

自然科学研究機構

国立天文台  
NAOJ

# 国立天文台ニュース

National Astronomical Observatory of Japan

2013年2月1日 No.235

## 特集 野辺山宇宙電波観測所の30年



- 所長として30周年を迎えて—久野成夫
- 野辺山から世界へ—野辺山宇宙電波観測所30周年記念講演—海部宣男
- 幸運をもたらしたもの—中井直正
- 研究トピックス：天の川銀河の中心部で「ぶたのしっぽ」分子雲を発見
- 「野辺山宇宙電波観測所30周年記念式典」報告
- New Trends in Radio Astronomy in the ALMA Era  
—The 30th Anniversary of the Nobeyama Radio Observatory—報告

2

2013

- 表紙
- 国立天文台カレンダー

## 03 特集 野辺山宇宙電波観測所の30年

- 05 所長として30周年を迎えて—久野成夫
- 06 野辺山から世界へ—野辺山宇宙電波観測所30周年記念講演—海部宣男
- 16 幸運をもたらしたもの—中井直正

## 18 研究トピックス

天の川銀河の中心部で「ぶたのしっぽ」分子雲を発見  
— 岡 朋治 (慶應義塾大学)

## 04 おしらせ

- 「野辺山宇宙電波観測所30周年記念式典」報告
- New Trends in Radio Astronomy in the ALMA Era  
—The 30th Anniversary of the Nobeyama Radio Observatory—報告

## 22 連載 Bienvenido a ALMA ! 24回

魂の彷徨—野辺山からアルマへ  
— 川邊良平 (チリ観測所/JAO “Chief Scientist”)

## 23 訃報 藤田良雄先生

## 23 人事異動

- 編集後記
- 次号予告

## 24 シリーズ 国立天文台アーカイブ・カタログ11

ゴーチエ子午環  
— 中桐正夫 (天文情報センター)



表紙画像

八ヶ岳(主峰・赤岳)をバックにした野辺山宇宙電波観測所・45メートル・ミリ波望遠鏡

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)



東京・調布で撮影したカノープス(撮影:福島英雄)。

## 国立天文台カレンダー

## 2013年1月

- 4日(金) しぶんぎ座流星群極大
- 8日(火) 台長新年挨拶
- 10日(木) 天文情報専門委員会
- 11日(金) 運営会議/4D2Uシアター公開/観望会
- 15~17日(火~木)「すばる」ユーザーズミーティング
- 17日(木) 幹事会議
- 16日(水) 総研大専攻長会議
- 26日(土) 4D2Uシアター公開/観望会
- 31日(木) 安全衛生委員会

## 2013年2月

- 1日(金) 幹事会議
- 4日(月) 研究計画委員会
- 8日(金) 4D2Uシアター公開/観望会
- 11日(月) スターアイランド2012(VERA小笠原局特別公開)
- 20日(水) 総研大専攻長会議
- 21日(木) 安全衛生委員会
- 22日(金) 幹事会議
- 23日(土) 4D2Uシアター公開
- 28日(木) 教授会議

## 2013年3月

- 1日(金) 電波専門委員会
- 4日(月) 運営会議
- 7日(木) 光赤外専門委員会/研究交流委員会
- 8日(金) 幹事会議/4D2Uシアター公開/観望会
- 15日(金) 太陽プラズマ専門委員会
- 23日(土) 4D2Uシアター公開/観望会
- 27日(水) 総研大専攻長会議
- 28日(木) 安全衛生委員会
- 29日(金) 幹事会議/退職者永年勤続表彰式

# 特集 野辺山宇宙電波観測所の30年

協力：野辺山宇宙電波観測所

2012年に開所30周年を迎えた野辺山宇宙電波観測所では、さまざまな記念行事が行われました。この特集では、ミリ波天文学を切り拓き、日本の電波天文学を世界の第一線に引き上げた、野辺山宇宙電波観測所30年の歴史を振り返ってみることにしましょう。

## 所長として30周年を迎えて

久野成夫（野辺山宇宙電波観測所所長）

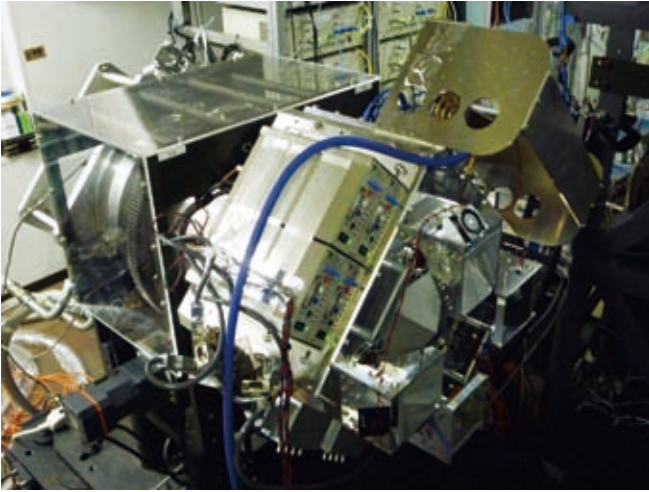


野辺山宇宙電波観測所（以下NRO）は、昨2012年で30周年を迎えることができました。これも諸先輩方、関連業者の方々をはじめとする野辺山宇宙電波観測所に関わってこられたすべての皆さんのおかげであり、心より感謝いたします。

45m電波望遠鏡は、現在も新たな観測装置の開発が進められており、ミリ波単一鏡として、いまなお世界最高レベルの性能を誇っています。老朽化に伴い、さまざまなトラブルも発生してきましたが、そのたびに関係者が一丸となって対応してきました。マスターコリメータ、制御系・駆動系装置など主要な部分の改修も済みました。一方で、国立天文台内の他プロジェクトや大学とも協力し観測装置の性能向上も進めてきました。アルマ望遠鏡で開発された技術を取り入れた2SB受信器TZ、超広帯域分光計SAM45、水沢VLBI観測所

と協力して開発した高速A/D変換機PANDAなどからなる新観測システムを立ち上げました。この新観測システムによって、遠方銀河の観測や系外銀河のラインサーベイなど、これまではできなかった高感度・広帯域の観測が可能になっています。さらに新マルチビーム受信機FORESTの開発も進んでおり、これを使って銀河面のCOサーベイ、近傍銀河のCOマッピングサーベイ、近傍分子雲の広域マッピングといったNROレガシープロジェクトも計画されています。これらのプロジェクトには、大学院生を中心に多くの大学にも参加してもらい、装置開発だけでなくサイエンスの面でも連携を強めて、電波分野の若手育成に役立てていければと思います。

NRO30周年の年に、ALMAの部分運用が始まり、科学的



ALMA で開発された技術を利用して、大阪府立大との協力で開発が進められている 45 m 鏡用新マルチビーム受信機 FOREST。4 ビーム × 2 偏波 × 2 サイドバンドが同時に観測可能（14 ページ参照）。

成果が始まるという NRO にとっても大きな出来事がありました。1992 年に NRO スタッフによる最初の現地調査が行われてから、ちょうど 20 年になります。その間に、NRO ユーザーズミーティングで、ALMA の開発を進めていくうえでミリ波干渉計をどうするかという熱い議論が何回か交わされ、最終的にミリ波干渉計は 2007 年に共同利用を終了することになりました。現在では、一部を単一鏡として大学に利用してもらっています。一方で、サブミリ波観測の開拓のため、ASTE 望遠鏡が野辺山に作られ、その後、南米チリに移設され大学と共同で運用されています。現在はチリ観測所の所属となり、共同利用を強化することを目指しています。多くのユーザーが ALMA につながる成果をあげられることを期待します。

私自身は、東北大の大学院生時代に受託院生として野辺山

で研究を始めさせていただいてから現在まで、気が付けば 20 年以上、NRO にお世話になり、記念すべき 30 周年の年に、とうとう所長まで務めさせていただくことになりました。まさかここまで長いお付き合いになるとは、もちろん想像もしていませんでした。

私が受託院生として野辺山に来たのは 1991 年で、大学院生は東大から来ている人がほとんどでした。私は NRO で 2 番目の他大学からの受託院生だったと記憶しています。実際は、当時 NRO の研究員だった大学の先輩のおかげで、それ以前から正式な手続きもなしに NRO のプロジェクトに参加させていただき、45 m 鏡のデータを使って修論を書かせていただきました。観測装置を持たない大学の大学院生であった私にとって、世界最高性能の電波望遠鏡に触れ、そのデータを扱えるのは貴重な経験であり非常に良い刺激になりました。また、装置開発の経験が全くなかったにも関わらず、45 m 鏡搭載用の観測装置（ポロメータアレイ）の開発で博士論文も書かせていただきました。これらの経験は、観測所に来たからできたもので、その経験があったからこそ研究者として現在までやってこられたと言えます。今も多くの大学院生が観測所のレガシープロジェクトに参加して、実際に 45 m 鏡による観測を行っています。また、45 m 鏡用の観測装置の開発にも参加してもらっています。現在では、大学で電波望遠鏡を所有する例も増えてきましたが、やはり第一線で活躍する 45 m 鏡は別格であり、彼らにとっても貴重な経験になることを期待しています。



ALMA の ACA 相関器と同じタイプの新分光計 SAM45。最大 2 GHz × 16 IF の周波数範囲をカバーできる（14 ページ参照）。

外国の観測所に目を向ければ、パークス 64 m 鏡やエフェルスベルグ 100 m 鏡のように 40 年以上活躍しているものもあり、我々も大学や企業の皆さんとうまく連携し、いろいろなアイデアを取り入れながら、今後も進化し続ける観測所でありたいと思います。また、これからは ALMA が電波天文の中心となることは間違いありません。そのような中で、日本の電波天文の発展のために NRO としてどういう役割を果たしていくべきかをよく考えていきたいと思っています。今後とも皆様のご支援、ご協力をよろしくお願い致します。



水沢 VLBI 観測所と協力して開発した高速 A/D 変換機 PANDA。

## 「野辺山宇宙電波観測所30周年記念式典」報告

衣笠健三（野辺山宇宙電波観測所）

野辺山宇宙電波観測所では、1982（昭和57）年に開所してから2012年で30年になることを記念して、2012年9月26日（木）、山梨県北杜市大泉町のハヶ岳ロイヤルホテルにおいて、開所三十周年記念式典、記念講演会および祝賀会を行いました。

文部科学省研究開発局宇宙開発利用課・飯野美智子専門官をはじめとして、装置、運用関連業者や南牧村長、機構理事、台長、観測所職員、OBなど電波天文関係者ら約160名の参加がありました。

最初に、自らの体験と重ねながら、野辺山宇宙電波観測所を「日本の現代天文学の母」と称した林正彦台長による式辞がありました。その後、久野成夫所長からこの10年の観測所の歩みと成果の紹介、さらに将来展望についての観測所紹介がありました。続いて、これまでの観測所の歩みを振り返りながら、これからの観測所の展望と期待を込めての戸谷文部科学省研究開発局の祝辞（代読：飯野専門官）がありました。その後、林台長から観測所の設立や運営に貢献した関係団体への感謝状の贈呈がありました。ま



出席者全員による記念撮影。

た、頂いた多くの祝電の一部が紹介されました。以上のような式典の直後に着席のまま撮影した集合写真が上にあります。参加者の表情から、式典等の和やかな雰囲気わかりますでしょうか。

このような式典の後に、観測所開設に多大な貢献をされた現国際天文学連合会長である海部宣元元台長による「野辺山から世界へ—宇宙電波観測所の三十年」と題した講演を行って頂きました。内容としては、「観測所の計画と建設」「野辺山が天文学に残したもの」「野辺山が日本の天文学に残したもの」「これからの野辺山と天文学」といった構成で話して頂きました。その中の「計画と建設」において「世界に追いつき追い越そう」という大目標のもとに「『世界一の望遠鏡を作ろう』」を合言葉として、大勢の人が知恵を出し合って、45メートル電波望遠鏡の建設に取り組んだ」と開設時の様子を振り返って頂きました。「野辺山が残したもの」として30年にわたる主な研究成果の紹介とともに、それらがVERAやALMAへの礎となったことと言及されました。さらに、人材育成、コミュニティ形成とともに、研究者が技術開発を行うことや、広報普及を行うことといった姿勢などを日本の天文学に広めたといったことにも言及されました。最後に、今後の観測所の役割や期待についても触れられて、日本の宇宙電波の中核としての今後の観測所での活動にエールを送って頂きました（6ページ参照）。質問の時間では、アンテナ建設やサイト決定までの苦労話や思い出話などをときに脱線話も交えて楽しく語って頂きました。所員にとっては、改めて多くの方々が携わってきた観測所であることを実感する機会であると同時に、たいへん力強い励ましを頂くといった貴重な時間とな

りました。

その後、夕刻より祝賀会が催されました。ユーモアたっぷりの渡部副台長による挨拶のあと、三菱電機OB塚田氏、祖父江明星大教授、木下機構理事よりそれぞれの立場からなかなか聞く事のできない貴重な野辺山での苦労話や思い出話を交えながら祝辞を頂きました。地域連携について言及された菊池南牧村長の発声で乾杯をし、歓談に移りました。歓談中にも関係企業やOBなどの関係者によるスピーチを頂きました。特に、故森本名誉教授夫人である森本せつ氏からのなれそめにまつわる暴露話では会場が多いに盛り上がりました。

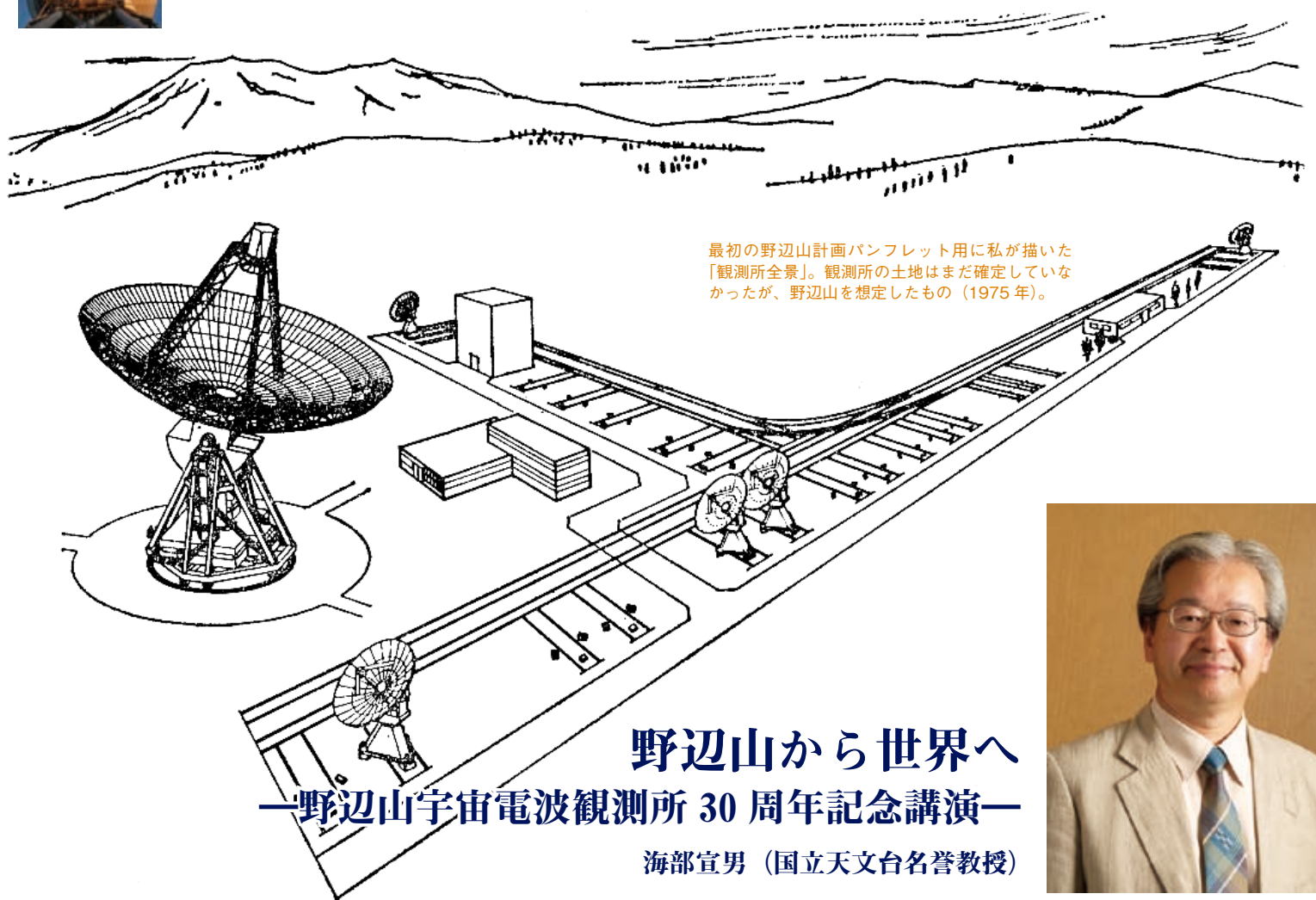
式典から祝賀会に至るまでたくさんのスピーチがありましたが、「自分は祝っている方なのか、祝われている方なのか分からない」といったコメントが多く、多くの参加者が観測所の身内であるという意識を持った集まりであることを実感しました。とりわけ祝賀会においては、しばらく会っていない旧友に出会ったというような様子で、昔話に花を咲かせたり、近況報告をしあったりといった光景があちこちで見られ、終始和やかな雰囲気のまま時が流れ、盛大に観測所の30周年を祝うことができました。多くの参加者からの激励や応援を受ける事ができ、観測所のメンバーも大いに励まされた時間となったのではないのでしょうか。



故森田耕一郎教授のコーナー。



①記念式典にて式辞を述べる林台長。②式典にて観測所紹介をする久野所長。③記念講演を行う海部元台長。



最初の野辺山計画パンフレット用に私が描いた「観測所全景」。観測所の土地はまだ確定していなかったが、野辺山を想定したもの（1975年）。



## 野辺山から世界へ —野辺山宇宙電波観測所 30 周年記念講演—

海部宣男（国立天文台名誉教授）

★この記事は、海部さんが『野辺山宇宙電波観測所 30 周年記念誌』に寄稿された原稿を再録したものです。なお、記念誌については13 ページを参照してください（『国立天文台ニュース』編集部）。

●野辺山宇宙電波観測所 30 周年記念式典に際し記念講演の機会を頂いたので、日本の観測天文学の飛躍の出発点となった野辺山の電波望遠鏡建設とその意義、そして今後についてお話した。本稿は、講演の草稿（記念式当日配布されたが、誤記もあり不十分で恐縮です）に実際の講演を反映し、日本の天文学の歴史のひとつコマとして残しておきたい事項を加えたものである。私の個人的な経験・見解が濃い点は、お許し願いたい。野辺山の観測所や日本の天文学に関心を持たれる方、また若い研究者にとっても若干の参考ともなれば幸いである。

### ■ 1. はじめに

野辺山高原に巨大な土木機械が入って建設の槌音が響き始めたのは、1978 年である。口径 45m の高精度大型電波望遠鏡計画が日本学術会議天文学研究連絡委員会に提出された 1968 年から、10 年。赤羽賢司さん、森本雅樹さんのお二人が先頭に立ち、当初大学院生で飛び込んだ私も構想や基本設計に参加して作り上げた、日本で初めての世界最高レベルの望遠鏡計画だった。目標は大きく、未開拓の最短波長電波領域であるミリ波で、当時発見され始めたばかりの宇宙のさまざまな分子の電波を分光観測し、星の形成過程や銀河系の構

造など、宇宙の新しい観測分野を開拓しようというもの。米国の口径 11m が最大だったミリ波観測用の高精度電波望遠鏡で、一気に 45m という大口径の実現を目指した。

総額 110 億円は、当時の日本の基礎科学で最大の計画である。弱小だった日本の天文学分野で、しかも東京天文台の小さな宇宙電波グループによる大構想が実現したのは、赤羽さん・森本さんなど当事者の奮闘はもちろんだが、構想したサイエンスの新鮮さと大きさが、伏見康治元学術会議会長など当時の物理学のリーダー諸先生の共感を得たことが大きい。そして、三菱電機など企業の技術陣と徹底的に議論検討を重ねた前人未踏の高精度化のアイデアと技術、また後で述べる 6m ミリ波望遠鏡の実績が、モノを言った。

野辺山宇宙電波観測所が開所した 1982 年から、今年で 30 年。私にとっても、計画・建設・観測にがむしゃらに働いた野辺山での 10 数年は、何ものにも代え難い青春時代の宝である（図 1）。

### ■ 2. 野辺山宇宙電波観測所の建設—日本に世界一の望遠鏡を

#### ●発想から開発・建設へ

「世界一の望遠鏡を作ろう」が、私たち宇宙電波グループ



図1：野辺山宇宙電波観測所全景。

の、そして建設を請け負った三菱電機や富士通など多くの企業の技術者たちの合言葉だった。今、「ノベヤマ」は世界中の天文学者が知っている。もちろん優れた観測成果を生みだしてきたからで、実際、海外から多くの天文学者が観測に訪れたり、共同研究をしている。優れた観測成果を生むには、望遠鏡や受信機など付属装置、システムが優れていなければならない。45m電波望遠鏡は、今でも波長3mm近辺のミリ波の観測では世界最大の電波望遠鏡と言ってよい。30年間世界一の座を保つのは競争が激しい天文学では珍しいことだが、思い切ったアイデアによる設計で、当時としてぬきんでた大口径と高精度を実現したからである。

アイデアの第一は、米国のフォン・ヘルナーの理論を実際に応用しようと森本さんが持ち込んだ、「ホモロガス変形法」である。巨大なパラボラ型の主鏡が天体を追って仰角を変えると、自重で変形し、電波を集める精度が落ちてしまう。その基本的な大問題が、これで解決された。数学的に言えば、鏡面はパラボラでありさえすれば、宇宙からの電波を反射して1点に集めることができる。そこで鏡面を支える鉄骨トラス構造の強度分布を対称化し最適化することで、「パラボラからパラボラに変形させる」ことを目指したのである(図2)。十分な計算機もなかった時代にそれを実現する難題について議論や実験を重ね、三菱電機の技術陣が先進的な計算と精密工作で見事にやり遂げた。

もうひとつの大問題は、天体を追う追尾精度である。巨大で柔らかい構造が空のどこを向いているのかを、非常に正確に知らなければならない。私たちは、オーストラリアのパークス64m電波望遠鏡(長波長の電波観測用)の機械式座標変換装置をヒントに、「マスター・コリメータ」と呼ぶ新しい指向方式を考案して、この大問題を解決した。望遠鏡の水平回転軸に、望遠鏡を支える架台とは独立に固定柱(コリメータ・タワー)を立て、その上にコンピュータ駆動で空の任意の方向を向く精密光学装置(コリメータ)を置く。直径45mの主鏡はこのコリメータ(これが「マスター」)から出る光ビームと鏡を介して結合されて、それとピッタリ同じ方向を向くように駆動される。つまり、45mパラボラが「スレーブ」である。これで、45mパラボラの中心軸を空の任意の方向に高精度で向け、天体を追尾することが可能になった。測量機メーカーの測機舎に制作を依頼し、私と三菱電機の榊原さんが測機舎大井松田工場に100回以上も通い、高精度と機動性の両立、精密角度読み出しなどに苦心の末、完成した(図3)。

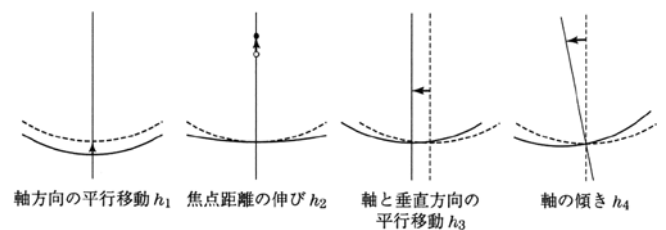
主鏡の温度変形も、大問題だった。電波望遠鏡は昼も観測するから、太陽の放射熱で主鏡面が変形してしまう。それを

防ぐため、三菱電機の塚田さんが奮闘し、電波を反射する600枚の電波反射パネルを、温度変形が極めて小さいカーボンファイバで制作した。主鏡骨組の熱変形は、断熱材でカバーして内部に風を回す方式を私が立案し熱基本設計を行ったところ、うまく抑え込めることが分かって、世界でも最初の断熱材でくるんだ望遠鏡になった。

そのほか、レーザーを利用した鏡面形状測定装置と700個のモーターを組み合わせた鏡面自動測定・調整システムや、受信した電波を大きな下部機器室に落とし込んでさまざまな観測波長用の受信機を自由に選択するビーム伝送システム、後述の音響光学型電波分光計など、新機軸が満載だった。45m電波望遠鏡建設中の1980年、研究会の途上に、野辺山にやや遅れてスペインに30mミリ波望遠鏡を作り始めていたドイツのマックス・プランク電波天文学研究所を訪ねた。幹部との会合で45m電波望遠鏡の設計・製作の講演をしたところ、はじめ高をくくって聞いていたメツガー所長が、だんだん目を剥いて身を乗り出してきた。この話を幹部以外にも聞かせるべきだということになって急きょ談話会が設定され、大勢の前でもう一度話をしたことを思い出す。彼らのフェアさにも、感心した。

45m電波望遠鏡は野辺山宇宙電波計画の目玉だったが、同時に建設されたミリ波干渉計も、世界トップを争う最新の望遠鏡だった。空間分解能が不足する電波望遠鏡の性能を補うため、小さめのパラボラをたくさん離して置いて天体からの電波を同時に受信し、受信電波を一か所に集めて電波画像として合成するのが、電波干渉計である。当時はまだ波長が2cm程度よりも長波長の電波でしか実現していなかったが、それをミリ波でという思い切った計画だった。

口径10mの高精度パラボラを5台、南北数百mのレールに沿って設置し、さまざまな配置で観測する。太陽電波の干渉計では第一線だった名古屋大学空電研究所の電波グループが担当することになり、石黒正人さん、森田耕一郎さん(2012年5月、アルマ建設中のチリでの不慮の事故で逝去)たちが野辺山にやってきて、奮闘した。パラボラの精度だけでな



ホモロガス変形法概念、 $h_1 \sim h_4$  がホモロガス・パラメータ。

図2：ホモロガス変形法概念(赤羽、森本、海部『科学』40, 12, 1970)。



図3：建設中の45mミリ波望遠鏡。鏡面の反射パネルはまだ貼られていない。



図4：野辺山5（のちに+1）素子ミリ波干渉計。

く、移動や設置の精度、各パラボラから電波を集める間の精度の維持など、また違った工夫が必要だった（図4）。

### ●野辺山宇宙電波観測所の完成

調整と試験観測を重ねて、45m電波望遠鏡がミリ波を観測できる高精度にほぼ仕上がっている事を示す最初の確証を得たのは、1982年1月のカチカチに冷え込んだ朝だった。その時の何ともいえない安堵感は、文字通り命がけで建設に取り組んできた私たちにとって、忘れることが出来ない記憶である。そんな立ち上げの時期に思いついたのが、装置の仕上がり状況や試験観測の成果をいち早く関係者に伝える、手書きの「NRO速報」（図5）である。すぐにそれぞれの担当者がどんどん書くようになり、号を重ねながら長く発行され、やがて印刷版「NROニュース」ともなって観測所ミニコミ紙の役割を果たした。

1982年3月の開所式に向けて試験・調整を必死に進め、受信機やソフトウェアを立ち上げて、この年12月には試験的共同利用観測を始めるという早さだった。最初の観測オペレータは森本さんと私の二人しかできる人がいなかったから、36時間交代という無茶をやった。ミリ波干渉計の共同利用はやや遅れ、1987年からである。こうした野辺山宇宙電波観測所の建設にまつわる話は、拙著『電波望遠鏡を作る』（大月書店、1986年）に詳しい。公的な記録は東京天文台年次報告、また簡略ではあるが『日本の天文学の百年』（恒星社厚生閣、2008年）181ページ以降を参照されたい。『天文月報』には、個々の報告が多くある。

野辺山宇宙電波観測所の初代観測所長は、名古屋大学空電研究所から建設に参加し、土木工事を指揮された田中春夫さんで、その後赤羽さん、森本さんと続いた。開所当時の観測所の人員は、研究、技術、事務、食堂など全部でわずか30人ほどである。米国の国立電波天文台（NRAO）は、300人。



図5：オリオン星雲の水蒸気メーザー初検出を伝える手書きNRO速報第5号。この時は22GHzと比較的長波長で、向けるや否や即受信の楽勝だった。上記1月の「ミリ波受信テスト」は88GHzのSiOメーザの受信試験で、苦労した。

建設も運用もこの少人数でこなさなければならなかったし、不足なところも多かった。

とは言いながら、地元野辺山の方々の温かい支援があり、まさきに現地にのり込んだ一人である川合さんはじめ、事務室・食堂・技術等で地元から参加された皆さんや、大学院生、常駐のメーカーのスタッフも含め、観測所の雰囲気は活気にあふれ、和やかなものだった。何かといえば、全員集合のバーベキューや飲み会（図6）。たまの休暇には花見に遠出したり、大勢で八ヶ岳に登ったり。その中で、多くの若い天



図6：野辺山観測所でのバーベキュー。



図7：1987年、仁科記念賞受賞の知らせを受けた時の森本さんと私（故鈴木博子さん写す）。

文学者や技術者が育った。1980年代後半から10年以上続いた英国との日英赤外線・ミリ波天文学研究協力をはじめとして、海外との交流も目覚ましく発展した。1987年に森本さんと一緒に仁科記念賞を（図7）、1998年には日本学士院賞を頂いた。学士院賞の時は野辺山で盛大にお祝いをしていただいたのも、嬉しい事だった。私がすばる望遠鏡の建設のため住み慣れた野辺山を離れたのは、1990年である。

## ■3. 宇宙の冷たい雲から星が生まれる—ミリ波天文学とはじめ

ここで少し時間をさかのぼってミリ波天文学の開拓時代について、そして野辺山宇宙電波観測所が日本の天文学にもたらしたインパクトについて、述べておきたい。

### ●三鷹宇宙電波グループと6mミリ波望遠鏡

1960年に岡山に完成した188cm光学望遠鏡によって、恒星の研究を中心に日本の近代的天体観測が始まった。しかし世界ではパロマ山天文台の5m望遠鏡などがはるかな銀河などの観測で活躍しており、日本の観測天文学はなお、開拓時代だった。太陽からの電波観測では畑中、田中、小田などの諸先生が1950年代初頭から世界に伍したが、世界で発展中だった宇宙電波では、観測に大口径の望遠鏡が必要だったこともあり、日本は全く出遅れていたのである。

それでも何とか宇宙電波に取り組みたいと、東京大学東京天文台（現在の国立天文台の前身）に赤羽・森本両氏による小さな宇宙電波のグループが生まれたのは、1960年代中頃である。ちょうどその頃、私は宇宙電波を志して大学院に入ったから、早速このグループに入れていただいた。そして日本





図8：三鷹に完成した6mミリ波望遠と私。日本初の宇宙電波望遠鏡だった。

には観測する電波望遠鏡がない事に、ショックを受けた。天文学では理論も重要だが、新しい宇宙像はやはり、観測から生まれる。思いがけない宇宙の姿を見せてくれるのは、新しい観測装置・望遠鏡である。赤羽さんと森本さんは、未開拓な電波領域であるミリ波なら、小さな望遠鏡でも新しい事がやれそうだと考えた。宇宙通信用のパラボラアンテナで不便な間借り観測をしながら八方手を尽くし、口径3.5mのミリ波用望遠鏡でクエーサー等を観測する計画に、東洋レーヨン科学振興会から800万円が認められたのが1967年。森本さんによれば、当時の東京天文台は宇宙電波に予算を出すなど論外の雰囲気で、「東レの選考委員に天文学者がいなかったのが幸いした」とか。

ここから、森本さんの大活躍が始まる。三菱電機や法月鉄工などのメーカーを新しい科学・面白い技術をやろうと誘い込み、口径は3.5mから、いつの間にか6mになった。800万円ではできないはずがない建設だったが、技術者たちの献身的な仕事とグループ総動員の手作り路線で、1970年、6mミリ波望遠鏡が三鷹の東京天文台構内に完成したのである(図8)。古在先生や当時の広瀬台長も、非公式ながら何かと応援されたと聞いている。私もコンクリこねや受信機作りをやったが、ここで大活躍をしたのが、天文台の長根潔、宮澤敬輔の実力派技官お二人である。長根さんは主に受信機、宮澤さんは駆動装置の自作で、底力を発揮した。私も見様見まねで、回路作りなど教えてもらいながら頑張った。

このころの宇宙電波のスタッフは上記のほか、助手の田原博人さんと技官の宮地竹史さん。大学院生では平林久さんに加え、井口哲夫さん(30歳の若さで脊椎癌のため亡くなった)、大師堂経明さん、近田義広さん、加藤隆二さん、昆野正博さんたちが入って来て、賑やかになった。

### ●星間分子の発見とミリ波宇宙電波分光学

非常に幸運なことに、6m建設中の1968年、宇宙空間ではじめての多原子分子(原子3個以上)の電波が、米国で発見された。アンモニアNH<sub>3</sub>と水蒸気H<sub>2</sub>O、そしてホルムアルデヒドH<sub>2</sub>CO(有機分子!)である。希薄で低温の宇宙空間に多原子分子が存在するのは驚きだったが、私には素晴らしい天啓だった。学部(東大・駒場の基礎科学科)時代に、石黒浩三・佐々木泰三両先生の研究室で紫外分光実験を手伝い、ミリ波の波長域にさまざまな分子の回転スペクトル線が無数に存在することも知っていたからである。宇宙には、どんな分子があるだろうか? 宇宙の分子は低温の雲の

中にあるらしいが、その冷たい宇宙の雲(暗黒星雲)こそ、長い間謎だった、星を生み出す材料なのではないか? 分子の電波スペクトル線からドップラー効果で速度を詳しく測れるから、ミリ波で分光観測すれば、星や惑星の形成、それに銀河の構造や運動など、これまでの光の観測では見えなかった多様な宇宙が見えてくるはずだ。これは本格的な「宇宙電波分光学」の幕開けになる、と思われた。そこですぐ、東大物理教室に分子分光学の大家である霜田光一先生をお訪ねして大部の資料をお借りし、6mミリ波望遠鏡で観測できそうな分子のミリ波スペクトル線を調べた。もちろん森本さんも大賛成で、私はさっそく、分子の電波を観測する電波分光計の制作にとりかかることになった(海部、『天文月報』62, 9, 1969)。このころ私は理学部天文学教室の助手になったが、常時三鷹に通って全面的に宇宙電波の建設に関わらせていただけたことは、感謝の至りである。

実際に私たちが6mミリ波望遠鏡で「星間分子」の観測にこぎつけたのは、1971年である。分光計は全部手作り、わずか31チャンネル。それでも新分子パラホルムアルデヒドなどを発見し、大いに意気が上がった(図9)。分子が存在する領域は、可視光では真黒くしか見えない「暗黒星雲」とほぼ一致することも、オリオン分子雲で確かめた。そのころ世界で星間分子のミリ波分光観測に手を付けていたのは、アメリカのカリフォルニア大学、テキサス大学、NRAOの3グループの他は、日本の私たちだけだった。並行して45m電波望遠鏡計画でも、ミリ波による宇宙の分子スペクトルの観測で新しい宇宙像を開拓しようという中心目標が、明確に定まった。6mミリ波望遠鏡の成果はその強力な後押しとなり、東京天文台「宇宙電波グループ」の力も、だんだん認められはじめたように思う。科学の世界でも言うだけではダメで、「やってみせてナンボ」なのである。

三鷹の「ミリ波」には若い大学院生が集まって、駆動用のソフトや観測装置作り、そしてまだ不便極まるものだった観



図9：新しい星間分子の発見を報じた朝日新聞の記事(1972年)。

測に頑張った（天体の追尾も、半分は人手に頼らなければならなかった）。こうして、野辺山建設の中核となるグループが形成されていった。「三鷹の6mミリ波望遠鏡」は日本の宇宙電波の出発点となり、そして野辺山宇宙電波観測所の実現が、本格的な飛躍の始まりになった。

#### ●「野辺山」に向けて

野辺山の45mミリ波望遠鏡を星間分子の分光観測研究で名実ともに世界一にするには、口径45mの主反射鏡が集めたミリ波を受け取る高感度の受信機と、受信した電波を波長ごとに詳しく分析する強力な電波分光計が必要である。ミリ波用の冷却高感度受信機では、稲谷順司さんや後に加わった野口卓さんたちが大奮闘し、雄鳥試作や関連研究所の協力も得て、超伝導効果を用いたSIS検出器の開発がめざましく進んだ。野辺山には小さいながら先端的なクリーンルームも設置され、高性能のSISミリ波検出素子の自主生産ができるようになった。こうして生まれた野辺山の受信機技術が、その後のアルマでの超高性能受信機群や、野辺山でのマルチビーム受信機開発などのベースになっている。

電波分光計は、6mミリ波望遠鏡用にまったくの手作りで開発したレーザー応用の新方式「音響光学型電波分光計」(図10)の成功を踏まえて、合計3万2千チャンネルという、当時の世界水準を二桁も抜く超大型電波分光計(AOS)を制作した(14ページ・図16参照)。二酸化テルル結晶は松下電器に依頼、光学系は私の手作りだが、今度はしっかりした恒温室に設置した。データ処理系は近田さんと宮地さんが担当した。完成した音響光学型電波分光計は45m望遠鏡のほとんどの観測で用いられ、特に暗黒星雲の大規模分子探査で多数の新しい有機分子を発見し、また中井直正さんたちの超大質量ブラックホールの観測的証拠の最初の発見(NGC4258)に役立った(16ページ参照)。

この超大型電波分光計から生まれる大量のデータを迅速に処理し結果を描くデータ処理ソフトウェアの働きも重要である。はじめ6mミリ波望遠鏡で腕を磨いた近田さん、ついで分子の理論や観測で活躍した鈴木博子さん(残念なことに1987年、自動車事故で逝去)たちが、富士通の技術者たちと協力して優れたシステムを開発した。また近田さんや石黒さん、小笠原さんたちが富士通の方々と頑張って野辺山に設置した大型スーパーコンピュータからは、観測だけでなく多くの理論研究も生まれた。前国立天文台長観山正見さんは、最も初期の大ユーザー(当時は京都大学)である。

観測を開始した10mパラボラ5基のミリ波干渉計も、フ

ランス・ビュール高原のIRAMミリ波干渉計やアメリカのカリフォルニアミリ波干渉計と競いながら惑星を産む原始惑星系円盤の観測など多くの成果を出し、ALMAへの基礎を築いた。野辺山を拠点としたVLBI(超長基線電波干渉計)の技術開発が森本さん、平林さん、井上さん、川口則幸さんらによって進み、VSOPやVERA、東アジアVLBIなどの観測網を生み出す元となったのも、特筆すべきである。

『野辺山宇宙電波観測所20周年記念誌』(2002年/13ページ参照)によると、最初の20年で野辺山から生まれた学術論文は1000編を超え、1985年に日本最初のIAUシンポジウム“Star Forming Regions”を、東京で開催。2001年に行われた日本最初の研究所公式評価で、野辺山宇宙電波観測所は「我が国の電波天文学を飛躍的に発展させた功績は絶大」と、抜きん出て高い評価を頂いている。その後もさまざまに装置の改良を進めながら、野辺山宇宙電波観測所は世界トップレベルの観測・研究活動を続けて、30年になった。

この30年で、野辺山宇宙電波観測所は世界に、日本に、何を残しただろうか。

## ■ 4. 野辺山が世界の天文学にもたらしたもの

### ●ミリ波天文学の開拓

野辺山宇宙電波観測所が世界の天文学にもたらしたものの第一は、もちろんミリ波天文学=新しい広範な宇宙観測手段の開拓、そして新しい宇宙像の開拓である。野辺山の開所当時、ミリ波観測が可能な高精度パラボラとしては、1970年頃に完成し初期に大活躍したアメリカ国立電波天文台の11m鏡のほか、スウェーデン・オンサラ観測所の20m鏡が、1976年に建設された。またドイツとフランスの共同組織IRAMの30mミリ波望遠鏡が、スペインの標高2900mのピコ・ヴェレタに建設中だった(1984年完成)。30m望遠鏡はやや小ぶりだが高精度を達成し、サイトの標高の高さもあって、野辺山のよい競争相手となった。野辺山45mミリ波望遠鏡の完成を伝えた『Nature』の記事(Nature Vol.98, 298, 19 August 1982)は、「日本が基礎科学分野で世界をリードする、初めてのケースになる」と書いている(「少なくとも当面」という但し書き付きだったが)。

45mミリ波望遠鏡を先頭とするこれら単一パラボラと、野辺山を含め3つのミリ波干渉計(前述)が、競合協力しながら手探りでミリ波による宇宙電波分光の世界を拡げたのが、1980年代である。新しい星間分子を探し、その反応を研究し、さまざまな分子メーザーを見つけ、分子雲の構造を調べ、双極分子流や分子雲コアを見つけ、晩期型星からの分子放出を観測した。銀河系の中心部や渦状腕の構造と運動、活動銀河核、遠方銀河の観測。さらに原始惑星系円盤へと、観測は新しい発見を重ねながら広く遠く拡がった。ミリ波による宇宙電波分光観測は天文観測の支柱の一つとして、並行して発展した赤外線観測とともに可視光による宇宙像を大きく転換し、星形成という宇宙理解の基本となる分野を開いた。野辺山がそのリーダーの一角を担い得たことを、誇りに思う。

### ●東アジアとの連携を進める

野辺山による世界の天文学への貢献としてもうひとつ特筆すべきは、日本が国際的に天文学の重要な一角を担う存在になったことである。ここではまず東アジアでのさまざまな天文学協力の構築について、次いで世界的な連携、特に日米欧の三者ががっぷり組んで協力したアルマ計画について述べる。

東アジア協力では、野辺山のミリ波グループ、及び名古屋



図10：音響光学型電波分光計の128チャンネル試作機(三鷹、1976年)。宇宙電波用では世界初で、このまま6mミリ波望遠鏡に同軸ケーブルで繋ぎ、非常に安定に観測できた。野辺山45m鏡の超大型電波分光計の原型である。

大学の佐藤修二さんたちの赤外線グループと劉彩品（リュウ ツァイピン）さん率いる中国・紫金山天文台との協力・研究者交流が、先導的な役割を果たした。中国青海省に紫金山天文台が建設した14mミリ波望遠鏡では、紆余曲折の末、若い楊戟（ヤンチー）さん（現在紫金山天文台長）が野辺山製ミリ波受信機と、これも野辺山で作った可搬型サブミリ波望遠鏡 POST を携えて現地に住み込み、本格的な観測の立ち上げに奮闘した。野辺山で受信機の修業を積んだ史生才（シセイサイ）さんも中国に受信機開発チームを立ち上げ、今や中国のミリ波受信機開発の支柱である。これらは劉彩品さんと私が中心になって EAMA (East Asian Meeting of Astronomy) を組織し、これをベースに日・中・韓・台の研究者レベルの恒常的交流を一步一步と築く中で実現してきたことである。楊戟さん、史生才さん、それにいま中国国家天文台 (NAOC) 台長の嚴俊（イェンチュン）さんなど、いま中国で活躍するリーダーには、日本で学んだ劉さんのお弟子さんが多い。また、野辺山でミリ波天文学を学んで学位を取った趙世衡（チョウセヒョン）さんは、韓国天文宇宙科学研究所 KASI の所長になり、電波の大計画 KVN (韓国 VLBI ネットワーク) を主導した。KVN の相関器は日韓共同開発が進められ、またアルマへの参加を進めるなど、韓国とはいっそう密な共同が進んでいる。台湾ともミリ波研究者の交流が極めて盛んで、アルマ受信機開発で重要な協力が行われている。韓国、中国、日本による「東アジア VLBI」やが着実に進むなど、野辺山を拠点として始まった東アジアとの協力は豊富である。2005年に EAMA の提案で結成された EACOA (東アジア中核天文台連合) は、こうした活動をベースとしたものである (図 11)。今後のアルマ東アジア研究センターやチベットでの天文観測サイトの開発など、東アジアでの天文学協力の本格的展開に重要な役割を果たすだろう。

### ●世界の天文学の一角を担う

野辺山の望遠鏡の利用者は、完成当初からほぼ3分の1が海外からだった。ハワイに赤外線望遠鏡とサブミリ波望遠鏡を持つ英国との間で1984年から10年以上続いた日英天文学協力プログラムは、とりわけ多くの成果と赤外線・ミリ波の若手研究者（現在はもう中堅以上で活躍中）を生み出した。VLBI天文学では、森本さんが発案し1997年に宇宙科学研究所によって打ち上げられた宇宙空間 VLBI (VSOP = はるか) が、森本さん、平林さん、井上さんらの努力で、世界中の電波望遠鏡と結ぶ大きな国際観測ネットワークになった。さらに水沢の笹尾哲夫さんを中心に、VERA (超高精度 VLBI 位置観測で遠い恒星の距離を三角測量し、銀河系の立体地図を作る壮大な計画) が進んだ。2002年に完成した VERA による観測は、米・欧の VLBI ネットと競争しながらデータを積み重ね、銀河系の大きさや運動を書き換えようとしている。

日・米・欧が建設から観測運用まで対等につながり組んで協力するという世界の基礎科学でも前例がない大計画に発展したのが、アルマ (ALMA) である。

当初私たちは、野辺山を拠点とした次世代大型ミリ波干渉計画 (LMA) を構想した。その後日本学術会議天文学研究連絡委員会 (現在の物理学委員会天文学・宇宙物理学分会の前身) での長期計画検討などを経て、世界最高のサイトにミリ波より短波長のサブミリ波観測が可能な干渉計を建設する方向に進んだ。1994年の同分科会長期計画委員会による公式報告は、大型ミリ波サブミリ波干渉計計画 LMSA を、地上大型計画のトップに位置づけた。このとき並行して推進



図 11 : 2005年、EACOA (East Asia Core Observatories Association : 東アジア中核天文台連合) 結成式。左から中国国家天文台、日本国立天文台、韓国天文宇宙科学研究所、台湾天文宇宙物理学研究所の各所長。

がうたわれた計画は大型重力波望遠鏡、VERA、スペースの IRIS、Solar-B など、それらのほとんどが実現し、成果を挙げていることは喜ばしい。

2001年、並行して同様な計画 (MMA) を考えていたアメリカの NRAO、やや遅れて大型ミリ波干渉計 (LSA) を構想したヨーロッパの天文学連合 ESO と NAOJ の三者が東京で会見し、合同してより大型の装置アルマを作ると発表した。建設場所は、サブミリ波への進出を視野に最適の場所を探そうと石黒さんたちが早くから調査していた、南米チリの標高5000mアタカマ高原に決まった。残念なことに日本は財政的な問題があって参加が2年遅れたが、2004年に参加するやサブミリ波進出をリードし、全建設費の25%に相当するパラボラや受信機・相関器を建設して、米欧と対等以上の建設実績を挙げている。

アルマは初期観測を2011年に開始、惑星形成現場の観測などで威力を見せ始めた。2012年末に箱根で開かれた野辺山30周年記念国際シンポジウム “Radio Astronomy in ALMA Era” (21ページ参照) では、試験観測とはいえアルマのデータのすごさに、会場から何度もため息が漏れた。アルマは間違いなく、天文学を書き換える装置になるだろう。2013年には66台のパラボラが完成し、活動が全開する。

アルマ計画は、天文学・望遠鏡システムともに、まさに野辺山の発展と言えるものである。望遠鏡の性能は10倍以上になり、観測波長域もぐんと広がって、波長1mm以下のサブミリ波領域に達する。当然、野辺山からは多くの研究者や技術者が、アルマのために三鷹やチリに移っていった。野辺山の人員は減り、ミリ波干渉計も、アルマに道を譲って閉鎖された。しかし45mミリ波望遠はなお第一線のミリ波用大型パラボラとして活躍し、今後もその役割は大きい。アルマ時代の45mミリ波望遠鏡の役割については、最後に触れることにしたい。

## ■ 5. 野辺山が日本の天文学にもたらしたもの

野辺山宇宙電波観測所は日本の電波天文学を世界に向けて飛躍させたが、残したものはそれだけではない。野辺山宇宙電波観測所の建設と成功は、その後の日本の天文学のあり方にも大きな影響を及ぼした。野辺山が日本の天文学に与えたインパクトとして、私は以下6点を挙げたい。

- ① 世界第一線の自前の装置を持つことを実現した。
- ② 世界トップのデータを生み出すことを実現した。
- ③ 研究者が装置開発を積極的に行うことを広めた。
- ④ 意欲的な若手研究者の育成の場となった。
- ⑤ 「宇電懇」の組織により、天文分野の研究者コミュニティ形成を促した。

# 野辺山宇宙電波観測所 mini★ Gallery

八ヶ岳山麓に広がる野辺山では、雄大な自然の移り変わりを感ずることができます。



⑥ 社会への貢献・社会との交流（アウトリーチ）を盛んにした。

最初の2点については、前に概略を述べているのでここでは触れない。

### ●装置開発

まず③番目、研究者が積極的に自前の装置開発に関わることの重要性を広めたことについて。先に述べたように6mミリ波望遠鏡の建設、45m電波望遠鏡やミリ波干渉計の基本設計、ミリ波冷却受信機、電波分光計、ソフトウェアなどは、基本的に手作りや研究者主導で進めた。今の若い研究者は驚くだろうが、その当時の日本の天文学では、望遠鏡は発注するもの・天文学者は観測研究する人という、縦割り意識が根強かった。しかも、装置作りをする人は「技術者」として一段低く見られ、装置開発では博士論文にならないと言われていた。宇宙電波の活動は、これを大きく変えたわけである。その最初は、近田さんの6mミリ波望遠鏡観測用ソフトウェア

特に東大、京大、東北大等の大学でも、若い研究員や大学院生を中心にすばる望遠鏡の大型観測装置が制作された。この経験は大学の装置開発の土台を作り、その後の観測装置開発で大きな力になっている。もちろん電波でも、名大、鹿児島大、岐阜大、北大、筑波大、大阪府立大などで電波望遠鏡を持ち、装置開発も行うようになった。さらに国立天文台では、アルマの極めて高い性能の受信機群の開発・量産を、欧米と厳しく競争しながらやり遂げつつある。三鷹の国立天文台本部には「先端技術センター」が設置されて、各プロジェクトやスペースも含めた先端的技術開発の場として発展している。これは、他分野の研究所からもずいぶん羨ましがられたものである。

### ●若手研究者の育成

野辺山から新たな分野・場所に移って活躍している研究者・技術者を見れば、一目瞭然と思う。従ってここでいちいち名を挙げることは控えたいが、国内各大学をはじめ、光赤外線分野であるすばる望遠鏡、またスペースVLBI、VERA、VLBI ネット、そしてALMAや台湾を中心に海外の研究所など、多数にのぼる。

### ●研究者コミュニティの形成

野辺山の日本の天文学への貢献の⑤番目に、天文学分野の研究者コミュニティの形成を挙げた。野辺山のような大計画を進めるには、共同利用を前提とし分野研究者の協力・共同が必須と考えた私と森本さんは、会則を持ち、役員を選挙で選び、事務局が運営する民主的な分野研究者組織を構想した。これが、日本の天文学では最初の分野研究者組織「宇宙電波懇談会」、略して宇電懇である。1969年12月に『宇宙電波将来計画総合シンポジウム』を開催し、私がミリ波分野の開拓を目指そうという基調報告をさせていただいて、45m計画がはじめて公開の場で議論された。宇電懇についてもこのシンポジウムで議論し合意を得て、翌1970年5月に発足した。初代会長は空電研究所（当時）の田中春夫さん、事務局局長は森本さんである（図12）。同年、45m計画は日本学術会議総会で「早期に実現すべき」との勧告を得て、公式に走り始めた。ただし、予算が付くまでにはさらに8年という長い時間がかかった。

宇電懇は、その後天文学の各分野で作られた研究者組織の

宇宙電波懇談会名簿	
昭和45年9月現在（順不同）	
◎運営委員長 ○運営委員	
【北大・理】 ○大谷 浩 兼古 昇	【東京天文台（東大）】 坂井 雄一 東加 浩大 犬島 秀 田 一光 辻 嘉 史 三郎 獨一考 樹 澤 精 秀 赤羽 文雄 藤田 樹 西 寿 小 沢 長 官 古 ○森内 泰 速 藤 一 部 人 史 彦 ○田 高 桑 原 地 見 博 竹 靖
【東北大・天文】 ○高 隆 宗 真 一 三 誠 章 田 村 真 一	【野辺山観測所】 甲斐 島 敬 弘 大 木 健一郎
【茨城大・理】 小 暮 智 一 田 中 靖 夫	【空電研（名大）】 有 次 正 信 和 三 一 亮 ○河 野 見 迎 田 小 島
【岐阜大・理】 岡 本 功 佐 藤 弘 一	【名大・理】 川 橋 村 野 下 上 子 明 別 藤 善 美 宏 ○河 橋 西 水 山 植 隆 義 幸 敏 井 高 高 橋 吉 福 田 俊 直 文 治 登 紀 隆 之 運
【国際電波K・K】 横 佐 藤 敏 山 田 松 一	【京大・宇宙】 池 内 了 彦 也 幸 隆 ○川 尾 武 大 河 野 宣 文 彦 和 三 一 亮 石 田 武 之 子 野 本 和 幸 不 二 夫 新 田 賢 一 野 山 下 二 夫
【立大・物理（理論研）】 会 津 晃 平 沢 敏 晃	【広島大・理論研】 成 相 秀 一 富 田 啓 二
【東大・核研】 浩 一	
【東大・宇宙研】 小 田 林 辰 蔵 松 岡 勝	
【東大・数論】 杉 本 大 一 郎	
【東大・理（天文）】 海 野 和 三 郎 二 加 藤 隆 二 部 宜 弘 夫 男 弘 夫 加 藤 村 信 一 部 高 下 高 木 元 木 正 大 野 久 三 郎 林 明 三 郎 三 平 野 久 三 郎 林 明 三 郎 三 近 藤 義 三 郎 林 明 三 郎 三 内 藤 義 三 郎 林 明 三 郎 三	
【東大・理】 木 原 太 郎 青 野 彦	

図 12：宇宙電波懇談会発足時の名簿（1970年）。

## 野辺山宇宙電波観測所 30周年記念誌

野辺山宇宙電波観測所 30周年記念誌が間もなく刊行されます。この国天ニュース2月号のp6～15に掲載した海部宣男名誉教授の記事は、野辺山宇宙電波観測所のご厚意により、30周年記念誌から転載した全文記事です。10年前には、20周年記念誌が刊行されており、今回の30周年記念誌は、現在の研究活動を中心とした野辺山のようなこの10年のあゆみを写真とともに振り返るスタイルとなっています。



30周年記念誌の表紙と20周年記念誌の表紙。

原型になった。光赤外天文学連絡会、理論天文学宇宙物理学懇談会、太陽研究者連絡会、VLBI懇談会など、いま日本の天文学は分野別研究者組織でほぼ完全にカバーされて、シンポジウムや大型計画の検討、最近では中規模計画の議論も盛んである。議論の結果は日本学術会議における大型計画等の議論にも反映され、他分野の研究者から「天文学分野はコミュニティの議論や合意がしっかりできている」と言われることが多い。実際それは、現在の天文学分野の大きな強みにもなっている。

野辺山以降、日本の大型地上望遠鏡計画は、すばる、アルマ、いよいよスタートするTMTと、電波分野と可視・赤外分野の計画を交互に着実に実現してきた。こうしたナショナルプロジェクトのレベルでは、分野コミュニティで計画を十分議論し強化し合意して、広い研究者の支援と協力のもとで高い科学成果を挙げなければならない。それが社会や他分野の研究者の信用を高め、次の計画にもつながる。

実際、野辺山（建設1978～1982年）の成功の上にはすばる望遠鏡（建設1991～2000年）が実現し、すばるの成功の上にアルマ（建設2004～2013年）の実現があった（図13）。またこの間に、木曾シュミット望遠鏡、電波ヘリオグラフ、VERA、スーパーコンピュータ、LCGT（かぐら）と、地上中～大規模計画が着々と実現してきた。日本の天文学全体が世界の第一線に立つようになった背景には、天文学の分野コミュニティの形成が果たしてきた重要な役割があるという事実は、特に強調しておきたいことの一つである。

いま日本の天文学がめざすのは、口径30mの可視赤外線望遠鏡を米・カナダ・インド・中国などと共同でハワイのマウナケアに建設する、TMT計画である。そしてまた、その先の電波計画の検討が急がれる。もちろん、大きく変わりつつある日本と世界の政治状況・経済状況も見据え、新たな舵取りも必要であろう。その意味で、日本学術会議が果たすべき役割も、大きくなっている。

### ●社会への貢献

最後に、⑥社会への貢献・社会との交流を取り上げたい。野辺山宇宙電波観測所では、開所

当初から、観測所の全面公開を目指した。当時は東京天文台も他分野の研究所も、「研究所は研究に専念するところ」とばかりに、極めて閉鎖的だった。組合の活動などで三鷹地域の市民の方々と会うと、「天文台の中では何をやっているんですか？」と聞かれて、考えさせられたものである。1972年から1年半滞在したアメリカでは、NRAOやKPNOなど国立の天文台を大勢の見学者が訪れ売店も賑わっていることに、強い印象を受けた。

科学者は、どのように研究しているのか。どんな成果を挙げているのか。最先端の課題は何か。みんな、知りたいはずだ。科学の成果を社会に知らせるのは、科学者の責務だろう。まして国立大学や国立研究機関は、給料に至るまで税金で賄われている。そこで野辺山では、最初から「公開」の方針を掲げ、危ないところにロープを張るだけで観測所構内の見学は自由とした。私は、野辺山は日本人全員から100円ずつ頂いて出来たのだと思い至って、見学に来た人々に、そう話してきた。「これは、皆さんから100円ずつ頂いて出来た望遠鏡です」と。みな改めて、巨大なパラボラを親しみを込めて振り仰ぐのだった。

なけなしの予算で、説明板も作った（最初はすべて手作り）。地元出身の守衛さんの提案で、受付で見学者に記帳してもら

### 日本の地上大型望遠鏡計画の流れ

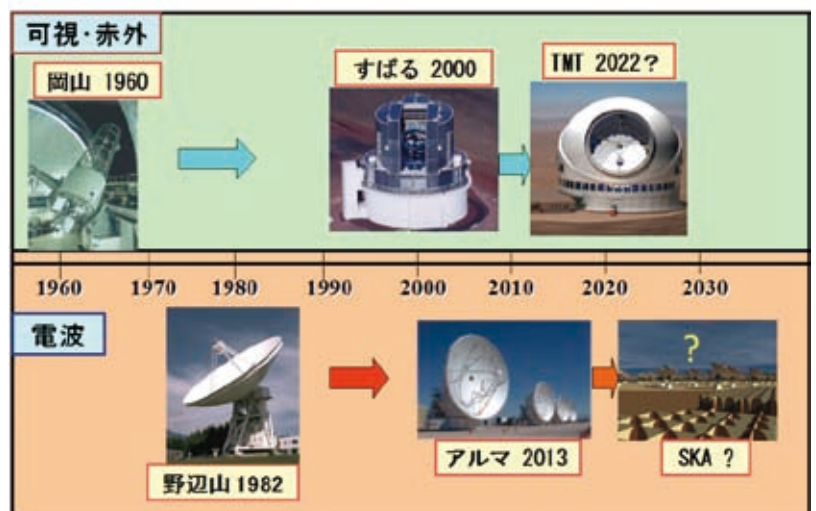


図13：日本の地上大型望遠鏡計画の流れ。



図 14：野辺山特別公開風景（45m にタッチ！）。

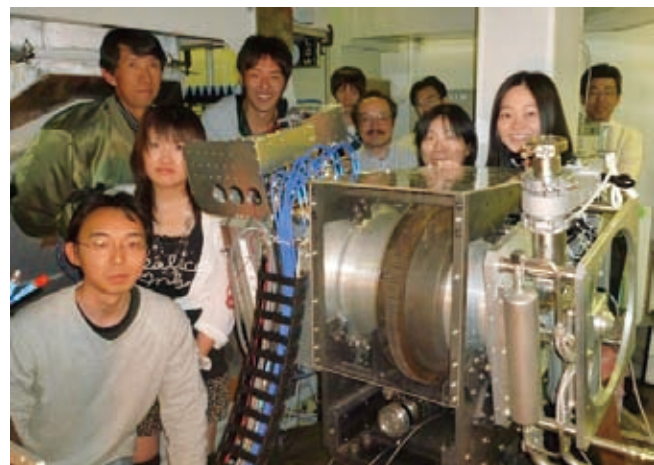


図 15：FOREST 受信機と担当チーム。

うことにしたのは、大ヒットだった。守衛さんたちは自主的に毎年の見学者の統計を作ってくれたが、これがさまざまな場面でどんなに役に立ったかわからない。これまで30年間の見学者総数は、300万人に近いという。なお教育・研究関係の方の見学は大いに受け入れ、案内者を配置した。野辺山の研究者、技術者、事務職員も、みな案内の仕事を受け持った。とりわけ、年一回の特別公開は、観測所の楽しいお祭りになった（図 14）。

こうした社会への積極的アプローチは、いま国立天文台の全体に広がっている。最近日本の各分野の研究所や大学でも盛んになった公開・科学コミュニケーション活動で、国立天文も天文学分野も先駆けとして高く評価されている。ただしそうした活動を、「多額の予算を取るには社会の理解を得る必要があるから」と考える向きもあるようだが、言い出しっぺの一角である私や森本さんの気持ちは、少し違う。「科学の面白さを人々に伝えるのは、科学に携わる科学者の当然の義務」と考えるのだ。そして人々に科学を伝えるのは、研究者にとっても楽しく、面白い。

## ■ 6. これからの野辺山とこれからの天文学

### ● 45m 電波望遠鏡の性能維持・強化

望遠鏡のような大型精密機械は、20年も経つと特にエレクトロニクス関連部品が古くなったり交換用部品の在庫がなくなったりするし、モーターなど駆動部分にもガタが来る。特に露天にある電波望遠鏡は、その維持が大変になってくる。45m 電波望遠鏡は、関係者のたゆまぬ努力で特殊な反射パネルの交換をはじめ、駆動装置の修理、コンピュータシステムの入れ替え、観測・データ処理ソフトウェアの更新など、少しずつ改修しながら何とかしのいできた。今後も、少なく

とも10年程度の見通しをたて、予算化していく努力が必要である。

望遠鏡では「性能の維持」が必須だが、いっぽう観測装置、とりわけ低雑音受信機は世界的競争に日々曝され、新たな性能向上を伴う更新を迫られ続ける。観測装置の性能向上で観測性能を飛躍的に高めれば、留まることなく進む世界に伍して第一線の観測・研究水準を維持することが可能になる。これは世界の最先端に立つ望遠鏡の宿命であり、また大きな醍醐味でもある。

### ● マルチビーム高感度受信機の開発

そういうわけで、観測性能向上の中心を担うのは受信機開発である。野辺山では自主開発をベースに、高感度化（低雑音化）とともに多くの観測点からの電波を同時に受信できるマルチビーム化に力を注いできたことが、記念式典で久野成夫所長から報告された。砂田和良さんが中心となった BEARS（25 ビームミリ波受信機）はミリ波では当時の世界最多ビーム受信機で、45m 望遠鏡の観測効率を一気にひと桁高め、多くの観測成果を生み出した。現在、さらに低雑音でフレキシブルな、4 ビーム×両サイドバンド×両偏波＝合計16 ビーム相当の受信機が、小川英夫さんを中心とする大阪府立大グループの協力で実現した（図 15）。マルチビーム観測の安定化とさらなる高度化が期待できる。アルマで手薄になった開発パワーを補う大学との共同の成功も含め、喜ばしいことだ。

### ● 新世代の大型電波分光計

野辺山の大型音響光学型電波分光計 AOS はチャンネル数3万2000、最大帯域巾2GHzという群を抜いた性能で、世界最大の電波分光計の座を観測所始動以来30年保ってきた。それがデジタル技術の急速な進歩で、新世代の電波分光計 SAM45 に、その座を譲り渡そうとしている。SAM45 はチャンネル数6万5000、最大帯域巾32GHzという性能を持つ大型デジタル型電波分光計である。アルマ用に国立天文台が開発した高性能デジタル分光技術を活かし、アルマグループと野辺山の共同で開発された。チャンネル数・帯域幅が大きい上、デジタルの強みを活かしたフレキシブルな運用が可能で、すでに部分的に使用されている（図 16）。ここでも若手研究者たちが活躍したが、装置開発の波が広がっていることは心強い。その他にも、未解明の暗黒星雲の磁場を測る偏波受信機計画などがある。こうした新開発の高性能観測装置が、今後の45mの活躍を支えるだろう。

### ● アルマ時代の野辺山

アルマの初期データは、まだ部分運用ではあるがすでに宇宙を書き変え始めており、その天文学へのインパクトは巨大なものになる。大いに楽しみだが、これからのアルマ時代、



図 16：大型電波分光計の交代。30年間活躍した AOS（左）と、新分光計 SAM45（右）。

野辺山はどんな役割を果たすことができるだろうか。アルマの特徴を野辺山 45m 電波望遠と対比させると、以下のようになる。

#### ★ ALMA

- ①非常に空間分解能が高いが、視野が狭い。
- ②小さな天体に関しては、非常に高い感度を持つ。
- ③観測波長域はミリ波からサブミリ波までと、非常に広い。
- ④望遠鏡サイトは南半球で、標高 5000m の乾燥高地である。
- ⑤世界中の天文学者が使用する、極めて競争率が高い望遠鏡。

#### ★ 45m 鏡

- ①分解能は高くないが、広い視野範囲をカバーできる。
- ②観測波長範囲はミリ波に限られるが、波長 3mm 帯では単一パラボラとして最高の感度を持つ。
- ③望遠鏡サイトは北半球である一方、アルマと広い天域が共通。
- ④日本の研究者が集中的に使え、機動性に富む観測が出来る。

基本的にアルマのほうが感度も分解能も高く、特にミリ波より波長が短いサブミリ波になると、野辺山は標高も低いし、手が出ない。しかし、45m 電波望遠鏡にできてアルマにできない大事なことがある。それは天空の広範囲観測で、得意のマルチビーム受信機を用いてすばやく広い天域を観測し、銀河や星の生成領域など、アルマが苦手とする拡がった天体の全体像をつかむことができる。また、アルマで詳しく観測すべき興味ある天体や新しい天体を見出すことができる。この点が、野辺山 45m 電波望遠鏡がアルマと補い合い、アルマとタイアップして観測を進めるべき基本的方向であることは間違いない。

だが、そればかりではない。何と言っても、45m 電波望遠鏡は国内にある日本の望遠鏡で、国内のすべての研究者の共同利用である。その運用は分野コミュニティの合意があれば、フレキシブルである。その高い性能と機動性、広域観測の能力を活かし、非常に大規模な観測計画も可能である。充実しつつある国内や東アジア VLBI ネットの中核としての位置付けも、欠かせない。さらに、大学院生や学部学生の教育・訓練、そして研究活動の場として貴重であり、受信機などの開発の場としての役割も、しっかり持ち続けることは重要である。

こうした多くの面で、野辺山の 45m ミリ波望遠鏡はなお、明日の日本の天文学を支える貴重な存在である。私は昔から、「海外に優れた望遠鏡があれば国内に望遠鏡はいらない」という見解には反対してきた。もちろん、海外適地で第一線の観測を進めることは必然である。そうであればあるほど、身近なすぐれた拠点、研究・開発・教育の場が、明日の発展のために必要なのである。

観測所としての規模こそ小さくなったが、野辺山 45m ミリ波望遠鏡は今も、波長 3mm 帯でトップを争う集光力を持つ第一線の望遠鏡である。これからもアルマのよいパートナーとして、かつ天文学の国内重要拠点として、望遠鏡の整備、受信機開発、そして第一線の観測を進め、優れた開発と鋭い科学の成果を発表し続けて、世界をリードして行っていきたい。

## ■ 7. おわりに

野辺山宇宙電波観測所は、野辺山にいきなり出現したのではない。1969 年に設置された東京大学東京天文台野辺山太

陽電波観測所は、まだ「開拓地」の色が濃かった野辺山で 160MHz 太陽電波干渉計を展開し、最初の電波の観測拠点を作った。信州大学からの土地の借入、地元との協議・協力をはじめ、担当された諸先輩のご苦労は、大変なものだったに違いない。私も 45m 計画を進めていた初期の頃、何度も野辺山太陽電波観測所に通い、窓から吹き込む雪が布団の襟元にうっすら積もる宿、凍上で傾きそうな安普請の官舎、道路補修の重労働、手狭な観測所での観測所スタッフとのひとときなど、その苦労を肌で感じたものである。

そんな諸先輩の努力の上に、野辺山宇宙電波観測所が生まれた。太陽電波観測所はその後も宇宙電波観測所と並行して活動し、その後国立天文台発足に際しての名大空電研・太陽電波グループとの合流で、日本の太陽電波天文学の統一装置である、野辺山電波ヘリオグラフが完成した（1990 年）。それはある意味で、野辺山建設のフィナーレでもあった。

そうした思い出も含めて、野辺山の太陽電波・宇宙電波両観測所の建設・運用に尽力された物故研究者の方々を挙げさせていただきます、感謝の印としたい。

田中春夫さん（1922-1985）：太陽電波の先駆者、野辺山宇宙電波観測所初代所長。

鈴木博子さん（1947-1987）：星間分子の第一人者、ソフトウェアの名手。

甲斐敬造さん（1934-1991）：太陽電波観測所長として苦闘、困難を乗り越える。

内田 豊さん（1934-2002）：プラズマ理論で知られ、太陽電波観測所に尽力。

小杉健郎さん（1949-2006）：野辺山太陽電波から ISAS 「ひので」リーダーに。

森本雅樹さん（1932-2010）：宇宙電波の開拓者、その大活躍は今も語り草。

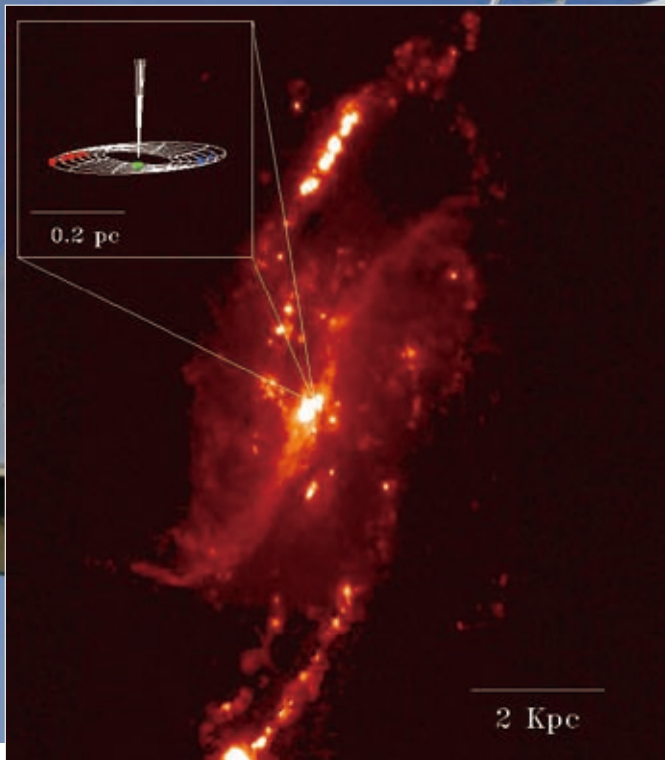
鰻目信三さん（1937-2011）：電波ヘリオグラフの建設、太陽電波観測所長。

森田耕一郎さん（1954-2012）：計算機システムのリーダー、アルマでも活躍。

そしてもちろん、野辺山宇宙電波観測所の建設とその後の維持向上は、日本の優れた企業の協力なくしては不可能だった。とりわけ 6m ミリ波時代から野辺山、アルマと苦楽を共にしていただいた三菱電機、富士通、日本通信機、残念ながら今はもう無い測機舎、そしてここでは挙げきれない多くの企業の方々がおられる。また星間分子という新しい世界を開くにあたっては、日本の多数の分子科学研究者の方々の力強い協力が、極めて本質的だった。それなくしては、野辺山の大きな発展も覚束ないものだったに違いない。こうした方々の野辺山へのご厚情に、深く感謝いたします。加えて、野辺山プロジェクトに関連して支援頂いたすべての方々に、この機会に改めて、篤くお礼を申し上げます。

#### ●【参考・参考文献】

- ・45m 大型電波望遠鏡計画（赤羽、森本、海部、『科学』40.12、1970）
- ・「電波望遠鏡を作る」（海部、大月書店、1986）
- ・「日本の天文学の百年」（日本天文学会百年史編集委員会編、恒星社厚生閣、2008）
- ・星間分子スペクトル線の検出と「宇宙電波分光学」（海部、『天文月報』62.9、1969）
- ・私の星間分子 30 年（海部、『天文月報』92.1、1999）
- ・「望遠鏡をつくる入びと」（森本、岩波科学の本、1972）
- ・国立天文台野辺山宇宙電波観測所 20 周年（野辺山宇宙電波観測所編、2002）
- ・「Japan Reaches for Stars」, Nature, Vol.98, 298, 19 August 1982
- ・「21 世紀に向けた天文学長期計画」日本学術会議天文学研究連絡委員会長期計画小委員会編、1994
- ・そのほか 東京大学東京天文台年次報告、『天文月報』



## 幸運をもたらしたもの

中井直正 (筑波大学)

### ● 銀河からの超強力水メーザー

野辺山で大学院生だった頃、非常に強い水蒸気メーザー（以降、水メーザーと言う）を出す銀河が5個発見された（1979～1985年）。その光度は銀河系で最強の水メーザー源であるW49Nの100倍前後であった。その超強力メーザーはいずれの銀河でも銀河の中心から出ている、銀河系のメーザー源である晩期型星や電離領域からのメーザーでは説明がつかないのが謎とされていた。私は、5個の銀河がすべて弱い活動銀河核（AGN：セイファートかLINER）だったのでAGNと関係があるのではないかと推測したもの、超長基線電波干渉法（VLBI）による観測でも何も手がかりが得られていなかった。45m電波望遠鏡でも22GHzのその水メーザーは観測可能だったので、何とか研究したいと思っていたもののどう攻めれば良いのかわからず思案していた。

1990年に米国から5個の銀河のひとつであるNGC4258のメーザーが85日周期で強度変化をしているという論文が出された。この論文は4年後に誤りだったとわかったが、当時はそんなことはわからず、驚いた私は45m鏡の共同利用に「他の銀河の」メーザーにも同様な周期的強度変化がないかを調べる観測プロポーザルを提出し採択されて、1991年12月から観測を開始した。

### ● 45m鏡による観測

観測の前日に受信機の周波数設定表を作った。そのとき目的の観測だけならば電波分光計（AOS）は1,2台で十分であったが、45m鏡には別の目的で8台用意されていたので使わないのもったいないと感じた。もしかしたら銀河中心速度付近の既知のメーザーよりも少し速度が大きいところや小さいところにも弱いメーザー成分があるかもしれないと思ってそれぞれ1台ずつ追加した（結果としてはここには何も出

なかった）。それでもまだたくさん分光計が残っていたので深い考えもなく、速度（周波数）方向に全部並べることにした。これは「プロポーザルの目的外」である。また、米国論文の結果を確認するために「プロポーザルには書いていなかった」NGC4258も「ついでに」観測することにした。

観測中、QLOOKにて最初の銀河のスペクトルは全分光計でチェックしたが、既知のメーザー成分以外は何も受かっていなかった。当然だろう。そこで2つ目以降の銀河は目的の既知のメーザーが入っている分光計しか見なかった。これは観測屋としては不覚だったが、まさか大きな速度のものがあるとは自分でも思っていなかったのである。そしてNGC4258は4番目に観測した銀河だった。

### ● 高速水メーザーの検出

観測は1週間から10日間隔で定期的な観測していたが、観測開始から3か月（！）ほどたってからようやく全分光計のデータの解析を開始した。そのときにNGC4258の他の分光計に鋭いスペクトルが受かっていることに気がついた。最初見たときにメーザーだと思ったが、その速度を見て驚がくした。既知のメーザーがある銀河中心速度に対して+1000km/s<sup>-1</sup>（時速360万km）近かったのである。これまでに知られている全ての銀河の分子ガス輝線は±300km/s<sup>-1</sup>程度である（銀河の回転速度を表している）。もしこれが本当ならば大変なことだ、と体中が熱くなり、茫然としていた。しかし、もし何かの間違いならば大恥をかく。

そこで誰にも言わず、次の観測のときから周波数設定や電気ケーブルの接続のチェック、他の分子輝線の可能性、5点法によるこの銀河の中心から来ていることの確認などを行ってやっと確信した。さらにこれまでの全データを足し合わせてみると弱いながらも-1000km/s<sup>-1</sup>近くのところにもメー



ザーが出ていることがわかった。速度の対称性が非常に良いのでまた驚いた。そこで観測所の中で公表した(NRO 速報)。その時点では銀河から噴出する分子ガスの可能性を考えたが、論文では巨大ブラックホールの周囲を回転するガス円盤の可能性も追加した。

この $\pm 1000 \text{ km/s}^{-1}$ の高速メーザーはさらに米国の完成直後のVLBAで観測して、結果として太陽質量の3900万倍のブラックホールの確証に至った。さらに副産物として銀河の距離を幾何学的に決定するという新しい手法の発見にも結び付いた。ただ再び失敗したことは、その後の他の銀河の観測で、手の早い米国のグループに追い越されたことである。こちらも別のいくつかの銀河で観測を継続したが。

### ●幸運をもたらしたもの

NGC 4258の高速水メーザーの発見はいくつもの偶然が重なって生じたものであるが、その幸運をつかむことができたおかげは主として以下の3点である。(1) 45m電波望遠鏡があったこと(森本さんと赤羽さん達に感謝)、(2) 世界で唯一、電波分光計が8台もあったこと(海部さん達に感謝)、(3) ひとりで観測したこと。

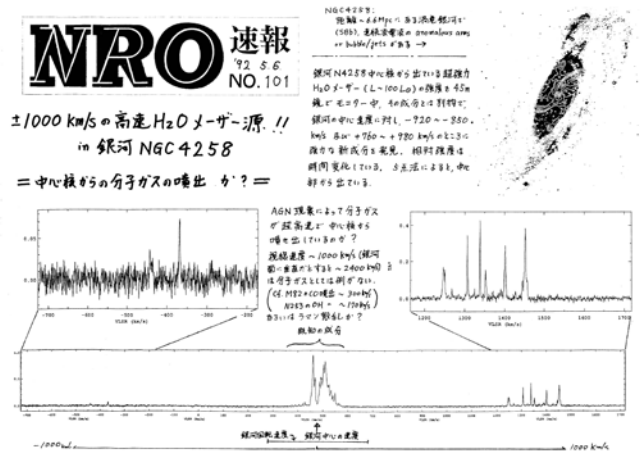
(3) に関し、もし大勢で合意を取って観測を立案したならば、全分光計を速度(周波数)方向に並べるという馬鹿馬鹿しいことはできなかったかもしれない。しかも、それとNGC 4258を観測するという事は「観測プロポーザルに書いていない目的外」のことだったのである。利根川進は「ノーベル賞をもらったような研究はグラント(科研費)に書かれたことはない」と言っている。私が野辺山観測所を離れたあと、このようなことが理解されないか忘れ去られたのであれば残念なことである。

(1)と(2)に関しては、45m電波望遠鏡および観測所の実現や運用に尽力された全ての方に感謝したい。研究者のみならず技術系の人、事務の人、そして古在さんが観測所の20周年記念誌で中央公論社の編集長の例を挙げて言われていたように「宇宙電波観測所設立のための功労者は、東京天文台内外にたくさんいるのである」。過去の人にはどうしようもないが、現役の職員にはささやかな感謝の気持ちとして、私は博士の学位審査に合格したときと巨大ブラックホール発見で仁科記念賞をもらったときに、ケーキ屋でカラフルなケーキをたくさん買い占めて観測所の全技官、事務官、パート職員の人に食べてもらった。

### ●ALMA

ALMA(アルマ)も同様である。小さな例かもしれないがひとつ記述しておきたい。ALMAが欧米に2年遅れで概算要求が通るかどうかの瀬戸際だったとき、一般の国民の支持が必須である、というのでそのひとつとして葉書作戦を行った。ALMAの実現は重要だという葉書を賛同する一般の人から出してもらうのである。しかし印刷所に頼む時間的ゆとりはなく、また今のようにパソコンのプリンターで高速で葉書に印刷することもできない。

そこで人海戦術を取ることにした。宇宙電波観測所の研究室付のパート事務職員全員に図書室に集ってもらい、さらに太陽電波観測所長の柴崎さんの快諾も得て太陽電波のパー



NGC4258の高速水メーザー検出の公表したNRO速報。

ト事務の人にも集まってもらった。そして、「ALMAの概算要求はこれにかかっている(!?)、ぜひ協力してほしい」という演説をぶったところ、全員が一心不乱に黙々と手で葉書を書き始めた。長時間書いていると手が痛くなるので時々手を振りながら。

夕方になってパートの人が家に帰らなければならなくなったとき、ある人が「葉書を家に持ち帰ってもよいですか」と聞いてきた。パートの人に「そこまでやってもらうわけにはいかない」と言ったら、無視されて「家に持って行きます」と。そして自宅で夕食のあと夜の12時まで葉書を書き続け、朝は5時に起きてまた書き、観測所に朝、葉書の束を持ってやってきた。手が痛くなって動かなくなりました、と。ALMAの実現に対するささやかな貢献ではあるが、こういうこともあったのである。

### ●南極天文学

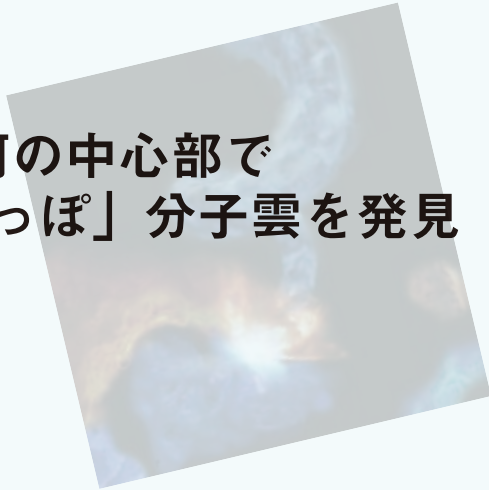
2004年に筑波大学に移ってからは南極天文学を進めている。これも1989年に野辺山観測所で検討された計画が元になっている。南極高原地帯のドームふじ基地に10mテラヘルツ望遠鏡の建設を目指すものであるが、予算も含めいろいろな面で悪戦苦闘している。そういうとき、院生のときに観測所で夜に森本さんと一緒に飲んでいて聞かされた45m実現の苦労話を思い出し、糧にしながらなんとか実現したいと進めているところである。



1983年元旦、野辺山近郊の飯盛山山頂にて。左より現在の職名で、大石雅寿天文データセンター長、長谷川哲夫チリ観測所長、一人おいて趙世衛韓国天文研究院教授、筆者、林正彦国立天文台長、故森田耕一郎教授。



# 天の川銀河の中心部で「ぶたのしっぽ」分子雲を発見



岡 朋治  
(慶應義塾大学)

## もしかして新発見？

2008年10月13日午後9時48分、私は恩師の長谷川哲夫先生から一通のメールを受け取りました。Subjectは「もしかして新発見?」、失礼ながらここにその全文を掲載させていただきます。

岡 朋治さま、長谷川哲夫です。  
お元気ですか？

昨日、銀中の古い絵を眺めていたら、添付のように  $V_{LSR} = -40 \text{ km/s}$ ,  $L = -0.8 \text{ d}$ ,  $B = 0 \text{ d}$  付近に豚のしっぽみたいなくなるくした構造を見つけました。まるでらせん形の磁場に沿ってトラップされた分子ガスのように見えます。5 km/sおきの channel map を見ると、小さいながら回転のような速度勾配があるようです。これってもう誰かが見つけて「銀中分子豚のしっぽ構造」とか名付けていますか？ それとももしかして新発見？ もし新発見なら、論文にしたいですね。手伝ってくれますか？

「古い絵」とは、私達が1994年から1996年の長期間にわたって野辺山45m望遠鏡を使用して取得した、天の川銀河中心領域（通称

「銀中」）の一酸化炭素 115 GHz スペクトル線のイメージの事です。建設中のアルマ望遠鏡計画（★01）の要職にあって南米チリで多忙を極めておられる筈のこの時期に一体何を発見されたのだろうかとはなれば呆れながら、かといって恩師を無視する訳にもいかず半信半疑でデータを見直しました。すると確かに件の螺旋構造が「古い絵」（図1(a))のみならず、その時私を含む慶應義塾大学のグループがASTE望遠鏡で観測を進めていた346 GHz スペクトル線のイメージでも確認されました。螺旋構造の大きさは約60光年×60光年に及びます。私達は議論を重ね、野辺山45m望遠鏡に再び観測提案を提出することにしました。

## 天の川銀河の中心

ここで簡単に、私達の住む天の川銀河の中心領域（以下「銀中」）について説明しておきましょう。中心には約400万太陽質量の巨大ブラックホールがあると考えられていますが、そこから半径600光年の領域は恒星とその材料となる分子ガスが大量に密集しています。銀中の分子ガスは濃密な「分子雲」となり、銀河中心核のまわりを主に二種類の楕円軌道（★02）に沿って運動していると考えら

### ★ new scope <用語>

#### ▶ アルマ望遠鏡

アルマ望遠鏡（正式には、アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計）は、南米のチリ共和国北部にある、アタカマ砂漠の標高約5000メートルの高原に建設中の巨大電波望遠鏡です。これは国立天文台を代表とする東アジア、米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の国際共同プロジェクトとして進められています。

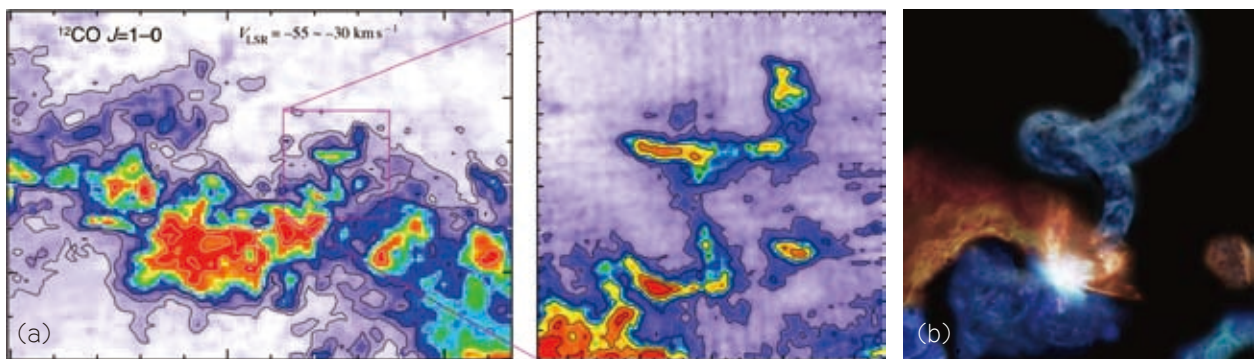


図1 一酸化炭素 115GHz 回転スペクトル線の積分強度分布。(a) 左は発見された当時のイメージ、(a) 右は2009年に撮り直した高精度イメージ。(b) はそのイメージ・イラスト。

れています。これら二つの楕円軌道群は入れ子構造を成しており、銀河円盤上の二つの位置で交差します。交差点では分子雲同士の衝突が頻繁に起こります。この分子雲同士の衝突によって、ガスが圧縮され、活発な星形成活動の引き金となる可能性が指摘されています。私達は「ぶたのしっぽ」の根元が、正にこの交差点に位置することに気がついていました。

## 野辺山での追観測

私達はこの「ぶたのしっぽ分子雲」の形成の謎を解明するため、物理状態を探る手がかりとなる他の6つの分子の回転スペクトル線による高精度観測を提案しました。ネーミングの珍妙さもあって私達の提案は高いスコアで採択され、2009年の2月～3月に要求通りの80時間が割り当てられました。観測は主に慶應義塾大学院生の松村真司君が担当し、この研究テーマは彼の修士論文となりました。この観測によって、「ぶたのしっぽ」分子雲の明瞭かつ美しい螺旋構造が姿を現しました(図1(b))。観測データから、「ぶたのしっぽ」分子雲の質量は、太陽数十万個分という大量のガスを含んでいることも明らかになりました。

## 分子雲衝突の証拠

一方、複数の分子スペクトルの解析結果から「ぶたのしっぽ」分子雲は周囲の銀中分子雲に比べてやや高温・高密度【絶対温度～30度、水素分子密度～3000個/立方センチ・

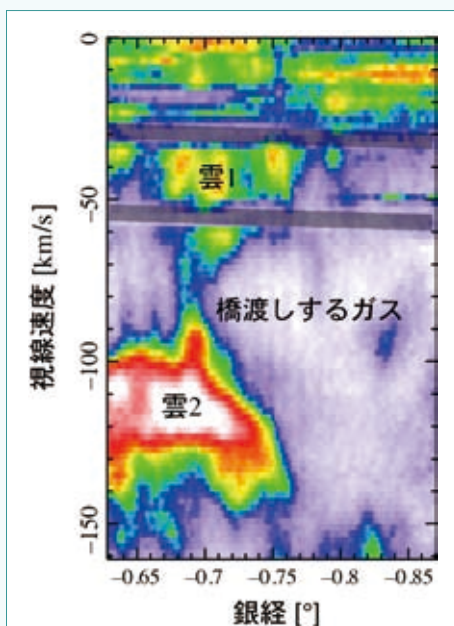


図3 「ぶたのしっぽ」分子雲根元の位置-速度図。雲1と雲2の二つを橋渡しする成分が見える。

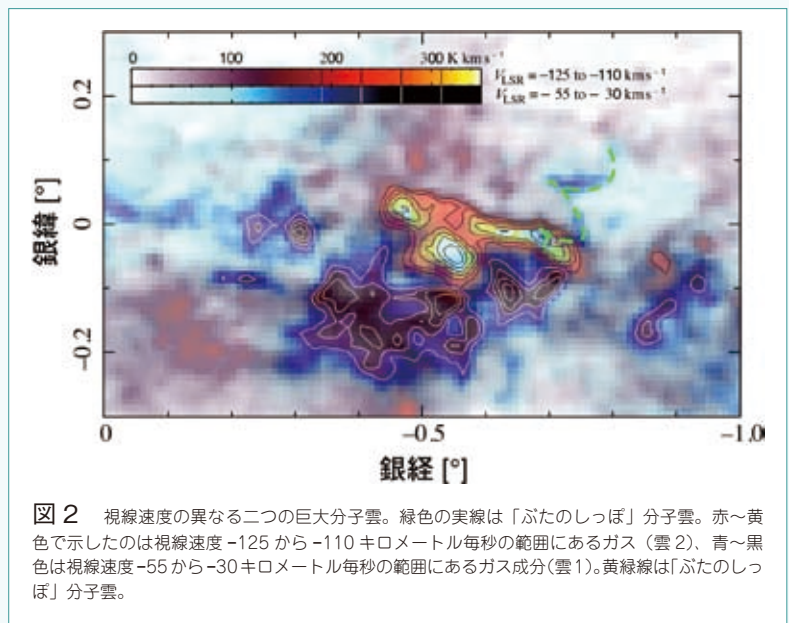


図2 視線速度の異なる二つの巨大分子雲。緑色の実線は「ぶたのしっぽ」分子雲。赤～黄色で示したのは視線速度-125から-110キロメートル毎秒の範囲にあるガス(雲2)、青～黒色は視線速度-55から-30キロメートル毎秒の範囲にあるガス成分(雲1)。黄緑線は「ぶたのしっぽ」分子雲。

メートル]であることがわかりました。また、衝撃波起源の分子である一酸化ケイ素(SiO)の存在度が上昇していました。これらは、激しい衝撃がこの周辺で起きたことを意味します。さらに「ぶたのしっぽ」分子雲の根元には-40キロメートル毎秒(雲1)と-110キロメートル毎秒(雲2)の視線速度を持つ二つの分子雲が重なっている事も確認されました(図2)。視線速度の違いはこれらがそれぞれ別の楕円軌道上にある事を意味しています。そしてまさに「ぶたのしっぽ」分子雲と重なる位置で、これら二つの分子雲を橋渡しするガスが検出されました(図3)。以上の観測結果を総合的に考えると、二つの巨大分子雲の衝突が「ぶたのしっぽ」分子雲の形成に深く関わっていると考えられます。

## 形成シナリオ

じつは銀中では、銀河円盤に対して垂直な方向にのびた電波源がいくつも確認されています。これは、銀河円盤に垂直で約1ミリ・ガウスの強さを持つ磁力線の束がこの場所に存在していることを示しています。ただ、その垂直磁場が半径約600光年の銀河中心領域全域にわたって存在しているのか、あるいは局所的なものなのかは永らく議論的となってきました。私達はこの垂直磁場の存在をふまえて、観測事実を総合して次のような「ぶたのしっぽ」分子雲形成シナリオを提唱しました。

- ①銀河円盤に対して垂直な磁力管が、それぞれ $x_1$ 、 $x_2$ 軌道に沿って運動する巨大分子雲に挟まれる(図4上)。
- ②二つの巨大分子雲の速度差により、磁力管が捻られる(図4左下)。

### news scope <解説>

#### ▶二種類の楕円軌道

天の川銀河には長さ約1万2000光年の棒状構造があり、これに平行および垂直方向に伸びた2種類の楕円軌道群(以下、 $x_1$ 、 $x_2$ 軌道)に沿ってガスは運動しています。うち $x_1$ 軌道は棒状構造に平行方向、 $x_2$ 軌道は棒状構造に垂直な方向に伸びた、銀河円盤内の楕円軌道です。

③捻られた磁力管はキンク不安定性 (★03) によって螺旋形状になる (図4右下)。

螺旋形状の磁力管に捕捉された分子ガスが「ぶたのしっぽ」分子雲を形成する。実際、分子ガスの速度分散からエネルギー等分配を仮定して評価した「ぶたのしっぽ」分子雲内の磁場強度は0.6ミリ・ガウス程度であり、これは過去に以前より提唱されてきたミリ・ガウス程度の垂直磁場と同程度です。また、「ぶたのしっぽ」分子雲の成長に必要な時間は180万年程度と見積もられ、これは二つの巨大分子雲が衝突している時間と同程度です。

## 本研究成果の意義

らせん構造を持つ「ぶたのしっぽ」分子雲の発見とその形成過程に迫る本研究成果は、以下の二つの意味において重要なものでした。第一に、天の川銀河の中心部において、棒状構造に起因する二つの軌道群の交差がこの位置で確かに起こっていることが示されたこと。第二に、同領域を貫くミリ・ガウス程度の垂直磁場が「局所的」であることが示されたことです。今回発見された「ぶたのしっぽ」分

子雲に似たらせん構造は銀河中心の周辺でこれまで二つ発見されています。しかし、「ぶたのしっぽ」分子雲は他の二つよりもはっきりとしたらせん構造を持っています。さらに「ぶたのしっぽ」分子雲は銀河系円盤面近くにあることから、円盤面内の分子雲の動きや磁力線の構造を探る重要な手がかりとなりました。磁力線に関連した構造は、太陽表面から活動銀河核からのジェットに至るまであらゆる種類の天体において見られます。宇宙磁場の研究はさまざまな天体の形成を理解するうえで重要な意味を持っているのです。本研究成果によって、天の川銀河の中心部における宇宙磁場の役割について、またひとつ重要な知見が得られたのです。

これを身近に体験する方法があります。まっすぐなヒモを用意し、親指と人差し指でねじっていただければ、徐々にらせん構造が形成されていくのがお分かりいただけると思います。つまりこれと似たことが、はるか宇宙のかなた、天の川銀河の中心で起きているのです。

### new scope <用語>

#### ▶キンク不安定性

キンク (kink) とは一般に糸やヒモ等のよじれ・瘤を表す英語です。ここで言うキンク不安定性とは、捻られた磁力管がある臨界値に達すると、それが振れてらせん状になる事を指します。この振れが成長できるためには、内部磁場に比べて外部磁場が弱くなければなりません。

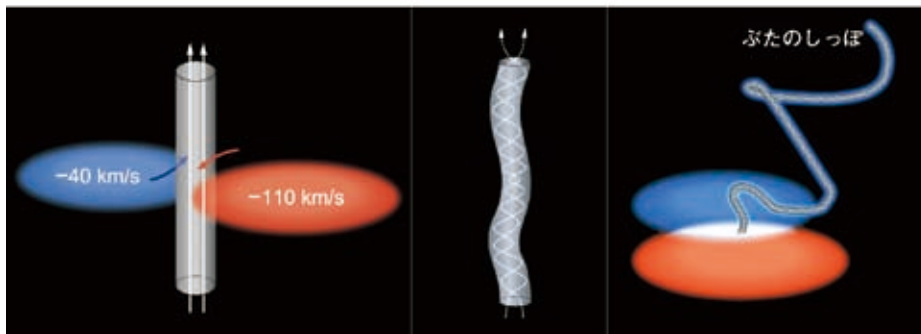
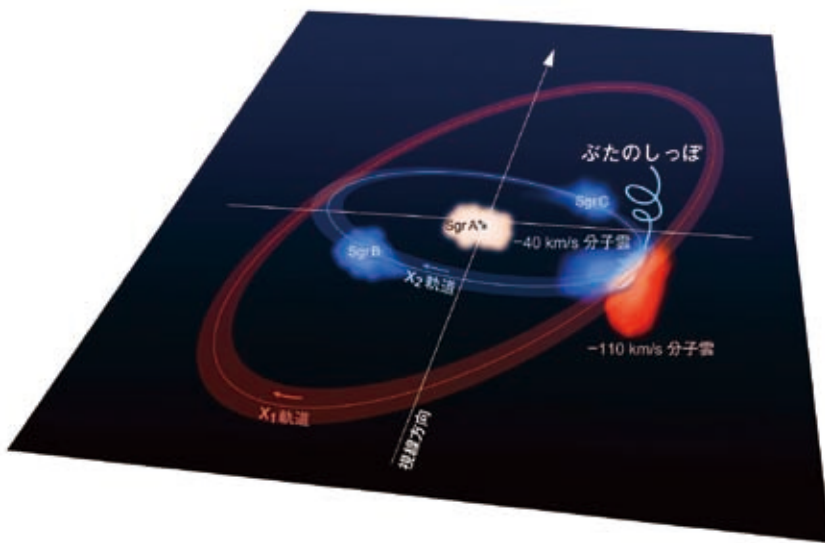


図4 「ぶたのしっぽ」分子雲の形成シナリオ。軌道交差により磁力管が捻られ、キンク不安定性によりらせん形状になる。

#### ★研究論文について

本研究成果は、2012年9月10日発行の米国の天体物理学専門誌『The Astrophysical Journal』に掲載されました。論文の題目、および著者と研究当時の所属は以下の通りです。

"Discovery of the Pigtail Molecular Cloud in the Galactic Center"

松村真司 (慶應義塾大学 博士2年)  
岡朋治 (慶應義塾大学 准教授)  
田中邦彦 (慶應義塾大学 助教)  
永井誠 (筑波大学 助教)  
亀谷和久 (東京理科大学 助教)  
長谷川哲夫 (国立天文台チリ観測所)

The Astrophysical Journal,  
September 10, 2012, vol.756-2  
issue, p.87

<http://iopscience.iop.org/0004-637X/756/1/87/>

## New Trends in Radio Astronomy in the ALMA Era — The 30th Anniversary of the Nobeyama Radio Observatory — 報告

伊王野大介 (チリ観測所)

野辺山宇宙電波観測所の三十周年を記念して、2012年12月3日から8日にかけて国際研究会「New Trends in Radio Astronomy in the ALMA Era — The 30th Anniversary of the Nobeyama Radio Observatory —」が芦ノ湖畔のザ・プリンス箱根で開催されました。野辺山にゆかりのある研究者を中心に約170名（そのうち約60名は海外から）が参加し、最新のALMAの初期成果が多く紹介され、活発な議論が繰り広げられました。また、野辺山の観測施設を使って現在もアクティブに研究をしている学生や研究員などの若い世代からも多くの参加がありました。

初日は、林 正彦国立天文台長、ならびに久野成夫野辺山宇宙電波観測所長の挨拶の後、遠方宇宙と銀河に関するセッションがあり、世界トップで活躍する研究者より、野辺山観測所の成果を始め、世界のミリ波望遠鏡で得られた最新の研究成果が多く紹介されました。特に印象深いのが、初期科学運用で既に圧倒的な感度が達成されたALMA望遠鏡の観測成果です。今までの望遠鏡では何十時間もかけて観測していた天体が、ALMAを使うともの数十分で検出できるようになりました。2日目は近傍銀河のセッションに続き、銀河系内の星形成についてのセッションがありました。ここでも最新

の成果の発表と、活発な議論が繰り広げられました（議論はセッション後の温泉でも続いていたようです……）。3日目は原始惑星系円盤のセッション後、星間化学のセッションがありました。円盤の構造や運動を詳細に示した最新の研究成果が紹介され、大変盛り上がりしました。

また、星間化学分野では、45m望遠鏡の広帯域分光計の特徴を最大限にいかしたラインサーベイが注目を浴びていました。45m望遠鏡そのものは三十路をむかえていますが、この間、様々な改修（望遠鏡のパネル、受信機、中間伝送系、分光計、計算機、など）が施されたことによって、今でも世界に誇れる威力を発揮しています。最近では遠方宇宙に存在する天体からの電波も、数時間の観測で受信できてしまうほど感度や安定度が向上しています。これも、30年間野辺山を支えてきた職員の方々のおかげです。

4日目の午前に太陽系と晩期型星のセッションが行われ、午後にはポスターセッションが行われました。最終日の将来計画のセッションでは、45m望遠鏡のさらなる改良についてや、次世代の大型単一鏡計画、ALMAを世界の望遠鏡と結合して観測する計画などについての講演が行われました。そして、今回の研究会では、特に優れたポスターを発表した若手研究者に記念品（「Best Poster



会場の様子。



Paul Ho氏（台湾中央研究院天文及天文物理研究所所長）の質問に答える植田準子氏（東京大学大学院）。

Award) が贈られました。

移動日となった9日には、野辺山観測所と三鷹へのエクスカージョンが行われ、野辺山には13名の参加者、三鷹には4名の参加者がありました。野辺山では45m鏡や電波ヘリオグラフの見学を中心とした観測所ツアーが組まれました。三鷹では、ALMAの受信機開発実験室の見学を行いました。

●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LOCの皆様、ならびに会議にお力添えをいただいた皆様、お疲れさまでした。特に、SOC Chairの東京大学教授 山本 智氏には様々な面でご尽力いただきました。



会議の集合写真。芦ノ湖の背景に富士山が屹立し、まさしく「絵になる風景」でした。



# Bienvenido a ALMA!

チリ観測所 / JAO  
"Chief Scientist"  
川邊良平

## 24 魂の彷徨—野辺山からアルマへ

アルマ望遠鏡

検索

チリに足を踏み入れて20年目。Chief Scientistで何をやる人? と問われつつ、白髪の多くなった自分にアルマを重ね見る。



Cycle-0 unveiling exciting views of the universe, but still in starting point of climbing to the top. Imagine how splendid the view is at the top!



2012年6月より、Chief Scientistという肩書きでJAOの国際職員としてチリに赴任した。まったく新しい職である。アルマのフル運用の時期には、Observatory Scientistを置こうという計画だそうだが、建設から運用への移行期にあって、アルマが科学的な性能を最大限発揮できるよう務めるのが中継ぎChief Scientistの役割である。これがあんなの仕事と具体的に決められた明確なものとはそんなに多くはなかったで、これまで手探りで仕事をして来た。ただ、CSV (★01) Project Scientistとして9月にJAO国際職員になったStuartt Coderとともにいる建設最終段階のCSV活動は、大事な仕事の一つである。

日本には、前職(野辺山宇宙電波観測所長)からの継続の仕事や、大学院生との研究のために時々帰っている。その時には、「日焼けしましたね。山頂の仕事は大変ですか?」と言われたりする。アルマのScientistは基本的に山頂で望遠鏡を触る仕事は与えられていない。サイトではOSF (★02) と呼ばれる施設の観測制御室でコンピュータの前に座っているのが主な仕事で(装置を直接触れないのは、かなり不満)、AOSやOSFで黒く日焼けするほど外で仕事をする機会はない。日焼けの原因は、サンチャゴでJAOオフィスまで毎日片道40分歩いての通勤である。ただ、冬の時期は日の出の時間が遅く、朝アパートを出る時にはまだ薄暗い。春・夏は、朝8時には陽がガラガラ、帰る時間の夜7時、8時でも同様である。今はなるべく日陰ものになって、木の下やビルの影を歩いている。

内容の性格から、委員等との厳しいやり取りを強いられる。そのような理由から、「成果を一杯宣伝し、将来の夢を語って、俺らの発表までに委員、会議の雰囲気や和ませておいてくれ」と彼等から頼まれ、「がってんだ」となる(私も、厳しい議論にさらされることしばしば)。

それらの会議等で私の報告の最後に見えるスライドは、チリの南部の有名な観光地Puerto Varasの風光明媚な写真にアルマの今後を示したものである(上画像)。まだまだ多くのハードル(山登りの難所)が残っているが、山登り而言えばまだ1合目の地点にいる初期運用のcycle-0でもこれだけの成果が出ているのだから、頂上に到着すれば眼下にすばらしい宇宙の眺めを楽しむ事ができることは想像に難くないでしょう、ということを表したかった。Puerto Varasは、昨年12月に“The first year of ALMA Science”と題したALMAの最初の国際会議が行われた場所である(その国際会議の最終日にも、このスライドを使って報告をした)。

今後の機能追加の計画は、そのスライドにある通りである。ACAの利用が今年開始されるCycle-1で始まる。偏波の観測は、限定的ではあるがCycle-2を目指して試験等が進められている。日本が開発製作を担当するBand-4、8もCycle-2で限定的に提供する計画である。Band-4では、最近ACAを用いて初めての干渉計イメージが得られたところである。長基線(と言っても2-3km基線)は、Cycle-2で限定的に提供する計画。最大基線

(16-17 km)を実現し、0.01秒分解能を達成することは、アルマの最終目標の一つ。このために、Stuarttを中心にアンテナの高速スイッチングや、Band-3を用いた位相校正を実現できるように制御ソフトの改訂や試験を進めている。また、私も日本や台湾からの強力な応援団の協力も得て、長基線での位相補償の方法の検討・実験等に力を入れ始めたところである。また最近の進捗としては、Band-8で干渉縞が得られたこと、日本が作成するALMA最高周波数のBand-10でfirst lightが得られたことである。驚く事に、このBand-10でのfirst lightはAOS (★03)ではなくOSFで非常に強いHCNメーザを観測することで実現した。Band-4、8の後の仕事は、科学運用にBand-10を提供をすることである。現時点でBand-9観測でも多くの困難があり、これはハードルが極めて高い(Band-9、10と、最大基線の組み合わせが超難関課題)。

Future Development (将来開発計画)にも少し触れよう。Band-5の量産、Band-1受信機の追加計画、ALMA Phasing (mm/submm VLBI) 計画が進められている。これらが実現すれば、ALMAの機能もさらに向上することになる。特に、Band-1は当初計画していた受信機整備計画の中で、これまでほぼ唯一抜けていた受信バンドである(Band-2のみ整備計画がない)。スニヤエフ・ゼルドビッチ効果や、ゼーマン効果を用いた磁場強度の観測に大きな効果があるであろう。もちろん、現在進行形のCSVや科学観測をきちんと実行しながらそれらを進めなくてはならず、JAO内部は非常にあわただしい(この1月末には、Shep Doelman率いるALMA Phasing projectのグループとの会合を持った)。Cycle-1で提供する機能の実証は十分か、次のCycle-2観測提案公募新機能の実証試験をどのように進めるかなど、重要な課題が沢山。山登りとおなじように、着実な一歩、着実な前進が大事だと考えている。無謀な登頂は滑落のもとだろう。

### ★01 CSV (Commissioning and Science Verification)

標高5000mに運ばれたアンテナや受信機、相関器が、全体として求められている性能や機能をきちんと発揮できるかどうかを試験する作業。日本からも複数の研究者がこのCSVに参加している。

### ★02 OSF (Operations Support Facility)

標高2900mに作られたアルマ望遠鏡の「山麓施設」。標高5000mにある望遠鏡の遠隔操作、アンテナの組み立てやメンテナンス、アンテナへの受信機セットの搭載などの作業が行われる。宿舎や食堂を備えた最新線基地である。

### ★03 AOS (Array Operations Site)

標高5000mのアルマ望遠鏡「山頂施設」。アンテナ群や相関器が設置される。

# 訃報

日本学士院会員で元院長である藤田良雄（ふじたよしお）東京大学名誉教授が、2013年（平成25年）1月9日（水曜日）午後10時10分、心不全のため逝去されました。享年104歳でした。

藤田先生は、1908年（明治41年）福井県福井市に生まれ、1931年（昭和6年）に東京帝国大学（現東京大学）理学部天文学科を卒業後、同大学理学部助手、同大学講師等を経た後、1939年（昭和14年）に理学博士の学位を取得され、その後同大学助教授、教授を歴任されました。専門は天体物理学で、低温度星の分光学的観測研究の世界的権威者であり、1955年（昭和30年）にはこの業績により日本学士院より恩賜賞を授与されました。また、日本天文学会理事長、日本学士院院長など多くの要職も務められ、1996年（平成8年）には、文化功労者に選定されました。



## 人事異動

### ● 研究教育職員

発令年月日	氏名	異動種目	異動後の所属・職名等	異動前の所属・職名等
平成25年1月1日	美濃和陽典	採用	光赤外研究部（ハワイ観測所（三鷹））助教	RCUH
平成25年1月1日	鈴木竜二	配置換	先端技術センター助教	光赤外研究部（TMT推進室）助教

## 編集後記

カニ食べてて前歯が大きく欠けちゃった。7年振りに歯医者さん通いです。口中に響く高速回転音にすぐに左手をあげられるよう身構えています。(O)

パンスターズ彗星の光度予測が気になるこのごろ。近日点通過のころにちょうどチリ出張の予定だが、パラボラアンテナの背景に雄大な尾を伸ばしてくれるかどうか。(h)

ふれあい天文学で長岡の中学校へ。皆真剣に話を聞いてくれました。授業の後に一緒に給食を食べていろいろ話しました。素朴でいい子たち。初めて国語の教科書にサインをしたなあ。(e)

修論発表会を控えたM2の学生に、自分が修論発表会で使ったOHPシートを見せる。まだプロジェクター禁止の時代でした。シートをOHPに乗せると熱で丸まるので十円玉を置いたりした、という話をしてジェネレーションギャップを見つけた。(K)

今年は結構寒い冬になっています。中に黄砂も混じっているようで、のどの調子がおかしい。最近の雪にはいろいろ混じっている様で、雪を溶かしてお湯を作るなんて、出来ないかもしれません。(J)

先日ポツポツと雨が降っているときに三鷹の空に虹が出ていました。日本で虹を見るのはとても久しぶりのことで、いいことあるに違いない、と期待しています。(k)

刊行ペースが戻りました。いまは少なくともISASのニュースよりも早くでていますが、いつまで続くか…。(W)

## 国立天文台ニュース NAOJ NEWS

No.235 2013.02

ISSN 0915-8863

© 2013 NAOJ

(本誌記事の無断転載・放送を禁じます)

### 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でお願いいたします。  
なお、国立天文台ニュースは、[http://www.naoj.ac.jp/naojnews/recent\\_issue.html](http://www.naoj.ac.jp/naojnews/recent_issue.html)でもご覧いただけます。

発行日／2013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

3月号の研究トピックスは「超新星爆発の形、実はどこぼこ？」をお送りします。国立天文台歴史トピックスもお楽しみに！

天  
文  
台  
ナ  
ウ  
ス

# ゴーチエ子午環

中桐正夫 (天文情報センター)

アーカイブ・メモ

品名：ゴーチエ子午儀  
 製作：P. GAUTIER, PARIS 社 (フランス) / 製作年：1903年  
 望遠鏡：200mm 屈折望遠鏡 (焦点距離 3100mm)  
 架台：東西反転式架台

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。

ゴーチエ子午環は1903年にフランスで製作され、1904年に輸入された。1904年と言えば明治37年である。明治37年、38年には日露戦争があった。開戦前に発注したから購入できたに違いない。ただ、ゴーチエ子午環を設置するためには南北250m、東西60mほどの平地が必要である。当時、麻布飯倉にあった東京天文台 (国立天文台の前身) の敷地は約2500坪、そのうち900坪は急峻な崖地でゴーチエ子午環の展開はできなかった。麻布の空が明るくなって観測が困難になっていたこともあり、空の暗い広い敷地への移転が必要となった。そこで、三鷹への移転が1914年 (大正3年) に始まり、ゴーチエ子午環の建物が出来たのは1924年 (大正13年) のことであった。

ゴーチエ子午環は1925年 (大正14年) の世界経度測量で初めて使用され、1931年 (昭和6年) の小惑星エロスの衝の国際共同観測にも使用されたが、本格的に使用され始めたのは1935年 (昭和10年) であった。このゴーチエ子午環は1984年に建設された自動光電子子午環に役目を譲り、現役を退いた。その後CCDカメラを取り付けクエーサーの位置観測に使われたこともあったが、現在は見学者にガラス越しに展示され余生を送っている。



図1 ゴーチエ子午環本体。

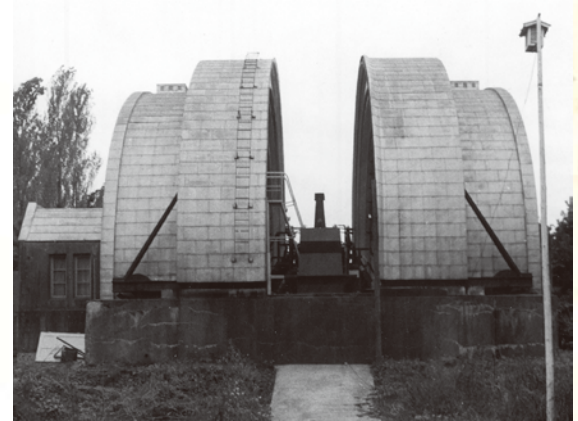


図2 現役時代の写真。カマボコ型のドームもユニーク。

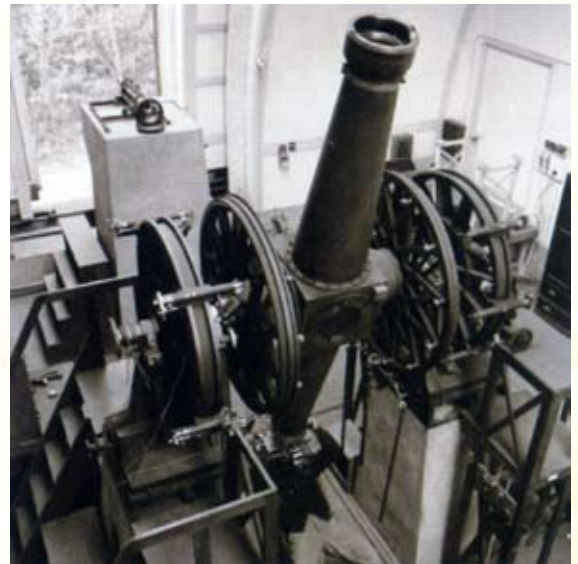


図3 当時の模擬観測のようす。観測者が寝そべてデータをとる。

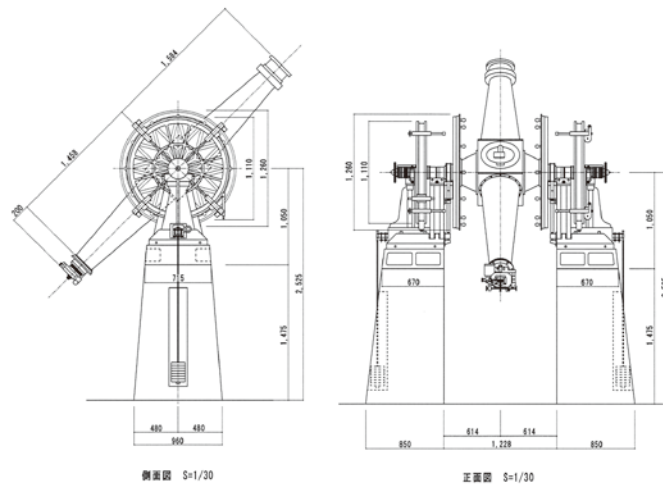


図4 ゴーチエ子午環の寸法図。

東京天文台の三鷹への移転は難航した。日露戦争の莫大な戦費のため国は疲弊しており、新しい土地を三鷹の現在の地に購入できたのは1909年 (明治42年) のことであった。土地が用意できても移転の費用がなかなか出ず、ゴーチエ子午環は購入後7年も梱包状態であった。そのため不要不急の高額な買い物と会計検査院から叱責を受けたこともあった。大

正3年ようやく始まった三鷹への移転も、費用が十分でなかったうえに研究者たちが郊外の三鷹村への移転に積極的でなかったため移転工事は遅れていた。この状況が一変したのが、1913年 (大正12年) の関東大震災で、麻布の天文台が壊滅したのを機に移転が一気に進められ、ゴーチエ子午環はようやくその活躍の場を得ることとなった。

く  
ろ  
に  
く  
る