

読者の広場 (I)

研究室だより

北海道大学大学院理学研究科物理学専攻
「原子核理論研究室」

加藤 幾芳

kato@nucl.sci.hokudai.ac.jp

大西 明

ohnishi@nucl.sci.hokudai.ac.jp

大塚 直彦

ohtsuka@ndc.tokai.jaeri.go.jp

1. はじめに

早いもので、前回1994年に研究室だよりを執筆してから丸10年がたつ。北大原子核理論研究室は理学部の共通講座として田中一初代教授により発足してから今年で46年目を迎えるが、ここ10年間は、大学院重点化・新研究棟への引越し・独法化と目まぐるしい変化に見舞われた。この激変する環境の中で、原子核理論研究室は現在スタッフ2名（加藤幾芳・大西明）、大学院生11名、4年生2名、VBL（北大知識メディアラボラトリ）の研究員4名の構成で核理論・核データの両面において研究活動を進めている。大学院生は毎年平均して2名程度の修士の院生を受け入れ、その半数程度が博士課程に進学している。学位取得後に、日本学術振興会や北大知識メディアラボラトリの研究員等として、研究室活動に参加する者が多いのは近年の特色といえよう。研究室と知識メディアラボラトリは核データの活動を通じて結び付いており、近年の研究室の核データ活動の発展はラボ研究員に負うところが大きい。理学部は農学部や工学部など応用系の学部に比べると外国人の数が相対的に少ないが、その中であって、常時外国人の姿が目立つのも研究室の特色の一つであろう。

2. 研究室行事

研究室の雰囲気伝えるため、まず研究室行事について述べよう。研究室のメンバーが一堂に会すのは、毎週火曜日に丸一日をかけて行われる速報（論文紹介）・研究室会議・コロキウム場である。午前中は速報を行う。一人が論文一編を時間をかけて報告するのではなく、M2以上の全てのメンバー（5～6人）が1本ずつ論文を報告する形を取っ

ている。報告論文はPhysical Review LettersやPhysics Letters Bから原子核関連の論文を速報委員がページ順に選んでは紹介者に配るため、論文の内容を選ぶ権利が報告者にはない（報告者は配られた2編の論文から1編を選ぶ権利をもつのみである）。よって、自らの研究テーマと関わりなく、核構造・核反応、低エネルギー・高エネルギーなど色々な論文を読むこととなる。この速報を平均すれば月に1回以上担当するのは、若い大学院生には厳しいかもしれない。

速報は毎回A4両面以内のレジメを作成することになっているが、この書式にも研究室の特徴が現れている。1970年代に田中先生は情報分野に深く関わられ、核データと並んで「文検索システム」の研究開発を始められた。この文検索システムの基礎となっているのは、合法的過程としての研究過程の考察であり、その分析で得られた研究過程の段階を先生は論文紹介においてレジメのカテゴリーとして導入された。これは必ずしも研究室全体のものでなかったが、これに従うと報告の内容が大変に分かりやすくなることから、殆んどの報告者によって今に引き継がれている。分類は報告者により多少異なるが、例えば「動向・課題意識、個別課題、アイデア、展開、結果、結論、次課題、コメント」である。参加者に外国人が加わった時期にレジメも報告も英語で行うことになり、それが現在に引き継がれている。

研究室会議では、特別講義の講師の選定、購入図書検討からはじまり、喫煙の可否、遠足の行先に至るまで研究室のあらゆることが民主的に議論される。民主的だから教授が図書を買いたいと思っても簡単には買えない、助教授がタバコを吸いたいと思っても自由に吸えない、そんな具合である。コロキウムは毎回一人ずつ自分の研究の中間報告をしたり国際会議の報告をしたりする。時には外部の人をお願いすることもある。修士の院生にとってコロキウムは教室の雑誌会や学会・国際会議発表へ向けての大切なステップである。この研究室でのコロキウムの特徴の一つは、速報と同じく分野における研究の位置づけを大切にすることであろう。大学院生の場合は往々にして苦勞している自分の計算の話を中心を考えることが多いが、コロキウムではそのテーマの意義や他の研究との関連に関心が集まり、しばしばイントロダクションの数枚のOHPに長い時間をかけることがある。

これらの毎週火曜の行事の他に、それぞれのスタッフのセミナーやビジターの歓迎会などの飲み会、大学院生とポスドクが行っているセミナーなどでセミナー室は議論のための溜り場になっている。計算機用にクーラーがあるのはセミナー室だけであるため、特にこの夏はセミナー等がなくてもセミナー室は盛況であった。

3. 物理学研究の概要

さて、既に御承知のこととは思いますが、理研の不安定核（RI）ビームによる中性子過剰核生成実験・米国ブルックヘブン研究所の相対論的重イオン衝突型加速器（RHIC）によるクォーク・グルーオン・プラズマ生成実験に代表されるように、近年の原子核物理学

は、その研究対象を従来の安定な原子核から、より広い意味での核子・ハドロン・クォーク多体系へと広げつつある。このような動向を反映して、我々の研究室は少数量子多体系的側面と核物質的側面の双方から課題設定を行っている。その対象は、クラスター理論、中性子過剰核、クォーク分光、高エネルギー核反応、ハイパー核、相対論的平均場理論、超新星元素生成、天体核と多岐に渡っており、課題によっては宇宙物理研究室との共同研究を行っている。

原子核物理の少数量子多体系的側面の研究として、現在の研究室での中心的課題は不安定核である。研究の大きな特徴は、束縛状態・共鳴状態・連続状態を統一的に扱える複素スケールリング法を開発し、利用してきたことであろう。この視点は、弱い束縛と連続状態との結合が大きな特徴である不安定核の物理において重要であり、この基盤の上でクラスター描像・殻模型描像・多体共鳴・対相関・テンソル相関等の様々な物理的な要素を議論・検討してきた。同様の少数量子論的な手法・観点は基底状態・しきい値・バリア近傍の物理の展開においても有効であり、関連する課題として現実的核力による多体系計算、しきい値近傍の 3α 共鳴、分子共鳴、天体核反応等の研究も進めている。

研究室でのもう一つの柱は核物質的側面からの研究である。高温・高密度になった原子核・核物質では構成粒子全体がつくる平均場や統計性、あるいは核子以外のハドロンやクォーク・グルーオン自由度が大きな役割を果たしうる。研究室では、平均場・統計性・新たな粒子自由度という観点から現象との比較を通じて核子・ハドロン物質の相図を解明することを目指して高エネルギー重イオン反応、超新星物質の物性、ハイパー核物理、核内コヒーレント π 粒子、カイラルSU(3)模型、核破碎反応等の研究を進めている。

より詳しい研究内容については研究室のホームページ (<http://nucl.sci.hokudai.ac.jp/>) を参照していただきたい。

4. NRDFの開発

さて、日本荷電粒子核反応データグループ (JCPRG) の下で行われている原子核理論研究室の核データ活動は、1974年に科研費特定研究「広域大量情報の高度処理」の22班の一つに「科学技術における情報処理例」をテーマとする班が組織された時に遡る。そこからカウントして、我々の核データ活動は今年で丁度30年目の節目を迎えることになる。研究室が核データ活動を開始した頃の雰囲気は前回のお便りにも記した通りであるが、多種多様な荷電粒子入射核反応データ（以後、荷電粒子データと略す）を微分量も含めて幅広くデータベース化する、という発想は当時大変に斬新であった。現在と違って汎用のデータベースマネージャーシステムなどなかった時代である。田中先生はこの頃のことを以下のように述懐されている：「文部省の研究助成課長・故手塚晃氏が田中一に対して次のようなことを言った。『荷電粒子核反応データベースを作成するということが、日本でデータベースを動かすソフトができるのですか』もちろんそのようなシステムがNRDFとして田中一のもとで作成されていたが、このような手塚課長の発言がそ

う不思議ではないような当時の雰囲気であった」（なお手塚氏は、審議官を経て埼玉大学教授に就任され、科研費プロジェクト「明治期における西欧科学文明の日本社会への取組の構造の研究」の中で渡来人と渡航者の分析のためのデータベース作成に尽力された）

このプロジェクトX的ともいふべき雰囲気の中で、研究室を中心とする荷電粒子核反応データベースシステムNuclear Reaction Data File (NRDF) の研究開発は「実験データの採録」と「システム開発」を互いに相補的な関係にあるものと捉えつつ進められて来た。同時期の1973年にはOak Ridge National LaboratoryでNuclear Structure Data File (NSDF) という核構造に関するデータの収集・評価・蓄積が開始されており、NRDF (Nuclear Reaction Data File) という名称は、NSDFとNRDFが互いに補完的な関係をもつことを意識してつけられた名称であった。NRDF立ち上げ当初の実際のシステム開発に関しては富樫雅文氏に負うところが大きい。採録が本格的に開始できる体制が作られるまでに5年ほどを要している。

5. 核データの収集・採録活動の発展

データの採録は1979～1985年にNuclear Data Sheet誌に掲載された陽子入射核反応データから着手され、その後は日本で加速された（強い相互作用に関与する）荷電粒子ビームによって生成された荷電粒子データを収集対象として今日に至っている。かつてはPhysical Review CやNuclear Physicsなど核物理の雑誌を採録対象にしていたことから、収集されるデータは微分データが主であった。また、理研放射線研究室の核データ活動が2000年に中断されてからは、それまで橋爪朗・天道芳彦両氏により進められてきた理研グループの核種生成断面積の採録を我々のグループが継承するために、採録対象雑誌を拡大するところとなった。その結果、現在の収集対象誌は、核化学関連の雑誌も含めて16誌となり、これらの雑誌から蓄積されたデータは文献数にして1500件強に達している。

論文の採録は、コーディングシートと呼ばれる用紙に採録者が論文から必要な情報を書き込み、後にそれを計算機に入力する、という方法から始まった。核反応データは物理量によって与えるべき必須情報が決まる。例えば、部分断面積であれば励起エネルギー、角分布であれば角度が必要である。この必須情報を採録者が漏らさないようにするために、物理量に応じて種々のコーディングシートが作られた。このコーディングシート法の欠点はシートに記入された事項を計算機に入力する際に発生するミスタイプである。そこでシートを介さない方法として、1990年代半ばからは、あらかじめ雛型となるファイルを作成しておき、それを採録者自ら直接編集するという方法を採用して入力ミスを減らすことに成功した。しかし、この方法は採録者が自由に雛型ファイルに手を入れることができることや、コーディングシートであれば制御可能であった構文規則が破られるなど新たな問題が生じ、正確で均質な採録を実現させるには至らなかった。これらの問題を抜本的に解決したのは2001年に開発されたウェブブラウザを用いた入力シ

システムである。これにより、均質でコード・文法エラーを生まない採録環境が実現した。このシステムはブラウザを経由して入力する仕組みであり、採録開始にはネットワーク環境だけが要求される。このシステムによって、NRDFやEXFORの知識がなくとも実験データを採録できる環境が実現された。ただし、採録結果の物理的妥当性を論文との比較において検討する作業は必要であり、ここに研究者が採録活動に関わることが依然として要求される。

論文の採録にはその本体となるべき数値データが必要となる。微分データは図の形でのみ示されることが多く、論文からは数値が得られないこともしばしばである。そこで図から数値を得るために我々はグラフィードシステムを開発した。開発当初は大型計算機センターにあった汎用グラフィードを用いていたが、データをファイルに格納するには、出力された座標値を物理量に変換する作業システムが必要であった。この問題を解決するために、1985年からパソコン上で動作する核データ採録用のグラフィードシステムGRADISの開発が進められた。これはテキスト環境での作業を前提としての開発であったが、1998年にはWindows環境下で動作する新しいシステムSyGRDが作成された。このシステムは大変に優秀で、EXFOR採録に携わるロシアの研究所からの、読み取りが困難な図の処理を依頼に応じて喜ばれたりもしている。我々が熟練した献身的な技術者を確保していることも、正確な数値読み取りを支えている。このSyGRDはJCPRGのホームページから自由にダウンロード・インストールすることができ、例えば東大原子核科学研究センターやハンガリーのATOMKIの核データグループでこのシステムが使用されている。最近ではウェブブラウザやJAVAを用いた次世代の読み取りシステムも開発され、既に試用段階となっている。ブラウザを用いた読み取りシステムGRESを用いれば、ユーザはネットワークにさえ接続できれば特定のソフトのインストールなしにすぐデータ読み取りを実行できる。本稿が読者の皆さんのお手元に届く頃には、これらのシステムが、JCPRGのホームページから利用可能となっているかも知れない。

6. 核データ検索・利用システム開発

採録されたデータファイルも検索して活用されなければ意味がない。先にも書いたようにNRDFがはじまった当時はデータベースを扱うシステムが普及していなかったために、先ずデータの作成を、次いで検索システムや各種ユーティリティの大型計算機上での構築、と考える必要がなかった。始めの頃の検索システムは、データベース利用者が、大型計算機センターの利用者番号を取得した上で北大の計算機にログインして、画面にコマンドを入力して検索を進めていくものであった。しかし、UNIXやWindowsなどのOS、そしてインターネットが普及するにつれて、大型計算機システムによるテキストベースのデータ検索は、急速に時代遅れとなっていった。

このような状況で新しいシステムを構築するきっかけとなったのは、北大工学部電気工学科（当時）の田中譲教授の下で1987年から進められていたIntelligentPadと称する新し

い電子メディア流通システムの開発であった。このシステムは、大量の学術情報が生み出される時代背景において、知識の編集・流通・管理はもとより、その再編集・再流通を新しい視点から実現させるシステムであった。このシステムを核データの収集・配布に活かす試みは、情報科学の立場から核データ活動に参加してきた千葉正喜氏によって始められ、その後、IntelligentPadを用いた核データの検索・利用システムの開発は、北大知識メディアラボラトリーの研究者や北見工業大学の核情報研究室に引き継がれてCONTIP (Creative, Cooperative and Cultural Objects for Nuclear data and Tools on IntelligentPad) という名称で現在の開発に引き継がれている。このシステムでは検索で得られた実験値や評価値はパッドと呼ばれる媒体で表現される。CONTIPの詳細は割愛するが、例えば画面上でグラフ描画の機能を持つパッドに、複数のデータのパッドを重ねるとグラフの重ね書きが実現できる。

情報工学としても新しい視点を持つこのシステムの開発と並行して、既に確立されたウェブ技術を用いて核データを検索するシステムの開発も我々は並行して進めてきた。NRDFのウェブ検索システムは2度の大きな改訂を経て現在はDARPE (Data Retrieving and Plotting Engine) というシステムが公開されている。このDARPEは現在のNRDFのサービスの中心的なツールとして広く活用されている。更にこのDARPEの技術を土台としたEXFORとJENDLのための同様のシステム開発を電源特会のプロジェクトのもと、東工大・原研などと協力しながら進めている。このシステムは「総合核データ利用システム」の中の「検索・作図システム」として2006年の完成を目指して開発中である。

7. 国際荷電粒子核反応データベース活動

さて、我々が収集活動を開始した時期は、荷電粒子データの重要性が国際的に認識されはじめた時期に一致する。折しも、我々が研究開発を開始したのと同じ1974年に、それまで中性子入射反応を対象とした核反応データ活動の国際協力体制 (4センター体制) を、荷電粒子や光核反応へ拡大するための専門家会議がIAEA本部で開催された。この時期、世界では我々の他に2つのセンターが、荷電粒子データの収集活動を活発に進めていた。それは、Kurchatov原子力研究所のグループ (CAJaD) とKarlsruhe原子核研究センターのグループ (KaChaPaG) である。翌1975年にIAEA本部で行われた荷電粒子核反応データに関する専門家会議には、JCPRGの前身である"Japanese Study Group"から大沼甫氏が、また、同じ特定研究でデータベースに関する研究を情報科学の面から進めておられた北川敏男氏が参加され、荷電粒子核反応データ収集の国際協力の可能性を議論した。大沼氏と田村務氏が参加された1976年の同様の会議を経て、1977年のKievでの会合では、旧4センターにCAJaD, KaChaPaGと我々のグループが、荷電粒子核データセンターとして合流している。ここに現在のNRDC (Nuclear Reaction Data Centre Network) の原型を見ることができる。EXFORは当初中性子入射反応のために開発された書式であったが、荷電粒子データが収集できるように、Karlsruheのグループによって拡張されたもこの頃のこ

とであり、例えば、それまで物理量を与えていたISO-QUANTがREACTIONに置き換えられた。以降この(modified) EXFORが核反応データの国際交換に用いられ今日に至る。

同じ荷電粒子データを収集するセンターでありながら、CAJaDやKaChaPaGと我々のグループでは収集方針が大きく違っていた。KarlsruheとKurchatovのグループは、励起関数や放射化断面積といった積分データの収集に関心があり、一方、我々は積分データ・微分データといったデータの区別はせずに、物理量を広く収集するという方針を取っていた。EXFORは我々のこの方針が要求する書式としては柔軟性に欠けていた。そこでCAJaDやKaChaPaGが最初からEXFORの書式で採録するのに対して、我々のグループは独自の書式でNRDFに一旦データを採録し、変換可能なものはEXFORの形で配信する形で国際協力に加わることにした。ちなみに1975年の会合では荷電粒子データのうちの5%が積分データであり、少なくとも90%が微分データであると見積もられている。我々の収集データに微分データが目立つのはこのためである。

我々のグループの発足当時の目標は、実験値収集の道筋を作り、採録活動が実験研究者の研究活動の一部となるようにすることであった。そのことから、我々のグループ名が国際的には長らく"Study Group for Information Processing" (略称はSGあるいはSGIP) というおよそ核データとは縁のなさそうな名称であった。しかし、IAEA-NDSからもう少し活動実体に伴った名前を、という打診があり、1992年のNRDC会合からは現在のJCPRG (Japan Charged-Particle Nuclear Reaction Data Group) という名称を用いるようになった。ただ、JAERIとかRIKENと違って子音の連続するJCPRGという略称は覚えにくいようで、海外のセンターからは未だにJCPDGとかJNRDCとか誤って呼ばれることがある。KarlsruheにならってJaChaPaGとでもすべきであったか。

そのKarlsruheグループは1982年にNRDCの荷電粒子データ活動を停止するが、翌1983年には、日本から理研のグループが荷電粒子核データセンターとしてNRDCに加わった。理研はIAEA-NDSの岡本浩一氏からの依頼で、IAEA-NDSが着手していた医療用同位体生成励起関数の収集を行う方針を取った。1983年のNRDC会合では橋爪朗氏が収集対象として20生成核種を挙げている。また、荷電粒子核反応文献を含む日本語二次文献NSRへの入力も、それまでシグマ委員会ENSDFグループの活動の一環として行われていたものが、この頃から原研からの委託の形で理研グループが担当するようになった。このようにNRDCの国際協力体制の中においては、理研グループと我々のグループは相補的な関係にあった。その理研グループの活動が2000年で終了してしまったのは誠に残念である。我々は核種生成断面積が掲載される核化学関係の雑誌などを収集対象に加え、また理研の作成したEXFORファイルの加除修正再送信を行うなどして、理研の担っていた役割りを少しでも引き継ぐべき努力しているところである。日本語二次文献のNSRへの入力については、NNDCから要請があるものの人員確保ができないまま現在に至っている。その替わりというわけではないが、最近では日本で出版された荷電粒子文献のCINDAへの入力を開始しており、文献情報データベースの整備にも一役買っている。本号の中川氏の記事に

も書かれているように、CINDAの採録に関しては中性子文献の採録を進めておられる、シグマ委員会のCINDAグループとも情報の交換を進めている。

8. 最近のJCPRG活動

ここ数年来、我々JCPRGの核データ活動のNRDCでの存在感が増してきている。これは知識メディアラボラトリの協力を得られるようになったことが大きな要因の1つになっている。2000年にはラボの制度を利用してIAEA-NDSからSchwerer氏を1ヶ月招聘した。この招聘はNRDFからEXFORへの変換効率改善に大きく寄与した。また1999年以降は、管理運営委員とともにラボ関係の研究員をNRDC会合に参加させているが、このような会合への若手の参加も大変に効果をあげている。従来はNRDFのデータから変換可能なものだけをEXFORに入れる、という受動的な姿勢であったのが、最近ではNRDFのデータがEXFORに変換できるようにEXFORを拡張してもらう、という能動的な姿勢に変わりつつあるのである。かくして現在のところEXFORの辞書やマニュアルは、NNDCやIAEA-NDSとJCPRGの間での頻りに議論を通じて整備が続けられている。高エネルギー（1GeV以上）や重イオン入射（質量数13以上）データのEXFORでの必要性もここしばらくの話題であったが、入射粒子が正のバリオン数を持っている限りにおいては、これらの荷電粒子データもEXFORに従来通りに格納するという方針が、来る10月のNRDC会合で確認されるはずである。このような経過を経て我々がNRDFにおいて目指したもの、即ち、多様な核反応実験データを用途を限定せずに収集・利用する仕組みが、IAEA-NDSやNNDCの協力を得ながらEXFORでも少しずつ実現されつつある。

我々は活動当初から常勤スタッフを伴わない完全なボランティア集団である。2002年で文部省事業費による恒常的なサポートが打ち切られた後は、専ら競争的資金にのみ頼って活動を続けているところであり、今後も活動が継続できるかどうか予断を許さない状況が続いている。基礎データの整備という事業に予算が付きにくいという状況であることに荷電粒子データも中性子データも変わりはないと思うが、今後も原研核データセンターはじめシグマ委員会の皆さんと手を携えながら、日本の核データユーザーはもちろんのこと、アジア地域をはじめあらゆる国から必要とされ頼られるセンターとして、我々は活動していきたい。

我々の最近のファイルの品質の向上はデータを生産された方による数値データの提供や採録ファイル校正によるところが非常に大きい。日頃の収集活動を支えて下さっている実験研究者をはじめとする皆さんにお礼を申し上げて本稿を括ることとしたい。