



清水裕彦教授

*清水裕彦 教授 Hirohiko Shimizu, Prof.
 北口雅暁 准教授 Masaaki Kitaguchi, Assoc. Prof.
 郡 英輝 特任准教授 Hideki Kohri, Assoc. Prof.
 奥平琢也 助教 Takuya Okudaira, Assist. Prof.

素粒子物理学は原子よりも小さな空間スケールでの法則を扱うことが多いため、必然的に我々が日常的に経験するエネルギー領域をはるかに超えた高エネルギー現象を扱うことになる。しかし、研究対象が高いエネルギー領域にあるからと言って、実験に用いる系のエネルギーが高いとは限らない。素粒子の実験的研究は、高エネルギー加速器を用いて素粒子の反応を直接的に研究する方法と、高エネルギー現象が低エネルギー過程に現れる微小な効果を計測する方法とに大別される。Φ研究室は、精密測定を通じた素粒子物理学の実験的研究を主軸とする研究室である。利用するプローブは、低エネルギー中性子、偏極原子核、低速ミュオンなどである。

中性子は電荷を持たない。通常の実験環境では支配的な電氣的相互作用の影響を抑制することができるために、微弱な相互作用の影響を精密に観測するのに適している。運動エネルギーが数eVから数100neVにわたる低速中性子では、量子力学的波動性が顕著に現れる(1eV=1.6×10⁻¹⁹J, 1neV=10⁻⁹eV)。この波動性を利用して運動を制御する中性子光学が発達したことで長時間にわたって中性子の状態を観測することが可能になった。さらに、加速器中性子源からの極めて高い輝度の中性子ビームが利用



Figure 1: 左: 北口雅暁准教授 右: 奥平琢也助教

可能となり、高精度測定の新たな可能性もたらされている。中でも、国内の大強度陽子加速器研究施設(J-PARC: Japan Proton Accelerator Research Complex)に配備されているスパレーション中性子源は世界最高の瞬間輝度を誇るものであり、Φ研ではそこに先進的中性子光学を組み合わせることで、素粒子物理学を推進している。

中性子光学と中性子寿命測定

中性子が物質中及び磁場中で感じる微小なポテンシャルを制御して、中性子ビームの輸送、スピン偏極、振り分け、加減速といった光学的制御が可能である。J-PARCスパレーション中性子源のビームラインBL05 (NOP)では、素粒子研究用に10⁻²-10⁻⁷eVのエネルギー領域のビームが供給されており、現在は中性子寿命の測定が行なわ

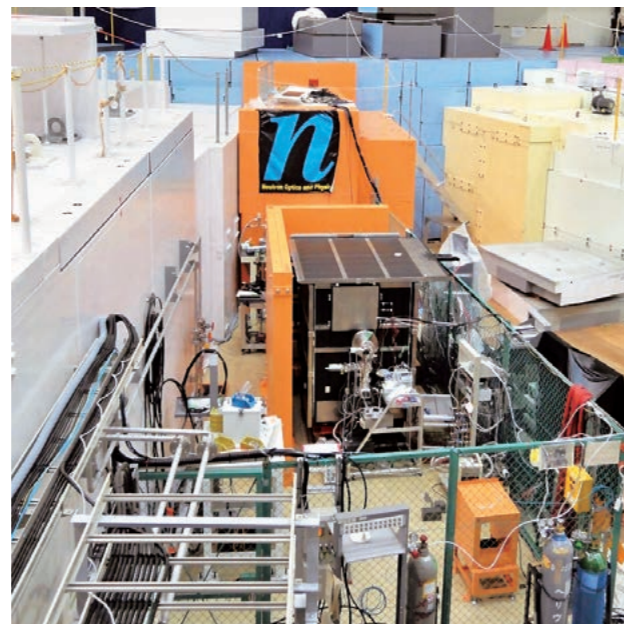


Figure 2: 大強度陽子加速器研究施設 (J-PARC) のスパレーション中性子源ビームポート番号BL05に配備された中性子光学基礎物理研究装置 (NOP: Neutron Optics and Physics). 中性子寿命測定のためのセットアップが見える。



Figure 3: Φ研メンバー

れている(図2)。中性子寿命はクォーク間の弱い相互作用の強さを与える基礎パラメータであるとともに、ビッグバン宇宙における初期元素合成の基礎パラメータでもあるが、現在は、各種測定手法に基づいた測定値間の差異が、それぞれの測定誤差を超えている状態にある。我々は高強度パルス中性子ビームを利用した寿命測定の高精度化に取り組んでいる。

時間反転対称性の破れ

時間反転対称性はCP対称性と直結した対称性であり、時間反転対称性が成り立つ場合には粒子は電気双極子能率を持たない。これまで0でない電気双極子能率の値は観測されていないが、素粒子研究の最重要課題である物質と反物質の間の非対称性は、0ではない電気双極子能率を示唆する。電気双極子能率の値は理論に極めて強い制限を与えるため、値の確定は素粒子研究の最重要課題の一つである。実験的には、毎秒数メートルまで減速された中性子を、物質容器壁面での全反射と地球重力を利用して閉込め、電磁場下でのスピン歳差周波数を精密に計測するという方法がとられる。世界最高レベルにある中性子光学を最大限利用し、従来の測定感度の限界を打破する。カナダTRIUMFに建設中の中性子源にて中性子電気双極子能率の発見を目指す国際プロジェクトに参加している。また物質中に存在する高電場を用いた中性子電気双極子能率の高感度計測についてもその可能性を探っている。一方、中性子が原子核に吸収されてできる複合核状態において、空間反転対称性の破れが大きく増幅される現象が知られている。この増幅効果が時間反転対称性の破れにも有効に働く可能性が指摘されている。現在この可能性が現実のものかどうかを検証する実験を行なっている。実際に応用可能であれば、時間反転対称性の破れの高精度測定の新たな方法もたらされる。

重力相互作用

重力相互作用は時空そのものに関連した相互作用であ

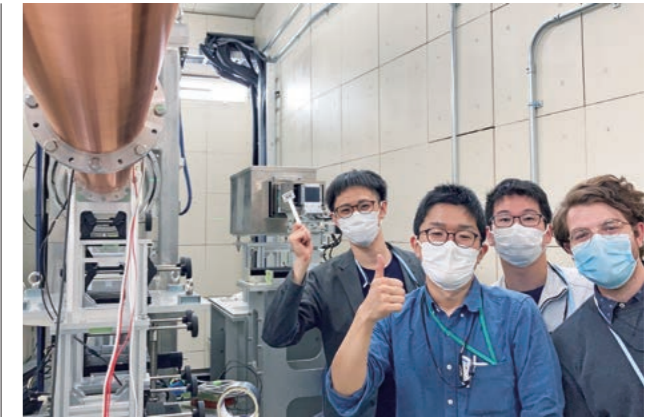


Figure 4: 中性子と原子核の反応における対称性の破れの測定を行う大学院生

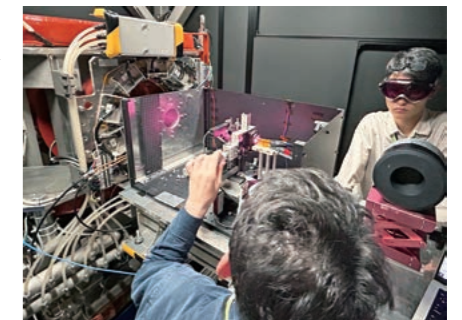


Figure 5: レーザーを用いたミュオン原子のスピン偏極実験

り、超高エネルギー領域では本質的になると考えられるが、四種類の相互作用の中でも極端に弱い。その説明としてプランク長よりも大きな余剰次元なども議論されている。素粒子間の重力相互作用は未だ説明が進んでいない。それはとりもなおさず、重力相互作用が素粒子間では無視できるほどに弱いことに原因がある。しかし、低速中性子の運動を精密に測定することで、未開拓の短距離での重力相互作用の研究に道が開かれようとしている。その一つが、中性子の原子による散乱断面積の精密測定であり、さらに中性子干渉の高精度化による測定に拡張する予定である。

ミュオンを含むエキゾチック原子を用いた実験

正ミュオンと電子の束縛状態であるミュオニウムは水素原子と同様に極めて高い精度での分光が可能であり、量子電磁力学の最高精度検証や、Lorentz対称性を破る物理の探索を行うことができる。またヘリウム原子の電子一つを負ミュオンに置き換えたミュオニックヘリウムの分光は、3体系量子力学の検証やCPT対称性の検証に用いることができる。J-PARCの大強度パルスミュオンビームを用いたミュオニウム超微細構造精密測定MuSEUMに参加している。

他にも、中性子干渉を用いたダークエネルギー探索など様々なテーマに取り組みはじめており、今後の研究展開において新発想が果たす役割は極めて大きい。予め想定される手法を塗り替えて行く熱意を持った若手に大きく期待する。

<https://www.phi.phys.nagoya-u.ac.jp/>

*連絡先 shimizu@phi.phys.nagoya-u.ac.jp

教授: 1 / 准教授: 1 / 特任准教授: 1 / 助教: 1 / DC: 7 / MC: 4