

宇宙物理学教室

1 降着円盤の表面温度と光度の関係を考慮したブラックホール-シャドウ

角田 侑己

2019年にEvent Horizon Telescopeにより銀河中心にあるブラックホールの影(BH shadow)の直接撮像に成功した。BH shadowの観測からはBHの質量やスピンの情報を得られるが、そのためには数値シミュレーションを行い、理論的なBH shadowと観測結果の比較が必要である。そこで本研究では、先行研究のBH shadowの結果を再現するとともに、標準降着円盤がつくるBH-shadowの計算を行った。降着円盤の表面温度と半径、光度の関係から降着円盤の内縁に近いほど高温であり、内縁と外縁を6Mと12Mとすると約1.6倍の明るさになることが分かった。

2 非球対称性を考慮したダークマターハローのSplashback Radiusのスタッキング解析

金子 じゅん

近年、ダークマターハローの物理的な半径として Splashback Radius が考えられている。先行研究では個々のハローに対して解析を行い、Splashback Radiusの同定を試みていた。しかしハローによって密度分布のばらつきが大きく、同定が難しいという見解が示されていた。そこで本研究では、ハローの非球対称性を考慮した Splashback Radius の同定精度を高めるために、個々のハローの解析に加えてデータを重ね合わせるスタッキング解析を行った。10個程度のハローの粒子分布に対して慣性モーメントテンソルを用いることで長軸方向と短軸方向を決定し、各軸長を揃えたデータをスタッキングして Splashback Radius を同定した。今回の結果から、ハローの軸比と Splashback Radius の関係性について考察する。

3 JWSTによる遠方銀河の観測データと標準宇宙論モデルとの整合性

清水 大河

James Webb Space Telescope(JWST)によって、これまで観測できなかった遠方銀河のデータが得られるようになった。観測データを解析した先行研究の中には、解析から得られた銀河の数密度が、標準宇宙論モデルでは説明困難であると指摘するものがある。本研究では、JWSTの観測データと標準宇宙論モデルとの整合性を調べるため、大規模数値シミュレーションに基づくダークマターハローの質量関数を用いて銀河の数密度の上限を計算し、観測データとの比較を行った。両者の比較から、先行研究で指摘されていた矛盾は見られなかったが、近傍宇宙に比べて高い効率で星が形成される必要があることが分かった。

4 宇宙マイクロ波背景放射スペクトルの歪みに対する制限

関口 颯樹

観測されている宇宙マイクロ波背景放射のスペクトルは、高い精度でプランク分布に従う。ただし、観測の誤差よりも小さなずれが存在していた場合、それは、物質と光子の間の熱平衡状態が終了してから現在までのどこかで、プランク分布を歪ませるような現象（例えば光子に対するエネルギー注入など）が起こったことを意味する。そこで本研究では、宇宙マイクロ波背景放射スペクトルの時間進化を数値的に計算し、光子に対するエネルギー注入の時期と大きさに対して現状の観測データからの制限を導いた。結果として、例えば赤方偏移 $10^4 \lesssim z \lesssim 10^5$ の時期にエネルギー注入が起こった場合には、光子の温度変化に換算して約0.004%以下のエネルギー注入のみが許されることがわかった。

5 超新星爆発による爆風波が周囲の天体に与える影響

根岸 朱里

質量の大きい恒星は進化の最後に超新星爆発を起こし、周囲の環境に様々な影響を与える。その中でも本研究では爆風波による直接的な影響に焦点を置き、爆発を点源爆発とみなして、Sedov 段階における衝撃波面の速度と温度を、地球からの距離、爆発エネルギー、および星間ガスの密度の関数として求めた。ここで Sedov 段階とは 超新星爆発による衝撃波内部の圧力が星間ガスの圧力よりも十分に大きい条件が成り立つ断熱膨張段階を指し、自己相似的な厳密解が存在する。得られた解に基づき、超新星爆発による爆風波が与える影響を評価するため、太陽フレアを爆風波とみなした場合の影響と比較した。その結果、地球から 35 光年より遠い距離で起こる超新星爆発であれば太陽フレアより小さい速度、温度の衝撃波であるため、その影響はほとんどないことが分かった。実際に、太陽の次に近い 4.2 光年の距離にある恒星プロクシマケンタウリが超新星爆発を起こした場合について調べてみると、衝撃波の速度は太陽フレアの 20 倍、温度は 600 倍の影響があることがわかった。

6 ファイバー束の理論から見た電磁場

山中 聖斗

自然界の 4 つの相互作用は、古典的にはゲージ理論の枠組みで記述され、重力以外は量子化にも成功している。一方重力では、量子化を困難にする要因が古典論に由来するのかがはっきりしていない。そこで、ゲージ理論の数学であるファイバー束の理論を用いて一般相対論を記述し、古典論の範囲で前述の要因について探るという大きな目的のために、本研究では、ファイバー束についてまとめ、電磁場をファイバー束の理論として翻訳した。この観点では、ベクトルポテンシャル A_μ は接続係数としてスカラー場の存在するファイバー束上の微分を定めている。このファイバー束は ψ と $e^{i\theta(x)}\psi$ を同一視する構造(U(1)ゲージ不変性)を持つことで、 A_μ のゲージ不変性を実現している。また、マックスウェルテンソル $F_{\mu\nu}$ は A_μ に関するこのファイバー束の曲率である。

7 1次元のオイラー方程式を2次精度で計算するコードの開発

若林 佑哉

宇宙には流体に関わる現象が多く、オイラー方程式の計算が必要になる。オイラー方程式は所定の手順に従って独立した非線形の移流方程式に分解できるため、オイラー方程式の計算には非線形移流方程式の計算法が有効といえる。本研究では、非線形の移流方程式であるバーガース方程式を4次のルンゲクッタ法と空間2次精度のMUSCL内挿を用いたコードを開発した。コードの性能評価で精度の向上が確認できた。このコードから1次元オイラー方程式を計算するコードを開発し、衝撃波管問題の計算を行った結果、数値解が厳密解を再現することが確かめられた。