

国立天文台ニュース

National Astronomical Observatory of Japan

2012年6月1日 No.227

特集・「アルマ望遠鏡のすべて」後編 アルマ望遠鏡が拓く新しい宇宙像



★ アルマ望遠鏡アラカルト

★ アルマ・インタビュー

稲谷順司／直井隆浩／杉本正宏／浅山信一郎／澤田剛士／小麥真也／中西康一郎／
樋口あや／永井 洋／Joaquin Collao(ホアキン・コジャオ)／Oscal Mendez(オスカル・メ
ンデス)／Nicolas Silva(ニコラス・シルバ)／Maria Angelica Ramos(マリア・アンヘリカ・
ラモス)／小笠原隆亮／立松健一／山本真一／番田康子

★ アルマ・トピックス

● 追悼 森田耕一郎さん

6

2012

- 表紙
- 国立天文台カレンダー

03

特集「アルマ望遠鏡のすべて」後編 アルマ望遠鏡が拓く新しい宇宙像

- アルマって、どんな望遠鏡？
- アルマは、どのように建設・運用されているの？
- アルマ望遠鏡の特徴は？

09

★アルマ・インタビュー

稲谷順司 (INATANI Junji)
直井隆浩 (NAOI Takahiro)
杉本正宏 (SUGIMOTO Masahiro)
浅山信一郎 (ASAYAMA Shin'ichiro)
澤田剛士 (SAWADA Tsuyoshi)
小麥真也 (KOMUGI Shinya)
中西康一郎 (NAKANISHI Kouichiro)
樋口あや (HIGUCHI Aya)
永井 洋 (NAGAI Hiroshi)
Joaquin Collao (ホアキン・コジャオ)
Oscal Mendez, Nicolas Silva (オスカル・メンデス、ニコラス・シルバ)
Maria Angelica Ramos (マリア・アンヘリカ・ラモス)
小笠原隆亮 (OGASAWARA Ryusuke)
立松健一 (TATEMATSU Ken'ichi)
山本真一 (YAMAMOTO Shin'ichi)
番田康子 (BANDA Yasuko)

- アルマ望遠鏡が拓く新しい宇宙像
- アルマ望遠鏡の縁の下の力持ち「Otto (オットー)」と「Lore (ロア)」

29

★アルマ・トピックス

- 韓国とのアルマ望遠鏡に関する協力協定に調印
- 国立天文台が製造したバンド8受信機による干渉計試験に成功
- ACAアンテナとACA相関器を使った初めての偏波試験観測
- 「いざよい」開発チーム、スペースフロンティアを受賞！
- 山頂施設のアンテナが33台に

31

追悼 森田耕一郎さん

- 森田さんを偲んで (川邊良平)
- 森田さん、その存在の大きさと魅力的な人柄 (黒野泰隆)
- 森田耕一郎さんとACA (長谷川哲夫)
- 幻の誌面 (編集部)

35

- 編集後記
- 次号予告

36

シリーズ 国立天文台アーカイブ・カタログ03

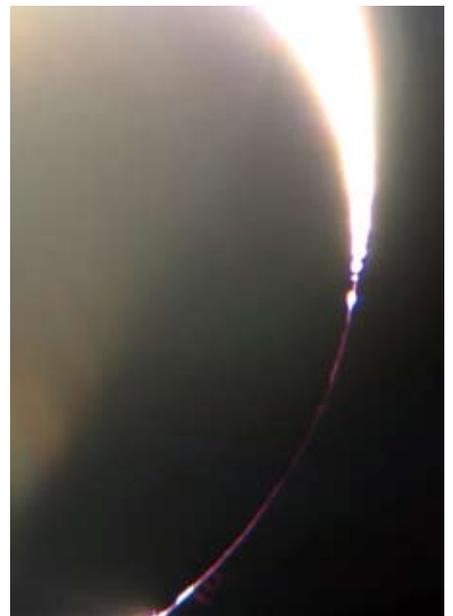
リーフラー時計 —— 松田 浩 (天文情報センター)



表紙画像

アルマ望遠鏡の7メートルアンテナと12メートルアンテナ。いずれも日本が製作したもの。Credit: ALMA (ESO/NAOJ/NRAO), W.Garnier (ALMA)

背景星図 (千葉市立郷土博物館)
渦巻銀河 M81 画像 (すばる望遠鏡)



5月21日の金環日食・第3接食直後の拡大画像 (撮影: 福島英雄/花山秀和)。

国立天文台カレンダー

2012年5月

- 15日(火) 技系会議運営委員会
- 16日(水) 総合研究大学院大学物理科学研究科専攻長会議
- 19日(土) 特別公開講演・総研大入試ガイドダンス
- 21日(月) 総研大プログラム運営委員会/金環日食、大沢学園金環日食観察会
- 26日(土) 岡山天体物理観測所特別観望会2012春
- 29日(火) ~31日(木) すばる春の学校2012
- 30日(水) 拡大防災委員会

2012年6月

- 4日(月) 部分月食
- 6日(水) 金星の太陽面通過 (太陽観測所でライブ中継)
- 8日(金) 運営会議
- 11日(月) ~13日(水) 日本公開天文台協会第7回全国大会 (群馬大会)
- 12日(火) ~14日(木) 全国プラネタリウム大会・石川2012
- 16日(土) アストロノミー・パブ (三鷹ネットワーク大学)

2012年7月

- 4日(水) 幹事会議
- 7日(土) 七夕公開講演会「七夕の夜は宇宙を見上げて」
- 10日(火) 教授会議
- 20日(金) 企画委員会
- 26日(木)、27日(金) 夏休みジュニア天体観望会
- 27日(金) 幹事会議
- 30日(月) 運営会議
- 30日(月) ~8月3日(金) 野辺山宇宙電波観測所「電波天文観測実習」



★アルマ (ALMA) 望遠鏡の正式名は「アタカマ大型
ミリ波サブミリ波干渉計: Atacama Large Millimeter/
submillimeter Array」です。

特集「アルマ望遠鏡のすべて」後編

アルマ望遠鏡が拓く 新しい宇宙像

2012年3月号に掲載した「特集・アルマ望遠鏡のすべて・後編」をお送りします。アルマ望遠鏡の基礎知識をおさらいしたあと、アルマ望遠鏡の建設や運用に関わっている国立天文台スタッフ17人のインタビュー記事を一挙にご紹介します。現地で活躍するスタッフのナマの声を通して、完成が近づきつつあるアルマ望遠鏡の実像の一端に触れてください。P18-19にイラストマップがあります。

・取材協力
藤井龍二 (イラスト)
平松正顕 (チリ観測所)
合同アルマ観測所 (JAO: Joint ALMA Observatory) ・チリ観測所

標高5000メートルの山頂施設 (AOS)
に立つアルマ望遠鏡のアンテナ群。





アルマって、どんな望遠鏡？

●アルマ望遠鏡のプロフィール

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す。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）」で構成されます。

アンテナはすべて移動可能です。トランスポーター（28ページ参照）と呼ばれる巨体な運搬車輜を用いてアンテナの位置を動かし、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）を得ることができます。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ります。

2002年から建設が始まり、2013年に66台すべてのアンテナが揃う予定です。すでに2011年から初期科学観測も始まっています。

略称の「アルマ（ALMA）」は、チリの公用語となっているスペイン語で「たましい」を意味します。また「アタカマコンパクトアレイ」は日本が製作を担当し、16台のアンテナには「いざよい（十六夜）」という愛称がついています。

●ミリ波・サブミリ波で「見えない宇宙」を観測

電磁波は波長でその呼び方が変わってきます。私達の目に見える光も「可視光

と呼ばれる電磁波の一種です。最も赤外線よりの電波（波長が短い電波）を「サブミリ波」と呼び（波長は1ミリから0.1ミリ、周波数は300ギガヘルツ - 3テラヘルツ）、次に波長が短い電波は「ミリ波」と呼びます（波長は10ミリから1ミリ、周波数は30ギガヘルツ - 300ギガヘルツ）。ちなみに、すばる望遠鏡が観測するのは可視光と赤外線です。

宇宙空間にある塵やガスはとても冷たく（マイナス260℃にも達します）、光や近赤外線を放射しないため、その姿を光の望遠鏡で見ることができません。しかし、冷たい塵やガスはミリ波やサブミリ波を放射するため、電波の望遠鏡で暗黒の宇宙の姿を見ることができるようになりました。今までは、技術的な困難と空気中の水蒸気の吸収により、サブミリ波での本格的な観測は進んでいませんでしたが、アルマ望遠鏡でそれが可能になります。

可視光で見る宇宙は、私たちが良く知っている姿です。すばる望遠鏡やハッブル宇宙望遠鏡などによって撮影された、美しい写真を思い浮かべてみてください。

センチ波で見る宇宙は、荒々しい高エネルギーの世界を捉えます。超新星爆発やブラックホール、パルサーなど、強いエネルギーを出している天体を調べるのに適しています。

では、ミリ波やサブミリ波で見る宇宙とは、どんな姿なのでしょう。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ます。この電波を捉えて、目には見えない性質を調べるのが電波天文学です。その中でも、ミリ波やサブミリ波では、低温、それも超低温の世界を観測できます。星

と星との間に広がる何もないように見える宇宙空間は、約マイナス260℃という超低温ですが、ここにも物質が存在しています。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がりますが、この黒い部分にはガスが広がっています。これらは可視光の望遠鏡では捉えることが出来ませんが、ミリ波やサブミリ波の電波を出しているため、ミリ波やサブミリ波の望遠鏡ではその構造を詳しく観測することができます。

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ます。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ません。しかし、これらを解決できるアルマ望遠鏡によって、宇宙や生命の謎に迫ることが出来るのです。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“生命の起源がどこから来たのかという謎”です。アルマ望遠鏡は、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、画期的な望遠鏡です。アルマ望遠鏡によって、多くの謎が解明されることでしょう（27ページ参照）。

●最高の建設地「チリ・アタカマ高地」

アルマ望遠鏡が建設されている「チリ・アタカマ高地」は、サブミリ波を捉えるのに最適の場所です。この場所を見つけ

山頂施設（AOS）に設置された33台のアンテナ群。詳しくは30ページへ。

たのは日本の研究者チームです。その経緯をくわしくみてみましょう。

まず、ミリ波の電波は大気中の水蒸気に吸収されて弱くなるため、観測には標高が高くとても乾燥していることが重要です。また、まわりが山に囲まれていれば、都会からの人工電波がさえぎられ、宇宙からやってくるたいへん弱い電波を捉えるのにも好都合です。このため、45メートル電波望遠鏡や、ミリ波干渉計のある「野辺山宇宙電波観測所」は、国内では電波観測に最も適した場所とされてきました。

しかし、サブミリ波は、ミリ波以上に大気による吸収の影響が大きく、標高が1350メートルの野辺山では、宇宙から来たサブミリ波のほとんどが、望遠鏡に届く前に大気に吸収されてしまいます。野辺山観測所の完成後、日本独自の巨大電波干渉計計画の検討が始まりましたが、サブミリ波の観測を目指すとなると、野辺山に建設したのでは観測がほとんどできないこととなります。「すばる望遠鏡」があるハワイのマウナケア山頂も、標高4200メートルで大気が乾燥していますが、数十台もの電波望遠鏡を設置するには狭すぎるため、条件に合いませんでした。果たして、地球上にそんな候補地があるのだろうか、野辺山の研究者たちは建設に適した場所を求めて世界中を駆け巡りました。北半球ではハワイ・マウナケア山や中国中央部の青海省、そしてインド北部のヒマラヤの奥地、南半球ではアンデス山脈と、まさに世界中を調べつくし、1994年、ようやくマウナケア山を上回る観測に最適な土地を発見しました。それが、南米チリ北部に広がるア

タカマ高地でした。アタカマ高地には標高5000メートルの広い場所があるうえ、天候も1年を通して安定しています。乾燥した大気はサブミリ波の観測には最適な場所でした。調査チームは最高の観測地を発見したのです。さらに、そこから20か所もの候補地をピックアップし、それぞれ丹念な気象測定を行い、最終候補に残った2か所には本格的な電波測定装置を設置して詳細な調査を行ったのち、ようやく現在の観測地に決めました。

ただし、「観測」に最適な場所が、「建設」にも最適とは限りません。チリは日本から見て地球の反対側に位置し、時間も季節も正反対です。その上、建設地のアタカマ高地は物資を調達できる大きな都市が近くにはありません。ハワイのすばる望遠鏡建設では英語でよかった現地との様々な交渉も、チリではスペイン語となります。とはいえ、純粋にどこに建設すれば最高の成果が出せるのか、という観点では、アタカマ高地に匹敵する場所はなく、サブミリ波干渉計の建設地はアタカマ高地にする、ということになりました。

建設地決定までの経緯は、「アルマ望遠鏡のすべて・前編（2012年3月号）」に掲載した石黒正人さん（国立天文台名誉教授）のインタビュー記事をご覧ください。

●山頂施設（AOS）と山麓施設（OSF）

アタカマ高原にあるアルマ望遠鏡の観測施設は、標高5000メートルの山頂施設（AOS）と標高2900メートルの山麓施設（OSF）のふたつからなります。

山頂施設には、各地域で製造されたアンテナ群や相関器など、アルマ望遠鏡の装置および付帯設備の主要部分が設置されます。相関器や制御監視計算機は山頂観測装置棟（AOS Technical Building）の中に設置されます。安全かつ効率的な作業と機器の動作の安定化のため、建物の一部には空調・防塵・加湿・酸素加圧などを施し、救急救護室も準備されています。大規模な修理・保守・改良については原則として山頂では行わないことになっています。

安全対策のため、5000メートルの山頂での滞在時間は最大で10時間に制限されています。このため、山麓施設は山頂施設の支援施設として強力な機能を有しています。山麓施設の最も重要な役割は、現地スタッフが望遠鏡の制御・監視や保守・改良などの幅広い実務を行う拠点としての機能です。OSFでは、建設期にはアンテナの組み立てや受信機を搭載しての調整試験が行われ、運用期にはアンテナや受信機の保守・修繕が行われます。機器の保守・改良のための実験室・工作室、研究室などに加え、現地スタッフのための宿泊所や食堂・厨房、レクリエーション施設も整備されています。各地域で製造されたアンテナを組立するエリアもあり、総勢200人程度のスタッフがここで働いています。

建設のようすについては、「アルマ望遠鏡のすべて・前編（2012年3月号）」の長谷川哲夫建設担当副プロジェクトマネージャー（現チリ観測所長）のインタビュー記事をご覧ください。





アルマは、どのように建設・運用されているの？

●アルマは国際共同プロジェクト

アルマ望遠鏡は、国立天文台を代表とする東アジア、米国国立電波天文台を代表とする北米連合、ヨーロッパ南天天文台を代表とするヨーロッパ各国の国際共同プロジェクトであり、受入れ国のチリは土地の提供やアルマ望遠鏡の建設・運用について便宜を図ることで参加します。

過去には各々の国でそれぞれ独自の計画がありましたが、2001年4月にそれらの計画が統合され「アルマ計画」として動き出しました。国際共同プロジェクトとすることで、各国単独では人材的・経費的に困難な、高精度巨大望遠鏡を建設し、運用することが可能となります。また、日米欧それぞれが得意分野を分担し、より高い性能を追求できます。

日本は高精度の干渉計システム「ACA」を構成する直径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（いざよい）、サブミリ波を中心とする3種類の受信機、相関器などを担当します。

では、アルマ望遠鏡プロジェクトの組織について順番に紹介します。

アルマ望遠鏡の組織

■アルマ評議会 (ALMA Board)

アルマ望遠鏡計画の監督・統制を行なう理事会としての役割を担っています。建設・運用資金の拠出元である米国国立科学財団とその協力機関であるカナダ国家研究会議および台湾行政院国家科学委員会、欧州南天天文台、自然科学研究機構とその協力機関である台湾中央研究院、さらに執行機関と各地域のユーザーコミュニティの代表で構成されます。

■執行機関 (Executives)

アルマ望遠鏡の建設・運用のための契約の締結やスタッフの雇用を行う、国立天文台、米国国立電波天文台とそれを管轄する米国北東部大学連合(AUI)、欧州南天天文台のことを指します。各執行機関は、それぞれに分担された役割を果たすために必要なスタッフおよびリソースを確保します。国立天文台からは、約110

名のスタッフがアルマ望遠鏡プロジェクトに参加しています。

■アルマ関連委員会

アルマ評議会が建設や運営に関する全体的な議論を行う一方、アルマ望遠鏡の科学性能や財務など個別の細かな議論は複数の外部諮問委員会によって議論されます。アルマ望遠鏡は国際協力プロジェクトであるため様々な調整や議論が欠かせませんが、アルマ評議会や各種委員会のメンバーは定期的に電話会議や顔を突き合わせての会議を行って、プロジェクトを進めていきます。

■統合製品チーム (IPT)

アルマ望遠鏡を構成する様々な要素、たとえばアンテナや受信機の製造、建設サイト整備などを管理するのが統合製品チーム (IPT: Integrated Product Team) です。各IPTは執行機関から任命されたスタッフで構成されています。アンテナや受信機など、アルマ望遠鏡の多くの構成要素はその一つ一つを取ってみても複数の国がそれぞれに製造したものを持ち寄ることで成り立っています。一つの国ですべて作れないぶん、スケジュールや品質などは国際的な枠組みでしっかりと管理する必要があります。

■合同アルマオフィス (Joint ALMA Office) / 合同アルマ観測所 (Joint ALMA Observatory) [JAO]

略称は同じJAOで所長も一人ですが、合同アルマオフィスはアルマ望遠鏡の現地での建設を、合同アルマ観測所は望遠鏡の運用を担当するというように役割を分担しています。

★合同アルマオフィス (Joint ALMA Office : JAO)

アルマ望遠鏡の実際の建設を担当し、達成度やプロジェクト管理についてアルマ評議会へ報告を行います。アルマ望遠鏡計画を成功に導くため、所長 (ALMA Director) を中心に、アルマプロジェクトマネージャ (ALMA Project Manager)、アルマプロジェクトエン

지니어 (ALMA Project Engineer)、アルマプロジェクトサイエンティスト (ALMA Project Scientist) が建設計画を推進します。各地域のアルマプロジェクトマネージャは、各地域 (東アジア、欧州、北米) に割り当てられたアルマ望遠鏡計画タスクの実行、およびそのためのリソースの確保に責任を負います。

★合同アルマ観測所 (Joint ALMA Observatory : JAO)

アルマ望遠鏡の運用 (科学観測) を担当します。所長からの要請を受けて、執行機関は合同アルマ観測所の活動のために必要なスタッフをそれぞれで雇用・派遣または米国北東部大学連合 (AUI) を通してチリで現地雇用します。チリに勤務する合同アルマ観測所のすべてのスタッフの管理・監督は、所長によって行われます。

JAOの中には、以下の役職とセクションが設けられています。

● **ALMA Director** : アルマ望遠鏡の建設と運用全体を統括します。Director's Officeには安全管理担当や建設サイト責任者、広報担当者なども所属しています。

● **Head of ALMA Department of Science Operation (DSO)** : アルマ望遠鏡による科学観測の実行に責任を持ち、望遠鏡オペレーターや観測時間割り当ての責任者、観測データアーカイブの担当者などが所属しています。

● **Head of ALMA Department of Computing (ADC)** : アルマ望遠鏡に関わる計算機に責任を持ち、ソフトウェアエンジニアやデータベースの管理者などが所属しています。

● **Head of ALMA Department of Administration (ADA)** : アルマ望遠鏡に関わる事務処理に責任を持ちます。財務関係はもちろん、サンチアゴと山麓施設・山頂施設のあるアタカマを往復するスタッフの旅程管理なども大切な仕事です。

- **Head of ALMA Department of Engineering (ADE)**：アルマ望遠鏡の観測装置に責任を持ちます。数多くの技術者が所属しており、アンテナや受信機、相関器をはじめとする様々な装置のメンテナンス等を担当します。

- **AIV (Assembly, Integration and Verification)**：各地域から納品されたアンテナや受信機などを統合して性能試験を行います。個々の電波望遠鏡としての性能チェックを行うのがAIVであり、干渉計としての全体の性能検証はCSVやSEの仕事です。

- **Project Manager**：アルマ望遠鏡の建設に責任を持ちます。

- **SE/SV (System Engineering/ System Verification)**：さまざまな部品からなるアルマ望遠鏡が、全体としてきちんと性能を発揮しているかどうかを検証し、問題があれば改良の提案を行います。

- **Project Scientist (PS)**：建設期間において、アルマ望遠鏡がスペック通りの性能を出すようにCSVを統括します。

- **CSV (Commissioning and Science Verification)**：試験観測を行って、アルマが要求性能通りの観測ができるかどうかチェックします。

- **Chief Scientist**：CSV活動を支援するとともに、アルマ望遠鏡の性能を最大限に引き出す将来開発計画をリードします。

■各地域のアルマ地域センター (ALMA Regional Centers : ARCs)

それぞれの執行機関によって運営されるアルマ地域センター (ARC) は、アルマ望遠鏡を使うそれぞれの地域の研究者への支援を行います。観測提案準備のためのワークショップや成果発表のための研究会開催も重要な仕事です。また、地域センターに所属する研究者を必要に応じてをチリに派遣し、合同アルマ観測所と協力して望遠鏡の運用を行います。

国立天文台の組織

アルマ望遠鏡の国際的なプロジェクト体制を支えるために、国立天文台には以下の組織が設けられています。

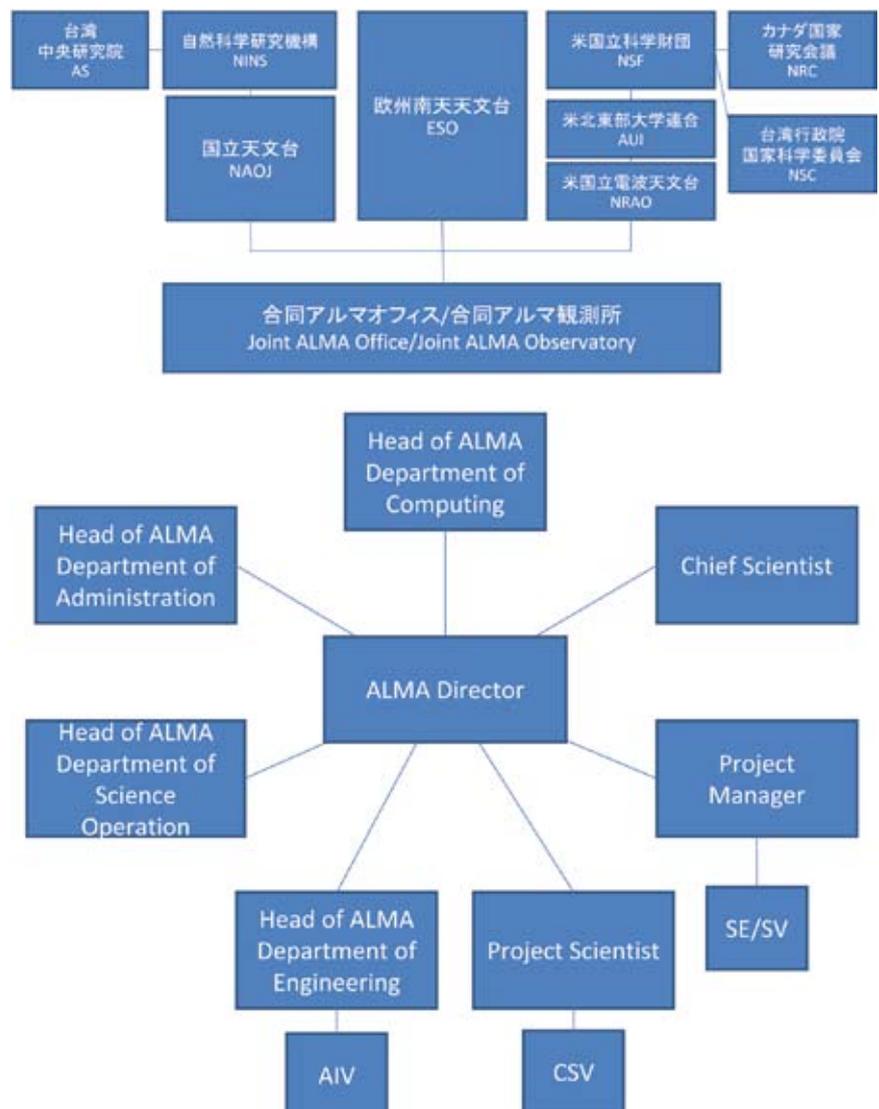
■国立天文台チリ観測所 (チリ・サンチアゴ)

東アジアの執行機関の窓口となるのが、2012年4月に発足した国立天文台チリ観測所です。チリ観測所には研究者・技術者・事務職員合わせておよそ80名のスタッフ (チリベース約30名、三鷹ベース約50名) が所属しています。チリ観測所長 (長谷川哲夫さん) は、チリに

おける国立天文台の研究活動を統括します。オフィスはチリ・サンチアゴにあります。

■国立天文台チリ観測所アルマ室 (三鷹)

国立天文台の本部がある三鷹キャンパスには、アルマ望遠鏡の建設と運用・保守を支援するためにチリ観測所アルマ室 (室長：井口 聖さん) が置かれています。東アジア地区の研究者コミュニティによるアルマ望遠鏡を使った観測研究を支援するため、東アジアアルマ地域センター (マネージャ：立松健一さん) がアルマ室内に設置されています。



アルマ望遠鏡の組織図。

アルマ望遠鏡の特徴は？

●アルマ望遠鏡は巨大な電波干渉計

アルマ望遠鏡は、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す。直径12mのアンテナを50台を組み合わせる12mアレイと、直径12mのアンテナ4台と直径7mのアンテナ12台からなる「アタカマコンパクトアレイ (ACA) /いざよい」で構成されています。

遠くをはっきりと見るためには、望遠鏡の直径をどんどん大きくする必要があります。これは光学望遠鏡でも電波望遠鏡でも同じことです。しかし、1台の望遠鏡の大きさには限度があり、例えば直径1キロメートル以上の電波望遠鏡を作るとはほとんど不可能です。では、もっと遠くの宇宙を、もっと細かく観察するにはどうしたらよいでしょうか。その答えは、イギリスのライルが創案しノーベル賞を受賞した「電波干渉計による開口合成法」の仕組みを使うことです。巨大な1つの電波望遠鏡を作るのではなく、複数の電波望遠鏡の観測データを組み合わせ、さらに地球の自転で位置が変わることによるデータも加えて、各望遠鏡(アンテナ)間の距離を直径とする仮想的な1つの望遠鏡を構成する方法です。電波干渉計では、望遠鏡の距離を離せば離すほど、細かい部分が見えてきます。しかし、たとえば2台の望遠鏡だけでは、観測した天体の構造を描くことはできません。電波干渉計で詳しい天体画像を得るためには、複数の望遠鏡を配置する必要

があり、台数を増やせば性能があがります。アルマ計画では、最大18.5キロメートルの範囲に66台の電波望遠鏡を配置することで、宇宙の非常に細かい部分をスピーディーに観測が可能で、わずか10分程度でも2次元の電波写真を得ることができます。さらにまとまった時間をかければ、たいへん精細な画像を合成することができます。

また、66台のシステムの中で、ACAは、広がった天体を高い感度で観測することができます。直径12mのアンテナ50台で構成されるアンテナ群は、天体を高い分解能で観測することができます。両者のデータを合成することで、細かい構造から広がった構造まで超高分解能を達成しつつ、精細でしかも天体の真の姿に忠実な電波画像を得ることができるのです。ちなみに、アルマ望遠鏡の最高分解能は、すばる望遠鏡やハッブル宇宙望遠鏡の約10倍を誇ります。

●超伝導受信機の製作

アンテナによって集められた電波は、周波数帯(バンド)ごとに用意された7つ(将来的には10)の超伝導受信機によって受信されます。これらの受信機はバンドごとに日米欧各国で分担して開発されました。アルマ望遠鏡の観測性能を活かすためには、受信機にもきわめて高い性能が必要です。国際協力を進めるため必要となる厳しい統一規格、絶対温度4Kの超低温タンク内に設置することに

よる極限までの低雑音設計、今後30年の利用を前提とした故障しにくい構造など、高度な技術開発力がなければ実現不可能です。そんな困難な条件の中、日本は唯一複数のバンドを担当し、バンド4、8、10を受信する3つの超伝導受信機を開発しました。受信機の開発は、波長が短くなるほど加工精度の要求も高くなります。とくに開発が難しいのは、もっとも波長が短いバンド10受信機ですが、国立天文台が開発したバンド10受信機は雑音の低さで世界最高の性能を誇っています。

アルマの建設には、日本が誇るモノづくりの技術が生きています。最先端の技術開発力だけでなく、職人による高い工作技術も必要となります。日本の高い技術はアルマの完成に欠くことのできないものです。詳しくは、p9の稲谷さんのインタビュー記事をご覧ください。



高い鏡面精度を達成するために、鏡面パネルは1ミクロン単位で調整可能なアジャスタに乗せられ、調整点のネジで微調整される。



(左上画像) 日本が製作を担当する「いざよい」の7m(左)と12m(右)のアンテナ。(右上画像) 欧州の12m(左)と北米の12m(中)と日本の7m(右奥)のアンテナ。同じ12mアンテナでも、副鏡の支持アームの構造が、欧州は直棒、北米は取り付けが主鏡の縁まであり、日本はよりコンパクトな構造、とそれぞれ異なっている。

ALMA Interview

それでは、次のページから、アルマ望遠鏡の建設と運用に関わっている国立天文台スタッフ17人のインタビュー記事を紹介いたします。現地で活躍するスタッフのナマの声を通して、アルマ望遠鏡の実像の一端に触れていただければと思います(★記事は2011年9月のインタビュー取材を元にまとめています。所属や内容は当時のものです。アルマ建設の進行とともに、現在は別のセクションに異動している方もいます。予めご了承ください)。※なお、インタビュー当時のALMA推進室は、2012年4月よりチリ観測所となりました。

稲谷 順司

INATANI Junji

国立天文台教授。ALMA 推進室・ALMA アンテナチームリーダー（インタビュー時。現職はチリ観測所 ALMA アンテナチームリーダー）。

「アルマ・いざよい」は、 新技術の塊です



Q1 アルマの仕事について教えてください

私は、アルマの技術仕様に基づいて NAOJ が製作を引き受けているアンテナを、日本の製作メーカーである三菱電機さんといっしょに仕上げ、アルマ観測所に引き渡す仕事をしています。アンテナ作りは、アルマのルーツのひとつである野辺山の 45m や干渉計の経験を活かしてということになりますが、今回は、求められるアンテナの精度がたいへん高いので、試行錯誤の連続ですね。たとえば、野辺山はミリ波がターゲットだったので、鏡面は 100 ミクロンの精度であればよかったものが、アルマではその 5 分の 1 の 20 ミクロン！ふつうの紙の厚さや髪の毛が 100 ミクロンですから、そのデリケートさがわかると思います。もっとも短い観測波長のバンド 10 は、300 ミクロンほどの波だから、それくらいの精度がないといけない。電波の強さを測るだけなら、もっと粗くてもいいのですが、干渉計だから波として測らないといけない。そして、それを 16 台も作らないといけない。神経を使います。日本、欧州、北米のそれぞれが独自の技術で高精度のアンテナ製作に力を注いでいるわけですが、どこも過去 20 年くらい悪戦苦闘しながら生み出してきた技術の総決算として開発を進めている状況ですね。

Q2 アルマで苦労したことを教えてください

うーん、すべてかな（笑）。開発のポイントを大きく分けると、まず先に述べた鏡面精度の追求、さらにポインティング精度の追求。そしてそのふたつの精度を AOS の過酷な温度変化や強風の影響を抑えて、いかに実現するのか、これらの問題を限られた開発費と期間で 16 台も作らないとい

けない。鏡面はアルミパネルの並べ合わせでなので、1 枚 1 枚その所定位置での放物面に合わせて作るのですが、パラボラ全体の精度を平均 20 ミクロン内に収めようとすると、パネル 1 枚 1 枚の精度は 5 ミクロン内が必要。NC（数値制御による機械加工）で時間をかければ作れますが、納期も短いので、高速で高精度のものを大量に、を可能とする製法を開発しないとイケない。

つぎに、主鏡の骨組みの変形の制御ですが、要求仕様は、+20℃～-20℃の間すべてで 20 ミクロン内。風については、秒速 9m でも 20 ミクロン内…。温度変化に偏りが生まれれば、すぐに超えてしまいますから、とにかく全体として一様に温度が変化するようにして、放物面を維持する工夫が必要。ということで、12m 鏡は、膨張係数が鉄とくらべてケタ違いに小さい炭素繊維強化プラスチック（CFRP）を使っています。で、これは定石通りなんですけど、じつは 12 台作る 7m の主鏡の骨組みは鉄なんです。なぜか？ まずはお財布の事情がありますが（笑）、むしろそれを逆手にとって、骨組みをすべて鉄パイプにして、その中に風を通して温度変形を抑えるという新技術を開発しました。常に温度が一定になるように徹底的に計算づくで設計し、ファンで送風することで、全体の温度を 0.5 度以内に収めて鏡面精度を維持しています。これは、もうひとつ大きな理由

があって、通常重い素材で骨組みを作るのはマイナスなのですが、アルマの受信機器は 12m アンテナに装着されるように共通化されていて重い。つまり、7m を重い鉄で作って、ちょうどバランスがとれるわけです。この方法は、設計段階からデータが出るまでとてもエキサイティングな開発でしたね。

ポインティング精度については、やはり、+20℃～-20℃の間で絶対値として 2 秒角という高い精度要求があります。架台部の本体は鉄で、日が当たるだけで失格なので、徹底的な断熱構造を施し、さらに熱変形を測定して補正する独自の能動制御システムを組み込んであります。なにしろアタカマの日差しは半端でない（笑）。また駆動には、リニアモーターによるダイレクトドライブを用いて、高速かつ滑らかなポインティングと追尾を可能としています。

Q3 アルマの今後に期待することを教えてください

遅れをとっていた日本のアンテナが続々と仕上がって、今や欧米勢を凌ぎつつあります。新技術の塊である「アルマ・いざよい」が、バリバリ成果を挙げてくれることが、何よりの楽しみです。



7m アンテナの主鏡部。アンテナの底部の縁を取り囲むように 2 つ 1 組の「空冷パイプ穴」が見える。



直井隆浩

NAOI Takahiro

国立天文台 ALMA 推進室専門研究職員（インタビュー時。現職はチリ観測所専門研究職員）。

30年間の運用に堪える 立派なアンテナを作る

Q1 アルマの仕事について教えてください

ACA アンテナの受け入れ評価が主な仕事です。天文台が三菱電機製作のアンテナを受け入れる際に、仕様書に求められている駆動性能を満たし科学的成果を発揮できることを検証するため試験を実施し、データを解析して纏め、発表します。加えて、合同アルマオフィスのリクエストに沿ってACAアンテナへの作業をコーディネートするのも重要な仕事で、現場作業を総括しています。

今は、あるACAアンテナ一台の指向性能の検証試験をしているところです。殆どの試験は終了していますが最後に、ポイントングモデルの長期安定性検証が残っています。全てのアンテナには指向性能向上のため、アンテナとその設置位置の個体差を考慮したパラメータが設けられています。一般に再現性誤差と呼ばれるもののひとつです。例えば二週間後に同じパラメータで同じ測定を実施した場合、過去と同じ駆動性能が得られるかどうか、その検証をしています。

私の仕事は、アルマの科学的要求からアンテナの仕様性能を定義する、つまり技術要求を導き出すことから始まりました。三菱電機が受注し制作したアンテナの納品を受ける際に、その仕様が満たされているか検証する必要が生じます。検証の方法を検討し、各装置要求を導き出します。装置要求を実現させるためメーカーなどの議論も不可欠です。必要に応じて、品質、安全や保守性といったアルマのシステム要求に沿って、インターフェイスを作成する場合もしばしばあります。ここまですが下準備となります。現在は山麓施設において実際の検証試験を実施しています。こうして天文台が受け入れたアンテナを、合同アルマオフィスへ示します。メーカーとアルマの間

に立ってアンテナの性能を引き出す作業だと考えています。アンテナを製作する三菱電機もメーカーとして技術的にフルオープンというわけにはいきませんから、基本機能と構造を理解して性能を引き出すのは容易ではありません。お互いに協力しながら性能を煮詰めていく。スケジュールに関しても、三菱電機や合同アルマオフィスと調整して作業をコーディネートし、現場作業を実質的に操作しながらアンテナを三菱電機から納品し、合同アルマオフィスへ引き渡す、という管理と長期プランが求められます。

Q2 アルマで苦労したことを教えてください

私は赤外測光観測で学位を取得し、減光を専門に研究していましたから、アンテナの性能評価というのはチャレンジングな分野でした。三菱電機のエンジニアからアンテナの基礎的な技術講義を受けるなどまでして理解を進めるのには忍耐が必要でした。またアルマは巨大な国際プロジェクトですから、みんながそれぞれやりたいことをやっちゃいがちです（笑）。さまざまなバックグラウンドを持つそれぞれの人々を尊重し、意見を纏め、協調性を発揮しながら成果を導くことは、苦労でもありながら遣り甲斐のあることでした。残念ながら、サイエンティストとしての評価には結び付き

ませんが（笑）。また現場作業が中心となると、肉体作業が中心となることも大変でした。ハーネスを装着し、高所作業車を操ってアンテナへアクセスしたり、測定装置の設置や部品交換のために主鏡内を這い回ったりと、貴重な経験（笑）もさせてもらっています。

山麓施設の作業としては、いつも人が足りないということもあって、ここ何年間はずっと忙殺されています。身体の具合が悪くなったりすると、こういうところですからなかなか治らない。まあ、とにかく現場ですからあらゆることが起きます。夜間、部屋で休んでいても、測定に問題があると電話で起こされて、対応を迫られることは少なくありません。入ったばかりのスタッフもいますので、ある程度の期間はがんばるしかありません。

Q3 アルマの今後に期待することを教えてください

やはり、一日でも早く本格的な科学運用に入って、成果がどんどん出てほしいですね。ですから、出来るだけスムーズに高性能のアンテナを確実に仕上げて行きたいと考えています。運用面では、アルマの保守チームが自分たちの技術を磨いて、自分たちだけで運用できる仕組みにレベルアップして欲しいです。マニュアルを整備して彼らを教育するのも私の仕事だと考えています。そうして、同じようなアンテナを日米欧で作っているわけですから、やっぱり「日本のアンテナは、保守、運用、それに性能においてもイチバンいいね」と言ってもらいたい（笑）。現地で作業していると、日米欧のアンテナそれぞれに特徴があって、得手不得手がよく見えます。いい意味で、アンテナ作りを競い合うことによってブラッシュアップし、アルマの性能がより高まることを期待しています。



杉本正宏

SUGIMOTO Masahiro

国立天文台 ALMA 推進室・助教。JAO System Engineer(インタビュー時。
現職はチリ観測所・助教。JAO System Engineer)。

心掛けているのは、 バランスを見ること



Q1 アルマの仕事について教えてください

私はシステム・エンジニアという仕事をしています。SEというと、日本ではコンピュータの仕事のイメージがあるんですが、アルマは非常に複雑で大きなシステムで、しかも世界中で開発している部品を組み合わせ初めて完成していきます。いろんな条件が性能に影響してくるので、評価してそこで見つけた不具合を出して、システムとして問題点があればそれを改良するよう提案、調整をする、という仕事です。システムとして、さまざまなコンポーネントがあって、個々のアンテナや受信機にはそれぞれこういう性能を満たさない、という仕様があるのですが、さらにその上に全体の仕様というものがあって、ちゃんとシステムとして成り立ってますか、という検証も行ったりします。

これだけ大きな望遠鏡を作るとなると、どうしても、みんな自分の分担しか考えなくなりがちです。それを、より全体の立場から見て最適化する役割です。例えば、こういう性能とこういう性能、それが組み合わさってトータルの性能が出る、といったときに、システム全体の最適化の視点から、こっちをちょっと頑張ってみよう、こっちをちょっとリラックスしてみましょう、といったような調整をするわけです。これは、ハードの性能や技術的なことだけじゃなくて、予算や人といったマネジメント的な要素も多分に含まれてきます。とはいえ、これはケースバイケースのことが多く、微妙な匙加減が要求されることもしばしばなので、バランス感覚が問われます。

また、システム・エンジニアは、アルマ全体を見なければいけないので、例えば建物の空調だとか、電力設備に関する仕事も守備範囲です。理想としては全部を見るということなので、もうありとあらゆること

を。逆に言うと細かいことはあまり気にせずに、全体をもう少しレベルの高いところで管理をなささいというふうな仕事の仕方をしなきゃいけないんです。心がけていることは、とにかくバランスを見るということです。ただ何がバランスかっていうのは経験も必要なことだと思うので、苦労しています。

Q2 アルマで苦労したことを教えてください

前は三鷹で開発をやっていたのですが、日本は予算を取るのが遅れて、開発もそれに合わせて遅れをとりました。米欧のほかのグループはジャンジャン進んでいたの、例えば後から「くっつけるところを作ってください」と穴ひとつ開けてもらうにも物凄い苦労がありました。「いや、もう作っているからそんな変更はできない」とか

言われて。一方で彼らが先に進んでいた分、いい性能のものを作っているというので、それに追いつこうというプレッシャーがあったからこそ、日本もいい受信機やアンテナができたのかなと。そういうところは、かえて良かったことなのかなと思っています。

もうひとつ、受信機室の温度を一定にするという、非常に大雑把な仕様があって、ずっと棚晒しにされてきたのです。でも受信機などを作っている人にとっては「当然受信機室の温度はどこでも一定ですよ」と。しかし、それを容れるとコストが膨大なものになる。そこで仕様を鶏呑みにするよりは、まず「本当にその温度の安定性は必要なんですか？」というところから入ったんです。全体としてシステムの安定性がキープできればいいでしょ、と。そして、実質的な評価をして、無駄な改良をしないようにしました。アルマのような巨大システムだからこそ、SEとして味わえることも多くて、とても勉強になります。

Q3 アルマの今後に期待することを教えてください

アルマの建設が順調に進んでおり、その驚異的な性能が徐々に明らかになってきています。世界中の研究者がアルマをどんどん利用して、天文学研究の発展や新発見につながっていけばと期待しています。

システム・エンジニアを将来ずっと続けていくかは、ちょっと悩むところですが(笑)、私個人としては、今のところサイエンスというよりは装置開発に専念してやっていきたいという気持ちが強いんです。まだ先の話ですが、アルマのあとに大きな望遠鏡をつくるという計画もあったりしますので、光学設計だとか、検出装置の開発を中心に将来計画に関わっていききたいと思っています。





浅山信一郎

ASAYAMA Shin'ichiro

国立天文台 ALMA 推進室・助教。JAO ALMA Senior RF Engineer (インタビュー時。現職はチリ観測所・助教。JAO ALMA Senior RF Engineer)。

アルマのシステムを全部理解するまで帰れません

Q1 アルマの仕事について教えてください

赴任時から2年間は天文学者の立場で、天体観測によるアンテナの立ち上げ調整試験を行ってきました。現在はエンジニアの部署に移り、天体観測所の安定運用に向けた取り組み等が主な仕事ですが、今でもアンテナ立ち上げ調整試験には関わっています。具体的にはアンテナの鏡面パネルの精度の追い込みから、駆動試験、受信機を載せ信号を受けて実際に電波望遠鏡として動くところまで仕上げていきます。そして最後に結果をまとめ、「アンテナを山頂に上げていいか」のレビューを行うまでが一つの流れです。日本では受信機の開発を行っていましたが、こちらに来てシステム全体を見るようになって、日々新しい発見があり、努力の毎日です。その分、充実感もありますし、まだまだ満足し足りなくらいです。今は8日間 OSF に滞在して業務を行い、6日間サンチャゴに帰って休むというシフトで働いています。人によっては体力的に厳しいようですが、私はできる限り、ここで何が起きているかを常に知っておきたいという気持ちが強いので苦になりません。目標としてはアルマのシステムを全部理解するまではちょっと帰る気がないです。それくらい、ここ OSF は魅力的で刺激的なところですよ。

Q2 アルマで苦労したことを教えてください

恥ずかしながら一番の苦労は英語でした。最初の頃は議論についていけず、思ったことをリアルタイムに提案できずにずいぶん悔しい思いをしました。日本にいたときのように、メールを受け取って考えて送り返すのとは、まさに雲泥の差でしたね。このままではいけないと、分からないことは聞

き返し、伝えたいことや提案は相手が理解してくれるまで粘り強く話し続けるように心がけました。不完全な英語でも後は勢いで。向こうも困っている訳ですから、窮すれば通ずるんですね。時間はかかりましたが、着実に問題解決等に貢献することで信頼が生まれてくると、みんな話を聞いてくれるようになりました。こちらの公用語のスペイン語は今のところ全然ダメです。休暇中にレストランで、「ビール一つ…おまけに一つ」ぐらい(笑)。OSFに8日間ずっといるので、英語で済んでしまうところもあります。休みも6日間まとまっているので、その間にイースター島やパタゴニアに行ったりして、こちらの自然や歴史に触れています。食事が合わない人もいますが、私は問題ないです。うどんや蕎麦などの日本食材も手に入りますよ。

Q3 アルマの今後に期待することを教えてください

今までは初期運用に向けてがむしゃらに走ってきました。新しい部署では、本運用に向けて運用の枠組みを確立することに現在取り組んでいます。例えばアンテナが66台あるわけですが、年1回として月5台のレベルでメンテナンスが入ります。1つのアンテナを保守するのはまったく違ったコンセプトでやらないといけない。またもうアルマの性能を100%引き出すことも、非常にチャレンジングではありますが達成しなければならない目標です。これらは、もう新しい研究テーマそのものです。そしてアルマには将来的な「アップデート・プラン」もあります。もし私がシステムを全部理解できていれば、そのプランに意見やアイデアを織り込めるかもしれないと思っています。国際プロジェクトの中において常々感じるのですが、米欧勢は実にシビアです。つねに向上して変わろう

とする。私はサイエンティストから初めて、今はエンジニアに移りましたが、次にマネジメントに移るのか、それとももっと奥深くエンジニアの道を進むのかは今のところ分かりません。今は目先のことで精一杯ですね。少なくとも、このアルマのすべての分野である程度のレベルまで理解ができるようになれば、きっと次が見えてくると思っています。若い人にもどんどんアルマに来ていただき、このホットな現場で何かを得て欲しいと思います。エンジニアとして立ち上げを行いながら常々思っていますが、アルマは本当にすごい性能を持っています。アルマの性能が100%引き出されたとき、どんな素晴らしい結果を天文学者の皆さんが引き出してくれるか本当に楽しみです。

若い人もどんどんアルマに来てほしいです。



澤田剛士

SAWADA Tsuyoshi

国立天文台 ALMA 推進室・助教。JAO Commissioning Scientist (インタビュー時。現職はチリ観測所・助教。JAO Commissioning Scientist)。



アルマ関連器を 仕上げるための交通整理

Q1 アルマの仕事について教えてください

CSVというチームで働いています。“Commissioning and Science Verification”ですね。アンテナとか受信機とか相関器とか、そういったものを組み合わせてちゃんと天文学に使えるレベルの性能が出ることを確認する仕事です。機能・性能の確認やバグ出しをして、実際にサイエンスに使える品質のデータが取れることを確かめるということです。その中で、いま私は相関器グループのまとめをやっています。相関器は、それぞれのアンテナに搭載された受信機で受けた電波を集めて「相関処理」ということをする、いわば干渉計の焦点にあたる機械なんですけれども、その機能を確認したり、バグが見つかったらそれを担当者に「直してください」とお願いしたりする仕事です。

CSVチームは、全員月に1回8日間

OSFに行って実際に測定をするのですが、「この機能を確認したいからこういう測定をしよう」と決めるところから始めて、実際にOSFに行って一通り測定プログラムを流して、出てきたデータを解析し、最終的に結果をレポートにまとめることになります。その過程でなにか問題が見つかったら、それを担当者に報告して、調査と対応をお願いします。今は、1日16時間が試験観測の時間で残りがエンジニアリングの時間ということになっていて、その中で、この機能の試験をするためにこの観測をやるという優先度リストのようなものを順番にこなしている感じです。相関器は、最終的にはアンテナ64台分の信号を処理できるようにするのが、現在は山頂施設にあるアンテナ17、8台が接続されています。「Cycle 0」の Early Science ができないような大きなバグは、たぶんもう無いところまできました。「Cycle 1」はソフトのバージョンがまたちょっと上がって、できることが増えます。それを試験して、どの機能をCycle 1に提供できるかというのを調べる作業が、またすぐ始まります。

建設途中の望遠鏡ですから、できることがどんどん増えていきます。相関器もそう、ソフトのバージョンが上がると新しい機能が追加されたりします。そういう意味ではずっと試験を続けている感じですね。

Q2 アルマで苦勞したことを教えてください

個人的なことというやっぱ、英語があまり得意じゃないので、それが大変ですね。こちらに来て3年になるんですけども、なかなか喋れるようにならなくて。ちょっと込み入った話になると全部は聞き取れないのが困りものです。

相関器のまとめ役のようなことをしていますが、そんなにエキスパートというわ

けでもないの、詳しくないなりに何とかしないといけない。基本的には、交通整理みたいな感じですかね。ハードやソフト本体が問題になると私たちは手が出せないの、担当者になるべく早くお願いしますと依頼するわけですが、向こうも仕事をたくさんかかえていて、なかなか直してくれないといったことは結構あります。全体スケジュールに関わるような大きなことは「優先順位を上げて早くやってください」と強くお願いします。ずっと問題だったことの原因が分かってそれが解決すると、やれやれというか、ほっとしますね。

私はもともと野辺山に居て45mの仕事をしていたので、干渉計については日々勉強です。やはり単一鏡と比べると、干渉計はいろいろとややこしいですね。アルマの場合だと、さらに高い精度を出すために、普通の干渉計よりもいろいろ高度なことをやっています…。だからギャップが大きくて大変です。

Q3 アルマの今後に期待することを教えてください

私が3年前にチリに来た当時は「ほんとにできるのかな」とちょっと思っていたので(笑)、ここまでできあがってくると、感慨深いといえば感慨深いですね。これから「Cycle 0」があって「Cycle 1」があって、まあ、これで「完成」というところまでは面倒を見たいと思っています。システムを分かれば分かっているほど、トラブルが起きたときに「これは何処の不具合だ」って言うのがすぐ分かるので、そうなりたいとは思っていますけれども、なかなかアルマのような巨大なシステムだと手ごわいですね。野辺山での仕事は、まあ45mの“お守り”をしているような感覚だったんですけど、アルマは、まだそこまで全然大倒見切れていませんね(笑)。

いずれは、
お守りを!





小麥真也

KOMUGI Shinya

国立天文台 ALMA 推進室・助教。JAO CSV Scientist (インタビュー時。現職はチリ観測所・助教。JAO CSV Scientist)。

細かく見つつ全体を俯瞰、 単一鏡もアルマの魅力

Q1 アルマの仕事について教えてください

CSV チームに所属しています。アルマは干渉計ですが、個々のアンテナがそれぞれ一つの望遠鏡として観測する機能もあります。広がった観測対象は干渉計では見えにくくなってしまいますのですが、アンテナを単一の望遠鏡として使うことで広がった天体の情報を補ってあげることができます。アルマに観測提案する際に、この「単一鏡」からのデータを必要とするか、選ぶ事ができるようになっています。私は、単一鏡観測モードの立ち上げの仕事をしています。12m アンテナを単一鏡として実際に天体の観測をして、データが仕様を満たしているか、質の良いデータを得るにはどうしたらいいかを調べています。単一鏡独特の観測方法などの開発もしています。

単一鏡は干渉計に比べて大気の影響を受けやすいという特徴があります。大気は天体よりも我々にずっと近い分、広がって見えます。干渉計では広がったものは見えにくくなるから大気が無視できていいのですが、そもそも広がったものを見るための単一鏡モードは大気と天体の区別がつきにくいのです。それが理由で実はアルマの単一鏡観測の仕様は、干渉計としての仕様よりも厳しいものもあります。天体と大気の混ざった場所と、その隣の大気だけの場所を切り替えながら観測することで天体から来た電波を切り出しますが、切り替えの頻度や距離を最適化する作業が大切です。バグ取りや最適化はまだまだ終わっていませんが、すでに世界のどのサブミリ波単一鏡よりも質のいい絵が出ています。

Q2 アルマで苦労したことを教えてください

ここ (OSF) に来て仕事をするのは月に1回です。普段はサンチャゴのオフィスでデータ解析や研究をしています。アルマでの仕事は日本に比べてやりやすい部分とそうでない部分がありますね。大規模な国際プロジェクトなので、コミュニケーションが大切です。それぞれのお国柄で仕事に対する考え方が違うので、日本のように何も言わなくても仕事が進んでいく、というふうにはなりません。「協力して一緒にやろう」という雰囲気になればみんなで仕事ができそうですが、何も言わないと何も起きません (笑)。仕事を進めるために人の尻を叩くことも必要ですが、逆に叩かれることも多いです。いい部分は、休みがしっかりとれることですね。OSF で仕事をした後は6日間休むんですが、そういうまとまった休みを毎月とれるのは日本ではあり得ないでしょうね。

生活面は、けっこう大変です。まずは OSF の食事ですね。食堂のごはんが美味くないですね…え、うまいって言ってたっけ？ それ誰ですか？ (笑)

俯瞰しながら
要所も細かく



Q3 アルマの今後に期待することを教えてください

星を作るガスの性質を研究しています。アルマの強みは感度と分解能、そして同時にさまざまな原子や分子からの電波を分光する力にあります。このおかげで、星をつくるガスの状態をいっぺんに細かく知ることができます。すると、銀河の中で、ガスがどういう温度、密度、組成だと何年経ったら星がいくつできるか、といったことがわかってきます。

銀河内の場所によってガスの性質や星に違いがありますが、星がうまれる過程は基本的には同じはずですが。私たちは、星の作り方をまだよく知らないで、まずは、その違いをよく見比べることが大切です。たとえば、私たちの銀河系の近くにある渦巻銀河の M33 は、渦巻きの面がちょうど私たちの方に真正面に向いていて、渦巻のようすがよく見えます。これを観測すれば、銀河全体の構造の中でどういうところで星が作られているかがわかり、そこにクローズアップしたときにガスがどんな状態になっているかを調べられます。つまり、俯瞰しながら要所を細かく見ていくこともできる

わけです。これまでの電波観測では干渉計だけだと細かいものしか見えない、単一鏡だけだと広がったものしか見えないという問題がありました。つまり、同時に全体を見て、かつ細かく見るということは基本的には両立しなかったんですが、アルマならこれができます。そういう意味では、装置がやっと追いついてきて、一気に新しい研究分野が開くのではないかと大いに期待しています。

中西康一郎

NAKANISHI Kouichiro

国立天文台 ALMA 推進室・助教。JAO CSV Scientist（インタビュー時）。
現職はチリ観測所・助教。JAO CSV Scientist）。



宿題をがんばるのは、 やりたい観測があるから

Q1 アルマの仕事について教えてください

今は、CSVグループの一員です。2011年7月までは、国立天文台のスタッフとして12mと7mのアンテナが仕様を満たしているかを試験し、合同アルマ観測所に渡す方の仕事をしていましたが、2011年の8月1日からチリに移って、今度は合同アルマ観測所の職員として、納められたアンテナを受け取って、干渉計として運用していく側の立場になりました。さまざまな干渉計の基本性能を確認する仕事、たとえば、アンテナを干渉計に組み込むときに、正しい方向を向いているか、信号が正確にきているか、干渉計の一部としてちゃんとフリンジ（干渉縞）が出ているか、などなど、干渉計のシステム全体に目を配りながら、最適な調整や運用方法を追求し、必要に応じて装置の調整にまで踏み込んだ仕事をしています。

ALMAはこれまでに携わった電波望遠鏡、野辺山ミリ波干渉計やアステ望遠鏡と比べると桁違いに大きなシステムです。知っておかなければならないことがとても多い上に、日々新しい情報が加わります。CSVグループに加わったのが遅かったのでもまだ勉強中ですし、他のメンバーに助けをもらう場面も多々あります。これまでACAアンテナに関わってきた経験がありますから、今もACAに関連した試験や解析を行う機会が多いですね。異動する前に行っていたアンテナの試験は内容も期間もごく限られていました。アンテナが山頂施設に設置されてからが本当にその性能が試されることです。以前はそれがやや他人事のように感じられることもあったのですが、立場が変わったおかげでブーメランが戻ってきたかのように再び私の課題となっています。これが大きな仕事ですが、新しい課題にもチャレンジしていきたいですね。

Q2 アルマで苦労したことを教えてください

実際、たいへんときって本当にたいへんなんですよ（笑）。時間足りなくて寝ていられなくなりますね。たとえば、科学観測が始まるので、いついつまでにアンテナが何台納められてなきゃいけない、そのためには審査会をこの日までにやらないといけない、それにはこの日までにデータを取ってレポートを書かなきゃいけない、そのためには…そのためには…、っていうことになるんですね。本当に宿題に追われている夏休みの子も同じ気分です。

そして、もちろん予定通りにコトは運ばなくて、いろいろと問題が出てくるんですね。アンテナが思い通りに動いてくれなくて、「うーん、それ、どうしてなんだろう」って考え、実験するんです。条件を変えてデータを取り直してみるとか、気象データやアンテナの振る舞いのデータなどをもう一回掘り出してきて「あ、やっぱり、ここが間違ってた」って。ようやくクリアしたときは、爽快感というよりは「ほっ」。やっぱり、宿題なんですよ。「やった」というよりは「これでやっとアンテナを納められる」。

Q3 アルマの今後に期待することを教えてください

アルマは共同利用観測を前提とした世界中の研究者から使われる装置です。そこで「こんなすごいことができます」「何分間観測すればこういう宇宙の果ての天体からの信号が受かります」って華々しく予告をしまわっている（笑）。だから、装置を提供する側は、それを実現しないとイケません。プレッシャーにはなるわけですが、それは、自分の研究のためにもそうあって欲しい部分なので、目指すところは一致しま

す。あとは、頑張っただけで宿題をこなしていくわけですね。

私は、今まで系外銀河の研究をやってきました。興味があるのは活動的な銀河ですね。銀河の活動性を大きく分けると二つあって、一つがスターバースト、爆発的な星形成。もう一つが活動銀河核AGNです。おもにスターバースト銀河の研究をしてきましたが、両者は排他的でなくて、両方が共存している銀河もあるんです。むしろ、爆発的な星形成のある銀河には、必然的に活動銀河核があるケースも多々あって、それらの間には深い関係があるらしいと考えられています。宿題を提出し終わったら、ぜひアルマで、その謎解きに挑戦したいですね。装置をよくしていくことは、最終的にやりたい観測があるからなので、その下準備の宿題レベルのところまで留まっているわけにはいかないのです。

宿題終わったら、
スターバースト！





樋口あや HIGUCHI Aya

国立天文台 ALMA 推進室研究員（インタビュー時。現職はチリ観測所専門研究職員。JAO Commissioning Scientist）。

自分で育てた望遠鏡で、 成果を出せるといいな

Q1 アルマの仕事について教えてください

メインの仕事は、アルマ建設のお手伝いです。まずは望遠鏡がちゃんと科学観測が出来るかどうか、実際に性能が出るかチェックをしなければいけないので、これまでの経験を活かして「これだったら新しいことがどんどん見つかるだろう」というレベルまで望遠鏡の性能を高めていくのが仕事です。具体的には、キャリブレーション、つまり大気や装置の補正がちゃんと働いているか、観測の際に受けるさまざまな影響を取り除けているかなどのチェックを担当しています。また同時に、日本が進めている干渉計データと単一鏡データの合成がちゃんとできるかどうか、実際にサイエンスデータを取得して検討しています。

もう一つは、自分の研究です。私は凄く派手な星、重い星が好きなんです。でもどうやって生まれるのが全然わかってない。観測が難しいんですね。そこで、まずは重い星が生まれるところを、宇宙のいろいろな場所を見て探すわけです。最近気になるのは、銀河面です。目では見えないけれども、たくさんガスが集まっている場所がぼこぼこ見つかっているんです。ここから重い星が出来るんじゃないかって予想されるので、アルマで、そこを観測したいと思っています。

Q2 アルマで苦労したことを教えてください

アルマに参加して2年目になりますね。私は博士課程を終わってそのまま、海外で働いた経験が全く無い状態で来たので、最初はコミュニケーションが大変でした。みなさん、いろいろな地域の出身じゃないですか。それで英語の訛が全く分からなくて。会議に出ても何を言っているか分からないというのが続いていました。それと、スベ

イン語も勉強しないとけません。OSFにいる時は英語で通用しますが、チリ人の職員はスペイン語が母国語なので、もうちょっと意思疎通が出来ると良いな、と。

アンテナが2台、3台の頃はチェック項目もデータ量も少ないし、いろいろなことが把握できたのですが、アンテナが一気に増えると、その分だけトラブルもデータ量もチェックしなければいけない項目もどどーっと増えて、どこから手を付けていいのか分からないことがありました。

あと、ここは女性の研究者も多いですけど、私は一番若いので、最初は学生に見られて若輩者扱いされていたところもあったので、早く結果を出さないと、というのがありました。

Q3 アルマの今後に期待することを教えてください

自分がお手伝いをしてアルマがちゃんと使えるようになって、私のサイエンスもそれに見合っただけで成果が出ればいいな、と。今のアルマでも最新の結果は出せるんですが、やっぱり50台以上のアンテナがずらりと揃ったフルスペックのアルマで観測したいと思っています。でもその前に、プロポーザルを通すという難関があるんですけど（笑）。

70%が業務、残りがサイエンスという役職なので、今までのデータを論文にまとめたりもします。いきなりアルマを使っても何だかわからないということもあるので、野辺山の45m鏡を使って大雑把に見る、ということも並行しながらですね。大学院時代は野辺山にいたんです。修士の時に所属してほぼ5年間、45m鏡グループの一員として観測、システムチェック、立ち上げ作業もやってきたので、望遠鏡の近くにいたいという気持ちは強いんです。野辺山時代、教授や准教授の方々から「野辺山

の干渉計を立ち上げた時には、一個一個自分たちの手で作り上げていったから、『このデータがおかしいのはここが原因なんだな』と言うのがすぐ分かった」と。そういう話を聞いてきて、出てきたデータが本当に正しいかどうか、パッと疑いをもてるくらいのセンスを身につけるくらいまで、望遠鏡のことを深く理解していないといけないな、と思っています。

チリは気候が好きなのと、もともと気質が楽観的なので、日本みたいにギューギューしてなくて、楽ですね（笑）。それに、オフィスの環境がものすごくいいし、仕事は仕事、オフはオフできっちりしている。こっちの方が断然いいですね。装置も全然違います。野辺山は古い装置を直しながら維持しているんですけど、アルマは全く新しい装置をどんどん入れて、学ぶことが多いので刺激になりますね。さらに、廊下を歩いていると、論文や教科書で知っている高名な先生から、若手でバリバリ成果を上げて目立っている人まで、凄い研究者と次々とすれ違うので、とても刺激的な日々を送っています。



永井 洋

NAGAI Hiroshi

国立天文台 ALMA 推進室研究員。EA-ARC サイエнтиスト兼偏光観測スペシャリスト（インタビュー時。現職はチリ観測所研究員。EA-ARC サイエнтиスト兼偏光観測スペシャリスト）。



世界で初めての偏光の画像、ワクワクしますね

Q1 アルマの仕事について教えてください

普段は三鷹にいて、東アジア地域センター（EA-ARC）で仕事をしています。主に共同利用業務といって、アルマを使いたいと思って観測プロポーザルを出してくる人達のユーザーサポートをするのが私のメインの仕事です。比率としてはそれが7割くらいですね。それ以外に、アルマの偏光観測の試験を担当しています。どれくらい精度が出るか、どうやって較正するか、なるべくベストな状態に持って行くようにいろいろなテストをするために、今回は2週間の期間で来ています。実際に観測して、データを取ってその解析をして、議論して、といった流れです。

今の時点では科学的な成果を生めるレベルではなく、本当にアルマの偏光機能がちゃんと動くかどうかというような、ある意味バグ出しみたいなことをやっています。それでもやっぱり実際に結果が出てくると、今まで見ていなかったものが画像として見えてくるので、今回の滞在は非常に充実していました。それこそ世界で初めて偏光の絵を今回作れて、見ることができたわけなので…。その現場に居合わせて、しかも自分がデータ解析をして結果を出せたというのはやっぱりワクワクしますね。



チリの美しい
夜空に感動！

Q2 アルマで苦労したことを教えてください

私はアルマに着任したのが2011年の5月から。それ以前にもチリには来たことはあって、今回は3回目です。ただやっぱり高地だから、OSF自体は問題ないですけども、上に行くのは体力的にもしんどいです。あと、日本の湿気に体が慣れているので、こちらの乾燥には、ちょっと苦労することはありますね。私は、基本的に短期間でしか滞在しないので、やっぱり慣れにくいのでしょうか。

コミュニケーションは苦労しました。英語が達者な方ではないので、それは本当に大変。業務としては何とか意思疎通はとれていると思うんですけど、ご飯を一緒に食べるに行っているときにネイティブの人達に囲まれていると、みなさん、日本人に特に気を遣わずに会話をするわけですよ。全然あれについていけなくて、向こうは笑っているんですけど笑いのポイントが分からないとか、あの“置いてけぼり感”は、応えますね（笑）。私は、そんなに長い海外経験がないので、まだまだですね。今日も午前中会議があったんですけど、何度も聞き直すことがあったりとか。いきなり意見を求められたときに「うっ」となったりしますよね。ヤバイ、という感じ。その点、すごく刺激を受けますね。

あと、お約束の食事の感想ですけど（笑）、私はまったく問題ないので、不満はありません。私も脅されていたんですよ「OSFの食事はひどい」って。こう言うと味音痴みたいに思われるのは嫌ですけど（笑）。まあ和食を求めようとしたら無理ですけど、これはこれとして認めれば、そんなに悪くはないな、と。

Q3 アルマの今後に期待することを教えてください

アルマは部分運用をようやく開始する段階です。偏光観測という機能自体はユーザーに公開できるような保証されたものではないので「Cycle 0」ではまだオープンになっていません。早くみなさんに偏光観測をオープンできるように、試験を進めていきたいと考えています。

偏光は、天体の磁場構造と密接に関係していて、天体の磁場構造を解明したい場合は偏光観測は必須になるんですね。特に一番の売りは、星が生まれる現場の分子ガスやダストが出す電波の偏光を観測することです。星が生まれる物理においては、磁場の関与がかなり重要な役割を果たしていると考えられていて、磁場の情報を加えて初めて明らかにできるもののがかなりあると思います。それはアルマの偏光観測で初めて可能になることだと思います。

個人的な研究としては、私はもともとブラックホールから出るジェット磁場の構造に興味を持って研究してきたので、アルマでもそれを観測したいですね。それから、このチリの美しい夜空には感動します。天文少年だったので、日本だと写真で5分くらい露光したような感じの天の川が、肉眼で見えちゃうというのはすばらしい。「大マゼラン雲」ってよく言ったものですよ。ほんとに大きいもん（笑）。小学校のわりと早い時期から星に対して興味を持っていて、親にねだって望遠鏡を買ってもらったんです。それで初めて月のクレーターを見たり土星の環を見たり。電気が走ったような衝撃でした。今回の偏光の結果を見たときの感動は、あのときの衝撃のアップグレードなのかもしれないな。



★なお、2012年3月号のアルマ望遠鏡特集・前編に数多くの関連写真を掲載していますので、あわせてご覧ください。

アルマ望遠鏡への途

アルマ望遠鏡は、チリ・アタカマ高原に建設されています。大型の国際共同プロジェクトですので、施設もアンテナが設置される標高5000mの山頂施設(AOS)をはじめとして、山麓施設(OSF)、サンチャゴ本部など複数に分かれ、さらに日本の事業主体である国立天文台のチリ観測所の諸施設も併置されています。このガイドマップをもとにして、建設中のアルマ望遠鏡の現場を探訪してみてください。

START →

アルマ望遠鏡 山頂施設 (AOS) 標高 5000 m

山頂施設 (AOS) には、観測技術棟が置かれています。



山頂施設 (AOS)

山麓施設 (OSF)

21 トランスポーターと遭遇→p28へ。22 観測技術棟入り口。23 + 24 気圧は海岸際の平地のほぼ半分。酸素必携。AOSで蓋をしたペットボトルは、東京ではご覧の通り。25 GOAL!



ドクターチェック!

20 標高5000mのAOSには、メディカルチェックが必要です。また、OSF-AOS間は、特別な訓練を受けたドライバーしか運転できません。ここからは小型の酸素ボンベは必携です(→2012年3月号へ)。



平松さん → p27へ

アルマ望遠鏡 山麓施設

山麓施設 (OSF) には、JAO の施設と各地域・国の



JAO エリア



中西さん → p15へ

杉本さん → p11へ

永井さん → p17へ



樋口さん → p16へ



16



澤田さん → p13へ

浅山さん → p12へ

小麥さん → p14へ



17



18

12 JAO テクニカル棟にはアルマ計画に参加する各国時計がいくつも並び、13 OSFにはたくさんの施設があり、まるでひとつの街。14 OSFの頭脳、コントロールルーム。15 大会議室のキャパも半端ではない。16 研究者などの宿泊棟。17 + 18 食堂もインターナショナル。料理はボリューム満点。19 レクリエーション施設も充実。ジムやテニスコートも完備。



カラマまで長い空の旅が続きます。

(OSF) 標高 2900 m

オフィス、各アンテナエリアなどが置かれています。



NAOJ オフィス



ホアキンさん
→ p20 へ



8

マリアさん
→ p22 へ



8 総合オフィス棟。この中に NAOJ オフィスもある。
9 チリ人の NAOJ 現地スタッフのみなさん。

NAOJ アンテナエリア



10



稲谷さん
→ p09 へ

ニコラスさん
→ p21 へ



11

オスカルさん
→ p21 へ

直井さん
→ p10 へ

10 NAOJ のアンテナエリア。11 NAOJ アンテナエリアにあるオフィス。

チリ・サンチアゴ

チリの首都サンチアゴには、JAO 本部と NAOJ チリ観測所が置かれています。

JAO 本部



石黒さん
→ 2012 年
3 月号
p07 へ



ヒルズさん
→ 2012 年
3 月号 p15 へ



長谷川さん
→ 2012 年
3 月号 p11 へ



小笠原さん
→ p23 へ



ラスさん
→ 2012 年
3 月号 p18 へ

1 サンチアゴの目抜き通り。2 JAO 本部の入り口。3 (左から) 長谷川哲夫さん、JAO 広報担当のウィリアム・ガルニエさん、まんが家の藤井龍二さん。

NAOJ チリ観測所



山本さん
→ p25 へ

立松さん
→ p24 へ

番田さん
→ p26 へ

4 受け付けのロレーナさん。5 立松さんがサイン中。



6 赤いバスは、カラマ-OSF 間のアルマ直通バス。7 観測所のゲート。ここから OSF までダート道を小一時間 (→ 2012 年 3 月号へ)。

● カラマ：カラマは最寄の都市。ここから陸路 (→ 2012 年 3 月号へ)。● サンペドロ・デ・アタカマ：アタカマ観光の街。アルマまであとわずか (→ 2012 年 3 月号へ)。



ホアキン・コジャオ

Joaquin Collao

国立天文台 ALMA 推進室・派遣職員（インタビュー時。現職はチリ観測所・派遣職員）。

子どもの面倒を見る お父さんのように



Q1 What is your job here?

My job is the NAOJ site manager. The site manager is, in very simple words, I can say that it is like a vehicle. We would like to be a vehicle of all scientists. For them to do their science, they need us. Actually, Hasegawa-san told me about it in a very good way. Scientists are very good at seeing the sky, studying the sky. But maybe, they are not so good at normal life things, hahaha. They need, of course, help from us, supporting for them to sleep well, because they need to do good job next day. They need to eat well, they need the transportation, and also they need to comply with several rules in ALMA. As you know, ALMA is the worldwide environment, so there are many protocols, many rules and regulations inside ALMA. I am responsible to comply with those rules from the NAOJ side. Of course, NAOJ has its own rules too. That is my job. My first job here was the ALMA site manager, and then I moved to NAOJ. So, with that experience, I, we tried to do our best. If they need tools, I prepare it. If they need to build something, I help it. For instance, now we build many warehouses for the spare parts of the antennas.

My wife always says that I am like a daddy, a father, in charge of kids. Scientists are like kids. Of course, science people do their own work which I don't know, but for them to perform that, I must be like a daddy. Of course, all different Japanese people have different characters, difference things, we have to manage them. It is long to explain.

Q2 What is the most difficult thing in your work?

Huh....most difficult... I think that's the weather. The weather is the most difficult thing. It's cold, as you've experienced it already at the high site. Cold and dry. Well, I am very old in ALMA. I've been working in ALMA for six years already here, on site, every week. Of course, I am getting used to the weather, but you notice that we are getting like old, because the sun is too strong. So I think the weather is the most difficult part. Of course, this weather is good for antenna but maybe not good for human beings.

Q3 The final question is, what is your expectation for ALMA?

First of all, ALMA can give me the job for many many years, hahaha! But, of course, from the science point of view, my expectation is the antenna. The antennas should work well. And I'm wondering how the weather affects the antennas in the future. The antennas are kind of new now, but let's say, ten, fifteen, more years after, we don't know what's going to happen to the antennas. We hope ALMA succeeds with maximum number of antennas available to work. So we can use them as much as possible. Of course, from the science point of view, I cannot say that I'd like to discover how stars are born and things like that, because I don't understand. But, of course, antenna is our main task. Antenna should work fine. That is my expectation for ALMA.

Q1 アルマの仕事について教えてください

私は国立天文台のサイトマネージャーです。サイトマネージャーという仕事は、簡単に言うと「科学者のための乗り物」ですね。科学者はここで研究をするわけですが、そのためには私たち裏方の力が必要なんです。長谷川さん（長谷川哲夫教授）がうまい説明してくれたのですが、研究者というのはもちろん空を見て、宇宙を研究するのは得意なわけですが、でも普通の生活に関連することは得意じゃないという研究者もいるでしょう。そんな時に私たちが力になります。研究者は仕事をするために前の晩はよく寝ないといけなし、食べないといけなし、移動も必要です。それから ALMA は国際プロジェクトなので、様々な決まり事やルールがあります。私は国立天文台側のスタッフとしてそのルールをしっかりと守る責任があります。もちろん、国立天文台が作ったルールもありますから、両方を守らなくてはなりません。

私は今の役職に就く前は、アルマ観測所全体のサイトマネージャーでした。なので、その経験を今の仕事に活かしています。実際の仕事でいえば、たとえば何か作業をする時の道具を管理したり、何かを建設したりする支援もしています。たとえばアンテナの保守部品やコンピュータ関連部品を入れておくための倉庫を今作っています。だからいろんな仕事がありますね。私の妻は、私にいつも「子どもの面倒を見るお父さんみたいね」といいます。子どもってというのは研究者のことですね（笑）。もちろん研究者は各自ちゃんと仕事をしているのですが、全体の仕事がうまく進んでいくように、私が父親の役割をするわけです。もちろんここにいる日本人スタッフはみんな個性がありますし、仕事もそれぞれ違いますから、それをきちんと把握しないとダメですね。大変な仕事ではありませんね。

Q2 アルマの仕事で難しいことはなんですか？

うーん、難しいことですか…。天気だと思いますね。みなさんもう山頂施設は経験されたと思いますけど、寒くて乾燥しています。私はアルマ観測所での仕事の経験は長くて、もう6年間毎週ここで仕事をしています。もちろんこの気候にはだんだん慣れてくるのですが、強い日差しで肌の老化は隠しきれませんね。もちろんこの天気はアンテナにとってはいいんですけど、人間が暮らすには過酷ですね。

Q3 アルマの今後に期待することはなんですか？

まず、私にずっと仕事をくれることかな！（笑）まじめな話をすると、アンテナがきちんと動いてくれることですね。ここは環境が厳しいので、それが将来的にアンテナにどう影響するかを気にしています。今はアンテナができたばかりだからいいのですが、10年15年経過したときにアンテナがどうなるかが重要です。もちろん、できるだけたくさんのアンテナが問題なく動いてくれることを期待しています。私は研究者ではないので「星がどう生まれてきたかを解明したい」とは言えないのですが、私の仕事からすると、アンテナがきちんと動いてくれるということ、これがアルマ望遠鏡への私の期待です。

オスカル・メンデス、 ニコラス・シルバ

Oscal Mendez, Nicolas Silva

国立天文台 ALMA 推進室・派遣職員(インタビュー時。現職はチリ観測所・派遣職員)。

日本人とチリ人が 一緒になって素晴らしい 観測成果を出せるように



Q1 First question is, what is your job?

O: Here, my job is to help the maintenance of the antennas. This includes the electronic, fiber optical, and mechanical skills. And we coordinate with the ALMA staff for the movement of the antenna, safety inspection, and the inspection to deliver antennas to ALMA.

N: I'm in the same position with Oscar, an antenna technician. So we perform the same jobs, mainly maintenance job for all the antennas. We support NAOJ people to coordinate every kind of job with the ALMA people.

Q2 What is the difficult point in your job?

O: My difficult point, well, the difference of the culture. Here I'm Chilean, and try to read Japanese, try to understand the language, this is my most difficult skill. But I try to put all my effort to understand and communicate with all guys.

N: Same, hahaha. Until last year, I was a student. I studied network engineering in the university. So, this is like my first job. So I'm trying to get used to working with different cultural people.

Q3 What is your expectation on ALMA?

O: For me, I try to finish our job here. NAOJ tries to deliver all the antennas without problems and tries to maintain these antennas for a long time. If the ALMA guy needs any help from us, we try to contact people in Japan. We need good communication between ALMA and Japan.

N: My expectation here is to experience the excellent telescope, also to support NAOJ people so that they obtain good science with Chilean professionals.

Q4 What is the exciting point in ALMA for you?

O: It is exciting to know what ALMA discovers in the future. And for me, it's first time to work at the telescope or observatory. I came from different type of business. I worked for the airplanes in Chilean Air Force. For me this work is totally different. The most exciting thing is to try to help astronomers to find anything in the universe.

N: The most exciting thing for me is the technology. We can apply our skills and work with very highly qualified people. I try to gain knowledge from them, and know harmonization. It's better for the human race I think.

Q5 How do you think about Japanese people?

O: For me, this is the first time to work with Japanese guys. It is very interesting. Well, we are trying to learn about your culture, about your language, about many things about you. We work very closely with the MELCO guys. They talk only in Japanese, and we talk only in English and Spanish, but we have a good communication with signals and movement. This process is very interesting for me, and it is great to work with Japanese.

Q1 アルマの仕事について教えてください

オスカルさん (以後 O さん): 私の仕事は、アンテナの整備や調整です。この仕事には電気工学、光ファイバー、機械制御などの技術が必要です。またアルマ観測所のスタッフと協力して、アンテナを安全に移動させるためのチェックをしたりしています。

ニコラスさん (以後 N さん): オスカルと同じです。アンテナが主な仕事で、アンテナのメンテナンスをします。国立天文台のスタッフとアルマ観測所のスタッフとの調整も仕事のうちです。

Q2 アルマで苦勞したことを教えてください

O さん: 違う文化の人たちと仕事をするのでしょうか。私はチリ人ですが、日本語を読んだり理解したりできるようになりたいのです。これは簡単ではないですが、スタッフとのコミュニケーションが大事ですから。

N さん: 同じです (笑)。あと大変なことと言えば、私は昨年まで学生だったので、これが初めての仕事なのです。大学ではネットワークエンジニアリングを学びました。なので、いろいろな人たちと一緒に仕事をするということに慣れようと頑張っています。

Q3 アルマで目指したいことはなんですか?

O さん: ここでの私の仕事、つまりアンテナをすべて無事に山頂施設に運び上げ、長期にわたるメンテナンスをきちんとやり遂げることをまずは目指しています。日本人スタッフが助けを必要としているときには助けになりたいですし、アルマ観測所と日本人スタッフがいい関係を築くということにも役立ちたいです。

N さん: 私は望遠鏡の経験をここでしっかり積みたいと思っています。そして国立天文台のスタッフをサポートして、日本人とチリ人が一緒になって素晴らしい観測成果を出せるようになると思います。

Q4 アルマのどんなところがエキサイティングですか?

O さん: アルマが将来どんな発見をするのか、とても期待しています。私にとっては、天文台で働くのがこれが初めてのなのです。以前はチリ空軍で飛行機関係の仕事をしていましたので、仕事の内容が全然違うのもエキサイティングですね。天文学者を支援し、彼らが素晴らしい成果を上げてくれるのを楽しみにしています。

N さん: 私はアルマに使われている技術がエキサイティングだと思います。自分の持っているスキルをこの望遠鏡に活かせるし、優秀な人たちと一緒に仕事ができることも楽しみです。そんな人たちと一緒に仕事をして新たな経験を積み、国際協力のすばらしさを感じることができるといのは、人類全体にとってすばら

N: I think, Japanese people are very hard worker. Also I try to learn language and character, letters.

Do you think Japanese language is difficult?

O: Yes. It is difficult to write. When I try to talk, the sound is totally different from Spanish and English, but it's interesting. At the moments we know a little words, and with these words we talked with MELCO guys

N: And I learn the letter Hiragana. I can read simple words.

Thank you very much.

O: ドウイタシマシテ。

Bienvenido a ALMA!



Q1 What is your job here?

I am in charge of any coordination, as you know. They are dorms assignments, shuttles, flights. I input such information for the visitors into the "ActualTrip" system. I'm responsible for all the staff and visitors to have all permissions to access to the ALMA gate, food, and lodging. Also I am in charge of reporting various consumptions. Record and report for fuel consumptions, food, laundry, etc. Also I write the monthly report. Basically this is my job. Taking care of all staff and visitors.

Q2 Do you have any difficulties in your job?

To coordinate various things, hahaha. Generally they are not difficult. But it becomes difficult when the information is not complete, or requests are not done with enough anticipation. Generally, they are not difficult.

Q3 Last question, what is your expectation about the ALMA science?

About science? I think it is a very interesting job. But my job is all but science. In general, my job is to do other things that help other persons do science.

しいことだと思います。

Q5 日本人についてどんな印象を持っていますか？

Oさん:日本人と一緒に仕事をするのはこれが初めてなのですが、とても面白いです。私は日本の文化や言語など、いろんなことを学びたいと思っています。ここでは三菱電機の技術者とも一緒に仕事をするのですが、かれらは日本語しか話しません。私たちは英語かスペイン語しか話しません。それでも、身振り手振りも交えてコミュニケーションがしっかりできているので、一緒に仕事をするのが楽しいです。

Nさん:日本人はよく働くなと感心しています。それから私も日本語を勉強しています。

(日本語は難しいですか?)

Oさん:とってもむずかしいです(笑)。発音はスペイン語や英語とまったく違いますし。まだまだ勉強しているところですが、それでも学んだ言葉を使って三菱電機の皆さんと話をすることもあります。

Nさん:わたしはひらがなを勉強しました。簡単な単語ならわかりますよ。

(どうもありがとうございました。)

Oさん:ドウイタシマシテ。

マリア・アンヘリカ・ラモス Maria Angelica Ramos

国立天文台 ALMA 推進室・派遣職員(インタビュー時。現職はチリ観測所・派遣職員)。

子どもの面倒を見る お母さんのように

Q1 アルマの仕事について教えてください

いろいろな事務が私の仕事です。宿舎やシャトルバス・飛行機の予約をしたり、スタッフの旅程を管理する専用のシステムにその情報を入力したり、訪問者があるときには入構許可の申請や食事、宿舎の手配もします。また、車両の燃料やランドリーがどれくらい使われたかを記録して毎月のレポートを作るのも仕事です。つまり、山麓施設を訪れるスタッフに関わるすべてのことですね。

Q2 仕事で難しいことはありますか？

それほど難しくはないですね。ただし、たとえば旅程の情報に抜けがあったり、期日ぎりぎりに情報が来たりすることもあるので、そういう時はたいへんです。

Q3 アルマの今後に期待することを教えてください

科学的成果についてですか? とても面白い仕事だと思います。私の仕事は天文学の研究ではないですが、研究者たちがしっかり研究ができるようにするのが私の仕事なので、しっかりやりたいと思います。

小笠原隆亮

OGASAWARA Ryusuke

国立天文台教授。ALMA 推進室・東アジア副プロジェクトマネージャー（インタビュー時。現職は JAO 副プロジェクトマネージャー）。



みんなでアルマを 作り上げるための潤滑剤

Q1 アルマの仕事について教えてください

まずは、チリ側とのさまざまな交渉窓口役ですね。日本での取りまとめは井口さんがやられて、米欧との取りまとめをこちらでやる。国際アルマ観測所（JAO）は日米欧合同で運営していて、JAO のマネジメント会議はこちらの昼間にありますが、日本からTV会議出席となると、真夜中になってしまいますから。また、ときには、日本から来たグループのために、食事とか宿舎とか、細かい庶務的なやり取りが発生しますので、サンチアゴにいてそれぞれの部署の方と交渉をする。そういった幅広いサポートを行っています。基本的には、自分で何かを作るよりは、皆さんが作って持ち込んでここで組み上げるための潤滑剤になる、といったところが私の役回りです。ん、止めてるのかも（笑）。今はアンテナが次々に上がって実際に観測が始まる、プロジェクトの中では一番エキサイティングな時期なので、さまざまな業務が生じて忙しくなっています。

実際に手を動かすのは雇った方ですが、どういった人をどういったタイミングで雇うか、といったヒューマンリソースの実施と評価もしなければいけません。また、アルマを作った人が現地のスタッフに技術移転教育をしていくタイミングにも差しかかりつつあるので、その時間を取らなければいけないな、といった議論が始まっている段階です。

Q2 アルマで苦労したことを教えてください

私はずっとハワイで「すばる」に関わっていて、2005年にこちらに来ました。長谷川さんに説得されたんですけど、「アルマで仕事しませんか」「チリに今、行っても何にもないけどどうするの」「いや、いてくれるだけでいい」と（笑）。2004年に予算は決まった

んですけど。人が見えないと言われたらしいんですよ、米欧から。だから、とにかく日本人はいるよと。その間に、米欧が計画の見直しをやったのですね。日本はちょっと乗り遅れたので、米欧の動きとは少し距離があって、さてどう協調していくか。そこで、組み立て調整は基本は別々だけど、全体として一緒にやりましょう、という最初のネゴをして、向こうから5人くらいエンジニアを引っ張って来て…、そんなとっかかりからスタートしたのです。

また、米欧との付き合いとは別に、建設場所現地の方々とのやり取りも苦労の一つです。こういう大型建設を伴う計画は現地住民の方々の理解がないとスムーズに進みませんので、JAOでも所長の下に二人のスタッフを配置して、近くのサンペドロ・デアタカマに英語の先生を派遣したり、天文関係のセミナーをするとかいろいろな活動をしています。さらに、一番近いトコナオの人たちも積極的に雇用するとか、周辺の部落の代表が、いろいろと意見を言える場も作りました。私はこれらの活動にNAOJチリ代表として協力といいますが、一緒についてまわるといいますか、良い経験をさせてもらいました。ハワイでも感じたことですが、観測所を建設して、長いあいだ天文観測を進めるためには、このような現地の皆さんとの交流といえますか交渉が大切で、アルマもこれまでの長い時間をかけた努力が、やっと成果を生みつつあるのだなあ、と。

Q3 アルマの今後に期待することを教えてください

建設があと1、2年で終わるという時期に来ていますよね。日本の考え方だと、運用・保守まで軌道に乗せ、一定の成果をだすまでが観測所の建設。でも米欧の割り切った考え方では、もうプロダクションが終わりなので万歳、なんです。私作る人あなた使う人、

動きますから渡しますって言うんです。でも、運用マニュアルとか保守マニュアルを見ただけできちっと動かすのは難しい。アルマでもエンジニア、テクニシャンとして現地の方を雇っているわけですが、その人たちが保守をやっているかは、もう少し時間かけないと分からないところもある。先に述べた、技術移転教育の話は、そういう意味では大変重要なんですけど、こういうテーマが出てくること自体、日本人的な感覚からすると、かなり新鮮な体験ではありますね。

目に見える完成という意味では「ほら、ちゃんと66台揃って動きますよ」というところがメドでしょうが「66台本当に全部動いて観測できる日は来ない」と、みな冗談を言い合ったりしてます（笑）。さぞかし壮観でしょうね。66台がずらりと並んで一糸乱れず動く光景は。

私は、渡り歩きばかりなんです。出来上がると、だいたい放り出される（笑）。高エネ研のKEKではTRISTANという加速器を。天文台で三鷹にスーパーコンピュータを導入し終わったら、つぎは「ハワイに行って」。アルマの予算が付いた途端に「チリの準備しなさい」。もう今年15年目ですね、日本を出てから。…さて、次はどこへいくのかな？（笑）





立松健一

TATEMATSU Ken'ichi

国立天文台教授。ALMA 推進室長、チリ事務所長（インタビュー時。現職は国立天文台チリ観測所東アジア・アルマ地域センター・マネージャー）。

指にタコが出来るくらいサインしてます

Q1 アルマの仕事について教えてください

日本の国立天文台のチリ事務所の代表として、観測所を運営しています。国立天文台のチリ支店長みたいなもので、支店がうまく業務を行って、問題が生じたときにそれを解決するために交渉したりする、職員が心地よく仕事ができる環境を整える。どちらかといえば縁の下の力持ち的な仕事ですよ。そして、かなりの部分は事務的な仕事です。パーセンテージでいえば100パーセントそれをやっているとします。気が遠くなるくらい書類にサインしてますよ。日本ではハンコをバンバン押ししてもらえばいいですけど、こっちはサイン世界ですので、指にタコができるくらいたくさん署名しなければいけない（笑）。

国際アルマ観測所は仮想的な天文台なんです。所長がいて副所長がいてマネージャーもいるけれど、それぞれの執行機関の職員なんです。アルマ観測所は、公式には存在しないんです。日米欧が共同で仮想的に運営しているんですね。寄り合いでやっているの、法人格もないわけで、観測所自体はモノも買えないんです。かわりにNAOJが買ったり、ヨーロッパが買ったりアメリカが買ったりするわけです。

業務は日米欧がそれぞれ独立にやっています。ESOの観測所の敷地に国際アルマ観測所が作られていて、左隣りにヨーロッパ、北側にアメリカ、南側に日本のオフィスがあります。3か所が事務処理、購買、運用、人の派遣などなど、全部やっています。私たちがいなかったらアルマ観測所は成り立たないんだけど、3つ独立に事務所があって観測所長がいて、「次は日本の国際職員と話をしに行くか」といちいち行き来していたら仕事にならないので、国際職員は国際アルマ観測所に集まって仕事をしているわけです。私は、支店長として、実体

のある観測所の運営を、責任を持って支えていく役割です。

Q2 アルマで苦労したことを教えてください

やっぱり、日米欧の意見の違いの調整ですね。アルマは基礎科学で日本が本当がっぷり四つに組んだ初めての国際プロジェクトなんです。だから初モノ尽くしで、みんな苦労をしています。お金の問題とか、人を送るときの条件の問題とか…。込み入った問題では、チリの現地職員の労働組合問題が発生したときにどうするか、といったものもあります。

とはいえ、私にとって一番辛いのが、日本とチリの往復（笑）。私はアルマ推進室長も兼務していて、三鷹に部屋があるんですよ。はじめは1か月交代で、偶数月と奇数月で往復しようかと思っていたんですけど、現実には毎月、日本に帰っているんです。すると、まず温度差が凄い。それに飛行機の中で片道35時間とか……。コレ耐久試験ですよ、ほとんど（笑）。天文台は、台長はビジネスクラスですけど、それ以下の職員は特段のことがない限り、基本的にはエコノミーです。うーん、せめてビジネスにしてほしいかも（笑）。



それと、チリ赴任は家族全員の反対を押し切って来たんです。申し訳ないので2011年8月に、チリに招待したんですね。すると、こちらに来たらちょうど半日の時差。せっかく来たんだから観光すればいいんだけど、夜は「パパ寝られない」。で、朝になると寝て、もう全然起きられない。「もう飛行機乗りたくない」「あなたの辛いのが分かった」と、今回の招待は、家族に私の辛さを理解してもらおう上で大きな成果がありました。経験しないと分からないですよ。百聞は一見に如かずです。…いやいや、決してそれを意図したんじゃない（笑）。純粋な謝罪の気持ちだったんですよ、ここ強調しておいてください。

Q3 アルマの今後に期待することを教えてください

願望はですね、ビジネスクラス…はともかくとして（笑）、当たり前ですけど、アルマを使っていい成果がしっかり出ること。それはもう私は自信を持って凄いいものが出ると思っているんですけども、それを実際に早く見てみたい。そして、その成果が、日本の中から、同僚から、そして私自身も含んでもいいかなと思いますけど、身近なコミュニティからどんどん出てくるのが一番の励みだなと思っています。なにしろ、練習モードの「Cycle 0」に、900本もプロポーザルが殺到して、こちらは嬉しい悲鳴ですよ。審査する人もやり甲斐があるというか、歴史的な望遠鏡の最初のプロポーザルを審査するというのはたいへん名誉なことだと、皆さん晴れ晴れとした気持ちで受けてくれましたしね。

そして、もうひとつ、縁の下担当の支店長としては、今回の国際プロジェクトで培われたさまざまな有形無形のノウハウが、今後の日本の天文学の底上げに役立ってくれるであろうことが何よりの楽しみです。

山本真一

YAMAMOTO Shin'ichi

国立天文台 ALMA 推進室チリ事務所事務員（インタビュー時。現職はチリ観測所事務部事務係主任）。



一人七役、 大変だけれど、面白いですよ

Q1 アルマの仕事について教えてください

チリ事務所の業務について、三鷹の中で事務部でやっていることを基本的に、全部とまでは言わないけれどほとんどの係の仕事をここでやるということです。例えば物を買うのであれば、購入依頼を作る。これは三鷹ではアルマ秘書室の仕事。それが第一段階。次は経理課の調達係の仕事で、購入手続きをやる。物品が入ったら検収センターの仕事もやらなければいけない。支払いは財務課の仕事、小切手で決済しているから支払業務ということで機構本部の仕事もやっています。川合さんが来る前までは勤務時間の管理などもやっていたから、総務課の職員係ですね。まあ一人しかいないから、当然そうなります（笑）。支払也多岐にわたって、事務所のものならオフィス用品とか家賃。OSFに納入する消耗品や研究用品などもあります。

1年半前にチリに行けと言われてたとき「これは、面白そうだ」と。実際、面白いです。やはり異国は新鮮ですね。海外赴任は初めてです。せっかく行くなら新しいチリの方がいいな、とは思っていました。

Q2 アルマで苦労したことを教えてください

やはり、仕事の量ですね。一件一件見ていけばそんなに難しくないけど、とにかく量が多い。それに尽きます。先にも述べましたが、六つか七つの係でやっている仕事なので、チリの方だけとはいえ、この人数でやるというのはなかなか厳しいです。とくに年度末は大変です。日本でも決算のときは忙しいわけで、こちら規模は違うけれど、絶対に期日までにやらなければいけませんから。最初の頃はこちらでの手順が決まっていなくて、人もいないから、やはり三鷹にあれこれ毎日のように相談しながら、手探りの状態でした。そう考えると今は、ずいぶん定型化できたと思います。ただ、これからアルマが本格的に動き出すと業務量も増えていきますから、やはり、増員が必要だと思いますね。

サンチアゴの日常生活では、そんなに不便は感じないですよ。買い物だって「あれくれ、これくれ」って言えば向こうで分かれますし。スペイン語は、出来る内には入らないのですが、学校に行かせてもらいました。生活はまあ何とかあります。簡

単な会話ならできます。今のところ、せいぜい銀行に行ったり、あとは簡単なメールをやり取りするくらいだから。私は、街の中に出てウロウロするのが好きなので、なんだかんだ身振り手振りで喋っているというのもあるのかもしれないですね。

こちらにきて、一番面白かったことは、やっぱりイースター島に行ったことかな（笑）。あとは、乗り物に乗るのが好きなので、電車に乗って南の方に行きました。チジャンという街です。特に何も無いところですが、サンチアゴから旅客列車が行ける一番南の街がそこなんです。サンチアゴは、古いスペイン風の町並みと近代的な建物が混在する大都市で、東京とあまり変わりませんが、ちょっと鉄道で郊外に出ると、とてもローカル色が豊かで、素のチリの人たちの生活が垣間見えて興味深かったですね。

Q3 アルマの今後に期待することを教えてください

アルマが本格的に動き出したら、仕事の量の増加にいかに対応するかを考えないといけません。関わる人が増えれば、当然その分、旅費関係の事務は増えます。請求書の突き合わせや報告書の取り纏めなど仕事も増えるでしょうね。時差もあるので、いちいち書類をやり取りして三鷹でフォローするというのも効率が落ちますので、やっぱり業務量の増加に応じてスタッフの増員が望まれます。とすると、それを見据えて、こちらの業務で定型化できるものは今のうちに固めて、スムーズに業務の増加に対応できるような環境作りが大切だなと思っています。そして、せっかく私自身、アルマのような国際プロジェクトに関わっているわけですから、もっとスペイン語や英語などの外国語を勉強していろいろな仕事をしてみたいですね。

毎日楽しくて仕方がない！





番田康子 BANDA Yasuko

国立天文台 ALMA 推進室チリ事務所・特定事務職員（インタビュー時。現職はチリ観測所特定事務職員）。

会計に関して、 アルマに関して、 毎日が勉強です

Q1 アルマの仕事について教えてください

私の主な業務は、日米欧の各 Executive を含めたアルマ全体の運用経費に関するものです。各 Executive の会計報告書を精査し、定期的に JAO および日米欧の会計担当者とのミーティングに参加しています。決められた枠組みの中で適切に経費が執行されているかどうかチェックしあい、それぞれ疑問点があれば互いに確認します。またチリ物流担当として、日本とチリの間あるいはチリと第三国の間で NAOJ 貨物が輸出入される際は、常に JAO ロジスティックチームと連携して進めています。あとは契約事務として、契約書の内容確認や翻訳を行っています。それからチリに赴任される方々のサポート業務ですね。具体的には銀行の口座開設、インターネット契約、保険契約といった生活環境の立ち上げ支援をさせていただいています。

こちらに赴任したのは2011年の4月です。留学や仕事でかつてスペイン語圏に住んでいたことがあり、帰国後もスペイン語や英語を使った通訳や翻訳の仕事をしていました。

Q2 アルマで苦勞したことを教えてください

国際プロジェクトならではの、日米欧の各 Executive がそれぞれ異なる会計基準や会計年度を採用していますので、それにとりまな調整に苦勞することもあります。アルマ全体として決算報告書を四半期ごとに作っていますが、JAO 会計担当者が作成して最終的に各 Executive の会計担当者、次いで事務責任者がサインするという一連のプロセスがなかなかスムーズにはいきません。見解が一致しないことがあると、それぞれ担当者が持ち帰って相談して、後日回答を持ち寄って詰めていくという、スタイルで、三者で擦り合わせながら、なんとか落としどころを見つけるわけです。それぞれの組織を背負っているわけですから、異なる考え方が反映されていて興味深いところではあります。この点、日本で働くのとは違う刺激がありますね。

天文学に関する予備知識がまったくなくてこの仕事が始まるものかどうか、やはり最初は不安でしたが、様々な資料に目を通したり、周りの皆さんに教えていただいたりしながら、少しずつ学んでいます。アルマプロジェクトに対する理解という意味ではまだまだ未知

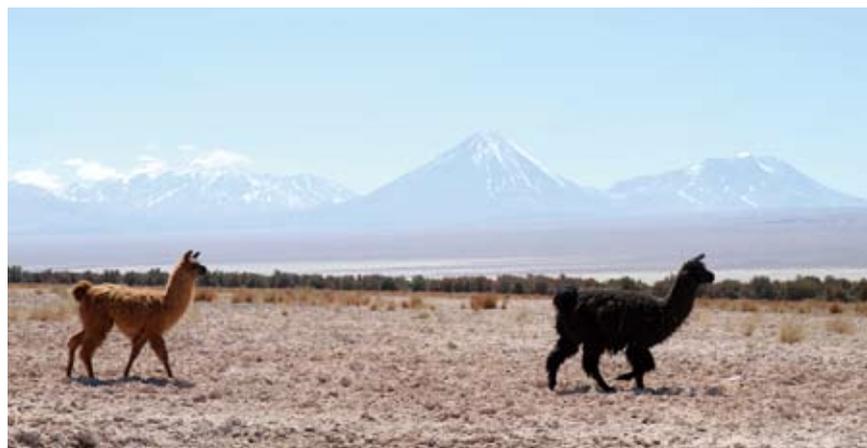
のことばかりですので、日々新しいことを吸収していきたいと思っています。

Q3 アルマの今後に期待することを教えてください

複数の国や地域から多数の人々が参加し推進しているこのアルマプロジェクトに、天文学にまったく無縁だった私が関わらせていただいているということに、不思議なご縁を感じています。

人と人とのコミュニケーションの大切さを日々実感しながら、これから本格的な運用期に向かうアルマの舞台裏を支えるささやかなお手伝いができればと願っています。

舞台裏を支える
お手伝いを



★今回お送りしたインタビュー記事は、2011年9月に現地でインタビューできたスタッフの声をまとめてお届けしたものです。ここに登場したメンバー以外にも、たくさんの日本人スタッフがアルマ望遠鏡で働いています。そのような、連載記事「Bienvenido a ALMA！」（国立天文台ニュースバックナンバー <http://www.nao.ac.jp/outreach/naoj-news.html>）アルマ望遠鏡 web コラムページ <http://alma.mtk.nao.ac.jp/j/news/column/Bienvenido/01.html>）をご覧ください。



新しい宇宙観を。



●見えてくるもの

アルマ望遠鏡は、世界の同種の望遠鏡に比べて感度も解像度も100倍という高い性能を誇ります。アタカマという素晴らしい建設地と様々な技術革新によってもたらされたこの性能をもってすれば、宇宙にある多様な天体を観測対象にできます。身近なところでは太陽や惑星、その衛星など太陽系の星たちもターゲットですし、130億光年かなたの生まれたての銀河もターゲットです。惑星や恒星の起源、銀河の誕生、宇宙の中での化学物質の進化など、アルマ望遠鏡での観測は私たちのルーツを宇宙に探る旅でもあるのです。

★銀河の誕生と進化の謎に迫る

私たちを照らす太陽は、1000億の星とともに「天の川銀河」を構成しています。宇宙にはこのような銀河がさらに1000億個ほどもあるといわれていますが、銀河がいつごろどのように生まれたのかははっきりわかっていません。137億年前のビッグバンのあと、どのようにガスが集まって銀河や最初の星々が生まれたのか、原始銀河の中でどんなペースで星ができて銀河が成長していくのか、あるいは銀河どうしの衝突はその進化にどんな役割を果たすのか。星や銀河のもとになるガスが放つ電波をキャッチすることで、アルマ望遠鏡はその謎に迫ります。

★太陽系や惑星の誕生の謎に迫る

私たちの住む太陽系には8つの個性豊かな惑星が存在しています。また夜空に見える星のまわりにも、1995年の最初の発見以来すでに800個近い多様な惑星が見つかっています。惑星たちはどのようにして作られ、その多様性の原因は何なのでしょう？ 一般に星や惑星は非常に冷たい（ -260°C 程度）ガスや塵の雲から生まれてきます。このような低

ハッブル宇宙望遠鏡が可視光でとらえたフォーマルハウトの周囲の塵の環（青）に、アルマ望遠鏡が電波でとらえた画像（オレンジ）を重ねた画像。アルマ望遠鏡の観測データから、この塵の環の内側と外側の縁が非常にはっきりしていることがわかりました。コンピュータシミュレーションとの比較により、この環の内側と外側にそれぞれ惑星が回っていればこのような環の構造を作れることがわかりました。惑星の重力が環を構成する塵の粒子の軌道に影響を与え、その環の形を整えているのです。その惑星の質量は、火星の質量よりも大きく地球の質量の3倍よりも小さいと見積もられています。なおアルマ望遠鏡の観測結果が右上に偏っているのは、アルマ望遠鏡がこの円盤の上半分しか観測していないためです。

温の物質は光を出さないために、すばる望遠鏡などの可視光・赤外線望遠鏡では観測することができません。一方でそんな低温の物質からも電波は出てくるので、アルマ望遠鏡はこの電波を抜群の感度と解像度で観測し、惑星誕生の現場をまさに「目撃」できると考えられています。第二の地球はどのようなところで生まれるのかという謎にも、答が見つかるかもしれません。

★宇宙に浮かぶ生命の材料物質に迫る

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しょうか。太陽系誕生の際に生命の種を持っていたのでしょうか。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ませんが、生命の誕生にはさまざまな説がありますが、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ます。特に期待されているのは、私たちの身体を作るたんぱく質のもとになるアミノ酸

の発見です。すでに太陽系内をめぐる彗星や地球に落下した隕石の中にアミノ酸が発見されていますが、高い感度を持つアルマ望遠鏡なら、太陽系外に浮かぶアミノ酸が放つ微弱な電波も捉えられると期待されています。たとえば惑星が作られている領域にアミノ酸が豊富にあれば、のちの生命の種になるかもしれません。天文学と生物学をつなぐ大きな役割が、アルマ望遠鏡に託されているのです。

●今後のアルマ望遠鏡のタイムライン

2011年に始まった初期科学観測「サイクル0」は順調に進んでいます。データは順次研究者に配布されており、既にこのデータを元にした研究成果も出始めています。2013年1月からは、12mアンテナ32台と日本が製造を分担したアタカマ・コンパクトアレイ（ACA）の一部（7mアンテナ9台と12mアンテナ2台、ACA相関器）を使った次の観測シーズン「サイクル1」が開始されます。サイクル1に向けた観測提案の募集では、サイクル0よりも200件ほど多い1100件以上の提案が提出され、世界の天文学者の高い期待がうかがえます。アンテナ全66台がそろえるのは2013年の予定です。またアルマ望遠鏡の性能をさらに高めるための新たな技術開発も検討されており、観測周波数帯を拡大する新受信機や観測精度向上のための新手法の開発などが挙げられています。アルマ望遠鏡は少なくとも30年間運用を行います。その間の天文学の進歩に合わせて性能を向上させていくことによって常に素晴らしい成果を出し続けることを目指します。30年後に人類が抱く宇宙観にアルマ望遠鏡の成果が大きく寄与することは間違いのないでしょう。それこそが、アルマ望遠鏡の使命でもあるのです。



ちょっと待った！ わたしたちを忘れてはいませんか？ アルマ望遠鏡の縁の下の力持ち「Otto (オットー)」と「Lore (ロア)」

OttoとLoreは、アルマ望遠鏡のアンテナを運ぶ2機の運搬台車で「トランスポーター」と呼ばれています。アルマ望遠鏡のアンテナの重さは、1基でおおよそ100トン。それを積んで、標高2900mの山麓施設（OSF）と標高5000mの

山頂施設（AOS）の間を運ぶのがトランスポーターの仕事。さらに、OSFやAOSの中でアンテナの配置を変える際にも使われます。66台のアンテナはもっともコンパクトな配列では半径150mの範囲内に設置され、もっとも広い配列

の場合は差し渡し18kmの範囲に設置されます。アンテナの設置には繊細な位置合わせも必要。ハイテクとパワーのかたまりであるアンテナ運搬・放置のスーパー・シェルパOttoとLoreこそ、アルマ望遠鏡の陰の主役なのです。



トランスポーターは、車長20m・車幅10m・車高6mで、片側14個・計28個のタイヤを備える巨大メカ。100トンのアンテナを載せ、標高差2100メートルのダート道を行き来するさまは、まるでサンダーバードの世界。ドイツにある特殊車輛の世界的メーカー「SCHEUERLE（シヨイエレ）」社製である。



片側14個のタイヤは2個1対で、7つ対がそれぞれ独立に動く。これによりその場での回転や横移動など、自在の走行が可能。



トランスポーターは、リモートコントロールで動かすこともできる。運転担当のファン・アルフレッドさん。「ちょっと、乗ってくかい？（笑）」



こちらがリモコンの操作盤面。たくさんのスイッチ類が所狭しと並ぶ。操作には、相当なテクニックが必要なのだ。



OSFで調整された日本の7mアンテナをAOSへ運ぶための荷積み作業。コの字型の車体に挟み込むようにアンテナを持ち上げて積載する。



7mアンテナの積載完了。多軸の車輪群を自在にコントロールして、コンパクトな斜め横走行で作業エリアから発進！



轟音を上げながら、AOSへと続く山道へ。急坂や陰路をものともしないパワーと機動性こそ、アルマ・シェルパの真骨頂。

韓国とのアルマ望遠鏡に関する協力協定に調印

2012年3月19日、国立天文台は韓国天文宇宙科学研究所（Korea Astronomy and Space Science Institute, KASI）との間で、アルマ望遠鏡に関する協力協定書に調印しました。この協定は、韓国のアルマ望遠鏡プロジェクトへの将来的な参加に向けた第一歩であり、研究者間でこれまで行われていた共同研究をさらに強化させるものです。

国立天文台とKASIの間では、それぞれが国内に持つ電波望遠鏡を結合させて一つの望遠鏡として用いるVLBI観測に関する共同研究協定が2002年に締結されています。今回アルマ望遠鏡に関する協定を結ぶことで、両研究機関の電波天文学における協力がより一層緊密なものになります。また、現在は日本と台湾で



KASIで行われた調印式後の記念撮影。左から、チョウ・ソンキ（KASI 対外協力室長）、井口聖（アルマ望遠鏡東アジアプロジェクトマネージャー）、小林秀行（国立天文台副台長）、観山正見（国立天文台長・当時）、パク・ビルホ（KASI 所長）、ハン・ソクティ（KASI 副所長）、キム・ヒュング（KASI 電波天文部長）、キム・ジョン（KASI 電波天文研究センター長）の各氏です。

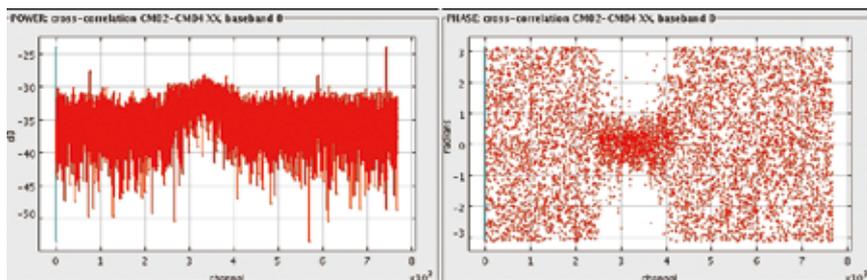
構成されるアルマ望遠鏡東アジアグループに韓国が加わることになれば、より多

彩な研究を強力に推進できると期待されます。

国立天文台が製造したバンド8受信機による干渉計試験に成功



干渉計試験が成功したことを示すグラフが表示されたコンソールを指さす Héctor Alarcón（国際アルマ観測所・望遠鏡オペレータグループ副リーダー）と浅山信一郎（国立天文台助教・国際アルマ観測所シニア RF エンジニア / 12 ページ参照）です。（写真撮影：Paulo Cortes）



わし座 R 星の周囲に分布する一酸化炭素分子が出す電波の干渉計試験で取得されたスペクトル（左）と位相（右）。

2012年3月18日、標高5000mの山頂施設（AOS）に設置された日本製の直径7mアンテナ2台に、国立天文台が制作したバンド8受信機を搭載して、干渉計試験が行われました。この干渉計試験では水星が放つ電波をとらえ、干渉縞（フリッジ）を検出することに成功しました。

また翌19日には、わし座 R 星の周囲に分布する一酸化炭素分子が出す電波（周波数461 GHz）を観測する干渉計試験にも成功しました。図1はこの干渉計試験で取得されたスペクトル（左）と位相（右）です。左図に見える赤い線のわずかな盛り上がりが一酸化炭素から放射される電波を示しています。また右の位相の図では、左図のスペクトルと同じ周波数範囲（横軸のチャンネル3000から4000あたり）で、信号（赤い点）が中央に集中していることを確認できます。これは2台のアンテナで集めた信号の相関処理が成功し、この2台が干渉計として動作していることを示しています。観測後すぐに画像を見ることができるとは、可視光の望遠鏡と違い、アルマ望遠鏡では、このようなグラフを見て、観測がうまく進んでいるかどうかを判断します。

ACA アンテナと ACA 関連器を使った初めての偏波試験観測



偏波観測試験の結果が表示されたディスプレイと記念写真を撮る(右から)永井洋研究員(17ページ参照)、Neil Phillips氏(合同ALMA観測所)、浅山信一郎助教(12ページ参照)、直井隆浩専門研究職員(10ページ参照)、中西康一郎助教(15ページ参照)です。

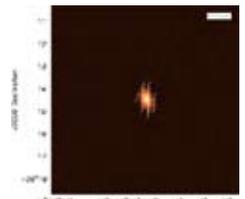
チリ時間の4月29日、日本が製造を担当するACA(アタカマ・コンパクト・アレイ「いざよい」)の7メートルアンテナ5台とACA関連器を使った初めての偏波観測試験が行われました。

偏波とは、電波が特定の方向に振動し

ている状態をいいます。電波は波の性質を持ちますが、その振動の方向に偏りがある場合があります。身近なところでは、通信に使われている電波にも偏波が使われています。天体観測では、偏波によって天体の磁場構造などを調べることができます。星や銀河が生まれるときなど、磁場は宇宙のさまざまな場所で重要な役割を果たしていると考えられているため、偏波を使って磁場を調べることはとても大切です。アルマ望遠鏡では天体からやってくる電波の強度と周波数情報のほかに、この偏波も高精度で観測することを目指しています。

今回の試験観測では、クエーサー1924-292(地球からの距離およそ39

億光年)が観測されました。この天体の中心には大質量ブラックホールがあり、そこから光速に近い速度で噴き出すガスの流れ(ジェット)が放つ強い電波を捉えることができます。今回の観測では、1パーセントを十分に切る非常に高い精度での偏波検出能力が確認され、アルマ望遠鏡を用いた宇宙磁場の高精度な研究に向けた大きな一歩となりました。



今回観測したクエーサー1924-292の画像。白い線の方向に偏波があることが、試験観測によって確認されました。

「いざよい」開発チーム、日本機械学会から表彰!

アルマ望遠鏡の高精度ACA(アタカマ・コンパクト・アレイ)アンテナ群「いざよい」開発チームが、日本機械学会宇宙工学部門賞 一般表彰 スペースフロンティアを受賞し、3月29日に表彰式が

行われました。

開発チームは高精度ACAアンテナ16台の開発を行い、一部はすでにアルマ望遠鏡山頂施設(AOS:標高5000m)で観測に使用されています。今回の表彰は、

前例のない高い周波数の電波で高い集光力を持ち、高精度の駆動性能を備えたアンテナ群を実現し、宇宙研究における日本の地位向上に貢献したことを受けたものです。

山頂施設のアンテナが33台に

チリ北部・チャナトール高原でのアルマ望遠鏡の建設は着々と進んでいます。2012年5月12日、北米製の直径12mアンテナ1台が山頂施設に運ばれ、山頂施設に設置されたアンテナの数は33台になりました。

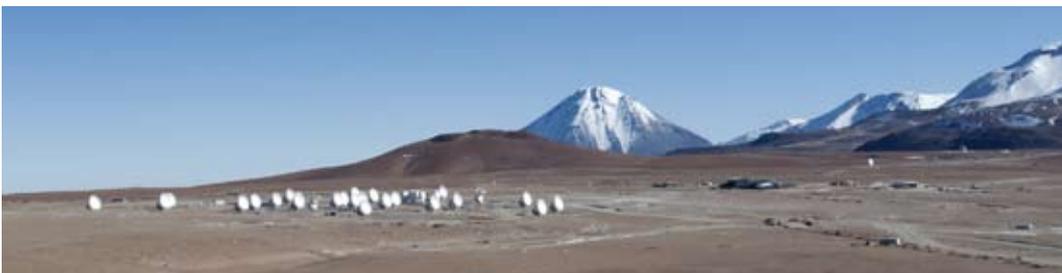
最初のアンテナが山頂施設に設置されたのは、2009年9月のことでした。これ以降アンテナの設置は順調に進んでお

り、アルマ望遠鏡は完成すると66台のアンテナを備えることになりますので、今回その折り返し地点に到達したことになります。アンテナ設置のペースも上がってきています。

66台のアンテナはもっともコンパクトな配列では半径150mの範囲内に設置され、もっとも広い配列の場合は差し渡し18kmの範囲に設置されます。ラン

スポーターでアンテナの配置を変更することで、アルマ望遠鏡はあたかもズームレンズのように解像度(視力)を変化させることができます。

山頂施設に設置されたアンテナの数はまだ完成時の半分しかありませんが、アルマ望遠鏡ではその一部のアンテナを使った科学観測がすでに昨年開始されています。



山頂施設に設置された33台のアンテナ群。アンテナの多くは「セントラルアレイ」と呼ばれる山頂施設中央部に密集して設置されていますが、1台(写真右奥)は他のアンテナから1966m離れた地点に設置されています。この1台と他のアンテナを使って、広いアンテナ間隔での干渉計試験が実施されています。[画像:ALMA(ESO/NAOJ/NRAO), J. Guardia(ALMA)]

追悼

森田耕一郎教授



2012年5月7日早朝（現地時間）、国立天文台チリ観測所所属の森田耕一郎教授（享年58）が、不慮の事故で逝去されました。謹んでご冥福をお祈り致します。

森田耕一郎教授は、1980年代、野辺山宇宙電波観測所でミリ波干渉計の建設に従事し、複数のアンテナを組み合わせる一つの望遠鏡として動作させる「開口合成法」の研究において世界を代表する研究者の1人でした。2000年代になり、日米欧共同プロジェクトであるアタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計「アルマ望遠鏡」計画に参加し、日本が分担する「アタカマコンパクトアレイ」のアンテナ16台の配列設計を行い、アルマ望遠鏡の性能を最大限に引き出すためのミリ波サブミリ波帯での画像の高画質化の研究において多大な業績を残されました。その後、2010年にチリに設置された合同アルマ観測所のメンバーとなられ、アルマ望遠鏡のシステム性能評価を行うチームのリーダーという中心的な立場で国際的に活躍されました。



アルマ望遠鏡山麓施設では、森田教授の突然の逝去を悼み、アルマ望遠鏡プロジェクトパートナーの半旗が掲げられました。

●サンティアゴで行われた追悼会

5月14日、合同アルマ観測所（JAO）サンティアゴ中央事務所で追悼会が行われました。アルマ望遠鏡の山麓施設（OSF）とはテレビ会議で中継され、ご遺族のほか、あわせて約80名のJAO職員、日米欧の現地スタッフが参列しました。



JAO サンティアゴ中央事務所で行われた追悼会のようす。司会進行は、JAO 所長の Thijs de Graauw 氏。

●国立天文台で行われた追悼式典

6月22日、国立天文台三鷹キャンパスで追悼式典が行われました。台内外から森田教授に縁の深い方々が集まりました。式典は林正彦（国立天文台長）からの式辞で始まり、長谷川哲夫（国立天文台チリ観測所長）から森田教授の経歴・業績紹介がされ、佐藤勝彦（自然科学研究機構長）、観山正見（前国立天文台長）から哀悼のことばが述べられました。続いて参列者全員が献花をし、教授の功績と暖かいお人柄を偲ぶひとときとなりました。



祭壇は、白い花で複数のパラボラアンテナと雪をいただくアンデス山脈が形作られました。

森田さんを偲んで

川邊良平（チリ観測所）

私がサンチャゴに到着したのは、5月8日（火）の早朝でした。森田さんが突然亡くなられた日の翌朝です。私が、その悲しい知らせを聞いたのは、チリへの移動中のアトランタ空港でした。頭が真っ白になり、何で森田さんがと、自問し続けていました。到着した早朝は、気温が高く春のようでもありました。しかし、私の目に映るサンチャゴは、モノトーンで色が全く死んでいました。この30年、森田さんとは野辺山の干渉計と一緒に仕事をし、そしてアルマを実現するために一緒に頑張ってきました。私も、チリに赴任して、完成から本格運用までを森田さんたちと一緒に見届けるつもりでした。そんな矢先の悲しい出来事に私は、立ちすくみ、混乱し、悲嘆しました。

森田さんや私が生まれた時代は、宇宙開発の創始期とシンクロしていました。スプートニク号は、私の生まれた年に打ち上げられ、人類最初の人工衛星になりました。スプートニク2号では、初めての動物である、ライカと名付けられた犬が人類に先駆けて宇宙を旅することになりました。しかし、回収されることなく軌道上を孤独に周り続けたその片道切符の旅や、アポロでの事故は、我々を悲しくもさせました。それでも、そのような時代は我々に宇宙へのあこがれや夢を与えてくれました。

森田さんに、電波天文の道に進むきっかけは何かと訪ねたことがありました。我々の野辺山の先輩である森本さんの

書かれた「電波望遠鏡を作る人々」を読んで、自分もそんな人になってみたくなったと言っていました。そして、実際森田さんは、夢だった望遠鏡を作る人の一人になりました。森田さんは、野辺山の干渉計やアルマのデザインに大きな貢献をしました。今年は、野辺山の30周年です。それを記念して、9月には、野辺山で記念式典を、そして12月には、箱根で国際会議を行うことにしております。森田さんは、日本に戻って来てそれらに参加するのを楽しみにしていました。森本さんについて、森田さんも失ったのは本当に痛恨の極みです。

私が到着した次の日には、森田さんの奥さん、そしてご子息をサンチャゴで迎えました。サンチャゴは急速に秋が深まり、冬の足音がして来ました。紅葉も終わり、セピア色の世界に変わって行きました。森田さんを乗せた「車」は、落ち葉の積もった道をゆっくりとゆっくりと移動し、セピア色の世界に溶け込んで行くようでした。

アルマ合同観測所の方でも、多くの方が悲しんでいました。お別れの会は、5月11日の土曜日に、そして追悼のセレモニーはアタカマの現場とTVで結んで5月13日の月曜日に行われ、多くの方が参加しました。タイス・ドフラウ所長は、森田さんのこれまでの功績を讃えるとともに、「アルマがある限り、森田さんもここにいる」と我々に慰めてくれました。アルマ観測所の人々は、奥様の思い出話に感動し、しかしいかに愛あふれ

るご家族だったかを思い悲嘆していました。

スプートニクとはもともと、「付随するもの」、旅の連れという意味だそうです。私は、森田さんの日本への帰還の最後の旅の連れとなりました。もう20年近く前の事ですが、野辺山の近くで森田さんが車の大事故で大けがをしました。その時は、私が電話連絡を受けて車ですぐ飛んで行き、病院まで送ることになりました。お見舞いに言った時に、「ベットに寝たきりなんだよ。おむつもされている。」と豪快に明るく笑っていた森田さんを思い出します。我々の間では、いつしか、「鉄人森田」と呼ばれるようになっていました。今回も、森田さんはわたしを呼び出したのでしょうか。森田さんのご家族とも旧知の仲です。連れとしては、適任だったかもしれません。しかし、もっと多くのことを森田さんと一緒に実現し、森田さんの笑顔を見て、そして新たなことを始めるために日本と一緒に帰って来たかった。アルマというパズルのなかで、森田さんの抜けたピースは誰も埋める事はできないでしょう。これからは私が連れとなって旅を続けることはできません。それを思うと本当に悲しいです。しかし、それでも前を向いて、森田さんの遺志を継いで森田さんのやり残した仕事もやり遂げることが、我々に課せられた事だと思っています。心から森田さんのご冥福を祈ると共に、ご家族ご親戚の方々には心からお悔やみを申し上げます。

01



01 アルマ望遠鏡山麓施設の日本のアンテナ建設エリアで。

02 野辺山ミリ波干渉計グループの集合写真。中央右から4番目が森田さん。

02





01

森田さん、その存在の大きさと魅力的な人柄

黒野泰隆 (チリ観測所)

2012年5月8日の早朝、森田耕一郎さんが亡くなったという知らせをメールで目にしました。私自身にとってだけのみならず、これからも建設が進んでいくALMAと電波天文学の将来の発展にとって、森田さんの突然の逝去は残念と、それ以外の言葉が見つかりません。

今から8年ほど前、私は修士学生として野辺山宇宙電波観測所のミリ波干渉計(NMA)グループに所属し観測研究をしていました。その頃、単一鏡である45m電波望遠鏡とNMAのデータを結合することによって、互いの観測的弱点を補って電波画像を生成する技術の検討が始まっていました。これに興味を持ち、技術研究を始めたことが森田さんとのその後の付き合いのきっかけとなりました。この技術確立に向けての試行錯誤には、干渉計イメージングだけでなく、干渉計観測システム全般の理解とシミュレーションに必要なデジタル画像解析に関する広い知識が必要とされました。当時まだそれらに対して勉強を始めたばかりの自分にとって、議論をして様々なことを学べる相手は鎌崎さんと森田さんくらいでした。この研究は博士課程の中心テーマの一つとなり、イメージング・シミュレーションと、数式計算を何度も繰り返し末にまとめあげることができました。その過程で、「やっぱりここはこうした方がいい」と何度も修正を加えられたもので、「はあ、またやり直しか」と思う時もありましたが、そういうこ

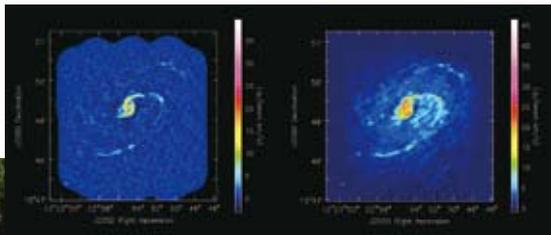
わりの姿勢が大事だということを学んだのです。また、何度か耳にした「イメージング・シミュレーションってのは言っちゃえば何でも試せる、調べられる。だから逆に難しい」という言葉。これらは森田さん自身のこれまでの経験を物語っていますし、それによって適切な筋道を示して指導していただけたのだと、改めて感謝するばかりです。さらにその成果を引っ提げ、国際研究会で森田さんと二人で参加し発表したのですが、私の発表の直前まで、心配なのか明らかにそわそわし、そして無事に終わるとホッとしたのか柔らかな笑顔を見せ、「良かったよ」と合格の言葉をいただきました。そんな素直な人柄は森田さんのひとつの大きな魅力でした。森田さんに指導を受けたこれらの経験は自分にとって大きな自信となって今の私を支えています。

最近までは、東大の大学院生である清兼君のALMAのイメージング精度の評価についての修士の研究と、私のACAについての評価の仕事の面等を見ていただけてきましたが、忙しい仕事の合間でも、午前の日本と夜のチリの間でskypeを通して頻繁に議論の時間を作っていたっていました。必ず、事前にこちらの送る議論の資料にしっかりと目を通し、丁寧に、時に厳しくもありながら的確なアドバイスをもらえる森田さんの存在、そこには確かな安心感がありました。しかし、森田さん自身は自分が指導している立場という意識はそれほど強くな

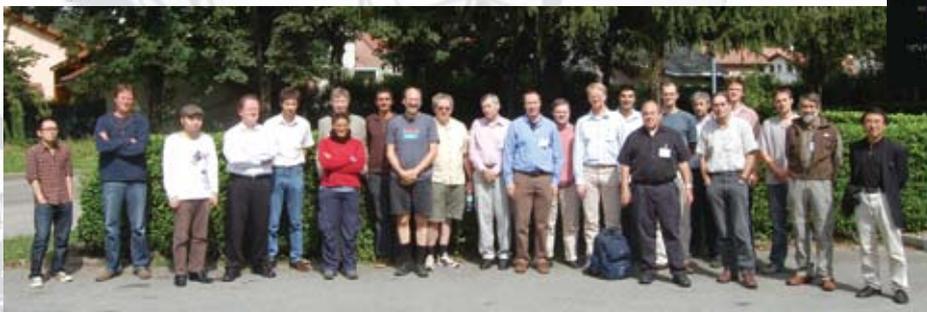
たのではないかと思います。「面白いねえ、僕もちょっと試してみようかな、遊んでみたいなあ」という言葉と嬉々とした表情に、自分の手を動かしたいという気持ちが現れていました。ALMAのCycle-1でのACAの運用方針や配列評価など、検討項目が明らかになるとすぐに自ら計算をしてレポートを出していたことに、森田さんのACAに対する思い入れの強さがよく分かります。森田さんが亡くなる直前ですが、ACAの試験データを使ったその効果を実証するM100銀河の電波画像をなんとか見せることができました。その報告に真っ先に“Very nice!”とコメントをくれたのは森田さんでした。その時、森田さんがどれほど嬉しい顔をしたか、容易に想像することができます。

私自身の研究課題は電波天文学に限ることのない“画像科学”がひとつのテーマになっています。「僕(チリにいて)行けないから、この研究会代わりに発表してきてよ」という森田さんの言葉をきっかけとして、他分野との交流の機会を持つことが多くなりました。本当に今の自分が、森田さんの影響を多大に受けていることを改めて感じます。私の他にも、森田さんの見識と人柄に助けられ、支えられた方はたくさんいるでしょう。これからも、何かの折に森田さんなら何と言うだろうか、と考えずにはいられない、多くの人にとって心の中の指針であり続けることと思います。

02



03



01 飲み席での森田さん(百瀬莉恵子さん撮影)。
02 渦巻銀河M100(NGC4321)の、一酸化炭素の波長2.6mmスペクトル線による電波強度のイメージ。左はALMA12m-arrayのみの画像。右は12m-arrayにACAを加えた画像。
03 フランス・グルノーブルでの研究会の集合写真。

森田耕一郎さんと ACA

長谷川哲夫 (チリ観測所)



01

私が森田耕一郎さんと初めて出会ったのは1980年の夏、中津川で開かれた天文天体物理夏の学校の準備のころだったと思う。この年は名古屋大学が当番で、森田さんは事務局を切り盛りされていた。当時(今でもそうですが)私は生意気盛りで、他大学にいながら企画に注文をつけたりして森田さんを困らせた。1983年に森田さんが野辺山宇宙電波観測所の助手として着任されてからは、森田さんはミリ波干渉計、私は45m望遠鏡のそれぞれ現場を担当する同僚として苦楽をともにした。以来30年あまり、途中職場が離れることはあったが、人生のほぼ半分となる年月を共有させてもらった。特に2000年暮れに私がALMA計画準備室のメンバーとして天文台に戻ってから、アルマ望遠鏡を日本が主体的に参加する形で実現させるいわば同志として、いっしょに仕事をさせてもらった11年半は、本当に貴重な時間となった。

特に印象深いのは2001年後半から2003年にかけて、アタカマコンパクトアレイ(ACA)の基本設計をしていた頃のことだ。日本が担当するACAはALMAが生み出す観測画像の精度を大幅に向上させるために構想されたALMAのサブシステムで、12台の7mアンテナと4台の12mアンテナから構成される。今ではだれも疑問を持たないこれらACAアンテナの口径や台数は、当時はまだよく決まっていなかった。アンテナの直径は6mが良いかもしれないし8mが良いかもしれないという具合である。米欧が先行して建設を始めている12mアンテナ50台からなる「12mアレイ」は、その大きな集光面積ゆえに、その視野におさまる見かけ上小さい天体を検出してその姿を解像する能力はすばらしいが、視野を超えて広がりを持つ天体の姿を再現することが不得意だ。この重大な欠点を解消する使命を負ったACAは、いったいどのような仕様であるべきか。森田さんは、それまで野辺山で蓄積した研究や経験をもとに、堤 貴弘さんとともに、アンテナの直径や台数、配列を変えながら多数のシミュレーションを行って、ACAの基本設計を追い込んでいった。原理的にはアンテナの口径を小さくするほど、広がった天体の再現能力が向上する。しかしアン

テナが小さくなる分台数は増えるので建設コストが高くなってしまいうえ、個々のアンテナのキャリブレーションも難しくなる。アンテナの直径を20cm刻みで変えてはシミュレーションを繰り返し、いろいろ悩んだ末に、森田さんは小さいアンテナの直径7.0m、台数は12台以上、アンテナの衝突半径はアンテナの半径の1.25倍以下、そして7mアンテナ群を取り囲むように12mアンテナ4台を配するというACAの基本設計を固めた。当時私は基本設計のとりまとめを担当していたが、森田さんと「こんな基本的な設計パラメータを自分で決められるなんて、設計者冥利に尽きるね」と話したのが昨日のこのように思われる。

時は移って2010年10月、森田さんは国際ALMA観測所(JAO)の首席システム評価科学者としてチリに赴任してこられた。日米欧のチームが知恵を絞って設計し、技術の粋を尽くして製作したALMAの装置群が、システムとして組み合わされたときに果たしてその要求性能を達成しているかを評価するチームのリーダーという重責である。アメリカのVLAを建設したスラムックやネピアらとともに世界最高レベルの頭脳集団を構成してシステム評価計画を練り上げるとともに、JAOの若い現場スタッフともよく議論して人望を集め、システム評価という困難な仕事が軌道に乗ってきたところだった。まさにそのさなかの5月7日、森田さんはあの悪夢のような事件に巻き込まれてしまった。

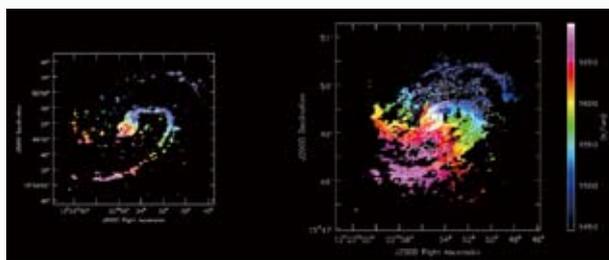
そのひと月前、ACAの能力を示す初めての画像が得られた。天体は渦巻き銀河M100。銀河の中の分子雲が放つ波長2.6mmのスペクトル線をとらえた広視野モザイクマッピングの結果

だ。図の左側は12mアンテナのデータだけから合成したイメージ、右側は12mアンテナとACAのデータをあわせて合成したイメージを示している。一見してわかるように、ACAのデータを含めたイメージは、渦巻きの腕ばかりでなく、腕と腕のあいだの淡い構造を描き出している。ガスの

運動を色で示した図(02)を見比べればそれは一目瞭然だ。この銀河のガスの分布や運動を、これだけの感度で細密に描写できたのは、もちろん初めてのことである。ALMAは天文学に革命をもたらす素晴らしい望遠鏡であるが、ACAはそのイメージング性能を格段に向上させることが実証されたのである。それは10年前に森田さんが悩んで決めたACAの基本設計が間違っていなかったことの証でもある。この絵を見るたびに、満足そうに笑みをたたえた森田さんの姿が二重写しになって見える。

来年早々に始まるALMAのサイクル1共同利用では、世界中の研究者が書いた観測提案書の中から選りすぐられた観測が、ACAを使いながら行われる。日本の、そして森田さんのACAが、世界の天文学を動かし始めるのはもうすぐだ。しかしこれはまだ始まりに過ぎない。ACAを含むALMAから、どれだけイメージング能力を引き出せるかは、それ自身大きな研究テーマの一つだからである。森田さんは生前よく、ALMAほど多数のアンテナがあれば、そのデータからイメージを再構築する計算アルゴリズムも、従来とはまったく違った発想のものになるだろうと言っていた。森田さんの頭の中にどんなアイデアがあったのかは今となってはわからないが、後を任された私たちは、森田さんに負けない革新的な考え方と実践とで、新しい地平を切り開いていかなければならない。

ALMAと、そして森田さんとともに、冒険はまだ続くのである。



02

01 サンチアゴの国際ALMA観測所(JAO)の森田耕一郎さんのオフィスは、日米欧、そしてチリ人のスタッフが持ち寄った花でいっぱいになった。

02 M100(NGC4321)の、一酸化炭素の波長2.6mmスペクトル線による電波のドップラー効果から測定したガスの運動を示したイメージ。p.33の画像と同様に左は12mアンテナのみによる観測データ、右はそれにACAのデータを加えて合成したイメージである。



森田さんの突然の訃報に接したのは、この号でお送りしている「特集・アルマ望遠鏡のすべて・後編」の核となる、アルマスタッフへのインタビュー記事の大筋がまとまりつつあるころでした。その記事の中には、森田さんのインタビュー記事も含まれていました。

昨年の9月、サンチアゴのJAOの森田さんの居室で、1時間以上にもわたって、アルマの魅力とそれがもたらすであろう科学的成果、そして日本の電波天文

学の発展について、いかにこのアルマ計画が重要であるのかを、ときに熱く、ときにユーモアたっぷりに、語っていただいた姿を思い出します。インタビューに応じていただいたみなさんの中でも、ひとときわ、アルマに対する強い思いが感じられる森田さんが印象的でした。いま、手元に、幻となった森田さんの記事があります。それはもはや永遠に未完成ではありますが、その中から、最後のことばをご紹介します。[(Q3アルマの今後に期待することを教えてください) ●アルマの一部として日本が担当して作る「いざよい」で、実際に思った通りの貢献が出来る、データをとってみたい、やはり「いざよい」はこれだけ凄い、ということを確認することが当面の目標ですね。サイエンスでやり

たいこともあるけど、絶対に達成しないといけないと思っているのはそれ。「いざよい」で生成されるデータはアルマ本体に負けず精度の高いものを作らなければいけない。後ろ指を指されないためにも頑張らなくてはと思います。で、それが達成できたら、私はどちかと言うと画像処理が得意なので、大量の画像を使った仕事がやれないかな、と。大きな画像データで、速度方向のデータも持ったガスの情報を使って、時間変化を追って見たり、空間的ないろいろな構造を抽出すると、細かく見るだけでは分からなかったことが見えてくると楽しいと思いますね。とはいえ、まずはアルマを作りきらないと。しばらくはここで頑張りますわ。ワインを飲み過ぎないように注意して」。

●故森田耕一郎教授遺児育英基金のおしらせ

2012年7月10日、国立天文台では故森田耕一郎教授遺児育英基金を設立いたしました。台外からのご厚意も受け付けております。
募金額：一口2,000円／募金期限：平成24年12月31日

●くわしくは、http://alma.mtk.nao.ac.jp/j/news/alma/2012/0710post_437.html または事務局へお問い合わせください。
〒181-8588 東京都三鷹市大沢2-21-1 国立天文台 渡部潤一
Email: jun.watanabe_atmark_nao.ac.jp Tel & Fax: 0422-34-3600 (内3638)

編集後記

- 夏の到来とともに大雨情報、台風情報が気になる今日この頃です。(O)
- 満を持してのアルマ特集後編。いろんな人のいろんな想いを載せて、アンテナ群は今日も踊ります。(h)
- 雲を避けるよう車で移動して、金環蝕はきれいに見ることができました。残念ながら金星日面通過は雲のため見るできませんでした。(e)
- 6月から2か月間アメリカの山の上の観測所に長期出張しています。自然に囲まれた静かなところで研究生活を送ることができるありがたさをかみしめています。ただ、熊の出没には衝撃を受けました。(K)
- 梅雨入りしたとは言えど、あまり雨降らず。地方の天気予報でも渇水が心配です。昭和40年頃の水供給事情で今の大都市を支えるのは問題ありと思えますが、如何に。(J)
- いよいよ夏本番。先日人込みを覚悟して花火を見に行きました。せっかくなので射上場の真横まで行ってみましたが、やはり近くで見る花火は迫力が違いますね。体中に痺れの余韻を感じながら帰路に就きましたが、帰る人の大渋滞に痺れを切らしてしまいました。(κ)
- キュリオシティが着陸に成功。よくまあ、あんなに複雑なプロセスを成功させたものだ、と感心しきり。(W)

国立天文台ニュース
NAOJ NEWS

No.227 2012.06
ISSN 0915-8863
© 2012 NAOJ
(本誌記事の無断転載・放送を禁じます)

発行日 / 2012年6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) / 岡田則夫(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をお願いいたします。
なお、国立天文台ニュースは、http://www.nao.ac.jp/naojnews/recent_issue.htmlでもご覧いただけます。

次号予告

7月号は、「太陽」の大特集！ 太陽観測衛星「ひので」や野辺山ヘリオグラフの成果をはじめ、金環日食・金星太陽面通過のフォトギャラリーまで。
お楽しみに！

リーフラー時計

松田 浩 (天文情報センター)

アーカイブ・メモ

品名：リーフラー振り子時計
 製作：No.358号(1913年製) / No.461号(1927年製)：
 ともにClemens Riefler社(Munchenドイツ)
 所在地：国立天文台三鷹地区

公開状況：一般公開され、見学することができます。No.358号は天文機器資料館の写真天頂筒前に展示。No.461号はレブソルド子午儀室に展示。

振り子時計は、1582年にガリレオが発見した振り子の等時性を応用して、1657年にクリスティアーン・ホイヘンス(Christiaan Huygens 1629-1695 / オランダの数学者、物理学者、天文学者)によって作られた。その後、ジークムント・リーフラー(Sigmund Riefler 1847-1912 / ドイツの物理学者、発明家、精密時計職人)が1889年に発明し、特許を取得した自由脱進器によって精度が飛躍的に向上した。振り子はそのままにしていると止まってしまうが、これは振り子の空気抵抗や、回転軸の摩擦などによるもので、脱進器はこうした影響で振り子の振幅が減衰しないように、かつその振れ方を乱さないように、タイミング良く力を与えるしくみである。また、時計の駆動力となるおもりを電磁石の働きで30秒ごとに復帰させ、駆動力を平均化し精度の安定に寄与している。さらに振り子の材料に温度による伸縮がほとんどないインバー材を用いたり、空気が振り子に与える影響をなるべく少なくするように、文字盤の部分は半球状のガラスとし、下の振り子部分は下方が閉じた管で覆い、その接合部にグリスを塗って気密性を上げて、時計全体を大気圧より低くするために排気ポンプで吸い出していた。このような数々の工夫によって、1日の誤差は1 / 100秒に達した。リーフラー天文時計は、その安定した精度により世界中の天文台や研究機関で635台が活躍し、水晶時計、原子時計が発明されるまで標準時計として使用された。

日本では明治38年に天文台が導入の後、増設され、水晶時計が整備されるまでの約30年間、旧東京天文台の天文時部で中央標準時のマスタークロックとして活躍した。しかし、地震の多い我が国では、その仕組みから振り子はその影響を受けて進み遅れがでたり、止まったりすることも少なくなかったため、精度は劣るが震動の影響を受けにくいクロノメーターも補助的に用いられた。

東京天文台の古い資料には大正3年2月9日の横浜税関あての通関申請書があり「クレメンス・リーフラー社製天文時計 金式千五拾円也」との記述がある。クレメンス・リーフラー社は、父親クレメンスからジークムントと彼の2人の兄弟、アドルフとテオドールに受け継がれた精密振り子時計とコンパスなど製図用具の会社である。



図1 No.461号の全体像。文字盤部は半球状のガラスで覆い、下の振り子部分は管に納められている。



図2 (左) 文字盤のアップ。(右) 文字盤をはずした機械部のようす。

天文振り子時計(当時は時辰儀とも)は時刻、位置天文観測に使われた精密な時計である。また時刻の基準時計として保時、報時のためにも使われた。「大正13年当時、三鷹の有線報時で銚子、船橋の無線電信局へ通報すると自動で船舶用に無線報時が行われ、東京中央郵便局を経て全国の電信局、港に停泊している船に時刻を知らせる報時球信号所(横浜、神戸、門司)、東京市の号砲信号所などに報時が行われた。連合子午儀(パンベルヒ子午儀など)が曇天続きで観測が出来ない場合でも、正確な時刻を保つため、リーフラー標準時辰儀を報時室の地下室に置く。この部屋は壁をコルク張として温度低下、湿度の侵入を防ぎ、温度変化に対しては自動的に電熱器で温度を調整するようになっていた…(意識)」と当時の天文月報にある。

くろくにくろ