



宇宙に物質しかない理由を重力波で探る

[B! 4](#)
[ツイート](#)
[いいね! 1](#)
[Pocket](#) { 7 }

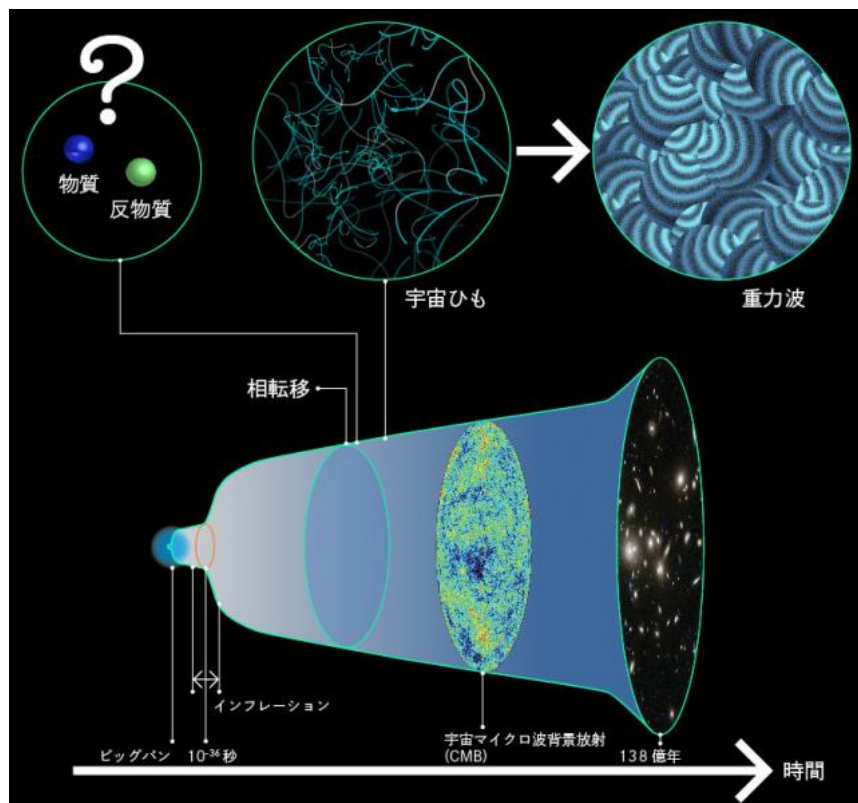
宇宙の物質と反物質の偏りを生んだ起源として提唱されている「右巻きニュートリノ」仮説を重力波観測で検証できるという理論が発表された。

【2020年2月12日 東京大学国際高等研究所カブリ数物連携宇宙研究機構】

ビッグバンで誕生したばかりの超高温の宇宙では、エネルギーのほとんどは光（輻射）の形で存在していた。この大量の光子から粒子と反粒子がペアで生み出され、後に原子や星、銀河などの材料となる「物質」が作られたと考えられている。

しかし、すべてが対称と仮定した場合の量子力学の法則では、1個の光子からは必ず粒子と反粒子が1個ずつ「対生成」されることになっているので、初期宇宙では粒子と反粒子が完全に同じ数だけ生み出されたはずだ。その後の宇宙膨張で温度が下がり、粒子と反粒子が衝突して消滅する「対消滅」が起ると、すべての粒子と反粒子が消えてしまい、粒子が集まってできた「物質」も反粒子が集まってできた「反物質」もまったく残らないことになる。

現実の宇宙には物質だけが存在し、反物質はほぼまったく存在しない。この状況を説明する理論として、ビッグバン直後の対生成では粒子と反粒子は完全に同数ではなく、粒子の方が反粒子より約10億分の1だけ多く生み出され、そのおかげで対消滅の後に物質が残り、現在の天体を形作ったという説が有力だ。この「偏り」が生じたイベントのことを「**バリオン数生成**」と呼んでいる。



Google カスタム検索



製品情報



月刊星ナビ 2020年5月号

4月3日 発売

波動駆動赤道儀 / ステラショット2発売 / 座の蟹の正体 / プラネ解説員になる / 台; 環日食まで2か月 / ほか



ステラナビゲータ11

3月30日 11.0dリリース

太陽系や星座、星雲・星団、銀河宇宙まあらゆる星空をパソコンで再現



ステラショット2

3月26日 新発売 / 最新版 2.0b

望遠鏡とデジタル一眼レフ / CMOSカメラの天体撮影を強力アシスト。極軸合わせやワイヤレス制御など新機能満載



ステライメージ8

最新版 8.0h

RAW現像からコンポジットまでの自動化像調整の操作性向上で天体画像処理の効大幅にアップ



モバイルツール

手軽に星空を楽しもう

星空ガイド



宵の明星 金星

夕空に輝く一番星



アトラス彗星

分裂（崩壊）したとみられています



4月の天文現象

主な現象 / 金星（夕方～宵）、火星・木星（未明～明け方）

このほか、「[星空ガイド](#)」や「[特集一覧](#)」も ください

天体写真



天体写真ギャラリー

月、惑星、彗星、星雲・星団、天の川、景、...



デジタル一眼天体写真入門

PCソフトで撮影&処理。明るい場所でも星雲・星団撮影を初歩から解説



惑星を撮影しよう

惑星をCMOSカメラで動画撮影し、ステライメージ8で美しく仕上げる

ショッピング

ビッグバンから現在までの宇宙の歴史を表した図。今から138億年前に宇宙はビッグバンで誕生し、約 10^{-36} 秒後にインフレーションと呼ばれる過程で、極めて短い時間に指数関数的にサイズが大きくなった。インフレーションによる急激な膨張で宇宙の温度はいったん下がるが、宇宙自身が一種の相転移を起こすことで真空のエネルギーが莫大な熱エネルギーに変わり、この「再加熱」によって宇宙は再び超高温の状態になる。この超高温の宇宙を満たしていた光から物質と反物質が生まれたと考えられている。また、この時代に「宇宙ひも」と呼ばれる構造も大量に作られ、ここから放出された重力波が現在の宇宙にも到達していると考えられる（提供：R. Hurt/Caltech-JPL, NASA, and ESA Credit: Kavli IPMU - Kavli IPMU modified this figure based on the image credited by R. Hurt/Caltech-JPL, NASA, and ESA）

バリオン数生成が起こった時代は宇宙のインフレーションが終わった時刻（一説には、ビッグバンの 10^{-36} 秒後ごろ）よりは後で、水素やヘリウムの原子核が作られた時刻（＝ビッグバンの約1秒後）よりは前のはずだが、具体的にいつ、どのようにして起こったのかはわかっていない。

現在広く受け入れられている素粒子物理学の「標準模型」と呼ばれるモデルでは、宇宙の物質の量を説明できるほどのバリオン数生成は起こせないことがわかっている。そこで、標準模型を超える様々なモデルを使ってバリオン数生成を説明する試みが行われている。有望な仮説の一つは、標準模型にない「右巻きのニュートリノ」が存在すると考えるものだ。

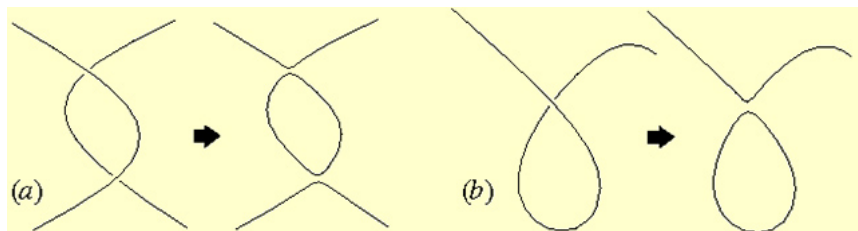
一般に、粒子には「スピン」という値（量子数）と粒子の運動方向の組み合わせによって、「右巻き」「左巻き」という区別（カイラリティ）が存在する。クォークや電子など、質量を持っている粒子には右巻きと左巻きの両方が存在するが、質量を持たない粒子は右巻きか左巻きのどちらか一方しか存在しない。

実験で観測されるニュートリノは左巻きのものしかなく、これはニュートリノに質量がないことの証拠だと長年考えられてきた。これを踏まえて、標準模型ではニュートリノの質量はゼロとされている。ところが、1990年代になって太陽から来るニュートリノや大気中で宇宙線によって発生する大気ニュートリノの観測から「ニュートリノ振動」と呼ばれる現象が見つかり、ニュートリノが極めて軽いながらも質量を持つことが確実となっている。

1980年代に日本の柳田勉や福来正孝は、標準模型に未知の右巻きニュートリノを加える理論を提唱した。この右巻きニュートリノは、通常の左巻きニュートリノと違って「弱い相互作用」をせず、しかも粒子と反粒子に区別がない「マヨラナ粒子」というタイプの粒子だ。柳田らは、もし右巻きニュートリノが存在すれば、これが崩壊することでレプトン（電子やニュートリノなど、軽い物質粒子の総称）と反レプトンの数にわずかな差ができ、この差がバリオン数生成につながることを示した。この仕組みは「レプトジェネシス（レプトン数生成）機構」と呼ばれている。

だが、レプトジェネシスやバリオン数生成が起こった時代は「宇宙の晴れ上がり」（＝ビッグバンの約38万年後）よりもずっと昔なので、光を使って直接観測することができない。しかも、この時代の宇宙は非常に高温で、当時の宇宙を満たしていた光子のエネルギーは人類が加速器で作りに出せるエネルギーよりもはるかに高いため、実験で再現することも不可能だ。「誕生から約40万年間の宇宙は光を通さず不透明です。そのため通常の望遠鏡では観測が難しく、我々がなぜ存在するのか？という根源的な疑問に答えるのは困難です」（米・カリフォルニア大学バークレー校（UCバークレー）Jeff Drorさん）。

そこで、Drorさんと東京大学国際高等研究所カブリ数物連携宇宙研究機構（Kavli IPMU）／UCバークレーの村山斉さん、高エネルギー加速器研究機構／Kavli IPMUの郡和範さん、東京大学宇宙線研究所の平松尚志さん、加・TRIUMF研究所のGraham Whiteさんからなる研究チームでは、レプトジェネシス機構のモデルが正しいとすると、「宇宙ひも」と呼ばれる構造がたくさん作られることに着目した。



宇宙ひも。ひも同士が交差したり自らループを作ったりしてつなぎ替えが起こると、閉じた宇宙ひものループができることがある。こうした閉じた宇宙ひもは重力波を放出して消滅すると考えられている（提供：Cambridge cosmology group）

宇宙ひもは超高温の宇宙が膨張で冷えていく途中で、エネルギーの高い場所が所々ひも状に取り残されたようなものだ。宇宙ひもは互いにぶつかったり交差したりするとつなぎ変わり、閉じたループができることがある。閉じた宇宙ひものループは重力波を放出しながら収縮して消えてしまう。そのため、現在の宇宙では人類が観測可能な範囲（半径138億光年の球）の中に宇宙ひもはせいぜい数本しか残っておらず、私たちが目にすることはないが、レプトジェネシスやバリオン数生成の時代に宇宙ひもから放出された重力波は、宇宙マイクロ波背景放射などと同じように「宇宙背景重力波」として宇宙のあらゆる方角からやってきていると考えられるという。

Drorさんたちは、レプトジェネシス機構のシナリオが正しいとすると、宇宙ひもがどのように作られ、宇宙背景重力波がどんな特徴を持つかを理論的に導いた。その結果、宇宙ひもが作られる時代に依って背景重力波のスペクトルの特徴は様々に変わるものの、これらの多くは、欧州で計画されている



ステラショット2

さらにパワーアップし、より使いやすくなった天体撮影ソフト。カメラ、赤道儀、オガイダーをまとめて制御して、天体撮影マートに。



スコープテック・ゼロ・マウント

軽量化と強度という相反する要因を高いで両立したフリーストップ式マウント。式の下と水平のアームを菊座ジョイント緩みやガタつきなしで結合。



天文講習会



天体写真画像処理講座

6月6日～全4回@池袋
毎回大人気の「天体写真画像処理講座」ビート開催



タイムラプス撮影入門講座

6月13日@池袋
コンパクト赤道儀「ポラリエU」を使っ
タイムラプスの撮影手順や注意点を解説



星空撮影入門講座

8月2日@池袋
コンパクト赤道儀「ポラリエU」を使っ
空撮影の方法やテクニックを紹介

天文ツアー



6月21日 台湾金環日食

北回帰線が通る台湾・嘉義で夏至の日の日食



@AstroArts



@Hoshinavi



AstroArts

「LISA」や「BBO」、日本の「DECIGO」など、衛星軌道上に構築する宇宙重力波望遠鏡を使えば検出できる可能性が高いことがわかった。

「宇宙ひもからの重力波は、ブラックホールの合体といった天体物理学的に生じる重力波とは明らかに異なるスペクトルを持ちます。そのため、重力波源が確かに宇宙ひもであるとはっきり確信することは十分可能です」（郡さん）。

もし将来、宇宙ひもからの重力波が実際に検出されれば、右巻きニュートリノの存在によって物質と反物質の偏りができたことを実証でき、この宇宙に物質しか存在しない謎を解明することにつながる。さらに、ニュートリノだけが他の素粒子と比べて極めて小さな質量を持つ理由についても、右巻きニュートリノが存在すれば、柳田らが提案した「[シーソー機構](#)」と呼ばれる仕組みで自然に説明されるため、標準模型を超える素粒子物理学の検証にも大きく貢献すると期待されている。

（文：中野太郎）

タグ [🔍反物質](#) [🔍バリオン数](#) [🔍レプトジェネシス](#) [🔍ニュートリノ](#) [🔍重力波](#)

〈参照〉

- Kavli IPMU：[なぜ物質は完全消滅を免れたのか？ -重力波で探る物質の起源-](#)
- Physical Review Letters：[Testing the Seesaw Mechanism and Leptogenesis with Gravitational Waves](#) 論文

〈関連リンク〉

- [レプトジェネシス（宇宙の物質創生）](#)
- 日本物理学会誌 物理学70の不思議
 - [マヨラナ粒子の尻尾をつかめ！](#)
 - [ニュートリノはなぜこんなに軽いのか？](#)
 - [なぜ我々は物質だけからできているのか？](#)
- [SEARCHING FOR GRAVITATIONAL WAVES FROM COSMIC STRINGS](#)
- [Cambridge Cosmology: COSMIC STRINGS et al.](#)
- [Welcome to LISA](#)
- [DECIGO](#)

〈関連記事〉

- 2020/04/08 20分周期で公転するヘリウム白色矮星連星
- 2020/03/03 重力波望遠鏡「KAGRA」が観測開始
- 2019/11/05 ショートガンマ線バーストにおけるX線超過成分の時間変動を解明
- 2019/10/29 中性子星の衝突で作られたストロンチウムを初検出
- 2019/10/07 大型低温重力波望遠鏡「KAGRA」が完成
- 2018/12/10 LIGOとVirgoが4件の重力波イベントを新たに検出
- 2018/10/23 重力波源とガンマ線バーストは親戚かもしれない
- 2018/07/19 40億光年彼方からの超高エネルギーニュートリノ、発生源を同定
- 2018/06/05 増光がついに一段落した重力波源のX線
- 2018/01/29 3種の高エネルギー粒子の起源は同じかもしれない
- 2017/12/08 重力波観測から導かれた中性子星の半径
- 2017/10/24 光の偏りの小ささを観測、中性子星合体で金が作られることを独立に示唆
- 2017/10/23 チベット山頂に望遠鏡を設置「HinOTORIプロジェクト」
- 2017/10/20 【レポート】「重力波天体が放つ光を初観測」記者会見
- 2017/10/17 連星中性子星の合体からの重力波を初検出、電磁波で重力波源を初観測
- 2017/10/04 重力波検出に貢献した研究者3名、ノーベル物理学賞を受賞
- 2017/09/28 4例目の重力波検出
- 2017/06/28 超新星残骸「カシオペア座A」をモデルで再現、ニュートリノ駆動の爆発を支持
- 2017/06/05 LIGO、3度目の重力波検出
- 2017/03/28 銀河中心から放り出された超大質量ブラックホール