

テバトロン衝突型加速器の運転終了に伴う歴史的なまとめ

筑波大学

金 信 弘

skim@hep.px.tsukuba.ac.jp

2012年2月10日

米国フェルミ国立加速器研究所で大型国際共同実験CDF(重心系エネルギー2TeVの陽子・反陽子衝突実験)を行っているテバトロン衝突型加速器の運転が2011年9月30日午後2時(米国中央夏時間, 日本時間10月1日午前4時)に終了しました。

CDF実験は日米科学技術協力事業の一つとして進められてきたもので, 日本からは筑波大学を中心に大阪市立大学, 岡山大学, 早稲田大学, KEK, 京都教育大学, 近畿大学, 長崎総合科学大学, 福井大学が参加しています。

CDF実験では, 新しい素粒子・新しい物理の探索が30年の長きにわたって遂行されてきました。多くの重要な物理の成果をあげてきましたが, 特に1995年にはトップクォークの発見という輝かしい業績をあげました。1977年に5番目のクォーク, ボトムクォークが発見されて以来, その弱アイソスピンのパートナーである6番目のトップクォークが多くの衝突型加速器実験で探索が試みられるも発見にいたらず, 20年来の素粒子物理の宿題となっていました。CDF実験によって, ついに解決しました。

米国フェルミ国立加速器研究所では, 超伝導電磁石を用いたテバトロン衝突型加速器の建設が1979年に開始され, 1983年から400GeV陽子ビームの運転を開始し, 固定標的の実験に用いられました。また, テバトロンを用いた陽子・反陽子衝突実験CDFは日米科学技術協力事業の一課題として, 実験設計・検出器建設が開始されるとともに, 1980年に日米伊の国際共同実験として正式に発足し, 1981年には設計報告書を完成しました。故近藤都登筑波大学名誉教授が率いる日本グループは15名が参加しており, 全CDFグループ・メンバー87名の2割弱を占めていました。日本グループはCDF検出器のソレノイド超伝導電磁石, 電磁カロリメータ, 最内部飛跡検出器, ミュー粒子検出器の設計・製作を担当しました。これらの測定器の製作, 物理解析の準備を推進することによって, 大型国際共同実験CDFグループの中核の日米伊の3チームがそれぞれ強力になり, 互いの信頼感を築くことによって, 健全で強力な国際共同実験グループが形成されました。

CDF実験は1985年に陽子・反陽子の初衝突を測定し, 1987年に重心系エネルギー1.8TeVの衝突データ収集を開始し, この年には 27nb^{-1} , 1988~1989年には 4.4pb^{-1} のデータを収集しました。1992年からはテバトロンのもう一つの実験D ϕ も加わって, 激しいトップクォーク探索競争が始まりました。RUN1(1992年~1996年)とRUN2(2001年~2011年)の運転期間にそれぞれ 130pb^{-1} と 10fb^{-1} の積分ルミノシティに対応するデータ(図参照)を収集しました。テバトロン加速器はRUN2からは重心系エネルギー1.96TeVで運転され, 2011年6月にはピークルミノシティ $4.4 \times 10^{32}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ を記録しました。

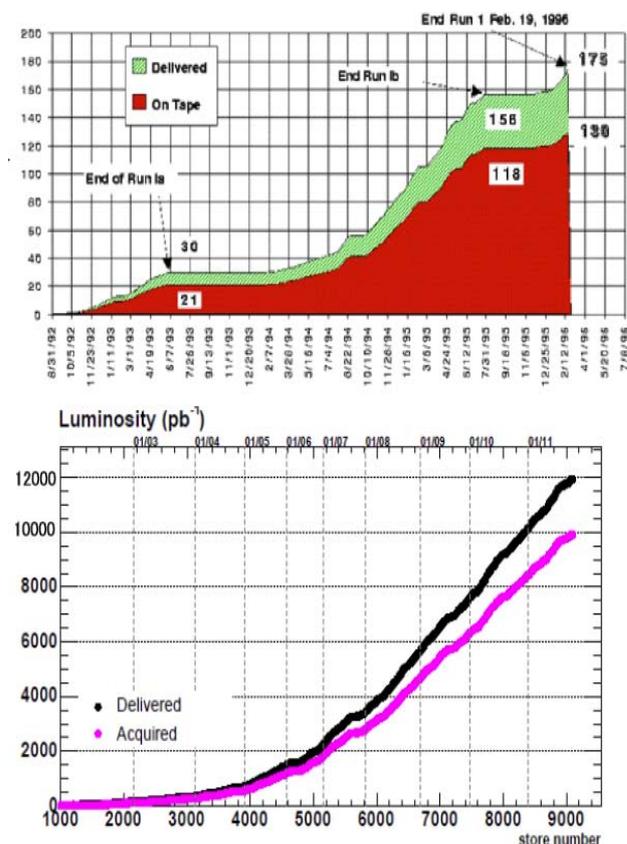


図 RUN1(上)とRUN2(下)の積分ルミノシティ。2つの曲線は, それぞれ加速器生成ルミノシティ(delivered)とデータ蓄積ルミノシティ(acquired, on tape)を示す。

CDF 実験グループは RUN1 のデータを解析して、1994 年 4 月にトップクォーク対生成の候補事象を 12 個観測しました。この結果は「トップクォーク生成の証拠」論文として発表されました。1995 年には 56 個の候補事象を観測して発見を確立しました。20 年来探索されてきた素粒子トップクォークの発見に貢献した功績によって、故近藤都登名誉教授は 1998 年に仁科記念賞を受賞しました。CDF 実験では、トップクォーク発見以外にも重要な成果を多く挙げており、代表的なものとして B_s 中間子の粒子反粒子振動の発見(2006 年)、 B_c 中間子の発見(1998 年)、 J/ψ 粒子の異常直接生成(1997, 2005 年)、 W ボソンとトップクォークの質量精密測定によるヒッグス粒子の質量上限の決定(2001, 2006 年)、 b -バリオンの発見(2006, 2007, 2008 年)、トップクォーク単一生成の初観測(2009 年)、トップクォーク対生成の前後方非対称性(2008, 2011 年)、ヒッグス粒子直接探索による質量可能領域 156 GeV \sim 177 GeV の排除(2011 年)があります。

これらの物理成果の詳細は、本誌の次ページからの記事「CDF 実験での物理」(pp. 503-521)で報告されています。

以上に挙げたテバトロンと CDF の歴史はフェルミ研究所のホームページの下記の URL に写真入りで掲載されていますので、ご覧ください。

<http://www.fnal.gov/pub/tevatron/milestones/interactive-timeline.html>

また、CDF 実験では準備の段階から現在まで 30 余年の間、国際共同実験 CDF を大学院教育の場として、筑波大学(日本グループの他大学)は 50 名(11 名)の博士号取得者と 87 名の修士号取得者を輩出しました。彼らは国際的な共同実験参加を通して、国際的な視野を持ち、また最先端科学の研究を通じて得た、最先端技術・知識を有する研究者・高度職業人として、現在アカデミア・社会の広範な分野で活躍しています。

CDF 実験グループは、テバトロン加速器運転終了後さらに 2 年程度、収集したデータの物理解析を行い、ヒッグス粒子の探索をはじめとする重要な物理の成果をあげることを目指します。