

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 12 日現在

機関番号：11301

研究種目：新学術領域研究（研究領域提案型）

研究期間：2011～2015

課題番号：23104008

研究課題名（和文）LHC時代の新しい初期宇宙像

研究課題名（英文）Early Universe in the Era of LHC

研究代表者

山口 昌弘（Yamaguchi, Masahiro）

東北大学・理学（系）研究科（研究院）・教授

研究者番号：10222366

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 49,700,000円

研究成果の概要（和文）：LHC実験において、125GeVの質量を持つヒッグス粒子が発見されたことは、素粒子標準模型の確立のみならず、標準模型を超える物理の方向性、さらにそれに基づく宇宙論に大きな影響を与えている。本研究計画ではヒッグス粒子の発見を踏まえ、超対称標準模型に与えるしさの研究、ヒッグス粒子がインフレーションを引き起こす模型、ヒッグスセクターをポータルとする模型での暗黒輻射の研究、さらに超対称Peccei-Quinn模型に基づく宇宙論などについて研究を進めた。

研究成果の概要（英文）：The discovery of the Higgs particle with 125 GeV mass at the LHC experiment has a great impact on the establishment of the standard model of particle physics, the directions beyond the standard model, and cosmology based on it. We have investigated, in the light of the discovery of the Higgs particle, the influences on the model buildings of supersymmetric standard models, the inflation models driven by the Higgs boson, the dark radion of the Universe in the Higgs portal models, and the cosmological implications of the supersymmetric Peccei-Quinn models and so on.

研究分野：素粒子論

キーワード：素粒子理論 素粒子物理学 素粒子論的宇宙論

1. 研究開始当初の背景

宇宙進化、特に初期宇宙の出来事に関しては未知の点が多く残されている。特に、宇宙暗黒物質の正体、宇宙のパリオン・反パリオン非対称性の起源、インフレーションの機構など、宇宙の成り立ちを理解する上でも重要となる問題については、まだ全くと言って良いほど何もわかっていない。これら重要な問題の解決には、素粒子標準理論を超える物理の理解が必要不可欠である。そして、高エネルギー実験・宇宙観測の結果が多数得られると期待される今後数年間こそ、それらをもとに、初期宇宙に関する理解を飛躍的に進歩させる時期となる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、このような重要な時期に、本領域を構成する多方面の実験物理学者や様々な分野の素粒子理論研究者との密接な協力のもと、初期宇宙に関する研究を行い、初期宇宙像を確立させることにある。特に重要な以下のテーマについては、初期段階から研究を進め、結論を得たい：(1) 素粒子模型の確立と宇宙論の構築、(2) 暗黒物質の起源と生成過程の解明、(3) テラスケールの物理の宇宙進化への影響、(4) インフレーションの理解。そしてその結果をもとに、宇宙進化のシナリオを理解し、初期宇宙像を確立させる。

3. 研究の方法

実験研究者との密接な連携のもと、素粒子理論及び宇宙論的な考察と数値計算に基づき研究を進める。

4. 研究成果

(1) ヒッグス粒子発見が超対称標準模型に与える示唆についての研究

LHC 実験で発見された 125GeV のヒッグス粒子の質量を超対称理論で説明するには、超対称粒子が重いか、最少超対称標準模型を拡張する必要がある。

ゲージ重項を加えた超対称標準模型の拡張について詳細に研究した。特に、Peccei-Quinn 対称性を持つ模型を構成するとともに、ヒッグスセクターとその超対称対からの量子補正によってヒッグス粒子の質量を 125GeV まで大きくすることができることを示した。また、一重項スカラー粒子が軽い場合には、ゲージ二重項のヒッグス粒子との混合により後者の質量が 125GeV まで増大できることを示した。これらの模型における暗黒物質の性質など宇宙論的影響を考察した。

超対称粒子の質量スケールは 10TeV 程度にあるという可能性(高スケール超対称模型)の重要性を指摘し、将来そのような模型の実験的検証が可能であるかを議論した。そのような模型においては、特に Wino が暗黒物質となる可能性があるが、暗黒物質直接探査実験によってその可能性がどの程度検証

できるかの定量的解析を行った。さらに、Wino 粒子の LHC 実験における発見可能性を議論するとともに、フレーバーの破れ実験等を用いて高スケール超対称模型を検証する可能性についても研究を行った。

(2) 超対称 Peccei-Quinn 模型に基づく宇宙論の研究

超対称化された Peccei-Quinn 模型に基づく宇宙進化について、宇宙初期の熱的プラズマがアクシオンやその超対称パートナーであるアクシーノの運動に与える影響を特に考慮しつつ、研究を行った。そして、宇宙初期のプラズマとの相互作用によるスカラー場の振動の減衰は通常無視されているが、特にアクシーノ場に関しては、プラズマとの相互作用がその運動に大きな影響を与え得ることを明らかにした。

(3) ヒッグスインフレーション

LHC 実験によって発見されたヒッグス粒子がインフレーションを引き起こす可能性について検証した。具体的には、運動項のヒッグス場自身への依存性を用いることでインフレーションを実現する running kinetic inflation を提唱し、特に BICEP2 実験の結果と整合する事を示した。またヒッグス粒子の質量から示唆されるプランクスケールにおける縮退した真空との間のドメインウォールがインフレーションを起こす可能性を指摘した。

(4) ヒッグス粒子と暗黒輻射

ヒッグスセクターをポータルとして隠れたゲージ対称性と結合しているシナリオにおいて、隠れたゲージ粒子が暗黒輻射として現在のエネルギーに寄与する可能性を提唱した。特に、暗黒輻射の存在量とヒッグスの invisible decay とが関連しており、宇宙的な観測と LHC 実験が相補的な制限を与えることを示した。特にこの暗黒輻射は自己相互作用を持っており、将来の CMB 観測からその粘性パラメーターへの制限、発見が期待できる。

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 64 件)

K. S. Jeong, Y. Shoji, and M. Yamaguchi, Peccei-Quinn invariant extension of the NMSSM, JHEP 1204 (2012) 022 (査読あり)

K. S. Jeong, M. Shimosuka, and M. Yamaguchi, Light Higgsino in Heavy Gravitino Scenario with Successful Electroweak Symmetry Breaking, JHEP 1209 (2012) 050 (査読あり)

K. S. Jeong, Y. Shoji, and M. Yamaguchi, Singlet-Doublet Higgs Mixing and its Implications on the Higgs Mass in the

PQ-NMSSM, JHEP 1209 (2012) 007 (査読あり)
K. Choi, S.H. Im, K.S. Jeong, and M. Yamaguchi, Higgs mixing and diphoton rate enhancement in NMSSM models, JHEP 1302 (2013) 090 (査読あり)
K.S. Jeong, Y. Shoji and M. Yamaguchi, Higgs Mixing in the NMSSM and Light Higgsinos, JHEP 1411, 148 (2014) (査読あり)
T. Moroi and K. Nakayama, Domain Walls and Gravitational Waves after Thermal Inflation, Phys. Lett. B703, 160 (2011) (査読あり)
M. Asano, T. Moroi and N. Yokozaki, Singlet Boson in Supersymmetric Model as a Mimic of the Standard Model Higgs at the LHC, Phys. Lett. B708, 280 (2012) (査読あり)
M. Asano, T. Moroi, R. Sato and T.T. Yanagida, Non-anomalous Discrete R-symmetry, Extra Matters, and Enhancement of the Lightest SUSY Higgs Mass, Phys. Lett. B705, 337 (2011) (査読あり)
M. Asano, T. Moroi, R. Sato and T.T. Yanagida, Focus Point Assisted by Right-Handed Neutrinos, Phys. Lett. B708, 107 (2012) (査読あり)
M. Asano, T. Ito, S. Matsumoto and T. Moroi, Exploring Supersymmetric Model with Very Light Gravitino at the LHC, JHEP1203, 011 (2012) (査読あり)
K. Hamaguchi, T. Moroi and K. Mukaida, Boltzmann equation for non-equilibrium particles and its application to non-thermal dark matter production, JHEP1201, 083 (2012) (査読あり)
R. Jinno, T. Moroi and K. Nakayama, Imprints of Cosmic Phase Transition in Inflationary Gravitational Waves, Phys. Lett. B713, 129 (2012) (査読あり)
T. Moroi, R. Sato and T.T. Yanagida, Extra Matters Decree the Relatively Heavy Higgs of Mass about 125 GeV in the Supersymmetric Model, Phys. Lett. B709, 218 (2012) (査読あり)
T. Moroi and K. Nakayama, Wino LSP detection in the light of recent Higgs searches at the LHC, Phys. Lett. B710, 159 (2012) (査読あり)
T. Moroi and M. Takimoto, Thermal Effects on Saxion in Supersymmetric Model with Peccei-Quinn Symmetry, Phys. Lett. B718, 105 (2012) (査読あり)
R. Jinno, T. Moroi and K. Nakayama, Probing dark radiation with inflationary gravitational waves, Phys. Rev. D86, 123502 (2012) (査読あり)
T. Moroi, T.T. Yanagida and N. Yokozaki, Enhanced Higgs Mass in a Gaugino Mediation

Model without the Polonyi Problem, Phys. Lett. B719, 148 (2013) (査読あり)
T. Moroi and M. Nagai, Probing Supersymmetric Model with Heavy Sfermions Using Leptonic Flavor and CP Violations, Phys. Lett. B723, 107 (2013) (査読あり)
T. Moroi, M. Nagai and M. Takimoto, Non-Thermal Production of Wino Dark Matter via the Decay of Long-Lived Particles, JHEP1307, 066 (2013) (査読あり)
M. Ibe, S. Iwamoto, S. Matsumoto, T. Moroi and N. Yokozaki, Recent Result of the AMS-02 Experiment and Decaying Gravitino Dark Matter in Gauge Mediation, JHEP1308, 029 (2013) (査読あり)
②T. Moroi, K. Mukaida, K. Nakayama and M. Takimoto, Scalar Trapping and Saxion Cosmology, JHEP1306, 040 (2013) (査読あり)
②T. Moroi, M. Nagai and T.T. Yanagida, Lepton Flavor Violations in High-Scale SUSY with Right-Handed Neutrinos, Phys. Lett. B728, 342 (2014) (査読あり)
③ R. Jinno, T. Moroi and K. Nakayama, Inflationary Gravitational Waves and the Evolution of the Early Universe, JCAP1401, 040 (2014) (査読あり)
④ M. Endo, K. Hamaguchi, S. Iwamoto, T. Kitahara and T. Moroi, Reconstructing Supersymmetric Contribution to Muon Anomalous Magnetic Dipole Moment at ILC, Phys. Lett. B728, 274 (2014) (査読あり)
⑤ Y. Ema, R. Jinno and T. Moroi, Cosmic-Ray Neutrinos from the Decay of Long-Lived Particle and the Recent IceCube Result, Phys. Lett. B733, 120 (2014) (査読あり)
⑥ K. Hamaguchi, S.P. Liew, T. Moroi and Y. Yamamoto, Isospin-Violating Dark Matter with Colored Mediators, JHEP 1405, 086 (2014) (査読あり)
⑦ K. Hamaguchi, T. Moroi and T. Terada, Complexified Starobinsky Inflation in Supergravity in the Light of Recent BICEP2 Result, Phys. Lett. B733, 305 (2014) (査読あり)
⑧ R. Jinno, T. Moroi and T. Takahashi, Studying Inflation with Future Space-Based Gravitational Wave Detectors, JCAP1412, no. 12, 006 (2014) (査読あり)
⑨ T. Moroi, K. Mukaida, K. Nakayama and M. Takimoto, Axion Models with High Scale Inflation, JHEP 1411, 151 (2014) (査読あり)
⑩ Y. Ema, R. Jinno and T. Moroi, Cosmological Implications of High-Energy Neutrino Emission from the Decay of Long-Lived Particle, JHEP 1410, 150 (2014) (査読あり)
⑪ M. Endo, T. Moroi and M.M. Nojiri,

Footprints of Supersymmetry on Higgs Decay, JHEP 1504, 176 (2015) (査読あり)

③② K. Hamaguchi, T. Moroi and K. Nakayama, AMS-02 Antiprotons from Annihilating or Decaying Dark Matter, Phys. Lett. B747, 523 (2015) (査読あり)

③③ K. Nakayama and F. Takahashi, Low-scale Supersymmetry from Inflation, JCAP 1110, 033 (2011) (査読あり)

③④ K. Nakayama and F. Takahashi, Higgs mass and inflation, Phys. Lett. B707, 142 (2012) (査読あり)

③⑤ K. Nakayama, F. Takahashi and T.T. Yanagida, On the Adiabatic Solution to the Polonyi/Moduli Problem, Phys. Rev. D84, 123523 (2011) (査読あり)

③⑥ K. Nakayama, F. Takahashi and T.T. Yanagida, Cosmological Moduli Problem in Low Cutoff Theory, Phys. Rev. D86, 043507 (2012) (査読あり)

③⑦ K.S. Jeong and F. Takahashi, Light Higgsino from Axion Dark Radiation, JHEP 1208, 017 (2012) (査読あり)

③⑧ K. Nakayama and F. Takahashi, PeV-scale Supersymmetry from New Inflation, JCAP 1205, 035 (2012) (査読あり)

③⑨ K. Nakayama, F. Takahashi and T.T. Yanagida, Gravity mediation without a Polonyi problem, Phys. Lett. B714, 256 (2012) (査読あり)

④⑩ K. Nakayama and F. Takahashi, Alchemical Inflation: inflaton turns into Higgs, JCAP 1211, 007 (2012) (査読あり)

④⑪ T. Higaki, K. Kamada and F. Takahashi, Higgs, Moduli Problem, Baryogenesis and Large Volume Compactifications, JHEP 1209, 043 (2012) (査読あり)

④⑫ T. Higaki and F. Takahashi, Dark Radiation and Dark Matter in Large Volume Compactifications, JHEP 1211, 125 (2012) (査読あり)

④⑬ H. Fukushima, R. Kitano and F. Takahashi, Cosmologically viable gauge mediation, JHEP 1302, 140 (2013) (査読あり)

④⑭ K. Nakayama, F. Takahashi and T.T. Yanagida, Eluding the Gravitino Overproduction in Inflaton Decay, Phys. Lett. B718, 526 (2012) (査読あり)

④⑮ K.S. Jeong and F. Takahashi, A Gravitino-rich Universe, JHEP 1301, 173 (2013) (査読あり)

④⑯ T. Higaki, K.S. Jeong and F. Takahashi, Hybrid inflation in high-scale supersymmetry, JHEP 1212, 111 (2012) (査読あり)

④⑰ M. Kawasaki, F. Takahashi and T. Takesako, Hubble-induced mass from MSSM plasma, JCAP 1304, 008 (2013) (査読あり)

④⑱ K.S. Jeong and F. Takahashi, Axionic

Co-genesis of Baryon, Dark Matter and Dark Radiation, JHEP 1304, 121 (2013) (査読あり)

④⑲ T. Higaki, K.S. Jeong and F. Takahashi, A Parallel World in the Dark, JCAP 1308, 031 (2013) (査読あり)

⑤⑰ K.S. Jeong and F. Takahashi, Self-interacting Dark Radiation, Phys. Lett. B725, 134 (2013) (査読あり)

51 F. Takahashi, New inflation in supergravity after Planck and LHC, Phys. Lett. B727, 21 (2013) (査読あり)

52 H. Ishida, K.S. Jeong and F. Takahashi, Longevity Problem of Sterile Neutrino Dark Matter, Phys. Lett. B731, 242 (2014) (査読あり)

53 K.S. Jeong, M. Kawasaki and F. Takahashi, Axions as Hot and Cold Dark Matter, JCAP 1402, 046 (2014) (査読あり)

54 K. Ishiwata, K.S. Jeong and F. Takahashi, Moduli-induced Baryogenesis, JHEP 1402, 062 (2014) (査読あり)

55 H. Ishida, K.S. Jeong and F. Takahashi, 7 keV sterile neutrino dark matter from split flavor mechanism, Phys. Lett. B732, 196 (2014) (査読あり)

56 T. Higaki, K.S. Jeong and F. Takahashi, The 7 keV axion dark matter and the X-ray line signal, Phys. Lett. B733, 25 (2014) (査読あり)

57 M. Czerny, T. Higaki and F. Takahashi, Multi-Natural Inflation in Supergravity, JHEP 1405, 144 (2014) (査読あり)

58 K. Nakayama and F. Takahashi, Higgs Chaotic Inflation and the Primordial B-mode Polarization Discovered by BICEP2, Phys. Lett. B734, 96 (2014) (査読あり)

59 K. Nakayama, F. Takahashi and T.T. Yanagida, Anomaly-free flavor models for Nambu-Goldstone bosons and the 3.5 keV X-ray line signal, Phys. Lett. B734, 178 (2014) (査読あり)

60 H. Murayama, K. Nakayama, F. Takahashi and T.T. Yanagida, Sneutrino Chaotic Inflation and Landscape, Phys. Lett. B738, 196 (2014) (査読あり)

61 T. Higaki and F. Takahashi, Natural and Multi-Natural Inflation in Axion Landscape, JHEP 1407, 074 (2014) (査読あり)

62 M. Kawasaki, N. Kitajima and F. Takahashi, Relaxing Isocurvature Bounds on String Axion Dark Matter, Phys. Lett. B737, 178 (2014) (査読あり)

63 T. Higaki, N. Kitajima and F. Takahashi, Hidden axion dark matter decaying through mixing with QCD axion and the 3.5 keV X-ray line, JCAP 1412, 004 (2014) (査読あり)

64 N. Kitajima and F. Takahashi, Gravitational waves from Higgs domain

walls, Phys. Lett. B745, 112 (2015) (査読あり)

[その他]

ホームページ等

<http://www.tuhep.phys.tohoku.ac.jp/index-j.shtml>

6 . 研究組織

(1)研究代表者

山口 昌弘 (YAMAGUCHI, Masahiro)

東北大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号：10222366

(2)研究分担者

諸井 健夫 (MOROI, Takeo)

東京大学・大学院理学系研究科・教授

研究者番号：60322997

(3)連携研究者

高橋 史宜 (TAKAHASHI, Fuminobu)

東北大学・大学院理学研究科・准教授

研究者番号：60503878