

話 題 (IV)

「高速中性子物理に関する北京国際会議」
報告と北京雑感

(日本原子力研究所) 千葉 敏

標記国際会議が本年9月9日から13日にかけて北京市内の燕京 (Yanjing) ホテルで開催された。主催は中国原子能科学研究院(CIAE)、北京国立タンデム加速器研究所と中国核物理学会である。日本からは阪大の高橋亮人先生と筆者の2人が招待されて出席した。会議全体では、この他にドイツから3名、ベルギー1名、ソ連1名、米国5名、イタリア1名プラス中国人数十名といった内訳であった。ちなみに、北京一帯はかつて春秋戦国時代には燕という国に支配されており、燕京は北京が当時呼ばれていた名前である。日本で言うところの「お江戸ホテル」ということになるのであろう。

高速中性子物理に関する北京国際会議

この会議は中性子と原子核の相互作用に関するテーマが主であるが、中には (γ, n) 反応のような逆反応をも話題にしたものもあった。セッションとしては、中性子散乱、核分裂現象、中性子捕獲、核反応理論、核反応断面積の測定、核反応一般に関するもの、中間エネルギーという7つに分けられていたが、内容的にはこの分類は必ずしも明確ではなかった。なお、本稿では紙数の関係もあり全ての発表の内容を説明することはできないので、筆者が興味を持ったものについてのみ以下に記すことにする。また、敬称は省略させていただく。

「中性子散乱」のセッションでは、DDX の測定に関する報告3件があった。このうち、阪大の高橋先生のものが最も包括的で、理論解析なども軽核での多体崩壊反応や中重核での EGNASH による計算等がきちっと説明されていた。DDX 中に magnetic dipole resonance の兆候は見えているかという興味深い質問が出されたが、高橋先生からは、確かに計算では説明できないディップはあるがそれがそうかどうかはわからないという回答があった。CIAE の Tang からは 10 MeV における TOF 法と unfolding 法を組み合わせた DDX の測定手法と結果の報告がされた。これは電子ライナック等から得られる白色中性子を用いて散乱実験をやる場合に用いられる手法を d-D 中性子源に対して用いたもので、 $D(d, np)d$ 反応によるバックグラウンドを飛行時間によって分離し、二次中性子のエネルギーは unfolding で求めようというものである。ただし、高エネルギー部では通常の TOF 法を用いている。結果は一応出ているが、手法の妥当性の確認のために 14 MeV でまず実験をして、d-T 中性子による結果と比較したらどうかという質問が出されたが、この方法でのエネルギーの上限は 12 MeV 程度という回答であった。また、中性子源とサンプル間の距離

を 2m とし、そこにかなり massive なコリメータを設置しているので、そこからの in-scattering がバックグラウンドにならないかという質問が出された。はっきりと確認してはいないとのことであったが、その恐れは十分あるのではないかと思う。もう 1 件は、14 MeV における Bi の DDX の測定と解析の報告であった。このセッションではこの他 CIAE の Qi が、14.8 MeV における前方角度 ($3\sim 16^\circ$) での弾性散乱断面積の測定とその結果を用いての光学模型ポテンシャル (OMP) のサーベイの報告をした。このような前方角度での測定はいろいろな global potential の曖昧さを取り除くのたいへん重要であるというコメントを Hansen がしていた。また、Kentucky 大学の McEllistrem は、集団運動状態、特に octupole vibration 状態の励起に対する入射粒子依存性に注目し、Brown-Madsen の理論との関連や多重音子励起の可能性について議論した。

「核分裂現象」に関するセッションでは、前半で核分裂に伴う放出中性子スペクトルの測定報告が 3 件、 γ -線の測定報告 1 件が発表された。中性子スペクトルについては Leningrad の Blinov の報告が最も詳細で、 ^{252}Cf の自発核分裂中性子のスペクトルは 300 keV 程度以下で Madland-Nix 理論による計算値より明らかに大きくなっていることや、それと核分裂のメカニズムとの関連を議論していた。北京大学の Bao も同様に ^{252}Cf からの中性子スペクトルは低エネルギーでは単一の Maxwell 分布から計算したものより大きくなるという指摘をしていた。後半のセッションでは、まず Geel の Deruytter が核分裂断面積の測定法に関する最近の進歩について解説した。Gridded Ionization Chamber (GIC) を用いての Time correlated associated particle method が現在での高速中性子核分裂断面積の最も良い測定法であることにふれ、さらに補正法、例えば核分裂片の角分布の影響について詳細な議論を行った。このセッションではこの後 ^{235}U の 11 MeV 中性子に対する核分裂片の質量分布の測定報告があった後、なぜか中国核データセンターにおける核データ活動に対するレビュートークがあった。以上が会議の一日目で、この日はアトラクションとして夜、北京オペラを見に出かけた。

二日目には「中性子捕獲」のセッションがあった。ここではまず ORNL の Raman が軽核の低エネルギー中性子捕獲に対するいろいろなメカニズムの関係について解説した。内容を一言で言うのは難しいが、E1 遷移で崩壊する捕獲に対しては compound, valence および potential capture が相互に関係しあって影響しているのに対し、M1 capture についてはそれぞれが独立に効いているようであるとのことであった。この辺りのことは原始宇宙における元素合成の問題に重要であるし、核データのコミュニティーでも東工大グループが関係しているので筆者よりはるかにおなじみの人も多いと思う。次いで、CIAE の Shi が変形した稀土類領域の核の E2 遷移の集団模型と IBM による理論解析の報告をした。この人の発表は最初に色々な言葉を何となく略語で定義して (たとえば、変形した稀土類核というのは REDN - Rare Earth Deformed Nuclide - と言うのだそうである)、次回からは

その略話しか使わないので理解に苦しむこと大であった。Mikhailove の法則という言葉をしきりに使っていた。次の報告は CIAE の Huang によるもので、7 から 14 MeV 領域における $^{12}\text{C}(n, \gamma)$ 反応断面積の測定で、この結果と陽子捕獲の結果とを突き合わせると荷電独立性の仮定と consistent であるということでもめでたしめでたしとなった。以前の結果は必ずしもこうでなかったようである。次の発表は Gottingen の Lieb によるもので、ILL の高中性子束炉での熱中性子捕獲の実験に関するものである。彼の方法では Ge の結晶 2 枚を用いた結晶回折を用いて γ -線のエネルギーを 1 ppm の精度で決定できるということである。これによって中間状態の寿命、反跳原子の角分布、低エネルギー原子の阻止能等を Doppler 幅から求めることができる。また、最後に原子核におけるカオスの存在について簡単にふれていたが、理論屋によると、それをはっきりさせるためには一つのスピン・パリティ状態に対して数十個のレベルがわかっていないといけないということであった。実験的にこれを実現するのはかなり困難であろう。その後、測定に関する報告が 2 件あった。この日は出席者全員午後から CIAE を訪れ、重水炉、ミニ原子炉、タンデム加速器施設を見学した。三日目は万里の長城に行ったがこれについては後述する。

「核反応理論」のセッション(四日目)では、まず Bologna の Reffo が中性子と陽子を別のフェルミガスと見なす two-gas model による微視的な粒子・空孔準位密度の計算法とそれを用いた DDX の計算についての話をした。Ericson あるいは Williams の式を用いた場合に較べて実験の再現性は格段に良くなるとのことであった。ついで、CIAE の Shen が Schrodinger 方程式と Dirac 方程式にそれぞれ現象論的ポテンシャルと微視的なポテンシャルを用いて 20 MeV から 1 GeV までの中性子弾性散乱と全断面積の解析をした結果を紹介した。こういうことをあまりやられると、我々としてはやる事がなくなってしまふので実に困ったことである。時代の流れとしては Dirac 方程式 + 微視的ポテンシャルという方に向かっているのだろうが、必ずしもそれが万能でないのが救いである。次に応用物理・計算数学研究所(中国)の人が 13 MeV における $\text{D}(n, np)n$ 反応の Faddeev 理論による解析の結果を示した。この人の発表は難しい式の羅列で全く難解を極めた上、誰が見ても彼の計算値は実験値を再現できていないのに、非常に良くあっているという結論になっていて一同唖然とした。個人的に話してみるといい人なのに惜しいことである。コーヒーブレイクの後には、CIAE の Zhang が半古典的多段階反応理論の説明をした。この人の理論は UNF (旧名 UNIFY) というプログラムになっている。これは前平衡過程と複合核反応理論に角運動量とパリティ保存を考慮したもので、日本でおなじみのプログラムとしては TNG に近いものである。中国ではこのプログラムを使って実験データの解析や核データ評価を行っているようである。彼の発表はたいへん素晴らしかったが、後でこのプログラムを使って実際に解析をしている人に話を聞いてみたら、一入射エネルギー点の計算をするのに入力データが 400 行位必要であるとのことであった。筆者としては、SINCROS-II の

方がやはり好みである。このセッションの最後では Livermore の Hansen が 3 種類の微視的な光学ポテンシャル (Jeukenne-Lejeune-Mahaux、Brieva-Rock、Yamaguchi-Nagata-Matsuda) を使った中性子散乱データの解析を紹介した。微視的ポテンシャルの数少ないパラメータである規格化因子の標的核及びエネルギー依存性はたいへん小さく、全ての核にたいして普遍的な値を使っても良いとのことであった。

「核反応断面積の測定」のセッションでは、まず PTB の Klein と筆者が 8 ~ 13 MeV 領域における中性子断面積の測定に関する発表を行った。Klein は t-H、d-D、 $^{11}\text{B-H}$ の各中性子源を比較し、彼らの所でやっている d-D 反応を用いた測定と補正方法について解説した。ついで筆者が原研タンデムで行っている $^{11}\text{B-H}$ 反応を用いた測定の話をした。この二つは言ってみればライバル同士であるが、PTB のグループの方が非常に大きな補正をしなければいけない分その手法は微に入り細に入り確立されており、完成度は向こうの方が上のである。いろいろ議論を行って、こちらがこれから考えなければいけないこと、特に $^{11}\text{B-H}$ 中性子源のエネルギー分解能の補正方法などをはっきりさせることができ有意義であった。この後 14.6 MeV における放射化断面積の絶対測定の話が CIAE の Ding によってされた後、Juelich の Qaim が彼の所でやっている放射化学的手法を用いた放射化断面積の測定方法について解説した。このセッションの最後は CIAE の Lu が放射化断面積の測定と評価の話をして締めくくった。この夜はバンケットで北京ダックを食べに出かけたが、もう脂っこい料理に飽き飽きしていたのであまりおいしいとは感じなかった。

最終日午前中にあった「核反応一般」に関するセッションでは、TUNL の Walter が偏極中性子を用いた Analyzing power データの測定と解析の話をした。三核子問題では、n-d 散乱データの解析から荷電独立性の破れ、エネルギー殻外の相互作用、テンソル力、三体力の問題等について解説した。中重核では光学ポテンシャルのスピン・スピン相互作用項の話や分散関係を用いた精密化について解説した。続いて CIAE の Zhou、上海核物理研究所の Xie がそれぞれ (p, n) 中性子スペクトルの測定から準位密度パラメータを導出した話と、14.6 MeV における (n, 2n) 反応断面積の殻効果の影響についての話をした。最後に、プログラムには無かったが、ORNL の Raman がオークリッジで現在計画中の新型の高中性子束源 'Advanced Neutron Source' の解説をした。中性子束 9×10^{18} (単位ははっきり見えなかったがおそらく n/s/m²)、10 億ドル(!?) という計画で、西暦 2000 年完成をめざしているそうである。

最後の「中間エネルギー」のセッションでは、Ohio の Finlay が LAMPF を用いての中性子エネルギー 5 ~ 600 MeV の領域での全断面積の測定と光学模型による解析の話をした。この実験はエネルギー分解能 1%、系統誤差 0.5% 以下、統計誤差 1% という驚異的なもので、高エネルギーにおける光学ポテンシャルの体積型の虚数項に敏感なデータということである。また、200 MeV 程度以下で断面積は一度極小値を取り、その後緩やかに増加

して行くが、それは Δ -共鳴の現れで、この増加率を非対称パラメータを横軸に取ってプロットするとき綺麗な直線に乗っている。また、標的核の質量数を横軸にとるとやはり勾配が減少していくきれいな曲線に乗っているが、これは核内で一回散乱した核子あるいは生成した π -中間子が、核内でもう一度散乱する shadowing effect を表しており、Watson による光学模型の多重散乱展開の第2項を表しているのではないかという彼の解釈が示された。たいへん興味深い現象であり、原研でも ETA が完成した暁にはぜひやってみたい類の実験である。最後の話は Washington 大学の Halpern によるもので、中間エネルギーにおける中性子捕獲とその逆反応である (γ, n) 反応の解釈に使われている5つの理論を解説し、中間エネルギーではこれらの寄与を独立に分離して測定するのが困難なことや、これらの現象を統一的に説明できる理論が必要なこと、またそのためにより良い実験データが必要なこと等が解説された。この後 Kentucky 大学の McEllistrem のサマリートークがあり、CIAE 所長の Sun の挨拶によって会議は終了となった。長くて熱い一週間であった。

プレゼンテーション

それにしても、中国人の勤勉さの割にプレゼンテーションのあの下手さはどういふことだろう。もちろん中には例外的に上手な人もいるが全体的に見て日本人よりかなり落ちるのではないだろうか。今回の会議で見られた悪い発表のパターンとしては ① 自分の論文をそのままトランスペアレンシーにコピーして（当然小さすぎて発表者にしか読み取れない）、聴衆に背を向けたままそれを淡々と読んでいく、② 英語の発音がまずい、あるいは声が極端に小さくて何を言っているのかわからない、③ 時間をオーバーする、というのが3悪であろう。論文投稿やプレゼンテーションが、研究をする事そのものと同程度に重要であるということが当然の事として認識されていないのであろうか。筆者なども②に関しては大きな事は言えないが、それにしてもいちばんひどかった人は①と②に加えて、10分の予定の講演に30分かけた人で、当然何の質問も出なかったし、その後誰も彼に話しかけようとはしなかった。

ツアー

会議の三日目にはジンギスカンの宮殿、万里の長城と明の十三陵の見物に出かけた。この日は前日と異なり絶好の行楽日よりであった。バス2台に分乗してホテルを離れたまでは良かったが、普通なら難なく行けるはずの山道でどういう訳か渋滞に巻き込まれて小一時間も立ち往生するはめとなった。よくよく訳を聞いてみると、なんでもシンガポールの首相が丁度我々の直前に万里の長城に行ったらしく、その間一般人は立ち入りが禁止となったらしい。ついていない話である。筆者は途中で用を足したくなったが、さる高名な学

者と一緒に藪に分け行って事なきを得た。

最初に行ったジンギスカンの宮殿はいかにもモンゴルらしい形の建物であったが、奇妙だったのはそのすぐそばに仏教で言う地獄の様子（例えば、うそをついて閻魔王に舌を抜かれている人や、親不孝をしてのこぎり引きにあっている子供の模型等）と、人体の解剖図や本物の生体標本が展示されている建物があったことで、Klein と思わず顔を見合わせて “Strange combination!” と行ってニヤッと笑った。

万里の長城ではまず昼食を取り、三々五々頂上めざして出かけて行った。平日だと言うのものすごい人である。幅3メートルほどの通路は人でいっぱい、上の方で誰かころんで将棋倒しにでもなったらたちどころに100人位の犠牲者はでそうな所であった。写真は、少し先の方の安全なところで Geel の Deruytter と一緒に取ったものである。この会議ではこのような偉い人とたくさん顔見知りになれて筆者にとってはたいへんな収穫であった。英語では万里の長城は “Great Wall” と言うのだそうだが、中国人は万里の長城に行った人は great になれると信じているらしい。「これで私も great になれるか」と思ったりは全然しなかったが。

最後に明の十三陵に行ったが、ここでは閉門時間4時半に対して我々が着いたのは5時であった。あのシンガポールの首相の件さえなければ悠々間に合ったのにと改めて悔しい思いがしたものである。そういう訳でここでは参道（石でできた動物が両側に置いてある延々と続く歩道）しか見るができなかった。この参道では Hansen が大人気で、もの売りが彼女の周りに群がってきた。彼女もしたたかなもので、もの売りが「10元」とくると、にべもなく「高い」と返す。すると次はいきなり5元になったりする。全くいい加減なものであるが、その辺りから彼女の本格的な交渉が始まるのである。ちなみに、筆者は中国人と間違われて、もの売りの人たちは全く寄って来なかった。

買い物

北京にも日本で言う銀座のようなところがある。王府井（ワンフーチン）、西単（シーダン）というような通りがそれで平日でもたいへんにぎわっている。筆者は土曜日の午後王府井に行ったが、ものすごい人通りで、平均自由行程は50cmといった所だろうか。サーティーワンアイスクリームの様な店や、なかなかモダンなデパートなどもあった。中に入ってみると、電化製品や洋服等なかなか品ぞろえは豊富である。ただし、いかんせん中国人には高価なものが多すぎる。たとえば、SONY の 8mm ビデオカメラなどは 6000 元位で売っていたが、筆者の年代での平均月収は 200 元弱である。月給の 30 倍もするようなものを一体誰が買うのであろうか。毛皮のコートに至っては 10000 元で売っていた。日本人の感覚で言うと 1500 万円に相当するコートを着て歩けばさぞかし気分がいいことであろう。これに対し、絹製品やろうけつ染め製品などは質のいいものが実に廉価で手にはい

る。筆者は絹のフカーフとネクタイを少々買いだめした。また、自由市場では上質で割とセンスのいいものが安く手にはいる。日本人にとっては、北京は買い物天国である。

中国の印象

中国の生活を一言で言うと、食べる分には困らないがぜいたくはできない、ということになるであろうか。筆者の子供の頃の日本がまさにそうであったという記憶がある。中国が30年後に今の日本のようになっているのか、追い越しているか、あるいは永久に追いつけないか、興味のあるところである。発展のスピードは現在のところは日本よりは遅いようであるが、こういうのは非線形の現象なので、弾みがついて10億の民衆のパワーが結集できれば加速度的に進歩するのであろう。いずれにしても巨大な隣人である以上、健全な方向に発展して欲しいものである

最後に、会議の主催者である中国の各研究機関、議長の Sun Zuxun CIAE 所長、秘書長の Tang Hongqing 博士はじめ中国側の方々の配慮、御努力に感謝の意を表します。また、阪大の高橋先生ご夫妻にもいろいろお世話になりました。ありがとうございました。



万里の長城にて、Deruytter 氏と