

自然科学研究機構

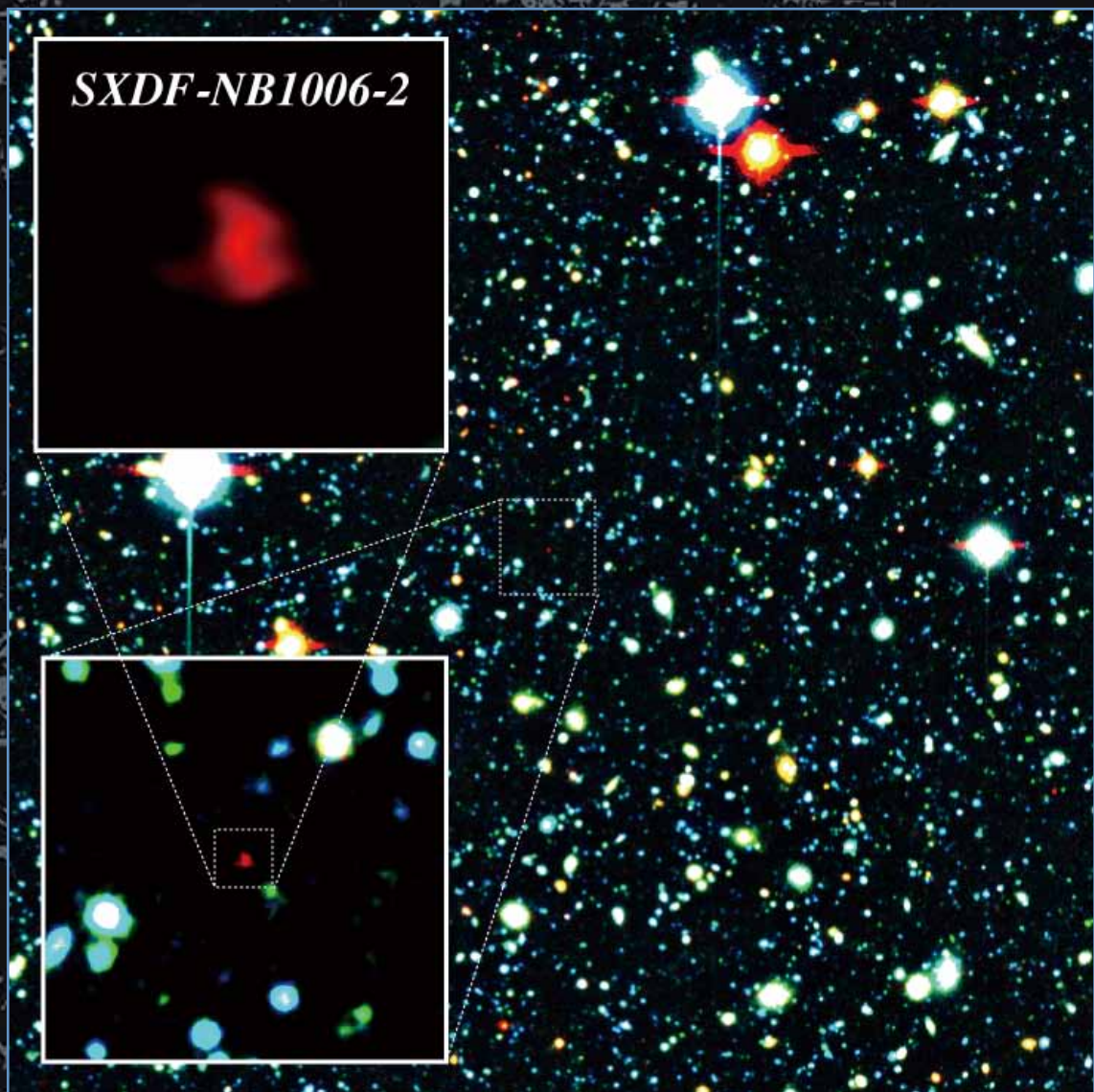
 国立天文台
NAOJ

国立天文台ニュース

National Astronomical Observatory of Japan

2012年8月1日 No.229

最遠方銀河で見る夜明け前の宇宙の姿



★ 特集・先端技術センター(ATC)探訪

特殊蒸着ユニット・MEショップ(機械加工室・精密加工室・設計チーム)・オプトショップ・環境試験室・光学実験室・KAGRAプロジェクト・HSCプロジェクト・ALMA受信機開発グループ・SIS素子グループ

★ 新連載! 「国立天文台技術ファイル~天文台の匠たち~」file01

- 国際研究集会 IAP-Subaru Joint International Conference "Stellar Populations across Cosmic Times" 報告

8

2012

- 表紙
- 国立天文台カレンダー

03 研究トピックス

最遠方銀河で見る夜明け前の宇宙の姿
—— 澁谷隆俊（総合研究大学院大学）

06 おしらせ

●国際研究集会 IAP-Subaru Joint International Conference “Stellar Populations across Cosmic Times” 報告

07 特集 はじめての先端技術センター(ATC)探訪

特殊蒸着ユニット・MEショップ（機械加工室・精密加工室・設計チーム）・オプトショップ・環境試験室・光学実験室・KAGRAプロジェクト・HSCプロジェクト・ALMA受信機開発グループ・SIS素子グループ

14 新連載！ 国立天文台技術ファイル

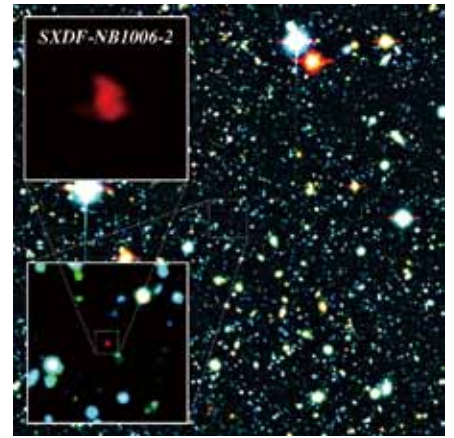
～天文台の匠たち～ file01
——岡田則夫さん（先端技術センター）

15 ニュースタッフ
人事異動

- 編集後記
- 次号予告

16 シリーズ 国立天文台アーカイブ・カタログ05

日本最古の天体写真乾板
——佐々木五郎（天文情報センター）



表紙画像

すばる XMM・ニュートン深撮像探査領域の一部の疑似カラー画像。中央に写る赤い天体が129.1億光年先の銀河 XDF-NB1006-2。

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）



夏の天の川、銀河中心高く…。(撮影：石垣島／福島英雄)。

国立天文台カレンダー

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」

2012年8月

- 11日（土）いわて銀河フェスタ2012（国立天文台水沢キャンパス・奥州宇宙遊学館）／八重山高原星物語2012（VERA入来観測局）
- 14日（火）金星食
- 18日（土）～26日（日）南の島の星まつり2012（VERA石垣島観測局、石垣島天文台）／伝統的七夕ライトダウン2012キャンペーン
- 25日（土）国立天文台野辺山 特別公開／岡山天体物理観測所 特別公開

2012年9月

- 1日（水）～9月30日（日）国際科学映像祭
- 7日（金）幹事会議、企画委員会
- 8日（土）～10月8日（月）第4回 東京国際科学フェスティバル
- 18日（火）企画委員会
- 19日（水）～21日（金）日本天文学会2012年秋季年会（大分大学）
- 26日（水）野辺山宇宙電波観測所30周年記念式典
- 27日（木）幹事会議
- 28日（金）キャンパス委員会
- 29日（土）第13回自然科学研究機構シンポジウム

最遠方銀河で見る 夜明け前の宇宙の姿



澁谷隆俊

(総合研究大学院大学)

宇宙の「夜明け」：宇宙再電離

ハワイ島マウナケア山頂。すばる望遠鏡での観測を終え、観測制御棟の重い扉を開ける天文学者達をいつも迎えてくれるのは、地平線の彼方から差し朝日である。次第に空が白み、標高4200メートルの高山の懷に溜まった雲海を切り裂くように太陽が訪れる。平地に比べ60%程度しか酸素がない過酷な環境下で、宇宙の謎を解き明かそうと一晩中奮闘してきた彼らを労るかのよう。地球ではこの「夜明け」が毎日訪れるが、太古の宇宙でも「夜明け」があった。137億年前、宇宙は高温・高密度の火の玉状態「ビッグバン」によって始まったが、その直後の宇宙空間は電離した水素原子である陽子・電子で構成されるプラズマで満たされていた。ビッグバンから約40万年後には宇宙の膨張により冷え、陽子・電子が結びつき中性水素原子となる。こ

こから数億年間は中性水素ガスに埋もれた宇宙の暗黒時代が続く。やがて、約2～5億年後、至るところで形成された初代星・初代銀河からの紫外線が、中性水素原子を再び陽子・電子のバラバラの状態に電離し、宇宙空間を満たす雲海を晴らす。これが初期宇宙における夜明け「宇宙再電離」である(図1)。再電離は、ビッグバンから約3億年から10億年の間に起こったのではないかと大雑把には分かっているものの、「いつ・どのように起こったのか」「どのような種類の天体が引き起こしたのか」などの具体的なメカニズムは現在でもよく分かっておらず、天文学者を悩ませている。

newscope<解説>

▶ 01

より正確に言う、中性水素ガスによって吸収・散乱され減光される光は「ライマン α 」と呼ばれる特定の光である。そのためライマン α を放つ「ライマン α 輝線銀河」は、再電離を調べるのにとってつけの銀河種族であると言える。

夜明けの探り方

「宇宙の夜明け」を詳細に調べるには遠方銀河を探し、見つかった銀河の数・明るさを測

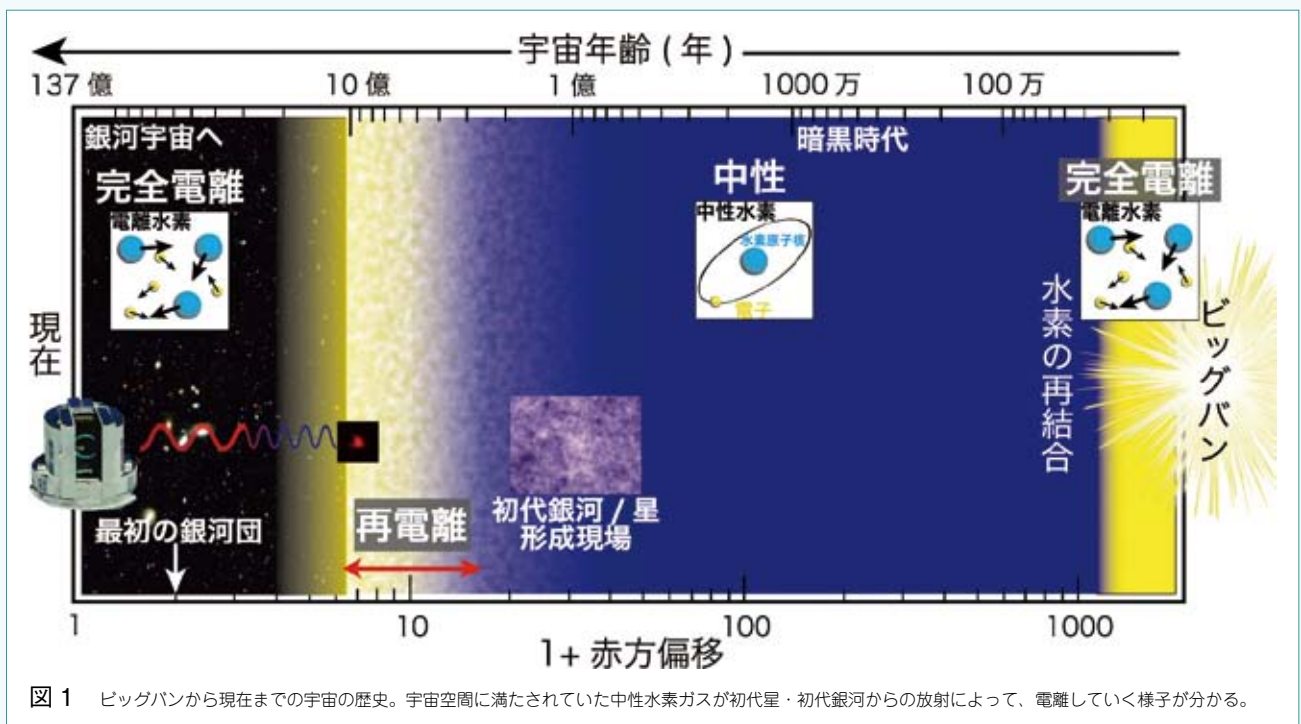


図1 ビッグバンから現在までの宇宙の歴史。宇宙空間に満たされていた中性水素ガスが初代星・初代銀河からの放射によって、電離していく様子が分かる。

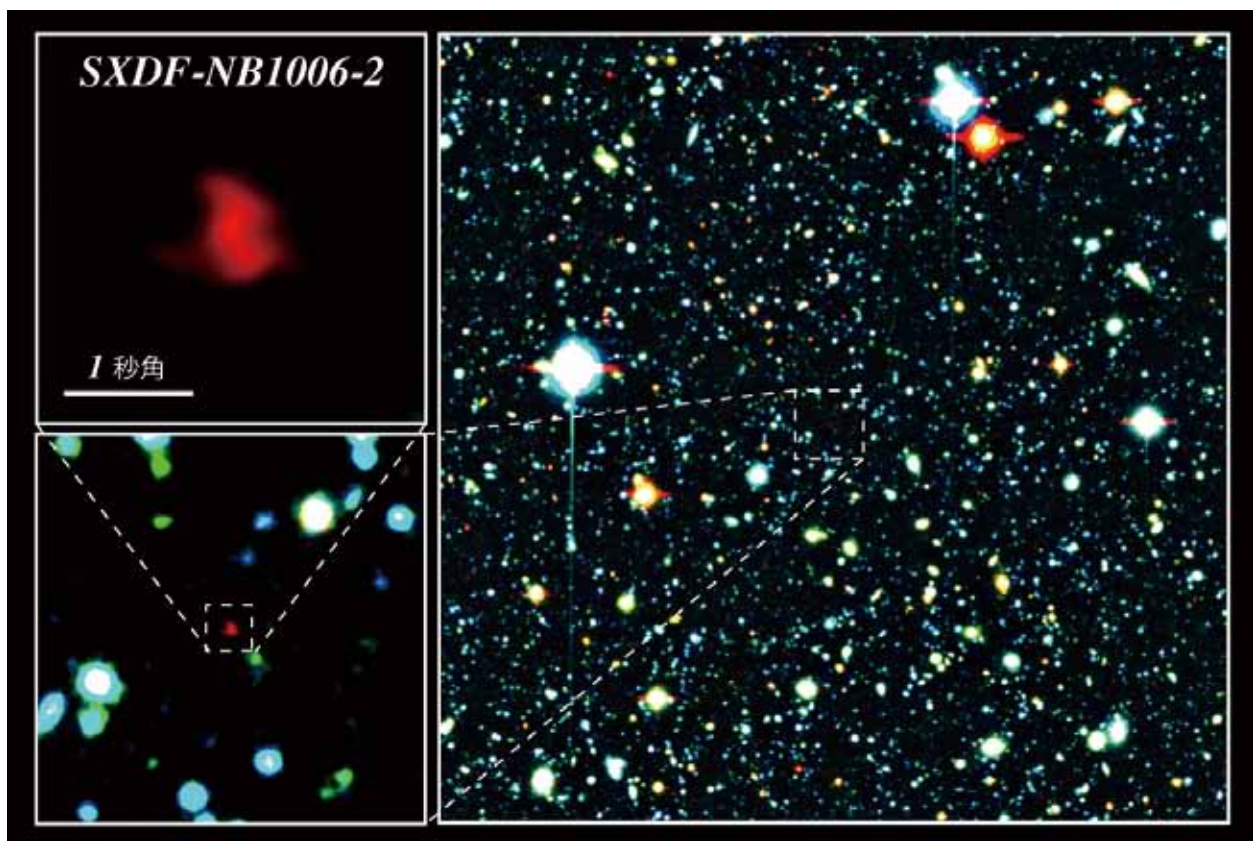


図2 すばる XMM・ニュートン深撮像探査領域の一部の疑似カラー画像（青色をBバンド、緑色をRバンド、赤色をNB1006バンドに割り当てた）。北が上、左が東。右側：1辺5分角、左下：1辺25秒角、左上：1辺3秒角（1分角は1度の60分の1。1秒角は1分角の60分の1の角度である）。中央に写る赤い天体が129.1億光年先の銀河SXDF-NB1006-2。

定することが効果的である。これは宇宙空間に存在する中性水素ガスによって遠方銀河からやってくる光が暗くなり、銀河の見かけ上の数が減るからである。宇宙の歴史の各時代で銀河の数・明るさを比較することによって再電離の起きた時代を特定することができる★01（3ページ）。暗く、そして数少ない遠方銀河を効率的に発見することは、一度に広い視野を観測できる主焦点カメラSuprime-Camを持つすばる望遠鏡の得意技だ。これまでもすばるは数々の最遠方銀河記録を塗り替えながら、太古の宇宙に存在する中性水素ガスの量を調べてきた★02。しかし、より遠くの、特に赤方偏移7を超える銀河からの光を捉えるためには、赤外線に近い観測波長帯で観測しなければならない。遠方の銀河からの光は、宇宙膨張と共にその波長が伸び、放たれた直後は青かった光が赤くなるためである。可視光の観測装置であるSuprime-Camの赤外線付近の検出器感度は大きく落ち込んでいたため、赤方偏移7を超える遠方銀河が発見されない時期が長らく続いた★03。

しかし、2008年、主焦点カメラSuprime-Camに新たな検出器が搭載され、1マイクロメートル付近の感度は従来のものに比べ約2

倍に向上した★04。赤方偏移7を超える超遠方銀河の探査が可能になった瞬間である。これを受け我々は、赤方偏移7.3付近の銀河からの光（約1マイクロメートル）のみを通すNB1006という特殊な新フィルターを開発（家正則教授ら）し、それを取り付けた新Suprime-Camを用いて、「すばる深宇宙探査領域」と「すばるXMM・ニュートン深宇宙探査領域」の2つの天域を観測した。

暁にきらめく最遠方銀河

得られた画像に写る5万8733個の天体の中から、我々は各天体の色を測定することにより、赤方偏移7.3の銀河候補を4天体選び出した。一般に遠方銀河の光の明るさは変化しないと考えられているが、4候補天体の明るさの変化を注意深く調べたところ、2天体には変光の兆候が見られ、遠方銀河ではない別の天体であると結論づけた。さらに、この色を用いた選別方法では誤って遠方銀河ではない天体も選び出してしまふ可能性があるため、銀河候補を分光観測し遠方銀河が見つかる特徴的な光を捕らえる必要がある。そこで次に我々

★ newscope <解説>

▶ 02

例えば、2007年3月号「国立天文台ニュース（No.164）」の研究トピックス「最遠銀河ギネスレース～宇宙史の暗黒時代に迫る～」で紹介されている銀河I0K-1（赤方偏移 6.964；128.8億光年先）などがある。

★ newscope <解説>

▶ 03

ここで述べている銀河は、後述する特殊（狭帯域）フィルターを用いて選択される「ライマン α 輝線銀河」である。通常の（広帯域）フィルターを用いて選択される「ライマンブレイク銀河」においては、赤方偏移7前後のものが2010年末頃から立て続けに発見されている（2012年7月現在では十数天体が見つかった）。ちなみに、★02のI0K-1もライマン α 輝線銀河であり、その時からの遠方記録更新はまさに5年ぶりである。

★ newscope <解説>

▶ 04

2009年1月号「国立天文台ニュース（No.186）」の研究トピックス「～完全空乏型・世界最高感度のCCDの開発に成功～」に詳しい解説がある。

▶ 05

赤方偏移8以上の可能性がある銀河の発見が報告されているが、それらのほとんどが天体の色から推定したもので、分光観測によって遠方銀河に特徴的な非対称輝線（ライマン α 輝線）を検出したものは、2012年7月現在一つもない。

は、すばる望遠鏡の分光装置FOCASとケック望遠鏡の分光装置DEIMOSを用いて候補天体を分光観測した。その結果、候補天体のうち1天体から遠方銀河に特徴的な輝線が捕らえることができた。このような綿密な調査により、候補天体に紛れ込む遠方銀河ではない偽物の天体をきちんとあぶり出し、真の遠方銀河SXDF-NB1006-2を発見することに成功したのである（図2、3）。この輝線を用いて地球からの距離を正確に測定したところ、SXDF-NB1006-2は地球から129.1億光年先にある銀河であることが分かった。これは遠方銀河に特徴的な非対称輝線を捕らえた銀河の中で最も遠くにあるものである★05。

このように候補天体から偽物の天体を除く作業は、宇宙の夜明け「宇宙再電離」を探る上で大きな意味がある。現在、世界の様々な研究チームが再電離を探るべく、特殊フィルターを用いた同様の手法により赤方偏移7以上の遠方銀河の数・明るさを調べている。しかし、それらの研究結果のほとんどは銀河「候補」天体に基づいており、偽物の天体が紛れ込んでいる可能性がある。そのため研究チーム毎に結果が食い違い、再電離に対する様々な憶測が飛び交っている。一方で、日本の研究チームはすばる望遠鏡の広視野装置のおかげで分光しやすい明るい天体が効率的に検出でき、これまでに「宇宙の歴史を遡るにつれて中性水素ガスの割合が増える」という結果を一貫して出す事ができている。今回の世界最高感度の検出器を用いた観測からもこれまでの日本の主張と同様のことが確認でき、銀河によって調べられた最古の宇宙129.1億年前には水素ガスの約80%が中性の状態である可能性があることを突き止めた。

夜明けの徹底理解へ

今回、他の研究チームに比べて中性水素ガスの進化を詳細に調べることができたものの、観測天域から1天体しか銀河を検出できていない。この天域に偶然銀河が多かった、もしくは少なかった可能性がある。さらに広い視野を観測しなければ遠方宇宙における銀河の数を正確に調べることはできない。現在、すばる望遠鏡では一度にSuprime-Camの7倍もの視野を観測できる新装置Hyper Suprime-Cam(HSC)が取り付けられようとしている。HSCを用いた大規模な赤方偏移7付近の遠方銀河探索によって、銀河の数・明るさの比較だけでなく、様々な角度から再電離のメカニズムに迫ることができるであろう。

そして、初代銀河の姿を写し出すのは日本を含む国際協力によって建設が計画されている口径30メートルの次世代超大型望遠鏡TMT (Thirty Meter Telescope) であろう。分光観測によって赤方偏移8以上の銀河からの光を捕らえるには現在の口径8~10メートル級望遠鏡の集光力では不十分なのである。主鏡の大口径化により望遠鏡の集光力は約10倍にもなり、赤方偏移10を超える遠方銀河からの微かな光を検出することができる。HSCの広視野撮像能力とTMTの集光力によって、暗黒宇宙の闇を切り裂く初代銀河の物理的性質が解き明かされる日も近い。

★本研究は、澁谷隆俊、柏川伸成、太田一陽、家正則、大内正己、古澤久徳、嶋作一大、服部亮により行われ、科学研究費補助金の特別研究員奨励費、基盤研究(S) (課題番号: 19104004) および基盤研究(B) (課題番号: 23340050) による助成を受けています。研究成果は、米国の天体物理学専門誌『アストロフィジカル・ジャーナル』に掲載されています (Shibuya et al. 2012, ApJ, 752, 114)。

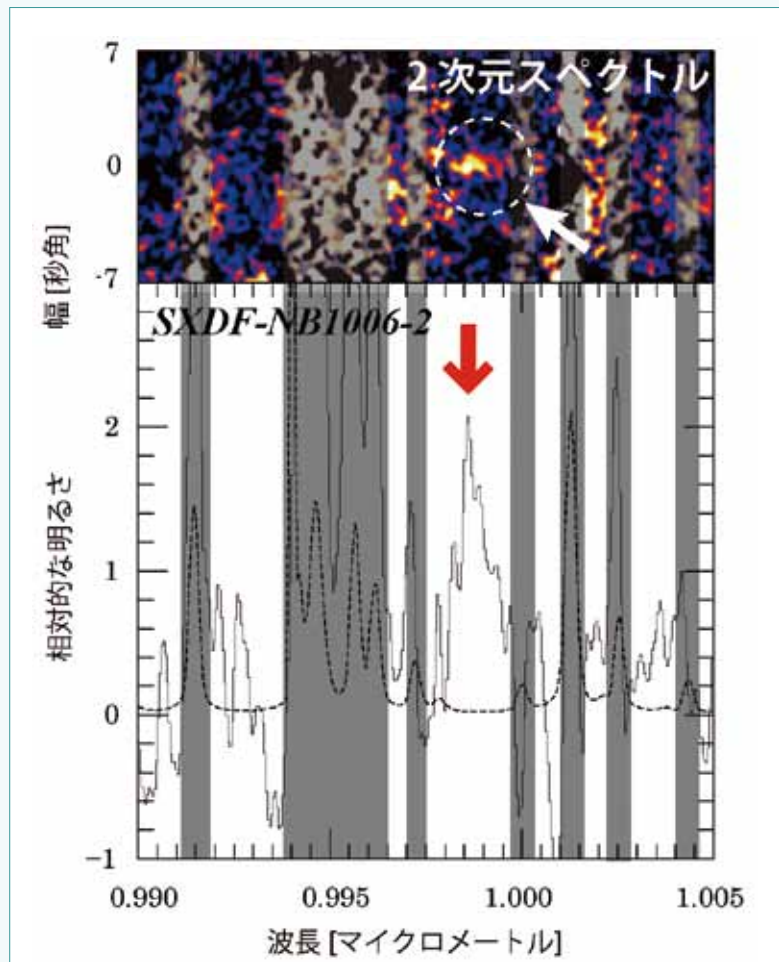


図3 ケック望遠鏡の分光器 DEIMOS を使って得られた SXDF-NB1006-2 の分光スペクトル。0.999 マイクロメートル付近に非対称な輝線が見える (赤矢印)。上のカラー画像は 2次元スペクトル。白い点線円で囲まれた部分に輝線が検出されていることが分かる。灰色の部分は地球大気からの OH 夜光が重なっているため除いている。

国際研究集会

IAP-Subaru Joint International Conference "Stellar Populations across Cosmic Times" 報告

児玉忠恭 (ハワイ観測所)

“Happy Birthday, Nobuo!”と講演者の多くが各々の発表の中で祝福する、和やかな雰囲気のもとその研究会は行われた。IAP (Institut Astrophysique de Paris) と国立天文台ハワイ観測所とが共催し、去る6月末にパリのIAPで開催した国際会議である。

すばる国際会議シリーズの第4回目という位置付けでもある。なのになぜパリなのか、なぜIAPとの共催なのか、といういろいろ不思議に思われるだろう。実はこの研究会は、有本信雄氏(現すばる所長)のご還暦をお祝いしよう、というのがそもそもの発端である。有本さんの一番弟子として世話人代表を請け負った私が、有本さんにどこで研究会をやりたいですかと尋ねると、「パリ」と即答される。有本さんはご新婚の奥様とポストドクとしてフランスに渡られ、3年の歳月をパリのムードン天文台で過ごされたご経験があり、それはたいそう楽しまれた(もちろん同時にご苦労なされた)ようで、パリに対して強い執着がおありのようだ。このようにまずパリに在りきでこの研究会の企画が始まったのである。では、と引き受けたはいいが、ここからが苦難の道であった。



IAP 賞授賞式での有本さんご夫妻。おめでとうございませう。

まずどうやってパリで実現しようかと途方に暮れる。有本さんはイタリアの Alvio Renzini 氏(パドバ天文台)と長く深い親交があり、世話人の小林さん(後出)が彼に話を持ちかけたところ世話人(SOC委員長)に加わって戴くことになった。その伝手でIAPのHenry McCracken氏、パリ郊外サクレの Emanuele Daddi氏と繋がって、一気に道が開かれた。特にLOCの現地代表であるHenry McCracken氏なしにはこの研究会は絶対成功しなかったし、そもそも実現もしなかったであろう。大変感謝している。日本人側は、有本さんの弟子たちが大部分を占めた。小林千晶さん(英国・ハートフォードシャー大学)、岡本桜子さん(中国・北京大学カブリ研究所)、小野寺仁人君(スイス・チューリッヒ工科大学)、山田善彦君(日本・国立天文台三鷹)、そして私(ハワイ・すばる望遠鏡)である、とどこまで書いてきてお分かりだろうが、LOC(ローカル)と言いながら、世話人は世界中に散らばっており、今回の企画

運営に当たっては意思の疎通が最も大きな課題であったことは容易に想像して戴けるであろう。実際もしSkypeがなければ、やはりこの研究会は破綻していただろう。皆がオンラインになれる唯一の時間スロットである、夜の10時にハワイのアパートからビールを飲みながら(?)何度かSkype会議をやったことを思い出す。また電子メールの洪水が2か月くらい続いた。皆それぞれに役割を果たして、何とか超遠距離組織を乗り切ったのである。この場を借りて、世話人の皆様にお礼を申し上げたい(まだ仕事はすべて終わっていませんが)。

研究会のトピックはまさに「遠近両用」で、有本さんのご専門分野の、遠方銀河と近傍銀河の星種族構成とその進化という、非常に広く大きなテーマになった。そのこともあって、そして何より夏のパリでの開催ということが効いて、参加希望者は世話人が悲鳴をあげる事態になった。会場の制限から当初80~100人規模の開催を想定していたが、何とその倍近くの160名ほどの登録があり、急遽参加者を最大120名にまで絞らなければならない羽目になってしまったのである。SOCに無理を言って、提出された講演内容とその完成度に基づいて採点してもらい、それを元に参加待ちリストを作って凌ぐことになった。そのため多くの方にご迷惑をかけることになり、大変申し訳なく思っている(このドサクサで、様々な人間模様を見たが、その内容はここではノーコメント)。そのお蔭と言っては何だが、大変質の高い研究会になり、世界の多くの大御所たちのレビュー的な招待講演に加え、すばるを初め最先端の装置を使って続々と生み出されているおもしろい結果が畳み掛けるように発表された。昨今の銀河研究を俯瞰し、今後の戦略を練る上で大変参考になったと思う(私は世話人のため会場に出たり入ったりしていたので、あまりまとまって話を聞けなかったのが残念である)。有本さんは最後に研究会のサマリ

トークをされることになっていたので、「ネイチャーコール」で一聞きそびれた以外は、すべての講演に出てメモを取っておられたのは珍しいことであった。

他に、この研究会が他と違うユニークな点は、バンケットが、かのオルセー美術館で行われたことである。しかも美術館の見学とレストランでの食事がセットになっていた。パリならではの企画をと、IAPローカルの McCracken氏が**大層**頑張って探してきた趣向である。参加者からも大評判で、国際研究会のバンケットに斬新な方向性をもたらしたとまで評価された。また初日のレセプションでは、歴史あるパリ天文台の、中央に東西半球を分ける子午線が通り、その先にリュクサンブール庭園からモンマルトル寺院まで見通せる大広間にて、カクテルパーティーが催されたのも特筆すべきであろう。このように、おもてなしに趣向を凝らし贅を尽くす(見栄を張る?)のはフランスの文化(ブライド?)であるようにも思われる(McCracken氏はアイリッシュであるが)。予算の使い方で、ケチな日本人と何度か戦ったが、結局彼らの方に分があったと言わざるを得ないであろう。学ぶべきものがあつた。


最後に、この研究会では、有本氏がこれまでの天文学への貢献に対して、IAPから賞とメダルをもらったことを報告しておく。また授賞式の最後には、有本夫人の美弥子さんが英語でスピーチをされたことも付記しておく。フランス生活時代からこれまでのお二人のご苦労と喜びが凝縮された、心にぐっとくる内容であった。これからどうぞお幸せに!

かくして無事に研究会は終わり、多くの参加者の方から労をねぎらうお言葉をいただき感謝しているところであるが、一方で、次の退職記念パーティーはタヒチ島で、という不詳な雑音が聞こえたような気もする。空耳であることを願っている。



参加者によるカンファレンスフォト。IAPの玄関にて。

カンファレンスホスター。岡本校子氏作成。エッフェル塔(パリ)とラレアス(すばる)が象徴的にデザインされている。



国立天文台のグラウンドを抜けると、ガラスのキューブ構造が印象的な建物が目に入ります。開発棟と呼ばれる先端技術センター（ATC）の建物です。

この建物では、国立天文台を支える様々な観測装置の設計・製作・試験が行われています。しかし、一般には、国立天文台でそのような開発をおこなっていることはあまり知られていないのではないのでしょうか。

今回は、普段あまり見ることの出来ないATCを探訪してみました。

はじめてのATC探訪

レポート：岩城邦典(天文情報センター出版室)
協力：岡田則夫(先端技術センター)／先端技術センター

先端技術センターの前身は、1993年設立の天文機器開発実験開発センターです。この組織は、10年以上にわたり、すばる望遠鏡の観測装置開発の拠点として活躍してきましたが、2005年8月にALMAの受信機グループと統合することで、さらに開発体制を強化し、先端技術センターとして発足しました。



いざATC探訪へGO

はじめての

ATC探訪

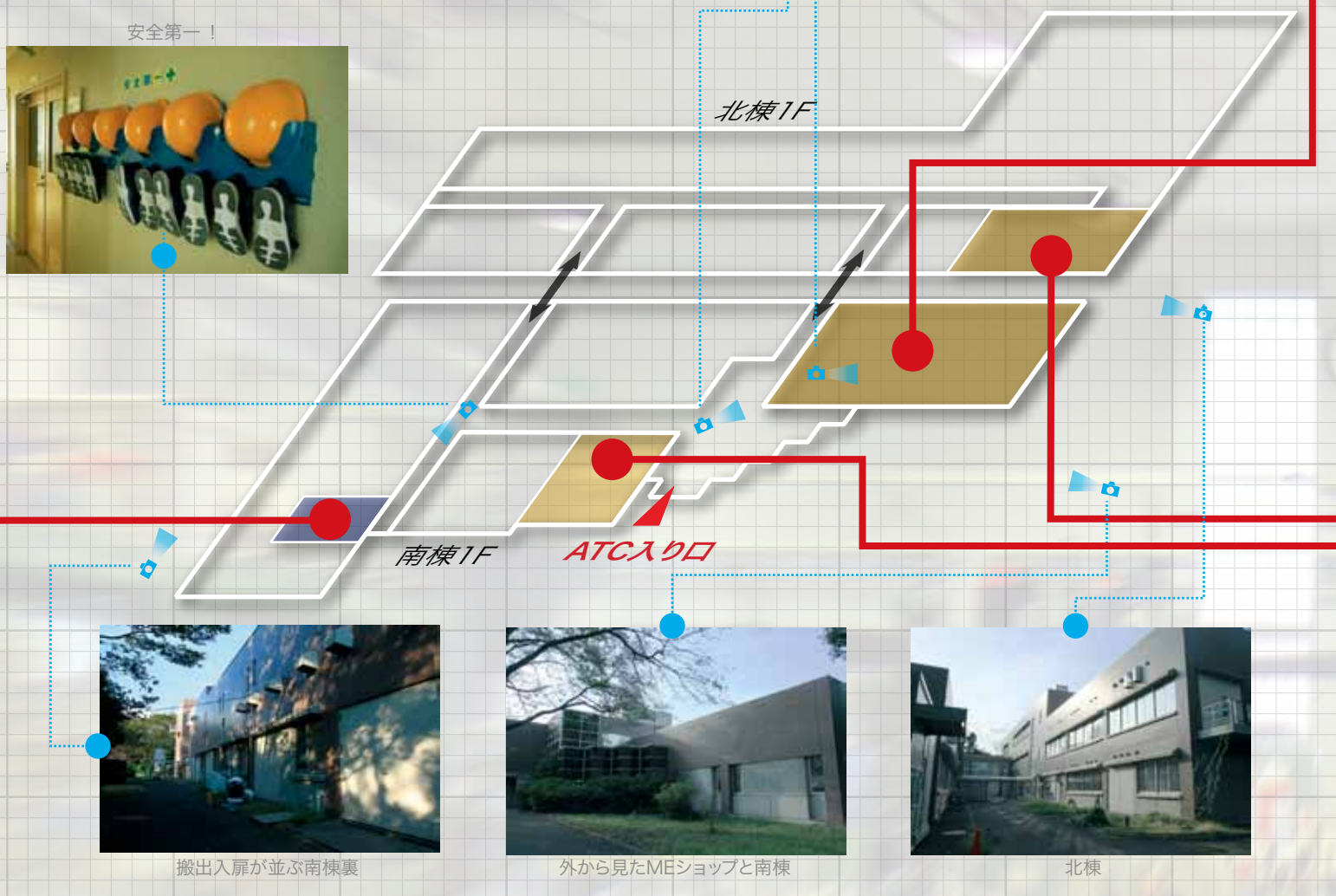


玄関ロビーを入ると、そこには、ビニールで覆われた入り口が。機械の喧騒と光が漏れ出るビニールを、意を決してくぐったその先には……メカニカルエンジニアリングショップ (MEショップ) とよばれる広大な機械加工工場があった!

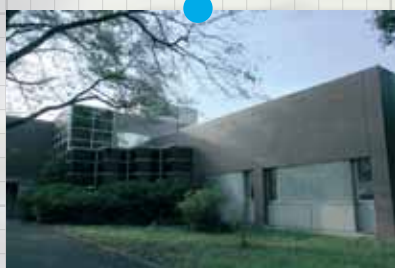
MEショップを始め、ATCには様々な加工施設がある。国立天文台が誇る様々な観測装置はここで作られ、活躍しているものも多い。国立天文台観測装置の母とも言うべきATCの加工設備群をまずは巡ってみよう。



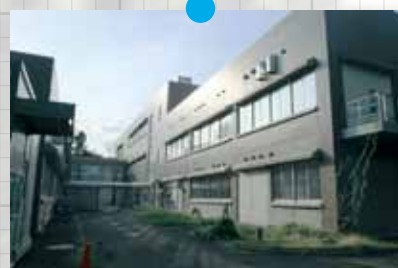
安全第一!



搬出入扉が並ぶ南棟裏



外から見たMEショップと南棟



北棟

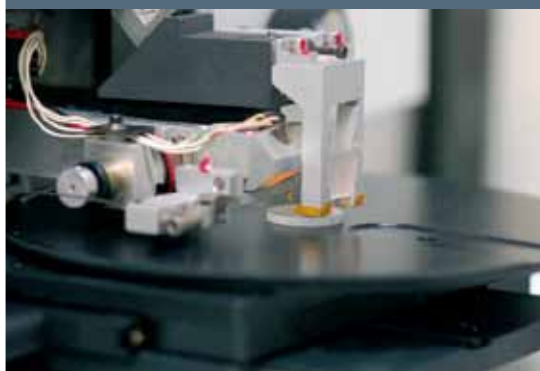
特殊蒸着ユニット

光学処理や表面処理など、天文台ならではの加工部門と言えるのが、特殊蒸着ユニット。スパッタリング成膜装置とその測定・評価のための諸装置を有し、重力波干渉計をはじめ各種観測装置の為に光学素子を製作・提供している。また、低損失鏡や狭帯域フィルター、大曲率鏡など特殊かつ高度な特性を持つ光学素子の製造と設計に係わる諸問題についても研究している。

イオンビームスパッタ



膜厚測定装置



分光光度計





ワイヤ放電加工機



立形マシニングセンタ



CNC旋盤

MEショップ 機械加工室

MEショップは、加工(一般機械加工/超精密加工)、設計(CAD・CAM・CAEを用いた設計/図面検図)、計測(3次元測定器を用いた形状/表面測定)の3本を軸として、要求性能に答える天文台の職人集団。ショップの名を冠しているだけあって、その技術は天文台外にも開かれ、毎年100件ほどの製作依頼を請け負っている。

加工設備解説

●ワイヤ放電加工機

髪の毛ほどの太さのワイヤを使って金属を加工する機械。ワイヤと金属材料との間に放電を生じさせ、金属を溶かして切断しているため、他の機械加工技術では歯が立たないような硬い金属も、豆腐のように切り刻める。複雑な輪郭の切り出しも得意だ。Band4受信機に搭載するサポートストラクチャも、ワイヤ放電加工機で作成されている。



●CNC旋盤

旋盤とは、加工物を回転させて切削加工をする機械。この旋盤は対話型自動プログラミングシステムを有するCNC旋盤で、円柱型の部品加工に適している。回転円体放物面ミラーの製作にも利用。



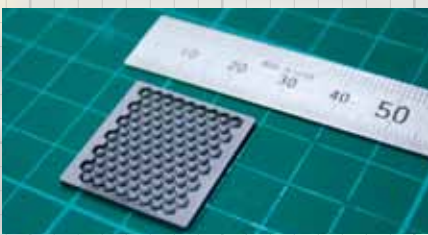
●立形マシニングセンタ

旋盤と違い、こちらは刃物が回転して材料を加工するフライス盤の一種。マシニングセンタは自動工具交換装置を持ち、直交3軸のプログラム制御が出来る。Band4常温光学系楕円鏡やBand8冷却光学系もこの立形マシニングセンタによる加工。



●超精密非球面加工機

この装置は、ナノオーダー(10⁻⁹m)精度の精密加工が可能で、レンズ研削や鏡面加工などにも用いられる。金属鏡を中心とする光学素子の開発・作製に活躍中。KEKとの共同開発研究も活発に行われている。電波カメラに用いられるシリコンレンズアレイもこの装置で作られている。レンズ間の狭い谷間を精密に削れるのは、この機械であればこそ。



●イオンビームスパッタ装置

スパッタとは、真空中で原材料を飛沫させて成膜する方法の一つ。原材料を飛沫させるソースにイオンビームをつかったことによって、不純物の混入を大幅に低減できるほか、様々な条件設定での細かいコントロールが可能になった。すばる望遠鏡の狭帯域フィルタもこの装置から生み出されている。



●膜厚測定装置

製作した薄膜の厚さを測定する装置。特殊蒸着ユニットが持つ膜厚測定器は500Å(50nm)の厚さが測定できる。

●分光光度計

単色光の透過率/吸光度から、物質の定量分析をする装置。特殊蒸着ユニットが持つ分光光度計は紫外・可視・近赤外をカバーし、フィルターや光学素子の特性計測・評価に使用している。

写真左上: Band4 コルゲートホーンマウント用サポートストラクチャ
写真左下: 回転円体放物面ミラー
写真中上: Band8 冷却光学系
写真中下: シリコンレンズアレイ試作
写真右上: すばる望遠鏡狭帯域フィルタ

MEショップ 精密加工室 設計チーム

MEショップでは、超精密加工を可能にするため、防振の独立基礎を持った精密加工室が用意された。超精密非球面加工機や超精密研磨装置を有するこの部屋には、温度変化による素材の形状変化を押さえるため、60時間あたり約0.1°C内の変化量に押さえる温調機なども備えられている。また、設備などハード面だけではなく、ソフト面にも力を入れており、重量、応力、たわみ、熱などへの厳しい設計条件に対応する為、独自の設計チームも持っている。

超精密非球面加工機



揺動機付き超精密研磨装置



設計チーム



はじめての

ATC探訪



精密機械工作室を出ると、向かいの部屋にある大クリーンルームへと案内された。防塵服を着て、エアーシャワーを浴びて、中に入ってみる。そこは人工衛星搭載望遠鏡の開発が出来るクリーンルームだと言う。確かに広い。天井も高い。

最先端の観測装置には、特殊な環境下で使用されるものも多く、それらの環境で目的の性能を発揮できるかどうかを計測・評価する設備も必要不可欠なのだそう。この大クリーンルームもそのために用意された施設のひとつ。

最先端の装置を開発するには、設計・加工・計測の連携が重要で、ATCにはそのための設備や装置が多数準備されている。

今度は計測・評価のための機材・設備を巡ってみよう。

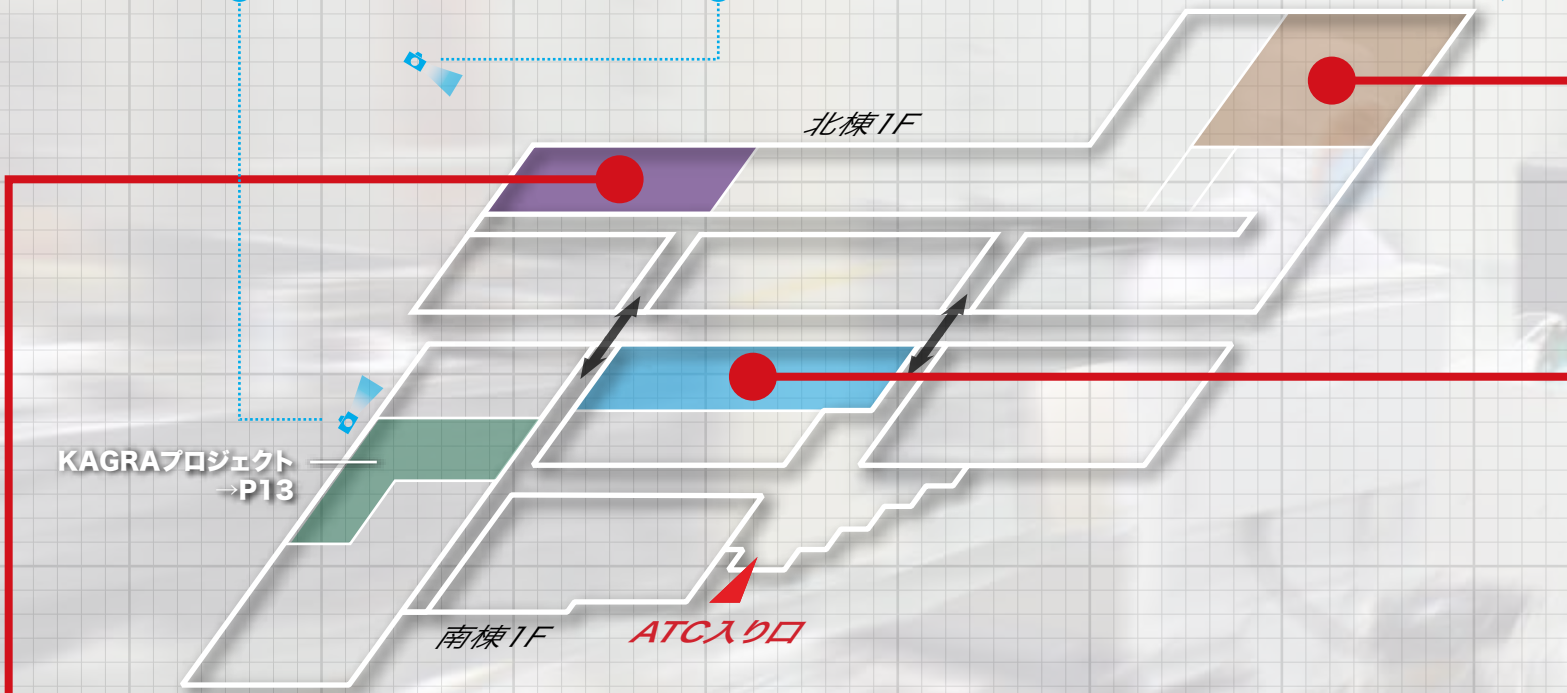
巨大な液体窒素タンク



北棟の裏



大クリーンルームへの搬出入口

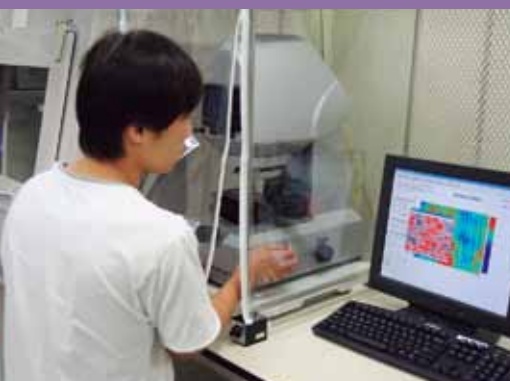


オプトショップ

オプトショップには光学部品の性能や形状および表面精度を評価・測定する装置がそろっている。装置は共同利用の申請を行うことで利用することができる。

利用時間制限などはあるものの、パソコンからの予約で簡単に利用できるのは遠方から来たグループにも魅力。

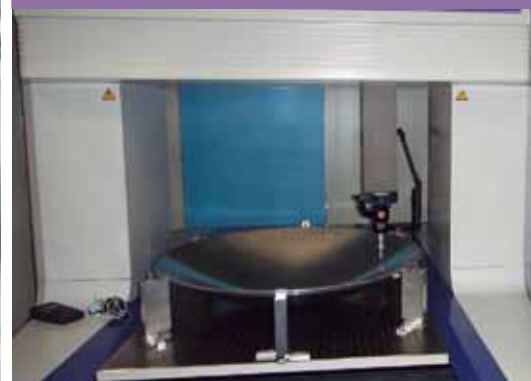
顕微鏡型干渉表面粗さ計



非接触式3次元測定器

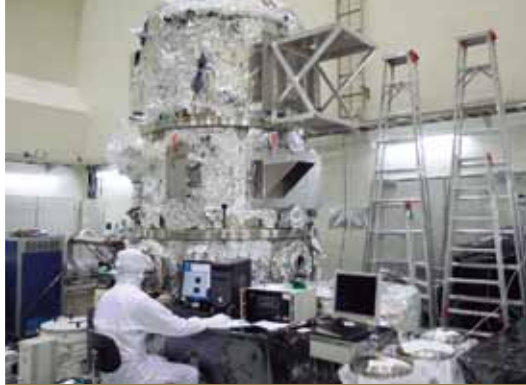


CNC精密3次元測定器





大クリーンルーム



大型スペース真空チャンバー



搬出入クレーン

環境試験室

巨大チャンバーや搬出入クレーン、クリーンブースを備えたひととき大きなクリーンルーム。屋外から大型の機材が搬入できるように設計されたこの部屋は、衛星搭載機器の熱真空試験などによく利用される。また、天井には、屋上に設置してあるヘリオスタットから太陽光、星光を導入できる穴があり、クリーンルームの中で光学検証を行うことも可能である。部屋の管理は設備管理ユニットが行っているが、中にある大型スペース真空チャンバー等はスペースチャンバーショップの管理となっている。

計測・評価設備解説

●顕微鏡型干渉表面粗さ計

表面粗さの測定を行う。位相シフト干渉方式と垂直走査型干渉方式をもつのが特徴。レンズやミラー、フィルターや窓などの表面粗さ測定に広く使われている。

●非接触3次元測定器

非球面レンズ、導光板、金型などの形状測定や表面荒さ測定に利用される非接触ステージ操作型の3次元測定器。非接触型としては、最高レベルの分解能1nmを誇る。イメージスライサのスライサ系部品の評価やHSCのCCD面形状の測定検査に利用された。

●CNC精密3次元測定器

最大900×1000×600mmの大型形状を測定誤差数μmという高精度で測定できるのが特徴。ALMA 受信機搭載部品の評価、受信機組立精度検査や直径900mmパラボラミラー（左ページ写真）の検査等に利用されている。

●大クリーンルーム

12m×16m×9.8mのサイズを誇る巨大クリーンルーム。実効クリーン度はクラス100^級。室内には実効クリーン度クラス10のクリーンブースを備える。高い空気環境が求められる太陽観測衛星「ひので」の開発やすばる望遠鏡HSCの組み立てが行われた。



●大型スペース真空チャンバー

内径1.8m、高さ4mの大型真空チャンバー。衛星搭載装置の熱真空試験やベーキング、アウトガス測定が可能なことが特徴。太陽観測衛星「ひので」の可視光望遠鏡やNano-JASMINEの熱真空試験などはこの真空チャンバーを用いて行われた。

●非対称ナル干渉計・高精度補償光学

ナル干渉計は、光の干渉を利用して恒星からの光を消すことができる。系外惑星の直接検出に使われる。非対称ナル干渉計の波面誤差拡大効果で実質的に補償光学の限界を超えることに成功。

●位相マスク・ダークゾーンコロナグラフ

フォトニック結晶技術や可変形鏡を利用して、光の位相を精密に制御し恒星光を除去するもの。非対称ナル干渉計と組み合わせることで、さらに高いコントラストの達成が可能になる。

注1：環境の清浄度を表す表示で、1立法フィート中の0.5 μm以上の粒子の数と定義される。

ATCの組織構成

ATCを探訪していると、ショップやユニット、グループ、プロジェクトという名前に気がつきます。

ATC特有の組織名称で、ショップは仕事を請け負ったり、プロジェクトは研究開発に特化していたりと、役割や運営形態、規模に応じて付けられています。

今回全てを紹介しきれてはませんが、2012年現在、ATCには右図のような各種組織があります。



光学実験室

光学実験専用の暗室。窓や部屋は暗幕で仕切られ、光学定盤の上には、光源となるレーザーやレンズ、干渉計などが所狭しと並んでいる。レーザーが縦横無尽に飛び交う実験中の様子は壮観。

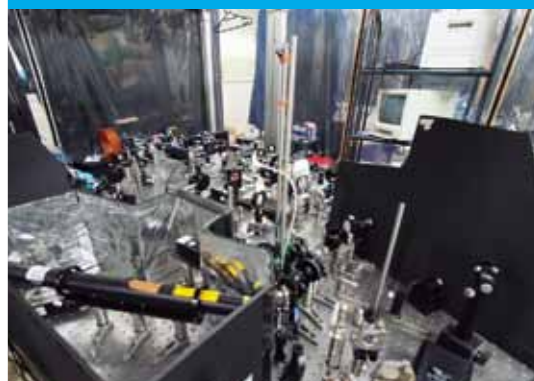
現在は、系外惑星直接観測のための高精度補償光学とコロナグラフなど、種々の開発実験のために使用されている。

この暗闇となる実験室では、学生たちが狭い光学定盤の間を行き交いながら、日夜実験が行われている。

非対称ナル干渉計・高精度補償光学



位相マスク・ダークゾーンコロナグラフ



実験風景



はじめての

ATC探訪



ATCには、天文台の重点領域・先端技術領域として指定・組織された主力プロジェクトのための開発ルームがある。これらの開発ルームは、旬な先端技術開発・研究が行われているところであり、国立天文台の誇る様々な研究成果を生み出しているところとも言えるのだ。

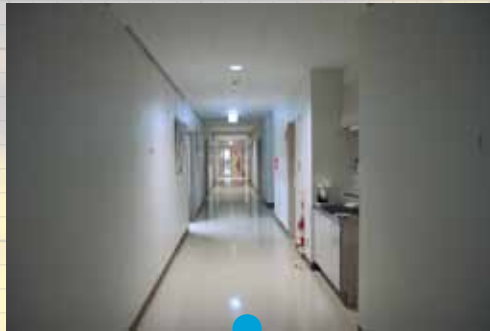
現在は、ALMAのための受信機開発やSIS素子開発、重力波検出器のための基盤技術開発、次世代超巨大望遠鏡Thirty Meter Telescope (TMT)のための面分光ユニット開発、すばる望遠鏡のための超広視野デジタルカメラ:Hyper Suprime-Cam (HSC)や電波カメラなどのプロジェクト・グループがある(p11 ATCの組織構成参照)。

今度はこれら最先端の開発・研究を行っているプロジェクトやグループの部屋を巡ってみよう。

壁に覗き窓が!



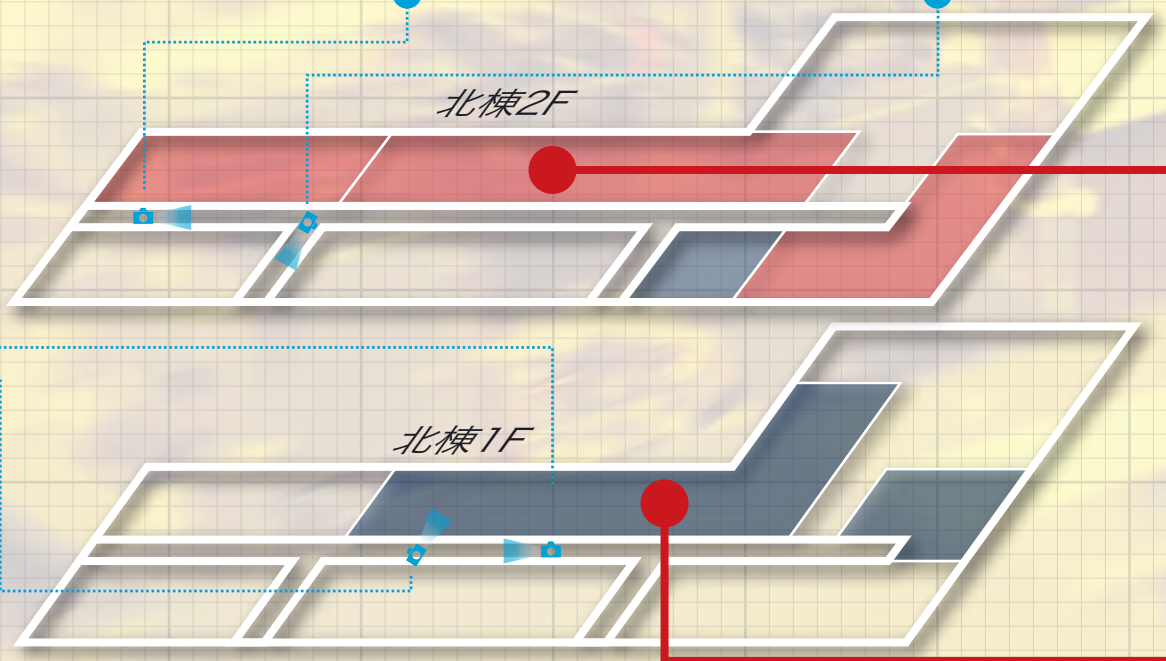
長く、まっすぐに続く廊下



北棟と南棟を結ぶ、渡り廊下



クリーンルームの中が覗けます



KAGRAプロジェクト

KAGRA(かぐら)とは、岐阜

県・神岡で建設されている基線長3kmの大型レーザー干渉計型重力波望遠鏡。干渉計内での散乱光・迷光処理といった望遠鏡の最終性能に直結する主要部分などを担当する。更なる性能向上の基礎開発研究もおこなっている。

重力波望遠鏡TOBA

MAP → p10

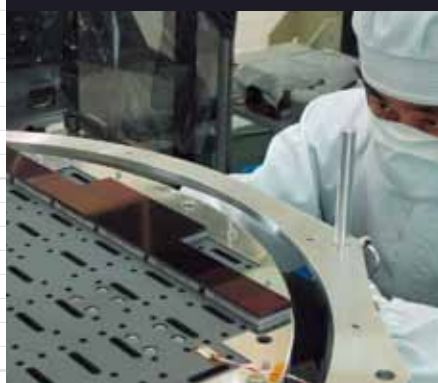


HSCプロジェクト

HSCとは、すばる望遠鏡に搭載される約10億画素の高感度デジタルカメラのこと。

レンズ直径は約82cm、重量も約3トンとビックサイズ。HSCプロジェクトでは、CCDや真空冷却装置、読み出しエレクトロニクス・フィルタ・シャッタ・フィルタ交換機構からなるカメラ部分の開発を担当した。現在はすばる望遠鏡に搭載され、本運用に向けた試験・調整を行っている。

HSC: CCD



HSC: 真空容器



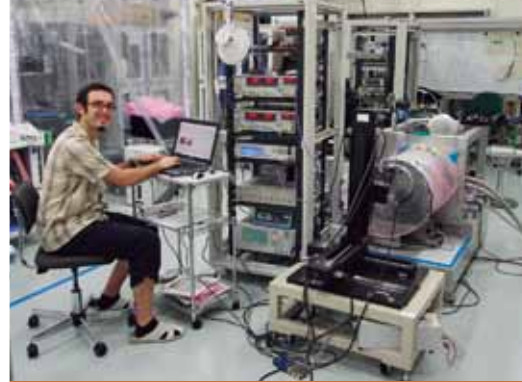


Band4



Band8

(受信機組立中)



Band10

(冷却ビーム測定中)

ALMA受信機 開発グループ

ALMA望遠鏡では、観測波長に応じてBand1~Band10の10種類の受信システムが使われる。開発・製造は参加各国が分担し、日本はBand4, Band8, Band10の3種類の受信機を担当している。

ALMA受信機開発グループはこれら3種類の受信機を開発し、パラボラアンテナ66台分の受信機を日々、組立・検査・出荷している。

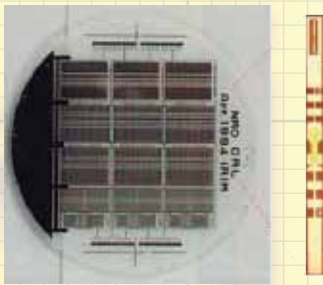
グループ・プロジェクトの装置・用語解説

●クリーンルームとSIS素子製造装置

SIS素子は、厚さ約1nmという極薄の絶縁膜(Al_2O_3)を2つの超伝導体(Nb)で挟んだサンドイッチ構造をもつダイオード素子で、非常に感度の高いミリ波・サブミリ波帯検出器としてALMA受信機に利用されている。SIS素子は、高品質の金属(Nb, Alなど)薄膜を形成するスパッタ成膜装置やそれらの金属や誘電膜(SiO_2 など)のパターン成形を行うエッチング装置などを利用して製造されている。これらのSIS素子の製造に利用する装置は、クラス1000のクリーンルームに設置されている。

●i線ステッパ

ALMAバンド10受信機に利用するSIS素子では、 $1\mu m$ 以下のサイズを非常に精度良く製造する必要がある。 $1\mu m$ 以下のパターンを精度良く露光、転写する装置がi線ステッパで、超高精度のステージ駆動機構と短波長の紫外線(高圧水銀ランプのi線、波長365nm)が精度の高い超微細パターンの転写形成を可能にしている。i線ステッパは、クラス1000というクリーンルームの中でも特にダストの少ない部屋(通称、イエロールーム^{※1})に設置されている。



●Band4

Band4では周波数125 - 163 GHzを観測する。野辺山宇宙電波観測所から受け継いだSISミキサー技術や、独自開発の光学系部品を用いたカートリッジ型超伝導受信機は量子雑音限界に迫る性能を有している。



●Band8

Band8では周波数385 - 500 GHzを観測する。ALMA受信機開発グループが開発した超伝導マグネット(世界唯一!)が、Band8受信機の超高感度検出を可能にしている。



●Band10

Band10では周波数0.78-0.95 THzを観測する。ALMA受信機開発グループを中心として、超伝導窒化ニオブチタン薄膜を用いたSISミキサーの開発に成功。世界最高となる受信性能を実現した。



●重力波望遠鏡TOBA

KAGRAの低周波感度を向上させるための重力波望遠鏡TOBAの小型プロトタイプ。重力波イベント観測時の早期アラートを実現することを目指す。

●HSC:CCD

HSCには、天文用の高感度な完全空乏型裏面照射CCDが使われている。浜松ホトニクス社と共同開発した国産CCDだ。ひとつのCCDチップは 2048×4096 の画素を持ち、 $-100^\circ C$ に冷却されるコールドプレートに116個並べて使用される。その総画素は約10億にもなる。データ量も膨大で、一回の撮像で約2Gbyteの画像が作られる。

●HSC:真空容器

CCDが装着されたコールドプレートは、真空容器内におさめられる。入射光を透過させる窓は合成石英でできているが、大気圧で割れてしまうのを防ぐため、37mmもの厚みをもつ。

注1: フォトリソの感光を避けるため照明の光の短波長側をカットしている。そのため部屋全体が黄色くなっている。

写真左下: 水晶基盤に露光した回路パターンと切り出したSISデバイス素子

写真中上: Band4受信機

写真中中: Band8受信機

写真中下: Band10受信機

特集・ATC 探訪はいかがでしたか?

今回は“はじめて”ということで概要の紹介でしたが、今後、折に触れて、それぞれの項目につき、もっとくわしい記事をお送りする予定です。どうぞお楽しみに!そして、次ページから技術をテーマにした新連載もスタートします!

SIS素子グループ

Superconductor Insulator Superconductor
SIS素子グループは、ALMA望遠鏡の受信機で使用するSIS(超伝導体-絶縁体-超伝導体)ミキサーの開発・製造を行うグループ。ミキサーとは周波数の変換装置のこと。変換損失を少なくしたミキサーの開発は電波望遠鏡の性能を大きく左右する。超高品質な薄膜形成技術や超高精度なパターンニング技術を持ち、世界最高性能を誇るBand10のSISミキサー素子の製造を可能にした。

クリーンルームとSIS素子製造装置



i線ステッパ



天文台の 匠 たち

国立天文台の観測や研究を支える天文台の匠たち。
このシリーズでは、縁の下の“匠”たちが持つ技術や情熱、発想、工夫、
苦勞などについてインタビューを行い、彼らの素顔に迫って行きます。
そこから浮かび上がる“匠”たちの目からみた天文台とは、果たしてど
のような姿なのでしょう。

file01

岡田則夫(先端技術センター)

インタビュー 岩城邦典(天文情報センター出版室)

(岩城)
「天文台の匠たち」というシリーズの第1回
です。トップバッターとして、今回は先端技術セ
ンターの岡田則夫さんにお越しいただきました。
今日はよろしくお願いたします。まずは、簡
単にこれまでの経歴をお教えてください。

(岡田)
私は技術系職員として名古屋大学理学部金
属工作室(5年)、分子科学研究所装置開発室
(17・5年)の勤務を経て、国立天文台に着任し
て18年が経過するところです。先端技術セン
ター(ATC)のメカニカルエンジニアリング
シヨップ(MEシヨップ)の責任者として、機械工
作を軸とした天文機器開発に従事しています。

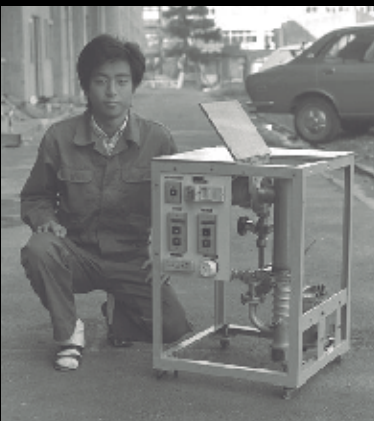
(岩城)
これまでで、すばる第1期観測装置をはじめとし
て、数多くの実験装置や観測装置の開発や製作
に携わってきました。特に真空技術、低温技術、
溶接技術などを得意とし、最近では超精密加工分
野も開拓しつつ、研究者と一体となって『ものつ
くり』を実践しています。

(岡田)
「ものづくり」のよろず相談、いつでも大歓迎で
す。どうぞ、一声かけてください。お待ち申し上げ
ております。

(岩城)
天文台ならではの機械加工や苦勞・工夫と
言ったものはありますか？

(岡田)
天文台の中での『ものづくり』では、ざっくりと
形があればOKなもの、数ミクロンを較差と
する高精度加工の必要なものと大別されま
す。前者はおもに汎用機械でガンガン作れます
が、後者は高精度加工を実現できる工作機械の
配備が必須となります。工場に多くの機械が並
んでいるのは、上記のような様々な加工依頼に速
やかに対応できるようにするためです。工作機械
のグレードアップですが、天文台は『ものづくり』
に関心が高く、ナノオーダーの加工を実現する
超精密非球面加工機の導入や最新鋭のワイヤ
放電加工機の導入など、着実に中身を整え、
ALMA受信機開発、ハイパシビュープリム
カムや超精密光学素子の開発を支える原動力
となっています。

(岡田)
機械工作は文字通り、旋盤やフライス盤など
の工作機械を使用してアルミ合金やステンレス
鋼などの材料を加工することです。製作図面に
もとづいて、丸棒材や板材から必要となる形状
を削りだします。軽量を要求されるもの、真空内
で用いるもの、熱伝達に優れるものなど、用途に
よって被削材は様々ですが、MEシヨップでは、
アルミ合金の加工が最も多く7、8割を占めて
います。残りはステンレス鋼、銅などですが、稀に
チタン合金やモリブデンなどの特殊金属の加工
もあります。他には、溶接機を使った接合作業、
酸素+アセチレンのバーナーを用いた銀口付け
作業などもあり、接合は私の最も得意とする
ところの一つです。



はじめて作った真空排気装置(名大時代19歳)



分子線実験用真空フランジ(分子研時代26歳)



雲モニター用パノラマ鏡切削中(現在)

●研究教育職員



松田有一 (まつだ ゆういち)
 所属：チリ観測所 (三鷹)
 出身地：茨城県

5月21日付でチリ観測所の助教に着任いたしました松田有一です。大学院時代は東北大学、および、国立天文台ですばる望遠鏡を用いた遠方銀河の観測的研究を行いました。博士研究員としては、京都大学、国立天文台、英国ダーラム大学、米国カリフォルニア工科大学で遠方銀河の多波長観測プロジェクトを進めてきました。チリ観測所では、これまでの多波長観測や海外の研究者とのつながりを活かし、すばるや他の大型多波長観測プロジェクトとの連携などを通じて、アルマのサイエンス活動をどんどん盛り上げていきたいと考えております。よろしくお願いたします。



安東正樹 (あんどう まさき)
 所属：光赤外研究部
 (重力波プロジェクト推進室)
 出身地：滋賀県

6月1日付で重力波プロジェクト推進室に准教授として着任いたしました安東です。国立天文台では、以前に重力波望遠鏡 TAMA300 での建設と観測運転に携わっていた頃、約3年間お世話になりました。今回、約10年ぶりに戻ってきたこととなります。現在は、より大型の低温重力波望遠鏡「かぐら (KAGRA)」の建設や、重力波による新しい天文学創成のための研究開発を進めています。どうぞよろしくお願いたします。

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24年7月1日	齋藤正雄	昇任	准教授電波研究部 (チリ観測所)	助教電波研究部 (チリ観測所)
平成24年7月1日	齋藤正雄	勤務地変更	チリ観測所チリ観測所 (三鷹)	
平成24年7月1日	伊王野大介	配置換	チリ観測所 (三鷹)	野辺山宇宙電波観測所
平成24年7月1日	安東正樹	併任	重力波プロジェクト推進室長事務取扱	
平成24年7月1日	辰巳大輔	併任解除		重力波プロジェクト推進室長事務取扱

●訂正のおしらせ

国立天文台ニュース 2012年7月号 (No.228) 23ページの「野辺山太陽電波観測所のパラボラアンテナを三鷹の見学コースに設置」の記事中、「戦後通信の雑音として天体からの電波が発見され」は、「天体からの電波が1931年にアメリカのベル研究所の K.Jansky によって発見され」と訂正します。

編集後記

三鷹のグランド南西角にあった桜の大木が伐採されました。安全予防措置とのことですが、寂しいです。大きく景色が変わりました。(O)

国立文化財機構が作ったiPadアプリ「e国宝」。豊富な解説付きで高解像度の絵巻物や彫刻が手元で楽しめる。すごい。(h)

初めて富士山に登りました。天気に恵まれ美しい御来光を見ることができました。登山中は月が道を照らしてくれました。(e)

8月といえば、2か月に及ぶ海外武者修行から帰った後、立て続けに2つの国際会議で結局ほとんど日本にいなかった月でした。今年は日本の蒸し暑い夏をほとんど経験しませんでした。(K)

絵画を見に行き行って思ったこと。説明文を読まないで芸術は理解し難いが、描画技術は理解し易い。そう思っていたが、今は描画の現場でのパフォーマンスを見ないと理解できないモノがあります。(J)

ハロウィンの季節です。ちょうどハワイ出張と重なったのですが、ハワイでも色々な所でおどろおどろしい装飾が施されています。お化け屋敷的な装飾のレストランには「Do Not Enter」というテープが巻かれていました。入っていいのかしばらく店の前で悩んでしまいました。(K)

発行の遅れに対して、強いクレームがあった。あちゃ…そうだよなぁ。挽回しないと。(W)

国立天文台ニュース
 NAOJ NEWS

No.229 2012.08

ISSN 0915-8863

© 2012 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でもご覧いただけます。

天のまはろ

9月号の研究トピックスは「アルマ望遠鏡による遠方銀河の重元素量研究」。元台長の海部宣男さんが会長に就任した第28回IAU総会の報告や、野辺山地区、岡山地区の特別公開の報告もお楽しみに!

日本最古の天体写真乾板

佐々木五郎 (天文情報センター)



図1 「乾板ナンバー 13」：とも座付近 (1899年3月5日・1時間7分露出)。

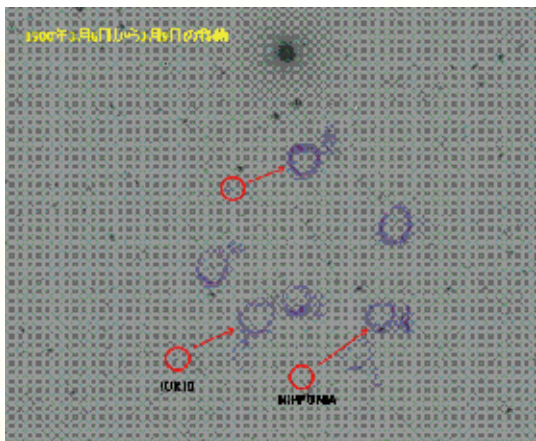


図2 小惑星「Tokio (498)」と「Nipponia (727)」。Cが「Tokio (498)」、Aが「Nipponia (727)」、Bはすでに国外で発見されていたCarolina (235)。1900年3月9日に撮影された乾板で、3月6日撮影の乾板に写っていた各小惑星の位置を赤丸で示した。移動のようすがわかる。

今回発見された写真乾板は、三鷹地区にある旧図書館 1 階に保管されたもの。ここには国立天文台岡山天体物理観測所・堂平観測所・宇宙研鹿児島宇宙空間観測所で撮影されたものや民間アマチュア天文家が撮影したもの、科学センターなど同時観測 (人工衛星など) を依頼したものなど、たくさんの乾板・フィルムが保管されている。大きさも様々で、包みや乾板に記載されているデータから個々の写真データを作成し、画像データをスキャナで取得・保存し、現物を貴重書書庫に保管するなど、一連のアーカイブ化作業を進めている。

★くわしくは <http://www.nao.ac.jp/access/mitaka/public.html> をご覧ください。

アーカイブ・メモ

品名：写真乾板

撮影機材：ブラッシャー天体写真儀 / 口径 20cm・焦点距離 120.3cm (のちに 127cm) / ブラッシャー社製 (米国)

所在地：国立天文台三鷹地区・天文機器資料館

公開状況：写真乾板は非公開。ブラッシャー天体写真儀は一般公開され、見学することができます。

国立天文台の前身である東京天文台が、まだ麻布新倉にあった頃、1896年8月に北海道で起きた皆既日食を観測するためにブラッシャー天体写真儀 (米国・ブラッシャー社製) が購入された。あいにく日食観測は天候に恵まれなかったが、その後、天の川銀河の構造を調べるために各国で星夜の写真撮影が系統的に行われ、日本もブラッシャー天体写真儀を用いてそれに参加した。当時は3時間の露出を目標に、いろいろな天域を撮影していたようである。当初は専用赤道義がなく、既存の望遠鏡に同架して観測を行っていたが、1905年、ブラッシャー専用の赤道儀架台を米国のワーナー・スウェージー (WS) 社から購入した。

その後、1945年2月に三鷹で発生した原因不明の火災のために、当時の貴重な資料やブラッシャー写真乾板などは焼失したのと思われていた。ところが、天文情報センターアーカイブ室で東京天文台時代に撮影された写真乾板の整理作業を進めていたところ、この乾板を見つけることができた。乾板の大きさは253mm×220mm (六つ切りサイズ) で、視野は12.0度×10.4度である。

今となっては、この乾板が長期にどこに保管されていたか、わからない。見つかった場所は旧図書館1階で、さまざまな場所で撮影された乾板と一緒に段ボール箱に詰められ、書棚ラックに収められていた (ちなみに、現在、アーカイブ室に保管されている乾板総数は約2万枚に上る)。撮影された乾板の中には、のべ3夜・7時間を超える物もある。そして、この写真儀を使って、平山信 (後の東京天文台2代目台長) らが1900年に日本で初めて発見した、小惑星「Tokio (498)」と「Nipponia (727)」の乾板も見つかった。この一連のシリーズは、1899年3月から1917年2月までに撮影されたもので、乾板の総数は440枚である。7割以上に膜面のシミやハガレがあり、ごく少数だが、割れているものもあった。その中でもっとも古いものが「乾板ナンバー 13」で、1899年3月5日にとも座を撮影した露出1時間7分のもの (およそ14等星まで確認できる) である。これが、現在確認されているものとしては、日本最古の天体写真乾板である。

く
ろ
に
く
る

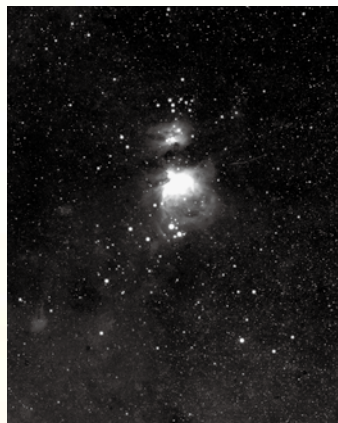


図3 低感度写真乾板で長時間露出した見応えのある画像もある。写真はオリオン座大星雲M42 (乾板ナンバーなし。1917年2月14日撮影・3時間露出/白黒反転し部分トリミング)。



図4 ブラッシャー天体写真儀。トロートン・シムス望遠鏡に同架されている黒く短い鏡筒。現在は国立天文台天文機器資料館に展示されている (当連載で詳しく紹介の予定)。