

氏名(本籍)	増 ^{ます} 淵 ^{ぶち} 達 ^{たつ} 也 ^や (神奈川県)		
学位の種類	博士(理学)		
学位記番号	博甲第4564号		
学位授与年月日	平成20年3月25日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
審査研究科	数理物質科学研究科		
学位論文題目	Search for Higgs Boson Production in Association with a W Boson in 1.96-TeV Proton-Antiproton Collisions (1.96TeV 陽子反陽子衝突実験における W ボソン随伴生成のヒッグス粒子探 索)		
主査	筑波大学教授	博士(理学)	受川 史彦
副査	筑波大学教授	理学博士	金 信弘
副査	筑波大学教授	理学博士	石橋 延幸
副査	筑波大学講師	理学博士	原 和彦

論文の内容の要旨

本論文は、米国フェルミ国立加速器研究所の陽子・反陽子衝突型加速器テバトロンで行われている素粒子実験CDFにおけるヒッグス粒子の探索の結果を報告したものである。素粒子物理学は20世紀後半に大きく進展し、その中で標準理論とよばれる体系が確立され、これまでの実験事実のすべてを矛盾なく記述することに成功している。この枠組みでは、物質の基本構成要素であるクォークとレプトンの間に働く相互作用はゲージ対称性を要求することで自然に導入され、4つの基本相互作用が統一的に理解される。相互作用は、物質粒子間に別種の粒子(ゲージ粒子)が交換されることにより、媒介される。ゲージ対称性から出発した場合に、ゲージ粒子の質量は厳密に零でなくてはならない。電磁相互作用を媒介するゲージ粒子である光子の場合は質量が零であり、上の要求を充たしている。一方、弱い相互作用を媒介するWボソンとZボソンは陽子の百倍近くの質量を持つことが実験的に示されており、ゲージ対称性の要求と矛盾する。これを解決するために提唱されたのが対称性の自発的破れの概念とヒッグス機構であり、本来質量が零であったWボソン・Zボソンは、真空を充たしているヒッグス場との相互作用により、ゲージ対称性をあからさまに破ることなく質量を獲得する。標準理論のもととなっている場の量子論の考え方では、すべての場に対応して粒子が存在し、ヒッグス場の場合にはヒッグス粒子である。ヒッグス粒子は標準理論が正しいならば存在しなければならない粒子であるが、現在までのところ実験的には未確認であり、その質量に対して $114\text{GeV}/c^2$ の下限が与えられている。

本研究では、2001年より開始された重心系エネルギー1.96TeVでの陽子・反陽子衝突実験CDFにおいて2007年3月までに得られた 1.7fb^{-1} 相当の衝突データを解析し、ヒッグス粒子の探索を行った。特に、質量が比較的軽い場合の探索に特化し、ヒッグス粒子がWボソンと随伴生成されたのちボトムクォーク対に崩壊する過程を通じて探索した。Wボソンはレプトンとニュートリノへの崩壊を通じて同定された。ボトムクォークは、ハドロン粒子の集まりであるジェットとして観測される。したがって、信号事象は高運動量のレプトン、ニュートリノによる消失横運動量、および二つのジェットから成る。信号を背景事象から区別す

る際に重要なのがボトムクォーク起源のジェットを同定することであるが、本論文の解析では、ボトム粒子の寿命が比較的長いことを利用した二次崩壊点の測定によりそれを可能とした。ボトムクォーク対のうち少なくとも一方がこの方法により同定されることを要求している。また、信号の検出効率を向上させるために、従来の二次崩壊点同定の方法に加えて、ジェットを構成する各粒子が生成点に対して持つ衝突パラメータを用いる方法を新たに考案し採用した。さらに、人工ニューラル・ネットワークを用いたボトムクォークとチャームクォーク、軽いクォークやグルオン起源のジェットとの識別の方法を導入した。これらを用いた結果、信号の検出効率は従来の解析法と比較して2倍以上向上した。また、データ量も1.7倍ほど増加している。

上記のデータを解析し選別を行ったところ、計159の信号候補事象が観測された。これらは背景事象を含み、(a) QCD過程によるWボソンとボトムクォーク対の随伴生成、(b) トップクォーク対生成、(c) Wボソンと随伴生成された軽いクォークあるいはグルオンが誤ってボトムクォークと同定されたもの、が主である。既知の背景事象の総計は約132事象と評価された。一方、期待される信号は、ヒッグス粒子の質量が $120 \text{ GeV}/c^2$ のときに1.5事象である。観測された候補事象は背景事象の寄与であることと矛盾しない。したがって、ヒッグス粒子のWボソンとの随伴生成過程の断面積に対する上限を設定した。95%信頼度の上限値は、 1.3 pb 程度であり(仮定した質量に若干依存する)、従来の結果と比べて $1/3$ 程度に向上した。また、標準理論の予言値のおよそ10倍である。

審査の結果の要旨

対称性の自発的破れとヒッグス機構の検証は、実験的研究によるヒッグス粒子の直接・間接の探索を始め、素粒子物理学の重要課題として活発な研究が行われている。本研究は、低質量領域のヒッグス粒子を対象として、テバトロン加速器を用いた陽子・反陽子衝突実験CDFにおいてその探索を行った。信号に対する感度を向上されるため、著者は、二次崩壊点の同定方法および信号・背景分離のための人工ニューラル・ネットワークの使用など、新たな解析方法を考案し、またより高統計のデータに適用した。観測された候補事象は既知の背景事象と矛盾せず、ヒッグス粒子の発見には至らなかったが、今後の展望に期待を抱かせるものである。また、物理的重要性、および従来の探索結果と比較して生成断面積の上限値が大きく向上したことを鑑み、本研究は博士論文として充分価値のある研究であるものと判断する。

よって、著者は博士(理学)の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。