

南極テラヘルツ望遠鏡による南極天文学の開拓と 銀河進化の解明及び宇宙論パラメータの決定

① ビジョンの概要

南極内陸部は地球上においてサブミリ波～赤外線の大気透過率が圧倒的に良く、天文観測に最適の場所である。南極内陸部の新ドームふじ基地に大口径テラヘルツ望遠鏡を建設し、いまだ未開拓の領域であるテラヘルツ天文学を切り開いて、銀河形成と宇宙論の大きな未解明問題に挑む。さらに、テラヘルツ干渉計、VLBI、赤外線望遠鏡なども含めた国際的な天文観測拠点を新ドームふじ基地に形成する。

② ビジョンの内容

南極内陸部はサブミリ波～赤外線の大気透過率が非常に高く、地上で圧倒的に優れた天文観測環境にある。この南極内陸部の新ドームふじ基地に大口径テラヘルツ望遠鏡を建設し、いまだ未開のテラヘルツ天文学を切り開いていく。テラヘルツ帯は、銀河における星間物質の進化および銀河やブラックホールの形成・進化の解明に欠かせない原子・分子輝線や星間ダストの熱放射が観測できる極めて重要な周波数帯である。まずは、10m 級テラヘルツ望遠鏡を建設し、遠方銀河と重力レンズのサーベイ観測などキーサイエンスを実施する。南極は地球上の位置的にユニークなサイトであり、銀河中心の超巨大ブラックホールの直接撮像を行う ngEHT の局として重要な役割を果たすことも期待される。その後、共同利用装置として 30m 級テラヘルツ望遠鏡を建設する。30m 級望遠鏡が実現できれば、宇宙最初の銀河形成を含む銀河・活動銀河核 AGN (巨大ブラックホール) の形成進化の究極的な解明や、超広域磁場観測による星惑星系形成等の解明が可能になると期待される。南極は赤外線望遠鏡にも魅力的であり、これらの建設も目指す。さらに、南極内陸部に環境が整備されれば、国外からも最先端の観測装置が集まると期待される。また、テラヘルツ強度干渉計など宇宙望遠鏡に向けた斬新なアイデアの試験場または技術開発の場としてもユニークな役割を果たすと期待される。最終的には、新ドームふじ基地に国際的な天文観測拠点を形成することを目指す。

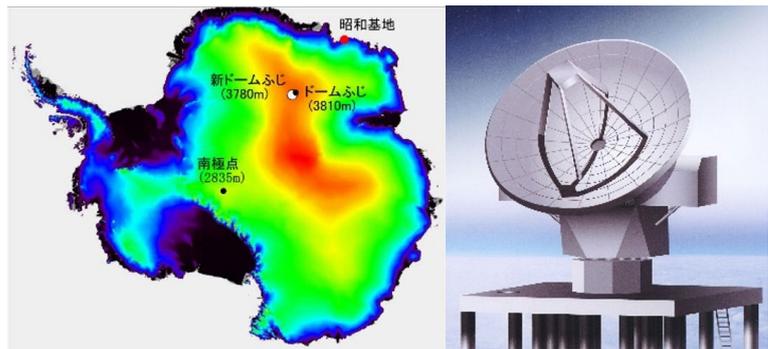


図1 (左) 南極内陸部新ドームふじの位置。
(右) 南極 10m 級テラヘルツ望遠鏡完成予想図

③ 学術研究構想の名称

南極 10m 級テラヘルツ望遠鏡計画

④ 学術研究構想の概要

南極内陸部高原地帯の新ドームふじ基地に 10m 級テラヘルツ望遠鏡を建設し、サブミリ波～テラヘルツ波による天文観測を行う。特に、いまだ未開拓のテラヘルツ帯を切り開いていく。望遠鏡は、リッチークレチアン方式を採用し、超広視野 ($> 1^\circ$) を実現する。観測装置としては、連続波観測 (300 GHz、400 GHz、500 GHz、850 GHz) 用の超広視野 MKID カメラを搭載する。また、200 GHz ~ 2 THz 分光観測用ヘテロダイン受信機も搭載する。共同利用も実施し、国内外の研究者に公開する。計画は筑波大学を中心とする大学連合で実施し、国立天文台および国立極地研究所などとも連携する。

⑤ 学術的な意義

テラヘルツ帯は、銀河の赤方偏移、ダスト温度、星形成率などを推定するために重要なダスト熱放射が含まれ、また、星間物質の性質を探るうえで重要な輝線が多数存在するため、銀河の形成・進化を探るうえで極めて重要な波長帯である。地上で唯一テラヘルツ観測が可能な南極内陸部に口径 10m 級超広視野テラヘルツ望遠鏡を建設することで、衛星では達成できなかった高感度でかつ超広域のテラヘルツ観測を可能にする。南極 10m 級テラヘルツ望遠鏡によって以下のような研究成果が得られると期待される。

- ・超広視野を活かし、300、400、500、850 GHz で confusion limits での南天全体の掃天観測 (20,000 平方度) を行う。1,000 万個以上の銀河が検出され、光度 $L = 10^{12} L_{\text{sun}}$ (Arp220 級) の星形成銀河は $z = 5-7$ まで、 $L = 10^{13} L_{\text{sun}}$ の星形成銀河は $z = 15-20$ まで観測可能である。これにより、 $L=10^{13} L_{\text{sun}}$ の銀河の誕生時期や $z = 5$ 程度までの光度関数 $\Phi(L, z)$ (すなわち銀河進化) を求めることができる。本計画によ

って、 $z = 5-7$ までの星形成率密度の歴史を決定できる。

・南天掃天観測で検出された銀河について、テラヘルツ帯 (1 THz ~ 2 THz) での連続波観測を行うことで、ダスト熱放射のスペクトルを得ることができる。AGN 周囲のダスト温度は、星形成銀河のダスト温度より高いため、スペクトル上で両者を分離することができる。現在大きな問題になっている宇宙初期における巨大ブラックホールの形成と成長および母銀河との共進化に関して有力な手がかりを与えることができる。

・南天掃天観測によって、中間赤方偏移 ($z=2-7$) でのハッブル定数を求めることができる重力レンズ候補天体を絞り込むことができる。ハッブル定数は、宇宙背景放射から求まっている値と近傍で求まっている値に有意な差が見られ大きな問題となっているが、その謎を解く重要な情報が得られる。

・赤方偏移によって赤外線領域に豊富に存在する微細構造線の分光観測によって、赤方偏移を正確に決定することができるとともに、ダストに覆われた銀河の星間媒質 (電子密度、重元素量、電離状態など) とその時間進化を解明することが可能になる。

・ngEHT の重要局として、基線長の拡大および高周波化による分解能の向上に大きく貢献できる。

⑥ 国内外の研究動向と当該構想の位置付け

南極の条件の良さは、米国や中国を中心に国外からも注目されており、「国際南極天文台」の設立も議論され始めている。10m 級テラヘルツ望遠鏡を日本が実現することで、いまだ未開拓のテラヘルツ天文学を切り開くことができる。さらに、天文学に革命をもたらさう南極天文を日本が主導していくことができる。国内では、国立極地研究所の「南極地域観測将来構想」(2019) で、新ドームふじでの天文観測が強く期待されている。

⑦ 社会的価値

・南極と宇宙というのは、一般の方にも興味を持っている人が多く、天文学および科学への支援へとつながると期待される。また、子供たちが科学に関心を持つという教育的効果も期待される。

・南極という厳しい環境でのアンテナ建設の技術から、低温技術や柔らかい地盤上での新しい建築技術の創出、テラヘルツ技術の開発につながり、医療などの検査に用いるイメージングや無線通信の分野への応用が期待される。

⑧ 実施計画等について

実施計画・スケジュール：2026-2027 年度 10m 級アンテナ、高床式台の詳細設計・製造を行う。2028-2030 年度 10m 級テラヘルツ望遠鏡を筑波大学に仮組し、性能評価を行う。2031 年度 南極新ドームふじ基地の建設を開始する。2033 年度 10m 級テラヘルツ望遠鏡の建設を完了し、観測を開始する。

実施機関と実施体制：南極 10m 級テラヘルツ望遠鏡の建設・運用は、筑波大学を中心とした大学連合を軸とした南極天文コンソーシアムが実施する。観測装置の開発は、参加大学が分担して行うことで、若手研究者の育成・大学の研究力の強化を図る。望遠鏡時間の一部は共同利用として国内外の研究者へ公開予定である。南極新ドームふじ基地の建設、輸送、などは、南極内陸部での経験が豊富な国立極地研究所と協力して実施する。本構想の実施体制には天文学に限らず多岐にわたる分野の技術者・研究者の参加が期待される。また、国内の多くの大学に参加の機会が与えられ、大学院生を含む若手研究者や技術系職員の参加が期待される。

所要経費：総経費 94.3 億円

・10m 級テラヘルツ望遠鏡：21.9 億円、観測装置：6 億円

・新ドームふじ基地建設費：26.4 億円、基地運営費：3.5 億円/年×10 年、望遠鏡の修理・メンテナンスのための経費：0.5 億円/年×10 年

⑨ 連絡先

久野 成夫 (筑波大学)

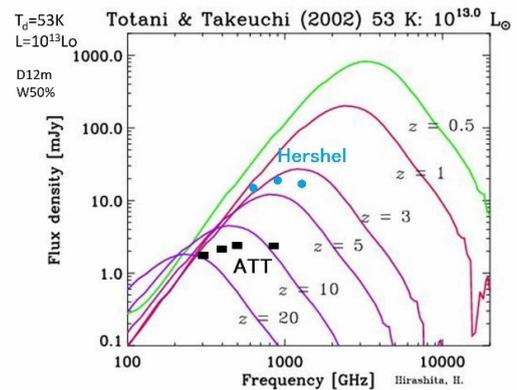


図2 口径12m、南極新ドームふじで冬季50%の条件でのATTの感度。スペクトルは $L_{IR} = 10^{13} L_{\odot}$ の天体を仮定。