

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、ダークマター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解明のみならず、ダークマターからの対消滅ガンマ線の探索や、ローレンツ不変性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

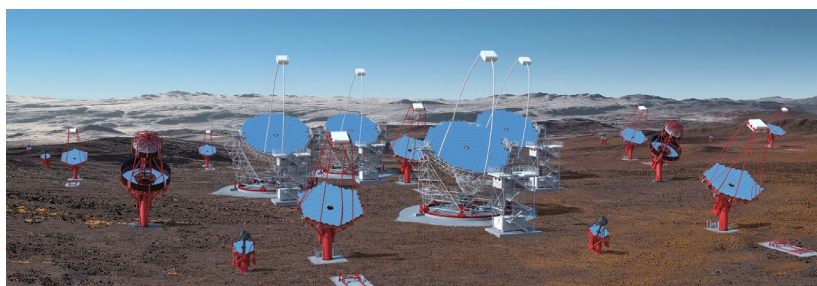


図 1 CTA 国際宇宙ガンマ線天文台 (南半球サイト完成予想図)

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、ダークマターなどの解明を目指す。さらに、CTA は、従来の電磁波 (電波～ガンマ線) 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と南半球に、3 種の口径 (23m, 12m, 4m) の望遠鏡が計 73 台設置される (図 1)。

建設・運営の中心である CTA コンソーシアムは、大型国際協力で 25 か国約 1500 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、高エネルギー側を観測する 4m 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 年間以上の運営を予定している。

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、高エネルギー天体现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、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、星間ガスと同程度であり、銀河の基本構成要素である宇宙線の起源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



図 2 CTA 23m 口径望遠鏡初号基 (スペイン・ラパルマ島に設置)

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、約 120 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、宇宙を満たすダークマターを CTA 天文台によりガンマ線領域で世界最高感度で探索する。ダークマターが対消滅する際に発生するガンマ線を探索することで、ダークマター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、ローレンツ不変性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成であり、一部の理論ではローレンツ不変性の破れにより光速がエネルギーに依存することを预言する。CTA 天文台で、変動天体からのガンマ線到来時間を測ることで、その検証ができるため、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、ダークマターは、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

<実施計画・スケジュール>

CTA 天文台の建設は、CTA 北サイト(スペイン)が先行し 2016 年に開始され、低エネルギー側を観測する 23m 口径望遠鏡は、日本グループが中心的役割を果たしており、その初号基は 2020 年から科学観測を続けている。23m 口径望遠鏡 2 号基から 4 号基の建設は 2022 年に開始され、23m 口径望遠鏡 4 基アレイによる科学観測を 2027 年に開始する予定である。中間エネルギー帯を観測する 12m 口径望遠鏡は、外国グループが担当し、CTA 北サイトでの 9 台の建設が 2027 年から始まり 2030 年に完成予定である。これにより 23m と 12m 口径の望遠鏡を合わせた CTA 天文台北サイトが完成となる。一方、南サイト(チリ)は、アタカマ砂漠に建設され、2022 年にインフラ整備を開始し、2026 年から、23m 口径望遠鏡 4 台、12m 口径望遠鏡 14 台および高エネルギー側を観測する 4 m 口径望遠鏡 42 台の現地建設が始まり、2030 年に全数完成予定である。観測運用は各望遠鏡の完成毎に開始される。2030 年から、南・北両方のサイトを統合した観測が行われ、20 年間以上運用される。

<実施機関と実施体制>

CTA コンソーシアムが実施機関の中心であり、大型国際共同 25 か国、約 150 研究機関、約 1500 名の研究者からなる。主要国は、イタリア、ドイツ、フランス、スペイン、日本の 5 か国である。2025 年に欧州連合(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っている。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とし、30 機関約 130 名からなる。

<総経費> 計 102 億円(10 年間運営の場合)、計 175 億円(北 32・南 20 年間運営の場合)

<所要経費>

建設費 401 MEuro(1 ユーロ 160 円として 642 億円)、運営費 26 MEuro/年(42 億円/年)と推定されている。日本の貢献は、建設費 56 億円と 10 年間の運営費 46 億円の計 102 億円を計画している。ただし、北サイトの先行運用を含めた北・南両サイトの 20 年間運営では、日本の運営費の貢献は 119 億円となる。

⑨ 連絡先

窪 秀利(東京大学宇宙線研究所)