

## CTA 国際宇宙ガンマ線天文台

## ① ビジョンの概要

宇宙の進化、宇宙の基本法則を解明するために、電磁波の高エネルギーフロンティアである宇宙ガンマ線観測により、極限宇宙の姿を捉え、星や銀河の進化および物質起源と密接に関係しているブラックホールの形成・進化、宇宙線の起源、宇宙暗黒物質の解明および基礎物理法則の検証を行う。

## ② ビジョンの内容

宇宙を観測する技術の進歩により、宇宙は様々な高エネルギー現象に満ちていることが分かっている。膨大な重力エネルギーを開放しながら、星や銀河の形成・進化と密接に関係している巨大ブラックホールの形成・進化、宇宙の重元素合成の工場である超新星爆発や中性子連星合体の爆発メカニズム、宇宙から飛来する高エネルギー粒子である宇宙線の起源や粒子加速の物理メカニズムなど、長年の謎として残されている問題がある。宇宙ガンマ線観測は、これら天体现象に関する問題の解明のみならず、宇宙暗黒物質からの対消滅ガンマ線の探索や、相対性理論の前提である光速不変の原理の検証、重力と量子力学を統一する量子重力理論の検証などに代表されるように、宇宙論の重要未解決問題や基礎物理法則の検証にも重大な貢献をする可能性を持つ。宇宙線の観測から新たな素粒子が発見されたように、宇宙観測は、基礎理論の検証・構築にとっても極めて有効である。これらの重要課題に取り組み、宇宙の進化、宇宙の基本法則を解明するために、我々はさらに高感度・高性能の宇宙ガンマ線観測装置を必要としている。

## ③ 学術研究構想の名称

CTA 国際宇宙ガンマ線天文台

## ④ 学術研究構想の概要

CTA は、宇宙からの超高エネルギーガンマ線を、従来よりも 1 桁高い感度と 1 桁広いエネルギー範囲(20 ギガから 300 テラ電子ボルト)で観測する、次世代の国際宇宙ガンマ線天文台である。現在よりも 10 倍以上の数(数千個)の天体が観測可能となり、極限宇宙の姿を捉え、ブラックホール、宇宙線起源、宇宙暗黒物質などの解明を目指す。さらに、CTA は、従来の電磁波および宇宙線観測装置に加え、新たに開いた窓である重力波や広帯域化したニュートリノ観測装置とも連携し、近年急速に進展しているマルチメッセンジャー天文学

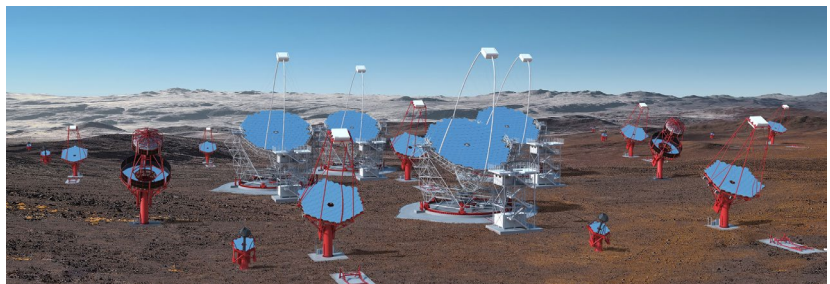


図 1 CTA 国際宇宙ガンマ線天文台(南半球サイト完成予想図)

の重要な柱の一つとなる。さらに、ガンマ線観測を通して、光速不変の原理などの基礎物理法則の高精度検証も行う。CTA では、全天観測を可能とするために北半球(スペイン領カナリア諸島)と南半球(チリ)に、3 種の口径(23m、12m、4 m)の大気チェレンコフ望遠鏡が計 73 台設置される(図 1)。建設・運営機関の中心である CTA コンソーシアムは、大型国際協力で 25 か国約 1,500 名の研究者からなる。日本グループは、東京大学を中心とし、23m 口径望遠鏡(図 2)の計画全体運営、分割鏡およびカメラの開発・量産・運用、さらには、4 m 口径望遠鏡のカメラの開発において、中心的役割を担っている。天文台の運営開始後は、CTA コンソーシアムのみならず、世界の全ての研究者に開かれた初めての地上ガンマ線天文台となり、全望遠鏡設置後 20 年間の運営を予定している。



図 2 CTA 23m 口径望遠鏡初号基  
(スペイン・ラパルマ島に設置)

## ⑤ 学術的な意義

宇宙の高エネルギー現象を引き起こす天体は、大きな星が一生を終えて爆発するときに生まれたブラックホールや中性子星、超新星残骸などであり、星・銀河の進化や元素合成を解明する上で、高エネルギー天体現象の観測は重要である。また、世界最高エネルギーの粒子加速器 LHC のエネルギーを遥かに超える、10 の 20 乗電子ボルトに達する荷電粒子(宇宙線)が宇宙から地球に飛来しているが、宇宙線の発見から 100 年経っ

た今でも、その起源・生成機構が解明されていない。宇宙線の平均エネルギー密度は、宇宙背景放射や星光、銀河磁場と同程度で、宇宙の基本構成要素の一つであり、宇宙線起源の解明は、宇宙の進化を解明する上で重要である。

テラ電子ボルトガンマ線領域で世界唯一の大型施設となる CTA 天文台は、現在の望遠鏡よりも 10 倍以上の数(数千個)の高エネルギー天体の観測が可能となり、宇宙線の起源解明のブレークスルーが期待される。さらに、多波長および重力波・ニュートリノを含むマルチメッセンジャー観測において重要な柱の一つとなるため、CTA 天文台の設置・運用の重要性は極めて高い。また、CTA 天文台は、123 億光年先の天体まで観測可能となり、宇宙論的なスケールに拡大し、ブラックホールの進化や宇宙の構造形成史を明らかにできる。

宇宙論・素粒子物理学にわたる研究として、宇宙を満たす宇宙暗黒物質を CTA 天文台で、ガンマ線領域で、世界最高感度で探索する。宇宙暗黒物質が対消滅する際に発生するガンマ線を CTA 天文台で探索することで、宇宙暗黒物質の正体の解明を目指す。また、基礎物理学にわたる研究として、基本法則であるローレンツ不変性(光速度不変の原理)の検証が挙げられる。重力と量子力学を統一する量子重力理論は未完であり、ある種の量子重力理論では光速がエネルギーに依存することを予言する。CTA 天文台で、変動天体からのガンマ線到来時間のエネルギー依存性の有無を測ることで、時空間の量子的な振る舞いを高い精度で研究できるため、CTA 天文台によるガンマ線観測の意義は極めて高い。

## ⑥ 国内外の研究動向と当該構想の位置付け

CTA 天文台計画は、次世代の世界唯一の大規模ギガ～テラ電子ボルト領域ガンマ線望遠鏡群であり、現在よりも 10 倍以上の数(数千個)の天体が観測可能となる。一方、さらに高いペタ電子ボルト領域を観測する実験は、視野が広く稼働率が高い長所を持つが、角度分解能が劣り、CTA と相補的である。さらに低いギガ電子ボルト領域の観測は、米のフェルミ衛星が稼働中であるが後継機の計画がなく、宇宙・地上を問わず次世代ガンマ線天文台としての CTA の重要性は高い。また、宇宙暗黒物質は、人工加速器 LHC で見つからず強い制限がつき、現行の人工加速器で届かない高エネルギー領域を探索できる CTA 天文台は相補的かつ重要である。

## ⑦ 社会的価値

CTA 天文台は、人類の想像を遥かに超えた極限的な宇宙の姿や宇宙の進化、宇宙の構成物質や宇宙の基本法則について、多くの新しい知見を人類に与えることができる。CTA 天文台は、準備段階から新聞・科学雑誌などの多くのメディアに多数掲載され、国民の関心は高い。また、CTA 天文台の装置要求仕様は非常に高く、高感度光検出器、高精度光学技術、ビッグデータ処理などにおいて日本発の技術が望遠鏡に多数利用されている。これらの技術開発・実用化・量産を通して、日本の産業・経済に高い価値をもたらす。

## ⑧ 実施計画等について

CTA コンソーシアムが実施体制の中心であり、大型国際共同 25 か国、150 研究機関、約 1,500 名の研究者からなる。主要国は、ドイツ、イタリア、フランス、スペイン、日本の 5 か国である。欧州連合(EU)全体の法人格を持つ研究基盤機構(略称 ERIC)としての CTA 天文台が発足し運営機関となる予定である。日本グループは、国際共同利用・共同研究拠点である東京大学宇宙線研究所を中心に、名古屋大学など 21 機関 125 名の研究者からなる。CTA 天文台は 23m、12m、4 m 口径望遠鏡それぞれ 8、23、42 台からなり、CTA 建設は、北半球サイト(スペイン)が先行して 2016 年に開始し、日本グループが大きく貢献している 23m 口径望遠鏡初号基が 2018 年に完成し、他の望遠鏡を建設中である。並行して南半球サイト(チリ)の建設も進行中である。

CTA 天文台の経費は、建設費 430 MEuro、運営費 20 MEuro/年と推定されており、日本分担の総経費は、計 102 億円(建設費 62 億円+運営費 40 億円)(10 年間運営の場合)、計 152 億円(建設費 62 億円+運営費 90 億円)(北 30・南 20 年間運営の場合)を計画している。スケジュールは、準備期間 2008-2015 年(開発研究): 4 億円

北半球サイト建設期間 2016-2028 年(23m 口径望遠鏡 4 基建設他): 24 億円

南半球サイト建設期間 2022-2028 年(23m 口径望遠鏡 4 基建設、4 m 口径望遠鏡カメラ製作他): 34 億円

観測運用(北半球): 2018-2047 年: 50 億円

観測運用(南半球): 2028-2047 年: 40 億円である。

## ⑨ 連絡先

窪 秀利(東京大学宇宙線研究所)