

## IceCube-Gen2 国際ニュートリノ天文台

## ① 計画の概要

ニュートリノ放射天体を同定し、宇宙物理学上最大の謎の一つである高エネルギー宇宙線の起源を明らかにするために、IceCube 実験を約 10 倍に拡張する IceCube-Gen2 観測所を建設する。TeV 以上の高エネルギー宇宙ニュートリノを年間 200 事象以上検出し、ニュートリノ放射点源の同定、ガンマ線バーストや AGN のフレアとの同時事象検出による宇宙線放射機構の研究、EeV (1000PeV) 領域のニュートリノ束探索による超高エネルギー宇宙線起源の研究を行う。また素粒子としてのニュートリノの特性を生かして、フレーバー比の解析による超長基線ニュートリノ振動の研究や、TeV-PeV 領域におけるニュートリノ・核子相互作用の研究、モノポールなど素粒子大統一理論由来の生成物の探索を進める。高エネルギーニュートリノ天文学を高統計データに基づいた観測的科学へと昇華させることにより、天文学研究に全く新しいインプットを提供し、高エネルギー極限宇宙の探査から非加速器素粒子物理まで多様かつ重要な科学を総合的に展開するのが本計画のアジェンダである。

## ② 学術的な意義

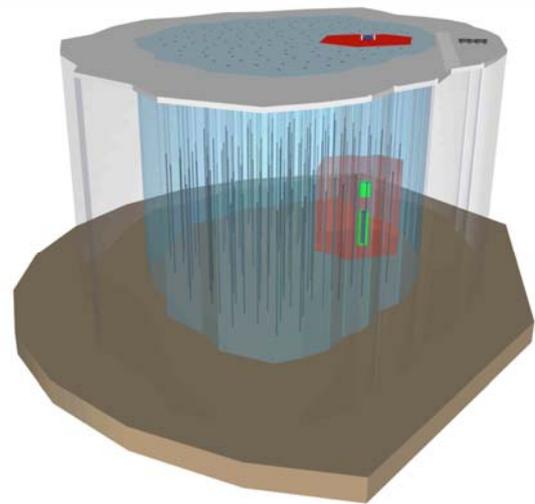
ニュートリノは電荷を持たず、かつ宇宙論的距離を他粒子と衝突せずに伝播するため、高エネルギー極限宇宙探査にとって理想的なメッセンジャーである。また高エネルギー宇宙ニュートリノはパイ・ケイ中間子の崩壊によってのみ生成されるため、ニュートリノ放射源は宇宙線核子・原子核の起源天体として確実に同定される。このため高エネルギーニュートリノ観測は、ニュートリノ事象の空間・時間・エネルギー・フレーバ情報を介して宇宙線加速の現場を捉え加速機構を研究する理想的手段である。現行 IceCube 実験により宇宙線起源天体由来のニュートリノが実際に存在することが確認され、その存在量から宇宙線起源天体クラスについての一定の洞察まで可能となった現在、ニュートリノ観測は天文学の新しい窓として確立した。2017 年 9 月には、ニュートリノ信号アラートを受けて世界の天文観測施設が追尾観測を連携して行い、NASA が運営する Fermi-LAT 衛星、ドイツを中心とする MAGIC 望遠鏡によるガンマ線を同期検出したことで放射天体候補を特定できるまでに至った。高エネルギー宇宙ニュートリノ観測を既存の天文観測と組み合わせることで、高エネルギー宇宙の理解にブレークスルーをもたらすことを実証したものであり、まさにマルチメッセンジャー天文学の幕開けである。IceCube-Gen2 観測所は、その窓を通じて高統計で高エネルギー極限宇宙の非熱的物理現象を解明し高エネルギー宇宙線起源を同定する確実な観測データを提供する。観測所は国際共同実験として運営され、日本、米国など 12 か国が参画する。観測データは世界に公開される。解析結果の速報は世界の可視光・X 線・ガンマ線・重力波観測と共有され、それぞれの波長・メッセンジャー観測による天文学研究にとってユニークなプローブとなる。

## ③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

ニュートリノによるマルチメッセンジャー天文学は、重力波とともに新たな宇宙探査の手段として根付いた。研究者は電波からガンマ線に至る天文分野から、宇宙線、宇宙論、素粒子物理分野まで広きにわたる。この急速な発展をうけ、米国自然科学財団 (NSF) はマルチメッセンジャー天文学をてこ入れする新たな予算枠を創設し、IceCube-Gen2 の Phase1 はこの枠で先行して予算が承認された。残りの本体部分の予算化はこれからである。米国負担分は NSF の MREFC による採択を目指している。日本負担分は、本計画に基づく概算要求を行う。現行の IceCube 実験の主要な結果 (高エネルギー宇宙ニュートリノの発見、ニュートリノ放射天体候補の同定など) はすべて日本グループが主導的な役割を果たしている。この実績を継続し、日本のコミットメントを確保することは、わが国の基礎科学にとって高い意義がある。またニュートリノ信号を追尾観測する天文研究者を多数抱える日本の天文学の発展にとっても、ニュートリノ信号を同定しアラートを発信する側に日本のプレゼンスを確保することは極めて重要である。

## ④ 実施機関と実施体制

IceCube-Gen2 collaboration は、日本、アメリカ、カナダ、ドイツ、イギリス、スウェーデン、ベルギー、デンマーク、スイス、韓国、オーストラリア、ニュージーランドから約 50 の研究機関が参加する国際共同機関である。日本からは千葉大学ハドロン宇宙国際研究センターと、東京大学地震研究所が参加する。実施の中心機関となる千葉大学ハドロン宇宙国際研究センターは現在運営中の IceCube 国際共同実験でも中核研究機関として、光検出器の開発・キャリブレーションと PeV 以上の超高エネルギー宇宙ニュートリノ探索を主導している。開発中の新型光検出器 D-Egg は IceCube-Gen2 Phase 1 の主要検出器として IceCube Collaboration 内で同意がとれ、現在千葉大学において量産体制の構築が行われている。ハドロン宇宙国際研究セ



IceCube-Gen2 施設の外観

ンターの研究グループは、千葉大学の戦略的・重点的推進研究分野を統括するグローバルプロミネント研究基幹の研究部門に選ばれ、優先的に強化中である。グローバルプロミネント研究基幹の概算要求は国立大学機能強化経費として平成28年度分から認められ、人員・研究スペースなど研究プロジェクト推進に不可欠なインフラの整備に充てられている。IceCube-Gen2 計画実施主体のニュートリノ天文学部門は、2019年3月時点で承継教員3名(教授2、助教)、特任助教1名、研究員4名、広報職員1名を擁しており、国立大学機能強化促進に伴う措置により更なる増強を計画している。

#### ⑤ 所要経費

検出器(D-Egg-Prime) 2,000 台 製作費 24 億円

南極への輸送費 1 億円

電力ケーブル 1 億円

南極観測所データ処理システム 1 億円

観測データ管理・解析人員 1 億円 (2020-2030 10 年間の総計)

アジア・パシフィック地域データセンター運営費 (計算機資源、電力費用など) 2 億円

合計 30 億円

#### ⑥ 年次計画

2018-2022 Phase I 実験建設 (現在進行中)

2021 IceCube-Gen2 本体のプロジェクト開始

2022 - 2030 検出器製作、埋設

2030 フル稼働

Phase 1 は、すでに予算化され、建設がスタートした。Phase 1 以外の本体部の予算(総予算 \$250M) は、2021 年の承認を目指している。稼働後は、日本で唯一の高エネルギーニュートリノ天文学の基幹研究機関として、ニュートリノを軸にしたマルチメッセンジャー天文学研究を推進するために、共同研究機関として国内外の研究者をサポートする。また IceCube-Gen2 観測データを用いた追尾観測提案の基盤を提供する。そのための人員を2名公募の上で雇用する。

#### ⑦ 社会的価値

南極氷河という厳しい環境下で使われる検出器の要求仕様は高く、様々な構成要素からなる複合モジュールは多くの応用技術のシーズとなる。実際に、耐圧性能を保ちながら紫外線を透過するという相反する要求に答えるための開発から新たな光検出器の開発の可能性につながる事例もでている。最先端技術は先端基礎科学プロジェクトの要求によって鍛え上げられ、実用化され、さらにその技術が次世代の科学プロジェクトに使われるという好循環を継続していくことは、技術大国日本の国益に直結する。また研究成果を解説する一般講演会には常に多数の参加者があり、社会の関心は高い。千葉大学で主催する研究成果発信イベントの他、各地の科学館、博物館でのイベントには100人を優に超える来場者がある。ニュートリノ天文学という発展目覚ましい基礎科学に日本が大きな役割を果たしていることは、我が国の誇りとして社会で受け止められている。

#### ⑧ 本計画に関する連絡先

吉田 滋 (千葉大学大学院理学研究院)



新型検出器 D-Egg