

# Study of Gauge-Yukawa Unified Model

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-12-21 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: Kubo, Jisuke メールアドレス: 所属:
URL	<a href="https://doi.org/10.24517/00049481">https://doi.org/10.24517/00049481</a>

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 International License.



# ゲージ・ユカワセクター統一理論 の考察

課題番号 07640389

平成7年度－平成9年度科学研究費補助金  
(基盤研究(C)) 研究成果報告書

平成10年3月

研究代表者 久保治輔

(金沢大学・理学部・教授)



8000-61151-1

金沢大学附属図書館

# 目次

1. 報告のまとめ
2. 代表者の論文－久保治輔
3. 分担者の論文－末松大二郎
4. Proceedings

発行者寄贈

# 1 はしがき

この研究は、平成7年度、平成8年度、平成9年度にわたって文部省科学研究補助金（基盤研究(C)：課題番号 07640389）を得て行われたものである。

## 研究組織

代表者： 久保治輔（金沢大・理・教授）

分担者： 末松大二郎（金沢大・理・助教授）

## 研究経費

平成7年度 800千円

平成8年度 500千円

平成9年度 500千円

計 1800千円

## 2 研究目的

電磁相互作用、弱い相互作用と強い相互作用の標準理論は、CERN の LEP 等で精密な実験的検証を受けているにもかかわらず、多くの理論的問題を含んでいることはよく知られている。その一つは標準理論の持つ独立な結合定数の数が多過ぎるという事である。一般に、結合定数の数は対称性の導入により還元することができ、くりこみ可能な場の理論の枠内で定式化されている従来の統一理論は、この事実に基づいている。統一理論は標準理論のゲージセクタの統一とユカワ（湯川）セクタの一部統一を可能にするものである。事実、ゲージ群  $SU(5)$  に基づく超対称統一理論の予測は、LEP の精密実験の結果とよく合っている。だが、これらの統一理論の枠内では、ゲージセクタとユカワセクタがそれぞれ独立に統一されていて、この二つセクタ間の統一はされていない。従って、今後統一模型を考える上でゲージ・ユカワセクタ統一は、極めて興味深い課題であり、その成功は標準理論のユカワセクタの構造の起源を本質的に解明するものと考えられる。

対称性に基づくゲージ・ユカワセクタ統一には、幾つかの可能性（例えば、拡張された超対称性の導入や場の理論の枠組を越えた超弦理論）があるが、当研究ではこの様な可能性だけではなく、対称性の助けの必要としないゲージ・ユカワセクタ統一の可能性を追究することである。ここでは特に結合定数還元原理に基づくゲージ・ユカワセクタ統一を考える。この方法には他の方法に潜在している対称性の破れという本質的な問題がないのが特色である。例えば、 $SU(5)$  超対称統一模型にこの原理を適用した場合、ボトムクォークとトップクォークの質量の予測ができ、それらは FERMI LAB の実験値とよく合っていることが、これまでの我々の研究によって明らかにされている。即ち、トップクォークの質量が、なぜ他のクォークのそれに比べて大きいのか技術的では

あるが結合定数還元原理に基づくゲージ・ユカワセクタ統一模型枠内で理解することができ、もっと完全で自然なゲージ・ユカワセクタ統一を暗示していると思われる。当研究の目的は、結合定数還元原理に基づくゲージ・ユカワセクタ統一を色々な統一模型に於いて考察することにより、実験的検証可能な数多くの興味深い現象論的予言を与え、標準理論のユカワセクタの由来の解明に新たな進展をもたらすことである。

### 3 研究成果

当研究では、対称性の助けに頼らないゲージ・湯川セクタ統一の可能性を追究することが目的で、特に、結合定数還元原理に基づくゲージ・湯川セクタ統一理論を考察した。この方法には、対称性に基づく統一方法に潜在している対称性の破れという本質的な問題がないのが特色であり、この研究で、結合定数還元原理に基づくゲージ・湯川セクタ統一理論の現実性が指摘された。特に、以下のことが明らかになった。

- 超対称統一模型に結合定数還元原理を応用した場合、ボトムクォークとトップクォークの質量が予測でき、それらは最新の FERMI LAB の実験結果と矛盾していないことが分かった。
- ゲージ群  $SU(5)$  に基づく超対称ゲージ・ユカワ統一模型における陽子崩壊に関する現象論的考察を行うことにより、模型の持つパラメータの許された領域を更に制限することに成功した。
- ゲージ群が  $SO(10)$  に拡張された超対称ゲージ・ユカワ統一模型の解析も行

い、この模型においてもゲージ・ユカワ統一の考えが実験と矛盾していないことを示した。

- これまでに考察されてきた全ての超対称ゲージ・ユカワ統一模型を比較し、これらを実験的に選別できる可能性があるかについて綿密な調査を行った。トップクォークに関しては、その質量の実験値の誤差が約 2 GeV、ボトムクォークに関しては約 0.1 GeV 以下になれば選別可能になることが分かった。
- ゲージ・ユカワ統一理論の枠組みに、超対称性の軟らかい破れの項の統一も可能であることが明らかになり、ゲージ・ユカワ統一と弱電磁理論のゲージ対称性の動力学的破れの両立性が判明した。
- 結合定数還元原理に基づいて統一された超対称性を柔らかく破る項は、universal な総和則を満たしていることが見い出され、しかも、それがある仮定の下で 4 次元超弦理論のそれと一致していることが分かった。更に、発散のない有限なゲージ・湯川セクタ統一理論に於いては、その一致を 2 ループのレベルでも確認することができた。
- 一方、分担者は、超対称性の軟らかい破れの非普遍性の引き起こす様々な現象論的效果についての数値的解析を行った。特に、中性子の電気双極子能率の原因となる CP の不変性を破る位相との関係や、余分な  $U(1)$  対称性がある超対称理論における輻射補正によるゲージ対称性の破れへの効果についての考察を行った。更に、有効超対称重力理論の枠内で、超対称性の軟らかい破れの項のフレーバー構造に関する考察を行った。又、ゲージ群  $E(6)$  に基づく超対称性理論での陽子崩壊と軽いニュートリノの存在の関係を調査した。

これらの研究の結果は、数々の権威ある国際会議で発表され、将来の研究課題の大きな動機となった。

## 4 研究発表論文リスト

### 4.1 論文

1. T. Kobayashi, J. Kubo and G. Zoupanos  
*Further all-loop results in softly-broken supersymmetric gauge theories*  
Phys. Lett. B 印刷中.
2. Y. Kawamura, T. Kobayashi and J. Kubo  
*Sum Rules in the Superpartner Spectrum of the Minimal Supersymmetric Standard Model* Phys. Lett. B 投稿中.
3. T. Kobayashi, J. Kubo, M. Mondragon and G. Zoupanos  
*Constraints on Finite Soft Supersymmetry Breaking Terms*  
Nucl. Phys. B511 (1998) 45-68.
4. Y. Kawamura, T. Kobayashi and J. Kubo  
*Soft Scalar Mass Sum Rule in Gauge-Yukawa Unified Models and its Superstring Interpretation*  
Phys. Lett. B405 (1997) 64-70.
5. J. Kubo, M. Mondragon and G. Zoupanos  
*Unification Beyond GUTs: Gauge-Yukawa Unification*  
Acta Phys. Polon. B27 (1997) 3911-3944.
6. J. Kubo, M. Mondragon and G. Zoupanos  
*Perturbative Unification of Soft Supersymmetry-Breakung Terms*  
Phys Lett. B389 (1996) 523-532.



7. J. Kubo, M. Mondragon, M. Olechowski and G. Zoupanos  
*Testing Gauge-Yukawa-Unified Models by  $M_t$*   
Nucl. Phys. B479 (1996) 25-45.
8. J. Kubo, M. Mondragon, S. Shoda and G. Zoupanos  
*Gauge-Yukawa Unification in susy  $SO(10)$  GUTs*  
Nucl. Phys. B469 (1996) 3-20.
9. J. Kubo  
*Nontrivial Asymptotically Nonfree Gauge Theories and Dynamical Unification of Couplings*  
Phys. Rev. D52 (1995) 6475-6480.
10. J. Kubo, M. Mondragon, N.D. Tracas and G. Zoupanos  
*Gauge-Yukawa Unification in Asymptotically Non-free Theories*  
Phys. Lett. B342 (1995) 155-162.
11. D. Suematsu  
*NEUTRALINO DECAY IN THE MU PROBLEM SOLVABLE EXTRA  $U(1)$  MODELS*  
Phys. Rev. D57 (1998) 1738-1754.
12. D. Suematsu  
*EFFECT ON THE ELECTRON EDM DUE TO ABELIAN GAUGINOS IN SUSY EXTRA  $U(1)$  MODELS*  
Mod. Phys. Lett. A12 (1997) 1709-1718.
13. D. Suematsu  
 *$\mu \rightarrow e + \gamma$  IN SUPERSYMMETRIC MULTI  $U(1)$  MODELS WITH AN*

- ABELIAN GAUGINO MIXING*  
Phys. Lett. B416 (1998) 108-116.
14. D. Suematsu  
*PROTON STABILITY AND SMALL NEUTRINO MASS IN STRING  
INSPIRED  $E(6)$  MODELS*  
Prog. Theor. Phys. 96 (1996) 611-622.
15. D. Suematsu  
*NEUTRINO OSCILLATION BASED ON THE MIXINGS WITH A  
HEAVY RIGHT-HANDED NEUTRINO*  
Phys. Lett. B392 (1997) 413-418.
16. D. Suematsu  
*FLAVOR STRUCTURE OF SOFT SUSY BREAKING PARAMETERS*  
Phys. Rev. D54 (1996) 5715-5722.
17. D. Suematsu and Y. Yamagishi  
*CHAOTIC INFLATION BASED ON AN ABELIAN  $D$  FLAT DIREC-  
TION*  
Mod. Phys. Lett. A10 (1995) 2923-2930.
18. D. Suematsu and Y. Yamagishi  
*RADIATIVE SYMMETRY BREAKING IN A SUPERSYMMETRIC  
MODEL WITH AN EXTRA  $U(1)$*   
Int. J. Mod. Phys. A10 (1995) 4521-4536.
19. T. Kobayashi, M. Konmura, D. Suematsu, K. Yamada and Y. Yamag-  
ishi

*NEUTRON ELECTRIC DIPOLE MOMENT UNDER NONUNIVERSAL SOFT SUSY BREAKING TERMS*

Prog. Theor. Phys.94 (1995) 417-434.

20. T. Kobayashi, D. Suematsu, K. Yamada and Y. Yamagishi

*NONUNIVERSAL SOFT SCALAR MASSES IN SUPERSTRING THEORIES*

Phys. Lett. B348 (1995) 402-410.

21. D. Suematsu

*PHENOMENOLOGICAL NEUTRINO MASS MATRIX FOR NEUTRINO OSCILLATIONS AND DARK MATTER.*

## 4.2 Proceedings

1. T. Kobayashi, J. Kubo, M. Mondragon, and G. Zoupanos

*Constraints on Finite Soft Supersymmetry Breaking Terms*

Proceedings of Int. Europhysics Conf. on HEP, Jerusalem, Israel, 19-26 Aug. 1995, 印刷中.

2. J. Kubo, M. Mondragon and G. Zoupanos

*Unification Beyond GUTs and Top Mass Predictions*

Proceedings of 32nd Rencontres de Moriond: Electroweak Interactions and Unified Theories, Les Arcs, France, 15-22 Mar 1997, 印刷中.

3. J. Kubo, M. Mondragon and G. Zoupanos

*Reduction of Couplings and Finiteness in Realistic Supersymmetric GUTs*

Proceedings of 30th Ahrenschoop International Symposium on the Theory of Elementary Particles, Buckow, Germany, 27-31 Aug 1996, Nucl. Phys. Proc. Suppl. 56B (1997) 281-293.

4. J. Kubo, M. Mondragon and G. Zoupanos

*Gauge-Yukawa Unified Models*

Proceedings of 28th International Conference on High-energy Physics (ICHEP 96), Warsaw, Poland, 25-31 Jul 1996, ICHEP 96:1391-1394.

5. J. Kubo, M. Mondragon, M. Olechowski and G. Zoupanos

*Unification of Gauge and Yukawa Couplings without Symmetry*

Proceedings of the 5th Hellenic School and Workshop on Elementary Particle Physics, Corfu, 3-24 September 1995, 印刷中.

6. J. Kubo, M. Mondragon and G. Zoupanos

*Top Quark Mass Prediction from Gauge-Yukawa Unification*

Proceedings of the '95 Summer School on HEP and Cosmology, ICTP, Trieste, HEP Cosmology 1995: 653-672.

7. J. Kubo, M. Mondragon and G. Zoupanos

*The Top-Bottom Hierarchy from Gauge-Yukawa Unification*

Proceedings of Yukawa International Seminar '95, From the Standard Model to Grand Unified Theories, Kyoto, August 21-25, 1995, Prog. Theor. Phys. Suppl. 123 (1996) 127-136.

8. J. Kubo, M. Mondragon, M. Olechowski and G. Zoupanos

*Gauge-Yukawa Unification and The Top-Bottom Hierarchy*

Proceedings of Int. Europhysics Conf. on HEP, Brussels, Belgium, Jul. 27-Aug. 2, 1995, EPS HEP 1995 : 488-489.

9. J. Kubo, M. Mondragon and G. Zoupanos

*Gauge-Yukawa Unification*

Proceedings of the SUSY95, Ecole Polytechnique, Palaiseau, France, May 15-19, 1995, Susy 95\* 233-237.

10. J. Kubo, M. Mondragon and G. Zoupanos

*Gauge-Yukawa Unification and The Top Quark Mass*

Proceedings of 30th Recontres de Moriond on Electroweak Interactions and Unified Theories, Meribel les Allues, France, March 11-18, 1995, Electroweak: p. 305-310.