

# 2016 年度原子核三者若手夏の学校

～原子核パート研究会～

## プログラムと概要集

ポスター発表 8月2日(火)

No.	発表者	タイトル
1	佐藤 健太	LHCf、RHICf 実験におけるハドロン相互作用モデルの検証
2	斗米 貴人	不安定核反応のための大立体角中性子検出器の性能評価
3	森田 皓之	軽い $N=Z=odd$ 核における陽子中性子相関と $\beta$ 遷移への寄与
4	塚本 夏基	e-p 散乱実験の解析における不定性
5	白井 凜太郎	鉛ガラスによる e- $\pi$ separation
6	柏葉 優	低密度領域における中性子星核物質の密度汎関数計算
7	尾崎 友志	$^{238}\text{U}$ の飛行核分裂によって生成される $^{107}\text{Pd}$ 、 $^{79}\text{Se}$ のアイソマー比
8	平山 晃大	不安定核分解反応のための荷電粒子識別用ホドスコープの開発
9	笠間 桂太	SCRIT 実験における $^{132}\text{Xe}$ の電荷分布の測定
10	神谷 有輝	有効場の理論に基づいた複合性の弱束縛関係式の拡張
11	南波 和希	SCRIT 実験の為に鉛標的を用いたルミノシティ校正

研究会1 8月1日(月)

時間	発表者	タイトル
19:00~20:00 (60)	福井 徳朗	原子核物理におけるチャンネル結合法と核反応研究 (レビュートーク)
20:00~20:15 (12+3)	豊川 将一	カイラル有効理論の核力による核反応の記述
20:15~20:30 (12+3)	小林 良彦	中性子過剰核における s 波散乱が受ける対相関効果
20:30~20:45 (15)	休憩	
20:45~21:00 (12+3)	矢部 健太	Twist-3 機構による無偏極核子核子衝突-横偏極ハイペロン生成現象の研究
21:00~21:15 (12+3)	横田 猛	汎関数くりこみ群によるスペクトル関数の計算と QCD 臨界点におけるソフトモードの解析
21:15~21:30 (12+3)	松本 滉平	H-dibaryon in Holographic QCD
21:30~21:45 (12+3)	宮本 貴也	格子 QCD によるチャーム系バリオン間相互作用の研究
21:45~22:00 (12+3)	黒田 佳樹	Light Scalar Meson in Linear Sigma Model
22:00~22:15 (12+3)	星 善次郎	Operator Product Expansion を用いた $K\bar{K}-N$ 相互作用の近距離での振る舞い

**研究会2 8月3日(水)**

時間	発表者	タイトル
19:00~20:00 (60)	尾崎 翔	QCD 近藤効果 (レビュートーク)
20:00~20:15 (12+3)	野地 和希	格子 QCD を用いたチャーモニウムの構造研究
20:15~20:30 (12+3)	萩原 慶一	グルーオン飽和の効果を取り入れた核子のウィグナー分布関数
20:30~20:45 (15)	<b>休憩</b>	
20:45~21:00 (12+3)	馬場 智之	炭素同位体における直鎖クラスター状態とアルファ崩壊幅
21:00~21:15 (12+3)	森田 皓之	反対称化分子動力学を用いた $N=Z=odd$ 核での陽子中性子間相関の研究
21:15~21:30 (12+3)	四方 悠貴	$4\alpha$ による $O-16$ のモノポール強度
21:30~21:45 (12+3)	今井 涼介	生成座標法によるクラスター構造の研究
21:45~22:00 (12+3)	松野 秀昭	$16O$ のモノポール遷移とクラスター構造
22:00~22:15 (12+3)	坂井 新九郎	中性子過剰領域における高スピン状態原子核の研究

研究会3 8月4日(木)

時間	発表者	タイトル
19:00~19:15 (12+3)	高橋 祐羽	閾値近傍における $4\text{He}(\alpha, n)^7\text{Be}$ 反応の断面積測定 1
19:15~19:30 (12+3)	渡邊 憲	閾値近傍における $4\text{He}(\alpha, n)^7\text{Be}$ 反応の断面積測定 2
19:30~19:45 (12+3)	関根 里英	時間依存相関ガウス基底の開発と光核反応への応用
19:45~20:00 (12+3)	清水 勇希	結合チャンネル効果を含めたハドロン分子としての $P_c(4380)$
20:00~20:15 (12+3)	星野 翼	三体模型による K 中間子重水素スペクトルの研究
20:15~20:30 (12+3)	半澤 光平	Charmed baryon における 2 体系の研究へ向けて
20:30~20:45 (15)	休憩	
20:45~21:00 (12+3)	武田 悠佑	Asymmetric nuclear matter in parity doublet model
21:00~21:15 (12+3)	松田 英史	グラフェンとカイラル対称性
21:15~21:30 (12+3)	開田 丈寛	Z <sub>3</sub> 対称性と符号問題
21:30~21:45 (12+3)	渡辺 海	波動関数等価ポテンシャルとカレント行列要素の計算
21:45~22:00 (15)	閉校式	

## ポスターNo.1

佐藤 健太 (名古屋大学 理学研究科 素粒子宇宙物理学専攻 CR 研究室)

## 『LHCf、RHICf 実験におけるハドロン相互作用モデルの検証』

宇宙から地球に到来する高エネルギー粒子を宇宙線という。宇宙線は大気中の原子核に衝突し、ハドロン相互作用をして粒子を多重生成する。これらの二次粒子も、相互作用を繰り返し、空気シャワーという枝分かれのような構造を作り出す。その空気シャワーの発達の過程は、エネルギーと宇宙線の化学組成（原子番号  $Z$ ）に依存していて、 $10^{14}$  eV から  $10^{20}$  eV までのエネルギーの宇宙線が地上で検出されている。一方で、化学組成はシャワーの観測とハドロン相互作用モデルを取り入れた MC の比較から同定されるが、そのモデルが不確定であり、検証が必要とされている。

LHCf、RHICf 実験では、空気シャワー発達の正しい理解のために、ハドロン相互作用モデルの検証を行っている。本実験では、空気シャワー発達に重要な前方に生成される粒子を測定する。LHCf 実験では 2015 年に 13TeV の重心系衝突エネルギーの陽子衝突実験を行った。13 TeV は  $10^{17}$  eV のエネルギーを持つ宇宙線が大気中の原子核に衝突する時に対応する。また 2017 年には 510GeV の陽子衝突の RHICf 実験が予定されている。本講演ではこの二つの実験において、ハドロン相互作用モデルの検証がどのように行われるかを報告する。

## ポスターNo.2

斗米 貴人 (東京工業大学 理学院 物理学系 中村研究室)

## 『不安定核反応のための大立体角中性子検出器の性能評価』

不安定核の分解反応実験で用いる大立体角中性子検出器 NEBULA の性能評価を目的とし、理化学研究所の RIBF にある SAMURAI 施設において  ${}^7\text{Li}(p,n){}^7\text{Be}(\text{g.s.}+0.43\text{MeV})$  反応で生成される中性子の測定を行った。NEBULA はプラスチックシンチレータ 144 本からなる有感面積  $3.6\text{m}\times 1.8\text{m}$ 、厚さ 48cm の大型中性子検出器である。

性能評価実験で用いた  ${}^7\text{Li}(p,n){}^7\text{Be}$  反応は準単色中性子を生成し、その微分断面積が精度よく知られている。実験では 294MeV/u の 18O を一次ビームとし、200MeV の陽子ビームを核破砕反応により生成した。この陽子ビームを Li 標的と反応させ準単色中性子を生成し、NEBULA に中性子を入射した。本発表では、性能評価実験の解析結果を報告する。

## ポスターNo.3

森田 皓之 (京都大学 理学研究科 物理学・宇宙物理学専攻 原子核理論研究室)

『軽い  $N=Z=$ odd 核における陽子中性子相関と  $\beta$  遷移への寄与』

$N=Z=$ odd 核の核構造を考える上で、陽子中性子間相関は重要な役割を果たす。しかし同種粒子系の対相関と異なり、isoscalar, isovector 2 種類の成分が競合して存在するため、低励起状態は even-even 核, odd 核と比べて複雑である。特に isoscalar 型の陽子中性子対は有限のスピンの持つため、スピンに対して感度を持った物理量を考えることが必要不可欠である。

この発表では、 $N=Z+2$  近隣核からの Gamow-Teller 遷移に注目する。アイソスピン射影 AMD を用いた  ${}^6\text{Li}$ ,  ${}^{10}\text{B}$  の計算では、 $0+1$  から  $1+0$  状態への遷移が非常に強いことが明らかとなった。また、強い GT 遷移を示す  ${}^{10}\text{Be}$  の構造と比較することで、 ${}^{10}\text{B}$  の基底状態が有限のスピンの持つ  $3^+$  状態となる機構を、pn 対の形成とスピン軌道力によるエネルギー利得で説明することができた。

## ポスターNo.4

塚本 夏基 (東北大学 理学研究科 物理学専攻 原子核理論)

## 『e-p 散乱実験の解析における不定性』

陽子の半径は電子-陽子(e-p)散乱、水素原子分光の 2 つの方法で測られ、この 2 つの方法からはお互いに矛盾のない値が得られていた。後者の方法は水素原子に代えてミュオニック水素を使うことにより精度よく陽子半径を測定することに成功したが、今までの測定結果とは大きく食い違うものであり、ここに陽子半径の問題が持ち上がった。この問題の背後には標準理論を越えた物理があるとの期待もあるが、これらのことはまだ再検証していく必要があり、最近 e-p 散乱実験の再解析に注目が集まっている。

陽子半径を求めるための e-p 散乱実験の解析はほとんど関数当てはめの問題を解くことだといっている。この種の逆問題と呼ばれる問題には避けられない必然的なパラメータの不定性が存在して、極めて単純そうな字面とは裏腹になかなか手強い問題である。今回の発表ではこの不定性がもたらす問題とそれにどう対処するかを議論したい。

ポスターNo.5

白井 凜太郎 (東北大学 理学研究科 物理学専攻 電子光物理学研究センター)

『鉛ガラスによる  $e\text{-}\pi$  separation』

東北大学電子光物理学研究センターで遂行中の FOREST 実験では、 $\gamma d \rightarrow pn \eta$  反応を用いて  $\eta\text{-}n$  の相互作用について研究している。実験では、 $\gamma$  ビーム起因の陽電子、電子と反応過程で出てくる  $\pi$  中間子を判別する必要がある。陽電子、電子と  $\pi$  中間子の判別は磁場を用いた運動量分析と飛空時間測定で可能となる。しかし、ビームは大強度であるため飛空時間の判別のつかない偶発事象もある。そこで FOREST UPGRADE 実験では鉛ガラス検出器を用いた粒子判別方法を導入する予定である。2016 年 6 月に鉛ガラス検出器の性能を陽電子ビームによる照射実験により評価した。

ビームの運動量と鉛ガラスのビーム照射位置を変え、鉛ガラスの光量分布と時間情報から各セットアップでのエネルギー分解能を求めた。また、宇宙線を用いた高エネルギーの  $\mu$  中間子の鉛ガラス突き抜け事象に対する鉛ガラスの応答を調べた。今回の発表ではビーム実験の詳細な解析結果と  $e\text{-}\pi$  粒子判別手法について議論する。

ポスターNo.6

柏葉 優 (筑波大学 数理物質科学研究科 物理学専攻 原子核理論)

## 『低密度領域における中性子星核物質の密度汎関数計算』

中性子星内殻のような、密度が原子核の中心密度に近い系では、スラブ状やロッド状の原子核が存在していると考えられている。これらの特異な構造はパスタ構造とよばれる。パスタ構造は、中性子星物質の状態方程式や輸送特性、パルサーのグリッチ現象に影響があると考えられている。

本研究は、中性子星内殻の非一様な核物質の特性を、密度汎関数法を用いた微視的手法を用いて解明することを目的とする。我々は、まずは簡単な場合について、1次元のブロッホ波動関数を用いてスラブ状原子核の基底状態を得た。本講演では、密度汎関数法による計算手法と、それによって得られた状態について議論していきたい。

## ポスターNo.7

尾崎 友志 (東京工業大学 理工学研究科 基礎物理学専攻 中村研究室)

『 $^{238}\text{U}$  の飛行核分裂によって生成される  $^{107}\text{Pd}$ 、 $^{79}\text{Se}$  のアイソマー比』

$^{107}\text{Pd}$ 、 $^{79}\text{Se}$  は原子炉で作られる長寿命核分裂生成物 (LLFP) であり、我々はその光吸収断面積の導出を目的として、逆運動学によるクーロン分解反応実験を理化学研究所 RI ビームファクトリーで行った。飛行核分裂で生成された  $^{107}\text{Pd}$ 、 $^{79}\text{Se}$  のアイソマーのほとんどは RI ビーム分離生成装置の下流に設置した反応標的まで脱励起せずに輸送されるため、基底状態とアイソマー状態の生成量の比 (アイソマー比) が断面積導出の精度を左右する。

アイソマー比を決定する実験では、ビームラインの焦点の一つにアルミニウムストッパーを設置して二次ビームを照射した。一定時間後に照射を止め、ストッパーから放出されるアイソマー状態からの脱励起ガンマ線を Ge 検出器で検出し、その収量を求めることでアイソマー比を導出した。講演では、アイソマー比の測定結果に加え、アイソマー状態の励起エネルギーや角運動量とアイソマー比との関連について報告する。

## ポスターNo.8

平山 晃大 (東京工業大学 理学部 物理学科基礎物理学専攻 中村研究室)

## 『不安定核分解反応のための荷電粒子識別用ホドスコープの開発』

不安定核を対象とした分解反応実験で使用する荷電フラグメント用ホドスコープの開発を行った。分解反応実験は中性子過剰核の構造を研究する手段の一つで、不安定核を炭素などの標的と反応させ、不変質量を測定する方法である。不変質量を導出するためには、反応後に放出される粒子の識別と運動量測定が必要である。そのためにはエネルギー損失  $\Delta E$  や時間情報を精度よく測定できる検出器の開発が重要である。開発した検出器を実際に実験で使用し、 $\Delta E$  と時間の分解能を導出し性能評価を行った。 $\Delta E$  の位置依存性が小さくなるよう暑さのばらつきを  $\pm 100 \mu\text{m}$  以内に抑えた。本講演ではホドスコープの開発と時間分解能、 $\Delta E$  の位置依存性について報告する。本研究は、総合科学技術・イノベーション会議により制度設計された革新的研究 開発推進プログラム (ImPACT) により、科学技術振興機構を通して委託されたものです。



ポスターNo.9

笠間 桂太 (東北大学 理学研究科 物理学専攻 電子光物理学研究センター)

『SCRIT 実験における  $^{132}\text{Xe}$  の電荷分布の測定』

原子核の構造を決定する上で、電子散乱は最も重要で信頼性の高い情報を与える。これまで多くの安定核に対して電子散乱が実施され、原子核の基本的かつ重要な性質が決められてきた。しかし、不安定核に対しては、それらを標的として用意することが極めて困難であることから、一部の例外を除いて電子散乱を行うことは出来なかった。そこで我々は電子・不安定核散乱の実現を目指して、SCRIT(Self-Confining Radioactive isotope Ion Target)法を開発し、理化学研究所において SCRIT 電子散乱施設を建設している。

2016年より、コミッションの一環として安定核である  $^{132}\text{Xe}$  を用いた弾性散乱実験を行っている。 $^{132}\text{Xe}$  の原子核電荷分布に関する解析について報告する。

ポスターNo.10

神谷 有輝 (京都大学 理学部 理学科 基礎物理学研究所 原子核理論グループ)

## 『有効場の理論に基づいた複合性の弱束縛関係式の拡張』

単純な  $q\bar{q}$  メソンや  $qqq$  バリオン描像に合致しないエキゾチックハドロンの構造の理解は、今日のハドロン物理学における重要な課題である。ハドロンの内部構造を探る方法として、状態の複合性に着目する方法がある。観測量と安定な弱束縛状態の複合性との間にモデル非依存な関係式が成り立つことが、Weinberg によって示されている。この弱束縛関係式により、実験の観測量から直接内部構造を決定できる。しかし、この関係式は閾値近傍の安定な束縛状態に対してのみ導かれ、一般に不安定なエキゾチックハドロンには適用できない。本研究では、有効場の理論を用いて弱束縛関係式を不安定状態の準束縛状態に対して拡張する。また拡張した関係式を実際のエキゾチックハドロンに適用し、 $\Lambda(1405)$  バリオンは  $K\bar{N}$  複合的成分が支配的であること、および  $a_0(980)$  メソンにおける  $K\bar{K}$  複合的成分は小さいことを示す。

ポスターNo.11

南波 和希 (東北大学 理学研究科 物理学専攻 電子光物理学研究センター)

## 『SCRIT 実験の為の鉛標的を用いたルミノシティ校正』

原子核の構造を決定する上で電子散乱は強力な手法である。これまで多くの安定核に対して電子散乱実験が行われ、原子核構造の重要な性質が確立されてきた。しかし不安定核に対しては、十分な量の標的を準備し実験することが極めて困難なため、電子散乱を行うことはできなかった。そこで我々は SCRIT(Self-Confining Radioactive isotope Ion Target)法を開発し、電子・不安定核散乱の実現を目指して、理化学研究所において SCRIT 電子散乱施設を建設している。実験装置の一つであるルミノシティモニターのキャリブレーションとして、散乱断面積が既知の鉛標的を用いた電子散乱実験を行った。ここでは、その解析について報告する。

19:00~20:00 (60)

福井 徳朗 (日本原子力研究開発機構)

## 『原子核物理におけるチャネル結合法と核反応研究』 (レビュートーク)

量子力学の基本原理である重ねあわせの原理は、原子核物理においても重要である。最も単純な例では、重陽子の基底状態における s 波と d 波の混合が挙げられる。一般に、異なる量子状態(チャネル)の線形結合で記述された系の Schrodinger 方程式は、チャネル結合方程式と呼ばれる連立方程式を導き、それを解くことでチャネルの混合を考慮した波動関数が得られる。本講演では、原子核物理におけるチャネル結合法の基本的性質について、先の重陽子の例に加え、Hartree-Fock 法などのいくつかの例を通して、その理解を深めることを目的とする。続いて、核反応計算においてチャネル結合法を適用した我々の研究成果を紹介する。特に、散乱における粒子の内部励起に関するチャネル結合法(連続状態離散化チャネル結合法; CDCC)の説明に重点を置く。CDCC を用いた研究成果の 1 つとして、従来の単純化したモデルでは決して現れなかった移行反応における新奇な反応メカニズムを報告する。

20:00~20:15 (12+3)

豊川 将一 (九州大学 理学府 物理学専攻 理論核物理研究室)

## 『カイラル有効理論の核力による核反応の記述』

近年、カイラル有効理論から核力の 2 核子力や 3 核子力が系統的に決定され、QCD に基づく高精度な核力が利用可能になった。このカイラル有効理論の核力は少数核子系の散乱や核構造の第一原理計算などに適用され、3 核子力効果の議論も行われている。このように QCD に基づく核力から原子核を微視的に理解することは核物理の重要な課題のひとつである。

核力に基づく核反応の微視的記述において、g 行列有効相互作用を用いた畳込み模型が有力な手法として用いられ、成功を収めている。g 行列有効相互作用は Brueckner 理論により核力に基づいて構築され、核媒質効果を含む有効相互作用である。本研究ではカイラル有効理論から決定された核力に Brueckner 理論を適用することで新たな g 行列有効相互作用の構築を行った。

本講演では、新たに構築した g 行列有効相互作用を用いた畳込み模型により、核子-核および核-核弾性散乱の解析を行った結果を示す。さらに、これらの系における 3 核子力効果についても議論を行う。

20:15~20:30 (12+3)

小林 良彦 (新潟大学 自然科学研究科 数理物質科学専攻 原子核理論研究室)

## 『中性子過剰核における s 波散乱が受ける対相関効果』

閉殻原子核を除く多くの原子核は対相関により超流動状態となっています。中性子過剰核などの弱束縛原子核では、その超流動性が、束縛軌道と非束縛軌道(散乱状態)の結合を生むことが知られています。

本研究では、中性子過剰超流動原子核における s 波の低エネルギー中性子散乱を考えます。そして、その散乱中性子が、原子核の超流動性(対相関)からどのような影響を受けるのかを議論します。

20:45~21:00 (12+3)

矢部 健太 (新潟大学 自然科学研究科 数理物質科学専攻 原子核理論研究室)

## 『Twist-3 機構による無偏極核子核子衝突-横偏極ハイペロン生成現象の研究』

1970年代から、無偏極核子間の高エネルギー衝突実験において、散乱平面に対し垂直方向にスピン偏極しているハイペロンが生成されることが知られている。これは、従来、高エネルギー反応の記述に成功してきたパートン(クォーク・グルーオン)模型と摂動 QCD では起こりえない現象であり、大きな謎であった。しかし近年の研究から、この現象はパートン間の量子多体相関の寄与により発現することが明らかとなってきた。この相関効果は、摂動 QCD を拡張した Collinear 因子化において  $M/Q$  ( $M$  はハドロン質量、 $Q$  は高エネルギースケール)の主要項(ツイスト 3 の寄与と呼ぶ)として現れる。偏極を引き起こすツイスト 3 の寄与の 1 つをツイスト 3 分布関数と呼び、これは核子中のパートン相関を記述する関数である。本研究ではこのツイスト 3 分布関数の寄与するハイペロン生成過程の断面積に関し、完全公式を導出した。本研究により、謎であったハイペロン偏極の解明が大きく前進することが期待される。

21:00~21:15 (12+3)

横田 猛 (京都大学 理学研究科 物理学・宇宙物理学専攻 原子核理論研究室)

## 『汎関数くりこみ群によるスペクトル関数の計算と

## QCD 臨界点におけるソフトモードの解析』

QCD 相図におけるハドロン相とクォーク・グルーオン・プラズマ相の間には一次相転移線、及びその端点としての QCD 臨界点の存在が予想されている。臨界点においては、ソフトモードと呼ばれるギャップレス、長寿命であるモードが少なくとも一つ存在する。特に QCD 臨界点におけるソフトモードの描像は、バリオン数密度といった保存量密度の揺らぎのスカラーチャンネルへの結合が有限のカレントクォーク質量及び化学ポテンシャルによって引き起こされることで非自明となり、興味が持たれる研究の対象となっている。

本研究では、クォーク・中間子模型に対し汎関数くりこみ群法を応用することでスカラーチャンネル及び擬スカラーチャンネルでのスペクトル関数を計算し、QCD 臨界点付近でのモードの振る舞いを調べた。その結果、時間的な運動量領域にあったシグマ中間子的なモードの分散関係が QCD 臨界点に近づくにつれ空間的な運動量領域に突入し、もともと空間的な運動量領域に存在していた粒子・正孔モードによる寄与と混合し、両モードがソフト化するという振る舞いが得られた。このような両モードのソフト化は従来の研究で予想されていたソフトモードの描像とは異なるものである。

我々の手法は局所ポテンシャル近似に基づいているが、波動関数くりこみの考慮といった計算手法の向上についても議論する。

21:15~21:30 (12+3)

松本 滉平 (京都大学 理学研究科 物理学・宇宙物理学専攻 原子核理論研究室)

## 『H-dibaryon in Holographic QCD』

H ダイバリオン( $uuddss$ )は、1977 年に Jaffe によりその存在が予言され、Skyrme 模型を用いた解析においても H 粒子の質量が 2 核子質量より小さくなるなど、安定である可能性が理論的に示唆されてきたが、その後の実験でダブルハイパー核 ( $\Lambda\Lambda\text{He6}$ ) が発見され、現実世界(physical point)において H ダイバリオンは安定でないことが示された。しかし共鳴状態として存在する可能性などは現在なお指摘されており、また近年の格子 QCD の計算でも、フレーバーSU(3)対称で質量の大きな領域において H ダイバリオンは安定であることが指摘されるなど、H ダイバリオンは依然、ハドロン物理学における興味の対象となっている。そこで本研究では主としてカイラル極限での H ダイバリオンの質量の性質を非摂動的に計算することを目的とし、Holographic QCD の枠組みでソリトン描像を用いた解析を行う。

21:30~21:45 (12+3)

宮本 貴也 (京都大学 理学研究科 物理学・第2物理学専攻 基礎物理学研究所)

### 『格子 QCD によるチャーム系バリオン間相互作用の研究』

本研究では、実験データが十分に得られていないチャーム系バリオン間のポテンシャルを HAL QCD 法と呼ばれる方法を用いて格子 QCD により第一原理的に決定する。特に、チャームクォークを含むバリオンの中で最も基本的である  $\Lambda_c$  バリオンに着目し、核子との束縛状態や resonance の可能性を調査する。

21:45~22:00 (12+3)

黒田 佳樹 (名古屋大学 理学研究科 素粒子宇宙物理学専攻 クォーク・ハドロン理論研究室)

### 『Light Scalar Meson in Linear Sigma Model』

ハドロンに質量を与える機構としてカイラル対称性の破れの効果が知られている。この破れの機構において、ヒッグス的に振る舞う粒子として考えられているのが、 $\pi$  中間子のカイラルパートナーである  $\sigma$  中間子である。 $\sigma$  中間子の有効モデルを作ることは質量の起源を探る上で大変重要である。

本研究では、 $\sigma$  中間子であると期待される  $f_0$  中間子を含めた軽いスカラーメソンに対して、2 クォーク状態と 4 クォーク状態の混合を考慮した、3 フレーバーのカイラル有効モデルを用いることで、カイラル極限において質量と崩壊幅を実現できることを示した。

22:00~22:15 (12+3)

星 善次郎 (大阪大学 理学研究科 物理学専攻 核物理研究センター)

### 『Operator Product Expansion を用いた $K\bar{K}$ -N 相互作用の近距離での振る舞い』

$K$  中間子原子核中において反  $K$  中間子と核子は強い相互作用による引力によって束縛している。ヘリウム 3 などの軽い原子核に反  $K$  中間子を入れると、原子核の密度の飽和性に反し、原子核が強く圧縮されることが予言されている。

しかし、最近では Skyrme 模型を用いた計算から斥力芯の存在が予言されているため、上記のものは異なる性質を表しており、これらを調べるための計算が必要である。

反  $K$  中間子-核子間相互作用は、Bethe-Salpeter 波動関数を用いることで QCD からの直接の計算が可能であるが、これには大規模な格子 QCD 計算が必要となる。

今回はこれを避け、QCD の漸近的自由性を利用し演算子積展開を用いる計算方法とその特徴を紹介する。

19:00~20:00 (60)

尾崎 翔 (慶應大学)

### 『QCD 近藤効果』 (レビュートーク)

本公演では、最近我々によって提唱された QCD 近藤効果についてのレビューを行う。まず、物性系で良く知られた近藤効果について説明した後、高密度のクォーク物質中に現れる QCD 近藤効果について解説する。さらに、物性系でも知られていないまったく新しいタイプの近藤効果として、QCD において初めて可能となる強磁場によって誘起された近藤効果について紹介する。

20:00~20:15 (12+3)

野地 和希 (東北大学 理学研究科 物理学専攻 原子核理論研究室)

### 『格子 QCD を用いたチャーモニウムの構造研究』

近年、高エネルギー加速器の発展により、チャーモニウムのような量子数を持つもののクォーク模型によって再現出来ないエキゾチック粒子が発見されている。エキゾチック粒子の候補は多く存在するが、それらを考慮する前段階としてチャーモニウムの従うポテンシャルをエネルギー依存性まで含めて計算することにより、QCD に基づく第一原理的なインプットを確固たるものにすることは重要である。

そこで、本研究では HAL の方法に基づき、チャーム・反チャームクォークが従うポテンシャルを第一励起状態まで解析した。また、時間依存性のない HAL の方法を用いることで、より高励起状態の情報を含めた解析を行った。その結果、エネルギー依存性のないポテンシャルが得られたため、報告する。

また、HAL の方法はチャーモニウムのベータ・サルピータ振幅を用いるが、その情報から電磁遷移振幅について言及できることも示唆する。

20:15~20:30 (12+3)

萩原 慶一 (京都大学 理学研究科 物理学・宇宙物理学専攻 原子核理論研究室)

### 『グルーオン飽和の効果を取り入れた核子のウィグナー分布関数』

QCD のウィグナー関数は GPD や TMD などの分布関数の母関数と考えられ、これまでに精力的に研究されてきた。今回の研究ではこのウィグナー関数にグルーオン飽和の効果を取り入れ、その影響を調べた。

20:45~21:00 (12+3)

馬場 智之 (北海道大学 理学院 宇宙理学専攻 原子核理論研究室)

## 『炭素同位体における直鎖クラスター状態とアルファ崩壊幅』

アルファ粒子が直線上に並んだ構造を持つ、直鎖クラスター構造はその特異性から長年興味を持たれ、研究されている。現在のところ、安定核である  $^{12}\text{C}$  に関しては否定的な結果が得られているが、中性子過剰核では余剰中性子の働きにより、直鎖クラスター構造が安定化する可能性が理論研究によって指摘されている。実際、近年、直鎖クラスター状態の候補となりうる共鳴状態が  $^{14}\text{C}$  や  $^{16}\text{C}$  において相次いで報告されている。

そこで、本研究では、観測された共鳴状態が直鎖クラスター構造を持つことを立証するため、反対称化分子動力学を用いて、 $^{14}\text{C}$  や  $^{16}\text{C}$  の励起状態を調べる。加えて、アルファ崩壊幅および、直鎖クラスター状態の崩壊モードに着目する。Hoyle 状態のような弱結合状態は、アルファ粒子を放出し Be の基底状態に崩壊するが、直鎖クラスター構造のように強結合な状態は、Be の  $2^+$  や  $4^+$  といった励起状態にも崩壊するはずである。これを理論的に示す。

21:00~21:15 (12+3)

森田 皓之 (京都大学 理学研究科 物理学・宇宙物理学専攻 原子核理論研究室)

『反対称化分子動力学を用いた  $N=Z=\text{odd}$  核での陽子中性子間相関の研究』

陽子中性子対(pn)相関は  $N=Z=\text{odd}$  核での原子核構造を決定する上で重要な役割を果たす。特に、pn 対のアイソスピン競合は  $N=Z=\text{odd}$  核の低励起状態のアイソスピン競合を引き起こし核構造を複雑にさせる。この発表では、アイソスピンの競合を解決するために、開発したアイソスピン射影 AMD の枠組みを紹介するとともに、軽い  $N=Z=\text{odd}$  核への適用結果を示す。特に、 $N\alpha + \text{pn}$  クラスター状態の形成とコア核( $N\alpha$ )の状態に対する pn 対の状態の変化に注目しながら、実際の観測量について議論し定性的な理解を試みる。 $^6\text{Li}$  と  $^{10}\text{B}$  への適用では、クラスターの形成と isoscalar pn 対のスピンの軌道角運動量の結合によって、低励起状態の準位と  $E2, M1$  遷移を定量的に説明することに成功している。本発表では、これらの結果に加えて sd 殻での結果について報告する。



21:15~21:30 (12+3)

四方 悠貴 (京都大学 理学研究科 物理学・宇宙物理学専攻 原子核理論)

『 $4\alpha$  による O-16 のモノポール強度』

近年、原子核の構造を探る上で、isoscalar monopole(ISM)遷移が重要な役割を果たす。 $^{16}\text{O}$  の ISM strength function は  $\alpha$  粒子や電子の非弾性散乱によって励起エネルギー  $E_x=40$  MeV まで調べられている。この高エネルギー部分( $16 < E_x < 40$  MeV)は 1-particle 1-hole(1p1h)による mean-field theory によって良く再現できているが、低エネルギー( $E_x < 16$  MeV)での共鳴状態はうまく再現できない。 $E_x < 16$  MeV における、基底状態も含めた6つの  $0^+$ 状態は  $4\alpha$ -OCM によってうまく再現出来ることが Funaki らによって説明された。今回の発表ではその Funaki らの論文での  $4\alpha$ -OCM の結果を紹介する。

21:30~21:45 (12+3)

今井 涼介 (北海道大学 理学院 宇宙理学専攻 原子核理論研究室)

## 『生成座標法によるクラスター構造の研究』

原子核の励起状態には、3アルファ凝縮状態に代表される様々なクラスター状態が現れる。クラスター状態の研究は軽い核では詳細に行われている一方で、粒子数の多い系では、様々なアルファ粒子の配位を重ね合わせる必要があることから、微視的理論による記述は難しい。そこで我々はこの問題を解決し、 $N$  アルファ系のクラスター状態の記述を可能にする、新しい計算法を開発した。この手法では、アルファ粒子の波束中心の運動を考える。波束中心の運動方程式を解くことで、様々なアルファ粒子の配位が生成される。十分長く波束中心を運動させると、エルゴード性により物理的に可能な配位が全て現れると期待できる。この様にして自動的に生成された基底関数を重ね合わせることで、アルファ粒子の配位に仮定を置くことなく、様々なクラスター状態の記述を試みる。本講演では、この手法を3アルファ、4アルファ系へ適用し、先行研究と無矛盾な結果を与えることを示す。

21:45~22:00 (12+3)

松野 秀昭 (京都大学院 理学研究科 物理学・宇宙物理学専攻 原子核理論研究室)

『 $^{16}\text{O}$  のモノポール遷移とクラスター構造』

近年、モノポール遷移 ( $E0$  遷移) がクラスター構造の根拠になるとして注目されている。例えば、 $^{12}\text{C}$  の基底状態から  $3\alpha$  クラスター構造を持つとされるセカンド  $0^+$  へは非常に強いモノポール遷移が存在することが知られている。また、 $^{16}\text{O}$  では低励起エネルギー領域の  $E0$  遷移強度はクラスター構造の仮定なしには再現されないことが示唆されている。

本研究は、 $^{16}\text{O}$  の  $^{12}\text{C} + \alpha$  クラスター構造、特に  $^{12}\text{C}$  部分の内部構造 ( $^{12}\text{C}$  が  $3\alpha$  構造であるか、 $p_{3/2}$  閉殻構造であるか等) と  $E0$  遷移の関係を明らかにしようとするものである。この目的の為に、 $^{12}\text{C}$  の  $3\alpha$  構造と  $p_{3/2}$  閉殻構造の両方を簡単に扱える antisymmetrized quasi cluster model (AQCM) の枠組みを用いる。本研究により、セカンド  $0^+$  の  $^{12}\text{C}$  部分が  $p_{3/2}$  閉殻構造的である場合は  $3\alpha$  構造的である場合に比べて  $E0$  遷移が抑制されることが分かった。これは両者のスピン構造の差異によるものである。

22:00~22:15 (12+3)

坂井 新九郎 (新潟大学 自然科学 数理物質科学 原子核理論)

## 『中性子過剰領域における高スピン状態原子核の研究』

中性子過剰領域の高スピン状態の原子核の研究は、理研の RIBF で実験が計画されており、今後実験的に研究が進むであろう領域である。高スピン状態の原子核は超変形や非軸対称変形などの特異な性質を示すことが安定核領域において既に確かめられている。我々は中性子過剰の不安定核領域においてもまたこのような性質を持つ原子核が存在するのを探求し、その性質の起源、原子核構造を理論的に研究する。

不安定核は弱束縛性より密度が空間的に広がる性質を持つので、この空間的広がりを記述するために座標空間において数値計算を行う。また非軸対称の変形が現れると予想されることから、3次元空間において3軸変形も考慮したクランキング変形 Woods-Saxon 計算を行うことで高スピン状態の中性子過剰原子核の構造を研究する。

19:00~19:15 (12+3)

19:15~19:30 (12+3)

高橋 祐羽 & 渡邊 憲 (京都大学 理学研究科 物理学・宇宙物理学専攻 原子核ハドロン物理学研究室)

### 『閾値近傍における ${}^4\text{He}(\alpha, n){}^7\text{Be}$ 反応の断面積測定』

宇宙初期における  ${}^7\text{Li}$  の存在量について、実際の観測値とビッグバン標準模型による推測値は一致しない。この問題は  ${}^7\text{Be}(\alpha, n){}^4\text{He}$  の反応断面積が推測値より大きければ解決される可能性があるため、この反応の断面積を調べた。 ${}^7\text{Be}$  と  $n$  は不安定なため、逆反応の断面積を測定し、その結果より  ${}^7\text{Be}(\alpha, n){}^4\text{He}$  の反応断面積を求めた。本発表は前半と後半に分かれた連続発表とし、前半では実験セットアップについて、後半では解析結果について紹介する。

19:30~19:45 (12+3)

関根 里英 (北海道大学 理学院 宇宙理学専攻 原子核理論研究室)

### 『時間依存相関ガウス基底の開発と光核反応への応用』

原子核応答は原子核の基底状態の性質や励起構造についての情報を含む量である。しかし、その理論研究では多体系の連続状態の記述が困難であるということが問題となる。その困難を解決するために様々な方法が開発されてきたが、本研究ではその一つである時間依存法を用いる。この方法では応答関数を得るために波動関数の時間発展を求めるため、波動関数の時間変化を正確に記述する必要がある。そのために本研究では、新たに開発した時間依存相関ガウス関数による基底関数展開を用いる。相関ガウス関数とは、通常の高ス関数を拡張したもので、多体の相関を効率よく記述することができる基底関数として知られている。これを時間に陽に依存させることで、多体の連続状態を含む波動関数の効率的に表せるように改良した。今回は以上の方法のテストとして、数核子系の光吸収反応断面積を計算しこの方法の有効性について議論を行う。

19:45~20:00 (12+3)

清水 勇希 (名古屋大学 理学研究科 素粒子宇宙物理学専攻 クォーク・ハドロン理論研究室)

『結合チャンネル効果を含めたハドロン分子としての  $P_c(4380)$ 』

2015年7月、LHCb 実験において新たなペンタクォーク  $P_c(4380)$  と  $P_c(4450)$  が発見された。これらはチャームクォークと反チャームクォークを含んでおり、その質量はチャームドバリオンと反チャームドメソンを合わせた閾値に非常に近い。そのためバリオンとメソンが緩く束縛した分子状態のように考えることが出来る。本発表では、結合チャンネル効果を用いたパイ中間子交換モデルによって束縛された、バリオン-メソン分子状態として  $P_c(4380)$  を再現できることを説明する。

20:00~20:15 (12+3)

星野 翼 (北海道大学 理学院 宇宙理学専攻 原子核理論研究室)

『三体模型による  $K$  中間子重水素スペクトルの研究』

近年のストレンジネス物理において、 $K$  中間子が原子核に束縛された系である  $K$  中間子原子核の存在が予言された。これまでに多数の理論、実験による研究がなされたが、その存在可能性や性質については統一的な見解が得られていない。 $K$  中間子原子核の理論研究を進めるためには  $K$  中間子と原子核の相互作用を理解することが重要であるが、 $K$  中間子原子はその相互作用の情報を与えてくれるよい対象のひとつである。本研究では、2011年の SIDDHARTA 実験を再現するような  $K$  中間子-核子相互作用を用いて、三体模型を用いた第一原理計算から  $K$  中間子重水素の  $1s$  と  $2p$  状態を求めた。また相互作用の不定性がスペクトルにどのような影響を与えるかについても議論する。

20:15~20:30 (12+3)

半澤 光平 (総合研究大学院大学 高エネルギー加速器科学研究科 素粒子原子核専攻)

## 『Charmed baryon における 2 体系の研究へ向けて』

クォーク模型の予想と大きくずれた  $D_{sJ}(2317)$  や  $X(3872)$  の発見により、Heavy quark hadrons への興味が高まりつつある。これらのメソンはある 2 対のハドロンの分子状態である可能性が高い。ここでは、Charmed baryon の二体系に注視し、チャーム等ヘビークォークセクターに特徴的な対称性と one-boson exchange potential model による物理的な描像述べる。また、その研究法をよく知られている核子二体系、つまり重水素を例に採り、具体的に述べる。

20:45~21:00 (12+3)

武田 悠佑 (名古屋大学 理学研究科 素粒子宇宙物理学 クォークハドロン理論)

## 『Asymmetric nuclear matter in parity doublet model』

我々は、非対称物質の性質に興味がある。それは中性子星の構造について理解を深めるからである。現在、chiral invariant mass の存在が研究されている。起源は明らかではないが、chiral symmetry が回復した時に持つ mass である。この値にどのように依存するかということが主題である。今回は、メソン場  $\sigma$ 、 $\omega$ 、 $\rho$  を導入する hidden local symmetry を用いて parity doublet model で、主に高密度の範囲を考察した。chiral symmetry は  $\sigma$  の真空期待値で決定され、相転移点で大きく落ちることが知られている。これを見ることで相図を研究した。ゼロ温度で対称核物質の場合、気液相転移は 1 次相転移であり、chiral 相転移は 2 次相転移である。しかし非対称核物質になると、気液相転移が 2 次相転移になる。今回の研究は chiral invariant mass は 500MeV で解析を行い標準原子核の性質をみたく結果になった。

21:00~21:15 (12+3)

松田 英史 (京都大学 理学研究科 物理学第二教室 原子核理論)

## 『グラフェンの物理に現れるカイラル対称性』

グラフェンとは炭素原子間の  $sp^2$  結合で成り立つ 1 層のシートでハチの巣のようなハニカム構造を持つ物質である。グラフェンの物理において現れるカイラル対称性は QCD におけるカイラル対称性、 $\gamma_5$  の固有状態毎の位相変換にたいする対称性でないことは奇数次元において  $\gamma_5$  が 1 になることから明らかである。今回はグラフェンにおけるカイラル対称性を説明し QCD におけるカイラル対称性と関連づけることを主な内容としたい。

21:15~21:30 (12+3)

開田 丈寛 (九州大学 理学府 物理学 理論核物理研究室)

『 $Z_3$  対称性と符号問題』

量子色力学(QCD)の熱力学的性質は、 $\mu \cdot T$  平面上に相図としてよく描かれるが、有限 $\mu$ 領域では QCD の第一原理計算である格子 QCD で用いられるモンテカルロ法の統計重みが複素数となる「符号問題」により、数値計算上の困難が生じてしまう。このことにより、温度軸付近の相図しかよく知られていない。

QCD に厳密な中心対称性を取り入れた理論として  $Z_3$ -QCD 模型がある。この模型ではゼロ温度極限で通常の QCD と一致し、また有限 $\mu$ における符号問題を穏やかにすることが知られており、低温高密度領域における QCD 相図に新たな情報を与えることが期待されている。

我々は、 $Z_3$  対称化された模型における符号問題について、QCD から導かれるとされる「3 状態 Potts 模型」を用いて、その解析を行った。その結果、 $Z_3$  対称性を取り入れることにより、符号問題がはるかに軽減されることがわかった。本講演では、これらの結果を示すとともに最新の計算結果も見せる。

21:30~21:45 (12+3)

渡辺 海 (大阪大学 理学研究科 物理学専攻 RCNP)

## 『波動関数等価ポテンシャルとカレント行列要素の計算』

HAL QCD ポテンシャルに代表される波動関数等価ポテンシャルの方法においては、カレントの行列要素計算の方法について議論する。HAL QCD 法では、核子内挿場によって、NBS 波動関数が増減し、その結果、ポテンシャルも変化する。しかしながら、NBS 波動関数の長距離部分に埋め込まれている散乱位相差の情報は、核子内挿場の選び方によらず正しく計算できることが保証されている。この意味で、散乱位相差に忠実なポテンシャルが求まっている。しかしながら、核子の内挿場の取り方によって NBS 波動関数が増減するという事は、素朴な量子力学の公式では正しく確率密度を計算できないことを意味する。exchange current 等の導入が必須と思われる。この研究では、非相対論的な 2 チャンネル結合模型を用いて、波動関数等価ポテンシャルを構成し、保存カレントの行列要素の計算法を議論する。