

Theoretical and phenomenological study of the sum rules of the soft supersymmetry breaking terms

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	https://doi.org/10.24517/00049480

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



超対称性を破る項の総和則に関する
理論的・現象論的研究

(課題番号 11640266)

平成 11 年度～平成 13 年度科学研究費補助金
(基盤研究 (C) (2)) 研究成果報告書

平成 15 年 3 月

研究代表者 久 保 治 輔

(金沢大学 理学部 教授)



8011-05338-8

KAKEN
2001
96

超対称性を破る項の総和則に関する理論的・現象論的研究

課題番号 11640266

平成11年度—平成13年度科学研究費補助金
(基盤研究(C)(2)) 研究成果報告書

平成15年3月

研究代表者 久保治輔
(金沢大学・理学部・教授)

著 者 寄 贈

目次

1. 報告のまとめ
2. 代表者の論文ー久保治輔
3. 分担者の論文ー寺尾治彦
4. Proceedings

1 はしがき

この研究は、平成11年度、平成12年度、平成13年度にわたって科学研究補助金（基盤研究(C)(2)：課題番号 11640266）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： 寺尾治彦（金沢大・理・助教授）

研究経費

平成11年度 800千円

平成12年度 500千円

平成13年度 500千円

計 1800千円

2 研究目的

超対称性の導入は、スカラー場を含む素粒子の場の理論の模型に潜在するナチュラルネスの問題を克服する一つの手段であり、超対称大統一理論のゲージセクタの結合定数統一に関しては、実験的にも大きな成功が収められている。一般に、超対称性は「柔らかく」破れていると仮定されている。しかし、超対称性を破る機構を明らかにしない限り、超対称性の破れを記述する項は、理論の持つ対称性とくりこみ可能性の制限だけしか受けていない。この状況の下では、最小超対称標準理論に於いてでさえも、独立なパラメータの数が100以上にも及ぶことになる。超対称性を柔らかく破る項は universal であるという仮定は、このような独立なパラメータの数を大幅に還元するものであるが、最近の超弦理論での研究により、この仮定は非常に特殊なものであることが判明してきた。極最近、川村-小林-久保（当研究代表者）は、4次元有効超重力理論に於いて超対称性の破れを記述する項は、非常に一般的な仮定の下で universal な総和則（関係式）を満たしていることを見出した。この universal な総和則は、4次元にコンパクト化された超弦理論においても満たされていて、target space duality という理論の対称性に基づくものであることが判明した。しかも、この総和則が、結合定数還元原理に基づく全ての超対称ゲージ・湯川統一理論のそれと、少なくとも one-loop のレベルで一致していることも見いだされた。これらの発見は極最近のものであり、従ってこれまでに超対称性の破る項の universal な総和則に関する研究は皆無で、当研究は独創的である。又、当研究結果は、超対称性の破れに関する研究に新たな理論的・現象論的進展をもたらすものと期待される。当研究では、以下のことを具体的な目的とする。

- 超対称性を柔らかく破る項の universal な総和則が、大統一理論のエネルギースケールで成立していると仮定し、低エネルギーでの現象論的、特に、超対称粒子のスペクトルに関するの予言を行う。universal な総和則は超対称粒子のスペクトルに制限を与えるものであり、将来、超対称粒子が加速器実験で発見されれば実験的に検証することができ、超弦理論の現実性を非常に間接的

であるがサポートすることができる可能性があることが特色である。

- 上の現象論的研究に平行して、何故、4次元にコンパクト化された超弦理論と結合定数還元原理に基づく超対称ゲージ・湯川統一理論で同じ universal な総和則が成立しているのかを探る理論的研究を行う。この理論的研究は、target space duality の持つ低エネルギーの物理的意味を明らかにし、超弦理論の低エネルギー有効場の理論を構成する上で重要な鍵となると思われる。

4次元超弦理論で超対称性を柔らかく破る項に関する系統的研究は、1994年頃からスペインの Ibáñez らによって、日本では小林-末松-山田-山岸が行っている。当研究は、彼等の研究の延長上にあるものと位置づけることができると同時に、当研究代表者が1994年頃からドイツ、ギリシャ、メキシコの研究グループと共同で行っている結合定数還元原理に基づく超対称ゲージ・湯川統一理論に関する研究の延長でもある。universal な超対称性を柔らかく破る項に関する研究は、多くの研究グループによって行われてきたが、最近では、CERN の LEP II の実験グループ等も行っている。又、近年 non-universal な項に関する研究にも注目され、ヴィスコンシン大学の研究グループを中心とする超対称性研究グループの総合報告にもこれまでの研究結果が報告されている。

3 研究成果

超対称性は soft に破れていると仮定されているが、超対称性を破る機構を明らかにしない限り、超対称性の破れを記述する項は、理論の持つ対称性とくりこみ可能性の制限だけしか受けていない。この状況の下では、最小超対称標準理論に於いてでさえも、独立な超対称性を破る soft パラメータの数が100以上にも及ぶことになる。当研究によって、4次元有効超重力理論に於いて超対称性の破れを記述する soft な項は、一般的な仮定の下で universal な総和則を満た

していることを見い出した。この universal な総和則は、4次元にコンパクト化された超弦理論においても満たされているばかりでなく、結合定数還元原理に基づく超対称ゲージ・湯川統一理論のそれと一致していることを見い出した。この研究の当初計画は、超対称性を soft に破る項の universal な総和則が、大統一理論のエネルギースケールで成立していると仮定し、低エネルギーでの現象論的、特に、超対称粒子のスペクトルに関しての予言を行うこと、そして、何故、4次元にコンパクト化された超弦理論と結合定数還元原理に基づく超対称ゲージ・湯川統一理論で同じ universal な総和則が成立しているのかを明らかにすることであった。以下に、研究成果を具体的に書く。

- 総和則が弱電磁理論のゲージ対称性の動力学的破れと矛盾していないということである。次に、最少超対称標準理論の超対称粒子の質量を計算し、これらの質量の間にも総和則が成り立っていることを見い出した。この総和則は、超対称粒子が発見されれば実験的に検証可能なものであり、現象論的に特に興味深いものである。また、超対称粒子に関する超対称ゲージ・湯川統一理論の一つ特徴は、 τ 粒子の超対称パートナーの質量は軽くなる傾向があることが分った。すなわち、これらの大統一理論のエネルギースケールにおける仮定は、実験的に検証が可能であることを明らかにしたのがまず第一の成果である。
- さらに、4次元有効超重力理論の universal な総和則は、4次元にコンパクト化された超弦理論の target space duality という対称性に基づくものであることを見い出した。ところが、超対称弦理論の強結合極限の低エネルギー有効場の理論 (M 理論) では、もとの超対称弦理論が target space duality 対称性をもっているにもかかわらず、そのような対称性がなくなっているため、総和則が成立していないことが分かった。M 理論から予測される超対称粒子のスペクトルと 11次元の内部空間の幾何学を決めるパラメータの関係をさらに詳しく調べ、M 理論の予測と universal な総和則が成り立っている場合とを比較し、その違いを実験的に検証することができることを指摘した。第二の成果は、target space duality 対称性が超弦理論と 4次元の場の理論の橋渡に重要な役割を果たしていることを見い出したことである。

しかし、超弦理論と4次元の場の理論との関係を更に詳しく調べるには、高次元の場の理論の量子論を更に詳しく調べる必要がある。超弦理論は、時空の次元が四以上である可能性を予言している。特に、超弦理論のエネルギースケールが、余分な次元がコンパクト化されるときのエネルギースケールより大きいとき、超弦理論の低エネルギー有効理論は、高次元の場の理論になっている。則ち、標準理論を超える次の理論は、高次元の場の理論である可能性がある。ここ数年間、高次元の場の理論が多くの研究者の研究の対象になり、精力的に研究されてきている。多くの理論的エネルギーがつかみ込まれた。しかしながら、高次元の場の理論が、量子論として無矛盾なのか、いまだに分かっていないのが現状である。最近、当研究代表者は（共同研究で）この問題に着目し、二つの重要な事実を見出した。

● 超弦模型には、三つの代表的なエネルギーのスケールがある。String scale M_{st} , Kaluza-Klein scale M_{kk} (コンパクト化された空間の大きさの逆数) と統一が起こるスケール M_{GUT} である。これらの内二つが独立なもので、例えば、 M_{GUT} は M_{st} と M_{kk} が与えられれば原理的には計算できるものである。 M_{st} と M_{kk} の間を記述する有効理論は、Kaluza-Klein 理論になっているはずである。Terao, Zoupanos と当研究代表者は、最近の論文でこの問題を取扱い、結合定数の高エネルギー振る舞いに関して以下のことを見出した。1) 結合定数の高エネルギー振る舞いの正則化依存性が完全にコントロールできること、2) ある正則化の下でゲージ結合定数統一が実現していれば、他の正則化の下でも実現していること、3) M_{GUT} は正則化に依存しているが、ゲージ結合定数統一から予測される低エネルギーでのゲージ結合定数の値は正則化に依存しないこと、更に、4) ある Kaluza-Klein 理論が超弦理論の低エネルギーの有効理論になっている場合、親の超弦理論は Kaluza-Klein 理論のある一つの正則化を定義している、つまり、この Kaluza-Klein 理論をその正則化で定義して量子補正を計算するとそれは親の超弦理論のそれを正確に再現していることが分かった。これらの研究結果は、他の物理量に関しても同じように、正則化依存

性をコントロールすることができること、量子補正を計算することは物理的意味があること、そして正則化によらない理論的予言が可能であることを示唆している。

• Ejiri, Murata と当研究代表者は、五次元 $SU(2)$ 格子ゲージ理論の非摂動的効果に関する研究を行い、この理論は摂動的にはくりこみ不可能であるが、非摂動的効果を考慮に入れると、くりこみ可能になる可能性があるという結果を得た。その後の研究によると（まだ未発表）、五次元 $SU(2)$ 格子ゲージ理論は、厳密にはくりこみ不可能なのだが、コンパクト化することにより、それまで存在していた一次相転移がなくなり、あたかも連続極限が定義できるような二次相転移的相転移が存在することが分ってきた。即ち、厳密にはくりこみ不可能であるが（そしてそれは、空間がコンパクト化されていようといまいとに関係ないが）、空間がコンパクト化されると、理論の赤外領域の振るまいが影響され、一次相転移が二次相転移的相転移になるということである（相転移は赤外領域の物理ですから）。つまり、二つの相で物理量はスケールして、あたかもある一点に紫外固定点があるように振る舞うのだが、それに近付くと直ぐ手前でスケール則が破れることが分ってきた。二次相転移を起こさずには、relevant 演算子の結合定数を紫外領域で微調整する必要があるが、irrelevant 演算子のそれは微調整する必要がない。コンパクト化された五次元格子ゲージ理論の二次相転移的相転移の存在は、赤外領域で予言力が増加していると解釈できることを示している。

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. J. Kubo and D. Suematsu
Suppressing the μ and Neutrino Masses by a Superconformal Force
Phys. Rev. D64 (2001) 115014.
2. J. Kubo and M. Nunami
Extra Dimensions Prefer Large $\tan\beta$
Phys. Rev. D63 (2001) 116011.
3. S. Ejiri, J. Kubo and M. Murata
Study on the Nonperturbative Existence of Yang-Mills Theories with Large Extra Dimensions
Phys. Rev. D62 (2000) 105025.
4. J. Kubo, H. Terao and G. Zoupanos
Kaluza-Klein Thresholds and Regularization (In)dependence
Nucl. Phys. B574 (2000) 495-524.
5. T. Kobayashi, J. Kubo, M. Mondragon and G. Zoupanos
Running of Soft Parameters in Extra Space-time Dimensions
Nucl. Phys. B550 (1999) 99-122.
6. T. Kobayashi, J. Kubo and H. Shimabukuro
Electroweak Symmetry Breaking and S-spectrum in M-theory
Nucl. Phys. B580 (2000) 3-28.
7. Y. Kawamura, T. Kobayashi and J. Kubo
Sum Rules in the Superpartner Spectrum of Minimal Supersymmetric Standard Model
Phys. Lett. B432 (1998) 108-113.

8. T. Kobayashi and H. Terao
Sfermion Masses in Nelson-Strassler Type of Models: SUSY Standard Models Coupled With SCFT
Phys. Rev. D64 (2001) 075003.
9. K. Kubota and H. Terao
Dynamical Symmetry Breaking in QED(3) from the Wilson RG Point of View
Prog. Theor. Phys. 105 (2001) 809-825.
10. T. Kobayashi and H. Terao
Softly Broken Supersymmetric Gauge Higgs-Yukawa Theories as Renormalizable Models
Phys. Lett. B489 (2000) 233-242.
11. K. Aoki, K. Takagi, H. Terao and M. Tomoyose
Nonladder Extended Renormalization Group Analysis of the Dynamical Chiral Symmetry Breaking
Prog. Theor. Phys. 103 (2000) 815-832.
12. K. Aoki, K. Morikawa, J. Sumi, H. Terao and M. Tomoyose
Analysis of the Wilsonian Effective Potentials in Dynamical Chiral Symmetry Breaking
Phys. Rev. D61 (2000) 045008.
13. K. Aoki, K. Morikawa, J. Sumi, H. Terao and M. Tomoyose
Wilson Renormalization Group Equations for Critical Dynamics of Chiral Symmetry
Prog. Theor. Phys. 102 (1999) 1151-1162.

4.2 Proceedings

1. T. Kobayashi, J. Kubo, M. Mondragon and G. Zoupanos
Finite GUTs within Conventional N=1 Gauge Theories Theory and Predictions
Proc. of 37th Karpacz Winter School of Theoretical Physics: New Developments in Fundamental Interactions Theories, Karpacz, Poland, 6-15 Feb 2001.
2. T. Kobayashi, J. Kubo, M. Mondragon and G. Zoupanos
Exact Finite Unified Theories Theory and Predictions
Proc. of 2nd Conference on Exact Renormalization Group, Rome, Italy, 18-22 Sep 2000.
3. T. Kobayashi, J. Kubo, M. Mondragon and G. Zoupanos
Finiteness in Conventional N=1 GUTs
Proc. of NATO Advanced Research Workshop on Noncommutative Structures in Mathematics and Physics, Kiev, Ukraine, 24-27 Sep 2000.
4. J. Kubo, H. Terao and G. Zoupanos
Running Couplings in Extra Dimensions
Proc. of 30th International Conference on High-Energy Physics (ICHEP 2000), Osaka, Japan, 27 Jul - 2 Aug 2000.
5. T. Kobayashi, J. Kubo, M. Mondragon and G. Zoupanos
Higgs Masses and S-Spectrum Predictions in Finite Unified Theories
Proc. of or NATO ASI 2000: Recent Developments in Particle Physics and Cosmology, Cascais, Portugal, 26 Jun - 7 Jul 2000.
6. T. Kobayashi, J. Kubo, M. Mondragon and G. Zoupanos
Prediction of the Higgs Mass from Finite and Minimal SUSY Gauge-Yukawa GUTS
Proc. of High energy physics, Tampere, Jul 1999, p.804-806.

7. T. Kobayashi, J. Kubo, M. Mondragon and G. Zoupanos
Exact Finite and Gauge-Yukawa Unified Theories and Their Predictions
Proc. of Cracow Epiphany Conference on Electron - Positron Colliders,
Cracow, Poland, 5-10 Jan 1999.
8. J. Kubo
Applications of the Reduction of Couplings Theory and Predictions
Proc. of Ringberg Symposium on Quantum Field Theory, Ringberg Cas-
tle, Germany, 21-24 Jun. 1998.
9. T. Kobayashi, J. Kubo, M. Mondragon and G. Zoupanos
*Higgs Masses and S-spectrum in Finite and Minimal SUSY Gauge-Yukawa
GUT*
Proc. of 29th International Conference on High-Energy Physics (ICHEP
98), Vancouver, British Columbia, Canada, 23-29 Jul 1998.
10. T. Kobayashi, J. Kubo, M. Mondragon and G. Zoupanos
Finite and Gauge-Yukawa Unified Theories: Theory and Predictions
Proc. of Supersymmetry, supergravity and superstring, Seoul 1999.