設(昔の領主の屋敷を改造した古風な宿泊施設と広大な公園からなる施設。建物の周囲には羊が群をなして静かに草を飯でいる牧歌的な風景が見られる。)であった。会議場として、古書が天井高く積まれた壁に四方を囲まれた歴史を感じさせられる図書室が使用された。講演時間や質疑応答の時間も十分にとっており、各発表とも活発な討論がなされ、かなり密度の濃いシンポジウムであった。また、発表後も夜遅くまで談話室で、ドイツワインやビールを片手に様々な話題で討論があり、アットホームな雰囲気の中で研究者間で親睦を深めることができた。

今回のシンポジウムの中心的話題は、核反応の前平衡過程に関する理論的・実

験的研究であった。入射粒子のエネルギーが高くなってくると、核反応の前平衡過程による粒子放出成分が増加し、前方ピークの角度分布をもつ連続スペクトルとして観測される。前平衡過程は、核反応の非平衡統計過程であり、最近話題の量子カオスにも関わってくる「物理」を含んでおり大変興味深い研究対象である。一方、核反応理論の応用分野である核データ評価においても、この過程を取り扱える理論計算コード (GNASH, TNG, ALICE など) が用いられ、DDX や励起関数の実験データとの比較を通じて、この過程の重要性が認識されている。今後、加速器の開発や利用で必要となってくる 20 MeV 以上の高エネルギー中性子や荷電粒子核データの評価において、ますます前平衡過程の重要性が高まってくるものと予想される。そこで、以下、本シンポジウムの中で発表のあった前平衡過程に関連した話題の中から、最近理論面での進展がみられる統計的多段階反応理論を中心にいくつか紹介することにする。

2. 統計的多段階反応理論に関する話題

『核反応メカニズム』のセッションの中で、この話題について3つの講演があった。一つは、Lenske (ミュンヘン大) による統計的多段階直接反応理論 (この理論の提案者である Tamura, Udagawa, Lenske の名をとって TUL 理論と呼ばれている。) に関する発表である。この理論は核反応直接過程を記述する歪曲波ボルン近似 (DWBA) の手法を連続スペクトル領域への遷移過程に適用し、2段階反応過程まで取り扱う。発表では、これらの理論の基礎に関するレビューがあった後、実際の計算例として ^{93}Nb に対する 14 MeV 中性子入射反応の放出中性子スペクトルが示され、実験データとの比較がなされた。中間放出中性子エネルギー領域 (7~10 MeV) では2段階過程の寄与が1段階過程より大きくなり、2段階過程まで考慮することで実験値の再現性が向上することが報告された。また、共同研究者の Wolter (ミュンヘン大) により、TUL 理論を偏極重イオン反応へ適用して、エネルギースペクトルとアナライジングパワーの実験値をうまく説明できることが報告された。

次に、Kalka (ドレスデン工科大) による1~160 MeV 領域の統計的多段階反応の発表があった。彼の属するドレスデン工科大の理論グループは、最近、統計的多段階過程の直接過程と複合核過程を矛盾なく取り扱う実用的な理論モデルを発表した。彼らはこの理論に基づくパソコンベースの簡易計算コード EXIFON を開発して、30 MeV 以下の核子入射反応計算に適用し、実験値とのよい一致が得られることを報告している。発表では、理論の解説と計算コードの説明に続き、数 MeV から 160 MeV の入射エネルギー範囲への適用結果が示された。80 MeV までは、束

縛状態での核子核子相互作用の強さを一定にして実験値を再現できるが、100MeV以上になるとこの仮定がくずれ、この強度が小さくなる傾向を示し、160MeV(p,n)反応の計算では、スペクトルの形状も含め実験値をまったく再現しなくなることが報告された。現時点では、この計算モデルは入射エネルギー100MeV以下まで適用可能であると考えられ、計算の簡便さから、今後の加速器遮蔽用核データ評価などの20MeV~100MeVの範囲の核データ評価に役立ちそうである。ただし、放出粒子の角度分布計算には、Kalbachの系統性に基づく経験式を用いている。話は少しそれるが、筆者はシンポジウム参加後、ドレスデン工科大学の彼等の研究室を訪問してKalka博士とEXIFONコードについて話をする機会を持った。実際にコードの使用方法を教えてもらい、preliminaryなバージョンであるが彼等の計算コードを入手できたことは今回のドイツ訪問の成果の1つであった。現在、我々の研究室にあるパソコンに移植する作業が終わり、今後はKalka博士と共同で我々の実験データ(陽子入射反応)の解析を進め、陽子入射反応への適用性を調べていく計画である。

続いて、Scobel(ハンブルク大)による(p,n)反応を用いた多段階直接反応メカニズムの研究に関する発表があった。彼等のグループが測定を行ってきた入射陽子エネルギー25.6 MeVから256MeV、標的核の質量数範囲7から208までの広範囲におよぶ系統的な実験結果と、FKK理論と呼ばれている統計的多段階直接反応理論を適用した解析結果についての興味ある報告であった。解析では、計算に必要な二体相互作用の強さの入射エネルギー依存性が調べられ、入射エネルギーとともに減少する傾向を示すことが報告された。この傾向と有効n-p相互作用のエネルギー依存性の間に相関関係あることが指摘された。また、南アフリカのグループによる最近の80,120 MeV(p,xp)反応実験データとの同時解析の結果にもふれ、(p,xn)と(p,xp)反応では同じ放出エネルギーでの角度分布の形状は似ているが、その絶対値が異なっていることが報告された。さらに、Scobelはシンポジウム直前にロスアラモス国立研究所のLAMPFで行った800 MeVまでの高エネルギー陽子による(p,n)反応実験の現状報告も行い、彼等のグループが実験・理論両面でこの分野をリードしているという印象を受けた。

多段階過程の話題に関連したその他の報告として、ドレスデン工科大のグループから、核分裂反応を統計的多段階理論の中に組み込む試みが紹介され、計算値と実験値との比較の結果、14 MeV $n+^{238}\text{U}$ 反応から放出される中性子スペクトルの実験値とのよい一致が得られることが示された。また、統計的多段階過程理論では各反応ステージでの状態を記述する単位密度が重要になってくる。この問題について、高橋良雄(山形大)による統計的多段階複合核反応の励起子単位密度

に関する厳密な理論計算結果の発表があった。

3. 前平衡過程に関するその他の話題

筆者は、『原子核反応（実験）』というセッションの中で、九大グループがタンデム加速器を用いて行ってきた10~20 MeV (p, xp)連続スペクトルの系統的な測定とそれらのスペクトルの入射エネルギー依存性や質量数依存性に着目した励起子モデルにもとづく解析結果の報告を行った。実験・解析両方に対していくつか質疑応答があったが、解析に半古典的なモデルを使用していることから、上述の最新の量子力学的なモデルを適用する必要性を座長の Seeligerをはじめとして理論研究者から指摘された。現在、この分野での研究の流れは量子力学的アプローチに動いていることを痛感した。

さらに、前平衡過程に関する話題として、 α 粒子の前平衡放出過程を記述する励起子モデルに角運動量保存と3核子ピックアップ過程を考慮することで、核内の preformed α 粒子の存在を考慮せずに実験データとのよい一致が得られることが Bisplinghoff (ボン大) から報告された。また、前平衡過程による γ 線放出に関して励起子モデルを適用した計算結果と実験値との比較が、Běťák (チェコスロバキア) により発表された。

前平衡過程以外の話題として、昨年から原子核・原子力の分野で話題を提供し続けている低温核融合に関して、Guzhovski (ソ連) によるソ連での低温核融合の実験的研究のレビューや、核データ評価の理論計算で重要なパラメータとなる原子核の準位密度に関して、Grimes (オハイオ大) による質量数領域 20-40 の準位密度に関する実験と理論の両方にわたる興味深い発表があった。

閉会スピーチは主催者 Seeligerが行い、統一ドイツが誕生し旧東ドイツの体制が変わったけれども、このシンポジウムを従来どおり続けて行くことを希望しており、できれば、次回は高エネルギー原子核反応に関するテーマを取り上げたいという話であった。参加者一同の盛んな拍手の中、記念すべき第20回のシンポジウムも無事に閉会を迎えた。

4. ドレスデン工科大学訪問

シンポジウム終了後、山形大の高橋氏と一緒にドレスデン郊外のビルナにあるドレスデン工科大の原子核物理学研究室を訪ねた。ここには、Seeliger、Seidel 両教授の研究室がある。Seidel 教授の案内で実験装置を見せてもらった。主装置としてコッククロフト加速器を有しており、14 MeV D-T中性子源を用い

たTOF法による (n, xn) 反応DDXの測定や核融合ニュートロニクスに関連した積分実験が行われている。装置自体は手造りの古いものが多い中、データ収集と解析用に一台IBMコンパチのPCマシンが導入されていた。中性子しゃへいに対する基準が厳しくないのか、中性子源がある実験室は四方を厚いコンクリートで完全にしゃへいされておらず、通常の実験室同様、ガラス窓で外と仕切られていたのには驚かされた。今後、西側の放射線管理規則に適合できるかどうか心配である。しかしながら、実験室や研究室内はどこも非常にきちんと整理整頓されており、几帳面なドイツ人気質のあらわれかと思った。

ビルナを後にして、次に訪問したのはドレスデン市内にある工科大のキャンパスである。ここには、Kalka 博士らの理論グループとMärten 博士の研究室がある。若手の研究者ばかりで活気のある雰囲気であった。彼等と昼食を共にしながら、シンポジウムのことやお互いの研究の現状について意見交換を行った。研究室には、最近導入したという3台のIBMコンパチATマシンがあった。ビルナで測定されたDDX実験データはすべてこの理論グループが開発した計算コードEXIFONで解析されている。ハード面での厳しい研究環境の中でも、若手を中心した実験と理論の両グループの密接な連係体制が研究のアクティビティを高めているように感じられた。

5. 統一後のドイツ（主に旧東ドイツ）の印象

東西ドイツ統一後の新生ドイツ訪問はまさに歴史に立ち会う旅であった。シンポジウム後ベルリンを訪ねた。昨年は、テレビや新聞雑誌などのメディアを通じて、ドイツ（とくにベルリン）の様々な映像がリアルタイムで日本にも送られてきた。これらの映像の一つ一つを頭に描きながらベルリンの街を歩いた。東ベルリンから西ベルリンへ向かうSバーンの窓に写る街並が東西両地区でまったく異なっていることにまず気づく。東側は薄汚れた古い建築物や無機的なアパート群が立ち並び、路上を走っている車は今でも大半が国産車トラバントである。西側に入ると、一転して明るい色調を帯びたモダンなビル群やワーゲンやベンツなどの多種多様な車の往来など、我々よく知っている現代の風景に変わる。一つの壁の存在が空間を仕切るだけでなく、時の流れもそこで遮断してしまっていたことを強く実感した。消費生活の豊かさを問題にするならば、明かに社会主義経済は失敗であったことを東ベルリンの風景は物語っているように思えた。

ここで、興味深かったいくつかの体験を述べてみる。旧東ドイツの各都市にあるホテルや公共の建物には、今でも案内にドイツ語とロシア語のみが併記されて、英語での説明は少ない。また、一般市民に道を尋ねたり、商店で買物をして英

語がほとんど通じない。ライプチヒからドレスデンに向かう列車の中で知り合った印刷の仕事をしている青年は最近夜間学校に通い、英語の勉強をしていることを流暢な英語で語ってくれた。彼等にとって、今後は英語をしゃべり使えることが就職等で有利に働くのであろう。東ベルリンの書店には、日本同様、英語の語学教材が並ぶ特設コーナーが設けられていたのが印象的であった。もうひとつは銀行である。資本主義経済体制への移行に伴い、現在旧東ドイツ地区には、旧西ドイツから多くの銀行が入ってきている。しかし、小さな街ではそれらの銀行が入るビルのスペースがなく、バスを改造した移動バンクが日本の献血車のごとく街の広場にオープンしている珍しく光景に出会った。

ドレスデン工科大の若手研究者と雑談の折、「現在の東ドイツの状況はまさに前平衡過程の段階にありますね」という話になった。1990年の本シンポジウムの主テーマ選択がとてもタイムリーに思えてきた。ベルリンの壁崩壊という象徴的な出来事に端を発した東西ドイツ融合反応は、現在、政治経済社会の各レベルで内部相互作用を繰り返しながら、21世紀に向けたカウントダウンの中、反応の前平衡期（過渡期）を進んでいる。そして、ある時点で完全なる融合（統合）が達成され、平衡状態を迎えるだろう。その日が一日も早く来ることを望むとともに、原子核反応の多段階過程を統一的に記述できる理論の完成を目指した研究が各国の研究者間の交流を通じてアクティブに進展していき、この分野で少しでも貢献できればと思った次第である。

最後に、筆者にとって海外でのシンポジウム参加は今回がはじめての経験であり、日本から参加された神田先生（九大）、高橋先生（山形大）、大竹氏（データ工学）にはドイツ滞在中に大変お世話になりました。この場をお借りして感謝申し上げます。