

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 5日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2011

課題番号：20540252

研究課題名（和文）

超対称標準模型およびその拡張の現象論の研究

研究課題名（英文）

Phenomenological studies about supersymmetric standard model and its extension

研究代表者

久野 純治 (HISANO JUNJI)

名古屋大学・理学研究科・教授

研究者番号：60300670

研究成果の概要（和文）：

超対称標準模型は、素粒子標準模型を超える理論として注目されており、その発見に向けて、様々な努力がなされている。本研究では、LHC 実験、暗黒物質探索、フレーバー非保存過程探索実験などの実験の結果に対して、超対称標準模型およびその拡張された模型の観点から包括的に理論的考察を加え、現実的な素粒子模型の構築を行い、その検証の方法の検討を行った。

研究成果の概要（英文）：

The supersymmetric standard model is the most promising candidate for physics beyond the standard model in the particle physics, and various efforts are made in order to discover the model. In this work, we study implication of results of the LHC experiments, dark matter searches, and searches for flavor-changing processes comprehensively on the supersymmetric standard model and its extension,. We also construct more realistic supersymmetric models, and study the experimental tests for the models.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2009年度	700,000	210,000	910,000
2010年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：素粒子論

科研費の分科・細目：素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：素粒子模型、超対称性、大統一模型、暗黒物質

1. 研究開始当初の背景

素粒子標準模型はおよそ100GeV以下の現象を説明するのに大成功を収めている。その一方で、ヒッグスボソンの質量項からくる自然さの問題から、数100GeV

から数TeVの領域に、標準模型を超える新しい理論が存在することが期待されている。その最有力候補と考えられているのが、ボゾンとフェルミオンの対称性である超対称性を持つように拡張した、超対

称標準模型である。この模型は上記の自然さの問題を解決できることに加え、大統一模型が予言する高エネルギーでのゲージ結合定数の統一の成功、電弱相互作用の精密測定から期待される軽いヒッグス粒子の予言、陽子の安定性から導かれる安定な素粒子の存在は宇宙暗黒物質を自然に説明することなど、魅力ある模型となっている。

今日、超対称標準模型を発見すべく、LHC実験による直接探索に加え、素粒子過程の精密測定、暗黒物質探索などの宇宙観測など、様々な努力がなされている。

2. 研究の目的

平成20年から23年の4年間はLHC実験、暗黒物質探索、フレーバー非保存過程探索実験などの実験が開始され、素粒子物理学の変革期を迎える。素粒子標準模型を超える理論として超対称標準模型は有望視されており、これらの実験で発見、検証がなされることが期待されている。本研究は、それらの実験結果に包括的に理論的考察を加えることで、より現実的な超対称標準も気鋭の構築を行い、超対称性の破れの起源の解明を目指し、さらには超対称標準模型を超える理論を探る手段を検討、提案をすることを目的とする。

3. 研究の方法

LHC実験において超対称粒子のイベント候補の発見のアナウンスがあったとしても、そのイベントが本当に超対称粒子であると確定し、様々な実験、解析を経て、模型の詳細が決定されるまでには、その後相当な時間が必要である。特にLHC実験はハドロコライダーであるため、

理論のパラメータを決める精密測定には格段の解析の技術と統計を必要とするからである。また超対称粒子の質量によっては、LHC実験においてファーストイベントそのものの発見までに相当な時間を要する可能性がある。

本研究では、その各ステージ、各ステージでLHC実験、直接及び間接的な暗黒物質探索実験、陽子崩壊やフレーバー非保存探索実験といったフレーバーの物理など様々な実験、観測の包括的に理論的考察を行ない、それにより超対称性の破れの起源の解明、超対称標準模型を超える理論を探索のための提案をおこなう。さらに、観測結果をもとにした、より現実的な超対称性の破れの起源の模型、超対称標準模型を超える理論の構築を行なう。

超対称粒子がLHC実験において期間中発見できなかった場合には、他の実験結果を含めて包括的に考えることで、超対称性の破れの起源を説明する模型に制限を与え、さらに現実的な模型の構築を行ない、その検証の方法を提案する。

4. 研究成果

フレーバーの物理、暗黒物質、超対称模型の構築の観点から、以下の成果を出した。

(1) フレーバーの物理

超対称大統一模型におけるBsメソン混合におけるCPの破れとタウレプトンフレーバーの破れの事象の相関を議論し、期待されるBsメソン混合におけるCPの破れの上限を求めた。

超対称模型において超対称性の破れの項におけるフレーバーの破れは

CP の破れの起源になり、電気双極子に寄与を与える。我々は 2 ループレベルの電気双極子への寄与を系統的に評価し、広いパラメータ空間で、1 ループレベルの寄与よりも大きくなり得ることを示した。

LHC 実験において期待される電弱イーノのパラメータの決定の精度を評価し、それによりレプトンフレーバーの観測の予言がより正しくできることを示した。

MEG 実験が 08 年に開始されたが、そこで期待される結果と他の物理量との関係を超対称模型の枠組みで整理した。 $\mu \rightarrow e\gamma$ 事象におけるヒッグス伝搬の寄与を再評価し、過去の間違いを直した。

(2) 暗黒物質

Pamela 衛星や Atic 実験により電子、陽電子宇宙線異常が報告された。一つの解釈として暗黒物質起源がある。我々はその説に対して銀河中心からのニュートリノ観測、宇宙初期の元素合成から制限を与えた。

銀河中心方向からくる暗黒物質起源のニュートリノのフラックスに対する観測からくる制限から、素粒子模型に対して制限を与えるとともに、陽電子、電子宇宙線における「異常」について議論を行った。

暗黒物質直接探索 CDMS 実験における暗黒物質シグナル候補と超対称模型の関係を示した。超対称性の破れのゲージ伝播模型は有力な模型であるが暗黒物質の候補が存在しない。我々は観測可能な暗黒物質の模型を提案した。

地上での暗黒物質直接探索において、原子核と暗黒物質の弾性散乱断面積が観測される。この断面積の理論評価において、暗黒物質とクォークとの反応以外に、グルーオンとの反応を取り入れる必要がある。我々はその評価が不正確であることを見つけた。また、ウィノが暗黒物質である場合に着目し、クォークやグルーオンとの相互作用が電弱相互作用を通してのみ起こる場合におけるの散乱断面積を正確に評価した。これらの研究の結果、以前の計算よりも信頼度の高い予言を行うことが可能になった。次に、そこで得られた方法を使い、超対称模型以外の暗黒物質の候補の素粒子に当てはめ、その直接検出のための核子・暗黒物質の散乱断面積の計算を行った。その一つが、余剰次元模型が予言するベクター粒子の暗黒物質であり、もう一つが電弱相互作用をする暗黒物質である。これらの予言を将来の実験計画との比較を行った。

暗黒物質を構成する粒子が、その質量より軽い粒子を媒介して自分自身と相互作用をする場合、非相対論的極限で対消滅断面積は速度に強く依存するようになることが知られている。暗黒物質の対消滅断面積が速度依存する場合に着目し、その断面積に対して、宇宙の元素合成、宇宙背景放射の揺らぎの測定から制限を導いた。特に速度が遅くなるとともに断面積が大きくなる様な模型は、強く制限されることを示した。

LHC 実験が始まり、超対称模型など標準模型を超える理論に対して強い制限が付き始めている。一方、カラーをもった粒子と安定な中性粒子との間の質量差が小さい場合 LHC 実験では探索が困難であることが分かっている。我々はそう

いった状況において、安定な中性粒子が暗黒物質をなしていれば、地上の直接検出から強い制限が導かれることを示した。

(3) 超対称模型の構築

宇宙論的に問題を生じない16eV以下のグラビティーノを预言する、準安定真空で実現される超対称性の破れのゲージ伝搬模型において、我々の住む偽真空が熱い宇宙が冷えていく過程で自然に選ばれる可能性があることを示した。

超対称性の破れのゲージ伝搬模型の一つの問題に、ヒッグスボソンの超対称性の破れの一つ B パラメータが大きくなりすぎるという問題がある。この問題に対する一つのアイデアに超共形場をつかうものがある。我々はそのアイデアを現実的になるように模型を改良した。

$\tan\beta$ の大きさに対して真空の安定性から制限を与えた。 $\tan\beta$ が 50~60 より大きいとき、スタウの質量行列の非対角成分が大きくなり、電荷を保存している真空が不安定になってしまう。我々は電荷が保存している真空が宇宙年齢に比べ十分に安定であることを要求し、 $\tan\beta$ の大きさに対する制限を求めた。また、大きな $\tan\beta$ を预言する最小ゲージ伝播模型のパラメータに対して制限を加えた。

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 13 件)

- ① J. Hisano, M. Nagai, S. Sugiyama, and T. T. Yanagida, Upperbound on Squark Masses in

Gauge-Mediation Model with Light Gravitino, 査読有, Physics Letters, B665, 2008, 237-241,

<http://dx.doi.org/10.1016/j.physletb.2008.06.045>

- ② J. Hisano and Y. Shimizu, CP Violation in B(s) Mixing in the SUSY SU(5) GUT with Right-handed Neutrinos, Physics Letters, 査読有, B669, 2008, 301-305,

<http://dx.doi.org/10.1016/j.physletb.2008.10.011>

- ③ M. Asano, J. Hisano, T. Okada and S. Sugiyama, A Realistic Extension of Gauge-Mediated SUSY-Breaking Model with Superconformal Hidden Sector, 査読有, Physics Letters, B673, 2009, 146-151,

<http://dx.doi.org/10.1016/j.physletb.2009.02.010>,

- ④ J. Hisano, K. Nakayama, and M. J. S. Yang, Upward muon signals at neutrino detectors as a probe of dark matter properties, 査読有, Phys. Lett., B678, 2009, 101,

<http://dx.doi.org/10.1016/j.physletb.2009.06.014>

- ⑤ J. Hisano, M. Nagai, P. Paradisi, and Y. Shimizu, Waiting for $\mu \rightarrow e \gamma$ from the MEG experiment, 査読有, JHEP, 0912, 2009, 101, doi:10.1088/1126-6708/2009/12/030

- ⑥ J. Hisano, K. Nakayama, and

- M. Yamanaka, Implications of CDMS II result on Higgs sector in the MSSM, 査読有, Phys. Lett., B684, 2010, 246,
<http://dx.doi.org/10.1016/j.physletb.2010.01.027>
- ⑦ J. Hisano and S. Sugiyama, Charge-breaking constraints on left-right mixing of stau's, 査読有, Phys. Lett., B696, 2011, 92-96,
<http://dx.doi.org/10.1016/j.physletb.2010.12.013>
- ⑧ J. Hisano, K. Ishiwata, and N. Nagata, A complete calculation for direct detection of Wino dark matter, 査読有, Phys. Lett., B690, 2010, 311-315,
<http://dx.doi.org/10.1016/j.physletb.2010.05.047>
- ⑨ J. Hisano, K. Ishiwata, and N. Nagata, Gluon contribution to the dark matter direct detection, 査読有, Phys. Rev., D82, 2010, 115007,
DOI:10.1103/PhysRevD.82.115007
- ⑩ J. Hisano, K. Ishiwata, and N. Nagata, Direct Detection of Dark Matter Degenerate with Colored Particles in Mass, 査読有, Phys. Lett., B706, 2011, 208-212,
<http://dx.doi.org/10.1016/j.physletb.2011.11.017>
- ⑪ J. Hisano, K. Ishiwata, N. Nagata, and T. Takesako, Direct Detection of Electroweak-Interacting Dark Matter 査読有, JHEP, 1107, 2011, 005,
DOI: 10.1007/JHEP07(2011)005
- ⑫ J. Hisano, M. Kawasaki, K. Kohri, T. Moroi, K. Nakayama, and T. Sekiguchi, Cosmological constraints on dark matter models with velocity-dependent annihilation cross section, 査読有, Phys. Rev., D83, 2011, 123511,
DOI:10.1103/PhysRevD.83.123511
- ⑬ J. Hisano, K. Ishiwata, N. Nagata, and M. Yamanaka, Direct Detection of Vector Dark Matter, 査読有, Prog. Theor. Phys., 126, 2011, 435-456,
DOI : 10.1143/PTP.126.435
- [学会発表] (計4件)
- ① J. Hisano, Electric Dipole Moments and Physics beyond the Standard Model, 日本物理学会, 2009/10/13, ハワイ
- ② 久野純治, 暗黒物質とTeVの素粒子物理, 宇宙線研究所共同利用研究会「マルチメッセンジャー宇宙物理学とCTA」(招待講演), 2011年9月29日, 東京大学
- ③ 久野純治, 暗黒物質は未知の素粒子か?, 第11回高宇連研究会「多波長で探る高エネルギー現象」(招待講演), 2011年8月11日, 早稲田大学
- ④ 久野純治, レプトンフレーバーと双極子モーメントの物理, 物理学会(招待講演), 2011年9月18日, 弘前大学
- [図書] (計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況（計0件）

○取得状況（計0件）

6. 研究組織

(1) 研究代表者

久野純治 (HISANO JUNJI)

名古屋大学・理学研究科・教授

研究者番号：60300670