

国立天文台ニュース

National Astronomical Observatory of Japan

2015年2月1日 No.259

特集・「いよいよ本気のアルマ望遠鏡」前編
アルマ望遠鏡大開眼！



- アルマ望遠鏡「視力2000」を達成！これが惑星誕生の現場だ！
- アルマ望遠鏡スタッフに聞く！
長谷川哲夫／小笠原隆亮／浅山信一郎／亀野誠二／水野範和／澤田剛士／杉本正宏／高橋智子／ダニエル・エスパダ／廣田晶彦／阪本成一／藤本泰弘／山口隆弘／塚野智美／平松直也
- 「Revolution in Astronomy with ALMA -the 3rd year-」報告
- ★ 特別附録「アルマーの冒険03」

2

2015

NAOJ NEWS 国立天文台ニュース

C O N T E N T S

- 表紙
- 国立天文台カレンダー

03

特集「いよいよ本気のアルマ望遠鏡」前編 アルマ望遠鏡 大開眼！

第Ⅰ部

- ハイライトニュース
アルマ望遠鏡「視力2000」を達成！これが惑星誕生の現場だ！
—— 平松正顕（チリ観測所）
- アルマ望遠鏡の現状と概要
アルマ望遠鏡 天文学の新たな扉を開く！—— 平松正顕（チリ観測所）
- アルマ望遠鏡の観測成果、続々
アルマ望遠鏡が切り拓いてきた宇宙 —— 平松正顕（チリ観測所）
- おしらせ
「第10回最新の天文学の普及をめざすワークショップ@ALMA,Chile」報告
—— 伊東（佐伯）昌市（天文情報センター）
- おしらせ
耳で楽しむアルマ望遠鏡：ALMA MUSIC BOX —— 平松正顕（チリ観測所）

第Ⅱ部

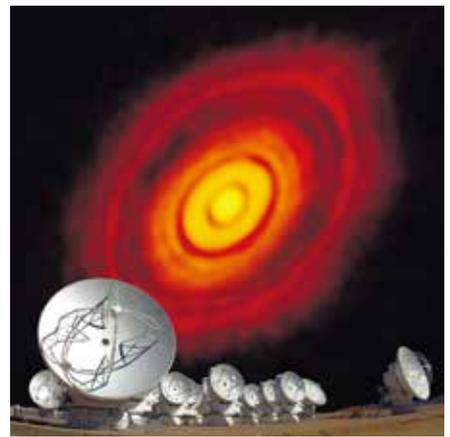
アルマ望遠鏡スタッフに聞く！ インタビューア-川村 晶

- 長谷川哲夫「アルマ望遠鏡は21世紀の天文学に革命をもたらす」
- 小笠原隆亮「アルマ望遠鏡建設、総仕上げ」
- 浅山信一郎「チリに5年、今ではすっかり「橋渡し」のプロ」
- 亀野誠二「EOC活動：高価なアルマをお値打ちに」
- 水野範和「日本流の朝礼でチリ人スタッフの士気を鼓舞」
- 澤田剛士「システムと向き合ってアルマの性能アップを」
- 杉本正宏「問題の原因をとことん追求するトラブルバスター」
- 高橋智子「アルマ最高周波数 バンド10の科学観測運用実現に向けて」
- ダニエル・エスパダ「アルマ望遠鏡科学運用の最前線で」
- 廣田晶彦「高精度観測を支えるソフトウェア開発」
- 阪本成一「ALMAのアンテナのメンテナンス」
- 藤本泰弘「日本製受信機Band 4・8・10の搭載」
- 山口隆弘・塚野智美・平松直也
「アルマの運営をサポートするサンティアゴ オフィス」
- おしらせ
「Revolution in Astronomy with ALMA -the 3rd year-」報告
—— 伊王野大介（チリ観測所）

- 編集後記
- 次号予告

40

シリーズ「新すばる写真館」11 かに星雲 M1 —— 山田 亨（東北大学）



表紙画像

おうし座 HL 星の原始惑星系円盤とアルマ望遠鏡
画像：ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)

背景星図

千葉県立郷土博物館
渦巻銀河 M81 画像（すばる望遠鏡）



アルマ特集号恒例の電波天文まんが「アルマの冒険」
03回「宇宙からの電波をキャッチ！ その1・BS放送編」
を附録で同封します。今回は新キャラ「ブラックストーン博士」が登場！果たしてその正体は？

国立天文台カレンダー

2015年1月

- 9日（金）観望会（三鷹）
- 15日（木）天文情報専門委員会
- 16日（金）幹事会議
- 22日（木）安全衛生委員会
- 24日（土）観望会（三鷹）
- 29日（木）運営会議

2015年2月

- 3日（火）幹事会議
- 13日（金）観望会（三鷹）
- 20日（金）幹事会議
- 23日（月）光赤外専門委員会
- 26日（木）幹事会議
- 28日（土）観望会（三鷹）

2015年3月

- 4日（水）運営会議
- 6日（金）幹事会議
- 9日（月）研究交流委員会
- 12日（木）太陽天体プラズマ専門委員会
- 13日（金）観望会（三鷹）
- 25日（水）幹事会議
- 26日（金）安全衛生委員会
- 28日（土）観望会（三鷹）

アルマ望遠鏡 大開眼！

南米チリ北部、標高 5000 メートルのアタカマの高地に建設されたアルマ望遠鏡が、ついに本格的な観測フェイズに入り、早くも数々の驚くべき成果を挙げています。この特集では、「いよいよ本気を出し始めたアルマ望遠鏡」の近況をスタッフのインタビューとともにお届けします。

取材（インタビュー・写真）
川村 晶（星の手帖社）

協力
合同アルマ観測所（JAO）／国立天文台チリ観測所

特集 アルマ望遠鏡 大開眼！

アルマ望遠鏡「視力2000」を達成！

これが惑星誕生の現場だ！

『惑星の誕生を目の当たりにする。』これは、アルマ望遠鏡が建設当初から掲げてきた目標の一つでした。そして2014年10月、それがまさに実現しました。このページに掲げてあるのは、アルマ望遠鏡が超高解像度観測試験でとらえた、若い星おうし座HL星を取り巻く塵の円盤です。解像度は0.035秒角に達し、これは人間の視力に換算すると『2000』という驚異の（でもアルマ望遠鏡にとっては当然達成されるべき）値です。この画像を目にしたときのまわりの研究者の驚嘆を、私は忘れることはないでしょう。これほどの画像が取得できる時代に、自分の研究対象に対してどんな観測を実行するのか、そこに何が写るのか、そこからどんな情報を読み解くのか。声を上げ、目を輝かせ、頭をフル回転させて次の観測提案提出に臨む研究者の姿からは、『アルマ望遠鏡の本気』がまさにこれから見られるという予感がひしひしと伝わってきました。

星は、宇宙に漂うガスや塵の雲の中で誕生します。生まれたばかりの星の周りにはガスや塵の円盤ができることがこれまでの研究から知られており、1千万年以上の時間をかけて円盤内の物質が衝突合体を繰り返して惑星が作られると考えられています。こうした場所は、特に最も初期の段階では密度の高いガスや塵に覆われているので、可視光や赤外線ではその中を見通すことができません。しかしアルマ望遠鏡が観測するミリ波・サブミリ波はこうした物質に吸収されにくいいため、星や惑星が誕生するまさにその現場を観測することができるのです。

今回の画像を見ると、おうし座HL星を取り囲む円盤の中に、幾重にも間隙（同

心円状の暗い筋）があるのがわかります。こうした間隙は、円盤の物質を掃き集めながら大きな惑星が成長しつつある証拠だと考えられています。シミュレーション研究ではこうした間隙が予言されていましたが、複数の間隙がこれほどくっきりと写し出されたのは今回が初めてでした。同波長でこれまで最高解像度（0.15秒角）の観測ではのっぺりとした塵の分布しか見えていませんでしたので、アルマの威力は歴然です。またこの星は100万歳に満たないほど若い星ですが、それほど若い星のまわりで既に大きな惑星がいくつも形成されつつあるというのは、これまでのどんな理論でも想定されていませんでした。まさに、百聞は一見に如かず。この画像から惑星形成の謎が紐解かれていくのか、あるいはさらなる混沌が待っているのかは現時点ではわかりませんが、新たな一歩となったことは確かです。

今回の観測は、アンテナを最大15kmの範囲に展開して行う長基線試験観測キャンペーンの一環として2014年10月に行われました。この画像はバンド6（波長1.3mm）での観測結果ですので、最短波長バンド10（0.35mm）で観測すれば解像度はさらに3倍以上向上します。アルマ望遠鏡が目標として掲げてきた『視力6000（解像度0.01秒角）』の達成に向けても重要なステップです。今回の試験観測キャンペーンでは他に小惑星ジュノー、くじら座ミラ、重力レンズ天体SDP.81が同様の解像度で観測され、その生データは2015年2月17日に世界中に公開されました。今まさに、天文学者が世界中でこのデータを処理し、論文を執筆しています。さらなる驚きの発表を、ご期待ください。

平松正顕

HIRAMATSU Masaaki

チリ観測所 教育広報主任

アルマ望遠鏡 天文学の新たな扉を開く！



●「アルマ望遠鏡が、いよいよ本気を出してきた！」

2014年11月6日に発表した「視力2000（解像度0.035秒角）」でのおうし座HL星の画像は、アルマ望遠鏡の運用が、そして天文学全体が、新しい領域に踏み出したことを高らかに宣言するものとなりました（表紙および04-05ページ）。巨大電波干渉計画の立案から建設最適地探し、国際協力の中での装置開発と現地での建設、試験観測と科学観測の実行ま

で、30年以上にわたる「天文学史上最大のプロジェクト」に関わったすべての人たちの努力と想いが、1枚の画像として花開きました。この大輪の花から、数えきれないほどの果実が世界中の天文学者の手によって収穫され、そこからまた新しい天文学が芽生えることでしょう。豊饒の大地への扉が、いま開かれたのです。

●アルマ望遠鏡ダイジェスト

ここで、アルマ望遠鏡についてお

さらいをおきましょう。アルマ望遠鏡（正式名称：アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計、Atacama Large Millimeter/submillimeter Array: ALMA）は、南米チリの標高5000メートルに設置された、巨大な電波望遠鏡です。日本をはじめとする東アジアと、北米・欧州の計20か国・地域が建設地のチリと共同で運用する、世界最大の天文学プロジェクトと言えます。アルマ望遠鏡では、直径12メートルのアンテナ54台と7メートル



アタカマの乾いた風の中

ルのアンテナ12台を山手線に匹敵する広い範囲に展開し、8-10メートル級の地上光学赤外線望遠鏡やハッブル宇宙望遠鏡の約10倍に相当する0.01秒角（視力6000）の超高解像度を達成するとともに、既存の電波望遠鏡をはるかにしのぐ感度を持った、極めて強力な望遠鏡です。

アルマ望遠鏡では、波長が数ミリメートルから0.35ミリメートルまでの電波（ミリ波・サブミリ波）を観測します。宇宙空間に漂うガスや塵はマイナス260℃にも達する超低温のため可視光や近赤外線を発することはできませんが、ミリ波やサブミリ波であれば放射することができます。このため、可視光赤外線望遠鏡では見えない「闇の宇宙」をミリ波やサブミリ波の望遠鏡では詳しく観測することができるのです。こうしたガスや塵は星や惑星の材料であるため、アルマ望遠鏡では星や惑星の誕生現場、あるいはその集合体である銀河の誕生と進化をこれまでになく詳細に調べることができます。さらに電波を分光することで分子特有の輝線を観測することができ

るため、ガスの詳細な成分分析を行うことができます。アルマ望遠鏡の観測対象は、太陽から太陽系内天体（惑星や衛星）の大気、小惑星や彗星、近傍の原始星や原始惑星系円盤、系外銀河、そして高赤方偏移領域に存在するサブミリ波銀河まで多岐にわたります。そしてアルマ望遠鏡の比類なき感度と分解能によって、そのすべての対象においてこれまでの研究を大きく塗り替える成果が期待されています。

国際協力のアルマ望遠鏡プロジェクトの中で、国立天文台は東アジア地域の執行機関（Executive）として、米国立電波天文台・欧州南天天文台とがっぷり互角に組んで望遠鏡の開発・建設と運用を行っています。開発の面では、日本は全66台のアンテナのうち16台（12メートルアンテナ4台と7メートルアンテナ12台）と10種類のうち3種類の受信機、そして日本製のアンテナ16台から来る信号を処理する高速専用計算機「相関器」を担当しました。これには、国立天文台だけでなく国内の大学や

大企業・中小の企業まで多くの研究者や技術者が参加しました。日本が開発したアンテナ16台とそれに搭載される受信機、信号を処理する相関器までを含めた望遠鏡システムはアタカマコンパクトアレイ（Atacama Compact Array: ACA、別名「モリタアレイ」）と名付けられています。最大で山手線大に展開される米欧のアンテナ（12メートルアレイ）とは異なり、モリタアレイのアンテナはギュッと密集して配置されます。これは、『のっぺりと広がった天体からの電波が消えてしまう』という干渉計の原理的な弱点を克服するために考案された配置で、超高解像度を実現する12メートルアレイにモリタアレイのデータを足し合わせることで、大きく広がった天体の中の細かい構造まで余すところなくとらえることが可能になります。

●進化する望遠鏡

アルマ望遠鏡による科学観測は、2011年9月30日から開始されました。科学観測は「サイクル」という

たましい
66のアルマがひとつになる

単位でまとめられており、最初の科学観測「サイクル0」は2011年9月から2012年12月まで、「サイクル1」が2013年1月から2014年5月まで、そして「サイクル2」が2014年6月から2015年9月までの予定で実施されています（表01）。アルマ望遠鏡の特徴は、準備が整った装置から順次観測に供することができるという点です。例えば「初期科学観測」として行われたサイクル0ではアンテナ数16台、受信機周波数帯（バンド）数も4つと限られていましたが、サイクル2ではそれが大きく拡大しています。科学観測と試験観測を平行して行うことで、世界の天文学者に早期にアルマ望遠鏡を開放するとともに、着実に性能をアップさせることができます。おうし座HL星の観測(04-05ページ)によって長基線観測における性能が確認されたことで、サイクル3以降では最大基線長が大きく拡大されることが見込まれています。

進化する望遠鏡を支えているのは、国際協力で進められた観測装置開発と、チリ現地での性能試験、装置の組み込み、そしてひとつの望遠鏡としての試験観測です。

まずパラボラアンテナについて。日本製の16台のパラボラアンテナは、2013年4月26日に16台すべてが山頂施設に設置されました。2007年7月に最初の3台のアンテナがチリに到着して以来、7年弱の歳月をかけて16台すべてのアンテナが現地で組み立てと性能試験を終えたこととなります。また、2014年6月13日には、欧

州製12メートルアンテナ25号機が山頂施設に設置されました。これで、アルマ望遠鏡を構成する66台すべてのアンテナの山頂施設設置が完了したことになります。現在アンテナは山頂施設で通常運用が行われていますが、その中で一定期間ごとに山麓施設に一時的に移設し、メンテナンスを受けることがあります。

受信機についても、初期フェイズの開発は完了しました。日本は3つの周波数帯（バンド4：125～

8：385～500 GHz、バンド10：787～950 GHz）の受信機を各73台（66台のアンテナ搭載分+予備7台ずつ）担当し、国立天文台先端技術センター内で開発・量産が行われました。「一品もの」を作ってきたこれまでの国立天文台とのモノづくりとは一線を画する「量産」でしたが、2013年12月までにすべての量産が完了し、2014年2月には最後のバンド10受信機7台がチリに向けて出荷されました。チリに到着した受信機は、山麓施設で

Band 10 First Fringe (CM02-CM09) with ACA correlator at AOS, Orion-KL CO (J = 7-6)

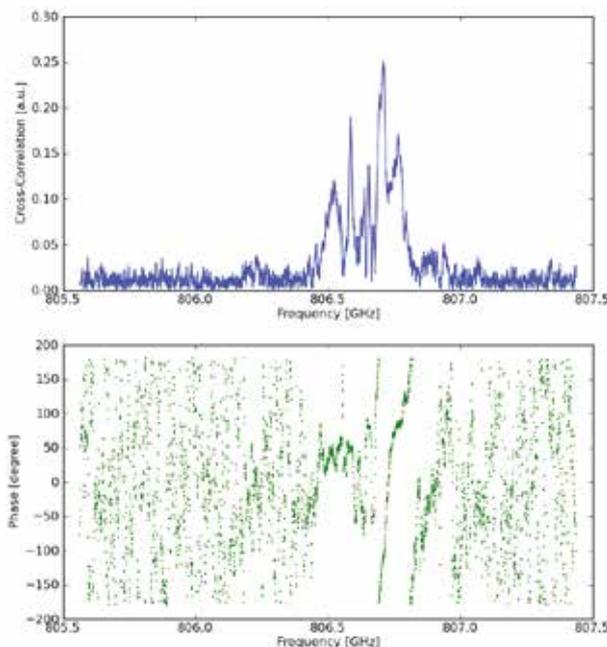


図01 オリオンKLのスペクトルと位相
試験観測で得られたオリオンKL天体にある一酸化炭素分子が放つ電波のスペクトル（上）と位相（下）です。オリオンKL天体は内部で非常に活発な星形成が進んでいることが知られていて、複雑な形状のスペクトルからはガスの運動が激しいことがわかります。また位相情報からは、KL天体から噴き出すガスを捉えた可能性が読み取れます。

[Credit: ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)]

の性能確認試験を経てアンテナに搭載されています。特にバンド4、8受信機については、2014年6月からの「サイクル2」で科学観測に供されており、世界中の研究者が提案してきた観測が進行中です。またバンド10受信機については、2013年10月26日に干渉計試験が実施され、木星の衛星カリストとオリオンKL天体からの電波の検出に成功しました。観測周波数はそれぞれ863 GHz、806 GHzであり、これほど高い周波数での干渉計試験に成功したのは史上初めてのことで（図01）。

●未踏の高みへ至る術

チリに送られてくるさまざまな観測装置は、まず山麓施設で求められる仕様に合致しているかの確認試験が行われます。アンテナなら鏡面精度や指向精度、受信機なら雑音温度や光軸などさまざまな項目があり、それがひとつひとつチェックされま

	サイクル0	サイクル1	サイクル2
期間	2011.09 - 2012.12	2013.01 - 2014.05	2014.06 - 2015.09
アンテナ数	12m 16台	12m 32台 ACA7m 9台+12m 2台	12m 34台 ACA7m 9台+12m 2台
最大基線長	400メートル	1 km	1.5 km
受信機バンド	3, 6, 7, 9	3, 6, 7, 9	3, 4, 6, 7, 8, 9
視野モザイク数	最大50視野	最大150視野	最大150視野
特殊観測モード	-	-	偏波観測が可能
観測提案提出数	919件	1131件	1381件
最高優先度観測数	112件	197件	353件

表01 サイクル0、サイクル1、サイクル2の観測比較一覧。



図02 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、バンド8、バンド10。

す。仕様を満たすことが確認されたら、次は望遠鏡に組み込んでの試験です。個々のコンポーネントが仕様を満たしていても、望遠鏡全体としてきちんと性能が出ないと意味がありません。アンテナに受信機を搭載して1台の望遠鏡としてきちんと動作するか確認し、次に複数のアンテナと結合させて干渉計としての動作試験を行います。動作試験と言っても、単純なものではありません。たとえば2014年9月から行われた長基線試験観測キャンペーンでは、アンテナを15キロメートルの範囲にまで展開して試験観測が行われましたが、こうした試験自体が前人未踏のもの。アルマ望遠鏡が観測する周波数では、これまでは基線長が2キロメートルを超える干渉計自体が存在しなかったのです。意味のある観測を成功させるには、個々の装置がきちんと動くのはもちろんのこと、たとえば電波強度や位相を校正するための天体をどれくらいの頻度で観測するか、大気による位相のずれをどのように補正するか、装置に起因する誤差をどう除去するかなど、それ自身が研究と言っていいほどの課題をクリアしていかなければいけません。装置を作る技術者と装置のことを熟知した天文学者がタッグを組まなければ、

この難題を乗り越えることはできなかったでしょう。考え方や文化の違いの人たちが集まる多国籍チームが議論を戦わせながら進むことで、こうした課題がひとつひとつ解決されていきました。

●世界中の天文学者の要望に応える

アルマ望遠鏡は、世界中の研究者に使ってもらう「共同利用」の望遠鏡です。観測の「サイクル」ごとに観測提案を募集、審査し、高得点を獲得した提案に基づいて観測を実行します。ここまでは一般的な望遠鏡と同じですが、アルマ望遠鏡で大きく異なるのは、実際の観測には観測提案者が参加しない、ということです。アルマ望遠鏡は観測効率を最大化するために、「ダイナミックスケジューリング」という考え方を採用しています。実行される観測のうちでも、ベストな気象条件の時にしかできないもの（例えば、高い周波数かつ広いアンテナ展開範囲を必要とするもの）とそうでないものがあります。このため、当日の気象条件などによって観測スケジュールを組み替えるのです。観測提案者は自分の観測が何月何日に実行されるのかは事前にわからないため、観測のために現地に行くことはできません。

その代りにアルマ望遠鏡のスタッフが、観測の割り当てから実際の観測実行までを担うことになります。

●アルマ望遠鏡の組織

アルマ望遠鏡の運用は、チリに設立された合同アルマ観測所が行っています。アルマ望遠鏡が本格観測を始めるとともに、その運用を効率的に行うために大きな組織改革が行われました。これまでの組織（国立天文台ニュース2012年6月号参照）では、アンテナや受信機を統合して性能試験を行う部門（AIV：Assembly, Integration and Verification）や干渉計としての試験観測を行う部門（CSV：Commissioning and Science Verification）がありましたが、試験観測が最終盤を迎え本格観測が主になってきたことを反映してAIVは廃止され、CSVはEOC（Extension and Optimization of Capabilities：機能拡張と最適化）へと衣替えしました。既に共同利用観測に供されているものよりも高い周波数を実現するための試験観測や長い基線長での試験観測は、EOCチームが担当しています。EOCチームには、国立天文台からは亀野誠二（22ページ）・中西康一郎・廣田晶彦（32ページ）の各氏が所属しています。

世界中の研究者から寄せられた観測提案に基づいた科学観測の実行は、科学運用部門（Department of Science Operation：DSO）が担当します。DSOには実際に望遠鏡を操作するArray Operation Group、観測プログラムの実行に責任を持つProgram Management Group、データ処理に責任を持つData Management Group、観測提案募集を統括するProposal Handling Teamが置かれています。国立天文台からはダニエル・エスパダ（30ページ）、澤田剛士（26ページ：インタビュー時にはEOC）、高橋智子（28ページ、インタビュー時にはEOC）の3氏が所属しています。

また、通常運用に入った装置群を

効率よくメンテナンスするために技術部門 (Department of Engineering) の中でも組織替えが行われました。望遠鏡の構成要素 (アンテナ・受信機・相関器など) を担当する Array Maintenance Group、発電機などのインフラを担当する Infrastructure Maintenance Group、それ以外を担当する Engineering Maintenance Group が作られました。国立天文台からは水野範和 (24ページ)・杉本正宏 (27ページ) の両氏が所属しています。

合同アルマ観測所には、建設をま

とめ上げる立場のプロジェクトマネージャとして小笠原隆亮氏 (18ページ)、研究員として黒野泰隆氏も所属しています。

合同アルマ観測所と並んで、国立天文台としてチリでの研究活動を支援するのが国立天文台チリ観測所です。長谷川哲夫所長 (16ページ) のもとで、浅山信一郎 在チリ・アルマ部門長 (19ページ) とアンテナメンテナンスを担当する山田真澄・井上則雄の各氏 (アンテナチームリーダー・阪本成一氏: 33ページ)、受信機メンテ

ナンスを担当する藤本泰弘氏 (34ページ)、チリ事務部 (山口隆弘事務長と塚野智美、平松直也、Lorena Toro、Gabriela Krapivka Flores の各氏: 36ページ) が所属しています。また山麓施設に常駐するサイトマネージャとして、Joaquin Collao 氏の貢献も忘れることはできません。さらに本特集では取り上げていませんが、アルマ望遠鏡の隣で水先案内人を務める 10m サブミリ波望遠鏡アステを運用する奥田武志 アステ望遠鏡マネージャーと木挽俊彦氏もチリ観測所の一員です。

アルマ望遠鏡が切り拓いてきた宇宙

2011年9月に科学観測を開始したアルマ望遠鏡のデータをもとに、2014年末現在で約180本の査読論文が執筆されています。図03は、その論文の概要でよく使われている単語を抜き出したワードクラウドです。object (天体)、detected (検出した) など一般的な言葉を除外すると、一番多いのは disk (円盤)。原始惑星系円盤や銀河円盤など、disk は宇宙のいたるところにあります。特に、若い星のまわりの円盤は初期科学観測から現在まで行われている観測サイクルで観測しやすい (1視野にすっぽり収まる、近くにあるので細かいところまで見やすい) ために、このテーマだけでも50本近くの論文が執筆されています。ここでは、プレスリリースを行った成果を中心に大づかみにこれまでの観測成果を紹介してみましよう。

●最近 & 最遠天体の観測

アルマ望遠鏡はミリ波・サブミリ波を観測する望遠鏡です。恒星の観測は得意ではありませんが、それ以

外のさまざまな天体を観測できます。

地球にいちばん近い天体の観測成果としてリリースを行ったのは、2013年に太陽に接近したレモン彗星・アイソン彗星のまわりの有機分子の分布を明らかにした、という成果①。この時、地球からアイソン彗星までの距離はわずかに0.5天文単位でした。一方これまで最も遠い観測成果は赤方偏移 $z=7.5$ (検出しているのは131億年前の光) にある星形成銀河②。宇宙が始まって約7億年で、十分検出できる量の塵が作られていることがわかりました。宇宙誕生後およそ13億年の銀河も太陽に近い元素組成を持つことがわかっており③、宇宙ではごく初期に大量の星の誕生と死が繰り返され、重元素が宇宙に蓄積されてきたことを示しています。一方、宇宙が8億歳だった頃に存在した巨大なガス天体「ヒミコ」ではアルマ望遠鏡の高感度をもってしても重元素が検出されませんでした



図03

④。宇宙の中での化学進化は、一様ではないのかもしれませんが。

●星の進化の観測

これまでプレスリリースを行ったアルマ望遠鏡の成果を一覧にしたものが表02です。

アルマ望遠鏡はその高い感度と解像度からさまざまな研究成果を挙げっていますが、改めてリストをみると、やはり星の進化、とくに星の誕生・惑星の誕生に関する成果が数多く発表されているのがわかります (表02の青地の項目および図04参照)。

アルマ望遠鏡は、最も若い原始惑星系円盤の発見⑤、円盤における化学組成の急激な変化⑥という成果で原始惑星系円盤の形成と進化に迫ります。また暗黒星雲の向こう側に隠れて可視光では見えないガス流の存

在を明瞭に示しています⑦。視力2000で見た原始惑星系円盤に多くの溝が走っているようすからは、100万歳に満たない年齢で惑星形成が進行していることが示唆されます⑧（04-05ページ参照）。さらに原始惑星系円盤内でのガスの運動や塵の濃集⑨⑩⑪、温度分布⑫の研究は、惑星形成過程で重要な物理量を見せてくれます。これは理論・シミュレーション研究にとっても非常に重要な情報になります。また銀河系の星の半分近くは連星と考えられていますが、アルマ望遠鏡は連星系が激しいガス運動の中で生まれる様子⑬や原始連星系にガスが流れ込んでいく様子⑭を捉え、原始連星系における惑星形成現場も捉えつつあります⑮⑯。太陽の何倍もの質量を持つ大質量星の形成は、その数の少なさと遠さからこれまでの望遠鏡では観測が難しい面もありましたが、アルマ望遠鏡では大質量原始星に付随する新しい水メーザーを発見したり⑰、既知のものよりも10倍大きな温かいガス雲に包まれた原始星⑱を捉えたりと、高感度・高解像度を活かした研究成果を上げています。

主系列星を取り巻くデブリ円盤においても、天体衝突による塵の発生やガスの放出⑲⑳や、細いデブリ円盤の形状から系外惑星の存在を示唆する成果㉑など、アルマ望遠鏡の活

①	2014.08.12	アルマ望遠鏡で探る、彗星での有機分子合成
②	2014.03.03	若い宇宙の早熟な銀河:131億年前の銀河に塵を発見
③	2012.06.12	124億光年彼方の銀河の「成分調査」～アルマ望遠鏡で迫る進化途上の銀河の正体～
④	2013.11.22	アルマ望遠鏡とハッブル宇宙望遠鏡で迫る宇宙初期の巨大天体ヒミコ
⑤	2014.01.14	アルマ望遠鏡、最も若い原始惑星系円盤を発見
⑥	2014.02.13	生まれつつある原始惑星系円盤で劇的な化学変化：かつて太陽系も経験したか？
⑦	2013.08.21	アルマ望遠鏡で迫る星誕生のドラマ
⑧	2014.11.06	アルマ望遠鏡、「視力2000」を達成！史上最高解像度で惑星誕生の現場の撮影に成功
⑨	2014.01.17	アルマ望遠鏡が見つけた巨大惑星系形成の現場
⑩	2013.01.04	アルマ望遠鏡が見つけた「惑星のへその緒」
⑪	2013.06.07	アルマ望遠鏡が発見した彗星のゆりかご
⑫	2013.07.19	若い星のまわりのスノーラインを直接撮像
⑬	2014.07.03	アルマ望遠鏡が目撃したダイナミックな星の誕生
⑭	2014.12.04	双子の赤ちゃん星を育むガスの渦巻き
⑮	2014.10.30	惑星誕生のためのライフライン
⑯	2014.07.31	アルマ望遠鏡、互いに傾いた原始惑星系円盤を連星系で発見
⑰	2012.10.23	アルマ望遠鏡でオリオン星雲中に新しい水分子メーザーを発見
⑱	2013.10.04	アルマ望遠鏡が発見した、赤ちゃん星を包む大きな温かい繭
⑲	2014.12.15	太陽系の歴史を振り返る：若い星HD107146の塵円盤の観測
⑳	2014.03.10	氷天体の衝突が作り出す謎のガス雲
㉑	2012.04.12	アルマ望遠鏡が明らかにした、太陽系外惑星のはたらき
㉒	2014.09.29	枝分かれした有機分子をアルマ望遠鏡が発見
㉓	2012.08.29	アルマ望遠鏡、赤ちゃん星のまわりに生命の構成要素を発見
㉔	2014.11.27	アルマ望遠鏡が描き出した、高齢の星ミラを取り囲む雲
㉕	2012.10.11	アルマ望遠鏡が見つけた不思議な渦巻き星
㉖	2014.01.07	超新星爆発で作られた大量の固体微粒子をアルマ望遠鏡が発見
㉗	2013.03.13	アルマ望遠鏡が書き換える、星のベビーブーム史
㉘	2014.09.17	銀河衝突で作られる巨大ガス円盤-円盤銀河誕生の謎に電波で迫る
㉙	2014.09.10	重力レンズを使って遠方の衝突銀河を詳細観測
㉚	2013.10.24	超巨大ブラックホール周辺での特異な化学組成の発見
㉛	2015.02.26	アルマ望遠鏡、巨大ブラックホール周囲に驚くほどマイルドな環境を発見
㉜㉝	2013.10.16	アルマ望遠鏡が解き明かす超巨大ブラックホールジェットのミステリー
㉞	2013.07.25	爆発的星形成の終焉
㉟	2014.06.12	塵の向こうの巨大爆発：アルマ望遠鏡で探るガンマ線バーストの発生環境
㊱	2013.05.31	ダストに埋もれた銀河の"人口調査"

表02 アルマ望遠鏡観測成果プレスリリース一覧（海外機関から発表のものも含む）。

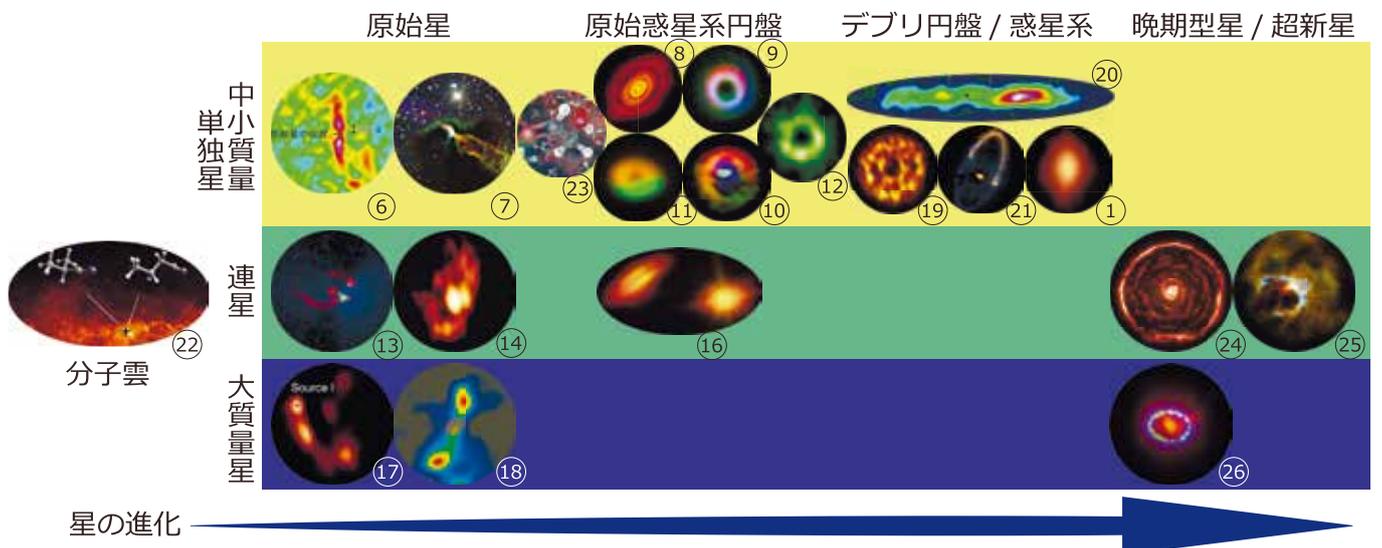


図04 星の一生に関わるアルマ望遠鏡観測成果。さまざまなステージをアルマ望遠鏡が見つめます。

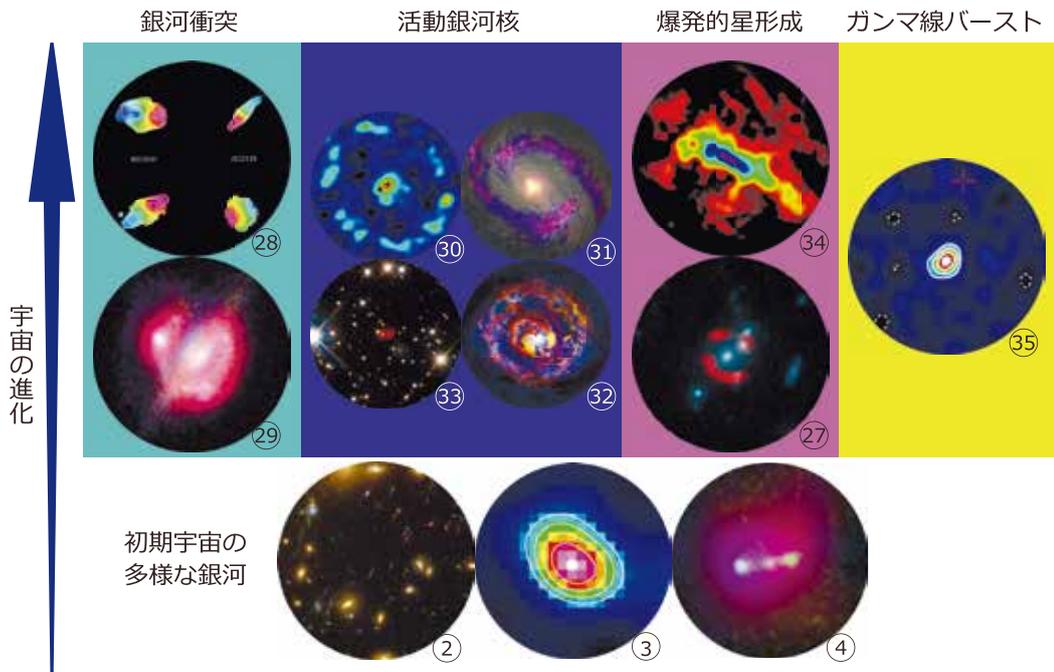


図05 銀河や宇宙の進化に関するアルマ望遠鏡観測成果。

観測では、これまで見つかっていなかった小規模なジェットが発見されたり³²、ブラックホールに物質が吸い込まれることによって起きるジェットの変動がリアルタイムに観測されたり³³しています。こうしたジェットは星形成の材料を銀河外に吹き飛ばす効果を持ち、銀河の将来に大きく影響します。さらに爆発的星形成銀河においても、恒星風や超新星爆発などによってガスが銀河外に流れ出していることがアルマ望遠鏡

躍は目覚ましいものがあります。そして、星が生まれる前の分子雲での枝分かれ有機分子の発見²²や惑星誕生領域での糖類分子の発見²³は、生命の起源に迫るというアルマの一大目標の端緒となるものです。

さらにアルマ望遠鏡は、星の死も見つめます。年老いた星から噴き出すガスの観測²⁴²⁵は、星内部で作られた元素の宇宙への拡散の様子を描き出しました。また超新星1987Aにおける塵の検出²⁶は、宇宙における塵の起源が超新星爆発であるという説を初めて直接観測的に裏付ける結果となりました。

●銀河の進化の観測

つぎに、銀河の誕生に迫る研究と、銀河の進化と性質を語るうえで欠かせない「銀河衝突」「爆発的星形成」「活動銀河核」のキーワードを軸にアルマ望遠鏡の成果を分類してみます(表02の緑地の項目および図05参照)。銀河の誕生に迫るには、遠く(=昔)の銀河を観測することが欠かせません。アルマ望遠鏡で宇宙が10億歳前後だった頃の銀河を観測し、その化学進化の度合いのばらつ

きが明らかになったのは前述のとおり(2³4)。また宇宙が12億歳だった頃には既に爆発的に星が作られている銀河も存在しました²⁷。アルマ望遠鏡の比類なき感度によってこれからより多くの遠方銀河が観測されることで、宇宙全体の進化の様子もわかってくることでしょう。

多数の衝突銀河を観測することで銀河衝突が銀河の形状に与える影響を調査した統計的研究²⁸や、重力レンズで拡大された遠くの衝突銀河の研究²⁹からは、銀河衝突が銀河進化に果たす影響の大きさがわかります。また遠方の銀河が明るく輝くメカニズムとして活動銀河核と爆発的星形成が挙げられますが、どちらの要因によるものなのか切り分けられないケースがあります。そこで、活動銀河核を取り巻くガス雲の組成を調べた研究³⁰³¹をみると、選択的に特定の分子(HCNなど)が多く存在することがわかります。このことから、化学組成を調べることで、その判定が可能となるのです。そして、爆発的星形成も活動銀河核も、周囲の環境に非常に大きなインパクトをもたらします。アルマ望遠鏡による

の観測で明らかになり³⁴、星形成活動が自らを終結させる可能性も示唆されています。

大質量星の死と関連が指摘されているガンマ線バーストについても、アルマ望遠鏡はその現場で初めて分子ガスの放射を検出し、発生環境の理解に一役買っています³⁵。また、目立つ天体ばかりを観測していても宇宙の全体像はつかめませんから、「普通の」銀河を観測することも重要です。アルマ望遠鏡の高い感度はこれまでの望遠鏡では見えなかった、特別明るいわけではない平凡な銀河も数多く検出できます³⁶。

プレスリリースした成果をおおまかにご紹介しましたが、もちろんそれはアルマの全研究成果のごくごく一部。アルマ望遠鏡は現在もパワーアップの途上であり、観測開始時と今とでは全く別の望遠鏡と言っているかもしれません。国際協力の枠組みの中でたくさんのスタッフの奮闘によって生み出されたこのモンスターマシンからどんな成果が出てくるのか、そして研究者はこれをどう乗りこなすのか、今後ご注目ください。

私も、鋭眼



「第10回最新の天文学の普及をめざすワークショップ@ALMA,Chile」報告

伊東 (佐伯) 昌市 (天文情報センター)

2005年にスタートした年に一度開催の「最新の天文学の普及をめざすワークショップ」は、2014年に節目の10回目を迎えました。近年のWSのテーマは、参加者のアンケート調査の結果を重視しており、まさに今が旬の「アルマ望遠鏡でWSを！」という希望が多かったので、思い切ってチリのアルマ望遠鏡を訪れて開催することにしました。より臨場感のある教育普及をめざすなら、それに関わるスタッフ自身がまずは現場を体感する必要があると思えるからです。しかしそこは標高5000mの高地。当然リスクを伴います。2012年の第08回WSを標高4200mのハワイ島マウナケア山頂で開催した時も、体調不良を訴える参加者が出ました。今度は標高5000mです。さらにアルマ望遠鏡は国際協力で運用されているので、すばる望遠鏡のときのように国立天文台の中で了解が得られれば可能というわけではありません。そこで、まず、チリ観測所長の長谷川哲夫さんに可能性を打診するところからはじまり、快諾を得た後、アルマ広報担当の平松正顕さんも含めて、WSの実現へ向けてたいへんご尽力をいただき、チリの現地で9月22日開会・26日閉会のスケジュールで実施が決まりました。

9月20日、私たち国立天文台からのサポートスタッフ6名を含め総勢20名がチリへ向かいました。今回のWSは、観測所の見学と講義のほかに夜間、アンテナのある山頂施設 (AOS) に登り、星空の撮影も希望していました。そのため高地健康診断書の提出を求められました。

何よりも20名もの大勢の団体が夜間山頂のAOSに滞在したことはこれまで例がなく、NAOJチリ観測所の皆さんはもちろん、合同アルマ観測所にも多大な負担とご迷惑をお掛けすることになりました。特に高山病対策について、救急車の準備や緊急出動への対応など大変なご苦勞をお掛けしたようです。実際、現地のメディカルチェックでは4名がパスできず、第一回目の登頂はあきらめました。また、登頂したグループの中からも何人かは具合が悪くなり、途中で下山しています。この場を借りて、改めて、サポートいただいた関係者の方々に深く感謝申し上げたいと思います。

●ワークショップは以下の日程で開催しました。

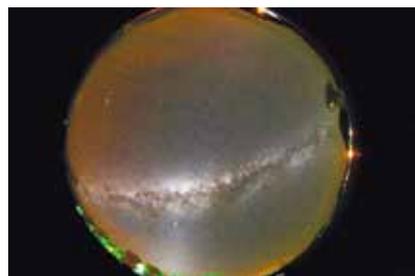
- 9月22日午後：合同アルマ観測所 (JAO: Joint ALMA Observatory) のサンティアゴ中央事務所にて開会式。
- 9月23日午前：JAOにて講義：オーバービュー「ALMA望遠鏡とは何か？」(長谷川哲夫さん) / 午後：サンチャゴからサンペドロ・デ・アタカマへ移動
- 9月24日午前：ALMA山麓施設 (OSF) でメディカルチェック後山頂施設 (AOS) へ。 / 午後：OSFガイドツアー
- 9月25日午前：ALMA山麓施設 (OSF) へ / 講義1「How does ALMA work?」(浅山信一郎さん) / 講義2「ALMA望遠鏡最新成果 (1)」(平松正顕さん) / 午後：講義3「ALMA望遠鏡最新成果 (2)」(平松正顕さん) / 夜：山麓施設から山頂施設へ移動し撮影
- 9月26日午前：まとめのレビューと閉会式

今回のワークショップ開催は、事前の予想通りこれまで開催したもの比べて困難の多いものでしたが、直接、その過酷な (ゆえに天文観測に適した) 環境を

体感しながら、最新の観測装置類を直接目の前で見、開発者の話を聞き、稼働を始めたばかりの望遠鏡が次々と成果を挙げるようすをダイレクトな講義で聴くことができ、たいへん有意義な日々でした。また、そのさまざまな観測プロセスの中に日本の貢献が多く寄与していることは、ワークショップ参加者に誇りと喜びを与えてくれるものでした。そこで、ワークショップの参加者には出来るだけ記憶が鮮明なうちに、アウトリーチなどの具体的な目標を立てていただく必要があると考えて、最終日に振り返りとして、



浅山さんの講義のようす。



アルマ望遠鏡山頂施設で魚眼レンズで撮影した標高5000mの星空。黄道光が明るすぎて邪魔です(笑)。

それぞれの方に思いつく範囲で考えるる具体目標を語っていただきました。それは、今後、各参加者のさまざまな実践のフィールドで結実していくはずで



参加者とチリ観測所のスタッフみんなで記念撮影 (アルマ望遠鏡山麓施設にて)。



この成果をどのように生かすのか？ 最終日には振り返りのミーティング。

耳で楽しむアルマ望遠鏡：ALMA MUSIC BOX

平松正顕 (チリ観測所)



21_21 DESIGN SIGHTでの展示の様子。オルゴールに同期したクールなビジュアルが、宇宙へといざなってくれます。

巨大電波望遠鏡でとらえたデータをヘッドホンで聞く。映画「コンタクト」での主人公エリーはこうして異星人からの電波をキャッチしましたが、ふつう天文学者はデータを聞いたりもしません。しかしここであえて、アルマ望遠鏡のデータを「聞いてみる」。そんなことにチャレンジしたのが、この“ALMA MUSIC BOX”です。

元になったデータは、アルマ望遠鏡の観測で得られたちょうこくしつ座R星を

取り巻く不思議なガスの渦巻きの画像（11ページ）です。これをアクリルプラスチックの円盤に（コンピュータ上で）投影し、電波強度の大きい箇所に穴をあけることでオルゴールの円盤を作成。つまり、作曲者の意思が介在しない「自然な」音楽になっています。

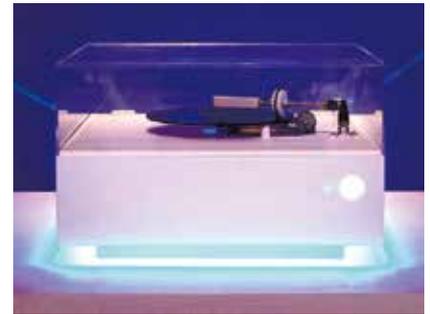
今回はアルマが観測した70の周波数ごとに70枚の円盤を作成しました。観測周波数ごとに画像が異なるので、異なるメロディが奏でられることになります。

クリエイター集団「PARTY」と「Qosmo」とともに作り上げたこの作品は、六本木21_21 DESIGN SIGHT『活動のデザイン展』に『ALMA MUSIC BOX：死にゆく星の旋律』として出展されました。彼方で一生を終えようとする星からの電波をもとにしたやさしい調べに、感動して涙を流す方もいらっしゃいました。天文学の

成果を、天文学者や科学に興味ある人だけのものにするのではなく、アートやデザインの手でより多くの人の心を動かすものへ。ALMA MUSIC BOXを素材として、アルマ望遠鏡の成果をさらに広く世界に浸透させるプロジェクトも進行中です。ご期待ください。

この作品の映像と音は、以下のウェブサイトからご覧いただけます。

<http://alma.mtk.nao.ac.jp/musicbox/>



オルゴールというクラシックな装置とアルマ望遠鏡という最先端観測装置の融合。

特集「アルマ望遠鏡大開眼！」

第Ⅱ部

アルマ望遠鏡スタッフに聞く！

特集の第Ⅱ部は、チリ・サンティアゴの合同アルマ観測所本部やアタカマの山麓・山頂施設、そして国立天文台チリ観測所サイティアゴオフィスで日夜奮闘する国立天文台スタッフの熱い思いを、それぞれの手記やインタビューを通じて語っていただきます。

インタビュアーは、わたくし
川村 晶 が担当します！



長谷川哲夫

HASEGAWA Tetsuo

国立天文台チリ観測所 教授
国立天文台チリ観測所 所長



アルマ望遠鏡は 21世紀の天文学に 革命をもたらす

2014年10月のある日、メールを開いた私の目にアルマ望遠鏡で取られたばかりの「おうし座HL星」を取り巻く円盤の画像が飛び込んできました。9月から行われていた「長基線性能確認キャンペーン」で得られたイメージです。円盤には幾重にも溝が刻まれて、惑星が誕生しつつあることを示しています。私たちが追い求めていたアルマ望遠鏡の桁外れの性能、それをこの画像ははずばり表していたのです。私は「おーっ、ついに来た！」と思わず叫んでいました。そして同時に、プロジェクトチーム全員で歯を食いしばってがんばったこの20年以上の苦

労の一場面一場面が、このイメージの前を走馬燈のように流れてきました。その感動は、とても言葉では表すことができません。

日本が分担する部分の建設予算がまだ認められていなかったころ、私たちは原始惑星系円盤のコンピューターシミュレーション画像を用いたプレゼンで、「人類はアルマ望遠鏡で惑星誕生の目撃者になる！」と支援をお願いして回りました。おかげさまで予算がつき、国際協力により共同利用観測も開始できて、いま、シミュレーションでなく実際の画像を皆さんにお見せできることは、本当にうれしく、誇らしい気持ちです。し

かもその画像はコンピューターによるシミュレーションを超えて、自然の精妙さをダイレクトに私たちに伝える美しさを、静かにたたえていたのです。

アルマ望遠鏡を使った研究はまだ始まったばかりですが、その素晴らしい性能で、さまざまな天体の見たこともない姿を私たちに見せてくれています。昨年12月に東京国際フォーラムで行われたシンポジウムには世界から300人近い研究者が集まり、アルマ望遠鏡による観測結果について熱い議論を交わしました。1990年に打ち上げられたハッブル宇宙望遠鏡は世界の天文学研究に革命をもたらしましたが、アルマはおそらくそれ以上のインパクトを、21世紀前半の天文学にもたらすだろうと思います。

ここで筆をおこうと思ったのですが、その後発生した思わぬ事態についてもご報告しなくてはなりません。平成27年度予算については全国の大学や研究所の予算が削減されて、皆様も大変ご苦労されていることとお察ししますが、アルマ望遠鏡の運用予算も30%減となる大幅カットとなってしまい、アルマの中で日本が責務を担っている日本が提供した装置群の保守が困難になってしまいました。最悪の場合「モリタアレイ」などの運用が



図01：チリ観測所サンティアゴオフィスにて、事務の皆さんと打ち合わせ。アルマでの観測に関わる案件はもちろん、各種事務手続きから地元商工会議所への参加、職員への気配りまで、多種多様な職務に追われる日々。

途中で停まり、世界の天文学に大きな科学的損失を与えてしまう恐れが出ているほか、保守を行わずに運転を続けることで装置の寿命を縮めることも危惧されます。

日米欧が対等に協力して共同建設・運用を行うアルマは、21世紀のグローバルな科学プロジェクト

トのモデルとして世界に注目されているだけに、今回日本がこのように国際的責務を負うことができなくなる状況に追い込まれたことは大変残念です。アルマの建設を通じて勝ち取った「日本はやると言ったことは予定通りきっちりやる」という国際的信頼は、天文学

に限らず今後の国際科学協力において日本の立場を強くすると信じて来ましたが、それも崩れ去ろうとしています。皆様にはこの窮状をご理解の上、より一層のご支援をいただけますようお願いいたします。

引き続き、アルマ望遠鏡をどうぞよろしく願いいたします。

日本が役割をしっかりと果たせるように！



長谷川さんにInterview

国立天文台チリ観測所長として、チリに単身赴任している長谷川哲夫さん。「私のチリでの大きな役割は、ふたつあります」といいます。「ひとつは国立天文台のチリ代表部という立場です。アルマでは外交的な側面がとても大切です。欧米やチリの責任者と現地で相談をしないといけない案件もあって、山口事務長や私が会議の席に付く必要があります。そこで、日本の国立天文台を代表して、主張すべきことをきちんと主張する、という仕事です」。

もはや一国の資金力や人的資源では、高精度な巨大電波望遠鏡の建設や運用は困難なことから、国際共同プロジェクトとなったアルマ計画。「私たち日本人の国民性として、厳しい場面で切り返すことができないお人好しな面があると思っています。だからこそ、いべきことをいえるようにしないとけません。やりたいことを実現するための国際協力ですから、アルマに参加している各代表とは人間的に友人となりつつも、私たちは発言力、議論力をもっと鍛えないといけません」。

そんな長谷川さんが、手本としている国があるそうです。「まずはイギリス。国際協力の経験も豊富なので、こういうときにはこうしてはいけない、こうするべきだ、という抽象的な思考のロジックが蓄積、継承されているような気がしています。英語が母国語ということもあって、仕切る力もすごいんですね。学問や産業でユニークな立場にあるオランダも見習うべきところがあります。目的実現のためなら、今までのやり方にはとらわれない、何でもありで単刀直入なものの考え方は参考に

りますね」。こうした国民性の分析は、アルマの現場で「揉まれてきた」長谷川さんならではのといえるでしょう。「もうひとつ、私のチリでの役割は、チリ観測所の『お世話役』かな。チリには20人の赴任職員がいます。もちろん、日本で仕事をするのとは違うし、単身赴任で家族につらい思いをさせている人もいます。みんな悩みを抱えています。それでも、歯を食いしばって、世界に日本の人的パフォーマンスを見せて、アルマを動かしていこうと懸命に戦っているんです。でもね、それを悲壮な話にしたくないでしょ。笑って仕事をしたいじゃないですか。だから、みんなといっしょにご飯食べたり、ワイン飲んだり、っていうのも大事な役目のうちなんです」と、やさしく笑います。実際にアルマの最前線に立っている職員のみなさんが力を発揮できるような気配りも、所長の大切な仕事ということでしょう。

長年アルマに関わってきた長谷川さんですが、最近うれしく思うことがあるそうです。「日本は6mの電波望遠鏡にはじまり、野辺山45mを作って、人も技術も育ってきました。そんな日本がアルマに参加したことで、今では私たちが人事公募を行うと、

応募の半分から3分の1くらいは海外から来るようになりました。海外の天文学者が、自分のキャリアのなかで、ある時期日本で仕事してもいいかな、と考えているということです。これは、世界で国立天文台が認められ始めている証拠で、とてもうれしいですね」。

ただし、うれしさの反面、長谷川さんは日本の天文学の現状に危機感も持っているそうです。「天文学ではアジア諸国が大きく伸びてきていますし、欧米はさらに背中が遠くなっていくのも感じます。それだけに国立天文台は立ち止まらずどんどん脱皮しながら、世界のトップランナーに仲間入りするべく、走って行かねばなりません」。

いよいよ本格的な科学観測が始まったアルマ。今日も長谷川さんは日本の役割をしっかりと果たせるように、チリ観測所の陣頭指揮を執りつつ、国際協力の現場に真っ向から取り組んでいるのです。



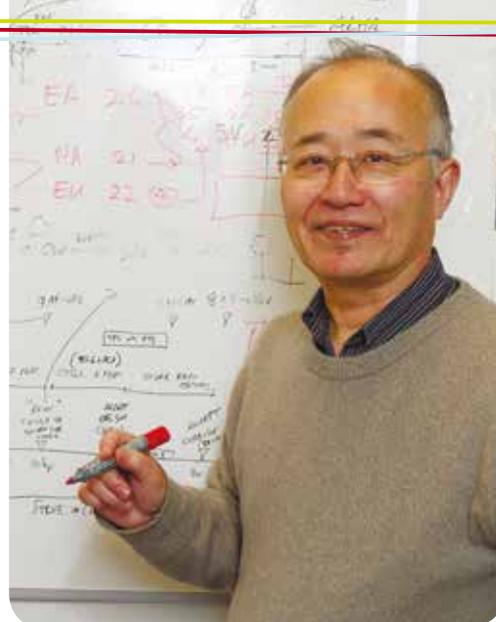
サンティアゴの長谷川邸に夕食のお招きをいただき、長谷川さんが自ら調理したチリサーモンの漬け焼きをチリワインで流し込みながら、たくさんお話を伺いました。壁には長谷川さんが撮影した自慢の「天の川銀河パノラマ写真」が！

小笠原隆亮

OGASAWARA Ryusuke

国立天文台 チリ観測所 教授
合同アルマ観測所 (JAO) プロジェクトマネージャー

アルマ望遠鏡建設、 総仕上げ



アルマは10年前からチリでの建設活動が本格的に始まり、6名のプロジェクトマネージャ (PM) と延べ4名の副PMが、道路建設、建物建設、各装置の組み立て管理に携わってきました。この10年間に、北米、欧州、東アジアで進められてきた装置の設計、基礎開発及びプロトタイプによる基本性能評価などの情報をもとに、2007年からはチリでの装置の組み込みがはじまり、2013年末までに66台のアンテナの基本調整が終わりました。当初はチリに送られる各装置の製作・輸送スケ

ジュール管理、チリでの組上げ調整のために、北半球の各チームとの調整が主、私は2005年から国立天文台アルマの現地職員として日本からの装置をチリで受け取り、当時のJAO PMとチリ現地で調整する仕事に長く携わってきましたが、2012年5月から、JAO副PMとして、チリで組み上がった相関器の拡張と電源施設との総合立ち上げ、そしてアルマ建設状況の国際レビューを担当しました。2013年11月からはJAO PMに就任し、アルマ望遠鏡建設の『総仕上げ』として、AOSでの電源配

布システム建設作業終了のとりまとめ、装置等の受け入れ文書の精査並びにJAOとしての受領確認が主たる業務となっています。アルマの基本性能は確認されて、これからさらに性能を追い込む活動につながっているので、アルマ建設終了のけじめをつけることが最後の課題です。

アルマが観測所として円滑な運用ができる体制への橋渡しができるように、そして多くの観測成果が出る観測所となる事にささやかながら貢献できたとしたならば、幸いと思うところです。

アルマの独り立ちまで、あともうひと踏ん張り中

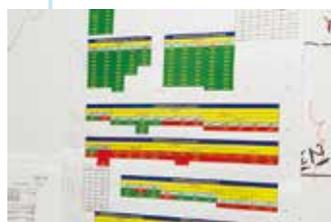


小笠原さんにInterview

「アルマは2011年にアンテナ16台で科学観測を開始して、それだけでもじゅうぶん楽しんでいるサイエンティストもいるくらいですが、いやあ、長かったですよ、ここまで」というのは、小笠原隆亮さん。日本のアルマ関係者の中では、2005年にチリに渡って以来、最も長くチリに滞在中。現在は、JAOプロジェクトマネージャとして、アルマのさまざまな不具合対応を行っています。

「苦労はいろいろありました。山麓施設や山頂施設に向かう道から作ったわけですが、雨が降らないというので、道は塩で土を固める“塩舗装”を行っています。ところが、2012年には麓の部落で30もの家屋が流されるような何十年ぶりの大雨が降って、せっかく作った道が被害を受けました。山頂施設では、1~2メートルも雪が積もったことがこれまでに4回くらいあります」。いつも「晴れ」のイメージがありますが、時には雨や雪も。アタカマ高地はやはり気象環境も厳しい土地だったわけです。「建設は進みますが、工事が遅れる箇所もあります。山頂施設のアンテナパッド (アンテナを載せる土台、全部で192台ある) も、観測が始まってアンテナ

を動かそうとすると、そこにはまだパッドの準備ができていない、なんてこともありました。それから、アルマは国際協力の施設だから、各国が各部分を取り決めた仕様で作って持ってきます。それらを組み合わせれば、すぐに完成すると思うでしょ。でも、組み合わせる機器のねじ穴の位置が違うなんていう初歩的なエラーさえあるし、不具合が出たらフィードバックすればよいとしか仕様書に書かれていない。具体的にどう直すかの段取りとか手順はその都度相談が必要になることが有ります。」そんななかで各所を調整し物事を前に進めてきた小笠原さん。アルマがきちんと動くようになるまで、チリで最後のもうひと踏ん張りなのです。



小笠原さんのデスク横には、アンテナの移動予定などのスケジュール表がたくさん。

浅山信一郎

ASAYAMA Shin'ichiro



浅山さんに Interview

国立天文台 チリ観測所 准教授
東アジア・アルマ将来拡張計画マネージャー



チリに5年、今ではすっかり「橋渡し」のプロ

浅山信一郎さんは、国立天文台に着任した2004年から観測装置の開発拠点である先端技術センターで、アルマのバンド4受信機の開発に尽力されてきました。その後、2009年から合同アルマ観測所の国際職員としてチリに赴任。昨年からは国立天文台の所属に戻り、現在は「チリ観測所東アジア・アルマ将来拡張計画マネージャー」として引き続きチリに留まっています。浅山さんはチリにいる理由を「僕は日本の国立天文台と国際協力の合同アルマ観測所、それから天文学者とエンジニアとの橋渡し係だから」と自ら語ります。「簡単にいえば、国立天文台という組織において、アルマが観測所としてうまく成り立つようにすることが僕の仕事です。たとえば、ここ合同アルマ観測所で問題が起こってもその運用の実体を知る人間が間に入らないと、三鷹ではそれがなぜ問題なのかが理解できないんですよ。それから、天文学の興味とアルマで使われているエンジニアリングは直接結びついていません。観測

をやっていて問題を見つければ、観測が終わってからどうすればよいかを天文学者の立場からエンジニアとディスカッションします。アルマではアンテナの数も多いので、それだけ機器のトラブルも増えます。機器の操作やメンテナンスの手順書なんて、もうどのくらい書いたかわからないくらい…」。

国立天文台と合同アルマ観測所、三鷹キャンパスとチリ観測所、天文学者とエンジニアなど、それぞれの間で発生するいろいろな問題を解決するために、組織や人の間で潤滑剤のような役割を果たしているのが浅山さんなのです。あるエンジニアの方は「山麓施設のコントロールルームや実験室に遠慮なくどんどん入って行って、誰とでも気軽に会話を交わせるNAOJのスタッフはおそらく浅山さんだけでしょう。アルマの建設当時の付き合いだから、信頼されているんだよね」と、うらやましそうに話してくれました。「アルマは今、実際に観測も始めること

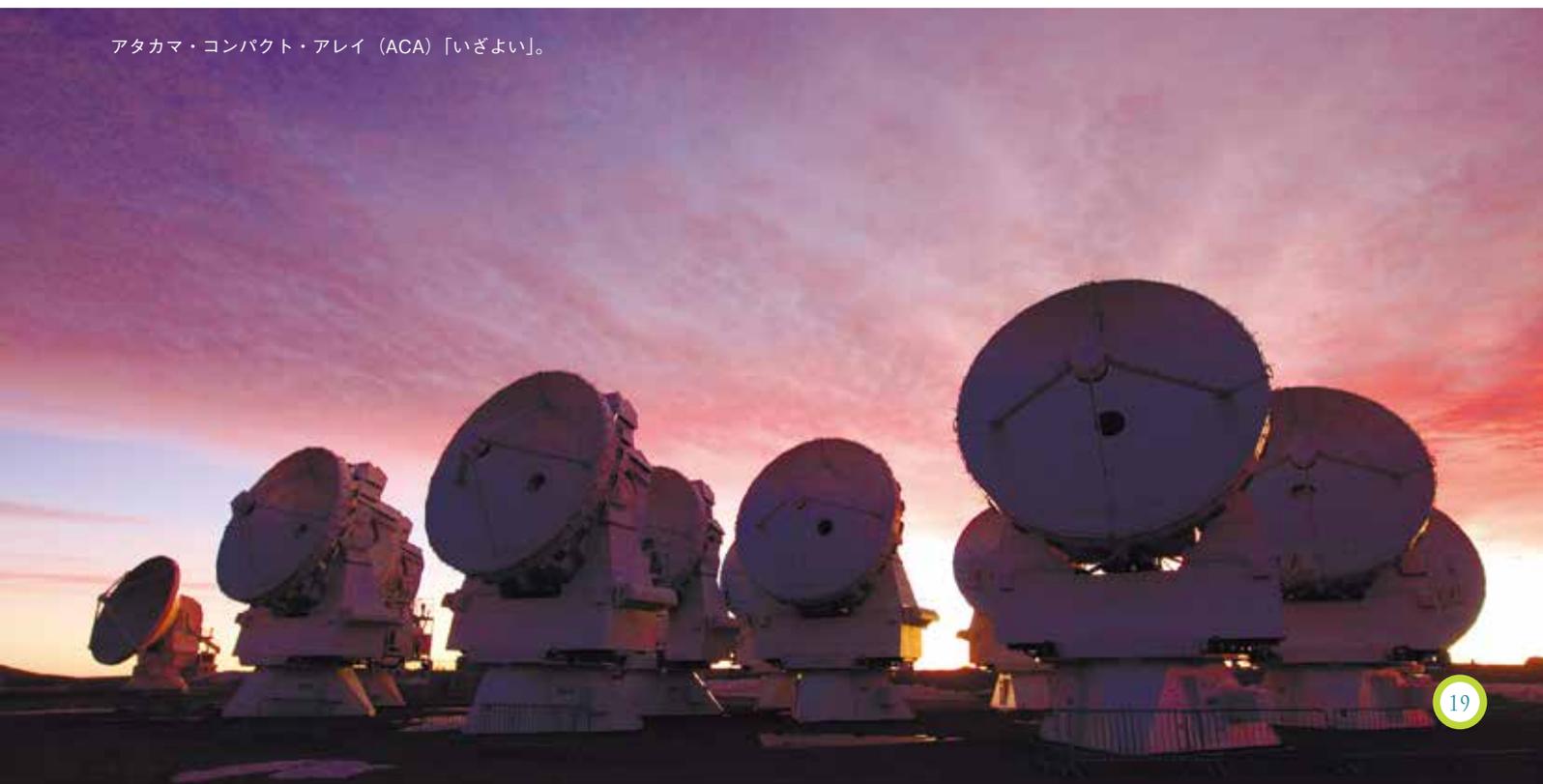
ができて、初期不良がほぼ終わったというところでしょうか。でも、まだ不具合は残っています。その対応を、僕は“落ち穂拾い”って呼んでいます。アルマは、とにかくアンテナの数が多いからたいへんなんですよ。野辺山の干渉計の10倍以上の数ですから、たとえば故障率が同じとしても単純に10倍のトラブルが起こりますから…」。

チリに赴任してすでに5年が経過したという浅山さん。

「こちらの生活は好きですよ。気候がカラッとしているし、食事も合っているし。アルマの運用が終わったら山頂施設に散骨してくださいってます」。

実際には建設前の状態に戻してチリ政府に返還なので、散骨は無理ですが、まさに骨を埋める覚悟でアルマに向き合う浅山さんなのでした。

アタカマ・コンパクト・アレイ (ACA) 「いざよい」。





薄い大気、地上の果て

A night sky filled with stars and the Milky Way galaxy. In the foreground, several radio telescope dishes are visible on a mountain ridge, illuminated by a bright light source. The dishes are arranged in a line, and the sky is a deep blue with many stars.

これより宇宙はじまる

亀野誠二

KAMENO Seiji

国立天文台 チリ観測所 教授
合同アルマ観測所 (JAO) システム検証サイエンティスト



EOC活動： 高価なアルマをお値打ちに

2014年11月に「視力2000」で撮影したおうし座HL星を取り囲む塵の円盤画像は、アルマの撮像性能を端的に示す強烈なものでした。随一の撮像性能で観測したいという需要が高まるでしょうから、供給量もそれに応えたいものです。供給量は稼働時間×観測効率ですから、効率向上は重要です。アルマには撮像性能と共に高い測定精度が要求されます。例えば天体の電波強度計測に許される誤差は1%以下。気象条件や装置の応答が変動する中でこの精度を実現するには、変動を補正する較正が欠かせません。

観測効率と較正精度は相反する面があります。製造業で品質基準を高めると歩留まりが落ちると同様、アルマで高精度にデータ品質保証(QA)を要求すると、観測条件が整うまで待ったり、長時間の較正観測が必要になったり、QAで不合格になった観測をやり直すなど、観測効率を下げる要因になります。QAを満たしつつ性能と効率を向上すること……これがCSV(科学的評価試験)を引き継いだEOC(Extension and Optimization of Capabilities)活動の目的です。

性能向上(extention)には、400 GHz以上の高周波観測、基線長15 kmで高解像度を狙う長基線

観測、偏波観測、移動天体(惑星など)の位置計測、単一鏡観測、太陽観測などが該当します。一方、効率向上(optimization)には指向と焦点合わせ、水蒸気ラジオメーターによる位相補償、異周波間の位相補償、帯域通過特性、デジタル非線形補正、側波帯からの漏洩補正などがあります。運用ソフトウェア更新に伴う試験もEOC活動に含まれます。試験観測で制御システムに不具合を見つけたらソフトウェア部隊に改修を要請し、装置に異常を見つけたらエンジニアに報告して対処を一緒に考えます。性能が確認できた観測モードは報告書にまとめ、次の観測公募に提供できるかどうかの判断材料にします。アルマの現実的な性能をユーザーに伝えるALMA Technical Handbookも、これら評価活動の結果に基づきます。

精度と効率を両立する新機軸の較正手法を確立すること……これもEOCの要点です。干渉計であることを利用して素子アンテナの鏡面ゆがみ・指向誤差・焦点ずれを同時に合わせこむホログラフィー法、水蒸気ラジオメーターで推定した大気揺らぎに基づく観測可能周波数の選択、多基線の統計による帯域通過特性や利得の較正精度向上など、新しい方法が試されています。例えば「16時間

露光したときの不要波信号漏れ込みが、雑音の標準偏差の1/3以下であること」という要求を検証するのに、16時間以上かけて測定するのはもったいないので(試算にもよりますが観測1時間あたり経費は100万円程度)、20分以下で検証できる方法を考案して実測で確かめました。統計的手法を駆使して短時間に較正精度を得る手法を考えるのは面白いですし、供給量を増やせば自分の観測提案も採択されやすくなるでしょう。

チリは、自分の時間は大切だけど他人の時間は気にしない文化です。店舗で客が長蛇の列に待たされているのに店員はお喋りして急ぎません。約束の時間になってから行動を起こすので会議の開始時刻には集まりません。終業時間はきっちり守るので夕方の帰宅は皆早いです。アルマの観測運用では、望遠鏡時間を無駄にすまいと当番の天文学者は急かす一方で、オペレーターは「プレッシャーでミスオベシちゃうよ」と悠長にコマンドを打ちます。慌ててコマンドのオプションを付け忘れたために1時間を棒に振った、なんてこともありますので、確かに余裕を持つことも大切です。運用のプレッシャー最適点はどこなのか、これもEOC活動の項目になるのでしょうか？

アルマの性能向上は自分の観測提案を通すため？



亀野さんにInterview

2013年からアルマに赴任し、現在はEOC（エクステンションアンドオペティマイゼーションオブキャパビリティズ）チームに所属している亀野誠二さん。ご自身の仕事については、「世界の天文学者に観測をしてもらえるように、さらにはがっかりされないように、これまでアルマが提供できるとしていた性能よりも、もっともっと高い性能を出せるようにするのが仕事です。というところからカッコイイんですが、やっていることは、データを眺める、そのデータを解析するためのプログラムを作る、そしてその報告書を書くという、かなり地味な作業ですね」といいます。

実際にアルマの性能要求はとても厳しく、天体の電波強度計測は1%の精度で観測できないといけません。「たとえば野辺山の45m電波望遠鏡だと10%の精度があれば、いいねといわれるくらいです。この精度を一桁上げるといふのはたいへんなことで、だいたい1%の精度の出し方なんて教科書に載っていません。そこで、装置や観測手法のこ

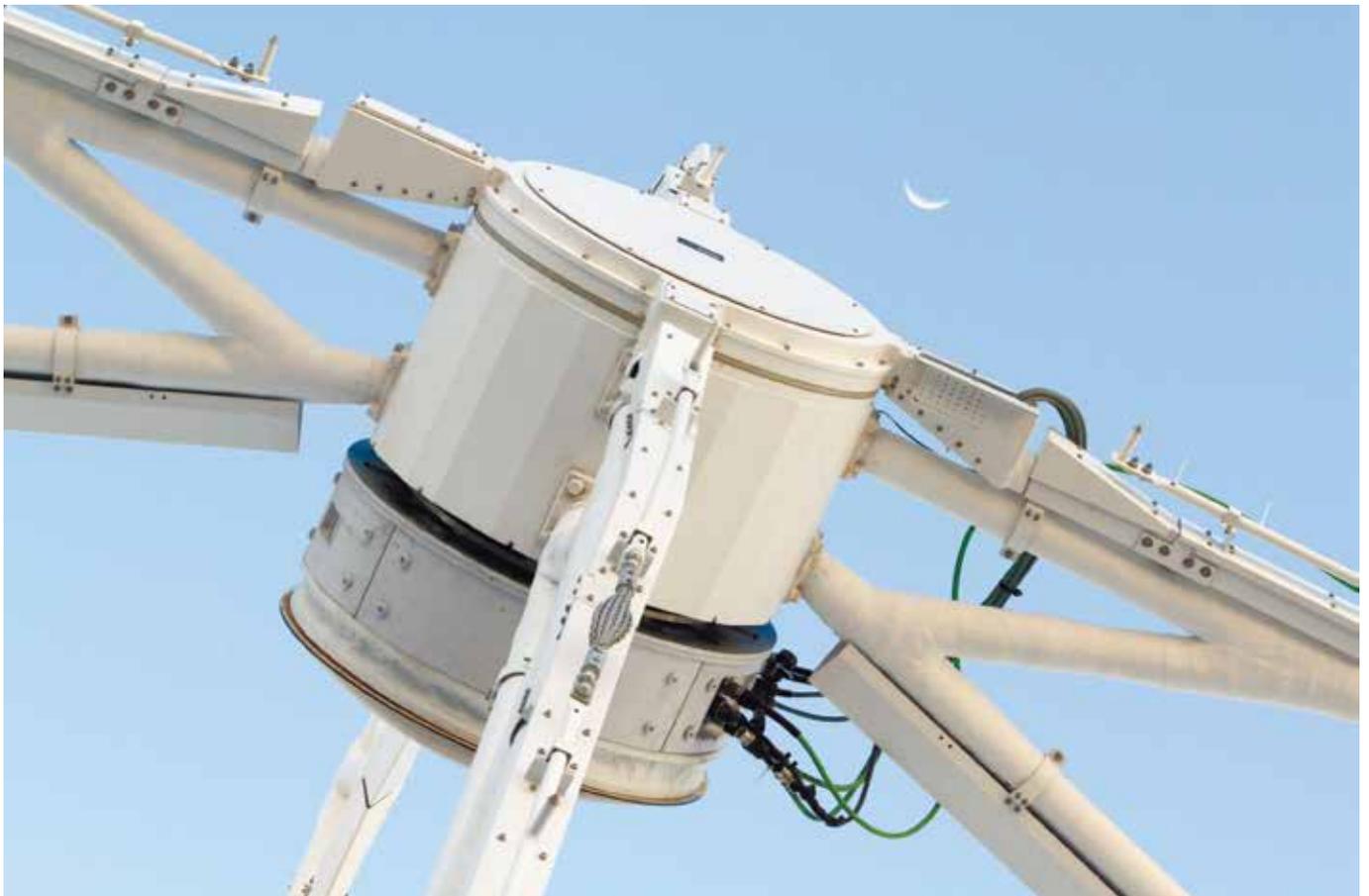
れまで疑っていなかったところまでを丹念に検証していかないと実現できないですが、それでもやってみるとやっぱり無理だったりで…」と、試行錯誤が続いているようです。

しかしその仕事は、天文学者である亀野さん自身にとって、真剣に取り組まなくてはいけないことでもあるようです。「性能が上がって、同じ品質のデータがより短時間で観測できれば、よりたくさんの方々の天文学者がアルマを使えるようになります。私もアルマを使って観測をしたいと思っています。ところが、これまでプロポーザルを出したけど、採用されなかったんですよ。アルマはとても競争倍率が高いので、このままではいかによいプロポーザルを出しても採用されないだろうと思いまし

た。だから今は、自分のサイエンスを高めるよりもアルマの観測効率を高めて、プロポーザルが採用されるようにハードルを下げる、という考え方で仕事をしています」とのこと。アルマの性能を極めようとする毎日は、亀野さんの自己実現への道でもあるのです。



中学生のころから趣味の天体写真を撮っていたという亀野さん。研究者になってからは中断していましたが、「チリの星空を見たら、これは撮らねば！」と思って再開したそうです。「昔は1時間くらいの露出をかけていた写真が、今では数十秒で撮れてしまいます。デジタルカメラ、おそろべし！」とのこと。観測前後の空き時間にOSFのメンテナンス用のアンテナパッドの上で天体撮影を楽しんでいます。



水野範和

MIZUNO Norikazu



水野さんにInterview

国立天文台 チリ観測所 准教授
合同アルマ観測所 (JAO) アレイ メンテナンス グループ マネージャー



日本流の朝礼でチリ人スタッフの士気を鼓舞

水野範和さんは、アンテナ本体から受信機、冷凍機、相関器といった観測に使うすべての科学装置の運用と保守を担当するアレイ メンテナンス グループのマネージャーです。

「ここはその名の通り、電波望遠鏡が電波望遠鏡として動くように常に見張って、必要な処置を施すための部署です。具体的な仕事の内容としては、実際の観測に応じてアンテナを指定されたアンテナパッドへ移動して、さらに相関器に接続したり、不調なアンテナをAOSからOSFに降ろして修理したりもします。もちろん定期的な予防点検も必要ですから、そのスケジュールを組んで作業を進めるという仕事を行います」。

アレイ メンテナンス グループは、アルマにおいては最大の人員を擁する部署です。現在、水野さんが務めるマネージャーをトップに、6人のスーパーバイザー、さらに総勢70人ほどのエンジニアとテクニシャンが籍を置いています。

「マネージャーを除いてスタッフはすべて現地雇用のチリ人です。会話は基本的に英語ですが、英語が得意でないスタッフもいるので、なによりコミュニケーションが難しいですね」という水

野さん。「私の場合は天文学者がエンジニアリング部隊を率いるわけなので、ある意味異色ともいえます。スタッフの労務管理、給与査定などもマネージャーの仕事ですし、スタッフの新規採用では業務内容の取り決めなど、人事の仕事も行わないといけません。もう研究者にとっては、未知の世界ですよ」と、苦笑いも。

言葉も文化も異なるたくさんのスタッフを率い、アルマが天文台として正しく機能するように仕事を進めるのは、さぞやたいへんなことでしょう。

「チリ人スタッフは、みんな優秀です。指示通りの作業をこなして、きちんと報告します。ただし、日本人の感覚とちょっと違って、指示された仕事が終わればそれ以上はやりません。また、考え方が合理的なので、仕事を頼んでもその内容によっては私の契約内容に書いていない、と断られてしまいます。契約で決められた職務以外は、まったくやってくれないんですね。そればかりか、契約内容以外のことを依頼すると仕事に対する不平や不満ばかりをいわれてしまいます。チリではいろいろな業種でストライキが一般的に行われ

ていますが、メンテナンスグループでストライキが起きてしまうと観測所が観測所として機能しないという事態にもなりかねません」。

そこで水野さんに名案が浮かびます。そしてさっそく実践することにしました。「それは朝礼です。きわめて日本流のマネジメントでしょう？」と、笑いながら水野さん。今では作業が始まる朝8時から15分間、スタッフを集めて朝礼を行っているそうです。

「どちらかというと、仕事の意義を諭すというような意識改革ですね。実際にスタッフから話を聞いてみると、なぜ、たくさんのアンテナが同時に動かないといけないのか。なぜ、アンテナをいろいろな位置にトランスポーターを使って動かさないといけないのか。誰も知らない。これまで自分のやっていることの意味については、誰からも説明を受けていなかったわけです。仕事だからという業務命令だけ。そもそも以前のマネージャーは、エンジニアだっ

(上) OSFの実験室で、チリ人スタッフとディスカッションする水野さん。置いてあるのは、新型の副鏡。大気による電波の減衰を補正するために高速で振動する仕組みで、性能を評価中だ。
(下) クリスマスにシフトだったメンバーといっしょにプレゼント交換会。アレイ メンテナンス グループは、この倍の人数の大所帯です。



たり、産業界から来た人だったり、もともと天文学には詳しくない人だから仕方ないことなんですね。そこで朝礼では、たとえばアルマで得られた観測成果の画像を見せたりして、これがどれほどすごいものか説明しています。同時にみんなが仕事してくれたからこそ、すごい観測ができたということも伝えています。自分たちのやっていることが理解できると、仕事に対するモチベーションも上がって、自発的に仕事を進めてくれるスタッフが増えました」。

この朝礼で水野さんが心がけているのは、できるだけイメージで伝えられるように工夫すること。たとえば、どうしてアンテナの配列を変えるのかという説明では、広角レンズと望遠レンズで撮った風景写真を例に挙げ、アンテナを集めると広い視野を一度に観測できるが、アンテナの間隔を広げると視野が狭くなるがより細かい部分が見えてくるなど、難しい式などを使わないようにしているそうです。「基本的に紙芝居のようなものですね」と、水野さん。

朝礼が有効だと思いついたのは、チリ人との付き合いが長い水野さんならではのことでしょう。20年ほど前、水野さんは名古屋大学の大学院生時代に電波望遠鏡の「なんてん」を建設するため、初めてチリに渡りました。

「現地の業者との交渉などを任されてチリに来たわけですが、そのころからの付き合いで、チリ人のメンタリティは日本人に近いものだと感じていました。鉱山の事故なども多いことから、助け合いの精神も持っています。モチベーションを上げられれば、100パーセント以上の力を発揮できるのではないかと感じていました」。

今では噂を聞きつけて、「ノリカズが何やらおもしろそうなことをやっているぞ」と、他のグループのマネージャーが見学にやってくることもあるそうですが、「そんなことよりもノリカズはきちんとしたマネジメントの手法を覚えるべきだ」と欧米のマネージャーから忠告されることも。「でも、今から欧米風のマネジメントを勉強するよりも、私は日本人だし、日本流のやり方で対応したいと思って



います。それぞれのスタッフへはスーパーバイザーを通り越したマイクロマネジメントにならないように気をつけながらも、現場の意見として改善提案をくみ上げることで、マネージャーはスタッフみんなをちゃんと見ているんだよ、というメッセージを送り続けていきたいですね」。

これからも日本人ならではの気配りと、日本流の朝礼でチリ人スタッフのモチベーションを高めつつ、一丸となってアルマを支える水野さんなのです。



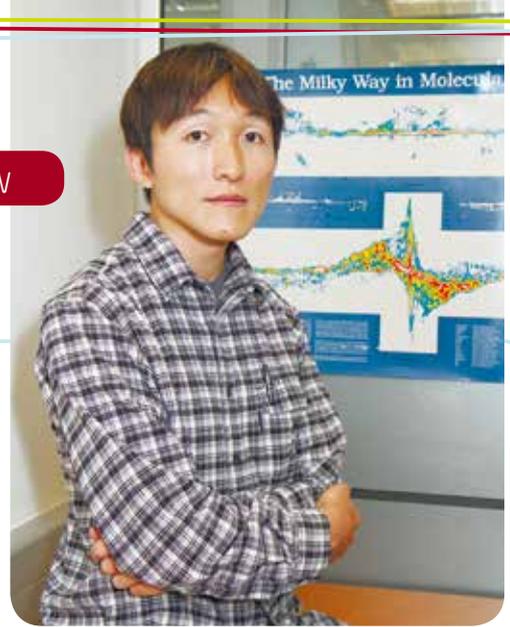
澤田剛士

SAWADA Tsuyoshi



澤田さんに Interview

国立天文台 チリ観測所 助教
合同アルマ観測所 (JAO) システム アストロノマー



システムと向き合ってアルマの性能アップを

合同アルマ観測所の国際職員としてシステムアストロノマーを務めているのは、澤田剛士さん。

「こちらに赴任してきた当時は、まだアンテナの1号機も合同アルマ観測所に引き渡されていないような状況でした」。

澤田さんは、これまでアンテナ単体の性能検査や組み合わせて干渉計として動くかの確認を行うAIV（アセンブリインテグレーション アンド ベリフィケーション）の補助、さらに科学的に求められる性能を満たしているかの試験を行うCSV（コミッショニング アンド サイエンスベリフィケーション）の仕事をごこなし、現在では新しい機能や観測手法の開発を行うEOC（エクステンション アンド オプティマイゼーション オブ ケイバビリティズ）と呼ばれる業務を進めているそうです。

「既存の機能や将来の科学運用で提供される予定の新機能の試験をして、最適な観測・解析手法を決定したり、見つかったバグを報告したりしています」。

そのほかに、日々の観測で発生するトラブルの調査も担当しています」。

現地での立ち上げからアルマ望遠鏡に関わってきた澤田さんには、たいへんな苦労があったのではないのでしょうか。

「劇的なエピソードでもお話しできればいいんですが、あいにく…（笑）。世界の各地で開発された新しい機能がアルマのシステムに組み込まれて、それを私たちが試験するわけですが、どうしても予期していなかったトラブルやバグが出てきます。そうしてつぎつぎと目の前に湧いてくる問題に対応してきた、という印象ですね。はじめは基本的なことしかできなかったアルマですが、気がつくや高度な観測ができる望遠鏡になっていて、アンテナの1号機で基本的な試験をしていたころからすると遠くに来たものだと思います。それでも、そのころに学んだ知識や経験が今でも役に立つこともあります」。

ご自身の主な研究テーマは、銀河系の中心部や渦状腕での星間ガスのふるまいだという澤田さんですが、アルマに期待するのは「これまで銀河系を対象に進めてきた研究を、近傍銀河に拡張していこうとしています。以前から考えていたことですが、アルマの完成によってようやく現実的な目標になりました」とのこと。

実は澤田さん、チリ滞在歴が6年を超えています。これは合同アルマ観測所プロジェクトマネージャーの小笠原隆亮さん、チリ観測所長の長谷川哲夫さんに続いて3番目の長さです。「こちらのラテンのノリが自分にはあまり合わない…です」と言いつつも、澤田さんは今日もアルマのシステムと静かに格闘しています。

★澤田剛士さんのインタビュー記事は国立天文台ニュース2012年6月号もご参照ください。
http://www.nao.ac.jp/contents/naoj-news/data/nao_news_0227.pdf



山頂施設では酸素が必須。気圧は海面の半分（左）。下界の大気圧でつぶれたペットボトル（中）。アタカマの乾ききった環境では水分補給がとても大切（右）。



観測所ゲートから山頂施設まで40kmの道路は「塩舗装」されている。土に塩と水を混ぜてローラーでならしたもので、時折、散水車で水をまいて厳しい乾燥による劣化を防止する。

杉本正宏

SUGIMOTO Masahiro



杉本さんに Interview

国立天文台 チリ観測所 助教
合同アルマ観測所 (JAO) インストゥルメント エンジニア



問題の原因をとことん追求するトラブルバスター

アルマは2003年から続いてきた建設フェーズを経て、2013年に本格観測がスタートしました。とはいえ、常にアルマでの観測が滞りなく行われているわけではないようです。

「連日観測を続けていると、どこかの装置に何らかのトラブルが起こることが、それなりの頻度であります。観測を行っている天文学者やエンジニアは、そのトラブルをどんどん記録していきます。観測が終わったらそのトラブルのレポートをもらって、解決するのが私の仕事です」というのは、合同アルマ観測所でインストゥルメントエンジニアを務める杉本正宏さん。まさに、アルマのトラブルバスターというわけです。とはいえ、未知のトラブルが続出する現場では、一筋縄ではないことも多いといいます。

「アルマには各所にモニター機能が備わっていて、運用状況をログデータとして残すことが可能です。未知のトラブルが起こっても、その時刻に何がどのように動いてい

たかを確認できます。そこで、その原因がメカ系なのか、電気系なのか、はたまたプログラムなのか、ある程度当たりをつけられます。それでも原因がわからないと実際にアンテナを動かしたりして、時間を掛けてでも原因追及とその対処法の検討を行わないといけません」。

これはもう、証拠を集めて犯人を捜し出す刑事のような仕事ともいえるでしょう。しかし、たいへんなのはその後だと杉本さんはいいます。

「自分自身で対処できるトラブルならよいのですが、他のエンジニアに装置の修理や調整を依頼するときは気を遣います。みんな優秀なので、いくつかの原因が考えられる場合は、誰もが自分の担当部分の問題だと認めてくれないんですよ。ですから、状況をロジカルに整理することでトラブルの原因をしっかりと見極めて、担当エンジニアに納得してもらいます。もっとも、トラブル対応は進行中の仕事に割り

込むことになるので、アルマ全体のさまざまなスケジュールにも影響が出てしまいます。効率よく作業を進めるためにも原因追及は必要なことなのです」。

ところで、杉本さんは近くTMTの建設に携わることが決まっているそうです。「電波から光へと観測分野は大きく変わりますが、大きな国際プロジェクトなので、たいへんやりがいのある仕事だと思います。アルマで得た国際協力のノウハウや技術的な知識を役立てることができそうです。もちろん、さらに次のプロジェクトがあれば、参加したいですね。今後も装置開発を通じて天文学の発展に貢献できれば、と思っています」。

チリからハワイへ、さらにその次へと、杉本さんの活躍はまだまだ続きます。

★杉本正宏さんのインタビュー記事は国立天文台ニュース2012年6月号もご参照ください。
http://www.nao.ac.jp/contents/naoj-news/data/nao_news_0227.pdf

高橋智子

TAKAHASHI Satoko

国立天文台 チリ観測所 助教
合同アルマ観測所 (JAO) オペレーション・アストロノマー

アルマ最高周波数 バンド10の科学観測運用 実現に向けて



●EOCチーム

アルマ観測所の開所式が行われたのが2013年3月。既に初期科学観測運用は始まっており素晴らしい研究成果が出始めています。しかし、アルマの本領発揮はこれからです。

エンジニアリングチームから引き継いだサブシステムの特徴を理解し、アルマ望遠鏡というシステム全体で最大の能力を発揮できるよう性能評価試験が日々現場で続けられています。この中で、観測運用実現に向けシステム全体の評価や新しい観測手法の試験を行うのが、私が現在所属するEOC (Extension and Optimization of Capabilities) チームです。我々の目標は、チームが解散する2015年9月までに本格科学運用に必要な最低限の観測法を確立し、ユーザーに提供するという事です。この間で特に大きなチャレンジとしては、地上大型望遠鏡では史上初の試みとなる高周波観測、バンド10での干渉計観測の実現、および高い空間分解能を達成する為のサブミリ波帯での長基線観測の実現が挙げられます。

前者のバンド10観測は、宇宙から来る非常に波長の短い電磁波 (0.32~0.38 mm、電波と赤外線境界波長領域) をアルマで観測しようという挑戦です。この実

現に向け、2014年6月より、関連する科学評価試験が集中的に行われています。私の役目はこの評価試験の全体コーディネーションであり、試験計画の立案、実行、調整をアルマ望遠鏡のあるチリ現地にて行っています。今回のキャンペーンでは、チリの観測所のスタッフのみならず日米欧からもエキスパートが参加してくれていますので、個人の興味・各グループの得意分野を最大に生かせるよう仕事の配分をしたり、個々の評価試験の進捗確認や各々の試験がどう関連し最終目標を達成できるかを把握できるよう議論の場を設けたりもします。

●高周波観測キャンペーン

アルマを使ったミリ・サブミリ波帯の観測は大気中の水蒸気との戦いです。特にこの波長帯の電磁波は大気中の水蒸気によって吸収・散乱されやすいため、乾燥し、かつ天体からの信号が大気中を通過する距離が短くてすむ場所です。アルマがアンデス山脈の5000 mの高地かつ砂漠に建設された理由も納得いただけると思います。しかしこのような条件をもってしても、短波長になるほど宇宙からの信号が大気を透過してくる量は減衰し、アルマが実現しようとしているバン

ド10が観測できる条件が整うのは、年間を通じて10%程度、もしくはそれ以下です。そんな厳しい条件の中、さらに3週に一度しかないテスト観測の週に効率よく評価試験を進めていくのが今回のミッションです。これまでの経験で言うと、実際にバンド10のテスト観測が可能なのは (ベストでない天候も含め) 週に1~2日程度。という具合なので、条件が整った瞬間に全力投球が行えるよう計画・準備を綿密にたてておくこと、また状況や優先度に従って現地にて臨機応変に試験内容を決定してゆくことが極めて重要となります。

このような厳しい条件で行われている試験ですが、少しずつ実を結び始めています。図01は、28台のアンテナを用いてバンド10で初めて得られた天王星の干渉計連続波画像で、天王星からの熱放射をとらえたものです。個々のアンテナ素子を結合し、干渉計システムとしてバンド10の観測が出来るようにするという作業の一環で取得されたテストデータですが、干渉計としてイメージを結び始めて何度か何度も挑戦しようやく成功しました。このようにバンド10の観測準備が整ってきたので、現在は高周波数特有の問題、例え

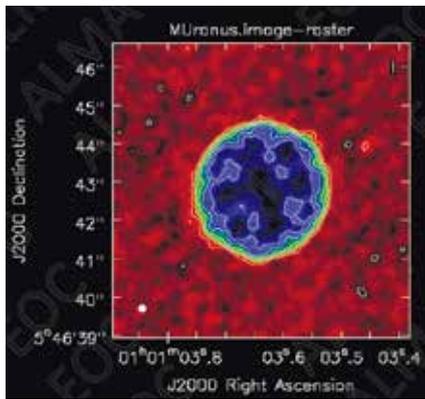


図01：バンド10で得られた天王星の連続波画像。

ば厳しい気象条件や較正天体の制約を克服する観測手法、データ解析法の確立を目指した試験や、科学運用に向けたアンテナコントロールシステム、および解析ソフトの準備等も着々と進んでいます。

アルマはプロジェクトの規模も大きく、システムも複雑なため、自分が貢献できる範囲は非常に限られます。一

方、様々な技術を持った人が世界中から集まってきて、お互いが協力し合うことでプロジェクト全体が動いているということを目の当たりにします(図02)。まさに人が望遠鏡を動かしていると実感できるのが現場で仕事をする面白さです。EOCチームの活動には、今月は(2014年8月時点で)欧米からも複数人が参戦し、現地にて日々忙しく試験観測やデータチェックを行って来ています。米国国立天文台から参加してくれたジェニファーは日本で入

手したというてるてる坊主の手ぬぐいを“天気よくなるといいね!”と言って、手渡してくれました(結構効き目があり、おかげ(?)で素晴らしい天王星のイメージが得られました)。キャンペーンも無事終わり、2015年10月に始まる科学観測サイクル3からは高周波観測の共同利用が始まる見込みです。EOC活動が一段落するまでの道のりはまだまだ続きますが、一步一步実現に向かっていきますので、乞うご期待ください!



図02：左側はコントロールルームで働く同僚たち。科学者、オペレータ、ハードウェアの技術者、コンピュータスタッフが一緒になってトラブルシューティングをしているところ。右側は、今回の高周波観測キャンペーンで中心的な役割を果たしてくれている同僚たち。OSFでのハードスケジュールの後でのリラックスした一時です。

大変なこともありますが、国際プロジェクトはやりがいがあります!



高橋さんにInterview

「私、日本国外でしか働いたことがないんですよ」というのは、高橋智子さん。2013年6月からチリに赴任していますが、それ以前は台湾にある中央研究院でアルマも含めた電波天文学プロジェクトに携わっていたそう。「アルマでの主な仕事はテストデータの解析と評価です。これに加え、現在手がけている高周波数観測実現の為のキャンペーンでは全体の取りまとめをやっていきます(上述記事参照)。専門性を持った同僚達が自分の興味に向かって突っ走るのを、彼らの興味を最大限引き出しつつ、テスト目標や期限との折り合いをつけながらテストをコーディネートしていくのが私の仕事です。コミュニケーションが上手いかずフラストレーションがたまるとありますが、やる気のあるプロフェッショナルが力を合わせたときの結果はもの

すごい。大変ではありますが、仕事としてはやりがいがありとても楽しいです」。

そんな高橋さんのストレス解消法は、トレッキングや楽器演奏だといいます。「休日には、山に行ったりしています。それから、観測所同僚との音楽演奏も楽しんでいます。チリ人の同僚には、ギターや民族楽器のチャランゴを弾く人が複数います。私はフルートを吹くので、シフト時間が終わった後に同僚と集まってセッションしたりします。また、チリの音楽(フォルクローレ)やアンデス音楽を教えてもらったりもしています。新しい曲探しは、You Tubeなどを利用し、次はこれを練習しておこう、みたいな感じで楽しんでいます」。

標高2900メートルの山麓施設でフルートを吹くなんて息が切れそうですが、「なんてことはありませんよ」とのこと。仕事だけでなくオフもやっぱり楽しんでいる高橋さんなのでした。



現場が一番! 技術面だけでなく、コミュニケーションスキル、チームワークも鍛えられます!

標高5000メートルのアルマ望遠鏡サイトにて。

ダニエル・エスパダ

ESPADA, Daniel

国立天文台 チリ観測所 助教
合同アルマ観測所 (JAO) 副プログラムマネージャー

アルマ望遠鏡科学運用の 最前線で



私は現在、合同アルマ観測所科学運用部門 (Department of Science Operations : DSO) で副プログラムマネージャーを務めています。プログラム・マネジメント・グループ (PMG) はDSOの3つの部門のうちのひとつです。PMGには22名の研究者 (オペレーション・アストロノマー8名、ポスドク6名、データアナリスト6名) が所属しています。副プログラムマネージャーは、日米欧の地域センター (ARC) や合同アルマ観測所の計算機部門やエンジニアリング部門とも緊密な協力関係にあり、PMGを束ねるプログラムマネージャーを支えます。私は主に、以下のような活動の責任者です。

・プログラム・スケジュールリング

アルマ望遠鏡で行う観測のスケジュールリングを担当します。東アジア・北米・欧州で採択された観測プログラムの進捗に偏りが出ないように注意しています。また、私はスケジュールリングソフトウェア開発における研究者側のリーダーでもあります。スケジュールリングソフトは、長期 (1年のスケール)、中期 (数週間のスケール)、そしてリアルタイムにスケジュールを最適化するために使われます。さらに、私は観測実行履歴のレポートをまとめたり、さまざまな気象コンディション下で観測効率を最大化できるようにアンテナ配置を考えたりという仕事もしています。

・山麓施設での『当番天文学者 (Astronomer on Duty)』のコーディネート

アルマ望遠鏡での科学観測は、JAOとARCに所属する5名の天文学者とデータアナリストがチームになって行います。私は「当番天文学者」として山麓施設に出張するスタッフのスケジュール調整や新しいスタッフへのトレーニング、また科学観測に関するガイドラインの改訂作業も担当しています。

・ソフトウェア・アクセプタンス・マネージャー

科学観測に必要なさまざまなソフトウェアの評価試験の企画と実施も私の仕事です。現在は、科学観測サイクル2における重要な機能である単一鏡観測と偏波観測に関する

I currently serve as Deputy Manager of the Program Management Group (PMG), which is one of the three major groups of the Department of Science Operations (DSO) of the Joint ALMA Observatory (JAO). It consists of a group of 22 scientists that will include 8 Operations Astronomers, 6 Postdoctoral fellows and 6 Data Analysts. The Deputy Program Manager work closely with the ALMA Regional Centers (ARCs) as well as with the JAO Departments of Computing and Engineering, and provide assistance to the Program Manager in leading and managing the PMG group. I am responsible for some of the key activities of the group, including:

- Program Scheduling lead, which includes managing the scheduling of ALMA programs and to keep track of the time allocation for the ALMA partners. I am the scientist lead for the development of the software used for long-term (~1 year), mid-term (weeks) and real time scheduling. In addition I lead PMG members to produce reports on observing statistics, status of program execution, and antenna reconfiguration needed to maximize the number of projects that can be allocated given atmospheric conditions.

- Coordination of Astronomer on Duty activities in the Operations Support Facility, close to San Pedro de Atacama. At least five astronomers from JAO and the ARCs and data analysts work simultaneously every day in shifts of 8 days to carry out the scientific observations. I currently lead the scheduling of staff that serves as Astronomer on Duty, training of new staff and revision of the Astronomer on Duty Operation guidelines.

- Software Acceptance manager, organizing and evaluating tests of the software tools needed for science operations. Currently I am reviewing

ソフトウェアのアクセプタンスレビューを行っています。

・観測実行プログラム作成のためのマニュアル作り

アルマ望遠鏡で科学観測を行うためには、望遠鏡の設定や動作を記述したプログラムをJAOあるいはARCスタッフが作成する必要があります。私はこのプログラム作成のためのマニュアルをARCと協力して作っています。観測時間はとても貴重なので、プログラムを確実に作成して観測効率を最大化させないといけませんから。

もちろん天文学の研究もおこなっています。私は特に近傍銀河の分子ガスに関心を持っています。アルマ望遠鏡はこれまでの望遠鏡と比較にならないくらい高い感度と周波数分解能、そして広い周波数幅を持っていますので、これを活かして私たちにいちばん近い電波銀河であるケンタウルスAに含まれる分子ガスの研究をアルマ望遠鏡を使って行っています。

the acceptance of single dish and polarization observations, which are major capabilities offered in the current Cycle 2 observations.

・Guidelines for Generation of Program instructions for ALMA observations. In coordination with the ARCs I supervise the guidelines to prepare the instructions commanded to the telescope (pointing, spectral and observing time), which have to be accurate so that the efficiency of the observations is optimal and no time is wasted.

In addition I conduct my own astronomical research program focusing on molecular gas studies of nearby galaxies. Using ALMA I am currently studying, with unprecedented spatial resolution, sensitivity and frequency coverage, the molecular gas feeding our closest radio-galaxy and giant elliptical, Centaurus A.

国立天文台初の外国籍常勤研究教育職員



EspadaさんにInterview

ダニエル・エスパダさんは、スペイン出身の天文学者です。国立天文台では外国籍を持つ二人目の助教であり、さらに初の常勤研究教育職員でもあります。これまで三鷹キャンパスに2年、さらにチリに来て2年弱が経過したそうです。

「私は、これまでサブミリ波一筋でやってきました。三鷹に来る前は、ハワイ・マウナケアのSMA (Submillimeter Array) で観測をしていましたが、アルマ望遠鏡ではさらにその先が見られると期待しています。日本の国立天文台を選んだのは、これまでヨーロッパ、アメリカ、台湾などで研究してきましたが、新しい環境なら自分をもっと成長させることができると思ったからです」。

実際に三鷹で研究を行い、さらにアルマへとやってきたエスパダさん。チリでの生活や仕事の印象はどうでしょうか。

「チリはアタカマからバタゴニアまで、自然が豊かな国ですね。ワインも好きです。国民の気質はスペインと同じでラテン系なのですが、三鷹に2年もいたので、こちらに来た当時はカルチャーショックを受けました。日本と違って、チリの人との仕事はいろいろなこと

スケジュール通りに進まないし、車の運転は荒いし(笑)。スペイン語も単語の意味がスペインとは違ったりします。でも、チリの人みなさん性格が明るいですし、仲良くなりたと思っています。仕事ではマネージャーならではの問題がたくさんあります。部下のチリ人スタッフからは連日、不平不満が上がってきます。また、地理的に大きく離れているアメリカ、ヨーロッパ、

東アジアのそれぞれとコミュニケーションを上手に取ることがとても難しいと感じています」。

すでに実際の観測が可能になったアルマ望遠鏡。「データが取れるようになって、今はとてもエキサイティングなフェイズです。これまで以上に天体のくわしいようすが見えてくるでしょうね」と、エスパダさんはとても楽しそうに語ってくれました。



多様な価値観をもつ国際色豊かなスタッフといっしょに仕事を進めるためには、きめ細かいコミュニケーションが欠かせません。

廣田晶彦

HIROTA Akihiko



廣田さんにInterview

国立天文台 チリ観測所 助教
合同アルマ観測所 (JAO) コミッショニングサイエンティスト※



高精度観測を支えるソフトウェア開発

アルマに参加してまだわずかという
廣田晶彦さんは、合同アルマ観測所で
SSR (サイエンティフィック ソフトウ
ェア リクワイヤメンツ) と呼ばれる部
署に所属するコミッショニングサイエ
ンティストです。

「アルマでは研究者が用意した観測提
案書に基づいて、各地のARC (アルマ
地域センター) の人たちが、観測する
天体の位置、周波数、必要な精度とい
った情報を記述したパラメータファイ
ルを作成します。私はSSRで、そのよ
うなパラメータファイルを読み込んで、
実際にアンテナや機器を制御するプロ
グラムの開発、整備を担当しています。

多数のアンテナの組み合わせで行わ
れるアルマの観測では、それぞれのア
ンテナの向き、フォーカス、ゲ
インといった様々な特性のずれを測り、
補正するキャリブレーションが重要で
す。そのため、アルマが科学観測を行
うときには、目標天体だけでなく、キャ
リブレーションのための天体を観測
することが必要となります。観測ごと
に要求される精度が異なるので、SSR

の制御プログラムは適切なキャ
リブレーション観測を判断、実
行する必要があります。そのプ
ログラムの判断精度をさらに改
善する事で、アルマの観測精度、
効率を高めるのが目標です。

実際に観測も行っているという廣田
さん。3週間、もしくは6週間に一度は
山麓施設に赴き、必要によってはその
場でソフトウェアのアップデートやバ
グフィックスも行っているといいます。
「新しい観測手法、機能のテストを行っ
ているときに、ソフトウェアのバグが見つ
かることがあります。そうしたバグを手直
するのは、時にかなり気をつかいます。ア
ルマではいろいろなコンポーネントが複雑
に絡み合っているので、制御プログラムの
1、2行の変更が思わぬ悪影響をおこす可
能性がゼロではありません。ちょっとした
ミスが、観測データの質を下げ、ひいて
は多くの人の労力の上に成り立っている
アルマの価値を台無しにすることもあ
り得ますから」。

ソフトウェアのアップデートや新規
開発に追われつつも、廣田さんは天文

学者としてもアルマに大きな期待を寄
せています。

「私の専門は銀河の分子輝線の観測です。
星の材料である分子雲の性質が銀河の
構造、環境によってどのように変化す
るかを調べることで、分子雲の物理を
理解することを目標としています。その
ためには多くの銀河を、分子雲の性
質を調べることができる高い分解能で
観測することが必要となります。これ
までの電波望遠鏡では難しかったので
すが、アルマによって大きく進歩する
はず。そのためにもコミッショニ
ングを詰めて行かないといけません」。

今の仕事が、廣田さん自身の目指す
観測に直接関係するというわけです。
廣田さんは民間のソフトウェア開発企
業にも籍を置いたこともあるそうで、その経
験を活かしてアルマの性能向上に大き
く貢献されることでしょう。



阪本成一

SAKAMOTO Seiichi

国立天文台 チリ観測所 教授
統合技術チーム マネージャー

ALMAのアンテナの メンテナンス



チリ観測所の阪本と申します。現在の私の役目は「IET (Integrated Engineering Team = 統合技術チーム) マネージャー」というもので、プロジェクトマネージャーの直下でアンテナ、受信機、相関器、サイトインフラなどのハードウェア関係の保守の国立天文台担当分を取りまとめています。アンテナチームのリーダーも兼務しています。

私はALMAにはその前身のLMA (大型ミリ波干渉計) 構想の頃から関わってきたのですが、サイト調査やプロジェクト広報の責任者などを務めたあと、2007年4月にJAXA宇宙科学研究所に広報担当教授として異動し、小惑星探査機「はやぶさ」をはじめとする宇宙科学全般の広報を統括していました。そしてご縁があり、2014年8月に7年4か月ぶりにALMAに戻ってきました。いま標高5000mの山頂施設にアンテナが立ち並ぶ姿を見ると隔世の感があります。なかでも圧巻なのが、国立天文台が担当しているアタカマコンパクトアレイ (ACA) です。12台の7mアンテナと4台の12mアンテナが密集して配置されるこのACAは、米欧が担当した50台の12mアンテナからなる12mアレイとは別に運用され、広がった天体の構造や明るさを正確に測定することに威力を発揮します。これらのアンテナはすでに合同ALMA観測所 (JAO) に引き渡され、運用・保守の主体はJAOに

移っていますが、高度な技術を要求される保守点検は相変わらず国立天文台とメーカーの担当範囲となっています。

これらの保守作業の中核を担うのは、チリに赴任している山田真澄さんと井上則雄さんの2名です。住居のある首都サンティアゴから遠く離れた山麓施設に1週間交替で入り、JAOやメーカーの技術者とともに運用・保守を行っています。彼らの勤務形態は「8-6シフト」という変形労働制で、8日間山麓施設で勤務し、最初と最後の半日程度を引き継ぎに充て、2交代で勤務するというものです。休みが6日間もあるように感じられますが、作業も気圧が平地の半分しかない標高5000mでのマンリフトなどを使った気の抜けない屋外作業が中心ですし、1日当たりの労働時間も長く、オフシフトの日も日本から遠慮なく連絡が入りますから大変です。日本とチリの時差が12時間あることも情報共有を難しくしています。

私と江澤元さん、そして2月に採用されたばかりの斉藤基さんは三鷹を拠点としており、年に数回程度現地入りして保守作業などを行っているほか、私はJAOとの調整も担当しています。というのも、定められた保守期間にもアンテナを使って日米欧のさまざまな機器の試験・保守・更新作業などが入るため、自分たちが納品したアンテナとして自由に

保守できるわけではないからです。実際、この原稿を執筆している時点でもチリに来ていますが、出発直前まで調整に追われていました。今回の滞在は移動込み3週間のスケジュールで、アンテナの空調用制御回路や制御ソフトウェアの更新や、雨漏り対策など盛りだくさんの作業を予定しています。

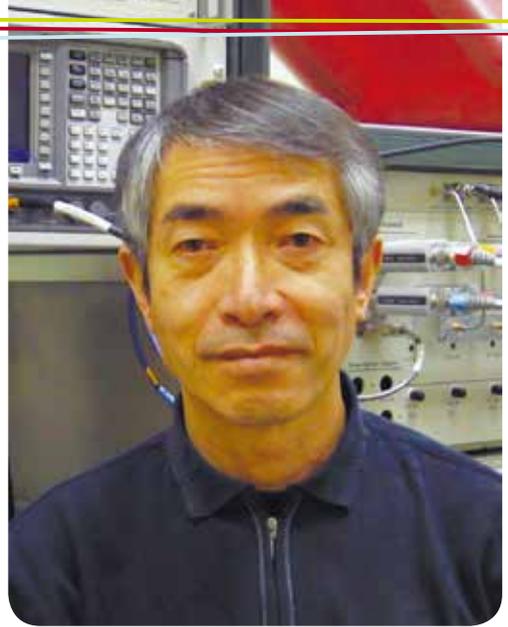
朝7時すぎに起床し、山麓施設にある食堂で朝食をとり、朝礼に参加、標高5000mの山頂での作業がある日には約1時間かけて現場に移動し、アンテナの保守作業に従事します。昼食も山頂施設でとることになります。宿泊施設のある山麓施設も標高2900mにあり、人によっては高山病の症状が出ます。山麓施設は湿度が低いばかりでなく完全に禁酒で、まさにDry Countyです。あまりの乾燥のため肌はガサガサで、鼻血が出ることも少なくありません。日本では毎日晚酌を欠かさない私ですが、このときばかりは禁酒生活となります。そんな環境での私にとってのストレス発散は、トレーニングです。せめてチリ滞在中に少しでも体質を改善したいものです。

このような過酷な環境での作業ではありますが、世界最高性能のアンテナを維持できているのはアンテナチームが一丸となって取り組んだ成果です。開発と違って派手さはありませんが、着実に進めていきたいと思っています。

藤本泰弘

FUJIMOTO Yasuhiro

国立天文台 チリ観測所 専門研究職員
受信機チーム



日本製受信機 Band 4・8・10の搭載

ALMAに関するこれまでの紹介
といえば、標高5000メートルの
アタカマ高地に並ぶ白いアンテナ
群、そして複雑な構成の受信機が
主でした。しかし、これらの受信
機がどのような形でアンテナに搭
載されているかはあまり馴染みが
ないのではないのでしょうか。今回
はその辺のところを中心に紹介し
たいと思います。

電波望遠鏡の世界では、個々の
受信機や冷却容器などをまとめて
「フロントエンド」と呼びます。
フロントエンドの中でもっとも大
きな構成要素は、クライオスタット
と呼ばれる直径1メートル程の
真空冷却容器(図01)です。各
バンドの受信機は、このクライオ
スタットに組み込まれます。クライ
オスタット上面には各バンドの

受信窓があり(図02)、アンテナ
からの信号がここを通過して中の受
信機で受信されます。Band3、4
は二枚の鏡を経て受信窓に入ります。
また、未だ製造されていない
バンドの前には、丸い金属板がつ
けられています。

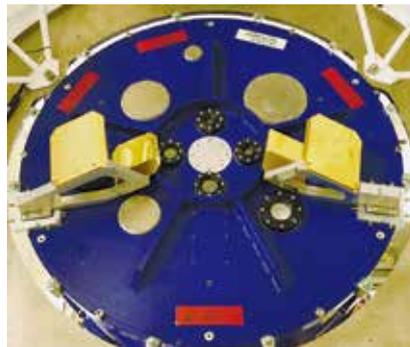


図02：フロントエンドの上面。

各国で製造された受信機はこの
クライオスタットへ組み込まれて
評価試験を受け、合格したものが
アンテナに搭載されます。すでに
欧米製の受信機；Band3、6、7、
9のクライオスタットへの組み
込みは終了し、アンテナに搭載され
て5000メートルのアンテナサイト
(AOS)で運用されています。し
かし、クライオスタットの冷却装
置のメンテナンスが1万時間毎に
必要で、そのため約1年毎に標高
2900メートルの山麓施設(OSF)
へ下りてきます。その機会を利用
して、日本製受信機；Band4、8、
10を順次組み込んで試験を行っ

てきました。予算の都合で日本製
受信機の開発が欧米より2年遅れ
てのスタートだったため、搭載も
遅れての実施となっています。私
の役目はその組み込み試験作業の技
術的支援を行うことで、組上げ調
整試験を完了させるために2013
年度からチリに赴任しています。

まずは受信機の組み込みです(図
03)。一般に受信機と呼ばれるの
は、クライオスタットに入れて
主要部品を4Kに冷やして使う部
分で、正式には Cold Cartridge
Assembly (CCA) といいます。
組み込みの作業では、フロントエ
ンドを横に倒し、受信機をクライ
オスタットの下側から所定の
場所に差し込みます。その後、
各CCAに電気回路などが組み



図01：フロントエンド。



図03：受信機の組込作業。

込まれた常温の Warm Cartridge Assembly (WCA) を装着し、フロントエンドが受信装置としての機能を果たすようになります。

受信機が組み込まれたフロントエンドはチルトテーブルと呼ばれる試験装置に取り付けられ、さまざまな性能試験が行われます(図04)。このチルトテーブルはアンテナと同様に仰角を0度から90度まで変えることができ、アンテナの動きを模擬して受信機が正常に働いているかを確認することができます。

各受信機は日本から慎重に製造・試験されて出荷されたものですが、必ずしも出荷時の性能が出ない場合もあります。そうしたとき不合格で即返却というわけではなく、原因究明や調整によって性能を出すようにします。軽微な性能低下であれば、審査を受けたうえでアンテナに搭載されます。不幸にも大きな故障でOSFでの調整・修理では直せない場合には、日本に戻して修理します(これまで数例あります)。

実はOSFでのこの受信機の組込・試験は私を含めチリ人スタッフ

も初めて経験することだったため、開始直後(2013年春)は非常に時間がかかっていました。一つのフロントエンドの試験に2か月近くかかっていたのです。しかし、徐々に慣れてきて、そして試験内容も取捨選択して効率化した結果、今ではトラブルさえなければ5日間位で完了できるようになりました。ただし、メンテナンスのためにAOSから下りてくるフロントエンドが月に4、5台なので組込・試験作業のスピードはこれで制限されてしまいます。それに、トラブルが全く無いフロントエンドはまれで、大抵は大なり小なり何らかのトラブルシュートが必要になります。それに加えて試験装置のトラブルも結構あり、試験装置の試験をしているのかと思うこともあります。

それでも、OSFでのフロントエンドの組込・試験のスピードは平均で月4台に達することができました。このスピードは以前の3か所のインテグレーションセンター(台湾、米国、欧州に設置されたもの)での実績(1台/月)を大幅に短縮しています。

こうして試験が完了したフロントエンドはアンテナに搭載され(図05)、確認試験を行った後に観測に用いられるようになります。既に科学運用の「サイクル2」が2014年6月にスタートしており、Band4、8が載っているアンテナも実際の観測に使われています(Band10も同様に載っているのですがサイクル2では本観測の対象になっておらず、まだ試験的な観測のみです)。諸般の事情で欧米より遅れてスタートした日本製受信機ですが、これからの科学成果が楽しみです。

また、2015年春からはBand5、数年遅れてBand1が製造される予定であり、さらにその先にはBand11の計画もあります。これらの受信機においても日本製受信機Band4、8、10の組込・試験の実

績は大いに役立つことでしょう。

さて、OSFでは宿舎に泊まり込んでの作業です。仕事の後の過ごし方は人それぞれですが、私の場合は主に星空観望です。私は天文学者ではなく単に眺めて楽しんでいるだけで、天文楽者とでもいいますでしょうか。光害が無い環境で(とは言ってもOSFの照明が多少影響していますが)、そして乾燥しているので夜露による望遠鏡の結露もなく、蚊の襲撃に煩わされることもなく、晴れている夜は天体望遠鏡を出して南天の星空を堪能しています(図06)。

図06：南天星空堪能中。



図04：試験中のフロントエンド。



図05：アンテナに取り付けられたフロントエンド。

アルマの運営を サポートする サンティアゴ オフィス

NAOJ SANTIAGO OFFICE



▲チリ観測所サンティアゴオフィスは閑静なオフィス街に建つスマートなビルの7階にある。

◀チリ観測所サンティアゴオフィスのスタッフ。左から平松直也さん、塚野智美さん、山口隆弘さん、現地採用スタッフのガブリエラさん、ロレーナさん。

山口隆弘

YAMAGUCHI Takahiro

国立天文台 チリ観測所
事務部事務長



山口さんにInterview

ご自身の仕事について「一言でいうと何でも屋ですね」というのは、事務部事務長の山口隆弘さんです。一般企業で長らく海外との営業職を経験された後、国立天文台で一般公募されていたサンティアゴオフィスの事務長職に応募、採用されたとのことでした。「前の仕事を早期退職して家でゴロゴロしていたら、家内に嫌がられて。どうせなら、これまで行ったことのない土地で、これまでしたことのない仕事に就こうと思ったわけです」とにこやかに語ります。ということで、チリには単身赴任だそうです。

「ここはチリ観測所の事務部という組織で、国立天文台の三鷹の事務部に対応する業務を行っています。具体的に私のいちばんのコアな仕事となると、事務スタッフの監督者ですね。それはつまり、チリ赴任者の方、さらにその家族の方たちが安心して働ける、暮らせる環境を整えていくということにつながります。また、アルマは日米欧国際共同プロジェクトで、各機関が事務部門を持っています。それぞれの事務担当者とはさまざまな調整を行ったり、代

表者の会議に出たりするのも私の仕事です。チリの日智商工会議所にも加入しました。有用な口コミ情報を得られますから、日本人コミュニティとの交流は大切だと思っています。」

チリには2012年から赴任されている山口さん。事務部のトップならではの苦労もあったのではないのでしょうか。「業務上でいちばん印象に残っているのは、ストライキですね。実際に私が直接関わったわけではありませんが、現地採用の労働者との団体交渉はたいへんでした。それからひとつの成果としては、この10月1日からスタートした新制度ですね。これまでチリ勤務の手当のみだったので、赴任者の方、特にご家族と一緒にいる方には負担をかけてしまっていました。できることはこちらのローカルルールで対応することもあったのですが、制度の整備が達成されました。みなさんにとってよい格好に落ち着いてよかったなあ、と感じています。」

仕事とは別に、チリに来て個人的なトラブルにも遭遇したという山口さん。笑いながら「いや、実は車に撥ねられ

ました。交差点で曲がってくる車にね」といいます。

「こちらのドライバーは運転が荒いし、右折や左折で歩行者をちゃんと見ていないようなところがあります。スピードが出ていなかったのですが、特に怪我をしたわけではないのですが、信号を信じてはいけないということがよくわかりました。油断は禁物ですね。警察の事情聴取も受けたりで、よい経験になりましたけど…」

チリで交通事故に逢ったら、すぐに山口さんに相談しましょう。

「アルマの科学的成果そのものはよくわかりませんが、日本の研究者が米欧の人たちいっしょに働いて、それなりに経験と実績を積むことで、世界で伍して行けるようになってほしいと願っています。これからは国際的なプロジェクトしかないような時代になるでしょうから、事務スタッフも含めてとてもよい機会だと思います」

アルマは国際協力プロジェクトの第一歩。日本の研究者が世界に羽ばたくためにも、事務部のみなさんが今日も全力でサポートしてくれています。

塚野智美

TSUKANO Satomi

国立天文台 チリ観測所
事務部庶務係長



塚野さんにInterview

サンティアゴオフィスで「庶務係という名称通り、庶務的なこと一般が私の仕事です」というのは、塚野智美さん。2012年8月からチリに赴任しています。「主な仕事は、こちらに赴任される職員の方やそのご家族のサポートです。ビザの申請から宿舍の選定や借り上げのお手伝い、テレビやインターネットの契約なども含みます。その反対に帰任者の契約終了の手続きもあります。他には、購入する物品があれば、その見積もりを取って発注書を発行したり、職員の方の出張報告書や勤務時間報告のとりまとめもやっています」。

赴任して2年の間には、いろいろなトラブルも起こったのではないのでしょうか。「トラブルといいますが、最初は日本と日常感覚がずいぶん違うところに戸惑いました。たとえば、先日はオフィスのひと部屋をパーティションで仕切る工事をお願いしていたのですが、日本だったら約束した日時に工事に来てくれますよね。とこ

ろが、当日に今日は行けないから明日行くと連絡があって、結局半月くらい待たされました。こういうことがかなりの頻度であるので、だんだん慣れてしまっていて、来てくれるとうれしいという感覚になってきます。物品を購入するときも、支払い方法などが先方の担当者一人一人言うことが違って、本当に困ります。あとは、いろいろなところで頻繁にストライキがあるんですよ。チリの外務省でさえ、ストライキになります。ビザの申請時にストライキになると、職員のチリ国外の出張に間に合わせるよう注意しています」。

アルマでも現地雇用のスタッフがストライキを起こして、観測に支障を来す事態にもなったほどなので、チリのストライキは珍しくないようです。

ところで塚野さんは、大学でスペイン語と中南米の歴史文化を勉強して、在学中にメキシコシティーに1年間の留学をされたこともあるそうです。

「サンティアゴオフィスに来る前は、関

東甲信越国立大学職員として大学に5年、それから三鷹で3年間事務職をしていました。実は、大学で働く前からスペイン語圏のチリで大きなプロジェクトがあるからと聞いていました。大学で仕事をしながら国立天文台への異動を希望していましたから、こちらに来られてとてもうれしいです」。

研究職ならともかく、事務職でアルマがあるからチリに来たいという人は、あまりいないのではないのでしょうか。「スペイン語を勉強してきましたが、こちらではメキシコとは言い回しが違ったり、言葉全部最後まで話さなかったり。早口ですし、チレニスムと呼ばれるチリ独特の表現があるので、現地採用スタッフのロレーナさんやガブリエラさんと昼食を食べながら教えてもらっている毎日です」。

今でも熱心にスペイン語を学んでいる塚野さん。そのスペイン語を駆使してのサポートは、チリ在住のスタッフにとって、とても心強く感じられることでしょう。

平松直也

HIRAMATSU Naoya

国立天文台 チリ観測所
事務部会計係



平松さんにInterview

三鷹キャンパスから2014年8月にチリ観測所サンティアゴオフィスへと移り、経理の仕事をしているのが平松直也さんです。

「私の主な仕事ですが、まずは支払関係全般ですね。請求書が届いたらその請求書に基づいて業者さんにお支払いするという仕事です。ここで支払う原資は、日本から送金してもらっていますが、その依頼手続きなども私が担当しています。それと並行して行っているのが、会計の仕事ですね。帳簿に記録するいわゆる簿記の知識を使う業務です。財務会計のシステムに、どの予算からいくらのお金を何に使ったか、といったデータを入力していきます」。

アルマの運営費のような金額の大きなものは日本の自然科学研究機構から直接支払われていますが、チリ赴任者の宿舍や携帯電話の費用をはじめ、サンティアゴオフィスの維持費など、チリ国内で使われる経費は平松さんの担当だといいます。机の上には、書類が山積みです。

「請求書はひと月で80~90件ほど処理をしています。また、チリと三鷹では会計システムの処理方法が違って、日本だと伝票を作成すれば、そのデータに基づいて銀行振り込みを一括で処理することができますが、こちらでは私がネット上の銀行サイトから手動で振り込んだりしています。今のところ8月にチリに来たばかりなので、仕事上でこれといったトラブルには遭遇していません。前任の先輩職員の方が、赴任されていた4年ほどの間にはほぼ全ての業務を定型化してくださっていたからです。ゼロから立ち上げたその先輩には、かなりの苦労があったと思います」。

また、平松さんにはもうひとつ大切な仕事があるそうです。それは国立天文台の会計担当としての、合同アルマ観測所や米欧の会計担当者との連携です。

「アルマは各国が経費を分担して運営されています。経費分担に必要な情報を各担当者とやりとりして、最終的なそれぞれの負担額が協定で決められた割合になるようにしています。とはいえ、前任の先輩が

こうした交渉とも済ませてくれているので、私は粛々とやるだけです」。

ところで、平松さんは会計や経理の勉強をされてきたのかと思いきや、「大学ではフランス語をやっていました」といいます。

「チリから出張で三鷹に来られる方々のお話を聞いておもしろそうだなと思ってチリ赴任を希望していました。こういう機会をいただいたことをありがたいと思います。これからは、業務の手引き書を充実させたり、仕事をより効率よくできるように見直したりして、次にこの部署に来る方のために道を整備しておきたいですね」。

早くも、平松さんは将来に向けての準備を進めています。

「もちろん、アルマの成果は毎日チェックしています。素晴らしい成果が続くようにそのお手伝いをできればいいなあ、と思って仕事をしています」。

アルマ望遠鏡サイトをPCブラウザのポータルにして、今日も書類の山と闘う平松さんなのです。

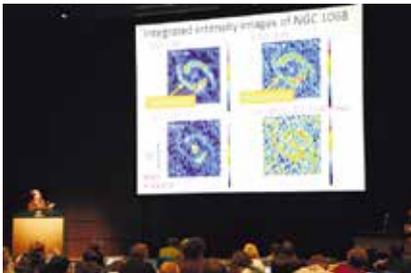
「Revolution in Astronomy with ALMA -the 3rd year-」報告

伊王野大介 (チリ観測所)

2014年12月8日～11日に国際研究会「Revolution in Astronomy with ALMA -the 3rd year-」が有楽町の東京国際フォーラムB5ホールで開催されました。この研究会は、ALMA望遠鏡を使って得られた最新の研究成果を共有し、研究者間の交流を深めることを目的としています。ALMAを実際に使っている研究者、ALMAの成果に興味を持っている研究者、将来ALMAを使いたいと思っている研究者など、世界21か国から合計291名(海外から182名)が参加し、研究者たちの熱い議論が繰り広げられました。また、



視力2000のALMAで捉えられた原始惑星系円盤の画像を紹介するPierre Cox氏。



最新のALMAの成果を発表する高野秀路 国立天文台助教。

国内外52名の学生の参加があり、若い世代のプレゼンスが高いことも印象的でした。4日間の研究会の中で、合計76講演(招待講演12枠、一般講演64枠)の口頭発表と、178講演のポスター発表が行われました。

初日は、林正彦 国立天文台長の挨拶の後、Pierre Cox 合同アルマ観測所所長による講演で研究会の幕が開けました。Cox氏の講演では、ALMA Long Baseline Campaignの中で取得された高分解能画像が複数紹介されました。視力2000に相当する画像は、天体の興味深い特徴を次々と明らかにし、いままでの常識を覆す、まさに“Revolutionary”な画像です。4日間に渡るサイエンスセッションは、“Cosmology and High Redshifts” “Galaxies and Galactic Nuclei” “ISM, Star Formation and Astrochemistry” “Circumstellar Disks, Exoplanets, Solar System” “Stellar Evolution and the Sun” “Frontiers of ALMA Capabilities” の6つのカテゴリに分れており、各セッションでは最新の成果を俯瞰するレビュートークが行われた後、研究者による口頭発表が続きました。ポスターセッション(各日1時間)では、ALMAの立ち上げに関する活動も多く紹介され、ALMAの現状が参加者によく伝わりました。内容と表現の両面で質の高いポスターが並ぶ中、特に優れたポスターを発表した研究者7名に「Best Poster Award」が贈られました。

2日目に行われたパネルディスカッションは、大変豪華な顔ぶれでした。



豪華な顔ぶれとなったパネルディスカッションの様子。

Pierre Cox (アルマ合同観測所所長)、Paul Ho (台湾中央研究院天文及天文物理研究所 前所長)、Monica Rubio (チリ大学教授)、Anneila Sargent (カリフォルニア工科大学教授)、Eva Schinnerer (マックスプランク天文学研究所 スタッフサイエンティスト)の5名が登場し、ALMAの観測成果や今後の運用・開発方針、若手の育成などのタイムリーなトピックについての議論が行われました。聴衆を交えた活発な議論もあり、予定されていた1時間はあっという間に過ぎました。パネルディスカッションの余韻は、その後同フォーラムのB7ホールにて開催されたバンケットまで続きました。海部宣男 国立天文台名誉教授の乾杯の挨拶を皮切りに、食事をとりながらのサイエンスの議論が夜遅くまで繰り広げられました。

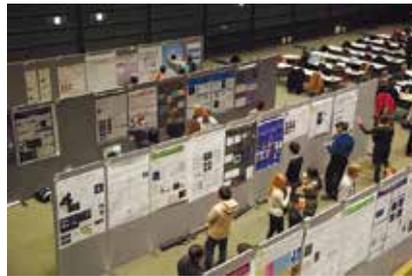
全てのセッションの締めくくりとして、McMaster大学のChristine Wilson氏が研究会のダイジェストをわかりやすく解説しました。今回の研究会では、遠方の銀河から近傍の天体まで数々の研究成果が紹介されましたが、ALMAの性能の高

集合写真。全員を一枚の写真に収めるのに苦労しました。



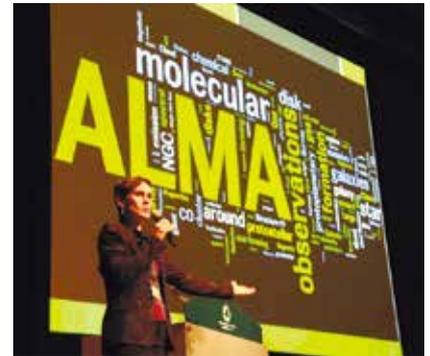


パンケットで乾杯の挨拶をする海部宣男氏。



ポスターセッションの様子。

今回の研究会のために一年以上前から準備を進めてきたSOC/LOCの皆様、ならびに会議にお力添えをいただいた皆様、どうもありがとうございました。この場をお借りしてお礼申し上げます。



Christine Wilson 氏による Conference Summary.

さを本当に良く実感できた4日間でした。ALMAの高い分解能を使うことによって、今まではぼんやりとしていた天体の画像が鮮明に描かれるようになりました。さらに、その非常に高い感度のため、今までは観測することのできなかったガスの

成分を捉えることに次々と成功しています。あまりにも感度が良いため、「情報量が多すぎて、どこから手をつけてよいかわからない!」といった声が聞かれるほどです。今後もALMAの成果から目が離せません。

編集後記

ALMA受信機のメンテナンスフェーズに向け実験室の移動。机の周囲にたまった紙の資料の地層から出てくる懐かしい文書。つい手が止まり片付けが進まずにいたら、お手伝いいただいた方にばっさり捨てられてしまいました…。(I)

満を持してのアルマ特集。2012年3月・6月号の観測開始直後特集、2013年5月の開所式特集を経て、今回は科学成果をてんこ盛り。ウェブ (<http://www.nao.ac.jp/naoj-news/>) のバックナンバーから通読すると、望遠鏡の進化の様子がわかります。(h)

夜神楽を見に高千穂へ。朝方に天の岩戸から子供が演じる小さな天照大神が出てきたときは感動でした。(e)

怒涛の年度末進行中。昨年は公私ともに色々あったので大変だったが、今年は少し楽させてもらった気がする。しかし、毎年どうにかならないかと思う今日この頃。(K)

今年は雪が降ってもすぐに溶ける様です。雪かきをする手間が少なくて済みました。春先にやってくる咽喉の痛みは今年は殆どありません。(J)

圧雪された登り坂。スピードを付けて果敢にノーマルタイヤで挑んでみたところ最初はどンドン登っていったのですが、目的の駐車場に入る手前のところで速度を緩めた途端に空転開始。その後は登ることができず、泣く泣くチェーンを巻いてあと10m坂道を登ったのでした。。。(κ)

嵐のような国際外部評価が終わった途端、寝込んでしまいました。(W)

国立天文台ニュース

NAOJ NEWS

No.259 2015.02

ISSN 0915-8863

© 2015 NAOJ

(本誌記事の無断転載・放送を禁じます)

発行日/2015年2月1日

発行/大学共同利用機関法人 自然科学研究機構
国立天文台ニュース編集委員会

〒181-8588 東京都三鷹市大沢 2-21-1

TEL 0422-34-3958

FAX 0422-34-3952

国立天文台ニュース編集委員会

●編集委員: 渡部潤一(委員長・副会長) / 小宮山裕(ハワイ観測所) / 寺家孝明(水沢VLBI観測所) / 勝川行雄(ひので科学プロジェクト) / 平松正顕(チリ観測所) / 小久保英一郎(理論研究部/天文シミュレーションプロジェクト) / 伊藤哲也(先端技術センター)

●編集: 天文情報センター出版室(高田裕行/福島英雄/岩城邦典) ●デザイン: 久保麻紀(天文情報センター)

★国立天文台ニュースに関するお問い合わせは、上記の電話あるいはFAXでお願いいたします。
なお、国立天文台ニュースは、<http://www.nao.ac.jp/naoj-news/>でもご覧いただけます。

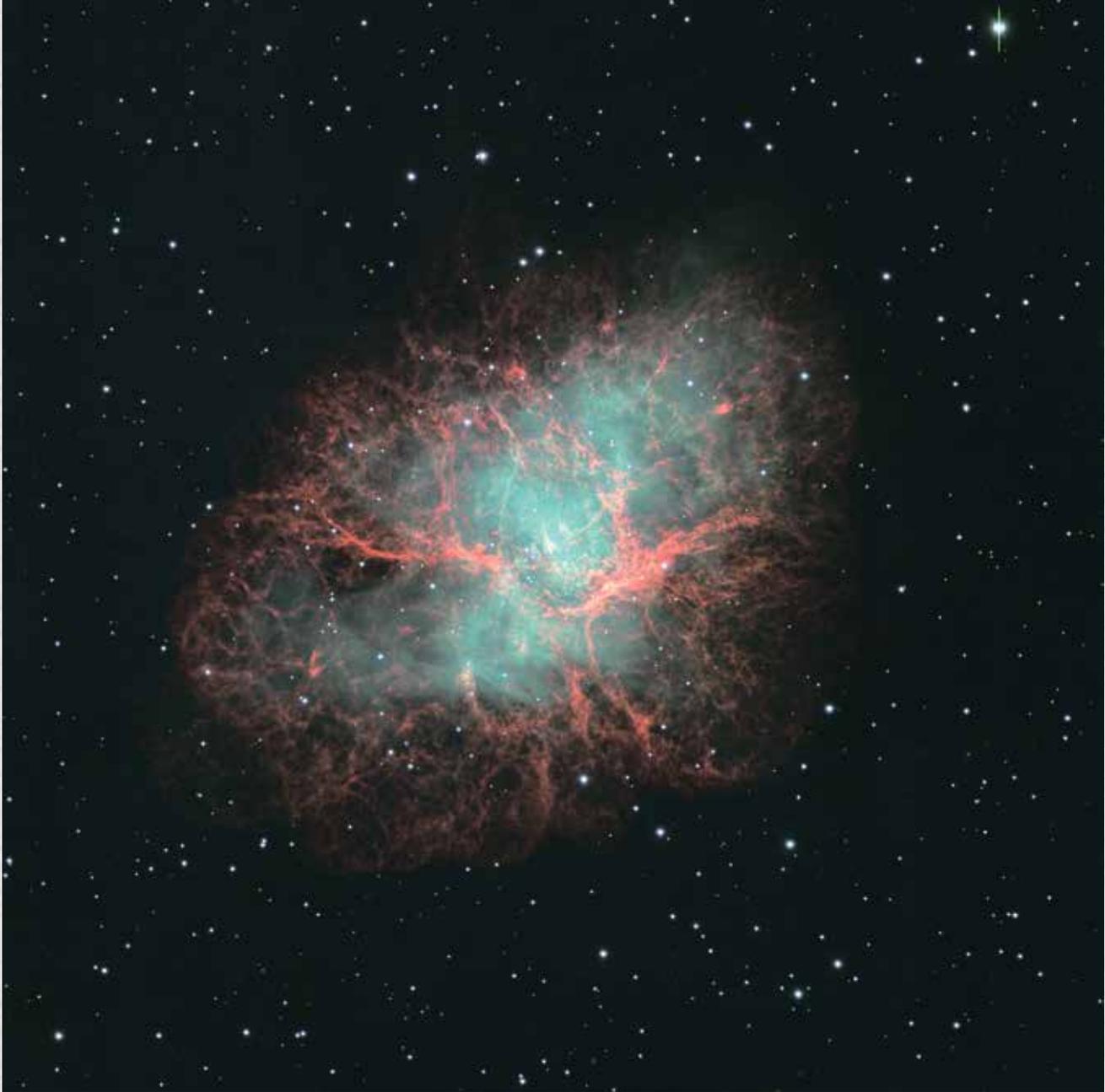
3月号は、恒例のメモワール特集です。野辺山太陽電波観測所を含めて、ご卒業されるみなさんの思い出の記事をお送りします。

メモワール



かに星雲 M1

山田 亨(東北大学)



データ

天体:かに星雲 M1(おうし座)

撮影: 2005年10月4、5、6日
(UT) Vバンド(550nm: 緑)、
NB497狭帯域(497.7nm, FWHM
7.7nm: 赤)、Bバンド(450nm: 青)
のカラー合成画像(Suprime-Cam)

本当は高赤方偏移の水素ライマン α 輝線銀河の観測をやっていたのですが、たまたま曇天の晴れ間を見つけ、同じフィルタで酸素の輝線が観測できることを思いついて、短時間の積分で撮った画像です。データの整約は当時の大学院生の中村(旧姓)有希さんがやっています。その後、1988年にキットピーク天文台で撮られたCCD画像と比較して、「ジェット」と呼ばれる構造でかに星雲の膨張速度を実測しました。まさに爆発でひろがりつつある星雲を実感して興奮したのですが、ここから、かに星雲の爆発時期を推定すると西暦1055 \pm 24年となり、それまでの推定(1100年頃)よりも中国の記録にある1054年にずっと近い時期となりました。この結果は実は論文としても公表しています(Rudie, Fesen, Yamada 2008 MNRAS, 384, 1200)。