

# ミリ波サブミリ波帯天文観測装置—アルマ望遠鏡

国立天文台チリ観測所ALMA室

井口 聖 (アルマ東アジアプロジェクトマネージャ)

平松正顕 (教育広報主任)

## 1. アルマ望遠鏡とは

アルマ望遠鏡(アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計:Atacama Large Millimeter/submillimeter Array = 『ALMA』)は、パラボラアンテナ66台を組み合わせる干渉計方式の巨大電波望遠鏡である。直径12メートルのアンテナを50台組み合わせる「12メートルアレイ」と、直径12メートルのアンテナ4台と直径7メートルアンテナ12台からなる「アタカマコンパクトアレイ (ACA)」で構成される。アンテナを動かして、それらの間隔を最大18.5キロメートルまで広げることで、直径18.5キロメートルの電波望遠鏡に相当する空間分解能(=視力)を得ることができ、ミリ波・サブミリ波領域では世界最高の感度と分解能を備えた望遠鏡となる。

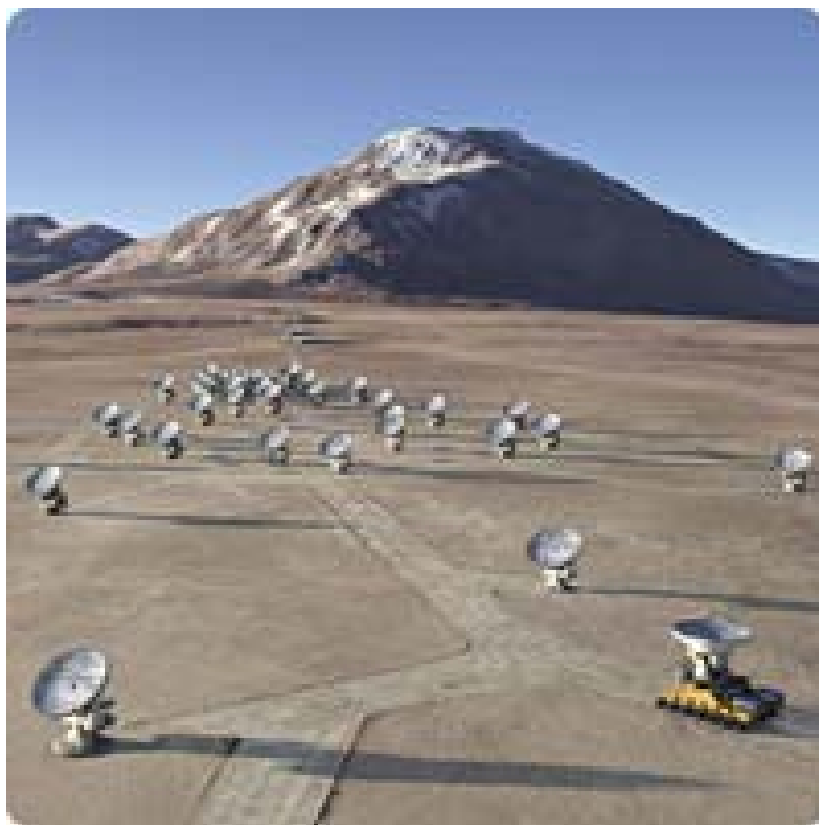


図1: アルマ望遠鏡完成予想図

(Credit: ALMA: ESO/NAOJ/ NRAO)

## 2. アルマ望遠鏡の設置場所

アルマ望遠鏡は、南米のチリ共和国北部にある、アタカマ砂漠の標高約5000メートルの高原に建設される。アタカマ砂漠は年間降水量が100ミリ以下でほぼ年中晴天なこと、さらに標高が高いため水蒸気による電波吸収の影響を受けにくいことなどから、比較的短い波長(高い周波数)のサブミリ波帯でも観測することができる。また、土地も広く平坦なため、たくさんのアンテナの設置に適していた。

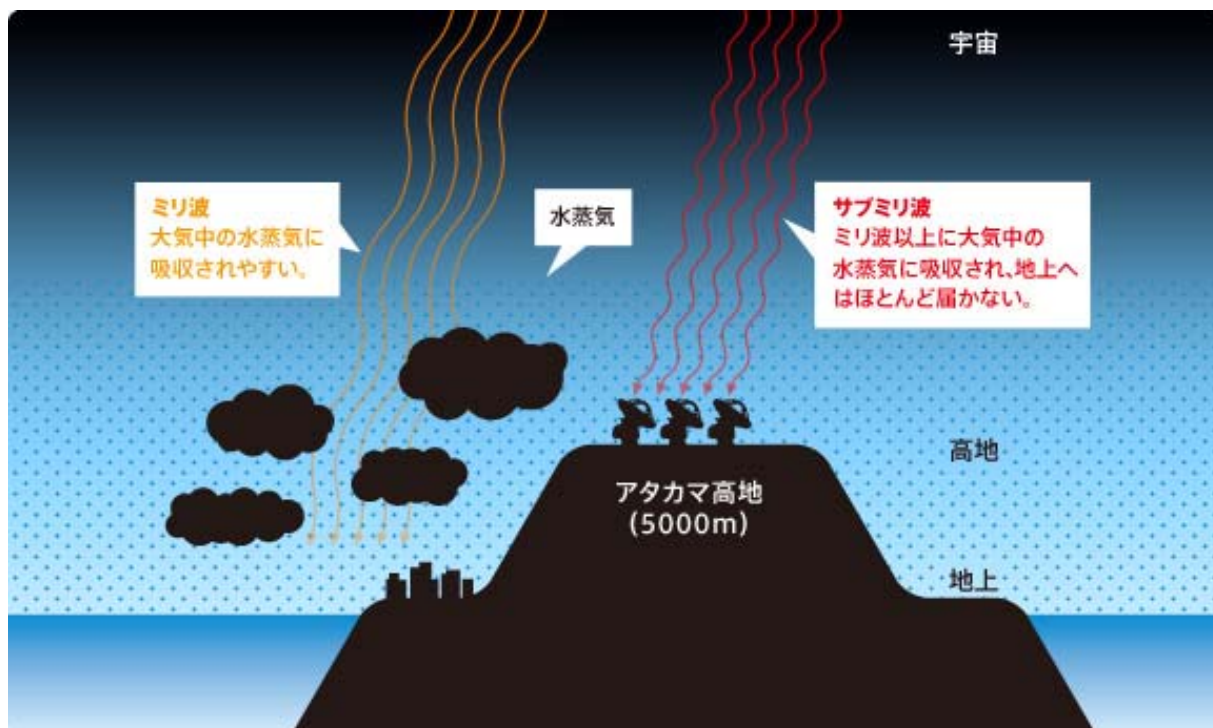


図2: サブミリ波での観測を目指して、望遠鏡を高地に建設する。(国立天文台提供)



壮大なアタカマ高地

図3: 壮大なアタカマ高地。(国立天文台提供)

### 3. ミリ波サブミリ波

宇宙に存在する物質は、それが星でも、星間ガスでも、太陽でも、必ず電波を出している。この電波をとらえて、目には見えない性質を調べるのが電波天文学である。その中でも、ミリ波やサブミリ波を使えば超低温の世界を観測できる。星と星との間の何もないように見える宇宙空間は、摂氏マイナス270度という超低温であるが、ここにも物質が存在している。オリオン座の馬頭星雲では、赤い光を背景に馬の頭部が漆黒のシルエットとして浮かび上り、この黒い部分にはガスが広がっている。これらは可視光の望遠鏡では影にしか見えないが、ミリ波やサブミリ波の電波を出しているため、電波望遠鏡を使えばその構造を詳しく観測することができる。

そもそも宇宙から届く電波や光は非常に弱い上に、ミリ波やサブミリ波といった比較的波長の短い電波は、大気中の水分や塵によって吸収されやすいため、受信機(電波望遠鏡の目にあたる部分)に高い性能が要求される。特にサブミリ波は大気による吸収が激しく、標高の低い場所ではほとんど観測することができない。しかし、乾燥した高地に設置されたアルマ望遠鏡であればこれらの問題を解決し、宇宙や生命の謎に迫ることが出来るのである。たとえば、"ビッグバン後はじめての銀河誕生の謎"、"惑星系誕生の謎"、そして、"生命の起源の謎"がある。すばる望遠鏡やハッブル宇宙望遠鏡の10倍の視力をもつ、画期的なアルマ望遠鏡によって、多くの謎が解明されることが期待される。

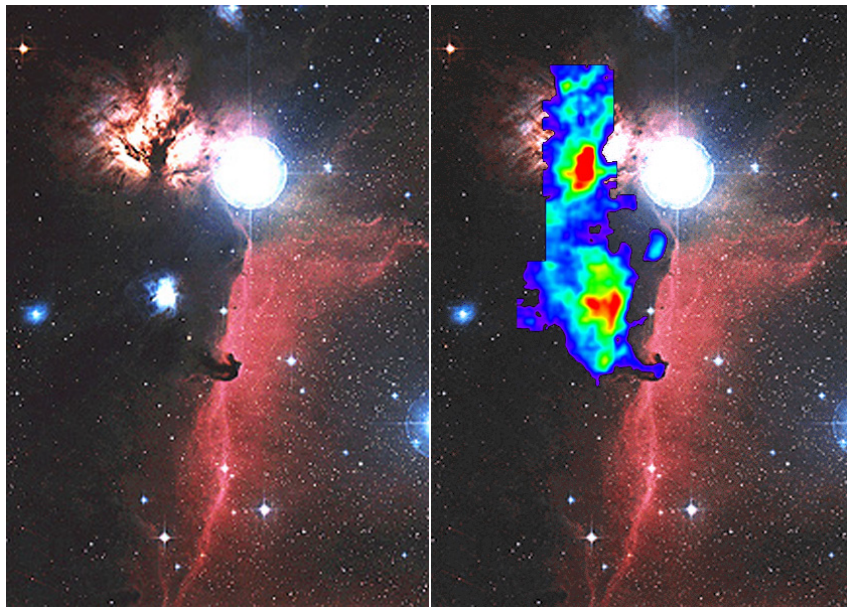


図4: 馬頭星雲:可視光で撮影した写真(左)に電波の強度分布を重ねた画像(右)。

可視光写真で黒く見えるところから電波が強く出ていることがわかる。(国立天文台提供)

## 4. アルマが解き明かす宇宙のなぞ

### 4.1 宇宙の起源と銀河の進化

137億年前に「ビッグバン」によって始まった宇宙は、約40万年後には絶対温度3000 K (ケルビン)ほどに冷えて、電子は原子核と結合して原子となり、電磁波で観測可能になる「宇宙の晴れ上がり」を迎えた。この際に放射された電磁波は、宇宙の膨張が引き起こす赤方偏移によって波長が伸び、宇宙の背景全体を覆い尽くしたと考えられている。これを宇宙マイクロ波背景放射と呼ぶ。この放射は、絶対温度2.7 度(摂氏マイナス270度)に相当する。

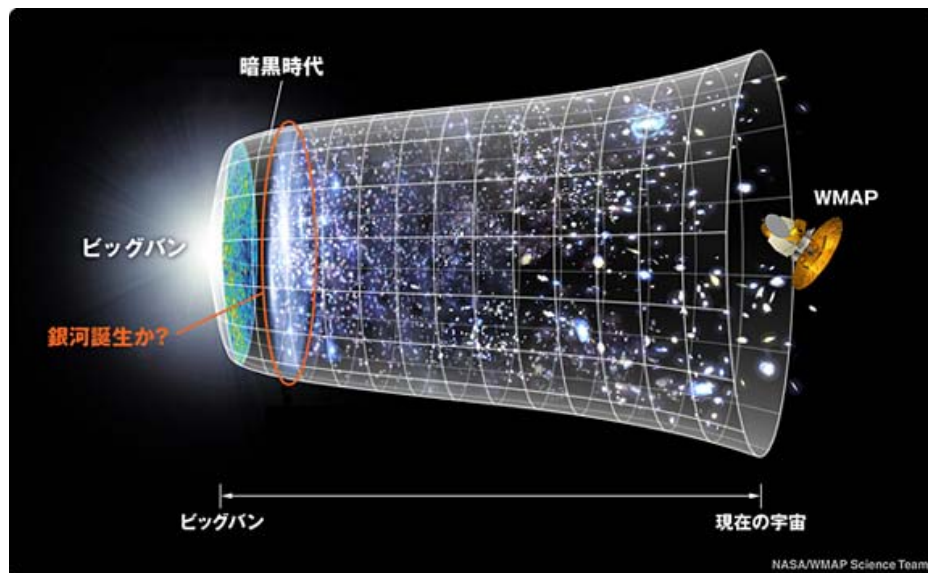


図5: ビッグバンから現在まで (Credit: NASA/WMAP)

1992年、COBE衛星の観測結果から、宇宙の背景放射は均一ではなく、方向によって10万分の1のゆらぎがあることが判明した。また、2001年にはWMAP衛星でそのゆらぎの性質がさらに調べられた。現在では、このゆらぎから、銀河、銀河団、超銀河団などの宇宙の構造が出来たと考えられている。しかし、このゆらぎからどのようにこれらの構造が出来たのかは、未だ、大きな謎となっている。



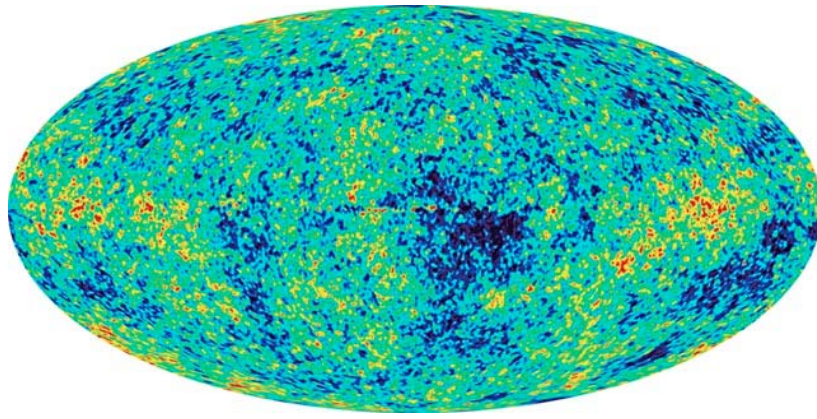


図6: WMAP衛星で捉えた宇宙マイクロ波背景放射  
(Credit: NASA/WMAP)

宇宙誕生後8億年後までは、すばる望遠鏡でも見る事が出来るが、それより過去にさかのぼろうとすると、赤方偏移の効果で光学望遠鏡では見る事が次第に難しくなる。しかし、赤方偏移の効果により逆にミリ波やサブミリ波で銀河などは明るくなること、銀河自身が含む塵がミリ波サブミリ波を放射することなどから、アルマ望遠鏡なら宇宙の暗黒時代直後の銀河の誕生を見ることが出来ると期待されている。

#### 4.2 惑星系の誕生

太陽系のような惑星系は、どのように生まれてきたのであろうか。1995年の最初の発見以降、現在までに約800の太陽系外惑星が直接的、間接的に発見されている。その結果わかったことは、惑星系は非常に多様な形態を持っているということだ。その原因を探るためには、惑星系の生まれている現場を観測する必要がある。しかしながら、惑星の材料であるガスや塵は温度が低く、光学望遠鏡で見ることができない。

では、ミリ波サブミリ波望遠鏡ではどうであろうか。電波なら、まだ星や惑星系になる前のガスや塵の状態を観測できる。しかし、これまでの望遠鏡では視力(空間分解能)が不足しているため、おおまかにしか観測できなかった。アルマ望遠鏡は、これまでの望遠鏡の空間分解能を大幅に超える能力を持つため、恒星の生まれる仕組みやそれに伴う惑星系の誕生の過程を非常に高解像度で観測することが出来る。これまで様々な望遠鏡によって見えなかった部分を明らかにすることが、アルマ望遠鏡の大きな狙いである。

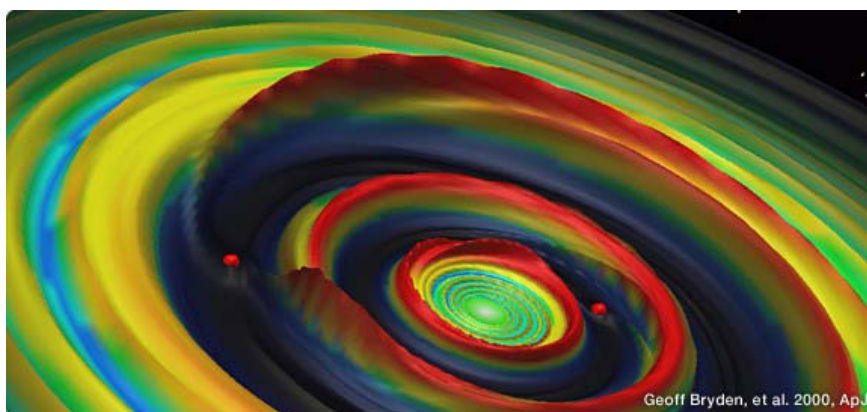


図7: 原始惑星系円盤の中で惑星が作られていく様子のコンピュータシミュレーション

#### 4.3 生命の起源

私たち生命の誕生は、単に地球上だけで起きた化学反応の結果なのであろうか。惑星系誕生の際に生命の種

を持っていたのであろうか。もしかすると、生命の素は宇宙空間に漂っていたのかもしれない。生命の誕生にはさまざまな説があるが、アルマ望遠鏡では、その有力な証拠をつかむことも目的としている。

ビッグバン以降、宇宙空間では物質が次第に性質の異なる物質に進化しながら、多様な天体や星間物質を形作り、ついに地球上で生命の誕生に至った。これまでのミリ波や赤外線観測によって、星間物質は極めて多様で、変化に富む進化をとげることがおぼろげに分かってきた。アルマ望遠鏡では、これらの複雑な分子の集合体である星間物質の組成、温度、密度などを高い分解能と感度によってくわしく調べ、その進化を研究することができる。生命の発生に関連するような分子が宇宙に見つかるかもしれない。アルマ望遠鏡は、宇宙の物質が進化してきた歴史を解き明かし、生命の起源に迫ることが期待されているのである。



図8: 生命の起源はどこにあるのか(国立天文台提供)

## 5. まとめ

20世紀の科学の大躍進後、天文学者の多くは常に物理学的側面(アストロ・フィジックス)で宇宙の謎を解明しようとしてきた。そして、これらの謎は、未来も含め、大きな課題として続いて行くであろう。

21世紀に入り、天文学者は、私たちにとって最も身近な興味の対象である“生命の起源”の研究(アストロ・バイオロジー)に、挑戦をはじめている。

アルマ望遠鏡は、これらの研究分野に、大きな一石を投じることが期待されている。■