

原子核内 ϕ 中間子のK中間子対崩壊における偏極と分散関係による質量獲得機構の解明

	研究代表者	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構・原子力科学研究所 先端基礎研究センター・研究主幹 佐田 博之（さこう ひろゆき） 研究者番号：40282298
	研究課題情報	課題番号：25H00400 研究期間：2025年度～2029年度 キーワード： ϕ 中間子、カイラル対称性、クォーク凝縮、J-PARC

なぜこの研究を行おうと思ったのか（研究の背景・目的）

●研究の全体像

我々の体や地球上の物質、あるいは宇宙の星々など、目に見える物質の質量はどのように生み出されているのだろうか。そのほとんどを説明できると考えられているのが南部理論による「自発的対称性の破れ」である。本研究課題では、J-PARCハドロン実験施設において大強度陽子ビームを原子核標的に照射する。これによって ϕ 中間子を原子核中で生成し、そのK中間子対への崩壊を多数測定することによってその質量の変化を精密に測定し、南部理論による質量獲得機構の実験的な解明に挑む。

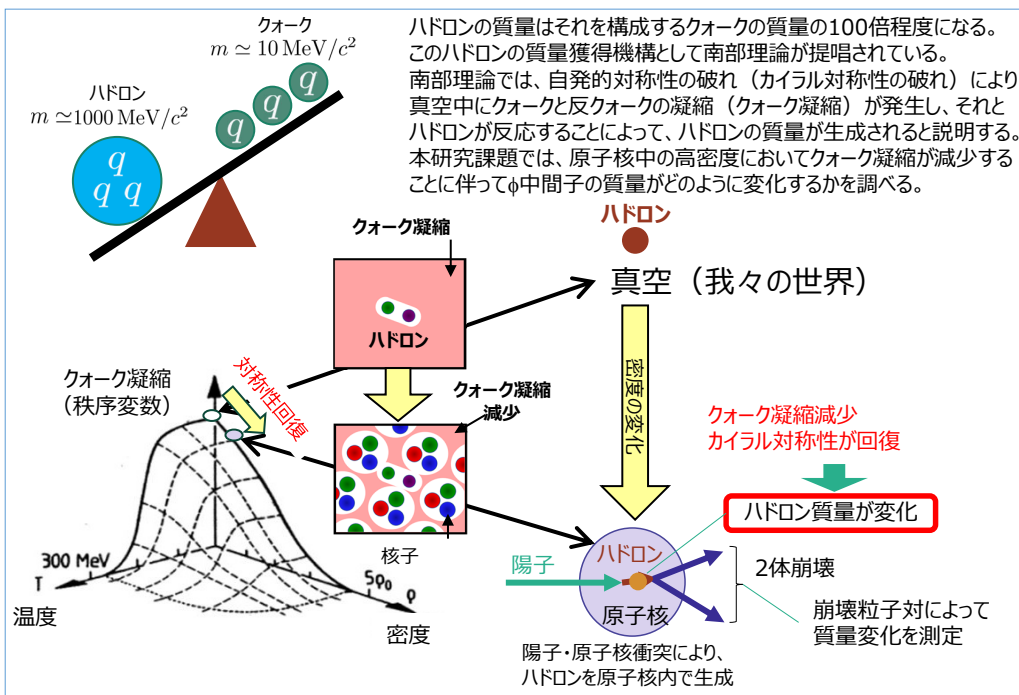


図1 本研究課題全体のイメージ図

●実験の手法

J-PARCハドロン実験施設にて、大強度陽子ビームを標的に照射し、原子核内で崩壊した ϕ を測定する。測定した質量分布（赤点）は、原子核外で崩壊した質量が変化していない分布（黒線）と、原子核内で崩壊した質量が変化した分布（水色ハッチ）を重ね合わせとなる。この変化した部分から質量の変化を評価する。

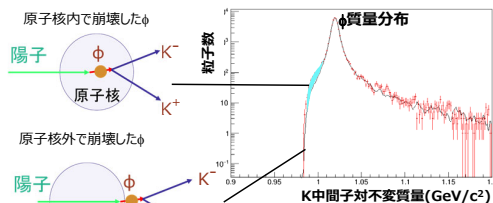


図2 実験の手法

●本研究課題の特色

極めて幅が狭い ϕ 中間子の質量分布を用いることにより高精度の質量変化を測定することができる。また、従来の電子対崩壊の代わりに崩壊確率が高いK中間子対崩壊を測定することによって、過去のKEKの実験の数百倍（100万個）の ϕ 質量崩壊事象の測定を行い、高精度の質量測定を行う。特に以下の測定を行うことが可能となる。

- 数%の統計精度にて原子核中で静止した ϕ の質量変化を測定して、対称性の秩序変数であるクォーク凝縮を定量的に評価する。
- ϕ 中間子の縦偏極と横偏極で異なると理論的に予想されている質量の運動量依存性を、K中間子の崩壊角によって区別して、世界で初めて測定する。

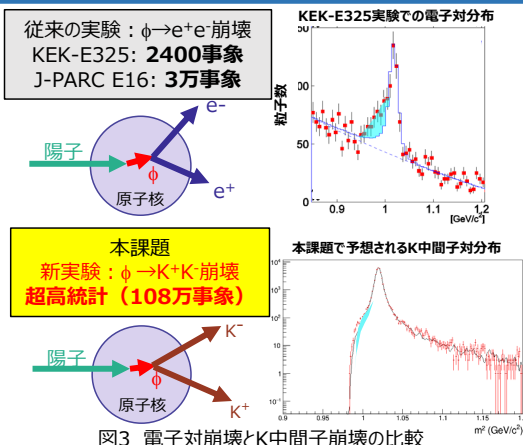


図3 電子対崩壊とK中間子崩壊の比較

この研究によって何をどこまで明らかにしようとしているのか

● ϕ 中間子の質量変化の運動量、偏極依存性測定による質量起源の解明

図4のように、崩壊したK中間子を識別するため、既存の検出器群（J-PARC E16）に3種類のK中間子識別検出器を導入する。2024年度にこれらを用いたK中間子の識別に成功している（図5）。約1か月のビームタイムにおいて、陽子ビームと炭素、銅、鉛標的の反応で生成される ϕ 中間子を約100万事象測定し、図6に示す統計精度での ϕ の質量と運動量の関係を測定する。これによって、クォーク凝縮と高次クォーク、グルーオン凝縮を定量的に評価し、原子核密度における真空構造とハドロン質量の関係を明らかにする。

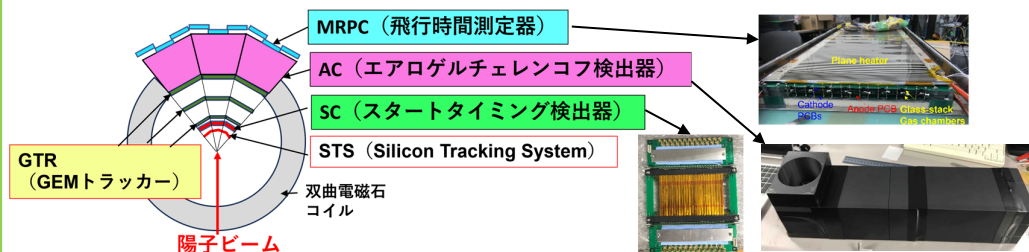


図4 K中間子識別検出器

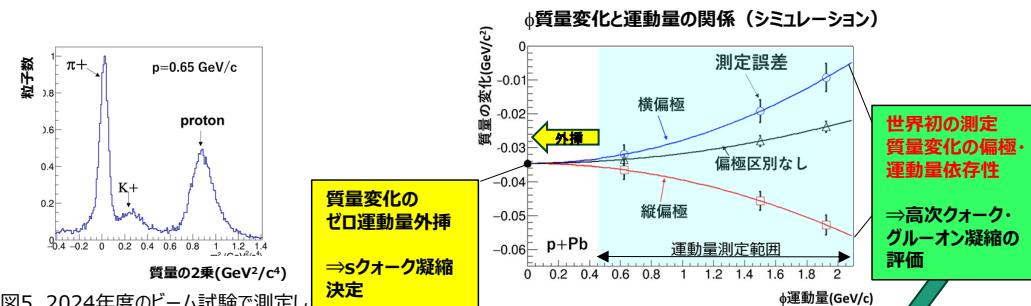


図5 2024年度のビーム試験で測定した質量2乗分布。K⁺の識別に成功した。

図6 本研究課題で測定する ϕ 質量の運動量と偏極依存性