

高分解能キセノン測定器と大強度パイ中間子ビームによるレプトン普遍性破れの精密検証

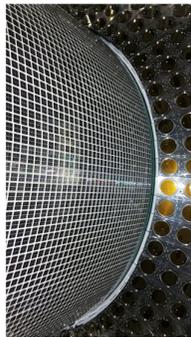
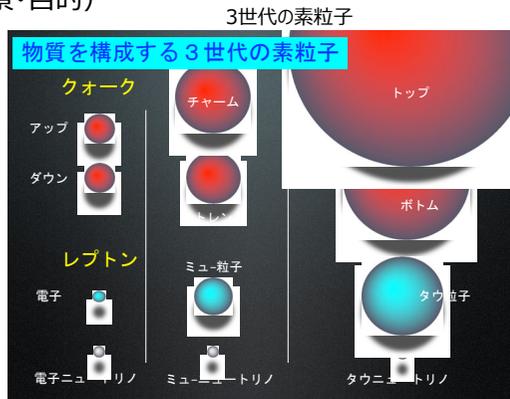
	研究代表者	東京大学・素粒子物理国際研究センター・教授
	研究課題情報	森 俊則 (もり としのり) 研究者番号：90220011 課題番号：24H00019 研究期間：2024年度～2028年度 キーワード：レプトン普遍性、パイ中間子、キセノン、PSI研究所、PIONEER実験

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

宇宙のあらゆる物質は4つの素粒子からできている。それは、陽子と中性子を作る2種類のクォーク(アップ、ダウン)と、電子、電子ニュートリノである。さらに、普通には存在しないもっと重い第2世代、第3世代の素粒子が、加速器により発見されている(右図)。

理論の対称性により、どの世代の素粒子も、重さ以外は厳密に同じ性質を持っていると考えられている。特に電子の仲間であるレプトン粒子については実験で精密に検証されており、「レプトン普遍性」と呼ばれている。

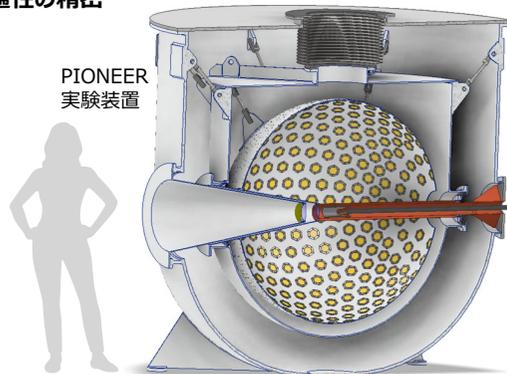


3トン液体キセノン測定器の内部。高感度光センサーが並んでいる。

レプトン普遍性がもし僅かでも破れていることが見つければ、それは即座に、未知の物理法則・素粒子が存在することを意味する。実際、数年前につくばのKEKや欧州のCERNにおいて、レプトン普遍性の破れを示唆する実験結果が得られたが、その真偽は未だ不確かである。

我々の研究グループはこれまでに、液体キセノンを使った高分解能の測定器(左図)を世界で初めて開発し、その技術はレプトンフレーバー物理研究、ダークマター探索、医療診断などに活用されてきた。そこで、この技術を使ってレプトン普遍性をより確実に検証する実験を、基盤研究(A)「高分解能大型液体キセノン測定器によるレプトン普遍性の破れの精密検証」によって検討してきた。

その結果、実績ある研究者からなる国際研究チームを構築し、実験提案書を完成させ、スイスPSI研究所での実施が承認されるに至った。下にその実験装置の概略図を示す。本研究は、この国際共同実験PIONEERをリードし、究極の精度でレプトン普遍性の精密検証を行うものである。

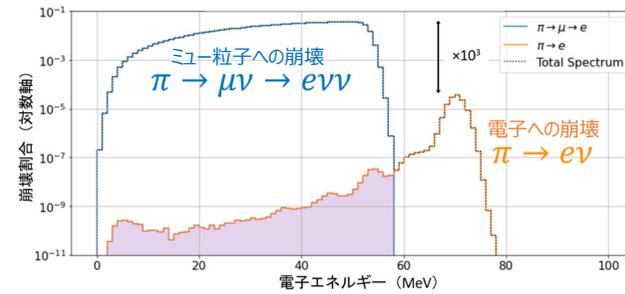


●実験感度は大型コライダー実験を凌ぐ

この実験では、液体キセノン測定器を使って極めて精密にレプトン普遍性を検証することにより、多くの未知の素粒子に対して、欧州CERNで行われている大型コライダー実験を超える感度を持っている。

日本、米国、カナダ、スイスなどからなる国際研究チームを、液体キセノン測定器技術を持つ日本がリードして推進している。

パイ中間子崩壊の測定スペクトラム (シミュレーション)



●パイ中間子の崩壊を精密測定

パイ中間子は、湯川博士がその存在を予言してノーベル賞を受賞したため、湯川粒子とも呼ばれる。

パイ中間子はほぼすべてミュ粒子(第2世代の電子)に崩壊するが、一万個の一つが電子に崩壊する。この2種類の崩壊を高精度で比較することにより、レプトン普遍性を検証する。

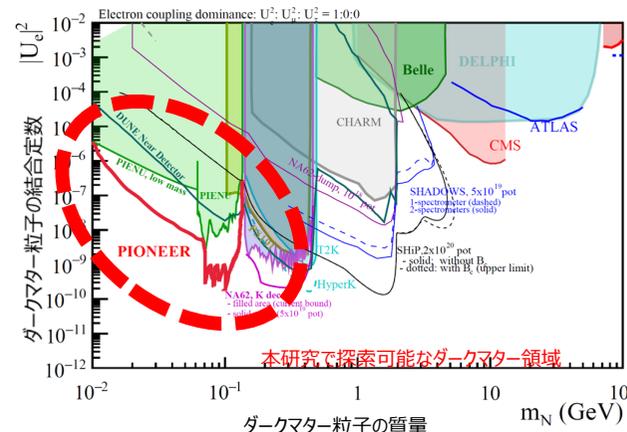
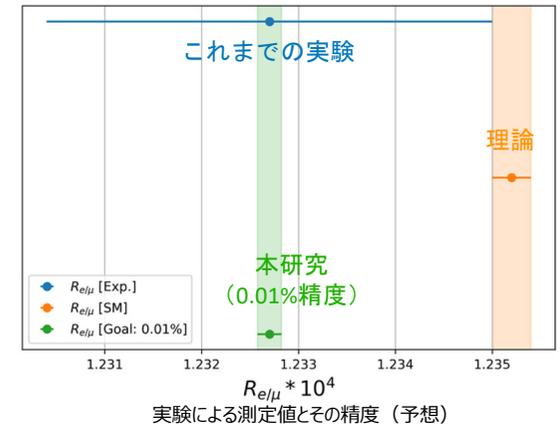
左図は予想される測定スペクトラムであるが、両方の崩壊が重なった紫色の部分を精度良く測るのが決め手となる。

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

●0.01%の精度でレプトン普遍性を検証

パイ中間子の崩壊は、理論の不定性が少なく、0.01%の高い精度で分かっている。この研究では、理論精度と同じ0.01%でパイ中間子の崩壊を測定して、理論値と比較するものである(右図)。そのために必要な大量のパイ中間子を供給できるスイスPSI研究所で実験を行う。

これにより、これまででない圧倒的な精度でレプトン普遍性を検証することが可能となる。これは、大型コライダー実験を大きく超えるエネルギーで新現象を探索することに相当する。



●宇宙のダークマター粒子も探索

これまで神岡などの地下実験において、原子程度の重さを持つダークマター粒子が主に探索されてきたが、最近はもっと軽いダークマター粒子に注目が集まっている。

パイ中間子の崩壊で作られるような軽いダークマター粒子に対しては、本研究は過去の実験より10倍よい感度を持ち、その発見も本研究の視野に入っている。