

氏名	福田 大輔		
授与した学位	博士		
専攻分野の名称	理学		
学位授与番号	博甲第	5962	号
学位授与の日付	平成31年 3月25日		
学位授与の要件	自然科学研究科 数理物理学 専攻 (学位規則第4条第1項該当)		
学位論文の題目	Neutrino-Oxygen Neutral Current Quasi-Elastic scattering measurement in the water Cherenkov detector (水チェレンコフ検出器によるニュートリノ-酸素中性カレント準弾性散乱反応の測定)		
論文審査委員	教授 作田 誠	准教授 吉見 彰洋	准教授 安立 裕人
学位論文内容の要旨			
[本学位論文の研究概要]			
<p>Super-Kamiokande(SK)は陽子崩壊の探索やニュートリノの検出を目的とした大型水チェレンコフ検出器である。また、T2K(Tokai to Kamioka)実験はSKを後置検出器とした長基線ニュートリノ実験であり本論文は、T2K(Tokai to Kamioka)実験の2010年1月から2013年5月までのデータの解析によるSKでのニュートリノと酸素原子核の中性カレント準弾性散乱(NCQE)反応の研究の結果についてまとめている。</p>			
[本学位論文の背景]			
<p>SKではタンク内の超純水にGdを溶かすSK-Gd計画が進行している。これは過去の超新星爆発の残骸であるSupernova relic neutrino(SRN)の探索が主目的である。このSRN探索において、最終的に大気ニュートリノのNCQE反応が最大のバックグラウンドになると考えられている。そのため、NCQE反応に対する十分な理解が必要である。</p>			
[本学位論文の内容]			
<p>NCQE反応では、酸素原子核が核子をはじき出したときに生じる励起原子核が6 MeV程度の脱励起ガンマ線を放出する。このガンマ線がチェレンコフ光を出すことでNCQE反応を観測している。本論文では、まず上述の期間のT2K実験データの解析を行った。その結果、102事象のNCQE事象を発見した。これを元に反応断面積と系統誤差の見積もりを行い、NCQE理論反応断面積$2.01 \times 10^{-38} \text{ cm}^2$に対して、NCQE反応断面積$2.07 \times 10^{-38} \text{ cm}^2 \pm 0.27(\text{stat.}) + 0.69 \text{ or } -0.39(\text{sys.})$の結果を示した。これは世界最高精度の結果である。</p> <p>また、NCQE事象はガンマ線と同時にしばしば複数の中性子を放出する。この中性子は最終的に水素原子核に捕獲され、2.2 MeVガンマ線を放出する。そこで、新たにニューラルネットワークを用いた多変数解析による解析手法を開発し、2.2 MeVガンマ線の観測を行った。その結果、102のNCQE事象に対し32事象の中性子を捉えた。この時の検出効率は24.3%である。検出効率と誤差を考慮した結果、1事象のNCQE反応から、1.21 ± 0.27事象の中性子が放出されていたことを意味する。一方、シミュレーションでは1事象のNCQE反応からは1.77事象の中性子放出が予測されている。この結果は、現在のシミュレーションでは中性子放出数が実際より多い可能性を示唆している。この中性子放出数の測定に加え、中性子が水と反応して発生するガンマ線放出率測定実験を組み合わせると、現在のNCQE反応解析における最大誤差要因である二次ガンマ線起源の系統誤差の削減が期待できる。</p>			

論文審査結果の要旨

福田大輔氏は、小汐由介准教授を主指導教員とする博士後期課程3年次在学者で、表記題目の博士論文を提出した。ニュートリノ酸素中性カレント準弾性散乱反応（NCQE 反応と略）は、ニュートリノ中性カレント反応の際に酸素原子核から陽子や中性子(核子)を弾き出す反応である。核子を弾かれた ^{16}O は、窒素 ^{15}N や酸素 ^{15}O などの励起状態になることがあり、その場合は基底状態に戻る際に 6 MeV 程度のガンマ線を放出する。

彼の博士論文では、T2K(Tokai-to-Kamioka)長基線ニュートリノ振動実験の 2011 年 1 月から 2013 年 5 月までのデータを解析し、1)世界最高精度での NCQE 反応断面積を測定するとともに、2)この反応で放出される中性子の検出プログラムの開発を行い、中性子の検出に成功した。NCQE 反応断面積は、同じ T2K 実験により 2011 年 1 月から 2012 年 3 月までのデータの解析により、2014 年に世界で初めて測定された。この反応は、現在スーパーカミオカンデ (SK) 実験での超新星背景ニュートリノ探索での一番大きなバックグラウンドとなるため T2K 実験での精密な評価が重要である。

彼の博士論文での断面積測定の意義は、1)先行実験より解析データ量を増やすことで統計を 2 倍にし、かつニュートリノ原子核反応の γ 線生成の計算精度を 15%から 10%へ改善して断面積を測定したこと、2)この反応の際に中性子を $n+p \rightarrow d+\gamma(2.2\text{MeV})$ 反応の γ 線をさらに検出 (効率 24%) することにより、反応後に中性子が何個観測されるかなど、この反応の性質をより良く調査し、反応の性質をより詳しく研究したことである。この中性子検出方法は SK 実験のみならず将来の Hyper-K 実験でも応用できる。

審査会における博士論文審査、内容の発表および質疑応答から、この研究の価値と彼の寄与が認められた。福田氏の博士論文も標準的に書けている。また、参考論文は共著ではあるが、福田氏の論文への寄与が十分に認められた。審査会における発表および質疑応答も良好であった。以上より、本審査委員会は福田氏の博士学位申請を「合格」と判断した。