

天体核研究室では日々、宇宙の謎を解き明かすための理論的な研究を進めています。その研究対象は宇宙の構造から星の形成過程まで多岐に渡ります。これらの研究対象は互に関連しているため、天体核研究室の構成員は自分の研究対象を狭めることなく幅広く研究を行うことが奨励されています。日本国内および海外の研究者とも協力的に研究を進めており、合同のゼミや共同研究も盛んに行われています。とりわけ、基礎物理学研究所の宇宙グループとは教育・研究の両面で密接に協力しています。私たちの研究は主に重力、宇宙論、天体物理学に大別することができます。以下ではこの3つの分野について簡単に紹介します。

重力

アインシュタインは、およそ100年前にニュートンの重力理論に代わる新しい基礎理論、一般相対論を提唱しました。一般相対論が予言する“ブラックホール”は興味深い研究対象の1つです。ブラックホール解も最初の発見から100年が経ちましたが、未解決問題も数多く残されています。近年では超紐理論などの高次元時空の理論に動機付けられた重力理論も研究されています。本研究室では様々な角度から4次元および高次元時空でのブラックホールや重力理論について研究してきました。

一般相対論は時空の歪みを伝える重力波（時空のさざ波）の存在も予言しました。重い物体が速く運動するとき、より大きな振幅の重力波が放出されます。2015年9月、アメリカの重力波検出器LIGOは、重力波信号の初検出に成功しました。太陽の30倍ほどの重さのブラックホール二つが合体し、最終的に一つのブラックホールになる際に放出された重力波信号でした。2017年8月には連星中性子星の合体に伴う重力波を検出し、その後、合体に伴う電磁波信号が様々な波長帯で観測されました。得られた重力波、電磁波のデータを詳細に解析することで、ブラックホール、中性子星等の強重力場の探査、一般相対論以外の重力理論の検証など全く新しい研究が新たに展開しています。

現在、日本でも低温鏡技術を採用した重力波検出器KAGRAの完成を目前に控えています。重力波の関連分野は、物理学において最もホットな研究分野の一つです。天体核研究室で重力波に関連する様々な理論的研究が活発に行われています。重力波の波形から、波源となった天体の情報（質量やスピンなど）をどのように効率よく引き出すのかといったデータ解析面での検討も進められています。



ブラックホール-ブラックホール連星の合体 (イメージ)

宇宙論

宇宙論とは宇宙そのものの来し方行く末を明らかにしようとする研究分野です。その現代的な研究は、1920年代の一般相対性理論に基づいた膨張宇宙論にはじまりました。1940年代にビッグバン宇宙論が提唱され、高温高密度の初期宇宙の名残として軽元素の生成の説明と宇宙マイクロ波背景放射（CMB）の存在の予言に成功しました。1980年代にはインフレーションシナリオが登場し、宇宙最初期の加速膨張により現在の宇宙の持つ高い平坦性、一様性に合理的な説明がもたらされたと共に、星や銀河といった構造の種としての原始揺らぎの性質についての予言がえられました。このように構築されてきた宇宙理論と、現在までに得られた種々の観測的証拠によって、「標準宇宙モデル」（一様かつ等方であって通常の物質に加えダークマターと宇宙項とから構成される宇宙モデル）は既に確立されたかにもえます。

しかし、ダークマターや宇宙項、バリオン数生成などの問題が大きな謎として残されています。インフレーションシナリオも実証済みのように思われるかもしれませんが、インフレーションがどのように実現されたかを問われると、未だに大きな謎です。初期宇宙のシナリオは、わずかな観測事実を頼りに理論的考察による外挿によりモデルを構築しているため、その基礎には疑問を投げかける余地が残されています。一方で、現在進められている、あるいは予定されている様々な観測は、急速に進展する理論的予言との比較によって、「標準宇宙モデル」に対するより精密なレベルでの検証を可能にし、様々な宇宙論のシナリオを制限してきています。精密な検証によって、わずかながら「標準宇宙モデル」のほころびが見え始めていると示唆する観測もあり、さらに豊かな宇宙像を私達が得ることを可能にしてくれます。

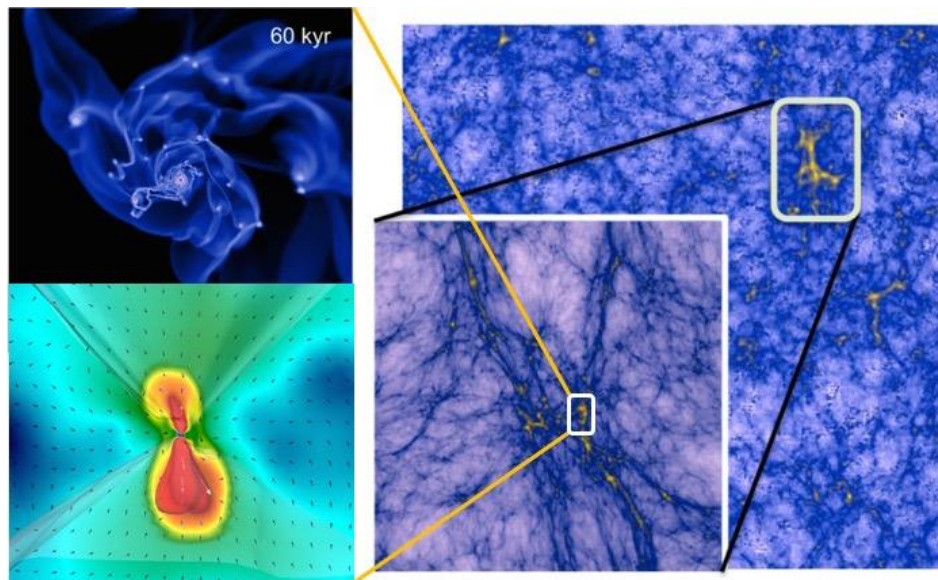
近年はじめて直接検出された重力波は、非常に透過性が高いため、宇宙再電離以前の初期宇宙の情報を直接的にもたらしてくれる可能性があります。宇宙初期の重力波を捉える方法には、直接検出に加えて、CMBの偏光観測があります。これらの観測は一般にインフレーションシナリオの直接的検証になると考えられますが、ある種のモデルにおいては、統計的な非等方性や非ガウス性、特異な偏極をもつ重力波が生成され、これが微的な相関パターンとして将来の観測により検証され得ることがわかってきています。天体核研究室では、このような最新の観測を想定した幅広い宇宙論の研究が行われています。

天体物理学

天体物理学は基礎物理学を用いて宇宙における種々の構造の起源・進化を研究する学問です。多様な天体対象を扱うのに、あらゆる物理学の知識を総動員して挑みます。我々の研究室では基本的に自ら興味を持ったテーマを自由に研究することができますが、最近は特に初期宇宙における天体形成の研究が活発に行われています。

ビッグバンから始まる現代宇宙論の標準的な描像では、宇宙138億年の歴史のある時点で宇宙最初の星(初代星)が誕生したはずですが、宇宙論から初期条件が非常に高い精度で定まっているため、その後の天体(星)形成の詳細を理論的に予測することが出来ます。現在広く受け入れられている理論予想では、ビッグバンから数億年後に、太陽の100倍程度の質量を持つ大質量星として初代星が誕生すると言われています。この初代星誕生の時期は未だ現在の観測の届かない遠方宇宙に相当しますが、世界中で計画されている将来の大望遠鏡と観測機器の多くが、まだ見ぬ初代星をそのターゲットにしています。何とかその姿や痕跡を捉えようと、世界中の研究者が挑戦を続けているのです。

今著しい進展を遂げつつある重力波天文学も例外ではありません。これまでに複数例の太陽の数十倍の質量を持つブラックホール連星からの重力波が観測されましたが、その起源のひとつとして初代星が挙げられています。重力波の観測例はこれから数年間で爆発的に増加するのが確実です。重力波という全く新しい観測手段を通じて、様々な未知の天体現象の実像が初めて明らかになるのです。特に、



宇宙の大規模構造と初代星の形成(シミュレーション)

重力波と関連の深いブラックホールや中性子星連星の形成と合体現象、宇宙最大の爆発現象であるガンマ線バーストなどは大きな注目を集め、今まさに分野が大きく拓けようとしています。我々の研究室では重力波をひとつの軸としつつ、重力、宇宙論の両分野とも連携しながら天体物理学の研究が進んでいます。

ぜひ天体核研究室と一緒に研究しましょう！