



原田正康教授

*原田正康 教授 Masayasu Harada, Prof.
野中千穂 准教授 Chiho Nonaka, Assoc. 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。

ハドロン物理学の課題の一つに、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があります。特に、クォークやグルーオンが自由粒子のように振る舞う新しい物質相「クォーク・グルーオン プラズマ (QGP)」の物性研究は重要課題です。QGP状態はビッグバン後 10^{-6} 秒後に存在したと考えられ、QGP物理の理解、QCD相図、及び、QGP相とハドロン相のQCD相転移現象の解明は宇宙史の解明にもつながります。地球上のQGP生成手段として世界規模で高エネルギー重イオン衝突実験が遂行され、多くの実験結果が報告されています。

クォーク・グルーオンの多体系として理解できるハドロンの構造解明もハドロン物理学における重要な課題です。質量が陽子よりも軽い「スカラー中間子」はその性質や構造が依然として謎です。また、最近の実験で重いクォークを含む4個や5個のクォークからなるエキゾチックハドロンが続々と発見され、その構造の理論的解明が待たれています。

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 (陽子・中性子) の質量生成機構の解明もハドロン物理学における重要な課題となっています。この質量生成機構は、「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。

当研究室では、現在の実験から提出されている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、格子QCDを用いたQCD基礎論に基づく解析などを行い、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、宇宙物理学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。

有限温度・有限密度QCD

有限温度・有限密度QCDは、高温・高密度状態でのクォーク・ハドロン多体系の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 (図参照)、QCD相転移機構やそれに伴うハドロンの性質の変化などを研究対象とするものです。

(1) 重イオン衝突実験の現象論的解析

ハドロンの性質の変化、相転移現象の解明をめざし、世界規模で高エネルギー重イオン衝突実験が行われてきました。特に近年では、2000年から稼働中のアメリカ・ブルックヘヴン国立研究所のRHIC、そして2009年に稼働を開始したCERN / LHCといった高エネルギー重イオン衝突実験で、これまでの理論では説明できない予想外の興味深い結果が次々と得られてきました。その結果の一つに、強結合QGPの存在が示されたことがあります。これはQCD基礎論、QCD有効理論、実験とQCDを結びつける現象論的模型といった理論研究からの実験結果理解の成功から導きだされたものです。当研究室では、理論研究から実験結果に潜むQGPの普遍的な物理を探ることを目標としています。さらに宇宙物理学との融合を目指した研究も遂行しています。

(2) 低温度・高密度領域

この領域の物理の理解を目指し、茨城県東海村にあるJ-PARC実験、韓国IBS / RISP・RAON実験、ドイツ重イオン研究所 (GSI) / FAIR実験、ドブナ合同原子核研究所 (JINR) / NICA実験、理研 / RIビームファクトリー



野中千穂准教授



H研メンバー (教員・大学院生・学部4年生)

実験等の多くの実験が計画あるいは存在します。ここから高密度状態への基本的な情報が得られることが期待されています。当研究室では、格子QCD、及び、有効模型を用いてこの問題にアプローチしています。模型の有限密度領域への応用方法などを開発しつつ、ハドロンの質量・寿命といった物理量の変化等を調べています。

(3) 新しいQCD相図の探求

RHICやLHCの高エネルギー重イオン衝突実験がきっかけになり、衝突後強磁場やQCDのトポロジカルな真空構造に関連したパリティが破れた局所的な媒質相 (カイラル不均衡媒質相) に注目が集まっています。今までの温度・密度軸に加え磁場軸も加えた相図の解明、強磁場中における現象論の物理の提唱、カイラル不均衡媒質相中におけるハドロン物理にも取り組んでいます。

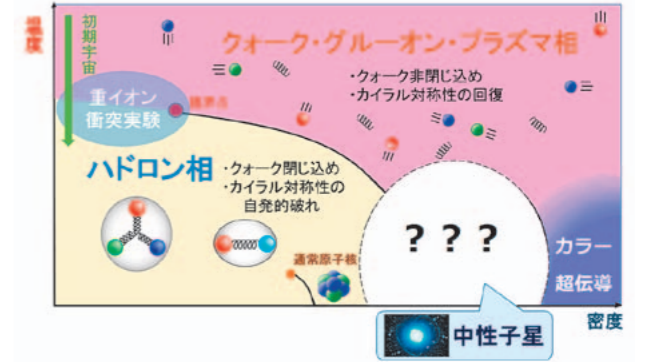
(4) 重いクォークを含むハドロンをプローブとする核物質の構造解明

当研究室では、J-PARCやFAIRでの実験を見据え、重いクォークを含むD中間子等のハドロンをプローブとする核物質の構造解明の解析を実施しています。

ハドロン構造

(1) スカラー中間子

スカラー中間子の一つシグマ中間子は、カイラル対称性の自発的破れによる質量生成機構と深く関係するクォーク2体 (クォークと反クォーク) で構成される「シ



クォーク・グルーオン多体系の相図 (理論的予想)

ゲナル粒子」である可能性が高いと考えられています。しかし、クォーク4体 (クォーク2個と反クォーク2個) またはグルーオン2体を含む混合状態で構成されている可能性も指摘されています。当研究室では、スカラー中間子の組成構造の解明や温度依存性およびそれらの実験的検証方法について、有効模型・格子QCDなどを用いて様々な角度から解析を行っています。

(2) 軽いバリオンを含む有効模型

現在、核子 (陽子・中性子) 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」から成り立っていることが示唆されています。当研究室では、核子等の軽いバリオンを含む有効模型を構成し、質量・崩壊等の実験と比較することによって「カイラル不変質量」の検証を進めています。

(3) 重いクォークを含むエキゾチックハドロン

近年、高エネルギー加速器研究機構 / Belle実験におけるテトラクォークZb(10610) / Zb(10650) [2013年]、CERN / LHCb実験におけるペンタクォークPc(4380) / Pc(4450) [2015年]、Fermilab / D0実験におけるテトラクォークX(5568) [2016年] 等、重いクォークを含むエキゾチックハドロンが次々と発見されました。当研究室では、重いハドロンを含む有効模型を用いたスペクトロスコピーの解析から、これらのエキゾチックハドロンの構造解明を実施しています。

最近の修士論文・博士論文

- 川上 洋平 (2018) 「カイラルパートナー構造に基づくチャーム/ボトムバリオンの解析」
- 武田 悠佑 (2018) 「パリティ2重項模型を用いた高密度核物質中での $\Delta(1232)$ 物質と非一様カイラル凝縮の解析」
- 清水 勇希 (2017) 「結合チャネル効果を取り入れたハドロン分子モデルにおけるペンタクォークPc(4380)の解析」
- 黒田 佳樹 (2017) 「拡張された線形シグマ模型に基づいた2クォーク状態と4クォーク状態の混合の研究」
- 小野 和真 (2016) 「カイラル有効模型を用いた軽い中間子の質量スペクトルの解析」
- 川口 健夫 (2016) 「格子QCDを用いた強磁場中のベクトル中間子の解析」
- 川口真実也 (2016) 「Vector Meson Masses from Hidden Local Symmetry in Constant Magnetic Field」

- 岡本 和久 (2018) 「相対論的流体模型を用いた高エネルギー原子核衝突実験の解析によるクォーク・グルーオンプラズマ物性の研究」
- 末永 大輝 (2018) 「チャームクォークを含む中間子を用いた核物質中でのカイラル対称性の部分的回復の探求」
- 西原 寛記 (2017) 「3フレーバーパリティ2重項模型を用いたフレーバー8重項バリオンの質量、崩壊幅、軸性電荷の研究」
- 本廣 優一 (2017) 「パリティ2重項模型を用いた核物質の研究」
- 何 秉然 (2016) 「Effect of light scalar mesons in a soliton model for the nucleons」
- 若山 将征 (2016) 「格子量子色力学を用いた4クォーク演算子によるスカラー中間子の研究」

<http://hken.phys.nagoya-u.ac.jp>

*連絡先 harada@hken.phys.nagoya-u.ac.jp FAX (052) 789-2865

教授 : 1 / 准教授 : 1 / 研究生 : 1 / 学振PD : 1 / DC : 4 / MC : 7