

IV. 原子核理論グループ

教授 香村俊武
助教授 初田哲男
講師 宇根 司、橋本幸男
技官 堂井 真
大学院生 12名

【1】ハドロン多体系の理論的研究

香村と堂井はグループを作って、ハドロン多体系の研究を進めた。特に、簡単なモデルに基づき、ベーテ・サルピーター方程式に現れる相対時間の問題を究明した。また、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持つ。負のエネルギー状態につめている核子を考慮しない平均場近似では相対論的ハートレーフォック状態が不安定になる。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、その結果は繰り込みの処方に依存することを示した。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い、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。時間依存の平均場方程式に基づき、一粒子一空孔励起が多粒子一多空孔励起へ移行する機構を解明する研究に着手した。堂井は、核子一中間子描像に基づき、原子核及び原子核流の構造について研究した。佐藤透、大坪久夫(以上、大阪大学)、森田正人(城西国際大学)と共に、特に、2、3核子系の μ 粒子捕獲反応に、中間子交換流がどのように寄与するかを調べた。さらに、 μ 粒子捕獲率における核子の誘導擬スカラ形状因子(g_p)依存性は、 μ 粒子原子の超微細構造により大きく異なることを見出した。

【2】QCD物性

初田は、量子色力学(QCD)に基いて、ハドロンの構造、及びQCD相転移とそれに伴う動的臨界現象を研究した。まず、国広梯二(龍谷大学)と共に研究してきたQCDの低エネルギー有効理論に関する総合報告をまとめた(Physics Reportsに出版予定)。解析的に扱えるこの有効理論により、ハドロンの構造と相互作用、OZI則の破れ、QCD相転移などが統一的に扱えることが可能になり、種々の物理的予想が容易になった。また、石井充(京都大学)と協力して、QCDの高温相(クォーク・グルオン・プラズマ)中に存在する強い相関の起源を、高温でのdimensional reductionと(2+1)-次元でのQCD和則を応用して明らかにした。空間方向に存在する、磁氣的なグルオン凝縮が(2+1)-次元での閉じ込めと同時に高温(3+1)-次元QCDの強相関を与える。更に、小池裕司(Michigan State Univ.)、Su. H. Lee(Univ. of Washington)と協力して、QCD相転移に伴う動的臨界現象、特にベクトル中間子の質量の温度・密度依存性をQCD和則に基いて解析し、質量のソフト化が起こる事を示した。これは、Brookhaven国立研究所などで計画されている超相対論的重イオン衝突における重要な観測の一つである。また、通常の原子核密度でのソフト化については、我々の予言を確認すべく、KEK-PS、INS-ESでの実験がプロポーズされている。一方、ハドロンの構造をできるだけ解析的に、しかもQCDに立脚して研究する事を、Th. Meissner, E. M. Henley, G. Miller, Su. H. Lee(以上 Univ. of Washington)、R. Furnstahl(Ohio State Univ.)、岡真(東京工業大学)、児玉信明(東京工業大学)らと行ってきた。パイ中間子や核子の高次Twist成分の理論的解析、ハドロン・原子核におけるアイソスピン対称性の破れの発現機構、核子一

核子散乱のQCDによる記述など多様な現象をQCD和則に基いて統一的かつ解析的に理解できる事が示された。

また、初田真知子 (KEK)と超流動ヘリウム中の渦糸および渦輪の量子トンネリングによる生成機構についての研究、倉辻比呂志 (立命館大学) と(2+1)-次元 QCDの真空のvortex凝縮による記述の研究を継続中である。

【3】原子核の回転運動

宇根は、集団回転運動に伴う内部状態の変化が集団回転運動へ及ぼす反作用（集団回転の形態を変化させる効果）を、生成座標の方法を用いて分析した。この方法は、原子核の回転状態を、あらゆる方位をとる同一の内部状態の重ね合わせとして全角運動量の固有状態を生成し、エネルギー極小の変分から導かれる積分方程式で固有状態を決定する。この積分方程式を局所ガウス近似の下でシュレーディンガー方程式の形に変換し、集団回転ハミルトニアンを導出した。このハミルトニアンは、内部状態に依存するので、原子核のスピン（全角運動量）ごとに変化する。また、集団変数に依存しない部分として非集団回転からの寄与をも含む。しかも、内部運動の回転運動への反作用として、内部状態が時間反転不変性を破ることから生ずる、残留有効相互作用に依存する新たな項（通常の粒子一回転模型には依存しない項）を含んでいる。研究の第一ステップとして、簡単なモデル系についてクランキング模型による内部状態を採用して、集団回転の形態変化を調べた。集団回転ハミルトニアンの固有状態を分析し、集団回転の形態はあるスピンまでは漸次的に変化し、それを越えると急激に変化し、回転バンドの終端では、クランキング模型の回転軸方向には集団回転は存在しないことを示した。また、院生と共に、核実験の古野グループが行っている奇-奇核の高スピン状態についての実験に対応して、粒子一回転子模型による理論的解析を始めた。田嶋直樹（東大教養）と池田秋津（静岡理工科大）の協力を得て数値実験を実行中である。

【4】原子核集団運動の半古典理論

橋本は、東大核研の坂田文彦、岩沢和男らと共同で原子核の集団運動における動的な殻効果について調べてきた。出発点となるのは、時間依存ハートレーフォック (TDHF) 方程式である。第一段階として、原子核の静的な性質を大域的に記述するストラティンスキーの方法を動的な大振幅運動について適用できるように拡張した。原子核の微小振動運動については、巨大共鳴状態の研究により、量子流体の運動として理解できることが知られている。そこで重要な点は、この振動運動の復元力が、密度分布の運動に対応した運動量分布の球形分布からの揺らぎに起因することである。そこで、原子核の密度行列を局所的に球形の運動量分布を持った部分と、そこからの揺らぎの部分とに分割することにより、原子核の平均的な運動を表わす流体力学的な方程式と、そのうえに現れる”揺らぎ”としての殻効果の時間発展を表わすグラゾフ型の方程式を得た。これにより、原子核の巨視的な運動と微視的な運動（量子効果）とが互いに相手の動きに影響を与えつつ自己無撞着に時間発展していくモデルが得られた。次に、この連立方程式を数値的に解く手始めとして流体部分のみの運動を調べた。対象は、単極子振動とし、巨大共鳴の周期を数値的に求め、質量数Aの大きい領域でA^{1/3}依存性を確認した。他の多重極振動についても計算中である。

<発表論文>

1. S. Kinpara and T. Kohmura,
Relativistic Calculation of Two-Body Correlations in Finite Nuclei,
Prog. Theor. Phys. 91(1994), 127.

2. T. Hatsuda, Y. Koike and S. H. Lee
Pattern of Chiral Restoration at Low Temperature from QCD Sum Rules,
Phys. Rev. D47 (1993) 1225.
3. T. Hatsuda, Y. Koike and S. H. Lee
Finite-temperature QCD sum rules reexamined,
Nucl. Phys. B394 (1993) 221.
4. S. Choi, T. Hatsuda, Y. Koike and S. H. Lee
Twist 4 matrix elements of the nucleon from recent DIS data at CERN
and SLAC,
Phys. Lett. B312 (1993) 351.
5. T. Hatsuda, E.M. Henley, Th. Meissner and G. Krein
The off-shell rho-omega mixing in the QCD sum rules,
Phys. Rev. C49 (1994) 452.
6. M. Morita, R. Morita, M. Doi, T. Sato, H. Ohtsubo and K. Koshigiri,
Induced pseudoscalar interaction in weak nucleon current
and meson capture in hyperfine states of muonic deuterium,
Hyperfine Interactions 78(1993), 85-89.
7. T. Ue,
Dynamical Properties of the GCM Rotational Hamiltonian
-- Dynamics of the Transition from collective to Noncollective Rotation,
Prog. Theor. Phys. 90(1993), 1269-1286.
8. T. Kubo, F. Sakata, T. Marumori, K. Iwasawa and Y. Hashimoto,
Transition Mechanism of Nuclear Phase,
Nucl Phys. A557(1993), 603-612.
9. T. Marumori, F. Sakata, T. Kubo, Y. Hashimoto and K. Iwasawa,
Toward Microscopic Theory of Collective Dynamics in Single Particle
Level Crossing Region,
Proceedings of the International Seminar on the Frontier of
Nuclear Spectroscopy(ed. Y. Yoshizawa et. al., World Scientific
Co. Pte. Ltd., 1993), 193-211.

<学位>

1. 理学博士：金原 進、
「Relativistic Study of Two-Body Correlations in Finite Nuclei」
2. 理学修士：田村伊知郎、
「有限量子多体系におけるカオス構造の発生と統計描像」
3. 理学修士：永田 毅、
「原子核の真空偏極と繰り込み」

<口頭発表>

1. 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（東北大学 1993年3月）
2. 初田哲男、「QCD at finite temperature and densities」(招待講演)
日本物理学会（高知大学 1993年10月）
3. 永田 毅、香村俊武、「有限核の真空偏極と繰り込み」
日本物理学会（高知大学 1993年10月）
4. 初田哲男、「QCD and Quark/Hadron Matter」
Invited Talk at the second Japanese-Korea Joint Workshop on "Strangeness in Nuclear Matter" (Seoul, Korea, December 6-7, 1993)
5. 加藤彰彦、「中間子伝播における核内媒質効果」
ワークショップ「原子核における相対論的多体論の展開」
(RCNP, 1993年12月8～10日)
6. 金原 進、「有限核における二核子相関の相対論的取扱い」
ワークショップ「原子核における相対論的多体論の展開」
(RCNP, 1993年12月8～10日)
7. 塩見浩之、「相対論的時間依存問題の取扱い」
ワークショップ「原子核における相対論的多体論の展開」
(RCNP, 1993年12月8～10日)
8. 永田 毅、「有限核の真空偏極と繰り込み」
ワークショップ「原子核における相対論的多体論の展開」
(RCNP, 1993年12月8～10日)

9. 堂井 真、「Bethe-Salpeter方程式について」
ワークショップ「原子核における相対論的多体論の展開」
(RCNP, 1993年12月8～10日)
10. 金原 進、「Bethe-Salpeter方程式における相対時間の寄与」
ワークショップ「原子核における相対論的多体論の展開」
(RCNP, 1993年12月8～10日)
11. 香村俊武、「原子核物理における秩序化」
ワークショップ「原子核における相対論的多体論の展開」
(RCNP, 1993年12月8～10日)
12. 初田哲男、「QCD at Finite Temperature and QCD Sum Rules」
Invited lectures at "Winter Workshop for Nuclear Physics"
(Taejeon, Korea, February 2-4, 1994)
13. 香村俊武、「原子核の真空偏極と反陽子原子」
研究会「エキゾチック原子の動的過程の理論的研究」(湯河原、1994年2月3～5日)
14. 橋本幸男、「原子核の液滴模型と殻補正」
理研シンポジウム「有限温度原子核の動力学」(理研、1994年2月21～22日)
15. 初田哲男、「Isospin Symmetry Breaking in Hadrons and Nuclei」
Invited talk at the international symposium on "Spin-isospin Responses and Weak Processes in Hadrons and Nuclei" (Osaka, Japan, March 8-10, 1994)