令和６年11月13日

一般相対性理論を拡張した重力理論におけるインフレーション宇宙に関する研究 ―若手研究者との国際共同研究の成果―

福島大学共生システム理工学類宇宙論研究室のサンジェイ マンダル（Sanjay Mandal）客員研究員（日本学術振興会外国人特別研究員）、馬場一晴教授の論文が世界的に権威のある学術誌“Journal of Cosmology and Astroparticle Physics (JCAP)”に掲載されました。本研究では、近年盛んに研究されている拡張重力理論において、宇宙創生期での急速な加速膨張であるインフレーションの性質を明らかにしました。この研究成果は、福島の地から世界最先端の宇宙物理学研究を発信する好例となっています。

＜研究内容＞

宇宙論とは、アインシュタイン博士が1915年に完成した一般相対性理論を含む物理学の基礎理論に基づいて、宇宙がどのよう始まって、そしてどのように進化してきたのか、を明らかにする学問です。

1949年、ガモフによって「宇宙は、はじめビッグバンという大きな爆発を起こして、高温で高密度な状態から出発した」というビッグバン宇宙論が提唱されました。このビッグバン宇宙論は、①ハッブルールメートルの宇宙膨張の法則、②宇宙マイクロ波背景放射の存在、③宇宙初期でのヘリウムのような軽元素の合成、という３つの観測事実に基づいています。

その後、宇宙マイクロ波背景放射の観測が進むにつれて、ビッグバン宇宙論だけでは解けない問題点が出て参りました。その一つとして、宇宙が始まって以降、常に減速膨張をしてきたとすると、因果律を満たさない２つの点からもほとんど同程度の温度の宇宙マイクロ波背景放射が観測される、という地平線問題があります。このような問題を解決するために提唱されたのが、宇宙創成期に非常に急速な加速膨張が実現される「インフレーション宇宙論」です（図1）。

＜インフレーション宇宙論＞

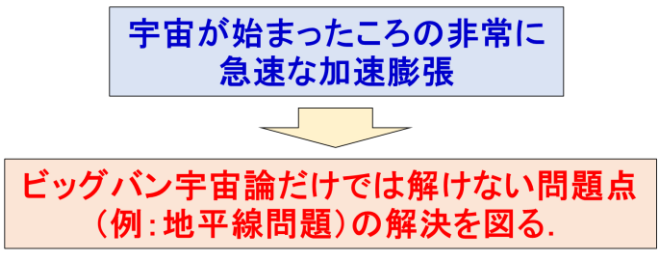


図１

一方、近年の宇宙の精密な観測により、初期宇宙のみならず、現在の宇宙も加速的に膨張していることが明らかにされました。これは、正体が未だ不明のダークエネルギーと呼ばれるエネルギーにより、万有引力をしのぐ反発力が生じていることが原因であると考えられています。この現象を説明する有効な手立ての一つとして、長距離スケールで一般相対性理論を拡張する方法があります（図2）。

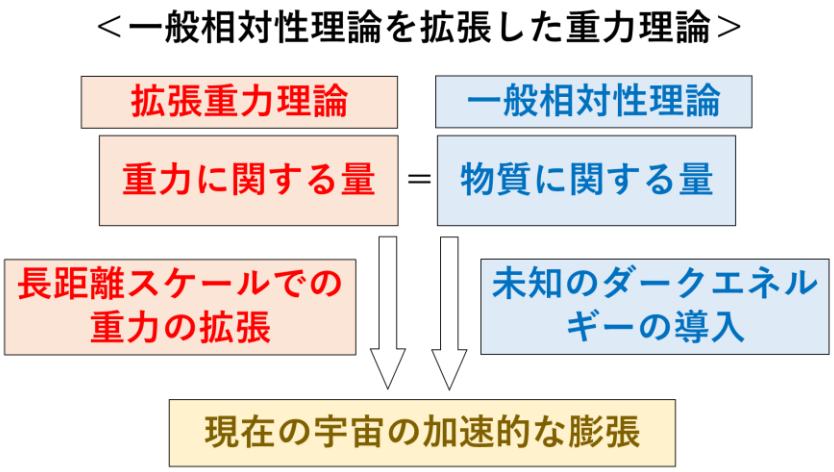


図 2

そこで、マンダル研究員と馬塲教授は、近年盛んに研究されている拡張重力理論において、宇宙創生期での急速な加速膨張であるインフレーションの性質を明らかにしました。

この研究成果は、2024 年 11 月、宇宙論および素粒子宇宙物理学で最も高い評価を得ている国際学術誌の一つである「Journal of Cosmology and Astroparticle Physics (JCAP)」誌上に掲載されました。

本研究によって得られた初期宇宙におけるインフレーションに関する成果を通じて、重力の普遍的性質と重力の量子化（非常にエネルギーの高い極微（ミクロ）な世界における物理学の法則）への理解にもつながる可能性があるものと強く期待されます。

＜書誌情報＞
題名：“Theory of gravity with nonminimal matter-nonmetricity coupling and the de-Sitter swampland conjectures”
著者名：Sanjay Mandal and Kazuharu Bamba

掲載学術誌名：Journal of Cosmology and Astroparticle Physics

＜サンジェイ マンダル氏が福島大学へ来られた背景＞

サンジェイ マンダル氏は、2023 年にインドで最も優秀な大学の一つであるビルラ工科大学（Birla Institute of Technology and Science-Pilani）で宇宙論の博士号を取得され、その後、東欧で有数のルーマニア国トランシルヴァニア大学で博士研究員を務められました。

マンダル氏は、最新の宇宙論的観測データを用いて、一般相対性理論を拡張した重力理論における宇宙論を系統的に詳しく研究しておられる優れた宇宙論研究者です。これまでに 37 編の査読付き原著論文を世界的な学術誌に出版しており、総被引用数 1、193 回、h 指数（被引用数がこの値以上の論文数）19 は若手研究者として非常に高い値です。また、大学院在学中に 2022 年度クベンプ大学最優秀論文賞を受賞し、既に世界トップレベルの卓越した研究業績を修めている気鋭の若手研究者です。

宇宙論研究を強力に推進している馬塲教授は、マンダル氏と共に日本学術振興会外国人特別研究員の公募に応募し、その結果、マンダル氏は同研究員に採用され、2024 年 7 月より、ルーマニアのトランシルヴァニア大学から馬塲教授の宇宙論研究室に来られました。

この度、世界的に高く評価されている学術誌“Journal of Cosmology and Astroparticle Physics (JCAP)”に掲載されたインフレーション宇宙論に関する業績は、マンダル氏がルーマニアから福島大学の馬塲教授の下に来られ、福島大学において、２人の宇宙論研究者が共同して研究することによって初めて達成されました。

（お問い合わせ先）
共生システム理工学類教授　馬塲一晴
電　話：024-503-3263（研究室），024-548-5213（理工支援室）
メール：bamba@sss.fukushima-u.ac.jp
宇宙論研究室 URL：　https://bamba.sss.fukushima-u.ac.jp/index.html

一般相対性理論を拡張した重力理論における インフレーション宇宙に関する研究
―若手研究者との国際共同研究の成果―

令和6年11月13日　福島大学 第189回定例記者会見

福島大学共生システム理工学類

発表者:　馬塲 一晴

共同研究者:サンジェイ マンダル（Sanjay Mandal）

（客員研究員（日本学術振興会外国人特別研究員））

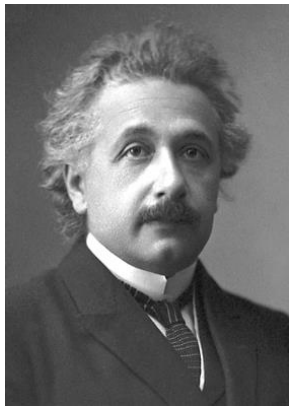
発表概要

- 福島大学共生システム理工学類宇宙論研究室のサンジェイマンダル（Sanjay Mandal）客員研究員（日本学術振興会外国人特別研究員）、馬場一晴教授の論文が世界的に権威のある学術誌“Journal of Cosmology and Astroparticle Physics (JCAP)”に掲載されました。

- 本研究では、近年盛んに研究されている拡張重力理論において、宇宙創生期での急速な加速膨張であるインフレーションの性質を明らかにしました。

この研究成果は，福島の地から世界最先端の宇宙物理学研究を発信する好例となっています。

宇宙論（Cosmology）



Dr. Albert Einstein

[The URL of *Nobelprize.org*]より転載.

- 宇宙論とは、アインシュタイン博士が1915年に完成した一般相対性理論を含む物理学の基礎理論に基づいて、宇宙がどのよう始まって、そしてどのように進化してきたのか、を明らかにする学問です。

Dr. George Gamow

[二間瀬敏史，なっとくする宇宙論，講談社，1998年]より転載.

- 1949年、ガモフによって「宇宙は、はじめビッグバンという大きな爆発を起こして、高温で高密度な状態から出発した」というビッグバン宇宙論が提唱されました。

ビッグバン宇宙論の達成事項

①ハッブルールメートル宇宙膨張の法則

②宇宙マイクロ波背景放射の存在

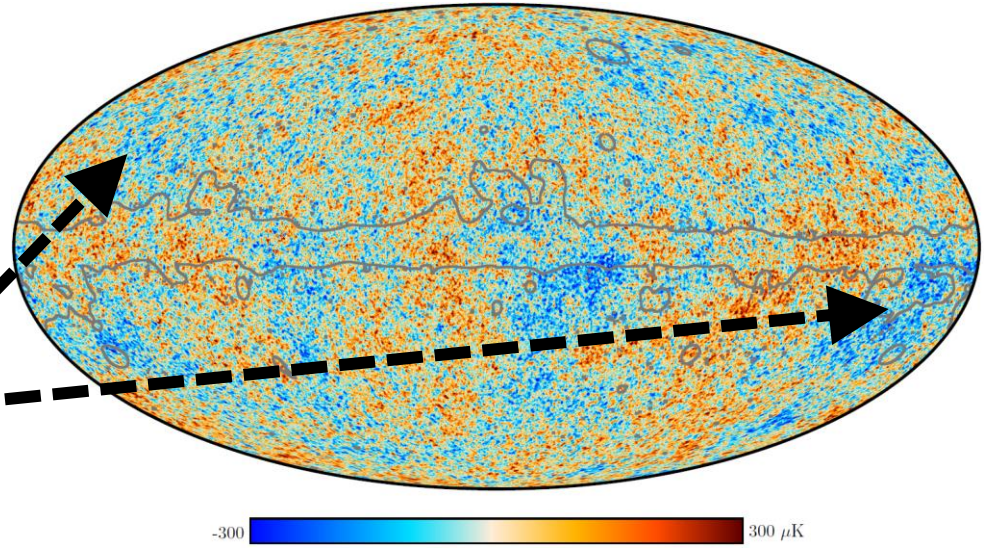
③宇宙初期でのヘリウムのような軽元素の合成

[NASA 提供]

Dr. Edwin Powel Hubble

[二間瀬敏史，なっとくする宇宙論，講談社，1998年]より転載.

⇨ ビッグバン宇宙論だけでは解けない「地平線問題」：宇宙が始まって以降、常に減速膨張をしてきたとすると、因果律を満たさない2つの点からもほとんど同程度の温度（－270℃）の宇宙マイクロ波背景放射が観測される。



宇宙マイクロ波背景放射

Planck衛星のホームページ [http://www.cosmos.esa.int/web/planck/picture-gallery]より転載.

インフレーション宇宙論

[A. A. Starobinsky, Phys. Lett. B **91**, 99-102 (1980)]
[A. H. Guth, Phys. Rev. D **23**, 347-356 (1981)]
[K. Sato, Mon. Not. Roy. Astron. Soc. **195**, 467-479 (1981)]

宇宙が始まったころの非常に急速な加速膨張

↓

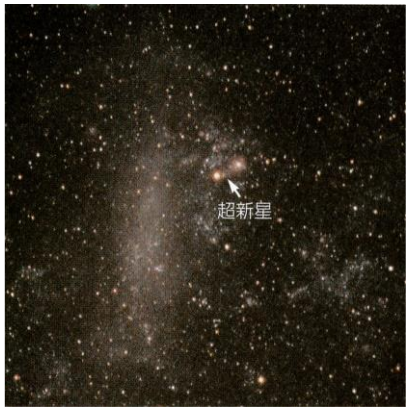
ビッグバン宇宙論だけでは解けない問題点（例：地平線問題）の解決を図る。

現在の宇宙の加速膨張

- 超新星の観測から、初期宇宙のみならず、現在の宇宙も加速的に膨張していることが明らかにされました。

2011年ノーベル物理学賞

Dr. Saul Perlmutter, Dr. Brian P. Schmidt, Dr. Adam G. Riess



大マゼラン雲の超新星 1987A

[磯崎行雄，江里口良治 他（著），地学，啓林館，2013年]より転載.

- これは、正体が未だ不明のダークエネルギーと呼ばれるエネルギーにより、万有引力をしのぐ反発力が生じていることが原因であると考えられます。

⇨ 宇宙の加速膨張を説明する有効な手立ての一つとして、「長距離スケールで一般相対性理論を拡張する方法」があります。

一般相対性理論を拡張した重力理論

拡張重力理論

一般相対性理論

重力に関する量 ＝ 物質に関する量

長距離スケールでの重力の拡張

未知のダークエネルギーの導入

現在の宇宙の加速的な膨張

本研究の目的と結果

研究目的:　拡張重力理論におけるインフレーションの性質の解明

＜考察した理論（一般相対性理論から拡張された点）＞

(1)時間と空間の捩れ具合で記述される理論
（※一般相対性理論:　時間と空間の曲がり具合で記述される）
(2)重力場と物質場が直接的に結合する理論

＜新たに発見した結果＞

一般相対性理論の場合とは異なり、インフレーションの度合いが非常に激しい場合であっても、この理論が高エネルギーにおける重力（量子重力）と関連する可能性があることを示しました。

研究成果および波及効果

- この研究成果は、2024年11月、宇宙論および素粒子宇宙物理学で最も高い評価を得ている国際学術誌の一つである「Journal of Cosmology and Astroparticle Physics (JCAP)」誌上に掲載されました。

題名：“Theory of gravity with nonminimal matter-nonmetricity coupling and the de-Sitter swampland conjectures”
著者名：Sanjay Mandal and Kazuharu Bamba
掲載学術誌名：Journal of Cosmology and Astroparticle Physics

⇨ 本研究によって得られた初期宇宙におけるインフレーションに関する成果を通じて、重力の普遍的性質と重力の量子化（非常にエネルギーの高い極微（ミクロ）な世界における物理学の法則）への理解にもつながる可能性があるものと強く期待されます。

サンジェイ マンダル氏が福島大学へ来られた背景

サンジェイ マンダル氏は、2023年にインドで最も優秀な大学の一つであるビルラ工科大学（Birla Institute of Technology and Science-Pilani）で宇宙論の博士号を取得され、その後、東欧で有数のルーマニア国トランシルヴァニア大学で博士研究員を務められました。

マンダル氏は、最新の宇宙論的観測データを用いて、一般相対性理論を拡張した重力理論における宇宙論を系統的に詳しく研究しておられる優れた宇宙論研究者です。これまでに37編の査読付き原著論文を世界的な学術誌に出版しており、総被引用数1,193回，h指数（被引用数がこの値以上の論文数）19は若手研究者として非常に高い値です。また、大学院在学中に2022年度クベンプ大学最優秀論文賞を受賞し、既に世界トップレベルの卓越した研究業績を修めている気鋭の若手研究者です。

馬塲教授は、マンダル氏と共に日本学術振興会外国人特別研究員の公募に応募し、その結果、マンダル氏は同研究員に採用され、2024年7月より、ルーマニアのトランシルヴァニア大学から馬塲教授の宇宙論研究室に来られました。この度の業績は、福島大学において、２人の宇宙論研究者が共同して研究することによって初めて達成されました。