

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

《 大学院 博士課程 》

田上 真伍 嶋田 充宏 高橋 純一 渡邊 慎
石井 優大 佐々部 悟 豊川 将一

《 大学院 修士課程 》

管野 淳平 米村 浩司 平川 優真 宮原 昌久

《 学部 卒業研究生 》

井生 武志 貞森 光汰 戸川 秀一 鳥越 悠平
開田 丈寛 福山 達也

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)、理論核物理学(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

格子QCDによるクォーク数密度の研究と有限温度のバリオン質量の決定法(八尋正信, 河野宏明 [佐賀大学], 高橋純一 (D2))

クォーク数密度は有限密度QCDの研究において最も基本的な物理量の一つである。有限化学ポテンシャル領域における状態方程式の決定や中性子星の内部構造の研究には非常に重要である。また、先行研究と異なる格子フェルミオン作用の使用や、実数化学ポテンシャル(μ)領域への異なるアプローチにより、クォーク数密度の結果が変わるかを見ることも重要である。

前年度までに、符号問題のない虚数 μ 領域において、クォーク数密度の虚数 μ 依存性

を得ていた。我々はクローバー改良型ウィルソンフェルミオン作用を用いている。先行研究ではスタッガードフェルミオン作用が用いられており、その結果と我々の結果は定量的に良い一致を見せた。

今年度は、クォーク数密度の虚数 μ 依存性を実数 μ 領域に外挿して、クォーク数密度の実数 μ 依存性を求めた。その結果、再重み付け因子のテイラー展開法による先行研究の結果と無矛盾なものが得られた。さらに先行研究よりも我々の結果の方が計算精度に優位性があることを示した。また実数 μ 領域への外挿の信頼性についても調べ、QCD 相転移温度以上では温度 (T) が上がるにつれて信頼できる μ/T の外挿範囲が大きくなることが分かった。

さらに、ハドロン共鳴ガス模型によりクォーク数密度の解析を行った。ハドロン共鳴ガス模型では、ハドロンとその共鳴状態が相互作用をしない自由気体と見なす。その模型が QCD 相転移温度以下のクォーク数密度の結果をよく再現することが分かった。この再現においてバリオンの質量が温度にのみ変化すると仮定し、バリオン質量の温度依存性をこの模型の範囲内で求めた。

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

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 (D2))

昨年度より、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。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、クォーク数密度が有限であるゲージ配位を作成した後、その作為的な力は取り除いて Gocksch の方法を用いる計画であった。

しかし、クォーク数密度を用いた状態密度の計算は、計算コストが非常に高いことが判明した。そこでクォーク質量が重い時に使えるホッピングパラメータ展開という手法を用い、リンク変数の掛け算のみで書けるポリヤコフループでクォーク数密度を近似することにした。本格的な計算は進んでいないが、この近似により計算時間が1万分の1程度になることは確実である。

また近年、状態密度を求めるアルゴリズムとして LLR アルゴリズムが提案された。このアルゴリズムを用いると、状態密度の値が 10^{-100} のオーダーで求まることが先行研究により示されている。クォーク数密度が高い時の状態密度は零化学ポテンシャルの場合非常に小さい。つまり、今我々が欲しい高密度領域の状態密度の値は LLR アルゴリズムで求められる可能性がある。

本研究は高橋氏を中心に推進されている。

中間子遮蔽質量の純虚数化学ポテンシャル依存性 (八尋正信, 河野宏明 [佐賀大学], 高橋純一 (D2), 石井優大 (D1))

核力は、 π 、 σ 、 ω 、 ρ 中間子交換によってよく記述される。それらの中間子の遮蔽質量を M_{scr} とすると、 $1/M_{\text{scr}}$ は核力の到達距離を表す。従って、 M_{scr} の実化学ポテンシャル μ 依存性、 $M_{\text{scr}}(\mu)$ は、核物質の状態方程式に対して本質的である。 $M_{\text{scr}}(\mu)$ は、遮蔽質量の純虚数化学ポテンシャル μ_1 依存性、 $M_{\text{scr}}(i\mu_1)$ を解析接続 ($i\mu_1 \rightarrow \mu$) することで決定できる。有限 μ_1 領域では格子 QCD 計算が可能であり、 $M_{\text{scr}}(i\mu_1)$ に対して信頼性の高い情報が得られるため、 $M_{\text{scr}}(i\mu_1)$ を有効模型を用いて計算することが重要である。

本年度では、まず、昨年度に考案した遮蔽質量の計算手法を μ_1 が有限の場合へと拡張した。また、この手法を用いて π 中間子と σ 中間子の $M_{\text{scr}}(i\mu_1)$ を計算した。 $M_{\text{scr}}(i\mu_1)$ は RW 周期性を示し、高温で $\mu_1/T = \pi/3$ の点で尖りを持つことが分かった。 $\mu_1/T = \pi/3$ での尖りは、RW 相転移の反映と考えられる。

本研究は石井氏を中心に推進されている。

π 、 a_0 中間子遮蔽質量に基づく $U_A(1)$ anomaly の温度依存性の決定 (八尋正信, 河野宏明 [佐賀大学], 高橋純一 (D2), 石井優大 (D1), 米村浩司 (M2))

QCD 真空はトポロジカルに非自明なゲージ配位を有し、このゲージ配位と chiral anomaly により $U_A(1)$ 対称性が破れる。温度 T が上昇するとトポロジカルに非自明なゲージ配位は抑制されるため、高温では $U_A(1)$ 対称性が実効的に回復すると予想されている。しかし、実効的回復の詳細な機構や、それがハドロンスペクトルに与える影響は解明されていない。

$U_A(1)$ 対称性の回復は、カイラル極限におけるカイラル相転移の次数と深く関わっている。カイラル相転移点付近で $U_A(1)$ 対称性が回復するとカイラル相転移の次数が 1 次になりうるということが Pisarski 氏と Wilczek 氏により指摘された。この可能性について格子 QCD や有効模型で議論されているが、次数は未だ確定していない。我々は Entanglement- Polyakov loop extended Nambu–Jona-Lasinio (EPNJL) 模型を用いて、 $U_A(1)$ 対称性の実効的な回復とカイラル相転移の関係を調べた。EPNJL 模型を用いて π 中間子と a_0 中間子の遮蔽質量の T 依存性を計算し、格子 QCD の計算結果と比較することで、 $U_A(1)$ 対称性の実効的回復を模型に取り込んだ。この EPNJL 模型を用いて、カイラル極限におけるカイラル相転移の次数を調べると、平均場近似の範囲では相転移の次数が 2 次となった。

この成果を論文にまとめ、現在 Physical Review D 誌に投稿中である。本研究は米村氏と石井氏を中心に推進され、米村氏の修士論文として纏められた。

ベクトル型相互作用が QCD 相図および中性子星の最大質量に及ぼす影響 (八尋正信, 河野宏明 [佐賀大学], 高橋純一 (D2), 石井優大 (D1), 管野淳平 (M2))

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。そのため、有効模型による計算が盛んに行われている。その際、信頼性の高い計算を行うために、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。我々はゼロ密度領域 ($\mu_q = 0$) で格子 QCD 計算をよく再現する Entanglement Polyakov-loop extended Nambu–Jona-Lasinio (EPNJL) 模型を出発点とした。格子 QCD 計算は他にも $\mu_q/T \leq 1$ (T は温度) の領域で行われており、この有限密度領域で EPNJL 模型の妥当性を確かめることが次の目標となる。

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く。その強さ G_V はクォーク・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。我々はまず、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、クォーク数密度がベクトル型相互作用の強さに敏感な量で、かつ格子 QCD を用いて計算されていることに着目して G_V の値を決定した。さらに、確定した G_V の値がクォーク・ハドロン相転移線に与える影響を評価した。その結果、低温・高密度領域ではハドロン相からクォーク相への相転移が大幅に遅れ、それに伴い高密度物質の状態方程式が非常に固くなることが分かった。得られた状態方程式は、 $2M_\odot$ をもつ中性子星観測の結果と無矛盾な最大質量を予言することも確認した。

本研究は管野氏を中心に推進され、修士論文として纏められた。その成果として Physical Review D 誌に掲載された。

2+1 フレーバー系における QCD 相図の解明 (八尋正信, 河野宏明 [佐賀大学], 高橋純一 (D2), 石井優大 (D1), 管野淳平 (M2), 米村浩司 (M2), 宮原昌久 (M1))

宇宙進化や中性子星の内部構造、原子核衝突実験で起こる現象は、クォーク・グルーオンが自由に飛び回っている状態 (QGP 相) とハドロン内部に閉じ込められている状態 (ハドロン相) の間を移行する。これらの現象を解明することが QCD 相図の解明につながる。QCD 相図への最も強力なアプローチは QCD の第一原理計算「格子 QCD 計算」であるが、符号問題のため、高温・低密度領域でしか計算可能でない。そこで、我々は高温・低密度領域で格子 QCD 計算の結果を再現する有効模型を構築し、その有効模型によって QCD 相図の全領域へとアプローチする。また、2 フレーバー系 (u, d クォークのみ) より 2+1 フレーバー系 (u, d, s クォーク) の方がより現実的である。それ故、QCD 相図の解明に 2+1 フレーバー系における解析が求められている。

ここで、実際に 2+1 フレーバー系において解析した時の問題点を考える。QCD の二つ重要な性質にカイラル対称性の自発的破れとクォークの閉じ込めがある。この二

つの性質の振る舞いは、それぞれ、カイラル相転移と閉じ込め相転移という現象から読み取ることができる。最近の格子 QCD 計算は 2+1 フレーバー系において、有限温度・ゼロ密度領域でカイラル相転移と閉じ込め相転移の温度間に数十 MeV ほどの差があるが示された。この相転移温度の差は、格子 QCD 計算の精度の向上によって明らかになったものである。我々はこの差が QCD の性質に基づく本質的なものと考えているが、この差を有意に再現する有効モデルは現在まで提示されていない。そこで、本研究では 2+1 フレーバー系において、この相転移温度の差を含めて格子 QCD 計算を再現する有効モデルの構築を目指している。

本研究は宮原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 [大阪大学核物理研究センター PD])

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離反応を記述する理論である。同じく核子離反応を記述する 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。

昨年度から引き続き、 ${}^6\text{He}$ の 2 中性子離反応の解析において ERT と Glauber 模型計算を比較を行なった。ERT の計算は、中性子剥離断面積、分解断面積、反応断面積のいずれも実験値と良く一致した。一方、Glauber 模型では Coulomb 相互作用を正確に取り扱うことができない為、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の分解断面積や反応断面積において実験値と ERT の結果とのずれが見られた。ただし、中性子剥離断面積においては、核力による効果が重要である為、Glauber 模型の結果と ERT の結果に大きな差は見られないことが分かった。

この成果は、Physical Review C 誌に掲載された。本研究は蓑茂氏を中心に推進された。

${}^{14,15,16}\text{C}$ 反応断面積に見られる反ハロー効果 (八尋正信、松本琢磨)

反応断面積は原子核の半径を反映しており、一般的には核子数の増加に伴ない、大きくなる。しかし、炭素同位体 ${}^{14,15,16}\text{C}$ の反応断面積では、 ${}^{15}\text{C}$ の反応断面積が ${}^{16}\text{C}$ の反応断面積に比べ大きくなっている。これは、反応断面積の偶奇性と呼ばれ、その原因の一つがハロー効果であることが分かっている。

${}^{15}\text{C}$ は ${}^{14}\text{C}$ に 1 中性子が弱く束縛され、薄く広がった密度分布を持ったハロー核である。基本的な殻模型で考えると、最外殻の中性子は d 軌道に入るが、 ${}^{15}\text{C}$ では s 軌道に入った構造を持つ。これは d 軌道と s 軌道が入れ変わり、殻進化が起っていることを示している。一方、 ${}^{16}\text{C}$ を ${}^{14}\text{C}$ と 2 中性子で考えると、最外殻の 2 中性子は主に d 軌道に

入った構造を持つことが実験的に示唆され、 ^{16}C が sd 殻の配位が元に戻った構造であることを示している。

本研究では、 $^{15,16}\text{C}$ を ^{14}C をコアに 1 中性子、2 中性子を加えた 2 体、3 体模型で記述し、上記の殻配位を現象論的 3 体力を考慮することで、反応断面積の偶奇性を説明できることを明かにした。

この成果は Physical Review C 誌に掲載された。

反応断面積で探る「逆転の島」 (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 [新潟大学助教]、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 [大阪大学核物理研究センター PD]、田上真伍 (D3)、渡邊慎 (D2)、嶋田充宏 (D2))

今日、理化学研究所の加速器施設 RI ビームファクトリー (RIBF) によって、従来では到達不可能であった不安定核の実験が可能になり、ドリップライン近傍核までの実験データが蓄積されつつある。これを受け、改めて注目を集めている領域に「逆転の島」がある。「逆転の島」は、核図表において陽子数が 10~12 (Ne, Na, Mg)、中性子数が 20~22 付近の領域であり、領域内の原子核は殻の逆転に伴う「魔法数の破れ」や「巨大な変形」といった異常な性質を示す。「逆転の島」領域において、近年 RIBF で測定された物理量の 1 つに、Mg 同位体の反応断面積がある。Mg 同位体は「逆転の島」をまたぎ、本来なら魔法数の $N = 28$ を持つ ^{40}Mg に到達する原子核である。従って、Mg 同位体の核構造の系統的決定は、Mg 同位体個々の性質を理解するに留まらず、「逆転の島」を俯瞰できる。本研究では、Mg 同位体の基底状態の構造を決定した上で、「逆転の島」の境界を断定することを目的とする。

我々は反対称化分子動力学法と二重畳み込み模型を用いた微視的理論によって、測定された反応断面積の解析を行った。我々の理論は実験データとよく一致しており、これをもって理論の信頼性を確認し、Mg 同位体の基底状態の性質を決定した。この結果を基にすると、 ^{31}Mg ($N = 19$) から ^{40}Mg ($N = 28$) まで巨大な変形が続いていたため、この領域を「巨大変形の半島」と名付けた。「巨大変形の半島」は、従来から用いられている「逆転の島」の拡大も示唆する結果である。

ここまでの成果は、理論論文及び実験論文として Physical Review C 誌にそれぞれ掲載された。来年度は Na や Al 同位体の解析を進め、「逆転の島」の北の境界を断定する。本研究は渡邊氏を中心に推進された。

^6Li 入射反応における反応機構の解明 (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]、渡邊慎 (D2))

^6Li は中性子 (n)、陽子 (p)、 ^4He の 3 つの粒子それぞれが緩く束縛した原子核であり、

反応の途中で容易に分解する。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つの構成粒子($n, p, {}^4\text{He}$)に分解する効果を陽に取り入れた計算を行った。本年度は特に、 ${}^6\text{Li} + {}^{209}\text{Bi}$ 散乱に対して、 ${}^6\text{Li} + {}^{209}\text{Bi} \rightarrow n + p + {}^4\text{He} + {}^{209}\text{Bi}$ (4体分解反応) と ${}^6\text{Li} + {}^{209}\text{Bi} \rightarrow d + {}^4\text{He} + {}^{209}\text{Bi}$ (3体分解反応) のどちらのチャネルが反応に本質的であるかに注目した。4体CDCC計算において、これらのチャネルは渾然一体となったものが得られるため、そこから4体分解反応と3体分解反応それぞれのチャネルを引き出す必要がある。本研究では近似的にこれらの分離を行い、その結果、3体分解反応が重要であることが分かった。これは「 ${}^6\text{Li}$ 内部の重陽子(d)は分解しない」という現象論的モデルから導出した結論を支持する結果である。

本研究は渡邊氏を中心に推進された。

二重畳み込みモデルを用いた ${}^3, {}^4\text{He}$ -核弾性散乱の解析 (八尋正信、松本琢磨、蓑茂工将 [大阪大学核物理研究センターPD]、豊川将一 (D1))

${}^4\text{He}$ 原子核は、4つの核子が強く束縛した非常に励起しにくい原子核である。通常、核-核間光学ポテンシャルは g 行列相互作用を入射核密度と標的核密度で畳み込む、二重畳み込みモデルによって微視的に求まるが、この g 行列相互作用には既に入射核や標的核の励起による効果が一部含まれている。このため通常二重畳み込みモデルを用いた解析では、入射核(${}^4\text{He}$)励起の効果を過大評価してしまい、系統的に ${}^4\text{He}$ -核弾性散乱の実験データを再現できない。この問題の解決にあたり、本研究では多重散乱理論に基づいて二重畳み込みモデルから入射核励起の効果を排除する計算方法を提案した。

通常二重畳み込みモデルでは、2核子が入射核と標的核が重なり合った密度の中で相互作用する、frozen density 近似を用いて計算される。一方で多重散乱理論によると、入射核(${}^4\text{He}$)が散乱過程で励起しないことは、2核子が標的核の密度の中で相互作用する、target density 近似を用いることにより表現できる。このtarget density 近似を用いた解析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target density 近似によって系統的に実験データがよく再現できることが確かめられた。

本研究の成果はPhysical Review C誌に掲載された。また、 ${}^3\text{He}$ -核弾性散乱に対しても全く同様の論理が成り立ち、その成果は現在Physical Review C誌に投稿中である。

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、蓑茂工将 [大阪大学核物理研究センターPD]、古立直也 [北海道大学]、佐々部悟 (D1))

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、本研究では典型的なハロー核である ${}^6\text{He}$ を例にとり、新しい実験結果からハロー核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、影散乱を考察することにより相関に対する理解を得た。

昨年度に引き続き、芯核の励起が期待されるハロー核についての理論的な解析を継続して進めた。

本研究は佐々部氏を中心に進められた。

t 行列畳み込み模型を用いた高エネルギー領域における核子-核散乱の解析 (八尋正信、松本琢磨、河野通郎 [大阪大学核物理研究センター協同研究員]、豊川将一 (D1)、平河優真 (M1))

現在、高エネルギー散乱の実験が盛んに行われており、反応解析の際には Glauber 模型を用いるのが標準的になっている。しかし、このモデルは direct process しか取り扱えず、高エネルギー領域においても無視できない knock-on exchange process の影響を取り込めない。そこで両方の効果を取り入れるため、核子-核子間の t 行列を用いることを考える。本研究の目的は、 t 行列畳み込み模型がどのエネルギー領域で核子-核及び核-核散乱を記述するかを分析することである。

核子-核弾性散乱は、入射粒子と標的核間の相互作用を複素一体ポテンシャル (光学ポテンシャル) で表すことにより記述される。この光学ポテンシャルは、核力に基づいて導出された核物質中の核力 (核内有効核力) を、原子核の密度で畳み込み積分を行うことによって微視的に構築される。

核子間に働く有効相互作用としては一般に g 行列が考えられるが、入射エネルギーが 200[MeV/nucl.] 以上の高エネルギー領域では媒質効果が無視でき、自由空間での核子-核子散乱から構築された t 行列を用いることができると考えられる。また t 行列には密度依存性が無く、 g 行列に比べて取り扱いが容易であるという長所もある。本研究では、1985年に提唱された歴史のある Franey Love t 行列相互作用を用いて、1核子当りの入射エネルギーが 200[MeV]–1[GeV] の高エネルギー領域における p - ${}^{12}\text{C}$ 、及び ${}^{12}\text{C}$ - ${}^{12}\text{C}$ の散乱の解析を行った。

p - ${}^{12}\text{C}$ に関しては、反応断面積及び微分断面積の実験値をほぼ再現し、Franey Love t 行列が核子-核散乱の解析において有用であることが示唆された。一方、 ${}^{12}\text{C}$ - ${}^{12}\text{C}$ については全エネルギー領域で実験データを 15% 程度過大評価した。このことから、核-核散乱においては非局所性や媒質効果、あるいは標的核内でのやりとりによる pion 生成の抑制といった効果を加味しなければならないことが推察される。

今後は、核子-核子散乱から新たに t 行列を構築し、核子-核及び核-核散乱の解析を行

う予定である。

本研究は平河氏と豊川氏を中心に推進された。

弾性散乱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 [大阪大学核物理研究センター協同研究員]、蓑茂工将 [大阪大学核物理研究センター PD]、豊川将一 (D1))

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、核力の 2 核子力や 3 核子力を系統的に決定できる理論となっている。3 核子力は少数核子系のみでなく、核物質の形成や中性子星の構造などにおいても重要な役割を果たすと考えられている。また、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、核反応に対して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-核および核-核弾性散乱におけるカイラル有効理論の 3 核子力効果を、簡便な方法により評価した。 g 行列理論により計算された核物質の一粒子ポテンシャルが、カイラル有効理論の 2 核子力と、現象論的 2 核子力である Bonn-B ポテンシャルとで、非常に似通った性質を持つことがわかった。この事実に基づき、核物質中で評価したカイラル有効理論の 3 核子力を、Bonn-B ポテンシャルから構築された Melbourne g 行列相互作用に導入することで、その効果を半定量的に分析する方法を提案した。その結果、核-核散乱では 3 核子力効果が微分断面積の角分布後方で本質的に重要で、実験データ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 3 核子力効果が実験データが利用可能な角分布前方で小さく、その重要性はより後方で実験データが測定されることで確かめられる。

本研究は豊川氏と河野氏を中心に推進され、その成果は Physical Review C 誌および Journal of Physics G 誌に掲載された。

カイラル有効理論の核力に基づく有効相互作用の構築 (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]、河野通郎 [大阪大学核物理研究センター協同研究員]、蓑茂工将 [大阪大学核物理研究センター PD]、豊川将一 (D1))

カイラル有効理論から決定された核力は、核構造の第一原理計算や殻模型計算などに適用され、3 核子力効果についても議論されてきた。しかし、核子-核散乱や核-核散乱などの核反応をカイラル有効理論の核力に基づいて記述する試みは行われておらず、3 核子力効果も定量的には解明されていない。

本研究では、カイラル有効理論の核力 (2 核子力+3 核子力) から g 行列理論により有効相互作用を構築することで、核子-核および核-核弾性散乱を系統的に解析し、核反応における 3 核子力効果を定量的に分析する。 g 行列理論により直接的に求まる有効相互作用は、非局所性を持つため畳み込み模型などの微視的反応理論への適用が困難

で、その適用範囲も狭い。この問題を解決するために、非局所有効相互作用と、エネルギー殻上 (on-shell) および on-shell 近傍の off-shell で等価な性質を持つ局所有効相互作用を構築する必要がある。現在、局所有効相互作用の構築に成功し、核子-核および核-核弾性散乱の詳細な解析を行っている。

本研究は豊川氏と河野氏を中心に推進された。

格子上の核子系有効場理論による核子系の統一的記述 (八尋正信、原田恒司 [九州大学基幹教育院教授]、中村純 [広島大学情報教育研究センター教授]、佐々部悟 (D1))

微視的原子核理論に用いられる有効核力は安定核の情報を元に構築されており、不安定核に適用した際にその不定性が大きな問題となる。この不定性を排除するためには、有効核力の構築と核子多体系の記述とを同一の理論的枠組みで実行する必要がある。

そこで本研究では、QCD と低エネルギーで等価な核子系有効場理論を格子上に構築することでこれを実行する。本年度は、格子上に核子系有効場理論を定式化し、数値計算の実行可能性を検討した。

本研究は佐々部氏を中心に進められた。

原子核における四面体変形の研究 (清水良文、田上真伍 (D3)、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変形しており、そのような変形核の多くは軸対称な回転楕円体変形をしていると考えられている。これに対し、原子核構造でこれまであまり調べられて来なかった、いくつかのエキゾチック変形の存在が、近年の平均場理論の計算により示唆されている。そのようなエキゾチック変形の一つである正四面体と同じ対称性をもつ四面体変形は、特定の陽子数または中性子数の原子核の安定な変形状態となると考えられている。これらの特定の粒子数は四面体変形の魔法数と呼ばれる。

昨年度、四面体変形した状態に Gogny 相互作用を用いた量子数射影を行った結果、非常に大きな相関エネルギーが得られることを示していた。本年度は四面体変形に加えて他の八重極変形に対しても量子数射影を行い、これらの変形でも四面体変形と同程度の大きな相関エネルギーが得られた。また、四面体変形の相関エネルギーが Zr の同位体でほぼ同じ程度の値であり、四面体変形の異なる魔法数にほとんど依らないことを示した。以上を論文としてまとめた。

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 (D3)、嶋田充宏 (D2))

原子核構造で広く用いられており、信頼性の高い相互作用の一つに有限レンジの

Gogny 相互作用がある。Gogny 相互作用は、平均場計算と量子数射影計算の双方に用いることができ、首尾一貫した計算が行える。昨年度までに、我々は Gogny 相互作用を用いた量子数射影の計算プログラムを作成しており、それを四面体変形に適用してきた。

しかしながら、この計算プログラムは通常の楕円体変形にも適用可能である。また、変形度などが異なる平均場の状態を重ねあわせる計算も行えるため、本年度は、異なる角速度の状態を重ねあわせて高スピン状態を記述する研究と非軸対称度 γ が異なる状態を重ねあわせてエネルギースペクトルに見られる γ バンドを記述する研究を行った。

異なる角速度の状態を重ねあわせて高スピン状態を記述する方法は、一つの角速度の状態のみから角運動量射影した場合には考慮されていなかった、角運動量が大きくなるに従って内部状態が遠心力などを感じて変化する効果を取り込むことが出来る。

γ バンドは非軸対称度 γ の振動として記述する方法と、ある決まった γ の状態の回転として記述する方法がある。異なる γ を重ねあわせて量子数射影する方法は振動と回転の双方の記述が可能である。計算結果より、それぞれの γ の平均場の状態が寄与している割合が γ に対して広がっており、 γ バンドの状態では γ 有限の状態にピークが生じ、結果的にある決まった γ の状態の回転とみなせると言える。現在、 γ バンドと基底バンドとの間の電磁遷移を計算しており、それを加えて論文にまとめる予定である。

この研究は田上氏と嶋田氏を中心に行われている。

角運動量射影法とクランキング法との整合のための角速度混合計算 (清水良文、田上真伍 (D3)、嶋田充宏 (D2))

角運動量射影する平均場の状態としては、回転の効果を取り込むためにクランキングをした状態がしばしば用いられる。特に、高スピン状態を記述するうえでは、回転の効果を平均場に取り入れることが重要である。しかし、角運動量射影では回転バンドのすべての状態が 1 つの内部状態から得られるため、クランキングの角速度によって多くの異なる回転バンドが得られ、どう処理すればよいかという問題が浮上する。つまり、角運動量射影法とクランキング法を整合させることが必要となる。また、ある一つの角速度の状態からの射影計算では、慣性能率がスピンと共に小さくなる、もしくは一定になるという不自然なスピン依存性を示すという問題もある。

これらの問題の解決法として、角速度混合した角運動量射影計算を行った。これは、異なる角速度の状態を角運動量射影することによって得られるいくつかの状態を重ね合わせることで最終的な状態を得るという方法である。Gogny-D1S 相互作用を用いた計算を行い、この方法により慣性能率のスピン依存性が自然な結果を示すようになることを確かめた。また、この方法が角速度の選び方にほとんど依らず、混ぜる角速度の数も少なくてもよいということを確認した。角速度混合した角運動量射影法はクラン

キング法と角運動量射影法を整合させる方法であり、信頼性の高い原子核の高速回転状態を得る方法として有用であることがわかった。この研究は、嶋田氏を中心に行われている。

角運動量射影法による高速回転する非軸対称変形核の研究 (清水良文、田上真伍 (D3)、嶋田充宏 (D2))

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、ウォブリング回転やカイラル二重項といった興味深い特異な回転バンドが数多く観測されている。

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ような回転状態であり、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、昨年度までの研究により、微視的な角運動量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。本年度は、ウォブリング運動において、クランキングする軸に対する非軸対称変形の向きを変えて調査し、ウォブリング運動の起こるメカニズムの分析を進めた。また、カイラル二重項については、電磁遷移について調査した。カイラル二重項が持つB(M1)遷移の特徴的な性質が角運動量射影計算でも現れることを確認し、カイラル二重項の出現を微視的立場から裏付けることができた。この研究は、嶋田氏を中心に行われている。

変形混合した角運動量射影計算による Mg 同位体の低スピン状態の研究 (八尋正信、清水良文、田上真伍 (D3)、嶋田充宏 (D2)、渡邊慎 (D2))

近年の加速器技術の発展により、中性子過剰核のデータが蓄積され、「逆転の島 (Island of inversion)」に関する研究が注目を集めている。逆転の島の領域内の原子核は「魔法数の破れ」といった安定核では見られない性質を示す。最近では、この領域を超えた Mg 同位体までの低スピン状態のエネルギーや電磁遷移確率などの物理量が測定されている。

原子核の回転状態を微視的に記述できる方法として、角運動量射影法が知られている。これまでの我々の研究により、原子核構造計算における信頼性の高い有効相互作用の1つである有限レンジの Gogny 相互作用を用いて、1つの変形度の状態からの角運動量射影だけでなく、変形度の異なる状態について重ね合わせた計算を行うことも可能になった。そこで、現在、この方法を用いて Mg 同位体について、励起エネルギーなどの計算を行っており、変形混合のより改善する傾向が見られる。実験で測定されているいくつかの物理量について、変形度について重ね合わせない場合などの結果と

の比較を行う予定である。この研究は、嶋田氏、渡邊氏を中心に行われている。

発表論文

《原著論文》

Quark number densities at imaginary chemical potential in $N_f = 2$ lattice QCD with Wilson fermions and its model analyses:

J. Takahashi, H. Kouno, and M. Yahiro,
Physical Review D **91**, (2015) pp. 014501-1–11.

Determination of the strength of the vector-type four-quark interaction in the entanglement Polyakov-loop extended Nambu–Jona-Lasinio model:

J. Sugano, J. Takahashi, M. Ishii, H. Kouno, and M. Yahiro,
Physical Review D **90**, (2014) pp. 037901-1–5.

Ground-state properties of neutron-rich Mg isotopes:

S. Watanabe, K. Minomo, M. Shimada, S. Tagami, M. Kimura, M. Takechi, M. Fukuda, D. Nishimura, T. Suzuki, T. Matsumoto, Y. R. Shimizu, and M. Yahiro,
Physical Review C **89** (2014) pp. 044610-1–13.

Microscopic optical potentials for ^4He scattering:

K. Egashira, K. Minomo, M. Toyokawa, T. Matsumoto, and M. Yahiro,
Physical Review C **89** (2014) pp. 064611-1–8.

Eikonal reaction theory for two-neutron removal reactions:

K. Minomo, T. Matsumoto, K. Egashira, K. Ogata and M. Yahiro,
Physical Review C **90** (2014) pp. 027601-1–4.

Antihalo effects on reaction cross sections for $^{14,15,16}\text{C}$ isotopes;

T. Matsumoto and M. Yahiro,
Physical Review C **90** (2014) pp. 014602(R)-1–4.

Evidence of halo structure in ^{37}Mg observed via reaction cross sections and intruder

orbitals beyond the island of inversion:

M. Takechi, S. Suzuki, D. Nishimura, M. Fukuda, T. Ohtsubo, M. Nagashima, T. Suzuki, T. Yamaguchi, A. Ozawa, T. Moriguchi, H. Ohishi, T. Sumikama, H. Geissel, N. Aoi, Rui-Jiu Chen, De-Qing Fang, N. Fukuda, S. Fukuoka, H. Furuki, N. Inabe, Y. Ishibashi, T. Itoh, T. Izumikawa, D. Kameda, T. Kubo, M. Lantz, C. S. Lee, Yu-Gang Ma, K. Matsuta, M. Mihara, S. Momota, D. Nagae, R. Nishikiori, T. Niwa, T. Ohnishi, K. Okumura, M. Ohtake, T. Ogura, H. Sakurai, K. Sato, Y. Shimbara, H. Suzuki, H. Takeda, S. Takeuchi, K. Tanaka, M. Tanaka, H. Uenishi, M. Winkler, Y. Yanagisawa, S. Watanabe, K. Minomo, S. Tagami, M. Shimada, M. Kimura, T. Matsumoto, Y. R. Shimizu, and M. Yahiro,

Physical Review C **90** (2014) pp. 061305(R)-1–5.

Effects of a chiral three-nucleon force on nucleus-nucleus scattering:

K. Minomo, M. Toyokawa, M. Kohno, and M. Yahiro,

Physical Review C **90** (2014) pp. 051601(R)-1–5.

Roles of chiral three-nucleon forces in nucleon-nucleus scattering:

M. Toyokawa, K. Minomo, M. Kohno, and M. Yahiro,

Journal of Physics G **42** (2015) pp. 025104-1–15.

Breakup and finite-range effects on the ${}^8\text{B}(d,n){}^9\text{C}$ reaction:

T. Fukui, K. Ogata, and M. Yahiro,

Physical Review C **91** (2015) pp. 014604-1–8.

Tetrahedral symmetry in Zr nuclei: calculations of low-energy excitations with Gogny interaction:

S. Tagami, Y. R. Shimizu, and J. Dudek,

Journal of Physics G **42**(2014) pp. 015106-1–22.

⟨⟨Proceedings⟩⟩

Heavy quark potential at finite imaginary chemical potential:

J. Takahashi, T. Sasaki, K. Nagata, T. Saito, H. Kouno, M. Yahiro, and A. Nakamura, Proceedings of Science (Lattice 2013) 166 (2014).

Breakup dynamics in ${}^6\text{Li}$ elastic scattering with four-body and three-body CDCC:

S. Watanabe, T. Matsumoto, K. Minomo, K. Ogata, and M. Yahiro,
Journal of Physics: Conference Series **569** (2014) pp. 012048-1–4.

CDCC studies on clustering physics:

T. Matsumoto, K. Ogata, K. Minomo and M. Yahiro,
Journal of Physics: Conference Series **569** (2014) pp. 012036-1–7.

連続状態離散化チャネル結合法の発展と応用:

松本琢磨,

原子核研究, Volume 59, Supplement 1 (2015) pp. 14-21.

核反応におけるカイラル3核子力効果の解明に向けて:

豊川将一, 蓑茂工将, 河野通郎, 八尋正信,

原子核研究, Volume 59, Supplement 1 (2015) pp. 64-66.

《その他の論文》

講演

《海外での講演》

Quark number densities at imaginary chemical potential and its extrapolation to large real chemical potential by the effective model:

J. Takahashi, J. Sugano, M. Ishii, H. Kouno, and M. Yahiro,

The 32nd International symposium on lattice field theory (LATTICE 2014), June 23,
New York, USA.

Temperature dependence of meson screening masses; a comparison of effective model with lattice QCD:

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

The 32nd International symposium on lattice field theory (LATTICE 2014), June 23,
New York, USA.

The extrapolation of the quark number density by lattice QCD and effective model from imaginary to real chemical potential:

J. Takahashi, J. Sugano, M. Ishii, H. Kouno, and M. Yahiro,
Forth Joint Meeting of the APS Division of Nuclear Physics and the Physical Society
of Japan (HAWAII 2014), October 11, Hilton Waikoloa Village, Hawaii island.

Analysis of meson screening mass at finite temperature and density in the effective
model:

M. Ishii, T. Sasaki, K. Kashiwa, H. Kouno, and M. Yahiro,
Forth Joint Meeting of the APS Division of Nuclear Physics and the Physical Society
of Japan (HAWAII 2014), October 11, Hilton Waikoloa Village, Hawaii island.

Determination of the strength of vector interaction by Lattice QCD:

J. Sugano, J. Takahashi, M. Ishii, H. Kouno, and M. Yahiro,
Forth Joint Meeting of the APS Division of Nuclear Physics and the Physical Society
of Japan (HAWAII 2014), October 11, Hilton Waikoloa Village, Hawaii island.

Ground-state properties of neutron-rich Mg isotopes through reaction cross sections:

S. Watanabe, K. Minomo, M. Shimada, S. Tagami, M. Kimura, M. Takechi, M. Fukuda,
D. Nishimura, T. Suzuki, T. Matsumoto, Y. R. Shimizu, and M. Yahiro,
Direct Reactions with Exotic Beams (DREB2014), July 2, Darmstadtium, Darmstadt
(Germany).

Systematic analyses of one- and two-neutron removal cross sections with eikonal reac-
tion theory:

T. Matsumoto, K. Ogata, K. Minomo and M. Yahiro,
Direct Reactions with Exotic Beams (DREB2014), July 4, Darmstadtium, Darmstadt
(Germany).

Systematical analysis of three- and four-body breakup reactions with CDCC:

T. Matsumoto, K. Ogata, K. Minomo S. Watanabe and M. Yahiro,
BREAKUP REACTIONS AND RELATED TOPICS July 16, ECT*, Trento, Italy.

Effect of chiral three nucleon forces on elastic scattering:

M. Toyokawa, K. Minomo, M. Kohno, M. Yahiro,
Forth Joint Meeting of the Nuclear Physics Division of the American Physical Society
and the Physical Society of Japan (HAWAII 2014), October 8, Hilton Waikoloa Village,

Hawaii island.

Determination of density distribution of halo nuclei by proton elastic scattering:

S. Sasabe, T. Matsumoto, K. Minomo, N. Furutachi, M. Yahiro,

Forth Joint Meeting of the Nuclear Physics Division of the American Physical Society and the Physical Society of Japan(HAWAII 2014), October 9, Hilton Waikoloa Village, Hawaii island.

Study of high spin states in the triaxial deformed nuclei using an angular momentum projection method:

M. Shimada, S. Tagami, Y. R. Shimizu,

Forth Joint Meeting of the Nuclear Physics Division of the American Physical Society and the Physical Society of Japan(HAWAII 2014), October 8, Hilton Waikoloa Village, Hawaii island.

以下, ポスター発表.

Determination of vector interaction from lattice QCD results at imaginary chemical potential:

J. Takahashi, J. Sugano, M. Ishii, H. Kouno, and M. Yahiro,

Workshop on QCD under Extreme Conditions (XQCD 2014), June 20, 2014, New York, USA.

Analysis of meson screening mass in the entanglement PNJL model:

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

Workshop on QCD under Extreme Conditions (XQCD 2014), June 20, 2014, New York, USA.

《 国内での講演 》

格子 QCD によるクォーク数密度の計算と hadron resonance gas model による解析:

高橋純一, 河野宏明, 八尋正信,

第 120 回日本物理学会九州支部例会, 2014 年 12 月 6 日, 崇城大学

有効模型を用いた中間子遮蔽質量の解析:

石井優大, 河野宏明, 八尋正信,
第 120 回日本物理学会九州支部例会, 2014 年 12 月 6 日, 崇城大学

格子 QCD に基づくクォーク間ベクトル相互作用の強さの決定:
管野淳平, 高橋純一, 石井優大, 河野宏明, 八尋正信,
第 120 回日本物理学会九州支部例会, 2014 年 12 月 6 日, 崇城大学

格子 QCD によるクォーク数密度の算出と hadron resonance gas model によるバリオン
質量の決定の可能性について:
高橋純一, 河野宏明, 八尋正信,
九大研究会-格子 QCD と現象論模型による有限温度・有限密度の物理の解明-, 2015 年
2 月 19 日, 九州大学

EPNJL 模型を用いた中間子遮蔽質量の導出:
石井優大, 河野宏明, 八尋正信,
九大研究会-格子 QCD と現象論模型による有限温度・有限密度の物理の解明-, 2015 年
2 月 19 日, 九州大学

有効模型に基づく QCD 相図の高密度領域の解析:
管野淳平, 高橋純一, 石井優大, 河野宏明, 八尋正信,
九大研究会-格子 QCD と現象論模型による有限温度・有限密度の物理の解明-, 2015 年
2 月 19 日, 九州大学

中間子遮蔽質量における $U_A(1)$ 対称性の実効的回復:
石井優大, 米村浩司, 高橋純一, 河野宏明, 八尋正信,
日本物理学会 第 70 回年次大会, 2015 年 3 月 22 日, 早稲田大学

multi-quark 相互作用の QCD 相図における役割:
管野淳平, 高橋純一, 石井優大, 河野宏明, 八尋正信,
日本物理学会 第 70 回年次大会, 2015 年 3 月 24 日, 早稲田大学

Ground-State Properties of Mg Isotopes in and beyond the Island of Inversion through
Reaction Cross Sections:
S. Watanabe, K. Minomo, M. Shimada, S. Tagami, M. Kimura, M. Takechi, M. Fukuda,
D. Nishimura, T. Suzuki, T. Matsumoto, Y. R. Shimizu, and M. Yahiro,

Advances in Radioactive Isotope Science (ARIS2014), June 2, the University of Tokyo

CDCC Studies on Cluster Physics:

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

State of the Art in Nuclear Cluster Physics (SOTANCP3), May 28, KGU (Kanto Gakuin University) Kannai Media Center

核反応におけるカイラル3核子力効果の解明に向けて:

豊川将一, 蓑茂工将, 河野通郎, 八尋正信

2014年度原子核三者若手夏の学校, 2014年8月7日, パノラマランド木島平

反応断面積による不安定核の変形度の決定:

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

第120回日本物理学会九州支部例会, 2014年12月6日, 崇城大学

3体模型を用いた $p+{}^6\text{He}$ 散乱の解析:

佐々部悟, 松本琢磨, 蓑茂工将, 八尋正信

第120回日本物理学会九州支部例会, 2014年12月6日, 崇城大学

弾性散乱におけるカイラル3核子力効果:

豊川将一, 蓑茂工将, 河野通郎, 八尋正信

第120回日本物理学会九州支部例会, 2014年12月6日, 崇城大学

畳み込み模型による核子-核散乱の解析:

平河優真, 豊川将一, 松本琢磨, 八尋正信

第120回日本物理学会九州支部例会, 2014年12月6日, 崇城大学

弾性散乱におけるカイラル3核子力効果:

豊川将一, 蓑茂工将, 河野通郎, 八尋正信

RCNP 研究会 "QCD を基礎とする核子多体系物理の理解", 2014年12月19日, 大阪大学

Systematic analysis of nuclear reaction involving unstable nuclei with few-body model:

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

International Molecule-type workshop Structure and reaction of light exotic nuclei,
Yukawa Institute for Theoretical Physics, Jan. 19, Kyoto University

反応断面積の解析で探る変形及びハロー構造:

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

九大研究会 -中性子過剰領域における弱束縛系の物理-, 2015年3月9日, 九州大学

高エネルギー陽子散乱を用いた軽いハロー核の構造の決定:

佐々部悟, 松本琢磨, 蓑茂工将, 八尋正信

九大研究会 -中性子過剰領域における弱束縛系の物理-, 2015年3月9日, 九州大学

少数系模型を用いた反応断面積の偶奇性の解析:

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

九大研究会 -中性子過剰領域における弱束縛系の物理-, 2015年3月9日, 九州大学

Na 同位体の反応計算の現状と見通し:

渡邊慎

[RIBF-ULIC-miniWS-033] Plan for Ni Reaction Cross Section Measurement and Related Topics, 2015年3月16日, 理研

反応断面積偶奇性と中性子ハロー核構造の関係:

松本琢磨, 八尋正信

日本物理学会第70回年次大会, 2015年3月22日, 早稲田大学

高エネルギー陽子散乱によるハロー構造の決定:

佐々部悟, 松本琢磨, 蓑茂工将, 八尋正信

日本物理学会第70回年次大会, 2015年3月22日, 早稲田大学

カイラル有効理論と Brueckner-Hartree-Fock 理論を用いた核反応の解析:

豊川将一, 八尋正信, 松本琢磨, 蓑茂工将, 緒方一介, 河野通郎

日本物理学会第70回年次大会, 2015年3月23日, 早稲田大学

t 行列畳み込み模型による高エネルギー核子-核散乱の解析:

平河優真, 松本琢磨, 豊川将一, 河野通郎, 八尋正信

日本物理学会第 70 回年次大会, 2015 年 3 月 23 日, 早稲田大学

角速度混合した角運動量射影法による原子核回転状態:

嶋田充宏, 田上真伍, 清水良文,

日本物理学会第 70 回年次大会, 2015 年 3 月 24 日, 早稲田大学早稲田キャンパス

角運動量射影計算による非軸対称変形核の回転運動:

嶋田充宏, 田上真伍, 清水良文,

第 120 回日本物理学会九州支部例会, 2014 年 12 月 6 日, 崇城大学

以下, ポスター発表.

格子 QCD によるクォーク数密度の計算と有効モデルによる解析:

高橋 純一, 管野 淳平, 石井 優大, 河野 宏明, 八尋 正信,

理研シンポジウム・iTHES 研究会 “熱場の量子論とその応用”, 2014 年 9 月 4 日, 理化学研究所

中間子遮蔽質量の EPNJL 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,

理研シンポジウム・iTHES 研究会 “熱場の量子論とその応用”, 2014 年 9 月 4 日, 理化学研究所

Breakup dynamics in ${}^6\text{Li}$ elastic scattering with four-body and three-body CDCC:

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

State of the Art in Nuclear Cluster Physics (SOTANCP3), May 28, KGU (Kanto Gakuin University) Kannai Media Center

Systematic Analysis for Distribution of Extra Neutrons and Core in Halo Nucleus:

T. Matsumoto, S. Sasabe, K. Minomo, N. Furutachi, K. Ogata, and M. Yahiro,

Advances in Radioactive Isotope Science (ARIS2014), June 5, the University of Tokyo

核反応におけるカイラル 3 核子力効果の解明に向けて:

豊川将一, 蓑茂工将, 河野通郎, 八尋正信

2014 年度原子核三者若手夏の学校, 2014 年 8 月 7 日, パノラマランド木島平

外部資金

《 文部省科学研究費補助金 》

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

核力に立脚した微視的理論による不安定核の静的および動的性質の系統的解明

研究代表者: 佐々部悟

《 文部省科学研究費補助金以外の外部資金 》

嶋田充宏、平成 26 年度 九州大学基金支援助成事業 (国際会議等参加等支援)

渡邊慎、平成 26 年度 九州大学基金支援助成事業 (国際会議等参加等支援)

石井優大、平成 26 年度 九州大学基金支援助成事業 (国際会議等参加等支援)

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)

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)

佐々部悟、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：新潟大学理学部で「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】井生 武志、貞森 光汰、戸川 秀一、鳥越 悠平、開田 丈寛、福山 達也(担当: 八尋)

場の量子論のゼミ

【後期】井生 武志、貞森 光汰、戸川 秀一、鳥越 悠平、開田 丈寛、福山 達也(担当: 八尋、清水、松本)

NJL 模型ゼミ、核反応論、核構造論の輪講・研究

修士論文

菅野淳平:(指導教員 八尋正信):有効模型に基づく QCD 相図の高密度領域の解明

米村浩司:(指導教員 八尋正信):中間子遮蔽質量による $U(1)_A$ アノマリーの温度依存性の決定

博士論文

その他の活動と成果

九大研究会 —格子 QCD と現象論模型による有限温度・有限密度の物理の解明—,
世話人: 八尋正信, 高橋純一, 石井優大, 九州大学, 2015 年 2 月 19 日

九大研究会 —中性子過剰領域における弱束縛系の物理—,
世話人: 八尋正信, 松本琢磨, 渡邊慎, 嶋田充宏, 佐々部悟, 九州大学, 2015 年 3 月 9–10 日

豊川将一: 2014 年度原子核三者若手夏の学校, 原子核パート世話人

松本琢磨: 2014 年度原子核三者若手夏の学校, 原子核パート講師

渡邊慎: 国際サマースクール TALENT (Course 5: Theory for exploring nuclear structure experiments) にて最優秀プロジェクト賞を受賞した.