

2. 【現在までの研究状況】(図表を含めてもよいので、わかりやすく記述してください。様式の変更・追加は不可(以下同様))
- ① これまでの研究の背景、問題点、解決策、研究目的、研究方法、特色と独創的な点について当該分野の重要文献を挙げて記述してください。
- ② 申請者のこれまでの研究経過及び得られた結果について整理し、①で記載したことと関連づけて説明してください。その際、博士課程在学中の研究内容が分かるように記載してください。申請内容ファイルの「4. 【研究成果】」欄に記載した論文、学会発表等を引用する場合には、同欄の番号を記載するとともに、申請者が担当した部分を明らかにして記述してください。

これまでの研究の背景、問題点、解決策

【背景】2012年に世界最大の加速器施設であるLHCがHiggs粒子を発見したことで[1]、素粒子の標準模型が预言する粒子全ての存在が確認された。一方で、標準模型の枠内では説明が出来ない現象は未だ多数残されており、宇宙の大半を占める**暗黒物質の正体**はその代表例である。こうした状況を受けて、素粒子の加速器実験は引き続き様々な角度から新物理の兆候を探しているが、その中で最も重要な視点の一つが、**電弱相互作用を持つ新粒子の探索**である。

この視点が重要である理由として、電弱相互作用を持つ暗黒物質の候補が多く存在し、なおかつその質量として現在の加速器実験のエネルギースケールに近いテラスケールの値が预言されることが挙げられる。このような新粒子は現在の宇宙の暗黒物質残存量を正しく説明できる上[2]、理論的に興味深い種々の新物理模型とも相性が良いため、様々な研究に登場する。また、実験技術の向上により、非常にエネルギーの高い領域で電弱相互作用の検証が可能になったことも理由の一つである。このような領域での電弱相互作用の振る舞いは未だ十分に理解されてはおらず、精密測定により電弱相互作用を持つ新粒子の兆候が見られる可能性が存分に残されている。さらに、加速器実験でHiggsの質量が測定されたことにより、標準模型の真空は準安定に過ぎないことが明らかとなったが[3]、電弱相互作用を持つ新粒子はこういった**電弱真空の安定性**へ影響を与えるため、慎重に考慮する必要がある。以上に挙げたような理由から、現在の実験状況や理論的根拠を鑑みて、電弱相互作用を持つ新粒子を研究することは素粒子物理の非常に重要な課題であると言える。

【問題点】問題点は**電弱相互作用を持つ新粒子や新物理模型への制限が未だ不十分**なことである。これは主に、電弱相互作用が非常に弱い相互作用であり、実験での観測が容易でないことに起因する。そのため実験データを解釈する上で、素粒子理論の知識を用いてアプローチを工夫し、小さな新粒子の信号を抜き出す手法を確立する必要がある。

【解決策】高いエネルギー領域における電弱相互作用の振る舞いやそれに関わる新物理のダイナミクスを明らかにする上で、こういった領域に直接到達可能な粒子加速器による実験を用いることは重要である。特にここでは、(1a)特徴的な信号を用いた新物理探索、および(1b)標準模型の過程の精密測定といったアプローチでこの問題に取り組む。また、加速器実験のデータを元に(2)理論的な考察から新物理の模型を制限すること、電弱相互作用を持つ新粒子の理解を深める上で有用である。次の項目で、(1a)(1b)(2)それぞれのアプローチについてより具体的に説明する。

研究目的、方法 (詳細は「これまでの研究結果」も参照)

全体の研究目的は、電弱相互作用を持つ種々の新粒子に対して、粒子加速器を用いてそれらを発見し、あるいはその性質を決定することである。申請者はこれまで、将来の運営が計画されている【A】100 TeV 粒子加速器を用いた新物理の探索、および【B】LHC による Higgs 発見が種々の新粒子に与える制限に着目し、上記の問題に取り組んだ。以下に、それぞれの研究の目的、および方法について具体的に述べる。

■【A】100 TeV 粒子加速器を用いた新物理の探索 (解決策の(1a)(1b)に対応)

【背景】陽子を加速して衝突させる100 TeV 粒子加速器の実験では、陽子の構成要素であるクォーク間に働く強い相互作用に起因する背景事象が、観測される事象の圧倒的多数を占めることが予想される。この背景事象の中から新物理の弱い相互作用に起因する効果を抜き出すためには、実験手法を工夫する必要がある。

【目的、方法】目的は、電弱相互作用を持つ新粒子の検出に高い感度を持つ実験手法を精査し、その手法により新物理の構造がどの程度まで明らかになるかを調べることである。以下に、ここで用いた二つの手法(a)(b)を具体的に説明する。(a)電気的に中性でない長寿命粒子が存在すると、これが検出器内をある程度の距離飛んでから崩壊することで、**消失飛跡**と呼ばれる特徴的な信号を残す。これを用いることで、背景事象の数を減らし長寿命粒子への感度を高められる[4]。ここでは特に、超対称模型の一種であるアノマリー伝搬模型(以下 AMSB 模型と表記)に着目する。AMSB 模型では、最も軽い新粒子である Wino の荷電成分が長寿命であり、この手法を用いて解析するのに適している。(b)電弱相互作用の電荷を持つ重い粒子が存在すると、量子補正の形でレプトン対生成過程に影響を与えるが、そ

(現在までの研究状況の続き)

の際のイベント数への効果はレプトン不変質量の関数として**特徴的なピークを持つ**ことが知られている [5]。このようなピーク構造のおかげで、レプトン対生成過程の精密測定を行い、理論的に得られる関数形を用いてデータをフィットすることで、膨大な背景事象から新粒子の情報を抜き出すことが出来る。(a)(b) いずれの手法についても、粒子の衝突、崩壊、検出過程をシミュレートし、得られたイベント数を統計的に解釈することで、新物理の検出能力を調べる。

■【B】 LHC による Higgs 発見が種々の新粒子に与える制限 (解決方策の (2) に対応)

【背景】 LHC において Higgs が発見され、その質量や結合の強さなども高精度で測定されている。これらの性質を元に理論的考察を行うことで、電弱相互作用の構造に関する情報が得られると期待される。

【目的、方法】 目的は、実験で測定された Higgs の性質との整合性から、素粒子模型に制限を与えることである。特に Higgs 質量が決まると、模型の電弱真空の安定性を議論することが可能となり、これを通して模型への制限を得ることを考える。具体的には、調べる模型に対して Higgs の自己相互作用定数に関するくりこみ群方程式を解き、得られた解を用いて真空崩壊率を評価し、真空の寿命と宇宙の年齢の大小を比較することで、模型の妥当性を議論する。

これまでの研究結果

以下これまでの研究成果をアプローチ毎にまとめる。[4. 研究業績-(1)-3,4,7,8] および [4. 研究業績-(6)-2] の全ての研究が博士課程で行ったものである。全ての研究で申請者が中心となって解析を行った。

■【ia】 消失飛跡を用いた新物理の探索 (上記【A】 手法 (a) に対応)

AMSB 模型に着目し、暗黒物質の有力候補である Wino の検出可能性を調べた。消失飛跡の信号を用いた結果として標準模型の背景事象はほぼ存在せず、暗黒物質残存量を自然に説明するとして期待される質量の Wino を検出する能力があることを明らかにした。また Wino 飛跡の速度の情報を用いることで、Wino の質量測定が可能であることを示した。さらに Bino や gluino と呼ばれる他の新粒子が崩壊して Wino を作る過程を考えることで、これらの質量も同時に決定できることを示した。測定された質量を用いた理論的考察から、AMSB 模型のその他のパラメータに関する制限が得られることを明らかにした [4-(1)-8]。

■【ib】 レプトン対生成過程の精密測定を用いた新物理の探索 (上記【A】 手法 (b) に対応)

超対称模型に含まれる Higgsino を始めとして、暗黒物質の残存量を正しく説明できる、電弱相互作用を持った新粒子の検出可能性を調べた。消失飛跡などの手法では観測しづらい短寿命 Higgsino にこの手法が特に有効で、現在提案されている実験手法の中で最も良い検出能力を与えることを示した [4-(1)-7]。また新物理のイベント数への寄与を持つピークの位置や高さから、新物理の質量や電荷、スピンなどの性質を抜き出せることを示した [4-(6)-2]。

■【ii】 電弱真空の安定性から導かれる素粒子模型への制限 (上記【B】 に対応)

標準模型と同様、一つのスカラー場が電弱相転移を引き起こす模型に対し、真空崩壊率を従来より精密に計算するための定式化を与えた。標準模型の場合に Higgs 自己相互作用定数のくりこみ群方程式を解いて真空崩壊率を計算し、電弱真空の準安定性を再導出した [4-(1)-3]。さらに Higgs と結合する新粒子が存在する模型で同様の解析を行い、新粒子の質量と結合定数に対して制限を与えた [4-(1)-4]。

特色と独創的な点 (上記【A】【B】 それぞれについて記述)

【A】 新物理の信号の特徴を用いることで、背景事象の数を減らす、あるいは系統誤差の影響をフィットにより吸収する可能性を指摘した点が特色である。また、これらの手法を新物理の性質の決定にまで応用した文献は少なく、この点が独創的だと言える。

【B】 標準模型等の電弱真空の寿命の計算における論理的なギャップを埋め、精密計算を可能にした点が特色である。これを用いて Higgs に結合する新粒子が真空の寿命に与える影響を計算したのは申請者の研究が初めてであり、この点で独創的である。また、本研究は Particle Data Group の編纂する素粒子物理のレビュー論文 [6] に引用されており、当該結果が現代素粒子物理学の基礎となるようなものであることを示している。

参考文献 : [1] ATLAS collaboration, Phys. Lett. **B716** (2012) 1; CMS collaboration, Phys. Lett. **B716** (2012) 30. [2] As a recent review, see L. Roszkowski, *et al.*, Rept. Prog. Phys. **81** (2018) 066201. [3] G. Degrandi, *et al.*, JHEP 1208 (2012) 098. [4] S. Masahiko, *et al.*, arXiv: 1901.02987 (2019). [5] See for example H. Keisuke, *et al.*, JHEP 1509 (2015) 105. [6] M. Tanabashi, *et al.*, Phys. Rev. **D98** (2018) 030001.

3. 【これからの研究計画】

(1) 研究の背景

2. で述べた研究状況を踏まえ、これからの研究計画の背景、問題点、解決すべき点、着想に至った経緯等について参考文献を挙げて記入してください。

これからの研究計画の背景

Higgs の発見により、素粒子標準模型は一応の完成を見た。一方で標準模型で説明しきれない現象は数多く残されており、それらを説明するために様々な角度から新物理の探索が続けられている。中でも、非常に高いエネルギー領域における電弱相互作用の検証を通じて、電弱相互作用を持つ新粒子の兆候を探索することは、近年の実験技術の向上を鑑みて非常に意義深い。同時に、宇宙に存在する暗黒物質の残存量を正しく説明する模型の多くで、電弱相互作用を持った新粒子がテラスケールに予言されることや、標準模型の電弱真空は準安定にすぎず、新物理が真空の安定性に与える効果が無視できないことなどから、電弱相互作用を持つ新粒子の研究は理論的な側面からも重要な課題である。

問題点と解決すべき点、着想に至った経緯等

電弱相互作用を持つ新粒子への制限が未だ不十分な点が問題である。申請者の先行研究を含め、電弱相互作用を持つ新粒子をどのように検出するかという議論は近年盛り上がりつつあるが、その性質の決定も含め新物理模型を完全に理解できる手法は未だ少ない。また精密な寿命計算を元にした電弱真空の安定性の議論は、申請者の先行研究を含めても未だ数が限られており [3,7]、あらゆる模型で計算が可能な手法は存在しないのが実情である。

現在も LHC は稼働を続けており、さらに将来実験として 100 TeV 粒子加速器、ILC、CLIC などの加速器実験の計画が進められている中、これらのデータをどのように活用すれば新物理模型に対する最大限の知見を得られるかが試されている。申請者はこういった現状を鑑みた結果、実験データの解析を工夫し、同時にそこへ理論的解釈を加えることで、電弱相互作用を持つ新粒子の理解を深めるという研究方針を着想するに至った。

参考文献：[7] M. Endo, *et al.*, JHEP 1711 (2017) 074; A. Andreassen, *et al.*, Phys. Rev. **D97** (2018) 056006.

(2) 研究目的・内容（図表を含めてもよいので、わかりやすく記述してください）

- ① 研究目的、研究方法、研究内容について記述してください。
- ② どのような計画で、何を、どこまで明らかにしようとするのか、具体的に記入してください。
- ③ 共同研究の場合には、申請者が担当する部分を明らかにしてください。
- ④ 研究計画の期間中に異なった研究機関（外国の研究機関等を含む）において研究に従事することを予定している場合はその旨を記載してください。

全体の研究目的

粒子加速器を用いて電弱相互作用を持つ新粒子を探索し、その性質を調べることを通じて、新物理模型への制限を与え、模型の妥当性を検証することが研究の目的である。新粒子に対する感度を上げる工夫として、まず「I. 消失飛跡を用いた新物理の性質の調査」に着目する。同時に「II. 標準模型の精密測定を用いた新物理の探索」についても議論する。また「III. 電弱真空の安定性から導かれるより一般の素粒子模型への制限」の研究も行う。

具体的な研究目的と方法、内容

■ I. 消失飛跡を用いた新物理の性質の調査

◆ 研究目的、方法

100 TeV 粒子加速器における消失飛跡の信号を用いることで、AMSB 模型に加え、その背後にある超対称性の破れのメカニズムや、統一模型などの物理模型の正当性を検証することが目的である。現在までの研究で一部の新粒子の質量の測定法を与えたが、それに加えて荷電 Wino の寿命や、gluino から Bino もしくは Wino への崩壊の分岐比に着目

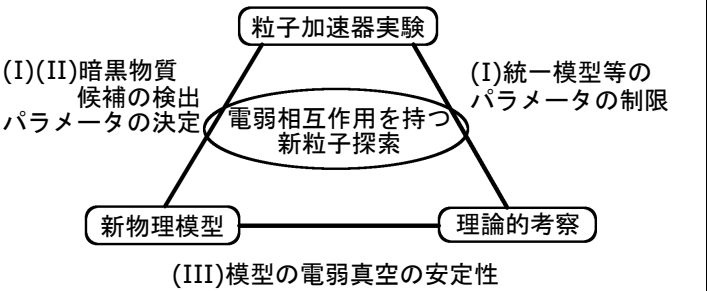


図 1 本研究の全体像

し、模型についてさらなる情報を引き出すことを目指す。

I-i. 長寿命粒子の寿命測定

【背景】荷電 Wino の寿命は質量の関数として詳細に計算されている。一方、加速器実験における消失飛跡の信号は、一般には長寿命新粒子の存在を示すのみであり、それを Wino と同一視するためには寿命の情報が必要となる。得られた質量と寿命とを比較することで、AMSB 模型の検証が可能となる。

【内容】シミュレーションで生成された各荷電 Wino に対し、ある寿命の値に対応する確率分布から飛距離を計算し、実験のセットアップと比較することで、何層の検出器を通過したかを調べる。これを仮想的に実験データとみなし、寿命の関数としてのイベント数の期待値と比較することで、寿命がどの程度の精度で決定されるかを調べる。質量や寿命の測定誤差を考慮に入れて測定値を理論曲線と比較し、どの程度まで模型の予言が検証できるか確かめる。

I-ii. gluino 崩壊分岐比の測定

【背景】gluino から Bino、あるいは Wino への崩壊の分岐比は、より重いクォークの超対称パートナーの質量比によって決定される。そのため、実験から分岐比を決めることで、実験の到達範囲を越えたエネルギースケールの物理のヒントを得ることができる。この結果は、AMSB 模型の背後にある物理模型の検証に役立つ。

【内容】実験で gluino が生成された場合の最終的な信号は、Wino および何本かの高エネルギージェットで特徴付けられる。gluino の崩壊先の違いは高エネルギージェットの本数の違いで観測が可能だが、その他にも過程の途中で多数の低エネルギージェットがビーム軸の方向を中心に放出されていると予想されるため、ジェットの運動量の大きさ、方向に対するカットを工夫し、最も正確に分岐比を再構成できるカットの条件を調べる。

◆ 展望

ここで決定された新物理の性質を元に理論的考察を行うことで、超対称性の破れのメカニズムや、大統一理論などの統一模型との整合性を考察することが可能となる。また、研究 I-ii. のようなイベントの分類は、教師あり機械学習が得意とする作業であり、これを用いた解析の改善も視野に入れている。こういった機械学習の手法は電弱相互作用を持つ新粒子の研究のみならず、粒子加速器実験の解析一般に応用が可能である。

■ II. 標準模型の精密測定を用いた新物理の探索

◆ 研究目的、方法

Higgsino を始めとする電弱相互作用を持つ暗黒物質候補の検出が目的である。現在までの研究で短寿命 Higgsino に有効な検出法を与えたが、暗黒物質の残存量から示唆される質量を考えると、検出能力は未だ不十分である。そこでこの手法の検出能力を引き上げるため、新たな標準模型過程を解析に加える。また、新粒子の質量が大きい場合にも適用できる手法として、有効理論を用いた解析を行い、様々な将来実験の検出能力の計算に適用する。

II-i. 電弱ゲージボソンの対生成過程を用いた新物理の探索

【背景】電弱相互作用を持つ新粒子は量子補正を通じて電弱ゲージボソンの対生成過程に影響を与えるため、これを用いて現在までの解析の検出能力を引き上げることができる。一方、実験で実際に観測されるものは電弱ゲージボソンが崩壊した後の粒子であるため、ゲージボソンの同定は容易でない。この解析では非常に高エネルギーな終状態ゲージボソンが重要な役割を果たすが、その崩壊先はおおよそ同方向の運動量を持った複数の粒子であり、全体として一つの太いジェットを構成する場合がある。このようなジェットはゲージボソンの同定に用いることができる。

【内容】電弱相互作用を持つ新粒子が過程に与える影響をループ計算により求め、電弱ゲージボソン不変質量の関数としてどのような形を取るかを調べる。ジェットを定義する太さのパラメータを変えながら、太いジェットの解析でゲージボソンがどの程度同定できるかを調査する。対生成されたゲージボソンの崩壊モード毎に、新粒子の存在にどの程度感度があるかを調べた上で、レプトン対生成を用いた結果と全てを結合させ、最終的な検出能力を明らかにする。

II-ii. 有効理論を用いた解析

【背景】ILC や CLIC に代表される、レプトン加速器の実験計画が数多く存在する。これらは背景事象が比較적으로少なくクリーンな代わりに、衝突エネルギーが低い傾向にある。このような場合の解析は、新物理の効果を積分して得られる低エネルギー有効理論を用いて統一的に行うことができる。

【内容】レプトン対生成やゲージボソン対生成を含めた、精密測定が可能なプロセスに対し、寄与が大きい演算子を同定する。精密測定では多種の系統誤差が寄与するので、それらの大きさにも注意を払いつつ、重要な演算子の係数にどの程度の制限がつくかを調べる。最後に Higgsino 等個々の模型に立ち戻り、新粒子を積分して演算子の係数を決めるための関係式を導くことで、有効理論への制限を模型の制限へと焼き直す。

◆ 展望

本研究の手法は、標準模型と結合するあらゆる新物理の検出に応用可能である。特に新粒子が短寿命、あるいは結合が弱いなどの理由で直接検出が難しい場合に、この手法が効果を発揮する。また、現在稼働中の LHC 等の実験がイベント数の増加に伴い何らかのアノマリーを発見する可能性は大いにあり、有効理論による解析結果があればそれらを各模型に関する予言へ言い換えることが可能である。これらの結果は、本研究に適宜反映させる予定である。

■ III. 電弱真空の安定性から導かれるより一般の素粒子模型への制限

◆ 研究目的、方法

目的は超対称模型等、電弱対称性の破れを複数のスカラー場が担う模型に対し、真空の安定性を保証する条件を導き、そこから模型への制限を与えることである。特に研究 I. の結果と組み合わせ、AMSB 模型と思しき新物理が示唆された場合にその性質に一貫性があるかを確認し、模型に対するさらなる制限を得ることを考える。

◆ 研究内容

まず超対称模型に着目する。崩壊率の計算に必要な関数が、運動方程式の非自明な解として与えられる。経路積分を評価することにより、この関数を用いて真空の崩壊率を与える表式を得る。この計算手法は、電弱対称性の破れの構造がより複雑な別種の模型に対しても応用が可能であると考えられる。

(3) 研究の特色・独創的な点

次の項目について記載してください。

- ① これまでの先行研究等があれば、それらと比較して、本研究の特色、着眼点、独創的な点
- ② 国内外の関連する研究の中での当該研究の位置づけ、意義
- ③ 本研究が完成したとき予想されるインパクト及び将来の見通し

研究全体の特色は、実験の現状を鑑みて今後の発展が予測される電弱相互作用を持つ新粒子の探索という着眼点を通して、種々の素粒子模型における新粒子の発見法や、パラメータ決定を通じた模型の検証法を与えることである。

■ 特色、独創的な点 (以下スペースの都合上、[3-(2) 研究目的・内容] の【I】【II】について具体的に記述する。)

【I】消失飛跡を用いて新粒子を発見するに留まらず、その性質を測定し、それを用いてより本質的な模型のパラメータに制限を与える点が独創的である。

【II】ゲージボソンの崩壊先を太いジェットとしてとらえる手法は、エネルギースケールが高い実験で初めて重要性を帯びるものであり、これを活用して解析を行う点が独創的である。またここでの系統誤差の取り扱い方は、あらゆる過程や実験セットアップに応用が可能であるという特色を持つ。

■ 位置付け、意義

【I】実験結果を元に理論的考察によって得られる模型への制限は、実験の到達可能エネルギーよりも遥かに高いエネルギー領域にも言及するという点で意義が大きい。この種の制限を模型に課すことのできる研究は未だ数が限られており、こうした加速器実験と理論的考察を組み合わせる研究の方向性は発展させていくべきであると考えられる。

【II】加速器実験を用いた標準模型の過程への量子補正の探索は、十分に研究されているとは言えず、その点で先駆的な研究と言える。一方でこれは上述の通り応用の広い研究手法であり、手法を確立することに大きな意義がある。

■ インパクトおよび将来の見通し

【I】得られた制限を用いて統一模型等より根源的な模型の検証を行うことができ、それによりいずれかの模型が特に好まれるか、あるいは排除された場合のインパクトは計り知れない。

【II】現行の実験や将来実験が稼働する中で、我々の研究結果を用いて新物理に対する制限を強めていくことができる。また、確立した手法を別の過程にも応用することで、各実験ごと最適な解析を行い、実験から素粒子模型の情報を最大限引き出すことが可能となる。本研究はこのような将来の発展のための基礎となる。

(4) 年次計画

申請時点から採用までの準備状況を踏まえ、1～3年目について年次毎に記載してください。元の枠に収まっていれば、年次毎の配分は変更して構いません。

(申請時点から採用までの準備)

I. 消失飛跡を用いた新物理の性質の調査

AMSB 模型における荷電 Wino の寿命と質量の関係式や、gluino 崩壊分岐比の計算を行う。またこれにより決まるパラメータと統一模型等のパラメータの間の関係を、先行研究から理解する。これらの知識は、実験の結果を用いて模型を制限する段階で必要となる。

II. 標準模型の精密測定を用いた新物理の探索

LHC の解析を参考にして伝統的な終状態ゲージボソンの同定法を理解し、シミュレーションの結果を用いて太いジェットを用いる手法と比較する。ここから、同定の効率を最大化するために用いるべき手法や条件を求める。

(1年目)

I. 消失飛跡を用いた新物理の性質の調査

研究内容の **I-i.** に対応する。シミュレーションで生成された各荷電 Wino に対し、飛距離をある確率分布に従う量として計算したものを、仮想的に実験データとして解析を行う。得られたイベント数を理論値と比較することで寿命の測定誤差を決定し、質量の測定誤差と考え合わせることで、模型の予言がどの程度まで検証されるかを調べる。

II. 標準模型の精密測定を用いた新物理の探索

研究内容の **II-i.** に対応する。電弱ゲージボソンの対生成過程に対して電弱相互作用を持つ新粒子が与える影響を、ループダイアグラムを評価することで計算する。太いジェットを用いた解析で終状態ゲージボソンを同定し、得られたイベント数のセットを実験データとして解析を行う。フィットを用いる手法でデータから新粒子の影響を読み取り、統計処理を行うことで新粒子の検出能力を計算する。

(2年目)

I. 消失飛跡を用いた新物理の性質の調査

研究内容の **I-ii.** に対応する。gluino の崩壊モードを観測されたジェットの本数を用いて区別するために、適切なジェットの運動量カットを調べる。最適なカットが gluino 質量を変化させた場合にどう振る舞うかを調べる。得られた崩壊分岐比の決定誤差を模型内の重い新粒子の質量に対する条件に変換し、これを用いて模型に対する制限を得る。

II. 標準模型の精密測定を用いた新物理の探索

研究内容の **II-ii.** に対応する。レプトンやゲージボソンの対生成過程に対して電弱相互作用を持つ新粒子が与える影響に着目し、影響の大きさの見積もりに重要な演算子を同定する。重い新粒子を積分して、新粒子の質量や電荷と演算子の係数との関係式を計算する。各演算子が実験のイベント数に与える影響をシミュレーションから見積もり、演算子の係数に対する制限を得る。これを前述の関係式と比較し、新粒子の性質がどの程度まで制限されるかを議論する。

III. 電弱真空の安定性から導かれるより一般の素粒子模型への制限

研究内容の **III.** に対応する。最小超対称模型に着目し、運動方程式の非自明な解を計算する。この解の周辺の量子ゆらぎを経路積分を用いて足し上げることで、この模型に対する真空の崩壊率の表式を得る。研究 **I.** で得られた模型パラメータの決定能力と組み合わせることで、模型の一貫性から模型に与えられる制限を議論する。

(3年目)

I. 消失飛跡を用いた新物理の性質の調査

研究内容の **I-将来の展望** に対応する。教師有り機械学習を用いたイベントの分類のためのコードを用いて、gluino の崩壊モードを同定する。得られた結果を精査し、崩壊モードの同定に無関係な低エネルギージェットがどう処理されているかを読みとる。前年度までの研究成果と比較することで、どのような解析が結果の改善に役立つかを議論する。

III. 電弱真空の安定性から導かれるより一般の素粒子模型への制限

引き続き研究内容の **III.** に対応する。前年度までの計算を応用して、最小超対称模型に限らず、二つ以上のスカラール場が複雑な電弱対称性の破れを引き起こす模型に対し、電弱真空の崩壊率の計算を行う。

◆ 研究成果は逐次国内外の研究会で発表する。 ◆ 本研究中に発表される実験の結果は適宜内容に反映させる。

(5) 受入研究室の選定理由

- 採用後の受入研究室を選定した理由について、次の項目を含めて記載してください。
- ① 受入研究室を知ることとなったきっかけ、及び、採用後の研究実施についての打合せ状況
 - ② 申請の研究課題を遂行するうえで、当該受入研究室で研究することのメリット、新たな発展・展開
- ※ 個人的に行う研究で、指導的研究者を中心とするグループが想定されない分野では、「研究室」を「研究者」と読み替えて記載してください。

■ 知るきっかけ、打ち合わせ状況

受入研究者である遠藤氏は超対称模型や暗黒物質、有効理論を用いた精密計算など、幅広い分野に渡って精力的に研究を行なっている研究者である。同時に遠藤氏は、近年における電弱真空崩壊率の精密計算の第一人者でもある。申請者が研究を行う際、これらの研究を参考としたことが、知るきっかけである。また申請者は KEK で自身の研究に関するセミナーを行い、その際遠藤氏と申請者の研究内容について議論した。加えて、その他研究会等においても遠藤氏との議論の経験があるため、共同研究は支障なく行えると考えられる。

■ メリット、新たな発展・展開

上記の通り遠藤氏は超対称模型や暗黒物質、有効理論による計算、電弱真空崩壊率の計算などに関して幅広い知識を持っている。そのため、研究課題 I、II で新粒子探索から得られる模型への制限を考える際、議論を通じて知識を共有し、研究をより洗練することが可能であると考えられる。また、研究課題 III のような種々の模型における真空崩壊率の精密計算を行う際、その計算手法を確立した遠藤氏と議論しつつ研究を進められることは、申請者にとってのメリットである。加えて受入研究機関の KEK には、宇宙論や量子場のダイナミクス等、様々な分野に精通する優れた研究者が複数在籍している。彼らとの議論を通じ、新たな視点を手に入れることで、上記の計画以上の新たな発展も期待できる。

(6) 人権の保護及び法令等の遵守への対応

本欄には、研究計画を遂行するにあたって、相手方の同意・協力を必要とする研究、個人情報の取り扱いの配慮を必要とする研究、生命倫理・安全対策に対する取組を必要とする研究など法令等に基づく手続きが必要な研究が含まれている場合に、どのような対策と措置を講じるのか記述してください。例えば、個人情報を伴うアンケート調査・インタビュー調査、国内外の文化遺産の調査等、提供を受けた試料の使用、侵襲性を伴う研究、ヒト遺伝子解析研究、遺伝子組換え実験、動物実験など、研究機関内外の情報委員会や倫理委員会等における承認手続きが必要となる調査・研究・実験などが対象となりますので手続きの状況も具体的に記述してください。

なお、該当しない場合には、その旨記述してください。

該当しない。

申請者登録名 千草颯

4. 【研究成果】（下記の項目について申請者が中心的な役割を果たしたもののみ項目に区分して記載してください。その際、通し番号を付すこととし、該当がない項目は「なし」と記載してください。申請者にアンダーラインを付してください。論文数・学会発表等の回数が多くて記載しきれない場合には、主要なものを抜粋し、各項目の最後に「他〇報」等と記載してください。査読中・投稿中のものは除く）

(1) 学術雑誌等（紀要・論文集等も含む）に発表した論文、著書（査読の有無を区分して記載してください。査読のある場合、印刷済及び採録決定済のものに限ります。）

著者（申請者を含む全員の氏名（最大 20 名程度）を、論文と同一の順番で記載してください）、題名、掲載誌名、発行所、巻号、pp 開始頁－最終頁、発行年をこの順で記入してください。

(2) 学術雑誌等又は商業誌における解説、総説

(3) 国際会議における発表（口頭・ポスターの別、査読の有無を区分して記載してください）

著者（申請者を含む全員の氏名（最大 20 名程度）を、論文等と同一の順番で記載してください）、題名、発表した学会名、論文等の番号、場所、月・年を記載してください。発表者に〇印を付してください。（発表予定のものは除く。ただし、発表申し込みが受理されたものは記載しても構いません。）

(4) 国内学会・シンポジウム等における発表

(3)と同様に記載してください。

(5) 特許等（申請中、公開中、取得を明記してください。ただし、申請中のもので詳細を記述できない場合は概要のみの記述で構いません。）

(6) その他（受賞歴等）

<div><p>(1) 学術雑誌 (紀要・論文集等も含む) に発表した論文及び著書</p><p>(査読有り)</p><div><div>1. <u>S. Chigusa</u> and T. Moroi, “Bottom-tau unification in a supersymmetric model with anomaly-mediation,” Phys. Rev. D 94 (2016) no.3, 035016</div><div>2. <u>S. Chigusa</u> and T. Moroi, “Bottom-Tau Unification in Supersymmetric SU(5) Models with Extra Matters,” PTEP 2017 (2017) no.6, 063B05</div><div>3. <u>S. Chigusa</u>, T. Moroi and Y. Shoji, “State-of-the-Art Calculation of the Decay Rate of Electroweak Vacuum in the Standard Model,” Phys. Rev. Lett. 119 (2017) no.21, 211801</div><div>4. <u>S. Chigusa</u>, T. Moroi and Y. Shoji, “Decay Rate of Electroweak Vacuum in the Standard Model and Beyond,” Phys. Rev. D 97 (2018) no.11, 116012</div><div>5. <u>S. Chigusa</u> and K. Nakayama, “Anomalous Discrete Flavor Symmetry and Domain Wall Problem,” Phys. Lett. B 788 (2019) 249</div><div>6. <u>S. Chigusa</u>, S. Kasuya and K. Nakayama, “Flavon Stabilization in Models with Discrete Flavor Symmetry,” Phys. Lett. B 788 (2019) 494</div><div>7. <u>S. Chigusa</u>, Y. Ema and T. Moroi, “Probing electroweakly interacting massive particles with DrellYan process at 100 TeV hadron colliders,” Phys. Lett. B 789 (2019) 106</div><div>8. S. Asai, <u>S. Chigusa</u>, T. Kaji, T. Moroi, M. Saito, R. Sawada, J. Tanaka, K. Terashi and K. Uno, “Studying gaugino masses in supersymmetric model at future 100 TeV <i>pp</i> collider,” (♣ Biblio?? ♣)</div></div><p>(査読なし)</p><p>なし</p><p>(2) 学術雑誌等又は商業誌における解説・総説</p><p>なし</p><p>(3) 国際会議における発表</p><p>(口頭、査読有り)</p><div><div>1. <u>S. Chigusa</u>° and T. Moroi, “Bottom-Tau unification in Supersymmetric Model with Anomaly-Mediation”, SUSY 2016, The University of Melbourne (Australia), 2016 年 7 月</div><div>2. <u>S. Chigusa</u>° and T. Moroi, “Bottom-Tau Unification in Supersymmetric Models”, New Physics Forum, IPMU, 2017 年 2 月</div></div></div>

(研究成果の続き)

3. S. Chigusa^o, T. Moroi and Y. Shoji, “Decay Rate of the Electroweak Vacuum in the Standard Model and Beyond”, Planck 2018, University of Bonn (Germany), 2018 年 5 月
4. S. Chigusa^o and K. Nakayama, “Flavon Stabilization in Models with Discrete Flavor Symmetry”, KEK-PH 2018 winter KEK, 2018 年 12 月

(ポスター、査読有り)

5. S. Chigusa^o and T. Moroi, “Bottom Tau Unification in Supersymmetric Models”, Les Houches Summer School 2017, Les Houches School of Physics (France), 2017 年 7 月
6. S. Chigusa^o, T. Moroi and Y. Shoji, “Decay Rate of the Electroweak Vacuum in the Standard Model and Beyond”, Cargese 2018 International Summer School, Scientific Institute of Cargese (France), 2018 年 7 月
7. S. Chigusa^o, Y. Ema and T. Moroi “Probing Electroweakly Interacting Massive Particles with Precision Measurements at 100 TeV Hadron Colliders”, Higgs as a Probe of New Physics 2019, Osaka University, 2019 年 2 月

(4) 国内学会・シンポジウムにおける発表（口頭、査読有り）

1. S. Chigusa^o and T. Moroi, “Bottom-Tau unification in Supersymmetric Model with Anomaly-Mediation”, 日本物理学会秋季大会, 宮崎大学, 2016 年 9 月
2. S. Chigusa^o, T. Moroi and Y. Shoji, “Zero Mode Problem in the Calculation of Decay Rate of the SM Electroweak vacuum”, 日本物理学会秋季大会, 信州大学, 2018 年 9 月

(ポスター、査読有り)

3. S. Chigusa^o and T. Moroi, “Bottom Tau Unification in Supersymmetric Models”, 素粒子物理学の進展 2017, 京都大学, 2017 年 8 月
4. S. Chigusa^o, Y. Ema and T. Moroi “Indirect Search of WIMP Dark Matter at Future 100 TeV Collider”, 素粒子物理学の進展 2018, 京都大学, 2018 年 8 月

(5) 特許等

なし

(6) その他

(受賞歴)

1. 国際会議 “Higgs as a Probe of New Physics 2019” において、the Best Poster Award 受賞（発表 4-(3)-7 に基づく）

(arXiv 投稿済、査読中)

2. T. Abe, S. Chigusa, Y. Ema and T. Moroi “ ” (♣ Preprint?? ♣)

(対外講演)

3. 名古屋大学 (2018/10/16)、北海道大学 (2019/1/11)、KEK (2019/4/9) で自身の研究内容に関するセミナーを行った。また、フロリダ州立大学 (2019/5/10)、フロリダ大学 (2019/5/16) でもセミナーを行う予定である。

(その他)

4. 学術振興会特別研究員 DC1 に採択：2017 年 4 月–2020 年 3 月
5. 東京大学数物フロンティア・リーディング大学院 (FMSP) のコース生に採択：2015 年 10 月–2020 年 3 月