

Credit: NR Fuller / Science.

テクニカルプレスリリース

宇宙の絶え間ない騒めきへの調律



巨大メートル波電波望遠鏡(uGMRT, インド)
45mのアンテナ30台で構成される電波望遠鏡
で、100 MHzから1 GHz帯の電波を高感度で
観測できる世界最高峰の望遠鏡の一つ。

Indian Pulsar Timing Array (InPTA)に所属するインドと日本の天文学者たちは、20個近くのミリ秒パルサーの信号を観測している。観測にはインド・プネーから80kmに位置する低周波電波望遠鏡である巨大メートル波電波望遠鏡 (upgraded Giant Metrewave Radio Telescope, uGMRT)を用いている。ミリ秒パルサーは自然界に存在する最も正確な時計であり、重力波による微小な効果の精密測定に利用できる。

European Pulsar Timing Array (EPTA)は英、独、仏、伊にある5つの電波望遠鏡を使って、ミリ秒パルサーの高周波精密観測を24年間行ってきた。InPTAとEPTAはそれぞれのデータを組み合わせ、重力波の効果の精密測定を実施した。2023年6月29日に公表されたInPTAとEPTAの解析結果は、ミリ秒パルサーの信号の中にナノヘルツ重力波と類似の信号が現れていることを突き止めた。この結果は、同時に出版された3つの他の国際的なPulsar Timing Array (PTA)グループの解析結果と一致している。

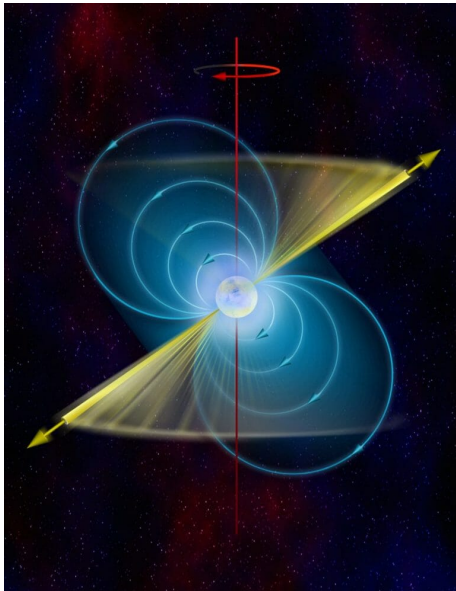
International PTA (IPTA)の助力のもと、InPTAの低周波でユニークなデータとこれら全てのPTAのデータを組み合わせている。この組み合わせられたデータにより、数光年の波長をもつ捉えにくい重力波が来年には疑う余地なく検出されるかもしれない。

宇宙の灯台が刻む時刻

約100年前にアインシュタインにより予言された重力波は、我々の周辺の時空を伸縮させる。アインシュタインの理論によると、この時空のさざ波は我々が感知することはできないが、時計の時刻の刻みをわずかに変え得る。InPTAのようなPTA実験は、電波パルサーと呼ばれる宇宙の灯台が刻む時刻の変化を測定する試みである。パルサーは、原子時計に匹敵する精度で周期的に電波パルス放射する暗い電波源である。

地球の近傍を通過する重力波は、ミリ秒パルサーの観測されるパルス周期をごく僅かに短く、あるいは長くし得る。uGMRTのような高感度な望遠鏡であれば、毎秒受け取ったパルスの数を数えられ、周期の変化を10億分の1の精度で測定できる。InPTAと豪州、欧州、北米の国際的パートナーたちは過去10年以上に渡ってこの精密測定を続けてきた。

全ての時計には不正確さがある。ここで、天文学者たちはどのようにして時計の雑音と重力波の信号を区別しているのだろうか？このような重力波は大質量ブラックホールかその連星により、10年程度の周期、つまりナノヘルツの周波数で放射される。これはそれぞれのブラックホールが互いの周囲を回る時間に対応する。ひとつのブラックホールペアから放射される重力波は微弱だが、多数のペアから放射される重力波を組み合わせると、より強力な「騒めき」、つまり背景を形成する。このブラックホールの「音色」は非常に特徴的な音であるだけでなく、音を「聴く」ために使われるパルサー時計のペアに対して異なる痕跡を残す。この音色は天球上で近い、つまり見込み角の小さいパルサーペアでは似た音色になる。



パルサーのイメージ図。磁極方向からビームを放射しながら自転することで、ビームが地球に向いたときのみ観測されるため、「宇宙の灯台」と呼ばれる。

(Credit: B. Saxton, NRAO/AUI/NSF)

一方で、パルサーペアの見込み角が変化すると音色の類似性も変化する。天文学者達は、「ブラックホールの騒めき」とパルサー時計に現れる「雑音」を区別するために、これらの重力波信号の特徴を利用する。この中で雑音は、パルサーと地球の間の星間空間を電波パルスが伝搬することによる、時計の不正確さである。これらの不正確さは400 MHz程度の周波数の電波が最も精度よく修正できる。そして、uGMRTはこの周波数帯で世界で最も感度が高い望遠鏡である。

InPTAの天文学者たちは、uGMRTのサブアレイと広帯域同時観測だけでなく上述の特有の性質を利用している。これにより、InPTA-EPTAのデータ結合の際にInPTAは精密な雑音測定をEPTAへ提供している。



International Pulsar Timing Array

宇宙を見る新しい窓

InPTA-EPTA collaborationは、重力波からこの伝搬とその他の雑音を区別するために、結合したデータを使用した。

出版された論文では、データが上述の重力波に特有な二つの特徴、つまりスペクトルと空間的相関が徐々に出現していることを仄めかしている。この動かぬ証拠(smoking gun)が現れ始めている一方で、解析結果は、「我々の宇宙の銀河がどのように進化するか」といった問いや、宇宙ひも、ダークマターへの理解にも影響を及ぼす。

現在InPTA-EPTAのデータを北米のNANOGrav、豪州のParkes PTA、南アのMeertime PTAのデータと組み合わせるプロジェクトが進行中である。これらのデータにより、IPTAが近いうちに宇宙への新しい窓を開くことが期待される。

