



人類は古代から宇宙のなりたちを理解しようと努めてきました。世界の神話には古代の人類が想像をした様々な宇宙の姿が描かれています。その後時代とともに人類は少しずつ科学的な方法で宇宙の姿を調べ始めました。ギリシア時代、エラトステネスは地球が丸いとしてその円周の長さを計算しました。16世紀、コペルニクスは地動説で太陽系の惑星の運動が説明できることを示しました。しかしながら、宇宙にはまだまだ人類の想像を超えた驚きが隠されていました。20世紀初頭、ハッブルとルメートルは、宇宙が膨張していることを発見しました。膨張をさかのぼると、宇宙はかつて高温高密度の火の玉の状態（ビッグバン）だったはずで、実際1964年にはビッグバンの名残の電波が受信できました。20世紀終わりになって、さらに、宇宙膨張のスピードは、現在どんどん速くなっていることがわかり、正体不明の加速のエネルギー源はダークエネルギーと呼ばれています。

ビッグバンの後、銀河がどのように生まれ、進化し、現在の姿となってきたのか、銀河の中で恒星や惑星はどのように生まれ、進化し、また物質が輪廻しているのか、生命を宿せる環境を持つ惑星はどのくらい存在するのか、ブラックホールの周辺の高密度環境での物理現象はどのようになっているのか、ダークマターやダークエネルギーの正体は何か等、宇宙の謎はつきることがありません。

国立天文台では、最先端の大型観測設備や大型計算機を駆使し、日本と世界の研究者の皆さんと宇宙の多くの謎に挑んでいます。このパンフレットで、その概要を皆さんにお伝えいたします。

# 宇宙の 謎に 挑む

Exploring  
the Mysteries  
of the Universe



国立天文台長

土居 守

DOI, Mamoru

# Subaru Telescope

すばる望遠鏡

## 宇宙を広く深く見渡す目

すばる望遠鏡には、世界でここにしかないユニークな観測装置群が装備されており、オリジナルな研究成果がつぎつぎと生み出されています。このような定常観測で使われる装置に加え、実験的な要素を持つ装置にも門戸を開いています。ぜひ、すばる望遠鏡を存分にご活用していただき、新しい研究や、TMTなど将来の望遠鏡のための装置開発を目指してください。

ハワイ観測所長

宮崎 聡

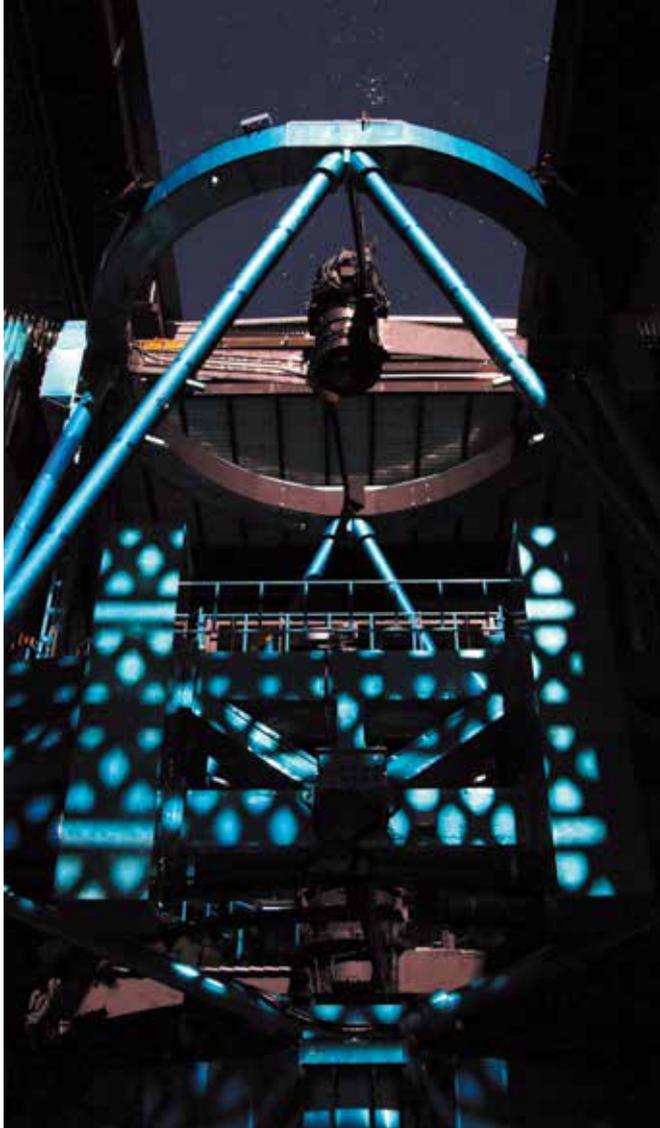
MIYAZAKI, Satoshi

すばる望遠鏡はハワイ島マウナケア山頂域に設置された国立天文台の光学赤外線望遠鏡で、世界最大級の口径8.2メートルを誇ります。その能力を極限まで引き出し星空を広く深く見渡す目で宇宙の構造の起源に迫ります。

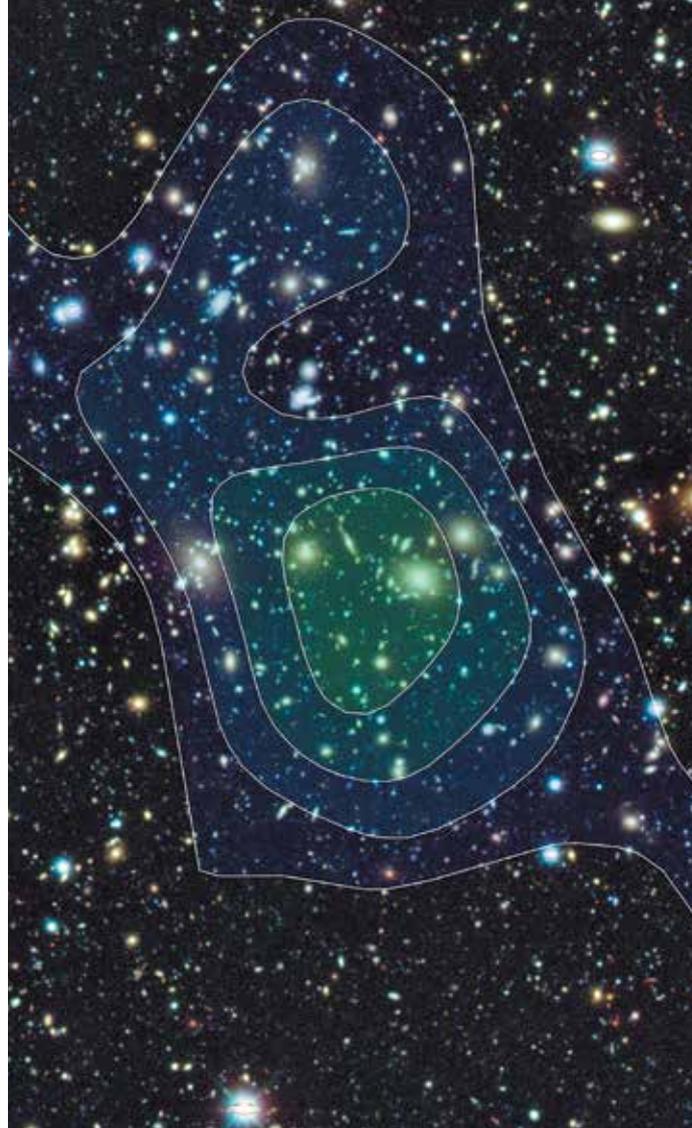


●すばる望遠鏡は、ハワイ島マウナケアの標高4,139mの場所に設置されています。快晴の日が多く、貿易風と熱帯逆転層の影響で気流が安定していることもあって、天文学観測には世界で最も適した場所のひとつです。マウナケアには世界有数の望遠鏡が設置されており、最先端観測天文学の一大集積地といえます。1999年のファーストライト（望遠鏡に初めて天体の光を入れること）

から20年以上にわたる運用によって、すばる望遠鏡は日本の天文学を強力に牽引してきました。2023年末時点での総論文数2,882本、博士論文186本という数値が、日本の天文学への貢献の大きさを物語ります。また教科書や様々なメディアにたびたび登場し、日本の科学研究のひとつのシンボルとして、社会にも広く受け入れられています。



月の光に照らされるすばる望遠鏡。望遠鏡上部中央（主焦点）には、巨大なデジタルカメラ「超広視野主焦点カメラ（Hyper Suprime-Cam / ハイパー・シュプリーム・カム：HSC）」が取り付けられています。1平方度以上の広視野が得られる主焦点にカメラを取りつけることで、満月9個分の視野を一度に撮影することができます。



すばる望遠鏡・超広視野主焦点カメラで撮影した深宇宙の一角。銀河を飛び出した光は、ダークマターの重力によってわずかに進行方向が曲げられるため、銀河の形がゆがんで見えます。その形のゆがみをすばる望遠鏡で測定し、見えないダークマターの分布を明らかにします。画像内の等高線は、こうして明らかになったダークマターの分布を表しています。

## すばるが挑むサイエンス 01

### 宇宙に満ちるダークマター・ダークエネルギーの謎に迫る

宇宙には正体不明の「ダークマター（暗黒物質）」が満ちており、また未知の「ダークエネルギー（暗黒エネルギー）」によって宇宙は加速的に膨張しています。重力によって物質を集め天体を作るダークマターと宇宙を膨張させるダークエネルギーは表裏一体の関係にあり、宇宙の成り立ちを理解するにはダークマター・ダークエネルギーの性質を知る必要があります。

そのためのひとつの方法は、重力を使うことです。重力によって光が曲がる現象（重力レンズ）を利用して、ダークマターの分布を知ることができます。この観測に、すばる望遠鏡の超広視野観測能力が威力を発揮します。8億7千万画素を誇る超広視野主焦点カメラを使って膨大な数の銀河を撮影し、銀河の形のゆがみを精密に測定すること

で、ダークマターの3次元的な分布を描きます。また、一度に約2,400天体を分光できる超広視野多天体分光器で銀河の距離を測定し、ダークマターの3次元分布を高い精度で求めます。さらに、銀河とダークマターの3次元分布を理論的な構造形成・宇宙膨張モデルと比較することで、ダークマターとダークエネルギーの性質を明らかにしていきます。



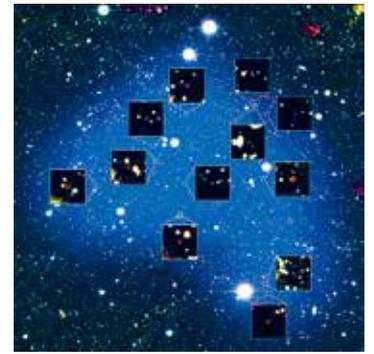
すばる望遠鏡・超広視野主焦点カメラで捉えた銀河団エイベル1689。銀河団の重力によって、より遠方にある銀河からの光が曲げられ、銀河の像が細長く引き伸ばされています（撮影：すばる望遠鏡・超広視野主焦点カメラ）。

## すばるが挑むサイエンス 02 銀河の誕生と進化の謎に挑む

超広視野かつ高感度で宇宙の広い範囲を見渡すことが得意なすばる望遠鏡は、これまで多数の超遠方天体を発見してきました。より多くの超遠方天体を発見し宇宙初期の銀河の様子を探るため、超広視野カメラの観測データを用いた大規模探査が行われました。さらに、新たに開発された超広視野多天体分光器を用いて、発見された個々の銀河の性質や距離などを精密に調べ、銀河の進化の謎を解き明かします。

遠い宇宙からやってくる光は、宇宙の

膨張によって波長が引き伸ばされます。可視光より波長の長い赤外線を観測すれば、より遠くの天体を見ることが可能になります。2020年代後半の完成を目指して現在開発中の、広視野高解像赤外線観測装置が稼働し始めると、宇宙最初期の生まれたばかりの銀河を多数発見することが期待されています。発見された天体をアルマ望遠鏡やTMTで分光観測することで、初代銀河を構成する星の誕生時期や誕生した星が周囲の環境に与える影響を明らかにし、銀河誕生の謎に迫ります。



すばる望遠鏡・超広視野主焦点カメラで発見された、観測当時最も遠方にある原始銀河団z66OD。画像のなかで、原始銀河団のメンバー銀河を四角で囲って強調表示しています。この銀河団までの距離は129.7億光年です。

## 「すばる2」で スーパーすばるにパワーアップ！

新時代の主力観測装置で天文学に新たな地平を切り拓くプロジェクト「すばる2」が2022年に始動しました。

## すばるが挑むサイエンス 03 地球型の太陽系外惑星を見つけ出す

今や、太陽系外に発見された惑星の数は5,000個を超えます。すばる望遠鏡は、こうした太陽系外惑星の観測にも力を発揮してきました。地球大気の揺らぎを補正して、星像をシャープにする「補償光学」という技術を用いて、太陽系外惑星の観測に挑んでいます。すばる望遠鏡はその高い感度を活かし、2013年にはそれまでで最も暗い惑星の直接撮影にも成功しました。

太陽系外惑星の中でも今注目されているのは、地球と同じような大きさを持つ地球型惑星です。比較的小さな惑星である地球型惑星を直接撮影することは、

8m級の望遠鏡では困難です。しかし、惑星の公転運動によって中心の星がふらつくことを利用し、超高精度の分光観測によって星のふらつきを測定することで小さな惑星を発見することができます。すばる望遠鏡ではこの観測が可能で視線速度を超精密に測定できる赤外線ドップラー装置を搭載し、地球型惑星の探査を進めています。発見された地球型の太陽系外惑星の大気成分をTMTによって分析し、生命の兆候の有無を調べることで、宇宙生物学を展開することができます。(16ページ参照)

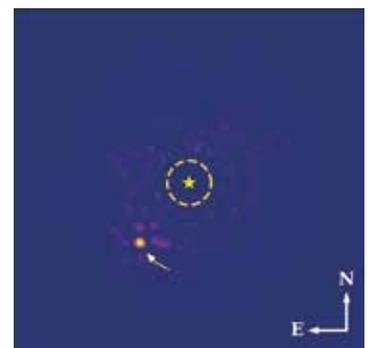
### PFS がいよいよ始動！



超広視野多天体分光器（Prime Focus Spectrograph：PFS）は、すばる望遠鏡の主焦点に設置する分光装置です。直径1.3度の超広視野の中にある天体を一度に最大2,394個も分光観測することができます。画像は、すばる望遠鏡のドーム内に敷設された分光器の1台目（上）と、超広視野カメラの補正レンズとともに望遠鏡主焦点に搭載される主焦点装置（下）です。（PFSプロジェクト提供）

すばる望遠鏡の極限補償光学システムを用いて撮像された、太陽系外惑星HIP 99770 b（左下の点）。

Credit: T. Currie/Subaru Telescope, UTSA



# ALMA

Atacama Large Millimeter/submillimeter Array

アルマ望遠鏡

## 宇宙と生命の起源を探究する 電波の目

アルマ望遠鏡は、これまでよりも性能を格段にアップさせて、地球のような惑星はどのように誕生するのか、惑星誕生時に生命素材物質がどのように集まってきたのか、さらに、物質のもとである元素が宇宙でいつどのようにできてきたのかという謎に挑み、"In Search of Our Cosmic Origins"を掲げて、新しい科学の扉を開いていきます。

アルマプロジェクト長

井口 聖

IGUCHI, Satoru



アルマ望遠鏡は、国立天文台と米欧他の国際協力でチリ・アタカマ高地に設置された世界最高性能の電波望遠鏡。66台のアンテナを組み合わせると一つの巨大な電波望遠鏡を構成し、光では見ることのできない宇宙を電波観測で明らかにします。

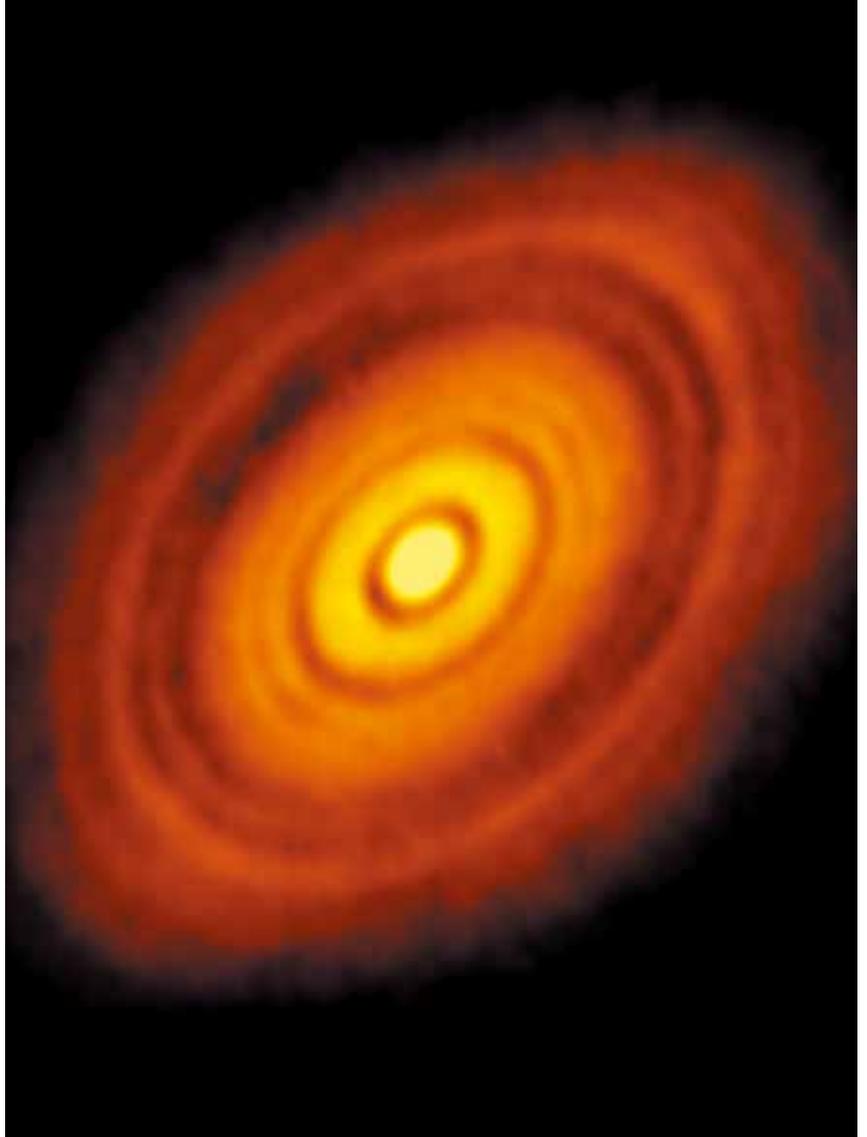


●アルマ望遠鏡が置かれているのは、チリ北部のアタカマ砂漠。世界で最も乾燥している場所のひとつといわれるアタカマ砂漠の、さらに標高5,000mという環境の厳しい場所にアルマ望遠鏡は建設されました。アルマ望遠鏡がキャッチする電波（波長が1mm前後の「ミリ波・サブミリ波」）は水蒸気に吸収されやすいため、観測するには極めて乾燥した場所が必要でした。さらに、66台のアンテナを展開

する広い台地も必要です。日本の研究者は、1990年代初頭から欧米の研究者と一しょに巨大電波望遠鏡の建設適地を探し回り、現在アルマ望遠鏡が立つ地を見出しました。現在、日本と台湾、韓国からなる東アジア、アメリカとカナダからなる北米、そして欧州南天天文台加盟国と建設地のチリ、あわせて22の国と地域が手を取り合ってアルマ望遠鏡を運用しています。



たくさんのパラボラアンテナからなるアルマ望遠鏡。砂漠の強い日射や温度変化を受けても性能が保てるよう、各国の技術の粋を集めて開発されました。画像は、アルマ望遠鏡のアンテナ群と背後に立ち上る南天の天の川。(Credit: Y. Beletsky (LCO)/ESO)



アルマ望遠鏡が撮影した、年齢100万歳未満の若い星おうし座HL星を取り巻く塵の円盤。この星のまわりには、幾重にも塵のリングが取り巻いています。その暗い隙間では、電波を発する塵が少ないと考えられます。そこにはもう惑星ができていて、その重力によって塵が掃き寄せられて隙間ができている、と考える研究者もいます。Credit: ALMA (ESO/NAOJ/NRAO); C. Brogan, B. Saxton (NRAO/AUI/NSF)

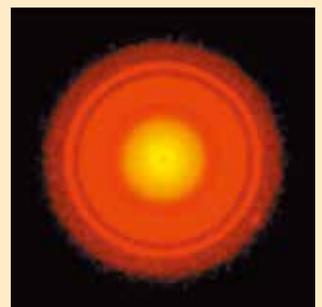
## アルマが挑むサイエンス 01

### 星と惑星誕生の謎に迫る

夜空の中には、生まれたての星や成長途中の惑星が潜んでいます。こうした星や惑星の材料となるのは、星々の間にただよう薄いガスや塵の雲です。この雲が次第に濃く集まり、その中心部で星や惑星が生まれるのです。生まれたばかりの星たちは、その母体となった雲の中に隠れていて、目に見える光（可視光）では観測することができません。しかし電波は、ガスや塵の雲を通り抜けてやってきます。アルマ望遠鏡はこの微弱な電波を捉え、星や惑星誕生の謎に迫ろうとしています。

年齢数十万歳～1,000万歳ほどの若い星のまわりには、ガスや塵が円盤を作って回っています。これ

が惑星誕生の現場、原始惑星系円盤です。アルマ望遠鏡の高い解像度によって、原始惑星系円盤にはリング構造を持つもの、他に、渦巻きや三日月の形に塵が分布しているものもあることがわかってきました。惑星誕生現場を克明に描き出すことで、私たちの太陽系や宇宙にある様々な惑星系の誕生のしくみに迫りつつあります。



アルマ望遠鏡で撮影された若い星うみへび座TW星の原始惑星系円盤。Credit: ALMA (ESO/NAOJ/NRAO), Tsukagoshi et al.

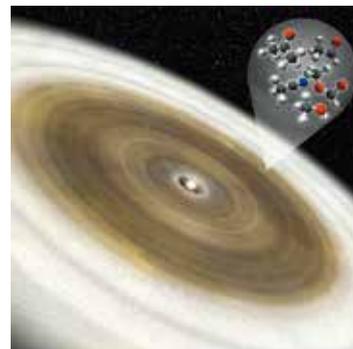
## アルマが挑むサイエンス 02

### 生命の起源につながる物質を宇宙に探す

アルマ望遠鏡は、宇宙に漂う様々な物質が放つ電波を捉えることができます。特に研究者が注目しているのが、生命の起源にもつながる有機分子です。若い星のまわりの惑星が作られる現場には、どのような分子が分布しているのでしょうか。生命の種になりうる有機分子は、そこに存在するのでしょうか。

アルマ望遠鏡は、生まれたばかりの星のまわりで複雑な有機分子や糖類分

子を発見しました。さらに、原始惑星系円盤の中で、アルコール分子がどのように分布しているかも明らかにしました。若い星のまわりで惑星ができるまでの数千万年の間に化学反応が進展すれば、どれくらい複雑な分子まで作られるのでしょうか。アルマ望遠鏡は、一度に多くの種類の分子を捉える新しい観測機能の実現などを通じて、宇宙における生命の材料物質の進化に迫ろうとしています。



アルマ望遠鏡は、若い星を取り巻く原始惑星系円盤を観測し、メタノールやアセトアルデヒドなど様々な有機分子を発見しました。惑星誕生現場における有機分子の研究は、生命の起源に迫る手がかりを与えてくれます。

## 22の国と地域が協力する唯一無二のアルマ望遠鏡が宇宙観を一新!



国立天文台が開発したアルマ望遠鏡の受信機。左から、バンド4（ミリ波、受信周波数 125～163 GHz）・バンド8（サブミリ波、385～500 GHz）・バンド10（テラヘルツ波、787～950 GHz）。★01

## アルマが挑むサイエンス 03

### 宇宙誕生初期における形成直後の銀河を探る

私たちは数千億の星が集まった天の川銀河に住んでおり、同じような銀河は宇宙に数千億個以上もあります。銀河は、いつごろどのように生まれ、どのように成長してきたのでしょうか。この謎に答えるためには、100億年以上昔、つまり100億光年以上彼方のはるか遠方の宇宙を調べる必要があります。

アルマ望遠鏡は、地球から132億8千万光年の距離にある銀河MACS1149-JD1に酸素を検出しました。酸素が検出された銀河としては観測史上最遠、つまり最古の

ものでした（2018年の研究発表当時）。酸素はビッグバン直後には宇宙に存在せず、星の中の核融合反応で作られ星の死によって宇宙にまき散らされたものです。つまり酸素の検出は、それ以前にたくさんの星が生まれ、死んでいったことを示しています。今回の発見から、この銀河では宇宙誕生後およそ2億5千万年ごろから活発に星が作られ始めたことがわかりました。アルマ望遠鏡は、今後も宇宙初期の銀河誕生の時代に深く切り込んでいきます。

初期宇宙、つまり超遠方の銀河から届く光は、宇宙の膨張によってその波長が引き伸ばされます。銀河MACS1149-JD1に含まれている酸素が放ったのは赤外線でしたが、地球に届くまでの間に波長が伸び、電波となってアルマ望遠鏡に捉えられました。その波長の伸び方から、天体までの距離を正確に測定することができます。★02



★01 : ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)

★02 : ALMA (ESO/NAOJ/NRAO), NASA/ESA Hubble Space Telescope, W. Zheng (JHU), M. Postman (STScI), the CLASH Team, Hashimoto et al.

# TMT (Thirty Meter Telescope)

## 30メートル望遠鏡

### 太陽系外の 生命の星を見究める目

TMTには、すばる望遠鏡やケック望遠鏡等で培われた大型望遠鏡構造や主鏡分割鏡など、世界中の優れた技術が活かされています。これにより現在素晴らしい成果を上げているジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡を5倍も上回る解像度が実現され、従来の望遠鏡の数倍以上の感度で天体を観測できます。TMTで得られる素晴らしい成果をご期待ください。

TMTプロジェクト長

臼田知史

USUDA, Tomonori

TMT (Thirty Meter Telescope) は、ハワイ島マウナケア山頂域に国際協力で建設を予定している光学赤外線望遠鏡です。直径30 mの主鏡により、可視光赤外線域では人類未踏の高解像度と高感度を実現し、生命の存在する太陽系外惑星を探ります。



マウナケアに建つTMTの完成予想図。直径30mの鏡を活かした高い感度と高い解像度で、同じマウナケア山頂域にあるすばる望遠鏡等と協力して宇宙の謎に迫ります。



日本で製作された主鏡分割鏡の試作品の中央部の拡大画像。全体は六角形状です。鏡材の下に見えるのは、主鏡の形状を精密に制御するための支持機構。実際に鏡にする際には、表面に銀のコーティングを施します。



## TMTの建設計画

すばる望遠鏡

口径30mの巨大望遠鏡をハワイ島に建設するTMT計画には、日本、米国、カナダ、インドの4か国が参加しています。2014年に建設を担うTMT国際天文台を設立し、各国の分担を決めました。日本は国立天文台が実施機関となり、望遠鏡本体構造の設計と製作、主鏡用鏡材すべて（交換用と合わせて分割鏡574枚分）の製作と、その一部（175枚）の研磨という望遠鏡建設の重要な部分を担うほか、赤外線で最高の解像度・感度を達成する装置を国際協力で製作しています。また国内外の大学・研究機関と協力して、多彩な観測性能を持つ装置の設計・開発やそれらを用いた観測計画の検討を進めています。

TMT建設地

ハワイ島マウナケア山頂域のTMT建設地とすばる望遠鏡ほか天文台群  
マウナケア山頂域は天候が安定しシャープな画像が得られることから、世界各国の大型望遠鏡が立ち並んでいます。TMTはすばる望遠鏡から1kmほど離れた場所（標高4,012m）に建設される予定で、他の超大型望遠鏡建設予定地に比べて標高が1,000m以上高いことなどにより、特に赤外線や紫外線での観測条件が抜群です。

## TMTが挑むサイエンス 01

### 地球に似た環境の惑星を探し、生命の兆候に迫る

太陽以外の星のまわりの惑星が次々と検出され、太陽系に似た惑星系や地球型の惑星も見つかっています。TMTは、従来の望遠鏡を凌駕する解像度と感度を活かして、これまで実現できなかった太陽系外惑星の観測に挑みます。大きな目標は、生命の存在可能性がある領域（ハビタブルゾーン）に地球型惑星を撮影し、そこに生命が存在する証拠を捉えることです。地球型惑星は小さく暗いため、従来の望遠鏡では直接撮影できていませんでした。高い解像力と感度を持つTMTによって初めて地球型惑星を直接撮影し、惑

星表面で反射した光を分光観測することが可能になります。

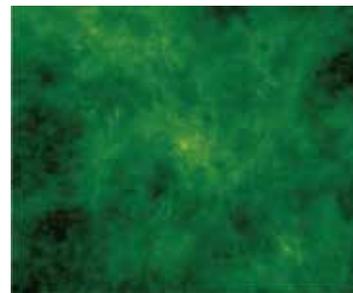
また、地球から見た時に惑星が中心星の前を横切るような軌道を持っている場合、惑星の大気を通り抜けてくる中心星の光を分光観測することができます。こうした観測によってTMTは、地球上にあるのと同様の植物が惑星表面に存在した場合に見える特徴的な色や、光合成によって作られる酸素やオゾン、さらには生物由来の有機分子を検出する能力を備え、人類が未知な宇宙における生命の普遍性に迫ります。

## TMTが挑むサイエンス 02

### 宇宙に誕生した「最初の天体」の姿を解き明かす

宇宙で最初の星と銀河がいつ、どのように誕生したのか。それを明らかにすることが現代天文学の大きな課題のひとつです。アルマ望遠鏡などによるこれまでの研究から、宇宙誕生後2~3億年ごろに生まれた最初の星たちの痕跡が見つかっていますが、実際にそれらの光を捉えることはできていません。TMTは、その30mという圧倒的な大口径がもたらす高い感度により、宇宙で最初に輝いた星たちの光を捉えることを目指します。

宇宙最初の星たちは非常に明るく輝き、一生を終える際の超新星爆発で水素やヘリウムより重い元素を周囲にまき散らし、その後の宇宙の進化に大きく影響を与えたと考えられます。TMTは初代星たちの光を捉え、こうした星たちが作られた時期を直接特定するとともに、初代星たちの光や超新星爆発が、その後の銀河形成と宇宙の進化にどのような影響を及ぼしたのかを明らかにします。



宇宙で最初の星の誕生を描いたコンピュータシミュレーション画像。これを捉えることがTMTの大きな目標のひとつです。

提供：吉田直紀



日本が製造を分担する主鏡分割鏡材には、熱膨張率がほぼゼロの特殊なガラスを使い、2024年までに356枚が製造されています。

Credit: NAOJ/OHARA

## 30mの巨大な目 TMTが、宇宙の根源的な謎に挑む

## TMTが挑むサイエンス 03

### ダークエネルギーによる宇宙膨張の変化を直接捉える

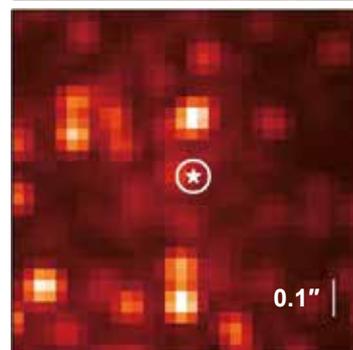
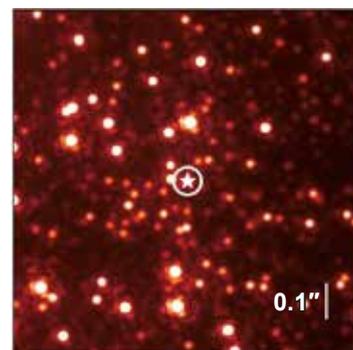
宇宙の膨張速度は、重力によって徐々に減速すると思われていましたが、ハッブル宇宙望遠鏡やすばる望遠鏡などの観測により、現在の宇宙は加速膨張していることが次第にはっきりしてきました。ダークエネルギーは、この加速膨張を説明するために考えられた「反発する力」の効果を持つエネルギーですが、その正体はわかっておらず、現代物理学における最大の謎のひとつとなっています。

ダークエネルギーの謎に迫るには、宇宙膨張が時間とともにどのように変

化しているかを調べ、ダークエネルギーの性質を理解する必要があります。様々な距離にある遠方の銀河の赤方偏移を測り、それが、例えば10年後の観測でどれだけ変化するかを測定できれば、宇宙の膨張がどの時代にどの程度加速しているか、あるいは減速しているかを直接知ることができます。そのような高精度の観測は、高い集光力と感度を持つTMTによって初めて実現の可能性が出てくるもので、ダークエネルギーの性質を知る手がかりを得られると期待されています。

銀河中心をTMTで観測した場合(上)とジェイムズ・ウェッブ宇宙望遠鏡で観測した場合(下)を比較したシミュレーション画像。TMTはジェイムズ・ウェッブ宇宙望遠鏡を5倍上回る解像度を実現します。中央の星印は銀河中心の巨大ブラックホールの位置を表します。

Credit: University of California, San Diego/IRIS

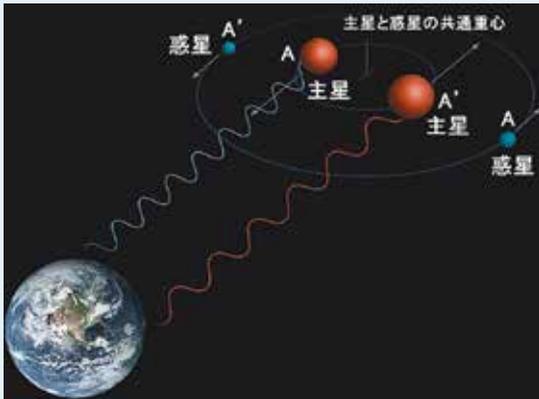


# すばる・アルマ・TMTの連携観測

## ①宇宙に生命を探す

●続々と発見される太陽系外惑星とその誕生現場である原始惑星系円盤。これらを詳細に観測し、宇宙に生命を発見することが21世紀

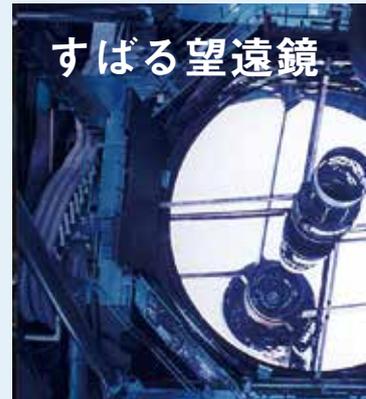
天文学の最大の目標です。「すばる」「アルマ」「TMT」の連携は、この「生命探し」の最適な探査システムを構成します。



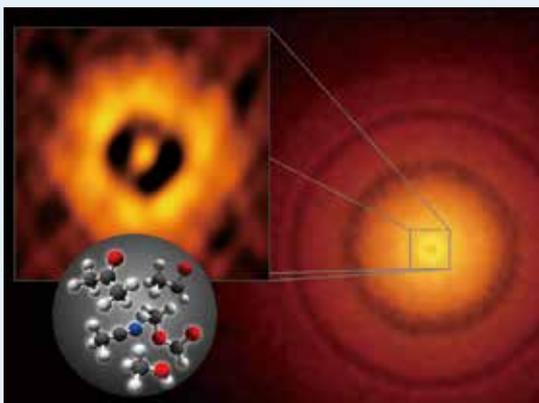
### 生命を育む 太陽系外惑星をキャッチ

すばる望遠鏡は、惑星が公転することで中心の星がふらつく様子を高精度分光観測で捉え、地球と同じくらいの重さの太陽系外惑星を探します。

惑星の公転運動に伴って中心星もわずかに移動します。この時、地球から近づいたり遠ざかったりする運動が引き起こす光のドップラー効果を分光観測によって検出して、惑星を間接的に発見します。



すばる望遠鏡



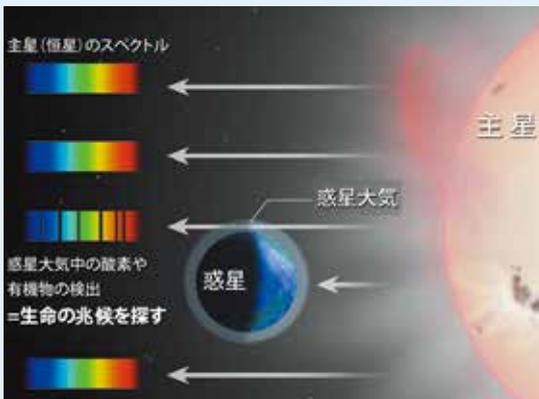
### 生命を創る 有機分子をキャッチ

アルマ望遠鏡は、その高空間解像度と高感度を駆使して、生命のゆりかごとしての惑星の形成現場、そして生命の材料となる有機分子の観測に力を注いでいます。

アルマ望遠鏡が撮影した、若い星うみへび座TW星を取り巻く原始惑星系円盤。中心星の近くには、地球軌道と同程度の半径を持つ隙間（拡大画像）も捉えられました。アルマ望遠鏡はこのような惑星系誕生現場で、有機分子からの電波をキャッチします。★01



アルマ望遠鏡



### 生命の兆候をキャッチ

TMTでは、すばる望遠鏡で見つけた惑星系をターゲットに、反射光および透過光の超高精度分光観測を行って惑星の大気を詳細に調べ、生命の兆候の発見に挑みます。さらに、アルマ望遠鏡による惑星誕生現場での生命の材料物質の知見と組み合わせることで、生命の起源に迫ります。

太陽系外惑星の大気分光観測から酸素や有機物が見つれば、生命が存在する可能性が高まります。左図は透過光観測のイメージ。



TMT

Credit: ★01 S. Andrews (Harvard-Smithsonian CfA), ALMA (ESO/NAOJ/NRAO) ★02 ALMA (ESO/NAOJ/NRAO), NASA/ESA Hubble Space Telescope, W. Zheng (JHU), M. Postman (STScI), the CLASH Team, Hashimoto et al.

## ③宇宙に満ちるダークマター・ダークエネルギーの観測に挑む

●ここまで国立天文台のおもな観測施設「すばる」「アルマ」「TMT (建設中)」の概要を紹介してきました。3つの望遠鏡は、それぞれの観測分野で世界最高の性能を誇りますが、さらにこの3つが、その長所を十二分に発揮しあい、巧みに役割分担をしながら、密接に連携して共通の観測テーマや科学目標にその

力を結集したとき、現代天文学の課題のみならず、私たちの宇宙観や自然観を大きく変革するような歴史的な発見につながる可能性も高まります。国立天文台はそのような長期的視点から3つの望遠鏡の有機的かつ効率的な整備・運用を行ってまいります。ここでは具体的に3つの連携テーマを見てみましょう。

## ②宇宙の一番星を探す

●宇宙の構造と進化を研究する上で現代天文学の最大の課題のひとつが、超遠方にある宇宙で最初に生まれた星(天体)の正体を突き止

めることです。この「宇宙の一番星探し」も「すばる」「アルマ」「TMT」の連携観測のメインターゲットです。



### 超遠方天体を効率よく探す

すばる望遠鏡は、超広視野主焦点カメラを使ったサーベイ観測によって、超遠方の天体を探し出し、アルマ望遠鏡やTMTによる詳細な観測への橋渡しをします。

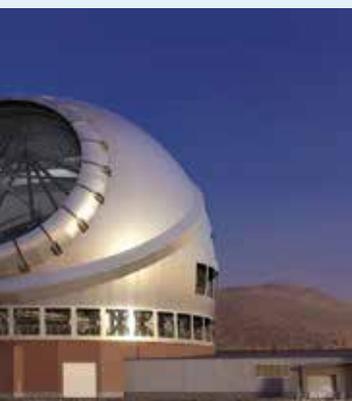
すばる望遠鏡の超広視野主焦点カメラで撮像された遠方宇宙の無数の銀河。鮮明な画像によりその分布や形状を捉え、さらに現在開発中の超広視野多天体分光器により正確な距離を得ることができます。



### 超遠方天体の化学組成を探る

アルマ望遠鏡は、すばる望遠鏡が発見した超遠方天体候補を高感度で観測し、そこに含まれる原子が放つ電波を捉えることで化学組成を明らかにします。これを手がかりに、宇宙初期の銀河の進化に迫ります。

アルマ望遠鏡が観測した銀河 MACS1149-JD1の酸素の存在を示す擬似カラー画像(緑のイメージ)。132億8000万光年の距離にある銀河です。★02



### 宇宙の最初の星を見つける

TMTは、すばる望遠鏡が撮影した超遠方天体候補を高感度分光観測し、宇宙の最初の星々に特有のヘリウム原子などが出す光を検出し、初代星の誕生時期とその性質を明らかにします。

宇宙で最初の星の誕生の様子を示したコンピュータシミュレーション画像。宇宙最初の星の理論研究の成果を観測で検証することも重要なテーマです。★04



★03 ESO/B. Tafreshi (twanight.org) ★04 吉田直紀

●ダークマターとダークエネルギーは、宇宙の加速膨張と天体形成を担う重要な役割を果たすにもかかわらず、その正体はまったくの謎です。すばる望遠鏡は、超広視野撮影による重力レンズ現象の観測をもとにダークマターの広域3次元分布を解き明かします。一方でアルマ望遠鏡は、高解像度を活かして個々の銀河の回転速度を測り、銀河内のダークマターの分布を明らかにします。これらを合わせることで、数万光年から数十億光年

にわたる幅広いスケールでダークマターの性質をつかみます。ダークエネルギーについては、すばる望遠鏡により解明されつつあるダークマターの分布を調べることで、宇宙膨張にダークエネルギーが果たした役割を明らかにします。一方、TMTは10年ほどの間隔において遠方天体を分光観測し、銀河間ガスによる光の吸収の変化から宇宙膨張の変化を直接捉えることで、ダークエネルギーの性質について直接の手がかりを得ます。

# 科学研究部

国立天文台は、すばる望遠鏡やアルマ望遠鏡、TMTなど最先端の観測装置を運用するだけでなく、これらを活用した天文学の研究も推進しています。国立天文台科学研究部は、その強力なエンジンです。

現代天文学の研究対象は、宇宙の過去から未来、宇宙論から恒星・惑星まで、時間と空間のあらゆるものに広がっています。それに応じて、広範囲な電磁波さらに電磁波以外の観測手段が開拓され観測天文学が発展してきました。また、紙と鉛筆の理論天文学もスーパーコンピュータの中で天体を再現して研究する天文シミュレーションによって発展しています。

天文学研究は新たな時代を迎え、すばる望遠鏡やアルマ望遠鏡など最新の観測

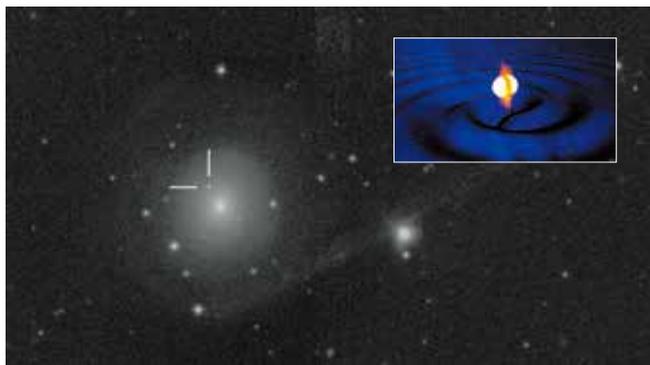


科学研究部の目指す様々な手法を用いた総合的な天文学のイメージ。

装置から得られる観測結果を理論研究により解釈しその本質を理解する理論観測融合、電磁波とそれ以外のメッセンジャーを組み合わせ重力波源天体などの正体を解き明かすマルチメッセンジャー天文学、X線、可視赤外線、電波を組み合わせた多波長天文学などが急速に進歩しています。

科学研究部は、現代天文学のあらゆる研究対象を、従来の天文学研究の手法に加えて、理論観測融合、マルチメッセンジャー天文学、多波長天文学といった新しい手法を用いて研究する部門です。

## 「マルチメッセンジャー天文学」の推進

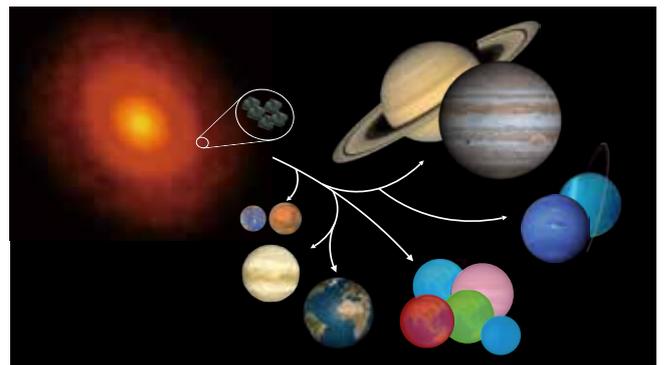


2017年に観測された重力波源GW 170817の電磁波対応天体（撮影：すばる望遠鏡超広視野主焦点カメラ）と中性子星の合体にともなう重力波発生時のイメージ（右上）。

20世紀前半まで、人類が天体を調べる手段はほぼ可視光に限られていました。20世紀後半に入って、天体からの電波やX線、赤外線や紫外線が捉えられるようになり「多波長天文学」が天体現象の解明に大いに力を発揮しました。光学赤外線望遠鏡の「すばる」と電波望遠鏡の「アルマ」との連携観測などはその一例です。

そして現代では、電磁波以外のニュートリノや重力波による天体の情報が加わりました。例えば、2017年には米国の重力波望遠鏡LIGOにより、史上初めて中性子星どうしの合体現象からの重力波が観測されました。その光学観測がすばる望遠鏡等により行われ、スーパーコンピュータ「アテルイ」のシミュレーション予測との比較によって、ランタノイド、金やプラチナのような重い元素の起源が初めて明らかとなりました。これが新しい天文学「マルチメッセンジャー天文学」です。科学研究部は、すばる、アルマ、大型低温重力波望遠鏡「KAGRA」などの国立天文台の運用する最先端の観測装置、スーパーコンピュータを活用し、マルチメッセンジャー天文学のさらなる飛躍に貢献します。

## 太陽系外惑星の探査とその多様性の解明



原始惑星系円盤（左上：アルマ望遠鏡による画像 Credit: L. Cieza et al.; ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)）と小物体から、太陽系や多様な太陽系外惑星へと進化する様子。

20世紀末に太陽系外で初めて惑星が発見され、これにより人類は自分たちの惑星系以外にも惑星が存在することを確認しました。現在では、5000個以上の太陽系外惑星が発見されており、太陽のような恒星には一般的に惑星が存在すると考えられています。一方、これまでに発見された惑星系は、太陽系とはまったく異なる多様な構造を持っており、「第二の太陽系」と呼べるものはひとつもありません。科学研究部では、理論と観測の連携を重視し、地上および宇宙望遠鏡、スーパーコンピュータを駆使して、惑星系の普遍性と多様性の成因を解明することを目指しています。また、惑星の大気成分や気候状態を調べることで、生命が生存できる可能性のあるハビタブル惑星が太陽系外に存在するのか、地球とは異なるタイプのハビタブル惑星が存在するのかを探り、将来の太陽系外生命探査に向けた基盤を築く研究を行っています。



私たち、科学研究部は、国内外の研究者と協力して、理論、観測などの枠にとらわれず、あらゆる手段を用いて宇宙の謎を解き明かします。私たちの研究成果にご期待ください。

科学研究部長

富永 望

TOMINAGA, Nozomu



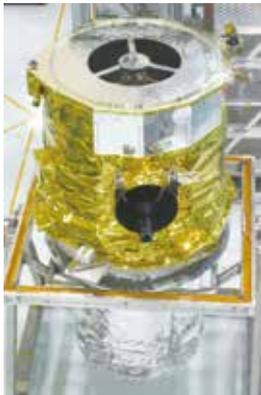
# 技術開発

国立天文台は、世界最先端の観測施設や機器を独自に開発する能力を有し、研究の最前線を強力にサポートしています。その例を紹介します。

## ① 光や赤外線を集める大型望遠鏡や電波を集める大型アンテナ

国立天文台は、野辺山45メートル電波望遠鏡に始まり、すばる望遠鏡、続いてアルマ望遠鏡という、世界最高性能の大型望遠鏡・アンテナの開発を進めてきました。その実績を踏まえて、現在、30メートル光学赤外線望遠鏡TMTの開発を進めています。2,600トンもの大型構造物を1万分の千分の一という高精度で指向させ、数十万分の1度の画像解像度を実現します。

## ② 宇宙から天体を観測するための高精度光学望遠鏡

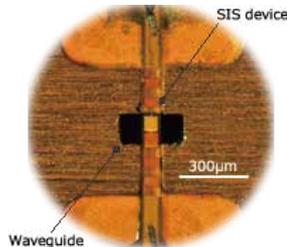


企業と共同して、太陽観測用としては世界最高の解像度を持つ宇宙望遠鏡を開発し、宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所の「ひので」衛星に搭載されています。回折限界性能を実現するため、不要な太陽光を外部に逃がすしくみ、主鏡支持機構、低膨張材料、衛星の微小な揺れによる画像劣化を防ぐためのチップチルト機構など、高度な宇宙望遠鏡システム技術を開発しました。

ひのでに搭載された可視光・磁場望遠鏡。

## ③ 光・電波を検出するセンサー

望遠鏡で集めた宇宙からの微弱な光や電波を検出する高感度検出器の開発を行っています。検出器の感度を4倍にすれば望遠鏡の口径は半分で済むため、検出器の高感度化は重要です。企業と協力して、シリコン層を厚くして赤色の感度を大幅に高めたCCDを開発しました。それを116個搭載したすばる望遠鏡の超広視野主焦点カメラは、宇宙のダークマターの構造の進化を初めて明らかにしています（06ページ）。



超伝導技術による最高周波数サブミリ波受信素子。

## 国立天文台の特許技術

天文観測は光や電波を扱う広い範囲の技術が必要とすることから、民生分野への応用が期待できます。このため、今後、国立天文台の獲得した新技術の特許取得に力を入れていきます。特許の取得により、競争の激しい天文学と関連分野における日本のプレゼンスを高めると同時に、特許収入を得ていくことが目標です。

●国立天文台が持つ特許：国内18件、海外7件

(2024年9月30日現在)



観測装置開発は、これまでにない最先端の新しい技術を駆使しながら、山頂や宇宙等の過酷な環境下でも壊れない装置にする必要がありますので、非常に大変なのです。

技術主幹

鵜澤佳徳

UZAWA, Yoshinori



## ④ 大気の揺らぎを補正する補償光学技術

すばる望遠鏡が天文学の最先端を走り続けるための大規模な望遠鏡アップグレードプロジェクトです。天空の広い視野にわたって大気揺らぎをリアルタイムで補正する次世代の補償光学技術を導入することで、かつてない広さ、深さ、そしてハッブル宇宙望遠鏡に匹敵するシャープな観測を実現します。狭い視野で望遠鏡の回折限界を実現する従来の補償光学とは異なり、広視野補償光学ではすばる望遠鏡に可変形副鏡を搭載し、複数のレーザーガイド星および波面センサーを用いて、地表に近い大気層の揺らぎだけを測定し補正を行います。これにより、最大直径20分角にわたってシャープな視野を実現し、近赤外線で約0.2秒角の星像を実現します。

## すばる広視野補償光学プロジェクト



広視野補償光学では、4本のレーザーを上空に打ち上げて上層大気を光らせ、人工の星（レーザーガイド星）を作ります。それらの光を使って、大気揺らぎを測定・補正します。（概念図）

## ⑤ フォトニック技術



レーザー光をテラヘルツ周波数の電波に変調するフォトニック技術。従来より1桁安定度が高い性能を実現。

電波望遠鏡への貢献を目指して、レーザー光を制御して低周波からテラヘルツの高周波までの光信号を作る技術を開発しています。光と電気を融合するフォトニック技術を使うことにより、テラヘルツ帯においても高安定な基準信号の生成を実現しています。

このように、国立天文台は天文学に使われる様々な技術開発を行っています。また、これらの技術を組み合わせ、観測施設全体としての能力を最適化するようなノウハウも蓄積しています。これは、日本の研究機関では他に例のないものです。

# 国際協力

国立天文台は、様々な国際協力の枠組みに参画して世界の天文学の発展に貢献しています。国際連携室では、更なる国際協力の基盤となるような国際化の推進に取り組んでいます。



上：外国人研究者と国際連携室スタッフ  
下：外国人研究者の生活に関する相談支援

国際連携室は、東アジアの中核天文台による国際協力のコンタクトポイントとして、フェローシップ事業等を推進しています。また、各種国際協定の法務チェックを行い、他の国際協力事業推進の一翼を担っています。一方、台内の外国人研究者や学生に対して、様々な生活支援の他、日本語教室の開催や台内のバイリンガル化支援等により、日本での研究活動に集中できる環境の構築支援に取り組んでいます。また国立天文台の更なる国際化に向けて、優秀な外国人研究者・学生数の拡大につながるリクルート情報の発信にも努めています。

国際連携室長

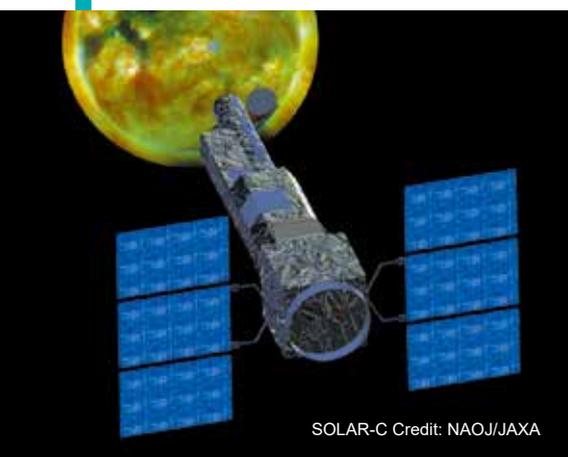
チャップマン 純子

CHAPMAN, Junko



# 宇宙機との連携観測

国立天文台の観測装置は地上に設置されるだけでなく、JAXA/ISASの宇宙機に搭載され天文観測や天体探査を行います。その代表例としてSOLAR-Cプロジェクトを紹介します。



SOLAR-C Credit: NAOJ/JAXA

太陽面上空の高温大気、彩層・コロナは、微小なジェットや波動といった磁場に起因する動的な現象に満ちあふれています。太陽観測衛星SOLAR-Cにより、このような高温領域の形成機構や、地球周囲の宇宙環境に影響を及ぼす太陽面爆発フレアの発生機構の解明に挑みます。この衛星に搭載される極端紫外線分光望遠鏡(EUVST)は、彩層・コロナに現れる2万度から2000万度にわたる幅広い温度域を同時に詳細に観測します。2020年代後半からの観測を目指して、この観測装置の開発を欧米の研究機関とともに進めています。

A

SOLAR-Cプロジェクト長

原 弘久

HARA, Hirohisa



# 将来計画

国立天文台が今後も世界の天文学を強力にリードし続けることを目指し、日本や世界の研究者コミュニティとともに、天文学の新しい扉を開く次世代の観測装置を構想しています。

2020年代、2030年代の天文学が解き明かそうとする宇宙の謎は何か。日本の天文学コミュニティは、国際協力で推進される天文学の中でどのような役割を果たすべきか。国立天文台は、国内外の天文学コミュニティとの議論をもとに、世界の天文学を強力に牽引するような次世代計画を立案していきます。

確固たる将来計画の礎とするために、国立天文台では「小規模プロジェクト」「サブプロジェクト」と「検討グループ」が活動しています。

「小規模プロジェクト」は、既に開発段階に入っているプロジェクトで、「JASMINE」「RISE月惑星探査」

「SOLAR-C (上記)」「ASTE」の各プロジェクト(22、23ページ)、「すばる超広視野多天体分光器(07ページ)」「すばる広視野補償光学(19ページ)」の両プロジェクトがあります。

また「サブプロジェクト」と「検討グループ」は、将来の天文学を担う大型計画の立案および海外の大型計画への参加を検討する枠組みです。2019年4月に、「ngVLA (Next Generation Very Large Array) 検討グループ」と「SKA1 (Square Kilometer Array 1) 検討グループ」のふたつが設立され、後者は2023年4月にサブプロジェクトになりました。

# 幅広い天文学研究を支える 国立天文台の多彩なプロジェクトとセンター

国立天文台では、すばる望遠鏡を運用するハワイ観測所、アルマ望遠鏡を運用するアルマプロジェクトとチリ観測所、TMT建設を担うTMTプロジェクト等に加え、様々な天文学分野の研究を展開・支援するためのプロジェクトとセンターが設置されています。

**A** A Project

**B** B Project

**C** C Project

**\*** Center

(各記号の区分内容については25ページ参照)

## **B** 重力波プロジェクト



KAGRAの真空ダクト

一般相対性理論から導かれる重力波を用いた宇宙の観測は、2015年、2つのブラックホール合体の初検出によって幕を開けました。すでに多くの重力波イベントが観測され、マルチメッセンジャー天文学 (p18) にも注目が集まっています。我々は、東京大学宇宙線研究所や高エネルギー加速器研究機構などと共同で日本の新しい重力波望遠鏡KAGRAの開発と運用を行っています。KAGRAが国際重力波観測ネットワークに加わることで、重力波天文学は大きく飛躍できます。また、三鷹キャンパスのTAMA300干渉計を用いて最先端の重力波観測技術研究に取り組み、世界初の量子光学技術の開発に成功するなどの成果もあげています。

日本最大のレーザー干渉計  
でブラックホールを  
直接観測する



重力波プロジェクト長  
**都丸隆行**  
TOMARU, Takayuki



## **C** 天文シミュレーションプロジェクト



計算サーバ

天文シミュレーションプロジェクトでは、天文学専用スーパーコンピュータや「計算サーバ」などのシミュレーション用計算機システムの共同利用、シミュレーション技術の研究開発、およびシミュレーションによる研究を行っています。物理法則にのっとったコンピュータ・シミュレーションによって、惑星や恒星、銀河、宇宙の大規模構造といった、様々な空間スケールの天体の形成や進化の様子を描き出すことを目的としています。私たちが運用する計算機や開発する技術によって、より現実的なシミュレーションを可能にし、望遠鏡では観ることができない宇宙の姿を明らかにしていきます。

コンピュータ・シミュレーションで見えない  
宇宙を描き出す



天文シミュレーションプロジェクト長  
**小久保英一郎**  
KOKUBO, Eiichiro





太陽フレア望遠鏡（左）と太陽観測衛星「ひので」（クレジット：NAOJ/JAXA/MSU）

## C 太陽観測科学プロジェクト

太陽観測衛星「ひので」、太陽フレア望遠鏡、野辺山強度偏波計を用いて太陽物理学の研究を進めるとともに、X線から電波まで多波長の観測データを蓄積・公開しています。これらは太陽活動の長期変動を解明するための世界的にも貴重なデータです。太陽表面から上空大気へつながる複雑な磁場構造とその時間変化を観測することで、突発的な爆発現象「フレア」の発生メカニズムや「コロナ加熱問題」の解明などに取り組んでいます。また次世代太陽観測衛星「SOLAR-C」にもつながる先端的技術開発や、ロケットや気球などの飛翔体実験を国内外の研究機関と共同で実施しています。



太陽観測科学プロジェクト長

勝川行雄

KATSUKAWA, Yukio

地上の目と、宇宙の目を駆使し、太陽の謎を解き明かす



## A JASMINE プロジェクト

JASMINE（ジャスミン）プロジェクトでは、JAXA宇宙科学研究所の公募型小型計画3号機に選定された位置天文観測衛星「ジャスミン」の実現を目指しています。ジャスミンは、赤外線による超高精度位置天文観測により、距離2万6千光年に位置する星の距離と運動を測定し、天の川銀河の中心核構造と形成史を解明するとともに、太陽系等の移動を引き起こす原因となる銀河構造の進化の過程も明らかにします。また、太陽より小さく赤い恒星に対して、恒星の前を惑星が通過する際の減光を捉えることにより、恒星まわりの生命居住可能領域にある地球型惑星を探索します。

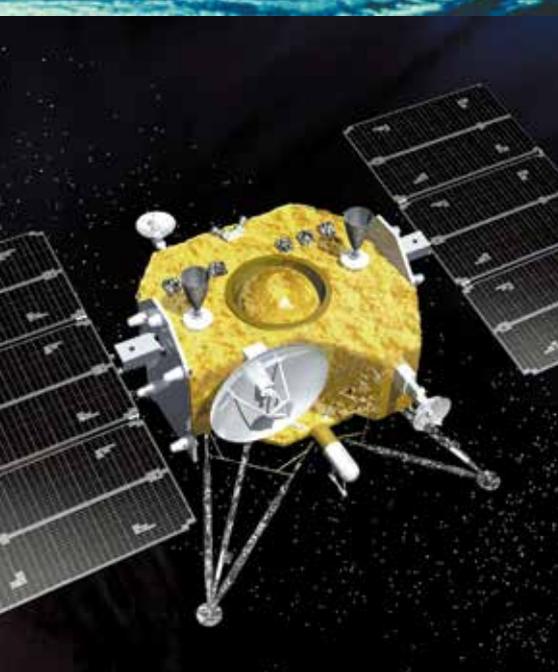


JASMINEプロジェクト長

鹿野良平

KANO, Ryohei

天の川銀河形成の鍵を握る中心核探究と地球型惑星探索に挑む



## A RISE 月惑星探査プロジェクト

天体の重力や形状を研究する測地学を駆使して惑星や衛星を調べ、太陽系の起源や進化に迫る研究を行っています。私達の活動は、目標とする天体の近傍で観測したデータに根ざした研究を行うことです。そのためJAXAや国内外の研究機関と協力して機器開発や観測データの取得に挑んでいます。今まで、月周回衛星「かぐや」や小惑星探査機「はやぶさ2」で科学観測を行いました。また、木星系探査計画「JUICE」に参画し、火星衛星探査計画「MMX」では国際的な測地学科学戦略チームを牽引し火星衛星の起源と進化の解明に貢献します。



RISE月惑星探査プロジェクト長

竝木則行

NAMIKI, Noriyuki

深宇宙探査機による近接観測から太陽系の起源と進化に迫る





VERA水沢観測局の20メートル電波望遠鏡

## C 水沢 VLBI 観測所

水沢 VLBI 観測所の VERA は、岩手県奥州市、東京都小笠原村、鹿児島県薩摩川内市、沖縄県石垣市に設置した4台の口径20メートル電波望遠鏡を組み合わせ、直径2,300 kmの仮想的な巨大電波望遠鏡を構成するプロジェクトです。天体の距離を高い精度で測定することで、私たちが住む天の川銀河の地図を描き出してきました。また韓国の電波望遠鏡 KVN との連携による KaVA、さらに中国の電波望遠鏡も含めた東アジア VLBI ネットワークを構築し、巨大ブラックホールから噴き出すジェットや星の生まれる場所を詳しく探る研究も進めています。



水沢 VLBI 観測所長

本間希樹

HONMA, Mareki

東アジアの電波望遠鏡をつなぎ、より高い分解能で宇宙を探る



45メートル電波望遠鏡

## C 野辺山宇宙電波観測所

野辺山宇宙電波観測所の45メートル電波望遠鏡は、日本のミリ波天文学を切り拓いてきた望遠鏡です。大口径がもたらす高い感度を活かして、宇宙空間に漂う星間分子が放つ電波を観測しています。特に、銀河の中で、どこに、どのように星間ガスが集まり、集まったガスの中からどのように星が生まれるのかが、調査されてきました。その結果、オリオン座の分子雲の進化の様子をまとめたカタログを完成させるなど、成果を挙げています。また、新装置の試験場としても活躍しており、独自開発の最新鋭受信機や電波分光計が投入され、実用化されています。



野辺山宇宙電波観測所長

西村 淳

NISHIMURA, Atsushi

世界最大級ミリ波アンテナと最先端受信機で銀河の謎を解き明かす



10mサブミリ波望遠鏡

## A ASTE プロジェクト

アタカマサブミリ波望遠鏡実験 (ASTE = Atacama Submillimeter Telescope Experiment) は、2002年にチリ・アタカマ高地 (標高4,860 m) に設置された口径10 mのサブミリ波望遠鏡です。大口径サブミリ波単一鏡の特徴を生かした広域・広帯域観測や、アルマ望遠鏡につながるパイロット的な観測、先駆的な観測技術の開発・実証のためのプラットフォームとして活用されてきました。現在は490 GHz帯および810 GHz帯受信機によるサブミリ波での天の川銀河および近傍銀河の分子雲の広域観測と、世界初のオンチップ型超伝導分光器による遠方銀河の観測的研究を進めています。



世界初のオンチップ型超伝導分光器で遠方銀河の謎に迫る



観測データを保管・公開する大容量ストレージと計算機群

## \* 天文データセンター

国立天文台や国内大学の望遠鏡・観測装置が日々生み出す膨大な天文観測データを収集・保管・整理して全世界に公開しています。これら天文ビッグデータを研究者が自在に活用して研究を進められるよう、アプリケーション開発や解析用計算機の共同利用、講習会の開催など、天文データに関する総合的な機能を提供しています。すばる・アルマ望遠鏡など各種観測データを手軽に検索・表示して取り出せるバーチャル天文台を含む各種データアーカイブ機能の運用に加え、観測所と共同ですばる望遠鏡超広視野主焦点カメラのデータを解析し、処理済み画像や天体カタログも公開しています。



天文データセンター長

古澤久徳

FURUSAWA, Hisanori

天文観測ビッグデータ  
と高性能計算機で  
データ科学を推進する



実験室で組立調整中のすばる望遠鏡超広視野主焦点カメラ

## \* 先端技術センター

天文学の進歩は新しい観測手段の開発によってもたらされます。先端技術センターは、電波から可視光・X線まで、地上・宇宙を問わず、最先端的な天文学の観測装置の開発拠点です。これまで、すばる望遠鏡の超広視野主焦点カメラやアルマ望遠鏡の受信機、太陽観測衛星「ひので」搭載の可視光望遠鏡とX線望遠鏡、大型低温重力波望遠鏡KAGRAの光学装置などを開発・製作しました。30メートル望遠鏡TMTの観測装置やアルマ望遠鏡の新型受信機など、次世代観測装置に必須の技術開発にも取り組むとともに、「社会実装プログラム」を立上げ天文観測装置用の技術の産業応用を推進しています。



先端技術センター長

平林誠之

HIRABAYASHI, Masayuki

一貫した開発体制で観  
測装置の研究・開発を  
すすめる



## \* 天文情報センター

天文情報センターは、天文学の情報を市民の皆さんにお届けすることが任務です。天文学の最新の成果はもちろん、天文現象や新天体情報、暦や日本の標準時など種々の天文情報を発信するとともに、質問電話への対応や三鷹キャンパス・石垣島天文台の施設公開事業、地元三鷹市との連携、国際天文学連合国際普及室の活動を担っています。さらに天文学関連の社会教育施設と連携し、天文学に関する科学コミュニケーション活動の中核ともなっています。観測環境を守る周波数資源保護活動も実施しており、また多くの天文関連図書や稀観本を擁する図書室による一般向け閲覧サービスも行っています。



天文情報センター長

渡部潤一

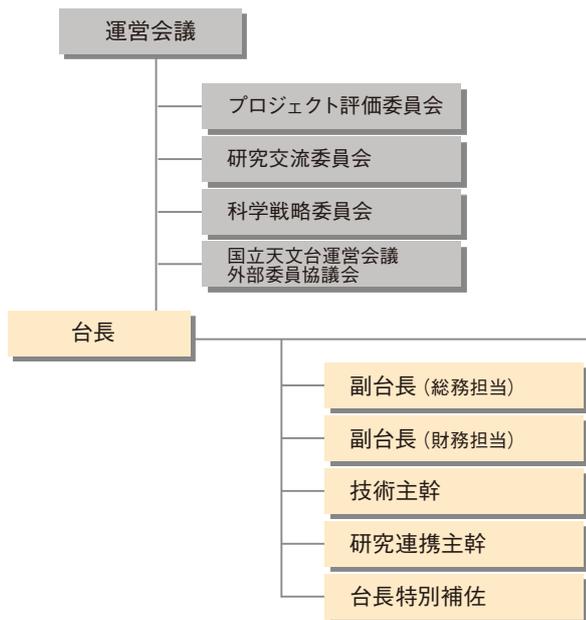
WATANABE, Junichi

天文学の楽しさ面白さを  
市民の皆さんにわか  
りやすく届ける



# 国立天文台の組織

国立天文台が推進する事業は、それぞれ達成目的を持つプロジェクトまたはセンターとして位置づけられ、定められた期限内に計画的に業務を遂行することが求められています。国立天文台は、組織のリーダー及び構成員の責任と権限を明確にし、研究開発の透明性と自立性を高めることをめざすとともに、国立天文台全体でリソースの流動化を促し有効活用を進めることも重要な目標としています。



## 3つのプロジェクト群と3センター

国立天文台のプロジェクトは、その役割に応じて3つに大別されます。

● **Cプロジェクト**は、すでに運用中の7つの主力プロジェクトで、国立天文台の“今”の観測と研究を最前線で支えるプロジェクト群です。

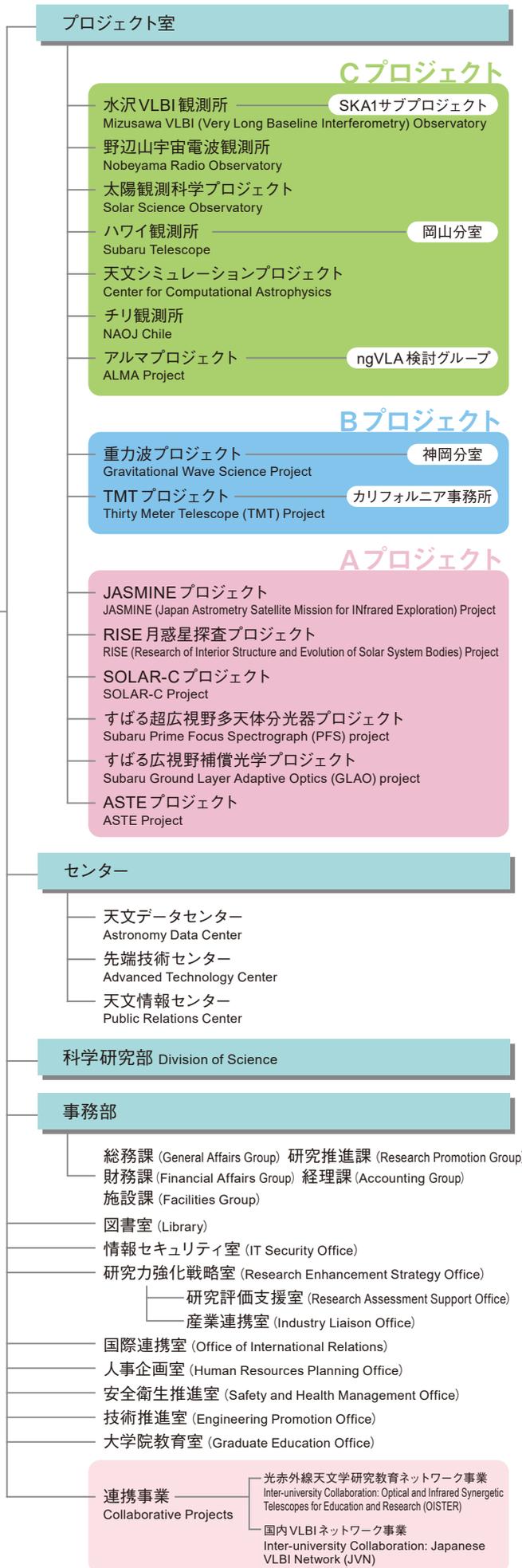
● **Bプロジェクト**は、現在、建設や運用の途上にあるプロジェクトで、2室が属します。

● **Aプロジェクト**は、小規模の開発計画を推進するためのプロジェクト群です。

・国立天文台の将来計画と密接に関連する観測装置計画の検討を進めるために、「サブプロジェクト」と「検討グループ」が設置されています。現在、「SKA1サブプロジェクト」と「ngVLA検討グループ」が活動しています。

・このほか、国内大学との連携によって推進する事業として、「光赤外線天文学研究教育ネットワーク事業」「国内VLBIネットワーク事業」の2つを実施しています。

● 国立天文台の3つのセンターは、個別のプロジェクトの枠組みを超えた機器開発・技術研究、数値実験・データ解析・アーカイブ、情報提供・広報普及の役割を担います。プロジェクトの性格も持ちながら全台の基幹インフラとして組織的に国立天文台の基盤を支えています。



# 国立天文台の研究施設

宇宙へ近づくため、よりよい観測環境を求めて  
世界中に広がる研究施設

## 日本国内の拠点

### 国立天文台野辺山

野辺山宇宙電波観測所

日本の電波天文学を世界のトップレベルに押し上げた観測施設です。写真の45メートル電波望遠鏡は、ミリ波では世界最大級の望遠鏡で、新たな星間分子の発見やブラックホールの兆候を捉えるなど、数々の成果を挙げています。常時見学可能です。



### 重力波プロジェクト 神岡分室 KAGRA

KAGRAは重力波天文学という新しい分野を開拓することを目指して神岡鉱山の地下で観測を始めた重力波検出器です。神岡分室はKAGRA推進の拠点となっています。



### ハワイ観測所 岡山分室

京都大学大学院理学研究科附属天文台岡山天文台の口径3.8mせいめい望遠鏡の観測時間の半分を国立天文台が共同利用に供しています。国内最大の可視光・近赤外線望遠鏡の観測機会を広く国内の研究者に提供しています。



### 水沢 VLBI 観測所・山口観測局



山口観測局

ハワイ観測所  
岡山分室

VERA 入来観測局



水沢 VLBI 観測所・  
VERA 入来観測局

### 国立天文台水沢

水沢 VLBI 観測所・VERA 水沢観測局

旧緯度観測所からの長い歴史を持つ施設です。VERA の観測網を運用し、天の川銀河やブラックホールなどを観測しています。

天文シミュレーションプロジェクト

天文学専用としては世界最速を誇るスーパーコンピュータ「アテルイ II」が、国立天文台水沢に設置されています。

RISE 月惑星探査プロジェクト

月探査機「かぐや」、小惑星探査機「はやぶさ2」で機器開発・観測運用を行い天体の形状や重力を明らかにするとともに、探査機軌道推定にも貢献しました。現在は火星衛星や木星系の探査においても研究と開発を進めています。



VERA 水沢観測局



アテルイ II

水沢 VLBI 観測所・  
茨城観測局



### 国立天文台 三鷹 (本部)

三鷹キャンパスは、国立天文台の本部が置かれ、様々なプロジェクト、センター、研究部、事務部が集まっています。



Japan

水沢 VLBI 観測所・  
VERA 石垣島観測局



石垣島天文台

石垣島天文台のむりかぶし望遠鏡は、九州・沖縄では最大の口径105cmの光学赤外線望遠鏡です。



石垣島天文台

小笠原諸島  
父島

水沢 VLBI 観測所・  
VERA 小笠原観測局



## 国立天文台ハワイ

ハワイ観測所・TMT プロジェクト

ハワイ島マウナケア山頂域（標高 4,200m）は、晴天率が高く気流も安定しているため、天文学観測には非常に適した場所です。国立天文台はここにすばる望遠鏡を設置し、運用しています。また口径30 m の大型光学赤外線望遠鏡 TMT 計画を国際協力で行っています。

Hawai'i



### ヒロ・オフィス（右）

ハワイ島ヒロにあるハワイ観測所の山麓施設です。すばる望遠鏡とTMTの一体運用の拠点として、実験室、マシンショップ、コンピュータ室や、夜間の観測を支えるリモート観測室などを擁しています。

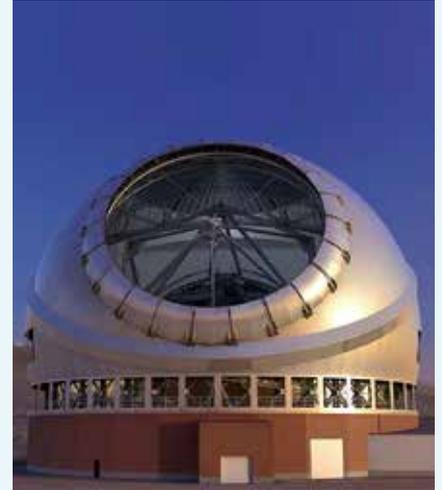


### すばる望遠鏡（左）

口径8.2mの世界最大級の口径を持つ光学赤外線望遠鏡です。1999年にファーストライトを迎え、2000年度から本格的な観測を開始しました。2022年からは「すばる2」計画として新たな観測装置の搭載により機能を強化し、宇宙の進化と物質の起源を探る研究を強力に推進します。

### TMT（右）

日本と米国・カナダ・インドとの国際協力でマウナケアに建設予定の、大型光学赤外線望遠鏡です。すばる望遠鏡を10倍上回る集光力で、太陽系外惑星の大気における生命の兆候の発見や宇宙最初の星々の光を捉えることを目指しています。



## 国立天文台チリ

チリ観測所・アルマプロジェクト・ASTE プロジェクト

世界で最も乾燥した場所のひとつと呼ばれるチリ北部のアタカマ高地は、波長の短い電波（ミリ波・サブミリ波）観測の最適地です。ここでは、アルマ望遠鏡とアステ望遠鏡が設置されています。チリの首都サンティアゴには、国立天文台チリ観測所のオフィスと、アルマ望遠鏡を運用する合同アルマ観測所サンティアゴ中央事務所があります。



### アルマ望遠鏡

アルマ望遠鏡は、国立天文台、北米、欧州南天天文台を中心とし、台湾・韓国が参加して、チリの標高5,000 m の高原に建設した巨大な電波望遠鏡群です。2013年から本格運用がスタートしました。日本のアンテナを含む66台のパラボラが科学観測に供されています。

Credit: ESO

### アステ望遠鏡

波長1mm以下の「サブミリ波」と呼ばれる電波を観測します。サブミリ波で最高の観測条件を備えたアタカマ高地に設置されており、南天の銀河中心領域、近傍の星形成領域や遠方銀河などの観測に威力を発揮しています。



### アルマ望遠鏡山麓施設

アルマ望遠鏡から約30 km離れた標高2,900 m の場所に設置されています。アルマ望遠鏡を遠隔操作するためのコントロールルームや装置のメンテナンスを行う実験室のほか、アルマ望遠鏡スタッフ向けの宿舎や食堂などを備えた、アルマ望遠鏡の「ベースキャンプ」です。

Credit: ESO

### 国立天文台の施設公開

国立天文台では、研究の成果を広く社会に還元するために、おもな観測施設で一般公開や特別公開、定例観望会などを行っています。

Chile  
チリ共和国

ALMA

サンティアゴ

# 国立天文台の 大学共同利用

国立天文台は大学共同利用機関として、すばる望遠鏡やアルマ望遠鏡などの観測装置やスーパーコンピュータ、多様な実験施設など、個別の大学では整備が困難な研究施設の開発・運用を行っています。これらを全国の大学等に所属する研究者に対して共同利用に供することで、最先端の研究環境を提供しています。単に研究施設を開放するだけでなく、きめ細かいユーザーサポートによって若手研究者の育成に協力するとともに個々の研究者の研究の質の向上と学際研究の推進を支援しつつ、国内外の多くの研究者との共同研究も行っています。また、天文データセンターにおける各種天文データの収集・公開と解析環境の共同利用、先端技術センターにおける共同開発研究・施設利用、天文情報センターにおける研究成果の国内外への発信等により、大学等の研究力強化と国際的なプレゼンスの向上、さらに成果の社会還元に貢献しています。



共同利用ユーザーに望遠鏡の現状や今後の予定を知らせ、よりよい成果の創出を目指した議論を行うためのユーザーズミーティングを開催しています。

## 国立天文台の技術を社会へ

天文学の新しい扉を開くことを目指して、国立天文台ではすばる望遠鏡・アルマ望遠鏡に代表される世界第一線の観測装置を実現するための独自の技術開発を行い、そのレベルを高めてきました。その中で培われた「天文学のための技術」は、「暮らしや社会を支える技術」へと展開することができます。国立天文台は、天文学のために磨かれてきた技術を民間企業と協力して「安全・安心な社会」「便利な社会」「健康な社会」に活かすため、2020年に産業連携室を設立してその活動を強化しています。



天文学では、最先端技術を投入した観測装置で宇宙の謎を解き明かします。人類の知的好奇心の発露の最たる例であり、培われた技術は社会の役にも立ちます。天文学は、未来を作ります。

産業連携室長  
平松正顕

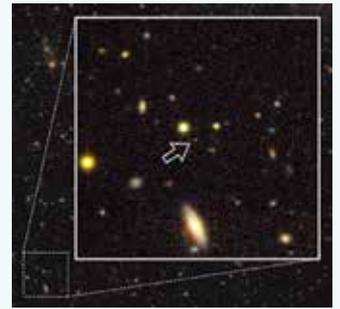
HIRAMATSU, Masaaki



## すばる望遠鏡の大学共同利用の例

### 130億光年先の宇宙に大量の巨大ブラックホールを発見

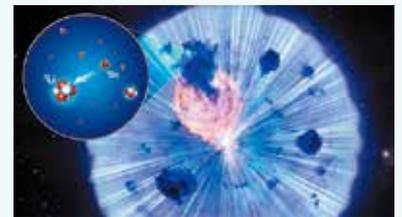
愛媛大学の松岡良樹准教授らのグループは、すばる望遠鏡の超広視野主焦点カメラを使った観測で、地球から130億光年離れた宇宙で83個もの巨大ブラックホールを発見しました。誕生後10億年に満たない宇宙に大量の巨大ブラックホールが存在することを示しました。



130.5億光年の彼方にある巨大ブラックホール(矢印の先にある赤い天体)。

### 新星爆発によるリチウム生成量の多様性

京都産業大学の新井彰氏らの研究チームは、すばる望遠鏡による、新星「いて座 V5669」の観測でリチウムのもとになるベリリウムを検出することにより、リチウム生成の現場を捉えることに成功しました。



新星爆発「いて座 V5669」によるリチウム生成の想像図。Credit: 京都産業大学

この新星で生成されたリチウムの量は、これまで調べられた新星での生成量の数パーセントと少なく、新星によるリチウム生成量には多様性があることが明らかになりました。

## ハワイ観測所岡山分室の大学共同利用

●岡山188 cm 反射望遠鏡と高分散分光器による観測の機会を20年近く安定して提供し、日本初の太陽系外惑星発見など、東京工業大学の研究者を中心とした日本の太陽系外惑星研究の発展に貢献してきました。現在は、京都大学3.8mせいめい望遠鏡の観測時間の半分の共同利用運用を国立天文台が担っています。

### 赤外線に感度の高いメガピクセルCCDの開発

国立天文台は、浜松ホトニクスと共同で赤外線に高い感度を持つCCDを開発。X線にも高い感度を持ち、JAXAのX線観測衛星にも採用された他、透過型電子顕微鏡の電子線直接撮像でも高感度を実証しました。医療用X線装置に応用されれば、照射X線量を下げることができるため、患者の負担軽減につながります。

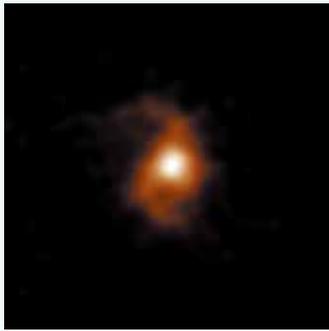


赤外線に感度の高いメガピクセルCCD (2,048×4,096ピクセル/受光面は3cm×6cm角)。

## アルマ望遠鏡の大学共同利用の例

### 観測史上最古の渦巻き構造を持つ銀河を発見

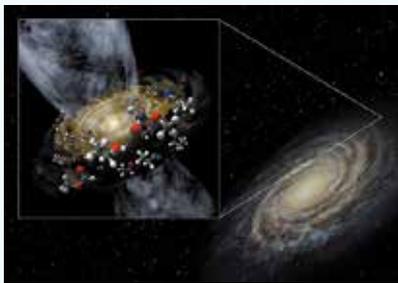
総合研究大学院大学の大学院生 津久井崇史氏は、アルマ望遠鏡のデータの中から、渦巻き構造を持つ銀河を124億年前の宇宙に発見しました。ビッグバンからわずか14億年後にしっかりした渦巻き構造を持つ銀河が発見されたことは、銀河の形はどのように決まるのかという天文学の古典的な疑問を解く糸口となる可能性があります。



アルマ望遠鏡が観測した124億年前の渦巻き構造を持つ銀河BRI 1335-0417。  
Credit: ALMA (ESO/NAOJ/NRAO), T. Tsukui & S. Iguchi

### 天の川銀河の果てに多様な有機分子を発見

新潟大学の下西隆研究准教授らは、アルマ望遠鏡を使って天の川銀河の果てを観測し、誕生直後の星が複雑な有機分子を含む化学的に豊かな分子ガスに包まれていることを発見しました。天の川銀河最外縁部は遠い過去の環境を残しており、原始的な環境でも複雑な有機分子が効率的に作られることがわかりました。



銀河系の最外縁部の原始星を取り巻く有機分子の想像図。  
Credit: 新潟大学

## 国立天文台の論文数

国立天文台の研究者が発表する論文、国立天文台が運用する施設・設備等を用いた台外共同利用の成果論文は、すばる望遠鏡、アルマ望遠鏡などの大型計画の進展とともに増加してきました。共同利用を通じて、大学の研究者が執筆する論文も増加しています。

被引用数Top10%論文の割合：16.6%  
Top1%論文の割合：2.9%  
国際共著率：79.5%  
(対象期間：2019～2023年、InCitesより)



## 連携事業

国立天文台は、国内外の大学や研究機関と連携して観測装置を運用する事業も行っています。

- 光赤外線天文学研究教育ネットワーク事業は、国立天文台と国内の大学が持つ中小の望遠鏡を有機的に結びつけ、超新星などの突然出現する天体現象の即時フォローアップ観測を行うことを目指しています。
- 国内VLBIネットワーク事業は、国立天文台と国内の大学が持つ電波望遠鏡を結合し、仮想的な巨大電波望遠鏡を構成することで、星の誕生領域でのガスの動きや超巨大ブラックホールから噴き出すガス流の動きを明らかにする研究を行っています。



国立天文台では、最先端の技術と理論を駆使し、未知の領域を開拓することで、宇宙の深奥を解明することを目指しています。大学との連携や国際的な協力を重視し、天文学の発展に貢献します。

研究連携主幹  
**生駒大洋**  
IKOMA, Masahiro



### 超伝導電波受信機から量子コンピュータへの応用

宇宙から届く微弱な電波を増幅する技術は電波天文学でも必須ですが、本格的な量子コンピュータの実現にも役立ちます。国立天文台では電波受信機技術を発展させ、小型省電力なマイクロ波増幅器やアイソレータの開発を進めています。



周波数ミキサを連結した、新しい概念の超伝導マイクロ波増幅器。

### 補償光学技術から衛星光通信への応用

すばる望遠鏡では、大気揺らぎを補正してシャープな星像を得る補償光学技術が使われています。この技術は、衛星と地上を光回線で結んで高速大容量通信を実現するためにも役立ちます。



衛星光通信の模式図。Credit: NASA/JPL

## 世界の天文普及をリードする国際普及室



グローバルな天文普及活動を行うために国際天文学連合 (IAU) のオフィスのひとつとして国際普及室 (OAO) が、国立天文台 (NAOJ) 三鷹に設置されています。OAOは、IAUとNAOJとの共同事業で、誰もが天文学に触れて楽しむことができる環境の構築を目指すとともに、120以上の国に配置された天文普及コーディネーター (NOC) の活動を支援しています。天文学のサイエンスコミュニケーションに関する査読論文誌 (CAPjournal) を発行し、様々な天文普及プロジェクトを企画・実施しています。OAOはNAOJと協働して天文学の国際化と多様化を推進し、大きな成果を挙げています。



CAPjournal

# 国立天文台の大学院教育

国立天文台は、次世代を担う大学院生の教育にも力を入れています。世界最先端の研究施設で、国際的な環境の中で行われる教育と研究活動により、第一線で活躍できる研究者や先端技術の発展を担う技術者だけでなく、広く社会に貢献できる人材の育成を目指しています。

国立天文台は、以下の3つの制度により大学院生を受け入れています。

## ①総合研究大学院大学

総合研究大学院大学 先端学術院 天文科学コースは、国立天文台を基盤とする大学院です。

## ②連携大学院制度

## ③特別共同利用研究員（受託大学院生）制度

## 大学院生数（2024年4月1日現在）

総合研究大学院大学  
（博士課程5年一貫制/博士後期課程）の大学院生 …… 36名  
連携大学院の大学院生 …… 36名  
特別共同利用研究員（受託大学院生） …… 15名

過去5年間に、国立天文台で大学院生を受け入れた実績のある大学院は以下の通りです。

東北大学/茨城大学/筑波大学/東京大学/東京工業大学/電気通信大学/新潟大学/名古屋大学/山口大学/九州大学/大阪公立大学/東京都市大学/日本大学/法政大学/甲南大学/静岡大学/早稲田大学/東京農工大学/東京理科大学/奈良女子大学/福島大学/兵庫県立大学（順不同）



国立天文台では総研大や東大の院生に受託院生と、常時100名弱の大学院生が理論研究に、観測研究に、また機器開発研究に励んでいます。学生のみなさん、ここで学んでみませんか。

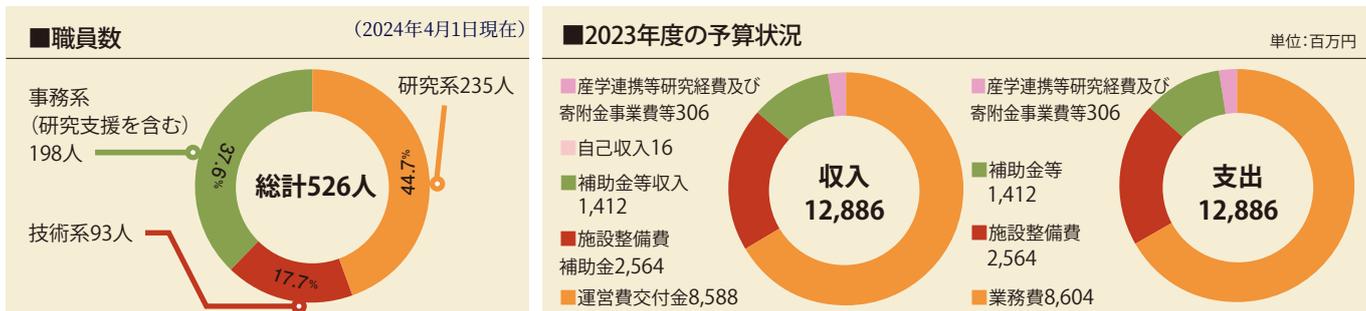
大学院教育室長

関井 隆

SEKII, Takashi



# 国立天文台のプロフィール

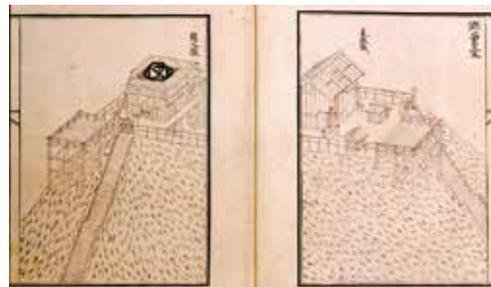


# 国立天文台の歴史

## 伝統と革新と

—日本の自然科学の一翼を担い続けた国立天文台—

国立天文台の起源は、暦を作るために幕府天文方によって天体の観測が始まった江戸時代前期（300年以上前）にさかのぼります。暦書の編製は今も国立天文台の業務として継承されています。明治時代になると西洋から近代的な天文学の知見がもたらされ、1888年に東京天文台が、1899年には緯度観測所が設置され、以後1世紀にわたって、様々な観測装置が開発され、多くの研究が行われてきました。そして1988年に東京大学附属東京天文台、緯度観測所、名古屋大学空電研究所の一部の3組織が統合して国立天文台が誕生しました。その長い伝統の中で、つねに時代の最先端の天文学研究を切り拓いてきた国立天文台の歴史を簡単に振り返ってみましょう。



江戸時代の「浅草天文台」（『寛政暦書』巻十九から測量台の図）



国立天文台は今年、東京天文台が麻布飯倉から三鷹の地に移転して100年という節目の時を迎えました。次の100年も世界の先端研究機関として天文学の発展に寄与していきます。

事務部長

藤田 常

FUJITA, Hisashi





緯度観測所

- 1888 東京天文台の設置 (東京・麻布)
- 1899 緯度観測所の設置 (岩手・水沢)
- 1924 三鷹キャンパスに移転
- 1925 『理科年表』 刊行開始

『理科年表』の刊行

1925年の創刊以来100年近く、多くの研究機関の協力を得て『理科年表』を刊行しており、英語版もできました。  
<https://official.rikanenpyo.jp/posts/5905>



昭和初期ごろの三鷹キャンパス



65 cm 屈折望遠鏡

- 1926 65 cm 屈折望遠鏡のドームが完成
- 1929 65 cm 屈折望遠鏡の設置完了
- 1930 太陽塔望遠鏡 (アインシュタイン塔) 完成
- 1946 暦書の編製・『暦象年表』の刊行開始
- 1949 名古屋大学空電研究所発足 / 乗鞍コロナ観測所観測開始
- 1960 岡山天体物理観測所観測開始
- 1962 堂平観測所観測開始
- 1969 野辺山太陽電波観測所観測開始
- 1974 木曾観測所観測開始
- 1982 野辺山45メートル電波望遠鏡観測開始
- 1988 国立天文台発足・木曾観測所は東京大学に移管
- 1992 野辺山電波ヘリオグラフ観測開始
- 1999 すばる望遠鏡観測開始  
重力波望遠鏡 (TAMA300) 観測開始
- 2000 三鷹キャンパスの常時公開開始  
堂平観測所閉所
- 2001 日米欧でアルマ望遠鏡計画に合意  
VERAプロジェクトの水沢・入来・小笠原・石垣島 (2002) の4局完成



太陽塔望遠鏡



重力波望遠鏡 (TAMA300)



野辺山45メートル電波望遠鏡



VERA 水沢観測局20メートル電波望遠鏡

- 2004 大学共同利用機関法人自然科学研究機構国立天文台発足
- 2006 石垣島天文台完成  
太陽観測衛星「ひので」による観測開始
- 2007 4次元デジタル宇宙 (4D2U) 立体ドームシアターの完成  
月探査衛星「かぐや」の打ち上げ
- 2010 乗鞍コロナ観測所、60年の歴史を刻んで閉所
- 2011 アルマ望遠鏡初期観測開始
- 2013 アルマ望遠鏡本格運用開始
- 2014 TMT国際天文台発足、初期メンバーとして参加
- 2015 野辺山太陽電波観測所閉所
- 2018 岡山天体物理観測所閉所  
スーパーコンピュータ「アテルイII」運用開始
- 2020 重力波望遠鏡KAGRA観測開始



すばる望遠鏡



アルマ望遠鏡

