

南極10mテラヘルツ望遠鏡計画



筑波大学 理工学群物理学類 宇宙観測研究室

南極大陸内陸部のドームCコンコルディア基地は、寒冷（最低気温 -80°C ）な高地（約3260m）であり、地上最良の電波観測サイトと期待されている。0.4 - 1.0 THz 帯域では、通年安定した観測が可能であり、1 THz を超える帯域でも冬期には観測可能になる。我々は遠方銀河の探査を目指して、10 m テラヘルツ望遠鏡の設置計画を進めている。アンテナ系はリッチークレチアン光学系とし、広い視野を確保する。2つのナスマス焦点には、電波カメラ系受信機とヘテロダイン系受信機を設置し、アンテナ中央部の切り替え鏡により、2つの焦点を選択する。複数の受信機を搭載予定であるが、電波カメラは 850 GHz帯 3千画素、ヘテロダイン系は、500/800 GHz帯から開発する。全装置は低温等南極の過酷な環境下での設置運用に加え、厳しい電力の制約を満たす必要がある。2023年からの観測開始を目指して、現在、概念設計を進めている。

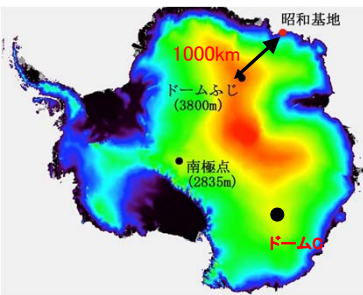
観測サイト

南極ドームCコンコルディア基地
 ・南緯 $75^{\circ} 6'$ 東経 $123^{\circ} 19'$
 ・標高3260m



図1 ドームCコンコルディア基地

図2 南極大陸と各基地



南極内陸部の大気透過率と気象（ドームふじでの測定）

220 GHzの大気透過率測定で、条件の悪い夏でもALMAサイトの最良期(冬)と同等で、安定性は優れている結果を得た(図4)。計算機を用いたシミュレーションでは、1 THzを超える領域も観測が可能である。

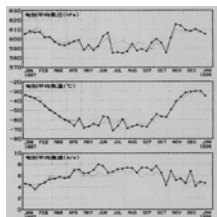


図4→ 220 GHz 大気透過率の実測値 (Ishii+ 2008, Seta+ 2012)

図5→ 大気透過率の予想値

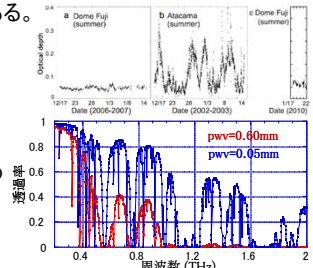


図3 1998年の気圧、気温、風速

口径10mアンテナ

暗黒銀河探査には、多素子カメラを搭載できる広視野($>1^{\circ}$)かつ検出限界はコンフュージョンで決まるため、10 m級口径が必須。低温環境、輸送や電力の制約下で、 ~ 1.5 THzを観測目標

- ・広視野の確保→リッチークレチアン主鏡と副鏡(双曲面)
- ・0.4~1.5THzまでの観測(分解能 $5''$ @1.5THz)
→指向精度(<絶対 $2''$ 、<追尾 $0.5''$)、鏡面精度(< $20\mu\text{m}$)

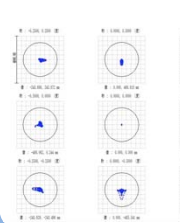
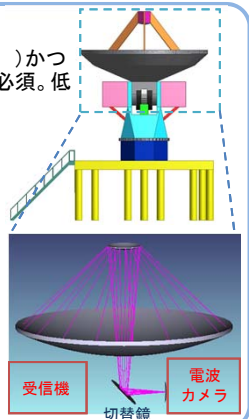


図8→ 10m鏡の外観。雪面の基礎に、不等沈下による傾きを修正する機構を設ける。

図9→ ビーム伝送アンテナ系は、主鏡、副鏡、切替鏡で構成(F~6)ヘテロダイン受信機と、電波カメラは、切替鏡によりいずれかを選択

←図10 光線解析ソフトZEMAXによる像面スポットダイアグラム評価



電波カメラ

10 m鏡の主観測装置。素子はMKIDS (Microwave Kinetic Inductance Detector)を用いる。850 GHz帯3千素子のカメラからスタートするが、400 GHzから1.5 THzの多色カメラへと開発を進める。0.1 K級の極低温冷凍機を必要とするが、電力削減も課題である。



図11 開発中220GHz 750素子MKIDS用のレンズアレイ

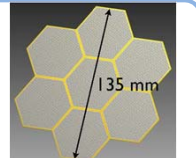
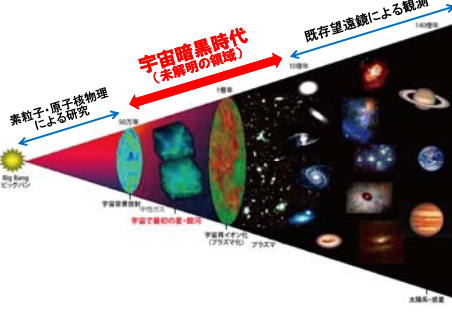


図12 多波長カメラの構想図 複数モジュールを組み合わせ0.4~1.5THzの多波長同時観測を行う。

何を観測するのかー遠方銀河探査

非常に遠くの高赤方偏移 ($z>5$)の銀河は、可視赤外域では一部しか検出されていない。光では見えず、サブミリ波で輝く銀河が存在することが知られている。サブミリ波で輝く銀河は、爆発的な星形成を起こしながらダストに覆われた銀河と解釈されている。電波カメラでの掃天観測で、多くの「遠方銀河」の検出が期待できる。



ヘテロダイン受信機

電波カメラで検出したサブミリ波銀河の赤方偏移決定や分子ガスの定量化のため、ヘテロダイン受信機を搭載。分光計は、銀河系内の観測も考慮し、0.2 km/s以下の速度分解能($<250\text{kHz}$ @400GHz)で、速度幅は500 km/s以上を確保($>2.5\text{GHz}$ @1.5THz)する。夏の間、最大3台の冷却受信機を搭載し、2台を同時運用。電力は8kVA以下に抑える。

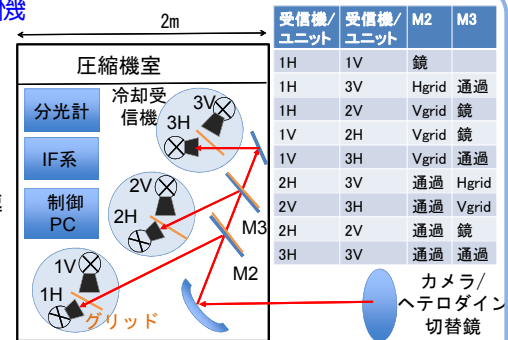


図13 上方から見た受信機室: 2m×3mの部屋内で圧縮機室を分離。3個の冷却受信機ポート設置。1台の受信機に2バンド(HorV)のヘテロダインユニットを搭載。伝送系のM1とM2のグリッドと鏡の切替で様々なヘテロダインユニットの選択が可能

南極の過酷な環境

ドームふじ基地での望遠鏡の設置運用条件は過酷である。

- 低温: 最低気温 (-80°C)
- 雪: 積雪は年数cmと少ないがダイヤモンドダストが舞う
- 基礎: 雪面に設置するが沈下し、傾く
- 電力: 居住や他観測(雪氷、赤外天文等)と共有
- 輸送: そり輸送

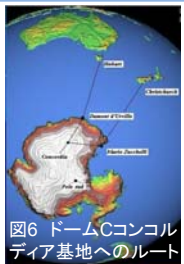


図6 ドームCコンコルディア基地へのルート



図7(a) 砕氷船



(b) 雪上車+そり 沿岸からドームCへの輸送の基本(片道12日間)。



(c) 小型精密物資は小型飛行機で直接運搬も可能

開発計画

| | 1年目 | 2年目 | 3年目 | 4年目 | 5年目 | 6年目 | 7年目 |
|-----|------|------|------|------|------|-----|----------|
| 望遠鏡 | 設計 | 製作 | 国内仮組 | 調整試験 | 試験評価 | 輸送 | 南極組立調整試験 |
| 受信機 | 概念設計 | 基本設計 | 詳細設計 | 製作 | | | |

