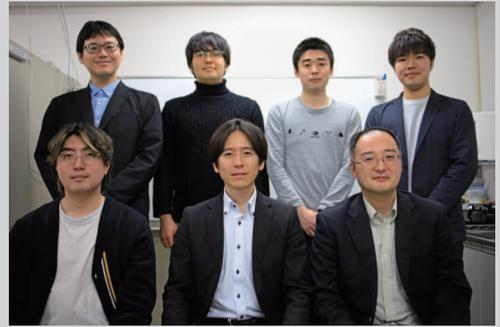


加瀬 竜太郎 研究室

理学部第二部 物理学科 准教授

かせ りょうたろう
加瀬 竜太郎 先生



研究室の学生たちと

世界の謎に挑む！ 宇宙に溢れる 不思議の正体を理論的に解き明かそう

私たちが存在する宇宙は約 138 億年前に誕生した。これは誰も見たことのない出来事だ。しかし人類が築き上げてきた科学は、理論と観測、実験を通して、宇宙の驚くべき姿を高い精度で突き止めることを可能にした。例えば、誕生直後の宇宙の姿としてビッグバンはよく知られているが、そのさらに前の 1 秒よりずっと短い、一瞬の間に起きたと考えられている劇的な加速膨張はあまり知られていない。この時期の宇宙はインフレーション宇宙と呼ばれ、その存在を支持する観測結果も見つかっている。さらに現在も新しい発見を求めていくつもの国際的な観測チームが活動している。

宇宙の不思議と一般相対論の領域

「これらは今から約 100 年前、アインシュタインが一般相対論を確立したことで解明が進んできたものです。主にミクロの世界で起こる現象は量子論によって記述されるのに対し、私たちが日常的に認識しているマクロの世界はニュートン力学によって、さらに宇宙全体といったスケールでは重力を取り扱う一般相対論によって記述されます」と加瀬竜太郎先生は話す。

夜空を見上げたとしても思いもよらないが、実はこの宇宙は誕生以来、膨張を続けている。ただし、物質同士は互いに万有引力により引っ張り合いブレーキがかかるため、この膨張は減速していくと近年まで考えられていた。しかし、この予想とは真逆の加速膨張が 1998 年に観測され、専門家たちを驚かせた。宇宙初期に起こったインフレーションに対し、この加速膨張は比較的現在に近い時期に始まったと考えられている。

ただ、なぜそのようになったのかは分かっていない。一般相対論に基づくこの加速膨張には何らかの未知のエネルギーが関係しており、研究者たちはこれをダークエネルギー（暗黒エネルギー）と呼んでいる。

「ダークエネルギーの正体はまだ分かっていませんが、最新の観測から現在の宇宙全体のエネルギーのうち約 68% を占めると考えられています。また、残りのうち 27% は暗黒物質と呼ばれ、これもまた現時点では正体が未解明の物質です。つまり、現在の宇宙のうち 95% が未知であるということです。私たち人類は広大な宇宙空間から届く様々な光を観測することで、このような情報を得ているのです」と語る。

「他方、ここ 10 年の間に人類は宇宙を観測するための新たな『目』を獲得しました。一般相対論が予言した時空のさざなみの伝播、重力波が直接検出されたのです」と加瀬先生は続ける。

2015 年に初めて直接検出された重力波はブラックホールの連星が合体した時に生じたものと考えられている。その後も重力波は次々に観測されており、中性子星と呼ばれる非常に重く極めてコンパクトな星が作る連星の合体によって生じたと考えられている重力波も検出されている。「夜空の星々は内部で核融合反応を起こし、いわば爆発し続けることで自重を支えています。核融合の燃料を使い果たすと自重を支えきれず収縮しますが、このとき太陽よりもある程度大きな恒星は超新星爆発を起こし、その後に残った中心核が中性子星です。さらに重い恒星の場合、中性子星からさらに潰れブラックホールと呼ばれる時空に穿たれた穴

を形成します。これらの天体が作る重力場は非常に強く、人類はまだこのような領域の物理を正確には把握していません。強重力領域で一般相対論がどの程度有効なのか、修正の必要はあるのか興味が尽きません」と話す。

暗黒エネルギーやブラックホールの謎を解明したい

宇宙には興味深い謎がたくさんあるが、加瀬研究室では理論物理学の観点から暗黒エネルギーやブラックホール、中性子星の研究を行っている。これらのキーワードは一見すると独立したものに聞こえるが、重力という点でつながっている。加瀬研究室では理論と観測データを突き合わせて現実的にこれらの正体を解き明かしていくことを最重要研究課題と位置付けている。

「私たちの研究の方向性は、暗黒エネルギーを正しく記述することができる理論を構築し、またブラックホールや中性子星の性質を明らかにしていくことです。これらの研究を通して、重力を記述する真の理論へと到達することが最終的な目標です」と加瀬先生は言う。

加瀬研究室の学生たちは「宇宙論班」「コンパクト天体班」「数値相対論班」の3つに分かれ研究を進める。

「宇宙論班」は暗黒エネルギーやインフレーションの解明を中心とし、様々な理論に基づき宇宙の初期と現在での二つの加速膨張を解明しようと研究している。特に暗黒エネルギーの起源解明は現在そして未来の宇宙を知るためには必要不可欠な物理学の課題である。

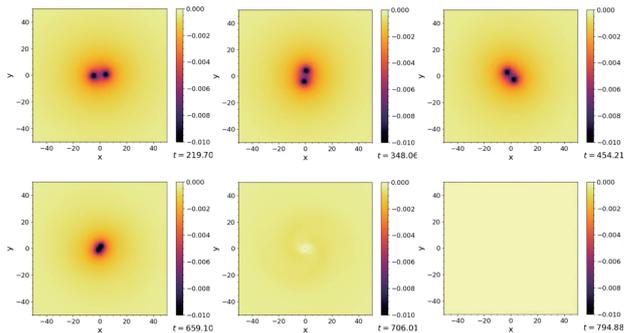
「コンパクト天体班」はブラックホールや中性子星の研究を中心としている。世界的にもこの分野の研究は2015年の重力波の直接検出や2019年のブラックホールシャドウの撮像を経て非常に活発になっており、新しい魅力にあふれる分野と言える。2023年に着任した塚本助教も加え強力に研究を推進している班である。

「数値相対論班」は新設班である。高性能計算機を駆使して大規模数値計算を行い、ブラックホール連星合体現象の数値シミュレーションによって得られる重力波データ解析を行っている。今後、益々重要になる分野であり、研究室の重点的課題として推進している。

博士課程3年の谷口喜太郎さんは「小さい時からサイエンスの中でも宇宙が好きで、中でも重力に興味がありました。小学生の頃に、スティーブン・ホーキング博士とその娘さんが共同で書いた『宇宙への秘密の鍵』という本を読んでとても感動したことを覚えています。中学や高校の頃は科学関係のテレビ番組もよく見ていました」と話す。その谷口さんの主な研究対象



ゼミの風景



非自明なスカラー自由度をもったブラックホール連星合体のシミュレーション
ブラックホール連星は最初離れて互いの周りを公転するが、段々と距離を縮め最後には合体して1つのブラックホールとなる。図では、大きさが等しく異符号の強さを持つスカラー自由度を伴うブラックホール連星があり（左上）、ブラックホールの合体後はスカラー自由度が相殺していることが分かる（右下）

は、ブラックホールに関するものが中心になっている。

「重力波は様々な重力理論を検証できる可能性を秘めていて、その波源の一つであるブラックホールを最近研究しています。電場や磁場を持ったブラックホールについて一般相対論とそれを拡張した理論の違いがどう現れるのかを定式化し、つい最近論文として投稿しました。今は、そのようなブラックホールが安定して存在できるのか、観測的にどのような兆候を示すのかを研究しています」と谷口さんは説明してくれた。

理論と観測は両輪の関係にある

「この研究室は理論物理学を基盤としていますが、研究にとって理論と観測は車の両輪のようなものです。観測分野のことも理解しつつ研究を進めることで初めて『暗黒エネルギーの起源』や『真の重力理論』に迫ることができると思っています。また、現在加瀬研究室にある3つの研究班においても同様であり、それぞれの班で専門性を高めた研究を行うと同時に、研究班を超えて最新の情報を共有し議論を深めることで新たな研究が生まれます」と加瀬先生は語ってくれた。

太田 正人（ジェイクリエイト）