

研究室構成員

八尋 正信 教授
清水 良文 准教授
緒方 一介 助教

《 博士研究員 》

柏 浩司

《 大学院 博士課程 》

角 剛典 境 祐二 蓑茂 工将 甲斐 貴則

《 大学院 修士課程 》

田上 真伍 花田 真也 小田 輝 佐々木 崇宏
濱田 泰賀 斉藤 康浩 福井 徳朗 藤岡 雄大

《 学部 卒業研究生 》

嶋田 充宏 高橋 純一 長野 邦裕 渡邊 慎
力武 直実

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)、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)、原子核構造論 (清水良文)、力学基礎・同演習 (緒方一介)、物理数学演習 (緒方一介)、物理学特別研究Ⅰ(八尋正信・清水良文・緒方一介)、物理学特別研究Ⅱ(八尋正信・清水良文・緒方一介)、基礎粒子系科学特別研究Ⅰ(八尋正信・清水良文) 基礎粒子系科学特別研究Ⅱ(八尋正信・清水良文) 基礎粒子系科学講究Ⅰ(八尋正信・清水良文) 基礎粒子系科学講究Ⅱ(八尋正信・清水良文)

研究・教育目標と成果

実数クォークおよび実数アイソスピン化学ポテンシャルにおける QCD 相図の解明 (八尋正信、河野宏明 [佐賀大学]、境祐二 (D2)、佐々木崇宏 (M2))

アイソスピン化学ポテンシャルは、重イオン衝突実験や中性子星内部の解析において重要なパラメータである。この領域において Polyakov-loop extended Nambu–Jona-Lasinio(PNJL) 模型と格子 QCD を比較した。その結果、PNJL 模型は、虚数クォーク化学ポテンシャル領域で決定したパラメータを変えずにアイソスピン化学ポテンシャル領域における格子 QCD 計算を定量的に再現することが分かった。

この格子 QCD を再現する PNJL 模型を用い、温度-実数クォーク化学ポテンシャル (μ_q)-実数アイソスピン化学ポテンシャル (μ_{iso}) 空間における相構造を解析した。クォーク化学ポテンシャル ($\mu_q \neq 0, \mu_{iso} = 0$) とアイソスピン化学ポテンシャル ($\mu_q = 0, \mu_{iso} \neq 0$) の両領域に臨界点が存在し、この 2 種類の臨界点が $T-\mu_q-\mu_{iso}$ 空間上で合流する可能性があることを示した。

この研究は佐々木氏を中心に進められ、Physical Review 誌に論文が掲載された。

メソンとバリオンの自由度を考慮した QCD 相構造の研究 (八尋正信、河野宏明 [佐賀大学]、境祐二 (D2)、小田輝 (M2))

PNJL 模型が QCD の第一原理計算である格子 QCD の結果をよく再現する模型であることを示した。PNJL 模型はクォークとグルーオンの自由度を記述する模型であるが、実際の QCD ではメソンやバリオンの自由度を考慮する必要がある。従って QCD 相構造は、クォークとグルーオンだけでなく、メソンやバリオンが混在した真空によって記述される可能性がある。

本研究では、クォークとグルーオンを PNJL 模型、メソンを理想気体、バリオンを Walecka 模型で近似して、これらの自由度が混在した場合の QCD 相構造を解析した。その結果、有限温度・有限化学ポテンシャル領域における、QGP 優勢領域、メソン優勢領域、バリオン優勢領域の分布を解明した。

この研究は小田氏を中心に進められ、修士論文として纏められた。

カイラル相転移と閉じ込め相転移の相関の研究 (八尋正信、河野宏明 [佐賀大学]、境祐二 (D2)、佐々木崇宏 (M2))

格子 QCD では、カイラル相転移と閉じ込め相転移との間の相関が強く、両者はほぼ同時に起きる。従来の PNJL 模型は、2 つの相転移間の相関が弱いため、格子 QCD の結果を再現できない。閉じ込め相転移の秩序変数のポリヤコフ線は、PNJL 模型におけるクォーク間相互作用を通して、カイラル相転移の秩序変数のクォーク凝縮と結合する。この効果を取り入れた PNJL 模型を立案した。

この新しい模型は、虚数クォーク化学ポテンシャル、アイソスピン化学ポテンシャル領域の格子 QCD の結果を再現することを示した。我々の構築したこの有効模型は現存する有限化学ポテンシャルにおける全ての格子 QCD 結果を定量的に再現する唯一の模

型である。

この研究は境氏を中心に進められ、Physical Review 誌に論文が掲載された。

パリティ・荷電共役対称性の破れとカイラル・閉じ込め相転移の関係性の研究 (八尋正信、河野宏明 [佐賀大学]、境祐二 (D2)、佐々木崇宏 (M2))

QCD の真空のトポロジを反映した項として θ 項がある。 $\theta = \pi$ では、低温で破れていたパリティ対称性 (P) が高温で回復する相転移が起こる。虚数化学ポテンシャル $\Theta = \mu/T = \pi$ では、低温で回復していた荷電共役対称性 (C) が高温で破れる相転移が起こる。このよく似た 2 つの現象の関係性を調べることは QCD の真空の構造を調べる上で重要である。

PNJL 模型を用いて、 $\theta = \Theta = \pi$ における P と C の相転移と $\theta = \Theta = 0$ におけるカイラル相転移と閉じ込め相転移の関係性について調べた。 $\theta = \Theta = \pi$ の世界で P と C の相転移が一致するとき、 $\theta = \Theta = 0$ においてカイラル相転移と閉じ込め相転移が一致することを示した。

この研究は河野氏を中心に進められ、Physical Review 誌に論文が掲載された。

符号問題と閉じ込め関係性の研究 (八尋正信、河野宏明 [佐賀大学]、境祐二 (D2))

格子 QCD は有限密度で計算できない。それは、有限密度で統計重みが複素数となり、モンテカルロによる計算ができなくなってしまうためである。これが符号問題である。統計重みの位相を計算することで符号問題の深刻さを調べることができる。

PNJL 模型を用いてこの位相を計算し、符号問題が深刻になる領域と閉じ込め相との関係性を調べた。閉じ込め相において符号問題が深刻であるのに対し、非閉じ込め相では符号問題がなくなることを示した。中性子星内部に対応する領域は符号問題が深刻な領域であり、格子 QCD を用いて解析することが困難であることを示した。

この研究は境氏を中心に進められ、Physical Review 誌に論文が掲載された。

天体内 3 粒子熱核融合反応の研究 (緒方一介、上村正康 [理化学研究所研究嘱託])

3 つの粒子が同時に衝突・融合する過程 (Ternary Fusion Process: TFP) は、これまで考えられてこなかった、全く新しい原子核反応過程である。我々は 2009 年、TFP の描像に基づき、3 つの α 粒子による炭素 12 の生成反応確率を計算し、太陽の中心温度付近では、炭素 12 生成率が従来値よりも 20 桁以上増大することを明らかにした。

今年度は、TFP 計算の中身を詳細に分析し、閉じたチャネルの影響や、設定する模型空間と計算結果との関係を定量的に評価した。また、3 体厳密計算として名高い Faddeev 理論による結果と本研究の結果が食い違う原因が、Faddeev 計算における Coulomb 力の過剰な近似に起因することを明らかにした。本研究は緒方助教を中心に推進された。

加速器中性子源設計に関連した重陽子入射反応核データの研究 (緒方一介、八尋正信、渡辺幸信 [九州大学総合理工学研究院教授]、叶涛 [中国 IAPCM])

現在、核融合炉用材料照射試験のための大強度加速器中性子源の開発計画 (International Fusion Material Irradiation Facility: IFMIF 計画) が、国際協力の下で推進されている。この中性子源として注目されているのが ${}^{6,7}\text{Li}(d, nx)$ 反応である。

我々は、 (d, nx) 反応を記述するため、離散化チャンネル結合法と Glauber 模型を組み合わせた計算手法を提案し、実験データの分析を進めている。今年度は、実験データが豊富に存在し、 (d, nx) 反応と密接に関係する (d, px) 反応の系統的な解析を行い、模型の信頼性を確認した。この研究は叶氏を中心に推進された。

分解反応を記述する新しい反応理論の提唱 (八尋正信、緒方一介、蓑茂工将 (D1))

不安定核反応解析にこれまで用いられてきた理論として、Glauber 模型や離散化チャンネル結合法が挙げられる。Glauber 模型はアイコナル近似と断熱近似から構成される。しかし、Coulomb 相互作用を無視できない条件下では、断熱近似は断面積の発散という問題を引き起こす。離散化チャンネル結合法は分解反応を精度よく記述する理論であるが、包括的断面積を計算できないという問題がある。

我々は、Coulomb 相互作用を正確に取り扱った上で、1 中性子分離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) を提案した。さらに、テスト計算を以てこの新理論の精度の高さを示した。

重陽子入射反応の有効半径 (八尋正信、緒方一介、橋本慎太郎 [日本原子力研究開発機構博士研究員]、千葉敏 [日本原子力研究開発機構主任研究員])

重陽子が標的核に入射すると、重陽子の分解や吸収が起きる。また時として重陽子の一部 (陽子または中性子) だけが吸収されることもある。これらの様々な反応が、標的核のどの領域で起きているのかを明らかにすることは、それぞれの反応過程を分類・理解する上で本質的に重要である。

本研究では、離散化チャンネル結合法および Eikonal Reaction Theory (ERT) を用いて重陽子入射反応の分析を行った。その結果、分解反応・吸収反応・部分吸収反応それぞれが特徴的な反応領域を持つこと、また、その領域を特徴付ける半径や幅が、標的核の質量数の簡単な関数として表現できることを明らかにした。本研究は橋本氏を中心に推進され、その成果は Physical Review C 上で出版されることが決まっている。

${}^{31}\text{Ne}$ の 1 中性子分離反応の解析 (八尋正信、清水良文、緒方一介、木村真明 [北海道大学創成研究機構]、蓑茂工将 (D1))

不安定核研究の対象は比較的重い中重核のドリップラインにまで迫っており、その代表例が ^{31}Ne や ^{33}Mg などの中性子過剰核である。このような中性子ドリップライン近傍の中性子数 20 周辺領域の核に対して、魔法数の消滅が理論的に予言されており、現在注目を集めている。

不安定原子核の構造を探る上で、反応断面積や核子分離反応断面積の解析は極めて有用な手段である。本研究では、 ^{12}C や ^{208}Pb を標的とする ^{31}Ne の 1 中性子分離反応に対して、Eikonal Reaction Theory (ERT) を用いた解析を行った。その結果、 ^{31}Ne の基底状態の構造として、 $^{30}\text{Ne}(0^+) \otimes 1p_{3/2}$ という成分が主成分であることを明らかにした。これは反対称化分子動力学 (AMD) による構造計算の結果と合致しており、魔法数が消滅していることをまさしく実証した。

本研究は蓑茂氏を中心に推進され、その成果は Progress of Theoretical Physics 誌への掲載が決定している。

核-核弾性散乱に対する微視的光学ポテンシャル計算コードの開発 (八尋正信、清水良文、緒方一介、角剛典 (D3)、蓑茂工将 (D1))

反応解析において、光学ポテンシャルは必須の道具である。通常、光学ポテンシャルは実験を再現するよう現象論的に決定されるが、不安定核弾性散乱に関しては、実験データの種類が限られるため、信頼性の高い光学ポテンシャルを現象論的に構築することは大変難しい。そこで、核子内相互作用に基づいて理論的に構築された光学ポテンシャル (微視的光学ポテンシャル) が必要となる。

昨年度は、核子-核弾性散乱に対する微視的光学ポテンシャルの構築に取り組んだ。その成果を基に、今年度は核-核弾性散乱への拡張を行い、核-核弾性散乱に対する微視的光学ポテンシャルを計算するコードを開発した。これにより、原理的にはあらゆる反応系の光学ポテンシャルを用意することが可能となったため、今後の反応解析の劇的な進展が期待される。本研究は角氏と蓑茂氏を中心に推進された。

不安定核入射反応における変形の効果 (八尋正信、清水良文、緒方一介、木村真明 [北海道大学創成研究機構]、角剛典 (D3)、蓑茂工将 (D1))

原子核実験技術の進歩を受け、短寿命の原子核を用いた反応実験の観測データが集積されつつある。反応断面積とは、原子核の衝突により弾性散乱以外の事象が引き起こされるイベント数に対応する。この観測量を通じて、質量に次ぐ原子核の情報、原子核の半径を知ることができる。本研究では、反応断面積の系統性と定量性に優れた解析手法を確立し、種々の不安定核の性質の解明を目指している。

反応断面積の解析手法として、二重畳み込み模型を用いる。この模型では、入射核中の核子と、標的核中の核子との間の相互作用の足し合わせにより反応を記述する。よっ

て、最も基本的な要素である 2 核子間の相互作用の不定性の範囲内で、仮定している原子核の構造の是非を論じることができる。ただし、入射・標的核の核子は連続的に分布しており、それは原子核の構造理論計算を用いて構築される。本研究の新しい点は、原子核の静的な変形効果、すなわち半径の拡がりや考慮した核子分布を用意する点にある。典型的な不安定原子核では、大きな変形が示唆されており、原子核の変形を考慮することは、不安定核入射反応断面積の定量的解析を行う上で重要な役割を果たすと期待される。

この手法を用いて、炭素標的に対する中性子過剰なネオン同位体を入射反応の反応断面積を解析した。その結果、反応断面積を定量的な説明する上で、核子分布の静的な変形効果が重要な役割を果たすことが示された。この知見を論文にまとめ、現在、Physical Review C 誌に投稿中である。本研究は、角氏と蓑茂氏が中心となって推進された。

微視的 3 体反応モデルによる ${}^6\text{Li}$ 弾性散乱の計算 (緒方一介、濱田泰賀 (M2))

重陽子と α 粒子に容易に分解する ${}^6\text{Li}$ の弾性散乱を記述するには、その分解の自由度を取り入れることが本質的に重要である。またこの計算には、重陽子と標的核ならびに α 粒子と標的核の相互作用 (光学ポテンシャル) が必要となる。

本研究では、離散化チャネル結合法を用いることで ${}^6\text{Li}$ の分解の自由度を取り入れつつ、核子間相互作用に基づいて理論的に決定された光学ポテンシャルを用いた反応計算を行い、 ${}^6\text{Li}$ 弾性散乱断面積の実験データとの比較を系統的に行った。今回採用した核子間相互作用にはパラメータが 2 つ含まれているが、分析の結果、それらは標的核にほとんど依存しないことがわかった。従って、弾性散乱のデータがただ 1 つ存在すれば、不定性のない反応モデルの枠組みが構築できることになる。これは、理論による系統的な反応計算の道筋を付ける重要な成果であると考えられる。

この研究は濱田氏を中心として推進され、修士論文として纏められた。

s-process における中性子生成反応率の決定 (緒方一介、福井徳朗 (M1)、八尋正信)

元素合成過程の 1 つに、恒星内部において原子核が中性子をゆっくりと捕獲する、s-process がある。s-process の解明には中性子の生成源として考えられている ${}^{13}\text{C}(\alpha,n){}^{16}\text{O}$ の反応率の決定が本質的に重要である。

しかし、恒星内で起きる核反応は一般に非常に低エネルギーであり、 (α,n) 反応を実験によって再現することは困難である。したがって、代替反応として ${}^{13}\text{C}({}^6\text{Li},d){}^{17}\text{O}$ を利用し、 (α,n) 反応率を間接的に決定する。

本研究では ${}^{13}\text{C}({}^6\text{Li},d){}^{17}\text{O}$ の解析に離散化チャネル結合法を用い、 ${}^6\text{Li}$ および ${}^{17}\text{O}$ の分解の自由度を正確に取り入れた。その結果、 ${}^6\text{Li}$ の分解の効果が重要であることを示

し、 (α, n) 反応率を正確に決定した。現在、天体核物理において重要な反応を、移行反応を用いて間接的に研究する試みが多くなされている。今後、それらの反応における分解の効果を系統的に解明することは極めて重要な課題である。

本研究は福井氏を中心に推進され、その成果は Progress of Theoretical Physics 誌への掲載が決定している。

high-K アイソマー、超変形回転バンドの生成・崩壊 (清水良文、松尾正之 [新潟大学教授]、S. Leoni 他 [ミラノ大学])

この数年、ミラノ大学の実験核物理グループと原子核の回転状態の研究を行っており、準連続ガンマ線の実験データの分析によって、離散ガンマ線では分からない高励起回転バンドの性質を調べている。特に、巨大変形した超変形回転状態については、我々の開発してきた超変形回転バンドの生成・崩壊の理論的モデルに、ガンマ線遷移の統計的シミュレーションを組み合わせることにより、実験データがうまく説明できることがわかり、超変形と通常変形のような内部状態が大きく異なった状態が共存する場合の興味深い現象が明らかになってきた。異なった内部状態が共存する例としては、超変形状態の他に、high-K アイソマー (高スピン同位体) が知られており、新たにアイソマーが存在する原子核に対しても、これまでの準連続ガンマ線の分析を拡張して研究を進めている。この研究は S. Leoni 氏を中心に進められている。

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。まずは、現実的な平均ポテンシャル (Woods-Saxon ポテンシャル) で、ドリップ線近傍までの多くの不安定核の変形を調べる必要があるが、信頼できる結果を得るためには、昨年度完成した「連続状態の効果を考慮した Strutinsky 法の開発」を待つ必要があった。今年度はこの方法を用いて、最終的な計算結果を得ることができ、簡単な Nilsson ポテンシャルによる結果をより深化させた。今のところ、ポテンシャルのパラメータを変化させることによる半現象論的理解であるが、現実の原子核においては、表面付近でポテンシャルがどれだけ急激に浅くなるかという効果と、スピン-軌道相互作用の効果が互いに干渉を起こし、両方の効果が強め合うことにより、プロレート変形がより多く実現することが非常に明確になった。これからは、更に進めてこのような干渉を起こすメカニズム、すなわち、核子の軌道運動に対してスピンのフリップする効果が殻構造に及ぼす影響を理論的に明らかにする研究を進めていく予定である。この研究は高原氏を中心に行われた。

不安定核研究のための改良されたBCS法(清水良文、小野寿哉(卒業生)、田嶋直樹[福井大学准教授]、高原哲士[杏林大学講師])

昨年度小野氏を中心に進められ修士論文となったKruppa法の拡張を深化させ、連続状態の効果が重要な不安定核に適用可能な「改良されたBCS法」を開発した。安定核で有用な対相関を取り入れる枠組みであるBCS法を不安定核に単純に適用すると、連続状態の寄与により、核半径などの物理量が発散することが知られている。これに対し、自由粒子の寄与を引き去るKruppa処方を用いると、物理量の発散は回避できることを準古典近似によって示すことができ、これによってKruppa-BCS法を用いれば連続状態の困難なしに不安定核での物理量の計算ができることを示した。連続状態の効果を自己無撞着に取り入れて対相関を解き直すHFB理論を用いれば、初めから発散のない結果が得られるが、我々の「改良されたBCS法」はそれに近い結果が得られることがわかった。特に、対相関が強い場合に半径が縮み、ハローの成長が抑制される効果(pairing anti-halo効果)がHFB理論で知られているが、我々の方法でも類似の効果が現れる。半径が縮むメカニズムは異なるが、同様な条件の下に現れることを明らかにした。この我々の簡便な方法は、HFB計算に近い結果を出す不安定核での物理量の計算法として有用であると期待される。

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、休学中))

3年前から、最も一般的に対称性を破った平均場(HFB的積型平均場波動関数)に対する、量子数射影法の計算法を開発している。特に、不安定核への応用まで視野に入れた現実的なポテンシャルの応用を考え、Woods-Saxonポテンシャルを用いた広い模型空間で量子数射影を行うためには、効率良い空間の切断法が不可欠であるが、与えられた平均場の正準基底を用いることにより、これが可能になることを明らかにした。量子数射影計算では、2つの異なるHFB的積型平均場波動関数の間のオーバーラップを計算する必要があるが、それができれば、2つ以上の異なる変形場、例えばオブレート状態とプロレート状態、の間の配位混合の計算(生成座標法(GCM))も可能になる。現在、角運動量射影と粒子数射影とパリティ射影に加えて、同時に配位混合を行う一般的な計算プログラムを開発中であり、完成に近づきつつある。この研究は現在休学中である田上氏を中心に清水准教授が進めている。

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、休学中)、J. Dudek[Strasbourg大学])

近年の平均場理論計算によって、エキゾチックな変形状態の存在が示唆されている。

その中でも特に興味深いのは高次の点群対称性を持つ四面体型の変形であり、多数の原子核の安定な変形として実現するのではないかと予想されているが、その確かな証拠は見つかっていない。本研究では、四面体変形をした原子核状態を同定する為に、四面体変形状態ではエネルギースペクトルや電磁遷移確率等にどのような特徴が現れるかを明らかにすることを目標に研究を行っている。理想的な四面体変形の場合、四重極変形はゼロであるが、軸対称性を破った変形を持ち、かつ、空間反転対称性をも破っている。従って、基底状態近傍の状態をうまく記述する有効ハミルトニアンを用いた、一般的量子数射影計算が必要である。また、通常四重極変形した基底状態との間の電磁遷移確率を計算する為には、四面体変形状態と四重極変形状態との配位混合計算が不可欠になる。今年度は、この計算を実現する為に先に述べた「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」を行うとともに、実際にどのような電磁遷移が重要になるかを検討している。この研究は現在休学中である田上氏を中心に清水准教授が進めている。

発表論文

《 原著論文 》

Quark propagators in confinement and deconfinement phases:

M. Hamada, H. Kouno, A. Nakamura, T. Saito, and M. Yahiro,
Physical Review D **81** (2010) pp. 094506-1-7

Investigation of meson mass for real and imaginary chemical potential:

T. Matsumoto, K. Kashiwa, H. Kouno, K. Oda, and M. Yahiro,
Physics Letters B **694** (2011) pp. 367-373

QCD phase diagram at imaginary and isospin chemical potentials:

Y. Sakai, H. Kouno, and M. Yahiro,
Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics, Vol. 37 (2010), pp.105007-1-25

QCD phase diagram at finite baryon and isospin chemical potentials:

T. Sasaki, Y. Sakai, H. Kouno, and M. Yahiro,
Physical Review D **82** (2010) pp. 116004-1-15

Entanglement between deconfinement transition and chiral symmetry restoration:
Y. Sakai, T. Sasaki, H. Kouno, and M. Yahiro,
Physical Review D **82** (2010) pp. 076003-1–10

Average phase factor in the PNJL model:
Y. Sakai, T. Sasaki, H. Kouno, and M. Yahiro,
Physical Review D **82** (2010) pp. 096007-1–10

Violations of parity and charge conjugation in the theta 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

New description of the four-body breakup reaction:
T. Matsumoto, K. Kato, and M. Yahiro,
Physical Review C **82** (2010), pp.051602(R)-1–5.

Dynamical Relativistic Effects in Breakup Processes of Halo Nuclei:
Kazuyuki Ogata and Carlos A. Bertulani,
Progress of Theoretical Physics, **123** (2010) pp. 701–718

Brieva-Rook Localization of Microscopic Nucleon-Nucleus Potential:
K. Minomo, K. Ogata, M. Kohno, Y. R. Shimizu, and M. Yahiro,
Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics, Vol. 37 (2010), pp.085011-1–15

Method to circumvent the neutron gas problem in the BCS treatment for nuclei far from stability:
T. Ono, Y. R. Shimizu, N. Tajima, and S. Takahara,
Physical Review C **82** (2010), pp.034310-1–11.

Improved microscopic-macroscopic approach incorporating the effects of continuum states:
N. Tajima, Y. R. Shimizu, and S. Takahara,
Physical Review C **82** (2010), pp.034316-1–28.

《Proceedings》

Comparison between LQCD and PNJL model at finite chemical potentials:

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

Proceedings of Science (Lattice 2010), pp. 213-1-7 (2010)

Quantum three-body calculation of the nonresonant triple-alpha reaction rate at low temperatures:

Kazuyuki Ogata, Masataka Kan, Masayasu Kamimura,

AIP Conference Proceedings Vol.1269, the 10th International Symposium on Origin of Matter and Evolution of the Galaxies (OMEG10), March 8-10, 2010, Osaka University, Japan, p.268 (2010).

Quantum three-body calculation of the nonresonant triple-alpha reaction rate at low temperatures:

Kazuyuki Ogata, Masataka Kan, Masayasu Kamimura,

Proceedings of the Tours Symposium on Nuclear Physics and Astrophysics VII, November 16-20, 2009, Kobe Orbis Hall, Japan, p.175 (2010).

Nuclear Astrophysics Studies with the method of Continuum-Discretized Coupled-Channels:

K. Ogata, S. Hashimoto, Y. Iseri, M. Kan, M. Kamimura, M. Yahiro,

AIP Conference Proceedings Vol.1235, 7th Japan-China Joint Nuclear Physics Symposium, November 9-13, 2009, University of Tsukuba, Japan, p.228 (2010).

有限バリオン、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

素粒子論研究 Vol.118 No.4, D91-D93 (2011)

Average Phase Factor in the PNJL model:

境祐二, 佐々木崇宏, 河野宏明, 八尋正信

素粒子論研究, Vol.118, No.4, pp. D88-D90 (2011)

《その他の論文》

炭素 12 生成の新しい理解:

緒方一介

原子核研究, Vol. 55, No. 2, 2011年3月, pp. 75–88

講演

《 海外での講演 》

Comparison between LQCD and PNJL model at finite chemical potentials:

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

The XXVIII International Symposium on Lattice Field Theory, Lattice 2010, June 15, 2010, Villasimius, Italy

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

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

Extreme QCD 2010, June 22, 2010, Bad Honnef, Germany

QCD phase diagram at imaginary baryon and isospin chemical potentials:

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

Extreme QCD 2010, June 22, 2010, Bad Honnef, Germany

Status of breakup reaction theory:

K. Ogata, T. Matsumoto, S. Hashimoto, K. Minomo, T. Egami, Y. Iseri, M. Kohno, S. Chiba, C. A. Bertulani, Y. R. Shimizu, M. Kamimura, and M. Yahiro,

The International Nuclear Physics Conference (INPC2010), July 6, 2010, University of British Columbia, Canada

Recent development in CDCC:

M. Yahiro, T. Matsumoto, T. Fukui, K. Minomo, K. Ogata, Y. Iseri, Y. Shimizu, S. Hashimoto, M. Kawai and K. Kato,

Japan-Italy EFES Workshop on Correlations in Reactions and Continuum, September 7, 2010, Torino, Italy

Reaction theory for scattering of unstable nuclei:

M. Yahiro,

The International Symposium on Nuclear Physics in Asia, October 14, 2010, Beihang university, China

《 国内での講演 》

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,

原子核三者若手夏の学校研究会, 2010 年 8 月 9 日, パノラマランド木島平

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,

原子核三者若手夏の学校研究会, 2010 年 8 月 9 日, パノラマランド木島平

虚数化学ポテンシャルからの QCD 相図の解明:

境祐二, 佐々木崇宏, 河野宏明, 八尋正信,

「少数粒子系物理の現状と今後の展望」研究会, 2010 年 8 月 21 日, 福岡国際会議場

有限バリオン、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、

基研研究会「熱場の量子論とその応用」, 2010 年 8 月 30 日, 京都大学基礎物理学研究所

Average Phase Factor in the PNJL mode:

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」, 2010 年 8 月 30 日, 京都大学基礎物理学研究所

Correlation between the deconfinement and chiral symmetry restoration in PNJL model:

境祐二, 佐々木崇宏, 河野宏明, 八尋正信,

日本物理学会 2010 年秋季大会, 2010 年 9 月 14 日, 九州工業大学戸畑キャンパス

Average Phase Factor in the PNJL model:

境祐二, 佐々木崇宏, 河野宏明, 八尋正信,

日本物理学会 2010 年秋季大会, 2010 年 9 月 14 日, 九州工業大学戸畑キャンパス

Determination of QCD phase diagram from imaginary chemical potential:

境祐二, 佐々木崇宏, 河野宏明, 八尋正信,

次世代格子ゲージシミュレーション研究会, 2010 年 9 月 24 日, 理化学研究所

有限バリオン、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,

第 116 回日本物理学会九州支部例会, 2010 年 12 月 4 日, 長崎大学

Polyakov loop extended Nambu-Jona-Lasinio model(PNJL model) を用いた 2+1 フ
レーバー QCD 相構造の研究:

小田輝, 境祐二, 河野宏明, 八尋正信,

第 116 回日本物理学会九州支部例会, 2010 年 12 月 4 日, 長崎大学

Entanglement between deconfinement and chiral symmetry restoration:

境祐二, 佐々木崇宏, 河野宏明, 八尋正信,

第 116 回日本物理学会九州支部例会, 2010 年 12 月 4 日, 長崎大学

QCD phase diagram at finite baryon and isospin chemical potentials:

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

International conference on the structure of baryons, BARYONS'10 December 8, 2010,
Osaka university

Entanglement between deconfinement transition and chiral symmetry restoration:

Yuji Sakai, Takahiro Sasaki, Hiroaki Kouno, Masanobu Yahiro,

International conference on the structure of baryons, BARYONS'10 December 10, 2010,
Osaka university

Application of the 3-flavor entanglement PNJL model to the Roberge-Weiss endpoint:

佐々木崇宏, 境祐二, 河野宏明, 八尋正信,

日本物理学会第 66 回年次大会, 2011 年 3 月 28 日, 新潟大学

Quark-Hadron Transition and Polyakov loop effects:

境祐二, 佐々木崇宏, 河野宏明, 八尋正信,

日本物理学会第 66 回年次大会, 2011 年 3 月 28 日, 新潟大学

Microscopic approach to scattering of unstable nuclei:

K. Minomo, K. Ogata, M. Kohno, Y. R. Shimizu, and M. Yahiro,

Second EMMI-EFES Workshop on Neutron-Rich Nuclei EENEN10, June 16, 2010,

RIKEN Nishina Center

核反応論研究の現状と展望:

緒方一介, 松本琢磨, 橋本慎太郎, 蓑茂工将, 井芹康統, 河野通郎, 千葉敏, C. A. Bertulani, 清水良文, 明孝之, 古本猛憲, 上村正康, 八尋正信, 河合光路

RCNP 研究会「不安定核や高運動量移行を用いた核反応機構の研究」, 2010年8月2日, 大阪大学核物理研究センター (RCNP)

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,

RCNP 研究会「不安定核や高運動量移行を用いた核反応機構の研究」, 2010年8月2日, 大阪大学核物理研究センター (RCNP)

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,

原子核三者若手夏の学校研究会, 2010年8月6日, パノラマランド木島平

サブバリア α 移行反応の CDCC 解析に基づく $^{13}\text{C}(\alpha, n)^{16}\text{O}$ の反応率の決定:

福井徳朗, 緒方一介, 八尋正信,

原子核三者若手夏の学校研究会, 2010年8月6日, パノラマランド木島平

^{12}C 生成反応の新しい理解:

緒方一介, 上村正康

「少数粒子系物理の現状と今後の展望」研究会, 2010年8月20日, 福岡国際会議場

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,

「少数粒子系物理の現状と今後の展望」研究会, 2010年8月21日, 福岡国際会議場

Determination of the reaction rate for $^{13}\text{C}(\alpha, n)^{16}\text{O}$ by means of CDCC analysis of subbarrier α transfer reaction:

福井徳朗, 緒方一介, 八尋正信,

「少数粒子系物理の現状と今後の展望」研究会, 2010年8月21日, 福岡国際会議場

COSM 波動関数を用いた不安定核反応の CDCC 解析:

緒方一介, 明孝之, 古本猛憲, 蓑茂工将, 清水良文, 八尋正信

日本物理学会 2010 年秋季大会, 2010 年 9 月 12 日, 九州工業大学戸畑キャンパス

離散化チャンネル結合法計算に基づく代理反応法の分析:

緒方一介, 橋本慎太郎, 千葉敏

日本物理学会 2010 年秋季大会, 2010 年 9 月 12 日, 九州工業大学戸畑キャンパス

^{12}C 生成反応の新しい理解 2:

緒方一介, 上村正康

日本物理学会 2010 年秋季大会, 2010 年 9 月 12 日, 九州工業大学戸畑キャンパス

離散化チャンネル結合法を用いた重陽子入射反応の反応断面積が持つ標的核依存性の分析:

橋本慎太郎, 緒方一介, 八尋正信

日本物理学会 2010 年秋季大会, 2010 年 9 月 12 日, 九州工業大学戸畑キャンパス

不安定核入射反応に対する原子核変形の効果:

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 2010 年秋季大会, 2010 年 9 月 12 日, 九州工業大学戸畑キャンパス

サブバリア α 移行反応の CDCC 解析に基づく $^{13}\text{C}(\alpha, n)^{16}\text{O}$ の反応率の決定:

福井徳朗, 緒方一介, 八尋正信,

日本物理学会 2010 年秋季大会, 2010 年 9 月 12 日, 九州工業大学戸畑キャンパス

Quantum scattering of three particles in stars: new understanding of the formation of ^{12}C :

K. Ogata

GCOE Summer School on Hadrons and Nuclei under Extreme Conditions, September 16, 2010, Tokyo Institute of Technology.

Quantum scattering of three particles in stars: new understanding of the formation of ^{12}C :

K. Ogata, M. Kan, and M. Kamimura

京都大学基礎物理学研究所セミナー, 2010 年 11 月 19 日, 京都大学基礎物理学研究所

Theoretical Studies on Reaction Mechanisms of Unstable Nuclei:

K. Ogata, T. Matsumoto, S. Hashimoto, K. Minomo, Y. Iseri, M. Kohno, S. Chiba, T. Hamada, Y. R. Shimizu, T. Ye, Y. Watanabe, and M. Yahiro

2010年度核データ研究会, 2010年11月26日, 九州大学筑紫キャンパス

^{12}C 生成反応の新しい理解:

緒方一介, 菅将孝, 上村正康

大阪市立大学セミナー, 2010年12月2日, 大阪市立大学

不安定核入射反応に対する原子核変形の効果:

蓑茂工将, 木村真明, 緒方一介, 清水良文, 八尋正信,

第116回日本物理学会九州支部例会, 2010年12月4日, 長崎大学

Determination of the reaction rate for $^{13}\text{C}(\alpha, n)^{16}\text{O}$ by means of CDCC analysis of subbarrier α transfer reaction:

福井徳朗, 緒方一介, 八尋正信,

第116回日本物理学会九州支部例会, 2010年12月4日, 長崎大学

Quantum three-body calculation of triple-alpha reaction rate:

K. Ogata, M. Kan, and M. Kamimura

International workshop on Impact of the new triple-alpha reaction rate on stellar evolution and nucleosynthesis, December 17, 2010, RIKEN Nishina Center

A new theory on nucleon removal reaction:

八尋正信,

研究会「核磁気モーメント・核力反応による Island of Inversion の理解に向けて」, 2010年12月20日, 理化学研究所

Application of the eikonal reaction theory to ^{31}Ne induced reaction:

蓑茂工将, 木村真明, 緒方一介, 清水良文, 八尋正信,

研究会「核磁気モーメント・核力反応による Island of Inversion の理解に向けて」, 2010年12月20日, 理化学研究所

Coulomb breakup of ^8B :

Kazuyuki Ogata, Takuma Matsumoto, Shintaro Hashimoto, Kosho Minomo, Tokuro

Fukui, Yasunori Iseri, Carlos A. Bertulani, Yoshifumi R. Shimizu, Masayasu Kamimura,
and Masanobu Yahiro

Symposium on Physics Perspective at RIBF Initiated by Prof. Hiroyuki Okamura,
January 22, 2011, RIKEN Nishina Center

CDCC 法による軽い中性子過剰核分解反応の系統的解析:

T. Matsumoto, M. Kamimura, M. Yahiro, K. Ogata, K. Minomo, E. Hiyama, Y. Iseri,
S. Chiba, K. Kato, Y. Hirabayashi, D. Ichinkhorloo

「実証的原子核物理学」研究会, 2011年3月3日, 九州大学

Eikonal Reaction Theory:

蓑茂工将, 木村真明, 緒方一介, 清水良文, 八尋正信,

「実証的原子核物理学」研究会, 2011年3月4日, 九州大学

Recent development of CDCC:

M. Yahiro,

SAMURAI International Workshop 2011, March 10, 2011, RIKEN Nishina Center

Extraction of ANC via Coulomb breakup:

K. Ogata, K. Minomo, T. Fukui, C. A. Bertulani, M. Yahiro

SAMURAI International Workshop 2011, March 10, 2011, RIKEN Nishina Center

Extraction of ANC via One-neutron Removal:

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

SAMURAI International Workshop 2011, March 10, 2011, RIKEN Nishina Center

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

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

SAMURAI International Workshop 2011, March 10, 2011, RIKEN Nishina Center

A new reaction theory on scattering of unstable nuclei:

八尋正信, 蓑茂工将, 緒方一介,

日本物理学会第66回年次大会, 2011年3月25日, 新潟大学

Application of the eikonal reaction theory to ${}^{31}\text{Ne}$ induced reactions:

八尋正信, 蓑茂工将, 緒方一介,
日本物理学会第 66 回年次大会, 2011 年 3 月 25 日, 新潟大学

Study of Rapidly Rotating Nuclei:

清水良文

日本物理学会 2010 年秋季大会, 2010 年 9 月 12 日, 九州工業大学戸畑キャンパス

Improved BCS calculation without the neutron gas problem:

T. Ono, Y. R. Shimizu, T. Tajima, and S. Takahara,

Univ. of Aizu-JUSTIPEN-EFES Symposium on “Cutting-Edge Physics of Unstable Nuclei”, Aizu-Wakamatsu, Japan, November 10, 2010, University of Aizu

外部資金

《 文部省科学研究費補助金 》

文部省化学研究費補助金、特別研究員奨励費

実数および虚数化学ポテンシャル領域における QCD 相図の統一的解明

研究代表者: 柏浩司

文部省化学研究費補助金、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

科学研究費補助金、若手研究 (B),

3 粒子融合反応に基づく宇宙元素合成の新しい理解

研究代表者: 緒方一介

科学研究費補助金、基盤研究 (C),

分解反応過程を考慮した核融合中性子及び重陽子核反応断面積計算コードシステム開発

研究代表者: 渡辺幸信

研究分担者: 緒方一介

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)

柏浩司、日本学術特振興会別研究員 (DC2).

境祐二、日本学術特振興会別研究員 (DC1).

他大学での研究と教育

緒方一介: 集中講義「実証的核反応論入門」, 大阪市立大学 (2010年12月1-2日).

緒方一介: 理化学研究所仁科加速器研究センター, 客員研究員.

緒方一介: 日本原子力研究開発機構, 研究嘱託.

学部4年生卒業研究

【前期】嶋田充宏、高橋純一、長野邦裕、力武直実、渡邊慎 (担当: 緒方)
「宇宙核反応研究」体験版

【後期】嶋田充宏、高橋純一、長野邦裕、力武直実、渡邊慎 (担当: 八尋、清水、緒方)

場の量子論、核反応論、核構造論の輪講・研究

修士論文

小田輝: (指導教員、八尋正信): メソンとバリオンの自由度を考慮した 2+1 フレーバー QCD 相構造の研究

佐々木崇宏: (指導教員、八尋正信): 有限アイソスピンをもつ量子色力学系の相構造

濱田泰賀: (指導教員、緒方一介): 微視的 3 体反応モデルに基づく ${}^6\text{Li}$ 弾性散乱の記述

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.

八尋正信: 若手夏の学校講師.

八尋正信: 京都大学基礎物理学研究所, 集中講義講師

八尋正信, 緒方一介: 研究会「実証的原子核物理学」の主催.

緒方一介: 京都大学基礎物理学研究所, 共同利用運営委員.

蓑茂工将: 原子核三者若手夏の学校, 原子核パート世話人.