

野辺山45 m望遠鏡搭載用超伝導受信機の開発 —世界最大のミリ波望遠鏡新たな10年へ—



中 島 拓

〈名古屋大学太陽地球環境研究所 〒464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町〉

e-mail: nakajima@stelab.nagoya-u.ac.jp

われわれは、国立天文台・野辺山宇宙電波観測所に設置されている世界最大級のミリ波望遠鏡45 m望遠鏡用の新たな波長3 mm（周波数100 GHz）帯の受信機システムを開発した。新たな受信機は、心臓部ともいえる周波数混合器（ミクサ）に、サイドバンド分離方式の超伝導ミクサを使い、偏波成分の分離には従来のワイヤグリッドではなく、導波管方式の偏波分離器を採用した。これまでに、2007年にシングルビーム受信機、2009年にツービーム受信機、そして2011年にマルチビーム受信機と、それぞれ世界初の仕様を備えた3台の新たな受信機システムを開発することに成功した。これらは昨年建設から30周年を迎えた45 m望遠鏡の次の10年を支える新たな受信機群として、活躍が期待されている。本稿では、筆者が野辺山宇宙電波観測所で行った研究開発の成果を中心に、新たな受信機システムの概要について紹介する。

1. はじめに

「おお、受かった…」そのとき、45 m望遠鏡の制御室に響いたのは、歓声というよりも安堵の溜息に近かったと思う。野辺山では、ミリ波の観測シーズンがすでにスタートしていた2007年12月11日、これまでわれわれが開発を進めてきた新たな受信機システムが、初めて天体からの分子スペクトルをとらえることに成功し、ファーストライトを迎えた瞬間であった。その後も、われわれはさらに新しい受信機システムを開発し、それからの5年間で2度も新たな受信機のファーストライトを経験することになった。

長野県にある国立天文台・野辺山宇宙電波観測所にある口径45 mの電波望遠鏡（図1）は、ミリ波の中でも波長3 mm帯（周波数80–115 GHz付近）を観測可能な望遠鏡として、現在世界最大口径の単一鏡である（ただし、メキシコに建設中の口径50 mのLMT (Large Millimeter Telescope)

が3 mm帯での観測を開始すれば、世界最大口径の座を譲ることになる）。1982年にこの地に設置され¹⁾、以来30年にわたって、最先端の電波観測を続けている日本を代表する望遠鏡の1台で



図1 長野県の野辺山高原に設置されている45 mミリ波望遠鏡。背後に見える山並みは八ヶ岳連峰である。

ある。その成果は、大質量ブラックホールの発見^{2), 3)}、多数の新しい星間分子の発見^{4), 5)}のほか、星・惑星系の形成過程⁶⁾⁻⁸⁾、銀河の構造や活動^{9), 10)}、星間化学¹¹⁾⁻¹³⁾の観測的研究など、多岐にわたっている。

ところで、45 m鏡にとって3 mm帯というのは、重要な意味をもつ波長である。それは、主鏡の鏡面精度などから考えると、この波長帯が、この望遠鏡で観測可能な最も短い波長(=高い周波数)帯だからである。また、観測的な面からいえば、星間分子ガスの研究に欠かすことのできないプローブである一酸化炭素分子(CO)のうち、回転量子数 J が1から0への遷移、すなわち回転エネルギーが最も低い基本的なスペクトル線が100 GHz帯($^{12}\text{C}^{16}\text{O}$ は115.271 GHzであり、その同位体置換種である $^{13}\text{C}^{16}\text{O}$ は110.201 GHz, $^{12}\text{C}^{18}\text{O}$ は119.782 GHz)にあるのである。したがって、より高性能な3 mm帯の受信機を開発し運用していくことは、今後の45 m鏡にはもちろん、電波天文学の発展にとって一つの重要なポイントであるといえる。

2. 3 mm帯受信機の現状

これまで45 m鏡に搭載されていた3 mm帯が観測できる受信機としては、SIS-80(以下S80)とSIS-100(以下S100)があり、これらは二つの超伝導(SIS)検出器が1台の受信機デューワー(真空冷凍容器)内にセットされている(図2)。主鏡で集められた電波は、ワイヤーグリッドと呼ばれる偏波分離膜によって直交する両直線偏波成分に分離され、さらに準光学方式のシングルサイドバンド(SSB)フィルターを用いることで、2台の受信機による両偏波かつSSBモードの同時観測が可能になっている。この受信機は、天空の一点のみを観測する「シングルビーム受信機」であり、例えば望遠鏡を動かさずに天体のある一点の深い観測を行うことでそこでの物理パラメータを導出するほか、新しい星間分子を探索したり、見

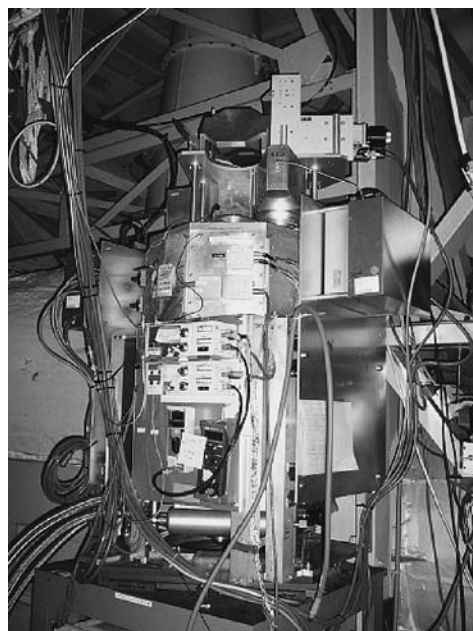


図2 S80/S100受信機の外観。

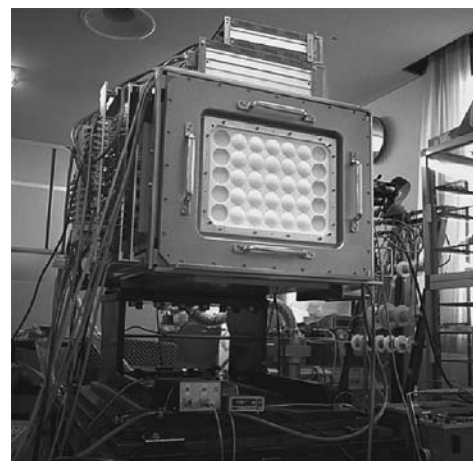


図3 BEARS受信機の外観(国立天文台提供)。25の視野をもつマルチビーム受信機なので、電波入力部に25個の丸いレンズが並んでいる。

かけの大きさが小さい遠方の銀河の観測などにも用いられる。

一方、天の川銀河内に位置するみかけの大きな分子雲や近傍の銀河のように大きく広がった構造を観測する際に威力を発揮する受信機として広い画素を持つ「マルチビーム受信機」がある。45

m鏡には、天空の25(5×5)点を一度に観測可能なマルチビーム受信機が搭載されており、これはBEARS(25 BEam Array Receiver System)と呼ばれている^{14), 15)}(図3)。この受信機は2001年に45 m鏡に搭載され、分子雲の階層構造の解明や星形成領域の研究、あるいは近傍銀河の全面マッピング観測などに威力を発揮している。

これらはいずれも現在でも稼働中の受信機であるが、例えばS80/S100は45 m鏡で3 mm帯の観測が始まった当初から使用されており、その仕様はこれまで基本的に変わっていない。また、BEARSも搭載からすでに10年以上が経過しており、その間に世界的な超伝導受信機の性能は飛躍的に向上した。例えば、2012年から一部の運用が始まった次世代の電波天文台であるALMA(Atacama Large Millimeter/sub-millimeter Array)用の受信機開発が進んでいる今日では、世界各国の研究機関がしのぎを削って高性能のミリ波・サブミリ波帯受信機を開発を行っているという状況にある。したがって、45 m鏡に搭載されている受信機の性能(特に受信機雑音温度)は、世界の電波望遠鏡と比べると相対的に非常に悪くなっていると言わざるをえない。

そのような情勢の中で、これから本格的に始まるALMA時代に45 m鏡を引き続き最先端で活躍させていくということを考えると、受信機の高性能化は避けて通れない、と同時に急を要する課題であると言えるだろう。さらに、日本も積極的に参加するALMAで培われつつある種々の新しい技術を日本の既存の電波望遠鏡に応用し、世界に先駆けてこれを実用化するということが、ALMAの本格運用に際し、世界の天文学者に対して重要な情報を与えることも大きな利点となることが予想される。

3. 新2SB受信機の開発

3.1 T100受信機

これまで述べた状況を踏まえ、われわれは2007

年から新たな3 mm帯の受信機システムの開発を開始した。初めに、シングルビーム受信機S80/S100の後継機として、「シングルビーム両偏波両サイドバンド分離受信機」の開発について、2007年2月14日にキックオフミーティングが行われ、計画がスタートした。

これは個人的な話になってしまうが、この計画がスタートしたとき、私は博士課程3年になるところで、博士論文をまとめながら新しい受信機開発ができるのかと、周囲からはずいぶん心配された。しかし、この開発計画を聞かされたときから「この研究は絶対に自分がやるべきだ」と感じ、指導教授に「ぜひ、自分にやらせてください」とお願いしたことを今でもよく覚えている。

受信機の開発は、主に大阪府立大学において約半年をかけて集中的に行われた。そして2007年12月には45 m鏡に搭載され(図4)、搭載から4日後の12月11日に、星形成領域であるW51から

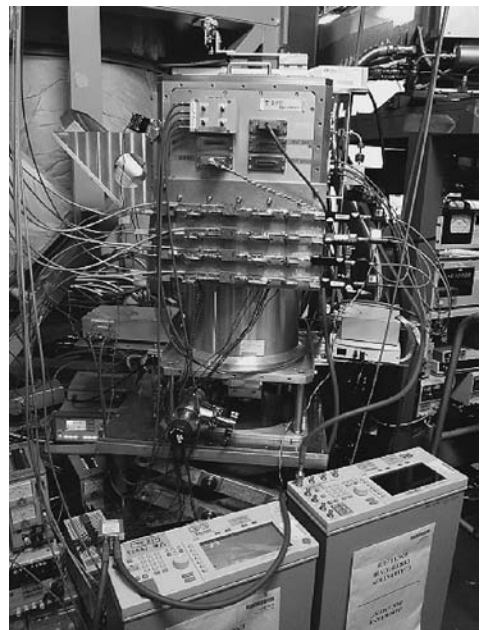


図4 T100受信機の外観。左側の反射鏡によって、受信機内部に電波が集光される。手前の装置は、局部発振信号用のシグナルジェネレーター。

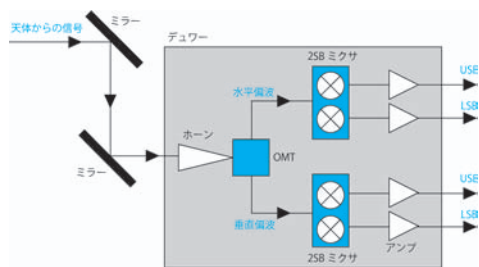


図5 T100受信機のブロックダイアグラム. デュワーの中に偏波分離器 (OMT) と超伝導2SBミキサ, アンプが設置され, 絶対温度で4ケルビン (摂氏-269度) に冷やされる.

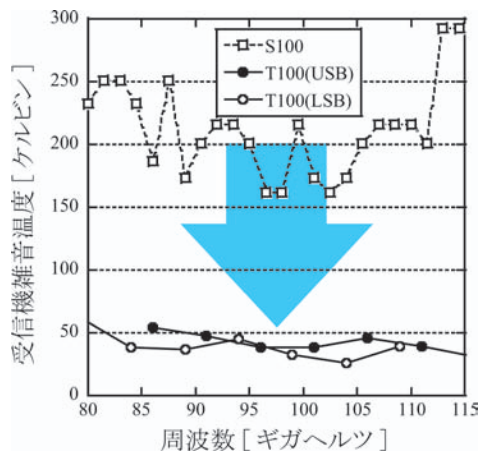


図6 S100とT100の性能 (受信機雑音温度) の比較. 雑音が高いほど性能が良く, およそ従来の四分の1に低減したことがわかる.

のCOの電波の受信に成功し, ファーストライトを達成した. 私は直ちにこの結果を論文¹⁶⁾にまとめ, 2月1日にPASJに投稿するとともに, 自身の博士論文の一部としてまとめ上げた. したがってこの受信機の開発は, キックオフミーティングからファーストライトを経て論文投稿までわずか1年足らずで駆け抜けた, 今から振り返ると怒涛の開発計画であったといえる.

この「T100」と名づけられた新たな受信機のブロックダイアグラムを図5に示す. この受信機の特徴は, 心臓部ともいえる周波数混合器 (ミキサ) に導波管型サイドバンド分離 (2SB) 方式¹⁷⁾の超伝導ミキサを採用したことである. 2SBミキサは, ALMAに搭載される10バンドのミリ波・サブミリ波受信機において少なくとも五つの周波数バンドで標準的な仕様となっている高性能なミキサで, ALMA以外の世界中の電波望遠鏡でも現在活発に開発および実用化が進められている¹⁸⁾⁻²¹⁾. このミキサは, 導波管回路によって上下の側波帯であるUpper Side-Band (USB) とLower Side-Band (LSB)の信号を分離して個別に取り出すことができるため, 従来用いられていた準光学方式のSSBフィルターが不要となる. また今回は, 従来ワイヤグリッドを使用していた偏波分離についても導波管型の偏波分離器 (OMT; Ortho-Mode Transducer)²²⁾を用いることで, 受信機前段での光学系によるロスを大幅に改善した. その結果受信機雑音温度

は, S100の約200 Kに比べて, およそ四分の1の約50 Kにまで低減させることに成功した (図6). また, ミキサの後段のアンプを4.0-12.0 GHzの帯域をもつ広帯域のものに換装したことにより, 受信機から出力される中間周波 (IF) 信号は, 従来のS100の1.2 GHz幅から32 GHz幅へと格段に広くなった (実際は, さらに後段のA/D変換器の帯域に制限され, 28 GHz幅の観測が可能である). これは, 一度に取得できる周波数範囲が20倍以上広帯域になったことを示している.

このように, T100受信機では従来の受信機に比べると大幅な低雑音化と広帯域化に成功しただけでなく, ALMAに先駆けて世界で初めて3 mm帯でOMTと2SBミキサを用いた両偏波・両サイドバンド同時観測に成功した.

3.2 TZ受信機

われわれが次に開発したのは, 「ツービーム両偏波両サイドバンド分離受信機 (後に, TZ受信機と名づけられた)」である. この受信機は, その名の通り二つのビームをもっている. シングルビーム受信機の場合, 望遠鏡は天空上の一点しか観測ができないため, 通常ポジションスイッチという手法で観測が行われる. これは, 目的的天

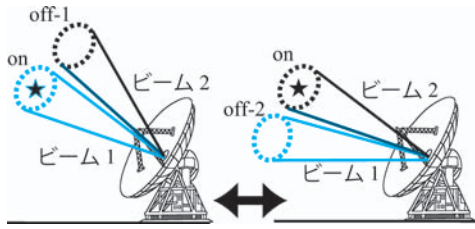


図7 ツービーム受信機によるポジションスイッチ観測の模式図。星印は、ターゲットとなる天体を表し、ビーム1と2が交互に観測することがわかる。

体の方向を on 点、天体（電波放射）がない方向を off 点とし、on 点と off 点を交互に切り替えながら観測し、それらのデータを差し引くことで地球大気の放射などをキャンセルする手法である。ただし off 点を観測するときは、天空上の何もない点を見ているのであるから、限られた観測時間を考えると無駄な時間ともいえる。一方、ツービーム受信機は二つのビームをもつので、例えばビーム1が on 点、ビーム2が off 点を同時に観測し、次に二つのビーム幅だけポジションスイッチしてやると、今度はビーム1が off 点、ビーム2が on 点を見るので、常にどちらかのビームが on 点を観測し続けることが可能になる（図7）。これにより、シングルビーム受信機に比べると観測効率が2倍になり、同じ観測時間で雑音レベルを $\sqrt{2}$ 分の1良くすることができる。設計上、二つのビーム間隔はおよそ45秒角と狭いので、広がった天体の観測には適さないが、コンパクトな天体や遠方の点源状の天体の観測に威力を発揮する。

この受信機の開発は、2008年5月26日にキックオフミーティングが行われ、専用の受信機デューワーの設計・製作、合計4個の2SBミキサの評価などが1年ほどかけて行われた。受信機の基本的な設計は前述のT100と同様で、T100の受信機コンポーネントの2台分が1台のデューワーに並べて収められている。翌2009年の5月19日に45 m 鏡に搭載され（図8）、その4日後に晩期型炭素星

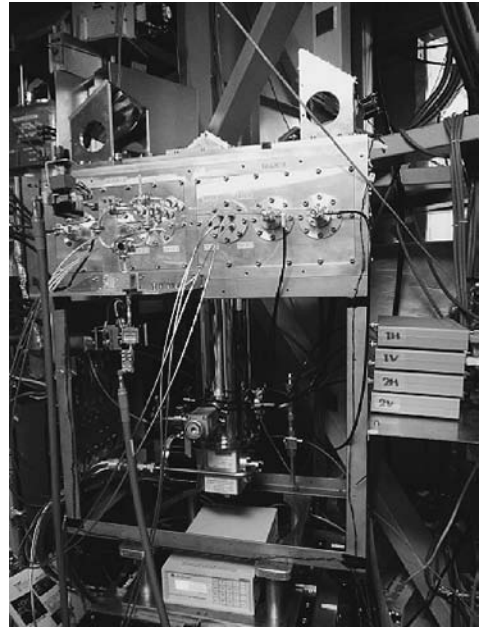


図8 TZ受信機の外観。中央上方から、アンテナで集めた電波が下りてきて、平面鏡によって左右に分割して受信機に集光する。

IRC+10216のCO分子を検出し、ファーストライトを達成した。2ビームをもつ受信機での観測は低周波ではほかにも例があるが、3 mm 帯で、さらにOMT、2SBミキサを用いた受信機での実用化は、本研究が世界で初めてである²³⁾。

3.3 FOREST 受信機

T100でシングルビーム受信機の高性能化に成功した後、コミュニティから強く求められたのはBEARSの後継機といえるマルチビーム2SB受信機の実現であった。特にBEARSに使われているミキサはダブルサイドバンド（DSB）モードのミキサであり、これは目的外のイメージバンドからのノイズの混入や受信機出力の不安定化が避けられないため、以前からSSB化が強く望まれていたのである。

野辺山で「マルチビーム両偏波両サイドバンド分離受信機」の開発構想は、実は前述のTZ受信機よりも先に始まっており、2008年2月7日のキックオフミーティングにさかのぼる。しかし、

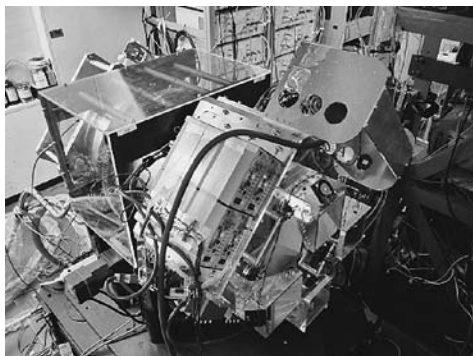


図9 45 m鏡の中で試験中のFOREST受信機の外観。45 m鏡の架台は経緯台式なので、日周運動により観測中の視野が回転しないように、回転機構の上に設置されている。

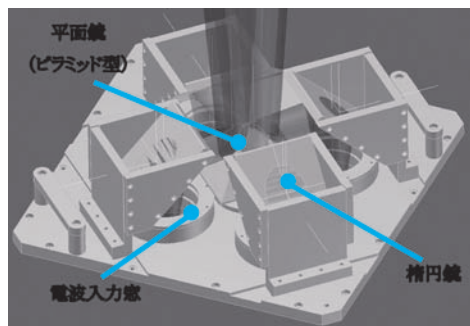


図10 FORESTの受信機光学系の3次元CAD図面。中央に集められた電波は、ピラミッド型の平面鏡4枚によって分割され、楕円鏡により四つのミキサに集光される。

マルチビーム受信機はシングルビームやツービーム受信機に比べてビーム数が増えるので、単純に多くの高額なコンポーネントが必要となる。したがって、十分な予算を確保するのが難しく、実際の開発には時間がかかった。ようやく2SBミキサの評価が始まったのは、キックオフミーティングから2年後の2010年3月からで、それから約1年をかけて、まず半分のコンポーネントの開発・評価が完了した。FOREST (FOur-beam REceiver System on the 45-m Telescope) と名づけられた4 (2×2) ビームの受信機 (図9) は、2011年5月6日に45 m鏡に搭載され、19日にまずは片偏波の受信機でファーストライトを達成した²⁴⁾。その後も実験室での開発を続け、両偏波のコンポーネントを搭載しての観測は、さらに1年後の2012年の4月頃から開始された。

1台の受信機でマルチビーム観測 (複数の方向を同時に観測する) を実現するためには、電波を複数のミキサに集光する必要がある。そのためには、受信機ホーンの前段に、複数のミラーを配置するか誘電体で作成したレンズを並べるのが一般的である。BEARSでは25個のレンズが並んでいたが (図3参照)、今回はビームの形状が歪んだり、誘電体でのロスを避けるためにミラーを用いることになった。図10のように、受信機中心に

置かれたピラミッド型の平面鏡によって電波は4方向に分けられ、さらにそれぞれ楕円鏡を用いてデューワー内の受信機ホーンへと導いている。

2SBミキサを用いたマルチビーム受信機は世界各国で開発が行われているが、現時点で実用化に成功したのは中国の紫金山天文台とわれわれだけである。中国のマルチビーム受信機は、9 (3×3) ビームであるが偏波分離器がなく、片偏波の受信だけが可能である²⁵⁾。したがって、両偏波・2SBモードのマルチビーム受信機の実用化は、本研究が世界で初めてということになる。高感度・広帯域で天空上の広域な観測が可能なFORESTが本格観測を開始すると、系内の分子雲や近傍銀河の星形成領域などに対し、これまでの受信機では不可能だった複数の輝線を使った同時マッピング観測が行われるため、これらの研究分野で新しい知見が続々と得られることが期待される。

4. 新受信機の現状と課題

このようにして、約5年をかけて開発された3台の2SB受信機システムは、すでに45 m鏡での観測を開始した。T100は、2007年冬の搭載から、リスクシェアではあるが、すぐに共同利用観測で使われ始め、年を追うごとにその使用率は高くなってきている (図11)。2011年の観測シーズンには、共同利用の全観測のうち実に80%の観

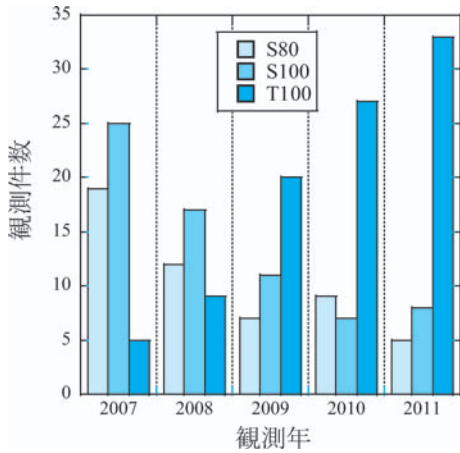


図11 2007年から5年間のS80, S100, T100の共同利用での観測件数. S80, S100は減少し, T100の利用件数が年々増加していることがわかる.

測でT100がメインの受信機として使用された。これは、筆者が開発当初に予想していたよりも2SB受信機への要望がはるかに強かったことを示しており、たいへん驚いている。もちろんサイエンスのアウトプットも出始めており、T100を用いた観測結果による査読論文の出版数は、2009年に2編、2010年と2011年にそれぞれ3編、2012年は現時点で5編と、すでに10編を超えている。特に、高感度・広帯域・シングルビームという特性を生かした星間化学的な手法によるラインサーベイ観測（周波数方向に無バイアスに観測することで、多くの分子スペクトルを検出する）が野辺山レガシープロジェクトとして進められ、星形成領域、衝撃波領域^{26)–28)}、赤外暗黒星雲、系外銀河²⁹⁾など、さまざまな特徴的な領域・天体の理解が進んでいることは、特筆すべき成果である。

ツービーム受信機のTZは、特別推進研究「超広帯域ミリ波サブミリ波観測による大規模構造の進化の研究」(代表: 河野孝太郎・東京大学教授)の中で、南米に設置されたASTE (Atacama Sub-

millimeter Telescope Experiment) によって見いだされたサブミリ銀河³⁰⁾でのCO探査を主なターゲットとしており、赤方偏移した高励起のCO輝線を3 mm帯で検出することで、サブミリ銀河までの距離や年代を推定することを目標としている。伊王野大介・国立天文台准教授らのグループはこの受信機を用いて、高赤方偏移の天体である、110億年前の宇宙に存在するCloverleaf (クローバーリーフ、和訳では四ツ葉のクローバー) と呼ばれるクエーサーを観測し、この銀河に存在するCO分子の検出に成功した。このような遠方銀河の観測の場合には、何時間、場合によっては何日もの観測時間を投じてCO分子の探査を行い、運が良ければかろうじて検出に至るのが通例だったが、今回はわずか10分でスペクトルが検出されたという。所内での試験的な観測からは、すでにサイエンスの成果が出始めている³¹⁾。

最後にFORESTは、本格的な観測に向けて現在も45 m鏡の中で開発と調整が続けられている状況である。2012年の観測シーズン終了間際に、集中的に調整を行い、次の観測シーズンから利用できる目途が立ってきたところである。

以上のように、T100をはじめとして、順調に成果を上げ始めた新受信機システムであるが、今後に向けて課題も抱えている。例えば、TZとFORESTは、残念ながら受信機性能が目標に達しておらず、まだ共同利用には公開されていない*1。ツービームやマルチビームなどの場合は、使用する2SBミクサの台数が多いことから、良い性能のミクサをそろえることがなかなか難しく、実験室での開発に時間がかかっているためである。特に、45 m鏡のように共同利用に公開されている望遠鏡の場合、観測者によって観測したい分子スペクトル（周波数）が異なるため、すべての要望に応えるためには、3 mm帯全体で均一に良い性能を確保する必要がある。受信機雑音温度のほ

*1 本稿執筆後、2013年1月よりTZ受信機は共同利用に公開された。ツービーム受信機はシングルビーム受信機の機能を包含しているので、同時にT100受信機は運用を終了した。

か、サイドバンド分離比（イメージバンドのシグナルバンドに対する信号抑圧比）、ゲインコンプレッション（受信機応答の線形性）、アラン分散（受信機出力の安定度）などが2SB受信機の重要な性能であるが、観測する周波数によっては、これらの性能が十分ではないミクサもあり、共同利用での公開に向けて今後改善が必要である。

また、このときには、そのような基礎的な受信機開発を担える人材の育成も大切であると私は感じている。新たな技術を取り入れた受信機を開発し、世界中の天文学者による共同利用に備えて性能を維持・管理し、さらに発展もさせていくということは、非常にたいへんな仕事である。そのためには、45 m鏡にかかわる技術職員だけでなく、（年寄り臭い言い方かもしれないが）これからの天文学を支えていく若い世代の人たちにも、最先端のハードウェアに興味をもって積極的に手を出して欲しいと願っている。

5. おわりに

われわれの世代は、ALMAという次世代の大型電波天文台が稼働し始めるという、とても貴重で興味深いタイミングにいる。ALMAは建設途上であるにもかかわらず、既存の電波望遠鏡をはるかに凌駕する性能を生かし、すでに目を見張るようなサイエンスの成果が続々と発表されている。しかし、そのような科学的成果をもたらしたのは、最先端の技術開発とアイデア、そしてプロジェクトで努力している科学者・技術者のたゆまぬ努力の結果であることを忘れてはならない。ALMAプロジェクトを通じて電波望遠鏡にかかわる技術は急速な進歩を遂げ、従来の観測装置を大きく上回る性能が実現されている。ここで培われた多くの技術をALMAだけにとどめず、既存の電波望遠鏡にも応用し、そこにさらに新しい技術やアイデアを盛り込むことで電波天文学全体としての発展を目指すことも、われわれがなすべき仕事だと私は思っている。

日本がALMAを進めるその礎の一つが、野辺山の45 m鏡であるのは間違いない。世界最大級のミリ波望遠鏡として、30周年を迎えた今でも最先端を走り続ける45 m鏡のさらなる発展に少しでもかかわれたことは、大きな喜びである。私が開発に携わった受信機群が、ALMAに向けた基礎的な観測を支え、さらに願わくはALMAではとらえられない新しい宇宙の姿を明らかにしてくれることを期待している。

謝 辞

本研究は、これまで筆者が所属していた大阪府立大学・宇宙物理学研究室、国立天文台・野辺山宇宙電波観測所、東京大学・天文学教育研究センターのほか、国立天文台・先端技術センターやチリ観測所のメンバーとの共同で進められています。特に、指導教員であった小川英夫教授をはじめ、野辺山宇宙電波観測所の前所長・川邊良平教授、現所長・久野成夫准教授、東京大学の河野孝太郎教授、そして45 m望遠鏡の運用グループの皆様に感謝いたします。また、本研究で用いた超伝導素子およびミクサの開発においては、先端技術センターの野口 卓教授とチリ観測所の浅山信一郎助教に特にお世話になりました。さらに、東京大学の酒井剛特任助教、大阪府立大学の木村公洋研究員、野辺山宇宙電波観測所の岩下浩幸研究技師、宮澤千栄子主任技術員とは、多くの開発・実験、および実機に搭載しての試験観測を共に行いました。

なお、本研究の一部は筆者の博士論文としてまとめることができました。関係各位にこの場を借りて、御礼申し上げます。

参考文献

- 1) Morimoto M., 1981, Nobeyama Radio Observatory Report No. 6
- 2) Nakai N., et al., 1993, Nature 361, 45
- 3) Miyoshi M., et al., 1995, Nature 373, 127
- 4) Kawaguchi K., et al., 1995, PASJ 47, 853
- 5) Kaifu N., et al., 2004, PASJ 56, 69
- 6) Tatematsu K., et al., 1993, ApJ 404, 643
- 7) Skrutskie M. F., et al., 1993, ApJ 409, 422
- 8) Mizuno A., et al., 1994, Nature 368, 719
- 9) Nakai N., et al., 1994, PASJ 46, 527
- 10) Kuno N., et al., 2007, PASJ 59, 117
- 11) Suzuki H., et al., 1992, ApJ 392, 551
- 12) Hirahara Y., et al., 1992, ApJ 394, 539
- 13) Takano S., et al., 1998, A&A 329, 1156
- 14) Sunada K., et al., 2000, SPIE 4015, 237
- 15) Yamaguchi C., et al., 2000, SPIE 4015, 614
- 16) Nakajima T., et al., 2008, PASJ 60, 435
- 17) Claude S. M. X., et al., 2000, ALMA Memo 316
- 18) Asayama S., et al., 2003, ALMA Memo 481
- 19) Lauria E. F., et al., 2006, ALMA Memo 553
- 20) Nakajima T., et al., 2007, PASJ 59, 1005
- 21) Carter M., et al., 2012, A&A, 538, 89
- 22) Moorey G., et al., 2006, in the Sixth Workshop on Applications of Radio Science Conference
- 23) Nakajima T., et al., 2013, PASP, in press
- 24) Nakajima T., et al., Proc. of the 23rd International Symposium on Space Terahertz Technology, submitted
- 25) Shan W., et al., 2010, Proc. of the 21st International Symposium on Space Terahertz Technology 136
- 26) Sugimura M., et al., 2011, PASJ 63, 459
- 27) Yamaguchi T., et al., 2011, PASJ 63, L37
- 28) Yamaguchi T., et al., 2012, PASJ 64, 105
- 29) Nakajima T., et al., 2011, ApJL 728, 38
- 30) Hatsukade B., et al., 2011, MNRAS 411, 102
- 31) Iono D., et al., 2012, PASJ 64, L2

Development of New Millimeter Wave 2SB SIS Receiver Systems on the NRO 45-m Radio Telescope

Taku NAKAJIMA

*Solar-Terrestrial Environment Laboratory,
Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku,
Nagoya, Aichi 464-8601, Japan*

Abstract: We have developed new 100-GHz band sideband-separating SIS receiver systems on the 45-m radio telescope of the Nobeyama Radio Observatory. We have successfully developed single beam receiver (T100) in 2007, two beam receiver (TZ) in 2009, and four beam receiver (FOREST) in 2011. These receiver systems are composed of an *ortho*-mode transducer for separation of polarizations and two sideband-separating SIS mixers for separation of sidebands in each beam, which are both based on a waveguide technique. These receiver systems are expected to perform well as a central role in the next 10 years for the NRO 45-m radio telescope, which celebrates its 30th anniversary in 2012.