

論文題目 Observational Signatures of Primordial Black Holes:

Gravitational Waves and Cosmic Rays

(原始ブラックホールの観測的痕跡：重力波と宇宙線)

氏名 齊藤 遼

本学位論文では、「原始ブラックホール (Primordial Black Hole, PBH)」と呼ばれる宇宙初期に形成されたブラックホールが暗黒物質の大部分、もしくはその一部分を占めているという可能性を論じた。原始ブラックホールが暗黒物質を占めていた場合に期待される観測的な痕跡を調べることによって、暗黒物質の起源に対する示唆を得ることを目標とし、本論文では2つの痕跡、「重力波」と「宇宙線」の解析を行った。

「重力波」

原始ブラックホールを形成するためには、宇宙初期に非常に密度が高い領域が存在している必要がある。その密度過剰領域を生み出す原因として代表的なものとして、宇宙初期に存在したランダムな密度揺らぎが挙げられる。原始ブラックホールを生み出すために必要となる密度揺らぎの振幅は非常に大きいため、その密度揺らぎは原始ブラックホールと同時に重力波も生み出すことが期待される。本論文では生成される重力波と原始ブラックホールの質量や存在量の関係を詳細に調べ、主に次の2点を示した：1) 暗黒物質の候補となる原始ブラックホールはLISA、BBO、DECIGOなどの将来計画さ

論文内容の要旨

れている宇宙重力波干渉計を用いて調べることができること。想定される振幅は非常に大きく、将来計画の主要なターゲットとなること。2) 密度揺らぎのスペクトルが非常に鋭いピークを持っていた場合には、太陽質量の数千倍程度の質量を持つ原始ブラックホールは存在できないこと。中間質量ブラックホールはULX (Ultraluminous X-ray source) の候補となっている。この結果は原始ブラックホールがその起源を説明する可能性を一部の質量範囲で排除する。

「宇宙線」

暗黒物質の構成要素が原始ブラックホールのみではなく、複数の物質によって担われている可能性も考えられる。その代表的な候補として考えられるのが、WIMP (Weakly interacting massive particle) である。宇宙に原始ブラックホールとWIMPが共存していた場合、原始ブラックホールの周囲のWIMPはそれらに降着し、UCMH (Ultracompact minihalo) と呼ばれる高密度のハローを形成する。UCMH内部におけるWIMPの密度は非常に高く、太陽系周辺の暗黒物質の密度の7桁から8桁程度の値を持っている。WIMPの対消滅確率はその密度の2乗に比例しているため、UCMHの内部では非常に頻繁に対消滅過程が起こっている。そのため、原始ブラックホールが暗黒物質のごく一部のみを占めているような場合であっても、宇宙線のフラックスの増幅が期待される。本論文では、宇宙線の中でも電子と陽電子に着目し、この増幅効果によってPAMELA衛星によって観測されている陽電子過剰を説明することができるかどうかを調べた。結果として、原始ブラックホールが地球質量を0桁から4桁下回る程度の質量を持つならば、ガンマ線の等方成分の観測などと矛盾することなく、陽電子過剰を説明できることを示した。また、このシナリオをテストするために陽電子過剰を説明するUCMHがガンマ線の点源として観測できるかどうかを調べ、WIMPの性質や原始ブラックホールの質量によっては将来の地上観測によって観測可能であることを示した。

