

論文審査の結果の要旨

氏名 端山 和大

論文は、3部8章からなっている。第1部でこの論文の背景と要約が記され、第2部では3章に分けて、重力波（第1章）、重力波の検出（第2章）、予想される重力波源（第3章）、の説明がなされている。第3部がこの論文の主要部分となっており、第4章から第8章まで、ウェーブレットを基礎としたバースト重力波の検出方法について論じられている。

第4章で、本論文で重力波検出方法として提案されているウェーブレット解析の基本的な方法が、第5章でその信号-雑音比の評価方法が導入されている。ここでは、1)non-parametricに波形を推定、2)事前に波形情報を用いないで最適に近い波形推定が可能、という性質を持つ検出方法が考察され、その条件を満たすウェーブレット解析を用いたバースト検出用フィルターが提案されている。提案されたフィルターは、ガウス性雑音のウェーブレット基底への寄与を推定し、それを除去する事によって、事前の波形情報を用いずに高い精度でバースト信号波形を抽出するというものである。

続いて、第6章では、ウェーブレットを基礎とするフィルターによる重力波バースト検出を、超新星爆発からの重力波のシミュレーションデータに対し行い、その有効性を示している。論文提出者は、バースト信号として Dimmelmeier 等の計算した超新星爆発からの重力波波形カタログを用い、ガウス性白色雑音下での波形推定性能をウェーブレット解析とフーリエ解析に対し調べている。その結果、ウェーブレット空間上ではバースト性重力波を表現するために必要な基底の数が、フーリエ空間で展開するよりも100倍ほど少ない基底に集中するのに対し、ガウス雑音に関しては、ウェーブレット空間、フーリエ空間ともにすべての基底に一様に分散されることが示された。そして、論文提出者の手法を用いてガウス雑音を見積もり、雑音を除去し、バースト性重力波形を推定している。その結果を、フーリエ空間上で定式化されたウィナー・フィルターによる推定と比較し、論文提出者の方法が、より高い精度で波形推定できることが示された。第7章では、TAMA300の観測データを用いて現実のデータに対しても最適に近い精度で波形推定できるように、フィルターを考察している。TAMA300のように短時間的には安定だが、時間と共に変動するような雑音に対し、観測データからバースト性重力波を検出するフィルターを構成し、シミュレーションを行って性能評価をしている。その結果、現実の観測データからのバースト信号検出に関して、論文提出者の用いた方法が、ウィナー・フィルターよりも高い信号-雑音比で波形推定する性能を持つことが示された。第8章では、宇宙空間に持ち出した重力波望遠鏡で主要な雑音源となると考えられる、銀河系内外に存在する白色矮星連星からの重力波が重ねあわされた Binary Confusion Noise(BCN)を定量的に評価し、その影響を低減する方法が論じられて

いる。そこでは、BCN 中に出現するバースト性の重力波の検出に際して、BCN を低減する最適なフィルターが提案され、構成したフィルターの性能を評価するシミュレーションを行い、論文提出者の低減法は、ウィーナー・フィルターよりも高い精度で BCN を低減し、真の信号を検出できるという結果を得ている。

以上、本論文においては、重力波検出の対象となっている、超新星爆発で生じるバースト性重力波やブラックホールリングダウンなどの、数ミリ秒から数百ミリ秒という短時間の重力波に対し、ウェーブレット解析を導入することの有用性が示されている。特に、超新星爆発は発生機構が複雑なためにモデルの不定性が残っているにもかかわらず、従来提案されている検出方法には波形を直接に推定するものはほとんどない。それに対し、本論文では、重力波の波形を雑音下から推定し波形解析することが提案されている。この重力崩壊型超新星爆発からの重力波検出は、コアの崩壊による重力場の変動など非常に興味深い情報をもたらす点でたいへん重要である。これらの情報を得るためには波形の解析が有効なことから、論文提出者は、雑音の中から超新星爆発からのバースト性重力波波形を推定する方法を考察し、ウェーブレット解析と、その最適フィルターを提案した。そして、シミュレーションにより、従来の典型的な方法であるフーリエ解析とウィーナー・フィルターに対し、論文提出者の方法が数段すぐれていることを示した。この研究は、将来の重力波検出への重要な解析方法を提案しているものであり、博士論文として十分な価値のあるものと評価できる。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。