

ついに発見!? 宇宙背景重力波 － NANOGrav 15年のデータの意味すること －

郡 和範
(国立天文台)

どのような観測をすれば、宇宙の誕生の瞬間をとらえることができるだろうか？ 宇宙誕生時に起こったとされる、光の速度をも超えて加速膨張したとするインフレーション。それを引き起こす、未知の素粒子であるインフラトン場の量子的な効果により、宇宙の大スケールで約10万分の1という小さい密度ゆらぎがつけられたことが理論的に予想されている。そして、実際、それが宇宙マイクロ波背景放射の温度ゆらぎとしても観測されているのである。その密度ゆらぎのため、密度が大きい場所に重力的に物質が引き寄せられることにより銀河がつけられた。つまり、インフレーションは、銀河を形成する源となる密度ゆらぎをつくるために必要な機構なのである。ここで、物質とは通常の水素ガスのような、目で見ることのできる物質（つまり元素）であるバリオンと、その約5倍存在する、見ることができない物質であるダークマターの2つを指す。また、同時にインフレーションは、微量の背景重力波もつくったことが予想されている。ここで、背景重力波とは、宇宙のどこにでも満ち満ちている重力波という意味である。このインフレーション起源の重力波を検出することが、宇宙誕生の謎を解き明かす鍵となる。

2023年6月末、北アメリカナノヘルツ重力波天文台（NANOGrav）により、宇宙初期から存在する背景重力波を観測したというニュースが報じられた[1]。複数のパルサーが周期的に出す電波のシグナルの相関を15年間観測したところ、ナノヘルツ帯（ 10^{-9} ヘルツ帯）の電波に背景重力波特有のシグナルを観測したというものである。もし重力波が背景に存在するならば、前景にある、正確なパルサーの電波の周期を変更してしまい、背景重力波が存在する場合の変調として観測される。この場合、観測される重力波の振動数もナノヘルツ帯に感度があることを意味するのである。

このナノヘルツ帯の背景重力波は、標準的な天文学のシナリオに従うと、各々の銀河の中心にあるという超巨大ブラックホールの衝突でも生じることが知られている。しかし、今回のシグナルはスペクトルの形が異なることが報告されている。そして、これはインフレーションが直接つくる（原始）背景重力波に比べて1千万倍以上も多いものであった。

しかし、もし、インフレーションがつくる別の小スケールの密度ゆらぎがとて大きい場合、密度ゆらぎの大きさが引き起こす特殊な効果（非線形効果）により、とても多くの背景重力波がつけられる。これは、原始重力波と区別して誘導重力波と呼ばれる。我々は、観測されたシグナル

は、実はこの誘導重力波である可能性を指摘した[2]。

さらに、その大きな密度ゆらぎは、つぶれて太陽の約1万分の1の重さの原始ブラックホールになることが予想されている。しかも、その存在量はダークマターの総量の約2%にも及ぶことが分かってきた。加えて、その軽い原始ブラックホールの連星が衝突する時にも、異なる周波数の別の成分の重力波を発するのである。それは0.001ヘルツから1000ヘルツあたりの重力波であり、次世代観測計画であるアインシュタイン テレスコプ（ET）やコズミックエクスプローラー（CE）などを用いて測定される可能性がある（図1）。つまり、将来の重力波実験により、インフラトン場の量子性の検証と、ダークマターを担う可能性のある原始ブラックホールの発見が期待されているのである。

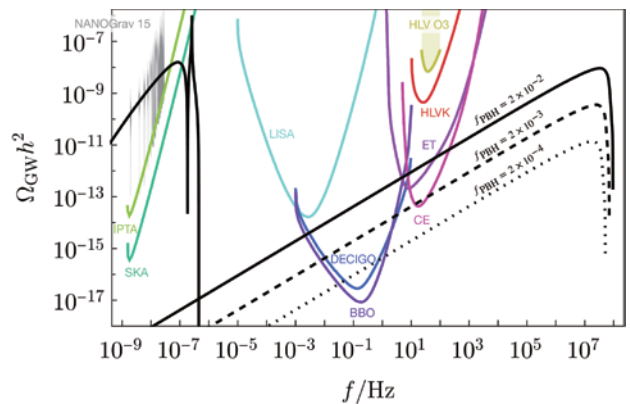


図1. NANOGravによる15年のデータによる 10^{-9} ヘルツ帯の背景重力波のデータ（灰色の影）は、初期宇宙起源の密度揺らぎがつくる誘導重力波（黒の曲線）で説明され、将来の観測計画IPTAやSKAで詳しくテストされる。また、このシナリオで同時につくられる原始ブラックホールの存在量はダークマターの2%に相当し、その連星が衝突するときにつくられる重力波のシグナル（黒の斜めの直線）は、将来の重力波観測であるDECIGO、BBO、ET、CEなどで観測される。その他の詳しい説明は原論文[2]を参照のこと。

参考文献

- [1] Agazie, G., et al.: 2023, *ApJ*, **951**, L8.
- [2] Inomata, K., Kohri, K., Terada, T.: 2024, *Phys. Rev. D*, **109**, 063506.