

令和元年6月24日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2015～2018

課題番号：15K05048

研究課題名（和文）自然な大統一理論における宇宙史の構築と実験からの制限

研究課題名（英文）Cosmology and experimental constraints in natural grand unified theories

研究代表者

前川 展祐（Maekawa, Nobuhiro）

名古屋大学・基礎理論研究センター・准教授

研究者番号：40273429

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,700,000円

研究成果の概要（和文）：宇宙論的には、 $SO(10)$ では働かない熱的レプトン生成シナリオが自然なE6大統一理論においてはうまく働くことを示したことは大きいことである。
実験からの制限の観点からは、E6大統一理論が预言する自然な超対称性は、一般には、電気双極子モーメントが大きすぎるという問題があることを具体的に示したうえで、E6大統一理論ではその特殊性により実験からの制限を満足することを示した。また、大統一理論に現れる新しいゲージ粒子に起因する陽子崩壊において、特にE6大統一理論の場合世代を変えるような崩壊過程が大きくなりうることを示した。
自然な大統一理論において、超対称性を自発的に破るシナリオを構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

大統一理論は力を統一するだけでなく物質をも統一する理論であるが、その二つの統一に対する実験からの証拠も知られており、標準模型を超える理論として最も有力な理論である。一方で、深刻な問題も知られており、その解も含めて、本当の大統一理論が何であるのかはわかっていない。もちろん、本当の大統一理論は実験と矛盾しないだけでなく、宇宙史をも説明できるはずである。この研究はその本当の大統一理論を探索構築する研究の一環である。一歩ずつ近づいていると考えている。

研究成果の概要（英文）： In cosmology, we have shown that the thermal leptogenesis, which does not work well in $SO(10)$ GUT, works well in natural E6 GUT.

In the point of view of experimental constraints, we have shown that natural SUSY, which is predicted by E6 GUT, has generically an issue in which electric dipole moments become too large, but in E6 GUT, such problem can be naturally evaded. In the nucleon decay which are mediated by new gauge particles in GUT, branching ratio of generation changing modes becomes larger in E6 GUT than the usual GUT.

We have built a natural GUT in which SUSY is spontaneously broken.

研究分野：素粒子論

キーワード：大統一理論 超対称性

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

大統一理論は、力の統一と物質の統一という二つの統一を実現するだけでなく、両方の統一に対して実験からの証拠が存在しており、標準模型を超える理論として最も有力な理論といえる。一方で、二重項三重項分離の問題等深刻な問題が知られており、最終的な理論はわかっていない。研究代表者が提唱している自然な大統一理論は、超対称大統一理論におけるほとんどの問題を対称性で許される相互作用をすべてだいたい1の大きさに導入するという自然な仮定の下で解決できるという性質を持つ。

一方、いまだによく理解されていないこととして、この理論が正しいとすると、当然、宇宙史も説明できるはずであるが、どのように宇宙史がこの理論に埋め込まれるか、宇宙論的な問題をどのように解決できるかはよくわかっていなかった。

また、大統一理論が実現するスケールは、現在の実験で探索できるスケールと比して、とても大きく、近い将来、直接探索を期待することはできない。その状況下で、将来的にどのようにこの大統一理論のシナリオを検証していくか、ということに対する研究はまだ満足なものであった。

2. 研究の目的

自然な大統一理論において、宇宙論的な問題がない宇宙史を構築すること。並行して、実験からの制限、もしくは、理論の検証可能性を明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

宇宙論的な問題として、物質反物質の問題、インフレーションの起源、ダークマターの起源、ダークエネルギーの起源、とある。物質反物質の問題とインフレーションの起源については、多くのシナリオが提案されており、それらが成立するかどうか確かめる必要がある。ダークマターの問題については、超対称性の破れの起源を理解する必要があり、そこから始める。一方で、ダークエネルギーの問題は、大統一理論は重力を含まないためこの枠組みでは解決できない問題と考え、無視することにする。

大統一理論の検証として有望と考えられている陽子崩壊だけではなく、CPの破れや、スフェルミオンの質量スペクトラム等多くの可能性を考える。

4. 研究成果

物質反物質の問題については、最も有望視されているにもかかわらず、自然な大統一理論ではうまく働かないと考えていた熱的レプトン生成シナリオがE6大統一理論では機能することを数値計算で示した。(一方でSO(10)大統一理論では、予想通りうまく働かないことがわかった。)重要な違いは右巻きニュートリノの数にある。E6大統一理論においては、6つの右巻きニュートリノが存在しているのに対し、SO(10)大統一理論では、3つしか存在していない。E6大統一理論においては、軽いニュートリノ質量の大きさを変えることなく、最も軽い右巻きニュートリノ質量を大きく取ることができるのに対し、SO(10)大統一理論では難しいことがこの違いの主因である。ほかにも、荷電レプトンのフレーバー効果と超対称性の効果を同時に考慮することが重要であることもわかった。

ダークマターの起源を理解するために自然な大統一理論において、超対称性を自発的に破るシンプルなモデルを構築した。大統一理論の多くの問題を自然に解決する自然な大統一理論をほんの少し変更することで得られるものであり、従来の超対称性を破るシナリオに比べて著しくシンプルなモデルになっている。残念ながら、超対称性の破れのスケールが従来期待されているスケール(1 TeV程度)と比べて1000倍程度大きくなるため、電弱スケールが不安定になるという問題が存在するが、現象論的には問題ないシナリオである。現象論的な予言として、長寿命な荷電レプトンの存在や、スカラーフェルミオンの質量スペクトラムに大統一理論における物質の統一に対する直接的な証拠が現れる、等、シナリオに固有の予言もあり、興味深いシナリオになっている。

実験からの制限の観点からは、E6大統一理論が予言する自然な超対称性は、一般には、電気双極子モーメントが大きすぎるという問題があることを具体的に示したうえで、世代対称性とCP対称性を持つE6大統一理論ではかなり奇跡的なことが起こるため、実験からの制限を満足することを示した。このことは、比較的軽いストップが発見される等自然な超対称性が確認されるとともに電気双極子モーメントの制限が厳しくなってくると、このシナリオがかなり有望になってくる、ということを示しており、大統一理論の検証という観点からも重要な結果といえる。

また、大統一理論に現れる新しいゲージ粒子に起因する陽子崩壊において、特にE6大統一理論の場合世代を変えるような崩壊過程が大きくなりうることを示した。このことは、SuperKamiokeの報告の中で、世代を変えるような陽子崩壊の事象のシグナル領域にシグナルが報告されたことを受けて研究したものであるが、その事象がなかったとしても興味深い研究であると考えている。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 6 件)

- 1, N. Maekawa, Y. Omura, Y. Shigekami, M. Yoshida, "Spontaneous SUSY breaking without R symmetry in supergravity",

- Physical Review D 97 (2018) 55015, 査読あり
- 2, N. Maekawa, Y. Muramatsu, Y. Shigekami,
“Constraints of chromoelectric dipole moments to natural SUSY type sfermion spectrum”,
Physical Review D 95 (2017) 115021, 査読あり
 - 3, N. Maekawa, Y. Muramatsu,
“Flavor changing nucleon decay”,
Physics Letter B 767 (2017) 398-402, 査読あり
 - 4, N. Maekawa, Y. Muramatsu,
“Neutrino masses and mixings as an evidence of GUT, and the impact to the (flavor
changing) nucleon decay”,
CETUP2016 Proceedings (2017) 査読無し
 - 5, T. Ishihara, N. Maekawa, M. Takegawa, M. Yamanaka,
“Leptogenesis with E6*U(1)A SUSY GUT model”,
Journal of High Energy Physics 1602 (2016) 108, 査読あり
 - 6, S. Enomoto, N. Maekawa, T. Matsuda,
“Preheating with higher dimensional interaction”,
Physical Review D 91 (2015) 113B02, 査読あり

[学会発表](計 11 件)

- 1, N. Maekawa, “Spontaneous SUSY breaking in natural SO(10) GUT”,
KEK-ph 2018
- 2, 前川展祐, 「真実の大統一理論を求めて」, 瀬戸内夏の学校, 2018
- 3, N. Maekawa, “Spontaneous SUSY breaking in natural SO(10) GUT”,
Summer Institute 2018
- 4, N. Maekawa, “Spontaneous SUSY breaking in natural SO(10) GUT”,
SUSY 2018
- 5, N. Maekawa, “E6 GUT and nucleon decay via dimension 6 operators”,
Baryon and Lepton number violation 2017
- 6, 前川展祐, 「自然な大統一理論の魅力と現状」
例外群研究会 2017
- 7, N. Maekawa, “Neutrino masses and mixings as an evidence of GUT, and the impact to
(flavor changing) nucleon decay”
HINT 2016
- 8, N. Maekawa, “Neutrino masses and mixings as an evidence of GUT, and the impact to
(flavor changing) nucleon decay”,
CETUP Dark Matter and Neutrino Physics/Unification 2016
- 9, N. Maekawa, “Neutrino masses and mixings as an evidence of GUT, and the impact to
nucleon decay”, Dark Side of the Universe 2015
- 10, N. Maekawa, “Neutrino masses and mixings as an evidence of GUT, and the impact to
nucleon decay and leptogenesis”,
NNN2015
- 11, N. Maekawa, “GUT with neutrino”,
the workshop for neutrino programs with facilities in Japan 2015

[図書](計 1 件)

- 1, 前川展祐, 「大統一理論のいま」, パリティ 11月号 (2018) 4 - 12

[産業財産権]

出願状況(計 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年：
国内外の別：

取得状況(計 件)

名称：
発明者：
権利者：

種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号（8桁）：

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。