

特集

宇宙を探る 理学研究

多様な宇宙観測と理論研究

東京理科大学 創域理工学部 先端物理学科 教授 いしつか まさき 石塚 正基

東京理科大学 創域理工学部 先端物理学科 教授 すずき ひでゆき 鈴木 英之

古来より、人類は宇宙の理解を目指してきた。近世以降は、ガリレオ、ケプラー、ニュートンなどの天文学者・物理学者たちが、空に輝く天体の光学的な観測から、地球にいながらにして天体の運動を分析し、その背後に存在する物理法則を解き明かしてきた。

現代では、実験技術の進歩により観測対象は拡大し、目に見える光（電磁波）だけでなく、電波・マイクロ波・赤外線のような長波長の光や、エックス線・ガンマ線などの短波長の光（光子）による観測も行われている。また、近年では、ニュートリノや重力波など光以外の手段による天体観測も実現されている。理論的な研究も進み、初期宇宙からの光である宇宙マイクロ波背景放射や天体分布などの大規模構造の観測と理論モデルの比較によって、宇宙に存在する個々の天体だけでなく、宇宙そのものの成り立ちや進化の理解も進

んでいる。例えば、原子核や素粒子といったミクロな物理を考慮して行われる重力・流体に関するマクロな系の数値シミュレーション結果を観測データと比較することで、星の誕生・内部構造・進化・終焉の様子を知ることができる。また、別の例として、一般相対性理論から導かれる重力レンズの効果を考慮すると、銀河団周辺に見られる遠方銀河の像の歪みから、銀河団内の質量分布を導くこともできる。この質量と、光やエックス線観測によって見積もられた元素など通常の物質の存在量との差が、暗黒物質の存在を示す証拠の一つとなっている。遠方で起こった超新星爆発の明るさの統計データからは、現在の宇宙がダークエネルギーによる加速膨張期に入っていることも明らかになった。

このように理論・計算・実験・観測を駆使して我々

は宇宙の理解を深めてきたが、特に近年は、一つの天体や現象を、複数の全く異なる手段で観測し、そのデータを融合することで、天体や現象を理解する「マルチメッセンジャー天文学」の有効性が増してきている。また、世界各地の観測施設を繋ぐネットワークも発展し、情報を共有することで効果的な観測を行うことができるようになってきている。実際に、観測衛星によるガンマ線やエックス線の情報に基づき地上の光学観測が行われた例や、重力波やニュートリノの観測により発生源を特定し、その情報を受けた世界各地の観測所が同じ天体に照準を絞って追尾観測を行った例がある。

電磁波の種類により観測で得られる天体情報は異なり、さらに重力波やニュートリノによってもたらされる情報も加わると、その天体現象の物理的な状況がより詳しく理解できるようになるのである。

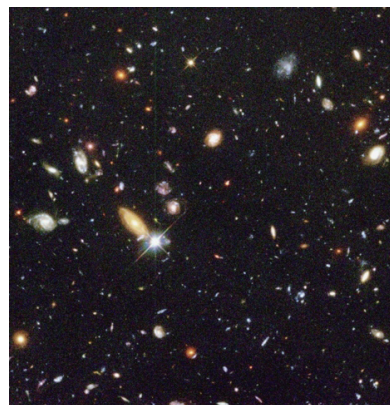
宇宙観測においては測定器開発も重要な研究課題である。歴史的にも、新しい観測手段の開拓や測定精度の向上により、天体物理現象が解明されてきている。例として、エックス線の観測によりブラックホールの存在が実証され、宇宙マイクロ波背景放射の精密測定により現在の大規模構造の元となる宇宙初期における密度のむらを確認されている。

宇宙観測は極小の世界を研究する素粒子物理学とも深く関係している。ビッグバン直後の宇宙や超新星、中性子星といったような特殊な環境で起こる現象を理解するためには、素粒子の振る舞いから考える必要がある。一方、宇宙から飛来する宇宙線を観測することにより、素粒子の研究も進められている。歴史的に、初期の素粒子物理学では、宇宙線の観測から陽電子やストレンジ粒子などの新しい粒子が発見された。また、太陽から飛来するニュートリノや宇宙線（主に陽子）により大気中で作られたニュートリノを観測することにより、ニュートリノ振動が発見され、ニュートリノが質量を持つことが明らかにされた。宇宙観測は素粒子を研究する有力な手法でもある。

今回の特集では、理科大で行われている研究を中心に、宇宙を探る最先端の理学研究を紹介する。

具体的には

- 宇宙の進化をたどり、暗黒物質や暗黒エネルギーといった、未だ解明されていない謎に迫る理論研究を紹介する。銀河の回転速度、ビッグバン軽元素合成、ビッグバン後の物質の密度のむらなどの観測から暗黒物質の存在が確実視されている。暗黒物質の正体は未知の素粒子であるという説が有力である。一方、暗黒エネルギーの正体については、まだ手がかりも



ハッブル宇宙望遠鏡で撮影された
遙か遠方の宇宙 (© NASA)

掴めていない状況である。

- 肉眼では認識できない波長の長い光（マイクロ波）の観測によりインフレーションやビッグバンといった宇宙の起源に迫る研究を紹介する。宇宙の全方位から観測される長波長の光は宇宙マイクロ波背景放射と呼ばれ、ビッグバンの証拠と考えられている。宇宙マイクロ波背景放射はビッグバンやインフレーションの情報を含んでいると考えられており、その研究が活発に行われている。
- 波長の短い光（エックス線・ガンマ線）の観測により、パルサーやブラックホールなどの高エネルギー天体を探る研究を紹介する。ブラックホールはその強大な重力により光でさえも脱出できないが、周辺のガスから放出されるエックス線の観測により、その存在を捉えることができる。理科大では、観測衛星に搭載する測定器の開発も行っている。
- ニュートリノの観測による研究を報告する。1987年の超新星爆発で放出されたニュートリノの観測は、ニュートリノ天文学の幕開けとなる歴史的な出来事であった。ニュートリノは物質とほとんど反応しないため、その観測には巨大な検出器が用いられる。今回の特集記事では、スーパーカミオカンデによる研究成果を中心に紹介する。

今回の特集には含まれないが、2015年にはLIGOにより重力波が観測されている。重力波は時空の歪みの時間変動が光速で伝搬する現象であり、一般相対論により予言されてきた。これまでの観測手段では特定が難しかったブラックホールや中性子星の連星の合体というダイナミックな天体現象が相次いで観測され、人類が手にした新たな観測手法として注目を集めている。

今後は、様々なエネルギーの光・ニュートリノ・重力波による宇宙観測が行われ、ますます宇宙の理解が進むと期待されている。