

集団現象には多体系の物理の醍醐味があります。集団現象では系の構成要素の性質からはまったく想像もできない新しい性質と法則性が現れます。系の構成要素とそれらの間の相互作用から出発してこれらの集団的性質の発現機構を解明すること、これが集団現象の微視的理論の目的です。私たちは原子核構造における多様な集団現象に興味をもって、実験データに密着した微視的モデルの構築から基礎的多体理論の構築まで幅広く研究を進めています。

陽子と中性子が原子核という束縛系を構成すること自体が集団現象ですが、私達はこの系の基底状態はもとより、この系を色々な方法で励起させたときに起こる多彩な集団運動のダイナミクスに特に興味を持っています。この研究は物理学をはじめ化学や生命科学に至る広範な分野に普遍的な課題といえるでしょう。

特に、有限量子系の物理としてメソスコピック系物理や化学反応動力学と概念的に共通する面も多くあります。もちろん、強い相互作用に従う原子核に固有の特徴も多々あります。

私達は原子核構造という個別科学に根ざしながら、多体系の物理のいろいろな分野との学問的交流をすすめ、理論物理として普遍性のある概念を発見することを目指して研究を進めています。

以下では最近の主な成果を要約します。

1. 高速回転する超変形核における新しい集団励起モードの発見

大きく変形し高速で回転している原子核の内部を運動する中性子や陽子には強いコリオリ力と遠心力が作用します。このような極限状況では、基底状態と全く異なったシェル構造が形成され、これに伴って、ソフト8重極振動とよべる新しい型の振動モードが現れうることを私達は理論的に予言していましたが(水鳥、中務、清水、松柳)、最近になって、このモードの実験的証

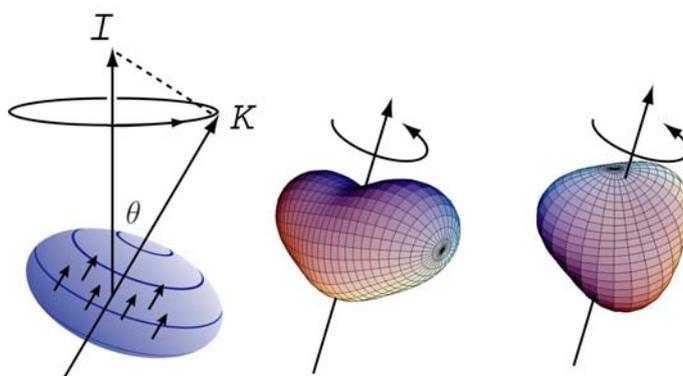


図1 左から、High-K アイソマーの才差運動、高速回転する超変形核のバナナ振動、正四面体(tetrahedral)変形核の回転運動の概念図。

抛が多数見つかりました。また、巨大変形核が軸対称性を破ると Wobbling モードと呼ばれる 3 次元的首振り回転運動が生じると期待されていましたが、最近になってこのモードが発見されました。ところが、現象論的な回転モデルでは観測されたこのモードの性質を説明できませんでした。私達は「回転座標系での準粒子 RPA」と呼ばれる微視的モデルを用いて「準粒子の回転整列」という微視的機構を取り込むことによって、このパラドックスを説明することに成功しました(松崎、清水、松柳)。更に、多数の準粒子の角運動量が(強磁性体のように)整列した high-K アイソマーの才差運動を微視的に記述することに成功しました。

このように、高スピフロンティアとよばれる実験と理論の世界的なネットワークの中で、私達は格別に重要な役割を果たしています。

2. 陽子ドリップ線および中性子ドリップ線近傍の不安定核におけるソフト振動モードの探索

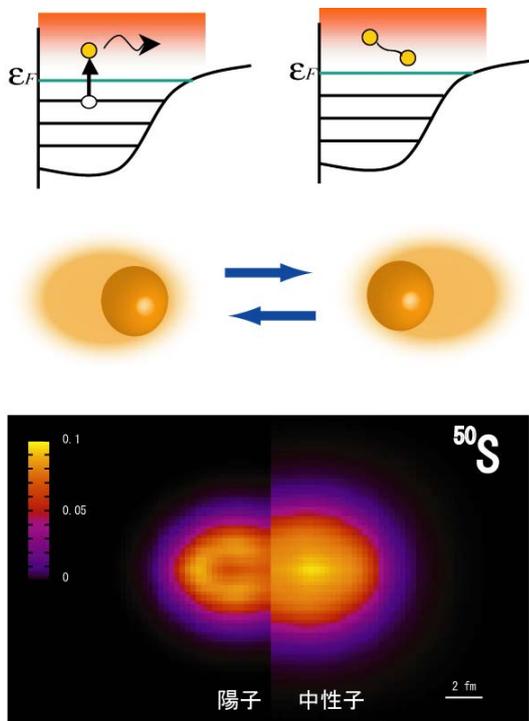


図 2 上：ドリップ線近傍の原子核では弱く束縛された中性子や中性子のペアが容易に連続状態に励起するが、この様な励起のコヒーレントな重ねあわせによって、集団励起モードが形成される。中：中性子スキンの双極子型振動の概念図。下：中性子ドリップ線近傍核の超変形状態の中性子と陽子の密度分布(理論計算)。巨大変形した中性子スキンの出現が示唆されている。

私達は対称性の制限を課さない平均場の方法 (symmetry-unrestricted Skyrme-Hartree-Fock-Bogoliubov method) に基づいて不安定核において様々なエキゾチック変形状態が現れる可能性を調べ、正四面体のような tetrahedral 変形(山上、松尾、松柳)や巨大変形核がバナナのように振動する可能性を示唆してきました(稲倉、山上、水鳥、中務、松柳)。これらの成果の上に、ドリップ線近傍の不安定核において中性子スキンの形成に伴って新しい型のソフト振動モードが現れる可能性を探求しています。この目的を遂行するため必要とされる、1)平均場の変形、2)対相関、3)連続状態への励起、の3要素を取り込んだ準粒子 RPA 法の計算コードを世界に先駆けて構築しました。ごく最近、このコードを用いた理論計算によって、中性子ドリップ線近傍核において、中性子ペア分布の揺らぎ、スキンの変形振動、共鳴状態に励起し空間的に広がった中性子対のダイナミカルな相乗効果によって、新しい型のソフトモードが現れる可能性を示唆しました(吉田、山上、松柳)。この研究は理研をはじめとする世界の不安定核ビーム実験とタイアップして今後おおいに発展させるつもりです。

3. 大振幅集団運動の理論の構築とその変形共存現象への適用

超低温状態にある原子核の励起スペクトルには、非線形振動や異なった形の共存・競合現象など、線形近似では扱えない多様な集団現象が現れますが、これらを記述する微視的理論はまだ発展途上の段階にあります。とりわけ、平均場の複数の平衡点（場の理論でいえば、異なる真空）にまたがる大振幅集団運動の微視的理論の構築は核構造論のなかで最大の難問とも言えましょう。そのような理論の構築は長年にわたって試みられてきましたが、大きな理論的困難に直面して行き詰っていました。この状況のなかで最近、私達は突破口を見つけ、その理論的定式化を成し遂げました（松尾、中務、松柳）。この理論は ASCC 法 (Adiabatic Self-consistent Collective Coordinate Method) と呼ばれています。この理論の開発によって時間変化する平均場の描像と時間依存変分原理に基づいて、多粒子系の膨大な微視的自由度から少数の集団的自由度を自己無撞着に抽出することが可能になりました。ごく最近私達はこの理論を（オブレート変形とプロレート変形が同じエネルギー領域に共存する）変形共存現象に適用し、二つの平衡点をつなぐ集団経路を微視的に決定することに世界で初めて成功しました（小林、中務、松尾、松柳）。更に、平均場が時間変化することによって生じる微視的效果を取り入れて、集団運動の慣性質量を計算することに成功しました（日野原、中務、松尾、松柳）。この現象の理解には多体系の集団自由度に関するトンネル効果を記述できる理論の開発が必要で、核構造論にとどまらずメソスコピック系をはじめ広範な分野に普遍的な課題となっています。最近の成果はこの目標への第一歩であり、将来おおいに発展する可能性を秘めています。

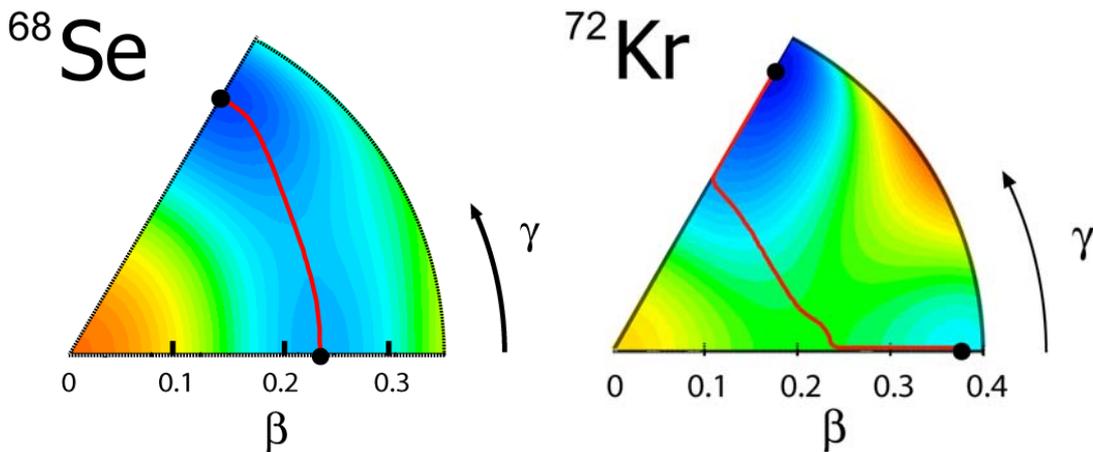


図 3 ASCC法で求めた集団経路(collective path)。オブレート(みかん)変形(上側の黒丸)とプロレート(レモン)変形(下側の黒丸)をつなぐ集団経路(赤い実線)は変形エネルギーマップの渓谷近傍を通っている。この渓谷は軸対称性を破っている。厳密に言えば、この図は多次元位相空間内の集団経路を変形パラメーター(β, γ)空間に射影したものである。左側： ^{68}Se 、右側： ^{72}Kr 。