



## テラ電子ボルトエネルギー領域でのニュートリノ研究を開拓

素粒子、原子核、宇宙物理学およびその関連分野



研究者所属・職名 : 大学院理学研究院・准教授

ふりがな ありが あきたか  
氏名 : 有賀 昭貴

主な採択課題 :

- [国際共同研究加速基金\(帰国発展研究\)「高エネルギーフロンティアでのニュートリノ研究」\(2020-2022\)](#)
- [基盤研究\(A\)「LHCニュートリノを用いたレプトン・クォーク相互作用の研究」\(2023-2026\)](#)

分野 : 素粒子物理学、宇宙物理学

キーワード : 素粒子物理学、ニュートリノ、フレーバー、QCD、宇宙線、新粒子探索、加速器

### 課題

#### ●なぜこの研究をおこなったのか？(研究の背景・目的)

宇宙から降り注ぐ宇宙線は大気と衝突すると、テラ電子ボルト (TeV) 級という非常に高いエネルギーのニュートリノを生み出す。しかし、このような超高エネルギー領域では、ニュートリノがどう作られ、どのように反応するのかを示す実験データが存在しなかった。本研究では、この未解明の領域を切り開き、素粒子物理や宇宙線物理の理解を大きく前進させることを目的として、世界で初めてTeV級ニュートリノを人工的に生成し、直接観測することを目指した。

#### ●研究するにあたっての苦労や工夫(研究の手法)

これまで人工ニュートリノの生成には、専用で高価なビームラインが不可欠と考えられてきた。私たちはその常識を覆し、衝突型加速器そのものをニュートリノ源として使うという新しい発想を提案し、世界で初めて実現した。これが CERN の LHC を利用したFASER実験である。しかし、この方法には前例がなく、背景放射やニュートリノ流量など基礎的な情報すら不足していた。私たちは、この未踏の領域で一つひとつ状況を確認めながら、検出器の設計や配置を工夫し、実験を組み立てていった。

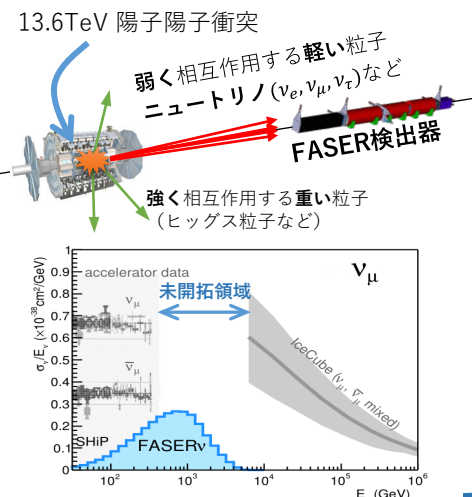


図1 FASER実験の模式図と2022以前の $\nu_\mu$ 反応断面積測定



## テラ電子ボルトエネルギー領域でのニュートリノ研究を開拓

素粒子、原子核、宇宙物理学およびその関連分野

### 研究成果

#### ●どんな成果がでたか？どんな発見があったか？

##### ● 世界初：LHCで生成された TeV級ニュートリノの検出に成功

FASERは世界で初めて、衝突型加速器で生成されたTeVエネルギー領域のニュートリノを直接観測した。LHCにおける約  $10^{15}$ 回の陽子同士の衝突（重心系エネルギー 13.6 TeV）から生まれた電子ニュートリノ( $\nu_e$ )とミューニュートリノ( $\nu_\mu$ )を検出し、人類がこれまで測ったことのない領域に踏み込んだ。これはニュートリノ研究において、まったく新しい窓を開いた画期的成果である(プレスリリース)。

##### ● ニュートリノ反応断面積の TeV 領域での初測定

観測データとシミュレーションによる予測を比較することで、TeV エネルギーでの $\nu_e$ と $\nu_\mu$ の反応断面積を初めて測定した。現時点では統計はまだ限られているが、得られた値は素粒子標準模型の予測と矛盾しないことを確認している。この成果は高く評価され、Physics Review Letters が選ぶ「2024年を代表する重要論文」の一つにも選出された (PRL2024)。

##### ● 新しいニュートリノ研究領域の開拓と、将来に向けた技術基盤の確立

本研究では新しいビーム方式に加え、日本が得意とするエマルジョン飛跡検出器を非常に高い背景粒子密度で運用する技術、マイクロな飛跡を再構成する解析技術、前方粒子分布の測定など、多くの技術的基盤を築いた。これにより、衝突型加速器を利用した高エネルギーニュートリノ研究という新しい分野が実際に「成立しうる」ことを示し、次世代実験へ向けた確かな土台を作った。

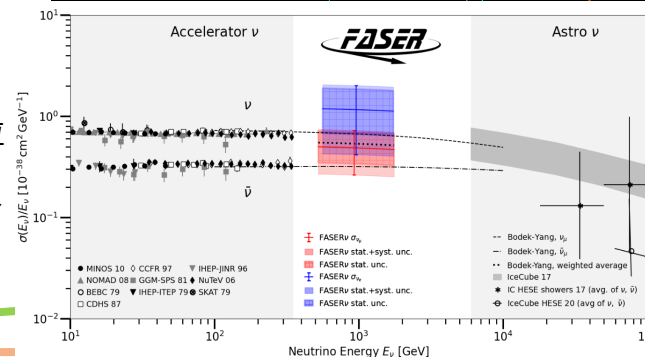
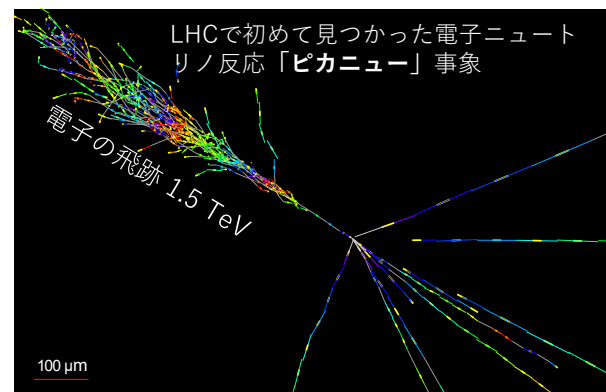


図2 検出された電子ニュートリノ事象の図と測定されたニュートリノ反応断面積。

### 今後の展望

#### ●今後の展望・期待される効果

本研究により、LHCを利用したニュートリノ研究という新しい研究領域が確立した。今後はFASER実験でタウニュートリノの観測を進め、2030年以降には100倍規模の次世代実験 FASERν2 による高精度測定を実現する。これにより、3種類のニュートリノが存在する理由の解明や、宇宙線ニュートリノモデルの精密化が期待される。また、量子色力学 (QCD) の理解を進めることでヒッグス粒子の測定精度等が向上し、暗黒物質やレプトン混合の異常といった標準模型を超える新しい物理の探索にも大きく貢献すると考えられる。この新しい研究領域はニュートリノ・宇宙線・QCD・新物理探索を結びつける新しい科学基盤として発展が期待される。