

分類番号
440.12

テーマ別調べ方ガイド



素粒子論的宇宙論

について調べる



★ 関連キーワード

- ニュートリノ
- 暗黒物質
- バリオン数生成

「Paste (ぱすて)」とは？

ぱっと分かって、すっと頭に入る、テーマ別調べ方ガイドです。みなさんの学習をサポートする、総合図書館ラーニング・サポーター（LS）による作成です。レポート作成の際などにお役立てください

1. イントロダクション

1-1. 「素粒子論的宇宙論」とは？

私たちの住む宇宙はいったいどのようにして生まれたのか？現在の宇宙には何があるのか？そのようなマクロなスケールの問いに対して、物質を構成する最小単位である「素粒子」の視点から理論的に答えを導き出す学問が「素粒子論的宇宙論」です。宇宙は「ビッグバン」と呼ばれる高温の状態から始まり、そのような高温の環境下では物質は素粒子の状態で存在していると考えられています。それゆえ、素粒子の性質を詳細に議論することで、初期宇宙に何が起きたのかを考察することができるのです。

現在、存在が確認されている素粒子の性質は、「標準模型」と呼ばれる理論モデルで予言・説明することができます。標準模型によって説明される物理量は、多くの素粒子実験での測定事実と矛盾しておらず、大変な成功を修めています。

ところが、「物質と反物質の非対称性」や「暗黒物質の存在」など、標準模型では説明できない宇宙の現象が未だ複数残されています。最先端の研究ではそれらを説明する機構について活発に議論されています。

1-2. 学習するにあたってのポイント

素粒子論的宇宙論では素粒子の反応率などの計算を行います。これらの計算には場の量子論や相対性理論などの幅広くかつ難解な知識を必要とします。初学者の方が学習する際は具体的な計算よりも、「宇宙の始まりから現在まで、物質がどのような状態変化を繰り返してきたか」という概観を理解することを優先すると良いでしょう。この概観は熱力学や統計力学の知識があれば十分に理解できるので、まずは統計力学の基礎をおさえることが重要です。[「熱力学」](#)、[「統計力学」](#)のパスファインダーもご参照ください。

場の量子論は、簡単に説明すると「量子力学」と「特殊相対性理論」を合わせた理論となっております。そのため、場の量子論の学習を始める準備としてそれらの理解を深めることが重要です。特に、量子力学の散乱問題は学部の授業では必修科目ではないものの、場の量子論を用いた解析では必須なので重点的に学習すると良いでしょう。[「量子力学」](#)、[「相対性理論」](#)のパスファインダーもご参照ください。

場の量子論の学習にあたっては、場の量子論の教科書に記載されている計算を自分の力で再現することで、数式が導き出される論理を理解することが極めて重要となります。習得にはかなりの時間を要しますが、腰を据えて学習することが大切です。[「素粒子物理学」](#)のパスファインダーも参照すると学習に役立ちます。

1-3. 一般向けに書かれた資料・読み物

■ [宇宙は何でできているのか：素粒子物理学で解く宇宙の謎 / 村山斉](#)

素粒子物理学の理論について、一般向けに分かりやすく説明されている書籍です。素粒子とは何かを知らない方には本書を最初に読むことをおすすめします。理論を検証する実験施設の紹介もされています。

【書誌 ID=2004224959】 総合図 A 棟 4 階 学習用図書 429.6||MUR

2. 学習用資料

2-1. 事典・ハンドブック 類

■ Review of Particle Physics / Particle Data Group (<https://pdg.lbl.gov/>)

Particle Data Group が発行する、実験結果のデータや理論のレビューをまとめた資料です。2 年に 1 度最新版が発行されています。Web サイトで閲覧できますが、Web ページで冊子を注文することもできます。(2025 年 4 月 11 日現在は無料)

素粒子の質量や崩壊確率など様々なデータが記載されているので、教科書の計算を再現する際に役立ちます。

2-2. 最初に読むべき資料：教科書・古典

■ [Particle Cosmology and Astrophysics / Dan Hooper](#)

素粒子論的宇宙論の入門書です。宇宙論の基礎に加えて、場の量子論で用いる解析手法も簡単にまとめられています。粒子のエネルギー密度や数密度の統計力学的な扱いについても触れており、効率的に学習できる 1 冊となっております。

【書誌 ID= 2004590085】総合図-A 棟 4 階 学習用図書 440.12||HOO

■ [Introduction to Quantum Field Theory: Classical Mechanics to Gauge Field Theory / Anthony G. Williams](#)

素粒子の解析に必要な場の量子論の入門書です。従来の入門書は量子力学や特殊相対性理論の知識を前提にした構成になっていましたが、本書はその前提知識も詳細に解説されており、初学者にも分かりやすい構成となっております。

【書誌 ID= 2004590673】総合図-B 棟 2 階 LS 選書 421.3||WIL

2-3. 最新情報が確認できる資料：主要雑誌・年鑑・Web ページ

■ [Journal of Cosmology and Astroparticle Physics](#) 【電子ジャーナル ISSN=1475-7516】

イギリスの Institute of Physics とイタリアの International School of Advanced Studies が共同で出版する、宇宙論分野に特化した論文誌です。ほとんどの論文を無料で閲覧できます。

■ [Journal of High Energy Physics](#) 【電子ジャーナル ISSN= 1029-8479】

Springer 社が出版する、素粒子・宇宙などの高エネルギー物理学に特化した論文誌です。ほとんどの論文を無料で閲覧できます。

■ [Physical Review Journals \(American Physics Society\)](#) 【電子ジャーナル ISSN= 2470-0029】

American Physics Society が出版する、物理学の論文誌です。物理学において歴史的に重要な論文も閲覧できます。素粒子論的宇宙論に関係する論文は Physical Review D で閲覧できます。

2-4. その他専門書・学術論文等で注目すべきもの

- G. Lemaitre, “A Homogeneous Universe of Constant Mass and Growing Radius Accounting for the Radial Velocity of Extragalactic Nebulae”

[原論文(フランス語)] *Annales de la Société Scientifique de Bruxelles A* 47 (1927) 49–59

[英訳版] *General Relativity and Gravitation* 45 (2013) 8 1635–1646,

【DOI= [10.1007/s10714-013-1548-3](https://doi.org/10.1007/s10714-013-1548-3)】

- E. Hubble, “A relation between distance and radial velocity among extra-galactic nebulae”, *Proceedings of National Academy of Sciences* 15 (1929) 168–173

【DOI= [10.1073/pnas.15.3.168](https://doi.org/10.1073/pnas.15.3.168)】

私たちの住む銀河系の外にある星の放つ光のスペクトルから、星の遠ざかる速度と銀河系との距離の関係を議論した論文です。これらの研究により、遠く離れた星ほど速い速度で銀河系から遠ざかっていることが分かり、宇宙が膨張していることが明らかとなりました。この法則は現在、「ハッブル=ルメートルの法則」という名前で知られています。

- Planck Collaboration, “Planck 2018 results. VI. Cosmological Parameters”, *Astronomy and Astrophysics* 641 (2020) A6 【DOI=[10.1051/0004-6361/201833910](https://doi.org/10.1051/0004-6361/201833910)】

宇宙マイクロ波背景放射(Cosmic Microwave Background: CMB)は「ビッグバンの痕跡」とも呼ばれるマイクロ波であり、現在も宇宙全体を飛び交っています。本論文は Planck と呼ばれる宇宙望遠鏡を用いて CMB のスペクトルを精密に測定した結果をもとに、宇宙の曲がり具合や物質の存在比などのパラメータを解析したものです。この解析結果は、宇宙が平坦な時空であることや、「暗黒物質」と呼ばれる未知の物質、「暗黒エネルギー」と呼ばれる起源の不明なエネルギーの存在を裏付けるものとなっています。

- K. Sato, “First-order phase transition of a vacuum and the expansion of the Universe”, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 195 (1981) 3, pp.467–479,

【DOI= [10.1016/0370-2693\(81\)90805-4](https://doi.org/10.1016/0370-2693(81)90805-4)】

A. Guth, “Inflationary universe: A possible solution to the horizon and flatness problem”, *Physical Review D* 23 (1981), 347 【DOI=[10.1103/PhysRevD.23.347](https://doi.org/10.1103/PhysRevD.23.347)】

宇宙の最初期に「インフレーション」と呼ばれる急激な膨張があったと仮定し、そこから得られる帰結を議論した最初の論文です。現代の宇宙論では、初期宇宙の急激な膨張は、CMB の一様な温度や宇宙が平坦な時空であることを説明するために必要であると考えられています。

- B. W. Lee, S. Weinberg, “Cosmological Lower Bound on Neutrino Masses”

Physical Review Letters 39 (1977), 165 【DOI=[10.1103/PhysRevLett.39.165](https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.39.165)】

暗黒物質が弱い相互作用をする未知の素粒子であると仮定し、その存在量や質量について議論した論文です。この論文で議論されているものと同様の機構に従う暗黒物質は WIMP (Weakly Interacting Massive Particles) と呼ばれ、現在の素粒子論的宇宙論においても暗黒物質の有力な候補の一つとなっております。

2-5. 有用なナビゲートツール：ブックガイド・リンク集

■ ひっぐすたん (<https://higgstan.com/>)

素粒子の基礎的な事柄や、現在行われている素粒子実験について、可愛いイラストとともに紹介されているサイトです。プレゼンテーション資料に使える素粒子のイラスト素材もダウンロードできます。(利用規約(<https://higgstan.com/terms-of-use/>)を熟読した上で使いましょう。)

3. レポート・論文執筆用資料

3-1. 有用な検索キーワード

- ◆ 主要キーワード: 標準模型/ビッグバン宇宙論/
- ◆ 関連キーワード: ニュートリノ/暗黒物質/バリオン数生成
- ◆ 補助キーワード: 宇宙マイクロ波背景放射/インフレーション/フリードマン方程式

3-2. 二次資料類：検索サイト・書誌索引

■ arXiv (<https://arxiv.org/>)

査読前の最新の論文(プレプリント)が閲覧できるサイトです。物理学の分野では、ジャーナルに提出する前に arXiv に論文を投稿することで、同じ分野の研究者と情報を共有するのが慣習となっております。素粒子論的宇宙論に関する論文は hep-ph(現象論)に掲載されています。

■ INSPIRE (<https://inspirehep.net/>)

素粒子・宇宙などの高エネルギー物理学の論文検索に最適なサイトです。引用に必要な TeX コードもダウンロードできます。

本文中で紹介している図書・雑誌について

図書名・雑誌名の後ろに「書誌 ID」(10桁の数字)の記載があるものは大阪大学で所蔵しています。この10桁の数字で大阪大学 OPAC(蔵書検索システム)が検索できます。

