

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い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、宇宙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重力の基礎理論を提唱しました。それは一般相対性理論です。

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。近年は超絶理論などの高次元時空の理論に動機付けられて高次元時空における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います。たとえば、ブラックホールの解として、どのような解が許され、どのように特徴付けられるかを調べる“ブラックホールの分類問題”の研究などが行われてきました。

ブラックホール (BH) の分類問題の例: 多様な高次元ブラックホール解



black string

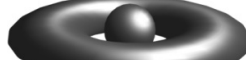
4次元シュバルツシルド解
を高次元に引き延ばした解



black ring

(Reall and Emparan, 2002)

ドーナツ型のBH



black Saturn

(Elvang and Figueras, 2007)

black ringの中に
丸いBH



orthogonal black di-ring

(Izumi, 2008)

black ringの中に
直交するblack ring

© T.Takahashi

一般相対論は時空の歪みを伝える重力波（時空のさざ波）を予言しました。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年の9月、アメリカのLIGOという重力波検出器は、太陽の30倍ほどの重さのブラックホール二つが合体し、巨大な一つのブラックホールになる際に放出されたと推定される重力波の直接観測に初めて成功しました。現在、日本でも岐阜県の神岡地下に建設中の、世界に先駆けて低温鏡技術を採用したKAGRAという重力波検出器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と言ってもよいでしょう。天体核研究室でも重力波に関連する様々な理論的研究が盛んです。例えば、これから続々と検出されるであろう重力波の波形から、重力波を放出した天体の情報（質量やスピンなど）をどのように引き出すのかといった理論研究も行われていますし、一般相対論的效果を取り入れた三体系のダイナミクスのような天体力学に関わる研究、および三体系から放出される重力波の研究なども進められています。

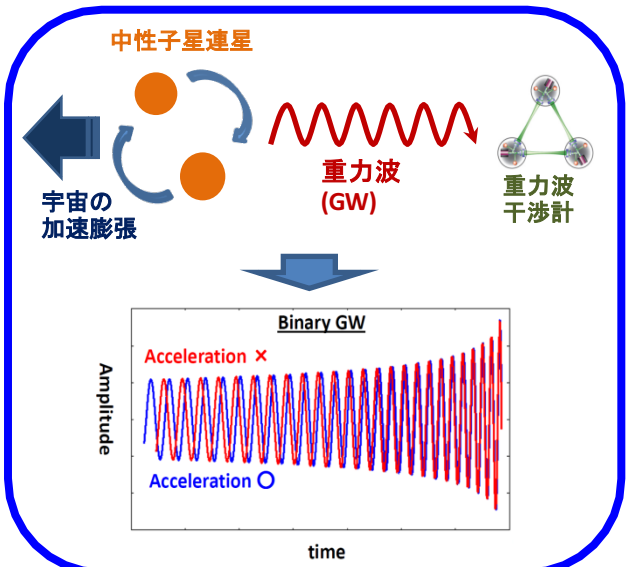
宇宙論

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輻射（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理論が登場し、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与えられました。1980年代にはインフレーション理論が登場して、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与えられました。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みえます。

しかしその一方で、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実験は、これまでの「常識」に対する精密なレベルでの検証を可能にし、今まで顧みられることのなかった理論に光をあて、私達が新たな宇宙の描像を創造することを可能にしてくれます。

例えば、重力波の宇宙探査機による観測が挙げられます。中性子星連星からの重力波の波形に対する宇宙の加速膨張の影響を解析することによって、この加速膨張が宇宙項等によるものか、もしくは宇宙の非一様性による見かけ上のものなのかを明らかにすることがわかりました。あるいは、CMBの偏光観測は、私たちの等方的宇宙観を改め、インフレーションの由来に迫る端緒となるかもしれません。ある種のインフレーションモデルにおいては、従来の理論と異なり統計的な非等方性をもつ原始揺らぎが生成され、これがCMBの偏光の特徴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りました。天体核研究室では、このような最新の観測を想定したものをはじめとして、幅広く宇宙論の研究が行われています。



重力波による宇宙の加速膨張の検証

宇宙の加速膨張の有無が中性子星連星からの重力波の波形に反映される。

宇宙物理学

最新の望遠鏡を使って宇宙を覗くと、そこには謎に満ちた世界が広がっています。

電波や可視光観測の進歩に伴って、星がまさに生まれようとしている現場や宇宙が始まって間もない頃にできた銀河、私たちの太陽系とは別の惑星系などを詳しく調べることが可能になりました。しかし、それらは私たちが想像もしなかった姿をしていて、惑星・恒星・銀河形成の歴史には多くの謎が残っています。

電磁波（γ線、x線、可視光、赤外線、電波）による観測によって、宇宙最強の爆発現象であるガンマ線バースト、銀河中心の超巨大ブラックホールからのジェット放射、宇宙最強の磁場を持つ中性子星＝“マグネター”が起こす巨大フレア、宇宙最初の星・銀河形成など数々の興味深い天体現象の存在を明らかにしました。しかし、こうした現象の多くは詳細なメカニズムが不明のままです。

ニュートリノや重力波などの次世代の観測チャンネルによって、新たな発見、新たな謎が続出しています。ワクワクする研究対象が宇宙にはゴロゴロ転がっているのです。

本研究室は天体現象の解明に向けた理論的研究を行っています。宇宙に存在するあらゆる天体、あらゆる現象が研究の対象です。宇宙物理学は、力学、電磁気学、熱統計力学、流体力学、量子力学をはじめ、相対性理論、素粒子物理学、原子核物理など、あらゆる物理学の知識を総動員する挑戦し甲斐のある研究分野です。

私たちの太陽系や系外惑星系が、どのように形成されたのか明らかにしたい！宇宙で最初に生まれた星はどのような姿をしているのか知りたい！ガンマ線バーストのメカニズムを解明したい！重力波やニュートリノを用いてブラックホールや中性子星の物理を探りたい！など。このような方は、ぜひ天体核研究室と一緒に研究しましょう！



銀河間の相互作用 (衝突銀河 Arp 273)

image from www.nasa.gov/mission_pages/hubble/
[NASA, ESA, and the Hubble Heritage Team (STScI/AURA)]