



Title	Analysis of the upward through-going muons with Kamiokande-III
Author(s)	原, 隆宣
Citation	大阪大学, 1996, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.11501/3119621">https://doi.org/10.11501/3119621</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏名	原 隆宣
博士の専攻分野の名称	博士 (理学)
学位記番号	第 12762 号
学位授与年月日	平成 8 年 12 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当 理学研究科 物理学専攻
学位論文名	Analysis of the upward through-going muons with Kamiokande-III (カミオカンデ-IIIにおける上向き突き抜けミュー事象の解析)
論文審査委員	(主査) 教授 南園 忠則 (副査) 教授 鹿取 謙二 教授 岸本 忠史 教授 高橋 憲明 教授 高杉 英一

### 論文内容の要旨

現在、素粒子物理で注目されている問題に大気ニュートリノ問題というものがある。陽子などの一次宇宙線が地球に入射して上空の大気中の核子と相互作用すると  $\pi$  中間子や K 中間子を生成する。大気ニュートリノとはこれらが崩壊する仮定で生成されるニュートリノのことである。1988年に神岡地下実験でこの大気ニュートリノが検出器の内部で引き起こす事象の  $(v_\mu + \bar{v}_\mu)/(v_e + \bar{v}_e)$  比を測定し、これが理論から予測される北の 6 割程度しかないことを示した。この実験結果からこの事象を引き起こすような大気ニュートリノのエネルギー (約 1 GeV) では  $(v_\mu + \bar{v}_\mu)$  が期待値よりも少ないか、 $(v_e + \bar{v}_e)$  のフラックスが異常に多いかということになる。しかしこの謎はニュートリノ振動を考えると説明ができる、更にこれを仮定するとよりエネルギーの高い領域でもこの影響が観測されるはずである。

ここで、上向きミュー事象というものを考える。地球の裏側で生成された比較的高エネルギーの大気ニュートリノ (約 100 GeV) は地球内部を伝播し検出器近傍の岩盤と相互作用することによってミュー粒子を作る。このミュー粒子は元のニュートリノの方向を覚えているため上向きに検出器に入射する。このような事象を上向きミュー事象と呼び、特に検出器を突き抜けるようなものを上向き突き抜けミュー事象という。ニュートリノ振動はそのエネルギーと伝播する距離の関数として探索可能な領域があり、この場合だと  $\Delta m^2$  が  $10^{-4} \sim 10^{-2} \text{ eV}^2$  であり、加速器などでは到達できない領域である。また、直接宇宙線のミュー粒子が地球内部を伝播して上向きに観測されることはないので、大変きれいな信号として観測できるという利点がある。

この上向きミュー事象を観測するために用いたのはカミオカンデ-IIIという大容量水チレンコフ型検出器である。これは岐阜県の地下 1000 m に位置し、直径 16 m、高さ 16 m の巨大なタンクに純水 3000 t を蓄え、更に、そのタンクの内面に約 1000 本の光電子増倍管を取り付けた検出器である。この検出器の中に超高速の荷電粒子が入射すると、微弱な光 (チレンコフ光) を出す。この光を光電子増倍管が感知し、その光の強度、到達した時間などから、元の粒子を同定する。上向きミューに対する有感領域は約 150 m<sup>2</sup> と広く、観測する上で適した装置といえる。

解析では実働時間約 1300 日の間に得られたデータを用い、その結果 188 個の上向き突き抜けミュー事象を観測した。更に、カミオカンデ-II の時期 (約 1100 日) に観測された事象を合わせて、フラックスに直すと、 $1.98 \pm 0.10$  (統計) 士

0.03(系統)  $\times 10^{-13} \text{ cm}^{-2} \text{s}^{-1} \text{sr}^{-1}$  という値が得られた。一方期待されるフラックスは  $2.20^{+0.39}_{-0.34} \times 10^{-13} \text{ cm}^{-2} \text{s}^{-1} \text{sr}^{-1}$  と計算できるが、理論による誤差が大きいため、実験結果と誤差の範囲内で一致した。しかし、観測された角度分布はニュートリノ振動を仮定した場合と良く合い、また上向きミュー事象の角度分布を用いては初めてニュートリノ振動を指示する結果が得られた。このことから低エネルギー領域で得られたニュートリノ振動の可能性を高エネルギー領域でも指示することが分かった。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、岐阜県神岡にある大型水チエレンコフ測定器(カミオカンデIII)を使用して、平均エネルギー100 GeV の大気ニュートリノの強度の測定結果と解釈を与えたものである。

実験は地球の裏側で生成されたミュー・ニュートリノが、地球内部を通り測定器の近傍の地殻岩盤と反応して生成し、測定器を上向きに(天頂角90度以上)突き抜けるミュー・オンを選択観測する事により行った。実働時間1300日の間に188個の事象が観測され、カミオカンデIIの時期(1100日)のデータと合わせて、平均強度  $1.98 \pm 0.10$  (統計)  $\pm 0.03$  (系統)  $\times 10^{-13} / \text{cm}^2 / \text{sec} / \text{sr}$  を得た。同じ条件で予測される理論強度は、 $2.20^{+0.39}_{-0.34} \times 10^{-13} / \text{cm}^2 / \text{sec} / \text{sr}$  であり、絶対値は誤差の範囲内で一致したが、天頂角分布が予想値とは異なり、ニュートリノ振動効果を取り入れて始めて一致する結果が得られた。この場合、2種のニュートリノ( $\nu_e - \nu_\mu$  もしくは  $\nu_\mu - \nu_\tau$ )の質量差の自乗は  $10^{-4} \sim 10^{-2} \times (\text{eV})^2$  の範囲にある。

本論文は、高エネルギー大気ニュートリノ強度の世界最初の測定データを提供した。また、低エネルギー、大気ニュートリノ強度異常から示唆されたニュートリノ振動効果を、高エネルギーに於いても支持するデータを与えて、ニュートリノの質量に対する知見を与え、素粒子統一理論の進歩に貢献したということで博士(理学)の学位論文として十分価値あるものと認める。