

研究室構成員

八尋 正信 教授
清水 良文 准教授
松本 琢磨 助教

《 博士研究員 》

蓑茂 工将

《 大学院 博士課程 》

佐々木 崇宏 田上 真伍 嶋田 充宏 高橋 純一
渡邊 慎

《 大学院 修士課程 》

石井 優大 江頭 慧 佐々部 悟 豊川 将一
菅野 淳平 米村 浩司

《 学部 卒業研究生 》

秋山 陽平 井生 武志 平川 優真 宮本 昂拓

担当授業

物理学入門(八尋正信)、量子力学Ⅰ・同演習(八尋正信・松本琢磨)、特殊相対論と電気力学(八尋正信)、物理数学Ⅰ(清水良文)、量子力学Ⅲ(清水良文)、数値計算法(清水良文)、電磁気学(清水良文)、物理学特別研究Ⅰ(八尋正信・清水良文・松本琢磨)、物理学特別研究Ⅱ(八尋正信・清水良文・松本琢磨)

研究・教育目標と成果

高密度天体の構造に関わる QCD 相構造の研究(八尋正信, 河野宏明 [佐賀大学], 河野通郎 [九州歯科大学], 安武伸俊 [千葉工業大学], 佐々木崇宏 (D3))

QCD の相構造 (QCD 相図) と状態方程式は, 宇宙進化の過程や高密度天体の性質を解明するために不可欠な要素である。しかし, QCD の第一原理計算である格子 QCD 計算は有限密度領域で実行困難であるため, 有限密度における相構造のほとんどは不確定である。本研究では, 高密度領域の QCD 相構造を有効模型を用いて解明することを

目指した。

高密度領域ではバリオンの寄与が本質的であり、有効模型におけるバリオンの取り扱いには不定性が大きい。この不定性をなくすために我々は、核物質の解析および中性子星の質量観測に着目した。標準核密度付近の核物質の性質は、カイラル有効場理論に基づいた核力を用いて Brueckner-Hartree-Fock 計算を行うことにより、高い信頼性での解析が可能である。さらに高い密度領域の状態方程式は重イオン衝突実験の解析から見積もられている。我々はこれらのデータを再現するように核子間の有効斥力を導入し、ハドロンの相を記述する模型とした。さらに、この模型を用いて中性子星の構造を計算し、現在の中性子星質量観測の結果と無矛盾であることを確認した。このように構築したハドロンの模型と EPNJL 模型を組み合わせることにより QCD 相図全体の解析が可能である。このように得られた相図は、有限温度の格子 QCD 計算および核物質・中性子星のデータと無矛盾なものである。

本研究は佐々木氏を中心に推進された。

格子 QCD によるカラー遮蔽ポテンシャルの化学ポテンシャル依存性の研究 (八尋正信, 中村純 [広島大学], 斎藤卓也 [高知大学], 永田桂太郎 [KEK], 河野宏明 [佐賀大学], 佐々木崇宏 (D3), 高橋純一 (D1))

カラー遮蔽ポテンシャル (重クォークポテンシャル) は重イオン衝突実験における重クォーク束縛状態の抑制機構やジェットの性質を調べる際に重要な量である。昨年度より、我々はカラー遮蔽ポテンシャルの虚数化学ポテンシャル (μ_I) 依存性を調べてきた。

今年度は求めたカラー遮蔽ポテンシャルを実数化学ポテンシャル (μ_R) 領域に外挿した。その結果、 μ_R を大きくしていくとカラー遮蔽ポテンシャルの高さが低くなっていくことが分かった。これは、 μ を大きくしていくとクォーク間の相互作用が小さくなっていくことを示している。また、reweighting 法を用いた先行研究ではカラー遮蔽ポテンシャルに対して μ_R/T の 2 次まで計算されていたが、本研究では μ_R/T の 4 次も無視できない程の寄与を持っていることを示した。これに加えて、カラー Debye 遮蔽質量も μ_R 領域に外挿した。その結果、hard thermal loop 近似やオーダーの高い摂動計算の結果と定性的な一致は見られたが、 μ_R 依存性は我々の結果の方が大きかった。

本研究は高橋氏を中心に推進され、その成果は Physical Review 誌に論文が掲載された。

格子 QCD によるクォーク数密度の研究と有効模型の構築 (八尋正信, 河野宏明 [佐賀大学], 高橋純一 (D1), 菅野淳平 (M1))

有限温度 (T)、有限化学ポテンシャル (μ) 領域における QCD の研究にとって、有効模型は強力なツールである。しかし、有効模型はパラメータを持ち、不定性を含む。そ

の不定性をなくすために、我々は QCD の第一原理計算である格子 QCD 計算の結果と有効模型の結果を合わせることで、信頼性の高い有効模型の構築を目指している。特に、有限 μ 領域ではクォーク数密度と関連したベクター型相互作用の効果が重要である。

そこで我々はクォーク数密度の μ 依存性を格子 QCD で計算し、その結果とベクター型相互作用の入った EPNJL 模型の結果を合わせ、有限密度 QCD の物理、特に QCD 相図や中性子星の物理の研究を進めていく。格子 QCD では符号問題のない虚数化学ポテンシャル (μ_1) 領域で計算を実行し、クォーク数密度の μ_1 依存性を得た。今後、この結果に合うように EPNJL 模型のパラメータを合わせ、QCD 相図や中性子星の質量と半径の関係、中間子遮蔽質量の μ 依存性などを求めていく。

本研究は高橋氏と管野氏を中心に推進されている。

有限密度領域における格子 QCD 計算手法の開発 (八尋正信, 中村純 [広島大学], 河野宏明 [佐賀大学], 高橋純一 (D1))

化学ポテンシャル (μ) が有限の領域では、格子 QCD におけるクォーク行列が複素数になり、インポートランスサンプリングを用いたモンテカルロシミュレーションが困難となる。これが符号問題である。有限 μ 領域の物理を第一原理計算である格子 QCD で研究するためには、符号問題の回避が必要である。これまで reweighting 法、虚数化学ポテンシャル領域からの解析接続、ヒストグラム法など様々な回避方法により研究がなされてきた。しかし、根本的な符号問題の解決は難しいのが現状である。

そこで我々は、従来からある状態密度を用いる方法を応用した、有限密度領域における格子 QCD 計算手法の開発に取り組んでいる。Gocksch によれば、注目する物理量の、あるエネルギーの範囲を等分割及びグルーピングし、そのエネルギーグループ内で確率解釈が成り立つように分布を求め、それをいくつものエネルギーグループで行い、それぞれで求めた分布を繋ぎ合わせれば、広い範囲の確率分布が求まる。今、我々が注目すべき物理量はクォーク数密度である。この確率分布を求めてゲージ配位を集めることにより、有限密度領域の物理量を直接格子 QCD で計算することが出来る。

広い範囲にわたるクォーク数密度の確率分布を求める必要がある。しかし、有限 μ 領域の計算が困難であることから、格子 QCD を用いて有限のクォーク数密度を実現することは困難である。そこでクォーク数密度が有限となるような力を作為的に格子作用に加える。クォーク数密度が有限になるまでゲージ配位をアップデートした後、その作為的な力は取り除いて、上記の Gocksch の方法を使用する。このようにしてクォーク数密度の確率分布を求める。

本研究は高橋氏を中心に推進されている。

有効模型を用いたメソン遮蔽質量の導出と解析 (八尋正信, 河野宏明 [佐賀大学], 佐々木崇宏 (D3), 石井優大 (M2))

格子 QCD で計算されている物理量として、メソンの遮蔽質量 (M_{scr}) がある。一方、有効模型による M_{scr} の計算は、激しく振動する関数の無限積分を必要とするため困難であり、これまでほとんど計算されてこなかった。そこで、有効模型による M_{scr} の計算手法の開発を目標とした。遮蔽質量に関する格子 QCD 計算の結果を再現するように有効模型を構築することで、有効模型の不定性を排除するという方針を立てた。

まず、運動量表示におけるメソン相関関数の解析性を詳細に分析することで、 M_{scr} の計算手法を考案した。複素運動量平面上の極として M_{scr} を求める事ができるため、我々の手法は従来の手法よりもはるかに簡便である。この手法に基づき、2 フレーバーの EPNJL 模型で π メソン遮蔽質量 ($M_{\pi, \text{scr}}$) の温度依存性を計算し、定性的な振る舞いを分析した。 $M_{\pi, \text{scr}}$ は、低温では一定であり、閉じ込め相転移温度 (T_c) 付近になると急激に上昇し、高温になるにつれて自由場の結果 ($2\pi T$) に下から近づいた。温度が $T \simeq 2.5T_c$ (400[MeV]) 程度でも自由場からのずれは大きいことから、閉じ込め相転移の後でも、クォークの自由ガスという描像が成り立たないことが示唆された。次に、格子 QCD 計算の結果と比較することで、有効模型に制限を与えられるか検討した。EPNJL 模型の entanglement 結合の強さを調整することで、格子 QCD 計算を定量的に再現するような結合の強さを決定できた。今後は、他のメソン遮蔽質量に対する格子 QCD の結果と比較し、さらに信頼性の高い有効模型を構築する。

本研究は石井氏を中心に推進され、修士論文として纏められた。その成果は Physical Review 誌に掲載された。

ベクトル型相互作用が QCD 相図の有限密度領域に及ぼす影響の研究 (八尋正信, 河野宏明 [佐賀大学], 高橋純一 (D1), 石井優大 (M2), 菅野淳平 (M1))

QCD 相図の有限密度 (有限クォーク化学ポテンシャル (μ_q)) 領域では符号問題のため、第一原理計算である格子 QCD 計算を行うことは困難である。そこで、有効模型を用いて有限密度領域での計算を行うことが重要となる。その際、信頼性の高い計算を行うためには、不定性ができるだけ排除された有効模型を使用することが望まれる。このような有効模型を構築することは、格子 QCD が実行可能な領域に着目し、格子 QCD 計算と有効模型の計算それぞれを比較することを要求する。符号問題がない領域であるゼロ密度・有限温度領域において、格子 QCD の計算結果をすべて再現する有効模型として Entanglement Polyakov-loop extended Nambu-Jona-Lasinio (EPNJL) 模型がある。我々は EPNJL 模型を出発点とし、有限密度領域における 2 フレーバー系を考察した。

有限密度領域ではクォーク間に新たにベクトル型相互作用がはたらき、クォーク・ハ

ドロン相転移線の位置やクォーク物質の状態方程式に大きく影響することが知られている。そこで我々は、ベクトル型相互作用を含むように2フレーバー EPNJL 模型を拡張し、ベクトル型相互作用の強さ G_V を決定することを目標とした。 G_V の決定を行うにあたって、我々は μ_Q/T (T は温度) においてクォーク数密度が格子 QCD に基づき計算されていることに着目した。しかし、クォーク数密度自身は符号問題の影響が軽微な低密度領域では小さな値を取るため、 G_V の精密な決定には不向きである。そこで、クォーク数密度を Stefan-Boltzmann 極限での値で規格化した物理量を定義した。我々は、この物理量が符号問題がないゼロ密度領域でも有限であることを発見し、これに基づき、従来上限もしくは下限しか決められていなかった G_V を一意的に決定した。

今後は、得られた G_V がクォーク・ハドロン相転移線の位置に及ぼす影響の定量的な評価に加え、中性子星内部においてクォーク・ハドロン相転移が起こっているかを考察し、「太陽質量の2倍の質量をもつ中性子星」の観測事実と矛盾しないクォーク物質の状態方程式の構築を目指す。

本研究は管野氏を中心に推進されている。

NJL 模型における正則化法依存性の研究 (八尋正信, 河野宏明 [佐賀大学], 佐々木崇宏 (D3), 石井優大 (M2), 米村浩司 (M1))

近年、QCD 相図の解明を目指した研究が盛んに行われているが、QCD の第一原理計算である格子 QCD 計算は有限化学ポテンシャル領域では符号問題を持ち、計算困難である。このため、有効模型を用いた QCD 相図の解析が行われている。有効模型とは、最初にカットオフスケールを導入し、そのカットオフスケールより低いエネルギースケールの現象を記述する模型である。QCD 相図の解明にしばしば用いられる Nambu-Jona-Lasinio (NJL) 模型では、3次元運動量カットが通常用いられる。しかし、このカットオフは Lorentz 不変性を壊すという欠点を持っている。そこで我々は Lorentz 不変性を壊さない正則化の方法として Pauli-Villars 正則化も取り上げた。そして、カイラル相転移や閉じ込め相転移のオーダーパラメータ (カイラル凝縮、Polyakov loop) 状態方程式の正則化依存性を調べ有効模型の妥当性を分析した。この解析によって、3次元運動量カットと Pauli-Villars 正則化を用いた場合とで高温領域において異なる振る舞いをするのが分かった。

本研究は米村氏を中心に推進されている。

アイコナル反応理論による ${}^6\text{He}$ の2中性子剥離反応の記述 (八尋正信, 松本琢磨, 緒方一介 [大阪大学核物理研究センター准教授], 蓑茂工将 (PD), 江頭慧 (M2))

アイコナル反応理論 (ERT) は、九大グループによって提唱された核子剥離反応を記述する理論である。同じく核子剥離反応を記述する Glauber 模型と比較して、ERT

には Coulomb 相互作用を正確に取り扱える利点がある。

今年度は、 ${}^6\text{He}$ の 2 中性子剥離反応の解析において ERT と Glauber 模型計算を比較し、Coulomb 相互作用の取り扱いの差を調べた。その結果、Coulomb 分解過程が重要となる入射エネルギーが低い場合や標的核が重い場合の反応で、Glauber 模型との大きな違いが見られた。ERT を用いれば、調節パラメータを導入することなく、 ${}^6\text{He}$ の 2 中性子剥離反応の断面積を非常に良く再現する。

この成果を論文にまとめ、現在 Physical Review C 誌に投稿中である。本研究は蓑茂氏と江頭氏を中心に推進された。

荷電交換反応の解析による中性子スキン厚の決定 (八尋正信、蓑茂工将 (PD))

中性子スキン厚の解析に有力な方法のひとつとして、アイソバリックアナログ状態 (IAS) を励起する荷電交換反応 (p,n)IAS が注目されている。 (p,n) IAS は、アイソスピン対称性の下に陽子弾性散乱と等価な反応であり、光学ポテンシャルのアイソベクトル成分に強く依存すると考えられる。本研究では、この (p,n) IAS を畳み込み模型を用いた微視的反応理論によって解析し、中性子スキン厚を精密に決定することを目指す。

今年度は、さまざまな標的核・入射エネルギーに対する (p,n) IAS を系統的に解析した。その結果、標的核が軽い場合には実験を良く再現するが、標的核が重い場合には実験とのずれが見られた。実験とのずれは、標的核が重くなるほど顕著である。また、これは入射エネルギーによらず見られる傾向であることが分かった。ある程度重い核でなければ中性子スキン厚としての意味を持たないため、重い標的核で実験とのずれが生じることは非常に大きな問題である。

今後は、 (p,n) IAS の反応機構をより詳しく調べ、実験とのずれの原因を明らかにする。本研究は蓑茂氏を中心に推進されている。

1 中性子剥離反応を利用した E1 分解断面積の導出 (蓑茂工将 (PD)、緒方一介 [大阪大学核物理研究センター准教授]、福井徳朗 [大阪大学核物理研究センター (D2)]、吉田数貴 [大阪大学核物理研究センター (M1)])

E1 分解断面積の大きさは核の広がり強く依存するため、核がハロー核であるかどうかを決めるひとつの指標と考えられている。しかし、実験で E1 分解断面積を測定することは不可能であるため、 ${}^{12}\text{C}$ と ${}^{208}\text{Pb}$ の異なる標的に対して 1 中性子剥離反応の断面積を測定し、 ${}^{12}\text{C}$ 標的の断面積を適当にスケールリングして ${}^{208}\text{Pb}$ 標的の断面積から差し引くことで、E1 分解断面積が見積もられている。この際のスケールリング因子は経験的に決められたものが用いられるが、その理論的根拠が定かでない上、不定性が極めて大きい。そのため、スケールリング法の妥当性を理論的に確かめる必要がある。

本研究では、スケールリング法によって求められる E1 分解断面積の妥当性を、アイコ

ナール反応理論と連続状態離散化チャネル結合法を用いて調べた。これらの手法を用いれば、理論計算の範囲内で、E1 分解断面積とスケーリング法によって求めた近似的断面積を直接比較できる。そのような解析の結果、スケーリング因子は核の 1 中性子分離エネルギーに強く依存することが分かり、また、スケーリング法を用いて実験的に決められた ^{31}Ne の E1 分解断面積が、理論値より 13–20% も大きいことを示した。

この結果は論文としてまとめられ、Progress of Theoretical and Experimental Physics 誌への掲載が決定した。

1 核子剥離反応の解析による ^{30}Ne の分光学的因子の決定 (蓑茂工将 (PD)、Jenny Lee [理化学研究所仁科加速器研究センター研究員]、木村真明 [北海道大学准教授]、宇都野穰 [日本原子力機構研究員]、緒方一介 [大阪大学核物理研究センター准教授])

^{30}Ne の基底状態は、 ^{29}Ne (芯核) のさまざまな状態に中性子が結合した配位の重ね合わせとして記述できる。分光学的因子とは、これらの配位の割合を示す指標である。弱束縛核の 1 核子剥離反応の断面積は配位の違いに対して非常に敏感であるため、これを利用して、 ^{30}Ne における芯核と中性子の配位、およびその分光学的因子を決定することができる。このとき、1 核子剥離反応において放出されるガンマ線のエネルギーを同時に測定すれば、芯核の各状態の励起エネルギーと対応づけて議論できる。

本研究では、アイコンール反応理論を用いて ^{30}Ne の 1 核子剥離反応を解析し、 ^{30}Ne に含まれる配位に分光学的因子と、芯核 ^{29}Ne のスピン・パリティを調べた。反応計算に必要な ^{30}Ne の配位を記述する構造模型として、殻模型と反対称化分子動力学の 2 つを採用した。2 つの模型が与える断面積の計算値と実験値を比較し、各配位における分光学的因子をおおよそ見積もることができた。さらに、 ^{29}Ne の基底状態のスピン・パリティは $3/2^+$ と結論づけられた。

現在、Lee 氏が中心となり、この結果を論文にまとめている。

反応断面積の解析で探る中性子過剰 Mg 同位体の基底状態の性質 (八尋正信、清水良文、松本琢磨、木村真明 [北海道大学准教授]、武智麻耶 [理研仁科センター、ドイツ重イオン研究所]、福田光順 [大阪大学准教授]、西村太樹 [東京理科大学助教]、鈴木健 [埼玉大学教授]、蓑茂工将 (PD)、田上真伍 (D2)、嶋田充宏 (D1)、渡邊慎 (D1))

理化学研究所の核実験施設 (RIBF) によって新奇なデータが蓄積されている昨今、“island of inversion”に関する研究が改めて注目を集めている。island of inversion は核図表における陽子数が 10~12 (Ne, Na, Mg)、中性子数が 20~22 程度の領域であり、領域内の原子核は「魔法数の破れ」や「異常な変形」といった安定核では見られない性質を示す。近年測定された Mg 同位体に対する反応断面積 (原子核と原子核が衝突する確率に対応した物理量) も例外ではなく、安定核からの予想よりも異常に大きいこ

とが報告されている。

我々は反対称化分子動力学法 (AMD) により計算された核密度をインプットとした二重畳み込み模型を用いて、測定された Mg 同位体に対する反応断面積の理論的解析を行った。我々の用いたこの手法は、原子核構造に仮定を置かない微視的理論である。AMD 計算の結果、 $^{31-40}\text{Mg}$ に対して大きな変形が現れ、それを反映して反応断面積の実験データを概ねよく再現した。この結果は island of inversion を超えた領域においても大きな変形が続いていることを意味しており、 $N = 20$ の魔法数のみならず、 $N = 28$ の魔法数も破れていることを強く示唆している。一方、ドリップライン近傍核である ^{37}Mg に対しては実験データを過小評価しており、この結果は ^{37}Mg がハロー構造を持つことを示唆している。実際、クーロン分解反応の断面積からも ^{37}Mg は「変形ハロー」であることが示唆されており、現在の AMD の模型空間は ^{37}Mg を記述するのに十分でない可能性がある。今後、更に大きな模型空間を用意した計算を行う必要がある。

Mg 同位体に対するこの解析は EPJ Web of Conferences に掲載され、更に Physical Review にも投稿中である。来年度は反応断面積の測定が既に終わっている Na や Al 同位体に対して同様の解析を行い、island of inversion 全体を俯瞰する。本研究は渡邊氏を中心に推進された。

^6He 2_1^+ からの 2 中性子崩壊の研究 (菊地右馬 [大阪大学核物理研究センター研究員]、松本琢磨、蓑茂工将 (PD)、緒方一介 [大阪大学核物理研究センター准教授])

^6He は 2 中性子ハロー構造をもつとされている。2 中性子ハロー核において 2 中性子相関の研究は精力的に進められている。本研究では ^6He の励起共鳴状態 2_1^+ からの 2 中性子崩壊モードを核子あたり 240 MeV の $^6\text{He}+^{12}\text{C}$ 散乱解析から調べた。この解析において分解断面積計算を CDCC 法により松本氏が、その計算に必要な光学ポテンシャルの計算を蓑茂氏が担当した。励起共鳴状態からの 2 中性子崩壊モードは大阪大学核物理研究センターの菊地氏が計算した。本解析により、 2_1^+ 状態における 2 中性子相関の存在が確認された。

本研究は大阪大学核物理研究センターの菊地氏により推進され、その成果は Physical Review C 誌に掲載された。

^6Li 入射反応における分解効果の系統的解析 (八尋正信、松本琢磨、緒方一介 [大阪大学核物理研究センター准教授]、蓑茂工将 (PD)、渡邊慎 (D1))

本研究の対象である ^6Li は、中性子 (n)、陽子 (p)、 ^4He の 3 つの粒子がそれぞれ緩く束縛した原子核とみなすことができる。このような弱束縛な原子核が入射する反応では、反応の途中で入射核が分解する過程が重要となり、その効果を精密に取り扱うことが必須となる。本研究では、4 体連続状態離散化チャネル結合法 (4 体 CDCC) を用

い、 ${}^6\text{Li}$ が3つの粒子 ($n, p, {}^4\text{He}$) に分解する効果を陽に取り入れた計算を行った。

前年度までの研究で、我々は「低エネルギー入射の ${}^6\text{Li} + {}^{209}\text{Bi}$ 弾性散乱において、 ${}^6\text{Li}$ 内部の d (重陽子) が n と p に分解する効果は無視できる」という提案をした。本年度は、この提案が ${}^6\text{Li}$ 散乱において更に普遍的なもの、すなわち「 ${}^6\text{Li}$ 散乱において、 ${}^6\text{Li}$ 内部の d が n と p に分解する効果は無視できる」かを検証するため、4体 CDCC を様々な条件下で適用した。具体的には、低エネルギー (~ 20 MeV)・中間エネルギー (~ 70 MeV)・高エネルギー (~ 240 MeV) 入射の、軽い標的核 (${}^{12}\text{C}$)・中重標的核 (${}^{58}\text{Ni}$)・重い標的核 (${}^{208}\text{Pb}$) による ${}^6\text{Li}$ 弾性散乱である。適用した結果、 ${}^{208}\text{Pb}$ 標的においては全エネルギー領域で実験データをよく再現し、さらに、 ${}^{58}\text{Ni}$ 標的においても低・中間エネルギー領域で実験データをよく再現した。しかし一方、高エネルギーにおける ${}^{58}\text{Ni}$ 標的の散乱や、中・高エネルギーにおける ${}^{12}\text{C}$ 散乱においては4体 CDCC は実験を再現しておらず、詳細な解析に至っていない。全体の傾向として、クーロン力が主要な相互作用となる重い標的核や低エネルギー散乱において実験データを再現し、核力が主要な相互作用となる軽い標的核や高エネルギー散乱において実験データを再現していないようである。今後は、この原因説明を目標とする。

本研究は渡邊氏を中心に推進された。

二重畳み込み模型を用いた ${}^4\text{He}$ -核弾性散乱の解析(八尋正信、松本琢磨、蓑茂工将 (PD)、江頭慧 (M2)、豊川将一 (M2))

核力に基づく微視的反応理論は、これまでに多くの成功を収めてきた。例えば、核子-核散乱の断面積や偏極量、核-核散乱の全反応断面積などは実験をよく再現する。しかし、核-核散乱の断面積や ${}^4\text{He}$ -核散乱は微視的反応理論で系統的に実験を再現できないなどのいくつかの問題を残している。

二重畳み込み模型は、2核子間有効相互作用 (g 行列相互作用) を入射核密度 ρ_P と標的核密度 ρ_T で畳み込むことにより、核-核間のポテンシャルを微視的に求める手法である。 g 行列相互作用は核物質中での密度依存性を持つ相互作用であり、 g 行列相互作用を原子核内の核子に適用する際には局所密度近似を用いる必要がある。しかし、この近似は理論的な不定性が大きく、二重畳み込み模型において局所密度は通常 $\rho = \rho_P + \rho_T$ と仮定されるが、この仮定の妥当性は必ずしも明確ではない。

本研究では ${}^4\text{He}$ -核散乱の問題の解決を目指した。 ${}^4\text{He}$ は非常に励起しにくい原子核であり、この性質を取り入れるために局所密度として標的核密度のみを採用する方法を提案した。この方法を従来の方法と比較検証した結果、特に重い標的核に対して本研究で提案した方法により、実験がよく再現できることが確かめられた。

本研究は江頭氏を中心に推進され、同氏の修士論文としてまとめられた。その成果は現在、Physical Review C 誌に投稿中である。

微視的反応理論による炭素同位体入射反応の系統的解析 (八尋正信、清水良文、松本琢磨、古立直也 [北海道大学]、蓑茂工将 (PD)、田上真伍 (D2)、佐々部悟 (M2))

不安定核に見られる特徴として原子核の密度が異常に広がった Halo 構造がある。Hartree-Fock-Bogoliubov 法による解析によって、Halo の発達が対相関力によって抑制されるということが示唆されている。近年、この理論的示唆が全反応断面積の偶奇性という形で実験的に見えているのではないかという指摘がなされた。しかし、反応断面積の偶奇性は数%の違いを指しているので様々な影響を考慮する必要がある。そこで、我々は微視的反応理論を用いて考えられる影響の中でも特に重要と思われる核媒質効果と入射核の分解効果を検証した。この解析によって、Halo 核における媒質効果が通常の原子核のそれと異なる振る舞いをするのが分かった。また、先の指摘をした理論計算においては無視されていた分解の効果が無視できないことも分かった。

この成果は Physical Review C 誌に掲載された。

陽子弾性散乱によるハロー核の密度分布の決定 (八尋正信、松本琢磨、古立直也 [北海道大学]、蓑茂工将 (PD)、佐々部悟 (M2))

ハロー核の密度分布を探る物理量として、古くから安定核の密度分布を調べる為に用いられてきた入射エネルギー数百 MeV/nucleon の陽子弾性散乱の角分布がある。この角分布の diffraction pattern はハロー核中の芯核半径と相関があるという指摘がなされている。近年、実験技術の向上により first diffraction minimum 付近までの大きな散乱角に渡って角分布の測定が可能となった。

そこで、本研究では新しい実験結果からハロー核 ${}^6\text{He}$ 中の芯核の状態を調べるとともに、diffraction pattern と芯核半径の相関に対する物理的理解を探求した。その結果、 ${}^6\text{He}$ 中の芯核は孤立した ${}^4\text{He}$ とほぼ同じ状態にあることが確認された。また、この入射エネルギーの陽子弾性は光学ポテンシャルの虚数部分が本質的であることが分かり、これが引き起こす影散乱を考察することにより相関に対する理解を得た。

本研究は佐々部氏を中心に進められ、同氏の修士論文としてまとめられた。今後は、より芯核の構造が非自明なハロー核についての解析を進める予定である。

微視的光学ポテンシャルを用いた陽子-核散乱の系統的解析 (八尋正信、松本琢磨、蓑茂工将 (PD)、豊川将一 (M2))

2 核子間有効相互作用に基づいて構築された光学ポテンシャルを微視的光学ポテンシャルと呼ぶ。微視的光学ポテンシャルは、畳み込み模型を用いて 2 核子間有効相互作用を標的核密度で畳み込み積分することにより構築できる。畳み込み模型による微視的反応解析は安定核散乱において多くの成功を収めてきた。さらに、実験が困難な

ために光学ポテンシャルを現象論的に構築できない不安定核散乱に対しても、この畳み込み模型は有効なアプローチとなる。また、入射粒子によって標的核が励起される非弾性散乱は、チャンネル結合方程式により記述される。このときに必要となる結合ポテンシャルもまた、畳み込み模型を用いて構築できる。

本研究では、Melbourne グループの g 行列有効相互作用を用いた畳み込み模型により、陽子-安定核 (不安定核) 弾性散乱および陽子非弾性散乱を解析した。微視的光学ポテンシャルは、陽子-安定核弾性散乱の実験を微分断面積、偏極分解能ともに系統的に再現し、さらに非弾性散乱の微分断面積を良く記述することに成功した。安定核に対する微視的光学ポテンシャルは、現象論的に構築された光学ポテンシャルと近い振る舞いを持つことが確かめられ、不安定核に対する微視的光学ポテンシャルは、安定核の系統性と異なる性質を持つことが分かった。

本研究は蓑茂氏と豊川氏を中心に推進され、豊川氏の修士論文としてまとめられた。その成果は Physical Review C 誌に掲載された。

原子核反応におけるカイラル有効理論 3 核子力の効果 (八尋正信、松本琢磨、河野通郎 [九州歯科大学教授]、蓑茂工将 (PD)、豊川将一 (M2))

カイラル有効理論は QCD と等価な低エネルギー有効理論であり、2 核子力や 3 核子力を系統的に不定性無く決定できる理論となっている。3 核子力は現在注目されている大きな話題のひとつで、核物質の形成においても重要な役割を果たすと考えられている。また、核反応に対してカイラル有効理論から不定性無く決定された 3 核子力がどのような効果を与えるかも大変興味深い。

本研究では、核子-核散乱や核-核散乱におけるカイラル有効理論の 3 核子力効果を簡便な方法で評価した。カイラル有効理論の 2 核子力から g 行列理論により核物質の一粒子ポテンシャルを計算したところ、現象論的 2 核子力である Bonn-B ポテンシャルから計算されたものと非常に似通った性質を持つことがわかった。このことから、Bonn-B ポテンシャルに基づく Melbourne g 行列相互作用にカイラル有効理論の 3 核子力を導入することで、その効果を検証する方法を提案した。その結果、核-核散乱では微分断面積の角分布後方で 3 核子力効果が本質的であり、3 核子力を取り入れることで実験をより再現することが確かめられた。一方、核子-核散乱では実験データの利用可能な前方領域において 3 核子力効果が小さく、より後方で実験データが測定されると 3 核子力効果の重要性を確かめることができる。

本研究は豊川氏と河野氏を中心に推進され、豊川氏の修士論文としてまとめられた。その成果は現在、Physical Review C 誌に投稿中である。

今後は、カイラル有効理論の 2 核子力と 3 核子力から g 行列相互作用を構築し、核子-核散乱や核-核散乱の系統的解析を行う。

微視的反応モデルによる核子-Li アイソトープ反応解析 (八尋正信、松本琢磨、渡辺幸信 [九州大学総合理工学府教授]、緒方一介 [大阪大学核物理研究センター准教授]、郭海瑞 [九州大学総合理工学府 (D1)]、渡邊慎 (M2))

核融合炉の設計において核子-Li アイソトープ (${}^6\text{Li}$ 、 ${}^7\text{Li}$) 反応は重要であり、その系統的な反応データが必要とされている。しかし、中性子である n は電荷を持たないため加速することや検出することが非常に困難であり、実験的にこの反応の断面積を系統的に決定することは、現段階では不可能である。特に、高エネルギー反応における断面積を決定するには精密な理論予測が必要となる。そこで我々は、 $n+{}^6\text{Li}$ 、 $n+{}^7\text{Li}$ 、 $p+{}^6\text{Li}$ 、 $p+{}^7\text{Li}$ 散乱の精密理論解析を進めてきた。これまでの研究において、 ${}^{6,7}\text{Li}$ を $d + \alpha$ 、 $t + \alpha$ の 2 体モデルとして記述し、反応過程で分解する効果を CDCC で取り扱った計算で弾性散乱、全断面積の実験を系統的に再現できることを示した。

本年度は、弾性散乱だけでなく、 ${}^7\text{Li}$ 散乱において放出される t の角度分布の計算に着手し、実験データをほぼ再現できることを示した。しかし、ある放出角度、放出エネルギーのデータに関しては実験を再現できないことが判明した。この問題は、現在計算で取り入れているモデル空間が十分でないということが考えられる為、今後はモデル空間を広げた計算を行なう必要がある。

現在、この計算は総合理工学府の郭氏を中心として推進されている。

原子核基底状態のプロレート変形優勢の起源 (清水良文、高原哲士 [杏林大学]、田嶋直樹 [福井大学])

多くの原子核はその基底状態において変形しているが、その形は軸対称な回転楕円体型である。この場合、球を軸方向に押し潰したオブレート型 (ミカン型) か引き伸ばしたプロレート型 (レモン型) の 2 種類が考えられる。平均場として調和振動子ポテンシャルを考えるとこれら 2 種類の変形は同じぐらいの頻度で現れるが、現実の原子核では圧倒的にプロレート型変形の方が多い。このプロレート変形優勢の起源は何かということは古くからの問題であり、数年前からそれを理解するための研究を行っている。

原子核の変形を理解するためには、原子核の束縛エネルギーに対する巨視的效果 (液滴モデルエネルギー) とシェル効果 (殻構造エネルギー) を考える必要がある。これまでの研究では、主にシェル効果の方を調べてきたが、昨年度から、巨視的效果がどのように現実の原子核のプロレート変形優勢状況に影響を与えるかを調べている。特に、クーロン斥力エネルギーと表面エネルギーの効果や、対称エネルギーの効果、また、体積保存条件の影響について、質量公式中のそれぞれの寄与を標準的な値から変更することによって、プロレート変形が現れる確率にどのように反映するかを調べた。この時、巨視的エネルギーのパラメータを変えると原子核の存在範囲 (中性子・陽子のドリップ

線)が大きく変わってしまうが、シェル効果によるプロレート変形優勢の基本的なメカニズムはほとんど変わらないことがわかった。しかしながら、プロレート変形とオブレート変形が競合する場合には、巨視的エネルギーが大きな影響を及ぼす場合もあり、巨視的效果も無視できない。この研究は杏林大の高原氏を中心に行われている。

原子核における正四面体型変形の研究 (清水良文、田上真伍 (D2)、J. Dudek [ストラスブール大学])

今日までに知られている原子核の多くは軸対称な回転楕円体変形であると考えられているが、近年の平均場理論による計算で、これまでにあまり調べられていないエキゾチックな変形の存在が予想されている。その一つに正四面体型の変形があり、特定の陽子数または中性子数の原子核の安定な変形として実現し、基底状態または低励起状態となると期待されている。これらの特定の粒子数は正四面体変形の魔法数と呼ばれ、陽子数と中性子数がともに魔法数である正四面体変形の二重閉殻の原子核ではその変形は特に安定となる。

昨年度、我々は二重閉殻の原子核に一つ粒子がついた四面体変形した奇核の回転スペクトルの計算を量子数射影法により行った。四面体変形の変形度が大きい場合、二重閉殻の原子核では量子スペクトルは一つの回転バンドとなる。これに対し、奇核の場合には変形度が大きくともそのスペクトルは複数の回転バンドに分離するという結果を得た。このような分離は通常の回転楕円体型変形でも見られるものであるが、正四面体回転バンドの場合にはその分離の仕方がずっと複雑になっている。この回転バンドの分離の原因を探るため、本年度は、正四面体変形した回転体に一つ粒子がついた粒子・回転体模型を用いた分析を行った。通常の楕円体変形の場合と同様に、粒子・回転体模型では正四面体変形した回転体と最後の粒子の間にコリオリ相互作用が働く。その効果を解析的・数値的に計算することで、量子数射影法の結果を再現する結果が得られることがわかり、複数の回転バンドへの分離の原因がコリオリ相互作用であると結論づけた。この研究は田上氏を中心に行われている。

Gogny 相互作用による量子数射影計算 (清水良文、田上真伍 (D2))

原子核構造計算で広く用いられている信頼性の高い有効相互作用の一つに、有限レンジの Gogny 相互作用があり、昨年までに我々のグループではこの相互作用を用いた平均場計算を行ってきた。本年度は、平均場近似で破れた対称性を回復させることでエネルギー・スペクトルなどを求める、平均場を超えた理論手法である量子数射影法においても Gogny 相互作用を用いることの出来るプログラムを作成した。これまでの我々の量子数射影計算では内部状態を作る平均場としては Woods-Saxon ポテンシャルを用いるのに対し、量子数射影法の計算では多重極型の現象論的な相互作用を用いており、

計算の首尾一貫性を欠いていた。しかし、一つの Gogny 相互作用から出発して平均場を計算し、その平均場による内部状態から量子数射影計算を行うという、完全に自己無撞着な計算が可能となった結果、より定量的な分析が出来るようになった。

開発した計算プログラムでは空間反転対称性を破った非常に一般的な変形状態に量子数射影法を適用することが出来る。このプログラムを用いて、我々がこれまで研究してきた四面体変形の閉殻で Gogny 相互作用による量子数射影法を行った。正四面体変形の場合、回転スペクトルはこれまで用いてきた Woods-Saxon ポテンシャルと多重極型の簡単な相互作用を用いた結果と非常に近いものとなることがわかった。また、角運動量射影による変形エネルギー面を求めた結果、平均場近似の時に比べて非常に深い極小が現れることを示した。このプログラムでは通常の楕円体変形の計算ももちろん可能であり、通常の変形核のエネルギー面の計算も行っている。今後はより系統的な分析を行う予定である。この研究は田上氏を中心に行われている。

ガウス基底を用いた量子数射影計算 (清水良文、田上真伍 (D2)、嶋田充宏 (D1))

不安定核においては、ハロー構造やスキンの構造といった安定核では見られなかった特有の構造が見つかり、その回転状態においても、特徴的な性質が現れることが期待される。また、原子核の回転は殻効果に起因する現象であるが、殻効果は特定の粒子数において強くなる。つまり、安定核と異なり粒子数を自由に選べるといえる不安定核は回転状態の研究に対して有用である。これまでの角運動量射影計算においては、調和振動子基底が用いられていたが、本年度は、弱束縛を特徴とする不安定核の回転状態を適切に取り扱えるガウス基底を用いた量子数射影計算を可能にした。

開発した計算プログラムを用いて、ドリップラインの原子核である ^{40}Mg について計算を行った。その結果、スピンの増加と共に慣性モーメントが大きく減少するという特異なふるまいが見られた。また、調和振動子基底を用いた場合とガウス基底を用いた場合では、原子核の密度分布の遠方でのふるまいが大きく異なるにも関わらず、慣性モーメントはよく一致しており、ハローのような広がった密度構造が慣性モーメントに影響しない可能性があることがわかった。今後は他の不安定核についても調べ、弱束縛原子核での回転運動をより詳細に調べていく予定である。この研究は嶋田氏を中心に行われている。

量子数射影法による高速回転する原子核の微視的研究 (清水良文、田上真伍 (D2)、嶋田充宏 (D1))

回転運動と独立粒子運動との競合は、原子核の色々な領域においてその性質に大きな影響を及ぼす。特に、角運動量の大きな極限である高速回転状態は、この競合した状態を調べるのに適した状態であり、磁気回転やカイラル二重項、ウォブリング回転と

いった興味深い特異な回転バンドが数多くみられる。また、不安定核においては、ハロー構造やスキン構造といった安定核では見られなかった特有の構造が見つかっており、その回転状態においても、特徴的で興味深い性質が現れることが期待される。

ウォブリング回転バンドは、古典的非軸対称剛体の歳差運動を量子化した回転バンドであり、他方、カイラル二重項は3つの角運動量が右手系と左手系という鏡映対称な2つの組み方をとることにより生じる二重項であるが、これまでの研究により、微視的量子数射影計算においてもウォブリング回転やカイラル二重項が現れることは確認している。現在、ウォブリング回転については非軸対称変形の符号や大きさにどのように依存するのかという基本的な性質を調べており、カイラル二重項については角運動量の主軸からのずれや電磁遷移の選択則などを調べて行く予定である。また、磁気的な対称性の破れによる回転運動である磁気回転についても、どのように現れるのかのメカニズムを量子数射影法により研究する予定である。この研究は嶋田氏を中心に行われている。

発表論文

《 原著論文 》

Differences and similarities between fundamental and adjoint matters in $SU(N)$ gauge theories:

H. Kouno, T. Misumi, K. Kashiwa, T. Makiyama, T. Sasaki, and M. Yahiro,
Physical Review D **88** (2013) pp. 016002-1–14

Color screening potential at finite density in two-flavor lattice QCD with Wilson fermions:

J. Takahashi, K. Nagata, T. Saito, A. Nakamura, T. Sasaki, H. Kouno, and M. Yahiro,
Physical Review D **88**, (2013) pp. 114504-1–15

Confinement and Z_3 symmetry in three-flavor QCD:

H. Kouno, T. Makiyama, T. Sasaki, Y. Sakai, and M. Yahiro,
Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics **40** (2013) 095003 (19pp)

Effective model approach to meson screening masses at finite temperature:

M. Ishii, T. Sasaki, K. Kashiwa, H. Kouno, and M. Yahiro,

Physical Review D **89**, (2014) pp. 071901(R)-1–6.

Interplay between the 0_2^+ resonance and the nonresonant continuum of the drip-line two-neutron halo nucleus ^{22}C :

K. Ogata, T. Myo, T. Furumoto, T. Matsumoto, and M. Yahiro Physical Review C **88**, (2013) pp. 0246016-1–4.

Two-neutron decay from the 2_1^+ state of ^6He :

Y. Kikuchi, T. Matsumoto, K. Minomo, K. Ogata, Physical Review C **88**, (2013) pp. 021602(R)-1–5.

Reaction mechanism in odd-even staggering of reaction cross sections:

S. Sasabe, T. Matsumoto, S. Tagami, N. Furutachi, K. Minomo, Y. R. Shimizu, and M. Yahiro, Physical Review C **88**, (2013) pp. 037602-1–4.

Mass-number and isotope dependence of local microscopic optical potentials for polarized proton scattering:

M. Toyokawa, K. Minomo, and M. Yahiro, Physical Review C **88**, (2013) pp. 0546021-1–14.

Microscopic study of tetrahedrally symmetric nuclei by an angular-momentum and parity projection method:

S. Tagami, Y. R. Shimizu, and J. Dudek, Phys. Rev. C **87**, (2013) pp. 054306-1–15.

《Proceedings》

Meson mass and the sign problem at finite theta:

T. Sasaki, H. Kouno, and M. Yahiro, Journal of Physics: Conference Series **432** (2013) 012031 (5pp)

Quark-Hadron 混合相を考慮した中性子星の研究:

菅野 淳平, 佐々木 崇宏, 安武 伸俊, 河野 通郎, 河野 宏明, 八尋 正信, 原子核研究 Vol. 58 Supplement 2 (2014) pp. 68-70

New candidate for deformed halo nucleus in Mg isotopes through analysis of reaction cross sections:

S. Watanabe, K. Minomo, S. Tagami, M. Shimada, M. Kimura, M. Takechi, M. Fukuda, D. Nishimura, T. Suzuki, T. Matsumoto, Y. R. Shimizu, and M. Yahiro, EPJ Web of Conferences Vol. 66, 03095 (2014).

反応断面積の偶奇性における反応機構:

佐々部悟, 松本琢磨, 田上真伍, 古立直也, 蓑茂工将, 清水良文, 八尋正信
原子核研究, Volume 58, Supplement 2 (2014) pp. 39–41.

カイラル有効理論に基づく新しい G 行列有効相互作用の構築に向けて:

豊川将一, 蓑茂工将, 河野通郎, 八尋正信
原子核研究, Volume 58, Supplement 2 (2014) pp. 98–100.

反応断面積の解析で探る中性子過剰 Mg 同位体の性質:

渡邊慎, 蓑茂工将, 嶋田充宏, 田上真伍, 木村真明, 武智麻耶, 福田光順, 西村太樹, 鈴木健, 松本琢磨, 清水良文, 八尋正信
原子核研究, Volume 58, Supplement 2 (2014) pp. 103–105.

The suggested presence of the tetrahedral-symmetry in the ground-state configuration of the ${}^{96}_{40}\text{Zr}_{56}$ nucleus:

J. Dudek, D. Curien, D. Rouvel, K. Mazurek, Y. R. Shimizu, and S. Tagami, Physica Scripta **89** (2014), 054007.

Nuclear tetrahedral states and high-spin states studied using quantum number projection method:

S. Tagami, M. Shimada, Y. Fujioka, Y. R. Shimizu, and J. Dudek, Physica Scripta **89** (2014), 054013.

Gogny 相互作用を用いた四面体変形核の研究:

田上真伍, 清水良文, J. Dudek,
原子核研究, Volume 58, Supplement 2 (2014) pp.89–91.

変形した不安定核での 2 中性子相関:

嶋田充宏, 田上真伍, 清水良文,
原子核研究, Volume 58, Supplement 2 (2014) pp.86–88.

《 その他の論文 》

講演

《 海外での講演 》

Heavy quark potential at finite imaginary chemical potential:

J. Takahashi, T. Sasaki, K. Nagata, T. Saito, H. Kouno, M. Yahiro, and A. Nakamura,
Lattice 2013, August 2, Mainz, Germany.

Practical approach to the sign problem at finite theta-vacuum angle:

T. Sasaki, H. Kouno, and M. Yahiro,
Lattice 2013, July 31, 2013, Mainz, Germany.

The suggested presence of the tetrahedral-symmetry in the ground-state configuration
of the ${}^{96}_{40}\text{Zr}_{56}$ nucleus:

J. Dudek, D. Curien, D. Rouvel, K. Mazurek, Y. R. Shimizu, and S. Tagami,
20th Nuclear Physics Workshop “Marie & Pierre Curie” on “Structure and Dynamics
of Atomic Nuclei”, September 28, Kazimierz Dolny, Poland.

Nuclear tetrahedral states and high-spin states studied by quantum number projection
method:

S. Tagami, M. Shimada, Y. Fujioka, Y. R. Shimizu, and J. Dudek,
20th Nuclear Physics Workshop “Marie & Pierre Curie” on “Structure and Dynamics
of Atomic Nuclei”, September 28, Kazimierz Dolny, Poland.

以下、ポスター発表.

Constraints on quark-hadron transition from lattice QCD and neutron-star observation:

T. Sasaki, N. Yasutake, M. Kohno, H. Kouno, and M. Yahiro,
Extreme QCD 2013, August 5, 2013, Bern, Switzerland.

New candidate for deformed halo nucleus in Mg isotopes through analysis of reaction cross sections:

S. Watanabe, K. Minomo, S. Tagami, M. Shimada, M. Kimura, M. Takechi, M. Fukuda, D. Nishimura, T. Suzuki, T. Matsumoto, Y. R. Shimizu, and M. Yahiro
International Nuclear Physics Conference (INPC2013), June 4, 2013, Firenze, Italy.

《 国内での講演 》

Quark-Hadron 混合相を考慮した中性子星の研究:

管野 淳平, 佐々木 崇宏, 安武 伸俊, 河野 通郎, 河野 宏明, 八尋 正信,
三者若手夏の学校, 2013 年 8 月 4 日, ホテルたつき (愛知県)

格子 QCD を用いた有限密度系でのクォーク間ポテンシャル:

高橋純一, 永田桂太郎, 斎藤卓也, 中村純, 佐々木崇宏, 河野宏明, 八尋正信
RCNP/九大研究会「ハドロン物理と原子核物理のクロスオーバー」2013 年 9 月 5 日,
九州大学

格子計算および中性子星観測と無矛盾なクォーク-ハドロン相転移の研究:

佐々木崇宏, 安武伸俊, 河野通郎, 河野宏明, 八尋正信,
日本物理学会秋季大会, 2013 年 9 月 20 日, 高知大学

格子 QCD によるクォーク間ポテンシャルの化学ポテンシャル依存性:

高橋純一, 佐々木崇宏, 永田桂太郎, 斎藤卓也, 河野宏明, 八尋正信, 中村純
日本物理学会秋季大会, 2013 年 9 月 20 日, 高知大学

中性子星観測結果を考慮した QCD 相構造の研究:

佐々木崇宏, 安武伸俊, 河野通郎, 河野宏明, 八尋正信,
第 118 回日本物理学会九州支部例会, 2013 年 11 月 30 日, 久留米工業大学

虚数化学ポテンシャル領域の格子 QCD 計算によるクォーク数密度の研究:

高橋純一, 佐々木崇宏, 永田桂太郎, 河野宏明, 八尋正信, 中村純
第 119 回日本物理学会九州支部例会, 2013 年 11 月 30 日, 久留米工業大学

Meson screening mass の導出法とその応用:

石井優大, 佐々木崇宏, 河野宏明, 八尋正信

第 119 回日本物理学会九州支部例会, 2013 年 11 月 30 日, 久留米工業大学

混合相を考慮した中性子星内部の QCD 相転移:

菅野 淳平, 佐々木 崇宏, 安武 伸俊, 河野 通郎, 河野 宏明, 八尋 正信,
第 119 回日本物理学会九州支部例会, 2013 年 11 月 30 日, 久留米工業大学

NJL 模型における正則化法依存性について:

米村浩司, 石井優大, 佐々木崇宏, 河野宏明, 八尋正信
第 119 回日本物理学会九州支部例会, 2013 年 11 月 30 日, 久留米工業大学

QCD 相図と核物質状態方程式:

佐々木崇宏, 境祐二, 安武伸俊, 河野通郎, 河野宏明, 八尋正信,
九大分野横断型研究会 -クォーク・原子核・中性子星を俯瞰する-, 2014 年 3 月 5 日, 九州大学

有限密度領域の格子 QCD 計算手法の開発:

高橋純一, 佐々木崇宏, 河野宏明, 八尋正信, 中村純
日本物理学会第 69 回年次大会, 2014 年 3 月 28 日, 東海大学

Meson screening mass の温度・密度依存性に対する有効模型を用いた解析:

石井優大, 佐々木崇宏, 柏浩司, 河野宏明, 八尋正信
日本物理学会第 69 回年次大会, 2014 年 3 月 28 日, 東海大学

核子剥離反応の解析による分光学的因子の決定とその不定性:

蓑茂工将, 松本琢磨, 緒方一介, 八尋正信
RCNP 研究会 核子・ハイペロン多体系におけるクラスター現象, 2013 年 7 月 26 日, KGU
関内メディアセンター

反応断面積の偶奇性における反応機構:

佐々部悟, 松本琢磨, 田上真伍, 古立直也, 蓑茂工将, 清水良文, 八尋正信
2013 年度原子核三者若手夏の学校, 2013 年 8 月 5 日, ホテルたつき (愛知県)

カイラル有効理論に基づく新しい G 行列有効相互作用の構築に向けて:

豊川将一, 蓑茂工将, 河野通郎, 八尋正信
2013 年度原子核三者若手夏の学校, 2013 年 8 月 8 日, ホテルたつき (愛知県)

4 体 CDCC 法における離散的分解断面積の連続化とその応用:

松本琢磨

RCNP/九大研究会 原子核物理とハドロン物理のクロスオーバー, 2013 年 9 月 4 日, 九州大学

カイラル有効理論と G 行列理論による、QCD に基づいた核反応の理解に向けて:

豊川将一, 蓑茂工将, 河野通郎, 八尋正信

RCNP/九大研究会 原子核物理とハドロン物理のクロスオーバー, 2013 年 9 月 5 日, 九州大学

g 行列畳み込みモデルアプローチによる微視的核反応論:

蓑茂工将

RCNP/九大研究会 原子核物理とハドロン物理のクロスオーバー, 2013 年 9 月 6 日, 九州大学

CDCC analysis of breakup effects on ${}^6\text{Li}$ elastic scattering:

S. Watanabe, T. Matsumoto, K. Minomo, K. Ogata, and M. Yahiro

The 12th CNS International Summer School (CNSSS13), August 28, 2013, Saitama, Japan, Center for Nuclear Study (CNS), the University of Tokyo

アイコンール反応理論による中性子剥離反応断面積の計算:

松本琢磨, 蓑茂工将, 緒方一介, 八尋正信

日本物理学会秋季大会, 2013 年 9 月 21 日, 高知大学

カイラル有効理論に基づく新しい G 行列相互作用の構築と微視的反応解析:

豊川将一, 蓑茂工将, 河野通郎, 八尋正信

日本物理学会秋季大会, 2013 年 9 月 21 日, 高知大学

微視的理論による荷電交換反応の解析:

蓑茂工将, 八尋正信

日本物理学会秋季大会, 2013 年 9 月 21 日, 高知大学

${}^6\text{Li}$ 弾性散乱における分解効果の系統性:

渡邊慎, 松本琢磨, 蓑茂工将, 緒方一介, 八尋正信

日本物理学会秋季大会, 2013 年 9 月 21 日, 高知大学

原子核反応における 3 核子力の効果:

豊川将一, 蓑茂工将, 河野通郎, 八尋正信

第 119 回日本物理学会九州支部例会, 2013 年 11 月 30 日, 久留米工業大学

Melbourne 有効相互作用とカイラル有効理論の 3 核子力効果:

豊川将一, 蓑茂工将, 河野通郎, 八尋正信

ab initio 核多体問題ワークショップ, 2014 年 2 月 11 日, 京都大学

カイラル有効理論 3 核子力を含んだ有効相互作用と核-核散乱:

蓑茂工将, 豊川将一, 河野通郎, 八尋正信

ab initio 核多体問題ワークショップ, 2014 年 2 月 11 日, 京都大学

微視的理論による island of inversion の探索:

渡邊慎, 蓑茂工将, 嶋田充宏, 田上真伍, 木村真明, 武智麻耶, 福田光順, 西村太樹, 鈴木健, 松本琢磨, 清水良文, 八尋正信

ab initio 核多体問題ワークショップ, 2014 年 2 月 11 日, 京都大学

状態方程式策定の反応論的アプローチ:

蓑茂工将, 豊川将一, 渡邊慎, 嶋田充宏, 田上真伍, 木村真明, 河野通郎, 武智麻耶, 西村太樹, 鈴木健, 福田光順, 松本琢磨, 清水良文, 八尋正信

九大分野横断型研究会 -クォーク・原子核・中性子星を俯瞰する-, 2014 年 3 月 5 日, 九州大学

反応断面積で探る Mg 同位体の基底状態の性質 箸キ理論の観点から箸キ:

渡邊慎, 蓑茂工将, 嶋田充宏, 田上真伍, 木村真明, 武智麻耶, 福田光順, 西村太樹, 鈴木健, 松本琢磨, 清水良文, 八尋正信

[RIBF-ULIC-029] Progress and Future Plans of the Research Group for Reaction Cross Sections, 2014 年 3 月 11 日, 理研

Island of Inversion 及びその周辺における Mg 同位体の性質:

渡邊慎, 蓑茂工将, 嶋田充宏, 田上真伍, 木村真明, 武智麻耶, 福田光順, 西村太樹, 鈴木健, 松本琢磨, 清水良文, 八尋正信

日本物理学会第 69 回年次大会, 2014 年 3 月 28 日, 東海大学

カイラル有効理論の3核子力効果を含むG行列相互作用:
豊川将一, 蓑茂工将, 河野通郎, 八尋正信
日本物理学会第69回年次大会, 2014年3月30日, 東海大学

核-核散乱および分解反応に対するカイラル有効理論3核子力の効果:
蓑茂工将, 豊川将一, 河野通郎, 八尋正信
日本物理学会第69回年次大会, 2014年3月30日, 東海大学

陽子弾性散乱によるハロー核の密度分布の決定:
佐々部悟, 松本琢磨, 蓑茂工将, 古立直也, 八尋正信
日本物理学会第69回年次大会, 2014年3月30日, 東海大学

Gogny 相互作用を用いた四面体変形核の研究:
田上真伍, 清水良文, J. Dudek,
2013年度原子核三者若手夏の学校, 2013年8月8日, ホテルたつき (愛知県)

変形した不安定核での2中性子相関:
嶋田充宏, 田上真伍, 清水良文,
2013年度原子核三者若手夏の学校, 2013年8月8日, ホテルたつき (愛知県)

点群の射影演算子を用いた四面体変形スペクトルの分析:
田上真伍, 清水良文, J. Dudek,
日本物理学会秋季大会, 2013年9月21日, 高知大学朝倉キャンパス

ガウス基底を用いた変形した不安定核の回転状態の研究:
嶋田充宏, 田上真伍, 清水良文,
日本物理学会秋季大会, 2013年9月21日, 高知大学朝倉キャンパス

原子核における四面体変形 Gogny 相互作用を用いた量子数射影計算:
田上真伍, 清水良文, J. Dudek,
第119回日本物理学会九州支部例会, 2013年11月30日, 久留米工業大学

ガウス基底による弱束縛変形原子核の回転状態の研究:
嶋田充宏, 田上真伍, 清水良文,

第 119 回日本物理学会九州支部例会, 2013 年 11 月 30 日, 久留米工業大学

Gogny 相互作用を用いた量子数射影による四面体変形の研究:

田上真伍, 清水良文, J. Dudek,

日本物理学会第 69 回年次大会, 2013 年 3 月 27 日, 東海大学湘南キャンパス

ガウス基底を用いた変形した不安定核の回転状態の研究 II:

嶋田充宏, 田上真伍, 清水良文,

日本物理学会第 69 回年次大会, 2013 年 3 月 27 日, 東海大学湘南キャンパス

原子核の偏重変形優勢における Strutinsky 法の巨視的部分の寄与 I I:

高原哲士, 田嶋直樹, 清水良文,

日本物理学会第 69 回年次大会, 2013 年 3 月 27 日, 東海大学湘南キャンパス

以下, ポスター発表.

有限密度領域におけるカラー遮蔽ポテンシャル:

高橋純一, 永田桂太郎, 斎藤卓也, 中村純, 佐々木崇宏, 河野宏明, 八尋正信

基研研究会「熱場の量子論とその応用」2013 年 8 月 26 日, 京都大学基礎物理学研究所

反応断面積の解析で探る中性子過剰 Mg 同位体の性質:

渡邊慎, 蓑茂工将, 嶋田充宏, 田上真伍, 木村真明, 武智麻耶, 福田光順, 西村太樹, 鈴木健, 松本琢磨, 清水良文, 八尋正信

2013 年度原子核三者若手夏の学校, 2013 年 8 月 5 日, ホテルたつき (愛知県)

カイラル有効理論に基づく新しい G 行列有効相互作用の構築に向けて:

豊川将一, 蓑茂工将, 河野通郎, 八尋正信

2013 年度原子核三者若手夏の学校, 2013 年 8 月 5 日, ホテルたつき (愛知県)

反応断面積の偶奇性における反応機構:

佐々部悟, 松本琢磨, 田上真伍, 古立直也, 蓑茂工将, 清水良文, 八尋正信

2013 年度原子核三者若手夏の学校, 2013 年 8 月 5 日, ホテルたつき (愛知県)

外部資金

《 文部省科学研究費補助金 》

文部省科学研究費補助金, 特別研究員奨励費

第一原理計算に基づいた有効模型による QCD 相図・QCD 状態方程式の定量的決定

研究代表者: 佐々木崇宏

文部省科学研究費補助金, 特別研究員奨励費

θ 真空を考慮した格子 QCD による QCD 相構造の解明

研究代表者: 高橋純一

文科省科学研究費補助金、特別研究員奨励費

微視的理論による不安定核の構造と反応の系統的解明

研究代表者: 蓑茂工将

文科省科学研究費補助金、特別研究員奨励費

微視的反応・構造理論による不安定核構造の系統的解明

研究代表者: 渡邊慎

文科省科学研究費補助金、特別研究員奨励費

量子数射影法を用いた原子核におけるエキゾチックな変形・回転状態の研究

研究代表者: 田上真伍

文科省科学研究費補助金、基盤研究 (C)

高スピン・エキゾチック変形原子核の研究

研究代表者: 清水良文

《 文部省科学研究費補助金以外の外部資金 》

日本学術振興会特別研究員等及び共同研究の採択 (学外からの受け入れを含む)

蓑茂工将、日本学術振興会特別研究員 (PD)

佐々木崇宏、日本学術振興会特別研究員 (DC1)

田上真伍、日本学術振興会特別研究員 (DC2)

高橋純一、日本学術振興会特別研究員 (DC1)

渡邊慎、日本学術振興会特別研究員 (DC1)

他大学での研究と教育

清水良文：大阪大学理学部で「原子核の高速回転状態」というタイトルで3日間の集中講義を行った。

学部4年生卒業研究

【前期】秋山陽平、井生武志、平川優真、宮本昂拓 (担当: 松本)
コンピュータを用いた原子核研究超入門

【後期】平川優真、宮本昂拓 (担当: 八尋、清水、松本)
場の量子論、核反応論、核構造論の輪講・研究

修士論文

石井優大: (指導教員, 八尋正信): 有限温度における中間子遮蔽質量の有効モデルによる導出

江頭慧:(指導教員、八尋正信、松本琢磨): 二重畳み込みモデルにおける有効相互作用の密度依存性の取り扱い

佐々部悟:(指導教員、八尋正信、松本琢磨): 陽子弾性散乱によるハロー核の密度分布の決定

豊川将一:(指導教員、八尋正信): 原子核弾性散乱における3核子力効果

博士論文

佐々木崇宏: (指導教員、八尋正信): QCD thermodynamics under extreme conditions (極限状態における QCD 熱力学)[2014年3月授与]

その他の活動と成果

佐々木崇宏: セミナー (University of Wrocław, Division of Elementary Particle Theory)

佐々木崇宏: サイエンスカフェにて講演

蓑茂工将: RCNP/九大研究会「原子核物理とハドロン物理のクロスオーバー」, 世話人

蓑茂工将: 九大分野横断型研究会 —クォーク・原子核・中性子星を俯瞰する—, 世話人代表

蓑茂工将: 大阪大学核物理研究センター理論部セミナー, 講師

渡邊慎: 原子核三者若手夏の学校, 原子核パート世話人