

Ray-Tracing Code による wormhole 時空の検証について

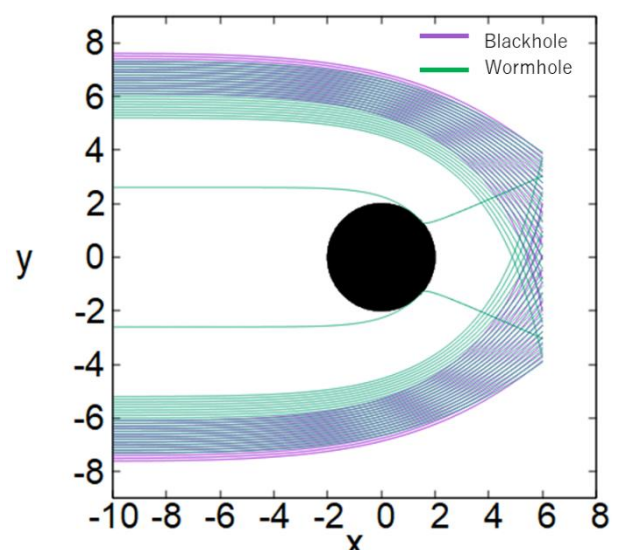
佐藤 由芽 (宇宙物理学教室)

ワームホールは時空の 2 点をつなぐトンネルのようなものであり、アインシュタイン方程式の解として得られる。ただし負の圧力等の仮定が必要となるため現実的には存在しないと考えられてきた。これに対し、最近の研究では人が通れるようなワームホールが安定に存在できる可能性が指摘されている。そこで本研究ではワームホールが存在するかどうかを検証することを目的とし、ワームホール時空と Schwarzschild ブラックホール時空における“シャドウ”の違いについて調べた。

ワームホールの種類は唯一ではなく、アインシュタインとローゼンが考えたアインシュタインローゼン橋、電荷をもつ家電ワームホール、電気・磁気力線が伸びているウィーラーのワームホールなど多くの種類がある。そこで、さまざまなワームホール時空の検証を可能にするために、時空計量を特定することなく、一般の球対称時空におけるシャドウのコードを以下の工程を踏んで作成した。

まず、一般の球対称時空における測地線方程式の導出を行った。次にコードを作成し、そのテストを行った。1 つ目のテストはブラックホール周りで円軌道を描けることを確認することである。シャドウを見るためには測地線方程式を正しく解き、光子の軌道を知らねばならない。有効ポテンシャル等から初期値を決めることで不安定円軌道が描けたので、正しく測地線方程式を解くコードが完成した。2 つ目は時空のゆがみによる補正効 (Tetrad 効果) のテストである。ブラックホール等重力の強い場所では時空が歪められる。時空の歪みを考慮した形で光を放てるように Tetrad 系を用いる。Tetrad を用いて BH 周りで光子を等方的に放出した場合、光子がブラックホールにつかまらない角度の限界は 135° までであった。これを実際にシミュレーションしてみたところ再現できた。

一般球対称時空におけるコードが完成したので、Schwarzschild ブラックホールとワームホールの場合それぞれでシャドウを描き両者の比較を行った。本研究では、遠方では Schwarzschild ブラックホールと同じに見えるワームホール時空として、Morris-Thorne ワームホールを採用した。光源から無限遠離れた観測者対し、ワームホール/ブラックホールの中心から反対側に $r = 6 \frac{GM_{BH}}{c^2}$ 離れ、観測者の視線方向に対し垂直な直径 $8 \frac{GM_{BH}}{c^2}$ の光源が作るシャドウを考えた。シャドウを比較した結果、シャドウのリングはワームホール時空の方が $0.6 \frac{GM_{BH}}{c^2}$ 太く、位置もブラックホールとは異なることが分かった(図参照)。空間の歪み方が両者で異なることからシャドウの観測によりブラックホールとワームホール区別ができることがわかった。



中高温銀河間物質の非平衡電離過程

室岡 美奈（宇宙物理学教室）

近年では観測的・理論的な研究によって宇宙のエネルギー組成が精度よく測定されてきている。大半(約 95%)を占めているのは正体不明のダークエネルギーとダークマターであり、通常物質(バリオン)はわずか約 5%であると示唆されている。ただし、そのバリオンですら大半は未だ直接的には検出されておらず、それらはダークバリオンと呼ばれ宇宙の未解決問題の一つとなっている。

ダークバリオンの候補はいくつか挙げられているが、その有力候補が温度 $10^5 - 10^7 \text{K}$ で希薄な中高温銀河間物質(WHIM)である。WHIM は密度が希薄で放射が弱いため、観測にかからなかったこととも整合性がとれている。今までに WHIM に関する観測的・理論的研究の多くは電離平衡を仮定していた。しかし、WHIM 中のイオンは低温($\sim 10^6 \text{K}$)、低密度($\sim 10^{-6} \text{cm}^{-3}$)の状況下では電離平衡から乖離する可能性がある。そこで、本研究では電離平衡を仮定せず、観測に用いられる重元素の非平衡な電離過程を数値的に解いた。またその結果を用いて、どのようなイオンの吸収線の強度が相対的に大きくなるのか調べた。今回は重元素の中でも宇宙における存在量が多い酸素・窒素・炭素に着目した。

まず、活動銀河核などからの放射による光電離が無視できる状況下では、各イオンの存在比が電離平衡を仮定した場合とは数十%程度異なり、各元素でヘリウム型イオンが卓越する結果となった。一方で、光電離が衝突電離よりも卓越するような状況下では、電離が速く進むようになるため、水素型イオンの割合が大きくなった。

次に、光電離が卓越する状況下で各イオンによる吸収線の相対的な強度比を求めたところ、酸素・炭素・窒素のいずれにおいても水素型イオンの $\text{Ly}\alpha$ 線とヘリウム型イオンの $\text{He}\alpha$ w 線($(1s^2\ ^1S_0 \rightarrow 1s2p\ ^1P_1)$)の強度が卓越することが分かった。また、異なる重元素を比較すると、存在量が大きい酸素の吸収線($\text{O}^{6+}\text{He}\alpha\text{ w}(573.9\text{eV})$, $\text{O}^{7+}\text{Ly}\alpha(653.7\text{eV})$)が最も強いことが分かった。したがって、非平衡な電離過程を考慮しても、軟 X 線における酸素イオンの吸収線がダークバリオンの検出に最も適していると考えられる。また、高温($> 10^6 \text{K}$)になるほど完全電離に近づくため、どの元素でも全体的に強度が小さくなる結果となった。