

## 宇宙物理学教室

## 1 超巨大ブラックホールにおける質量問題

大久保 宏真

超巨大ブラックホール(Super Massive Black Hole;SMBH)とは  $10^{10}$  太陽質量程度の質量を持っているブラックホールであり、その多くは銀河中心に位置している。SMBH は宇宙誕生からわずか 7 億年程度で  $10^{10}$  太陽質量程度の質量を持っていることが観測から明らかになっている。SMBH の基となる種ブラックホールは  $10^2$  太陽質量程度と考えられているが、種ブラックホールに Eddington 降着率で質量降着させていっても 7 億年では  $10^{10}$  太陽質量には及ばず、観測結果を説明できない。これを SMBH 問題と呼び、宇宙物理学における大きな謎の 1 つになっている。そこで本研究では、SMBH 形成の理論モデルを概観するとともに SMBH 問題の解決策について考察した。その結果、種ブラックホールの質量が  $10^4$  太陽質量程度以上、もしくは Eddington 降着率の 1.3 倍以上の降着率が実現されるならば SMBH が形成される可能性があることが分かった。

## 2 天体の軌道による Wormhole 時空の検証について

佐藤 由芽

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。ただし負のエネルギー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、最近の研究によって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ブラックホール時空における光及び天体の軌道の違いについて調べた。Morris-Thorne ワームホールを採用した場合、有効ポテンシャルを用いた解析の結果、ブラックホール時空に存在する不安定円軌道がワームホール時空にはないことがわかった。さらに、一般の軌道における違いを調べるために任意の球対称時空における測地線方程式を解くコードを開発し、円軌道の場合に適用した。

## 3 カーブラックホール周りの粒子の軌道及びペンローズ過程によるエネルギーの取り出し

中嶋 大晴

回転するブラックホールまわりの時空(Kerr 時空)では、ペンローズ過程によってブラックホールからエネルギーを取り出す、ブラックホール発電が理論上可能とされている。ペンローズ過程では、物体をエルゴ領域に落とし分裂させると、片方が負のエネルギーを持ちうる。このときもう一方の物体のエネルギーが分裂前より増加する。観測者がこの物体を受け取ることで、エネルギーを初めより増やすことが出来る。本研究ではペンローズ過程をシミュレーションするためコードを作成した。シミュレーションから、エネルギーの変換効率を数値計算によって求めた。ブラックホールに対して静止した観測者を設定し物体を投下、再度捕捉した際のエネルギーを計算した結果、用いた初期条件では 11%ものエネルギー変換効率になった。水素の核融合のエネルギー変換効率は 0.7%であるため、理論上非常に大きなエネルギーを得られることが分かった。

#### 4 5 次精度 MUSCL 法の性能評価

徐 輔賢

流体力学の基礎方程式は非線形偏微分方程式系であるため、解析的に解くことは非常に難しく、数値的に解く必要がある。しかし、方程式の非線形性により、一般に不連続な解が生じるため、解の連続性を前提に得られる単純な差分スキームでは高次精度化を行うことができない。これに対し提案されたスキームが、1 次精度風上差分法に基づいて高次精度化を行う MUSCL 法(Monotonic Upstream-centered Scheme for Conservation Laws)である。多くの場合には 3 次精度の MUSCL 法を用いることが多いが、本研究では山本・大宮司らにより提唱されたアルゴリズムに基づいて MUSCL 法を 5 次精度へと拡張し、流体力学の基礎方程式を解くための基本となる移流方程式に適用して、その性能評価を行った。その結果、3 次精度から 4 次精度にかけては精度の向上が見られたが、4 次精度から 5 次精度にかけては精度の向上がごくわずかとなった。

#### 5 テラヘルツ光子計数型検出器の開発に向けた回路作成

照井 惇寿

光子計数型テラヘルツ強度干渉計の開発に向けて、それに搭載する SIS 検出器を運用するために、インピーダンス変換をする必要がある。そのために、FET を用いた読み出し回路の開発を行う。実験では、FET のキャパシタンス測定と Si-JFET と GaAs-JFET を用いたソースフォロワー回路を作成し回路の評価を行った。キャパシタンス測定では、寄生容量をある程度落とすことができ、今後は残った容量を減らすことが課題である。回路の評価では、出力インピーダンスは最も小さい値で  $10k\Omega$  程であった。雑音>電圧信号となり現在の条件では使えない。今後、ゲート電圧、抵抗を変えて使用可能な条件を探す必要がある。

#### 6 小惑星に対する古在機構の数値解析

望月 海斗

古在機構とは、小惑星の軌道傾斜角と軌道離心率が大きい場合に、太陽以外の天体からの摂動を受けて、軌道傾斜角や近点引数等が周期的な変化をする現象のことである。この現象を調べるため、本研究では、制限三体問題の枠組みのもとで、小惑星の長期的な軌道の変化を数値的に解いた。その結果、小惑星が木星からの摂動を受けながら不安定な軌道を描く様子を確認することができた。また、永年方程式を解いた結果との比較も行いたい。

## 7 三体問題に対するシンプレクティック数値積分法の構築

野呂瀬 陽己

三体問題に対する高精度な数値計算法の検討を目的として、シンプレクティック数値積分法の構築、及びピタゴラス三体問題への適用を行った。この数値積分法は、長時間積分においてもエネルギー保存が保証されるようなスキームである。その結果、4 次のシンプレクティック法は、4 次のルンゲクッタ法に比べてエネルギー保存の精度が格段に向上した。ただし、軌道については精度が不十分であることが分かったので、さらに高精度化した 8 次のシンプレクティック法を用いたところ、正しい解に極めて近い軌道を得ることができた。

## 8 ダークマターハローの速度異方性

齊藤 諒真

速度異方性は、ダークマターハローの基本的な物理量の一つである。本研究では、 $N$  体シミュレーションのデータを用いて、ダークマターハローの速度分散、速度異方性を定量的に調べた。また、将来の分光観測を念頭に、天球面上に投影された視線方向の速度分散から 3 次元的速度異方性の情報を引き出すことを考えた。その結果、動径方向の速度分散が接線方向の速度分散よりも系統的に大きく、速度異方性が一般的に無視できないことが分かった。また、ジーンズ方程式を用いると、観測される視線方向の速度分散の分布から、3 次元的速度異方性の情報を引き出すことができることが示唆された。

## 9 水素とヘリウムの非平衡電離過程

箱田 あんじゅ

宇宙のバリオンの大部分は電離ガスであり、高温・高密度状態では電離平衡が良い近似で成り立つが、低密度( $\sim 10^6 \text{cm}^{-3}$ )では電離平衡が必ずしも正当化できるわけではない。そこで本研究では、バリオンの主成分である水素とヘリウムに対して、非平衡状態における電離率の時間発展を定量的に調べた。その結果、衝突電離のもとでは、低密度・低温( $10^5 \text{K}$  程度)でヘリウムイオンが非平衡となった。電離平衡時の電離率と比較したところ 3 倍程度の差が確認できた。一方で、温度が  $10^6 \text{K}$  を超えると、全てのイオンが電離平衡に達した。さらに、光電離の影響についても考察した。

## 10 中高温銀河間物質の非平衡電離過程

室岡 美奈

宇宙に存在するバリオンの大半は未検出であり、ダークバリオンと呼ばれている。その有力候補が中高温銀河間物質(WHIM)である。WHIM に関する研究の多くは電離平衡を仮定していたが、WHIM 中のイオンは非電離平衡となり観測データの解釈に影響を与える可能性がある。そこで、本研究では非電離平衡状態における酸素イオンの数密度の時間発展を数値的に調べた。その結果、WHIM の探査に従来よく用いられてきた O VII, O VIII は、温度や密度の条件によっては、その存在比が電離平衡を仮定した時に比べて数%から数十%異なり、特に低密度・低温の場合においてその差が顕著であることが分かった。