

## 超広視野大型光学赤外線望遠鏡「すばる2」による国際共同研究の推進

### ① 計画の概要

本「すばる2」計画は、米国ハワイ州マウナケア山頂に建設された口径 8.2m の大型光学赤外線望遠鏡「すばる望遠鏡」の超広視野・高解像度観測能力を飛躍的に向上させ、国際共同利用・共同研究を行うものである。すばる望遠鏡は、口径 8m 以上の望遠鏡の中で唯一、可視光において 1 平方度以上の超広視野を星像直径 0.4 秒角という高い解像度で観測できる能力を持つ。すばる2は、現行のすばる望遠鏡に対し、可視光分光観測において視野 50 倍・同時分光天体数 20 倍、赤外線観測において視野 10 倍・解像度 2 倍を達成する。このため、「超広視野多天体分光器 PFS」「広視野高解像赤外線観測装置 ULTIMATE」を開発し、すばる望遠鏡に搭載する。すばる2は、これらの新たに獲得した観測能力を駆使し、既設の超広視野主焦点カメラ HSC、近赤外超精密視線速度観測装置 IRD とともに大規模サーベイ観測を中心に国際共同利用・共同研究を行う。



図1. すばる2の概要

すばる2の追求する科学目標は次の4つである。1) 広天域可視撮像・分光観測により暗黒物質と暗黒エネルギーの性質を探索するとともにニュートリノ質量を測定する。2) 広天域赤外線観測によって初期宇宙の始原銀河候補を検出するとともに、広天域可視撮像・分光観測と組み合わせて膨張宇宙における銀河進化の物理過程を理解する。3) 重力波望遠鏡 KAGRA、ニュートリノ検出器スーパーカミオカンデ、ガンマ線望遠鏡 CTA などと連携したマルチメッセンジャー天文学を展開し、それによるブラックホール・中性子星など極限的な環境下の物理を探索するとともに、重元素の起源を解明する。4) 大規模探索を行い、地球型系外惑星候補天体を同定する。すばる2の超広視野撮像分光能力は他の大望遠鏡にはないユニークな特徴であり、2020 年代後半からは超高感度・超高解像度観測を実現する TMT と密接に連携することで、宇宙に対する我々の理解を飛躍的に高める。

### ② 学術的な意義

暗黒物質、暗黒エネルギーは宇宙構造形成の標準模型の本質的な成分であるが、正体は謎であり、その解明は物理学および天文学の最重要課題である。暗黒エネルギーの解明には、現時点で広天域銀河探索が唯一の手段である。暗黒物質の重力による宇宙の構造形成と暗黒エネルギーによる加速膨張は表裏一体の関係にあり、すばる2は宇宙の構造形成を徹底的に調べることで、暗黒物質と暗黒エネルギーの性質を明らかにする。さらに、暗黒物質の一部を担うニュートリノの質量を、世界に先駆けて信頼性高く測定する。

宇宙における物質進化を解明するには、宇宙の構造形成と銀河の形成・進化の関係を明らかにする必要がある。すばる2は広天域可視・赤外線観測によって、暗黒物質・銀河・銀河間ガスの相互の関係を洗い出し、膨張宇宙における銀河形成・進化を徹底的に調べる。また、宇宙の夜明け時代の始原天体候補を多数検出し、その統計的性質を明らかにする。検出された始原天体候補は TMT による超高感度分光観測でその正体を調べ上げ、初期宇宙の研究で日本が世界をリードする。

マルチメッセンジャー天文学は、ブラックホール地平線の特異性、中性子星など極限状況の核物理、重元素の起源など、従来の電磁波観測だけでは解明できない事象に迫る新たな道を拓いた。すばる2は、そのユニークな広視野観測能力を駆使し、KAGRA、スーパーカミオカンデなど日本の主導する最先端の研究施設と連携してマルチメッセンジャー天文学を大きく発展させる。

太陽系外の生命の探査は、生命の起源を解明し人類が自らの起源を理解するために欠かせない。すばる2は、この壮大なテーマに挑む足がかりを得るため、超精密視線速度測定観測によって、地球型系外惑星候補天体を同定する。同定された候補天体を TMT の超高感度・超高解像度観測によって大気組成や生命の徴候の有無などを詳細に調べ、宇宙生物学を展開する。

### ③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

すばる望遠鏡は、TMT、アルマ望遠鏡、ジェイムズ・ウェッブ宇宙望遠鏡 (JWST) などと比較し、はるかに広い視野をもつのが特徴である。すばる2は、さらにこの特徴を磨き、広視野・高感度・高解像度の広天域探索観測を実施する。広天域探索で発見される数多くの興味深い天体・現象は、TMT、アルマ望遠鏡、JWST の詳細観測・多波長観測に独自の候補天体を供給し、天文学の地平線を拡大するための起爆剤として極めて重要な役割を果たす。殊に、すばる2と TMT の組合せは日本の大きな強みとなり、2030 年代の天文学で日本が世界をリードする鍵となる。暗黒エネルギーの解明の重要性から、2020 年代には欧米で広視野の大型地上望遠鏡や宇宙望遠鏡が稼働するが、そのどれも距離精密測定に必要な多天体分光性能を持たない。すばる2の多天体分光能力は極めてユニークであり、すばる2で大規模探索型観測を戦略的に実施することで世界唯一の研究成果を挙げる。すばる2の実現は2020 年代の天文学の必然的な要請であり、日本は天文学における国際共同研究の場で確固たる地位を得て、他では置き換えることができない重要な役割を果たす事ができる。

### ④ 実施機関と実施体制

すばる2の運用は、国立天文台を中核に国際共同で行う。現在、中国、インド、カナダなどと国際共同運用に関する協議を進めている。すばる2の運用をリードする国立天文台ハワイ観測所はTMT日本サイエンスセンターの機能を併せ持ち、ハワイでの望遠鏡運用保守から日本の研究者に対する共同利用支援に至るまですばる2とTMTを一体運用する。

すばる2における観測装置運用・開発は、以下に示す国際協力で役割分担をする。国立天文台は、すばる望遠鏡の維持運用、HSC・IRDの運用、PFSおよびULTIMATE開発・運用の中心となる。

HSCは、機関レベルの合意を国立天文台、プリンストン大学、台湾中央研究院と結んで開発し、運用は国立天文台が行っている。また、アストロバイオロジーセンターおよびハワイ大学は協力してIRDの開発を行い、運用を国立天文台と協力して行っている。HSCとIRDによる大規模観測プログラム（すばる戦略枠プログラム）は、各装置の開発チームを中心に実施しており、適宜研究グループレベルの合意を取りながら研究チームを拡張している。

PFSの開発は、東京大学カブリIPMU（中心機関）、プリンストン大学、台湾中央研究院、他が、それぞれで機関レベル・部局レベル・研究グループレベルの合意を取って協力体制を構築して行っている。すばる望遠鏡への設置後は、開発チームを中心としてPFSを用いたすばる戦略枠プログラムで大規模サーベイを行う。

ULTIMATEは、東北大学、東京大学、台湾中央研究院、オーストラリア国立大学、オーストラリア天文台、カナダ国立研究機関が国立天文台と協力して開発を行う。

### ⑤ 所要経費

10年間のすばる2の総経費は、210億円である。すばる2の年間経費は16億円であり、その内訳は、望遠鏡運用経費約12億円（10年間で総額120億円）、老朽化対応のために約4億円（10年間で総額40億円）である。また、すばる望遠鏡の機能強化には総額50億円（2020年～2027年）必要であり、その内訳は、PFSの設置費用3億円、ULTIMATE開発費用（すばる望遠鏡改造費用込み）47億円である。ただし、これまですばる望遠鏡の大型観測装置の開発は、外部資金でおこなってきた実績があり（HSC：55億円、PFS：80億円、IRD：4億円）、観測装置開発が主となる機能強化費は外部資金等を獲得し実現させる予定である。さらに望遠鏡運用経費については、国際共同運用パートナーから資金獲得を行い、所要経費の削減を目指す。

### ⑥ 年次計画

すばる望遠鏡は、1999年にファーストライトを達成し2000年より共同利用を開始した。2020年代前半にすばる望遠鏡の大幅な機能強化によるすばる2を実現し、国際パートナーを獲得して国際共同運用による共同利用を実施する。TMTとの明確な役割分担のもと、2030年代に至るまで継続的に科学的成果を創出する。2020年までに事務機能、広報などはTMTと完全に一体化する。TMTの望遠鏡据付開始（2022年）時期からは、すばる望遠鏡の運用・装置開発要員をTMT建設に段階的に配置していくことにより、人材活用と人材育成を同時に進めるとともに、運用経費の有効活用をはかる。TMTの共同利用開始からは、すばる2とTMTの共同利用を一括して推進する体制に完全に移行する。

東京大学カブリIPMUが中心となって開発中のPFSは、2020年にすばる望遠鏡への装着を完了し、調整試験を経て、2022年から科学運用を行う。科学運用開始直後から2027年頃まで300夜以上の観測時間を投入するすばる戦略枠プログラムを走らせる。超広視野多天体分光器PFSの開発はほぼすべて外部資金によって行い、すばる望遠鏡への設置やデータ解析ソフトウェアの開発を国立天文台が実施する。広視野高解像赤外線観測装置ULTIMATEについては、カナダ、オーストラリア、台湾などと協力して、次世代広視野補償光学システムを早期に実現し、2026年の観測開始を目標とする。2027年からULTIMATEを用いたすばる戦略枠プログラムを開始し、2031年頃までに大規模なサーベイ観測を行う。ULTIMATEもPFSと同様、外部資金等を獲得することを目指す。そして、両装置の開発および運用を通じて、研究者・技術者の人材育成を行う。これらと並行して、研究員制度やサバティカル制度など、若手研究者が研究に集中できる環境を整える。

### ⑦ 社会的価値

すばる望遠鏡は、世界第一線級の学術研究施設として国民に広く知られており、関心・理解も極めて高い。すばる望遠鏡の科学成果は新聞・テレビなどを通じて広く報道されて大きな注目を集め、すばる2の基盤である超広視野・高解像度という特長が国内外で一層浸透してきている。知的共有財産としての観測データを手軽に閲覧できるビューアーを一般に公開するなど、すばる望遠鏡は教育現場やシチズン・サイエンス活動を刺激・活性化する存在ともなっている。一方で、HSC搭載用の超高感度CCDカメラ開発で培われた技術は、医療用X線カメラにも応用されその感度向上につながっている他、スペースガード用カメラを開発提供しており、国民の安全・安心に貢献している。HSCから生み出される大量のデータはビッグデータであり、機械学習、AI、大規模データベース開発などデータサイエンス・情報処理技術の開拓にも寄与している。

日本が主導する国際共同研究によって宇宙進化の根源的な謎に迫るすばる2計画は、日本の科学の「フラッグシップ」であり、国民の基礎科学に対する理解の増進、さらには教育・産業基盤の発展に大きく貢献するものである。

### ⑧ 本計画に関する連絡先

吉田 道利（自然科学研究機構国立天文台）

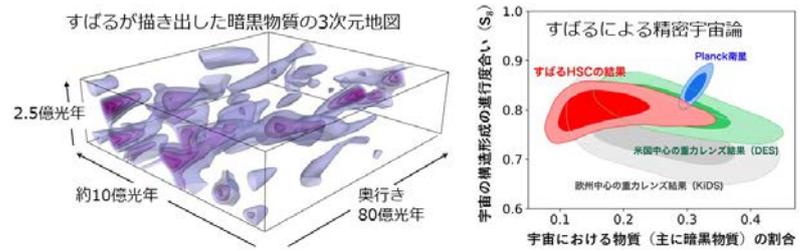


図2. すばるの超広視野観測によって描き出された暗黒物質の3次元地図（左）と宇宙論パラメータ（右）。すばる2では機能強化によりさらなる超広視野観測を行い、より詳細・精密な測定を行う。