

平成23年5月26日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2009

課題番号：19540270

研究課題名（和文）

宇宙の物質数生成機構と超対称性の破れの研究

研究課題名（英文）

Generation of Universe Baryon Asymmetry and Breaking of Supersymmetry

研究代表者

柳田 勉 (YANAGIDA TSUTOMU)

東京大学・数物連携宇宙研究機構・特任教授

研究者番号：10125677

研究成果の概要（和文）：本研究課題の目的は宇宙の物質数を説明するレプトジェネシス機構と無矛盾な超対称性の破れのモデルを構築することである。そのモデルの候補にグラビティーノの質量が 16 eV 以下のモデルがある。モデルの構築にあたって、本研究計画において新しい超対称性を破るメカニズムを発見したことは重要である。このメカニズムは、vector-like gauge 理論に基づいており、高エネルギー領域においては conformal gauge 理論になっている。この新しいメカニズムの発見によって、我々は、グラビティーノの質量が 16 eV 以下のモデルの構築に成功した。

研究成果の概要（英文）：The main purpose of this research project is to construct a supersymmetry breaking model which is consistent with the leptogenesis mechanism explaining the observed universe's matter number. The candidate for the model is a model which predicts gravitino mass smaller than 16 eV. It was extremely important that we observed a new dynamical mechanism for supersymmetry breaking. This new mechanism is based on a vector-like gauge theory and this theory becomes a conformal gauge theory at high energies. Thanks to our observation of the new supersymmetry breaking mechanism, we succeeded to construct a model with the light gravitino.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2008年度	700,000	210,000	910,000
2009年度	700,000	210,000	910,000
総計	2,400,000	720,000	3,120,000

研究分野：素粒子理論

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：宇宙のバリオン数生成、レプトジェネシス機構、右巻きニュートリノ、超対称性、超対称性の破れ、

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 宇宙のバリオン数を説明するレプトジ

ェネシス機構は、本研究計画の代表者である柳田と福来により1986年に提案されたものである。この機構は、小さなニュートリ

ノの質量を予言する。スーパー神岡のニュートリノ振動実験により小さなニュートリノの質量が発見されて以来、レプトジェネシスは宇宙のバリオン数を説明する最も有力な機構となっている。

(2) レプトジェネシス機構は宇宙の温度が  $10^9$  GeV 以上必要とされるが、このように温度が高くと、グラビチーノが大量に作られる。するとグラビチーノの質量が大きすぎるとそのエネルギー密度が観測値を大幅に超えてしまう。またそれが崩壊すれば宇宙の初期に造られた軽元素を壊してしまう。しかし、もしグラビチーノの質量が 16 eV 以下であれば宇宙論的に何の問題もないことが知られていた。

(3) しかし、これまで知られているグラビチーノの質量が 16 eV 以下の模型では真空は不安定でうまくいかなかった。

## 2. 研究の目的

本研究課題の目的は宇宙の物質数を説明するレプトジェネシス機構と無矛盾な超対称性の破れの模型を構築することである。その模型として上記のようにグラビチーノの質量が 16 eV 以下の模型を考える。その時、真空の安定性は保証されていなければならない。

## 3. 研究の方法

(1) 強結合した超対称性ゲージ理論のダイナミクスを研究して、新しい超対称性の破れの機構を発見する。その場合 Seiberg Duality 等を使い、得られた結果の検証を行うことが重要である。

(2) (1) で発見した新しい超対称性の破れの機構をゲージ伝達模型に応用して、グラビチーノの質量が 16 eV 以下であっても超対称性粒子が十分に大きな質量をもつかを調べる。

## 4. 研究成果

本研究課題の目的は宇宙の物質数を説明するレプトジェネシス機構と無矛盾な超対称性の破れの模型を構築することである。

(1) グラビチーノの質量が 16 eV 以下の模型について、本研究計画において新しい超対称性を破るダイナミカルなメカニズムが発見できたことは重要である。この模型は、

vector-like gauge 理論に基づいており、高エネルギー領域においては conformal gauge 理論になっている。このために、理論に含まれるパラメータは重いクォークの質量しかなく、予言能力の極めて高いものである。さらに、この新しい理論は、超対称性の破れが比較的低いエネルギースケールで起きることを予言する。また、この理論が vector-like gauge 理論に基づいているために、非常に低いエネルギースケールでの超対称性の破れを我々のセクターに伝達(ゲージ伝達機構)することが可能になった。そのおかげでグラビチーノの質量を 16 eV 以下に抑えても超対称性粒子の質量を現在の実験的な下限値より大きくすることができるようになった。ただし、模型が強結合理論からなっているため、超対称性粒子の質量を正確に計算することが今のところできていない。ADF/CFT の技術を用いてこれらを計算することを、現在試みている。ただし、我々の発見した模型では、真空の安定性は保証される。また、この我々の 16 eV グラビチーノ模型の発見により、低いスケールでの超対称性の破れが極めて重要な可能性になった。さらに、我々の模型は、何故今までに超対称性粒子が発見できないのかを説明する可能性を秘めており、極めて重要な模型になると考えられる。

(2) グラビチーノの質量が 16 eV 以下である模型の構築に成功した。この模型の特徴は、 $10^5$  GeV 程度の質量の安定な複合粒子が存在することである。これが宇宙の暗黒物質である可能性がある。この複合粒子が崩壊すれば PAMELA 実験で発見された宇宙線の陽電子のフラックスの異常現象を説明できることを示した。また、我々の模型をこれから実験結果が出ると期待されている LHC 実験でどのように検証するかを研究していく。その一例として、軽いグラビチーノの存在を検証する実験的な方法を提案した。

(3) レプトジェネシス機構と無矛盾な超対称性の破れの模型として、我々は、主にグラビチーノの質量が 16 eV 以下の模型の構築を行った。しかし、それ以外に、グラビチーノの質量が 100 GeV 程度の模型がある。しかしこの模型では、Matter Parity を破る必要がある。問題はこの Matter Parity を大きく破ると陽子の崩壊が起きてしまう。そこで、小さな破れを実現する必要がある。本研究計画では、Matter Parity が実は B-L ゲージ対称性の中の離散的な  $Z_2$  対称性の同等であることに注目して、その  $Z_2$  対称性を小さく破

るダイナミクスを発見した。この我々の発見により、100 GeV グラビティーノの可能性が興味深いものになった。

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 37 件)

1. Tsutomu Yanagida and Kazuya Yonekura, Semi-direct Gauge Mediation in Conformal Windows of Vector-like Gauge Theories, *Physical Review D*, 81, 125017, 2010, 査読有.
2. Koichi Hamaguchi, Eita Nakamura, Satoshi Shirai and Tsutomu Yanagida, Low-Scale Gauge Mediation and Composite Messenger Dark Matter, *JHEP* 1004, 119, 2010, 査読有.
3. Ryosuke Sato, Tsutomu Yanagida and Kazuya Yonekura, Relaxing a constraint on the number of messengers in a low-scale gauge mediation, *Physical Review D*, 81, 045003, 2010, 査読有.
4. Satoshi Shirai and Tsutomu Yanagida, A test for light gravitino scenario at the LHC, *Physics Letters B*, 680, 351-354, 2009, 査読有.
5. K-I. Izawa, Fuminobu Takahashi, Tsutomu Yanagida and Kazuya Yonekura, Conformal supersymmetry breaking in vector-like theories, *Physical Review D*, 80, 085017, 2009, 査読有.
6. K-I. Izawa, Fuminobu Takahashi, Tsutomu Yanagida and Kazuya Yonekura, Runaway dynamics and supersymmetry breaking, *Physics Letters B*, 677, 195-196, 2009, 査読有.
7. Koichi Hamaguchi, Fuminobu Takahashi and Tsutomu Yanagida, Decaying gravitino dark matter and upper bound on the gluino mass, *Physics Letters B*, 677, 59-61, 2009, 査読有.
8. Masahiro Ibe, Hitoshi Murayama and Tsutomu Yanagida, Breit-Wigner enhancement of dark matter annihilation, *Physics Letters B*, 79, 095009, 2009, 査読有.
9. Koichi Hamaguchi, Eita Nakamura, Satoshi Shirai and Tsutomu Yanagida, Decaying dark matter baryons in a composite messenger model, *Physics Letters B*, 674, 199-302, 2009, 査読有.
10. Satoshi Shirai, Fuminobu Takahashi, Tsutomu Yanagida and Kazuya Yonekura, Gauge mediation with sequestered supersymmetry breaking, *Physics Letters B*, 78, 075003, 2008, 査読有.
11. Koichi Hamaguchi, Eita Nakamura, Satoshi Shirai and Tsutomu Yanagida, Strongly interacting gauge mediation at the LHC, *JHEP* 0807, 107, 2008, 査読有.
12. Junji Hisano, Minoru Nagai, Shohei Sugiyama and Tsutomu Yanagida, Upperbound on squark masses in gauge-mediation model with light gravitino, *Physics Letters B*, 665, 237-241, 2008, 査読有.
13. Masahiro Ibe, Yu Nakayama and Tsutomu Yanagida, Conformal gauge mediation and light gravitino of mass  $m_{3/2} < O(10)$  eV, *Physics Letters B*, 671, 378-382, 2009, 査読有.
14. Shoji Asai, Takeo Moroi and Tsutomu Yanagida, Test of anomaly mediation at the LHC, *Physics Letters B*, 664, 185-189, 2008, 査読有.
15. Koichi Hamaguchi, Satoshi Shirai and Tsutomu Yanagida, Determining the mass for an ultralight gravitino at LHC, *Physics Letters B*, 663, 86-94, 2008, 査読有.
16. Koichi Hamaguchi, Satoshi Shirai and Tsutomu Yanagida, Composite messenger baryon as a cold dark matter, *Physics Letters B*, 654, 110-112, 2007, 査読有.

17. Koichi Hamaguchi, Satoshi Shirai and Tsutomu Yanagida, Determining the mass for a light gravitino, Physics Letters B, 651, 44-48, 2007, 査読有.
18. Yu Nakayama, Masato Taki, Taizan Watari and Tsutomu Yanagida, Gauge mediation with D-term SUSY breaking, Physics Letters B, 655, 58-66, 2007, 査読有.

[学会発表] (計 3 件)

1. Tsutomu Yanagida, Dark Energy and Dark Matter, BCTP Opening Symposium, Oct. 19, 2007, Berkely University of California.
2. Tsutomu Yanagida, Conformal SUSY Breaking and Cosmological Constant, PASCOS 2008, June 2 2008, Perimeter Institute for Theoretical Physics, Canada.
3. Tsutomu Yanagida, Dark Matter and Supersymmetry Breaking, PASCOS 2009, July 10, 2009, DESY Hamburg.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

柳田 勉 (YANAGIDA TSUTOMU)  
東京大学・数物連携宇宙研究機構  
・特任教授

研究者番号 : 10125677

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号 :

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号 :