H 研究室　クォーク・ハドロン理論研究室

原田正康教授

*原田正康　教授　*Masayasu Harada, Prof.*
山口康宏　助教　*Yasuhiro Yamaguchi, Assist. Prof.*
末永大輝　特任助教　*Daiki Suenaga, Assist. Prof.*

当研究室では，クォーク・グルーオンの力学を記述する基礎理論，量子色力学（QCD）の解明を目標として研究を行なっています．

我々の身の回りではクォーク・グルーオンは単独では現れず，これらが集まってできた「ハドロン」と呼ばれる複合粒子が観測されます．代表的なハドロンとして，原子核を構成する核子（陽子や中性子）や湯川秀樹博士（1949年ノーベル物理学賞受賞）により理論的に予言されたπメソンがあります．これらハドロンの構造はクォーク・グルーオン多体問題としては完全には理解できておらず，その構造解明はハドロン物理学の重要課題の一つです．特に，最近の実験ではこれまでの常識を超えた構造を持つエキゾチックハドロンが続々と発見されるようになり，世界中で活発な研究が行われています．

有限温度・有限密度におけるハドロン及びクォーク・グルーオン多体系の総合的理解も重要課題です．特に，高密度物質の研究は，宇宙物理現象である中性子星の内部構造解析や，中性子星合体や超新星爆発などの性質解明にもつながっています．

ハドロン物理学は物質の「質量の起源」の解明へ切り込む学問でもあります．我々の質量の大部分を占める原子核を構成している核子の質量生成機構は「カイラル対称性の自発的破れ」と密接に関連しており，有限温度・有限密度QCD，ハドロン構造等の研究を通して，その総合的理解が進んでいます．

現在，大型加速器施設を用いたハドロン実験が世界各地で行われています．当研究室では，これまでの実験から提出されてきた多くの謎を解決すると共に，将来の実験に対して提言を行うべく，有効模型や現象論的模型の枠組みでの新しい理論や模型の開発とそれを用いた解析などを行い，ハドロン物理の多角的な理解を目指します．また最近では，ハドロン物理とその周辺分野との境界領域との融合を目指した研究も行っています．

以下に，当研究室での主な研究対象を紹介します．

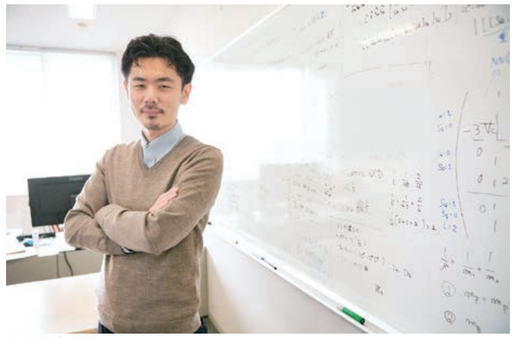
ハドロン構造

(1) エキゾチックハドロン

多くのハドロンは，バリオン（3クォーク状態，陽子など）とメソン（クォーク-反クォーク状態，πなど）に分類することができます．しかし近年，加速器実験でこれら描像では説明できない「エキゾチックハドロン」が数多く報告されるようになりました．それらは重いクォークを含む4個や5個のクォークや反クォークが集まったマルチクォーク状態と考えられていますが，その構造について未だ決着はついていません（図上段参照）．通常ハドロンやエキゾチックハドロンの構造研究は，この宇宙の物質が素粒子クォークからどのように形成されたのかという「クォークの閉じ込め問題」に挑戦する課題と言えます．当研究室ではハドロン有効模型やクォーク模型を用いたハドロン間相互作用と構造の解析を行い，エキゾチックハドロンの性質解明を目指しています．

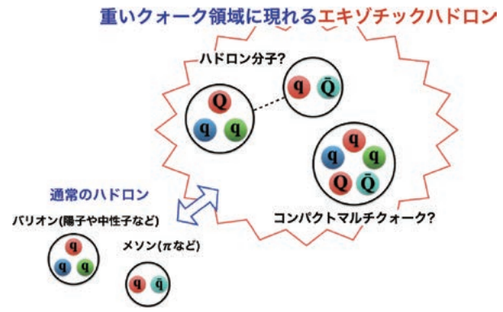
(2) 重いクォークを含むハドロン

近年，エキゾチックハドロン以外にも，重いクォークを含むハドロンも次々と発見されています．これらハドロンでは質量の重いクォークと軽いクォークが共存し，これまでの核子などの軽いクォークのみの系ではわからなかった新たな現象・構造が出現すると期待されています．本研究課題とエキゾチックハドロン研究は密接に関係し，これらを組み合わせた包括的なハドロンの構造解明を実施しています．

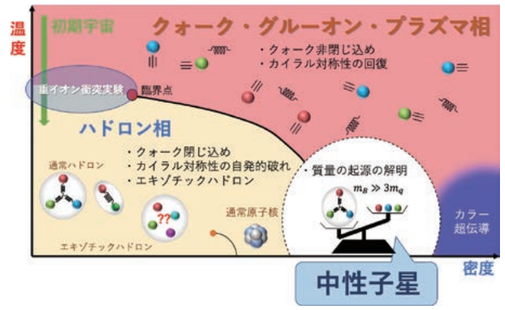


山口康宏助教

H研メンバー（教員，大学院生，学部4年生）



エキゾチックハドロン



クォーク・グルーオン多体系の相図（理論的予想）

有限温度・有限密度QCD

高温度・高密度状態でのクォーク・ハドロン多体系における，カイラル対称性やクォーク・グルーオンの閉じ込め等に基づく相構造（図下段参照），QCD相転移機構やそれに伴うハドロンの性質の変化，関連する周辺物理との融合などを研究対象とします．

(1) 高密度核物質・クォーク物質

高密度状態の理解を目指し，茨城県東海村にあるJ-PARC実験，韓国IBS/IRIS・RAON実験，ドイツ重イオン研究所（GSI）/FAIR実験，ドゥブナ合同原子核研究所（JINR）/NICA実験等の多くの実験が計画されているか，すでに稼働中です．これらの実験から高密度核物質への基本的な情報が得られることが期待されています．また，高密度核物質・クォーク物質の構造は「中性子星内部の状態方程式」とも密接に関係し，X線観測や重力波観測による中性子星の情報からも高密度状態への制限が得られます．

この中性子星の観測情報を用いることで，物質の持つ「質量の起源」の解明が期待されます．核子の質量は，「カイラル対称性の自発的破れ」から生成される部分とそれ以外の「カイラル不変質量」から成る部分より成り立っていることが示唆されています．当研究室では，「カイラル不変質量」の効果を取り入れた有効模型を用いて高密度核物質を構成し，中性子星の観測結果と比較することによる「カイラル不変質量」の検証や，大規模計算機を用いた第一原理計算・格子QCDによる解析を進めています．

最近の修士論文

安福　翔太（2025）「$D^0 D^0 \pi^+$ line shapeから探るエキゾチックハドロンT_{cc}^+の構造」
酒井　愛斗（2025）「ヘビークォークスピン対称性を尊重した分子状態としてのT_{cc}とT_{bb}の解析」
Xiang Liu（2025）「Study of pion condensate in nuclear matter based on a parity doublet model」
大竹　悠（2024）「Δバリオンを含むパリティ二重項模型を用いた中性子星の質量・半径の解析」
田中　満（2024）「スーパーフレーバ対称性に基づくdoubly heavy tetraquarkの解析」
中島　雄大（2024）「クォークモデルに基づいたTcc+テトラクォークの崩壊幅の計算」
浅沼　達也（2023）「ヘビークォーク対称性に基づくボゾン交換モデルによる$D^{(*)}D^{(*)}$分子状態と$\bar{D}^{(*)}\Xi_{cc}^{(*)}$分子状態の解析」
大島　一楓（2023）「高エネルギー重イオン衝突反応における流体ゆらぎと多粒子フロー相関の解析」
高田　寛大（2023）「カイラルダイクォーク模型に基づくsingly heavy baryonsの質量と崩壊の解析」
Walia Dhruv（2023）「Review of Neutron Star Matter in a Parity doublet Model with a six-point interaction」

最近の博士論文

Bikai Gao（2025）「Study of nuclear matter and neutron star matter based on the parity doublet model」
中村　幸輝（2023）「Study on QGP bulk property based on relativistic resistivemagneto-hydrodynamics」
南川　拓哉（2023）「Chiral variant and invariant components of the nucleon mass with quark-hadron crossover in neutron stars」

https://hken.phys.nagoya-u.ac.jp
*連絡先　harada@hken.phys.nagoya-u.ac.jp
教授：1／助教：2／DC：8／MC：5