

大学共同利用機関法人 自然科学研究機構  
National Astronomical Observatory of Japan

# 国立天文台 2021



<https://www.nao.ac.jp/>

# 見えた！ 誰も知らない星空の向こう

すばる望遠鏡・超広視野主焦点カメラによって撮影された多種多様な天体。形がよく分かる近傍の銀河から、数十億光年の遠方にあるため赤方偏移の効果で赤く見えているものまでさまざまな銀河が写っています。画像中央下にある青く伸びた線状の天体は移動速度の速い太陽系の小惑星です。その他の明るい点源は、多くが銀河系の星ですが、クエーサーや太陽系の最果てにある準惑星のような天体なども含まれているかもしれません。暗い点源になると、超遠方にあつて空間的に分解できない銀河も混じっています。

人類最古の学問のひとつである天文学。農耕や狩猟のため暦を作ることから始まった学問ですが、いまでは「宇宙の構造を知ることによって、自らの成り立ちを明らかにしたい」という、人類が持つ根源的な望みも込められています。20世紀後半に確立された「ビッグバン宇宙論」をはじめとする最新の宇宙観は、宇宙史における地球、地球史における生命、生命史における人間へとつながる物質進化のダイナミズムを統一的に描くことを可能とする科学的基盤を成立させました。さらに今世紀になると、太陽系外の惑星やそこに生息する生命の存在をも探ってゆく時代となりました。国立天文台は、そのような未知の宇宙のさまざまな現象を観測し研究を深めることによって、人類の知的基盤を豊かなものとし、宇宙と生命、そして私たちを一体としてとらえる新たな“自然観創成”の役割を果たしたいと考えています。その実現に挑む国立天文台のプロジェクトの数々をご紹介します。

(表紙) アルマ望遠鏡と大マゼラン雲と南天の星空 (Credit: ESO/Y. Beletsky)

(裏表紙) すばる望遠鏡と北の空に輝く星たち (Photo by Dr. Hideaki Fujiwara - Subaru Telescope, NAOJ.)

●編集制作：平松正顕 (制作統括) 高田裕行・久保麻紀 (天文情報センター出版室) ●発行：国立天文台 ©2021 NAOJ

# 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。

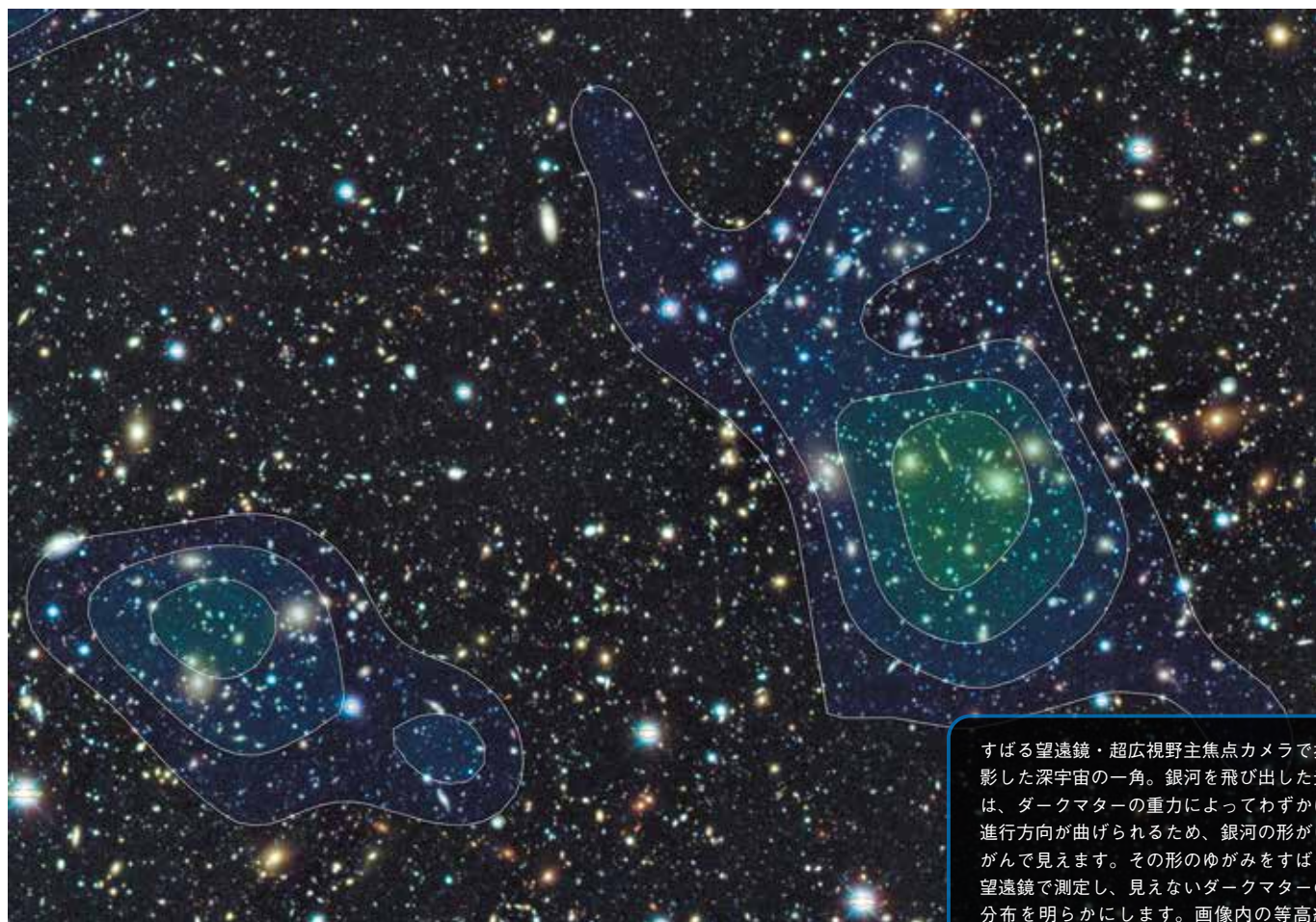


ハワイ島マウナケア、月夜の雲海に浮かぶすばる望遠鏡ドームのシルエット。(画像：藤原英明／国立天文台ハワイ観測所)



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、長さ3m・重さ3トンにも及ぶ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が取り付けられるのは世界に数ある8～10m級望遠鏡の中でもすばる望遠鏡だけで、8.2mの主鏡による大集光力・シャープな結像性能とHSCによる超広視野の組み合わせは、すばる望遠鏡を唯一無二の存在にしています。HSCの視野は満月9個分の大きさに相当し、膨大な数の銀河を撮影することによって正体不明の物質ダークマターの謎に迫ろうとしています。

# すばるが挑むサイエンス 01



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。

## 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次元的な分布を明らかにします。また、2,400個の天体を一度に分光できる超広視野多天体分光器で多数の銀河の距離を精度良く測定し、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）。

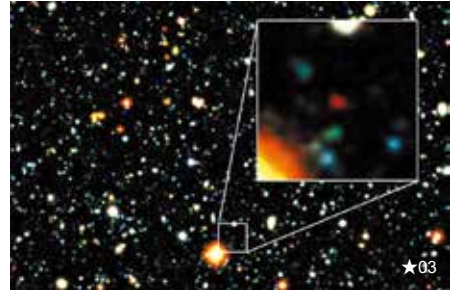
# すばる望遠鏡 Gallery



★01



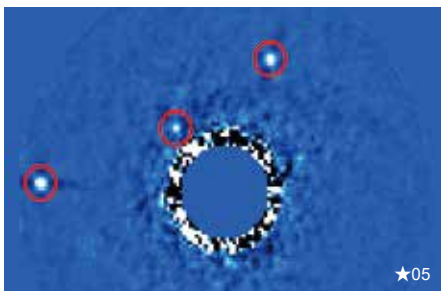
★02



★03



★04



★05



★06



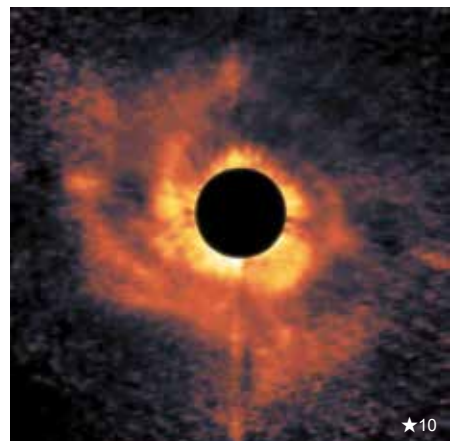
★07



★08



★09



★10



★11



★12



★13



★14

★01 すばる望遠鏡が撮像した星形成領域S106 IRS4 ★02 すばる望遠鏡の本体 ★03 130億光年かなたに発見された銀河IOK-1 (拡大図中央の赤い天体) ★04 マウナケアの雪景色 (右がすばる望遠鏡ドーム) ★05 HR8799星を回る3つの惑星 (赤い円内) ★06 コントロールルーム ★07 スターバースト銀河M82 ★08 ヒロ湾から望む雪のマウナケア (撮影: 藤原英明-Subaru Telescope, NAOJ.) ★09 中間赤外線とらえた木星の成層圏 (Credit: 国立天文台/NASA/JPL-Caltech) ★10 若い恒星ぎょしゃ座AB星の原始惑星系円盤 ★11 M31 (アンドロメダ銀河) のクローズアップ画像 ★12 すばる望遠鏡・超広視野主焦点カメラの補正レンズ ★13 補償光学装置用の人工の星を作るレーザー照射時のすばる望遠鏡ドーム (撮影: Dr. Sebastian Egner-Subaru Telescope, NAOJ.) ★14 銀河の集団「ステファンの5つ子」

●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11か国が運用する13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年以上にわたる共同利用によって、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。2020年末時点での総論文数2,295本、博士論文156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、日本の科学研究の一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。



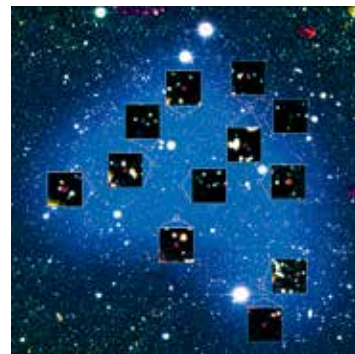
## すばるが挑むサイエンス 02

## 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、現在、超広視野主焦点カメラを使った大規模探査観測が進行中です。さらに、開発中の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のが可能になります。現在、すばる望遠鏡に搭載する広視野高解像赤外線観測装置の検討が進められており、これによって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現在建設中の30m望遠鏡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、観測史上最も遠方にある原始銀河団z660D。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。すばる望遠鏡が誇る超広視野観測性能は、どこにあるかわからない未知の遠方天体の探索にたいへん有効です。超広視野主焦点カメラの能力は現在、他の追従を許さないものであり、深宇宙を探る装置としてのすばる望遠鏡の役割は世界の天文学に極めて重要なものになっています。

## 多彩な新型観測装置で スーパーすばるにパワーアップ!

## 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4,000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。中心の星（恒星）の光をマスクで隠し、周囲の暗い天体の姿を浮かび上がらせる「コロナグラフ」という装置を用いて、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近赤外超精密視線速度観測装置を搭載し、地球型惑星の探査を進めています。発見された地球型系外惑星の大気成分を30m望遠鏡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。(25ページ参照)



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2,400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、望遠鏡カセグレン焦点に搭載されたメトロロジカメラ（下）（PFSプロジェクト提供）]。

すばる望遠鏡で発見された、太陽系外惑星GJ 504b（右上の点）。明るい中心星の光を人工的に隠していますが、わずかに漏れ出た光が星のまわりに広がっています。GJ 504bの質量は木星の3~5倍で、観測史上最も暗く温度の低い惑星です。




# ALMA

Atacama Large Millimeter/submillimeter Array

アルマ望遠鏡

惑星系の誕生を捉える電波の目



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、光では見るることのできない宇宙を電波観測で明らかにします。

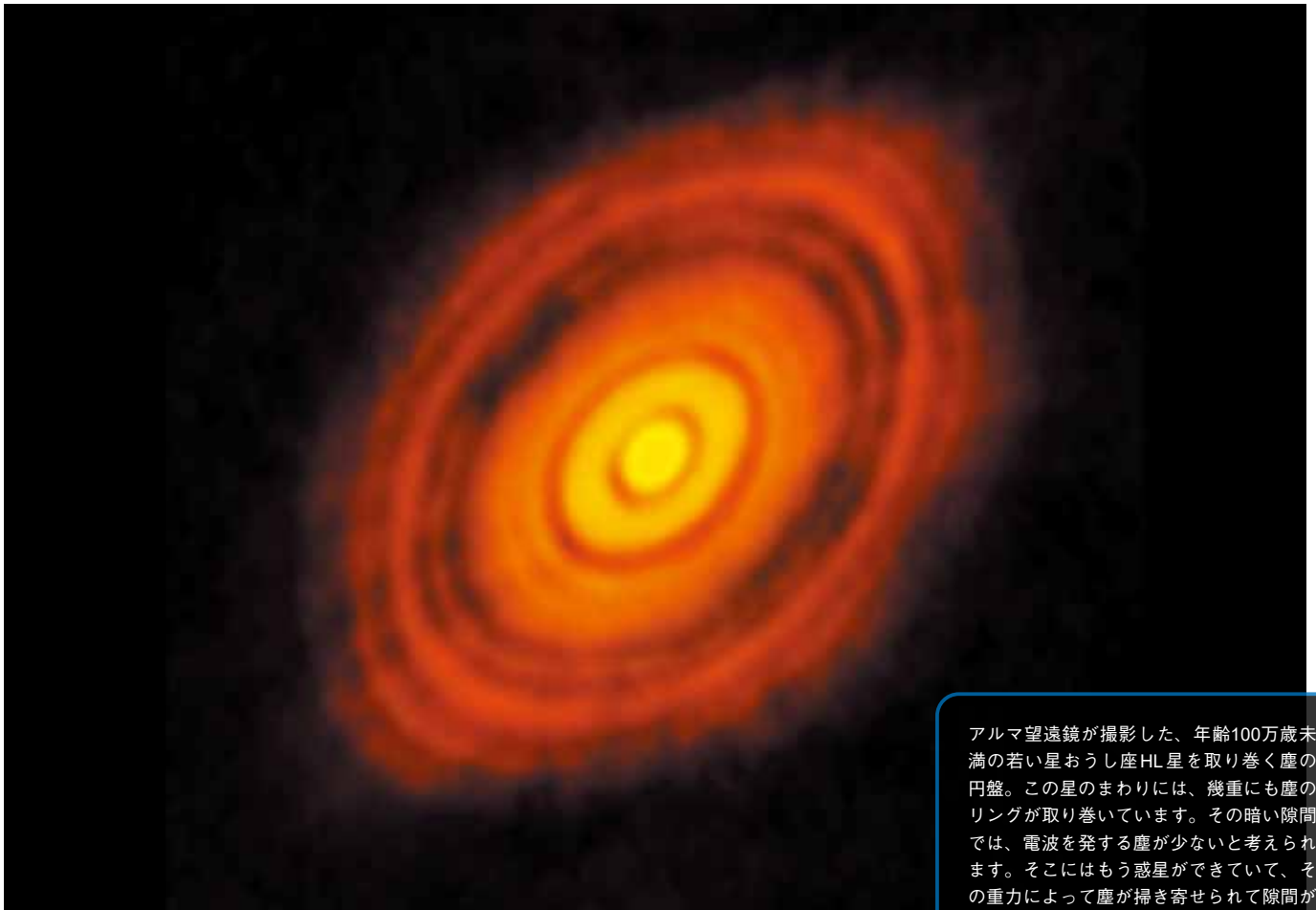
標高5,000mの乾いたアタカマ高地で観測するアルマ望遠鏡。アルマ望遠鏡は、複数のパラボラアンテナをつなげて一つの巨大な電波望遠鏡にする、「電波干渉計」という仕組みを用いています。66台のアンテナを最大で16kmの範囲に展開することで、直径16kmの電波望遠鏡と同じ解像度が得られます。これは東京の山手線とほぼ同じサイズで、得られる解像度は人間の視力にして6,000。大阪に落ちている一円玉の大きさを東京から見分けられるほどの視力に相当します。この圧倒的な解像度で、惑星誕生の現場を、鮮明に写し出すことができます。

[画像：Clem & Adri Bacri-Normier (wingsforscience.com) / ESO]



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。

# アルマが挑むサイエンス 01



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ます、と考える研究者もいます。  
Credit: ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)

## ALMA

## 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。

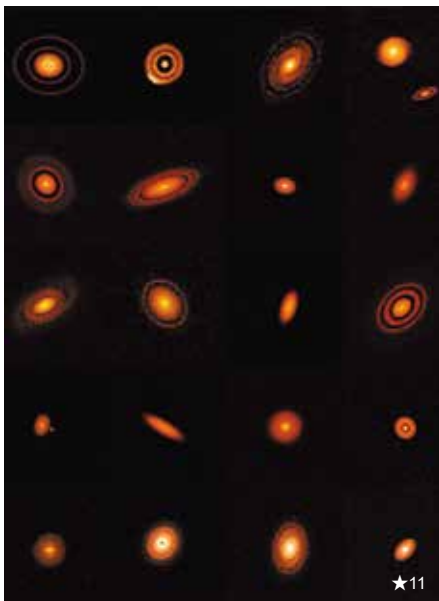
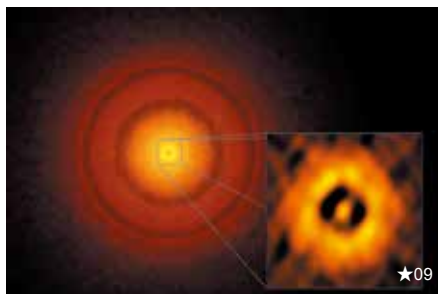
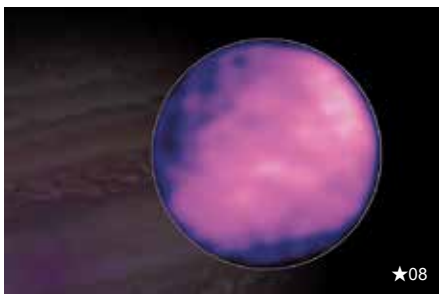
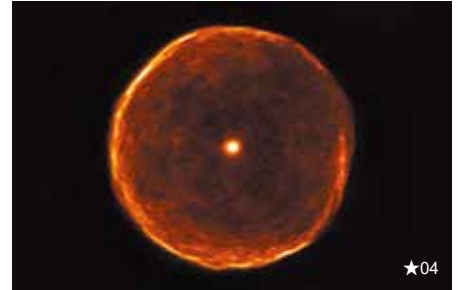
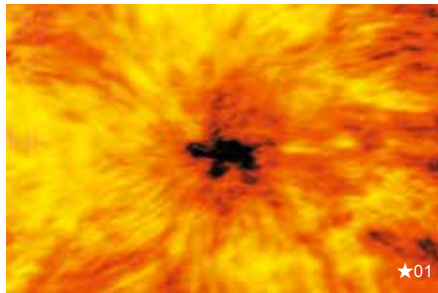
年齢数10万歳～1,000万歳ほどの若い星のまわりには、ガスや塵が円盤を作って回っています。これ

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分かってきました。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。

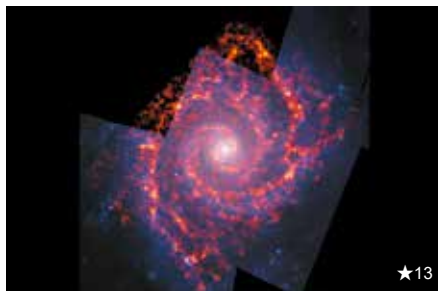


アルマ望遠鏡で撮影された若い星 Elias 2-27 の渦巻き形の原始惑星系円盤。  
Credit: B. Saxton (NRAO/AUI/NSF); ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)

# アルマ望遠鏡 Gallery



★01 アルマ望遠鏡が撮影した太陽黒点 ★02 アルマ望遠鏡運用に関する三者協定の署名式 ★03 アルマ望遠鏡モニタアレイ ★04 アルマ望遠鏡が撮影したポンプ座U星のまわりのガス ★05 渦巻銀河M77の中央部 ★06 コントロールルーム ★07 山頂施設に運ばれていくアルマ望遠鏡7mアンテナ ★08 アルマ望遠鏡が観測したエウロパの表面 ★09 うみへび座TW星の塵円盤 ★10 ビクーニャ ★11 アルマ望遠鏡がとらえた20の惑星系誕生現場 ★12 銀河団RX J1347.5-1145のスニャエフ・ゼルドビッチ効果 ★13 渦巻銀河M74



Credit: ★04 ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)/F.Kerschbaum ★05 ALMA (ESO/NAOJ/NRAO), Imanishi et al., NASA/ESA Hubble Space Telescope and A.van der Hoeven ★08 ALMA (ESO/NAOJ/NRAO), S. Trumbo et al.; NRAO/AUI/NSF, S. Dagnello; NASA/ESA Hubble Space Telescope ★09 S. Andrews (Harvard-Smithsonian CfA), ALMA (ESO/NAOJ/NRAO) ★11 ALMA (ESO/NAOJ/NRAO), S. Andrews et al.; NRAO/AUI/NSF, S. Dagnello ★12 ALMA (ESO/NAOJ/NRAO), Kitayama et al., NASA/ESA Hubble Space Telescope ★13 NRAO/AUI/NSF, B. Saxton; ALMA (ESO/NAOJ/NRAO); NASA/Hubble ●Credit表記のないものはすべてALMA (ESO/NAOJ/NRAO)

●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いっ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。

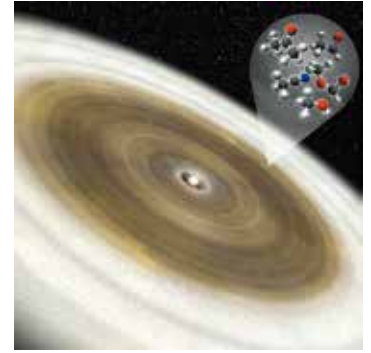
## アルマが挑むサイエンス 02

## 生命の起源に繋がる物質を宇宙に探す

アルマ望遠鏡は、宇宙に漂うさまざま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。もっとも身近な惑星系である太陽系での「はやぶさ2」などによる調査結果との比較を通じて、アルマ望遠鏡は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、いつ頃どのように生まれ、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。宇宙初期の銀河誕生の時代に切り込むことができた、大きな成果です。

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

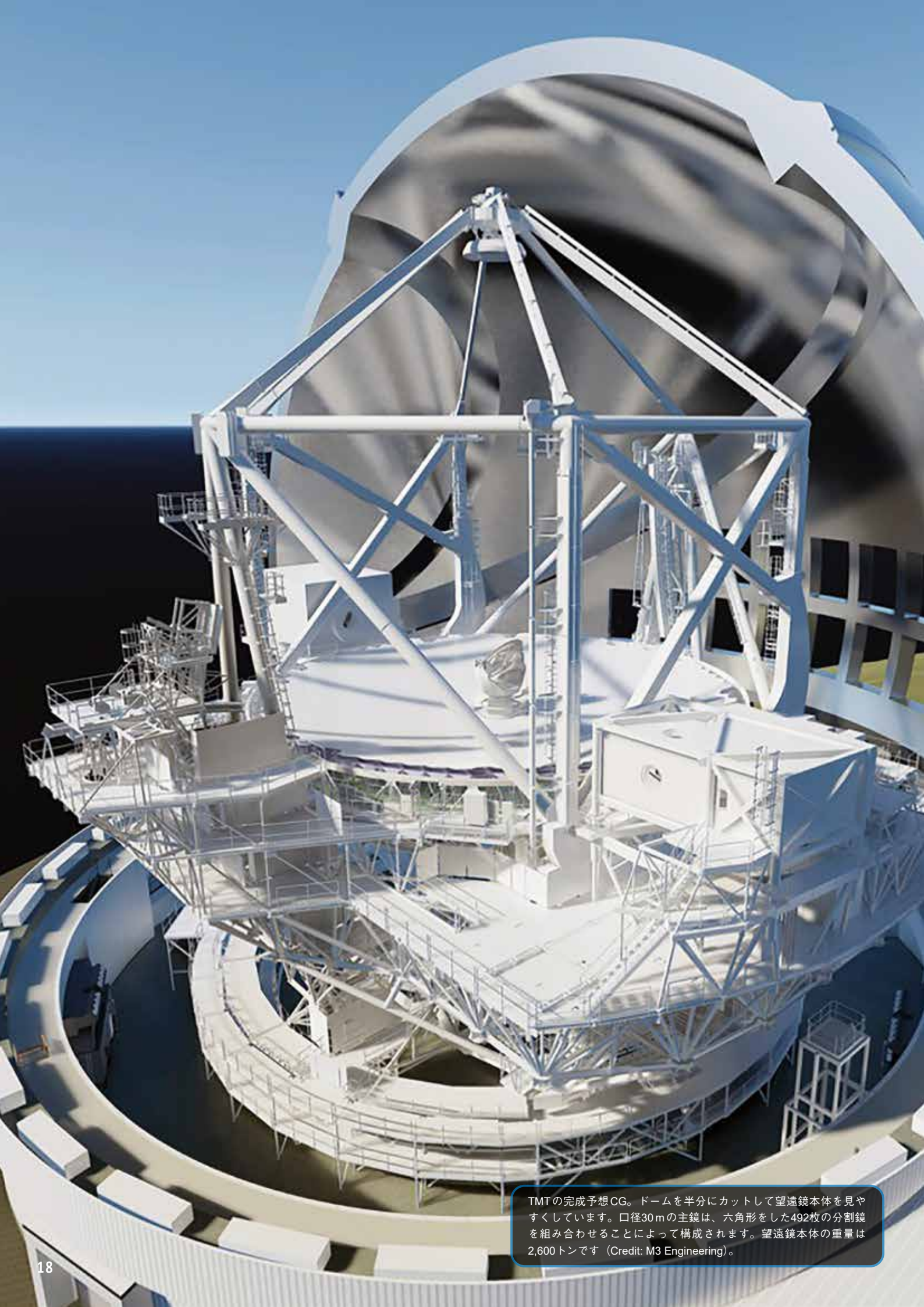
### 太陽系外の生命の星を見究める目

TMT(Thirty Meter Telescope) は、日本と米国・カナダ・中国・インドの5か国が協力して、ハワイ島マウナケア山頂域に建設予定の光学赤外線望遠鏡です。直径30メートルの主鏡により、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の鏡で、すばる望遠鏡の10倍以上も多くの光を集め、赤外線の観測では補償光学を用いてハッブル宇宙望遠鏡を10倍以上も上回る解像度を得ることができます。







TMTの完成予想CG。ドームを半分にかットして望遠鏡本体を見やすくしています。口径30mの主鏡は、六角形をした492枚の分割鏡を組み合わせることによって構成されます。望遠鏡本体の重量は2,600トンです (Credit: M3 Engineering)。

# TMTが挑むサイエンス 01



日本で製作された主鏡分割鏡の試作品。六角形状が特徴的です。日本では2013年に主鏡材の量産、2015年に研磨を開始しました。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

## 地球に似た環境の惑星を探し、 生命の兆候に迫る

宇宙には惑星系が次々と発見され、太陽系に似た惑星系や地球型の惑星も見つかりつつあります。TMTは、従来の8m級望遠鏡のおよそ10倍という大集光力を活かして、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)に地球型惑星を発見し、そこに生命が存在する証拠をとらえることです。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。

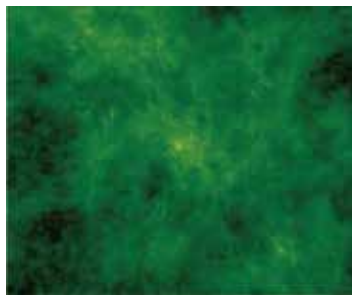
また、地球から見た時に惑星が中心星の前を横切るような軌道を持っている場合、惑星の大気を通り抜けてくる中心星の光を分光観測することができます。こうした観測によってTMTは、地球上にあるのと同様の植物が惑星表面に存在した場合に見える特徴的な色や、植物による光合成によって作られる酸素やオゾン、さらには生物由来の有機分子を検出する能力を備え、人類が未だ知らない宇宙における生命の普遍性に迫ります。

## 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、2021年3月時点で356枚が製造されています。

Credit: NAOJ/OHARA

## 30メートルの巨大な目 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

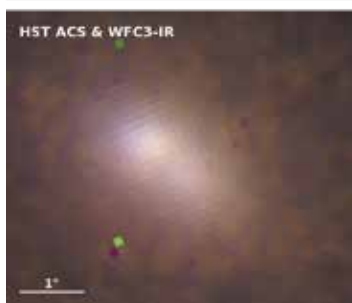
宇宙の膨張速度は、重力によって徐々に減速すると思われていましたが、ハッブル宇宙望遠鏡やすばる望遠鏡などの観測により、現在の宇宙は加速膨張していることが次第にはっきりしてきました。ダークエネルギーは、この加速膨張を説明するために考えられた「反発する力」の効果をもつエネルギーですが、その正体は分かっておらず、現代物理学における最大の謎のひとつとなっています。

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。さまざま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もつ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。

M31の中心部をTMTで観測した場合のシミュレーション（上）をハッブル宇宙望遠鏡で観測した場合（下）と比較したものです。TMTは、ハッブル宇宙望遠鏡を10倍以上も上回る解像度を実現します。

Credit: T. Do/Dunlap Institutes/IRIS



## TMTの建設計画

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、中国、インドの5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、多彩な観測性能をもつ装置の設計・開発も進めています。

すばる望遠鏡

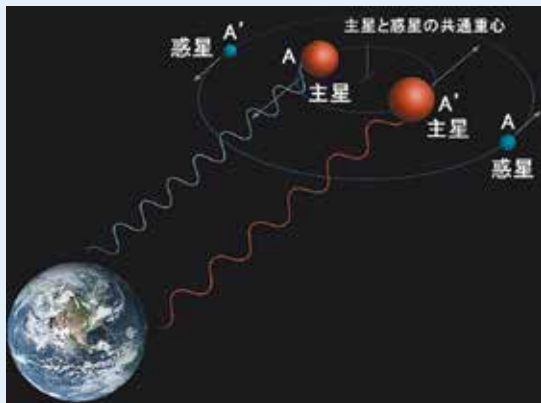
ハワイ島マウナケア山頂域のTMT（完成予想図）とすばる望遠鏡ほか大型望遠鏡群  
マウナケア山頂域は天候が安定しシャープな画像が得られることから、世界各国の数多くの大型望遠鏡が立ち並んでいます。TMTはすばる望遠鏡から1kmほどはなれた場所（標高4,012m）に建設される予定で、他の超大型望遠鏡建設予定地に比べて標高が1,000m以上高いことなどにより、特に赤外線での観測条件が抜群です。

# 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

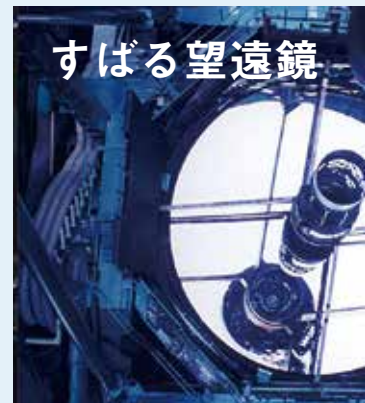
天文学の最大の目標です。「すばる」「アルマ」「TMT」の連携は、この「生命探し」の最適な探査システムを構成します。



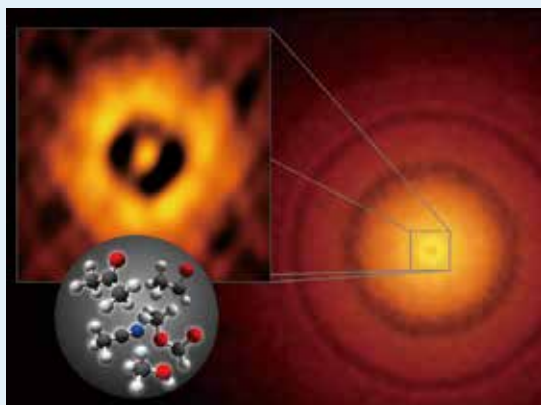
### 生命を育む 系外惑星をキャッチ

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



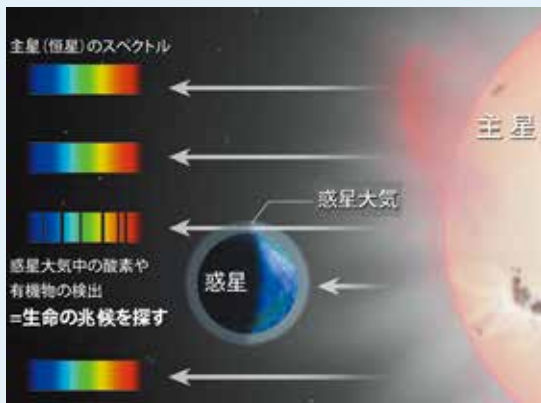
### 生命を創る 有機分子をキャッチ

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。

系外惑星の大気分光観測から酸素や有機物が見つければ、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装置「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疑似カラー画像（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ようす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年ほどの間隔を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とらえることで、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。

国立天文台科学研究部は、2019年4月に設立された新しい研究組織です。科学研究部は他のどのプロジェクトからも独立した研究組織であり、科学研究部に所属する研究者は観測装置の開発や望遠鏡運用を担当せず、天文学研究に集中することができます。

科学研究部は、理論研究と観測研究の融合、多波長天文学、マルチメッセンジャー天文学といったキーワードのもとで研究者の自由な発想に基づく研究を行い、観測波長や研究手段で分断されがちな

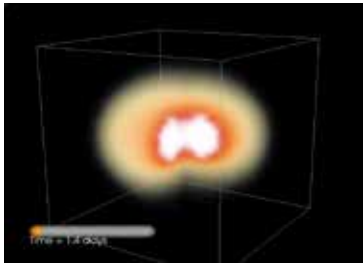


科学研究部の目指す様々な手法を用いた総合的な天文学のイメージ。

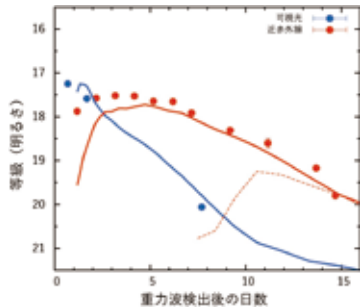
な天文学の現状を改善します。その一例として、すばる望遠鏡やアルマ望遠鏡といった国立天文台の大型観測装置とスーパーコンピュータによるシミュレーション研究の有機的な融合を図っていきます。天文学に関する幅広い展望をもとに国立天文台の将来計画の策定に寄与すること、大学院教育を含む若手研究者を育成することも重要なミッションです。これらにより、科学研究部が国内外を問わず新進の研究者を惹きつけ、国立天文台が世界の天文学研究のハブとなることを目指します。

## 理論的研究と観測研究の融合の例

### 金やレアメタルの起源を宇宙に探る

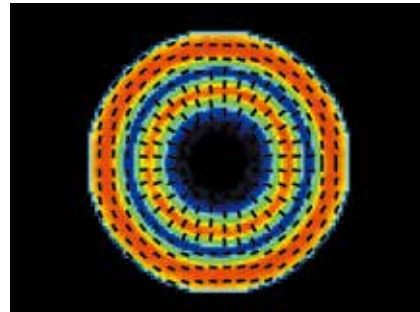


Credit: 田中雅臣

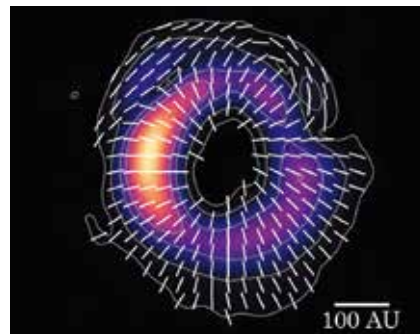


金やレアメタルが宇宙でどのように作られるのかは謎でしたが、「中性子星合体」と呼ばれる天体現象で作られることが分かりました。中性子星とは、太陽の約10倍以上重い星が一生を終えて超新星爆発を起こした後に残される天体です。連星系を成すふたつの中性子星が合体することで起きる爆発現象(上)と、そこで元素が合成された場合の光度変化を理論研究とスーパーコンピュータ「アテルイ」によるシミュレーションで予言しました。これと、すばる望遠鏡などによって観測された光度変化を比較すること(下グラフ)で、レアメタルなどの元素が実際に作り出された証拠を得ることができました。

### 原始惑星系円盤の構成物質の解明



Credit: Kataoka et al. (2015) ApJ 809.



Credit: ALMA (ESO/NAOJ/NRAO), Kataoka et al.

理論的研究によって導き出された原始惑星系円盤からの偏光した電波放射(上、黒い線が偏光の向き、画像の色は全電波強度に対する偏光した電波の強度比)と、アルマ望遠鏡で観測した若い星HD142527の原始惑星系円盤における偏光した電波放射(下、白い線が偏光の向き、画像の色は偏光した電波の強度)。理論モデルと観測で得られた偏光の向きを比較することで、惑星の材料となる塵の粒の大きさなどの情報を引き出すことができます。



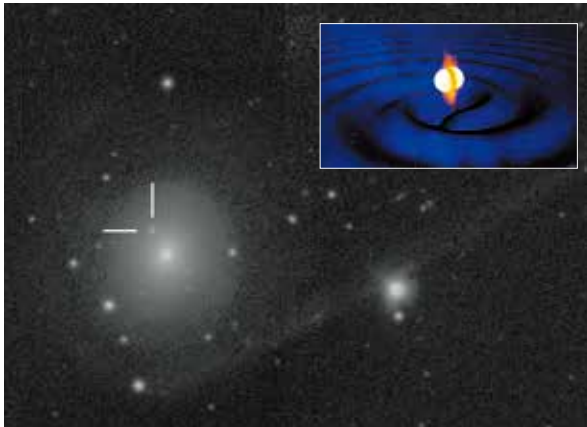
## 「マルチメッセンジャー天文学」への挑戦

すばる望遠鏡やアルマ望遠鏡で可視光や赤外線、電波といった電磁波を捉えるだけでなく、重力波なども観測して宇宙の多面的な姿を明らかにする「マルチメッセンジャー天文学」が始まっています。

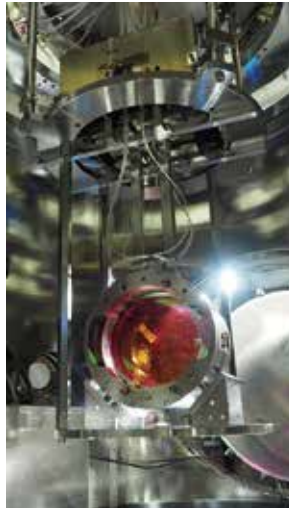
20世紀前半まで、人類が天体を調べる手段はほぼ可視光に限られていました。20世紀後半に入って、天体からの電波やX線、赤外線や紫外線が捉えられるようになり「多波長天文学」が天体现象の解明に大いに力を発揮しました。光学赤外線望遠鏡の「すばる」と電波望遠鏡の「アルマ」との連携観測などはその一例です。

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。2017年、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现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、アテルイのシミュレーション予測との比較によって、プラチナなどのレアメタルや金の起源が初めて明らかとなり、「マルチメッセンジャー天文学」の扉が開かれました。今後、大型低温重力波望遠鏡KAGRAが加わり、「マルチメッセンジャー天文学」のさらなる飛躍が期待されます。



今回観測された重力波源GW170817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イメージ（右上）。

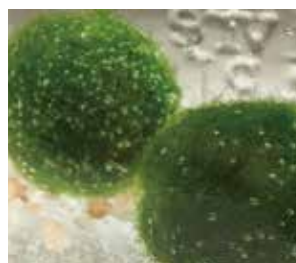


大型低温重力波望遠鏡KAGRAの干渉計を構成する真空ダクト（右）。KAGRAの心臓部にあたる大型鏡懸架装置は国立天文台で開発されました。赤い色の保護剤で覆われているのが鏡です（中央）。

## アストロバイオロジーセンターとの連携

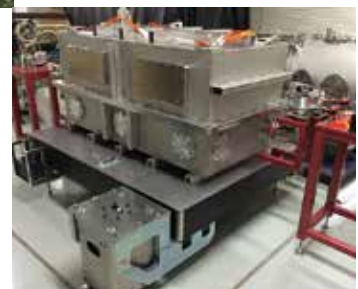
国立天文台が所属する自然科学研究機構に新しい研究組織としてアストロバイオロジーセンター（Astrobiology Center: ABC）が設立され、密接な研究連携が進んでいます。

アストロバイオロジーセンターは、太陽系外惑星や、宇宙に存在するかもしれない生物についての学際的研究を推進するために2015年に設立されました。生命科学と天文学の研究所を擁する自然科学研究機構ならではのユニークな研究機関です。近年の太陽系外惑星観測の大きな進展を受けて、「宇宙における生命」を科学的に探査し、その謎を解き明かすアストロバイオロジーの研究を専門に行います。アストロバイオロジーセンターでは、天文学や生物学など関連諸分野の融合によりこの新たな学際研究を進展させ、太陽系外の惑星探査や太陽系内外の生命探査、それらの探査のための装置開発を進めています。「宇宙における生命の探査」をこれからの大きな研究テーマに掲げる国立天文台とアストロバイオロジーセンターの連携が、今後ますます重要となっていきます。



酸素発生型の光合成生命の例（マリモ）。生命居住可能な領域（ハビタブルゾーン）にある系外惑星に光を利用する生物が存在した場合、惑星大気にどのような影響を与え、その大気観測で何を検出すれば生命の兆候“バイオシグニチャー”を捉えたことになるのかといった基礎的な研究を進め、TMTによる観測に生かしていきます。

2018年、アストロバイオロジーセンターと国立天文台、他の大学も参加して開発した系外惑星探索用の近赤外超精密視線速度観測装置が完成し、すばる望遠鏡に取り付けられて観測が開始されました。



# 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45m電波望遠鏡に始まり、すばる望遠鏡、つづ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、30m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



太陽観測衛星「ひので」

実現するため、不要な太陽光を外部に逃がす仕組み、主鏡支持機構、低膨張材料、衛星の微小なゆ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。

## 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

## 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を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21件、海外11件

(2021年7月13日現在)

#### ・注目の特許①

#### 補償光学系及び光学装置、特許第6394850号(日本・アメリカで特許取得)

大気の揺らぎを補償する補償光学の精度の向上と共に、計測工学や生物分野などへ応用が可能で、顕微鏡等で生じる画像のわずかな揺らぎをも補正し、従来にない鮮明な画像が得られます。

#### ・注目の特許②

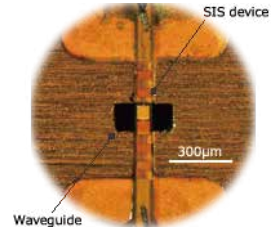
#### 光伝送システム及び伝送方法、特許第5291143号(日本・アメリカで特許取得)

低周波からテラヘルツ波までの広い周波数範囲の信号を光ファイバーに載せて長距離伝送するための技術で、信号の乱れが30万年に1秒以下という高い安定性を実現します。

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。

国立天文台は、超伝導素子の

開発のために専用のクリーンルーム設備を持ち、世界最先端の性能の超伝導素子を安定に製造しています。ここで、アルマ望遠鏡の最高周波数(約950GHz)の超伝導受信機を開発しました。このような超伝導素子と受信機システムを開発できる場所は世界に数か所しかありません。



超伝導技術による最高周波数サブミリ波受信素子。

## ④ 大気の揺らぎを補正する補償光学技術

地球からの天体観測では大気の揺らぎのために画像がぼやけてしまいます。補償光学は、この大気の揺らぎを補正して望遠鏡の解像度を飛躍的に向上させ、宇宙での観測に匹敵する性能を得る技術です。国立天文台は、すばる望遠鏡のために補償光学技術を開発して、解像度を今までの10倍以上に向上することに成功し、系外惑星を発見しました。この技術は、宇宙からの地球観測や、生物を見る顕微鏡へも応用できます。



補償光学系によって大気揺らぎでぼやけた星像(上)がシャープに(下)。

## 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。

# 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」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プロジェクト」「RISE月惑星探査プロジェクト」「SOLAR-Cプロジェクト」

「ASTEプロジェクト」(以上、29・30ページ参照)、「すばる超広視野多天体分光器プロジェクト」「すばる広視野補償光学プロジェクト」があります。

また「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ました。ngVLAは、アメリカが構想を進めている大型センチ波干渉計計画です。SKA1は欧州各国などの協力によってオーストラリアと南アフリカに建設が進められている大型低周波電波干渉計計画です。

## すばる超広視野多天体分光器プロジェクト



超広視野多天体分光器に搭載するためにアメリカのジェット推進研究所/カリフォルニア工科大学で開発された、光ファイバーを所望の位置に配置するためのアクチュエータ。光ファイバー1本1本を天体の位置に正確に合わせることで、多数の天体の光を一度に分光器に取り込むことができます。

すばる望遠鏡に搭載する、新しい分光器を開発するプロジェクトです。すばる望遠鏡が誇る超広視野と大集光力を存分に活かし、直径1.3度という大きな視野の中に存在する最大2,400個の天体の光を一度に分光することができます。この多天体分光器が稼働すれば、現在の可視光分光観測に比べて視野が50倍、同時分光天体数が20倍と圧倒的な性能向上が見込めます。これを使って多数の遠方銀河の光を一度に分光することによって、非常に効率よく銀河までの距離を測定することが可能になります。超広視野多天体分光器は、東京大学カブリ数物連携宇宙研究機構を中心とした7か国・地域の12機関が共同で開発します。その中で国立天文台は、装置のすばる望遠鏡への設置と運用を中心となって担います。

## 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)

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。

# 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プロジェクトに加え、さまざま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。



## 重力波プロジェクト



KAGRAの真空ダクト

●アインシュタインの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年に2つのブラックホール合体が初検出されたことで幕を開けました。すでにたくさんの重力波イベントが観測されており、既存の望遠鏡と連携観測するマルチメッセンジャー天文学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、国立天文台三鷹キャンパスに設置されたTAMA300干渉計を用いて最先端の重力波観測技術開発を実施しており、世界初の量子光学技術開発に成功するなどの成果もあげています。

## 天文シミュレーションプロジェクト



アテルイII

●天文シミュレーションプロジェクトでは、世界最速の天文学専用スーパーコンピュータ「アテルイII」（理論演算性能3ペタフロップス）を中心とした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の推進を行っています。望遠鏡では観ることができない宇宙を、物理法則にのっとった計算によって描き出すことがシミュレーションの目的です。これまで、惑星、恒星、銀河、宇宙の大規模構造と様々な空間スケールの天体の形成、構造、進化について数多くの成果を挙げてきました。これからもより現実的なシミュレーションを可能にし、それを用いて未解決の宇宙の謎に挑んでいきます。

## 太陽観測科学プロジェクト

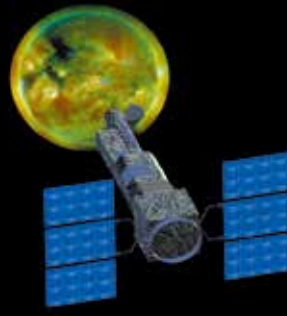


太陽フレア望遠鏡(左)と太陽観測衛星「ひので」(右)

●太陽観測衛星「ひので」と三鷹フレア望遠鏡、野辺山強度偏波計により、多波長で多角的な太陽磁気活動の観測データを取得・蓄積し世界に公開しています。

太陽表面から上層にわたる3次元的な磁場構造とその時間変化をとらえることで、太陽上空にある高温大気の成因となるジェットや波動といった動的な現象とともに、突発的な爆発現象の原因とそれが内部太陽圏に及ぼす影響の研究を進めています。さらに地上・スペースの次世代太陽観測へ展開するために、先端的技術開発とロケットや気球を用いた飛翔体実験を実施しています。

## SOLAR-Cプロジェクト



Solar-C (EUVST) 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。現在も観測を続けている太陽観測衛星「ひので」では到達できない磁気エネルギー解放領域の理解を進めるため、2万度の彩層からフレア発生中にコロナに現れる

2000万度までの全温度域を同時に観測できる極端紫外線分光望遠鏡を搭載した次期太陽観測衛星Solar-C (EUVST)を用いて、その発生メカニズムの解明に挑みます。Solar-C (EUVST)は、2020年代半ばの打上げを目指して、日本を中心として欧米と共同開発を進めています。

## JASMINEプロジェクト

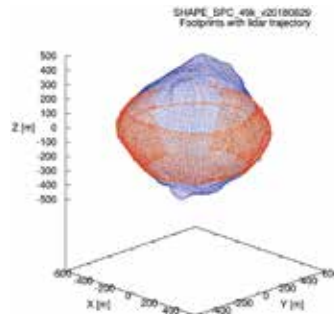


Small-JASMINE

●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号機の唯一の候補として採択された「小型ジャスミンミッション」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共に、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、星の前を惑星が通過する際の減光をとらえ、低温星周りの生命居住可能領域にある地球型惑星の探査等も行います。

## RISE 月惑星探査プロジェクト



レーザ高度計による小惑星リュウグウの形状観測結果(赤点)★

●太陽系天体の内部構造を調べることにより、その進化と起源を探ります。JAXAの月探査衛星「かぐや」で、RISE月惑星探査プロジェクトは月の裏側の正確な重力場を求め、極域を含む地形を明らかにしました。近年は小惑星探査機「はやぶさ2」で国内外の研究者と共同でレーザ高度計の開発を行い、その運用と科学観測も行いま

した。将来ミッションでは、欧州の木星系探査機搭載のガニメデレーザ高度計を国際共同で開発しており、さらに日本の火星衛星探査計画では測地学サブサイエンスチームを主導しています。

★画像クレジット：国立天文台、JAXA、千葉工大、会津大、日本大、大阪大



## 水沢VLBI観測所



水沢VERA局の20 m電波望遠鏡

●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 m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の地図を描き出してきました。また、より広範囲の多くの電波望遠鏡と組み合わせることで性能を向上できるため、主にアジア地域で国際協力を進めています。韓国の3台の電波望遠鏡KVNとの連携によるKaVA、さらに中国を含めた東アジアVLBIネットワークを構築しています。

## 天文データセンター



天文データ用の計算機群

●国立天文台や国内・国外の観測装置によって得られた天文観測データを収集・公開するとともに、天文データ利活用のための解析環境の共同利用や講習会等、天文データに関する総合的な機能を

提供しています。国立天文台ハワイ観測所と共同で、すばる望遠鏡超広視野主焦点カメラのデータ解析ソフトウェアの開発とデータ解析・公開を行っている他、すばる望遠鏡やアルマ望遠鏡などの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」を運用し、データベース天文学の推進に取り組んでいます。

## 野辺山宇宙電波観測所



45 m電波望遠鏡

●野辺山宇宙電波観測所の45 m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、宇宙空間にただようさまざまな星間分子が放つ電波の観測を行っています。特に、星の誕生領域の分子雲（分子ガスでできた雲）の詳細観測、銀河系の中心方向での特異な分子雲の探査を重点的に実施してきました。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。

## 先端技術センター



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

●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・紫外線まで、地上・宇宙を問わず、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 m望遠鏡TMTの焦点面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んでいます。

## ASTEプロジェクト



10 mサブミリ波望遠鏡

●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890 GHz帯

受信機によるサブミリ波の最高周波数帯での研究の開拓と、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。

## 天文情報センター

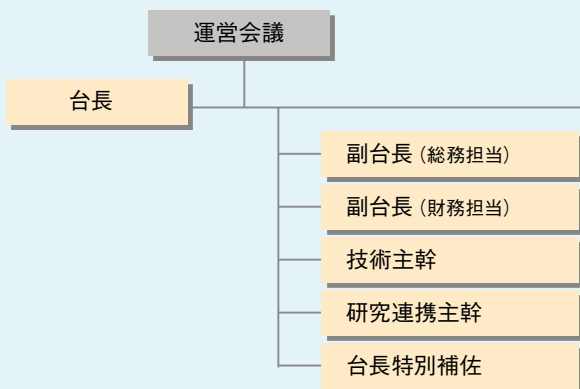
●天文学の最新の成果をはじめ新天体や暦など種々の天文情報を発信するとともに、質問電話への対応や三鷹キャンパス・石垣島天文台の施設公開事業、国際天文学連合国際普及室の活動を担っています。天文学関連の社会教育施設と連携し、天文学に関する科学コミュニケーション活動の中核ともなっています。観測環境を守る周波数資源保護活動も実施しています。また多くの天文関連図書や稀観本を擁する図書室による一般向け閲覧サービスも行っています。



50 cm公開望遠鏡による定例観望会

# 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も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す。すばる望遠鏡やアルマ望遠鏡、スーパーコンピュータ「アテリイII」、太陽観測衛星「ひので」など、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。TMTプロジェクトは、すばる望遠鏡に続く30m望遠鏡TMTの建設を進めています。重力波プロジェクトは大型低温重力波望遠鏡KAGRA（かぐら）を用いて重力波天文学の開拓を目指しています。

● **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。従来から設置されていた「JASMINEプロジェクト」「RISE月惑星探査プロジェクト」「SOLAR-Cプロジェクト」に、2019年4月より「すばる超広視野多天体分光器プロジェクト」「すばる広視野補償光学プロジェクト」が、2019年12月より「ASTEプロジェクト」が加わりました。

・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、「検討グループ」が設置されています。現在、「ngVLA検討グループ」「SKA1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。

## プロジェクト室

### Cプロジェクト

- 水沢 VLBI 観測所 (SKA1検討グループ)  
Mizusawa VLBI (Very Long Baseline Interferometry) Observatory
- 野辺山宇宙電波観測所  
Nobeyama Radio Observatory
- 太陽観測科学プロジェクト  
Solar Science Observatory
- ハワイ観測所 (岡山分室)  
Subaru Telescope
- 天文シミュレーションプロジェクト  
Center for Computational Astrophysics
- チリ観測所  
NAOJ Chile
- アルマプロジェクト (ngVLA 検討グループ)  
ALMA Project

### Bプロジェクト

- 重力波プロジェクト (神岡分室)  
Gravitational Wave Science Project
- TMTプロジェクト (カリフォルニア事務所)  
Thirty Meter Telescope (TMT) Project

### Aプロジェクト

- JASMINEプロジェクト  
JASMINE (Japan Astrometry Satellite Mission for INfrared Exploration) Project
- RISE 月惑星探査プロジェクト  
RISE (Research of Interior Structure and Evolution of Solar System Bodies) Project
- SOLAR-Cプロジェクト  
SOLAR-C Project
- ASTEプロジェクト  
ASTE Project
- すばる超広視野多天体分光器プロジェクト  
Subaru Prime Focus Spectrograph (PFS) project
- すばる広視野補償光学プロジェクト  
Subaru Ground Layer Adaptive Optics (GLAO) project

## センター

- 天文データセンター  
Astronomy Data Center
- 先端技術センター  
Advanced Technology Center
- 天文情報センター  
Public Relations Center

## 科学研究部 Division of Science

- 連携事業 (Collaborative Projects)
  - 光赤外線天文学研究教育ネットワーク事業  
Inter-university Collaboration: Optical and Infrared Synergetic Telescopes for Education and Research (OISTER)
  - 国内 VLBI ネットワーク事業  
Inter-university Collaboration: Japanese VLBI Network (JVN)

## 事務局

- 総務課 (General Affairs Division) 研究推進課 (Research Promotion Division)
- 財務課 (Financial Affairs Division) 経理課 (Accounting Division)
- 施設課 (Facilities Division)
- 研究力強化戦略室 (Research Enhancement Strategy Office)
  - 研究評価支援室 (Research Assessment Support Office)
  - 産業連携室 (Industry Liaison Office)
- 国際連携室 (Office of International Relations)
- 人事企画室 (Human Resources Planning Office)
- 安全衛生推進室 (Safety and Health Management Office)
- 技術推進室 (Engineering Promotion Office)
- 情報セキュリティー室 (IT Security Office)

# 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 世界に広がる研究施設

国立天文台の研究・観測施設は、世界最高の観測条件を求めて、日本国内から海外適地に移動しています。ハワイではすばる望遠鏡が稼働を続け、30m望遠鏡TMTが建設予定です。南米チリにアルマ望遠鏡を建設しました。

### 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。

### 国立天文台野辺山 野辺山宇宙電波観測所

〒384-1305  
長野県南佐久郡南牧村野辺山462-2  
TEL 0267-98-4300(代)  
<https://www.nro.nao.ac.jp/>

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45m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とらえるなど、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。



### 国立天文台チリ

Alonso de Cordova 3788, Oficina 61B, Vitacura, Santiago, Chile  
TEL +56-2-2656-9253(代)  
<https://alma-telescope.jp/>

#### ■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。ここには、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5,000m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。

#### 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30km離れた標高2,900m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舍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: Clem & Adri Bacri-Normier (wingsforscience.com)/ESO

### ■水沢 VLBI 観測所・山口観測局

#### アルマ望遠鏡

Kilometro 121, Carretera CH 23,  
San Pedro de Atacama Chile  
・一般見学  
山麓施設内見学  
(毎週土日、ウェブページからの予約制)  
<https://alma-telescope.jp/visit>



### ■水沢 VLBI 観測所・VERA 入来観測局

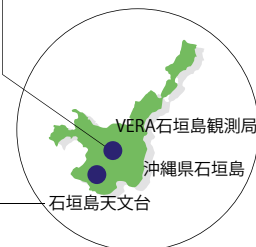
・一般公開(9時~17時/毎日)

### ■水沢 VLBI 観測所・VERA 石垣島観測局

・一般公開(9時~17時/日曜日・年末年始を除く、他に不定休あり)

・一般公開(施設公開10時~17時/水~日、年末年始を除く)  
・天体観望会(19時~22時/土・日・祝日の夜)

### ■石垣島天文台





## 国立天文台水沢

〒023-0861  
岩手県奥州市水沢星ガ丘町2-12  
TEL 0197-22-7111 (代)  
<https://www.miz.nao.ac.jp/>

### ■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。天の川銀河の3次元地図を作成するVERA観測局が設置されています。

### ■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

- Cプロジェクト
- Bプロジェクト
- Aプロジェクト

### 国立天文台水沢

・一般公開  
9時～17時／年末年始を除く毎日  
★奥州宇宙遊学館  
(休館日：年末年始、火曜日)  
[https://www.miz.nao.ac.jp/content/tour\\_guide\\_mizusawa\\_campus](https://www.miz.nao.ac.jp/content/tour_guide_mizusawa_campus)

### 国立天文台野辺山

・一般公開  
(8時30分～17時／年末年始を除く毎日)  
<https://www.nro.nao.ac.jp/visit/index.html>

### ■水沢 VLBI 観測所・茨城観測局

## 国立天文台三鷹(本部)

〒181-8588 東京都三鷹市水沢2-21-1  
TEL 0422-34-3600 (代)  
<https://www.nao.ac.jp/>

- 太陽観測科学プロジェクト
- 天文シミュレーションプロジェクト
- アルマプロジェクト
- 重力波プロジェクト
- TMT プロジェクト
- JASMINE プロジェクト
- すばる超広視野多天体分光器プロジェクト
- すばる広視野補償光学プロジェクト
- ngVLA 検討グループ／SKA1 検討グループ

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



### 国立天文台三鷹

・一般公開  
(10時～17時／年末年始を除く毎日)  
・定例観望会／4D2Uシアター定例公開(ともに申込み制)  
<https://www.nao.ac.jp/access/mitaka/visit/>

- 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
- 天文データセンター
- 先端技術センター
- 天文情報センター
- 科学研究所

Japan

## 国立天文台ハワイ

### ■ハワイ観測所 ■TMT プロジェクト

山麓施設(ヒロオフィス)  
650 North A'ohoku Place, Hilo, Hawaii 96720 U.S.A.  
TEL +1-808-934-7788  
<https://subarutelescope.org>

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30mの大型光学赤外線望遠鏡TMTの建設も国際協力で行っています。

Hawai'i

マウナケア ヒロ

アメリカ合衆国  
ハワイ州ハワイ島



#### すばる望遠鏡(左)

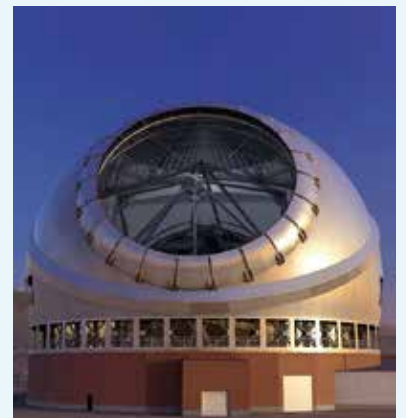
口径8.2mの世界最大級の口径を持つ光学赤外線望遠鏡です。2000年度から本格的な観測を開始し、世界に誇る広視野観測能力を活かし、超遠方銀河の発見など世界最先端の研究成果を挙げ続けています。

#### TMT(右)

日本と米国・カナダ・中国・インドとの国際協力で建設予定の、大型光学赤外線望遠鏡です。すばる望遠鏡を10倍以上回る集光力で、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。

#### ヒロ・オフィス(左)

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。



#### カリフォルニア事務所

カリフォルニア州バサデナに拠点があるTMT国際天文台と協力してTMT計画を推進しています。

小笠原諸島  
父島

### ■水沢 VLBI 観測所・VERA 小笠原観測局

・一般公開(随時/毎日)

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。さらに、研究成果を国立天文台のプレスリリースを通して広く国内外に知らせることで、成果の社会還元に資するとともに、大学等の国際的なプレゼンスの向上に貢献しています。



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。

## すばる望遠鏡 の大学共同利用の例



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）。

### 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。

### 多波長観測が描き出した、銀河団の衝突による超高温ガス

●広島大学の岡部信広氏らの研究チームは、すばる望遠鏡による可視光観測と、X線、電波の観測を組み合わせ、衝突を起こしている銀河団を詳細に調べ、銀河団の衝突によって、周囲のガスが4億個もの超高温に加熱されていることを明らかにしました。



衝突銀河団XLSSC 105の合成画像。すばる望遠鏡が捉えた多数の銀河を背景に、ダークマター（青）、X線（緑）、電波（赤）の画像が重ねられています。Credit: GBT/NSF/NAOJ/HSC-SSP/ESA/XMM-Newton/XXL survey consortium



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

### 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とらえることに成功しました。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。

国立天文台の

## 技術を社会へ

### JAXA 美星スペースガードセンター CCDカメラの開発協力

●すばる望遠鏡超広視野主焦点カメラの技術をもとに、国立天文台は、宇宙航空研究開発機構（JAXA）・日本宇宙フォーラムと協力してCCDカメラを開発。このカメラは美星スペースガードセンターで10年にわたって地球接近小惑星やスペースデブリ（宇宙ゴミ）の観測に使用され、安全・安心な社会の実現に貢献しています。



スペースデブリ観測用1m光学望遠鏡に取り付けられたCCDカメラ。Credit: JAXA

### 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のひとみ衛星とその後継機にも採用された他、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



132.8億光年かなたの銀河 MACS1149-JD1の酸素の存在を示す疑似カラー(緑)画像。  
Credit: ALMA (ESO/NAOJ/NRAO), NASA/ESA Hubble Space Telescope, W. Zheng (JHU), M. Postman (STScI), the CLASH Team, Hashimoto et al.

130億光年を超える距離の銀河に、続々と酸素を検出

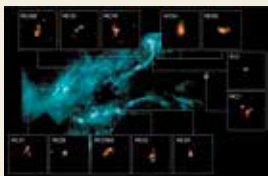
●大阪産業大学の井上昭雄准教授のグループは、アルマ望遠鏡で131億光年、132.8億光年先の遠方銀河に酸素があることを発見し、酸素の最遠方検出記録を2度にわたり更新。それぞれ「サイエンス」「ネイチャー」誌に掲載され、世界の銀河形成研究に大きなインパクトを与えました。

### 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 津久井崇史氏らは、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



遠赤外線でも観測したおうし座分子雲(青)と、アルマ望遠鏡で観測した「星の卵」(オレンジ)。  
Credit: ALMA (ESO/NAOJ/NRAO), Tokuda et al. ESA/Herschel

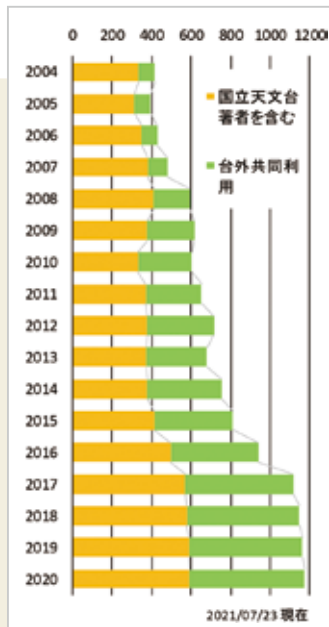
### 星の卵の「国勢調査」一星のヒナ誕生までの10万年を追う

●大阪府立大学の徳田一起客員研究員らは、アルマ望遠鏡を使って「星の卵」ともいべき高密度ガス雲を多数観測しました。そのうちのひとつに「星のヒナ」である誕生直後の星があることを突き止めるなど、ガス雲が重力で収縮し星へと急成長する過程を描き出すことに成功しました。

## 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と国立天文台の施設を使った研究成果論文は、すばる望遠鏡、アルマ望遠鏡、太陽観測衛星「ひので」など大型計画の進展とともに増加してきました。大学共同利用を通じて、大学所属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：15.6%  
同Top1%論文の割合：2.4%  
国際共著率：78.8%  
(対象期間：2016～2020年)



## 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望遠鏡(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。

## 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现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。

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。

## 国際宇宙ステーション搭載 地球大気観測装置の開発協力

●「超伝導サブミリ波リム放射サウンダ」は、JAXAと情報通信研究機構が国際宇宙ステーション日本実験棟「きぼう」に設置した観測装置で、地球大気中の微量分子が放つ電波をとらえ、その分布の変化を描き出しました。国立天文台は、これに搭載された周波数640 GHz帯の超伝導受信機の開発に大きな役割を果たしました。



「きぼう」に取り付けられた超伝導サブミリ波リム放射サウンダ(矢印)。Credit: NASA

## 世界の天文普及を リードする国際普及室



国際天文学連合が世界的な天文普及を行うための組織「国際普及室 (IAO)」が、国立天文台三鷹に設置されています。「天文学者の国連」とも呼ばれる国際天文学連合と国立天文台の共同事業として、IAOは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、100カ国以上に散らばる天文普及コーディネータを支援しています。天文コミュニケーションに関する査読論文誌の発行や天文翻訳プラットフォームの設立、様々な天文普及イベントの企画も重要な任務です。IAOは、国立天文台の国際化と多様化を象徴する取り組みのひとつです。

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物理科学研究科天文科学専攻は、国立天文台を基盤とする大学院です。

## ② 連携大学院教育制度

## ③ 受託大学院生（特別共同利用研究員）制度

大学院生数（2021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）の大学院生 …… 30名

連携大学院の大学院生 …… 29名

受託大学院生（特別共同利用研究員） …… 12名

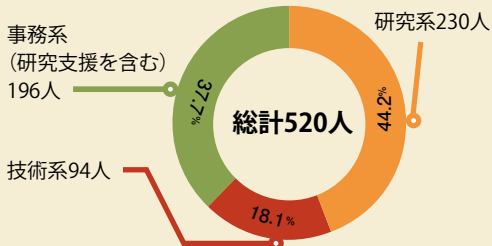
過去5年間に、国立天文台で大学院生を受け入れた実績のある大学院は以下の通りです。

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／信州大学／名古屋大学／山口大学／九州大学／鹿児島大学／大阪府立大学／京都産業大学／東京都市大学／日本大学／日本女子大学／法政大学／Tufts University（順不同）

# 国立天文台の プロフィール

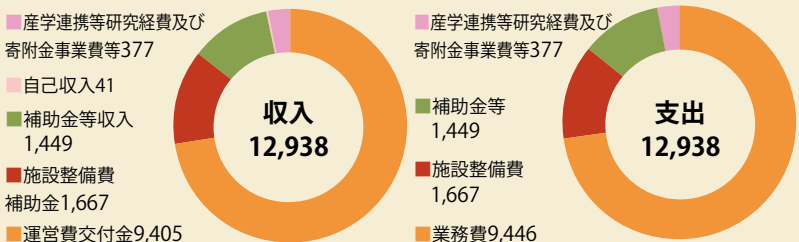
## ■職員数

（2021年4月1日現在）



## ■2020年度の予算状況

単位:百万円

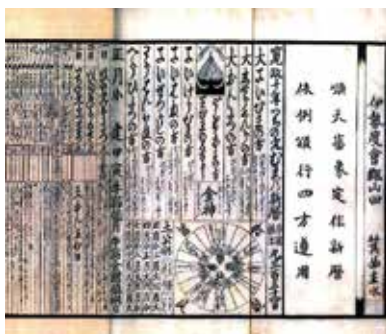
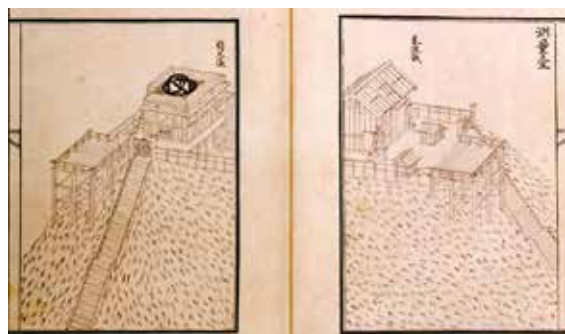


# 国立天文台の 歴史

## 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後期（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、さまざま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）

『寛政暦』（寛政十年・1798年）

『天文分野之図（てんもんぶんやのず）』保井（泷川）春海（初代幕府天文方）（延宝五年・1677年写）



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

国立天文台では1925年の創刊以来、90年以上の歴史をもつ『理科年表』を、多くの研究機関の協力を得て刊行しています。



昭和初期頃の三鷹キャンパス



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45m 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 m 電波望遠鏡



水沢 VERA 20 m 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

# 天文学の未来を拓く国立天文台

21世紀の天文学の主要課題は、宇宙に生命を探すこと、宇宙の開闢を理解すること、そして宇宙に満ちるダークマターとダークエネルギーの本性を理解することの3点です。現在、これらの課題の解決のため、世界の主要国が競って大型の観測装置の建設を行っています。世界的な協力と競争が行われる中、国立天文台は3つのミッション「知の地平線を拡げるため、大型天文研究施設を開発・建設し、共同利用に供する」、「多様な大型施設を活用し、世界の先端研究機関として天文学の発展に寄与する」、「天文に関する成果・情報提供を通じて、社会に資する」を軸に、活発な学術研究を展開しています。

日本の近代天文学は、渋川春海（安井算哲）が貞享元年（1684）に独自の大和暦（貞享暦）を完成させたことに遡ります。国立天文台の前身は、江戸時代後期、幕府天文方の浅草天文台で、明治21年（1888）には、東京大学天象台・海軍観象台・内務省地理局編暦課の三者が統合され、港区麻布に東京大学東京天文台が設立されました（大正13年（1924）に現在の東京都三鷹市へ移転）。昭和63年（1988）に緯度観測所並びに名古屋大学空電研究所の一部と統合されて国立天文台が発足し、現在に至っています。このように国立天文台は、日本の近代化と歩みを共にする長い伝統を持つ組織で、三鷹キャンパスを散策していただくとも美しく保存されている数々の登録有形文化財からも、このことを感じ取ることができます。

日本の近代天文学の黎明期から1世紀余を経て、1999年にハワイのマウナケア山頂域（標高4,139m）に、我が国の技術の粋を凝らした世界最大級の口径8.2mの可視光・赤外線望遠鏡「すばる」が、9年の建設期間をかけて完成しました。すばる望遠鏡は、今年で運用開始から22年を数えますが、他の大望遠鏡の追随を許さない唯一の超広視野望遠鏡として、2020年代を通じて大きな成果を挙げることが期待されています。「すばる」に引き続き、国立天文台は、米国・欧州諸国等と協力して、南米チリの標高5,000mの高地に66台のパラボラアンテナよりなる巨大な電波望遠鏡「アルマ」を建設しました。2011年より観測を開始し、大きな成果を挙げ続けています。さらに2030年代に向けて、米国・カナダ等と協力して、口径30mの可視光・赤外線望遠鏡TMT（Thirty Meter Telescope）をハワイ島マウナケア山頂域に建設するための準備を進めています。

この他にも、東京大学などと協力した重力波望遠鏡「かぐら」の観測が開始され、国立天文台はマルチメッセンジャー天文学の拠点としての役割を果たしています。また、天文学専用としては世界最速の3ペタフロップスの性能をもつスーパーコンピュータ「アテルイII」は、観測と理論・数値シミュレーションの相乗効果をもたらしています。さらに、宇宙航空研究開発機構（JAXA）や米航空宇宙局（NASA）等と協力して実現した太陽観測衛星「ひので」を始め、月周回衛星「かぐや」、電波天文観測衛星「はるか」、観測ロケット実験CLASP等が大きな成果を挙げており、国立天文台の科学的・技術的資産を活用したスペースへの取り組みを今後とも継続発展させていきたいと考えています。

すばるからアルマ望遠鏡へと発展するなかで、宇宙最遠方の銀河の発見や系外惑星の形成の現場である原始惑星系円盤の驚くべき画像がもたらされ、ダークマターの広域3次元分布を世界で初めて明らかにするなどの顕著な成果が生み出されています。今後、ダークマターやダークエネルギーの解明や惑星形成についての確固とした描像と、系外惑星における生命の存在環境についての大きな知見が得られるものと期待されています。これらの学術成果は、我が国の国際的プレゼンスの向上、国民、特に若い世代に科学への関心と誇りや自信をもたらしています。

国立天文台は大学共同利用機関として、研究者コミュニティの多様な意見を取りまとめ、個々の大学ではなし得ない大型観測・実験装置を建設し、共同利用に供しています。近時、天文学は急速にその学際性を強め、そのすそ野は基礎物理学や化学・生命科学等へ広がっていますが、国立天文台はそのハブとしての役割も果たしています。天文学を始めとする先端科学の推進には多額の建設・運用予算が必要ですが、一方で我が国の極めて厳しい財政状況を鑑み、既存観測施設の不断の見直しを行うとともに、国立天文台の持つ技術的資産を活用して産業界が抱える課題の解決や国の事業へ貢献していく所存です。

今後に目を馳せると、そう遠くない未来に国立天文台の観測施設により太陽系外の惑星に生命が存在する環境が発見されると考えています。その暁には、地球外知的生命体による宇宙文明を発見することが、天文学の新たな課題となっていくでしょう。天文学が日本に生まれ育って3世紀余、今後の国立天文台の活躍にご期待いただき、ご支援をお願いいたします。



国立天文台長  
常田佐久



大学共同利用機関法人 自然科学研究機構

# 国立天文台

National Astronomical Observatory of Japan

181-8588 東京都三鷹市大沢 2-21-1

TEL: 0422 (34) 3600 (代)

<https://www.nao.ac.jp>

