

機関番号：12601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2009～2010

課題番号：21740167

研究課題名（和文） 初期及び後期宇宙の模型

研究課題名（英文） Modeling the Early and Late Universe

研究代表者

イーソン ダミアン (EASSON Damien)

東京大学・数物連携宇宙研究機構・特任研究員

研究者番号：70534965

研究成果の概要（和文）：本研究は初期宇宙論およびインフレーション理論と実験との関連付けを大きく進展させた。Powell との共同研究では将来実験（たとえば日本の DECIGO 計画）による原始重力波の直接観測が初期宇宙のインフレーション期解明に最も重要なデータになることを示した。Gregory、向山との共同研究では超弦理論的ブレーンインフレーションの新模型で観測可能な量を調べるための宇宙論摂動論をスタートさせた。さらに Frampton、Smoot と一緒に宇宙の加速膨張がエントロピー力によるというアイデアを提唱した。

研究成果の概要（英文）：I am delighted to report on the accomplishments supported by the JSPS award. We have been very successful in accomplishing our goals of connecting early universe cosmology and inflationary theory with experimental physics. In particular, with Brian Powell, have shown the direct detection of primordial gravitational waves by future planned experiments, such as Japan's DECIGO, will yield the most promising data to help discover the mechanism behind the inflationary epoch of the early universe. This work has been published in Physical Review Letters along with a longer companion paper in Physical Review D. In addition I have made progress in connecting inflation to fundamental physics. Together with Gregory (Durham U.), Mukohyama and Powell (IPMU) I initiated the theory of cosmological perturbations in order to study observables signatures in our new models of string theory brane inflation. This work resulted in two publications, both in Physical Review D. Finally, with P. Frampton (U. of North Carolina) and G. Smoot (2006 Nobel Laureate, Berkeley) we pioneered the idea that periods of cosmological acceleration may be due to an entropic force. This exciting possibility has now attracted significant attention in the community and provides us with a basic framework to advance and develop our understanding of some of the most fundamental issues in gravity. This resulted in two papers, one of which has been published in Physics Letters B.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2010 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

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：素粒子（理論）

### 1. 研究開始当初の背景

私の研究分野は宇宙論と素粒子物理学との繋がりです。量子重力と超弦理論から発展した手法を使って初期宇宙のモデルを構築し、観測データに現れるかもしれない新しい物理を探索します。

以下に現在の興味深いトピックス（すべてではない）を示します。

- ・宇宙の起源と我々が3次元空間に住む理由。
- ・インフレーション宇宙のモデル構築と検証。
- ・コンパクト化とブレーンインフレーション。
- ・重力理論の変更と初期宇宙および現宇宙への影響。
- ・量子重力理論や超弦理論のような新しい物理学への観測的制限。
- ・暗黒エネルギーの正体と現在の宇宙膨張。
- ・ブレーンワールド。
- ・ブラックホールの量子的側面。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、理論的宇宙論の主要な未解決問題に取り組む戦略を提示する。素粒子理論がもたらす新しい洞察や方法を用いて標準ビッグバン宇宙モデルとインフレーション宇宙モデルが持つ問題に取り組み、理論的パラダイムの予言を見出し、宇宙論的なデータにおける新しい物理を模索する。COBE、Boomerang、NASA WMAP 衛星による宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の非等方性のマッピングは、赤方偏移の大きい超新星の測定と合わせて、従来の宇宙論モデルや低エネルギーの物理についての私たちの理解に課題をつきつけてきた。一方で、超弦理論は初期宇宙の根本的な問題に取り組む確固たるフレームワークを持っており、素粒子物理学と量子重力理論を統合する理論の有力候補として台頭してきている。本研究ではこれらの素晴らしい発展を活用し、今後行われる実験で検証することが可能な予言を導く。

### 3. 研究の方法

我々のインフレーションモデル研究では、解析的および強力数値計算両方の手法を使用しました。向山、Powell との共同研究では高精度モンテカルロ法を使って、広い解空間の中からさらに検討が必要と考えられる性質を持つ解を選び出しました。等局面摂動効果、Bモード編極、非ガウス分布、初期重力波の直接検出の検討を通じて、我々はこれら個別の観測量の長所を比べることができました。その結果、日本の将来計画 DECIGO で可能になるかもしれない初期重力波の直接検出がインフレーションの基本的なメカニズム解明に最大の機会を与えるという結論にいたりしました。

さらに我々は初期宇宙インフレーションの素粒子物理学と量子重力への関連づけに大きく貢献しました。インフレーションが超弦理論に起因する場合の考察で、我々はインフレーションのための運動方程式に散逸項を加えてブレーンインフレーションに基づく新しい暖インフレーションモデルを構築しました。Gregory との共同研究ではよく知られているエータ問題が DBI インフレーションモデルでどのように回避できるかを示しました。

最後に、我々は最近流行している重力理論の変更、超新星データを用いたエントロピー加速、バリオン音響振動、および最後の散乱面からの距離、を含む後期加速膨張宇宙のモデルに制限を与えました。

### 4. 研究成果

私は Gregory 氏 (Durham 大学) と共に、重力と結合しかつ非標準的な運動項を持ったインフラトン場による、ブレーン・インフレーションへの効果を研究した。我々はまた、このモデルにおける観測的シグナルを調べるため、宇宙摂動に関する理論研究も開始した。また、私はそのようなモデルを向山氏及び

Powell 氏 (IPMU) とともに調べ、将来の観測データから、インフラトン場と重力との結合の痕跡を探る可能性を提示した。これらに関する研究成果は、Physical Review D 誌に掲載された 2 本の論文にまとめた。

#### (1) 加速膨張宇宙と修正重力理論

2009 年度に、私は Ishak 氏、Moldenhauer 氏、そして Thompson 氏とともに、宇宙の加速膨張を説明し、かつ物理的一貫性を保持し、太陽系での重力テストとも矛盾なく、さらに超新星、バリオン音響振動、そして CMB の最終散乱面からの制限と両立する修正重力理論のモデル群を発見した。その成果は Physical Review D 誌に掲載された。

私は Richard Woodard 氏 (Florida 大学) とともに、様々な曲率不変量の任意関数からなる修正重力モデルの安定性を調べる共同研究を開始した。多くの修正重力モデルの問題点を明らかにする我々の研究結果は、2010 年中には発表するつもりである。

#### (2) エントロピーによる加速膨張宇宙

P. Frampton 氏 (North Carolina 大学) と G. Smoot 氏 (2006 年度ノーベル賞受賞者) との 2 本の論文において、我々は宇宙の加速膨張がエントロピーによって引き起こされるという考えを提唱した。我々の提唱したこの興味深い可能性は、現在大きな注目を浴びており、重力に関する基礎的な理解を進展させる枠組みを提供するものでもある。

#### (3) 宇宙の加速膨張と重力理論の変更

宇宙の加速膨張と宇宙の 75% を構成する暗黒エネルギーの理解は近代物理学の最難題のひとつです。学振の提案で私はいろいろな手法を使って現存するモデルを排除していくことによって、この問題に取り組んでいくと主張しました。この提案が目的とするところは、暗黒物質が物理的に存在するのではなくて実はアインシュタイン重力理論の変更である可能性を追求することです。2010 年度に私は Richard Woodard (フロリダ大学) との共同研究で、局面不変量の任意関数で構築された変更重力理論の安定性を調べました。この目的は不安定性のないこのような模型が存在

するかどうかの見極めです。我々は同期ゲージの不変量を時間微分の 2 次の項まで分解して、Ostrogradski 安定性解析をおこない、摂動レベルで現れる不安定性の背景を特定しました。この結果は 2011 年末までに論文として発表する予定ですが、これによって現在注目されている変更重力理論のうちの多くの種類が否定されます。

#### (4) 漸近的に正しい重力、ブラックホール、宇宙論

高次の微分項を持ち漸近的に正しい重力理論の球対称な真空解の一連の種類を示しました。我々は変動する重力定数を持ち量子補正された Schwarzschild-(anti)-deSitter 解を見つけました。定数の変動は対応するくりこみ群のフロー方程式で決まります。ここに出てくるブラックホールは長い距離スケールでの Schwarzschild 古典解の性質を示します。この仕事は Journal of Cosmology and Astroparticle Physics に掲載されました。さらに我々は漸近的に正しい重力理論の宇宙論への応用を調べ始めていて、結果は後の論文として発表されます。

#### 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 7 件)

① Jacob Moldenhauer, Mustapha Ishak, John Thompson, Damien A. Easson, Supernova, baryon acoustic oscillations, and CMB surface distance constraints on  $f(R)$  higher order gravity models., Phys. Rev. D, 査読有, 81 刊巻, 2010, 063514, 1-10

② Damien A. Easson, Shinji Mukohyama, Brian A. Powell, Observational Signatures of Gravitational Couplings in DBI Inflation., Phys. Rev. D, 査読有, 2010, 023512, 1-13

③ Damien A. Easson & Ruth Gregory, Circumventing the eta problem., Phys. Rev. D, 査読有, 2009, 083518, 1-8

④ Yi-Fu Cai, James B. Dent, Damien A. Easson, Warm DBI Inflation, Phys. Rev. D. Rap. Comm (掲載確定), 査読有

⑤ Damien A. Easson, Brian A. Powell, Optimizing future experimental probes of inflation, Phys. Rev. D, 査読有, 83巻, 2011, 043502, 1-21

⑥ Damien A. Easson, Brian A. Powell, Identifying the inflaton with primordial gravitational waves, Phys. Rev. Lett (掲載確定), 査読有

⑦ Yi-Fu Cai, Damien A. Easson, Black holes in an asymptotically safe gravity theory with higher derivatives, JCAP, 査読有, 1009巻, 2010, 002, 1-16

[学会発表] (計 3 件)

① Damien Easson, Degenerate observables in string inflationary models, Focus week on String Cosmology, IPMU, Japan, 2010年10月7日

② Damien Easson, Fundamental physics of inflation and CMB observations, COSMO/CosPA 2010, University of Tokyo, Japan, 2010年9月27日

③ Damien Easson, Extra Dimensions and the CMB, Open Questions in Gravity Workshop, Beyond Center, Arizona State University, 2010年1月17日

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

イーソン ダミアン (EASSON Damien)

東京大学・数物連携宇宙研究機構

・特任研究員

研究者番号：70534965

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：