

平成 22 年 6 月 1 日現在

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2006～2009

課題番号：18540248

研究課題名（和文） 実験室で宇宙を作れるか？

研究課題名（英文） Is it possible to create a universe in the laboratory?

研究代表者

坂井 伸之 (SAKAI NOBUYUKI)

山形大学・地域教育文化学部・准教授

研究者番号：00267402

研究成果の概要（和文）：

1987年にFarhi & Guthが提起した「実験室で宇宙を作れるか？」という問題について、初期特異点なしに古典的過程のみで（準）定常な粒子がインフレーション宇宙に転移する理論モデルを2つ発見した。1つは定常な磁気モノポールが、もう1つは振動する偽真空泡が進化してインフレーション宇宙になるモデルである。また、素粒子場のソリトン解の基礎研究として、カタストロフィー理論を用いた新しい安定性解析の方法を定式化した。

研究成果の概要（英文）：

As to the question “Is it possible to create a universe in the laboratory?” posed by Farhi & Guth (1987), we have found two theoretical models where a (quasi) stable particle changes into an inflationary universe by a classical process without initial singularity. One is a model where a stable magnetic monopole evolves into an inflationary universe, and the other is a model where a breathing false-vacuum bubble does. As a fundamental study of soliton solutions in particle fields, we have formulated a new method of stability analysis by use of catastrophe theory.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	500,000	0	500,000
2007年度	600,000	180,000	780,000
2008年度	500,000	150,000	650,000
2009年度	600,000	180,000	780,000
年度			
総計	2,200,000	510,000	2,710,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科：物理学

細目：素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：磁気モノポール、インフレーション、ブラックホール、一般相対性理論、量子重力理論

1. 研究開始当初の背景

宇宙論は理論を観測で検証する科学とされているが、初期宇宙理論の観測的検証には限界がある。

1987年にFarhi & Guthは「実験室でインフレーション宇宙を作れるか？」という問題提起をし、彼ら及びFischler等が独立に、初期特異点を含まない古典解からインフレーションする古典解への量子トンネリングが可能であることを示した。

しかし、それらのモデルには「初期条件となる定常な古典解が存在しない」「偽真空泡もモデルは宇宙論的に否定されている」という2つの問題があった。

2. 研究の目的

実験室でインフレーション宇宙を作ること様々なモデルで検討し、将来実インフレーション宇宙論を実験的に検証するための理論的基礎作りをする。

また、この問題を探求することにより、素粒子ソリトン解の性質、ブラックホールの量子論と情報喪失の問題、量子重力理論の構築等、物理学の様々な既存の問題と関わっており、それらの解明にも寄与すると考えられる。

3. 研究の方法

(1) 磁気モノポールからインフレーション宇宙を作るモデルの検討。磁気モノポールは統一理論から存在が予言されており、また通常のパラメーターでは「定常」な粒子であると共に、別のパラメーターではインフレーションを起こす。よって、1で述べた2つ困難が解消されたモデルが期待された。

(2) 実験室で宇宙を作るインフレーション宇宙を作るその他のモデルの検討。(1)以外の素粒子モデルにおいて、定常な粒子からインフレーション宇宙ができるモデルが可能かどうか調べる。

(3) (1)や(2)は初期条件としてソリトン解を考える。そこで、広い意味での素粒子的ソリトン解の安定性とカタストロフィー理論を使って調べる。

(4) 実験室で宇宙を作るモデル構築と並行して、現実の宇宙で起こったインフレーションのモデルについての観測的制限を調べる。

4. 研究成果

(1) 磁気モノポールから宇宙を作る方法

SU(2)磁気モノポールの古典的及び量子的ダイナミクスを解析し、ある条件を満たす定常なモノポールは、外部からエネルギーを加えることにより、或いは量子トンネリングによって自発的に、無限に膨張するインフレーション宇宙になることを発見した。この成果が米国のPhysical Review誌に掲載されると、欧米の科学雑誌数社から取材があり、そのうち英国のNewScientistではA.Guth (MIT) の推薦でトップ記事として紹介され、その中でA.Linide(Stanford) 等から高く評価された。

(2) 振動する偽真空泡から宇宙を作る方法

泡の表面物質が2成分から成り、一方が面密度一定(ドメインウォール型)で、他方の面密度が表面積に反比例(ダスト型)し、うちいずれか一方の符号のみが負であるとき、定常的に振動する泡の解が存在し、そしてその質量が動的に失われるとインフレーション宇宙に転移することがわかった。この成果が米国のPhysical Review誌に掲載されると、Nature Physics誌及びNewScientist誌で注目論文として紹介され、A.Aguirre氏(カリフォルニア大学教授)等から高く評価された。

(3) 素粒子的ソリトンの安定性とカタストロフィー理論

実験室で宇宙を作るモデルでは、偽真空泡やモノポールという素粒子的ソリトンを初期条件として仮定する。そこで、素粒子的ソリトンの安定性を判定する一般的方法として、カタストロフィー理論の有効性を検討した。その結果、重力を含まない系及び重力を含む系の両方において、カタストロフィー理論によって安定性を判定できることが示された。

(4) 宇宙マイクロ波背景放射(CMB)における非線形大規模構造の痕跡

CMB温度揺らぎの観測はインフレーションモデルを検証する最有力手段であるが、観測される温度揺らぎが原始揺らぎか光子が通過する大規模構造の影響かを明らかにする必要がある。本研究では、CMBのコールドスポットやホットスポットが超大規模構造の痕跡であるかどうかを検証するため、球対称ダスト時

空でモデル化したボイドとクラスターについて、非線形積分Sachs-Wolfe効果を解析した。解析の結果、観測されているコールドスポットやホットスポットに近い温度分布を作るボイドやクラスターを構成することができた。特に、コールドスポットの周りのホットリングができることと、ホットスポットの中心付近に窪みができるという定性的特徴を再現されたことは、それらがボイドやクラスターの痕跡であることを強く示唆する。

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10件)

坂井伸之, E.I. Guendelman, "Breathing Bubbles and Creation of Universes", Proc. 7th RESCEU International Symposium on Astroparticle Physics and Cosmology, E48 (2009) 査読無

坂井伸之, 井上開輝, "Cosmic microwave background anisotropy from nonlinear structures in accelerating universes", Physical Review D 78, No.063510 (6 pages) (2008) 査読有

坂井伸之, 佐々木節, "Stability of Q-balls and Catastrophe", Progress of Theoretical Physics 119, pp.929-937 (2008) 査読有

E.I. Guendelman, 坂井伸之, "Universe out of a breathing bubble", Physical Review D 77, No.125002 (7 pages) (2008) 査読有

坂井伸之, 井上開輝, 富田憲二, "CMB Anisotropy Generated by Nonlinear Structures: Effect of ", Proc. 17th Workshop on General Relativity and Gravitation, 305-308 (2008) 査読無

坂井伸之, "Gravitating Q-balls", Proc. 16th Workshop on General Relativity and Gravitation, 110-113 (2008) 査読無

坂井伸之, 中尾憲一, 石原秀樹, 小林誠, "Can We Create a Universe in the Laboratory?", Proc. 15th Workshop on General Relativity and Gravitation, 320-323, (2006) 査読無

坂井伸之, 中尾憲一, 石原秀樹, 小林誠, "Is it possible to create a universe out of a monopole in the laboratory?", Physical Review D 74, No.024026 (10 pages) (2006) 査読有

[学会発表](計15件)

坂井伸之, 井上開輝, 富田憲二, "Imprints of Nonlinear Super-Structures on Cosmic Microwave Background", International molecule-type workshop "The non-Gaussian universe", 2010年3月24日, 京都大学

井上開輝, 坂井伸之, 富田憲二, "Evidence of Quasi-linear Super-Structures in the Cosmic Microwave Background and Galaxy Distribution" 日本天文学会2010年春季年会, 2010年3月24日, 広島大学

坂井伸之, 井上開輝, 富田憲二, "Imprints of Nonlinear Super-Structures on Cosmic Microwave Background" 日本物理学会第65回年次大会, 2010年3月19日, 岡山大学

坂井伸之, 井上開輝, 富田憲二, "Imprints of Nonlinear Structures on CMB" KEK Cosmophysics Workshop " -LTB Cosmology, 2009年10月22日, 高エネルギー加速器研究機構

坂井伸之, 井上開輝, 富田憲二, "宇宙背景輻射における非線形超大規模構造の痕跡" 日本天文学会2009年秋季大会, 2009年9月14日, 山口大学

井上開輝, 富田憲二, 坂井伸之, "Evidence of Quasi-linear Super-structures in Cosmic Microwave Background" 日本物理学会2009年秋季大会, 2009年9月13日, 甲南大学

玉置孝至, 坂井伸之, "Boson stars and their stabilities via catastrophe theory II", 日本物理学会2009年秋季大会, 2009年9月10日, 甲南大学

玉置孝至, 坂井伸之, "Boson stars and their stabilities via catastrophe theory", 日本物理学会第64回年次大会, 2009年3月29日, 立教大学

坂井伸之, E.I. Guendelman, "振動泡からインフレーション宇宙を作る", 日本物理学会第64回年次大会, 2009年3月28日, 立教大学

玉置孝至, 坂井伸之, "Properties of gravitating Q-balls", 日本物理学会2008年秋季大会, 2008年9月20日, 山形大学

坂井伸之, 佐々木節, "Stability of Q-balls and Catastrophe", 日本物理学会第63回年次大会, 2008年3月24日, 近畿大学

坂井伸之, 井上開輝, "数百 Mpc を超える準線形ボイドによる宇宙背景輻射の

揺らぎ”、日本物理学会第 62 回年次大会、
2007 年 9 月 22 日、北海道大学

坂井伸之、佐々木節、“Stability of
Q-balls and Catastrophe Theory”、日
本物理学会 2007 年春季年会、2007 年 3
月 22 日、首都大学東京

坂井伸之、佐々木節、“Gravitating
Q-balls”、日本天文学会 2006 年秋季年
会、2006 年 9 月 22 日、九州国際大学

〔その他〕

ホームページ

<http://www.e.yamagata-u.ac.jp/nsakai>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

坂井 伸之 (SAKAI NOBUYUKI)
山形大学・地域教育文化学部・准教授
研究者番号：00267402

(4) 研究協力者

EDUARDO I. GUENDELMAN
ベングリオン大学・教授
中尾 憲一 (NAKAO KEN-ICHI)
大阪市立大学・理学系研究科・教授
石原 秀樹 (ISHIHARA HIDEKI)
大阪市立大学・理学系研究科・教授
玉置 孝至 (TAMAKI TAKASHI)
日本大学・工学部・助教
井上 開輝 (INOUE KAIKI)
近畿大学・理工学部・准教授
富田 憲二 (TOMITA KENJI)
京都大学・名誉教授