

第10節 ハドロン宇宙国際研究センター

第1項 センター概要

宇宙から飛来する高エネルギー粒子（宇宙線）の起源を明らかにすることは宇宙物理学最大の課題のひとつである。ハドロン宇宙国際研究センター（ICEHAP）は、超高エネルギーハドロン（陽子、中性子等）の放射源と粒子加速メカニズムを宇宙ニュートリノ探索と天体活動現象の理論シミュレーション研究の連携を通して解明することを目的とし、「ニュートリノ天文学」と「プラズマ宇宙研究」の2部門により大学院理学研究科附属センターとして2012年1月に発足した。2020年10月からは「ニュートリノ天文学」と「プラズマ宇宙研究」の2部門により独立した全学センターとして改組され、千葉大学の看板研究センターとして研究・教育活動を推進するとともに、世界の研究者コミュニティに開かれた研究組織として運営を行っている。2023年4月には、「マルチメッセンジャー天文学」部門を新設した。

図2-18-10-1

IceCubeプロジェクトに参加している研究機関名と国旗のリスト。異なるバックグラウンドを持つ研究者らが協力し研究を行う。



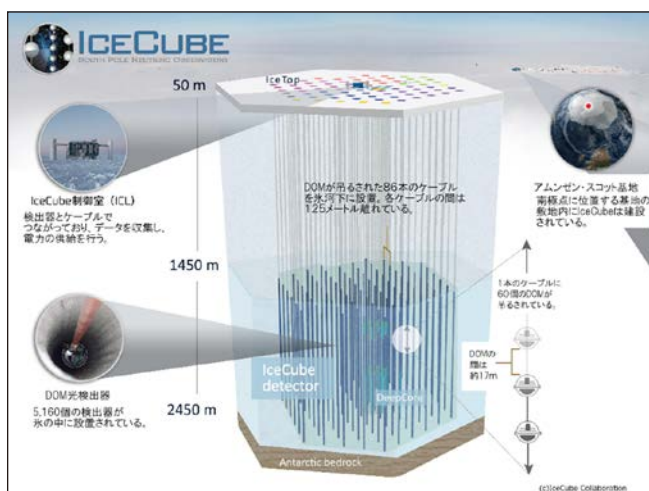
ハドロ宇宙国際研究センターは、IceCubeプロジェクトという国際的な研究プロジェクトに日本・東アジア地域から唯一参画し、当該プロジェクトによるニュートリノ天文学の主要な研究成果に寄与することで、IceCubeプロジェクトチームをリードしており、2025年に予定されているIceCubeプロジェクトのアップグレード計画に提供する主要光検出器であるD-Eggの開発・制作を行い、2022年に320台の検出器を完成させた。南極環境下で動作するハードウェアの開発は、大型冷凍室内での試験・開発が必要であり、当センターはこの施設を有する国内唯一の機関である。

第2項 ニュートリノ天文学部門

ニュートリノ天文学部門では、南極点直下の深氷河に設置された世界最大のニュートリノ検出装置「IceCube（アイスキューブ）」による宇宙ニュートリノ観測により、極限宇宙の産物といえる宇宙線の発生源を同定し、その生成機構を解明することを研究のミッションとして掲げている。

ニュートリノは他の物質とほとんど相互作用しないため、宇宙空間を直進することができる。地球に飛来する高エネルギー粒子（宇宙線）の起源を明らかにすることは100年来の謎だったが、宇宙線は磁場によって曲げられたり、宇宙背景放射と相互作用してエネルギーを失ったりするため、その発生源を特定することは困難である。高エネルギーハドロ（陽子・中性子など）から放射されるニュートリノを捕えることによって、高エネルギー宇宙線の放射源をピンポイントで特定できると期待されている。これまで、2012年の史上初となった2つの高エネルギー宇宙ニュートリノ事象観測の成功や、2017年の宇宙ニュートリノ放射源の初同定などの研究成果をあげ、宇宙の謎の解明に

図2-18-10-2
世界最大のニュートリノ検出装置「IceCube（アイスキューブ）」



向け取り組み続けている。

千葉大学IceCubeチームは2011年に完成したアイスキューブによる観測データを解析した結果1.2PeV（PeVはエネルギーの単位で10の15乗電子ボルト）と1.4PeVのニュートリノが氷と相互作用して放射されたチェレンコフ光を捕えたと考えられる事象を発見し、2012年6月に開催された国際会議で発表した。理論的に予言されていた高エネルギー宇宙ニュートリノが実在することを示す世界初の観測成果であった。

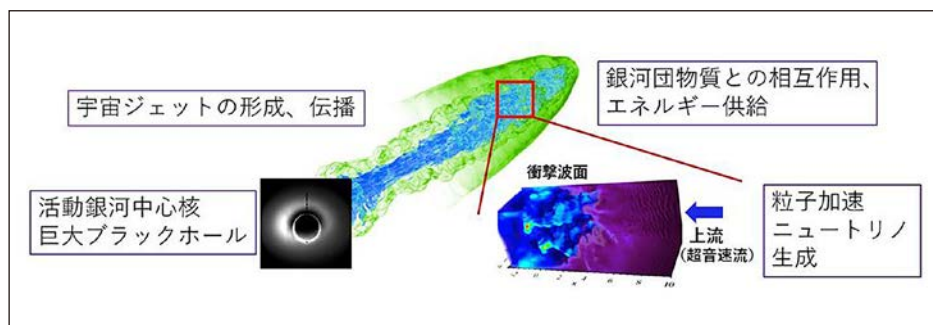
その後も高エネルギー宇宙ニュートリノの検出は続き、2017年9月に検出された宇宙ニュートリノ事象の情報を元に世界各国の観測施設が追尾観測を行い、史上初の高エネルギーニュートリノの放射源天体の同定に成功。2021年には、アイスキューブが検出した宇宙ニュートリノのデータを元に、1960年に予測された素粒子の標準理論「Glashow共鳴」を実証、2022年には2度目となるニュートリノ放射天体を突き止めるなど未知なる高エネルギー宇宙の様相を明らかにする成果を出し続けている。

第3項 プラズマ宇宙研究部門

プラズマ宇宙研究部門では、活動銀河中心核におけるエネルギー解放とジェット形成、ジェットと銀河団物質の相互作用、ジェット中での高エネルギー粒子の加速過程等を大規模数値シミュレーションによって再現し、高エネルギーニュートリノ及び宇宙線の発生源となる活動的な天体現象のメカニズムを解明することを主要ミッションとしている。

図2-18-10-3

プラズマ宇宙研究部門の主要ミッション。（ブラックホールシャドウの図：M. Bursa, M. Machida氏提供、ジェット伝播の図：T. Ohmura氏提供、粒子加速シミュレーションの図：Y. Matsumoto氏提供）



本部門は日本のフラッグシップ計算機である「富岳」成果創出加速プログラム「宇宙の構造形成と進化から惑星表層環境変動までの統一的描像の構築」におけるシミュレーションコード開発を担い、「ブラックホール降着円盤とジェット」、「高エネルギー粒子加速」に加え、「銀河団の形成・進化」の研究を実施中である。「銀河団の形成・進化」ではダークマターによる構造形成等を調べている。後者は銀河団プラズマの分布と磁場増幅に密接に関係している。各課題のシミュレーション手法についても共通部分が多く、「富岳」の性能を発揮するためのノウハウが共有されている。

第4項 マルチメッセンジャー天文学部門の新設

国際共同研究IceCubeプロジェクトによって、ニュートリノ天文学が2012年以降急速に開拓され、新しい天文学研究として確立した。このニュートリノ観測を軸に、従来の光・赤外線・電波・ガンマ線等を用いた伝統的な天文学研究を複合させた宇宙観測手法により極限宇宙現象を解き明かす、マルチメッセンジャー宇宙物理学が誕生した。この新しい研究手法により、高エネルギー宇宙の駆動源を理解するブレイクスルーが生まれることが期待されている。しかしながら、日本にはこの生まれたばかりの新しい学際研究分野を牽引する研究機関・施設は存在しておらず、世界的な競争の中で我が国のプレゼンスを生み出していく中核的な研究機関が必要であった。

この状況を打開するために、IceCubeプロジェクトに日本・東アジア地域から唯一参画し、当該プロジェクトによるニュートリノ天文学の主要な研究成果に寄与してきた本センターが、日本・アジア・太平洋地域における中核研究センターとしての役割を果たす体制を整備・強化するため、2023年4月に「マルチメッセンジャー天文学部門」を新設した。

第5項 研究実績

本センターは、発足して10年余りであるが、重要な研究成果を挙げており、特にニュートリノ天文学部門では、14カ国58の機関との国際共同研究に日本から唯一参加し、2018年には当該研究チームの貢献により史上初めて宇宙ニュートリノとガンマ線によるニュートリノ放射源天体の同定に成功し、米国の学術雑誌「Science」が選ぶ同年の10大成果に選定されるなど、基礎科学の発展に寄与する重要な研究成果を発表している。プラズマ宇宙研究部門では、文部科学省「富岳」成果創出加速プロ

グラム「宇宙の構造形成と進化から惑星表層環境変動までの統一的描像の構築」（代表：神戸大学 牧野淳一郎）のサブ課題A「大規模数値計算と大型観測データのシナジーによる宇宙の進化史の解明」、サブ課題C「ブラックホールと超新星爆発における高エネルギー天体現象の解明」、サブ課題D「太陽活動と惑星環境変動の解明」におけるコード開発と成果創出の中枢を担い、日本のフラッグシップ計算機「富岳」向けのシミュレーションコードの最適化とシミュレーション実施を進めた。新たに加わったマルチメッセンジャー天文学部門と共に、研究の更なる促進と飛躍が期待される。