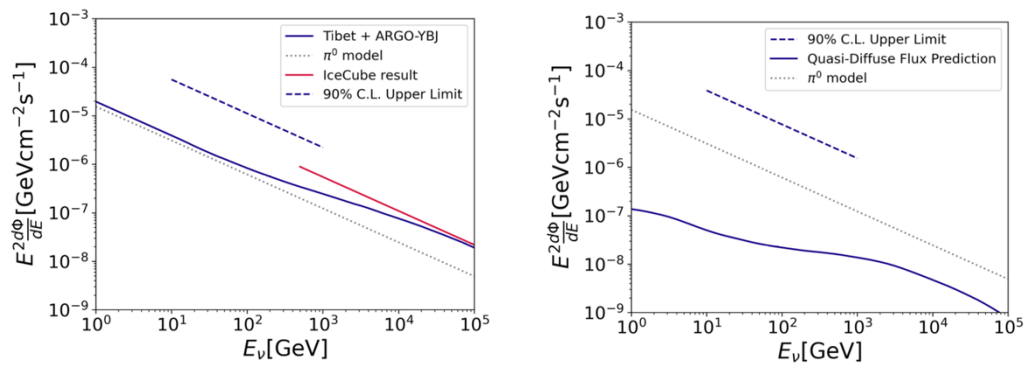


令和 7 年度（2025） 共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名	和文：上向きミューオンと高エネルギーニュートリノの研究 英文：Study in upward-going muons and high energy neutrinos
研究代表者	東京大学宇宙線研究所 教授 伊藤好孝
参加研究者	東京大学宇宙線研究所 教授 梶田隆章、准教授 奥村公宏、特任助教 田代拓也 東京大学宇宙線研究所 大学院生 WANG Xubin、富谷卓矢、西嶋遼太郎、CHEN Shuoyu 名古屋大学 宇宙地球環境研究所 助教 毛受弘彰 名古屋大学 理学研究科 大学院生 吉岡悠詩 ボストン大学 教授 Ed kearns、 研究員 Linyan Wan、 研究員 Ben Jargowsky ボストン大学 大学院生 Jack Mirabito、 Tomas Wester Sungkyunkwan Univ.(韓国) 教授 Intae Yu, 研究員 Eunhyang Kwon Sungkyunkwan Univ.(韓国) 研究員 Ji-Woong Seo、研究員 Minwoo Lee Institute for Basic Science(韓国) 研究員 Koun Choi ハワイ大学 研究員 Shige Matsuno 教授 John Learned
研究成果概要	大気ニュートリノ観測において、方向再構成を行った中性カレント反応サンプルを導入し、ニュートリノ全サンプルを用いた4世代振動解析を導入することで、ステイラルニュートリノへの振動の探索を行っている。本年度は、機械学習を用いた陽子1リング事象解析の開発に目処をつけ、1リング陽子反跳事象を含む中性カレント天頂角分布を組み込むよう、大気ニュートリノ振動解析を拡張した。さらにステライルニュートリノを含む4世代振動確率を計算するツールnuSQuIDSを導入して、大気ニュートリノ振動におけるステライルニュートリノとの混合角θ_{24}、θ_{34}の感度を順階層、逆階層の両方のケースについて詳細に検討した。その解釈について理論研究者らとも議論を重ね、大気ニュートリノ振動の典型的な質量二乗差スケールである10^{-3} eV^2と重なる領域で、ニュートリノ振動における物質効果の寄与から予期せぬ興味深い振る舞いを持つことがわかった。これら結果は、2026年6月に米カルフォルニア大アーバイン校で開催されるNEUTRINO2026国際会議で報告される予定である。 また、スーパーカミオカンデ20年分の高エネルギーニュートリノを用いて、宇宙ニュートリノ源探索の結果を大学院生1名の博士論文として取りまとめた。この解析では、ミューニュートリノおよび電子ニュートリノを用いた点源探索、また、高エネルギーでは大気電子ニュートリノが大気ニュートリノに比べて少ない事を活用した、銀河面や銀河内天体からの電子ニュートリノ探索など様々な探索が行われた。 また、機械学習を用いた水チェレンコフ事象の解析手法の開発も進んでいる。将来のハイパーカミオカンデでの事象再構成に向けて、大規模言語モデルに使われるトークン型の機械学習手法を用いた画像解析Vision Transformerを用いた水チェレンコフ再構成手



宇宙電子ニュートリノの探索。銀河面から(右)と銀河内超新星残骸の重ね合わせた結果(Xubin WAN 学位論文 2025)

法を開発し、その性能を明らかにした。特にハイパーカミオカンデでは50センチ光電子増倍管に加え、19本の3インチ光電子増倍管を組み合わせた**multi-PMT**光センサーが混在しており、**Vision Transformer**の特性が生かされる。この手法により、トレーニングや解析にかかる時間を圧倒的に短縮することが可能であり、ハイパーカミオカンデの本格的な解析に適したツールとなる可能性がある。