

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25年 6月 5日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010 ～ 2012

課題番号：22540273

研究課題名（和文）

超対称性標準模型における軽いヒッグス粒子の可能性の理論的研究

研究課題名（英文）Theoretical study on light Higgs boson scenario in the minimal supersymmetric standard model

研究代表者

戸部 和弘 (TOBE KAZUHIRO)

名古屋大学・理学研究科・准教授

研究者番号：20451510

研究成果の概要（和文）：

素粒子の標準模型は非常に成功を収めた理論であるが、そこで存在が予言されているヒッグス粒子は LHC 実験以前では発見されていなかったことから、標準模型以外の理論的可能性がいろいろ指摘されていた。この研究では、その一つの可能性である、超対称性理論を考え、100 GeV 程の軽いヒッグス粒子が存在する可能性（軽いヒッグスシナリオ）を研究した。このような軽いヒッグスシナリオは LEP 実験などの直接検出実験だけでなく、B 物理のような間接的にこのような軽いヒッグス粒子が寄与する過程からも制限を受けるので、そのような制限を解析した。さらに、LHC 実験が始まり、標準模型ヒッグス粒子のような粒子が発見されたことから、一般に標準模型を超えた理論に強い制限を与えることになる。超対称性理論のこの軽いヒッグス粒子のシナリオも、LHC 実験から強く制限されることが分かった。

現在の LHC 実験の結果を見ると、ヒッグス粒子以外には新たな粒子の存在の兆候は見えない。しかし、ミュオン粒子の異常磁気能率の実験値は、標準模型の予言値と 3σ 程度食い違っていることが指摘されている。そのことから、このミュオン粒子の異常磁気能率の標準模型との食い違いを説明する新物理を考え、現在までの実験と無矛盾な理論の可能性を指摘し、LHC 実験での検証の可能性を指摘した。

研究成果の概要（英文）：

The standard model of elementary particles (SM) has been very successful. However, before the LHC experiment started, the Higgs boson in the SM has not been discovered yet. Therefore many theoretical scenarios beyond the SM have been proposed. In this study, we consider the light Higgs boson scenario within the minimal supersymmetric standard model (MSSM) where there is a light Higgs boson whose mass is about 100 GeV. In such a light Higgs boson scenario, not only the direct search experiment such as the LEP, but also the indirect search experiments such as B factory and flavor experiments are very important. We studied the effects of the light Higgs boson on B physics, and showed that the B physics strongly constrained the light Higgs boson scenario. Furthermore, since the LHC started and discovered a SM Higgs-like new particle, the new physics scenarios beyond the SM are strongly constrained to explain the SM Higgs like new particle. We find that the light Higgs boson scenario is also strongly constrained by the current LHC results.

The current LHC experiment has not been observed any new particles except the SM Higgs boson like particle. However, it has been reported that there is a discrepancy between the experimental result and the SM prediction of the muon anomalous magnetic moment (μ on $g-2$). Therefore we studied the new physics models which can explain the muon $g-2$ anomaly, and showed that there are still regions which are consistent with the current experimental results. We also pointed out that the future LHC study may be important to probe the new physics models for muon $g-2$ anomaly.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2011年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2012年度	1,000,000	300,000	1,300,000
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：素粒子物理

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：ヒッグス粒子、超対称性模型、標準模型を超える理論

1. 研究開始当初の背景

素粒子の標準模型は、今までのほぼ全ての実験結果を説明できる非常に成功した理論である。しかし、存在が予言されるヒッグス粒子はこの時点ではまだ発見されておらず、その理論的考察、実験的なヒントから様々な標準模型を超える理論の提案がなされていた。その中でも、超対称性標準模型 (MSSM) は標準模型を超える有力な理論としてさまざまな観点から研究がなされている理論である。我々もこの研究で、この超対称性標準模型に注目し、その時点ではまだ発見されていない、ヒッグス粒子に着目しての研究を考えた。特に、超対称性模型のヒッグスセクターは、標準模型のヒッグスセクターを拡張して、SU(2)二重項ヒッグスが2つある理論となっている。このような理論では、ヒッグス粒子の相互作用が、標準模型のものとは大きく異なっている可能性があり、今までのヒッグス探索でも、質量が軽くても発見されていない可能性があることが指摘されていた。(論文[1]) 図1ではその可能なパラメータ空間を示す。 m_A はCP奇のヒッグス粒子質

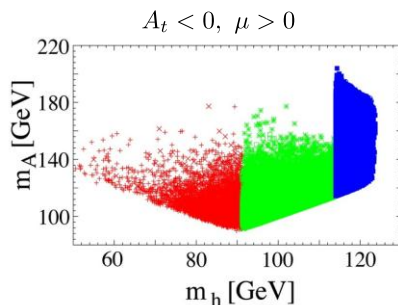


図1 MSSMでの軽いヒッグス粒子の可能性。

色の付いた領域は許される領域。

量、 m_h は軽いCP偶のヒッグス粒子質量である。

LEP実験では98GeVの所にシグナルイベ

ントの超過なども報告されており、このような軽いヒッグス粒子の存在の可能性も指摘されていた。よってこのような軽いヒッグス粒子の可能性を詳しく解析することは非常に重要であると考えられた。そこで、LEP実験のような直接検出実験だけでなく、B物理などのフレーバー物理のような間接探索からどのように制限を受けるかなどを調べることが重要であった。さらにLHC実験によってどのように検証されるのかを明らかにすることも、もちろん重要である。

2. 研究の目的

標準模型を超対称性を持つように、最小に拡張した超対称性標準模型は、標準模型を超える物理の有力候補として、さまざまな研究がなされている。特にそのヒッグスセクターはSU(2)二重項ヒッグスが2つある理論に拡張され、LHC実験で検証されようとしているヒッグスセクターが大きく変更される可能性がある。LEP実験などで標準模型ヒッグスに関してはヒッグス質量に114GeVという下限が付けられているが、超対称性標準模型でのヒッグス粒子に対してはその下限は大幅に緩められる可能性が指摘されていて100GeVほどのヒッグス粒子の存在の可能性がまだ排除されていない。そのようなヒッグス粒子の存在は、今までの実験やこれからの実験での探索方法では検証が難しい可能性があり、それを明らかにすることは重要である。さらにそのような軽いヒッグス粒子の存在は、B物理などのフレーバーの物理に大きく影響を及ぼす可能性があり、その詳しい解析が必要とされる。そのため本研究では、そのような軽いヒッグス粒子の影響を明らかにすることが目的である。

3. 研究の方法

LEP実験などで、100GeV程度の質量を持つヒッグス粒子の探索は成されている。そこで、超対称性標準模型の軽いヒッグス粒子の可

能性を考えた時のヒッグス粒子の相互作用を考慮して、LEP 実験（や Tevatron 実験など）の制限をまず明らかにすることが重要である。その結果は図 1 のようである。このような実験的に許される領域で、B 物理などのフレーバー物理の影響を考察する。さらにこのような許される領域で、LHC 実験での検出可能性を解明する。

4. 研究成果

LEP 実験の結果を考慮して、超対称性標準模型の軽いヒッグス粒子のシナリオが許される領域を調べると、図 1 で示したように CP 奇のヒッグスが比較的軽い（180 GeV 以下ほど）と 100 GeV ほどの軽いヒッグス粒子が可能なことが分かる。これは CP 奇のヒッグス粒子が軽い領域は、ヒッグス間の混合が大きくなるため、ヒッグス粒子とゲージボソンの相互作用が、標準模型のそれに比べて非常に抑制されることがあるため、LEP 実験の制限を避ける事ができるためである。このような状況では、この理論に含まれる全てのヒッグス粒子が比較的軽くなり、特に荷電ヒッグス粒子は $b \rightarrow sg$ 過程に重要な寄与を与える。この寄与は荷電ヒッグスの質量が 300 GeV 以下であると標準模型の予言より大きくなり過ぎて問題であることが知られており、この寄与を超対称性粒子の寄与（ストップやチャージノなど）でキャンセルする必要がある。

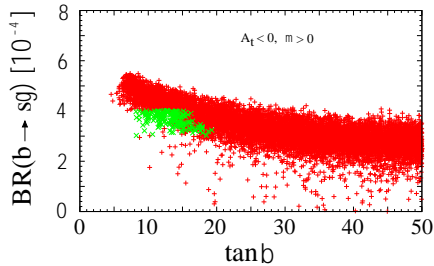


図 3 超対称性模型での軽いヒッグスシナリオでの $b \rightarrow sg$ 過程の予言値

さらにこのような比較的軽いヒッグス粒子は $B_s \rightarrow mm$ 過程に非常に大きな寄与を与える可能性が指摘されており、このシナリオに非常に強い制限を与えうる。図 2、図 3 に超対称性標準模型での軽いヒッグスシナリオでの $b \rightarrow sg$ 、 $B_s \rightarrow mm$ の予言値を示す。色の付いた点はこの模型での予言値を表し、赤い点はこの過程の実験値から排除された点、緑の点はまだ実験値と無矛盾な点を表す。

（文献[2][3]）これらの図を見て分かるように、これらの B 物理の過程は、このシナリオを非常に強く制限することが分かる。

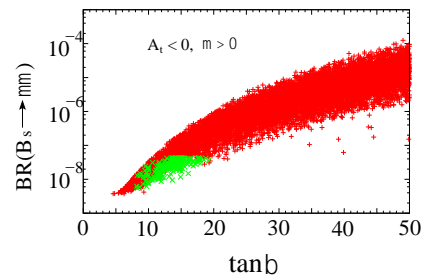


図 2 $B_s \rightarrow mm$ の予言値

さらに B 物理では $B \rightarrow tn$ や $B \rightarrow Dtn$ の実験値にも標準模型からのずれが指摘されていたが、この軽いヒッグス粒子の寄与はこれを説明できるものではなく、このシナリオに制限を与える。

$b \rightarrow sg$ で荷電ヒッグス粒子の寄与をキャンセルするためにストップやチャージノの寄与が重要なことは述べたが、そのためにはこれらの超対称粒子が比較的軽いことが期待される。

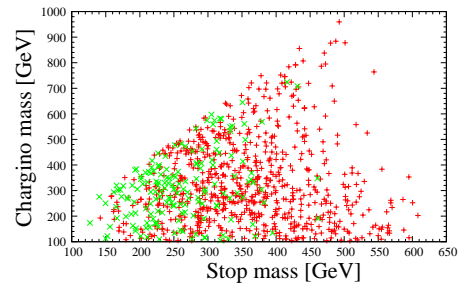


図 4 ストップ、チャージノの許される質量領域

図 4 で、ストップ、チャージノの許される質量領域を示す。緑は軽いヒッグス粒子質量が Z ボソン質量以下の時、赤は Z ボソン質量以上 114 GeV 以下の時の結果を示す。図から分かるように、比較的軽い超対称粒子の存在が予言される。

この後、LHC 実験が進み、とうとう LHCb 実験が $B_s \rightarrow mm$ 過程の証拠を発見した。その値は崩壊の分岐比にして、標準模型の予言値と無矛盾であり $3.5^{+1.5}_{-1.2} \cdot 10^{-9}$ という結果を報告している。この結果より、図 3 と比べると超対称性標準模型のこの軽いヒッグスシ

ナリオが強く制限されることが分かる。さらに超対称粒子の LHC 実験での直接探索も進み、比較的軽いストップ探索もなされているが、今のところ発見には至っていない。そのことから、このシナリオは非常に制限を受けている。

さらに LHC 実験でヒッグス粒子らしき新しい粒子の発見もなされた。さまざまな発見モードから、その粒子の相互作用の詳細がわかりつつある。今のところ、この粒子は標準模型のヒッグス粒子と無矛盾であることから、標準模型のヒッグス粒子と大きく異なる相互作用をもつ粒子に関しては、厳しい制限がつつある。この超対称性標準模型の軽いヒッグスシナリオでも文献[3][4][5][6][7]等で、LHC 実験からの制限等が議論され、このようなシナリオはやはり非常に制限されていることが明らかになった。よって、このシナリオは、現在のこれらの実験的な制限により、模型のパラメーターをチューンしなければ実現は困難な状況と言えるだろう。

このような超対称性標準模型での軽いヒッグスシナリオでの解析の経験を生かし、我々はミュオン異常磁気能率(muon g-2)の実験値と標準模型の予言値の間にずれがあるという問題を新物理で解決する可能性を解析した。現在 LHC 実験で、ヒッグス粒子らしき新粒子は見つかったが、それ以外の新しい粒子の発見には至っていない。しかし、muon g-2 に実験値と理論値にずれがあるというのは、標準模型を超える理論を探求するために非常にいいヒントかもしれない。我々は論文[8]で、muon g-2 のアノマリーを説明できる模型を考え、その電弱精密測定からの制限を解析した。その結果、まだ電弱精密測定とは無矛盾で、muon g-2 のアノマリーを説明する模型は存在することを明らかにした。Muon g-2 を説明する模型は必ずしもカラーを持った新粒子の存在を予言するわけではないので、今までの LHC 実験で新粒子の発見がなかったことは矛盾しないが、将来の LHC 実験では、このような新粒子の発見も期待できることが分かった。

[1] A. Belyaev, C.-H. Cao, D. Nomura, K. Tobe, C.-P. Yuan, Phys. Rev. Lett. 100, 061801 (2008)

[2] K. Tobe, “B Physics in MSSM Light Higgs Scenario”, Dec. 8, 2010, NCTS Taiwan.

[3] A. Belyaev, C.-H. Cao, K. Tobe, C.-P. Yuan (unpublished)

[4] J. Ke et al., arXiv:1211.2427.

[5] P. Bechtle et al., arXiv:1211.1976.

[6] M. Drees, arXiv:1210.6507.

[7] K. Hagiwara et al., arXiv:1207.0802.

[8] S. Kanemitsu and K. Tobe, Phys. Rev. D86

(2012) 095025

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 1 件)

①. S. Kanemitsu and K. Tobe, “New physics for muon anomalous magnetic moment and its electroweak precision analysis”, Phys. Rev. D86 (2012) 095025 (査読有)

[学会発表] (計 5 件)

①. K. Tobe, “B Physics in MSSM Light Higgs Scenario”, 2010 Topical Program at NCTS in Taiwan, Dec. 8, 2010, National Center for Theoretical Sciences (NCTS) Taiwan.

②. S. Kanemitsu and K. Tobe, “New physics for muon g-2 and its electroweak precision analysis”, Summer Institute 2011, August 12-18, 2011, Fuji-Yoshida.

③. 金光俊一、戸部和弘、“標準模型を超える物理からのミュオン異常磁気モーメントへの効果と、その電弱精密測定からの制限”、日本物理学会 2012 年秋季大会、2012 年 9 月 14 日、京都産業大学

④. S. Kanemitsu and K. Tobe, “New physics for muon g-2 and its electroweak precision analysis”, The 2nd International Workshop on LHC Era Physics, January 11-14, 2013, Sanya, China.

⑤. 猪狩貴史、戸部和弘、“ミュオン g-2 を説明する新物理における $h \rightarrow gg$ への影響”、日本物理学会第 62 回年次会、2013 年 3 月 26-29 日、広島大学

[図書] (計 0 件)

特になし

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

特になし

名称 :

発明者 :

権利者 :

種類 :

番号 :

出願年月日 :

国内外の別 :

○取得状況 (計 0 件)

特になし

名称 :

発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

戸部 和弘 (TOBE KAZUHIRO)
名古屋大学・理学研究科・准教授
研究者番号：20451510

(2) 研究分担者なし
()

研究者番号：

(3) 連携研究者なし
()

研究者番号：