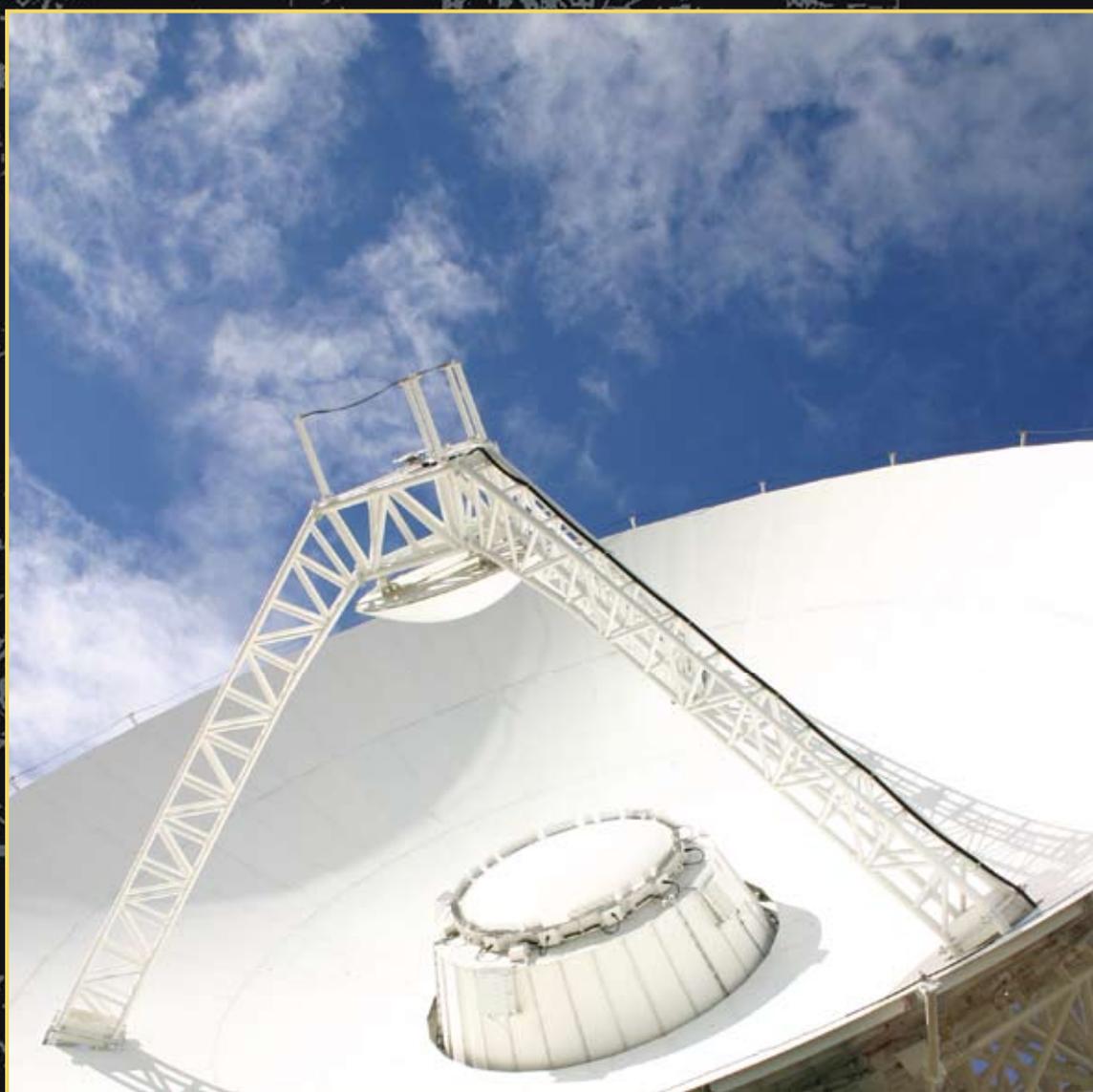


国立天文台ニュース

National Astronomical Observatory of Japan

2010年8月1日 No.205

特集 VERA計画10年の歩み



- 石垣島国際会議「進化する惑星系形成論」報告
- 石垣島国際会議でおもてなし
- 連載 Bienvenido a ALMA! アンテナ評価活動とチリ山麓施設の生活
- シリーズ分光宇宙アルバム 太陽のフラウンホーファー線
- 国立天文台三鷹地区「三鷹・星と宇宙の日」のおしらせ

8

2010

NAOJ NEWS 国立天文台ニュース

C O N T E N T S

- 表紙
- 国立天文台カレンダー

03 研究トピックス

石垣島国際会議「進化する惑星系形成論」報告
——小久保英一郎（理論研究部）

05 特集 VERA 計画 10年の歩み

——水沢 VLBI 観測所・鹿児島大学・茨城大学・山口大学

- はじめに
- 構想と建設
- 観測装置のビルドアップ
- 共同利用と大学協力
- これまでの科学的成果
- VERA 研究のトピックス
- さまざまな社会とのつながり
- 今後の計画
- おわりに

21 お知らせ

- 石垣島国際会議でおもてなし

22 連載 Bienvenido a ALMA ! 03回

アンテナ評価活動とチリ山麓施設の生活——中西康一郎

25 国立天文台三鷹地区「三鷹・星と宇宙の日」のお知らせ
平成23年度NAOJシンポジウムの公募のお知らせ
平成22年度研究集会（第2回）採択結果のお知らせ
人事異動

- 編集後記
- 次号予告

24 シリーズ 分光宇宙アルバム 05

太陽のフラウンホーファー線——勝川行雄（ひので科学プロジェクト）



表紙画像

VERA 水沢局の 20 メートル電波望遠鏡。

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）



伝統的七夕の夜に織姫のハープ演奏。イラスト／石川直美

国立天文台カレンダー

2010年7月

- 14日（水）電波専門委員会
- 15日（木）第四期2010年度前期第3回「職員みんなの天文レクチャー」
- 16日（金）近田義廣教授退職記念ワークショップ
- 17日（土）アストロノミー・バブ
- 21日（水）総合研究大学院大学物理科学研究科専攻長会議
- 22日（木）～23日（金）第9回夏休みジュニア天文教室
- 23日（金）運営会議
- 26日（月）～27日（火）太陽フレア望遠鏡20周年記念研究会「太陽観測装置の新展開」
- 28日（水）研究計画委員会
- 29日（木）研究交流委員会

2010年8月

- 1日（日）～7日（土）スターウィーク
- 2日（月）～6日（金）電波天文観測実習
- 3日（火）理論専門委員会
- 7日（土）八重山高原星物語2010
- 9日（月）～12日（木）君が天文学者になる4日間in広島／光赤外専門委員会
- 10日（火）天文データ専門委員会
- 11日（水）～13日（金）美ら星研究体験隊
- 14日（土）～21日（土）南の島の星まつり
- 15日（日）VERA石垣島観測局特別公開
- 17日（火）～18日（水）岡山天体物理観測所ユーザーズミーティング
- 21日（土）野辺山観測所特別公開、いわて銀河フェスタ2010・水沢VLBI観測所特別公開
- 27日（金）科学文化形成ユニット受講生による科学プロデュースプラン発表会
- 28日（土）岡山天体物理観測所特別公開

2010年9月

- 3日（金）科学文化形成ユニット受講生修了証書授与式
- 6日（月）～10日（金）第7回東洋天文学史国際会議
- 8日（水）～10日（金）第30回天文学に関する技術シンポジウム（長野県木曾福島）／総合研究大学院大学物理科学研究科専攻長会議
- 10日（金）運営会議
- 11日（土）～10月10日（日）第2回東京国際科学フェスティバル
- 11日（土）～10月11日（月・祝）第1回国際科学映像祭
- 13日（月）電波専門委員会
- 22日（水）～24日（金）日本天文学会2010年秋季年会（金沢大学）

石垣島国際会議 「進化する惑星系形成論」報告

小久保英一郎

(国立天文台
理論研究部)



惑星系をねらえ

「地球はどのようにして誕生したのか」「地球のような惑星は他にも存在するのか」などの天文学の基本的な問題について議論するために、2010年6月20～26日に An Ishigaki International Conference on “Evolving Theory for Planet Formation” (石垣島国際会議「進化する惑星系形成論」)を沖縄県石垣市で開催しました。

地球などの太陽系の惑星や太陽系以外の惑

星(系外惑星)と37件のポスター発表がありました。梅雨明けの青空の下、活発な議論が繰り広げられました。

円盤から惑星へ

今回、会議で取り上げた主なテーマは「原始惑星系円盤」「ダスト成長」「微惑星形成」「固体惑星形成」「ガス惑星形成」「円盤と惑星の相互作用」「土星リング」「系外惑星の特徴」「超地球型惑星」「惑星形成モデルと観測の比較」の10テーマです。

まず会議は、原始惑星系円盤の最新の観測成果から始まりました。原始惑星系円盤は惑星系形成の初期条件になります★。円盤の構造、運動、化学組成などについて紹介があり、円盤の観測からどのように惑星系形成に制約をつけるかを考えました。続いて、円盤からの惑星系形成の理論について。まず、円盤はどのような運動状態にあるのか、その中でダストはどのようにふるまい、成長していくかについて、議論を行いました。ダストからの微惑星の形成については、最近注目されている不安定性による微惑星形成のシナリオが紹介されました。さらに、微惑星から固体惑星が集積される過程について、基礎

newscope<解説>

▶原始惑星系円盤と惑星系形成

身近な太陽系を例にとり、原始惑星系円盤と惑星系形成について概観しましょう。太陽系の惑星は大きく3種類に分けられます。水星、金星、地球、火星のような岩石と鉄でできた岩石(地球型)惑星、木星、土星のようなガスでできたガス(木星型)惑星、天王星、海王星のような氷でできた氷(天王星型)惑星です。現在の標準的な形成シナリオでは、太陽系は原始惑星系円盤(太陽系の場合は原始太陽系円盤ともよばれる)からできたと考えられています。円盤は、太陽周りのガスとダスト(塵)からできています。この円盤から3段階で惑星が形成されていきます。まず、ダストから微惑星とよばれる数kmの小天体が形成されます。次に、微惑星の衝突合体によって惑星の前駆天体である原始惑星とよばれる天体が形成されます。そして、岩石惑星は原始惑星の衝突合体によって、ガス惑星と氷惑星は原始惑星が重力でガスを纏うことによって完成します。

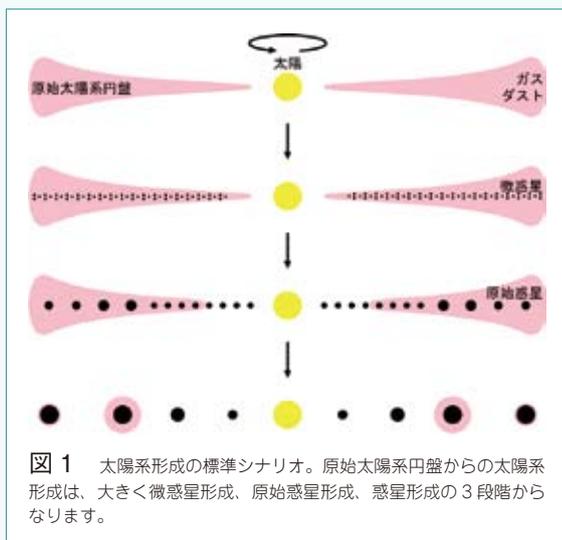


図1 太陽系形成の標準シナリオ。原始太陽系円盤からの太陽系形成は、大きく微惑星形成、原始惑星形成、惑星形成の3段階からなります。

星(系外惑星)がどのように形成されるのかを研究する分野を惑星系形成論といいます。惑星系形成論は最近、目覚ましい進展を見せています。これは、惑星の母体となる恒星の周りの円盤(原始惑星系円盤)や系外惑星の観測が、観測装置の進歩によって急速に進んでいるためです。特に系外惑星の観測によって、惑星系は太陽系のようなものだけでなく、実に多様であることが明らかになりました。これにより現在、これまでの太陽系形成シナリオの見直しと一般化が始まっています。今回の会議の目的は、最新の観測成果を受けて、現在の惑星系形成論が抱える問題点を整理し、今後の研究の方向について議論する、というものでした。世界11か国から約80名の参加があり、29件の口頭発表(うち招待講演20

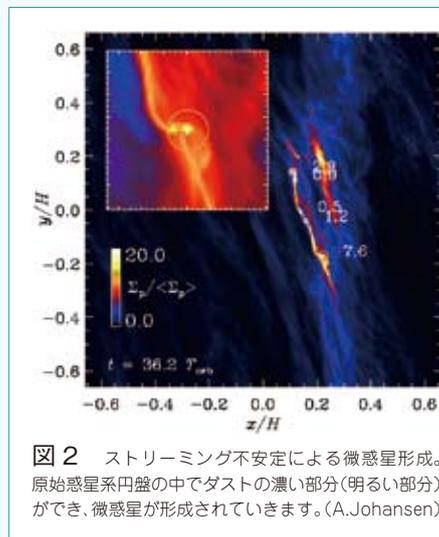


図2 ストリーミング不安定による微惑星形成。原始惑星系円盤の中でダストの濃い部分(明るい部分)ができ、微惑星が形成されていきます。(A.Johansen)

物理のまとめが行われました。そして、ガス惑星の構造と軌道進化について、観測からどのようなことがわかるのか、また中心星から遠く離れたガス惑星をどのように形成するかについて議論しました。また、惑星が円盤のガスと重力的に相互作用することで、どのように軌道を進化させるかについて、最新の理論が解説されました。この問題は、惑星系の多様性を生み出す過程として、とても重要だと考えられています。さらに、カッシーニ探査機による土星のリングの観測成果が速報されました。土星リングを取り上げたのは、リングの物理は原始惑星系円盤の物理と共通する部分が多く、惑星系形成の理論を検証する実験場と考えられるからです。

多様な系外惑星

会議の後半は主に系外惑星についてでした。会議の時点で、系外惑星の観測個数は450個を超えていました★。系外惑星には太陽系の惑星とは大変異なった惑星があります。灼熱巨大惑星とよばれる惑星は、恒星のすぐ近くを回るガス惑星です。さらに大離心率惑星とよばれる軌道が彗星のように長くのびた惑星も発見されています。これらの惑星について、質量、密度、軌道などの統計的性質の現時点でのまとめを行いました。さらに近年の観測精度の向上により発見されるようになった氷惑星や大型の地球型惑星について、その構造がどのようなものと考えられるのかの最新の計算結果が発表されました。そして、理論を集大成した惑星系形成モデルと観測の比較をし、現在何が合わなくて、今後どのような改善が必要なのかを議論しました。

研究会の最終日には、会議のまとめをし、それを基に今後の研究方針について熱い議論を闘わせました。

新たな研究へ

惑星系形成論の重要な課題の1つに惑星の「居住可能性」があります。これは惑星に生命が存在できる条件のことで、現在は海が存在することだと考えられています。美しい海に囲まれた石垣島は、居住可能性について考えるのにとってつけの場所といえます。八重山のすばらしい自然と文化に触れながら、自由に議論を楽しむことができました。この会議が新たな研究の契機になれば、主催者としてこれ以上うれしいことはありません。

今回の国際会議の開催にあたっては、「地球から地球たちへ」東京工業大学・東京大学GCOEプログラムと国立天文台から開催資金の援助を受けました。また、石垣市とANAインターコンチネンタル石垣リゾートには多大な協力をいただきました。そして、科学組織委員会、現地組織委員会、手伝いの大学院生をはじめ、会議開催に協力いただいた全ての方に、この場を借りて改めて感謝したいと思います。Thank you/ミーファイユー/ありがとうございました。

●参照 <http://www.gcoe-earths.org/ishigaki2010/>

new scope <解説>

▶系外惑星の観測方法

系外惑星の観測方法には、ドップラー法、トランジット法、重力レンズ法、撮像法などがあります。会議では、これらの観測を行っている代表的なグループから最新の成果について発表がありました。すばるによって撮像された惑星も紹介されました。

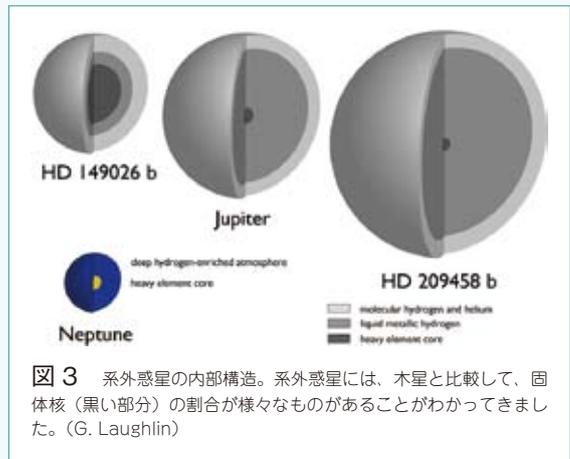


図3 系外惑星の内部構造。系外惑星には、木星と比較して、固体核（黒い部分）の割合が様々なものがあることがわかってきました。(G. Laughlin)

★石垣島では、国際会議に関連したさまざまなイベントが行われました。そのようすは21ページをご覧ください。



図4 美しい地球の私たち!

VERA 計画10年の歩み

はじめに——川口則幸（水沢 VLBI 観測所長）

VERA プロジェクトは2001年度に開始されました。VERAとは「VLBI Exploration of Radio Astrometry」を略したものです（「VERA」はラテン語で「真実」の意）。当時の国立天文台地球回転研究系、水沢観測センター、電波天文学研究系超長基線干渉計天体物理部門に属する研究者が結集し、水沢、入来、小笠原、石垣の各地に20m電波望遠鏡を建設して超高精度の電波位置天文観測を行うものです。

この計画では、数100マイクロ秒角というわずかな年周視差を精密に計測し、数キロパーセク以上離れた天体までの距離を正確に計測します。2003年度からは国立天文台のプロジェクト制移行にと

もない、VERA観測所プロジェクトとして4局による定常的な位置天文観測が開始されました。2006年度からは水沢観測所の一部とVERA観測所が合体し水沢VERA観測所に、さらに2009年度にはVSOP-2推進室とも合流して水沢VLBI観測所と組織改編がなされましたが、一貫して高精度位置天文観測は継続され、現在は100を超える数の天体距離計測が行われています。

距離が正確に求まることで星の絶対的な明るさが明らかになり、我々の銀河に属する変光星の光度周期関係を解明する研究、我々の銀河の回転速度を銀河外縁部まで精密に計測し銀河の質量分布を明らかにする研究、星の進化に関する理論

の検証などが進められています。また、観測網の整備も並行して進め、観測の自動化や高感度化、韓国VLBI観測網や国内大学局との連携強化も進めています。天体の位置計測は、天文学にとって最も基本的な観測量を提供するもので、天体の位置及びその変化から見えない質量の分布を明らかにする、正確な距離計測から天体の絶対的な明るさを知る唯一の観測手段としてその重要性は今後も益々高まるものと思われます。

本特集号の発行を機会に、さらなる飛躍を目指してゆきたいと思いますので、引き続きご協力をお願いして諸言といたします。

■水沢 VLBI 観測所 VERA4 局

● VERA 水沢局
所在地：岩手県奥州市水沢区星が丘町
東経：141度07分57.199秒
北緯：39度08分00.726秒
標高：75.7m
アンテナ完成年月：2001年3月

● VERA 小笠原局
所在地：東京都小笠原村父島
東経：142度12分59.809秒
北緯：27度05分30.487秒
標高：223.0m
アンテナ完成年月：2001年3月

● VERA 入来局
所在地：鹿児島県薩摩川内市入来町
東経：130度26分23.593秒
北緯：31度44分52.437秒
標高：541.6m
アンテナ完成年月：2001年3月

● VERA 石垣島局
所在地：沖縄県石垣市
東経：124度10分15.578秒
北緯：24度24分43.834秒
標高：38.5m
アンテナ完成年月：2002年3月

■VERA 電波望遠鏡 基本諸元

形式：カセグレンアンテナ（2ビーム）
／AZ-Eマウント
開口直径：20m
受信周波帯：S帯 2.21-2.37GHz
X帯 8.18-8.60GHz
K帯 21.5-23.8GHz
Q帯 42.5-44.5GHz

重量：380トン
★なお、4局の各アンテナには、ヒーター
装備、氷雪除去、砂塵除去など、設置環
境に合わせた特殊装備が施されている。

1. 構想と建設

VERA (「ペラ」・VLBI Exploration of Radio Astrometry) は「天文精測望遠鏡」の意味です。電波干渉計によって高精度の天体位置観測をめざした VERA 誕生の経緯を紹介します。

VERA 建設の構想と経緯——真鍋盛二

VERA 計画の淵源は地球回転観測における 1970 年代からの宇宙測地技術 (VLBI、SLR、Doppler) の勃興と光学位置天文観測の終焉にある。1983～84 年に行われた各種観測技術比較観測キャンペーン (MERIT-COTES) の結果、VLBI 及び SLR の圧倒的優位が示された。これを受けて当時の緯度観測所は今後の地球回転観測手段として VLBI を採用することとし、本格的検討を開始した。

1985 年に釜房温泉で行われた経緯度研究会で、位置天文地球回転関係者に電波天文からも多数の出席を得て、2局1基線から始める VLBI 計画を推進することとなった。VERA (VLBI for the Earth Rotation study and Astrometry、地球回転・基準座標系 VLBI) という名前もここで決まった。名前から分かるように、この地球回転と天球及び地球基準座標系が主要な研究課題とであったが、メーザ天体の位置天文学や銀河回転の測定も基準座標系の研究対象であった。また、測月への応用も既に含まれていた。国立天文台への改組統合に際しては、水沢の最重要装置計画であったが、実現には長い時間がかかり、その間の GPS の台頭と VLBI の相対的地位低下という測地分野における世界情勢の変化もあって、メーザ観測による銀河系位置天文学への研究課題の重点の移動、それに伴う観測方法の発展、KNIFE 実験、位相補償実証観測等の実績の結果、現在の VERA システムに行き着いたのである。

1995 年には日本の地上 VLBI 統一計画と位置づけられ、水沢、鹿児島、小笠原、石垣島に 2 基づつアンテナを置く案が、測地学審議会建議、天文研連・測地研連の推薦、国立天文台の関連委員会の承認を得て予算概算要求に漕ぎ着いた。名称も VERA を引き継ぎつつ、より実体を表す「天文精測望遠鏡」(VLBI Exploration of Radio Astrometry) に変更された。

装置計画は精密天体位置計測のためには相対 VLBI が必要ということで、2ビ-

ム法、ペアアンテナ法、スイッチング法が検討された。2ビーム法は球面鏡では実現できず、ペアアンテナ法は予算の壁があり、一時スイッチング法を採用することとしたが、アンテナメーカーからスチュアートプラットフォームを用いた方式の提案があり、他に類例のない現在のシステムに落ち着いた。このシステム案は当時最高速の 1Gbps 記録と共に VERA の売りであり、予算要求に際しての訴求力があつたと思っている。

予算要求はなかなか通らず、空港問題で小笠原における新規計画が全て凍結されるという事態もあつたが、それも解決し、2000、2001 年度補正予算で全 4 局の建設が認められた。4 局全ての実現は予算的にかなり困難であると覚悟をしていたが、台長、企画調整主幹及び事務部を始めとする国立天文台の支持、さらに、VLBI 天文・測地コミュニティ、鹿児島大学を初めとする大学研究者のサポートが VERA 実現に大きく寄与したことを記して、謝意を表す次第である。



水沢局



VERA4 局の配置と日本列島スケールの長大な基線長を持つ天文精測望遠鏡の概念図。

VERA の建設——小林秀行

VERA の構想は、1980年代初期に当時の緯度観測所の将来計画として10 μ 秒角の年周視差の計測精度を持ったVLBIアレイとして構想されましたが、1994年に鹿児島で開催されたVLBI懇談会において、地上VLBI統一計画として位置付けられ、1999年の補正予算でやっと水沢・小笠原・入来 の3局が予算化されました。その翌年2000年の補正予算で石垣島局も予算化され、VERA4局のプロジェクトがスタートしました。

当初は、水沢と石垣島の2局で各局4素子のアンテナ構成でしたが、国内VLBIアレイの中核的な役割も期待され、4局で各局2素子のアンテナ構成に変更されました。その後、2素子アンテナが世界初の2ビーム受信システムへと検討が進み、現在のシステム構成となりました。概算要求前のサイト調査では、海外設置は困難と判断し、国内で銀河系中心部が十分に観測でき、なるべく基線長を長くとれるサイトを検討し、水沢・小笠原諸島・石垣島が選定されました。その後、アレイの中心として鹿児島が選定されました。また、観測システムでは、記録システムを当時使用されているものより8倍の広帯域である1Gbpsの記録システムとし、それに対応する受信機・デジタルシステムを含めて開発を進めました。これらは、もちろん世界最先端のものです。

1999年度の補正予算では12月に3局の建設が予算化され、16か月間で遠隔地3局の建設を行い、共同で開発を進めた鹿児島大学も含めて、関連する研究者・技術者・学生・事務職員は丸丸となって建設を進めました。常に優先順位を意識して、その時にやらなければいけないことに抜けがないように、後回しにできることの優先順位を下げて、年間約60億円の予算を執行しました（これは、単年度としては、国立天文台最大の額です）。アンテナ・受信機・デジタル・VLBI[記録・精密時計などの観測機器や制御運用ソフトウェアの開発を進めながら、サイトの整備を行うので、毎週サイトとメカへの出張を繰り返し、さらに毎日、各サイトと三鷹・水沢で電話会議を行い、進捗をチーム全体で確認しながら進めました。父島では、全域が国立公園であるために

選定に苦労しました。旧日本軍の通信施設跡地が、建設地になり、地下に軍事仕様の強固な基礎部分が残っており、撤去に苦労しました。また、建設中に骨が出て、戦時中のものかと驚きましたが、野生のヤギのものでした。

2000年で認められた石垣島局の建設では、先行の3局の試験観測を進めながら建設するというので、チーム内の問題意識の共有が求められました。そして、2001年には、各局で天体からの電波の受信に成功し、2002年5月には2ビームシステムでのフリンジが検出され、高い精度が実証されました。その後、試験観測が続けられ、レーザー天体の固有運動の検出・精密測地観測などを経て、2007年には、やっと年周視差の検出に成功しました。アストロメトリの試験観測では、再現性を含めて検証するためには、最低でも2年間の観測が必須であり、立ち上げに長い年月が必要になりましたが、チーム全体の粘り、大学などの研究コミュニティとの連携、石垣島、小笠原、入来などの地元の人たちの協力と声援、さらに国立天文台の執行部・事務部の協力のもとに成功させることができました。これらの経験は、私たちの大きな財産であり、改めて感謝の意を表したいと思います。



図上：1Gbps 記録システムで使用する巨大なカセット・テープ。

図右：20メートル VERA アンテナ建設のようす（水沢局）①AZ 台車の設置／②支持構造部の組み上げ／③上部機器室の組み付けセンターリング／④パラボラ面の完成（右下は10メートルアンテナ）。



2. 観測装置のビルドアップ

VERAの最大の特徴は、目的天体と位置基準天体を同時に観測する「2ビーム同時観測」です。このため、VERAのアンテナは通常の電波望遠鏡(1ビーム)と構造が異なっています。

システムのビルドアップ——柴田克典

●ファーストライト

電波望遠鏡が完成して初めて天体の電波を受信することを、我々は“ファーストライト”と呼んでいます。完成したシステム全体を通して行う最初の試験です。

水沢、入来、小笠原の3局では2001年3月に20mアンテナが完成し、その後、受信機系、信号伝送系、バックエンド系の設置作業が急ピッチで進められ、最後に制御計算機を接続して電波望遠鏡システムが完成しました。これを受けて、水沢、入来、小笠原でそれぞれ2001年10月14日、12月9日、2002年2月15日に水メーザ天体W49Nを使ったファーストライトに成功しました。また、石垣島局は1年遅れて建設されたため、2002年6月17日に水メーザ天体オリオンKLを使ったファーストライトとなりま

した。

いずれも最初の観測で成功するという順調な滑り出しで、VERAの機能確認試験が始まりました。

●ファーストFRINGE

ファーストライトの次はVLBI観測装置としての試験が待っています。

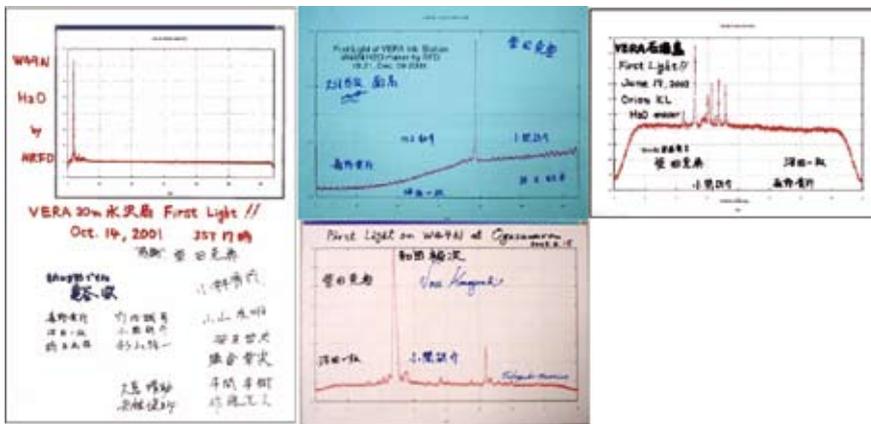
VLBI観測では、遠く離れた電波望遠鏡で受信し記録した天体からの電波を相関処理して観測データを取得します。相関処理とは記録された電波を重ね合わせて干渉させることで、専用の計算機やソフトウェアによって行われます。観測が成功したかどうかは、相関処理データで干渉縞(FRINGE)が検出できるかどうかで判断されます。FRINGEを検出するためには、相関処理時に電波の位相をそ



水沢-入来間で得られたファーストFRINGE。中央に立っている複数のピークが電波が干渉して強められている所でオリオンKL天体の中に存在するたくさんのメーザ放射に対応しています。サインひとつひとつから一人一人の笑顔が伝わってきます。

えて重ね合わせる必要があり、観測装置の高い位相安定度と高い相関処理精度が要求されます。

最初のFRINGE検出試験観測は水沢-入来間で2002年2月20日に、水メーザ天体オリオンKLを使って行われました。この観測からVERAの“ファーストFRINGE”が検出されました。



VERA4局の“ファーストライト”。水メーザ天体のスペクトルを、横軸が周波数、縦軸が強度で示したもの。水沢、入来、小笠原はW49N、石垣島はオリオンKL天体を観測した。試験観測を行った人たちのサインが記念に書かれています。



オリオンKL天体(すばる望遠鏡)。

入来局



相対位相観測のビルドアップ——本間希樹

VERAのシステムの最大の特徴は、2ビームアンテナによって目的天体と位置基準天体を同時に観測する「2ビーム同時観測」にあります(図1)。ところが、この方法では2つの天体が独立な受信機で受信されるため(図2)、アンテナや受信機、ケーブルなどで付加的な遅延差が発生します。このような装置による遅延差を正確に補正しない限り、VERAの2ビーム観測によって天体位置を正しく測ることはできません。VERAが目標とする10マイクロ秒角レベルの天体位置計測を行うためには、このような2ビーム間の遅延差を経路長に換算して0.1mmの精度で抑え込む必要があります。VERAの電波望遠鏡は主鏡の直径が20mもある大型構造物で、さらにアンテナの仰角によって重力によって変形しますから、電波の経路長差を0.1mmで抑えるのが如何に難しいかは想像に難くないでしょう。

このような遅延差を補正するために考案されたのが、雑音電波源を用いた2ビーム較正法です。VERAでは主鏡面中心部のフィードームベース上に対称に4つの雑音電波源を設置し、その電波を計測することで、2ビーム間の遅延差を測定します(図3)。この雑音は実際の天体観測中にリアルタイムでモニターされ、観測中に起こった経路長の変動を直接補正することができます。このような較正

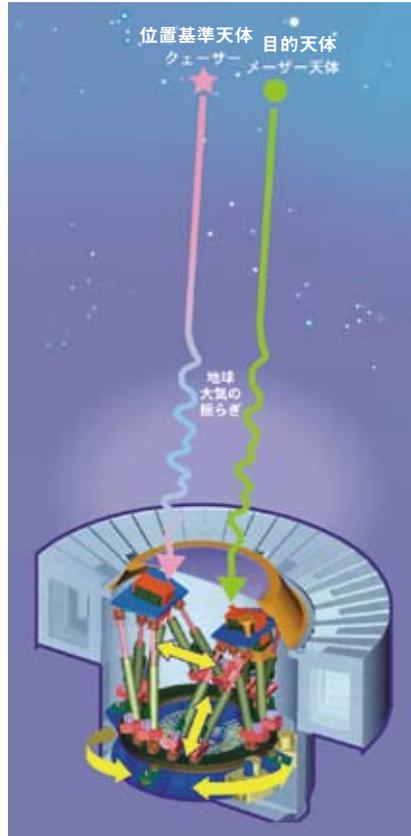


図1 2ビーム観測装置の原理。2つの星の間の距離に応じて、焦点面を移動しながら左右に開き、また日周運動による視野回転を補正するために、全体が回転します。

手法は2ビームアンテナの建設が決まった1999年から検討が開始され、アンテナの完成とともに2001年から実証実験が行われました。実験開始時は、雑音源の注入レベルが足りない(単純な計算ミ

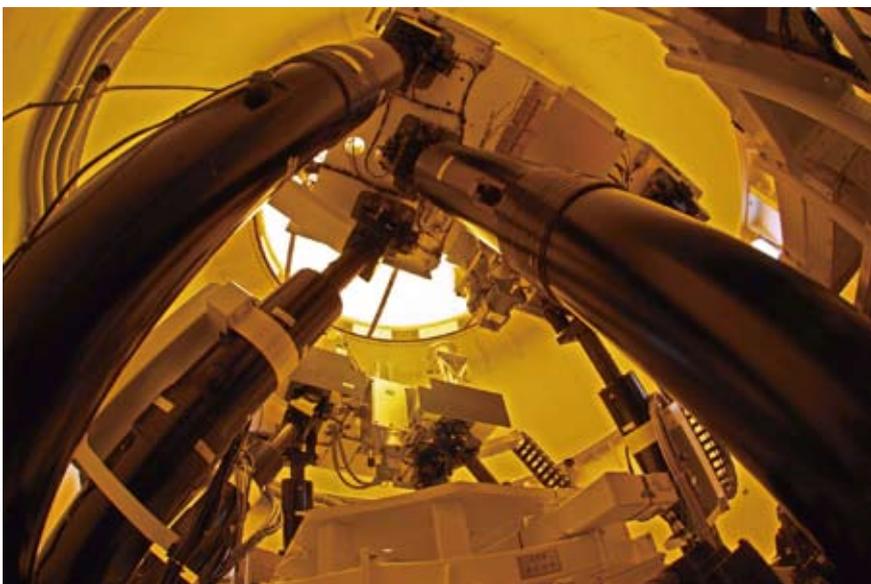


図2 VERAアンテナの心臓部。フィードーム(図3参照)内の上部機器室に林立するジャッキ。手前が1つのビームを受けるB側で、足の間からA側の受信機台が見えます。

ス?)、鏡面パネル上に設置した雑音源に雪が積もって傾いてしまう、などさまざまな苦勞がありました。最終的には雑音源をフィードームベースに搭載することで落ち着き、安定な計測が可能になりました。

雑音源の位置も正確に知る必要があるため、アンテナ上での雑音源の箱の位置の精密測定を三菱電機と協力して行い、また、雑音源の箱の中でのホーンの位置も三次元測定機で計測するなど、さまざまな細かい作業の積み上げにより、このような較正方法が確立し、2004年には4つの雑音源を観測中に定期的にモニターして経路長の補正ができるようになりました。さらに、2005年には水沢局のVERAの20m電波望遠鏡と隣接する10m望遠鏡の間で精度検証実験も行われ(図4)、我々の目標とする精度0.1mmが達成されていることが確認されました。構想から実験開始、そして精度の確立まで5年余りの歳月がかかりましたが、この較正法の確立によって現在VERAでは2ビーム観測によりさまざまな天体の位置計測が行われています。



図3 VERAアンテナのフィードーム(図4参照)ベース上に設置された雑音電波源(雑音源ケースの蓋をあけたところ。普段はもちろん蓋を開けて内部は見えません)。このような雑音源をフィードームベース上に対称に4か所設置し、その位相をモニターすることで2ビーム間の遅延オフセットを補正します。



図4 水沢局のVERAの20m鏡(左)と、10m電波望遠鏡(右)。この2台のアンテナを使って雑音源法の精度が実証されました。VERAのアンテナの鏡面中央にある膨らみがフィードームで、それを支持する台座の周囲に4か所の雑音源が設置されています。

3. 共同利用と大学協力

基線が長いほど観測に有利となる電波干渉法 (VLBI) にとって、遠隔点や多点での観測ネットワークの整備は欠かせません。VERA も多くの観測パートナーと協力関係にあります。

共同利用観測の開始——柴田克典

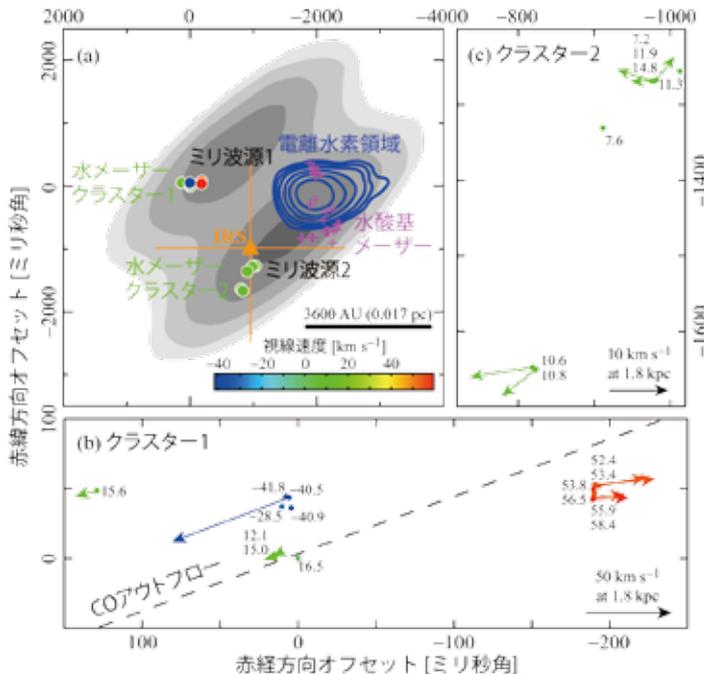
第1期VERA共同利用観測提案募集は2003年12月に行われ、計11件の観測提案がよせられました。他の共同利用観測装置に比べて提案数は多いとは言えませんが、提案があるかどうか心配していた我々は胸をなで下ろしたものです。これらの提案に対してプログラム小委員会で審査が行われ、7件、計105時間の観測提案が採択されました。そして最初の共同利用観測が2004年2月から開始しました。

この後、毎年共同利用観測提案募集が行われており、2010年秋には第8期の募集が行われる予定です。第3期までの共同利用観測は、試験的共同利用という位置づけでVERAプロジェクトからも共同研究者が加わり観測方法や解析手法を一緒に検討するという少し制限付きで行われ、国内の研究者に限って募集されました。第4期からは一般的な共同利用に移行し、国内外の研究者から提案募集を行っています。

VERA共同利用観測には、観測時間や観測時期が限られてしましますが、情報通信研究機構 (NICT) 鹿島宇宙通信研究センター34m電波望遠鏡と国立天文台野辺山45m電波望遠鏡も参加しています。



VERA 共同利用観測に参加している情報通信研究機構 (NICT) 鹿島宇宙通信研究センター34m電波望遠鏡 (上) と国立天文台野辺山45m電波望遠鏡 (下)。



VERA 共同利用による大質量形成領域 Onsala1 の水メーザー観測。この領域に2つの水メーザークラスターが約3000AU離れて存在し、2つのクラスターとも双極流的なふるまいを示すことが明らかになりました。2つのクラスターの位置は、ミリ波連続波の2つのピークとほぼ一致する一方で、水酸基メーザーが付随する電離水素領域からは離れており、数1000AU以内の領域でも進化段階に系統的な差があることが判明しました。

鹿児島大学との協力

～先生、VLBA に負けないように頑張りましょう～

平成11年度補正予算でVERA計画が認められ、鹿児島県入来町にVERA望遠鏡建設がスタートすることになり2000年1月、鹿児島大学で小平国立天文台長、田中鹿児島大学長がVERAアンテナの共同建設、共同運営の協定書に調印しました。入来での建設開始とともに教員と学生は入来に常駐し、望遠鏡システムの立ち上げなどに参加・活躍しました。

2001年7月、VERA局の完成にあたりVERAの共同建設、共同立ち上げだけでなく、国立天文台は鹿児島大学の学生・院生の教育・研究指導にも積極的協力を行うとして、海部国立天文台長、田中学長は国立天文台と鹿児島大学との研究交流を促進することを目的として「鹿児島大学と国立天文台との教育研究協力に関する協定書」に調印しました。これにより学生・院生達は鹿児島大学の望遠鏡が出来たかのように建設、運営、研究に参加できると聞き十数人の学生達がVERA計画に参集しました。学生達は連日スタッフ達と入来に向向き、徹夜観測も厭わず、VERAの精度出しに励むとともにVERAで予定しているサイエンスについて活発に議論しました。この日以降休むことなく、連日の電話会議でのVERA運用報告会議、週1回の国立天文台、鹿児島大学スタッフ、学生全員参加の会議での



VERA 入来局のアンテナ。

——面高俊宏（鹿児島大学）



国立天文台（当時は、東京天文台）三鷹で日本のミリ波天文学を拓いた6m電波望遠鏡も、鹿児島島の地で現役で活躍中です。

報告、討論、今後の観測天体選び、VERAデータの論文化等話す月1回のサイエンス会議が開催されてきました。

成果も上がり、VERAを使った多数の卒論・修士論文・博士論文が提出され、学会誌にも掲載されてきました。この冬出版予定のPASJのVERA特集第2号には鹿児島大学からも10編近い論文が投稿されようとしています。文部科学省も鹿児島大学との試みは大学共同利用機関が特定の大学と共同してプロジェクトの建設、運用を行う初めてのケースとして上手くいくか注目してきています。

最近米国VLBAが我々のVERA計画と同じ星までの距離を測るプロジェクトを立ち上げました。米国が日本が進めてきた銀河系の地図作りに参入するというのはVERA計画の重要性が世界的に認められたと喜ばしいですが、しかし強敵の参加です。学生達は「先生負けないように頑張りましょう」と観測、論文書きに燃えています。

茨城大学との協力——米倉覚則（茨城大学宇宙科学教育研究センター）
～日立32メートルアンテナ初FRINGE！（電波望遠鏡への改造作業がほぼ終了）～

茨城大学と国立天文台は、2009年はじめにKDDIより国立天文台に譲渡された2台の直径32メートル通信アンテナを電波望遠鏡へ改造する作業を共同して進めています。2台のアンテナは、それぞれ、国立天文台水沢VLBI観測所茨城局日立アンテナおよび高萩アンテナと命名されました。2台のアンテナには、それぞれ、6.7GHz帯、8GHz帯、および22GHz帯の3つの周波数帯の電波を受信する装置が搭載される予定です。2台のアンテナを用いて、次に示す2種類の観測方法を併用する事により、中心にブラックホールが存在すると考えられている銀河（＝活動銀河核）や太陽の8倍以上の質量の星が生まれている領域（＝大質量星形成領域）の研究を行います。(1) 国内外の電波望遠鏡と協力してVLBI（＝超長基線電波干渉計）観測を行う事により、非常に解像度の良い電波写真を作成する。(2) 日立アンテナおよび高萩アンテナをそれぞれ単独の電波望遠鏡として使い、高い頻度で同じ天体の観測を繰り返す事により、電波強度を監視する。

わたしたちは、2台のアンテナのうち、日立アンテナの改造を先行して進めてきました。まず、アンテナ制御系の整備を行い、2009年11月24日には、単独の電波望遠鏡として、太陽からの6.7GHz帯の電波の受信に成功しました。続いて、2010年2月には、6.7GHz帯の電波を受信するための低雑音冷却受信機を搭載。これにより感度が100倍以上向上しました。その後、VLBI観測に必要な不可欠な非常に精度の高い時計（水素メーザー原子時計）および観測データの記録装置の整備をすすめました。

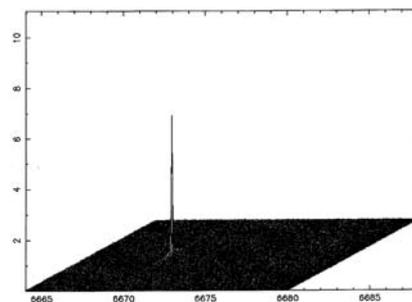
2010年6月10日には、日立アンテナにとって初めてのVLBI試験観測を行いました。観測には、日立アンテナとともに、水沢VLBI観測所のVERA水沢局およびVERA入来局の合計3台のアンテナが参加しました。いて座の大質量星形成領域G9.62から発せられる6.7GHz帯の

電波（＝メタノールメーザー）の観測を、3台のアンテナで同時に行い、観測結果をそれぞれ磁気テープに記録。観測終了後に国立天文台三鷹に郵送し、データ処理を行った所、水沢一日立間および入来一日立間において、それぞれ干渉縞（＝FRINGE）の検出に成功しました。

今回のFRINGE検出の成功は、日立アンテナのVLBI観測可能なアンテナへの改造作業が、ほぼ終了した事を示すものです。今後は高萩アンテナの整備や他の周波数帯の受信機の整備などを行うとともに、本格的な観測を開始する予定です。



初FRINGEの検出に成功した日立32メートルアンテナ。



茨城局日立アンテナのファーストFRINGE。VERA水沢20メートルアンテナと日立アンテナとの間のFRINGEです。VERA入来20メートルアンテナと日立アンテナの間でも、同様なFRINGEが得られました。



国立天文台水沢VLBI観測所茨城局。手前が高萩32メートルアンテナ、奥が日立32メートルアンテナ。

4. これまでの科学的成果

ファーストフリンジより8年。VERAは、銀河系精密測量で世界最遠記録を更新し、100個を超える天体の精密観測をこれまでに進めているほか、さまざまな観測テーマに挑んでいます。

サイエンスチーム

——本間希樹・廣田朋也・倉山智春(鹿児島大学)・中川亜紀治(鹿児島大学)

銀河系中心

銀河系の模式図

太陽近傍の拡大図

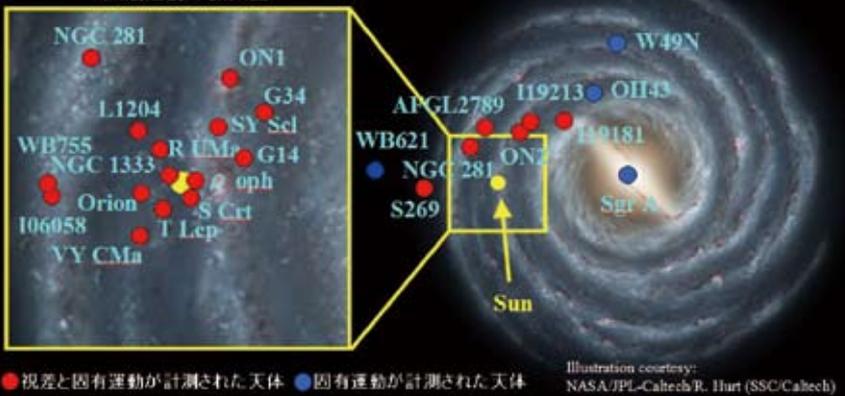


図1 銀河系の模式図およびVERAで位置天文観測が行われた天体の位置。赤は距離と固有運動が得られた天体、青は固有運動のみが得られた天体。すでに20個を超える天体で位置天文計測が行われています。(見開きの大判イラストは、VERAの観測を模式的に表したものです。//イラスト：KAGAYA)。

● 進む銀河系の精密測量

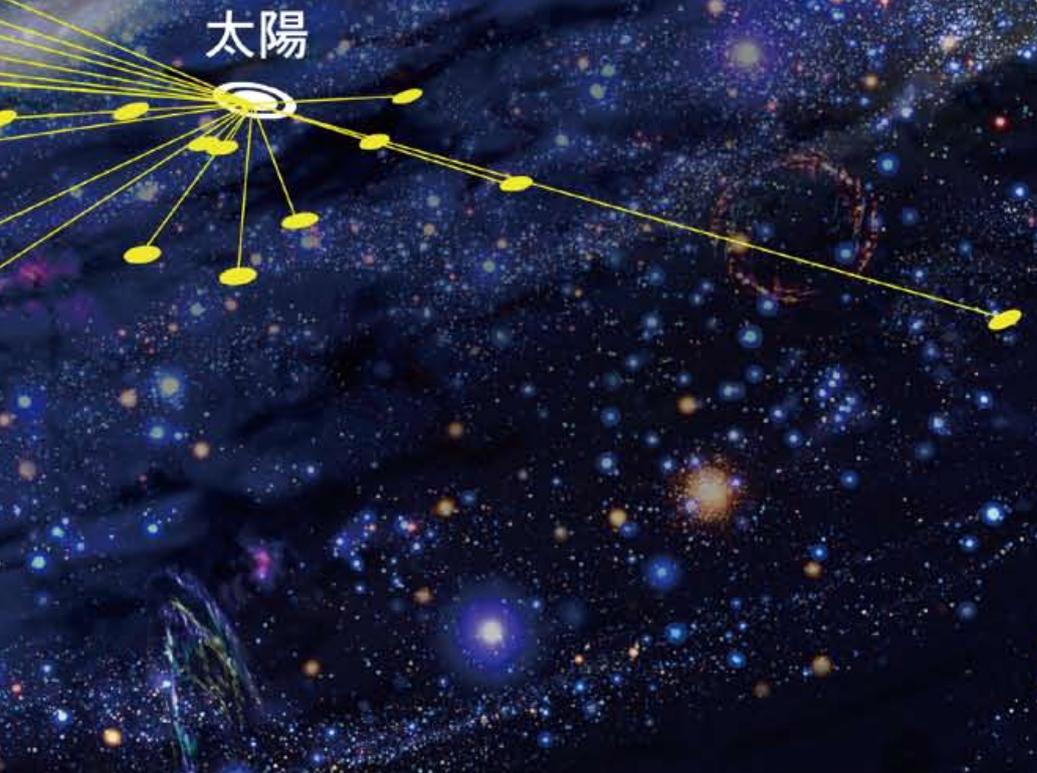
ここではこれまでにVERAによって得られた科学的成果について紹介します。VERAによる最初の位置天文観測結果が出版されたのは2007年のことです。太陽近傍の有名な大質量星形成領域であるオリオン星雲と、銀河系外縁部に存在する星形成領域のS269についてそれぞれ年周視差が計測されました。2004年から2006年の間に行われた水メーザーの位置計測結果から、オリオン星雲の距離が440pc、S269の距離が5.3kpcとそれぞれ求まり、またその精度も5%程度と高いものでした(1pcは3.26光年、1kpc=1000pc)。

これらの初期観測の成功を受け、2007年以降数多くの天体がプロジェクト観測天体として観測されています。すでに100個を超える天体が1年を超える期間に亘ってモニター観測され、観測と並行して、その解析も進められています。その結果、2010年現在で年周視差および固有運動が計測された天体は20天体に達し、これに加えて固有運動のみが計測されている天体も複数あります。これらの天体の銀河面上の分布を示したものが図1です。この図からVERAによって1kpcから5kpcといった銀河系スケールでの位置計測が実際に進められていることが見てとれます。これらの観測から太陽近

傍のローカル腕、いて座腕、ペルセウス座腕の構造についても議論が開始されており、銀河系の渦巻きの巻き込みの角度や、渦巻きに付随した非円運動成分の計測なども試みられています。もちろん、最終的な答えを得るのには天体数がまだ十分ではありませんが、これまでの天体の観測からペルセウス腕に関して15km/s程度の非円運動成分があることや、腕の巻き込み角の議論から銀河系が4本腕の銀河と考えるのが良さそうである、などの銀河系構造に関する示唆も得られています。

また、これらの天体の運動を用いて、銀河系の回転に関する議論も進められています。例えば、最初の成果の一つであるS269の固有運動の観測から銀河系中心から13kpc離れた領域での銀河系の回転速度が求められ、銀河系外縁部に大量の暗黒物質が存在することも確認されました。さらにその後も複数の天体を用いた議論によって、銀河中心からの距離が6kpcから13kpcの場所で銀河の回転速度がほぼ一定であるとして矛盾ないことも報告されました。これらの結果は、これまでの銀河系回転の観測結果を支持するものですが、直接の年周視差計測と固有運動計測に基づくもの精度の high であり、仮定のない正確な測定であるという点で、VERAの特徴を生かした成果になっています。(本間希樹)

太陽



●見えてきた太陽系近傍の構造

次に、興味深い領域や天体ごとにもう少し詳しい成果を見ていきましょう。

VERAでは、太陽系から1kpc以内、銀河系スケールに対して比較的近い距離にある星間分子雲の位置天文観測もプロジェクトの研究テーマの一つとして行っています。星間分子雲は太陽のような恒星や太陽系のような惑星系が生まれつつある領域であり、特に太陽系近傍のいくつかの領域については、様々な波長域での観測的研究が活発に進められています。これらの研究の精密化には、高精度な距離決定に基づいた天体の質量や大きさ、光度の推定などが必要不可欠です。私達は、これまでにオリオン座、ペルセウス座、へびつかい座、ケフェウス座の各分子雲中で生まれつつある原始星に付随するメーザー源について、年周視差に基づく距離計測に成功しました(図2)。

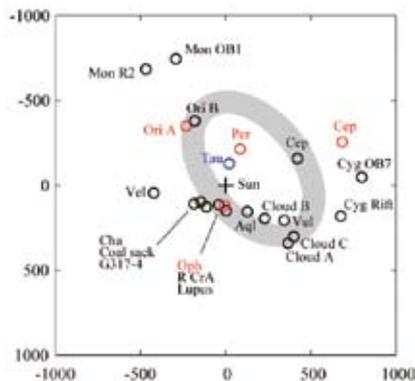


図2 これまでにVERAで距離が計測された太陽系近傍分子雲の分布(Dame et al. 1987)。縦軸、横軸は、ともに太陽系からの距離(pc) 赤字はVERAで観測をした天体、青字はVLBAで観測された天体(Ori A, Ophも含む)。この領域全体の分子雲は、銀河系の局所腕(図の左上から右下に向かって存在する分子雲が示唆)を形作っていると考えられています。さらに、太陽系近傍には、灰色で示した“Gould Belt”と呼ばれる大質量星や分子雲の集中したリング状の構造が存在すると言われていました。VERAによる観測で、Gould Beltの運動と構造が解明されると期待されます。

VERAによる年周視差計測結果は、各分子雲の距離がこれまでの推定値(可視光帯での星の減光の観測、または天体の視線速度と銀河回転モデルなどから推定されています)と比べると、仮定が少なく、かつ高い精度(誤差10%以下)で決定されています。そのため、これらの結果を用いることで分子雲や原始星の物理量をより正確に推定することが可能になります。さらに、VERAを用いて同じ分子雲にある複数天体の距離と運動を正確に計測することによって、分子雲の奥行き方向の広がりも含む「分子雲の3次元的な立体構造と運動」を初めて明らかに

することも可能になります(図3)。このような研究は、VERAだけでなく、米国のVLBIネットワークVLBAでも始まっており、今後数年間に、より多くの太陽系近傍分子雲の精密な距離計測が進められると期待されます。(廣田朋也)

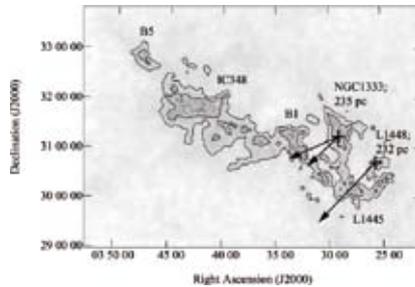


図3 VERAによる近傍分子雲の位置天文観測例。ペルセウス座分子雲(赤外線での減光量によるマップ、Ridge et al. 2006)の中にあるNGC1333とL1448Cの距離と運動を測定したところ、どちらもほぼ同じ距離で、かつ、同じ向きに動いていることが明らかになりました。他の分子雲(B1, B5, IC348, L1445)の距離計測は今後の課題です。

●ダイナミックな銀河系の姿をとらえる

VERAの精度を持って銀河系を観測すると、天体の位置はもはや普遍ではなく、時々刻々変化していることが見てとれます。例えば、銀河系の中心方向の天体は、銀河系の回転によって年間約5ミリ秒角ずつ移動してきます。これは一週間あたり0.1ミリ秒角に相当しますから、VERAで毎週の天体の位置変化を楽に検出できます。すなわち、VERAの精度で見ると先週と今週で星座の形が変わって見えるのです(もちろんほんの少しずつですが)。その意味で、VERAによって天の川の流れを実感できる時代が来たと、いうことができます。

また、銀河系内のガスや天体は銀河中心の周りを静かに回転しているだけではありません。銀河系の渦巻き腕に沿って分子ガス内で多数の星が誕生し、また、これらの星が一生を終えると最後に超新星

爆発を起こしてガスを激しく吹き飛ばします。このように、星の誕生と死、ガスの収縮と爆発を繰り返しながらダイナミックに進化していく銀河系の姿も、VERAで直接に捉えられています。たとえば、ペルセウス腕に付随した星形成領域NGC281は、銀河面上空に300pcも離れて存在する「スーパーバブル」という構造に付随して銀河面から離れて存在しています(図4)。このような場所にガスや星形成領域が存在するのは、過去に超新星爆発によってガスが上空に吹き飛ばされたためとこれまで推定されてきました。VERAでこの天体の運動を精密に測定すると、確かに銀河面から遠ざかる方向にこの天体が運動していることがわかり、銀河系の「噴火」によってこのようなガスが吹き飛ばされていることが確認されました(図4)。また、超新星残骸W51Cを挟んで位置する2つの天体W51MおよびG48.61+0.02についても、VLBAとVERAによる距離決定から、ともに超新星残骸W51Cに付随しており、爆発によって異なる速度で動いている確認されました(図5)。この2天体は視線速度が異なるためにこの超新星残骸に付随しているかこれまで疑問でしたが、VERAによる観測によってその関係が明らかになり、この系についても超新星爆発とそれにもなうガス圧縮での星形成という描像が確立しました。(本間希樹)

●ミラ型変光星の周期—光度関係：新たな標準光源へ

明るさが変わっていく星、変光星の中には「周期光度関係」と呼ばれる関係を持つ種類があります。つまり、変光の周期がわかれば星の明るさが決まるわけです。しかし、星のみかけの明るさは遠くなるほど暗くなるので、同じ周期の星で

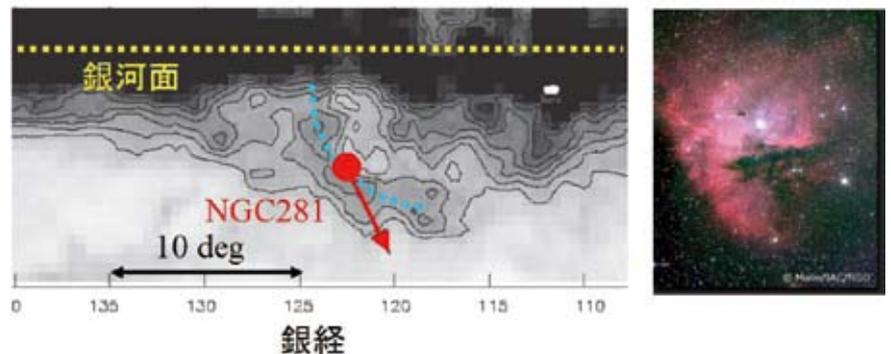


図4 銀河系のスーパーバブルに付随する星形成領域 NGC281 の運動。等高線が中性水素ガスの分布で、銀河面から 300 pc も離れたスーパーバブル上に NGC281 が存在しています。VERA の観測から、この天体が銀河面から遠ざかる運動をしていることが明らかになりました。右は NGC281 の光学写真で、若い星による電離星雲と、冷たい分子ガスからなる暗黒星雲が見えています。

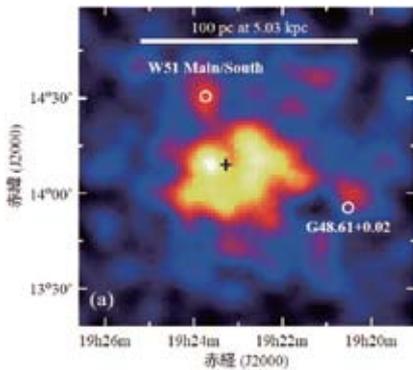


図5 γ 線で見た超新星残骸W51C(中央の明るい部分)と、その周囲に存在する星形成領域W51Main/SouthとG48.61+0.02。両者の視線速度は20km/s以上も異なっており、これまでは両者に関連があるかは不明だった。VERAによる距離決定でG48.61+0.02はW51Main/Southと同じ距離にあることがわかり、ともに超新星残骸に付随した天体であることが明らかになりました。

も距離によってみかけの明るさが変わってしまいます。これを逆に利用すると、たとえば2つの銀河の同じ周期の星のみかけの明るさを比較することで、2つの銀河の距離の比を求めることができます。銀河系外の銀河の距離を求めるのに頻繁に使われる方法です。

太陽の約50億年後の姿であろうといわれているAGB星は、ミラ型変光星や半規則型変光星という種類の変光星が多く、大マゼラン雲の観測などから周期光度関係があることが分かっています。大マゼラン雲は遠くにあって厚みが無視できるので、すべての星が同じ割合で暗くなっているのです。しかし我々の銀河系内の変光星では距離の誤差が大きく、きれいな関係を得ることができない状態でした(図6の黒)。

VERAではこれまでに3つのAGB星の年周視差測定を実施し、距離を正確に求めることができました。この正確な距離を使うと、銀河系内の星できれいな周期光度関係を得ることができました(図6の赤)。

今後はさらに多くの星の年周視差測定

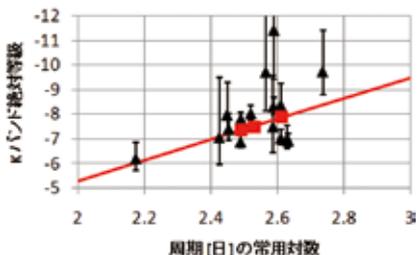


図6 (黒) 銀河系内ミラ型変光星の周期光度関係。Hipparcos 衛星の距離を使用 (van Leeuwen et al.1997,MNRAS,287,955)。(赤四角) VERA の距離を用いたミラ型変光星の周期光度関係。誤差棒があるが見えないほど小さい。(赤直線) VERA のデータを用いて求めた周期光度関係。

を実施するとともに、他の銀河の距離測定やVERAで観測できないAGB星の距離を求めることによるAGB星の分布の解明を行うだけでなく、周期光度関係がなぜ見られるのかといったAGB星自体の物理現象の解明にもつなげていきたいと考えています。(倉山智春)

●距離尺度の校正作業

天の川銀河を構成する星が示す分布や運動を明らかにするのがVERAの大きな目標です。VERAは星までの距離を年周視差計測によりダイレクトに測りますが、この方法とは別に、星が持つ明るさなどの属性を利用した距離尺度、いわば「ものさし」を用いて星までの距離を測る手法があります。VERAは鹿児島大学と共同で、このものさしの校正作業も進めています。

ミラ型変光星は太陽の1~8倍程度の質量を持ち、周期100~1000日程度の規則的な変光を示す星です。大マゼラン雲に存在するミラ型変光星の研究から、変光周期(LogP)と絶対等級(M)の間には比例関係(周期光度関係)が成り立つことが分かっています。この関係は変光周期と実視等級(m)から天体の距離をわりだすものさしとなるのですが、天の川銀河のミラ型変光星については距離の不定性が大きく絶対等級の決定が困難なために明瞭な周期光度関係が得られていません。これを明らかにするのがVERAの試みです。ミラ型変光星の年周視差を計測して得られる正確な距離と、鹿児島大学入来1m光赤外線望遠鏡(図7)で得られる実視等級(m)から絶対等級(M)を割り出します。複数の星を観測して多くの(logP, M)の値を得ることで周期光度関係を明らかにすることが出来るのです。一旦この関係が得られ、ものさしの校正が済むと、天の川銀河の隅々まで分布するミラ型変光星の距離を計測することが出来ます。現在までにおよそ20個のミラ型変光星を観測しており、初期成果が期待されます。(中川亜紀治)

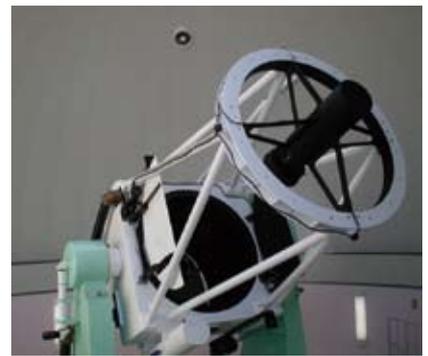


図7 鹿児島大学1m光赤外線望遠鏡。

●今後の観測計画

VERAは今後も10~15年程度かけて、合計で数百個~1000個の天体について距離と運動を計測する予定です。これによって銀河系の構造や回転、質量分布の解明が進むと期待されます。実際、VERAの成功は米国の主要なVLBI観測装置であるVLBAの運用にも大きなインパクトを与えており、VLBAではVERAと同様に銀河系内の多数のメーザー源を精密計測し、銀河系の構造を探る大型プロジェクトが2010年より当面5年を目標にスタートしています。このプロジェクトとVERAは、それぞれ異なる天体を観測して、協力して銀河系の精密計測の流れを加速する方向で協力関係が模索されています。さらに、VERAで実績を上げた若い研究者がVLBAの大型プロジェクトにも複数参加しており、その意味でもこの分野でVERAが世界的な貢献をしているといえるでしょう。また、2012年には欧州の光学位置天文衛星GAIAが打ち上げられる予定で、打ち上げから5年後の2017年ごろにはそのデータが取りまとめられ、VERAやVLBAの電波観測の結果と合わせて、銀河系に対する理解が進むと期待されます。さらに日本では赤外線によってGAIAの欠点を補って銀河系を観測する位置天文衛星JASMINEも計画されており、これからの10年間は銀河系研究のさらなる進展が楽しみなところです。(本間希樹)



石垣島局(守り神のシーサーと)

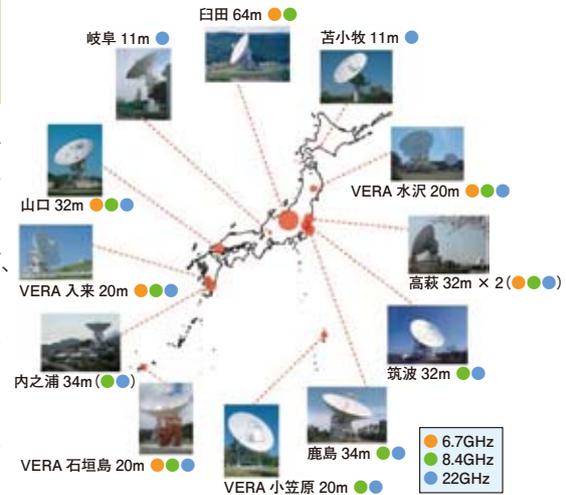
5.VERA 研究のトピックス

VERA は、測地学や測月学分野でも活躍しています。また、大学連携観測への参加や、干渉計の性能を支え向上させる保時や光結合 VLBI の整備など、さまざまな話題を紹介します。

大学連携観測——藤沢健太 (山口大学)

2003年にVERAが運用を開始した頃、北海道大学、岐阜大学、山口大学がそれぞれ独自の電波望遠鏡の運用を始めました。それ以前から研究拠点だった鹿児島大学と上記3大学・国立天文台が連携し、電波望遠鏡・研究機関を組織化して2005年から研究活動を行っているのが大学VLBI連携、その観測網がJVNです。現在では7大学、国立天文台以外にも3研究機関の協力をいただいて、最大13局という大規模な観測網になりました。

大学連携の観測は、中核にVERAが存在することから、メーザをプローブとした研究が半分以上を占めています。VERAでは水メーザの研究が中心ですが、大学連携ではメタノール・メーザの研究も活発に行われています。ここでぜひ強調したいことは、これらの研究の大部分を様々な大学の大学院生が中心となって推進していることです。これは大学連携の重要な成果であると自負しています。



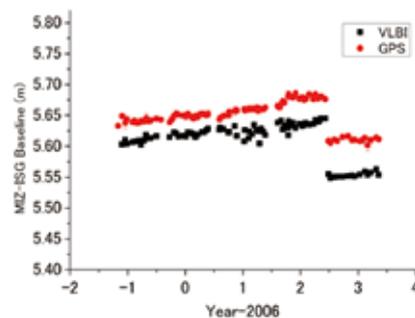
大学連携観測のネットワーク。

地震による水沢局の変位の検出——寺家孝明

VERAの位置天文計測精度を保証するためには、VERAネットワークの形状を数ミリメートルの精度で決める必要があります。しかし、VERAネットワークが位置する日本列島では、複数のプレートが互いに押し合う効果によって複雑な地殻変動が発生しており、VERAプロジェクトではこの地殻変動をモニターする事が必要になっています。定常的な測地VLBI観測とGPS連続観測が行われ、VERAネットワークの年間に数センチメートル程の形状変化を監視しています。

2008年6月14日に発生した岩手・宮城内陸地震 (M7.2) は水沢局の周辺地域に大きな被害をもたらし、水沢局では震

度5強の揺れが発生しました。この地震を含めると水沢局はVERAの建設時期から数えて3回の大きな地震に襲われています。この地震は東西方向に圧縮される地殻の歪みが解放されて発生した逆断層



水沢-石垣島基線の基線長の時間変化。2008年6月14日に発生した地震により基線長が短縮しました。

型の地震で、水沢局から西の奥羽山脈側に震源があります。水沢局は震源エリアからおおよそ10kmと近く、この地震にともなう地殻変動は水沢局の位置を10cm以上も西に移動させました。VERAネットワークの基線長の変化に、地震による地殻変動の影響がステップとして如実に表れています。



水沢局にて観測中のVERA水沢アンテナ、GPS、およびGalileo衛星受信アンテナ。

VERAによる「かぐや」のVLBI観測——佐々木晶

月はいつも地球と同じ面(表)側を向けているため、月の裏側にいる探査機を直接追跡することができません。そのため、過去の月の重力のデータは、表側の探査機の軌道から間接的に推定した、誤差の大きなものでした。「かぐや」では、リレー衛星「おきな」を使い、月の裏側

にいるときの主衛星の運動を追跡しました。これにより、世界で初めて月全体の正確な重力場を取得することができました。重力場の高精度化のためには、リレー衛星の軌道を高精度で決めることが重要で、「かぐや」では、VERAと国際局による多波長相対VLBI観測により、2機



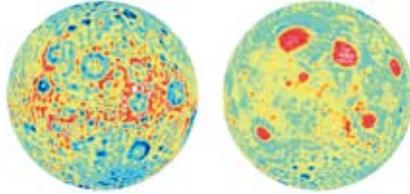
VLBI衛星「おきな」の放出のようす(2007年10月12日)。

の子衛星「おきな」「おうな」の軌道を同時に正確に決定しました。

当初のSELENE計画には、月着陸試験機が含まれており、VLBI観測用の電波源を搭載して長期間運用することにより、月の回転変動を調べることが計画されていました。その後、着陸船は中止となりましたが、重力場の高精度化のため、VLBI観測用にもう1機の子衛星「おうな」が搭載されることになったのです。

VERAでは衛星信号が受信できるように、S-band, X-bandの帯域が含まれています。われわれは「かぐや」のVLBI観測に備えて、VERA各局と、国際局[上海、ウルムチ(中国)、ホバート(オーストラリア)、ヴェッセル(ドイツ)]に狭帯域受信処理用ターミナル(S-RTPstation)を設置しました。「かぐや」のVLBI観測は、

観測計画立案、衛星観測、データ取得、相関処理にいたるまで天文台RISEグループを中心として行い、水沢VLBI観測所(VERA局)の全面的な協力によって目標を達成することができました。VERA局では、S/X帯の受信機の開発、ビデオコンバーターの改修にはじまり、「かぐや」運用時には、週24時間の観測時間を最優先で確保してアンテナ運用に対応してもらいました。とくに、状況に応じて変化する観測要求に対しても、柔軟に対



世界で初めて得られた月全体の重力異常の分布図。

応して観測時間を割り当てていただきました。

相関処理・遅延時間推定に当初考えていた以上の時間がかかりましたが、平成21年度中に同一ビーム観測、スイッチング観測について処理を終了。同一ビーム観測データを取り込んだ新しい重力場モデルSGM100iを出すことができました。月の深部構造に感度がある、低次の重力場を改善することができました。

VLBI技術を用いた深宇宙探査機の航法誘導、軌道決定は今後も太陽系探査で重要になります。RISEグループは現在進められている月惑星探査将来計画において、VLBI技術を応用した観測機器(月重力、火星回転変動など)を提案しており、VERAグループと協力して実現させていきたいと思ひます。

光結合 VLBI の推進——川口則幸

光結合VLBI推進室では、日本全国に散在する電波望遠鏡を超高速の光通信回線(SINET3, JGN-2)で結合し、高感度・実時間のVLBI観測の実現を目指しています。

鹿島34mはJGN-2回線でNICT小金井局に伝送され、小金井-三鷹間はNTT研究所の運営するGEMNETで接続されています。茨城局には、日立32mと高萩32mの2台の大型望遠鏡が整備されつつありますが、茨城局から鹿島局までは国土交通省が国道沿いに開放している光ファイバを利用して接続中で、2010年中には開通見込みになっています。茨城局の観測データは鹿島局の観測データと

合成され、三鷹に伝送されます。

苫小牧11m、山口32m、岐阜11m、つくば32mは学術情報ネットワーク(SINET3)で国立天文台三鷹に観測データを伝送しています。三鷹相関局では、実時間で相関処理が行えるだけでなく、磁気記録装置に記録しオフライン相関処理も可能になっています。通常のVLBI観測では、電波望遠鏡の制御のほかにデータ記録系の制御(記録制御、次期テープの交換)も必要で観測者の負担が大きかったのですが、光結合VLBI観測では、電波望遠鏡の制御や、通信回線の制御、相関処理装置の制御がすべて計算機により遠隔で実施可能で、観測者の負

担は軽くなっています。30日以上連続モニタ観測などがこれまでに実施されています。また、磁気記録観測では、観測データは毎秒1ギガビットに限られますが、光通信回線では最高8ギガビット毎秒までの観測データが伝送できます。このため、微弱な天体を高感度で検出することも可能です。現在は試験観測を行っていますが、将来は幅広いユーザーに活用していただくことを計画しています。



光結合 VLBI の概念図。

中央標準時とその保時——佐藤克久



NTPサーバー。

天文保時室では、法律に基づき中央標準時の決定及び現示並びに時計の検定に関する事務を遂行しています。

天文保時室で保有している4台のセシウム原子時計は、GPS衛星を利用した高精度国際時計比較を行っており、世界50か国以上の機関に設置されているセシウム原子時計群によって維持されている国際原子時(TAI)に寄与し、TAIを基にした協定世界時(UTC)の決定に貢献して

います。また、3台のネットワーク時刻情報(NTP)サーバーを自動的に切り換え負荷分散を図るシステムを構築して、インターネットを通じた標準時配信を行っています。



中央標準時を決定する時計装置。

6. さまざまな社会とのつながり

全国に4局を展開するVERAは、それぞれの地域に密着したさまざまな広報普及活動や教育活動を行っています。また、VERAを共通テーマとして地域相互の絆も強まりつつあります。

天の川のほとりで、VERA サミットを！——宮地竹史



南の島のほしまつり：ライトダウンされた会場の空に輝くさそり座。

2001年、VERA3局が次々と産声を上げました。6月に水沢局、9月に入来局、11月に小笠原局と続きました。

水沢局は、前身の緯度観測所開所100年を迎え、研究内容も地球回転から、銀河の回転へと大きく転換し、宮沢賢治の「銀河鉄道の夜」を生んだ地にふさわしい観測所として生まれ変わりました。続いて、9月には入来局。開局式の当日は朝から雨模様でしたが、「鹿児島では、『島津雨』といって、縁起が良いと喜ばれますよ」と、町長さんが教えてくれました。本当にみなさんの喜びは大きく、土砂降



八重山高原星物語：子供達に人気のイベントで、現代のガリレオが生まれています。

りの「島津雨」の中での式典となりました。一方、11月の小笠原局開局日の夜は、舞台の幕が開くように雲がさけ、広がる星空の中をしし座流星群が雨のように飛び交い、暗闇の中で歓声が明け方まで続きました。

そして、なんととしても4局目が欲しいという希望が叶って石垣島局が、翌年5月に完成。南十字星も見える星空の美しい石垣島に国立天文台の観測所ができるということで、島は歓迎ムードで満ちあふれ、記念の行事も二日間となり、施設公開、講演会、天体観望会を開催。いずれも予想を上回る1000名を超える参加で、天文台関係者を驚かせました。

あれから10年。今、VERA局のある市や村で始まった、星をテーマにした新たな地域興しや高校生達の研究体験講座が大成功をおさめています。



スターアイランド：実験やミニ講演もあり、この日は観測室も一杯に。

水沢市は奥州市に、水沢観測センターは水沢VLBI観測所へと発展。緯度観測所時代の本館は、奥州宇宙遊学館に生まれ変わり、「いわて銀河フェスタ」が始まりました。鹿児島の入来町も、市町村合併で薩摩川内市となりました。入来観測局を会場に開催されてきた「八重山高原星物語」は、子供達が科学に親しむことができること好評で、数千人を集める市のイベントになっています。小笠原局の施設公開は、「スターアイランド」と銘打ったイベントに発展。村の高校生達が企画に参加し、観光客もいっしょになって楽しめる催しになってきました。石垣島局



いわて宇宙フェスタ：宇宙への関心は高く、水ロケットは、いつも大人気。

では、「島の明かりを消して、家族みんなで天の川を楽しもう」と始まった伝統的七夕企画「南の島の星まつり」が大成功。今や、全国から1万人を集める島の大イベントに発展し、星の特産品も生まれています。

高校生達の研究体験講座も、石垣局の「美ら星研究体験隊」、水沢局の「Z星研究探検隊」では、新しい電波星や小惑星の発見もありました。入来局、小笠原局でも始まっています。

VERAプロジェクトでは、地元のみなさんに、計画当初から、建設、運用とさまざまな形で協力を頂き、この特集で紹介するような成果が生まれています。各種のイベントも地元との連携事業として、実をむすんでいます。そして今、VERA10年を機会に、天の川で結ばれる四つの観測局の地元のみなさん相互の交流計画が生まれています。「市長さん、村長さんで、VERA サミットを」のアイデアも出ています。ぜひ実現し、新たな10年へのスタートにしたいものです。



VERA 石垣島局の「美ら星研究体験隊」の参加者たち。

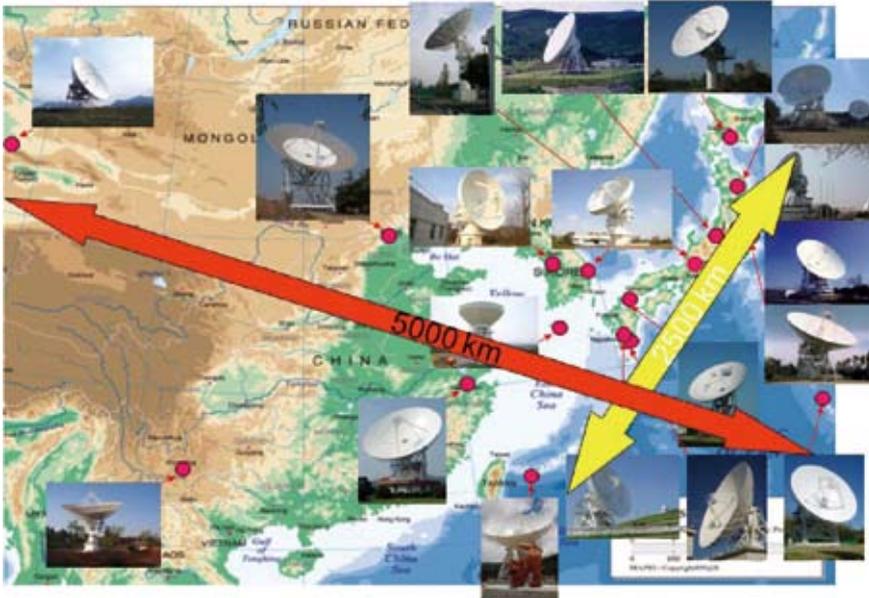
7. 今後の計画

VERA が参加する VLBI 観測ネットワークは、日本国内にとどまらず、東アジアの国々との観測ネットワークへと広がっています。さらに宇宙に基線を伸ばす VSOP-2 計画も進行中です。

東アジア VLBI ネットワーク——小林秀行

東アジア VLBI ネットワーク (EAVN) は、日本・韓国・中国の VLBI 観測局を結合して観測を行う VLBI 観測網です。米国の VLBA、ヨーロッパの EVN、オーストラリアの LBA に次いで、4 番目の大規

模 VLBI 観測網になります。日本には 13 局もの VLBI 観測局 (そのうち国立天文台は 7 局を所有) があり、韓国・中国を入れると 20 局の VLBI 観測局を有する世界最大の VLBI 観測網となります。さら



東アジア VLBI 観測網の広がり。日本国内に 13 局、韓国 3 局、中国 4 局で合計 20 局のアレイを構成します。

に VERA および韓国 VLBI 網 (KVN) は、近年では標準的な観測手法となった位相補償 VLBI 観測を設計当初から考えた観測局となっており、高精度天体位置計測によるアストロメトリ観測や長時間積分による高感度マッピング観測などに特徴があります。また、次期スペース VLBI 計画 (Astro-G) の地上観測網としての役割も大いに期待されています。

日韓共同で、これに対応する大規模 VLBI 関連局の建設をソウルで進めており、今年 5 月に完成式を迎えました。新たに 2005 年から建設が開始された KVN が完成し、KVN と VERA による試験観測が進められています。また、中国上海局も含めた試験観測も進められており、今後の進展が期待されます。

2000 年から開始された日韓 VLBI 共同研究に加えて、2004 年には東アジア中核天文台連合 (EACOA) のワーキンググループとして、中国も加えてコンソーシアムが形成され、毎年ワークショップを開催しています。今年からは台湾も参加し、東アジア 4 国による共同研究体制になっています。

VSOP-2 計画——梅本智文

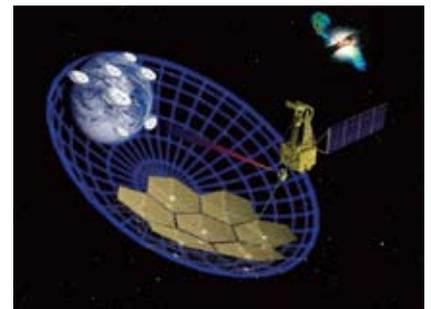
VSOP-2 (VLBI Space Observatory Programme 2) とは、国立天文台が宇宙科学研究所と協力して実現した VSOP (衛星名はるか) に続く次期スペース VLBI 計画です。口径約 9m の電波望遠鏡を積んだ衛星 (ASTRO-G) を宇宙に打ち上げ、地上の電波望遠鏡と協力して観測することで、直径 3 万 5000km の巨大望遠鏡を構成します。これにより、ハッブル宇宙望遠鏡よりも 2000 倍高い、40 マイクロ秒角 (月の上の野球ボールを見分けられる) という史上最高の空間分解能 (視力に相当) を達成しようと言うものです。VSOP-2 ではその驚異的な視力をいかして、銀河の中心に存在する超巨

大ブラックホール周辺で起こっているジェットなど宇宙の極限現象の解明をめざします。

VSOP-2 で地上の電波望遠鏡として主要な役割を果たすのが VERA、そして VERA を含む東アジア VLBI ネットワークです。そこで国立天文台では国内外の大学・研究機関と協力しながら、主に電波望遠鏡など地上観測装置の整備を進めています。天体磁場の観測と高感度撮像を実現するため、VERA を始めとする国内主要局の受信機の両偏波化と、広帯域 2Gbps 記録システムの試験および配備を進めています。他にもユーザーサポートなど科学運用の実行に必要なサイエン

ス運用センター開設へ向けて検討を進めています。

VSOP-2 が成功したあかつきには、ブラックホール周辺領域の撮像だけでなく、いろいろな天体が精密に観測され、多くの新しい発見がもたらされると私たちは期待しています。



宇宙科学研究所 (ISAS) / 宇宙航空研究開発機構 (JAXA) によって打ち上げられる予定の ASTRO-G 衛星。7 つのモジュールで構成されたアンテナを宇宙で展開する。観測周波数は 8, 22, 43GHz。

おわりに——川口則幸

VERA プロジェクトは、その建設開始から10年を経て、世界でもユニークな位置天文 VLBI 観測の専用観測網として多くの観測成果を上げつつあります。これまでは計測が大変困難であった太陽系外の天体の距離と銀河回転速度を明らかにし、最近では、ダークマター分布の非一様性も垣間見られるところまでに達しています。また、正確な距離計測から星の絶対温度を計測し、星の進化プロセスの研究にも貢献しています。遠方の星の異常な動きから系内で発生した大規模な爆発膨張（スーパーバブル）の様子も明らかにしました。また、月探査計画においては、月周回衛星の軌道を精密に計測し月の重力場を正確に求める研究（RISE）にも、地上の主要な観測ネットワークとして貢献しました。これらの成果は、観測局位置の定期的な精密計測、アンテナ等観測装置の継続的な保守作業、観測候補天体の探索作業など、地道な研究成果の上に得られたものです。

水沢 VLBI 観測所は大学との連携関係

を強化し、日本列島 VLBI (JVN) の主要な観測局として活躍するとともに、各大学局の観測データを超高速光通信回線で三鷹相関局に伝送し、実時間での高感度観測にも寄与しています。また、韓国とは韓国 VLBI 観測網 (KVN) の建設に協力するほか、日韓共同で大規模相関処理施設を開発するなど緊密な研究協力を進めています。また、中国上海局とも連携を進め、日中韓が連携した東アジア VLBI 観測網の整備計画も進めています。この観測網は、宇宙科学研究所と共同で進めている VSOP2 計画における地上観測網として大きな期待が寄せられています。宇宙科学研究所が進めている宇宙電波望遠鏡開発計画 (ASTRO-G) にも積極的に参加し、主として観測系機器の開発や、地上でのデータ取得局の整備において主要な役割を果たしています。

VERA 望遠鏡の更なる性能向上を目指して、観測装置の広帯域化や高速アクセスの可能な磁気ディスク記録装置の開発、高速汎用計算機を三鷹相関局に導入し、

ソフトウェアによる相関処理を可能にする開発、インジウムリンヘテロバイポーラトランジスタによる超高速サンプリング装置の開発など、将来を目指した開発も進めています。超高速サンプリング装置は、野辺山宇宙電波観測所が実施している広帯域分光計の整備にも寄与し、電波分野における相互協力も進めています。

広報活動では、各観測局を中核にした活動を積極的に展開し、石垣局や入来局、小笠原局や水沢局では、地域に密着した活動により地元関係者との連携も大いに進んでいます。また、高校生の学習活動に対する支援や、大学生への研究支援も積極的に進め、電波天文学の普及発展にも努めています。

これらの活動は観測所員全員の努力によるものではありませんが、国立天文台執行部をはじめとする関係者の温かいご理解とご支援により初めて可能になったものです。今後の更なるご支援をお願いしてまとめといたします。



建設開始のころ。

石垣島国際会議でおもてなし

宮地竹史 (水沢 VLBI 観測所・石垣島天文台)

6月20日(日)～26日(土)に、沖縄県石垣島で国際会議「進化する惑星系形成論」が開催されました(研究報告の詳細は3～4ページ参照)。今回の国際会議の開催にあたっては、石垣市役所観光課だけでなく、高校生や市民の方々、観光関連業者のみなさんからも、大変多くの協力をいただきました。郷土芸能や三線、島唄の披露、特産品の提供、観光施設、飲食店などでのさまざまなサービスがありました。参加者のみなさんには、まさに「石垣島は星の島」と感じる場面が数多くあったようで、別れ際には「また来たいです」が、合い言葉のように語られていました。そのトピックスのいくつかを紹介します。

●4D2U上映と講演会を楽しむ!

国際会議を記念して、6月25～27日には、石垣港離島ターミナル・とうもーるネットセンターを会場にして、国立天文台の宇宙4次元シアター(4D2U)の上映会を、26日には、「あるか! 第2の地球」をテーマにした講演会を開催しました。

4D2Uには、初日から家族連れの市民や観光客がたくさん訪れ、飛び出す宇宙の画像を驚きながら、楽しんでいました。

講演会は、井田茂さん(東京工業大学・教授)が「系外惑星から系外生命へ」、小久保英一郎さん(国立天文台・准教授)が「水金地火木土海一太陽系の秘密」と題して講演。星のまわりに惑星はどうして誕生したのか? 地球のような惑星は、他の星にもあるのかなど最新の研究成果を元にしたお話に、終了後も質問が続出しました。

この記念イベントには、3日間で550名の参加があり、最新の宇宙の画像やお話を楽しみました。

●バンケットでは八重山文化を楽しむ!

国際会議の中日、23日の夜は会議場であるANAインターコンチネンタル石垣リゾートの前庭でバンケット(懇親会)が開催され、泡盛「群か星」や、チャンプルなどの島料理を味わいながら、郷土芸能を楽しみました。

開会にあたっては、中山義隆石垣市長



記念講演会は大盛況。

が駆けつけて、歓迎の挨拶を頂きました。

また、八重山商工高校郷土芸能部のみなさんは、座開きに「鷲ぬ鳥節」を披露。続いて繁昌節、真謝井戸節、ゆさくいや節と八重山諸島に伝わる古謡に合わせて舞踊を披露。そのうまさにみなさん感動! 「スチューデント・ダンサー、ワンダフル」の声も出て、いっしょに踊り出す方もいました。続いて披露したのは、子供達による空手の演武でした。子供達の可愛い掛け声が響き、緊張感と和やかさが会場を包みました。オランダから参加していた方のお子さんも、大きな声で掛け声を合わせ、楽しんでいました。

しばし飲食も忘れて、沖縄の文化を楽しむひとときを過ごしました。



バンケットでは、石垣の美味しいお酒と料理に舌鼓。



八重山商工高校郷土芸能部の郷土芸能に拍手。

●内外の研究者に「八重山上布製の星の葉」をプレゼント!

今回の国際会議に対して、地元の歓迎もひとしおでした。その一つに、参加された内外の研究者に、とても貴重ですばらしいプレゼントがありました。それは、古くから石垣島など八重山諸島に伝わる芋麻の繊維を紡いだ八重山上布に、南十字星、北斗七星、群星とおうし座の3種類の星座を織り込んだ星の葉です。八重山星の会の会員で、石垣市伝統工芸館の八

重山上布の織り子さんでもある本宮清美さんが、数か月かけて糸から染め上げ制作したものです。

23日の夕方に開催されたバンケットでは、LOCの小久保さんが、本宮さんを紹介。本宮さんは、「美しい石垣島の星空を思い出にしてください」と、葉を披露され、お礼の拍手に包まれました。



本宮清美さん(左)と小久保さん。

●本屋さんでは天文書フェア!

会場近くの本屋さんでは、石垣島で天文学に関する国際会議が開催されるのを機会に、書籍を通じて天文・宇宙への関心を高めてもらおうとブックフェアを開催しました。

店内のコーナーには、書籍や星座早見が並べられ、手作りの大きな土星や地球、天の川なども飾られ、雰囲気盛り上げていました。書店では、子供たちにも好評なため、このあと「南の島の星まつり」が開催される8月まで続けたいと、張り切っていました。



ブックフェアのようす。星の葉で読書三昧。

石垣島では、VERA石垣島観測局や石垣島天文台ができ、天文学に関する国際会議や研究会が、次々と開催されるようになりました。2006年には、「銀河系と近傍銀河のマッピング(Mapping the Galaxy and Nearby Galaxies)」をテーマにした150名が参加する大きな国際会議が5日間開催されています。これまで国際会議が開催されてきた東京や大阪、京都などにはない美しい満天の星空と珊瑚礁のある石垣島は、国内外の研究者の交流の場所としても注目されはじめています。



03

アンテナ評価活動とチリ山麓施設の生活

アルマ望遠鏡

検索

●アンテナ評価とは?

本連載の前回記事で紹介したアンテナは、初めから標高5000メートルの山頂施設(チリ・アタカマ砂漠)で使われるのではありません。日本から船便で遠路はるばる運ばれたアンテナは、まず山麓施設(標高2900メートル)に設置され、性能を確かめるためのテスト(試験)が行われます。アンテナを実際に使ってみて、その振る舞いを注意深く調べ、性能が科学観測に必要な水準(性能要求)を満たしているかどうかを検証すること、これがアンテナ性能評価です。

性能評価では様々なテストを行います。最も重要な性能である鏡面精度(主鏡面の滑らかさ)と、指向精度(目標の天体に正しく向く能力)の測定に多くの時間を費やしています。主鏡面の滑らかさは、人工の電波源を使ったホログラフイーと呼ばれる手法を使って、数マイクロメートルの精度で測定することができます(ちなみに食品用ラップの厚みは十数マイクロメートル)。測定結果から分かった鏡面パネルのでこぼこをならす調整作業(図1)も行い、高い鏡面精度が確かに実現できることを証明するのです。アンテナが天体に正しく向いていることを確認するには、主鏡の内部に設置した小型の光学望遠鏡を使っています。あらかじめ方向が分かっている星にアンテナを向けて光学望遠鏡で撮影し、写った星の位置のずれを測ることで、アンテナが正しい方向に向いているかどうかを



図1 高所作業車に乗って鏡面調整作業中の西合さん(ALMA推進室)。

チェックできます。このようにアンテナを使って天体を観測するというよりも、アンテナそのものの振る舞いを観測することが性能評価なのです。

ALMAのアンテナは、昼も夜も、暑くても寒くても、強い風が吹いても、性能が保たれる必要があります。これを実際にテストして証明しなければならないのですから大変です。山麓施設ではテストが日夜行われており、徹夜することもあります(図2)。加えて鏡面調整のような外仕事もあります。評価活動は肉体労働であると言えます。



図2 徹夜のお供、夜食セット(これが半人前)。

●山麓施設の生活

アンテナ評価に参加するALMA推進室のメンバーは交代でチリに出張します。平均3-4週間の滞在中は、宿泊施設や食堂を完備した山麓施設にこもってテストを繰り返す日々が続きます。山頂施設よりは標高が低いとはいえ、山麓施設も立派な高地です。多くの人は順応して平地とほぼ同様の日常生活を送ることができますが、疲れやすくなるなど身体への負担は少なからずあります。山麓施設が人里離れた閉鎖的な環境であることによる精神的な疲労も見逃せません。休日には自動車で約40分の最寄りの村サンペドロ・デ・アタカマまで出かけてアルコール分を補給したり(山麓施設内では飲酒はご法度)、観光やサイクリングなどでリフレッシュしたりすることが欠かせません。

山麓施設生活の大敵のひとつが乾燥です。冬の平均湿度はわずかに約10パーセント(冬の東京都心は40-50パーセン

ト)。ケアを怠っていると手やかかとかがあつという間に荒れて、酷いときにはあかざだらけになってしまいます。湿気(水蒸気量)が非常に少ないこと、これすなわちミリ波サブミリ波観測の適地であることの証明ですが、人間が生活するにはまことに厳しい環境であるというほかありません。

●受入審査とアンテナ引渡し

2007年10月以来、多くの人々が関わってきた12メートルアンテナの評価活動は現在大詰めを迎えています。また新たに到着した7メートルアンテナのテストも始まっています。テストの結果、日本製アンテナは期待どおりの高い性能を発揮していることが明らかになりました。失敗やトラブルで大変な思いをすることもある評価活動ですが、アンテナの素晴らしい性能を目の当たりにできたときの喜びは格別です。また、テストを通してアンテナと密に関われることは、私たち自身にとってもアンテナをより深く理解する貴重な機会になっています。

評価活動の最後の関門が受入審査会です。私たちが行ったテストの結果を元に、日本製アンテナが十分な性能を備えているかどうかを日米欧の関係者が審査します。性能以外にもアンテナの安全性や、使いこなすために必要なマニュアル類はそろっているかなど、多くの項目が厳しくチェックされます。めでたく審査に合格すると、アンテナはALMA観測所に引き渡されて私たちの手を離れます(※)。引渡し後のアンテナは、ALMA観測所のスタッフによるさらなるテストと調整の後に山頂施設へ移動し、ついに観測に使われることとなります。詳しくは本連載でいずれ紹介する予定です。

※「日本の12メートルアンテナが第1号アンテナとして引き渡し」
<http://alma.mtk.nao.ac.jp/j/news/info/2008/121912m1.html>



国立天文台三鷹地区「三鷹・星と宇宙の日」のおしらせ

- 日時 10月22日(金)16時～19時(入場は18時まで) ※観望会を中心とした開催(公開は一部のみ)
10月23日(土)10時～19時(入場は18時まで)
- 場所 東京都三鷹市大沢2-21-1
- テーマ 「遠くの太陽、近くの星」
- 内容 主な観測施設や実験装置の公開・展示。
講演会や質問コーナー、スタンプラリーや天体観望会(晴天時のみ)など。

●共同利用関係のおしらせ

- 平成23年度NAOJシンポジウムの公募の詳細は、以下をご覧ください。<http://www.nao.ac.jp/pio/kouryuu/>
- 平成22年度研究集会(第2回)採択結果の詳細は、以下をご覧ください。<http://www.nao.ac.jp/pio/kouryuu/h22/kekka/index2.html>

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22年7月1日	今西 昌俊	配置換	助教光赤外研究部(ハワイ観測所)	助教光赤外研究部(ハワイ観測所(三鷹))
平成22年7月1日	岩田 生	配置換	助教光赤外研究部(ハワイ観測所)	助教光赤外研究部(岡山天体物理観測所)
平成22年7月1日	柏川 伸成	配置換	准教授光赤外研究部(TMTプロジェクト室)	准教授光赤外研究部(ハワイ観測所(三鷹))

事務職員

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22年6月30日	東郷 太郎	配置換	事務部総務課専門職員	ハワイ観測所事務部庶務係長
平成22年6月30日	東郷 太郎	辞職	東京大学国際部国際企画課係長	事務部総務課専門職員
平成22年6月30日	野口 知行	併任解除	職員係長の併任を解除する	事務部総務課人事係長 (併)事務部総務課職員係長
平成22年6月30日	野口 知行	辞職	東京大学医学部附属病院総務課人事労務チーム係長	事務部総務課人事係長
平成22年7月1日	林 博	配置換	自然科学研究機構事務局財務課経理係長	事務部総務課専門職員(情報担当)
平成22年7月1日	村上 陽子	兼務命	事務部総務課専門職員(情報担当)に併任する	事務部総務課総務係長
平成22年7月1日	小林 一隆	採用	事務部総務課人事係長 (併)事務部総務課職員係長	東京大学医学部附属病院総務課人事労務チーム係長
平成22年7月1日	川島 良太	配置換	事務部総務課研究支援係	事務部財務課調達係
平成22年7月1日	雨宮 岳彦	併任解除	事務部財務課専門職員(監査担当)の併任を解除する	事務部財務課課長補佐 (併)事務部財務課専門職員(監査担当)
平成22年7月1日	山内 美佳	昇任	事務部財務課専門職員(監査担当)	事務部施設課総務係主任
平成22年7月1日	山田 智宏	配置換	事務部財務課資産管理係長 (併)事務部財務課検収センター付係長	事務部財務課調達係長
平成22年7月1日	大西 智之	配置換	事務部財務課調達係長	事務部財務課資産管理係長 (併)事務部財務課検収センター付係長
平成22年7月1日	菅原 諭	配置換	事務部財務課調達係	事務部財務課経理係
平成22年7月1日	平松 直也	配置換	事務部財務課経理係	事務部総務課総務係
平成22年7月1日	池田 勉	配置換	ハワイ観測所事務部専門職員(総括担当) (併)ハワイ観測所事務部庶務係長	ハワイ観測所事務部会計係長
平成22年7月1日	古畑 知行	配置換	ハワイ観測所事務部会計係長	ハワイ観測所事務部専門職員(会計担当)

編集後記

講義をするために琉大へ。海に潜るために通っていた沖縄に仕事で行くことになるとはなあ。大好きな沖縄そばを食べ歩きました。(e)

野辺山観測所の特別公開に行ってきました。避暑地と期待していましたが、意外と暑く、それでも朝晩のカラッとした空気を味わうことができ、楽しいひと時でした。(S)

総研大サマーステュデントで三鷹に滞在していた学部生に、3週間、みっちり研究体験をしてもらった。物理の基礎から始めて、データの解析をして、その結果を考察して、発表をして、となかなか濃い日々だった。前向きな姿勢と若さをうらやましく感じた。(K)

今年の夏はエルニーニョ現象やラニーニャ現象と、気候に騒がされた夏でした。平均すれば、普通の夏なんです。近所では稲刈りが始まり、漸く一息つけたかなと。(J)

今年の夏はあまりに暑かったせいかわつになく物忘れが多くなったような気がします。この原稿のメロもすっかり記憶の片隅から追いやられていたりして……暑さのせいでなくなる秋ももうそろそろです。(K)

「木星で大事件です!」とつぶやいたら、たちまちのうちに取材の電話が……TWITTERの威力……。 (W)

国立天文台ニュース

NAOJ NEWS

No.205 2010.8

ISSN 0915-8863

© 2010 NAOJ

(本誌記事の無断転載・放送を禁じます)

発行日 / 2010年8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・天文情報センター) / 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) / 佐久間直子(ALMA推進室) / 小久保 英一郎(天文シミュレーションプロジェクト)
- 編集: 天文情報センター出版室(高田裕行/山下芳子) ●デザイン: 久保麻紀(天文情報センター)

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

9月号の研究トピックスは「太陽フレア望遠鏡の20年」を振り返ります。三鷹地区では数少ない現役の望遠鏡が、さらに改造されてパワーアップ。お楽しみに!

三鷹地区トピックス

- ・天体名 / 太陽
- ・観測装置 / 乗鞍コロナ観測所 25cm コロナグラフ、「ひので」可視光望遠鏡
- ・波長データ / 可視光線

太陽のフラウンホーファー線

●勝川行雄 (ひので科学プロジェクト)



図1 乗鞍コロナ観測所25cmコロナグラフで観測された太陽のスペクトル画像とフラウンホーファー線 (C, D, E, F, G, H, K)

太陽の光をプリズムを通してみると、虹色に光が分解されて見える。詳しくみると、連続的な放射のなかに、暗い筋が無数に存在していることがわかる。太陽大気の主成分である水素や微量に含まれるカルシウム、ナトリウム、マグネシウム、鉄などの不純物が、内部から来る光を特定の波長だけで吸収するので、暗線が現れるのである。

代表的な暗線は、その発見者の名前をとってフラウンホーファー線と呼ばれる。フラウンホーファーは、強く見える暗線に、波長の長い方、すなわち、赤い方から順番に、A、B、C、... というようにアルファベットで名前をつけていった。例えば、D線はナトリウムが、H線・K線はカルシウムが作る暗線としてよく知られている。そのなかには、太陽起源のものではなく、地球大気の吸収でできる暗線もまざっていた。

フラウンホーファー線は、実は、太陽研究者の生命線である。暗線の深さを調べると温度が分かるし、暗線の波長の移動を調べると運動が分かる。もし、太陽にカルシウムや鉄などの不純物が存在しなかったら、どうなるか。暗線は見えなくなってしまい、太陽大気の運動や温度を詳しく調べることができないので、研究者としてはお手上げである。不純物のおかげで太陽のことを深く知ることができるのである。

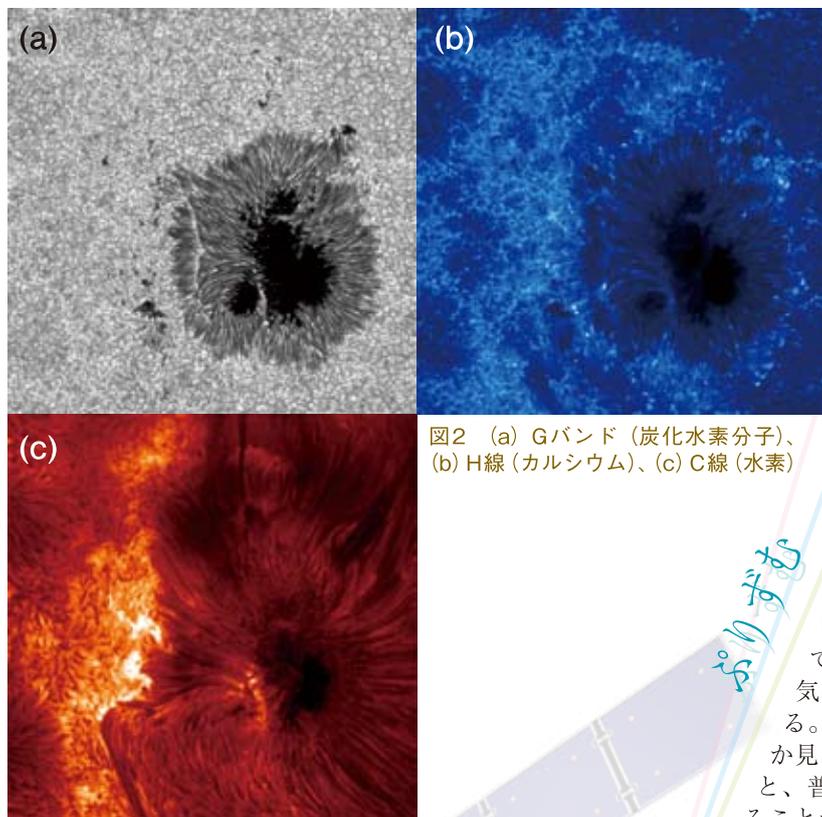


図2 (a) Gバンド (炭化水素分子)、(b) H線 (カルシウム)、(c) C線 (水素)

太陽大気の3次元構造

暗線は光が吸収されることでできるので、その波長で見ると大気の透明度が低いことを意味している。大気が不透明だと太陽の外側の方しか見ることができない。逆にこれを利用すると、普段目で見えるところより外側の大気を見ることができる。大気の透明度は暗線によって違うので、複数の暗線を組み合わせると、太陽大気の色々な層を見ることができ、3次元構造が分かるのである。画像は「ひので」可視光望遠鏡がフラウンホーファー線で観測した黒点。Gバンドでは光球と呼ばれる太陽表面が見えるが、H線やC線(水素α線)を使うと、彩層と呼ばれる外側の大气層の様子を見ることができる。

ひので

