

新世代の原子炉ニュートリノ振動実験、最初の結果を発表

2011年11月9日

本日韓国のソウル国立大学で行われている「第6回低エネルギーニュートリノに関する国際会議」において、ダブルショー(Double Chooz)実験の研究者は、近距離での反電子ニュートリノの消失現象を報告しました。この結果により、素粒子物理学および宇宙物理学に重要な意味をもつ基本定数「3つのニュートリノ混合角」のうち、最後まで未測定だった θ_{13} （シータいちさん）パラメータの測定が大きく前進しました。ダブルショー実験は原子炉で発生するニュートリノを約1kmの距離で精密測定します。この、第3の角度の測定により、他の実験からも報告されている「ニュートリノ振動」の現象の描像が明らかになり、現在の宇宙になぜ物質だけで反物質がないのか、という疑問の理解へ新たな視野が拓けることとなります。

ニュートリノは宇宙に満ちあふれている素粒子ですが、最も観測しがたい粒子でもあります。ニュートリノには3つの「香り（又は世代）」と呼ばれる種類が存在し、90年代後半に、その種類が自然に変化する現象が発見されました。それは「ニュートリノ振動」と呼ばれ、ニュートリノに質量が存在するという重要な帰結を意味します。この発見は日本のスーパーカミオカンデ実験によりなされ、神岡実験の創始者小柴昌俊博士は2002年ノーベル物理学賞を受賞しています。ニュートリノ振動の全貌を解明するため、素粒子物理学の分野では世界的に様々な実験が活発に行われています。

ニュートリノは太陽での核融合反応でも生成し、宇宙線が大気と衝突する時にも作られます。ダブルショー実験では原子炉（フランス・アルデンヌのショー原子力発電所）から生成されるニュートリノを近距離に於いて最高精度で測定することによりニュートリノ振動を測定します。データ収集は今年4月に始まり、今回韓国で行われているLowNu国際会議で最初の結果を発表しました。（反電子）ニュートリノの生成量から予想される数に比べて減少している（欠損）ことがわかり、近距離での振動現象と見なせる結果でした。

ニュートリノの3つの香り（フレーバー）は、その電荷をもつパートナーの名前により「電子」「ミュー」「タウ」の3タイプに呼ばれています。振動現象は3つの「混合角」に依存しますが、そのうち2つの角度は値が大きく、既に測定されています。3番目の θ_{13} と名づけられた角度だけが、何故か値が小さく、確定的な値は上限のみが求まっている状態でした。この値により、ニュートリノと反ニュートリノの振動の違いを測定する将来の実験（レプトンにおけるCP対称性の破れの測定）の実現可能性が大きく左右されます。この対称性の破れは、宇宙における物質と反物質の非対称性を解く鍵になると言われています。

ダブルショー実験の代表者、フランスCNRSのHerve de Kerret（エルベ・ド・ケレット）博士は次のように言っています：「この3番目の混合角はニュートリノ物理学を先へ進めるための“見つからない鍵”でした。これは素粒子の標準模型の先にある新しい物理への扉を開くものです。我々はそれをもう少しで開けるところまで来ています。」

今年6月以降、日本のT2K実験（東海村のJ-PARC加速器から神岡へニュートリノビームを打ち込む実験）を始めとする加速器実験で、第3の角度が関係するミューニュートリノから電子ニュートリノへの変化の兆候が報告されています。ダブルショー実験は電子ニュートリノの「欠損」を測定することで、やはり第3の角度が起こす振動を検出する、相補的で重要な実験です。T2K実験とダブルショー実験の結果を合わせることで、 θ_{13} が有限値を持つことが高い確度で確認できました。ダブルショーと同じ原理で θ_{13} を測定する実験は韓国のRENO実験と中国のDaya Bay実験があり、いずれも実験が始まっています。

現在ダブルショーは原子炉から約1000mの場所にある1台の検出器を用いています。今後のデータによって精度はより改善しますが、2012年度に完成予定の「前置検出器」が400mの場所で並行してニュートリノ測定を始めると、さらに精度の改善が見込まれます。この距離では振動はまだ始まっていないと見なせるので、両者の測定を比べることにより更に誤差を小さくすることができるからです。（2台の検出器を用いるので“Double Chooz”という実験名になっています）

どちらの検出器も今回新たに開発された10m³の有機液体シンチレータをニュートリノ標的として用いています。原子炉ニュートリノが標的内で逆ベータ崩壊という反応を起こす時に発生する中性子を捉えるために、シンチレータにはガドリニウム原子が混ぜられています。標的の周囲を他の有機液体が覆っており、外部からの素粒子や環境放射線を遮蔽しています。シンチレータから発生した光は390本の光電子増倍管（日本製）で電気信号に変換されます。この信号はデータ収集装置によって処理され、今後5年間のデータ収集が見込まれています。この新世代の実験により、過去50年間素粒子物理学の重要な一翼を担ってきたニュートリノ物理が、今後も実りある分野であり続けるでしょう。

ダブルショーはブラジル、英国、フランス、ドイツ、日本、ロシア、スペイン、米国の大学と研究所から成る国際共同実験で、日本からは東北大学、東京工業大学、首都大学東京、新潟大学、神戸大学、東北学院大学、広島工業大学が文部科学省の科学研究費補助金（特別推進研究：課題番号20001002）他の助成を受けて参加しています。

ダブルショー日本グループは光電子増倍管システム、データ収集・モニタリングシステム、LEDによるキャリブレーション装置、測定器運転およびデータ解析に大きく貢献しています。さらに詳しいことは日本グループのホームページをご覧ください。

<http://dchooz.titech.jp.hep.net/>