

III 原子核理論グループ

丸森寿夫、香村俊武、宇根 司、橋本幸男、寺崎 順（準研究員）、院生（10名）

【1】集団運動の理論

(1)大振幅集団運動の理論的研究

丸森、橋本は、東大核研の坂田文彦、岩沢和男、久保隆之らとともに原子核集団運動の非線形動力学理論を発展させた。特に、原子核の大振幅集団運動の減衰機構にとって重要な核内粒子運動の動力学的性質を明らかにすることに重点を置いて研究を進めた。以下に研究の概要を述べる。

原子核の大振幅集団運動は、核内核子の運動の大きな変化を伴う運動である。原子核平均場は、核子が自己無撞着に作るものであるために、大振幅集団運動には強い非線形性が現れる。このような、平均場と核子の非線形性を伴う動力学を扱うために、時間依存ハートレー・フォック（TDHF）の枠組みを採用した。TDHFでは、量子論的相空間（QPS）を導入する。このQPS内では、原子核の運動を、古典力学における正準形式と同形式の方程式系で表すことができる。そこで、QPS内の運動の軌跡の性質を調べることにより、原子核の運動を解析することができる。

現在まで、自己無撞着集団座標法（SCC法）を開発・発展させることにより、原子核の集団運動は、上述のQPS内のトラス構造上の運動に対応できることを明らかにしてきた。集団運動の振幅の増大とともに、非線形項が次々に効いて集団運動の構造を変えていくという描像で定式化した。その非線形項は、集団運動に伴い原子核の内部構造が変化することを取り入れて集団運動が決定されるという「自己無撞着性」に起因している。この点が、小振幅におけるフォノン描像とは異なるところであり、SCC法を使う理由である。

一方、QPS内の複雑な構造の相空間の存在は現実の原子核における集団運動の減衰機構と密接に関係していると考えられる。そこで、この減衰機構の解明のためには、集団運動がトラス上の運動から複雑な相空間へといかにして移行するかを調べなければならない。この課題に対して、QPS内の「非線形共鳴点の構造と分布」の観点からのアプローチを試みている。今までに、簡単なTDHF模型を用いた解析により、次のことがわかった。即ち、内部自由度のひとつが、集団運動と、ある振幅の付近で非線形共鳴を起こす場合には、集団運動は最も激しく構造が変化する。この場合には、「共鳴座標系」を導入し、集団運動の構造変化を追跡する方法が有効である。さらに、この方法を発展させて、集団運動部分空間上の多数の非線形共鳴点の影響を考慮する方法が考案されている。

静的な大振幅変形に対する拘束条件付きハートレー・フォック法（CHF）では、液滴模型に殻補正を取り入れるストラティンスキーの方法が極めて良い近似であることが知られている。この事実に基づき、時間に依存する大振幅集団運動の場合に適用できる「動的ストラティンスキーの方法」と呼ぶべき方法を定式化した。この方法により、「液滴」と「殻補正」とが自己無撞着に時間発展するような模型を得た。「液滴」は巨視的自由度であり、「殻補正」は、量子論的効果であることから、この模型は、巨視的自由度と微視的自由度とが混在する原子核の良い模型である。この模型について、数値計算の解析が進行中である。

(2)回転運動の微視的理論

原子核の自己無撞着場が変形すると、この変形場に基づく内部状態も回転対称性を破る。回転対称性の破れを回復させるために集団回転運動が発生し、回転バンドとして顕在化する。しかし同時に、集団回転運動は原子核の自己無撞着場と核子配位、即ち内部状態を変化させる。一般に、有限量子多体系である原子核では、集団回転運動は他のモードの運動と絡み合っている。

る。従って、集団回転運動をモードとしていかに定義するべきかが問題になる。

丸森、寺崎は、坂田文彦とともに、自己無撞着集団座標法によって集団回転運動を他のモードと最大限に分離するように定義する方法を発展させ、集団的回転運動の内部構造と回転エネルギーとの関係を調べてきた。この方法を用いて原子核の粒子-集団運動相互作用への四重極対相関力の影響を調べ、実験値を再現するためにこの有効相互作用が重要な役割を持つことを明らかにした。

原子核のスピン(全角運動量)は集団回転運動と内部状態の両者によって担われていて、スピンの値が大きくなるにつれて、担い手が変化していく。宇根は、集団回転ハミルトニアンを生成座標の方法で定義し、回転に伴って変化する内部状態をクランキング模型によって近似したとき、集団回転ハミルトニアンがスピンと共に漸次的に変化していく様子、その運動形態がどのように変わるかを調べた。さらに、回転エネルギーに占める集団回転からの寄与の割合を評価し、回転バンドの終端近くで集団回転から非集団回転へどのように移行するかを調べた。そして、回転軸方向の慣性モーメントに現れる特異性がこれらの移行に重要な役割を果たしていることを明らかにした。

【2】相対論的ハドロン多体理論

香村は、V. Gillet (フランス、サクレイ研究所)、J. da Providencia (ポルトガル、コインブラ大)らとともに、原子核を相対論的ハドロン多体系として扱う微視的理論を発展させた。この理論は固い芯を用いずに原子核を飽和させる特徴をもつ。平均場近似解の安定性を $\sigma-\omega$ 模型を用いて解析し、負のエネルギー状態につめている核子を考慮しないワレチカ模型では相対論的ハートレーフォック状態が不安定になることを示した。その不安定性から生じる原子核振動の発散を除去する方法として、射影法を提案した。また、不安定性のない理論を完成するため有限核について負のエネルギー核子を考慮して繰り込みを実行するための処方を得た。この方法を用いて、反核子の束縛エネルギーなどを計算した。さらに、相対論的平均場近似解を基底にして、核内二核子相関を取り入れて、自己無撞着一粒子波動関数を導く定式化を行った。この方法を用いて計算して、平均場近似では大きすぎた $l-s$ 分離が妥当な値となることなどを示した。

<論文>

1. F. Sakata and T. Marumori: Nuclear Collective Dynamics and Chaos, in "Quantum Non Integrability" (ed. by Da Hsuan Feng and Jian-Min Yuan), 459-550.
2. T. Kubo, F. Sakata, T. Marumori, K. Iwasawa and Y. Hashimoto: Transition Mechanism of Nuclear Phase, submitted to Nucl. Phys. A.
3. T. Kohmura, V. Gillet, E. J. Kim, M. Cauvin and S. Ohnaka: Relativistic Models of Nuclear Structure, Proceedings of Predeal International Summer School, Romania.
4. T. Kohmura: Irreversibility in Nuclear Physics, Forma 7, 67-76 (1992).
5. T. Kohmura, E. J. Kim and V. Gillet: Non linear $\sigma\sigma$ Interactions and the Role of the Negative Energy Sector in the Relativistic Mean-Field Approximation, Nucl. Phys. A542, 659-670 (1992).

6. T.Kohmura, E.J.Kim and V.Gillet:Nuclear Stability and Coupling to Negative Energy States, Proceedings of the XXX International Winter Meeting on Nuclear Physics (Bormio, Italy, 27 Jan.-1 Feb., 1992), 374 (1992)
7. T.Kohmura, S.Kinpara, H.Siomi, S.Yabu and V.Gillet:Relativistic description of Nuclei--The Wave Packet Expansion Method --, Proceedings of the 6th Franco Japanese Meeting(St.Malo, France, 6-10 Oct, 1992), 410-420.
8. T.Kohmura, T.Kajiyama, K.Abe, K.Kato, J. da Providencia and V.Gillet:Mean Field Instability of the Walecka Model for Finite Nuclei, submitted to Nucl. Phys A.

<学位論文>

博士論文

久保隆之

Mean-Field Approach To Large Amplitude Collective Motion Beyond Adiabatic Assumption

修士論文

1. 阿部和明

ハドロン多体系の時間に依存する平均場近似

2. 小野田昭

原子核の回転運動と有効相互作用について

3. 梶山智晴

相対論的平均場近似とその安定性

4. 加藤彰彦

相対論的時間依存平均場近似と定常解の安定性

<講演>

1. T.Kohmura, S.Kimpara, H.Siomi, S.Yabu and V.Gillet: Relativistic Description of Nuclei--The Wave Packet Expansion Method, 6th Franco-Japanese Colloquium (Saint Malo, Oct. 6-10, 1992).

2. 加藤彰彦、阿部和明、梶山智晴、香村俊武、塩見浩之：相対論的平均場近似解の安定性
日本物理学会（1992年3月）

3. 金原 進、香村俊武：Bonnポテンシャルの梯子型核子間相関を取り入れた自己無撞着理論、
日本物理学会（1992年10月）

4. 加藤彰彦：平均場近似解の不安定性、
基研研究会「ハドロン束縛多体系の相対論的取扱い」（1992年12月）
5. 藪 将吉：ハドロン多体系におけるRPA振動解の安定性、
基研研究会「ハドロン束縛多体系の相対論的取扱い」（1992年12月）
6. 塩見浩之：時間依存平均場近似、
基研研究会「ハドロン束縛多体系の相対論的取扱い」（1992年12月）
7. 金原 進：有限核における二核子相関、
基研研究会「ハドロン束縛多体系の相対論的取扱い」（1992年12月）
8. 香村俊武：有限核の真空偏極、
基研研究会「ハドロン束縛多体系の相対論的取扱い」（1992年12月）
9. 丸森寿夫：RPAによるバンド交差現象の解析、
「原子核構造の精密研究」（1993年3月）
10. 香村俊武：相対論的平均場模型、
「原子核構造の精密研究」（1993年3月）
11. 宇根 司：高速回転状態での慣性モーメント、
「原子核構造の精密研究」（1993年3月）
12. 橋本幸男：原子核集団運動の半古典論的記述、
「原子核構造の精密研究」（1993年3月）
13. 塩見浩之、加藤彰彦、香村俊武：相対論的平均場近似の安定性と時間依存問題、
日本物理学会（1993年3月）