

海外長期間派遣成果報告書

研究主題

邦題：アトラス検出器を用いた超対称性粒子の探索

英題：Search for supersymmetry particles with the ATLAS detector

代表研究者：高エネルギー加速器研究機構素粒子原子核研究所 陣内 修
High Energy Accelerator Research Organization Osamu Jinnouchi

派遣期間：2006年10月15日～2007年4月20日

研究機関：欧州原子核研究機構(CERN)
European Organization for Nuclear Research
CH 1211 Geneve 23 Switzerland

研究指導者：Research Physicist, F. Gianotti

In our current understanding of the particle physics, there are only two distinct kinds of particles, Fermions and Bosons. Fermions form matter, i.e. all the world around us, while Bosons are carrying forces between particles. Supersymmetry introduces the symmetry between these two categories, and hence predicts new elementary particles, which are not found so far. This theory model doubles the number of “elementary” particles, hence the discovery of its phenomena, or particle themselves would completely change our current knowledge of nature. The LHC accelerator (the world highest energy proton-proton collider at CERN) has a good potential to produce such new particles in laboratory. The ATLAS detector would catch such events if it occurs in LHC, and this is the main theme of my research. If Supersymmetry (SUSY) particles are produced, they show themselves with spectacular signatures, which is quite distinctive from known physics processes. SUSY scenario has various options and I am particularly interested in the signature that includes gamma ray in the final state. The LHC project was originally planned to start in 2006, which is unfortunately delayed due to accelerator accidents. Meanwhile, studies on the SUSY signature in ATLAS were impressively developed, which we summarized in the final ATLAS report before the real data taking.

(研究目的)

我々の宇宙を構成する物質の最小単位である素粒子と、その間の力の相互作用については有史以来人類が追い求めている永遠の研究テーマである。20世紀後半に入ると、その素粒子がクォークやレプトンと呼ばれる極少数の粒子であること、また媒介する力が4つ（電磁気力、弱い力、強い力、重力）であることが判明してきた。20世紀初頭のMaxwellの偉業により、電気と磁気力が統一され電磁気学が構築されたことは有名であるが、媒介する4つの力は我々の宇宙が誕生した極初期の高エネルギー環境では統一されていたのではないかと考えられている。1970年代、素粒子物理業界では電磁気力と弱い力（原子核の β 崩壊などに寄与する相互作用）が統一的に記述されることが理論的に証明され、「素粒子の標準模型」と呼ばれる。実験側では、粒子加速器を用いて粒子（電子、陽子など）を高エネルギーで衝突させ、その反応過程からこの標準模型が非常に高い精度で検証されてきた。

現在この標準模型を越える理論として最も有力なものが超対称性と呼ばれる考えで、この対称性を用いると電磁気力、弱い力、更に強い力（核力の源になる相互作用）を統一出来ることが分かっており、これが実験的に確認されれば、人類が知る世界観を一変させるものになる。実験系ではこの対称性から、数多くの「超対称性粒子」が高エネルギー領域に発見されることが予想される。これを実現する為には、粒子加速器による衝突実験のエネルギーを人類未踏の領域にまで上げることと、その様な衝突を数多く行った中から、超対称性粒子の存在を示す、わずかな証拠を捕える検出器が必要になる。超対称性粒子の実験室系での生成を実現することが出来るのがスイス・ジュネーブの欧州原子核機構（CERN）にある最高エネルギー陽子陽子衝突型加速器LHCであり、その事象を検出することが出来るのがアトラス検出器である。

（研究経過）

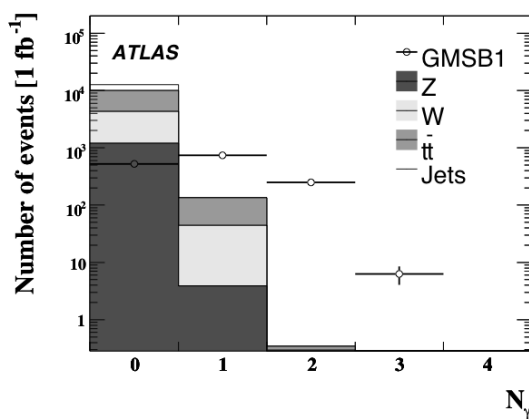
私は派遣援助を基に現地での研究活動に従事した。当初、派遣援助時期に実験開始の予定であったが、加速器側の様々な技術的困難を見舞われ、実験開始は延期を重ね今日に至っている。これは加速器に導入されている数多くの技術が最先端のものであるが故である。その間、研究は主にシミュレーションデータを使って超対称性粒子探索がどこまで可能であるかを検討してきた。アトラス実験グループ全体でデータ収集開始に向けて、最後の物理レポートを準備した。これは最新の詳細なシミュレーション技術を使って、実データに可能な限り近い形で、新しい物理の発見能力などをまとめる作業である。私は超対称性物理の中での1章を担当した。国際共同研究者によるグループ活動を指揮し、レポートをまとめあげた。

（研究成果）超対称性粒子が実験室系で生成されたとして、その非常に稀な事象がどのように検出されるか（どの様に見えるか）ということに関しては大きな不定性がある。現在、様々な現象論モデルが提案されている。共通している点は、その様な事象中に数多くのジェットを含むこと、発生する粒子

の運動量の総和を取ると大きなアンバランスがあること、などである。この特徴を利用して、如何にして膨大な既知の背景事象と識別するかが重要な課題になる。また私は、とりわけこの共通項に付け加えて、 γ 線が終状態に存在する事象、もしくは超対称性粒子が長寿命になる事象に関する研究を手がけた。これに関連し、上記の様にアトラス実験グループのレポート作成に大きな貢献をした。

(考察)

超対称性モデルの一つに、終状態に2本の高運動量 γ 線を持つものがある(ゲージメディエーション・モデルの中のあるパラメータ領域)。もし自然がこのモデルを選んだならば、図の様に比較的实验開始初期(開始1-2年)ではっきりと新しい物理の登場を確認出来る。



Distribution of number of reconstructed photons with $p_T > 20$ GeV and $|\eta| < 2.5$, after event pre-selection for 1fb^{-1} :

図は典型的な超対称性粒子用事象選択後の(ジェット数、消失運動量、等に対しての選択)、 γ 線数分布を表している。2本以上あるものは信号(図中ではGMSB1)以外にはほとんどない。また、超対称性粒子が長寿命になり、巨大なアトラス検出器内を物質と相互作用しながら突き抜ける場合のシナリオについても検討した。こちらも同様に、もし自然がそのようなモデルを選択していれば、比較的初期のデータで兆候が確認出来ることを確認出来た。

(参考資料)

- [1] アトラスグループ全体でまとめたレポートは
Expected Performance of the ATLAS Experiment - Detector, Trigger and Physics. By The ATLAS Collaboration (G. Aad et al.). Jan 2009. 1852pp. e-Print: arXiv:0901.0512 [hep-ex]
 その中の超対称性物理部門中の一章
“Studies of SUSY signatures with high- p_T photons or long-lived heavy particles in ATLAS”を担当した
- [2] **“SUSY physics with early data: understanding ATLAS detector and backgrounds”**, O. Jinnouchi,

Prepared for Physics at LHC, Cracow, Poland, 3-8 Jul 2006.
Published in Acta Phys.Polon.B38:583-590, 2007