

## 論文審査結果の要旨

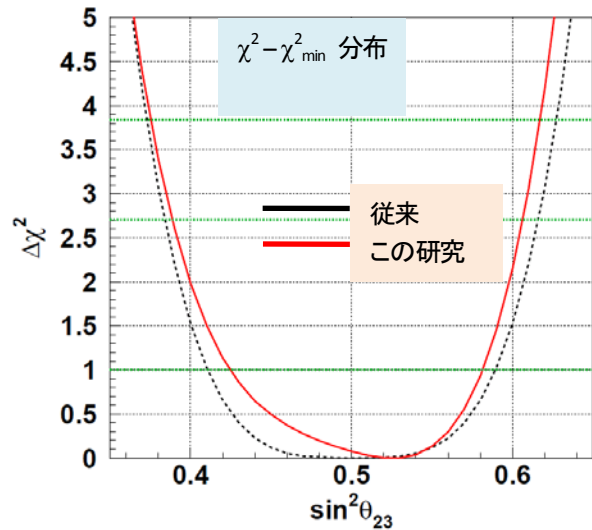
氏名 武 長 祐 美 子

本論文は9章よりなる。イントロダクション(第1章)では、ニュートリノ振動の最新結果がまとめられて、太陽ニュートリノ振動の測定結果が、大気ニュートリノ振動から得られた振動パラメーター ( $\theta_{23}$ : 第2, 3世代の混合) に与える効果について具体的に述べられ、本研究の目的が纏められている。Super-kamiokande 検出器の記述(第2章)に続いて、第3章では、解析に用いるシミュレーションや宇宙線のフラックスモデルについて纏めている。解析の系統誤差になる大気物質とニュートリノとの反応過程の不定性なども詳しく述べられている。続く第4章、5章では、データからニュートリノ起源の事象を選び出し (data reduction)、事象を再構成する方法を述べている。再構成による系統誤差で重要なものは、キャリブレーションと $\pi^0$ を電子と間違えてしまう効果であり、それらの不定性についても詳しく述べられている。第6章は選択・再構成された事象数やその様々な分布の詳しい研究がなされている。第7章では、このデータに最新の太陽ニュートリノ振動の測定結果を加味して、 $\sin^2 \theta_{23}$  の決定を行い、系統誤差の評価を行っている。8章では、 $\theta_{23}$  の精度を上げるために、必要な統計量と改良すべき系統誤差と期待される精度について述べ、9章では結論が述べられている。

ニュートリノ振動は20世紀末最大の主要な物理成果であるが、振動を起こしている混合角の測定精度は未だに低く、この測定精度を高めることは振動の起源を探る上でも極めて重要である。大気ニュートリノは、主に第2, 3世代が振動している現象である為、 $\theta_{23}$  に対する測定感度があるが、実際に決定出来る量は、 $\sin^2 2\theta_{23}$  とかなり縮退した量である。特に45度より大きい小さいかの区別は原理的に不可能である。一方太陽ニュートリノ振動測定は $\theta_{12}$  と強く関係があり、カムランドやSNOなどの最新の研究成果により、このパラメーターの測定精度が向上しており、この結果を加味して大気ニュートリノの解析をおこなった。特に低エネルギー側(<400MeV)の電子事象数と、電子事象数とミューオン事象数の比の角度依存性が、 $\sin^2 2\theta_{23}$  でなく、 $\sin^2 \theta_{23}$  の決定能力に高い感度があることが分かり、低エネルギー側のデータに重みを置いて研究をおこなった。これが本論文の目的とする所であり、ユニークな研究であると認められる。

低エネルギー電子の精密な測定を行う上、 $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$  起源の偽電子とミューオン崩壊から放出された電子が重要なバックグラウンドとなる。前者は、 $\nu_x$  NC 反応で原子核が破砕し、 $\pi^0$  が放出され、 $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$  の作る2つの電子的なシャワー (リング) が一つの電子的なリングに見えてしまう現象である。この論文では、積極的に2つめのリングを選んで、2つの不変質量やvertexを再構成し、それらを入力とした最尤関数を持ちいて、 $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$  だったか否かを判断することにより、このバックグラウンドを制御している。この $\pi^0$  filterの研究・開発が一つ目の重要な成果である。後者(ミューオンの崩壊でミューオン事象が減り、電子事象が増える)のバックグラウンドは、エネルギー分布を用いてその評価を行っている。当然、エネルギーキャリブレーション(2%誤差)が重要となり、その改善に大きく貢献すると同時に、これにより生じる系統誤差の詳しい研究を行っている。この2点の研究が、最終結果の向上に大きく寄与している。

バックグラウンドを抑えた電子事象とミューオン事象の分布を比較し、 $\sin^2 \theta_{23}$  の最適値を求めた。この過程で系統誤差を 80 個考察し、その効果を取り入れて解析を行っている。一番大きな効果は、水とニュートリノの反応の断面積の不定性であり、CC に対する  $\pi^0$  の生成量の不定性が最終結果に影響を及ぼす。また上に記した  $\pi^0$  filter やミューオンの崩壊に一番大きな影響を及ぼすものは、キャリブレーションの系統誤差である。これらを加味して得られた  $\Delta \chi^2$  分布を右に示す。黒色が従来結果であり、 $\sin^2 \theta_{23} = 0.5$  について対称であり、 $0.39 < \sin^2 \theta_{23} < 0.61$  であった。この研究 (図赤色) により、 $0.43 < \sin^2 \theta_{23} < 0.58$  と従来より高い精度で  $\sin^2 \theta_{23}$  について決定することが出来た。まだ統計量が不足している為、 $\theta_{23}$  が 45 度より大きいか小さいかの区別 ( $\sin^2 \theta_{23} > \text{or} < 0.5$ ) は出来なかつたが、これは、 $\sin^2 \theta_{23} > 0.973$  と Full mixing ( $\theta_{23} = 45^\circ$ ) に近いことを示す結果である。



この研究をすすめて、 $\theta_{23}$  が 45 度より大きいか小さいかを 90%CL の確度で判断するには、現在の測定レート・系統誤差では約 20 年分データが必要であることを示した。また系統誤差のうち、結果に一番大きな効果を与えるものは、水とニュートリノの反応の断面積の不定性であり、この誤差を現在の 1/4 にすると、10 年以上の統計量に相当する向上が得られることが示され、今後の研究方針に重要な示唆を与えている。

なお、本論文は、国際共同実験 The Super-Kamiokande Collaboration での共同研究であるが、この研究に関しては論文提出者が主体となって解析している。本研究の鍵となる「 $\pi^0$  filter の開発」や「エネルギー較正の改良」で、論文提出者は主導的に研究開発をすすめ、グループ全体に重要な貢献を行っている。また SK-III 検出器の製作に当たっても貢献を行っている。したがって論文提出者の寄与が十分であると判断する。

審査員全員十分納得する研究結果であり、論文提出者の物理学の知識も博士 (理学) をうけるに十分である。

したがって、博士 (理学) の学位を授与できると認める。