

私たちは素粒子および原子核の相互作用における基本的な性質を明らかにすることを主眼として、原子核・ハドロンを対象に、主として「強い相互作用」の研究を行っています。「強い相互作用」はエネルギーによって全く違う様相をみせる豊穡な世界です。これをエネルギーにより、メソン・核子の自由度、又はクォーク・グルオンの自由度から理解すべく、新しい実験技術を開発しつつ挑戦を続けています。

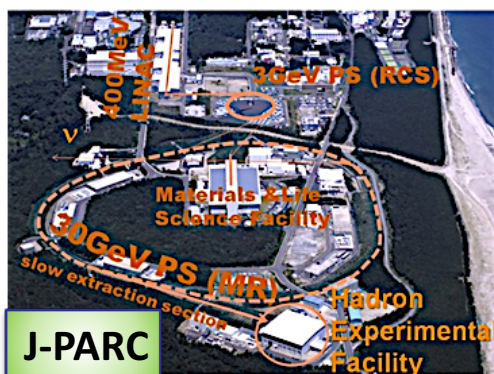
世界最高クラスの大強度陽子ビームを誇るJ-PARC、世界最高性能の放射光を用いることができるSPring-8、世界最高分解能の検出器と最高品質のビームで核構造研究を行うRCNP、世界最大強度のRIビームを生成できるRIBFなどの大型実験施設を用いて、多様なテーマを研究していることが原子核・ハドロン物理学研究室の特色です。またどれも大なり小なり実験装置の建設を伴っていますので、自分の作った装置で新しい実験をしたい人には最適です。以下各実験施設ごとの説明となります。

ストレンジネス物理・ハドロン物理

J-PARC(Japan Proton Accelerator Research Complex)

私たちは、通常自然界に存在しない**ストレンジクォーク**を含んだハドロンや原子核を主な研究対象としています。ストレンジネスを持った粒子というと **Λ (ラムダ, $S=-1$)**や **Ξ (グザイ, $S=-2$)**といったバリオン、また**K中間子**などのメソンがあります。私たちはこれらの粒子を原子核内に入れた、**ミハイパー核**、**ダブル Λ ハイパー核**、**K中間子原子核**などの新しい原子核の研究を行っています。また、エキゾチックなハドロンが現れ得る、 Λ や Ξ の励起状態も研究対象です。これらの研究はバリオン間相互作用などクォークレベルから物質を理解する手がかりになると考えています。また、ストレンジクォークと反ストレンジクォークで構成される ϕ 中間子($s\bar{s}$)を使って、**ハドロン質量の起源**に迫る研究もまもなく始まります。

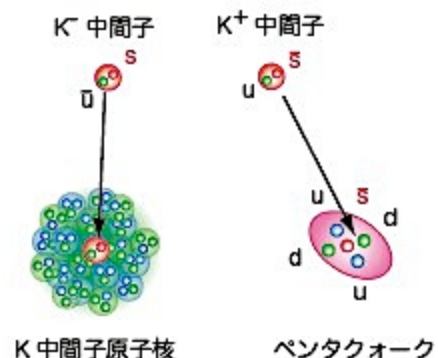
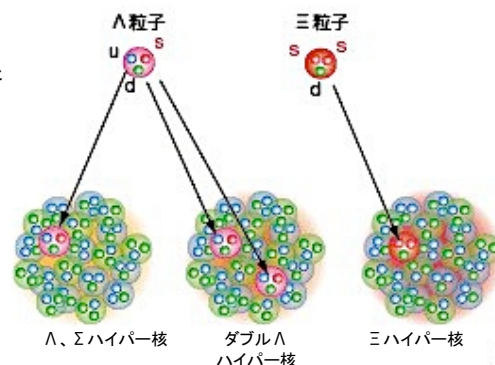
そのために、茨城県東海村にある世界最高峰の最強度ビームを有する加速器実験施設**J-PARC**のハドロン実験施設で、世界最高レベルの強度の**K中間子ビーム**や **π 中間子ビーム**を用いて実験を行っています。



S-2S電磁石 (Q2)



FM電磁石



LEPS(Laser Electron Photon Experiment at SPring-8)

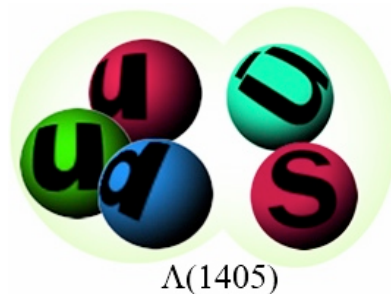
LEPSグループは兵庫県西播磨にある世界最高性能の高輝度放射光施設**SPring-8**で、光子ビームによるハドロン生成実験を行っています。蓄積リング中のエネルギー**8 GeV**の電子に**4 eV**程度の紫外レーザーを照射することにより得られる、最大エネルギー**3 GeV**の**逆コンプトン γ 線**を利用しています。

2003年に私たちのグループが発見した**5クォーク状態(ペンタクォーク)**候補の Θ^+ の存否の研究やメソン・バリオン分子状態候補である **$\Lambda(1405)$** の内部構造の研究、 ϕ 中間子の光生成による研究が主に行われており、さらに **ω** 、 **ϕ** 、 **η'** 中間子などを原子核物質中に生成し、その性質の変化を調べる研究も行われようとしています。

2014年度からは光子ビームの輝度を10倍向上させた新しいビームライン、**LEPS2**での新たな実験が開始されました。



ペンタクォーク (Θ)



$\Lambda(1405)$

GSI (重イオン研究所) and FAIR (Facility for Antiproton and Ion Research)

η' 中間子は、原子核などの高密度のもとで質量が大きく減少することが理論的に予想されています。そうであれば、 η' 中間子と原子核が束縛した「 η' 中間子原子核」と呼ばれる新しい形態の原子核が存在するかもしれません。我々は、ドイツの重イオン研究所で2.5GeVの高い運動エネルギーを持つ大強度の陽子ビームを炭素標的に照射することで、 η' 中間子原子核の探索を行っています。最初の実験は2014年8月に行われ、現在解析を進めている段階です。

また、現在建設中の反陽子イオン研究施設が完成すれば、さらに大強度のビームと自由度の高いスペクトロメータが利用可能になります。将来を見据えて、データ収集システムの刷新や検出器の開発などの実験のアップグレードに向けた準備も並行して進めています。

RCNP(Research Center for Nuclear Physics)

中間子と原子核の多体系の研究の中で最も歴史が古く、また最も確立している系は、負 π 中間子が原子核の周りを回る π 中間子原子です。電子と比べて π 中間子は270倍近く重いので、 π 中間子の軌道半径は原子核半径と同程度にまで小さくなります。そのおかげで、 π 中間子と原子核の間に働く強い相互作用に関する情報を π 中間子原子の精密分光から引き出すことが可能となります。今日時点で反応を用いた π 中間子原子の精密分光実験を行っているのは理化学研究所のみですが、下述のGrand Raiden スペクトロメータを用いることでさらなる高分解能を実現できる(かもしれない)新しい実験の検討、準備を行っています。

原子核物理

RCNP(Research Center for Nuclear Physics)

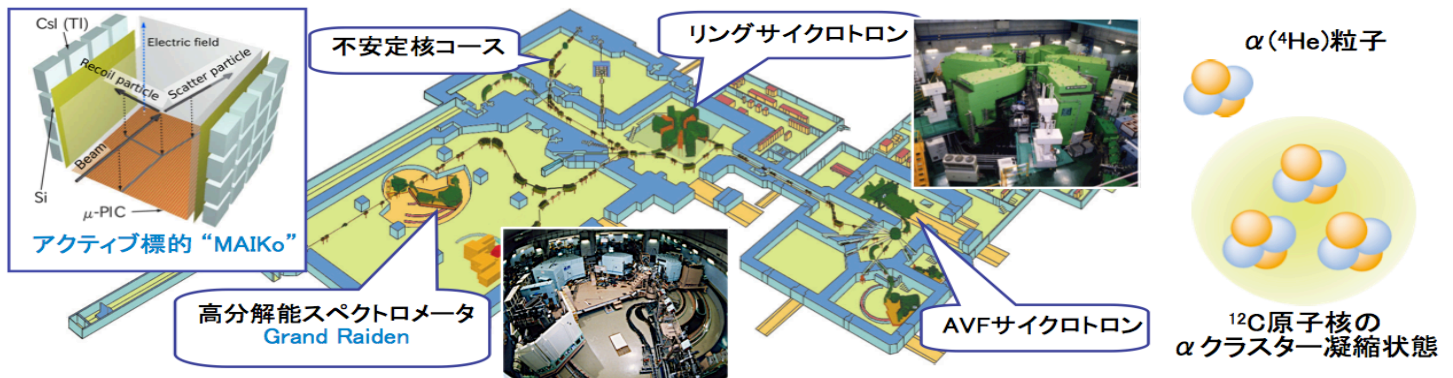
原子核は物質を構成する基本要素であり、陽子と中性子(核子)からできています。核子はクォークから構成されており、クォーク間や核子間に働く強い力は量子色力学による説明が進んでいますが、これらの相互作用に基づいてどのように原子核が構成されるかはよくわかっていません。私たちは様々な原子核の構造を調べることで、有限量子多体系である原子核のダイナミクスの解明を目指しています。

また、世界中で建設が進められている次世代加速器で調べることが可能な不安定核(自然界に存在する原子核に比べて陽子数や中性子数が過剰な原子核)では、ハロー構造、スキン構造、魔法数の消失と新たな魔法数の出現、ピグミー共鳴など、これまでの原子核に見られなかった非常にユニークな核構造が現れることがわかってきています。

大阪大学核物理研究センター(RCNP)ではリングサイクロトロンからの世界最高品質ビームと高分解能スペクトロメータGrand Raidenを用いた散乱実験を行い、様々な原子核の共鳴状態の精密測定やクラスター凝縮状態の探索などを行っています。

また、宇宙核物理の観点から、宇宙での元素合成で重要となる様々な天体核反応にアプローチしています。例えば、高温条件下での ^{12}C 原子核の生成に寄与する ^{12}C の高励起状態の稀 γ 崩壊確率の測定を目指しており、確率 10^{-7} 以下のレアイベントに迫るための0.5mm厚の薄型固体水素標的や新しい結晶GAGG($\text{Gd}_3\text{Al}_2\text{Ga}_3\text{O}_{12}$)を用いた反跳陽子検出器の開発を進めています。

更に、不安定核実験を実現するための新しい検出器(アクティブ標的)の開発も行っています。アクティブ標的では、粒子の飛跡を3次元的に捉えることが可能なTPC検出器を散乱の標的としても用います。これによってこれまで検出が困難であった低エネルギーの粒子も検出できるようになります。



RIBF(RI Beam Factory)

私たちは中性子星の基本的性質に関係した原子核物質の状態方程式の解明を目指しています。そのためには核子あたり数百 MeVのビームによる重イオン衝突から発生する荷電 π 中間子がいよいよプローブであると考えています。そして状態方程式の決定にはN/Z比の大きな原子核による実験が有効であるため、理化学研究所のRIBFでの不安定核ビームを用いた「SAMURAI-TPC」実験が計画され、2016年初めに開始されました。この実験では、多種粒子測定装置SAMURAIスペクトロメータ、3次元飛跡検出器TPC、中性子検出器NEBULAを組み合わせることで、重イオン衝突から生じた多数の粒子を同時に検出し、状態方程式の手がかりを得ることを目標にしています。本実験は、8カ国、43人のグループからなる国際共同研究であり、京都グループはその中心で活躍しています。

更に、2013年度よりRIBFでの実験を開始したESPRIグループでは、陽子弾性散乱を用いて不安定核の核子密度分布を測定することにより、核子多体系での核子間相互作用を記述することを目的として活動しています。また、そのための固体水素標的や検出器の開発も行っています。



その他、米国ブルックヘブン国立研究所で稼働しているRHIC加速器を用いた実験グループとの連携も行っています。多くの連携施設があり、見学を通じて実験を行う施設を自分で選択できるのが当研究室の利点の一つです。