

The 20 Year Random Walk to ALMA

川邊良平

総合研究大学院大学教授天文科学専攻／自然科学研究機構国立天文台教授

「アルマ」は日本のアイデアを基幹とし、国際協力によって実った大型ミリ波サブミリ波干渉計だ。日本が初参加した国際共同プロジェクトの誕生から建設開始までの20年余年の道のりを振り返る。

アルマが見る「宇宙」

宇宙の神秘を解き明かすために世界が協力して作り上げたエンタープライズ号がようやく「船出」した。といっても、SFの世界ではない。基礎科学では世界初の日米欧を中心とする大型天文観測装置の国際共同プロジェクト「アルマ」(ALMA: アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計)の建設の話である。

アルマは、ミリ波サブミリ波という最

も短波長の電波(およそ35μmから、10mmをカバー)を観測する干渉計という装置である(図1)。この波長帯では、銀河や星・惑星系の形成の材料となる分子ガスと塵からなる低温の星間物質(通常、暗黒星雲として観測され、可視光でその中をのぞくことはできない)をとらえることができる。アルマは超高感度でしかも、10ミリ秒角(ハッブル宇宙望遠鏡の10倍の空間分解能)というこれまでにない超高空間分解能で観測することが可能である。この宇宙での

銀河の形成過程や星・惑星系の形成の謎を解明することを目指している。ここでは、アルマの生い立ちを振り返り、国際共同建設の現状をレポートする。

The 20 Year Random Walk to ALMA

2006年11月、スペインのマドリードで開催された国際会議「Science with ALMA」に300人を超える世界の科学者が集まった。日本からも数多くの研究者が参加し、5日間にわたって活発な議論

図1 アルマの完成予想図
口径12mアンテナからなる12mアレイ(図中央から左部分)と、口径12mアンテナと7mアンテナからなるアタカマコンパクトアレイ(図右部分)から構成される。12mアレイのアンテナ配置は、図のような最もコンパクトなものから十数キロにわたって展開する配列まで用意される。アタカマコンパクトアレイでは、ほとんどアンテナは固定で使用される。

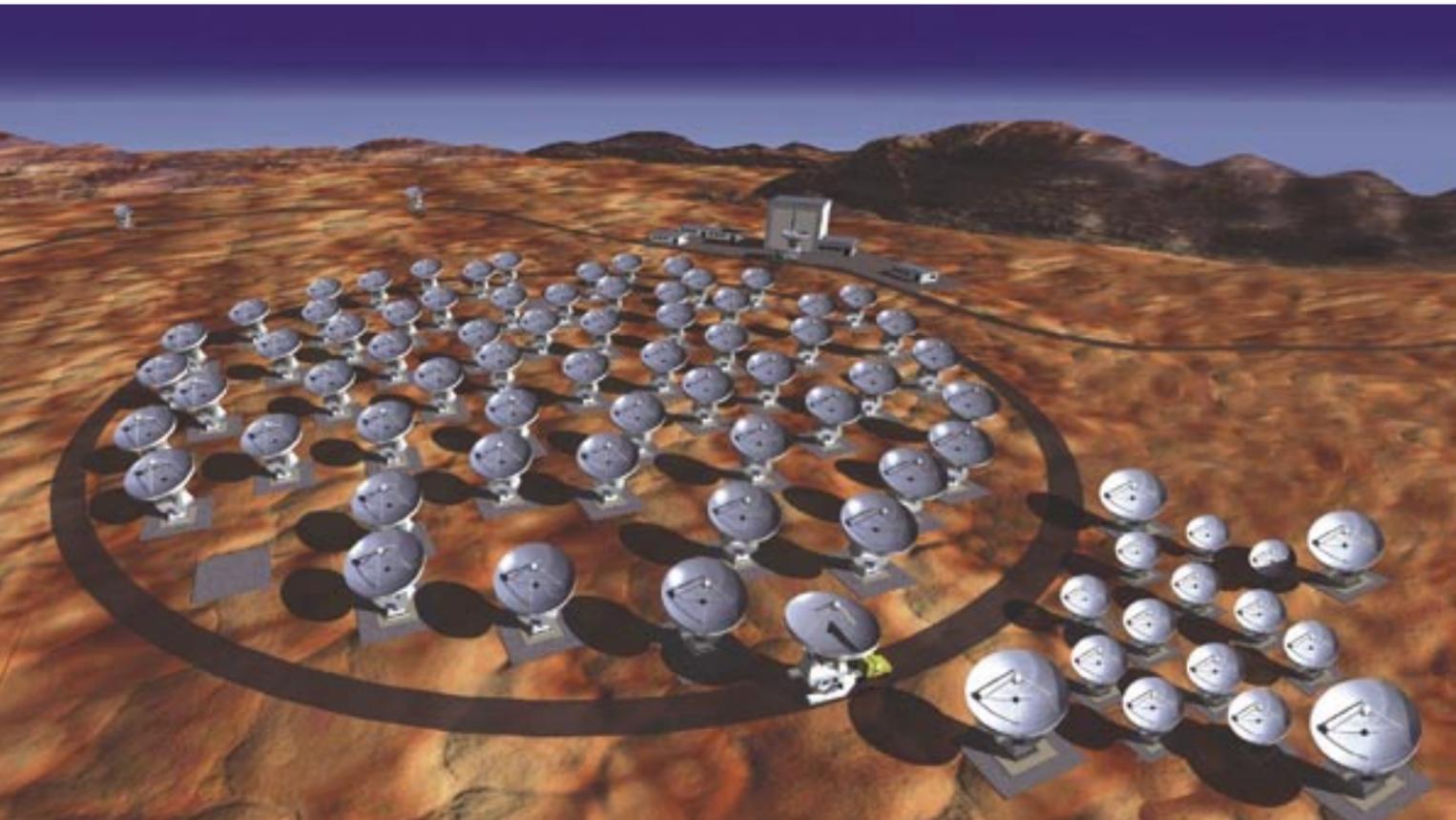


図2 マドリードで開かれたScience with ALMA(2006年11月) マドリード会議の夕食会での歓談。向かって左から筆者、タレンギ・アルマ所長、ヴァンデン=ポート氏。

が交わされた。日本は、2004年にアルマの建設協定を米欧と締結し、日米欧3者の国際的な建設計画としてスタートしていたが、実際には北米地域ではカナダ、東アジア地域では、台湾も正式参加した国際協力となった。今回の会議は、3者協定締結後初めての国際会議であった。

参加者の中には、計画の当初からかかわってきた米国国立電波天文台(NRAO)前台長のポール・ヴァンデン=ポート氏もいた。彼は、この国際会議の夕食会の際に「The 20 year random walk to ALMA」という記念講演を行い、彼の目から見た、アルマの生い立ちを報告した。計画スタートまでのさまざまな紆余曲折があった彼自身の、そして日米欧三者の長い道のりをThe 20 year random walkと表現したものだ。

日本においては、東京大学・東京天文台(現在の国立天文台)が、世界に先駆けて、1982年に長野県野辺山高原に宇宙電波の観測拠点を作り、世界最大のミリ波望遠鏡である45m電波望遠鏡と、口径10mのアンテナを6台組み合わせた野辺山ミリ波干渉計を建設した。翌1983年には、野辺山のミリ波干渉計をさらに発展させる構想が立てられた。同じころ、米国においても、当時NRAO台長だったヴァンデン=ポート氏を中心に、ミリ波干渉計の構想を開始しており、ヴァンデン=ポート氏は、その協力を求めて海部宣男氏(前国立天文台長)等を訪ねている。ヴァンデン=ポート氏のいう「The 20 year random walk to ALMA」のスタートは、

この時期のことである。

この後、日本の計画はサブミリ波を重視した大型ミリ波サブミリ波干渉計計画へと発展し、サブミリ波を観測するため、国外最適地の設置案が検討された。一方、欧州も独自の案を出し、長い議論と交渉の末に個別のプロジェクトが統合され国際共同プロジェクトへと収斂されてゆくことになる。そして日本が最初に提案した、サブミリ波の観測、しかも10ミリ秒角の空間分解能という装置の仕様案は、アルマにしっかりと受け継がれ、その基幹性能仕様となったのだ。

国際プロジェクトへの収斂

国際共同での建設がスタートしたアルマは、今後の基礎科学の大型国際プロジェクトの雛形足るべく運命づけられていたとっていいだろう。この計画を推進する「親元」の文部科学省や、またアルマの評価を行ってきている総合科学技術会議(いわゆるCSTP)でもそのような位置づけになっている。さらには、予算化にあたっては、財務省も独自の視点—国力相応の貢献—をもってこの国際プロジェクトをとらえてきたといえる。

国際プロジェクトへと収斂した科学的な理由としては、2つある。その第1は、干渉計という装置の独特な「足し算」*1が大きく関係している。干渉計は、2台のアンテナの信号を相関させることが装置の基本となっている。アンテナの台数が3倍に増えると、アンテナの組み合わせは9倍となる。日本、米国、欧州がそれ

ぞれ同じ数のアンテナを持ち寄ってより大きな干渉計を作ったとすると、アンテナの組み合わせ数は9倍となる(1+1+1=9という算数になる)。

この装置でどれだけ宇宙の広い範囲を観測できるかは、この足し算が表している。すなわち、3者が協力することで9倍の広さが観測可能となり、観測効率が9倍になる。これを3者で分け合ったとしても、もとの個別の装置での観測効率に比べれば3倍のお得である。費用対効果で言えば、3倍の得となる。この「足し算」のマジックに世界の科学者たちがひれ伏さないわけではない。

もう1つの理由は、建設サイト地の問題である。日本、また米国、欧州は、建設候補地を単独で、また協力して探し回った。筆者も、1992年ごろより中国の奥地やチリ北部各地を、大気の大気環境を調べるため測定器を持って駆けずり回った。その結果、チリ北部のアタカマ高地が、ベストの建設サイトという三者の共通の認識に至った。

1998年ごろには、現在のアルマのサイト(標高5000m)がベストであろうとの結論にたどりついた。サブミリ波の大気透過率がきわめて良いこと、大気の揺らぎが小さいこと、アンテナを10数キロ四方に展開可能な平地があること(高い空間分解能を実現するために必要)、また、麓の町からのアクセスが良いことなどが選定の理由となった。米国は、当初は米国本土を考えていたが、ハワイ・マウナケア山頂付近、そしてチリ北部へと、その

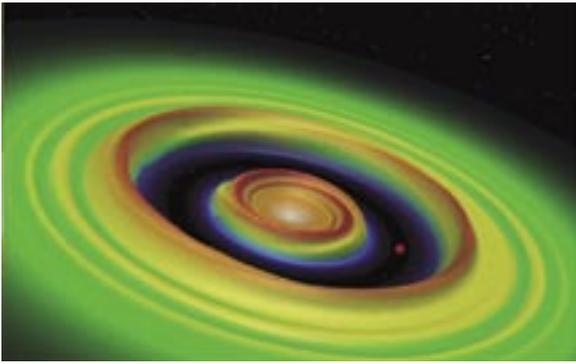


図3 原始惑星系円盤での惑星系誕生の想像図。
アルマでは、近傍の若い星の周りにおけるガスと塵からなる原始惑星系円盤の詳細な観測を行い、図のような円盤の構造(惑星系誕生によってその軌道に形成された円盤内の間隙など)を描き出すことが可能である。アルマは、惑星系の誕生過程の解明に大きな役割を果たすであろう。

サイト候補地を何年もかけて「random walk」してきた。共同建設サイトについての決定合意を行ううえで、日本が行った現サイトでのさまざまな測定の結果が、大きな役割を果たしたのだ。

サイトが決まれば、共同で建設プランを作り、予算を確保し、建設のスタートをすればよいということで、2001年には3者での建設プランが完成し、予算要求を行うという段取りになった。しかし、日本は2002年からの建設スタートに参加できなかった(研究開発を開始するという仮スタートとなった)。これにより、建設プランの見直しを行う必要が生じ、日本は、2年遅れでの建設参加を目指すことになった。

足組みがそろわなかった原因の1つは、3極での科学行政システムや予算制度に違いがあることや、予算化を調整する政府レベルでの国際的な枠組みがそもそもなかったことであろう。欧州サイドは、欧州南天天文台(ESO)がアルマ建設・運用の担当機関である。ESOは、CERN(欧州合同原子核研究機関)を手本にして組織された国際機関であり、所属する欧州の国々からの出資で運用されている。一方、米国は全米科学財団(NSF)が担当機関であり、科学者上りの担当者が計画のプラン作りや、国際的な協議を担当している(実際には、米国国立電波天文台が具体的なプラン作りを担当)。

米欧では、それぞれFunding Agencyレベルが国際協議、予算プラン作りを担当しているのに対して、日本は国立天文台(現時点では、法人である自然科学研究機構の一研究所である)が文部科学省と相談し

ながらそれらを担当した。当然のことながら、予算に関しては政府の代理もしくはFunding Agencyとしてのコミットメントはできず、予算獲得の努力をコミットするレベルに留まった。日本での予算化に向けては、仮スタートを切った後の1年間を使って、文部科学省の下に組織された科学技術学術審議会・天文ワーキンググループで適切な日本の参加形態を審議し、それをもとに文部科学省が財務省に建設予算の要求をすることとなった。

日本の科学行政、予算システムは、国際協力プロジェクトを進めるうえでは、共同歩調を取ることや、対称なシステム(協議の参加者レベルを揃えることなど)を構築する点で問題がある。反面、研究者によるピアレビューを経てボトムアップで計画を煮詰めることができるというメリットがあり、今後の国際協力プロジェクトの進め方に教訓を残してくれた。

魂(アルマ)に響く成果を

アルマが完成し、本格観測を開始するのは2012年以降を予定している。建設での日本の貢献は、アルマのサブミリ波での観測機能を強化する部分を中心としており、主にAtacama Compact Array(ACA)と呼ばれる干渉計システム部分(「測光」精度と画像精度の向上に多大な貢献)と、ACAも含めた全アンテナに搭載するミリ波サブミリ波受信機(計3バンド)の製作を行っている。また、日本の正式参加に伴い、アルマの正式名称もサブミリ波が加わり、Atacama Large Millimeter/Submillimeter Arrayに改訂

された。

一方、運用のプラン作りや観測プログラムの審査決定プロセス、サポートに当たるアルマ地域センター構想についての検討・議論も進んでいる。「アルマ(ALMA)」が完成すれば、日本国民をはじめ世界の人々の「魂」(スペイン語で、alma!)に響くような多くの成果が挙げられるであろう。

*1 電波干渉計の空間分解能

電波干渉計は複数のアンテナで受けた電波を干渉させて画像を得る。アンテナの数と組み合わせを増やすことによって、空間分解能を高くすることができる。

アルマの参考Webサイト

<http://www.nro.nao.ac.jp/alma/j/index.html>



川邊良平(かわべ・りょうへい)

大学では物理学を、大学院では自分の手で開発した観測装置で宇宙の謎に迫りたいと思い電波天文学を専攻。野辺山電波観測所のミリ波干渉計の強化や、チリ高地のサブミリ波望遠鏡(ASTE10m鏡)計画を推進し、惑星系形成領域などの研究を進めてきた。約10年前よりアルマ計画(と前身計画)を推進。最遠方の原始銀河や惑星が生まれる様子を捉えたいと思っている。