

加速器・ビーム科学部会セッション

国際リニアコライダ（ILC）と超伝導加速器技術

Symposium of International Linear Collider and Superconducting Accelerator Technology

ILC 計画とその科学的意義

Scientific Significance of the International Linear Collider (ILC) Project

*山本 均¹¹ 東北大学大学院理学研究科

1. 歴史的背景

2012年、ジュネーブ郊外にある現在世界最大の素粒子物理学研究所 CERN において、素粒子の質量の起源として理論的に予言され、「神の粒子」とも呼ばれるヒッグス粒子が発見された。この発見により、素粒子の理論として現在もっとも完成した理論である「標準理論」のすべての粒子が出揃ったことになる。ただし、標準理論はいくつかの根本的な理論的矛盾をはらんでいるだけでなく、観測によってその存在がわかっている「暗黒物質」の候補となりうる粒子を含んでいない。また、ヒッグス粒子は宇宙全体をびっしりと満たすことによってすべての素粒子に質量を与えるが、どうして宇宙がそのような状態になったのかもわかっていない。これらの問題はヒッグス粒子の発見によってより喫緊の課題となった。したがって、ヒッグス粒子の発見は素粒子物理学を完結したのではなく、素粒子物理学の新時代の幕を開いたといつてよい。

2. ILC の科学的意義

2-1. ヒッグス・ファクトリーとして

国際リニアコライダー（International Linear Collider、ILC）は、ヒッグス粒子の発見が開いた素粒子物理学の新時代をリードすべく、国際的に推進されてきた次世代の電子陽電子衝突器である。上の問題を解決するために多くの新理論が提案されてきたが、それぞれの理論に現れるヒッグス粒子の性質が少しずつ違っていることが知られている。ILC のもっとも重要な目的は、その課題に応えるべく、ヒッグス・ファクトリーとしてヒッグス粒子の性質を高い精度で測定し、正しい新理論を洗い出し、新しい道を開拓することにある。必要な衝突エネルギーは約 250 GeV である。

CERN 研究所でのヒッグス粒子の発見は LHC と呼ばれる陽子陽子衝突器によってなされたが、LHC も今後ルミノシティの高度化が計画されている。ILC の電子陽電子衝突に比べて LHC の陽子陽子衝突は事象がはるかに複雑であり、結果として ILC の感度が相対的に高くなる。ヒッグス粒子の性質の精密測定に関して、ILC はその高度化された究極の LHC が数十基同時に走っているのと同程度の精度が得られると期待されている。

2-1. 衝突エネルギーの高度化

電子または陽電子を円形の軌道に沿って高エネルギーに加速した場合、電子はシンクロトロン放射によって大量の光子を放出してエネルギーを失う。そのため、あるエネルギー以上の電子陽電子加速器は円形では困難になる。一方、直線軌道に沿って加速するとそのようなエネルギー損失はなく、より高エネルギーへの加速が現実的となる。

線形衝突器である ILC の衝突エネルギーは、単に線形加速器をより長くするか、加速勾配を増やすことで高度化が可能である。衝突エネルギー 350 GeV まで高度化すれば、トップ・クォーク対を大量に生成することができる。トップ・クォークは標準理論の中でもっとも重い粒子であり、標準理論の欠陥を補うべく提案された多くの新理論でも、トップ・クォークの性質が標準理論からずれている。したがって、トップ・クォークの精密測定はヒッグス粒子の精密測定に次いで重要であると言って良い。

さらに衝突エネルギーを 500 GeV まで高度化すれば、トップ・クォークとヒッグス粒子の反応係数

だけでなく、ヒッグス粒子の自己結合係数を直接測定することが可能になる。後者は、なぜヒッグス粒子が宇宙全体をびっしりと満たしたか、という重要課題に密接に関連している。

2-1. 新粒子の探索

CERN 研究所の LHC は現在衝突エネルギー 13 TeV (1 TeV=1000 GeV) で運転しており、近い将来 14 TeV に高度化する予定であり、LHC は ILC より高いエネルギーまで新粒子の探索ができる。しかし、LHC では事象が複雑であるため新粒子を見逃す可能性も比較的に高い。一方、ILC は、その高い感度ゆえに、もし新粒子が生成されているなら粒子のタイプにかかわらずほぼ確実に発見されるだろうと考えられている。例えば、すでに発見されたヒッグス粒子の場合、LHC では約百万個のヒッグス粒子が生成された段階で発見されたが、ILC では数十個のヒッグス粒子が生成されれば発見できる。

2-2. ILC を取り巻く状況

国際設計チーム (Global Design Effort, GDE) は、2012年に ILC の技術設計書 (Technical Design Report) を発表した。その後 ILC の国際推進組織は LCC (Linear Collider Collaboration) に引き継がれ、研究者サイドとして候補地を日本の北上山地に絞ることとなった。

現在日本政府は文科省の有識者会議において、ILC の科学的意義、技術と設計の成熟度、人材確保の可能性などを審議しており、1年以内には報告書が予定されている。もし日本政府が ILC に向けて本格的に動き出せば、国際交渉、ILC 研究所の建設、そして約10年の建設期間を経て稼働することとなる。

*Hitoshi Yamamoto¹

¹Tohoku University, Graduate School of Science