

平成 28 年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：KAGRA 検出器のデータ解析の研究 (II)

英文：Data analysis of KAGRA detector (II)

研究代表者 田越秀行 (大阪市大)

参加研究者 神田展行, 端山和大, 成川達也, 横澤孝章, 金山雅人, 上野昂, 山本尚弘, 譲原浩貴, 田中一幸, 宮本晃伸 (大阪市立大学), 三代木伸二, 伊藤洋介, 横山順一, 枝 和成 (東京大学), 高橋弘毅, 酒井一樹, 佐々木幸次, 植木聡史 (長岡技科大), 大原謙一, 平沼悠太, 若松剛司, 諏訪部宙 (新潟大学), 廣林茂樹, 三宅恭平 (富山大学), Luca Baiotti (大阪大), 間野修平 (統計数理研), 大石奈緒子, 正田亜八香, 藤井善範 (国立天文台), 真貝寿明 (大阪工大), Hyung Won Lee, Jeongcho Kim (Inje Univ, South Korea), Chunglee Kim(Yonsei Univ, South Korea)

研究成果概要

宇宙線研究所が建設を進めてきた重力波検出器 KAGRA は, 2016 年 3 月と 4 月に最初の試験運転(iKAGRA)を行った. iKAGRA は単純なマイケルソン干渉計であったため, 感度は非常に悪かったが, 3km のレーザー干渉計によって取得された実データは日本初であり, 貴重なものである. 本年度はこの際に取得されたデータを用いた重力波探索を行った.

1. コンパクト連星合体探索は, 最もオーソドックスな周波数空間でのマッチドフィルターに加えて, 非ガウスノイズ選別のためのカイ 2 乗を計算するパイプラインを構築した. 連星のそれぞれの星の質量範囲として 1-3 太陽質量の範囲での重力波信号探索を行った. 解析パイプラインの試験と全ての iKAGRA データの処理は終わった. 今後, 信号検出効率の詳細な評価を行い, 最終的にはイベントレートの上限値の導出を行う.

2. 重力崩壊型超新星爆発に伴う重力波の詳細な波形の理論的計算は困難である. そのような重力波を検出するために, 重力波信号の詳細な波形を仮定しない, バースト解析では, エクセスパワー法によるパイプライン開発を行った. これは, 時間周波数空間上で信号のエネルギーの平均からの超過が大きいものを信号として検出する方法である. エネルギー超過が大きい領域をどのようにまとめて 1 つの信号と認識するかが 1 つ重要な点である. それを含むエクセスパワー法のパイプラインを開発し, iKAGRA データに適用した. 全データを処理したが, iKAGRA 運転では音響雑音が非常に大きく, バースト解析結果はその雑音に強く影響されることが分かった.

3. 電波などでパルサーとして観測されている回転中性子星は, ほぼ一定の周波数の重力波を放出していると考えられる. その重力波は一般に非常に弱いと考えられるが, 長時間積分することで信号成分が雑音より卓越して検出出来る可能性がある. 電波観測に

よって知られているパルサーからの重力波探索を、iKAGRA データを用いて行った。パルサー自身はほぼ一定の周波数の重力波を放出しているが、地球の運動によりその重力波の位相は変調を受ける。その補正は方向毎に行う必要がある。また、パルサーの自転周波数は多くの場合徐々に減少しており、その補正も行う必要がある。パルサーからの連続重力波探索の手法としては、Maximum likelihood 法に基づく F-statistic と呼ばれる方法を用いる。解析パイプラインは、LIGO が開発して一般公開されている LAL(LSC Algorithm Library)を用いた。そして、感度がよりよかった iKAGRA の 4 月分のデータに適用して、62 個のパルサーをターゲットして重力波探索を行った。その結果としてそれぞれのパルサーからの重力波の振幅と楕円率に対する上限値を導出した。

4. iKAGRA 試験運転では、レーザー干渉計の鏡を物理的に振動させる事で、擬似的に重力波信号が注入したと見なした試験が行われた。これはハードウェアインジェクションとも呼ばれる、重力波検出器では広く行われている試験である。ハードウェアインジェクションでは、様々な形状の波形の注入が行われ、レーザー干渉計のデータ取得系によって取得されたデータと比較することで、干渉計が想定通りの応答を示したかの確認などが出来る。解析の結果、ハードウェアインジェクション信号を注入した時刻に比べて、実際に信号を検出した時刻に遅延が生じることが判明した。詳細な検討の結果、これは、レーザー干渉計の制御系のフィルターに起因するものであることが分かった。これは KAGRA の本格観測へ向けて重要な結果である。

成果発表

山本尚弘, 博士論文 (大阪市立大学), "Non-Gaussian noise and data analysis of laser interferometric gravitational wave detectors" (非ガウス雑音とレーザー干渉計型重力波検出器のデータ解析) 2016 年 6 月
枝和成, 博士論文 (東京大学) "Toward the Direct Detection of Continuous Gravitational Waves from Compact Stars" (連続重力波の直接検出実現に向けた研究) 2017 年 3 月
Tomoya Kinugawa, Akinobu Miyamoto, Nobuyuki Kanda and Takashi Nakamura,
"The detection rate of inspiral and quasi-normal modes of Population III binary black holes which can confirm or refute the general relativity in the strong gravity region", MNRAS 456, 1093-1114 (2016)
Takahiro Yamamoto, Kazuhiro Hayama, Shuhei Mano, Yousuke Itoh, and Nobuyuki Kanda, "Characterization of non-Gaussianity in gravitational wave detector noise"
Phys. Rev. D 93, 082005 (2016)
M. Kaneyama, K. Oohara, H. Takahashi, Y. Sekiguchi, H. Tagoshi, and M. Shibata,
"Analysis of gravitational waves from binary neutron star merger by Hilbert-Huang transform", Phys. Rev. D 93, 123010 (2016)
Tatsuya Narikawa, Hideyuki Tagoshi, "The potential of advanced ground-based gravitational wave detectors to detect generic deviations from general relativity",
Prog. Theor. Exp. Phys. 093E02 (2016)
Hirotaka Yuzurihara, Kazuhiro Hayama, Shuhei Mano, Didier Verkindt, and Nobuyuki Kanda, "Unveiling linearly and nonlinearly correlated signals between gravitational wave detectors and environmental monitors",
Phys. Rev. D 94, 042004 (2016)
Hisaki Shinkai, Nobuyuki Kanda, Toshikazu Ebisuzaki, "Gravitational waves from merging intermediate-mass black holes : II Event rates at ground-based detectors", Astrophysical J., 835, 276 (2017)

整理番号 F17