

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・宇宙線・宇宙物理

キーワード：宇宙物理（理論）

1. 研究計画の概要

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。本研究の目的は、宇宙創生とその直後のインフレーション理論を実験的に検証する道を切り開くために、実験室で初期宇宙の状況を再現する方法を理論的に考案することである。

そのために、実験室でインフレーション宇宙を作ることが原理的に可能な理論モデルを構築する。また、様々な素粒子理論に基づく理論モデルを検証することにより、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、様々な原理的問題の解明に迫ることが期待される。

2. 研究の進捗状況

(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. Linde (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、少なくとも重力を含まない系では、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。

3. 現在までの達成度

①当初の計画以上に進展している。

(理由)

先行研究及び本研究計画では、量子トンネリングなしにインフレーション宇宙を作ることとは不可能と考えられていたが、古典的過程のみでも可能であるという予想外の発見があり、2つの具体的なモデルを示すことができた。

4. 今後の研究の推進方策

(1) 非球対称な摂動に対する安定性

実験室でインフレーション宇宙を作るモデル構築において、これまでは時空の球対称性を仮定していた。しかし、仮に非球対称な摂動に対して不安定であれば、そのモデルは物理的に実現するとは言えない。そこで次は、非球対称な摂動に対する安定性の問題に取り組む。

(2) 自己重力を含むソリトンの安定性とカタストロフィー理論

これまでに、重力を含まない系では、素粒子的ソリトンの安定性解析においてカタストロフィー理論が有効であることが示された。そこで次は、自己重力を含む素粒子的ソリトンについて、カタストロフィー理論による安定性解析に取り組む。

5. 代表的な研究成果

(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4件)

- ① 坂井伸之, 井上太郎, “Cosmic microwave background anisotropy from nonlinear structures in accelerating universes”, *Physical Review D* 78, No.063510 (6 pages) (2008), 査読有
- ② 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
- ③ 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
- ④ 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4件)

- ① 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
- ② 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
- ③ 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

- ④ 坂井伸之, 井上開輝, “数百 Mpc を超える準線形ポ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

[その他]

ホームページ

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