

(別紙様式)

領域番号：441

領域略称名：ヒッグス超対称性

平成 17 年度科学研究費補助金  
特定領域研究 研究状況報告書  
「ヒッグス粒子と超対称性の発見が  
切り拓く 21 世紀の素粒子物理学」

(研究期間)

平成 16 年度～平成 21 年度

領域代表者 東京大学・大学院理学系研究科・教授 駒宮幸男

## (1)研究領域の概要

本特定領域の目的は、ヒッグス粒子と超対称性の両方を発見し、その本質を詳しく研究することにより、標準理論を越えた新しい素粒子物理の方向性を確立することである。

ヒッグス粒子の発見は、真空が構造を持ち、これがゲージ対称性の破れと質量の起源であることを実証する。また、TeV 領域に一群の超対称性粒子の存在を示唆するデータが多数観測されている。超対称性は、ゲージ原理と並ぶ素粒子論の基本原則と見なされており、その発見は素粒子物理学の方向を決定づける重要なものである。これらの超対称性粒子やヒッグス粒子はアトラス実験で確実に発見が可能である。

超対称性粒子が存在する場合には、 $\mu \rightarrow e\gamma$  崩壊の分岐比が大きくなり、従来の実験よりも 2~3 倍精度の良い MEG 実験で発見することが可能になり、超対称性による大統一をアトラス実験とは別の切り口で検証することが可能となる。

これらアトラスと MEG 実験での成果に基づき、本特定領域研究では、超対称性理論、大統一理論、さらに超弦理論など超高エネルギー領域の理論の展開を図る。

本領域の特色は、標準理論を越える現象を確実に発見し、その本質を研究できる実験と、これに深く関わる理論研究を全国から総結集したものであり、超高エネルギーでの物理の原理に総合的に迫る点にある。

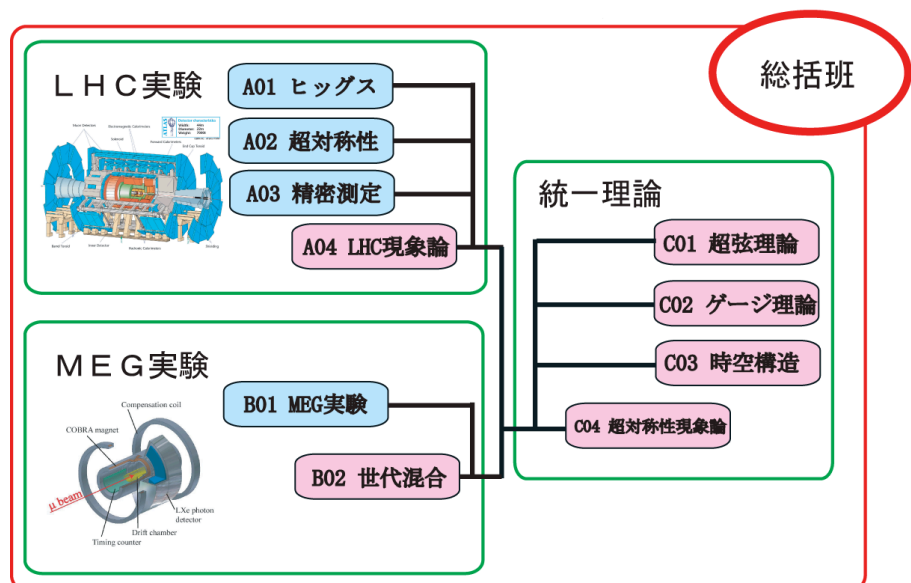
## (2)研究領域の設定目的

本特定領域では 3 つの研究項目に 10 個の計画研究を配置している。

研究項目 A では、計画研究 A01~A03 において、アトラス検出器を用いて、ヒッグス粒子、超対称性粒子の探索、並びに標準理論の精密測定を通してその破れを探る。これらの実験研究に対し計画研究 A04 は実験に密接に結びついた現象論研究を行い、直接理論的な助言を行う。

研究項目 B では、計画研究 B01 において MEG 実験を通してレプトンの世代混合の発見を目指す。計画研究 B02 はそれに密接に関係する現象論的理論研究を行う。

研究項目 C は、理論研究を行う計画研究 C01~C04 で構成される。C01~C03 で超弦理論、ゲージ理論、時空構造の理論的研究を進めるとともに、超対称性現象論を行う計画研究 C04 は A04 及び B02 との連携の元、研究項目 C の成果を実験に還元するとともに、実験での成果を理論研究につなげる。



### (3)研究領域内の研究の年度毎の進展状況及びこれまでの主な研究成果

本領域は平成 16 年度に開始されたものであり、初年度の進展状況について述べる。

#### 研究項目 A「エネルギーフロンティア LHC 実験」

平成 19 年度(2007 年度)実験開始を目指し、測定器建設や物理解析の準備・体制作りが着々と進行している。測定器建設では日本が分担する前後方ミュオントリガー用検出器(TGC)及び半導体飛跡検出器(SCT)の検出器本体の製造はほぼ完了し、組立・組込が始まっている。TGC は 1/12 分割されたセクターを単位として組立がなされるが、平成 16 年度はその組立の工程設計が大きく進んだ。

物理解析に関してはまずその基盤となる計算環境として LHC コンピューティンググリッド(LCG)の開発が進んでいる。東京大学の PC ファームに LCG ミドルウェアを導入し、各国のセンターを結んだ実証試験が続けられている。また、ヒッグス粒子や超対称性粒子の検出感度を上げるための様々な解析アルゴリズムの検討が進められている。欧米の研究者を招聘して「Physics in the LHC era」と題した研究会を開催し、理論・実験双方の立場から、LHC での物理、理論の模型構築などが活発に議論された。

#### 研究項目 B「レプトン混合で見通す超対称性から超高エネルギーの世界」

本研究項目では、ミュオン粒子の禁じられた崩壊を探索する実験 MEG の準備を進めている。大強度ミュオン粒子ビームラインがビーム輸送ソレノイドの手前まで完成し、ビーム調整を行ったところ、必要以上のビーム強度が得られることが分かった。また、中性子バックグラウンドの測定を行い、必要なシールドの検討を行った。この春にはビーム輸送ソレノイドの建設が完了し、今後いくつかの試験の後、夏にはターゲット手前までのビーム調整を行う予定である。

陽電子スペクトロメータに関しては、COBRA 電磁石がビームラインに設置され、粒子検出器のない状態で磁場測定を行った。ドリフトチェンバーおよびタイミングカウンターはこの春より本格的な製造を開始した。今年度後半に COBRA 内に取り付けて試験を行う。

液体キセノンガンマ線検出器については、量子効率を改善した光電子増倍管を用いてビーム試験を行い、高いエネルギー・時間分解能が得られることを実証した。また、低温でも高計数率下での動作に耐えるブリーダ回路を開発し、最終的に実験で使用する光電子増倍管の製作を開始した。現在、検出器の真空断熱容器、光電子増倍管サポート、純化装置および真空系の製作・組立を進めている。

平行して、超対称性理論がクォーク及びレプトンセクターの世代混合をどのように説明するかなど、世代混合に関する理論的研究も進んでいる。

#### 研究項目 C「力の統一と超対称性の理論研究」

[C01]M 理論・弦理論の 4 次元へのコンパクト化、ブレーンの力学の研究を中心テーマにし、超弦理論の低エネルギー近似として望ましい素粒子の統一模型やその拡張が得られるかを追求している。

[C02]粒子の運動量と位置座標の両変数を測定する散乱振幅の定式化と応用について検討を進め、ニュートリノ振動実験に応用してその効果を調べている。また、超弦理論の非摂動効果、超対称理論の非摂動効果の研究も進めている。

[C03]統一理論の研究を通じて隠された時空の構造の解明を目指す。MSSM ヒッグスポテンシャルの大域的構造を調べ、ニュートリノ物理が果たす役割を評価した。5 次元超対称 QED の現象論、クォーク質量行列の体系的な研究、重いグラビティーノを持つ理論の CP の物理などの研究も進めている。

[C04]ヒッグス粒子に関してはヒッグス自己結合や電弱バリオジェネシス、B 中間子の物理では  $\tau$  を含むモードへの崩壊における超対称ループ効果、余次元模型・ブレーン宇宙論では電子陽電子衝突でのヒッグス対生成、ダークマター等の研究についても成果を得ている。

#### (4)研究領域の研究組織と各研究項目の連携状況

##### 研究項目 A「エネルギーフロンティア LHC 実験」

###### 計画研究 A01「アトラス検出器を用いたヒッグス粒子の発見」

研究代表者 坂本 宏(東京大学)

研究分担者 小林富雄、真下哲郎、浅井祥仁、上田郁夫、松本 浩(以上東京大学)、  
吉田 肇(鳴門教育大学)、田中 寛(立命館大学)

###### 計画研究 A02「アトラス検出器を用いた超対称性の発見」

研究代表者 川越清以(神戸大学)

研究分担者 武田 廣、藏重久弥、本間康浩、越智敦彦(以上神戸大学)、  
川本辰男(東京大学)、田中秀治(高エネルギー加速器研究機構)

###### 計画研究 A03「アトラス実験での精密測定と標準理論を越えた物理の研究」

研究代表者 岩崎博行(高エネルギー加速器研究機構)

研究分担者 近藤敬比古、尼子勝哉、佐々木修、荒井康夫、池上陽一、寺田 進(以上  
高エネルギー加速器研究機構)、中野逸夫(岡山大学)、高嶋隆一(京都  
教育大学)、原 和彦(筑波大学)、長坂康史(広島工業大学)、下島 真(  
長崎総合科学大学)

###### 計画研究 A04「素粒子模型構築への LHC 実験のインパクト」

研究代表者 野尻美保子(京都大学)

研究分担者 小林達夫、前川展祐(以上京都大学)

##### 研究項目 B「レプトン世代混合で見通す超対称性から超高エネルギーの世界」

###### 計画研究 B01「ミュオン粒子稀崩壊探索実験 MEG で迫る超対称性大統一理論」

研究代表者 森 俊則(東京大学)

研究分担者 真木晶弘、春山富義(以上高エネルギー加速器研究機構)、山下 了(東京大学)  
寺沢和洋(早稲田大学)

###### 計画研究 B02「超対称理論における世代構造とレプトン・フレーバーの破れの研究」

研究代表者 山口昌弘(東北大学)

研究分担者 諸井健夫、山田洋一(以上東北大学)

##### 研究項目 C「力の統一と超対称性の理論研究」

###### 計画研究 C01「超弦理論のコンパクト化に基づく標準模型へのアプローチ」

研究代表者 江口 徹(東京大学)

研究分担者 川野輝彦(東京大学)、伊藤克司(東京工業大学)

###### 計画研究 C02「超対称ゲージ理論と精密測定の物理」

研究代表者 石川健三(北海道大学)

研究分担者 鈴木久男、末廣一彦(以上北海道大学)

###### 計画研究 C03「時空構造と統一理論」

研究代表者 井上研三(九州大学)

研究分担者 吉岡興一(九州大学)

###### 計画研究 C04「超対称模型の現象論的研究」

研究代表者 岡田安弘(高エネルギー加速器研究機構)

研究分担者 岡田宣親(高エネルギー加速器研究機構)

## 各研究項目の連携状況

研究項目 A はアトラス実験、B は MEG 実験をそれぞれ実験課題の柱に据え、現象論との組み合わせによる物理解析の展開を目指している。定期的な研究会を共催するなど、密接に連携して研究を進めている。研究項目 C は理論の広い範囲をカバーしているため、まず初年度はそれぞれの計画研究の推進に重点を置いているが、今後は実験分野との関連、すなわち領域全体への成果の波及を、計画研究 C04 を接点として広げてゆく予定である。

## (5)研究費の使用状況

### 総括班

総括班会議開催にかかる費用をまかなうとともに、高エネルギー物理学の最先端に行く各国の状況を調査する外国旅費に支出した。

### 研究項目 A

アトラス実験の準備のための様々な会合、コラボレーション全体の会議から、ソフトウェア、物理解析、検出器建設に関するものまで研究者を派遣するとともに、**Computing in High Energy Physics**、**Geant4 2004 Workshop** など、多数の国際会議で発表を行った。そのための派遣旅費をまかなった。また、国内においても、総合的なワークショップ 1 回、物理解析研究会 3 回、ソフトウェア関係研究会 2 回、検出器関係 1 回を開催した。そのための国内旅費、会議費、外国からの講師招聘に使用した。

コンピューティンググリッドでは高度な IT 技術が必要となる。それらを所属機関のスタッフだけでカバーすることは難しい。我々と共同でグリッド運用が行える国内の優れたシステムハウスを開拓する必要がある。運用の専門家をアウトソーシングする可能性を検討するため、システムハウスから技術者の派遣を受け、共同で研究開発を行った。これは非常にうまくいっている。

### 研究項目 B

本研究項目では、スイス PSI 研究所において実験を行うため、測定器の開発や建設、ビーム試験、打合せなどのための海外旅費が研究費の大きな部分を占めている。

物品としては、これまで開発を行ってきた液体キセノン検出器用の高性能光電子増倍管の製作・購入を昨年度後半より開始した。ブリーダ回路周りの設計変更により納入後修正を行うなど手間がかかったが、今年度も引き続き製作・購入を続け、今年度中の検出器完成に間に合わせる。その他、検出器に付随する純化システム、キセノン貯蔵システム、真空系、各種モニター等に必要な購入を行っている。

なお、ミュオン粒子ビームライン、ドリフトチェンバーおよびタイミングカウンターに関する費用は、共同研究を行っているスイス・イタリアの研究機関が負担することになっている。

### 研究項目 C

理論中心のこの項目では、国際会議参加のための外国旅費、国内での研究会開催のための会議費や国内旅費、セミナー等への講師招聘旅費、短期の非常勤研究員雇用にかかる謝金に主に支出されている。

## (6)研究成果公表の状況

### 主な論文等一覧

M. Ishino, H. Sakamoto et al., “A basic R&D for an analysis framework distributed on wide area network”, NIM A534(2004)74.

K. Kawagoe, M.M. Nojiri, G. Polesello, “A new SUSY mass reconstruction method at the CERN LHC”, Phys. Rev. D71(2005)035008.

T. Goto, K. Kawagoe, M.M. Nojiri, “Study of the slepton non-universality at the CERN large hadron collider”, Phys. Rev. D70(2004)075016.

K. Hamaguchi, Y. Kuno, T. Nakaya, M.M. Nojiri, “A study of late decaying charged particles at future colliders”, Phys. Rev. D70(2004)115007.

M. Endo, S. Mishima, M. Yamaguchi, “Recent measurement of CP asymmetries of  $b \rightarrow A^0$  and  $B \rightarrow \Gamma C_s$  at B-factories suggest new CP violation in left-handed squark mixing”, Phys. Lett. B to be published (hep-ph/0409245).

M. Kawasaki, K. Kohri, T. Moroi, “Big-bang nucleosynthesis and hadronic decay of long-lived massive particles”, astro-ph/0408426.

T. Eguchi, Y. Sugawara, “Conifold Type Singularities, N=2 Liouville and SU(2)/U(1) Theories”, JHEP 0501(2004)027.

T. Araki, K. Ito, A. Ohtsuka, “Deformed supersymmetry in non(anti) commutative N=2 supersymmetric U(1) gauge theory”, Phys. Lett. B606(2005)202.

Asahara, Ishikawa, Shimomura, Yabuki, Prog. Theo. Phys. 113(2005) No 2.

T. Kobayashi, K. Yoshioka, “Radiative stabilization of warped space”, JHEP 0411(2004)024.

N. Uekusa, A. Watanabe, K. Yoshioka, “Asymmetry and minimality of quark mass matrices”, hep-ph/0501211.

S. Kanemura, Y. Okada, E. Senaha, “Electroweak baryogenesis and quantum corrections to the triple Higgs boson coupling”, Phys. Lett. B606 (2005) 361-366.

H. Itoh, S. Komine, Y. Okada, “Tauonic B decays in the Minimal Supersymmetric Standard Model”, hep-ph/0409228.

M. Arai, N. Okada, K. Smolek, V. Simak, “Top Spin Correlations in Theories with Large Extra-Dimensions at the Large Hadron Collider”, Phys. Rev. D70(2004)115015.

### ホームページ

特定領域ホームページは次の URL で公開されている。

<http://www.icepp.s.u-tokyo.ac.jp/tokutei/>

領域の活動及び個別の計画研究の目的・組織・活動・成果等について掲示している。

### 公開発表等

本特定領域、研究項目 A の計画研究が中心となって「Physics in the LHC era」と題した国際研究会を開催した。12月13日から三日間、京都大学基礎物理学研究所を会場として開催し、海外からの招待講演者9名を含む34の報告があった。参加者は90名を数える。詳細は次の URL より得られる。

[http://www.icepp.s.u-tokyo.ac.jp/tokutei/activities/physics\\_workshop\\_dec04.html](http://www.icepp.s.u-tokyo.ac.jp/tokutei/activities/physics_workshop_dec04.html)

## (7)総括班評価者による評価の状況

平成 17 年 3 月 1 日の終日、東京大学素粒子物理国際研究センターにおいて本特定領域総括班会議を開催した。総括班及びすべての計画研究から代表者又は分担者の出席を得、各計画研究から 15 分程度の活動報告があった。残念ながら、総括班会議には評価担当者の参加を得ることが出来なかったが、後日、120 ページに及ぶ総括班会議発表資料集を評価担当者に送付し、評価を仰いだ。特定領域発足年度と言うこともあり、評価者からの特別の指示等はなかった。

総括班会議においては特定領域期間の年次計画について、特に評価の進め方を含めた議論を行った。まず平成 17 年度には包括的評価が必要であり、そのために特定領域全体を網羅する研究会を開催することとした。また、平成 19 年度にはヒアリングが予定されている。この年度には、本特定領域の実験分野が本実験を開始していると考えられる。公募研究についても平成 17 年度、平成 18 年度に公募する。そのため、実験結果や公募研究の成果を含めたより広い研究会を開催し、評価・ヒアリングに備えることとした。

## (8)研究領域の研究を推進する上での問題点と対応策

(7)項に示した総括班会議において特定領域の進め方について議論を行った。そこでは、本特定領域の特徴でもある、実験と理論を広くカバーした分野上の広がりとともに、地域的にも参加機関が全国的に分布している一方で、領域が目指す非常に明確な目標「標準理論を越えた新しい素粒子物理の方向性の確立」を目指すためには、より緊密な連携が必要であるという認識に至った。

まず、日常的な連絡を密にしていく方法として、特定領域関係者を網羅するメーリングリストの運用を開始した。また、広報活動も兼ねて、WEB ページに出来るだけ多くの方法を掲示するよう日常的に取り組むこととした。これらは事務連絡や研究活動の案内など、様々に活用されている。

広い分野の研究者が一堂に会し、それぞれの研究成果を持ち寄り時間をかけて議論することの重要性も認識された。評価年度に当たる平成 17 年度と平成 19 年度および最終年度となる平成 21 年度には大規模な包括的研究会を開催する。それ以外の年度にも課題を限定した集中的な研究会を行う。これらの研究会は参加機関で回り持ち主催することによって、それぞれの地域でのアクティビティを相互に理解し、より効果的な共同研究を可能にするように配慮する。今年度は第一回の特定領域研究会として、平成 17 年 11 月 24 日(木)～25 日(金)の二日間、東京大学大学院理学系研究科の小柴ホールを会場に開催することが決まっております、準備が進められている。

## (9) 今後の研究領域の推進方策

本特定領域の実験の大きな柱である、LHC アトラス実験と  $\mu$  粒子希崩壊実験 MEG はともに現在建設の佳境にあり、アトラスは平成 18 年コミッショニング、平成 19 年実験開始、MEG は平成 17 年コミッショニング、平成 18 年実験開始を目指している。これらの実験はともに、異なった切り口から標準模型を越える物理の手がかりを与える。これらの実験を成功させるためにあらゆる手だてをうつことが期待されていることは言うまでもない。

実験開始が近づくとつれ、様々な物理過程や解析手法のアイデアが提唱されて来ている。そういったアイデアの評価を適切に行い、独自の解法を編み出し、実験開始直後から解析を主導的に進めるためには、よりいっそうの研究項目間、計画研究間の意思疎通・連携が重要である。そのために既に(8)で述べたように、より強力な共同研究体制を形作っていく必要がある。

これらの実験が成果を出し始めると、そのインパクトは非常に大きい。その成果をいち早く全国の研究者に伝え共有することで、次世代実験を駆動する力をより強める。公募研究等を含め、より多くの研究者の参加が得られるように領域の研究を進めていく。