

# 論文審査の結果の要旨

氏名 村松 憲仁

現在、素粒子物理学は、電弱相互作用を表すワインバーグ・サラムモデルと強い相互作用を記述する量子色力学を標準理論としているが、さらに、違った世代間のクォークの遷移に関連するクォーク混合を重要な要素として含む。クォークの質量の固有状態と弱い相互作用の固有状態は同じでない。その混合はカビボ・小林・益川 (CKM) 行列であらわされる。CKM 行列要素は実験的に決定されなければならないが、まだ、実験的に決定されていない行列要素もある。素粒子の稀崩壊現象は、クォーク間の混合を決定するために重要であるばかりでなく、標準理論の予想値からのずれがあれば、標準理論を超える理論の存在を示唆し、その糸口を与える。

本論文の主題である  $K^+$ 中間子の稀崩壊現象、 $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$  は、ストレンジクォークがダウンクォークへ遷移する崩壊である。しかしこの遷移は1次の電弱相互作用では禁止されている。2次の相互作用をもとに理論計算される崩壊寿命は、トップクォークとダウンクォークの混合を表す CKM 行列要素  $V_{td}$  に強く依存する。したがって、稀崩壊現象、 $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$  を測定することにより、CKM 行列要素  $V_{td}$  を決定できるとともに、標準理論による分岐比の予測、 $(0.82 \pm 0.32) \times 10^{-10}$ 、との比較で標準理論を超える理論を探索することが可能である。本論文は6章からなり、第1章は序論として、以上のような本論文の目的、意義が述べられている。

第2章は、実験装置および実験手法の説明、第3章はデータ解析の概略、第4章はバックグラウンドの考察がのべられている。本実験は米国ブルックヘブン国立研究所 (BNL) で行われた。BNLの陽子シンクロトロンで加速された陽子 (24GeV) をプラチナ標的に当てて作られた  $K^+$ 中間子ビームをアクティブターゲット (シンチレーションファイバー) で停止させその崩壊を測定する。崩壊で出来た荷電粒子は、アクティブターゲット内でその軌跡が測定される。そして、それを取り囲むドリフトチェンバーで運動量が測られ、さらにその周りのレンジスタックと呼ばれるプラスチックシンチレータ層で飛程と運動エネルギーが測定される。1995年から97年までに収集された全データは  $3.2 \times 10^{12}$  事象である。(後に決定される) 事象選択の効率は0.2%程度であり、信号として予想される数は多くて数事象である。したがって、シグナル領域に残るバックグラウンドを信号の数より十分小さくし、その数をいかに正確に見積もるかが本論文におけるデータ解析のポイントである。

$K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$  崩壊で作られる  $\pi^+$  は連続スペクトルを持ち最大運動量が 227MeV/c であるため、 $\pi^+$  の運動量の探索範囲を、バックグラウンドである  $K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0 (K_{\pi 2})$ 、 $K^+ \rightarrow \mu^+ \nu (K_{\mu 2})$  崩壊からの荷電粒子の運動量ピーク (それぞれ205MeV/c、236MeV/c) の間に設定した。バックグラウンドはこの他にビームに起因するものがある。それらは、1) シングルビームバックグラウンド: ビーム中に残っている  $\pi^+$  がアクティブターゲット内で相互作用をおこすもの、

2)ダブルビームバックグラウンド： $K^+$ と $\pi^+$ が同時にはいつて、 $\pi^+$ が散乱し、信号のように見えるもの、3) $K^+$ の荷電交換反応によるもの：生成された $K_L^0$ がセミレプトニック崩壊して生じた $\pi^+$ が信号のように見えるもの。これらのバックグラウンドを十分に良くコントロールしなくてはならない。

このため、論文提出者は、「二股分割法」を適用し、バックグラウンドの除去効率、シグナル領域へのバックグラウンドの染み込みの評価をおこなった。「二股分割法」とは、2つの独立なカットを用いてお互いの除去効率を、データに基づいて相互評価する方法である。また、最後まで、シグナル領域を見ずにバックグラウンドの除去効率のみからカットを事前に決定するブラインド解析を行った。これは、シグナル領域をカット決定以前にみることにより、解析手法にかかるバイアスを防ぐことになる。

こうして決定されたカットをすべてかけることで、シグナル領域に最終的に $0.083 \pm 0.019$ 事象のバックグラウンドがあると見積もられた。このシグナル領域に見つかった事象は1事象である。これにより分岐比として $(1.52^{+3.48}_{-1.26}) \times 10^{-10}$ が得られた。これは、標準理論と良く一致している。また、CKM行列要素として $0.0024 < |V_{td}| < 0.038$ が得られた。この1事象は、もっと強いカット（33%の相対選択効率）を行いバックグラウンドを $0.0065 \pm 0.0017$ 事象とした解析でも残る非常にきれいな事象である。第5章にこれらの結果、第6章に結論が纏められている。

本論文提出者は、信頼性の有る方法を用いて $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ 崩壊の事象を測定、解析した。そして、初めて有限の崩壊分岐比を測定し、カビボ・小林・益川行列要素 $V_{td}$ の値の有限な範囲を決定した。標準理論の予想と矛盾ないことを示した。これらは、素粒子物理学にたいして、新しい知見を加えるものである。

データの解析は、本論文提出者および、国外の共同研究者を含む数人を中心に行われたが、本論文提出者は、全体の解析を中心となって行うとともに、とくに、ビーム起因のバックグラウンド、シングル/ダブルビームバックグラウンド、荷電交換によるバックグラウンドの評価を、データ自身で評価する「二股分割法」等を用いて主体的に行った。バックグラウンドの評価は本実験にとって、本質的なものであり論文提出者の寄与は十分なものであると判断される。また、本論文提出者は、エンドキャプ測定器の較正、調整、ビーム測定器関係の較正に責任をもっており、本実験への寄与も本質的なものであると認めた。また、同意承諾も完備している。

以上により、博士（理学）の学位を授与できると認める。