



特集
時と天文学

ニュートンの万有引力の法則を超える
 アインシュタインの相対性理論に従うと、
 元々は別概念であった時間と空間（時
 空）が混ざってきます。特に極めて重い
 天体として知られるブラックホールのま
 わりでは、時空が強く曲げられて、光す
 ら時空の曲がりに抗えずにブラックホー
 ルに吸い込まれてしまいます。さらに、
 2つのブラックホールなどの高密度星か
 らなる連星が合体する場合、時空を揺ら
 し、重力波を放出することが知られてい
 ます。

2016年にアメリカの重力波検出機
 LIGO（ライゴ）チームが太陽の質量の
 約30倍のブラックホールの連星の合体
 による重力波の検出を報告しました。こ
 の発見に対し2017年ノーベル物理学賞
 が贈られています。今日までにLIGO-
 Virgo（ヴァーゴ、イタリア・フランス
 を中心とする重力波検出器）-KAGRA
 （カグラ、日本の重力波検出器）の共同
 研究は、中性子星の合体も含め90個を
 超えるシグナルを発表してきました。こ
 れらの重力波は、約100ヘルツの振動数
 を持ち、ブラックホールのような高密度
 天体から地球にまで伝わって来るタイ
 プの重力波です。それに加え、今年6月下
 旬に、アメリカナノヘルツ重力波天文台
 (NANOGrav) が、背景重力波を発見した
 というニュースが世界を駆け巡りました。

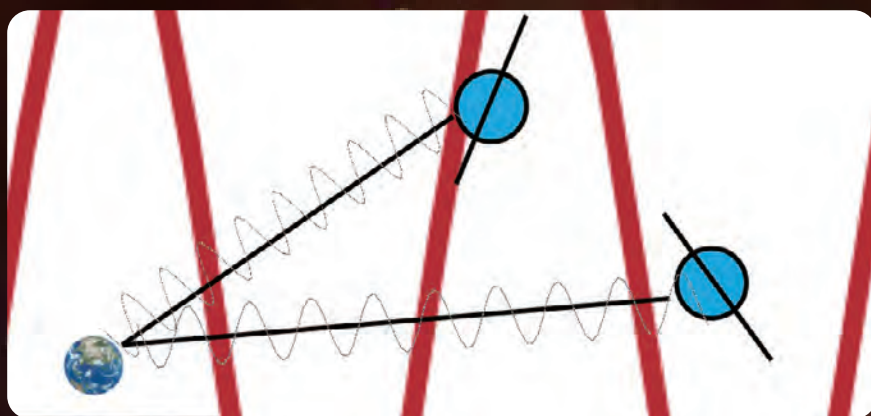


図1 背景重力波によるパルサーが出す電波の信号周期の相関の変化を示す模式図。1ナノヘルツは100ヘルツの1000億分の1。

ここで、背景重力波とは宇宙の至る所
 すべて（背景）に満ち満ちている重力波
 を意味します。パルサータイミング法と
 呼ばれる観測方法で複数のパルサーが周
 期的に出す電波のシグナルを観測し、そ
 のシグナル間の角度の相関を解析します
 (図1)。NANOGrav は約15年間の観測
 データから、ナノヘルツ帯の電波の相関
 に背景重力波が起源と考えられる奇妙な
 シグナルを観測したというものです。1
 ナノヘルツの逆数は約30年ですので、そ
 の半分の15年かけて約半波長分のデー
 タをやっと得たのです。まさに時間軸天
 文学の勝利と言っても過言ではないで
 しょう。

長い周期の
 時空の変化を
 捉える
 長い時間を
 かけて

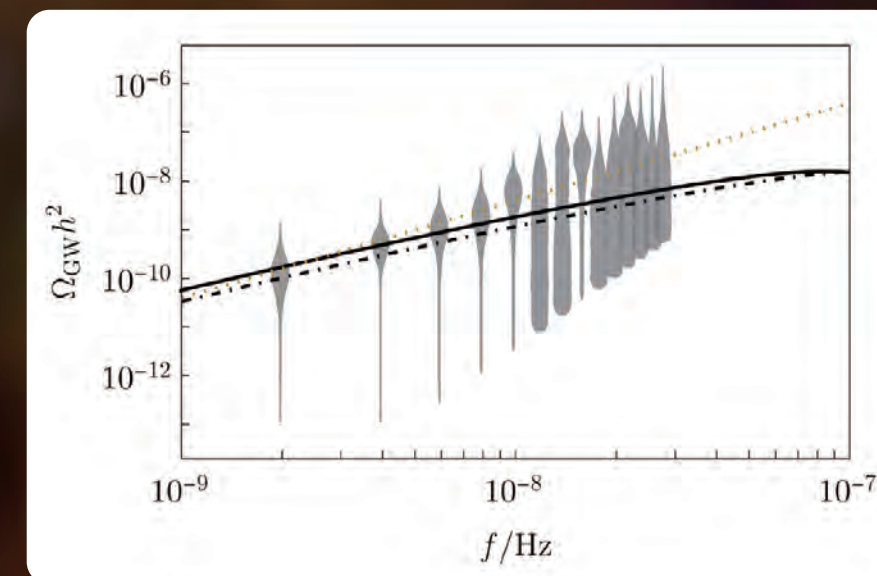
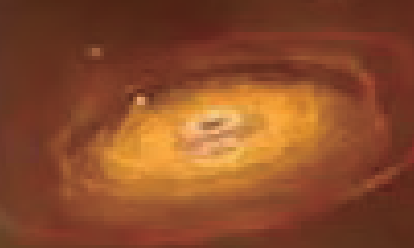


図2 2次の重力波（誘導重力波）のシグナル（太い実線）。ひし形のグレーに塗られているところがNANOGravによる観測値のデータを表す。横軸は重力波の周波数（単位はヘルツ）。縦軸は近似的に重力波のエネルギーが宇宙全体のエネルギーに占める割合を表す。
 文献：猪又敬介，郡和範，寺田隆広，arXiv:2306.17834 [astro-ph.CO](2021)より

そのシグナルの起源として、最も有力なモデルは多くの銀河の中心に鎮座するという超巨大ブラックホールの連星の合体です。その時に、典型的にナノヘルツの重力波が発生するのです。前述のLIGOの連星系より約1千億倍ゆっくり回転する連星です。また、それらが宇宙の至るところで起こっているために重なることで背景重力波となります。しかし、発生頻度の理論予想には大きな不定性があり、さらにスペクトルの形が理論予想とよく合わないという問題が指摘されています。そこで、インフレーションの新理論に基づく初期宇宙起源の2次の背景重力波のシグナルの可能性が提案されています (図2)。

通常のインフレーションモデルでも1次の背景重力波は作られるのですが、今回の値より7桁近くも弱いものです。インフレーションの新理論で初めて予言される小さいスケールの極めて大きな密度ゆらぎが非線形に作る2次の背景重力波です。一般相対性理論の効果により大きな密度ゆらぎが宇宙膨張とともに時空をいびつに曲げるせいで、初期宇宙に宇宙全体で重力波を2次的に作ったというものです。スペクトルも良くデータに合い、発生頻度も矛盾なく合わせるができます。今回のNANOGravの15年のデー

タが本当に背景重力波の検出であると証明されたならば、それだけで大発見です。有力な説である超巨大ブラックホール連星の合体による重力波説に加えて、インフレーションの新理論のヒントを与える発見かもしれません。他の観測計画による独立な検証が待たれます。



郡和範
 KOHRI, Kazunori
 科学研究部

宇宙の時空

— ついに背景重力波を発見か？ —