

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 6月18日現在

機関番号：82118

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2008～2011

課題番号：20340063

研究課題名（和文） 精密解析による多重ボソン生成を伴うヒッグス物理の研究

研究課題名（英文） High precision analysis of a Higgs physics associated with multi boson production

研究代表者

栗原 良将 (Kurihara Yoshimasa)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・研究機関講師

研究者番号：50195559

研究成果の概要（和文）：LHC実験によるヒッグス粒子の探索のバックグラウンドとなる、2光子及び2個の弱ゲージボソンの生成過程の散乱断面積の精密な計算を行った。さらに、これらの過程の生成粒子の分布を忠実に再現するシミュレーション・プログラムを作成し公開した。散乱断面積の計算には、摂動計算によるものばかりではなく非摂動的な効果が重要であるが、独自に開発したパートン・シャワー法と主対数項引き算法を組み合わせることにより、両効果を矛盾なくかつ高能率で計算することに成功した。

研究成果の概要（英文）：We have successfully performed precise calculations of the production cross sections of two photon and two weak gauge-boons productions, which are very important to understand as main background for the Higgs search at LHC experiments. Moreover an event-generator for these processes is produced and open to the experimental community. For prices calculations for those processes, both of perturbative and non-perturbative contributions are important. We have combined these two contribution consistently using parton-shower method.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	6,200,000	1,860,000	8,060,000
2009年度	2,800,000	840,000	3,640,000
2010年度	2,800,000	840,000	3,640,000
2011年度	2,800,000	840,000	3,640,000
年度		0	0
総計	14,600,000	4,380,000	18,980,000

研究分野：素粒子実験

科研費の分科・細目：物理学、素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：イベント・ジェネレータ、シミュレーション、加速器、素粒子実験、素粒子理論

1. 研究開始当初の背景

LHC実験は2008年度中の実験開始に向けて準備が進められていた。LHC実験の目的は、素粒子の標準模型の確立と、それを超える新しい現象の探索であるが、そのなかでもヒッグス粒子の

探索は最も重要な課題の一つであった。しかし、ヒッグス粒子の信号にはゲージボソンの多重生成による膨大なバックグラウンドが存在することから、その精密な

計算と、その散乱を忠実に再現するイベント・ジェネレータが求められていた。

2. 研究の目的

(1) LHC実験の中心的な課題の一つである、ヒッグス粒子の探索において、ヒッグス粒子の質量が120GeVから150GeV程度で比較的軽い場合、主な探索プロセスは、2光子生成過程となる。しかし、このプロセスは、QCDからくるバックグラウンドが非常に大きく、発見が最も困難な領域である。このようなバックグラウンドとなる2光子生成を伴うジェット生成反応について、標準模型から予想される断面積やさまざまな分布の精密な計算が必要不可欠である。そのような計算に必要な散乱振幅を高次補正を含めて計算を行う。

(2) 上記計算について、単に計算プログラムが存在するだけでは不十分である。計算結果を実際の実験で得られた分布と比較するためには、生成粒子の運動量及び角度分布を忠実に再現するプログラム（イベント・ジェネレータ）が必要となる。このようなプログラムを公開し、LHC実験研究者に使用してもらい、実験の解析に貢献する。

(3) 実験の結果を精密に再現するためには、摂動による散乱振幅に基づく計算以外に、非摂動的な効果を考慮しなければならない。しかし、摂動的計算に非摂動的を単純に加えたのでは、同じ効果を2重に取り入れてしまう、所謂ダブル・カウンティングが発生する。この効果を取り除き、正しい散乱の振る舞いを再現するための効率の良い方法を開発する。

(4) もし、LHC実験で比較的軽いヒッグス粒子が発見された場合、そのヒッグス粒子が標準模型によるものか、それを超える理論によるものかを決定しなければならない。そこで、軽いヒッグス粒子の存在を预言する超対称性模型について、高次補正を含む精密な計算を行い、超対称性粒子生成の詳細を明かにする。

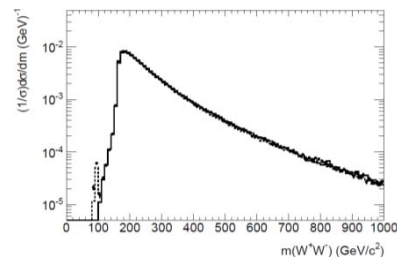
3. 研究の方法

(1) LHC実験における多重ボソン生成の精密な計算には、膨大な副プロセスが関与するため通常の方法では計算が困難であった。そのため、これらの計算を自動で行うシステムである、GRACEを開発した。GRACEは、標準模型及び超対称性模型について、すべての粒子と結合定数を持っており、始状態と終状態の粒子と結合の次数を与えることにより、すべての可能なファインマン図を生成することが出来る。さらに、これらのファインマン図に基づき、散乱振幅を数値的に計算するためのプログラムを生成するものである。このシステムは、従来は電弱相互作用における計算を目的として開発されていた。これを、本研究の目的を実行するために、強い相互作用を扱えるように拡張する。そのため、GRACEに強い相互作用の紫外発散を扱うための新たなライブラリーを開発する。また、紫外発散を扱うためには、新たなループ積分ライブラリーが必要となる。このような、次元正規化を含んだ、ループ積分プログラムを新たに開発する。

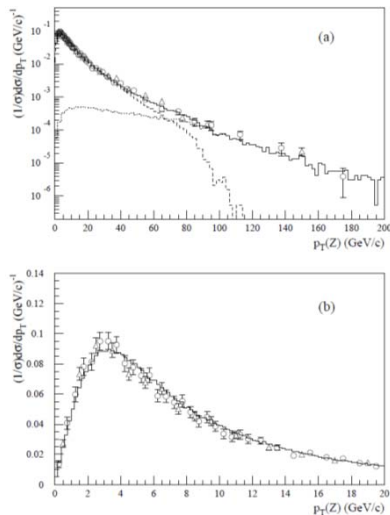
(2) GRACEによる摂動計算に基づく散乱振幅に、非摂動的な方法を矛盾なく結合する必要がある。そのために、光子とジャワ粒子の両方を含に、高い精度と効率で計算を行うことができるパートン・シャワー法を開発する。さらに、パートン・シャワーと散乱振幅の間のダブル・カウンティングを除くための、主対数項引き算法を開発する。

4. 研究成果

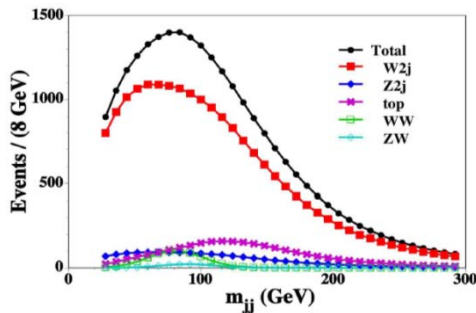
(1) 課題のプロセスである、2光子+ジェット、ZZ+ジェット、WW+ジェット、WZ+ジェットのプロセスについて、散乱断面積計算及びイベント生成を行うプログラムを作成し、GR@PPAシステムとして公開した。陽子は複合粒子であるため、これらのプロセスは多くのサブ・プロセスを含んでいる。それぞれのサブ・プロセスすべてについて、GRACEを用いて精密解析手法に基づき散乱振幅を計算した。下の図はWW+ジェット過程のWWの4つの崩壊粒子の不変質量の分布である。すべてのファインマン図が考慮されているため、質量90GeVの付近に小さなピークが表れているのが解る。これは、Zボソンが仮想的なWWに崩壊し、それらがさらに4つのフェルミ粒子に崩壊する過程の寄与を表す。非常に精密な計算が行われていることが解る。



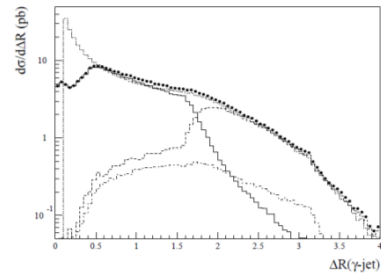
TEVATRON実験で精密に測定されているZボソン+ジェット生成プロセスで、実験データと本グループが開発したプログラムによる計算結果を比べたものが、次ページの図である。Zボソンの横運動量を横軸に、データ（誤差棒付の円）と計算結果（ヒストグラム）を表示している。上の図は、広い運動量領域、下の図は低い運動量領域を示したものだが、すべての領域で計算結果は、実験データをよく再現していることが解る。これは、本グループが開発した、主対数項差引法がうまく機能していることを示している。本グループでは、これらのプログラムをGR@PPA2.8として実験グループに公開した。GR@PPAでは、このプロセス意外にも、LHC実験のバックグラウンドとなる多くのプロセスを含んでおり、また生成した疑似データを測定器シミュレーションに利用するためのインタフェースを持っている。



(2) また、同手法を用いて、TEVATRON実験で報告された2個のジェット生成を伴うWボソン生成断面積の異常について解析を行った。2010年に、TEVATRON実験の一つである、CDFグループはW+2ジェットプロセスに、標準型にはないイベントの生成を観測したことを報告した。本研究グループでは、この結果を陽子のパートン分布関数により説明する可能性を検討するために、この解析に必要なすべてのプロセスの断面積をGR@PPAを用いて計算した。その結果を、下図に示す。GR@PPAによる計算により、パートンのうち、特にストレンジ・クォークの分布関数からのW+2ジェットへの影響があることが解り、今後パートン分布関数の精密測定により、この現象を説明できる可能性を指摘した。



(3) 本研究の主要目的である2光子生成プロセスに関して、クォークからの高エネルギー光子放出の効果を正確に予測しなればならない。そのために、ジェットと光子を同時に扱う独自のパートン・シャワー法を開発した。この方法により、摂動計算と非摂動的な効果を能率よく加える方法を確立した。これにより、従来は光子を放出する確率のみで、その角度分布は予想できなかったのに対して、本グループでは角度分布を含めて精密に予言できるようになった。下に、光子とジェットの間角度分布の計算結果を示す。



5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計8件)

- ① "Consistent simulation of non-resonant diphoton production at hadron collisions with a custom-made parton shower", S. Odaka, Y. Kurihara, Phys. Rev. D85 (2012), 112022
- ② "GR@PPA 2.8: Initial-state jet matching for weak boson production processes at hadron collisions", S. Odaka, Y. Kurihara, Compt. Phys. Commun., 183, 査読有, (2012), p1014
- ③ "Test of CDF dijet anomaly within the standard model", H. Kawamura, S. Kumano, Y. Kurihara, Phys. Rev. D84, 査読有, (2011), 114003.
- ④ "Systematic study of 1-loop correction on sparticle decay widths using GRACE/SUSY-loop", K. Iizuka, Y. Kurihara, 他5名, PoS RADCOR2009:068(2010)
- ⑤ "Systematic study of 1-loop correction on sparticle decay widths using GRACE/SUSY-loop" K. Iizuka, T. Kon, K. Kato, T. Ishikawa, Y. Kurihara, M. Jimbo, M. Kuroda, PoS RADCOR2009: 査読有, (2010), p068
- ⑥ "NLO-QCD event generators in GRACE", Y. Kurihara, Acta Phys. Polon. 査読有, THE POLISH PHYSICAL SOCIETY, B39, 2008, p. 1655
- ⑦ "GRACE-NLO for the LHC", J. Fujimoto, Y. Kurihara, Nucl. Phys. Proc. Suppl. 183, 査読有, (2008), p. 143.
- ⑧ "NLO-QCD event generators in GRACE", Y. Kurihara, Acta Phys. Polon., THE POLISH PHYSICAL SOCIETY, 査読有, B39, 2008, p. 1655

[学会発表] (計7件)

- ① "GRACE/SUSYを用いたLHCにおけるsquark生成とその多段崩壊"、重城大樹、栗原良将、他3名、日本物理学会2011年9月、弘前大学(青森)
- ② "The analysis of four-body decay processes of the stop using GRACE/SUSY", 片岡裕美、栗原良将、他8名、日本物理学会2010年9月、九州工業大学(福岡)
- ③ "1-loop correction to three-body decays of light stop by GRACE/SUSY-loop", 小池寿紀、栗原良将、他8名、日本物理学会2010年9月、九州工業大学(福岡)
- ④ "Study of QCD 1loop correction to gluino decays by the GRACE/SUSY-loop system", 飯塚京子、栗原良将、他5名、日本物理学会2009年9月、甲南大学(兵庫)
- ⑤ "LHC実験のためのQCD高次補正を含む2光子イベント・ジェネレータ"、栗原良将、尾高茂、東城順治、日本物理学会2009年9月、甲南大学(神戸)
- ⑥ "1 loop correction to gluino decays with GRACE/SUSY-loop", 飯塚京子、栗原良将、他5名、日本物理学会2009年3月、立教大学(東京)

[その他]

ホームページ等

<http://atlas.kek.jp/physics/nlo-wg/grappa.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

栗原 良将 (Kurihara Yoshimasa)
大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・研究機関講師
研究者番号：50195559

(2) 研究分担者

東城 順治 (Tojo Junji)
大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・助教
研究者番号：70360592
(H19→H21：連携研究者)

津野 総司 (Tsuno Soushi)
大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・助教
研究者番号：30451834
(H20→H21：連携研究者)

藤本 順平 (Fujimoto Junpei)
大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・研究機関講師
研究者番号：90202291

加藤 潔 (Kato Kiyoshi)
工学院大学・工学部・教授
研究者番号：50152707

(3) 連携研究者