

研究概要

I. 5次元時空におけるブラックホールの形成条件 (論文リスト [2])

超弦理論を背景として考案された高次元宇宙モデルの一つ、ブレーン宇宙モデルでは通常の物質場やゲージ場は高次元時空中の膜(ブレーン)上に束縛され、重力場だけが自由に余剰次元へ伝播できる。このブレーン宇宙モデルにおいて、高エネルギーの加速器実験によるミニブラックホール形成の可能性が示唆され、これに触発されて、 D 次元時空におけるブラックホールの形成条件である「ハイパーフープ予想」が提案されている。ハイパーフープ予想とは質量 M が十分小さい領域に集中することがブラックホール形成の必要十分条件を与えるという予想で、その指標として質量 M と、それを囲む閉じた $(D-3)$ 次元部分多様体(ハイパーフープ)の体積の比率を用いる。中尾氏、井田氏等とともに重力源として一様回転楕円体がある場合の5次元時空における初期条件を解析し、ハイパーフープ予想と無矛盾な結果を得た。また回転楕円体が無限に細い場合の解析から、5次元時空における糸まき型重力崩壊によって裸の特異点が形成されることを示唆する結果を得た。

II. 重力波の重力レンズ効果を用いた宇宙の非一様性探査 (論文リスト [3])

1. 宇宙の非一様性

近年の観測から我々の宇宙は、数千万光年程度のスケールで粗視化すると、ほぼ一様等方に物質および放射が分布していることが明らかになってきた。一方、数千万光年以下の小さいスケールでは、星や銀河等様々なスケールの非一様性がある。これらの非一様性を定量的に明らかにすることは、観測的宇宙論の重要なテーマの一つである。そこで大阪市立大学の中尾氏、古崎氏、国立天文台の高橋氏等と共に、重力波に対する重力レンズ効果を用いてダークマター分布を調べる方法を考案した。

2. 連星系からの重力波

コンパクト天体の連星系は、そのサイズが銀河や星団等に比べて極めて小さい。このような小さな源からの光や重力波は、小スケールの非一様性による重力レンズ効果の影響を受けやすく、そこから非一様性の情報を読み取ることができる。コンパクト天体の連星系のもう一つの特徴は観測される振幅から、天体までの距離を精度良く求められることである。それゆえ、親銀河の観測から得た赤方偏移と合わせれば、距離 - 赤方偏移の関係が得られる。

3. 重力波観測による距離 - 赤方偏移関係と重力レンズ効果

重力波は天体の近くを通ると収束し振幅が増加する。又、散乱された波が重なり合い干渉を起こす。これらの効果は波長 λ がレンズ天体の重力半径 l に比べて長いかわりに短かによって大きく異なる。重力レンズ効果によって振幅が変化すれば、そこから見積もられる天体までの距離も変わる。そこで重力レンズ効果が距離 - 赤方偏移関係に与える影響を調べるためにシミュレーションを行った。ここでは宇宙の物質は全て質量 M の質点からなるとし、宇宙空間に一様に分布していると仮定した。 $\lambda \ll l$ と $\lambda \gg l$ のそれぞれの場合について、連星系からの重力波についてシミュレーションを行い複数の源の距離を見積もった。

$\lambda \ll l$ の場合、観測される距離の分散は大きくなる。この場合、幾何光学近似が有効であり、波の進路はレンズ効果によって曲げられる。このため、波源と観測者を結ぶ波の経路は複数存在する。それぞれの経路からきた波は干渉するので観測者が干渉縞の暗点にいるか明点にいるかによって振幅が異なる。距離は振幅から見積もられるため、結果として分散が大きく出るのである。

$\lambda \gg l$ の場合、見積もられる距離は全て一様等方な場合の距離と等しくなる。これは波が質点レンズにほとんど影響されることなく直進し、干渉が起きないためである。

これらの結果の違いは、観測される距離の分散からレンズ天体の質量 M の情報が得られる可能性を示している。現在日本で計画中のスペース重力波アンテナ DECIGO では1年間に 10^5 個の連星中性子星からの重力波イベントが観測される。1Hzの波長帯での観測結果を用いれば M の値が $10^5 M_\odot$ より大きいかわりに小さいかわりに制限がつけられる。