

# 論文審査の要旨

氏名 樋口岳雄

本論文は6章からなり、第1章は CP Violation in the B Meson System、第2章は Experimental Apparatus、第3章は Event Reconstruction、第4章は Determination of  $\sin 2\phi_1$ 、第5章は Discussions、について述べられており、第6章には結論が述べられている。

自然界における対称性の考察・検証は、素粒子物理学の発展の原動力の大きな要素である。前世紀中盤におけるパリティ (P) と荷電対称性 (C) の対称性が弱い相互作用において最大限に破れていることの発見は大きな驚きであった。それでも、パリティ (P) と荷電対称性 (C) を同時に逆転させる CP 変換に対して自然は不変であると考えられていた。1964年に CP が弱い相互作用において  $1/1000$  程度破れていることが中性 K 中間子の崩壊の解析から発見された。これも大きな驚きであった。1973年この CP の破れを理論的に説明するためには最低6種類のクォークが必要であることが小林と益川によって示された。当時はまだ3種類しかクォークは発見されておらず、この指摘は画期的であった。小林と益川が提案した6種類のクォークが存在すると、5番目のクォークの入った中性 B 中間子でも CP 対称性の破れを発見できる筈である。

中性 B 中間子は反中性 B 中間子に時間が経ると変わり、更に時間がたつと中性 B 中間子に戻り、両者の間で振動する。この現象を  $B^0 - \bar{B}^0$  振動と呼ぶ。初めに  $B^0$  として生じた中性 B 中間子が CP 固有状態に崩壊する振幅と  $B^0$  が一度  $\bar{B}^0$  に変わってから同じ CP 固有状態に崩壊する振幅は干渉する。初めに  $\bar{B}^0$  が生成されたときにも同じような干渉が生ずるが、初めに  $B^0$  として生成された場合と干渉の時間変化のパターンが異なることが測定されれば CP 非保存が証明される。1990年台後半から LEP や TEVATRON において中性 B 中間子における CP 対称性の破れを発見する試みが続けられたが、発生された中性 B 中間子の数が少なく CP 対称性の破れを発見するには至らなかった。高エネルギー加速器研究機構の KEKB と SLAC の PEP-II という2つの B-factory (電子・陽電子相互衝突形加速器) の稼働によってこれが可能になった。ここでは、中性 B 中間子とその反粒子のみが生成される閾値のすぐ上の  $\Upsilon(4S)$  レゾナンスに衝突エネルギーを設定する。CP 非保存を見るためには、2つの中性 B 中間子のうち片方が CP の固有状態に崩壊したとき、もう一方の中性 B 中間子のフレーバーを同定し、更に崩壊の時間差を測定する必要がある。崩壊の時間差を測定するには電子と陽電子のビームエネルギーを非対称に設定し (電子 8.0 GeV、陽電子 3.5 GeV)、2つの中性 B 中間子を電子のビーム方向に飛ばして2つの崩壊点を崩壊で生成された荷電粒子から再構成し、崩壊点の距離から崩壊の時間差を求める。中性 B 中間子のフレーバーを同定するには、崩壊で生ずる荷電 K 中間子、電子、 $\mu$  粒子などの粒子を識別し、かつ電荷を決定する必要がある。このフレーバーの同定を間違える確率の正確な把握が必要である。

論文提出者はKEKBにおける Belle 実験に参加して B 中間子における CP 非保存の発見において最重要である  $B^0 \rightarrow J/\psi K_s$  CP 固有状態崩壊モードの解析を行なった。このモードはバックグラウンドが低く、統計精度が良く、CP 非保存を起こす過程が理論的に明確である Golden Mode である。 $J/\psi$  中間子は  $e^+e^-$  または  $\mu^+\mu^-$  のペアに崩壊するモードを捕らえ、 $K_s$  中間子は  $\pi^+\pi^-$  に崩壊するモードを再構成することによって捕らえた。 $J/\psi$  中間子と  $K_s$  中間子を組んだ不変質量は B 中間子の質量となりこの質量ピーク近くのバックグラウンドは低い。B 中間子の質量ピークを見ることはある程度経験を積んだ大学院生ならば可能であるが、ここからの解析には系統的な解析能力と解析を遂行する腕力を必要とする。論文提出者は CP 非保存の物理量  $\sin 2\phi_1$  を未知パラメータとして緻密な最尤法を用いて解析を行なった。尤度関数に入っている崩壊時間差の測定誤差を表す応答関数の関数形は  $B^0 \rightarrow J/\psi K_s$  事象のモンテカルロ・シミュレーションによって決定した。ここで論文提出者が苦労したのは、崩壊時間差の測定誤差が各事象によって異なる点である。即ち応答関数の誤差パラメータを事象ごとに変える必要が生じた。そこで、崩壊点を決める荷電粒子飛跡のパラメータの誤差と崩壊点の再構成の誤差から崩壊時間差の測定誤差を事象ごとに計算して崩壊時間差とともにその誤差を最尤法の入力物理量に用いた。これによって尤度関数の信頼性が高まった。又、論文提出者はこの尤度関数と本質的に同じものを用いて B 中間子の寿命の測定を行ない、系統誤差を予め深く理解した。

フレーバー同定を誤る確率はデータを用いて算出された。 $B^0 - \bar{B}^0$  振動の振動時間が Belle 実験で正確に測定されているため、生成された 2 つの中性 B 中間子がそれぞれ異なるフレーバーに同定される場合と、同じフレーバーに同定される場合の時間変遷は正確に予言される。これを用いてフレーバー同定を誤る確率をモンテカルロ・シミュレーションに頼らずに実験的に測定した。

論文提出者は、これらの測定から、CP 非保存の物理量  $\sin 2\phi_1$  を  $0.81 \pm 0.20 \pm 0.04$  (初めは統計誤差、2 番目は系統誤差) と決定した。CP 保存に対応する  $\sin 2\phi_1 = 0$  は  $4\sigma$  で棄却された。CP 非保存を b クォークのセクターで初めて発見した画期的な測定である。

論文提出者は、データ解析だけではなく、ビームと残留ガスの衝突で生ずるバックグラウンド事象をオンラインで除去するためのトリガーの製作、シリコン崩壊点測定器のデータ読みだしなどにも貢献したことを付記しておく。

なお、本論文の第 3 章は、Belle 実験グループの協同研究であるが、論文提出者が主体となって解析を行なった。第 4 章は、論文提出者が独力で解析および検証を行なったもので、論文全体として論文提出者の寄与が十分であると判断する。

従って、博士 (理学) の学位を授与できると認める。