

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 》

《 大学院 博士課程 》

角 剛典 境 祐二 蓑茂 工将 佐々木 崇宏

《 大学院 修士課程 》

田上 真伍 斉藤 康浩 福井 徳朗 藤岡 雄大
嶋田 充宏 高橋 純一 長野 邦裕 渡邊 慎

《 学部 卒業研究生 》

石井優大 豊川将一 佐々部悟(後期) 林田晃太郎(前期)
山口賢司(前期)

担当授業

物理学入門(八尋正信)、自然科学概論(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)、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)、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 の結果に基づく有効模型による状態方程式の予言(八尋正信、河野宏明[佐賀大学]、境祐二(D3)、佐々木崇宏(D1))

QCD 相図の第一原理である格子 QCD は、有限のクォーク数密度で計算が困難である。そのため、カイラル対称性を反映した Nambu-Jona-Lasinio(NJL) 模型や、NJL 模型に閉じ込めの効果を取り入れた Polyakov-loop extended NJL(PNJL) 模型による研究

が行われてきたが確証的な結果は得られていない。そこで我々は、有効模型を積極的に格子計算と比較し、QCD 相図に対して信頼性の高い予言をすることを目標としている。

格子 QCD が計算可能な有限密度領域として、純虚数化学ポテンシャル領域とアイソスピン化学ポテンシャル領域がある。昨年度、我々は PNJL 模型を拡張することで、これらの領域の格子 QCD の結果を定量的に再現する有効模型 (EPNJL 模型) を得た。本年度は、EPNJL 模型を用いて有限のクォーク数密度における状態方程式を予言した。その際、EPNJL 模型には含まれていないハドロンの自由度を考慮し、QCD 相図においてどの自由度が支配的かを見積もった。EPNJL 模型の結果は、Taylor 展開から求めた低密度における格子 QCD の結果と定量的に一致することを示した。

本研究は境氏を中心に推進され、Journal of Physics 誌に論文が掲載された。

純虚数化学ポテンシャルにおける相転移次数のクォーク質量依存性の研究 (八尋正信、河野宏明 [佐賀大学]、境祐二 (D3)、佐々木崇宏 (D1))

QCD の対称性から、純虚数化学ポテンシャル領域には Roberge-Weiss 端点 (RW 端点) と呼ばれる特殊な臨界点が存在する。近年、この RW 端点における相転移次数のクォーク質量依存性が注目され、格子計算が行われた。そこで我々は、格子計算から得られた RW 端点の相転移次数の変化を、有効模型を用いて再現することを目標に研究を行った。

我々は、EPNJL 模型および PNJL 模型を用いて、この依存性を調べた。その結果、EPNJL 模型が格子計算を定性的に再現し、PNJL 模型から EPNJL 模型への拡張が本質的に重要であることが分かった。また、この解析を通じて、EPNJL 模型がもつパラメータ領域に制限を付けることができた。

本研究は佐々木氏を中心に推進され、Physical Review 誌に論文が掲載された。

トポロジー項の QCD 相図に与える影響 (八尋正信、河野宏明 [佐賀大学]、境祐二 (D3)、佐々木崇宏 (D1)、斉藤康浩 (M2)、高橋純一 (M1))

QCD は、理論の対称性から荷電・パリティ対称性を破るトポロジー項を持つことが許される。この項は、宇宙初期のバリオン生成に寄与すると考えられる。また、高エネルギー重イオン衝突実験においてトポロジー項の影響と考えられる現象も近年観測されており、この項が QCD 相図に与える影響を研究することは重要である。しかし、第一原理計算である格子 QCD は有限のトポロジー項があると数値計算することができない。そこで我々は、トポロジー項が QCD 相図に与える影響を有効模型を用いて解析することを目標に研究を行った。

(E)PNJL 模型を用いた解析の結果、トポロジー項の効果により QCD 相転移が強く

なる傾向があると分かった。特に、トポロジー項が大きいときは QCD 相転移が一次相転移になる可能性が示唆された。この結果は、現実的な 2+1 フレーバー系でも確認することができた。また、これらの解析を通じて、格子計算においてトポロジー項の効果を計算できる可能性のある方法を得ることができた。

本研究は境氏、佐々木氏、斉藤氏を中心に推進された。本研究の成果は斉藤氏の修士論文として纏められたほか、Physical Review 誌に 3 本の論文が掲載された。

温度, 密度, アイソスピン空間における QCD 相構造の解明 (八尋正信, 河野宏明 [佐賀大学], 境祐二 (D3), 佐々木崇宏 (D1), 長野邦裕 (M1))

中性子星は高密度天体であるため、内部ではクォーク物質が支配的であると考えられる。そのため、中心部の構造を知るためには、有限温度・有限クォーク数密度・有限アイソスピンにおける QCD 相構造の理解が必要である。さらに、中性子星内部では β 崩壊によって荷電平衡状態となるため、その効果を評価することも重要である。有限クォーク数密度における格子 QCD 計算は困難であるため、有効模型を用いてその相構造を解析することを目標として研究を行った。

我々は NJL 模型を用いて、温度 (T)-クォーク数化学ポテンシャル (μ_q)-アイソスピン化学ポテンシャル (μ_{iso}) 領域における相構造および荷電平衡における相構造を解析した。 T - μ_q - μ_{iso} 空間における相構造の特徴は、パイ中間子凝縮が起こる超流動相の存在である。しかし、NJL 模型を用いた解析の結果、荷電平衡の条件下では超流動状態としないことを確認した。

本研究は長野氏を中心に推進されている。

格子 QCD による虚数化学ポテンシャル領域の重クォークポテンシャルの研究 (八尋正信, 中村純 [九大客員教授・広島大学], 斎藤卓也 [高知大学], 永田桂太郎 [広島大学], 河野宏明 [佐賀大学], 境祐二 (D3), 佐々木崇宏 (D1), 高橋純一 (M1))

格子 QCD は符号問題により有限の化学ポテンシャル (μ_q) 領域での計算が困難である。現在、この符号問題を回避するために様々な方法が提案されている。その一つが、純虚数化学ポテンシャル (μ_1) 領域からの解析接続である。 μ_1 領域では符号問題がなく、格子 QCD 計算が可能である。他の方法とは違い、この方法では $\mu_q/T < 1$ (T は温度) において信頼性の高い結果が得られる。

このような観点から、我々は μ_1 領域における格子 QCD シミュレーションを進めている。特に、クォークの閉じ込めを理解するために重要な重クォークポテンシャルに注目し、その μ_1 依存性について調べている。これまでの結果として、 μ_1 が大きくなるにつれて、カラー平均のクォーク・反クォークポテンシャルは強くなる傾向を示している。今後はゲージ固定の後にカラーチャネルを分けて、それぞれのポテンシャルの μ_1

依存性について調べる。それをもとに Debye 遮蔽質量を求め、その μ_1 依存性から解析接続により μ_q 依存性を求める。

本研究は高橋氏を中心に推進されている。

新しい反応理論による ${}^6\text{He}$ の 2 中性子除去反応の記述 (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 (D2))

昨年度、1 中性子除去反応の包括的断面積を計算するための新たな理論 Eikonal Reaction Theory (ERT) を提唱した。ERT を用いれば、反応機構において核力と Coulomb 力のどちらかが支配的、あるいはその 2 つが競合するような場合でも、統一的に記述できる。この理論を用いて ${}^{31}\text{Ne}$ の 1 中性子除去反応を解析した成果は、Progress of Theoretical Physics 誌に掲載された。

今年度は、2 中性子除去反応を記述できるよう ERT の理論的な拡張を行った。 ${}^6\text{He}$ を $\alpha + n + n$ の 3 体系とみなし、連続状態離散化チャネル結合法と ERT を用いて ${}^6\text{He}$ の 2 中性子除去反応を解析した。その結果、 ${}^{12}\text{C}$ と ${}^{208}\text{Pb}$ の異なる標的に対して、どちらの場合も実験を非常に良く再現でき、ERT が 2 中性子除去反応の解析にも有用であることを示した。現在、この成果を論文にまとめている最中である。

本研究は蓑茂氏を中心に推進された。

完全微視的反応解析による ${}^{31}\text{Ne}$ の基底状態の決定 (八尋正信、清水良文、緒方一介 [大阪大学核物理研究センター准教授]、木村真明 [北海道大学創成研究機構特任助教]、角剛典 (D3)、蓑茂工将 (D2))

${}^{31}\text{Ne}$ や ${}^{33}\text{Mg}$ などの中性子ドリップライン近傍の中性子数 20 周辺領域は island of inversion と呼ばれ、現在注目を集めている。これらの核は大きな変形に伴う魔法数の消滅が理論的に予言されており、特に ${}^{31}\text{Ne}$ は変形したハロー構造を持つと予測されている。

不安定核入射反応の定量的解析を行う上で、核の変形の効果は重要な役割を示す。本研究では、構造計算において変形を顕に取り扱うことのできる反対称化分子動力学 (Antisymmetrized Molecular Dynamics: AMD) と、Melbourne 相互作用を用いた 2 重畳み込みモデルを組み合わせた完全な微視的枠組みを用いて、中性子過剰 Ne 同位体の反応断面積を解析した。 ${}^{28-30,32}\text{Ne}$ の実験データを完璧に再現したものの、 ${}^{31}\text{Ne}$ については実験を過小評価する傾向にあった。これは、 ${}^{31}\text{Ne}$ が変形したハロー構造を持ち、AMD ではハロー構造の記述ができないという欠点を持つためである。そこで、AMD に共鳴群の方法を組み合わせることでこの問題を解決し、 ${}^{31}\text{Ne}$ が変形したハロー構造を持つ極めて特異な核であることを明らかにした。

本研究は蓑茂氏、角氏が中心となって推進され、その成果は Physical Review Letter

誌に掲載された。

全反応断面積の解析による island of inversion 核の変形度の決定 (八尋正信、清水良文、松本琢磨、緒方一介 [大阪大学核物理研究センター准教授]、木村真明 [北海道大学創成研究機構特任助教]、角剛典 (D3)、蓑茂工将 (D2)、田上真伍 (M2)、渡邊慎 (M1))

2つの原子核が衝突した際に、どちらか一方、または両方の原子核が破壊される事象を表す全反応断面積は、以前より原子核の半径の指標となる動的観測量として知られていた。昨年度、我々は全反応断面積の解析において原子核の静的変形効果を考慮することの重要性を見出し、この知見をまとめて Physical Review C 誌に投稿し、掲載された。

本研究の要点は2点ある。反応の記述において、入射原子核中の核子と標的原子核中の核子との間の相互作用を全て勘定する点と、変形原子核の「方向」を平均化することにより実効的に半径が増大した球形原子核として扱う点である。本研究では、変形原子核入射反応に伴う静的変形効果よりもさらに高次の効果 (動的変形効果) を見積もり、上述の解析手法を正当化することに成功した。これは、全反応断面積という動的観測量から、原子核の実効的な半径を通じて原子核の静的な変形の度合いを決定できることを意味する。

実際に、中性子過剰 Ne 同位体入射反応の全反応断面積を解析することにより、それらの原子核が大きく変形していることを示した。これらの原子核は、大きな変形とそれに伴う中性子魔法数 20 の消失が示唆される原子核 (island of inversion) である。我々は、精度のよい全反応断面積の実験データに対して、信頼度の高い解析手法を用いて island of inversion 核の変形度を決定した。この知見をまとめた論文は、Physical Review C 誌への掲載が決定している。

今回の研究成果により、今後集積される不安定核入射反応の全反応断面積の解析を通じて、その変形度を調べることが可能になった。その第一歩として、現在、最新の Mg 同位体 (陽子数 12) の実験結果および、それらと相補的な、高エネルギー・低エネルギー実験の解析に着手している。

この研究は角氏、蓑茂氏、渡邊氏が中心となって推進された。

${}^9\text{C}$ 分解反応の解析による ${}^8\text{B}$ 陽子捕獲反応率の決定 (八尋正信、緒方一介 [大阪大学核物理研究センター准教授]、蓑茂工将 (D2)、福井徳朗 (M2))

${}^8\text{B}$ 陽子捕獲反応 ${}^8\text{B}(p,\gamma){}^9\text{C}$ は、元素合成過程の1つである rp-process において、水素燃焼サイクルから CNO 燃焼サイクルへの新たな経路になると期待されている。したがって、その反応率の決定は元素の起源を解明する上で非常に重要である。

しかし、 ${}^8\text{B}(p,\gamma){}^9\text{C}$ は極低の入射エネルギーで起こることに加えて、 ${}^8\text{B}$ も ${}^9\text{C}$ も不

安定核であるため、実験で直接測定することは困難である。そこで、代替反応として $^{208}\text{Pb}(^9\text{C},p^8\text{B})^{208}\text{Pb}$ などの ^9C 分解反応が提案された。この分解反応は、標的核を傍観している原子核とみなすと、 ^8B 陽子捕獲反応の逆反応と解釈できる。すなわち、 $^{208}\text{Pb}(^9\text{C},p^8\text{B})^{208}\text{Pb}$ の解析から ^8B 陽子捕獲反応率を間接的に決定し得る。

本研究では、連続状態離散化チャンネル結合法を用いて ^9C が p と ^8B に分解する自由度を精密に取り入れ、 $^{208}\text{Pb}(^9\text{C},p^8\text{B})^{208}\text{Pb}$ を解析した。その結果、 ^8B 陽子捕獲反応率を非常に高い精度で決定できた。今後はより重い原子核の陽子捕獲反応率を決定することを目指し、rp-process の系統的な研究を続けていく予定である。

本研究は福井氏を中心に推進された。

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]、郭海瑞 [九州大学総合理工学府 (D1)]、渡邊慎 (M1))

核融合炉の設計において核子-Li アイソトープ (^6Li 、 ^7Li) 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、 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、実験から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いる。

本研究において ^6Li と ^7Li はそれぞれ d と α 、 t と α の 2 体クラスターモデルで記述する。そして、反応過程でそれらのクラスターに分解する効果を連続状態離散化チャンネル結合法により精密に取り入れ、また核子-Li 間の相互作用として、有効相互作用の 1 つである JLM を用いた微視的モデルにより計算を行った。それぞれの反応において弾性散乱の微分断面積は系統的に実験値と良い一致を見ることができた。現在、その他の様々な物理量に関して解析を行なっている。

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。

4 体反応モデルによる ^6Li 弾性散乱の解析 (八尋正信、松本琢磨、蓑茂工将 (D2)、渡邊慎 (M1))

これまで ^6Li 分解反応では、核子-Li アイソトープの解析同様、 ^6Li を $d+\alpha$ の 2 体クラスターモデルによる解析が行なわれ成功を収めている。しかし、クーロン障壁近傍の入射エネルギーでの $^6\text{Li}+^{209}\text{Bi}$ 散乱において、2 体クラスターモデルによる解析が実験値を再現しないことが報告されている。このことは ^6Li をより正確な $n+p+\alpha$ の 3 体クラスターモデルによる記述が重要であることを示唆している。また核子- ^6Li 散乱実験における分解反応断面積には $n+p+\alpha$ の 3 体分解効果が見えており、 ^6Li の 3 体クラスターモデルによる記述が必要となっている。

本研究では ${}^6\text{Li}+{}^{209}\text{Bi}$ 散乱を、 $n+p+\alpha+{}^{209}\text{Bi}$ の 4 体反応模型によって解析を行なった。この反応解析では、 ${}^6\text{Li}$ を $n+p+\alpha$ の 3 体系で記述した連続状態離散化チャネル結合法を用い、 ${}^6\text{Li}$ が構成粒子に分解する自由度を精確に取り扱った。その結果、 ${}^6\text{Li}$ を $d+\alpha$ の 2 体系として扱う従来の模型では再現できなかった実験を再現し、この反応が $n+p+\alpha+{}^{209}\text{Bi}$ の 4 体反応模型として扱われるべきものであることを示した。今後、標的粒子を変えた反応を分析することで ${}^6\text{Li}$ の 3 体分解の効果を系統的に解明し、 $n+{}^6\text{Li}$ 散乱の解析に取り掛かる予定である。

この研究は、渡邊氏が中心となって推進された。

カイラル有効場の理論からの核力に基づいた新しい 2 核子間有効相互作用の構築 (八尋正信、松本琢磨、河野通郎 [九州歯科大学教授]、蓑茂工将 (D2)、渡邊慎 (M1))

多重散乱理論によると、核反応は核子間の有効相互作用による多重散乱によって表現される。有効相互作用とは核内における 2 核子散乱の遷移行列であり、核力に基づいた g 行列理論計算などによって、これまでにいくつもの有効相互作用が提案されている。そのような有効相互作用は、現象論的に決定された核力に基づくものであった。近年、格子 QCD や有効場の理論などの立場から核力の導出を行う試みが盛んであり、このような理論的基礎付けによる核力を用いて構築される有効相互作用の性質がどのようなものであるかは大変興味深い。

本研究では、カイラル有効場の理論からの核力に基づく新しい有効相互作用を構築する。この利点として、3 核子力の効果を不定性なく取り込めることが挙げられる。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。

河野氏を中心として、カイラル有効場の理論による核力と現象論的核力を比較し、それぞれの核力がどのような特徴を持つのかを調べた。今後、実際の反応計算と関連づけ、3 核子力の効果の見積もりなどを行う予定である。

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 [杏林大学講師]、大西直毅 [東京大学名誉教授]、田嶋直樹 [福井大学准教授])

原子核の基底状態の変形は軸対称で、オブレート型 (ミカン型) に比べてプロレート型 (レモン型) が圧倒的に多いことが知られているが、その理由を理解する研究を数年前から行っている。これまでの研究で我々の開発した「連続状態の効果を考慮した Strutinsky 法」により、ドリップライン近傍の不安定原子核を含めた分析が可能になり、現実的な平均場である Woods-Saxon ポテンシャルを用いた信頼性のある結果が得られるようになった。今年度はいろいろなポテンシャルパラメータセットについて系統的な計算を行い、平均ポテンシャルの変化のどの部分がどのようにプロレート変形

率に影響を及ぼすのかについて詳細に調べた。特に表面付近でのポテンシャルの広がりとスピン-軌道相互作用効果の干渉をより精密に調べ、その結果を論文にまとめた。この研究は杏林大の高原氏を中心に行われている。

広い模型空間での量子数射影・配位混合の効率的計算法の開発 (清水良文、田上真伍 (M2))

一般的な平均場の状態 (準粒子の真空) に対して量子数射影を行う方法の開発が行なってきた。広い模型空間で計算された平均場状態に対し量子数射影を行う場合、正準基底による切断を行えば効率的に計算可能であることを示した。この手法を拡張し、量子数射影を超えて複数の平均場状態を重ねあわせて系の状態を記述する配位混合 (もしくは生成座標法) にも適用可能になった。さらに現実的な数値計算を行うために、量子数射影として角運動量射影と粒子数射影とパリティ射影を同時に行なえ、なおかつ、配位混合を行うこともできるかなり一般的なプログラムを開発し、今年度はほぼ満足できる結果を出せるようになり、現在は計算をさらに効率的に行うための改良を試みている。この研究は田上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。

角運動量射影法による非軸対称変形核の回転状態の研究 (清水良文、藤岡雄大 (M2)、田上真伍 (M2))

原子核において最も良く知られた変形は軸対称楕円体変形であるが、その軸対称性を破った非軸対称変形の存在が理論的にも実験的にも示唆されている。そのような非軸対称変形をした原子核に固有の運動の一つにウォブリング回転と呼ばれるものがあり、これは古典的非軸対称剛体の歳差運動を想起させる運動になっている。これまで我々は先行研究として乱雑位相近似 (RPA) を用いてその研究を行なって来たが、本研究では RPA の代わりに角運動量射影法でウォブリング回転を記述することを試みた。この方法でウォブリング回転的な解が得られるかは自明ではなかったが、剛体模型で期待されるものと同様の性質を持つ回転状態が微視的角運動量射影法でも得られること確認した。

また、非軸対称変形核で見られる別の現象であるカイラル二重項についても計算を行った。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影対称性を破る配位を取ることによって生じる二重項であり、角運動量射影法を用いた計算でもそれが現れることを示した。今後はこれらの現象をより定量的に記述することを試みる予定である。この研究は藤岡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。

原子核におけるエキゾチック変形の研究 (清水良文、田上真伍 (M2)、J. Dudek [ストラ

スプール大学))

これまでにほとんど調べられて来なかったエキゾチックな変形状態が平均場理論により予想されている。そのようなエキゾチック変形の一つに四面体型の変形があり、この四面体変形をした状態は特定の原子核で極めて安定であると考えられているが、その存在を示す確かな証拠は見つかっていない。そこで本研究では四面体変形が原子核で実現しているかを探る第一段階として、四面体変形をした状態に量子数射影を行なうことでエネルギースペクトルや電磁遷移確率等の実験と比較できる物理量を計算し、それらにどのような特徴が現れるかを調べている。

今年度、先に述べた「広い模型空間での量子数射影・配位混合の効率的計算法の開発」の研究がほぼ完成したことにより、四面体変形した平均場状態に対して角運動量射影計算を行うことが可能になった。その結果、四面体変形特有の対称性を持つ特徴的なエネルギースペクトルを得た。また、そのスペクトルが四面体変形の大きさを大きくしていくと剛体回転体的なスペクトルになることを示した。この研究は田上氏を中心に進められている。

繰り返し計算におけるプロイデン加速法の原子核平均場計算への適用 (清水良文、嶋田充宏 (M1))

原子核の平均場計算では、自己無撞着性を満たすために多くの繰り返し計算が必要になる。特に、密度に依存する有効2体力から出発した Hartree-Fock(HF) や Hartree-Fock-Bogoliubov(HFB) 計算では、収束に時間がかかる場合があるだけでなく、容易に収束しない場合も出てくる。他方、原子分子の第一原理計算で電子の自己無撞着配位計算において、このような繰り返し計算を加速する方法としてプロイデン法 (Broyden method) が知られている。本研究では、原子核平均場計算にこのプロイデン法を適用する一般的なプログラムを作成した。これを球対称性を課した Gogny HF/HFB 計算に対して適用し、収束にかかる繰り返しの数を $1/2$ から $1/3$ に減少させることに成功した。また、収束しないいくつかの場合について解を収束させることができることも確かめた。これはこれから開発を予定している変形した場合の Gogny HF/HFB 計算に対して非常に有用であることが期待される。この研究は嶋田氏を中心に行われた。

発表論文

《 原著論文 》

Violations of parity and charge conjugation in the θ vacuum with imaginary chemical potential:

H. Kouno, Y. Sakai, T. Sasaki, K. Kashiwa, and M. Yahiro,
Physical Review D **83**, (2011) pp. 076009-1–13.

Theta vacuum effects on QCD phase diagram:
Y. Sakai, H. Kouno, T. Sasaki, and M. Yahiro,
Physics Letter B **705**, (2011) pp. 349–355.

Quark-mass dependence of three-flavor QCD phase diagram at zero and imaginary
chemical potential: Model prediction:
T. Sasaki, Y. Sakai, H. Kouno, and M. Yahiro,
Physical Review D **84**, (2011) pp. 091901-1–6.

Spontaneous parity and charge-conjugation violations at real isospin and imaginary
baryon chemical potentials:
H. Kouno, M. Kishikawa, T. Sasaki, Y. Sakai, and M. Yahiro,
Physical Review D **85**, (2012) pp. 016001-1–12.

Equation of state in the PNJL model with the entangle interaction:
Y. Sakai, T. Sasaki, H. Kouno, and M. Yahiro,
Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics **39**, (2012) 035004 (17pp).

Theta vacuum and entanglement interaction in the three-flavor Polyakov-loop extended
Nambu-Jona-Lasinio model:
T. Sasaki, J. Takahashi, Y. Sakai, H. Kouno, and M. Yahiro,
Physical Review D **85**, (2012) pp. 056009-1–9.

Effective Radii of Deuteron-Induced Reaction:
S. Hashimoto, K. Ogata, M. Kohno, K. Minomo, and S. Chiba,
Physical Review C **83**, (2011) pp. 054617-1–11.

Three-Body Model Analysis of Subbarrier α Transfer Reaction:
T. Fukui, K. Ogata, and M. Yahiro,
Progress of Theoretical Physics **125**, (2011) pp. 1193-1204.

Eikonal Reaction Theory for Neutron-Removal Reaction:

M. Yahiro, K. Ogata, and K. Minomo,
Progress of Theoretical Physics **126**, (2011) pp. 167-176.

Deformation effect on total reaction cross sections for neutron rich Ne isotopes:
K. Minomo, T. Sumi, M. Kimura, K. Ogata, Y. R. Shimizu, and M. Yahiro,
Physical Review C **84**, (2011) pp. 034602-1-5.

Analysis of inclusive (d, xp) reactions on nuclei from ${}^9\text{Be}$ to ${}^{238}\text{U}$ at 100 MeV:
T. Ye, S. Hashimoto, Y. Watanabe, K. Ogata, and M. Yahiro,
Physical Review C **84**, (2011) pp. 054606-1-8.

Determination of the structure of ${}^{31}\text{Ne}$ by a fully microscopic framework:
K. Minomo, T. Sumi, M. Kimura, K. Ogata, Y. R. Shimizu, and M. Yahiro,
Physical Review Letter **108**, (2012) pp. 052503-1-4.

The role of spin-orbit potential in nuclear prolate-shape dominance:
S. Takahara, N. Onishi, Y. R. Shimizu, and N. Tajima,
Physics Letter B **702**, (2011) pp. 429-432.

Efficient method to perform quantum number projection and configuration mixing for
most general mean-field states:
S. Tagami and Y. R. Shimizu,
Progress of Theoretical Physics **127**, (2012) pp. 79-115.

《Proceedings》

有限クォークおよび有限アイソスピン化学ポテンシャルにおける QCD 相図:
佐々木崇宏, 境祐二, 河野宏明, 八尋正信
原子核研究 Vol.55 Supplement 1 (2011) pp. 81-84

実数及び純虚数化学ポテンシャル領域における PNJL 模型を用いた 2+1 フレーバー
QCD 相構造の研究:
小田輝, 松本健史, 柏浩司, 河野宏明, 八尋正信
原子核研究 Vol.55 Supplement 1 (2011) pp. 77-80

QCD phase diagram at finite baryon and isospin chemical potentials:

T. Sasaki, Y. Sakai, H. Kouno and M. Yahiro

AIP Conference Proceedings Volume 1388 (2011) pp. 524–526

Entanglement between the Deconfinement and the Chiral Symmetry Restriction:

Yuji Sakai, Takahiro Sasaki, Hiroaki Kouno and Masanobu Yahiro

AIP Conference Proceedings Volume 1388 (2011) pp. 560–522

Entanglement between deconfinement transition and chiral symmetry restoration:

Yuji Sakai, Takahiro Sasaki, Hiroaki Kouno and Masanobu Yahiro

素粒子論研究・電子版 Vol. 11, No.1 (2012) pp. 38–40, 冊子版 Vol.119, No.4C (2012) pp. F38–F39

ゼロおよび純虚数化学ポテンシャルにおける、3フレーバー QCD のクォーク質量依存性:

佐々木崇宏, 境祐二, 河野宏明, 八尋正信

素粒子論研究・電子版 Vol. 11, No.1 (2012) pp. 167–169, 冊子版 Vol.119, No.4C (2012) pp. F167–F169

微視的反応理論に基づく “Island of Inversion” 核入射反応の系統的解析:

蓑茂工将, 角剛典, 木村真明, 緒方一介, 清水良文, 八尋正信,

素粒子論研究・電子版 Vol. 10, No.2 (2011) pp. 135–140, 冊子版 Vol.119, No.4B (2012) pp. E135–E140

Determination of ${}^8\text{B}(p,\gamma){}^9\text{C}$ Reaction Rate from ${}^9\text{C}$ Breakup:

福井徳朗, 緒方一介, 八尋正信,

素粒子論研究・電子版 Vol. 10, No.2 (2011) pp. 150–154, 冊子版 Vol.119, No.4B (2012) pp. E150–E154

Microscopic Approach to Scattering of Unstable Nuclei:

蓑茂工将, 緒方一介, 河野通郎, 清水良文, 八尋正信,

原子核研究, Volume 55, Supplement 1 (2011) pp. 41–44.

Three-Body Model Analysis of Subbarrier α Transfer Reaction:

福井徳朗, 緒方一介, 八尋正信,
原子核研究, Volume 55, Supplement 1 (2011) pp. 45–48.

《 その他の論文 》

講演

《 海外での講演 》

Determination of the QCD phase diagram from no sign problem regions:

Y. Sakai, T. Sasaki, H. Kouno and M. Yahiro,

Quark Matter 2011, May 24, 2011, Annecy, France.

Determination of QCD phase diagram from the imaginary chemical potential:

M. Yahiro, Y. Sakai, T. Sasaki, and H. Kouno,

Extreme QCD 2011, July 18, 2011, San Carlos Plaza Hotel, Mexico.

Entanglement between deconfinement transition and chiral symmetry restoration:

Y. Sakai, T. Sasaki, H. Kouno and M. Yahiro,

Extreme QCD 2011, July 18, 2011, San Carlos Plaza Hotel, Mexico.

Quark-mass dependence of three-flavor QCD at zero and imaginary chemical potential:

T. Sasaki, Y. Sakai, H. Kouno and M. Yahiro,

Extreme QCD 2011, July 19, 2011, San Carlos Plaza Hotel, Mexico.

Eikonal reaction theory for one- and two-neutron removal reaction:

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

Direct Reactions with Exotic Beams (DREB2012), March 28, 2012, Pisa, Italy.

以下, ポスター発表.

Determination of ${}^8\text{B}(p,\gamma){}^9\text{C}$ Reaction Rate from ${}^9\text{C}$ Breakup:

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

Direct Reactions with Exotic Beams (DREB2012), March 27, 2012, Pisa, Italy.

Determination of deformation in the island-of-inversion region through reaction cross sections:

Shin Watanabe, Kosho Minomo, Takenori Sumi, Takuma Matsumoto, Masaaki Kimura, Kazuyuki Ogata, Yoshifumi R Shimizu, and Masanobu Yahiro,
Direct Reactions with Exotic Beams (DREB2012), March 27, 2012, Pisa, Italy.

Systematic analyses of breakup reactions involving light neutron-rich nuclei:

T. Matsumoto, K. Minomo, K. Ogata, K. Katō, and M. Yahiro,
Direct Reactions with Exotic Beams (DREB2012), March 27, 2012, Pisa, Italy.

《国内での講演》

有効理論による有限密度 QCD:

八尋正信

新学術領域「素核宇宙融合」×「新ハドロン」クロスオーバー研究会, 2011年6月23日, 理化学研究所計算科学研究機構

ゼロおよび純虚数化学ポテンシャルにおける、3フレーバー QCD のクォーク質量依存性:

佐々木崇宏, 境祐二, 河野宏明, 八尋正信

2011年度原子核三者若手夏の学校, 2011年8月19日, 白浜荘(滋賀県)

Entanglement between deconfinement transition and chiral symmetry restoration:

境祐二, 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」, 2011年8月22日, 京都大学基礎物理学研究所

ゼロおよび純虚数化学ポテンシャルにおける、3フレーバー QCD のクォーク質量依存性:

佐々木崇宏, 境祐二, 河野宏明, 八尋正信

基研研究会「熱場の量子論とその応用」, 2011年8月22日, 京都大学基礎物理学研究所

Quark-mass dependence of three-flavor QCD at zero and imaginary chemical potential:

佐々木崇宏, 境祐二, 河野宏明, 八尋正信

日本物理学会秋季大会, 2011年9月18日, 弘前大学文京町キャンパス

温度, 密度, アイスピン空間における QCD 相構造の解明:

長野邦裕, 佐々木崇宏, 境祐二, 河野宏明, 八尋正信

第 117 回日本物理学会九州支部例会, 2011 年 12 月 3 日, 佐賀大学本庄キャンパス

QCD 相図における θ -真空の影響:

斉藤康浩, 佐々木崇宏, 境祐二, 河野宏明, 八尋正信

第 117 回日本物理学会九州支部例会, 2011 年 12 月 3 日, 佐賀大学本庄キャンパス

ゼロおよび純虚数化学ポテンシャルにおける、3 フレーバー QCD のクォーク質量依存性:

佐々木崇宏, 境祐二, 河野宏明, 八尋正信

第 117 回日本物理学会九州支部例会, 2011 年 12 月 3 日, 佐賀大学本庄キャンパス

格子 QCD による純虚数化学ポテンシャル領域の研究:

高橋純一, 長野邦裕, 佐々木崇宏, 境祐二, 永田桂太郎, 河野宏明, 八尋正信, 中村純

第 117 回日本物理学会九州支部例会, 2011 年 12 月 3 日, 佐賀大学本庄キャンパス

QCD 相図に対するシート真空の効果:

佐々木崇宏, 境祐二, 高橋純一, 河野宏明, 八尋正信

日本物理学会第 67 回年次大会, 2012 年 3 月 25 日, 関西学院大学西宮上ヶ原キャンパス

虚数化学ポテンシャル領域での重クォークポテンシャルの研究:

高橋純一, 佐々木崇宏, 境祐二, 永田桂太郎, 斎藤卓也, 河野宏明, 八尋正信, 中村純

日本物理学会第 67 回年次大会, 2012 年 3 月 27 日, 関西学院大学西宮上ヶ原キャンパス

微視的核反応理論による "Island of Inversion" 核入射反応の系統的解析:

蓑茂工将

基研研究会「微視的核反応理論による物理」, 2011 年 8 月 2 日, 京都大学基礎物理学研究所

${}^9\text{C}$ 分解反応の解析による ${}^8\text{B}(p,\gamma){}^9\text{C}$ 反応率の決定

福井徳朗, 緒方一介, 蓑茂工将, 八尋正信

基研研究会「微視的核反応理論による物理」, 2011 年 8 月 3 日, 京都大学基礎物理学研究所

Three-Body Model Analysis of Subbarrier α Transfer Reaction:

福井徳朗, 緒方一介, 八尋正信

「s-process はどこまでわかっているか」研究会, 2011年8月4日, 大阪大学核物理研究センター

Determination of ${}^8\text{B}(p,\gamma){}^9\text{C}$ Reaction Rate from ${}^9\text{C}$ Breakup:

福井徳朗, 緒方一介, 蓑茂工将, 八尋正信

2011年度原子核三者若手夏の学校, 2011年8月18日, 白浜荘 (滋賀県)

Eikonal reaction theory for neutron removal:

蓑茂工将, 八尋正信, 緒方一介

日本物理学会 2011年秋季大会, 2011年9月18日, 弘前大学文京町キャンパス

中性子過剰 Ne 同位体入射反応断面積における Ne 同位体の変形効果の役割:

角剛典, 蓑茂工将, 木村真明, 緒方一介, 清水良文, 八尋正信

日本物理学会 2011年秋季大会, 2011年9月19日, 弘前大学文京町キャンパス

Determination of ${}^8\text{B}(p,\gamma){}^9\text{C}$ Reaction Rate from ${}^9\text{C}$ Breakup:

福井徳朗, 緒方一介, 蓑茂工将, 八尋正信

日本物理学会 2011年秋季大会, 2011年9月19日, 弘前大学文京町キャンパス

Deformation effect on total reaction cross sections for neutron-rich Ne-isotopes:

K. Minomo, T. Sumi, M. Kimura, K. Ogata, Y. R. Shimizu, and M. Yahiro

Frontier Issues in Physics of Exotic Nuclei (YKIS2011), October 13, 2011, Yukawa Institute for Theoretical Physics

Three-Body Model Analysis of Subbarrier α Transfer Reaction:

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

Dynamics and Correlations in Exotic Nuclei (DCEN2011), October 24, 2011, Yukawa Institute for Theoretical Physics

Eikonal reaction theory for neutron removal reaction:

Kosho Minomo, Takuma Matsumoto, Kazuyuki Ogata, and Masanobu Yahiro

Dynamics and Correlations in Exotic Nuclei (DCEN2011), October 26, 2011, Yukawa Institute for Theoretical Physics

Description for breakup reactions of three-body projectiles:

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

Dynamics and Correlations in Exotic Nuclei (DCEN2011), October 26, 2011, Yukawa Institute for Theoretical Physics

Eikonal reaction theory for neutron removal:

蓑茂工将, 松本琢磨, 緒方一介, 八尋正信

第 117 回日本物理学会九州支部例会, 2011 年 12 月 3 日, 佐賀大学本庄キャンパス

反応断面積による不安定核の変形度の決定に向けて:

渡邊慎, 蓑茂工将, 角剛典, 木村真明, 緒方一介, 清水良文, 八尋正信

第 117 回日本物理学会九州支部例会, 2011 年 12 月 3 日, 佐賀大学本庄キャンパス

離散化チャネル結合法による核子-軽核散乱の微分断面積の評価:

松本琢磨

仁科センター共用促進・産業連携部ミニワークショップ「不安定核ビーム反応実験データ採録の課題と将来」, 2011 年 12 月 14 日, 理化学研究所

微視的構造・反応理論による island of inversion 核の定量的反応解析:

蓑茂工将, 渡邊慎, 角剛典, 木村真明, 松本琢磨, 緒方一介, 清水良文, 八尋正信

RCNP 研究会「第 2 回実証的原子核物理学」, 2012 年 2 月 23 日, 大阪大学核物理研究センター

CDCC 法による少数多体反応系の記述:

松本琢磨

RCNP 研究会「第 2 回実証的原子核物理学」, 2012 年 2 月 23 日, 大阪大学核物理研究センター

Efficient method to perform quantum number projection and configuration mixing for most general mean-field states:

Shingo Tagami, Yoshifumi R. Shimizu, and Jerzy Dudek

Frontier Issues in Physics of Exotic Nuclei (YKIS2011), October 13, 2011, Yukawa Institute for Theoretical Physics

量子数射影の効率的な手法と四面体変形核への適用:

田上真伍, 清水良文, J. Dudek

第 117 回日本物理学会九州支部例会, 2011 年 12 月 3 日, 佐賀大学本庄キャンパス

原子核の 3 軸非対称性の研究:

藤岡雄大, 田上真伍, 清水良文

第 117 回日本物理学会九州支部例会, 2011 年 12 月 3 日, 佐賀大学本庄キャンパス

量子数射影の効率的な手法と四面体変形核への適用:

田上真伍, 清水良文, J. Dudek

日本物理学会第 67 回年次大会, 2012 年 3 月 26 日, 関西学院大学西宮上ヶ原キャンパス

以下, ポスター発表.

Determination of ${}^8\text{B}(p,\gamma){}^9\text{C}$ Reaction Rate from ${}^9\text{C}$ Breakup:

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

Frontier Issues in Physics of Exotic Nuclei (YKIS2011), October 13, 2011, Yukawa Institute for Theoretical Physics

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

信頼性の高い有効モデルによる QCD 相構造の定量的解明

研究代表者: 境祐二

文科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モデルによる 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

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)
境祐二、日本学術特振興会別研究員 (DC1).
佐々木 崇宏、日本学術特振興会別研究員 (DC1).

学部4年生卒業研究

【前期】石井優大、豊川将一、林田晃太郎、山口賢司 (担当: 八尋)
場の量子論の輪講

【後期】石井優大、佐々部悟、豊川将一 (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

斎藤康浩: (指導教員、八尋正信): θ 真空を考慮した QCD 相図の解明

福井徳朗: (指導教員、八尋正信): 3 体核反応論による天体核反応率の間接決定

田上真伍: (指導教員、清水良文): 量子数射影の効率的手法とその応用

藤岡雄大: (指導教員、清水良文): 角運動量射影法による 3 軸非対称変形核の回転状態の研究

博士論文

角剛典: (指導教員、八尋正信): Microscopic approach to total reaction cross sections for deformed projectiles (変形原子核入射反応の全反応断面積に対する微視的アプローチ)[2012 年 3 月授与]

境祐二: (指導教員、八尋正信): Determination of the phase diagram of Quantum Chromodynamics from the regions with no sign problem (符号問題がない領域からの量子色力学相図の決定)[2012 年 3 月授与]

その他の活動と成果

八尋正信: 大阪大学核物理センター, 運営委員.

八尋正信: Progress of Theoretical Physics 編集委員.

八尋正信: 核理論委員会委員.

清水良文: 日本物理学会九州支部委員 (2011年8月~)

蓑茂工将、佐々木崇宏、斉藤康浩、福井徳朗、藤岡雄大、嶋田充宏、高橋純一、長野邦裕、渡邊慎: 原子核三者若手夏の学校, 三者準備校.