

K2K実験への期待

「大事なものは、実験に対する熱意と責任感」。京都大学博士課程の稲垣隆宏氏は研究に望む姿勢についてこう述べた。K2K実験は素粒子実験としては中規模なため、設計から解析まで一貫して取り組め、物理結果につなげることができるのが大きな喜びだという。K2K実験には100人ほどの研究者が参加しているが、なによりも現場の研究者1人1人の高いモラル（士気）が実験を支えていることがわかる。

K2K実験の開始から2年がたった。ニュートリノ振動がないときにSKで予測される μ ニュートリノの数は38イベント。それに対して実際に捕らえられた数は28イベントである。これは90%の確率でニュートリノに質量があることを示している。今年の6月までに2倍の



KEK側のニュートリノホール脇のモニタールーム。ビームが出ている間、前置検出器群を1日3交代でつねに見守っている。

撮影：細川隆平

イベント数が予想され、確かにニュートリノ振動を捕らえているなら、上の確率はさらに大きくなるはずである。パウリによってニュートリノの存在が

予測されてから70年。大気ニュートリノの観測によって大きく前進したニュートリノ物理は今、新しい局面を迎えている。（編集担当 福島佐紀子）

ニュートリノ研究は「質量」から「混合」へ進む

総合研究大学院大学素粒子原子核専攻／高エネルギー加速器研究機構

中村健蔵

— 中村先生はK2K実験のKEK代表者を務めておられます。ニュートリノ研究の今後についてお尋ねしたいと思います。まずK2K実験ではニュートリノ振動がほぼ確認されると言っているのでしょうか？

中村— 実験はまだ初期の段階、4分の1が終わったところですから、まだ確実なことは言えません。今のところ、ニュートリノ振動が起きていないとしたら神岡で反応したニュートリノが「38個捕まるはずだ」という予測値に対し、実際は28個しか捕捉されていないので、ニュートリノ振動を観測している可能性はかなり高いのです。しかし、実験データには統計的なばらつきがつきものですから、もっと多くのニュートリ

ノを捕捉して統計精度を高くする必要があります。

スーパーカミオカンデ (SK) による大気ニュートリノでの観測結果からは、ニュートリノ振動そのものは確実に起こっている。しかし、パラメータがどの値かということについては、広い領域が示されているだけです。K2K実験ではその領域全体をカバーすることはできません (39ページの図を参照)。SKで観測される大気ニュートリノの飛距離は地球の裏側から来るニュートリノだと1万2000km以上になりますし、エネルギー分布は非常に広い。これに対して加速器でつくる人工ニュートリノはエネルギーが特定の値に集中し、距離もつくと一神岡間250kmと決まっているから



撮影：細川隆平

です。

— ということは、運がよければK2Kの調べられる領域でニュートリノ振動が確認でき、運が悪ければできないということですか？

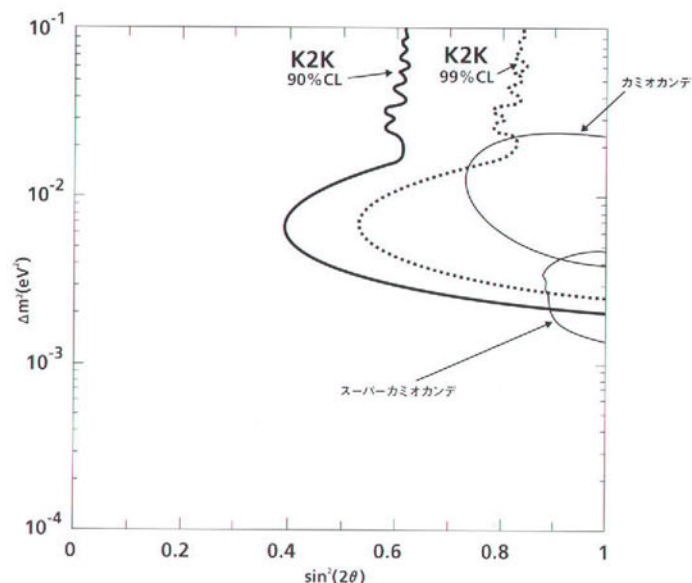
中村— その通りですが、SKのデータともしっかりと良く合うパラメータの値はK2Kで調べられる領域にありますし、今までのK2Kの結果もこのパラメータの値で矛盾なく説明できます。確認できる可能性が高いと思っています。

ニュートリノ振動が起こりうる全領域をカバーしようとする、ニュートリノの飛距離やエネルギーを変えないといけないのですが、アメリカが2004年の実施予定で進めているMINOS実験は、全領域をカバーすることができま

K2K実験の探索可能なパラメータ領域

K2K実験では、大気ニュートリノ観測によって示唆された全パラメータ領域をカバーしない。実際のパラメータがK2K実験の領域にあれば、ニュートリノ振動が観測される。

90%CLと示された曲線の右側の領域に振動パラメータがあれば、90%以上の信頼度でニュートリノ振動を観測できる。99%CLと示される曲線の右側は、99%以上の信頼度でニュートリノ振動を観測できる領域である。



す。MINOS実験がスタートする前にK2Kがニュートリノ振動を確認した場合、MINOS実験の目的は μ ニュートリノから τ ニュートリノへの振動を観測することになるでしょう。K2Kでは μ ニュートリノのエネルギーが低いため、変身先まで見ることはできないのです。

といっても、MINOS実験では、 τ ニュートリノが反応してできる寿命の短い τ 粒子を、個別にこれが τ 粒子だと同定することはできません。全体として τ 粒子ができていることを統計的に示すだけです。これに対して、ヨーロッパ合同原子核研究所が2005年の実施予定で計画しているOPERA実験は、検出器の質量が小さいかわりに詳細を調べて個々の τ 粒子を同定できるものです。

——では、ニュートリノ振動の存在が確認されたあとのニュートリノ物理学の目標は何になるのでしょうか。

中村——ニュートリノ振動があるということは、ニュートリノが世代間で混合することを意味しています。クォークの場合の混合と似ていますね。クォークの場合、その混合のようすは「小林・益川行列」で記述することができ、小林・益川行列をきちんと決めることが非常に重要な研究になっています。

ニュートリノの場合も、その混合行列である「牧・中川・坂田(MNS)行列」をきちんと決めていく必要があります。

スーパーカミオカンデが観測したニュートリノ振動は、ほとんどが μ ニュートリノから τ ニュートリノへの振動ですが、本来のニュートリノ振動は2種のニュートリノ間の振動ではなく、3種のニュートリノ間での振動、つまり混合なのです。ということは、 μ ニュートリノから τ ニュートリノへの振動だけでなく、 e ニュートリノへの振動もわずかにあるはずで、それを正確に測る必要があります。これらの測定と太陽ニュートリノの測定から、MNS行列の3つの角度を決めることになります。さらに、ニュートリノ反応でもCP対称性を保存しないフェーズ(位相角)があり、それを測定しないと混合行列は完璧なものになりません。

——CP非保存を調べる計画というものはあるのですか。

中村——CP非保存というのは粒子と反粒子の対称性の破れなので、反 μ ニュートリノを放射して、その振動のようすを μ ニュートリノと比べる。違いがあれば、それがCP非保存になります。しかし、その実験を地中にニュートリノ

を放射して行くと、CP非保存の効果を覆い隠すような現象が起こってしまうので、観測するのが難しい。現在、ニュートリノでのCP非保存を測定する2つの方法が考えられています。1つは低いエネルギーのニュートリノを使い、短い距離(100~数百km)で観測しようというもので、イベント数の統計をかせぐのは大変ですが、CP非保存を覆い隠す効果は小さいと考えられます。もう1つは、ニュートリノのエネルギーを20~50 GeVに高めて、フラックスも強めるニュートリノファクトリー計画で、距離は数千kmと長くする必要があります。CP非保存の効果は小さくても、統計精度が上がるので測定できると考えられています。

したがってニュートリノ実験としては、CP非保存まで測定できれば現在クォークで研究しているレベルのことができる。その結果、クォークとレプトンの混合の違いがはっきりすると予想されます。クォークとレプトンはいずれ大統一理論によって同じ素粒子の一族に統一されると予想されますが、統一するときの鍵になるのが混合行列というわけです。

(取材構成 福島佐紀子)

[文献]

- ・中村健蔵「筑波・神岡間 長基線ニュートリノ振動実験」『学術月報』日本学術振興会(1999年)
- ・K.Nishikawa, "Status of K2K(KEK to Kamioka Long Baseline Neutrino Oscillation Experiment)," *Nuclear Physics B(Proc.Suppl.)*, 77,198-23(1999).
- ・Takaaki Kajita, "Atmospheric Neutrino Results from Super-Kamiokande and Kamiokande," *Nuclear Physics B(Proc.Suppl.)*, 77,123-32(1999).