

【基盤研究(S)】 大区分B



研究課題名 重力波宇宙物理学の包括的研究

東京大学・大学院理学系研究科・教授
よこやま じゅんいち
横山 順一

研究課題番号： 20H05639 研究者番号：50212303

キーワード： 重力波、データ解析、ブラックホール、連星中性子星、キロノバ、重元素の起源

【研究の背景・目的】

米国の LIGO や欧州の Virgo によってブラックホールや連星中性子星合体からの重力波が続々と検出され、重力波宇宙物理学の時代が幕を開けました。わが国の KAGRA も感度を向上させながら国際共同観測網に加わる準備ができました。本研究計画はまず、①レーザー干渉計の環境チャンネルも採用した独自の解析手法によってノイズを効率的に除去し、KAGRA による重力波の早期初検出を目指します。②この三者のデータによって測定される連星ブラックホールの質量分布関数とパルサーの周期擾乱で観測される長波長重力波背景放射を用いることにより、ブラックホールの起源を明らかにします。③連星中性子星系合体については、マルチメッセンジャー宇宙物理学において光学対応天体となるガンマ線バースト及びキロノバの物理過程を、数値相対論によって明らかにすると共に、その際起こる r プロセス元素合成を計算し、銀河の化学進化の観測と照らし合わせて、金銀などの重元素の起源を明らかにします。以上によって重力波宇宙物理学の喫緊の課題を包括的に解決することを目的とします。

【研究の方法】

まず、KAGRA の加速度計や光てこ、音響モニター、電気ノイズ計等数万チャンネルに及ぶ環境信号とレーザー干渉計の重力波チャンネルとの相関解析及びスペクトル解析を行います。この主要部と重力波チャンネルを合わせてこれらの線形・非線形結合を独立成分分析によって行い、重力波チャンネルからノイズを効率的に除去します。そのデータに重力波検出パイプライン GstLAL を適用し、本研究費で導入する計算機クラスターを用いて KAGRA による重力波信号初検出を目指します。

ブラックホールの起源については、まず質量によって観測可能上限距離が異なることを正しく考慮した真の質量分布関数を求め、ブラックホールの起源が初期宇宙にできた原始ブラックホールであるとの仮説のもとで密度ゆらぎのスペクトルを逆算します。この密度ゆらぎをもとに生成する長波長重力波のスペクトルをパルサーの周期擾乱による制限と比較し、原始ブラックホール仮説が棄却される質量域を明らかにします。

連星中性子星合体後に生成するキロノバのダイナミクスと放射現象を、数値相対論に基づく初期状態の計算、原子核組成の計算、非熱平衡状態での放射過程の計算を本研究費で導入する計算機クラスターで

行うと共に、Tomo-e カメラなどの観測データと比較することによって連星中性子星合体で生成する重元素量を求めます。

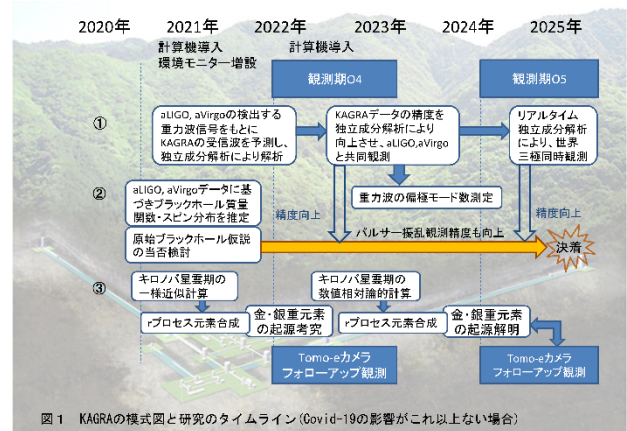


図1 KAGRAの模式図と研究のタイムライン(Covid-19の影響がこれ以上ない場合)

【期待される成果と意義】

まず、KAGRA による重力波検出が実現されると、世界三極四台同時観測を行うことによって重力波源の位置決定精度が飛躍的に向上し、ブラックホールの質量などの測定精度の向上や連星中性子星合体の早期追尾観測が可能になります。ブラックホールのデータの集積とパルサーの周期擾乱の観測により、重力波で見つかった連星ブラックホールの起源が初代天体なのか、初期宇宙にできた原始ブラックホールなのか明らかになります。さらに、キロノバの数値計算と観測との比較、そして矮小銀河の観測により、金銀プラチナなどのどれだけが連星中性子星合体によって生成したか明らかになるとともに、原子核物理の素過程にも重要な知見が得られます。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・ R. Saito and J. Yokoyama “Gravitational wave background as a probe of the primordial black hole abundance” Phys Rev Lett 102(2009)161101
- ・ K. Hotokezaka et al. “Synchrotron radiation from the fast tail of dynamical ejecta of neutron star mergers” Astrophys J 867(2018)95

【研究期間と研究経費】

令和2年度～6年度 155,700千円

【ホームページ等】

<http://www.resceu.s.u-tokyo.ac.jp/~yokoyama/gw.html>
yokoyama@resceu.s.u-tokyo.ac.jp