

世界最高感度でのミューニュートリノから電子ニュートリノへの振動の研究

High sensitivity search for ν_μ to ν_e oscillations

梶田 隆章 (KAJITA TAKAAKI)

東京大学・宇宙線研究所・教授



研究の概要

2009年に実験が開始された長基線ニュートリノ振動実験T2Kでミューニュートリノから電子ニュートリノへのニュートリノ振動モードを世界に先駆けて発見することを目標にした研究である。そのために、スーパーカミオカンデ実験で最大限の性能が発揮できるように研究を進め、またニュートリノのビームの理解にもつとめる。

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・素粒子、原子核、宇宙線、宇宙物理

キーワード：素粒子実験、ニュートリノ

1. 研究開始当初の背景

ニュートリノに質量とニュートリノ間の混合があったときにおこるニュートリノ振動という現象は、大気ニュートリノ、太陽ニュートリノ、原子炉ニュートリノ、加速器ニュートリノを使って調べられていた。これらの実験で3つあると考えられているニュートリノ間の混合角のうち2つが理解され、残る1つの混合角の決定に世界の研究者の目が向けられていた。T2K実験はこの第3の混合角を世界で最初に測定する有力な候補と考えられていた。

2. 研究の目的

2009年に実験が開始されたJ-PARCとスーパーカミオカンデ間の長基線ニュートリノ振動実験T2Kでミューニュートリノから電子ニュートリノへのニュートリノ振動を世界で最初に観測して、ニュートリノ間の混合の全体像を理解することが本研究の目的である。

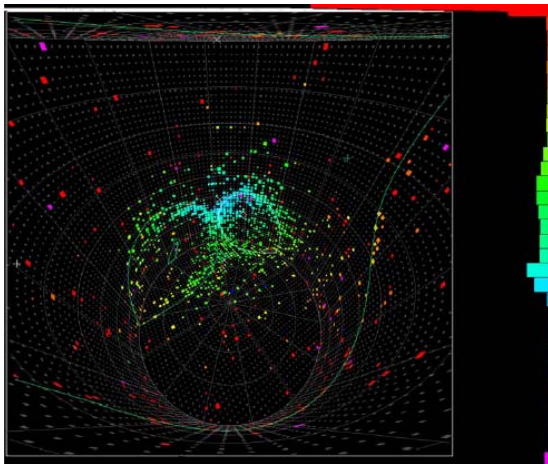
3. 研究の方法

スーパーカミオカンデにおいて、J-PARCで生成されたミューニュートリノが電子ニュートリノに転移した信号を観測し、それが有意に予想されるバックグラウンドより多いことをいろいろな方法を用いて確認する。

4. これまでの成果

J-PARCでの最初のニュートリノの生成は2009年春に行われた。その後2009年秋からニュートリノ生成が引き続いて行われ、ニュートリノ生成ターゲットから280メートル地点に設置された前置検出器でニュートリノが観測されるようになった。それと共にスーパーカミオカンデ側では、ニュートリノビームの生成を始める時期に合わせて、2008年に電子回路を入れ替えたスーパーカミオカンデのデータ解析が滞りなくできるように準備をしてきた。これらJ-PARC加速器、T2Kニュートリノビームライン、スーパーカミオカンデの努力によって、2010年2月24日にはJ-PARCで生成されたニュートリノをスーパーカミオカンデで観測し、速やかに解析をして、公表することができた。次項の図がスーパーカミオカンデで観測された最初のT2Kニュートリノ事象である。いよいよ本格的なニュートリノ振動実験が世界に先駆けて開始されようとしている。本研究によって残された混合角 θ_{13} が測定されれば、ニュートリノ間の混ざり具合を規定する3つの混合角全てについて知ることになり、素粒子物理学に大きなインパクトを与えるであろう。

本研究成果で特に強調する点は、T2K 実験に向けたスーパーカミオカンデ実験装置の理解の高度化である。例えば、今までほぼ 10 年間解決されていなかった、スーパーカミオカンデでのエネルギー決定において水の透過率の補正をしても水の透過率の変化の効果が残るという問題は、新たに改善された補正の手法で相当解決された。このように測定器の理解を可能な限り進め、質の高いデータを得る努力は、当初から予定していたが、副産物として、大気ニュートリノを用いたニュートリノの解析の高度化につながった。この結果、スーパーカミオカンデで観測された大気ニュートリノのデータを使って 3 世代ニュートリノ振動の解析を 2 種類行うことができた。1 つは太陽ニュートリノ振動の項を考慮し、一方 θ_{13} はゼロと仮定したニュートリノ振動解析で、 $\sin^2 2\theta_{23}$ が最大でない場合には 3 世代振動効果によって θ_{23} 角が 45 度より大きいかわ小さいかわを知ることができる。もう一つは、太陽項をゼロとして θ_{13} が有限である証拠の有無を調べる解析である。残念ながら解析結果は 2 世代の最大混合の $\nu_{\mu} \rightarrow \nu_{\tau}$ 振動と矛盾がないというものであった。このような大気ニュートリノの解析は今後も続ける予定である。



上図：2010年2月24日にスーパーカミオカンデで観測された最初の J-PARC からのニュートリノ事象

5. 今後の計画

平成 22 年度より本格的に T2K のニュートリノ生成が行われる予定である。そのため、本研究グループとしては、今までのスーパーカミオカンデの準備に基づき、ニュートリノ振動の解析を速やかに行えるように研究を進める。

平成 23 年度においては、J-PARC のビーム強度は前年度に比べてあがってくると予想される。そのため、電子ニュートリノ出現を観測するための感度も高くなると予想される。平成 23 年度末に研究期間が終了するときには、世界最高感度のミューニュートリノから電子ニュートリノ振動実験が達成されていると考えられる。

この様に研究期間の終了までに世界最高感度の実験になると予想されるので、本研究グループとしては、実験の系統誤差、それも特にスーパーカミオカンデ側の系統誤差を詰めて速やかに物理成果を発表できるようにする。

6. これまでの発表論文等

発表論文等

○”Status and prospect of atmospheric neutrinos and long baseline studies”, T. Kajita, J.Phys.Conf.Ser.**203**, 012012 (2010).

○”High-speed charge-to-time converter ASIC for the Super-Kamiokande detector”, H. Nishino, K. Okumura(5番目) et al.(合計10人), Nucl. Instrum. Meth. A, **610**, 710-717 (2009).

○”Reach of future accelerator and reactor neutrino efforts”, Y. Obayashi (for the T2K collaboration), Proceedings of the Flavor Physics and CP violation (FPCP2008) (Online publication, http://hep1.phys.ntu.edu.tw/fpcp08/proceedings_paper_number:0807.4012), (2008).

受賞

○第 1 回平成基礎科学財団戸塚洋二賞（「大気ニュートリノ振動の発見」に対して）平成 22 年 3 月 21 日

ホームページ等

<http://www-rccn.icrr.u-tokyo.ac.jp/index.html>