

● Kaluza-Klein ブラックホール解を用いた高次元時空モデルの検証

現在まで、ブラックホール等のコンパクト天体の周辺で起こる様々な現象に注目して研究を行っている。最近では、プラズマ中における粒子の運動や波の伝播に関する物理を研究している。まず、曲がった時空におけるプラズマ媒質中の光子の運動と重力レンズ効果に注目する。宇宙にあるコンパクト天体や銀河、銀河団の周りでは、光はプラズマ中を伝播するため、重力とプラズマの両方が存在する状況において、光の軌道とその曲がり角がどのように変化するかを議論する。手始めに、電荷を持つ5次元 Kaluza-Klein ブラックホール時空における、磁化されていない低温で一様なプラズマ媒質中の光子の運動を調べた[24]。弱い重力の極限において、そのようなプラズマに囲まれたブラックホールによる光の湾曲を考えて、一般相対論に対する曲がり角の補正を導出した。この補正は余剰次元の大きさ、ブラックホールの電荷、プラズマと光の振動数の比に関係することがわかった。これらの補正の変化はプラズマ媒質中の Kaluza-Klein ブラックホールの光学的性質を特徴付けているため、重力レンズに関する天文学的及び宇宙物理学的観測を用いて高次元時空モデルを検証できる可能性を与える。そこで、重力レンズ効果により現れる Einstein リングの観測に注目した。プラズマ媒質中の5次元 Kaluza-Klein ブラックホールと4次元 Schwarzschild ブラックホールによるリング像の角度位置の違いを考えて、プラズマ、ブラックホール電荷、余剰次元による角度位置の補正を見積もった。その結果、プラズマによる補正は近い将来の重力レンズ観測において検出可能であるのに対して、他の2つの補正は、超大質量ブラックホールと恒星質量ブラックホールに対する現在と近い将来の重力レンズ観測には寄与しないことがわかった。さらに、余剰次元による補正は、原始ブラックホールに対する将来の重力レンズ観測において検出される可能性があることがわかった。次に、Kaluza-Klein ブラックホール時空内を運動する試験粒子は、4次元 Schwarzschild 時空の場合と同様に安定円軌道を運動することができる。そこで、現実の天体の周辺で起こる観測可能な現象の内、一般相対論の古典的検証である天体の近点移動と重力による時間の遅れに注目する。電荷を持つ Kaluza-Klein ブラックホール解をコンパクト天体の外側の時空として仮定することにより、ブラックホールの電荷と余剰次元による補正を含むこれらの現象を議論する[26]。将来たとえ、観測結果が期待される精度で予測値と一致しても、その観測精度はブラックホール電荷と余剰次元の大きさに上限を与え、高次元時空モデルに対して強い制限を加えることができると期待される。

● 磁場中のプラズマにおけるソリトン加速

プラズマ中を伝播するソリトン波の振る舞いと、それらの波による荷電粒子の加速機構に関する研究を現在まで継続して行っている。これまでの研究では、磁場が無視できるフレアの付け根領域に注目している[23]。一方、大部分の宇宙物理学的現象では磁場が重要な役割を果たす。そこで、磁場を含む系におけるソリトン波で表される電場ポテンシャルによる粒子加速機構を研究する。例えば、コンパクト天体の極付近におけるラジアル磁場を伴うプラズマ中を伝播するソリトン波による荷電粒子の加速機構を議論する[27]。波面が磁場に垂直であるような収縮する電場ポテンシャルと磁場が大きい領域で起こる磁気ミラーによって閉じ込められた荷電粒子は、ポテンシャルとの反射を繰り返すことで加速される。このようなソリトン加速は、宇宙線を構成する高エネルギー粒子の加速機構の候補の1つになるだけでなく、コンパクト天体の大気の加熱や、波と粒子の相互作用によるエネルギー移動等に適用できると期待される。