

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 》

江上 智晃

《 大学院 博士課程 》

柏 浩司 角 剛典 境 祐二

《 大学院 修士課程 》

田上 真伍 花田 真也 小野 寿哉 甲斐 貴則
松本 健史 蓑茂 工将 小田 輝 佐々木 崇宏
濱田 泰賀

《 学部 卒業研究生 》

斎藤 康浩 佐々 百合子 藤岡 雄大 雪山 裕貴
蓬田 光樹

担当授業

物理学入門(八尋正信)、量子力学補講(八尋正信)、量子力学I・同演習(八尋正信・緒方一介)、特殊相対論と電気力学(八尋正信)、物理数学I(清水良文)、原子核物理学(清水良文)、数値計算法(清水良文)、電磁気学(清水良文)、物理学特別講義I(物理学最前線)(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

虚数および純虚数化学ポテンシャルにおける中間子質量の研究(八尋正信、松崎昌之[福岡教育大学]、河野宏明[佐賀大学]、柏浩司(D3)、境祐二(D1))

実数化学ポテンシャル領域を定量的に調べることを目的として我々が提案した「虚数化学ポテンシャル一致法」の信頼性をより高めるため、繰りこみの問題のない中間子質量の解析を、実数および虚数化学ポテンシャルにおいて行った。その結果、中間子質量も Roberge-Weiss(RW) 周期性および RW 転移を示すことが明らかになった。また、擬スカラーである π 中間子質量はクォークカレント質量に敏感であり、格子 QCD 計算の様なカレント質量が大きい場合には定性的にも異なる結果を与える可能性があることも明らかになった。来年度は、本研究で考慮しなかったベクター中間子などより重い中間子質量の解析を行う。

虚数化学ポテンシャルの情報を用いた QCD 相構造の解明 (八尋正信、河野宏明 [佐賀大学]、柏浩司 (D3)、境祐二 (D1))

QCD 相構造の解明を困難にしている原因は、第一原理である格子 QCD が実数化学ポテンシャルにおいて符号問題をもち、計算できないためである。純虚数化学ポテンシャル領域ではこの問題はない。昨年度、我々は虚数化学ポテンシャル領域において Polyakov-loop extended Nambu–Jona-Lasinio (PNJL) 模型が QCD の持つ Roberge-Weiss 周期性を再現すること、定性的には格子 QCD の結果を再現することを示した。本年度は、この領域において PNJL 模型と格子 QCD を直接比較し、現時点での最良のパラメータを見つけた。さらに、そのパラメータでの PNJL 模型計算から実化学ポテンシャルにおける相構造を決定した。

アイソベクター型虚数化学ポテンシャルにおける QCD 相構造の解析 (八尋正信、河野宏明 [佐賀大学]、境祐二 (D1))

格子 QCD が計算可能な他の領域として、アイソベクター型化学ポテンシャル領域がある。特に、この領域においては、化学ポテンシャルが実数でも虚数でも格子 QCD が計算可能なため、我々の戦略「模型を用いた虚数化学ポテンシャル領域から実数化学ポテンシャルへの解析接続」の妥当性を調べるのが可能である。近年、虚数アイソベクター型化学ポテンシャル領域における格子 QCD の結果が得られたこともあり、まずは、この領域における相構造を PNJL 模型を用いて調べた。この領域では、パイオン凝縮が起こらず、QCD は高い対称性を持っていることを示した。PNJL 模型も同様の対称性を持っており、この領域における格子 QCD の結果を定性的に再現することを示した。来年度は、この領域において PNJL 模型と格子 QCD との定量的比較を行う。

双対クォーク凝縮の研究 (八尋正信、河野宏明 [佐賀大学]、柏浩司 (D3))

近年、新しい非閉じ込め相転移の指標として提案された双対クォーク凝縮の解析を PNJL 模型を用いて解析した。その結果、PNJL 模型の中でも Polyakov-loop ポテンシ

ルに対数型のものを採用した模型が、格子 QCD 計算のデータを定量的に再現することを発見した。また、通常は零化学ポテンシャル領域では効果が現れないベクター型相互作用が双対クォーク凝縮に対しては、高温領域において非常に大きな寄与を与えることが明らかになった。本研究では零化学ポテンシャルのみの解析を行ったため、来年度は、有限化学ポテンシャルでの双対クォーク凝縮の解析を行う。

3 フレーバー系での中間子質量の解析 (八尋正信、河野宏明 [佐賀大学]、松本健史 (M2)、柏浩司 (D3)、小田輝 (M1))

我々の研究グループでこれまで行ってきた 2 フレーバー系より、現実的な 3 フレーバー系での中間子質量の解析を行った。特に虚数化学ポテンシャルでの解析を行い、軸性ベクトル異常回復の効果を調べた。この軸性ベクトル異常は小林-益川-'t Hooft 相互作用によって記述され、その化学ポテンシャル依存性が問題である。その結果、有限の虚数化学ポテンシャルでは、零化学ポテンシャルでカイラル対称性が回復していたとしても、その対称性が破れている現象が確認され、この現象を利用することによって、近年問題となっている小林-益川-'t Hooft 相互作用の化学ポテンシャル依存性が決定できることを明らかにした。今年度は定性的な解析のみを行ったため、来年度は格子 QCD データを利用して定量的な解析を行う予定である。

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]、甲斐貴則 (M2)、境祐二 (D1))

虚数化学ポテンシャル領域における PNJL 模型と格子 QCD との定量的比較を通して、2 つの相違は、主に PNJL 模型においてカイラル相転移と閉じ込め相転移の相関が小さいためであることがわかった。そこで、2 つの相転移の相関を表す項を PNJL 模型に加え、この項の効果について調べた。その結果、この項を加えることで PNJL 模型と格子 QCD との相違を小さくすることができることを示した。来年度は、このカイラル相転移と閉じ込め相転移の相関を現す項の起源について調べる予定である。

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)、佐々木崇宏 (M1)、境祐二 (D1))

実数アイソベクター型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必要不可欠なパラメータである。この領域において、純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で PNJL 模型計算を行い、格子 QCD と比較した。その結果、PNJL 模型はこの領域における格子 QCD 計算を定量的に再現することが分かった。この結果は、我々の戦略の妥当性を裏付ける 1 つの証拠である。来年度は、この格子 QCD を再現する PNJL 模型を用い、温度-実クォーク化学ポテンシャル-

実アイソベクター型化学ポテンシャル空間における相構造について調べる予定である。

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])

宇宙における元素合成で最初の障害となるのが、質量数 8 の壁である。この壁を越え、生命にとって本質的に重要な ^{12}C を形成する反応として、3 つの α 粒子 (^4He 原子核) から ^{12}C が出来る、いわゆる 3 重 α 反応が広く知られている。この反応は、絶妙に“調整”された共鳴状態を経由して起きると考えられてきたが、低温 (約 1 億度以下) では、非共鳴過程、すなわち、3 つの α 粒子が同時に衝突・融合する過程が重要となる。

本研究では、共鳴・非共鳴状態を統一的に取り扱うことにより、広い温度領域にわたってこの 3 重 α 反応の反応率を正確に決定する。離散化チャネル結合法を用いた量子力学的反応計算の結果、1 億度よりも低温の環境では、 ^{12}C の生成率が従来の結果よりも劇的に増大する (例: 1,000 万度で 10^{26} 倍になる) ことを明らかにした。この研究成果は Progress of Theoretical Physics 上で出版され、また、米国での招待セミナーや、国際会議の招待講演として選定された。

来年度は、計算の中身をより深く分析し、反応率の精度の向上を目指すと共に、天体核物理における 3 粒子入射反応の役割を系統的に模索する。この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、渡辺幸信 [九州大学総合理工学研究院准教授]、叶涛 [九州大学総合理工学研究院博士後期課程 3 年])

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。実際の中性子生成実験では、厚いリシウム標的に 40MeV 程度の重陽子を入射する。このとき、重陽子は標的との相互作用により次第にエネルギーを失っていき、その過程で中性子の生成反応が起こる。従って中性子源の開発には、幅広い入射エネルギーにわたる $^{6,7}\text{Li}(d, nx)$ 反応の核データが必要となるため、全てのデータを実験的に整備することは難しい。

本研究では、 $^7\text{Li}(d, nx)$ 反応のうち、標的核が励起しない分解過程を離散化チャネル結合法で、標的核の励起を伴う過程を Glauber 模型を用いて記述することにより、応用上重要となる 40MeV 入射の実験データを再現することに成功した。この成果は Physical Review C 上で出版された。本研究で達成された、 $^7\text{Li}(d, nx)$ 反応による中性子スペクトルの高い再現性は、IFMIF 計画を推進する大きな一歩となるものと考えられる。この研究は叶氏を中心に推進された。

動的相対論的補正を考慮した不安定核分解反応の記述 (緒方一介、C. A. Bertulani [Texas

A&M 准教授])

クーロン相互作用を相対論的に記述し、不安定核 ${}^8\text{B}$ および ${}^{11}\text{Be}$ の ${}^{208}\text{Pb}$ による分解反応断面積を求めた。本年度は、昨年度の研究内容を深化させ、2重微分分解断面積に対する動的相対論効果を分析し、また、量子力学的補正を正確に遂行することにより、相対論的離散化チャンネル結合法という新しい反応モデルを確立した。本研究は緒方助教を中心に推進され、その成果は Progress of Theoretical Physics への掲載が決定している。

重陽子分解融合反応の純量子力学的記述 (緒方一介、八尋正信、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])

原子核が衝突する際に起きる融合反応は、核反応の中でも最も重要な反応過程のひとつである。しかし、融合過程を純量子力学的に記述する方法は確立しておらず、特に入射原子核の一部のみが標的核と融合する、いわゆる不完全融合反応を計算する手法は、多くの仮定を含んだものとなっている。

本研究では、入射粒子を構成する粒子が標的核に捕獲されるかどうかを、吸収半径という量に基づいて峻別し、純量子力学的に不完全融合反応の断面積を計算する方法を提案する。本年度は、この方法をリシウムを標的とした重陽子入射反応に適用し、手法が有効に機能すること、また、従来提案されていた不完全融合反応の算定法が全く信頼性に欠け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 Progress of Theoretical Physics 上で出版された。

歪曲波に対する局所半古典近似を用いた $(p, 2p)$ 反応の DWIA 解析 (緒方一介、角剛典 [D2])

原子核の1粒子情報を引き出す手段のひとつとして、中間エネルギーにおける $(p, 2p)$ 反応がある。特に、偏極分解能 (A_y) の符号は、核内核子の1粒子スピン (j) を決定する上で本質的に重要である。しかし実際は、この A_y と j との対応関係の有無は反応条件に強く依存し、しばしば、期待した対応関係が得られないことが知られている。

本研究は、 A_y の符号と j との対応関係をあらためて分析し、その理解を深めることを目的とする。特に、入射・放出核子のスピン軌道光学ポテンシャルが果たす役割に着目する。核子の運動学を丁寧に分析した結果、 A_y と j の対応関係の発現と消失のメカニズムを、直観的に説明することに成功した。この研究は角氏を中心として推進された。

核子-核弾性散乱に対する局所化された微視的光学ポテンシャルの構築 (八尋正信、清水良文、緒方一介、河野通郎 [九州歯科大学教授]、蓑茂工将 (M2))

核子-核弾性散乱は、入射核子と標的核間の光学ポテンシャルを用いて良く記述される。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。光学ポテンシャルは弾性散乱以外の反応過程を記述する際にも必要とされ、不安定核反応に対して容易に光学ポテンシャルを決定できないことは大きな問題とされてきた。そこで必要となるのが光学ポテンシャルの理論的構築(微視的光学ポテンシャル)である。しかし、微視的光学ポテンシャルは本質的に非局所性を含むものであり、局所ポテンシャルとして求められる現象論的光学ポテンシャルよりも遥かに複雑である。この問題を解決するためには、非局所ポテンシャルと等価な局所ポテンシャルを理論的に構築する必要がある。その方法として最も有名なものが、Brieva と Rook によって提案された近似法(BR法)である。しかしこれまで、BR法の妥当性を定量的に評価した研究は存在していない。

本研究では、非局所性を考慮した厳密計算とBR法を用いた計算を直接比較することにより、BR法の妥当性を検証した。その結果、極めて広いエネルギー領域においてBR法が有効に機能することが確かめられた。この成果は Journal of Physics G:Nuclear and Particle Physics 誌での掲載が決定した。

今後は核-核弾性散乱の記述に取り組む。同時に、この微視的光学ポテンシャルを計算の入力として、離散化連続チャンネル結合法を用いた反応解析を実行する予定である。本研究は蓑茂氏を中心に推進された。

次世代核融合炉関連核データの理論的構築(緒方一介、渡辺幸信[九州大学総合理工学研究院准教授]、濱田泰賀(M1))

次世代核融合炉では、中性子のエネルギーを利用して、天然には存在しない3重水素を生成する必要がある。現在、融合炉にリシウム7を配置し、中性子によってこれを分解することにより、3重水素を生成する計画が立案されている。従ってリシウム7の分解反応率は、次世代核融合炉の設計にとって、最も本質的な物理量のひとつとなっている。

本研究では、中性子とリシウム7の反応に類似し、かつ、実験的に測定が容易な陽子-リシウム7反応を離散化チャンネル結合法によって分析することにより、リシウム7が分解するメカニズムを定量的に解明する。本研究の重要な特徴として、反応に関わる相互作用を全て2核子間力に基づいて理論的に構築するという点がある。この特徴により、陽子-リシウム7反応の分析結果を基にして、中性子-リシウム7反応の分解確率を理論的に決定することができると期待される。

本年度は、この研究を遂行すべく、計算に必要なポテンシャルの構築を行った。この研究は濱田氏を中心として推進された。

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])

ミラノ大学の原子核実験グループによる超変形回転バンドからの準連続 γ 線の実験データの分析については、昨年度ようやく満足の行く結果が得られた。その過程においてこれまでの超変形回転バンドの生成・崩壊の理論的模型に、回転バンドの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が重要であることが明かになった。このガンマ線遷移シミュレーション効果の重要性をさらに調べるために、これまですでに分析し、シミュレーションなしである程度うまくいっている ^{143}Er や ^{152}Dy の超変形回転バンドにおいても、その効果を調べる研究を引き続き行っている。結果については間もなく明らかになる予定である。この研究は S. Leoni 氏を中心に進められている。

Woods-Saxon ポテンシャルを用いた集団運動の記述 (清水良文、([小路拓也 (卒業生)]))

昨年度、小路拓也の博士論文として、Woods-Saxon ポテンシャルを用いた β -, γ -低励起振動運動、ウォブリング・プリセッション回転運動の系統的な分析が行われたが、特に、プリセッション回転運動の計算結果は、Nilsson ポテンシャルを用いた場合にうまく行かない状態を含めて、エネルギースペクトルおよび電磁遷移確率ともに非常に良く実験データを再現することが示された。この研究では、プリセッションやウォブリングのような回転的励起モードを、乱雑位相近似法という振動励起を取り扱う枠組みで計算しているところが特徴的であるが、プリセッションや β -, γ -振動などと比べて、大きな遷移確率を持つことがどうして出てくるのか、引き続き調べた。乱雑位相近似の波動関数のエネルギー分布を調べると、プリセッションの場合は γ -振動の場合に比べ、低エネルギー部分も高エネルギー部分 (芯偏極に対応する) とともに、振幅が大きくなっており、確かに、振動的集団性よりずっと大きな集団性がもたらされることが分かった。同じ乱雑位相近似の枠組みでどうしてこのような違いが出るのかについて、引き続き研究中である。この研究は小路氏の博士論文を基に清水准教授を中心に進められている。

連続状態の効果を考慮した Strutinsky 法の開発 (清水良文、田嶋直樹 [福井大学准教授]、高原哲士 [杏林大学講師])

数年前より、すべての物理量の計算で自由粒子の効果を引き去る Kruppa の方法を拡張することにより、連続状態の効果を正しく取り扱う枠組みを開発してきた。これにより、原子核の束縛エネルギーを計算する半現象論方法である、従来 of 殻補正法、(または、微視的-巨視的模型 (microscopic-macroscopic method) と呼ばれる) を大幅に改

善し、不安定核の質量計算等に適用可能になる。本年度は、新しい信頼できる方法としてその方法論を確立し、論文としてまとめた。ポイントは 1) Strutinsky 殻補正法でのエネルギーのスムーズ化が殻効果を記述する半古典軌道の長時間成分を切り取るローパスフィルターになっていること、2) それによって殻補正エネルギーがスムーズ化のパラメータに依らないというプラトー条件がどのような場合に成立するのかについて新しい見方を与えたこと、3) Kruppa 法によって連続状態の効果がうまく取り扱える理由を、半古典近似 (oscillator-basis-Thomas-Fermi 近似) の範囲内で明らかにしたこと、4) Kruppa の方法を拡張することにより、従来、不安定核に応用する場合、BCS 理論が使えずより計算の難しい HFB 理論を使わなければならなかった困難が解決され、不定性無く BCS 理論が適用できること、5) 殻補正法では巨視的液滴模型と微視的殻補正を組み合わせるので、巨視的模型のフェルミエネルギーと微視的模型のフェルミエネルギーがずれることによりドリップラインの記述が困難になるが、巨視的模型に適合するように微視的ポテンシャルの深さを自動補正することによって、両者の矛盾を解消したことである。この研究は田嶋氏を中心に行われた。

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) が圧倒的に多い理由を調べる研究を数年前から行っている。できるだけ多くの原子核を調べるには、ドリップ線近くの不安定核の計算をする必要があり、前項の「連続状態の効果を考慮した Strutinsky 法の開発」によって、信頼性の高い計算が可能になってきた。通常、プロレート変形優勢の理由として、原子核の平均場が調和振動的ではなく、表面付近でより深くなっていることが指摘されているが、本年度の研究では、特にスピン軌道ポテンシャルの果たす役割に注目して研究を行ってきた。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必要な影響を及ぼしていることが分かってきた。この研究は高原氏を中心に行われた。

不安定核のためのアイソスピン依存対相関相互作用 (清水良文、山上雅之 [会津大学准教授]、中務孝 [理研准主任])

これまでの研究から回転運動の慣性能率に対して、不安定核では特に対相関の効果がより顕著に現れることがわかっており、どのような対相関相互作用が現実的かを調べるのが極めて重要である。本年度は、密度依存ゼロレンジ対相関力 (対密度汎関数) について、どのような形を取るべきかを、広い範囲に渡る原子核について HFB 理論で得られるペアリングギャップと偶奇質量差を比較することにより調べた。特に、アイソスカラー型の密度だけでなく、アイソベクトル型密度に 2 次までの範囲内で依存する

形を仮定することによって、 $(N - Z)/A$ の広い範囲で偶奇質量差を合わせられることがわかった。その時に得られた、最良の対相関力のアイソベクトル型密度依存項の強さが、使ったゼロレンジスキルム力 (Skyrme force) のアイソベクトル有効質量と明確な比例関係を持つことが分かった。これにより、中性子数と陽子数の非常に異なった不安定核の対相関の計算をする場合には、それぞれに用いるゼロレンジスキルム力に適合した対相関力を用いることが必要であり、平均場と対相関を決める密度汎関数の成分が独立ではなく、お互いに密接に関係し合っていることが明確に示された。この研究は山上氏を中心に進められた。

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

昨年度から今年度にかけて、対相関があり、かつ、回転している平均場から得られる平均場状態に対して、量子数射影 (角運動量射影と粒子数射影が同時に) 可能な計算法を開発してきた。特に、不安定核も視野に入れて、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必要であり、これが平均場の正準基底を用いることにより可能になることを明らかにした。本年度は、さらに、空間反転対称性 (パリティ) を破った、最も一般的な平均場に対して、量子数射影計算が可能になるような拡張を加えた。これによって、全く一般的にエキゾチックな変形を持ち、かつ、回転した原子核の回転スペクトルの分析が可能になる。この研究は田上氏を中心に進められた。

Kruppa 法を用いた不安定核の研究 (清水良文、小野寿哉 (M2)、田嶋直樹 [福井大学准教授]、高原哲士 [杏林大学講師])

「連続状態の効果を考慮した Strutinsky 法の開発」のところで述べた、Kruppa の処方方をさらに拡張し色々な物理量に対して、自由粒子の寄与を引き去ることによって、不安定核の半径、四重極変形度、慣性能率などを計算し、その性質を調べた。特に、原子核の半径は基本的な物理量の一つであるが、単純な BCS 理論では、連続状態の効果が発散して正確に求められない。この「中性子自由ガス」の問題が Kruppa 法によって解決し、比較的簡単な殻補正法によって、半径の計算ができることを確かめた。また、ドリップ線近傍の不安定核では、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) の存在が HFB 理論によって知られているが、我々の Kruppa-BCS 法でも類似の効果が現れることを明らかにした。また、このように半径のような、空間的に広がった連続状態の効果が非常に効く物理量に対して、慣性能率のような運動量を含む物理量に対しては、Kruppa 法の効果は小さく、通常の BCS 理論で十分よい精度で計算できることを示した。この研究は小野氏を中心に進められ、本年度の修士論文としてまとめられた。

発表論文

《原著論文》

Meson mass at real and imaginary chemical potentials:

Kouji Kashiwa, Masayuki Matsuzaki, Hiroaki Kouno, Y. Sakai, and Masanobu Yahiro,
Physical Review D, **79** (2009) pp. 076008-1-9

Correlations among discontinuities in QCD phase diagram:

Kouji Kashiwa, Masanobu Yahiro, Hiroaki Kouno, Masayuki Matsuzaki, and Yuji Sakai,

Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics, **36** (2009) 105001-1-13

Roberge-Weiss phase transition and its endpoint:

H. Kouno, Y. Sakai, K. Kashiwa, and M. Yahiro,
J. Phys. G: Nucl. Part. Phys. **36** (2009) 115010.

Determination of QCD phase diagram from the imaginary chemical potential region:

Yuji Sakai, Kouji Kashiwa, Hiroaki Kouno, and Masanobu Yahiro
Physical Review D **79** (2009) , 096001-1-9

Dual quark condensate in the Polyakov-loop extended NJL model: Kouji Kashiwa,
Hiroaki Kouno, and Masanobu Yahiro,

Physical Review D, **80** (2009) 117901-1-4.

Description of Four-Body Breakup Reaction with the Method of Continuum-Discretized
Coupled-Channels:

Tomoaki Egami, Takuma Matsumoto, Kazuyuki Ogata, Masanobu Yahiro,
Progress of Theoretical Physics **121** (2009) pp. 789–807

A Smoothing Method of Discrete Breakup S-matrix Elements in the Theory of Continuum-
Discretized Coupled Channels:

Takuma Matsumoto, Tomoaki Egami, Kazuyuki Ogata, Masanobu Yahiro,

Progress of Theoretical Physics **121** (2009) pp. 885–894

Dissociation of relativistic projectiles with the continuum-discretized coupled- channels method:

K. Ogata and C.A. Bertulani,

Progress of Theoretical Physics **121** (2009) pp. 1399–1406

Properties of nuclear and Coulomb breakup of ^8B :

K. Ogata, T. Matsumoto, Y. Iseri, M. Yahiro,

Journal of the Physical Society of Japan **78** (2009) pp. 084201-1–084201-4

Analysis of deuteron breakup reactions on ^7Li for energies up to 100 MeV:

Tao Ye, Yukinobu Watanabe, Kazuyuki Ogata,

Physical Review C **80** (2009) pp. 014604-1–014604-8

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

Kazuyuki Ogata, Masataka Kan, Masayasu Kamimura,

Progress of Theoretical Physics **122** (2009) pp. 1055–1064

New Approach to Evaluation of Incomplete and Complete Fusion Cross Sections with the Continuum-Discretized Coupled- Channels Method:

Shintaro Hashimoto, Kazuyuki Ogata, Satoshi Chiba, and Masanobu Yahiro,

Progress of Theoretical Physics **122** (2009) pp. 1291–1300

Observation of a Large Reaction Cross-Section in the Drip-Line Nucleus ^{22}C :

K. Tanaka *et al.* (著者 37 名: うち 8 番目に緒方),

Physical Review Letters **104** (2009) pp. 062701-1–062701-4

Rotation and shape changes in ^{151}Tb and ^{196}Pb : probes of nuclear structure and tunneling process in warm nuclei. Part I. Experimental Analysis:

S. Leoni, G. Benzoni, N. Blasi, A. Bracco, F. Camera, A. Corsi, F. C. L. Crespi, P. Mason, B. Million, D. Montanari, M. Pignanelli, E. Vigezzi, O. Wieland, M. Matsuo, Y. R. Shimizu, D. Curien, G. Duchêne, J. Robin, P. Bednarczyk, M. Castoldi, B. Herskind, M. Kmiecik, A. Maj, W. Meczynski, J. Styczen, M. Zieblinski, K. Zuber,

and A. Zucchiatti,
Phys. Rev. C **79** (2009), 064306-1-13.

Rotation and shape changes in ^{151}Tb and ^{196}Pb : probes of nuclear structure and tunneling process in warm nuclei. PartII. Microscopic Monte Carlo simulation:
S. Leoni, G. Benzoni, N. Blasi, A. Bracco, F. Camera, A. Corsi, F. C. L. Crespi, P. Mason, B. Million, D. Montanari, M. Pignanelli, E. Vigezzi, O. Wieland, M. Matsuo, Y. R. Shimizu, D. Curien, G. Duchêne, J. Robin, P. Bednarczyk, M. Castoldi, B. Herskind, M. Kmiecik, A. Maj, W. Meczynski, J. Styczen, M. Zieblinski, K. Zuber, and A. Zucchiatti,
Phys. Rev. C **79** (2009), 064307-1-15.

Optimal pair density functional for the description of nuclei with large neutron excess:
M. Yamagami, Y. R. Shimizu, and T. Nakatsukasa,
Phys. Rev. C **80** (2009), 064301-1-10.

《Proceedings》

COUPLED-CHANNELS ANALYSES OF 6He BREAKUP REACTIONS:
T. Matsumoto, T. Egami, K. Ogata, Y. Iseri, M. Kamimura and M. Yahiro,
International Journal of Modern Physics A **24** (2009) pp. 2191–2197

《その他の論文》

Determination of QCD phase diagram from the imaginary chemical potential region:
Yuji Sakai, Kouji Kashiwa, Hiroaki Kouno, Masanobu Yahiro.
原子核研究 54 巻 特集号 (2010).

Determination of QCD phase diagram from the imaginary chemical potential region:
Yuji Sakai, Kouji Kashiwa, Hiroaki Kouno, Masanobu Yahiro.
Proceedings of Science (Lattice 2009) 183 (2010).

原子核における対相関 (ペアリング):

清水良文、

「南部陽一郎先生ノーベル賞受賞記念特集号」、原子核研究, Vol. 53, Supplement 5,

2009年4月, pp. 142–152.

太陽とエネルギー変換原理 (1) 熱放射と光電効果:

清水良文、

「特集:太陽の時代」、空気調和・衛生工学会誌, Vol. 83, No. 11, 2009年11月, pp. 905–910.

Kruppa 法における連続状態の取扱い:

小野寿哉、清水良文、

原子核研究, Vol.54, Suppl.1 (2010), p.87.

講演

《 海外での講演 》

Imaginary Chemical potential and Determination of QCD phase diagram:

M. Yahiro, H. Kouno, K. Kashiwa and Y. Sakai,

Extreme QCD 2009,

Sejong University, Seoul, Korea, August 3rd-5th, 2009.

A new version of CDCC for four-body breakup reaction:

M. Yahiro, T. Matsumoto, K. Minomo, K. Ogata, Y. Shimizu and M. Kohno,

Direct Reactions with Exotic Beams (DREB2009),

December 16-19, 2009, Florida State University, USA.

Determination of QCD phase diagram from the imaginary chemical potential region:

Yuji Sakai, Kouji Kashiwa, Hiroaki. Kouno, Masanobu. Yahiro,

Lattice 2009,

2009年7月29日 中国 北京大学.

Importance of imaginary chemical potential for determination of QCD phase diagram:

Kouji Kashiwa, Hiroaki Kouno, Masayasu Matsuzaki, Yuji Sakai, Masanobu Yahiro,

第3回日米物理学会合同核物理分科会,

2009年10月15日, ハワイ Hilton Waikoloa Village.

Determination of QCD phase diagram from the imaginary chemical potential Yuji Sakai, Kouji Kashiwa, Hiroaki. Kouno, Masanobu. Yahiro,
第3回日米物理学会合同核物理分科会,
2009年10月15日, ハワイ Hilton Waikoloa Village.

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

Kazuyuki Ogata, Masataka Kan, and Masayasu Kamimura,
Invited talk at National Superconducting Cyclotron Laboratory Seminar, Sep. 9, 2009,
National Superconducting Cyclotron Laboratory, Michigan State University

New Approach with CDCC for Evaluating Incomplete and Complete Fusion Cross Sections:

S. Hashimoto, K. Ogata, S. Chiba, M. Yahiro,
The international nuclear physics workshop on Direct Reactions with Exotic Beams (DREB2009), Dec. 17, 2009, Florida State University

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

Kazuyuki Ogata, Masataka Kan, and Masayasu Kamimura,
The international nuclear physics workshop on Direct Reactions with Exotic Beams (DREB2009), Dec. 18, 2009, Florida State University

Lifetime Measurements for the First 2^+ States in $^{162,164}\text{Gd}$ Populated by the β Decay of $^{162,164}\text{Eu}$:

D. Nagae, T. Ishii, R. Takahashi, M. Asai, H. Makii, A. Osa, T. K. Sato, S. Ichikawa, Y. R. Shimizu, and T. Shoji,
International Symposium on Exotic Nuclei (EXON09), Sochi, Russia, 28 Sept.– 2 Oct., 2009.

《 国内での講演 》

Microscopic reaction theory on scattering of unstable nuclei:

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

JUSTIPEN(Japan-US Theory Institute for Physics with Exotic Nuclei) workshop,
RIKEN, Tokyo, Japan, Dec. 7-9, 2009.

Effective model approach to non-Abelian gauge theory at finite chemical potential:
M. Yahiro, Y. Sakai, T. Sasaki, K. Kashiwa and H. Kouno,
International Molecule (Lattice QCD at Finite Density),
Yukawa Institute for Theoretical Physics K202, Kyoto, Japan, Jan.12-15, 2010.

Determination of QCD phase diagram from regions with no sign problem:
M. Yahiro, Y. Sakai, T. Sasaki, K. Kashiwa and H. Kouno,
International workshop (Harmonies and Surprises on the Lattice),
Hiroshima University, Japan, March 13, 2010.

Microscopic approach to scattering of unstable nuclei:
Masanobu Yahiro, Kosho Minomo, Kazuyuki Ogata, Yoshifumi R. Shimizu,
INTERNATIONAL SYMPOSIUM (Forefronts of Researches in Exotic Nuclear Structures - Niigata2010 -),
March 1- March 4, 2010, Hotel BELNATIO, Tokamachi, Niigata, Japan.

虚数化学ポテンシャルを利用した QCD 相図の解析:
柏浩司, 河野宏明, 松崎昌之, 境祐二, 甲斐貴則, 松本健史, 八尋正信,
KEK 理論センター研究会『原子核・ハドロン物理』,
2009 年 8 月 13 日, 高エネルギー加速器研究機構

虚数化学ポテンシャルを使用した QCD 相図の解明:
境祐二, 柏浩司, 河野宏明, 八尋正信,
原子核三者若手夏の学校,
2009 年 8 月 25 日, 長野県木島平

Polyakov-loop extended Nambu–Jona-Lasinio 模型を用いた双対クォーク凝縮の研究:
柏浩司, 河野宏明, 八尋正信,
基研研究会「熱場の量子論とその応用」,
2009 年 9 月 4 日, 基礎物理学研究所

QCD phase diagram at imaginary quark and isospin chemical potentials:

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」,
2009年9月4日, 基礎物理学研究所

虚数化学ポテンシャルを利用した実数バリオン密度での中間子 ($\pi, \sigma, \rho, \omega$) 質量の振る舞いの解析:

柏浩司, 河野宏明, 境祐二, 中村純, 斎藤卓也, 永田桂太郎, 八尋正信,
新学術領域キックオフ研究会”多彩なフレーバーで探る新しいハドロン存在形態の包括的研究”,
2009年11月27日, 名古屋大学 野依記念学術交流館

純虚数化学ポテンシャルにおける:

2+1 フレーバー PNJL モデルを用いた QCD 相図の研究:
松本健史, 柏浩二, 河野宏明, 八尋正信,
第115回日本物理学会九州支部例会, 2009年12月5日, 宮崎大学

アイソスピン化学ポテンシャルを用いた QCD 相図の研究:

佐々木崇宏, 境祐二, 河野宏明, 八尋正信,
日本物理学会九州支部例会, 宮崎大学, 2009年12月5日

虚数化学ポテンシャルを使用した QCD 相図の解明:

境祐二, 柏浩司, 河野宏明, 八尋正信,
科研費特定領域・新学術領域による研究会”ストレンジネスから新ハドロンへ”,
2009年12月11日, 大阪大学 吹田キャンパス荒田記念館

Importance of imaginary chemical potential for QCD phase diagram in the PNJL model:

Kouji Kashiwa, Hiroaki Kouno, Yuji Sakai, Takashi Matsumoto, Masanobu Yahiro,
New Frontiers in QCD 2010 -Exotic Hadron System and Dense Matter-, 基礎物理学研究所, 2009年3月2日

Determination of QCD phase diagram from the imaginary chemical potential region:

Yuji Sakai, Kouji Kashiwa, Hiroaki. Kouno, Masanobu. Yahiro,
New Frontiers in QCD 2010 -Exotic Hadron System and Dense Matter-, 基礎物理学研究所, 2009年3月10日

Polyakov-loop extended Nambu-Jona-Lasinio 模型を用いた双対クォーク凝縮の解析:

柏浩司, 河野宏明, 八尋正信,

日本物理学会 65 回年次大会, 岡山大学, 2009 年 3 月 21 日

QCD phase diagram at imaginary baryon and isospin chemical potentials:

境祐二, 河野宏明, 八尋正信,

日本物理学会 65 回年次大会, 岡山大学, 2009 年 3 月 21 日

QCD phase diagram at finite quark and isospin chemical potential:

佐々木崇宏, 境祐二, 河野宏明, 八尋正信,

日本物理学会 65 回年次大会, 岡山大学, 2009 年 3 月 21 日

離散化チャネル結合法の天体核反応および核データ研究への応用 3重アルファ融合反応研究の新展開を中心として :

緒方一介,

第 2 回宇核連研究戦略ワークショップ「日本の核データ ~ 天と地の核エネルギー」, 2009 年 7 月 28 日, 理化学研究所仁科加速器研究センター

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

Kazuyuki Ogata,

Invited talk at The 7th Japan-China Joint Nuclear Physics Symposium, Nov. 11, 2009, University of Tsukuba

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

Kazuyuki Ogata, Masataka Kan, and Masayasu Kamimura,

Tours Symposium on Nuclear Physics and Astrophysics VII, Nov. 20, 2009, Orbis Hall, Kobe

核子-核散乱に対する局所化された微視的光学ポテンシャル,:

蓑茂工将, 緒方一介, 河野通郎, 清水良文, 八尋正信, 蓑茂工将,

第 115 回日本物理学会九州支部例会, 2009 年 12 月 5 日, 宮崎大学

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

temperatures:

Kazuyuki Ogata, Masataka Kan, and Masayasu Kamimura,
Invited talk at The 10th International Symposium on Origin of Matter and Evolution
of the Galaxies (OMEG10), Mar. 10, 2010, Osaka University

離散化チャネル結合法を用いた重イオン標的重陽子入射反応における不完全融合反応
解析:

橋本慎太郎, 緒方一介, 千葉敏, 八尋正信,
日本物理学会第 65 回年次大会, 2010 年 03 月 20 日, 岡山大学津島キャンパス

核子-核散乱に対する局所化された微視的光学ポテンシャル:

蓑茂工将, 緒方一介, 河野通郎, 清水良文, 八尋正信, 蓑茂工将,
日本物理学会第 65 回年次大会, 2010 年 03 月 20 日, 岡山大学津島キャンパス

^{12}C 生成反応の新しい理解:

緒方一介, 上村正康,
日本物理学会第 65 回年次大会, 2010 年 03 月 20 日, 岡山大学津島キャンパス

CDCC の汎用化:

緒方一介, 松本琢磨, 橋本慎太郎, 井芹康統, 櫻木弘之, 上村正康, 八尋正信,
重イオン用 CDCC に関するワークショップ, 2009 年 3 月 31 日, 理化学研究所仁科加速
器研究センター

Kruppa 法における連続状態の取扱い:

小野寿哉, 清水良文,
原子核三者若手夏の学校, 2009 年 8 月 28 日, パノラマランド木島平

Kruppa 法における連続状態の取扱い:

小野寿哉, 清水良文,
第 115 回日本物理学会九州支部例会, 2009 年 12 月 5 日, 宮崎大学

Pairing Correlation and Effective Masses in Nuclei with Large Neutron Excess:

M. Yamagami, Y. R. Shimizu, and T. Nakatsukasa,
International Symposium “Forefronts of Researches in Exotic Nuclear Structures –
Niigata2010 –”, Niigata, Japan, 1 – 4 Mar., 2010.

Strutinsky 法と Kruppa 処方:

田嶋直樹、清水良文、高原哲士、

日本物理学会第 65 回年次大会、2010 年 3 月 21 日、岡山大学

連続状態の効果を取り入れた Kruppa 処方による不安定核の研究:

小野寿哉、清水良文、田嶋直樹、高原哲士、

日本物理学会第 65 回年次大会、2010 年 3 月 21 日、岡山大学

プロレート優勢におけるスピン軌道力の役割:

高原哲士、大西直毅、清水良文、田嶋直樹、

日本物理学会第 65 回年次大会、2010 年 3 月 21 日、岡山大学

対相関と核子有効質量の非対称パラメータ依存性:

山上雅之、清水良文、中務孝、

日本物理学会第 65 回年次大会、2010 年 3 月 22 日、岡山大学

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、基盤研究 (C)、

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

研究代表者：渡辺幸信

研究分担者：緒方一介

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: 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】斎藤康浩、佐々百合子、藤岡雄大、雪山裕貴、蓬田光樹 (担当: 清水)
「素粒子・原子核物理入門」の輪講

【後期】斎藤康浩、藤岡雄大 (担当: 八尋、清水、緒方)
場の量子論、核反応論、核構造論の輪講

修士論文

甲斐貴則: (指導教員、八尋正信): 2 フレーバー量子色力学の相構造の解明 ~ カイラル相転移と閉じ込め相転移の相関について ~

松本健史: (指導教員、八尋正信): 実数および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

蓑茂工将: (指導教員、八尋正信): 核子-核弾性散乱に対する局所化された微視的光学ポテンシャルの妥当性

小野寿哉: (指導教員、清水良文): Kruppa 法による不安定核の構造研究

博士論文

柏浩司: (指導教員、八尋正信): A proposal of the imaginary chemical potential matching approach to QCD phase diagram (QCD 相図の解明に対する虚数化学ポテンシャル一致法の提案) [2010 年 3 月授与]

その他の活動と成果

緒方一介: 「原子核の世界 見えない原子の中を見る」, 2010年3月29日, 九州大学物理教室 (高校生体験入学).

緒方一介: 独立行政法人理化学研究所仁科加速器研究センター, 理論研究推進会議委員.

緒方一介: 独立行政法人理化学研究所仁科加速器研究センター, RIBF-UEC (Users Executive Committee) 委員.

緒方一介: 大阪大学核物理研究センター, 研究計画検討専門委員.

緒方一介: 大阪大学核物理研究センター, 実験課題審査会 (B-PAC) 委員.