

平成 25 年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：NHA を用いた重力波の検出に関する研究
英文：Gravitational Wave Detection using Non-Harmonic Analysis

研究代表者 富山大学・教授・廣林茂樹
参加研究者 大阪大学・助教・田越秀行
東京大学宇宙線研究所・教授・川村静児

研究成果概要

重力波はアインシュタインの一般相対性理論で予想される時空のひずみ波で、光の速さで伝播する。また、物質との相互作用が弱いために物質に覆われた銀河の中にもほとんど吸収されずに透過する。重力波が時間変化波形で直接検出されたことはなく、それが検出されれば強い重力場における一般相対性理論の検証となるばかりでなく、重力波のもたらす観測情報により、ブラックホールや中性子星、そして初期宇宙などについて新たな知見が得られるものと期待されている。

本研究では、工学系で広く利用されているフーリエ変換(FFT)に比べ、10 万～100 億倍以上の精度の向上が見込まれる NHA(Non-Harmonic Analysis: 代表者が考案した非周期信号のフーリエ変換式への最小二乗法に基づく周波数分析法)を用いて、重力波検出における時間-周波数解析における可視化の可能性について検証した。また、KAGRA などの重力波検出器において重力波を検出するにはノイズ化に含まれる微細な信号を選別しなければならない。そこで、ノイズ源分離では、時間的に周波数が連続的に変化する信号同定法と、その周波数変化が重力波に起因するものとを分離する手法について検討を行った。

一般に、周波数解析では Short Time Fourier Transform や Wavelet 変換を用いて解析を行うが、周波数分解能と時間分解能の両立が難しい。NHA は、分析窓長や分析長による影響が小さく、分析窓長を短くしても周波数分解能が高いため、周波数分解能と時間分解能の両立が他の方法に比べて容易であり、重力波をはじめとした関連信号を高精度に解析できる可能性がある。

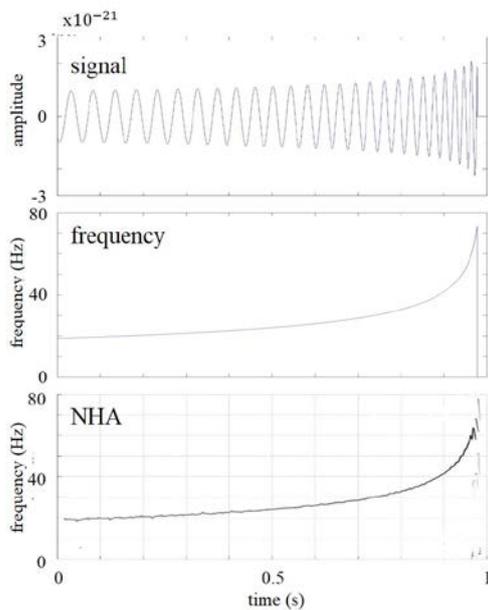


図 1: 重力波による解析結果

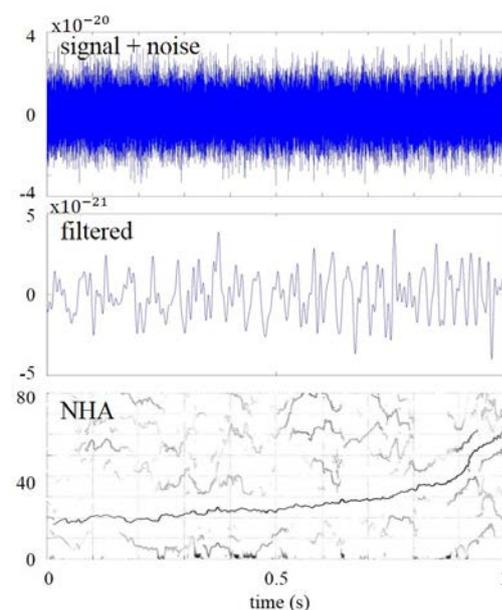


図 2: ノイズ混入下における解析結果

今回、重力波信号として、ポストニュートニアン波形を使用している。この方法では2PNオーダーまでを取り入れて計算をおこなった。この重力波形をNHAで解析することで、時間-周波数領域での可視化の可能性について図1の通り検証した。フーリエ変換やヒルベルト変換では複数の周波数を有する信号や、短時間で周波数変動の大きい信号では正確に解析することが出来ないが、NHAを用いることでそれらの信号でも正確に解析が出来ることを示した。このように、NHAは高い解析精度を得られるので、重力波のように様々な物理現象によって時間的に変化する周波数も極限的な精度で詳細に可視化できる可能性がある。

また、図1の重力波信号にSNR-20dB(振幅比がおおよそ1/10)となるノイズを加えた図2(上)に対して、Low-Pass Filter (cut-off frequency 100Hz) を実行して、ノイズ成分をある程度取り除いた後に、NHAによる処理を行い、ノイズ混入下を想定した重力波信号の抽出実験を図2の通り検証した。NHAは他の解析法に比べ、高いノイズに耐性を有するが、帯域制限を前処理にすることで、さらに、信号の出力レベルが低い、高ノイズ化で埋もれた重力波信号も抽出できることを明らかにし、NHAが重力波信号の解析にも有効な解析方法である可能性を示した。特に、NHAでは、これまで確認が困難だった計測信号を正確に解析できることで、対象現象の物理的ふるまいを解明する逆問題に応用できる見込みがある。