

21pBL-6 重力波による一般相対論、ブラックホール時空の直接検証

京大 基研 田中 貴浩

Gravitational wave probe for general relativity and black hole spacetime

YITP, Kyoto university, Takahiro Tanaka

現在、地上レーザー干渉計による 100Hz 帯での重力波の観測が世界的に進められています。感度の向上と共に我々が重力波検出が可能な波源までの距離は着実に伸びてきています。もっとも確からしいと期待される重力波源である中性子星連星の合体からの重力波が捉えられるのも遠くない将来だと考えられます。

重力波の存在は間接的には中性子パルサー連星のパルス周期の解析から確かめられています。これは、重力波放出によるエネルギーと角運動量放出の反作用による連星の軌道変化を軌道運動によるドップラーシフトを観測することによって示されました。しかし、重力波が本当に波として光速で伝播してきているのかどうかは確かめられていません。重力波の直接検出はアインシュタイン重力の検証という意味でも質的に違った意味を持っているのです。

期待される重力波の信号は微弱であるため、その信号を捉え理解するためには十分な理論的研究を進める必要があります。したがって、理論家にとってのひとつの重点課題は連星系の合体からの重力波の波形の正確な理論予測をおこなうこととなります。連星系の合体は、その期待されるイベント数の多さと、波形の理論的予言における不定性の少なさから、もっとも重要な重力波源のひとつと考えられています。連星系が合体に至る過程で放出される重力波の波形の正確な予測によって、観測から連星の質量やスピン、軌道パラメータなどを決定することが可能になります。このような正確な波形の予想は、ポストニュートン展開と呼ばれる近似法と、ブラックホール摂動の二つの手法を用いてなされてきています。特に、ポストニュートン展開の進展は目覚ましいものがあり、連星の質量比が極端に大きくない場合には観測に必要とされる十分な精度で波形を予測することが可能であると考えられています。一方で、0.1Hz 以下といった低周波側での感度が期待されるスペースの重力波干渉計にとって重要な重力波源となるのは、銀河中心核の巨大ブラックホールを含むような連星系ですが、このような場合には、一方の天体がコンパクト星や中質量ブラックホールであるという場合が考えられます。このような質量比の大きな連星からの重力波の波形予測にはブラックホール摂動が有効であると考えられています。長期間にわたる波形の予

測には、単にブラックホール摂動による重力波放出を計算すればよいのではなく、重力波放出による反作用力の効果を取り入れて連星の軌道進化を解き波形を予測する必要があります。このような質量比の大きな連星からの波形を求める手法は近年着実に発展を遂げ、様々な物理量の計算が可能になってきました。しかし、質量比の大きい連星からの重力波の波形予測が完全に確立されるには、まだ時間がかかりそうな状況です。

いづれにせよ、高精度の波形予測は重力波観測による強い非線形重力場中における高精度の相対論検証実験を可能にします。これまでも、太陽系における重力の精密測定により一般相対論の正しさは確かめられてきました。水星の近日点移動、月の軌道の精密測定、人工衛星を用いた太陽重力場の効果による光の到達時刻の遅延の精密観測などが挙げられます。加えて、先に述べた連星パルサーの軌道進化の精密観測も、一般相対論の予言の正しさを証明してきました。しかしながら、これらの観測は弱い重力の領域における一般相対論の正しさを示すということに限定されてきました。重力波観測によって、先にも述べたように重力波の波としての性質を直接観測し検証するという点に加えて、重力波の観測からはブラックホール等の強い重力場における重力の性質、あるいは、ブラックホール時空の計量そのものを探索することが可能になります。特に連星系はクリーンな重力波源であると考えられています。クリーンというのは単純な質点系による近似が良いという意味です。連星が重力波放出の反作用で進化し軌道半径が縮まるにつれて、まわりに存在したガスは外に吹き飛ばされてしまうか、あるいは、落下してしまうと考えられます。そのために、正確な理論計算がなされ観測との比較がおこなわれれば、一般相対論による理論的予言からのわずかなずれであっても測定可能になるのではないかと期待されています。

一般相対論からのずれとしてはさまざまな修正重力理論が提案されています。それらの多くは宇宙項問題やダークマターの問題を重力の修正によって解決しようという発想から提案されたものです。このような修正重力では長波長領域で重力の修正が顕著にあらわれるため、重力波の波形に対しても少なからぬ影響を与えるはずだと期待されます。このような効果を観測することで他の観測的制限を越えたより厳しい制限が得られると期待されます。本講演では、期待される観測的制限についてレビューをしたいと思います。