

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2006～2009

課題番号：18540262

研究課題名（和文） ローレンツ不変性の破れの可能性とその宇宙論へのインパクト

研究課題名（英文） A Possible Lorentz Violation and Its Impact on Cosmology

研究代表者

早田 次郎（SODA JIRO）

京都大学・理学研究科・准教授

研究者番号：00222076

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：宇宙論

### 1. 研究計画の概要

本研究の目的は、「ローレンツ不変性の破れを許す重力理論」としてのスカラー・ベクトル・テンソル重力理論の枠組みで、宇宙のダークエネルギー、ダークマター、インフレーション理論等の諸問題を解決する可能性を探求することにある。同時に、スカラー・ベクトル・テンソル理論と超弦理論との関係を研究し、ローレンツ不変性の破れを通じた超弦理論の検証の道も探る。

具体的には、以下の研究を計画した。

(1) ポストニュートン近似によって太陽系の実験と矛盾しない重力理論の絞込みを行う。

(2) それをもとにインフレーション理論を構築し、宇宙背景輻射などによって観測可能な予言を行う。

(3) ダークマターやダークエネルギーとの関連や超弦理論の枠組みの中でのローレンツ不変性の破れの可能性について研究を行う。

### 2. 研究の進捗状況

当初はスカラー・ベクトル・テンソル重力理論のある特殊なモデルについてポストニュートン近似による制限の研究を始めた。しかし、計算の途中で他のグループによる成果が発表されたため、2番目の目標として設定していたインフレーション理論へのローレンツ不変性の破れの影響に関する研究に移行した。研究の途中で力学的な機構による過渡的なローレンツ不変性の破れの可能性を

発見した。これによりその後の研究は予想を遥かに超えた成果をもたらした。

以下、具体的な成果を列挙する。

(1) スカラー・ベクトル・テンソル理論におけるインフレーションの研究を行い、インフラトンのポテンシャルが存在しないような場合にも、ローレンツ不変性の破れに起因したインフレーション機構が存在することを明らかにした。

(2) 超弦理論では、ローレンツ変換の一部であるパリティ対称性が破れているような重力理論が予言される。この理論における原始重力波の円偏光の可能性を指摘した。

(3) インフレーション中にベクトル場が存在する場合に統計的非等方性が生じる機構を発見した。また、非等方性が非ガウス性と強く結びついていることも明らかにした。これらの予言は近い将来観測によって立証される可能性を持っている。

(4) スカラーとベクトルが同時に存在するようなインフレーションモデルにおいて非等方的な膨張することを明らかにした。これは宇宙無毛仮説に対する反例を与えることになり、純粋に理論的にもインパクトのある結果が得られた。観測的にも、宇宙背景輻射の温度揺らぎと偏光の揺らぎの相関や揺らぎの統計的非等方性を予言しており、今後の観測計画にとっても重要な成果である。

### 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)

当初は3年で観測できるような予言をするところまで到達できるとは想定していなかったが、これまでにすでに重力波の円偏光や宇宙背景輻射の統計的非等方性について具体的な予言を行うことができた。

### 4. 今後の研究の推進方策

- (1) スカラー、ベクトル、テンソルが同時に存在する場合は普遍的に非等方的インフレーションが実現できることを明らかにした。この成果をもとに、宇宙背景輻射のスペクトルの詳細な計算を行う。

- ① 非等方インフレーション宇宙における場の量子論の研究を行うことで、揺らぎの初期条件を如何に設定するかを明らかにする。
- ② 非等方宇宙における揺らぎの時間発展のゲージ不変摂動論による定式化を行う。
- ③ 宇宙背景輻射や原始重力波のスペクトルを計算し観測との比較検討を行う。

### 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 5 件)

- ① M. Satoh, J. Soda,  
"Higher Curvature Corrections to Primordial Fluctuations in Slow-roll Inflation," JCAP 0809, 019 (2008) 査読有
- ② S.Kanno, M.Kimura, J.Soda, S.Yokoyama,  
"Anisotropic Inflation from Vector Impurity," JCAP 0808, 034 (2008) 査読有
- ③ S.Yokoyama, J.Soda,  
"Primordial statistical anisotropy generated at the end of inflation," JCAP 0808, 005 (2008) 査読有
- ④ M.Satoh, S.Kanno, J.Soda,  
"Circular Polarization of Primordial Gravitational Waves in String-inspired Inflationary Cosmology," Phys. Rev. D 77, 023526 (2008) 査読有

- ⑤ S.Kanno, J.Soda,  
"Lorentz violating inflation," Phys. Rev. D 74, 063505 (2006) 査読有

[学会発表] (計 2 件)

- ① 早田次郎、「AdS ブラックホールと宇宙論の対応にむけて」、日本物理学会、2008年9月22日、山形大学
- ② 早田次郎、「Hawking Radiation from Squashed Kaluza-Klein Black Holes」、日本物理学会、2007年9月22日、北海道大学