

Credit: Danielle Futselaar / MPIfR.

# ポピュラープレスリリース

## 低周波重力波が引き起こす宇宙の絶え間ない騒めきのヒント



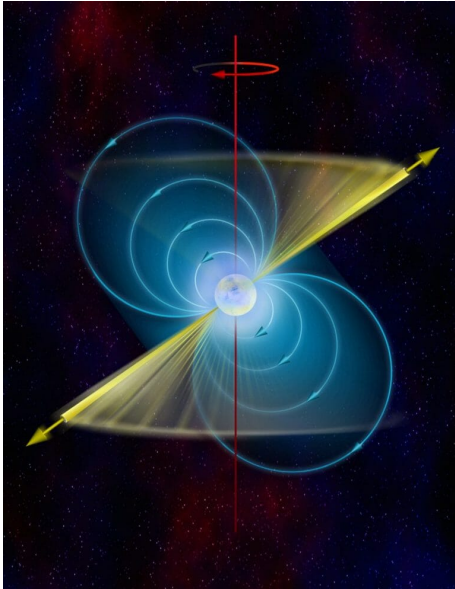
巨大メートル波電波望遠鏡(uGMRT, インド)  
45mのアンテナ30台で構成される電波望遠鏡  
で、100 MHzから1 GHz帯の電波を高感度で  
観測できる世界最高峰の望遠鏡の一つ。

インド、日本、ヨーロッパの天文学者らからなる国際チームは、インドで最大の望遠鏡であるuGMRTを含む世界で最も高感度の6台の電波望遠鏡を用いて、自然界で最も優れた時計であるパルサーをモニタリングした結果を発表した。これらの結果は、超低周波の重力波が宇宙の布の絶え間ない振動を引き起こすことの証拠のヒントを示している。そのような波は、太陽の数千万倍以上重い、多数の踊るようなモンスターブラックホールから生じると期待されている。このチームの成果は、重力波スペクトルに天体物理学的に豊かな新しい窓を開く極めて重要なマイルストーンである。

そのような踊るモンスターブラックホールは、衝突する銀河の中心に潜むと期待されており、我々の宇宙の布に細波を生じさせ、天文学者はその波長が何十兆キロメートルにもなりうることから、そうした細波をナノヘルツ重力波と呼んでいる。多数の超大質量のブラックホールのペアから生じる絶え間ない不協和音は継続的な宇宙のざわめきを生み出す。European Pulsar Timing Array (EPTA)とIndian Pulsar Timing Array (InPTA)の共同体のメンバーからなる

チームはAstronomy and Astrophysics journalで2つの論文を発表し、そのデータセットの中でそうした重力波の存在が示唆されている。

こうした光年スケールの細波は、パルサー-人類にとって唯一利用可能な天の時計-を利用した銀河スケールの重力波検出機を総合することで検出可能となる。パルサーは基本的には死を迎えた星の名残である高速回転する中性子星のタイプとして宇宙に存在する。幸運なことに、パルサーは宇宙の灯台であり、ちょうど港近くの灯台のように定期的に地球のそばを点滅する電波ビームを放射する。



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)

## 宇宙の灯台を乱す重力波

天文学者らは、プネー近郊にあるインド最高峰の電波望遠鏡uGMRTを含む世界最高の電波望遠鏡を使って、これらのパルサーをモニターしている。近年、uGMRTは、パルサーを天体の時計として利用できるように、パルサーの電波ビームの小さな閃光を正確に記録することに大きく貢献してきた。

“アインシュタインによれば、重力波はこうした電波の到来時刻を変化させ、それにより我々の宇宙の時計の計測値に影響する。こうした変化は非常に微小であるため、他の阻害要因と区別するために天文学者はuGMRTのような高感度望遠鏡と電波パルサーの集まりが必要となる。この信号の変化が遅いため、とらえどころのないナノヘルツの重力波を探すには何十年もかかるのです”と、過去10年間にInPTAコラボレーションを立ち上げた、プネーにあるNCRA-TIFRのBhal Chandra Joshi教授は説明する。

EPTAの科学者たちは、InPTAの日印共同研究者と共同で、世界最大の電波望遠鏡6台で25年にわたって収集されたパルサーのデータを分析した詳細な結果を発表した。これには、インド最大の電波望遠鏡であるuGMRTのユニークな低周波数帯域と柔軟性を利用して収集された3年以上の非常に高感度なデータが含まれる。このユニークなデータセットの分析により、これらの宇宙時計の計測された時を刻むペースには、モニターされた25個のパルサーに共通する特徴的な不規則性があることが明らかになった。

uGMRTを運営するNCRA-TIFRのセンターディレクター、Yashwant Gupta教授は次のようにコメントした。”uGMRTのユニークなデータが、現在進行中の重力波天文学に関する国際的な取り組みに利用されていることは素晴らしいことです。このような目的のためにパルサーの高精度タイミングを実施することは、2013年から2019年にかけて実施したGMRTの大規模アップグレードの重要な科学目標の1つでありましたし、最初の数年で実を結んでいることを目にして大変喜ばしいです。アップグレードされたGMRTのために私たちが設計・構築した広帯域受信システムは、GMRTが国際共同研究に貢献している、より低い電波周波数からの高品質データを可能にしたものです。”

## 銀河スケールの重力波検出機

驚くことではないが、ナノヘルツ周波数の重力波は、宇宙で最もよく守られている秘密のいくつかについての情報を運んでくる。親銀河が合体する際に形成されると予想される、太陽の質量の数億倍から数百億倍の質量を持つブラックホール対の宇宙集団は、このような周波数で重力波を放出する。さらに、宇宙が黎明期、生まれてわずか数秒、のときに生じたかもしれない他の様々な現象も天文学的に長い波長の重力波を発生させる。InPTA コンソーシアムのトップを務める、ムンバイのTIFRのA. Gopakumar教授によると、”今日発表された結果は、これらの謎のいくつかを解き明かすための宇宙への新たな旅の始まりを意味する。さらに重要なことは、インドの望遠鏡のデータが重力波探査に使われるのはこれが初めてだということだ。”

こうした重力波を検出するために、“Pulsar Timing Array” (PTA) コラボレーションに所属する天文学者らは、我々の天の川銀河に分布する超安定のパルサークロックを利用し、“銀河スケールの重力波検出機”を作っている。パルサーの正確な到着時刻の測定は、重力波の影響を研究するために何十年も続けられており、互いに比較されている。電波の信号が時空を旅してくる際に、重力波の存在は電波の経路に特徴的な形で影響を与える。すなわち、あるパルスは少し遅く（100万分の1秒以下）、あるパルスは少し早く到着するといった具合に。



パルサータイミングアレイのイメージ図  
銀河系に存在するミリ秒パルサーを観測して低周波重力波の検出を目指す。  
(Credit: Danielle Futselaar / MPIfR.)

我々の天の川銀河にある25個の厳選されたパルサーを組み込んで合成されたこの巨大な銀河サイズの重力波検出器により、2015年にアメリカの2つの地上型LIGO検出器で初めて観測されたものより100億倍遅い振動数の重力波が作り出すパルス到着時間の変動にアクセスすることが可能となる。”興味深いことに、キロメートルサイズのLIGOは、数秒間の瞬間的な重力波信号を観測している。これとは対照的に、我々の銀河サイズのPTAは宇宙の布の永続的な振動、言い換えればナノヘルツの周波数での背景重力波を感知し始めている。その結果、宇宙への新しい窓は、近い将来にインドが決定的な役割を果たすことが期待されているSKA (Square Kilometre Array) のような新しい望遠鏡によって、より広くなることが期待されています”とA. Gopakumar教授は言う。

## 日印欧の国際共同研究

今回の結果は、ドイツの100mエフェルスベルク電波望遠鏡、イギリスのジョドレルバンク天文台のローベル望遠鏡、フランスのナンセイ電波望遠鏡、イタリアのサルデーニャ電波望遠鏡、オランダのウェスターボルク電波合成望遠鏡という、ヨーロッパの5大電波望遠鏡を使った協調観測キャンペーンに基づいている。このデータセットを補完するために、インドのアップグレードされた巨大電波望遠鏡による観測も分析に含まれている。月に一度、ヨーロッパの望遠鏡の観測が追加され、感度がさらに向上する。

“ヨーロッパ、インド、日本の研究者間の協力は、国際的な取り組みが科学的に成功し、非常にやりがいのあるものであることを示すだけでなく、世界的なIPTAの取り組みの模範となることを願っています”と、ドイツのボンにあるマックス・プランク電波天文学研究所所長であり、Bhal Chandra Joshi 教授とともに、ヨーロッパとインドのPTA間の緊密な協力関係の構築に尽力している、Michael Kramer教授は言う。

本日発表されたヨーロッパとインドのパルサー・タイミング・アレイ (EPTA+InPTA) のデータ解析により、アレイ内のパルサーに、重力波によるものとはほぼ一致する共通の信号が存在することが明らかになった。”その信号は、まる

で宇宙時計が時空の波に揺さぶられているかのように、長年のパルサー観測を通してずっと続けている。この新たな証拠は、宇宙物理学者が期待するものと一致しています”と、インドやヨーロッパの研究者らとともに日本の研究を率いる熊本大学の高橋慶太郎教授は言う。



EPTA+InPTAの結果は、世界中の他のPTA、すなわちオーストラリア (PPTA)、中国 (CPTA)、北米 (NANOGrav) のパルサー・タイミング・アレイコラボレーションによって発表された協調的な論文によって補完されている。

“EPTA+InPTAのコラボレーションによって報告された結果は、ナノヘルツ重力波の発見に非常に近いものであり、初期キャリアの研究者や学部生を含む多くの科学者の長年の努力の集大成です。IIT ハイデラバード と IIT ルールキーの NSMコンピューティング設備、そしてプネのNCRAとムンバイのTIFRのコンピューティングインフラが、これらの結果の発表に貢献してくれました”とIITハイデラバード校のShantanu Desai教授は述べている。

## 偉業の達成まであと一息

重要なことに、EPTA、InPTA、PPTA、NANOGravの4つのコラボレーションの科学者が、国際パルサー・タイミング・アレイ (IPTA) の支援のもと、それぞれのデータセットを組み合わせ、100個以上のパルサーからなるアレイを作り、近い将来この目標に到達できるかもしれないという作業がすでに進行中である。この組み合わせられたIPTAデータセットは、より高感度であることが期待され、科学者たちは、宇宙が黎明期だった時、生まれてわずか数秒、に起こったかもしれない、天文学的に長い波長の重力波を発生させる他の様々な現象の理解とともに、背景重力波に制約を与えることができることに興奮している。

チェンナイ数理科学研究所のPratik Tarafdar博士は、“これは本当に刺激的なことです”と言い、“この宇宙重力波シンフォニーの低音部をやっと聴くことができるような偉業の達成まで、あと一息だ”と感じている。

その後数年間の間に、IPTAコンソーシアムは、OJ287と呼ばれる非常に活発な銀河に潜んでいると疑われているような、モンスター・ブラックホールの個々のペアから重力波が発見されることを期待している。そのような発見は、2017年の間にLIGOや電磁スペクトルにおける多くの望遠鏡によって観測された象徴的な中性子星合体GW170817と同様に、PTA観測から抽出できる天体物理学的情報を強化するだろう。”今後予定されているSquare Kilometre Arrayとともに、この大陸横断的コラボレーションは、LIGO-Indiaを含む将来の宇宙ベースおよび地上ベースの重力波観測所からの発見を完全に補完することが期待される”とBhal Chandra Joshi教授は確信している。

InPTAの実験には、プネーにあるNSC、ムンバイにあるTIFR、ルールキーにあるIIT、ボーパールにあるIISER、ハイデラバードにあるIIT、チェンナイにあるIMSc、そしてバンガロールにあるRRIの研究者と、日本の熊本大学の研究者が参加している。

