

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 5 日現在

機関番号：82118

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2010～2013

課題番号：22244030

研究課題名(和文) アクシオン型モジュライの引き起こす多様な宇宙現象をもちいた余剰次元探査

研究課題名(英文) The exploration of extradimensions in terms of a variety of cosmophysical phenomena caused by axionic moduli

研究代表者

小玉 英雄 (Kodama, Hideo)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・教授

研究者番号：40161947

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 25,700,000円、(間接経費) 7,710,000円

研究成果の概要(和文)：究極理論への新たな実験観測ウインドウの開拓を目指して、宇宙物理現象論と超弦理論・超重重力理論の双方からアクシオンについて組織的な研究を行い、200編を超える論文を発表した。主な成果は、回転ブラックホールの引き起こすアクシオンボーズノバ現象の数値シミュレーションによる実証とその重力波による観測可能性の発見、高エネルギーガンマ線観測と赤外線放射観測の矛盾をアクシオンにより解消するパラメータの導出、重いモジュライの崩壊により生成されたアクシオンの宇宙背景放射への影響の評価とそれによる余剰空間コンパクト化への制限、アクシオン起源の等曲率ゆらぎや位相的励起生成に基づく素粒子模型への制限の導出などである。

研究成果の概要(英文)：In order to open up a new observational/experimental window to the ultimate theory, we have studied axions from both the cosmophysics phenomenology aspect and the superstring/supergravity aspect and have published more than 200 papers. The main achievements are demonstrations of the axion boson nova phenomenon caused by a rotating black hole by numerical simulations and the discovery of its observability by gravitational wave experiments, derivation of a parameter range for axion to resolve the conflict between the high energy gamma-ray observations and the infrared background observation, evaluations of the influences of axions produced by the decay of heavy moduli on cosmic microwave background and derivation of constraints on the compactification of extra-dimensions on the basis of this estimation, derivation of constraints on elementary particle models from cosmological influences of axionic isocurvature perturbations and topological defects.

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学 素粒子・原子核・宇宙物理

キーワード：アクシオン 超弦理論 モジュライ ブラックホール ガンマ線天文学 宇宙背景放射 重力波 インフレーション

### 1. 研究開始当初の背景

現在、重力を含むすべての相互作用の整合的統一理論(究極理論)の唯一の候補は、超弦理論・M理論のみである。近年、超弦理論・M理論に基づいて、低エネルギーでの物理法則を再現する研究は急速に進展しており、素粒子標準模型と類似した数多くのコンパクト化模型が構成されている。その一方で、本来、高い局所超対称性をもつ10次元ないし11次元理論として構成されている超弦理論・M理論から超対称性の破れた4次元理論を得るための余剰次元コンパクト化とそのモジュライ安定化機構や超対称性破れの機構については、あまり理解が進んでいない。関連して、超弦理論・M理論を出発点として観測と整合的なインフレーション宇宙模型を導出することにも成功していない。

このような状況を打開して、超弦理論・M理論が真の究極理論である可能性を実験的に確認し、さらにコンパクト化の構造についての情報を探る方法の一つとして、超弦理論・M理論の4次元へのコンパクト化により、QCD アクシオンを含む多様な超弦理論アクシオンが生まれ、それが宇宙進化の途上や現在の宇宙で様々な特有の宇宙現象を引き起こすことに着目した研究がある。このアプローチについては、すでに研究開始時点でいくつかの先駆的研究があり、それに基づいて2009年にAxiverseという標語でA. Arvanitakiらにより包括的な議論がなされ、アクシオンを用いた究極理論探査「アクシオン宇宙物理」の可能性が提示されていた。しかし、この論文で議論されたアイデアの多くはまだオーダー評価の段階のものであった。

### 2. 研究の目的

超弦理論を背景とするアクシオン宇宙物理は豊かな内容をもつが、その研究はまだ緒についたばかりであり、超弦理論と宇宙物理の双方で解明すべき理論的問題が多く存在する。これらを組織的に解明するのが本研究の目的であるが、特に期間内に次の点を明らかにする。

- 宇宙物理サイド：
  1. アクシオンのCMBへの影響を精密大域構造観測により検出する可能性を明らかにする。
  2. 不安定性が生み出すブラックホール+アクシオン系の具体的な時間発展を明らかにする。
  3. アクシオン-光子変換が実際に天体物理現象で重要な役割を果たしているかどうかを高統計精度で明らかにする。
  4. アクシオンに特有の相互作用が引き起こす新たな宇宙現象を発見する。
- 超弦理論サイド：超弦理論・M理論の低エネルギー理論を再現するモデルおよびインフレーションを実現するモデルについて、アクシオンの種類、数、相互作用

を組織的に決定する。

さらに、最終的にはこれらの成果を統合し、具体的なアクシオン天文学の提言を行う。

### 3. 研究の方法

研究は、超弦理論から宇宙論、天体物理、ブラックホール理論など多岐にわたるため、次の6つのテーマに分けて平行して研究を進める。

- 宇宙構造進化への影響：CDM + アクシオン宇宙模型におけるスペクトル変形を厳密なゲージ不変摂動論により調べ、CMB(偏光)への影響、精密大域構造観測、21cm観測によりそれらを検出する可能性を明らかにする。
- ブラックホール不安定性の解析的研究：ブラックホール+アクシオン系の厳密解およびその高次元解との対応を基礎として、その不安定性を解析的方法により研究。
- ブラックホール不安定性の数値的研究：ブラックホール+アクシオン系の不安定性が具体的にどのような時間発展をするかを一般相対論の数値シミュレーションにより研究。
- 宇宙線・ガンマ線天体物理：高エネルギー天体内および宇宙空間における高エネルギーガンマ線とアクシオンの間の磁場中での変換効率を計算、Fermi衛星など最新の豊かな観測結果を用いてこれらの理論的結果を検証。
- 新たな宇宙現象の発見：アクシオンに特有の相互作用が引き起こす新たな宇宙現象を探査。
- 超弦理論におけるアクシオンスペクトル：低エネルギー理論を再現するモデルおよびインフレーションを実現するモデルについて、ブレーンの影響を考慮して、コンパクト化により生成されるアクシオンの種類、数、相互作用を決定し、さらにその宇宙論的影響を詳しく調べる。

以上の個別の理論的研究と共に、ワークショップおよび国際会議の開催を通して、宇宙実験・観測や精密実験を行う研究者との交流および海外に分散するアクシオン研究者との研究協力を推進する。

### 4. 研究成果

- 回転ブラックホールの増幅反射不安定と重力波放出  
 回転ブラックホールまわりで増幅反射不安定により形成されるアクシオン雲は、成長により全質量がある臨界値を超えると非線形自己相互作用によって突然爆発的な崩壊を起こすこと(ボーズノバ現象)を、高精度の3次元相対論の数値シミュレーションにより、世界で初めて具体的に示し、そのメカニズムを解析的に明らかにするとともに、臨界質量をアクシオン崩壊定数で表す経験式を与え

た。また、アクシオン雲の不安定モードを特徴づける方位量子数  $l$  が大きいほど、ポーズノバ現象が顕著で激しくなることを見出した。さらに、Kerr 時空での摂動論を用いて、アクシオン雲よりの重力波放出を正確に評価するための新たな定式化を完成、これを用いて増幅反射不安定で線形成長するアクシオン雲からの重力波放出を計算し、アクシオン雲からの重力波放出は増幅反射不安定を阻害しないが、その放射強度は比較的強く、銀河系内のブラックホールで起きた場合、LIGO など既存の重力波干渉計実験装置で検出可能なレベルに達しすることを見出した。これより、特に、これまで LIGO がこのような重力波シグナルが検出していないことから、ある質量領域の超弦理論アクシオンが観測的に排除されることを見いだした。

- 有質量重力理論

C. de Rham, G. Gabadadze, A.J. Tolley により提案された、ゼロでない質量をもつ非線形重力理論(dRGT 理論)において、Einstein 理論の厳密解である Schwarzschild-de Sitter ブラックホール解がこの理論でも厳密解となる条件を組織的に調べ、2 つの解の系列を見出した。その一つの系列に対し、その摂動安定性を一般的に調べ、解は幾何学的には安定であるが、摂動解が時間空間の任意関数を含むことを見出した。これは、dRGT 理論でのアクシオン場に相当する Stuckelberg 場の力学構造がこの解の近傍で退化し、理論が予言可能性を失うことを意味し、理論の重大な欠陥を示唆している。

- 高次元ブラックホール

Lovelock 型高次元重力理論におけるブラックホール摂動に対するマスター方程式を導出し、それに基づいて Lovelock ブラックホール不安定性を証明。また、Gauss-Bonnet-Dilaton 重力理論においてブラックホールの中心特異性が弱くなることを発見。これらはブラックホールの構造や安定性が次元に大きく依存していることを示す。

- 高エネルギー天体

最高エネルギー宇宙線を起源とするガンマ線のスペクトルがアクシオンとの混合により有意に変化することを発見。ガンマ線観測衛星による AGN からの TeV ガンマ線観測と赤外線背景放射の観測データの間の矛盾をアクシオン-光子変換により解決する可能性を詳しく検討し、この可能性が実現されるアクシオンの質量と崩壊定数の値の範囲を決定。論文の発表は、CIBER 実験のデータ正式発表の後になる。

- アクシオン宇宙論・宇宙物理

インフレーションを実現し Peccei-Quinn 対称性の破れが GUT スケールとなる超対称アクシオンモデルを構成。アクシオンが暗黒輻射となるモデルを提案し、等曲率宇宙ゆらぎからの制限、LHC 実験への示唆を与えた。また、LHC 実験結果と整合的な素粒子モデル、及び位相欠陥生成問題を回避し比較的大きな等曲率揺

らぎを予言するインフレーションモデルを超対称アクシオンモデルにより構築。U(1)R 対称性の破れにより生成されるアクシオンおよび宇宙ひもの宇宙論的影響を調べ、超対称性の破れへの強い制限を得た。超弦理論モジュライのアクシオンへの崩壊が暗黒放射を生み出すことに着目し、余剰次元コンパクト化モデルへの強い観測的制限を得た。原始磁場中のアクシオン・光子変換過程に着目し、アクシオン暗黒放射に対する宇宙論的制限を導出。銀河中心からの 130GeV ガンマ線(Fermi 衛星観測)を説明するアクシオン暗黒物質モデルを構築。3.5keV X 線輝線を説明するモデルとして sterile neutrino, string axion, pNG boson を提唱。

- アクシオンの引き起こす新たな現象

ゲージ結合係数のモジュライ依存性に起因する非等方インフレーションにより超弦理論コンパクト化の情報を観測的に得る可能性を指摘。さらに、ゲージ場とアクシオンが Chern-Simons 結合する系に対して、非等方インフレーションが起きるためにはゲージ場の可換性が必要であることを示した。また、QCD のゴーストモードがダークエネルギーに寄与する可能性を指摘。これらはいずれもモジュライの引き起こす宇宙現象が究極理論のプロープとなることを具体的に示している。さらに、パリティを破るような重力波の非ガウス統計がスローロールパラメータで決定されることを明らかにした。

- 超弦理論の現象論

超弦理論から導かれる 4 次元有効超重力理論において、超軽量アクシオンがモジュライとして現れる可能性を広い枠組みで研究し、アクシオン質量が超対称性の破れのスケールとプランクスケールの比の 2 乗で抑制されることを示した。ヘテロ型超弦理論の交差プレーンモデルと E8 超対称非線形シグマモデルの対応を解明。大余剰次元シナリオで自然にアクシオン型暗黒放射が生成されることを指摘。超弦理論低エネルギー有効理論を解析し、フレーバー対称性および R 対称性の非摂動論的破れのニュートリノ質量項への影響を解明。R-axion の宇宙論への影響により、超対称性の高エネルギーでの破れの機構が強く制限されることを示した。超弦理論の 4 次元有効理論の観点から 4 次元極大超重力理論を組織的に調べ、その SL8 型真空を完全分類し、モジュライ質量スペクトルを解析的に決定。

## 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 205 件)すべて査読有り

1. “Covariant Approach to the No-ghost Theorem in Massive Gravity”  
Taichiro Kugo, Nobuyoshi Ohta: Prog. Theor. Exp. Phys. (2014) 掲載決定。

- DOI: 10.1093/ptep/ptu046
2. "Gravitational radiation from an axion cloud around a black hole: Superradiant phase"  
Hiroataka Yoshino, Hideo Kodama: Prog. Theor. Exp. Phys. (2014) 043E02.  
DOI: 10.1093/ptep/ptu029
  3. "Stability of the Schwarzschild-de Sitter black hole in the dRGT massive gravity theory"  
Hideo Kodama, Ivan Arraut: Prog. Theor. Exp. Phys. 2014 (2014) 023E02.  
DOI: 10.1093/ptep/ptu016
  4. "Chaotic Inflation with Right-handed Sneutrinos after Planck"  
Kazunori Nakayama, Fuminobu Takahashi, Tsutomu T. Yanagida: Phys.Lett. B730 (2014) 24.  
DOI: 10.1016/j.physletb.2014.01.022
  5. "130GeV gamma-ray line through axion conversion"  
M. Yamanaka, K. Kohri, K. Ioka, M. M. Nojiri: JCAP 1402 (2014) 046.  
DOI: 10.1088/1475-7516/2014/02/046
  6. "More on cosmological constraints on spontaneous R-symmetry breaking models"  
Y. Hamada, K. Kamada, T. Kobayashi, Y. Ookouchi: JCAP01 (2014)024.  
DOI: 10.1088/1475-7516/2014/01/024
  7. "Anisotropic powerlaw k-inflation"  
Junko Ohashi, Jiro Soda, Shinji Tsujikawa: Phys. Rev. D88 (2013) 103517.  
DOI: 10.1103/PhysRevD.88.103517
  8. "Observational signatures of anisotropic inflationary models"  
Junko Ohashi, Jiro Soda, Shinji Tsujikawa: JCAP 1312 (2013) 009  
DOI: 10.1088/1475-7516/2013/12/009
  9. "Cosmological constraints on axionic dark radiation from axion-photon conversion in the early Universe"  
T. Higaki, K. Nakayama, F. Takahashi: JCAP 1309 (2013) 030.  
DOI: 10.1088/1475-7516/2013/09/030
  10. "Polynomial Chaotic Inflation in Supergravity"  
K. Nakayama, F. Takahashi, T. T. Yanagida: JCAP 1308 (2013) 038.  
DOI: 10.1088/1475-7516/2013/08/038
  11. "Moduli-Induced Axion Problem"  
T. Higaki, K. Nakayama, F. Takahashi: JHEP 1307 (2013) 005.  
DOI: 10.1007/JHEP07(2013)005
  12. "Cosmic R-string in thermal history"  
K. Kamada, T. Kobayashi, K. Ohashi, Y. Ookouchi: JHEP 1305 (2013) 091  
DOI: 10.1007/JHEP05(2013)091
  13. "Precise Measurements of Primordial Power Spectrum with 21 cm Fluctuations"  
K. Kohri, Y. Oyama, T. Sekiguchi, T. Takahashi: JCAP 1310 (2013) 065  
DOI: 10.1088/1475-7516/2013/10/065
  14. "The Spectral Index and its Running in Axionic Curvaton"  
Fuminobu Takahashi: JCAP 1306 (2013) 013  
DOI: 10.1088/1475-7516/2013/06/013
  15. "Axions : Theory and Cosmological Role"  
M. Kawasaki, Kazunori Nakayama: Ann. Rev. Nucl. Part. Sci. 63 (2013) 69-95  
DOI:10.1146/annurev-nucl-102212-170536
  16. "Superradiant instabilities in astrophysical systems"  
Helvi Witek, Vitor Cardoso, Akihiro Ishibashi, Ulrich Sperhake: Phys.Rev. D87 (2013) 043513.  
DOI: 10.1103/PhysRevD.87.043513
  17. "Cosmic R-string, R-tube and Vacuum Instability"  
M. Eto, Y. Hamada, K. Kamada, Tatsuo Kobayashi, K. Ohashi, Y. Ookouchi: JHEP 1303 (2013) 159.  
DOI: 10.1007/JHEP03(2013)159
  18. "Cosmological constraints on spontaneous R-symmetry breaking models"  
Y. Hamada, K. Kamada, Tatsuo Kobayashi, Y. Ookouchi: JCAP 1304 (2013) 043  
DOI: 10.1088/1475-7516/2013/04/043
  19. "Non-Gaussianity from Axionic Curvaton"  
M. Kawasaki, T. Kobayashi, F. Takahashi: JCAP 1303 (2013) 016.  
DOI: 10.1088/1475-7516/2013/03/016
  20. "Classification and stability of vacua in maximal gauged supergravity"  
Hideo Kodama, Masato Nozawa: JHEP 1301 (2013) 045.  
DOI: 10.1007/JHEP01(2013)045
  21. "Determination of neutrino mass hierarchy by 21 cm line and CMB B-mode polarization observations."  
Y. Oyama, A. Shimizu, Kazunori Kohri: Phys. Lett. B718 (2013) 1186-1193.  
DOI: 10.1016/j.physletb.2012.12.053
  22. "Perturbations of slowly rotating black holes: massive vector fields in the Kerr metric"  
P. Pani, V. Cardoso, L. Gualtieri, E. Berti, Akihiro Ishibashi: Phys.Rev. D86 (2012) 104017.  
DOI: 10.1103/PhysRevD.86.104017
  23. "Black hole bombs and photon mass bounds"  
P. Pani, V. Cardoso, L. Gualtieri, E. Berti, Akihiro Ishibashi: Phys. Rev.

- Lett. 109 (2012) 131102.  
DOI: 10.1103/PhysRevLett.109.131102
24. “Dark Radiation and Dark Matter in Large Volume Compactifications.”  
Tetsutaro Higaki, Fuminobu Takahashi:  
JHEP 1211 (2012) 125.  
DOI: 10.1007/JHEP11(2012)125
25. “When is Multimetric Gravity Ghost-free?”  
Kouichi Nomura, Jiro Soda: Phys. Rev. D86 (2012) 084052.  
DOI: 10.1103/PhysRevD.86.084052
26. “Higgs, Moduli Problem, Baryogenesis and Large Volume Compactifications”  
T. Higaki, K. Kamada, Fuminobu Takahashi: JHEP 1209 (2012) 043.  
DOI: 10.1007/JHEP09(2012)043
27. “Bosenova collapse of axion cloud around a rotating black hole”  
Hiroataka Yoshino, Hideo Kodama: Prog. Theor. Phys. 128 (2012) 153-190.  
DOI: 10.1143/PTP.128.153
28. “Destabilizing Tachyonic Vacua at or above the BF Bound”  
Sugumi Kanno, Misao Sasaki, Jiro Soda: Prog.Theor.Phys. 128 (2012) 213-226.  
DOI: 10.1143/PTP.128.213
29. “Non-Gaussian isocurvature perturbations in dark radiation”  
E. Kawakami, M. Kawasaki, K. Miyamoto, Kazunori Nakayama, T. Sekiguchi: JCAP 1207 (2012) 037.  
DOI: 10.1088/1475-7516/2012/07/037
30. “Statistical Anisotropy from Anisotropic Inflation”  
Jiro Soda: Class. Quant. Grav. 29 (2012) 083001.  
DOI: 10.1088/0264-9381/29/8/083001
31. “The inflating curvaton”  
K. Dimopoulos, Kazunori Kohri, D. H. Lyth, T. Matsuda: JCAP 1203 (2012) 022.  
DOI: 10.1088/1475-7516/2012/03/022
32. “Axiverse and Black Hole”  
Hideo Kodama, Hiroataka Yoshino: IJMP:Conference Series 7 (2012) 84-115.  
DOI: 10.1142/S2010194512004199
33. “Isocurvature perturbations in extra radiation”  
M. Kawasaki, K.Miyamoto, Kazunori Nakayama, T. Sekiguchi: JCAP 1202 (2012) 022.  
DOI: 10.1088/1475-7516/2012/02/022
34. “Parity Violation in Graviton Non-gaussianity”  
Jiro Soda, Hideo Kodama, Masato Nozawa: JHEP 1108 (2011)067.  
DOI: 10.1007/JHEP08(2011)067
35. “Note on moduli stabilization, supersymmetry breaking and axiverse”  
Tetsutaro Higaki, Tatsuo Kobayashi: Phys. Rev. D84 (2011) 045021.  
DOI: 10.1103/PhysRevD.84.045021
36. “Anisotropic Inflation with Non-Abelian Gauge Kinetic Function”  
Keiju Murata, Jiro Soda: JCAP 1106 (2011) 037.  
DOI: 10.1088/1475-7516/2011/06/037
37. “A theory of extra radiation in the Universe”  
K. Nakayama, F. Takahashi, T. T. Yanagida: Phys. Lett. B697 (2011) 275.  
DOI: 10.1016/j.physletb.2011.02.013
- [学会発表](計 165 件)
1. Hideo Kodama, Hiroataka Yoshino: “Superradiance instability of a Kerr black hole and axionic bose nova”, 27th Texas Symposium on Relativistic Astrophysics, 2013 年 12 月 10 日, Fairmont Hotel, Dallas, USA.
  2. Kazunori Nakayama: “Axionic dark radiation from string moduli”, PASCOS2013, 2013 年 11 月 20 日, GIS International Convention Center, Taiwan.
  3. Kunihito Ioka: “Multi-Messenger Astrophysics”, 1st APCTP-NBIA joint workshop on Cosmology and Astroparticle, 2013 年 10 月 21 日 ~ 25 日, APCTP, Pohang, Korea.
  4. Fuminobu Takahashi: “Planck implications for high energy physics”, String phenomenology 2013, 2013 年 7 月 18 日, DESY, Germany.
  5. Tatsuo Kobayashi: “Phenomenological aspects of magnetized brane models”, The 4th Bethe Center Workshop on Unification and String Theory, 2012 年 10 月 1 日 ~ 5 日, Bad Honnef, Germany.
  6. Nobuyoshi Ohta: “Accelerating Universes in String Theory via Field Redefinition”, String Phenomenology 2012 年 6 月 25 日 ~ 29 日, Cambridge University, UK.
  7. Jiro Soda: “Impact of gauge fields on inflation”, 2012 international workshop on String Theory and Cosmology, 2012 年 6 月 15 日, Grand Hotel, Pusan, Korea.
  8. Kazuhiko Kohri: “Axion searches in astrophysics”, Near infrared background and the epoch of reionization, 2012 年 05 月 15 日, University of Texas, Austin, United States.
  9. Hiroataka Yoshino, Hideo Kodama: Bosenova collapse of axion cloud around a rotating black hole”, Black Holes: New Horizons, 2011 年 11 月 21 日, Banff International Research

Station, Canada .

10. Akihiro Ishibashi : " Perturbation Theory of Black Holes " , Numerical Relativity and High Energy Physics workshop、2011 年 09 月 03 日 , Madeira Island, Portugal .

〔図書〕(計 1 件)

1. 小玉英雄, 井岡邦仁, 郡和範 : 「宇宙物理学」 KEK 教科書シリーズ 3 , 共立出版 (2014) 291 ページ .

〔その他〕

ホームページ等: なし

## 6 . 研究組織

### (1) 研究代表者

小玉 英雄 (KODAMA, Hideo)  
高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・教授  
研究者番号: 40161947

### (2) 研究分担者

太田 信義 (OHTA, Nobuyoshi)  
平成 22 年度  
近畿大学・理工学部・教授  
研究者番号: 90167304

高橋 史宜 (TAKAHASHI, Fuminobu)  
平成 22 年度  
東京大学・数物宇宙連携機構・特任助教  
研究者番号: 60503878

中山 和則 (NAKAYAMA, Kazunori)  
平成 23 年度 ~ 平成 25 年度  
東京大学・大学院理学系研究科・助教  
研究者番号: 90596652

### (3) 連携研究者

太田 信義 (OHTA, Nobuyoshi)  
平成 23 年度 ~ 平成 25 年度  
近畿大学・理工学部・教授  
研究者番号: 90167304

柴田 大 (SHIBATA, Masaru)  
平成 22 年度  
京都大学・基礎物理学研究所・教授  
研究者番号: 80252576

溝口 俊弥 (MIZOGUCHI, Shun ' ya)  
高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・研究機関講師  
研究者番号: 00222323

小林 達夫 (KOBAYASHI, Tatsuo)  
平成 23 年度 ~ 平成 25 年度  
京都大学・大学院理学研究科・准教授(現、北海道大学・大学院理学研究科・教授)  
研究者番号: 60322153

早田 次郎 (SODA, Jiro)  
京都大学・大学院理学研究科・准教授(現、神戸大学・大学院理学研究科・教授)  
研究者番号: 00222076

郡 和範 (KOHRl, Kazunori)  
平成 23 年度 ~ 平成 25 年度  
高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・助教(現、准教授)  
研究者番号: 50565819

石橋 明浩 (ISHIBASHI, Akihiro)  
高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・研究員(現、近畿大学・理工学部・准教授)  
研究者番号: 10469877

井岡 邦仁 (IOKA, Kuninito)  
高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・准教授  
研究者番号: 80402759

高橋 史宜 (TAKAHASHI, Fuminobu)  
平成 23 年度 ~ 平成 25 年度  
東北大学・大学院理学研究科・准教授  
研究者番号: 60503878

吉野 裕高 (YOSHINO, Hirotaka)  
高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・研究員  
研究者番号: 20377972

野澤 真人 (NOZZWA, Masato)  
平成 23 年度 ~ 平成 25 年度  
高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・研究員  
研究者番号: 60547321

永田 竜 (NAGATA, RYO)  
平成 22 年度  
高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・研究員  
研究者番号: 00571209

川中 宣太 (KAWANAKA, Norita)  
平成 22 年度  
高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・研究員  
研究者番号: 60507838

富沢 真也 (TOMIZAWA, Shin ' ya)  
平成 22 年度  
高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・研究員  
研究者番号: 20624042