

研究計画

「剛体回転する宇宙ひもによる重力レンズ効果」

導入 宇宙ひもは初期宇宙における GUT スケールから電弱スケールまでの相転移の過程で生じるひも状の位相欠陥である。本研究の目的は運動する、特に剛体回転する宇宙ひもが存在する時空中において、波（光、重力波）の伝播を調べ、宇宙ひもの存在が観測量に与える影響を定量的に明らかにすることである。この問題は、幾何光学近似が成り立つ場合、宇宙ひもが存在する時空中の光的測地線を解析することと等しい。

宇宙ひもとその運動 宇宙ひもの曲率半径がひもの太さよりも十分大きい場合、宇宙ひもの運動は南部・後藤作用で記述される。大阪市立大学の小川氏等は南部・後藤作用に従う剛体回転する宇宙ひもに注目し、それらが作る重力場、及び放射される重力波について研究している。小川氏達の研究によれば、剛体回転する宇宙ひもは重力波を放出しながら徐々にその形を変え、最後には真っ直ぐな状態か、もしくは回転するらせん状宇宙ひもになることがわかっている。

期待される重力レンズ効果

効果 1. 角度欠損

一方向に真っ直ぐ伸びた宇宙ひもの場合、宇宙ひもを中心にして欠損角が生じる。観測者から見て宇宙ひもの真裏にある天体は、この角度欠損により、まったく同じ二つの像に分離されて観測されることになる。

効果 2. ニュートンの重力場による光（重力波）の屈折

真っ直ぐな宇宙ひもは欠損角以外のレンズ効果を生まないが、今考えている剛体回転する宇宙ひもの場合、宇宙ひもの周辺にエネルギーが局在しており、その影響で時空が歪められる。その結果波の進路は曲げられることになる。

効果 3. 宇宙ひもが持つ角運動量による慣性系の引きずり

例として回転する星と、その星の赤道面上で回転せずに静止している観測者を考えよう。赤道上の動径座標一定の円に沿って左右両方から同位相の光を伝播させると、左右から戻って来る光の位相はずれている。星が回転していなければ位相のずれはない。回転する宇宙ひもの背後から来る波も同様の効果を受ける。位相のずれは波面のずれを意味するため、波は進路を非対称に曲げられることになる。

研究計画 本研究では回転するらせん状の宇宙ひもの解について調べる。まずはこの宇宙ひもの解から得られるエネルギー運動量テンソルを用いて、線形化されたアインシュタイン方程式を解き、ミンコフスキー時空からの計量の摂動を求める。得られた計量の各成分を 1, 2, 3 のそれぞれの効果を及ぼすパートに分け、それぞれのパートについて重力の効果による位相のずれを計算する。

これより具体的に光に対しての重力レンズ効果を考える。まずは簡単のため観測者と光源を結ぶ直線が宇宙ひもの回転軸と直交する場合を考える。光源は効果 1 により二つの像を形成する。効果 2 はこの像の位置に補正を加えるとともに、宇宙ひもに対して対称な像の歪みを及ぼすと予想される。一方、効果 3 は像に非対称な歪みを及ぼすことになる。これらの効果は宇宙ひもの回転軸方向、及び時間について周期的である。それぞれの効果を定量的に比較し、観測可能かどうかを明らかにする。

次に、コンパクト天体のバイナリ - からの重力波に対する重力レンズ効果を考える。光の場合と同様に観測者と波源を結ぶ直線が宇宙ひもの回転軸と直交する場合を考える。光の場合と異なり、重力波の場合は 2 重像や像の歪みを観測することは困難である。しかし、異なる経路を通過して来る波は干渉を起こす。観測者が干渉縞の明点にいるか暗点にいるかによって、観測される重力波の振幅は異なる。この干渉縞の位置は宇宙ひもの回転に伴って変化することが予想される。よって観測ではうなりに似た現象が確認されると予想される。この現象を定量的に評価し、観測可能性を明らかにする。別のレンズ天体と区別できるかどうかを明らかにし、重力波観測を用いた新しい宇宙ひも探査の方法を提案する。