

ロシアにおける核分裂研究の現状

近畿大学理工学部

大澤 孝明

1998年10月12-15日にロシア共和国・オブニンスクの物理・エネルギー工学研究所(IPPE)で「第14回核分裂物理国際ワークショップ」が開催された。このシリーズのワークショップは、ロシアではほぼ3年ごとに開催されているもので、前回は1995年に開かれている。今回の参加者は約100名、日本からの出席者は木村逸郎京大教授(現・原子力安全システム研究所・技術システム研究所長)と筆者の2名であった。この機会に、ペテルブルグ原子核物理研究所(PNPI)、フロービン・ラジウム研究所(KRI)などを訪問して研究の実状を視察した。ワークショップでの研究発表の概要に、研究所を訪問から得た知見を織り交ぜて紹介する。ただし、短期間に実状の一部を垣間見たに過ぎないので、偏りは避けられないことをご承知いただきたい。

1. 核分裂研究におけるロシアの寄与

歴史的に見ると、ロシア(ソ連)という国において核分裂研究は社会的に重要な位置を与えられており、学問的に見てもロシアの研究者は核分裂研究において大きな寄与をしている。主な寄与を年代順に並べてみるとつぎのようになる:

-
- 1940 自発核分裂の実験的発見 [Petrzhak, Flerov]
 - 1962-70 自発核分裂アイソマの発見 [Polikanov, Flerov 他]
 - 1968 変形核における殻効果と核分裂の二山障壁モデル [Strutinsky]
 - 1971 異なった断裂点配置(scission configuration)へつながる変形経路の存在の理論的予測 [Peshkevich]
 - 1974-79 殻効果と対効果を考慮した準位密度モデル [Ignatyuk]
 - ~ 1985 ~ 超重元素の合成 [Oganessian]
 - 1988 ~ プレアクチニド核の核分裂の系統的研究 [Smirenkin, Itkis]
-

今回のワークショップで研究発表をおこなった CIS の研究機関はつぎの通り：IPPE（オブニンスク）、原子核合同研究所（ドゥブナ）、クルチャトフ研究所、モスクワ工業物理研究所（MEPhI）、国立モスクワ大学（MSU）、ペテルブルグ原子核物理研究所（PNPI）、フロピンラジウム研究所（KRI）、ペテルブルグ工業大学、カザフスタン原子核物理研究所、ロシア連邦原子核センター（サーロフ；旧アルザマス-16）、キエフ原子核研究所、ベラルーシ物理化学問題研究所など。

以上から、ロシアには核分裂研究の長い伝統と実績があり、それが多くの機関で現在まで引き継がれていることがわかる。

2. 核分裂研究の最近の動向

今回のワークショップと研究所訪問を通じて感じたロシアの核分裂研究についての筆者の印象を大きく、"Toward Exotic Nuclei", "Toward Exotic Phenomena", "Detailed Study of Fission Data"という3点にまとめた。べる。

1. Toward Exotic Nuclei

原子力屋にとって核分裂といえば U, Pu などのアクチニド核種がまず頭に浮かぶが、近年の核分裂物理の研究対象は、軽い側はプレアクチニド核種 (Pb ~ Ra)、重い方は超アクチニド核種 (Rf ~ Mt)、超重元素 ($^{298}114$ 近傍；SHE) までに広がっている。

●プレアクチニド核種の核分裂の系統的研究： ロシアの有力な指導者のひとり G.N.Smirenkin(1929-1994)の発案により、初期のころからプレアクチニドから軽アクチニドの核分裂研究が進められており、この分野では他国の追従を許さないほどの実績がある。Smirenkin 存命中から一貫してこの研究を推進してきた Itkis (Dubna) は $^{208}\text{Pb} + ^{16}\text{O}$ 反応により中性子欠乏核 $^{220}\text{Th} \sim ^{224}\text{Th}$ をつくり、その核分裂特性を調べた。その結果、 ^{220}Th は対称分裂するのに対し、中性子数が2しか違わない ^{222}Th では非対称分裂になり、中性子数がさらに増加するとともに非対称分裂成分が増えることがわかった。Itkis は、これは、saddle-to-scission（鞍部点から断裂点まで）の過程で対称／非対称の分岐のしかたが変化するためであろうと考え、マルチモード核分裂モデルの考え方に基づく解釈を加えている。重アクチニド領域で、たとえば ^{257}Fm から ^{258}Fm へ中性子数が1増加するだけで、非対称分裂から対称分裂に変わるように、 $A = 258$ を境界として核分裂の特徴が大きく変化することが知られているが、それと類似した現象が軽アクチニドの中性子欠乏核でも起こっていることになる。

●超重元素の研究： セグレ・チャート上で、安定核の存在領域を「半島」にたとえると、その先端は海中に没しているが、そのはるか沖合、 $Z=114$ 、 $N=184$ のあたりに超重核が安定に存在しうる領域が「離れ島」のようにあることが、理論的に予測されてきた。こ

の超重核の合成をめざす研究で、ロシアの Dubna は、アメリカの LBL、ドイツの GSI と並んで世界の 3 大研究センターのひとつとして活躍してきたことは周知の通りである。

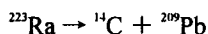
アメリカでは ^{249}Cf , ^{249}Bk , ^{248}Cm などの超ウラン核種をターゲットとして ^{12}C , ^{15}N , ^{18}O , ^{22}Ne などを衝突させる方法がとられてきた。"Hot fusion" とよばれるこの方法は、融合断面積は大きい、励起エネルギーが約 45MeV と高く、形成された核が核分裂で崩壊しやすいという欠点がある。これに対し、ロシアの Oganessian は、 ^{208}Pb , ^{209}Bi など二重閉殻核に ^{54}Cr , ^{58}Fe などの中重核を衝突させる方法 ("Cold fusion") が、融合断面積は小さいが、励起エネルギーが約 20MeV と低いので有利であるという考え方を提案した。このアイデアはドイツの GSI でも採用され、Z=112 までの元素を合成する上で大きな役割を果たした。かつてソ連時代までは、米ソの対立という背景もあって、新元素発見の激しい先陣争いと命名合戦が展開されたが、最近では国際協力の機運も出てきているらしく、Dubna-LBL、Dubna-Messina (イタリア) などの共同研究も行われている。

このワークショップで Oganessian は、「現在、われわれは $^{244}\text{Pu} + ^{48}\text{Ca}$ の反応で、Z=114 の超重元素へのアプローチを図っている」と言っていたが、今年 (1999 年) 2 月の Science 誌の報道によると、Oganessian はこの反応で、ついに Z=114 の新元素の合成に成功したと発表したという。これが事実なら、超重元素合成の研究は新しい進展をむかえたことになるが、実は合成されたのは N=175 の核であって、目標の N=184 には中性子が 9 個足りない。天然の中性子過剰核 ^{48}Ca を使ってようやく「超重核の島」の浜辺にたどり着いたというところだが、これから中性子数をいかに増やすかが課題になる。

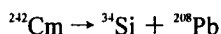
II. Toward Exotic Phenomena

核分裂過程の中には、きわめて小さな確率だが特異な現象が起こることが知られている。クラスター崩壊、サテライト核分裂、核分裂過程におけるパリティ非保存などがその例である。

●クラスター崩壊： これは重核から ^{14}C , ^{24}Ne , ^{28}Mg , ^{34}Si などの軽核が放出される現象であり、極端な非対称分裂と見る見方もでき、また α 崩壊と同様なクーロン障壁のトンネリングによる軽粒子の放出と見ることもできる。理論的には Sandulescu と Greiner によって 1978 年に予言されたが、実験的には 1984 年に Rose と Jones によって



という崩壊が観測されたのが最初である。今回の会議では、Tretyakova が



という崩壊が、 α 崩壊に対する比率 $\lambda_{\text{cluster}} / \lambda_{\alpha} = 1.2 \times 10^{-16}$ で起こっているというデータを発表した。 ^{34}Si のような重い核が放出されるのは、この核が N=20 の閉殻をもち、 ^{208}Pb は Z=82, N=126 の二重閉殻をもつことが関係しているものと思われる。これは飛跡検出

法による結果だが、きわめて希な崩壊のうち ^{24}Si だけを選択的に検出するという、おそろしくデリケートで根気のいる実験を粘り強く進めていることに感心した。

● **Satellite fission** : これは三体核分裂の一種であるが、3つの核分裂片が一直線上に並ぶもの (colinear tripartition) をいう。運動量保存則から、3つのうち中央の核分裂片はほとんど運動エネルギーをもたないのが特徴である。 ^{238}U に 1GeV 陽子を入射させた実験でこのような特異な事象が3件観測されたという。流体力学で、円柱状の流体がレイリー不安定性によりいくつかの液滴に分裂する際に、大きな液滴の間に小さい滴ができることがあり、これが satellite droplet とよばれるところから、この名がつけられた。はたして原子核で同様な現象が起こるものかと、多少いぶかる気はなくはないが、1992年に $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C} \rightarrow ^{24}\text{Mg}$ という反応で α 粒子が6個鎖状につながった著しく長い原子核が発見されていることから類推すると、あながちあり得ないことではないのかもしれない。

III. Detailed Study of Fission Data

以上のようなややエキゾチックな核種／現象の他に、通常の核分裂過程の精密な実験的研究、核データの改善のための研究も継続されている。以下に主なものを紹介する。

● ^{234}U の熱中性子核分裂断面積 : 従来のデータに大きな差異があった ^{234}U の熱中性子核分裂断面積の精密測定の結果、低い方の値(140mb)に一致する測定値が得られた。この測定には試料中の ^{235}U 不純物の定量が重要である。

● ^{232}Th , ^{235}U , ^{238}U , ^{237}Np の核分裂中性子スペクトル : 入射中性子エネルギー 2.9MeV と 14.7MeV における即発中性子スペクトルの、 ^{232}Cf 自発核分裂スペクトルに対する相対測定の結果が報告された。入射エネルギーが高くなるとともに、いずれの核種においてもスペクトルの 8MeV 付近に bump がみられるようになる。また、1MeV 以下の低エネルギー成分が従来よりも多いという結果が出た。

これとは別に、 ^{244}Cm 、 ^{246}Cm 、 ^{248}Cm の自発核分裂中性子スペクトルの測定もおこなわれている。

● **その他** : ^{244}Cm の核分裂片と中性子のマルチパラメータ測定、 ^{248}Cm と ^{252}Cf の自発核分裂における三体核分裂など、興味深い測定が進められている。

3. まとめ

① ロシアには核分裂研究の伝統と豊かな人材・装置・技術があり、幅広い研究が進められている。核分裂物理というテーマだけで100名もの研究者を集められる国は他に例を見ない。研究テーマも、核分裂とそれに関連したテーマが広がりをもってつながり、かつフロンティアが広がりつつある (下図参照)。また、各種の TRU サンプルを多量に保有しているのも強みである。

②しかし、近年の経済事情の悪化のため、研究費・維持費がほとんどなく、給与も遅配続きできわめて苦しい状況に追い込まれている。研究所の所長の最大の仕事は政府から所員の給料をとってこることだ、というジョークがまことしやかにひびくほどである。1GeVシンクロサイクロトロンが1時間100ドル程度の電気代が払えないため動かせないというのはもったいない話だと思った。

③このように日本とは非常に違う事情があるが、それゆえに相補的な所も多いので、ロシアの人的・物質的研究資源が分散・解体する前に、そのポテンシャルを有効に生かす方を望みたい。

