

研究室だより (II)

日本原子力研究所・先端基礎研究センター ハドロン輸送研究グループ (Group for Hadron Transport Theory)

日本原子力研究所

岩本 昭

1. グループの成立事情

2年ほど前のこと、日本原子力研究所東海研究所の物理部、化学部を中心としたリストラが断行され、1993年4月より新たに先端基礎研究センターという組織が誕生した。ここには当初12のグループが登録され、その内容は物理、化学、生物等に互る学際的な組織である。その後もこの2年の間に2つの新しいグループが増加した。センター長には大阪大学より伊達宗行教授を迎え、又各グループのリーダーの半数は所外の研究者であるという点でも、原研としては画期的な新組織である。各グループは5年間のプロジェクトとして定義されており、その意味で従来の“核物理研究室”といったものとは趣を異にしている。私自身は以前、物理部核物理研究室に属していたが、その中の核反応理論の部分が当グループに参加して、それ以外の原子核実験のグループと構造理論のメンバーは現在同じ先端基礎研究センターの未知重核グループを形成している。リストラとともに、物理部の名も核物理研究室の名も消滅するという原研の歴史で初めての変化となった。容易に想像出来るように、大きな変化に伴う数多くの問題も生じつつあるがここはそれらを議論する場ではないので、先に進もう。当センターの感じを掴んでもらうために、現在活動を行っている13のグループのグループ名を挙げておく。

極低温放射線物性、ハドロン輸送、量子計測、生体物質中性子回折、
イオンビーム植物遺伝子、放射光表面化学、重イオン未知重核、
アクチノイド溶液化学、アクチノイドメスバウア分光、
荷電粒子多体系、熱対流分岐、分子化学、ウラン化合物超電導

2. 当グループの目標

2年前のリストラの時点での新規テーマの募集に際して、我々核反応理論のグループを中心に“微視的シミュレーションによるハドロン輸送の研究”というテーマをもって応募し、それが採択されたことにより現在のグループが発足するはこびとなった。この

応募の時点でグループとしての目標に掲げた重要な点としてはつぎの2点がある。

- 1) QMD法を中心とした微視的(多体論的)シミュレーション手法が核物理の理論解析に有力であることが、中・高エネルギー重イオン反応の解析を通して判明しつつある。この手法をさらに発展することにより、従来出来なかった低エネルギー重イオン反応の解析を行い、又全てのエネルギーでの軽イオン反応における多重散乱過程を徹底的に且つ系統的に研究する。
- 2) その計算手法を一般化することにより、基礎研究のみでなくより実用的な核データ生産とか、又それを通してそれを必要とする応用分野、例えば強力な中性子やミュオン源、核廃棄物の消滅処理、等の加速器の利用分野、宇宙や医学分野へ、重イオンデータも含めた高エネルギーデータを提供する基礎を築く。

先ず、1)についてはQMDについて簡単に説明しよう。QMDはQuantum Molecular Dynamicsの略で、現在物理学や化学の多くの分野で盛んに用いられているMD法(分子動力学法)の一種である。本来はN粒子系のハミルトン方程式を解くことにより、注目すべき物理量を計算するシミュレーション手法である。核反応に利用するために幾つかの新しい要素が含まれ、それでQMDという新しい名前を付されている。新しい点は、核子一つを質点にするのではなくガウス型の波束で表すことであり、又自分以外の(N-1)体系との相互作用を通して核子の軌道を決定するだけでなく、それとは独立に2体の衝突項を導入して、その計算にはパウリ効果によるブロッキングを考えることである。

2)の点に関しては、QMD法を中心としたシミュレーション手法が実用レベルの応用に関しても近い将来重要になるであろうことに鑑みて、その為には基礎研究と実用的な研究の間の大きなギャップを埋めてゆく必要があると考え、その方向の努力を基礎研究と同時に行うとの考えに基づき提案した。現実的には、現在の研究が基礎研究の段階であることから、又マンパワーの点からも、具体的に取り組むには至っていない。しかし日常の研究の中で、出来る限り一般性のある方向でモデルの設定等を行う努力は怠っていない。この方向は、核物理の理論研究の成果がややもすると狭い専門分野のみに閉じたものとなりやすい状況を変えて行くために、非常に重要なものと考えている。基礎研究センターのグループとしては基礎的研究を少しでも先に進めることが本務であり1)の研究を中心に進めているが、幸い当グループには核データセンターと、炉物理実験のグループから兼務として参加しているメンバーが計5名いるので、将来的にはこの2)で述べた構想もそれらの人達を中心に進められるであろうと楽観的に考えている。

3. 現在までに行ってきた研究

以上の様な事情で当グループが成立してから約2年が経過しようとしているが、今ま

での活動の中心は大きく分けて2つの方向で行ってきた。

1) は軽イオン反応へのシミュレーションの適応の研究である。問題意識としては、軽イオン反応において簡単な直接反応と複合核反応の中間に位置する、いわゆる前平衡過程の取り扱いに関するものである。前平衡過程は低エネルギーでも、中・高エネルギーでも重要であるが、直接過程とどの様に繋いで計算すべきかと言う点で問題が多い。例えば高エネルギー反応では、当初カスケード的なたたき出し反応が起こるが、続いて起きる前平衡的な反応とどの時点で繋ぐかに関してははっきりした基準が無い。直接反応と前平衡反応とを含む既存の理論としてエキシトン模型や、より微視的な理論としてFKK理論その他があるが、例えば高エネルギー反応には使えない等の適応範囲が限られていたり、又任意パラメータを含むなど、満足できるものではなく特に予言能力に問題がある。我々は、この直接反応と前平衡反応との統合に関しては、QMD模型が十分な可能性を持っていると考え、これを系統的に証明すべく研究を進めている。勿論複合核過程に相当する部分は、遥かに長い時間スケールで起きるので、いわゆる蒸発過程や通常の核分裂の部分は独自に統計模型に基づく計算を行いQMDによる計算と繋げて最終結果を得ている。現在までに、数十 MeV から数 GeV までの核子入射反応の解析を進め、満足すべき結果を得つつある。

2) は主として、重イオン反応での基礎研究を進める点にある。元来QMD模型は中・高エネルギー重イオン反応の解析手段として発展してきた模型である。この模型に固有な古典的性格から、低エネルギー現象に対する適応は今まで殆ど考えられてこなかった。しかしこの模型を適切に拡張することにより、低エネルギー現象の解析にも十分に耐えうる手段になりうると考え、それを実証することにより今まで理解できなかった現象を解明できると考え研究を進めている。具体的には、重イオンによる核融合反応や核分裂反応がある。これらの反応の解析手段としては、現象論的な模型は様々なものが提案されているが、それらは集団的運動に対して一つ又は数個の自由度を頭越しに与えるもので、核子多体系としての動力学を理解するには余りに現象論的な段階であると考え。例えば核分裂に対するN.Bohrの液滴模型の段階から、巨視的な散逸効果を導入する等の進展はあるものの、微視的動力学の側面では本質的な進展が無いのは問題であろう。我々はQMDに基づく模型でこの分野の研究に新展開が図れるのではないかと考え研究を進めている。具体的には、いわゆるQMD模型の拡張として、核子を表すガウス波束の幅を新たに力学変数として扱い、又反対称化を行うと同じ効果を得るためにパウリポテンシャルを導入するといった拡張を行っている。これらの拡張に基づく模型は、これら低エネルギー現象のみでなく最近色々話題のあるマルチフラグメンテーション領域の物理を解明するためにも威力を発揮するのではないかと期待している。

4. グループの構成その他

グループとしての人員構成は、現在、専任のスタッフとしては私以外に、中原氏、丸山¹⁾（敏毅）氏の3名のみである。幸いこの1月より、専門研究員という身分で丸山²⁾（智幸）氏が加わり一息ついたところである。この両丸山氏は、イニシャルまで含めて同じでありどの様に判別するか、現在当グループの最大の懸案事項である。このほかに、今まで長く専門研究員として当グループで研究を進めてきて、現在は財団法人 NEDAC に属している仁井田氏も強力な戦力である。更に先に述べたように、現在原子力工学部核データセンターの菊池、柴田、千葉、深堀の4氏、及び炉物理実験研究室の高田氏に兼務という形で当グループに参加して頂いている。所外に関しては、京都大学の堀内研究室には多くの協力を頂いているほか、全国のシミュレーションに関心のある研究者との協力関係をさらに進めようと考えている。この点に関しては、今年度と昨年度の2回、原研で核物理のシミュレーションに関する研究会を開いたが、来年度も開催を予定しているので是非関心のある方のご参加を賜りたい。

最後に、グループのメンバーからの一言。

Y.N. : 私が物理をやろうと志したのは湯川さんのノーベル賞受賞が大きく影響しており、それで京大の物理学科へ進みました。しかし、湯川研には行かず、核理論の小林研に入りました。原研に入ってから、熱中性子物理、中高エネルギー核物理を経由して、現在はクォーク、グルオンの立場から核物理を見直すべく努力しています。人生ひとまわりして、初心に戻ったことになります。

T.M. 1) : 知り合いに「どんな仕事をしているのか」と訊かれると、なんと答えて良いのかいつも困ってしまいます。「コンピューターに計算してもらっている」と言うは何もしてないようなので、「原子核反応の微視的シミュレーション」とか言っておまかしています。

K.N. : この1年で QMD 関係コードの根幹ができました。今年は幅広い成果が期待されます。これは、実験でいうとイオンソース、加速器、ビームラインが完成し、加速テストが順調に終了した状態で、さあ、新しい測定器をターゲットルームに持ち込んで実験をしましょう、といったところです。

T.M. 2) : 長い渡り鳥生活のはてに、こんな田舎にきてしまいました。重イオンシミュ

レーションで原子核の色々な形が現れると、何か芸術家になった気分です。

Y.K. : 核データへの応用を考えて 20 % の業務をしている。今利用されている高エネルギー核反応コードに比較して、格段の精度の計算ができるようになり、楽しみにしている。

K.S. : 先端基礎研究センターには、従事率 20 % で兼務している。原研入所以来、軽核のデータ評価を行ってきた関係上、QMD を使うことにより質量数 20 以下の核データの精度が飛躍的に上がることを期待している。最近、ガンマ線生成データの工学面での重要性を再認識しており、この分野でグループに貢献できればと思っている。

S.C. : QMD は軽粒子から重イオン反応を、しかも低エネルギーから中高エネルギーまで統一的に取り扱える大きな可能性を秘めた計算手法です。また、あたかも見てきたかの様に核反応をアニメ化できるのも魅力の一つです。

T.F. : QMD 研究の進展や成果を横目で見ながら、中高エネルギーの核データ整備にどのような形で組み込めるか、ただ、ただ、考えています。理論屋さんと利用屋さんの橋渡しになればと思っています。

H.T. : 高エネルギー核子中間子輸送コードを使っている立場からグループに参加していますが、QMD の開発による成果を利用して、既存の輸送コードの精度を向上させたいと考えています。