

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 20 日現在

機関番号：11601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2017

課題番号：25800136

研究課題名(和文) 拡張された重力理論における宇宙の加速膨張機構と三大物質組成の起源の研究

研究課題名(英文) Studies of the cosmic acceleration mechanism and the origins of the three components in the present universe in extended gravity theories

研究代表者

馬場 一晴 (BAMBA, Kazuharu)

福島大学・共生システム理工学類・准教授

研究者番号：60608719

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：初期宇宙での急速な加速膨張であるインフレーションと現在の宇宙の加速膨張機構、及び現在の宇宙の三大物質組成である暗黒エネルギー・暗黒物質・バリオンの起源を拡張重力理論において統一的に解明することを目的として研究を行った。結果として、一般相対性理論と比較して長距離スケールで重力を拡張する様々な拡張重力理論のうち、特にその拡張の仕方と付加的な仮定が小さい重力理論において、宇宙の加速膨張が実現され得ることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：We have executed the studies in terms of the acceleration mechanism of both inflation in the early universe, which is the rapid cosmic acceleration, and the current accelerated explanations of the universe, and the unified explanations of the origins of the three components in the present universe, namely, dark energy, dark matter and baryons, in extended gravity theories. As a result, it has been shown that the cosmic acceleration can be realized in an extended gravity theory, in which the extensions of gravity in large-scales compared with general relativity are smaller and the additional assumptions are fewer.

研究分野：宇宙論・重力理論

キーワード：インフレーション 現在の宇宙の加速膨張 暗黒エネルギー F(R)重力理論 大域的原始宇宙磁場 原始重力波 宇宙のバリオン数生成 暗黒物質

### 1. 研究開始当初の背景

欧州宇宙機関のプランク衛星による宇宙マイクロ波背景輻射の超精密観測から、初期宇宙で起こったと考えられている「インフレーション」という加速的宇宙膨張の詳細な性質が明らかにされた。一方、近年の Ia 型超新星の観測から、現在の宇宙も加速膨張していることが発見され、「暗黒エネルギー問題」と呼ばれている。この問題を解決する有力な手だての一つとして、長距離で重力を一般相対性理論から拡張する方法が国内外で盛んに研究されており、非常に重要な位置づけにある。初期宇宙でのインフレーションと現在の宇宙の加速膨張(暗黒エネルギーの起源)は全く未解明であり、現代物理学における最も基本的かつ今世紀最大の課題の一つと考えられる。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、初期宇宙でのインフレーションと現在の宇宙の加速膨張機構、及び現在の宇宙の三大物質組成である暗黒エネルギー・暗黒物質・バリオンの起源を特に素粒子論に基づく拡張重力理論において統一的に解明することである。その結果、宇宙の加速膨張機構と三大物質組成の起源が長距離での重力理論の拡張で説明される可能性が開かれ、重力の量子化を含めた重力の普遍的性質の理解の手がかりが得られると強く期待される。

### 3. 研究の方法

暗黒エネルギー問題の研究方法は、大きく二つに分類される。一つは、一般相対性理論の枠内で、宇宙項に代表される暗黒エネルギーと呼ばれる負の圧力を持った未知の新物質を導入する方法である。もう一つは、長いスケールで重力理論を拡張する方法である。後者の代表例としては、一般相対性理論を拡張し、スカラー曲率  $R$  の適当な関数  $F(R)$  を作用とする「 $F(R)$ 重力理論」がある。これは、暗黒エネルギーを幾何学的な物理量であると解釈するアプローチである。スタロピンスキーモデルの作用積分は、 $R$  と  $R$  の自乗から構成されることから、この理論は  $F(R)$ 重力理論の一つと考えられる。本研究課題では、主として後者の方法を用いて、研究計画を遂行した。

### 4. 研究成果

本研究の成果は、次の五点に集約される。

(1) 初期宇宙におけるインフレーションと現在の宇宙の加速膨張を統一的に説明することを目的として、 $F(R)$ 重力理論に加え、挟み率  $T$  によって作用が記述される  $F(T)$ 重力理論、互いに相互作用する二つの計量で作用が記述される bi-metric 重力理論、スカラー曲率  $R$  と物質のエネルギー・運動量テンソル  $T$  によって作用が記述される  $F(R, T)$ 重力理論、そして重力の 2 次の量子補正項であるガ

ウス=ボンネ不変量で作用が記述される  $F(G)$ 重力理論において、宇宙の加速膨張機構、宇宙論的摂動論、熱力学第一・第二法則等の考察を行った。これらの様々な重力理論における宇宙論の研究は、一般相対性理論における宇宙論の研究と相補的な関係にあり、重要な意義を持つと考えられる。

(2)  $F(R)$ 重力理論における宇宙論的摂動論を展開し、インフレーション期に生成される曲率揺らぎのスペクトルに関する理論的結果と BICEP2 実験の原始重力波に関する解析結果並びに Planck 衛星の観測結果との比較を詳細に行った。

(3) 拡張重力理論の性質をより深く理解するために、 $F(R)$ 重力理論の一つと考えられるスカラー曲率の自乗項を含んだ複数スカラー場の理論、並びに流体モデルにおける宇宙論を考察した。特に流体モデルの研究では、プランク衛星による観測結果と整合する曲率揺らぎのスペクトル指数から、流体の状態方程式を構築した。

(4)  $F(R)$ 重力理論、 $F(T)$ 重力理論、 $F(R, T)$ 重力理論における宇宙物理学的考察、とりわけ重力収縮過程及びコンパクト天体の性質を解析した。これらの成果は、コンパクト天体から発生する重力波の今後の研究にも繋がりが得る研究であり、重要な意義があると考えられる。

(5) 拡張重力理論での様々な宇宙論的過程における物理の研究として、宇宙の初期特異点を回避するバウンスシナリオ、弦理論における非可換空間での流体力学の定式化、高次元時空理論の一つであるカルーザ=クライン理論でのニュートリノと暗黒物質の関連性、インフレーション後の再加熱過程における宇宙のバリオン数生成、ホログラフィック暗黒エネルギーに関する研究を行った。これらの研究は  $F(R)$ 重力理論でのインフレーション機構、暗黒物質の生成と進化の研究、そしてバリオンの起源の研究と密接に関連しており、重要性が高いと考えられる。

### 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 40 件)

- [1] J. K. Singh, Kazuharu Bamba, Ritika Nagpal and S. K. J. Pacif, Bouncing cosmology in  $f(R, T)$  gravity, Physical Review D (印刷中), 2018 年, 査読有
- [2] Kazuharu Bamba, Davood Momeni and Mudhahir Al Ajmi, Holographic Entanglement Entropy, Complexity, Fidelity Susceptibility and Hierarchical UV/IR Mixing Problem in AdS<sub>2</sub>/open strings, International Journal of Modern Physics A (印刷中), 2018 年, 査読有
- [3] Kazuharu Bamba, Neil D. Barrie, Akio Sugamoto, Tatsu Takeuchi and Kimiko

Yamashita, Ratchet Baryogenesis with an Analogy to the Forced Pendulum, *Modern Physics Letters A* (印刷中), 2018年, 查読有

[4] M. Sharif, Syed Asif Ali Shah and Kazuharu Bamba, *New Holographic Dark Energy Model in Brans-Dicke Theory, Symmetry*, 2018, 10(5), 153, 查読有, DOI: 10.3390/sym10050153

[5] M. Tavayef, A. Sheykhi, Kazuharu Bamba and H. Moradpour, *Tsallis Holographic Dark Energy, Physics Letters B* 781 (2018), 195 - 200, 查読有,

DOI: 10.1016/j.physletb.2018.04.001

[6] Kazuharu Bamba, Surena Rahbardehghan and Hamed Pejhan, *Vacuum states for gravitons field in de Sitter space, Physical Review D* 96, 106009 (2017), 查読有, DOI: 10.1103/PhysRevD.96.106009

[7] Kazuharu Bamba, M. Ilyas, M. Z. Bhatti and Z. Yousaf, *Energy Conditions in Modified  $f(R)$  Gravity, General Relativity and Gravitation* (2017) 49: 112, 查読有, DOI: 10.1007/s10714-017-2276-x

[8] Kazuharu Bamba, Sergei D. Odintsov and Emmanuel N. Saridakis, *Inflationary cosmology in unimodular  $F(R)$  gravity, Modern Physics Letters A* 32, 1750114 (2017), 查読有,

DOI: 10.1142/S0217732317501140

[9] Salvatore Capozziello, Emmanuel N. Saridakis, Kazuharu Bamba, Alireza Sepehri, Farook Rahaman, Ahmed Farag Ali, Richard Pincak and Anirudh Pradhan, *Cosmic space and Pauli exclusion principle in a system of M0-branes, International Journal of Geometric Methods in Modern Physics* 14, 1750095 (2017), 查読有, DOI: 10.1142/S0219887817500955

[10] Alireza Sepehri, Richard Pincak, Kazuharu Bamba, Salvatore Capozziello and Emmanuel N. Saridakis, *Current density and conductivity through modified gravity in the graphene with defects, International Journal of Modern Physics D* 26, 1750094 (2017), 查読有,

DOI: 10.1142/S0218271817500948

[11] Z. Yousaf, Kazuharu Bamba and M. Zaeem-ul-Haq Bhatti, *Role of Tilted Congruence and  $f(R)$  Gravity on Regular Compact Objects, Physical Review D* 95, 024024 (2017), 查読有,

DOI: 10.1103/PhysRevD.95.024024

[12] Abdulla Al Mamon, Kazuharu Bamba and Sudipta Das, *Constraints on reconstructed dark energy model from SN Ia and BAO/CMB observations, The European Physical Journal C* (2017) 77: 29, 查読有,

DOI: 10.1140/epjc/s10052-016-4590-y

[13] Kazuharu Bamba, G.G.L. Nashed, W. El

Hanafy and Sh.K. Ibrahim, *Bounce inflation in  $f(T)$  Cosmology: A unified inflaton-quintessence field, Physical Review D* 94, 083513 (2016), 查読有, DOI: 10.1103/PhysRevD.94.083513

[14] Z. Yousaf, Kazuharu Bamba and M. Zaeem ul Haq Bhatti, *Causes of Irregular Energy Density in  $f(R,T)$  Gravity, Physical Review D* 93, 124048 (2016), 查読有, DOI: 10.1103/PhysRevD.93.124048

[15] Kazuharu Bamba, *Thermodynamic properties of modified gravity theories, International Journal of Geometric Methods in Modern Physics* 13, 1630007 (2016), 查読有,

DOI: 10.1142/S0219887816300075

[16] Z. Yousaf, Kazuharu Bamba and M. Zaeem ul Haq Bhatti, *Influence of modification of gravity on the dynamics of radiating spherical fluids, Physical Review D* 93, 064059 (2016), 查読有,

DOI: 10.1103/PhysRevD.93.064059

[17] Kazuharu Bamba and Sergei D. Odintsov, *Inflation in a viscous fluid model, The European Physical Journal C* (2016) 76: 18, 查読有,

DOI: 10.1140/epjc/s10052-015-3861-3

[18] Kazuharu Bamba and Katsutaro Shimizu, *Construction of energy-momentum tensor of Gravitation, International Journal of Geometric Methods in Modern Physics* 13, 1650001 (2016), 查読有,

DOI: 10.1142/S0219887816500018

[19] Kazuharu Bamba, Sergei D. Odintsov and Petr V. Tretyakov, *Inflation in a conformally-invariant two-scalar-field theory with an extra  $R^2$  term, The European Physical Journal C* (2015) 75: 344, 查読有, DOI: 10.1140/epjc/s10052-015-3565-8

[20] Kazuharu Bamba, Davood Momeni and Ratbay Myrzakulov, *Kaluza-Klein reduction and Bergmann-Wagoner bi-scalar general action of scalar-tensor gravity, International Journal of Geometric Methods in Modern Physics* 12, 15501006 (2015), 查読有,

DOI: 10.1142/S0219887815501066

[21] Shih-Hao Ho, W. F. Kao, Kazuharu Bamba and C. Q. Geng, *Cosmological birefringence due to CPT-even Chern-Simons-like term with Kalb-Ramond and scalar fields, The European Physical Journal C* (2015) 75: 192, 查読有, DOI: 10.1140/epjc/s10052-015-3426-5

[22] Kazuharu Bamba, Andrey N. Makarenko, Alexandr N. Myagky and Sergei D. Odintsov, *Bounce universe from string-inspired Gauss-Bonnet gravity, Journal of Cosmology and Astroparticle Physics* 04 (2015), 001, 查読有,

DOI: 10.1088/1475-7516/2015/04/001  
[23] Kazuharu Bamba and Sergei D. Odintsov, Inflationary cosmology in modified gravity theories, *Symmetry*, 2015, 7(1), 220 - 240, 查読有,  
DOI: 10.3390/sym7010220  
[24] Kazuharu Bamba, Generation of large-scale magnetic fields, non-Gaussianity, and primordial gravitational waves in inflationary cosmology, *Physical Review D* 91, 043509 (2015), 查読有,  
DOI: 10.1103/PhysRevD.91.043509  
[25] Kazuharu Bamba, Shin'ichi Nojiri, Sergei D. Odintsov and Diego Sáez-Gómez, Inflationary universe from perfect fluid and  $F(R)$  gravity and its comparison with observational data, *Physical Review D* 90, 124061 (2014), 查読有,  
DOI: 10.1103/PhysRevD.90.124061  
[26] Sakiko G. J. Nishio, Kazuharu Bamba and Akio Sugamoto, Unified scenario of three types of Neutrinos with respective mass scales, *Modern Physics Letters A* 29, 1450201 (2014), 查読有,  
DOI: 10.1142/S0217732314502010  
[27] Mayumi Saito, Kazuharu Bamba and Akio Sugamoto, Hydrodynamics on non-commutative space --A step toward hydrodynamics of granular materials--, *Progress of Theoretical and Experimental Physics* 2014, 103B03, 查読有,  
DOI: 10.1093/ptep/ptu138  
[28] Kazuharu Bamba, Shin'ichi Nojiri and Sergei D. Odintsov, Reconstruction of scalar field theories realizing inflation consistent with the Planck and BICEP2 results, *Physics Letters B* 737 (2014), 374 - 378, 查読有,  
DOI: 10.1016/j.physletb.2014.09.014  
[29] Kazuharu Bamba, Guido Cognola, Sergei D. Odintsov and Sergio Zerbini, One-loop Modified Gravity in a de Sitter Universe, Quantum Corrected Inflation, and its Confrontation with the Planck Result, *Physical Review D* 90, 023525 (2014), 查読有,  
DOI: 10.1103/PhysRevD.90.023525  
[30] Kazuharu Bamba, Andrey N. Makarenko, Alexandr N. Myagky and Sergei D. Odintsov, Bouncing cosmology in modified Gauss-Bonnet gravity, *Physics Letters B* 732 (2014), 349 - 355, 查読有,  
DOI: 10.1016/j.physletb.2014.04.004  
[31] K. Bamba, Md. Wali Hossain, R. Myrzakulov, S. Nojiri and M. Sami, Cosmological investigations of (extended) nonlinear massive gravity schemes with non-minimal coupling, *Physical Review D* 89, 083518 (2014), 查読有,

DOI: 10.1103/PhysRevD.89.083518  
[32] Kazuharu Bamba, R. Myrzakulov, S. D. Odintsov and L. Sebastiani, Trace-anomaly driven inflation in modified gravity and the BICEP2 result, *Physical Review D* 90, 043505 (2014), 查読有,  
DOI: 10.1103/PhysRevD.90.043505  
[33] Kazuharu Bamba, Yusuke Kokusho, Shin'ichi Nojiri and Norihito Shirai, Cosmology and Stability in Scalar-Tensor Bigravity, *Classical and Quantum Gravity* 31, 075016 (2014), 查読有,  
DOI: 10.1088/0264-9381/31/7/075016  
[34] Kazuharu Bamba, Shin'ichi Nojiri and Sergei D. Odintsov, Trace-anomaly driven inflation in  $f(T)$  gravity and in minimal massive bigravity, *Physics Letters B* 731 (2014), 257 - 264, 查読有,  
DOI: 10.1016/j.physletb.2014.02.041  
[35] Kazuharu Bamba, Shin'ichi Nojiri, Sergei D. Odintsov and Diego Sáez-Gómez, Possible antigravity regions in  $F(R)$  theory?, *Physics Letters B* 730 (2014), 136 - 140, 查読有,  
DOI: 10.1016/j.physletb.2014.01.045  
[36] Kazuharu Bamba, Andrey N. Makarenko, Alexandr N. Myagky, Shin'ichi Nojiri and Sergei D. Odintsov, Bounce cosmology from  $F(R)$  gravity and  $F(R)$  bigravity, *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics* 01 (2014), 008, 查読有,  
DOI: 10.1088/1475-7516/2014/01/008  
[37] Kazuharu Bamba, Sergei D. Odintsov and Diego Sáez-Gómez, Conformal symmetry and accelerating cosmology in teleparallel gravity, *Physical Review D* 88, 084042 (2013), 查読有,  
DOI: 10.1103/PhysRevD.88.084042  
[38] Kazuharu Bamba, Salvatore Capozziello, Mariafelicia De Laurentis, Shin'ichi Nojiri and Diego Sáez-Gómez, No further gravitational wave modes in  $F(T)$  gravity, *Physics Letters B* 727 (2013), 194 - 198, 查読有,  
DOI: 10.1016/j.physletb.2013.10.022  
[39] Kazuharu Bamba, Shin'ichi Nojiri and Sergei D. Odintsov, Effective  $F(T)$  gravity from the higher-dimensional Kaluza-Klein and Randall-Sundrum theories, *Physics Letters B* 725 (2013), 368 - 371, 查読有,  
DOI: 10.1016/j.physletb.2013.07.052  
[40] K. Bamba, R. Gannouji, M. Kamijo, S. Nojiri and M. Sami, Spontaneous symmetry breaking in cosmos: The hybrid symmetron as a dark energy switching device, *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics* 07 (2013), 017, 查読有,  
DOI: 10.1088/1475-7516/2013/07/017

〔学会発表〕(計 33 件)

- [1] 馬場 一晴, Sergei D. Odintsov, 観測と整合するインフレーション宇宙を実現する流体モデルの構築, 日本物理学会第 71 回年次大会, 東北学院大学, 泉キャンパス, 2016 年
- [2] 山下 公子, 馬場 一晴, Neil D. Barrie, 菅本 晶夫, 竹内 建, 再加熱過程におけるインフラトンと複素スカラーを用いたバリオン数生成機構, 日本物理学会第 71 回年次大会, 東北学院大学, 泉キャンパス, 2016 年
- [3] Kazuharu Bamba, Review on Dark Energy Workshop on Dark Physics of the Universe, National Center for Theoretical Sciences (NCTS) Hsinchu, Taiwan, 2015 年
- [4] 馬場 一晴, 観測から示唆されるインフレーション宇宙を実現する流体モデルの構築, 第 28 回理論天文学懇談会シンポジウム「宇宙における天体形成から生命まで」, 大阪大学, 豊中キャンパス, 2015 年
- [5] Kazuharu Bamba, Inflationary universe in a conformally-invariant two-scalar-field theory with an  $R^2$  term, The 11th international workshop “Dark Side of the Universe 2015”, YITP, Kyoto University, 2015 年
- [6] Kazuharu Bamba, Inflationary cosmology in fluid description, 第 25 回「一般相対論と重力」研究会, 京都大学基礎物理学研究所, 2015 年
- [7] Kazuharu Bamba, Fluid description of inflationary cosmology, Particle Cosmology and beyond 2015, Kanazawa Art Hall, Kanazawa, 2015 年
- [8] Kazuharu Bamba, Inflationary universe in fluid description, 14th Regional Conference on Mathematical Physics, Quaid-i-Azam University, Islamabad, Pakistan, 2015 年
- [9] 馬場 一晴, インフレーション宇宙を実現する流体モデルの構築, 第 20 回新潟・山形合宿, 山形県西置賜郡, 飯豊少年自然の家, 2015 年
- [10] 馬場 一晴, Sergei D. Odintsov, Petr V. Tretyakov,  $R^2$  項を含む二つのスカラー場理論におけるインフレーション宇宙論, 日本物理学会 2015 年秋季大会, 大阪市立大学, 杉本キャンパス, 2015 年
- [11] 桑名 杏奈, 齋藤 麻由美, 菅本 晶夫, 永田 裕作, 馬場 一晴, 非可換空間上の流体に対する数値解析, 日本物理学会 2015 年秋季大会, 大阪市立大学, 杉本キャンパス, 2015 年
- [12] Kazuharu Bamba, Inflation in viscous fluid models, 新学術領域研究「なぜ宇宙は加速するのか? - 徹底的究明と将来への挑戦 -」発足シンポジウム, 東京大学柏キャンパス, Kavli IPMU, 2015 年
- [13] Kazuharu Bamba, Large-scale magnetic fields, non-Gaussianity, and

- tensor-to-scalar ratio in the inflationary universe, International Workshop on Particle Physics and Cosmology, Tohoku University, Sendai, 2015 年
- [14] Kimiko YAMASHITA, Kazuharu Bamba, Akio SUGAMOTO, Tatsu TAKEUCHI, Ratchet baryogenesis during reheating, SUSY 2015, California, 2015 年
- [15] Kazuharu Bamba, Large-scale magnetic fields, non-Gaussianity, and gravitational waves from inflation, COSMOLOGY AND THE QUANTUM VACUUM, Rhodes Island, Greece, 2015 年
- [16] 馬場 一晴, 野尻 伸一, Sergei D. Odintsov, Diego Sáez-Gómez, インフレーションに関する観測量の流体模型及び  $F(R)$  重力理論における描像, 日本物理学会第 70 回年次大会, 早稲田大学, 早稲田キャンパス, 2015 年
- [17] Kazuharu Bamba, Large-scale magnetic fields, non-Gaussianity, and gravitational waves from inflation, Sakata Memorial KMI Workshop on “Origin of Mass and Strong Coupling Gauge Theories” (SCGT15), Nagoya University, 2015 年
- [18] Kazuharu Bamba, Descriptions of inflation in scalar field theories, perfect fluid, and  $F(R)$  gravity, Sakata Memorial KMI Workshop on “Origin of Mass and Strong Coupling Gauge Theories” (SCGT15), Nagoya University, 2015 年
- [19] Kazuharu Bamba, Large-scale magnetic fields, non-Gaussianity, and primordial gravitational waves from inflation, KEK Theory Center Cosmophysics Group Workshop, B-mode Cosmology, KEK, Tsukuba, 2015 年
- [20] Kazuharu Bamba, Cosmological Issues in  $F(T)$  Gravity Theory, International Conference on Relativistic Astrophysics, Lahore, Pakistan, 2015 年
- [21] 馬場 一晴, インフレーション宇宙での大域的磁場、曲率揺らぎの非ガウス性及び原始重力波の生成, 第 27 回 理論懇談会シンポジウム「理論天文学・宇宙物理学と境界領域」, 国立天文台, 三鷹キャンパス, 2014 年
- [22] Kazuharu Bamba, Inflationary cosmology in  $R^2$  gravity with quantum corrections, 第 24 回「一般相対論と重力」研究会, Kavli IPMU, 東京大学, 2014 年
- [23] Kazuharu Bamba, Inflationary models and the recent observations, 2nd International Workshop on Particle Physics and Cosmology after Higgs and Planck, National Center for Theoretical Sciences, Taiwan, 2014 年
- [24] 馬場 一晴, Guido Cognola, Sergei D. Odintsov, Sergio Zerbini, 量子補正を含む  $R^2$  重力理論でのインフレーション宇宙論, 日本物理学会 2014 年秋季大会, 佐賀大学, 本

庄キャンパス, 2014 年  
[25] Kazuharu Bamba, Inflationary models and recent cosmological observations, Workshop on COSMOLOGY AND THE QUANTUM VACUUM, Benasque, Spain, 2014 年  
[26] 馬場 一晴, 小林 達夫, 瀬戸 治, モジュラインフレーションでの大域的磁場生成並びに曲率揺らぎの非ガウス性とテンソルノスカラー比, 日本物理学会第 69 回年次大会, 東海大学, 湘南キャンパス, 2014 年  
[27] Kazuharu Bamba, Dark energy cosmology in F(T) gravity, "Quest for the Origin of Particles and the Universe" (KMI 2013), Nagoya University, 2013 年  
[28] Kazuharu Bamba, Shin'ichi Nojiri, Sergei D. Odintsov, F(T) gravity from the Kaluza-Klein and Randall-Sundrum theories and cosmology, 第 23 回「一般相対論と重力」研究会, 弘前大学, 弘前大学創立 50 周年記念会館, 2013 年  
[29] 馬場 一晴, 野尻 伸一, Sergei D. Odintsov, 高次元時空理論から導かれる有効 F(T)重力理論における宇宙論, 日本物理学会 2013 年秋季大会, 高知大学, 朝倉キャンパス, 2013 年  
[30] Kazuharu Bamba, Shin'ichi Nojiri, Sergei D. Odintsov, Cosmology in F(T) gravity from the Kaluza-Klein and Randall-Sundrum models, International Workshop on Particle Physics and Cosmology after Higgs and Planck, Chongqing, China, 2013 年  
[31] Kazuharu Bamba, F(T) gravity from higher dimensional theories and its cosmology, Inflation, Dark Energy, and Modified Gravity in the PLANCK Era --, Nagoya University, 2013 年  
[32] Kazuharu Bamba, Chao-Qiang Geng, Ling-Wei Luo, Large-scale magnetic fields from inflation in teleparallel gravity, 第 12 回 Asia Pacific Physics Conference (APPC12), 幕張メッセ国際会議場, 2013 年  
[33] Kazuharu Bamba, Chao-Qiang Geng, Ling-Wei Luo, Large-scale magnetic fields from inflation in teleparallelism, 湯川国際セミナー YKIS2013 "Gravitational waves -Revolution in Astronomy and Astrophysics-", 京都大学基礎物理学研究所, 2013 年

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：

番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等  
<http://www.ipc.fukushima-u.ac.jp/~s048>

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

馬場 一晴 (BAMBA, Kazuharu)  
福島大学・共生システム理工学類・准教授  
研究者番号：60608719

##### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

##### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：

##### (4) 研究協力者

( )