

研 究 主 論 文 抄 録

論文題目

Study on direct detection of low-frequency gravitational waves with pulsar timing array
(パルサー・タイミング・アレイによる低周波重力波の直接検出に向けた研究)

熊本大学大学院自然科学研究科 理学専攻 物理科学講座

(主任指導 高橋 慶太郎 准教授)

論文提出者 米丸 直之

主論文要旨

本論文は、3つの研究テーマから構成される。

1つ目は、ニューラルネットワークによるパルサー候補天体の選定である。パルサーとは、一定の周期でパルスを放射する天体である。その正体は、強い磁場を持ち高速で自転する中性子星である。その磁極から電磁波(主に電波)を放射しているが、一般に放射方向は自転軸に一致しておらず、放射方向と視線方向が一致するとき、パルスとして観測される。これまでに 2800 個程度のパルサーが発見されており、将来的には大型電波望遠鏡 Square Kilometre Array (SKA)により 30000 個程度のパルサーが発見されると予測されている。しかし、一般的にパルサーは暗く長時間の観測が必要であり、また、時系列データの中から幅のせまいパルスを検出しなければならないため、高い時間分解能で解析を行う必要があることから、パルサーサーチにかかる時間や計算コストは非常に大きい。そこで、我々は機械学習の一つであるニューラルネットワークを用いて電波連続波サーベイカタログの中からあらかじめ有力なパルサー候補の選出するという手法を提唱した。本研究では、TGSS と NVSS という既存のサーベイカタログを用いてニューラルネットワークを構築・訓練し、その訓練後のネットワークの精度を調べ、また、そのネットワークを TGSS と NVSS 中の未同定天体に適用することでパルサー候補の選出を行なった。

2つ目は、パルサー・タイミング・アレイによる宇宙ひもからの重力波バーストの探索である。宇宙ひもとは、初期宇宙の真空の相転移や、超弦理論に基づくインフレーションモデルから予言される一次元のひも状の位相欠陥であり、非常に大きい質量を持ち光速に近い速度で運動することから、重力波波源の一つと考えられている。ここで、重力波とは一般相対論に予言される時空の歪みが光速で伝搬する現象である。宇宙ひもは、その運動によって重力波を放出するが、その中でも特にループ上に時々現れるカスプと呼ばれる光速で動く特異点から強い重力波バーストが放出されることが知られている。また、パルサー・タイミング・アレイとは、パルサーからのパルスの周期の安定性を利用した低周波重力波の検出方法である。時空の歪みである重力波が地球やパルサーを通過すると、パルスの伝

播経路が歪められ、パルスの到来時刻が重力波のない場合の予測とずれてしまう。パルサー・タイミング・アレイでは、このパルスの到来時刻の予測とのずれを重力波のシグナルとして検出する。本研究では、オーストラリアの Parkes Pulsar Timing Array (PPTA) による second PPTA data release を用いて、PPTA チームと共同で宇宙ひもからの重力波バーストの探索を行なった。解析の結果、有意なシグナルは検出できなかったが、宇宙ひものパラメーターに制限を与えることができた。

3つ目は、超低周波重力波に対する新検出方法の感度の推定である。パルサー・タイミング・アレイにより観測できる重力波の最低周波数は、観測期間により決まり、およそ 3nHz 程度である。この周波数域で観測されると考えられている天体は、宇宙ひも以外では主に超巨大ブラックホール(太陽の 100 万倍以上の質量をもつブラックホール)連星である。この nHz 程度の周波数は sub-pc (1 pc = 3.26 光年)スケールの軌道周期に対応し、連星の進化段階としてはかなり後期にあたる。そもそも、超巨大ブラックホール連星は銀河同士の衝突で形成されると考えられている。連星形成後、進化の初期段階では周囲のガスとの摩擦や星との散乱によりエネルギーや角運動量を失うことでその軌道を縮めていくと考えられている。やがて、軌道が 1 pc 程度になると周囲に天体が存在しなくなり、周囲の天体との相互作用では軌道が縮まなくなる。しかし、近傍の銀河の中心には通常一つの超巨大ブラックホールしか観測されていないことから、何らかのメカニズムにより連星は合体に至るはずである。そのため、pc スケールの連星を観測することは重要である。重力波の周波数は、重力波を放射する天体の運動のタイムスケールにより決まり、軌道周期が長くなるほど重力波の周波数は低くなる。我々は、先行研究でそのような超低周波の重力波に対する新検出方法を提唱し、本研究ではその新検出方法の感度をシミュレーションにより定量的に見積もった。