

T2K 計画

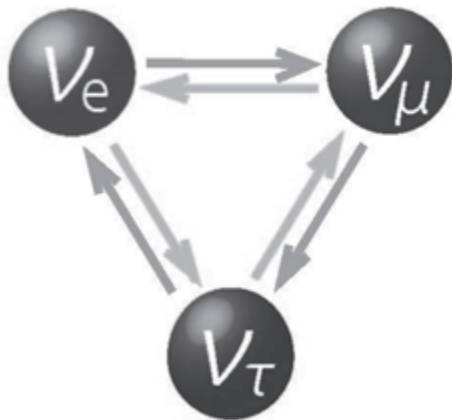
『世界に先駆けてミューニュートリノから 電子ニュートリノへの変化発見』

SATテクノロジー・ショーケース2014

■はじめに(ニュートリノとニュートリノ振動)

ニュートリノは、電氣的に中性の素粒子で、最も軽いクォークや電子の100万分の1以下の重さしか持ちません。ニュートリノには電子型ニュートリノ(ν_e)、ミュー型ニュートリノ(ν_μ)、タウ型ニュートリノ(ν_τ)の3種類(世代)あることが知られています。またそれぞれの反ニュートリノがあります。太陽から放射されるニュートリノが、毎秒数百兆個も私達の体を通り抜けています。しかし全く害はありません。

ニュートリノ振動とは、3世代あるニュートリノが飛んでいるうちに互いに入れ換わることをいいます。例えば加速器で100%純粋なミュー型ニュートリノを作っても、距離と共にある割合でタウ型ニュートリノに変化してしまいます。更に進むと、また元のミュー型ニュートリノにもどります。これを繰り返すので、「ニュートリノ振動」といいます。これはニュートリノが重さを持ち、世代間の混合がある場合に限り起きる現象です。今のところ、ニュートリノ振動は極めて微小なニュートリノの重さと、世代間の混合を調べる唯一の方法です。



(ニュートリノ振動は3種類のニュートリノが入わる現象)

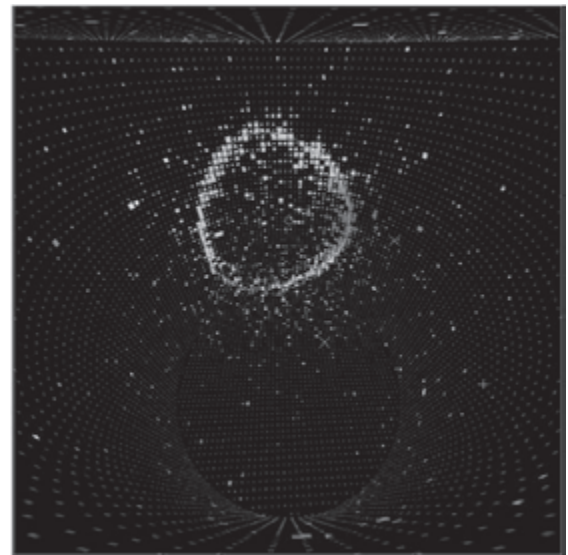
■ T2Kニュートリノ振動実験

T2K(東海 to 神岡)ニュートリノ振動実験では茨城県東海村に建設された大強度陽子加速器施設J-PARCで陽子ビームを30GeVまで加速させます。ビームをニュートリノ実験施設のターゲットに衝突させて、世界最高強度のニュートリノビームを発生させます。



(茨城県東海村のJ-PARC全景)

ニュートリノは鉄もコンクリートも岩盤も通りぬけ、約1ミリ秒後に295kmはなれた岐阜県飛騨市神岡町に到達します。神岡町の地下1000メートルに設置された東京大学宇宙線研究所の5万トン水チェレンコフ検出器、スーパーカミオカンデでニュートリノの極一部が観測されます。ニュートリノビームはJ-PARC内の前置検出器を用いても観測されているので、スーパーカミオカンデの観測結果と比較することで、ニュートリノ振動の研究が可能となります。



(スーパーカミオカンデで観測したニュートリノ現象)

代表発表者 大山 雄一 (おおやま ゆういち)
所 属 高エネルギー加速器研究機構
素粒子原子核研究所・ニュートリノグループ
問合せ先 〒305-0801 茨城県つくば市大穂1-1
TEL: 029-864-5434 FAX: 029-864-7831
yuichi.oyama@kek.jp

■キーワード: (1) ニュートリノ
(2) J-PARC
(3) スーパーカミオカンデ

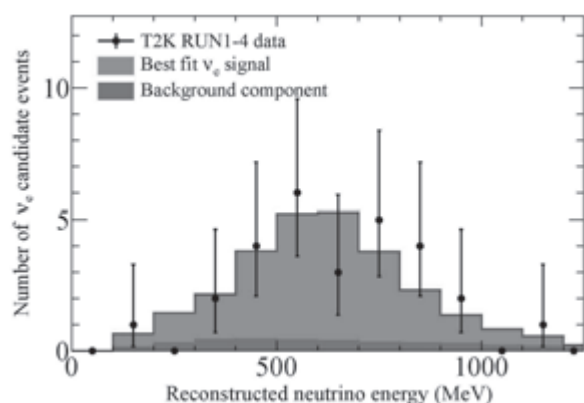
■電子ニュートリノ出現現象の発見

ニュートリノ振動について、これまでミュー型ニュートリノの減少を観測することにより、ミュー型ニュートリノからタウ型ニュートリノへの振動が見つかっていました。また、電子型ニュートリノの減少を観測することにより、電子型ニュートリノからミュー型ニュートリノへの振動も発見されています。

T2K実験グループは、2013年7月にミュー型ニュートリノが飛行中に電子型ニュートリノへ変化する「電子型ニュートリノ出現現象」が存在することを示す決定的な測定結果が得られたことを発表しました。

2010年1月の本格的な実験の開始から2013年4月12日までの間に得られたスーパーカミオカンデのデータのうち、J-PARCからビームを発射した時間と同期しているものを解析したところ、ミュー型ニュートリノから電子型ニュートリノへの新たなパターンのニュートリノ振動＝電子型ニュートリノ出現現象がなければ説明できない数多くの事象が得られていることが分かりました。

電子型ニュートリノが物質と反応すると電子が生成されます。上記の期間中に、スーパーカミオカンデによって、ビームと同期したニュートリノ事象が総計532個検出されましたが、そのうちの28個で電子の生成が確認されました。この中には、電子型ニュートリノ出現現象に起因しない背景事象も含まれますが、その数はわずか4.6個と評価されました。



(電子生成事象のニュートリノエネルギー分布)

さらに、観測されたエネルギー分布は、電子型ニュートリノ出現現象が起こった場合とよく一致しており、解析の結果、背景事象のみの統計的な揺らぎによって偶然に起こる確率は1兆分の1以下しかないことが明らかとなりました。

この結果は初めての「出現現象」によるニュートリノ振動の観測です。また、これはミュー型ニュートリノがタウ型ニュートリノを経由して電子型ニュートリノへ振動したものと考えられます。電子型、ミュー型、タウ型の間のすべてのニュートリノ振動が確認されたことになります。

■電子型ニュートリノ出現現象発見の意義と今後の展開

今回の電子型ニュートリノ出現現象が発見されたことは、粒子(物質)と反粒子(反物質)とで適用できる物理法則が異なる“CP対称性の破れ”に関する研究を、今後大きく進展させるものとして注目されます。CP対称性の破れは、これまでのところクォークでしか見つかっておらず、その発見その発見・研究に対して、1980年と2008年にノーベル物理学賞が授与されています(2008年には小林誠・益川敏英博士が受賞)。ニュートリノや電子とその仲間からなるレプトンについては、CP対称性の破れはまだ見つかっていません。現在観測される私たちの宇宙は物質でのみ満たされており、有意な量の反物質は存在していません。この事実は今日の自然科学における最も深遠な謎のひとつですが、ビッグバンにより創成された宇宙の最初期の段階での、レプトンのCP対称性の破れがその原因になった、という可能性が指摘されています。

T2K実験は、今後、レプトンにおけるCP対称性の破れの研究を世界に先がけて推進していくために、実験の特徴の一つである反ニュートリノビームを用いた測定を含め、現在のおよそ10倍の量のデータを取得することを計画しています。