

## IceCube-Gen2 国際ニュートリノ天文台によるニュートリノ天文学の長期的展開

## ① ビジョンの概要

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。完全な国際共同実験の枠組みで運営し、新しい融合研究分野であるマルチメッセンジャー天文学を、素粒子ニュートリノを用いた先導的な観測により推進する。

## ② ビジョンの内容

素粒子ニュートリノは、電磁波の観測では原理的に不可能である、深宇宙や天体深部の直接観測を可能とする。宇宙ニュートリノ放射と高エネルギー天体現象を連結して理解することに成功した南極氷河設置実験 IceCube は、この圧倒的発展をもたらしたプロジェクトである。現在、TeV を超える高エネルギーニュートリノ放射天体を同定する段階までニュートリノ観測研究は到達している。このブレークスルーを活かし、ニュートリノ放射機構の解明、宇宙で最もエネルギーの高い放射である宇宙線放射起源の解明、そしてニュートリノ検出を号砲に使い他波長観測と連携して新しい宇宙観測の窓を開くマルチメッセンジャー観測の実現を目指すのが我々の

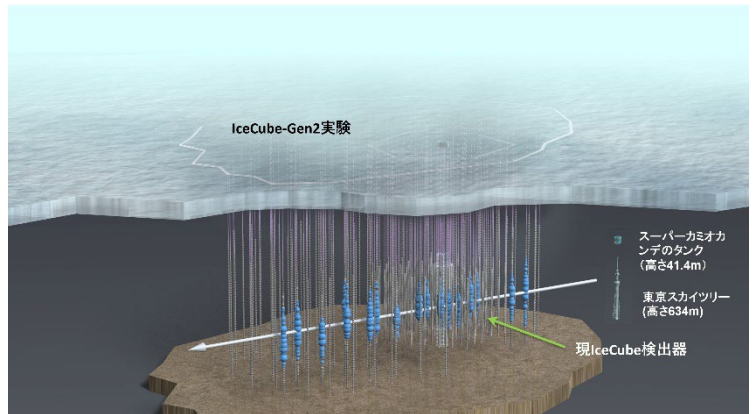


図1 IceCube-Gen2 実験の概観

ビジョンである。400 年もの間、電磁波による観測のみに立脚していた宇宙科学研究に、全く新しい手段を提供し、素粒子ニュートリノの特性を活かした新しい研究分野を創生し、天文学研究の新しいページを開く。ニュートリノ科学のみならず既存の天文学研究プログラムにも積極的に貢献していく。

## ③ 学術研究構想の名称

IceCube-Gen2 国際ニュートリノ天文台によるニュートリノ天文学の長期的展開

## ④ 学術研究構想の概要

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。

## ⑤ 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。IceCube-Gen2 観測所は、この急速な発展を牽引した IceCube 観測所の次世代プロジェクトとして、ニュートリノ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。ニュートリノ観測は、可視光・X線・ガンマ線・重力波観測と連動して行い、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。ニュー

トリノ観測による知見は、新しい研究分野であるマルチメッセンジャー天文学研究の中核を成し、伝統的な電磁波による全ての天文学研究に新しい方向性を加えることになる。

## ⑥ 国内外の研究動向と当該構想の位置付け

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 Phase 1 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。

## 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。

## ⑧ 実施計画等について

実施計画・スケジュール 2024 年度より検出器製作開始

2027 年度から 2033 年度までの 7 年間で南極現地に建設

2028 年度より、建設が終わった装置からの観測データを順次公開、データセンター立ち上げ。

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、大阪公立大学が参加する。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。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、千葉大学において量産が終了し現在最終動作試験が進められている。ハドロン宇宙国際研究セ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国際高等研究基幹の研究部門に選ばれ、優先的に強化中である。

総経費 62 億円

所要経費 検出器製作ライン構築 5 億円

検出器製作費用 30 億円

検出器製作・試験・輸送にかかる人件費 5 億円

アジア・パシフィック地域観測データセンター設置費 2 億円

データセンター運営費 10 億円(10 年分)

研究センターに所属し共同利用研究を進める人件費 10 億円(10 年分)

## ⑨ 連絡先

吉田 滋(千葉大学ハドロン宇宙国際研究センター)