

# チリにおける「大型ミリ波アレイ」 建設候補地の現地調査

中井直正・石黒正人

〈国立天文台・野辺山 〒384-13 長野県南佐久郡南牧村野辺山〉

日本における電波天文学の次期大型計画として、10 m 級アンテナおよそ 50 基からなる大型ミリ波アレイが検討されている。1992 年よりその最有力建設候補地として世界でもっとも天文観測に適していると思われるチリ北部の調査を開始した。これまでに行った 2 回の現地調査の結果をチリ見聞録とともに紹介する。

## 大型ミリ波アレイ計画

電波天文学の中でも、波長が数 mm のミリ波帯は宇宙の分子ガスからのスペクトル線の宝庫であり、また 1 mm 前後より短い波長では暖かい星間塵（固体微粒子＝ダスト）も観測することができる。国立天文台野辺山宇宙電波観測所には、この波長域で世界最高の性能をもつ 45 m 電波望遠鏡とミリ波干渉計がある。前者はその大集光力により弱い電波を観測する能力において、後者は細かな構造を見分ける空間分解能においてすぐれた特性を発揮し、相補ないながら惑星から 100 億光年先の銀河まで観測している。最近では、原始惑星系円盤や毎秒±1000 km にも達する高速水メーザーの発見がなされている。

この 2 つの望遠鏡の特性を飛躍的に発展させた新しい望遠鏡として大型ミリ波アレイ (Large Millimeter Array: LMA) というものが計画されている。これは、口径約 10 m のアンテナおよそ 50 基を 2 km 四方以上の平坦な土地に展開してできる電波干渉計である (図 1)。観測波長は 8 mm から 0.6 mm (周波数 35-500 GHz) が予定されている。これは汎用の望遠鏡として星から遠方銀河まで観測可能であるが、完成が期待される 2000 年以

降の天文学をにらんで、特に集光力、角分解能が重要視され、鏡面誤差が 30 ミクロン以下の直径 71 m 高精度アンテナに相当する (図 2)。これにより、例えば宇宙論的距離にある銀河・クェーサーの分子ガス輝線 (CO)、星間塵からの熱的放射、ドップラー効果により周波数が低くなった炭素の強力な電離ガス輝線 (CII) などが観測可能となる (図 3)。また個別天体の干渉観測だけではなく、マルチビーム広帯域検出器を搭載して天空上の大規模サーベイ観測を行ない、遠方にある新天体の発見に威力を発揮するものと期待される。

## チリ北部の天文観測環境

チリは南アメリカ大陸の太平洋岸にあって、南北 4200 km、東西の幅 180 km の細長い国である。南緯約 30°より北側では、海岸から内陸側に少し入るとすぐに標高 1000 m から 3000 m 以上の高原地帯となる。従って海岸からのアクセスが極めて容易である。また南極から北進するフンボルト寒流の影響により、海岸から数 km のところから乾燥した砂漠地帯となっている。安定した大気と高い晴天率およびアクセスの良さで天文観測には非常に適しており、南緯 29°-30°のラ・シア、セロ・トロロ、およびラスカンパナスには天文台が設置されている。しかしここよりさらに北側のアタカマ砂漠周辺では、年間降水量が数ミリ以下の極度

Naomasa Nakai, Masato Ishiguro: Site Survey for the Large Millimeter Array in Chile

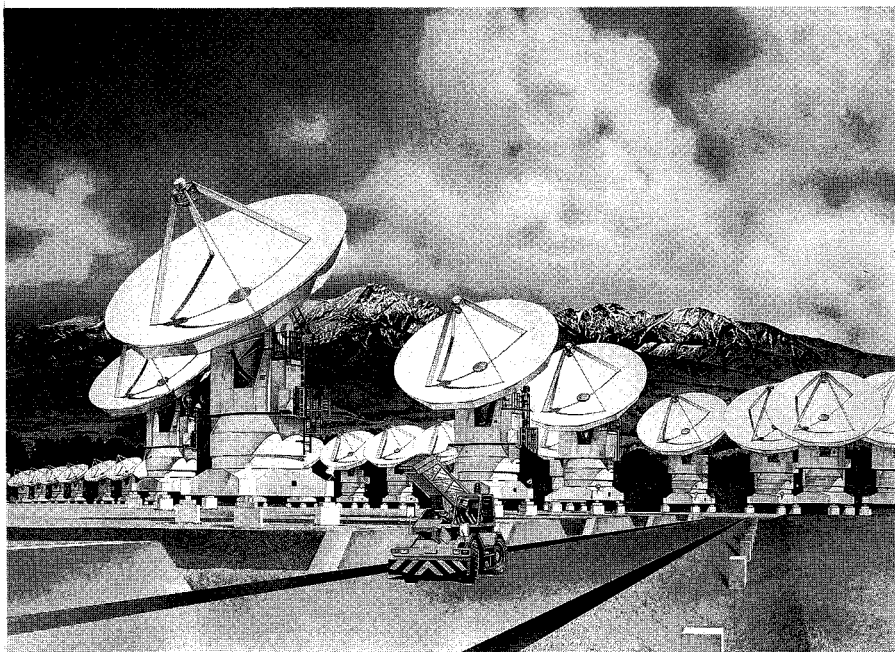


図1：大型ミリ波アレイの完成予想図。

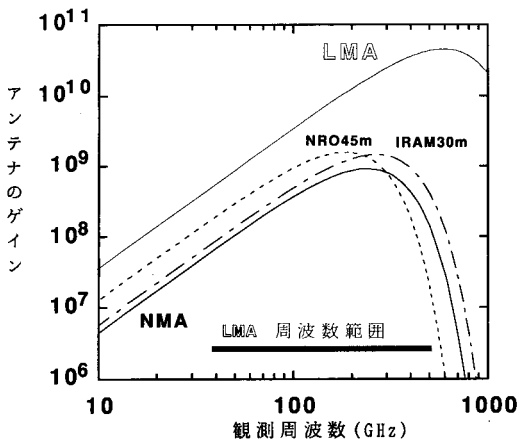


図2 大型ミリ波アレイ (LMA) の点源に対するゲインを周波数の関数として示したもの。野辺山45 m 鏡 (NRO45m) やミリ波干渉計 (NMA), 独仏30m 鏡 (IRAM30m) に比べ格段にゲインが高い。

に乾燥した砂漠地帯が広がっている(図4)。冬の一時を除いて、ほとんど快晴である。実際、ヨーロッパ南天天文台は南緯24.5°のパラナル山頂に8 m 光学望遠鏡4基からなるVLTと呼ばれる望遠鏡を建設中であるとともに、ラ・シアにある

すべての望遠鏡を移設する計画を持っている。我々も、大型ミリ波アレイの性能を最大限に活かすべく、世界でもっとも天文観測に適していると推定されるチリ北部の現地調査を昨年開始した。

### 現地調査

昨年、1992年には2回調査を行なった。一回目は2月19日から3月2日までで、南半球のチリでは夏の終わり頃にあたる。主目的はパラナルで、野辺山の石黒、川辺、中井の3名に、この種の調査に興味があるスウェーデンの2名が合流し、ヨーロッパ南天天文台のスタッフの協力も得た。成田からシアトル、マイアミを経由して33時間後に首都サンチアゴに着いた。日本大使館に寄り、大型ミリ波アレイ計画とその建設地調査の説明を行なうとともに、チリの政治、経済、日本との協力関係などの説明を受けた。夜は現地駐在の商社の方と食事をともにしながら同様にチリの様子を聞いた。サンチアゴをあとにして、セロ・トロロとラ・シアの天文台を見学したあと、北部の中心都

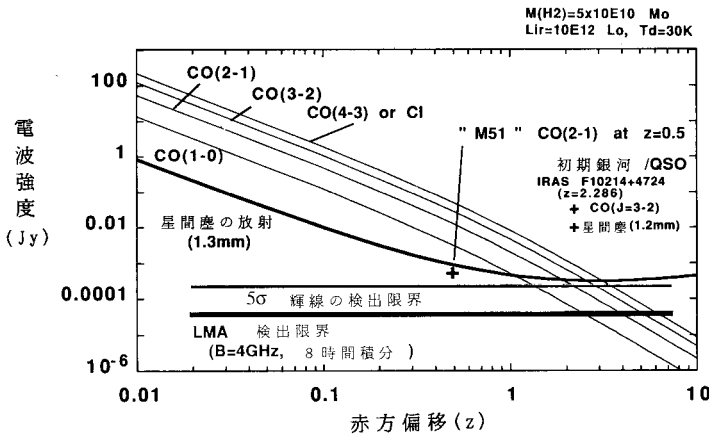


図3 赤方偏移z(大きい方が遠い)にある $5 \times 10^{10}$ 太陽質量の分子ガスを持つ銀河から期待される一酸化炭素分子ガス(CO)や星間塵(Dust)の電波強度(曲線), および大型ミリ波アレイの検出感度(青線)。曲線が直線よりも上であれば検出することができる。銀河がどんなに遠くにあっても, 星間塵からの電波は受けることができる!

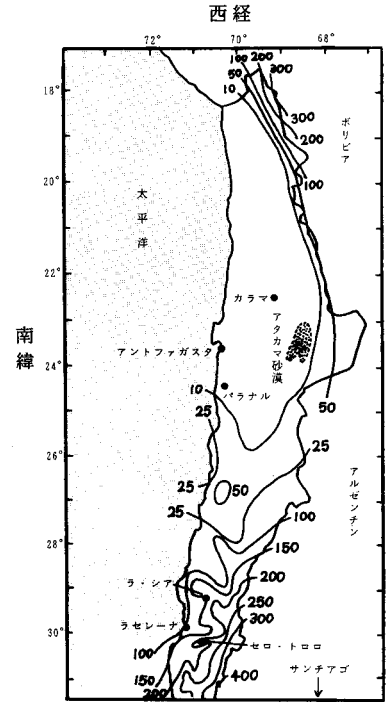


図4 チリ北部の年間降水量の分布。ちなみに東京では約1400mmである。

市アントファガスタに入った。アントファガスタは海に面した人口23万人の都市で、硝石や銅などの鉱物資源の積み出し港として発展してきた。そこから南に100 km 下ったところにVLTのサイトのパラナル山がある。我々が行ったときには山頂(元は標高2664 m)を切り崩していたが、9月に再び行ったときには完全に平らになっており、一部基礎工事を始めていた。その山から内陸側約22 km のところに標高3064 mのアルマソネス山がある。この2つの山の周辺を調査したところ、パラナル山頂から約1.5 km 離れたところに1 km 四方の平坦なベガという谷(標高約2400 m)があり、さらに隣の谷も含めれば2 km 程度のアンテナ間隔がとれ、大型ミリ波アレイの建設候補地になりそうであることがわかった(図5)。

第2回目の調査は9月20日から10月3日にかけて行なった。目的は、さらに標高の高い3000 m以上の高地の調査を行なうことである。参加者は

日本側から中井, 大橋, 川良の3名, 現地滞在中のスウェーデンとドイツの研究者各1名, およびガイドのチリ人の計6名であった。アントファガスタでマツダのロッキーとトヨタのトラックをレンタルし, テント, 寝袋, 食料等をもって探検隊よろしく, GPS受信機と地図をたよりに出かけた。正味8日間に2500 kmを走破し, 南北300 km, 標高2900 mから4800 mの17カ所を調査した(図6)。南緯22.5°から25.5°までの領域である。砂漠の大平原を時速100 kmで軽快にドライブして気がつけば標高2500 m, さらに5000 mぐらいまでは車でスイスイといける。ホテルのあるところではそこに泊まり, ある時にはテントで, ある時には駅の廃屋の中で寝袋にくるまった(しかし, 砂漠の中でまわりに家が一軒もないのになぜ駅があるのだろうか?)。延々たる砂漠の中を進んでいたら突然大塩湖に出くわし, 多数のフラミンゴを見かけたこともある。そこには小さな製塩場があり,

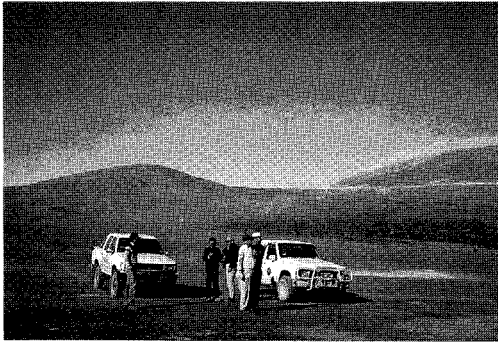


図5 パラナル山近くのベガ谷での調査の光景。

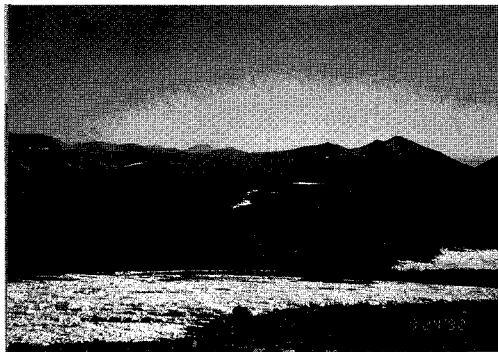


図6 アタカマ砂漠近くの標高4800メートルの調査地点

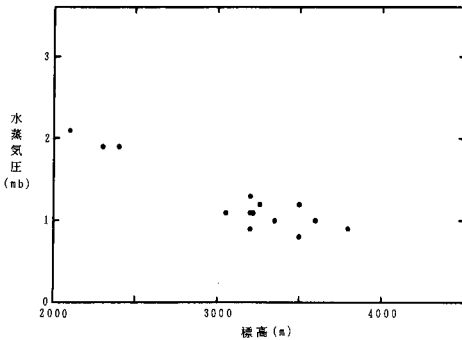


図7 調査期間中に測定した水蒸気圧 (mb)。

めったに訪れない客をスープで歓迎してくれた。こういうときのお礼に煙草をあげると喜ばれる。アンデス山脈の中に入るとロバのようなラクダ科の動物が歓迎してくれることもある。4000 m 以上のところには積雪があり、ほとんど氷と化している。途中行く手をさえぎられ除雪をしたこともあったが、5分で息切れ、交代となる。人によって

は頭痛、思考不能となる。ところによっては活火山もあり、1回目の調査時にはパラナルで宿泊中、かなり大きな地震（現地の定義で震度5）にもあった。

調査期間中に測定した水蒸気圧（大気による電波吸収に大きな影響がある）を図7に示す。わずか8日間の昼間だけのデータであるが、標高3000 m 以上では1ミリバール前後以下であり、野辺山の冬の典型的な値（約3ミリバール）よりもかなり良い。しかし低緯度（北半球では台湾の緯度に相当）のため昼間の日射は強く（帽子は必需品）、2000 m 台では夏も冬もかげろうがたっており、大気ゆらぎが心配される。地形は3000 m 台でも10 km 四方以上の平原がどこにでもあり、大型ミリ波アレイが何台でも作る事ができる。しかしあまりだだっ広いところはどこも風が強い。4000 m 以上のところは大気も良く、山に囲まれているところでは風はむしろ弱そうだった。問題は雪や作業環境の悪さである。これまでの調査では、3000 m 級の高さで、ある程度山に囲まれた適度の広さの土地がよいのではないかという印象をもった。

### 今後の方針

これまでに我々やスミソニアン天文台が調査した地点から4領域程度を選び、気象状態、大気の透過率や電波シーイングを年間を通じて測定し、またその間も引き続き地形の調査を継続して、1995年頃には最良の建設候補地を選定する予定である。そのために、気象データ測定装置、衛星からの電波を受けて大気の位相ゆらぎを測定する電波シーイングモニター装置、および大気の電波吸収を測定するラジオメーターを完成または製作中であり、一部はラ・シアでテスト運用中である。この記事が出る頃には、これらの装置の一部はチリ北部に設置され、測定が開始されているはずである。