



# Experimental Study of b-quark Jets in ee Annihilation at TRISTAN

永井, 康一

---

(Degree)

博士 (理学)

(Date of Degree)

1993-03-31

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲1174

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1001174>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



氏名・(本籍)	なが い こう いち 永 井 康 一	(京都府)
博士の専攻分野の名称	博 士 (理学)	
学位記番号	博い第24号	
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当	
学位授与の日付	平成5年3月31日	
学位論文題目	Experimental Study of b-quark Jets in $e^+e^-$ Annihilation at TRISTAN (トリスタンにおける電子陽電子消滅反応 からのbクォークジェットの実験的研究)	
審 査 委 員	主査 教授 武 田 廣	
	教授 須 田 英 博	教授 小早川 恵三

### 論 文 内 容 の 要 旨

この論文では、文部省高エネルギー研究所にあるトリスタン電子陽電子衝突型加速器に設置されたトパーズ測定器を用いて収集された事象の中からbクォークの事象を選び出し、その事象群の持つ物理的特徴について解析した結果を報告した。論文は全8章からなっている。

第1章及び2章では、現在高エネルギー物理学において考えられている標準模型を中心に、この解析の理論的な背景を述べた。この標準模型では、物質の間に働く力として、強い相互作用と電弱相互作用の2種類が、また、物質を構成する粒子としては、各6個のクォークとレプトンと呼ばれるフェルミオンが考えられている。この電弱相互作用の標準模型から、これらのフェルミオンが電子陽電子消滅反応から反フェルミオンと対になって生成される場合に入射電子の方向から測定したフェルミオンの向きに前後方荷電非対称性が生じることが予言される。特に、3分の1の負電荷を持つbクォークの前後方荷電非対称性は、トリスタンのエネルギー領域で最大になることが予測され、トリスタン領域において、実験的に測定することは、標準模型の非常に良い検証となり、物理的に意味のある測定である。この前後方非対称性の値は前方と後方の断面積の差を全断面積で割った量で評価され、bクォークの重心系エネルギー58GeVでの値は、 $-0.58$ となる。

さらにbジェットの特徴の研究を行うことが強い相互作用が関与するクォークの破砕化に関し情報を与えられることを示した。この破砕化については、明確な理論がなく、その解明が待たれている。この破砕化に関するモデルの中で、bクォークは特別視されている。そこでトリスタンのエネルギー領域において測定されたbジェットの特徴を他のエネルギーで測定されたものと比較することによって、この議論に対して、何等かの示唆を与えられる。

次の第3章及び4章では、データ収集に用いたトパーズ測定器の詳細な説明とそのデータ収集システム及び収集されたデータの取り扱いについて、まとめた。実験に使用したトパーズ測定器は、タイムプロジェクションチェンバー (TPC) を中心とする多目的な検出器で、この解析には、TPC 及びバレル電磁カロリメータ (BCL)、エンドキャップ電磁カロリメータ (ECL) を主に使用した。TPC は、ビーム軸と平行な磁場の中に置かれていて、荷電粒子の飛跡を3次元測定してその運動量を求め、同時に、その飛跡の単位長さ当たりのエネルギー損失を精度よく測定して、粒子の識別を行うことができる測定器である。また、BCLとECLは、光子あるいは電子(陽電子)の持つ全エネルギーを測定する測定器である。これらの測定器でとられたデータは、収集システムによりデジタル化されて計算機に取り込まれる。後に各検出器ごとに処理され、物理量に変換される。

第5章では、 $b$ クォーク事象の選別について記述してある。まず、トパーズ測定器を使って収集した多くの事象の中から、クォーク・反クォーク対が生成されたマルチハドロン事象を収集した。これには、TPC、BCL、ECLの情報を用いて他のバックグラウンドとなる事象を取り除き、ハドロン事象のみを効率よく選ぶように調整したトパーズ標準ハドロン選別法を使用した。この結果、ルミノシティが  $44.4\text{pb}^{-1}$  のデータから、4951個のハドロン事象を選び出すことができた。次に、これらのマルチハドロン事象の中から、 $b$ クォーク(反 $b$ クォーク)のセミレプトニック崩壊によって放出されるレプトン(反レプトン)の内、電子(陽電子)を伴うものを識別することで、 $b$ の事象を選び出した。この電子(陽電子)は $b$ クォークの重い質量によって大きな横運動量を持つと考えられる。このような電子(陽電子)を探すため、TPCで測定された事象中の荷電粒子の飛跡の中から、衝突点近くから発生していて、かつTPCで精度よく測定されている飛跡を選んだ。さらに、BCLによって測定されたエネルギーの情報と合わせることで電子(陽電子)の飛跡を特定し、さらにその飛跡の運動量と横運動量に対して制限を加えることで、 $b$ クォーク(反 $b$ クォーク)の崩壊に伴う電子(陽電子)を識別して、40個の $b$ クォーク事象を選別した。また、この選別された事象群の純度等をモンテカルロシミュレーションによって見積もり、約57%であることがわかった。

次に第6章において、得られた $b$ 事象の持つ前後方非対称性が調べられた。ここでは、まず、得られた $b$ 事象群の各事象を強制的に2ジェットに分けて、 $b$ クォークが生成したジェットを選別時に利用した電子(陽電子)の向きによって決定し、 $b$ 事象の持つ角分布を得た。次にこれを、観測された全てのハドロン事象の数で規格化し、見積もられたバックグラウンドをモンテカルロシミュレーションを用いて統計的に取り除いた。さらに、検出器及び選別方法のアクセプタンス等による影響をシミュレーションを用いて補正して、全てのハドロンの断面積で規格化された $b$ クォークの微分断面積の分布を導き出した。また、角分布をマキシマムライクリフッド法を用いて、理論式でフィットすることにより、 $b$ クォークの前後方非対称性と断面積の全ハドロン事象に対する比がそれぞれ、 $-0.55 \pm 0.27 \pm 0.07$ 、 $0.124 \pm 0.033 \pm 0.025$  となることがわかった。この結果は、標準モデルの予言値 $-0.58$ 、 $0.120$ と良く一致しており、現在考えられている標準模型が正しいことを確認した。またこの結果と他のトリスタングループの結果を合わせることで、さらに統計精度の良い非対称性の値が得られ、 $-0.60 \pm 0.12$  となった。この値から、 $B$ 中間子の振動現象の混合比に信頼度90%で、 $0.20$  とい

う上限を与えた。

次の第7章では、 $b$ クォークのジェットの特徴が詳細に調べられた。

この解析では、トリスタンのエネルギー領域で、 $b$ が大きな荷電非対称性を持ち、後方に大きな生成断面積を持つ事が分かったので、事象群の $b$ 事象の純度を上げるため、後方散乱の事象のみを先の事象群から更に選別して、新に高純度な $b$ 事象群（純度68%）を作り、 $b$ ジェットの特徴の研究を行った。電子（陽電子）を利用した選別方法によるバイアスを取り除くために、強制的に分けた2つのジェットの内、識別に用いた電子を含まない側のジェットのみを解析に使用した。この解析では、ジェット中のTPCで精度良く測定された荷電飛跡について、荷電粒子の多重度、ビームエネルギーでスケールした運動量、ラピディティ、スラスト軸に対する横運動量、スラスト、スフェリシティ（事象の球状度）の分布を調べた。比較のためにすべてのハドロン事象についても2つのジェットに分けて、同様の分布を得た。多重度を除く5つの分布は、角分布と同様の方法でバックグラウンド等の補正及び規格化が行われた。多重度については、検出器のアクセプタンスや物質の影響を強く受けていると考えられるため、アクセプタンス補正を、行列を用いてそれらを考慮に入れて行った。その後、各平均値をとり、さらに全てのハドロンジェットの平均値を $b$ ジェットの平均値で割って比をとった。DELCOグループが29GeVの重心系エネルギーで行った同じ解析の結果からも同様に比をとって比較を行った。この結果、重心系エネルギーの増大とともに $b$ ジェットの特徴が、他のハドロンジェットと非常に良く似てきていることが分かった。このことは、クォークがジェットを作る際に関係する量子色力学のクォークの香りに対して依存しないという性質を裏付けている。

最後の第8章では、この解析の結果得られた物理的な意義をまとめた。

## 論文審査の結果の要旨

本論文提出者永井康一は、文部省高エネルギー物理学研究所に建設された電子・陽電子衝突型加速器TRISTANを用いたTOPAZ実験に参加した。この実験では、電子・陽電子消滅反応で生じるクォークやレプトン（軽粒子）の性質を研究することが主眼とされている。本論文は、現在までに発見されている5種類のクォークのうち最も重い $b$ クォークの性質を詳細に研究したものである。

第1章と第2章では、素粒子物理学におけるこの実験の意味と位置付けが標準模型（Standard Model）を基礎として述べられている。電磁相互作用の媒介粒子である光子と弱い相互作用の中性媒介粒子である $Z$ 粒子の量子力学的干渉効果で生じる前後方荷電非対称性を測定することで得られる物理的成果が詳述されている。特に、TRISTANのエネルギー領域では $b$ クォークを含むダウンタイプ・クォークの前後方荷電非対称性が負の極大値を示すことが予測され、電弱統一理論の重要な検証が可能である。

第3章では、TRISTAN加速器の概略とTOPAZ測定器の詳細な記述が与えられている。本論文提出者は、衝突点に最も近い領域で荷電粒子の飛跡を精度良く記録するVertex Chamberの開発・製作に携わり多大な貢献を果たした。第4章で、得られたデータからエネルギーや運動量などの物理量

を導き出すためのオンライン、オフライン処理が述べられている。

第5章ではまず、電子・陽電子消滅反応から生成されるハドロン事象の選別が行われている。TRISTANのエネルギー領域では、このハドロン事象の中に、 $u$ ,  $d$ ,  $s$ ,  $c$ ,  $b$ クォークの粒子・反粒子対生成が含まれており、 $b$ クォーク事象の割合は9%である。これらのハドロン事象の中から $b$ クォーク事象を選び出すために、 $b$ クォークの弱崩壊で生じる電子・陽電子を利用している(エレクトロン・タギング法と呼ばれる)。 $b$ クォークの質量が大きいために、この崩壊電子・陽電子は高い運動量を持ち、ジェット軸からの横方向運動量も大きな値を持つことになる。このエレクトロン・タギング法で $b$ クォーク事象の純度を57%程度に高めることができた。

得られた高純度の $b$ クォーク事象サンプルを用いて、 $b$ クォークの前後方荷電非対称性が第6章で求められ、標準模型からの予測値と矛盾しないことが確かめられた。 $b$ クォークと他の軽いクォークから構成される中性B中間子と反中性B中間子との間の混合パラメータの上限値も導出されている。更に第7章では、 $b$ クォークから生じるジェットの様々な形状パラメータが詳細に研究され、他の軽いクォークジェットのものと比較されている。低いエネルギー領域では $b$ クォークジェットと軽いクォークジェットは、その性質が有意に異なっているとの報告があるが、TRISTANの高エネルギー領域ではその差はなくなってきたことが示された。

以上のように、本論文は電子・陽電子消滅反応を用いて、 $b$ クォークの性質を研究することにより、素粒子の標準模型についての重要な知見を加えたものと認められる。なお、TOPAZ実験は多数の研究者の参加している共同実験であるが、論文提出者がこの物理解析に主導的な役割を果たしたことにより、本論文を学位請求論文として提出することに共同研究者の承諾を得ていることを確認した。

よって学位申請者永井康一は、博士(理学)の学位を得る資格があると認める。