

南極2m赤外線望遠鏡計画 ~構想と基礎技術開発~

市川隆、Ramsey Lundock、村田千紘、谷口友一郎、寺島垂寿紗 (東北大)

南極天文コンソーシアム

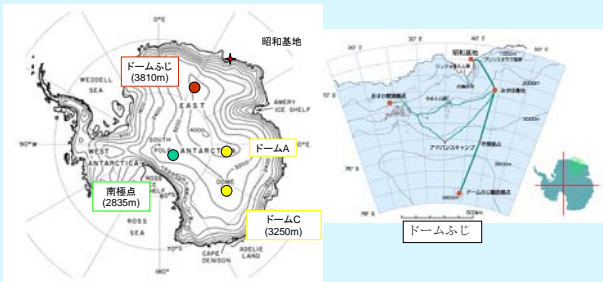
(代表)中井直正、瀬田益道 (筑波大学)、市川隆、岡野章一、坂野井健 (東北大)

高遠徳尚、浦口史寛、家正則 (国立天文台)、栗田光樹夫 (名古屋大学)、田口 真 (極地研究所)



極寒の乾燥した南極は地球上で宇宙に開かれた最後の窓であると言われている。低温のため、大気からの赤外線雑音が非常に小さく、水蒸気量が極端に少ないので、赤外線からサブミリ波における大気の透過率が極めて高い。さらに高気圧帯にある3000m以上の高原地帯(ドームと呼ばれる氷床)は、フリーズがほとんどなく、安定した大気によって、75%以上の快晴日、優れたシーイングサイト(0.5 μ mで0.3")と言われている。その好条件によって南極の標高3000m以上の高原に置かれた口径2mの望遠鏡は、近・中間赤外線での折戻限界を達成し、ハワイ島マウナケア山(4200m)にある口径8m級望遠鏡とほぼ同等の性能を有すると期待されている。そこで将来南極に口径2mクラス赤外線専用望遠鏡を建設して、(1)宇宙初期での銀河の恒星質量に基づく大規模構造の探索とクラスター進化、(2)銀河における星系ハロー・サブストラクチャーの検出、(3)太陽系内の水質変成史の解明および有機物の探索、などの研究を行う。また、冬季は日が昇らない利点を生かして星、マイクロレンズなど変光の長時間モニタ観測を行う。

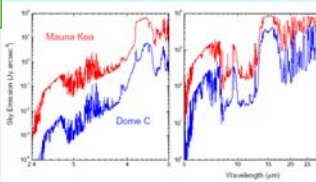
現在南極に口径2mの赤外線望遠鏡を設置するための基礎的な技術開発とサイト調査のための装置の開発、および南極におけるサイト調査を実施している。国立極地研究所を中心として日本が開発を進めている南極の氷床「ドームふじ」は標高が高く(3810mで、最高峰の4200mドームAIに近い)、大気の透過率も極めて高いと予想される。これまでの越冬観測で晴天率も高いことがわかってきているが、天文学的条件に関するデータがほとんどない。そこでドームふじの天文学的気象条件(シーイング、ダイヤモンドダストの影響など)の調査を行うために、口径40cmの極寒用望遠鏡とシーイング測定装置を開発している。ヨーロッパとオーストラリアのグループはドームC(標高3200m)でのサイト調査を進めているが、地理的状況や大気シミュレーションの結果ドームふじの方が、透過率が高く、シーイングも良いなどと言われている。そこでドームCとの比較データを得ることも主要な目的である。なお、本計画は、筑波大を中心とするテラヘルツ天文学グループ、東北大学の惑星グループ、国立天文台、極地研と共同で南極に天文台を建設するプロジェクトの一環である。



なぜ南極?



栗田(2005)



大気からの熱放射は数十分の1

ドームC以外オーロラは強いが、赤外線では無縁。特に2.3 μ mは赤外線でも最も暗い。3 μ m、3.7 μ mの透過率が高く、放射率も低いので、high-z銀河(z>4)サーベイが可能

条件	すばる望遠鏡	ドームふじ
晴れる	65%	75%以上
大気が安定している(シーイング)	0.6"	<0.5"(?)
標高が高い	4205 m	3800 m
大気温度が低い	0°	-70°(冬)
水蒸気量が少ない(透過率が高い)	3 mm PWV	<0.6 mm PWV
風が弱い	平均7m/s	平均3m/s @地上5m

国立極地研究所での協議

南極での天文観測を行うためには国立極地研究所(以下極地研)の協力が不可欠である。天文分野を有しない極地研で、南極における天文観測の重要性と研究目的、外国の状況などの理解を得るために極地研での研究会や委員会での発表を積極的に行った。
2006年2月 談話会「南極2m赤外線望遠鏡と宇宙の化石天体探査」
2006年6月 第3回南極設置シンポジウム「ドームふじにおける天体望遠鏡設置の課題」
2006年8月 極域空間シンポジウム「南極2m望遠鏡による赤外線天体の深探査」
2006年10月 南極雪氷基本観測小委員会「南極天文台構想」
これ以外に個別の課題について、極地研の関係者と協議を行った。

世界の協同体制への参加

2006年8月にIAU総会の特別セッション「Astronomy in Antarctica」に参加した。議論の中で、我々日本の「南極天文コンソーシアム」の活動を紹介し、ドームふじにおけるサイト調査に極地研と南極コンソーシアムがイニシアティブを取ることを伝えた。またSCAR (the Scientific Committee on Antarctic Research, 南極における研究の世界組織)の南極における重要なサイエンス(Scientific Research Programs, 現在5件)に加えて、南極における新しいサイエンスとして、天文学を加える運動がオーストラリアとヨーロッパのグループを中心にして進められているが、日本も活動のメンバーに加わる方向で検討を進めている。近々、その委員長を日本に招待して、議論を進める予定である。
2006年5月に米国のNOAO会長から、ドームふじにおけるサイト調査を共同で行いたいという打診が極地研と南極コンソーシアムにあった。極地研は、南極における天文学研究の窓口は南極コンソーシアムであることを伝えた。それを受けて南極天文コンソーシアムはIAU総会の時に今後のサイト調査の進め方についてNOAO会長と議論した。
一方、南極観測が「しらせ」の後継船完成まで、2年間縮小されるので、もし南極における天文サイト調査がその後認められた場合の準備として、現在開発中の40cm望遠鏡と赤外線カメラの性能評価と初期成果を得るために、国内外の極寒地での天文観測を計画している。

第48次南極観測隊へのサイト調査依頼と実施

天文サイト調査を進めるために第48次隊の越冬隊員にコンソーシアムから応募したが不採用だったため、第48次隊南極観測隊に以下の観測装置を託した。

SODAR 音波を大気中に発して反射波のドップラー効果から大気の擾乱を測定する装置を観測隊に託した。預ける荷物の重量制限のために、一部加工し、極地研での隊員に対する使用方法などの講習会を行った後、ケープタウンに発送した。ケープタウンからドームふじの近くまでチャーター飛行機で運搬し、その後は昭和基地から観測隊と荷物を運送する雪上車に載せてドームふじに運んだ。写真はドームふじに設置されたSODARである。2006年12月20日より現在までデータを取得中である。



ドームふじに設置したSODAR

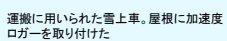
加速度ロガー 現在のドームふじへの物品は雪上車とソリによって運搬している。精密機械である望遠鏡と観測装置を昭和基地からドームふじまでの約1000kmを雪上車とソリで運搬しなければならない。そこで、その振動を調べするためにSODARの梱包に加速度ロガーを設置した。その結果、2006年11月10日(ケープタウン発)より12月12日(ドームふじ到着)まで、ドームふじに向かう雪上車とソリの振動測定データを得た。

加速度ロガー(左)、梱包に固定した加速度ロガー(右)

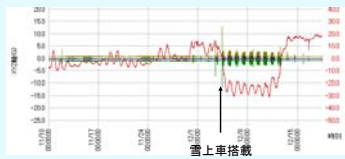


用いた加速度ロガー(G-MEN)

SODARに固定したロガー



運搬に用いられた雪上車。屋根に加速度ロガーを取り付けた



雪上車の加速度データ
昼間のみ移動。約3Gの加速度が読みとれる

冷却化での動作、性能評価実験

マイナス80度環境での観測装置の正常な駆動と性能を確認するために、-80度までの冷却が可能な大型の低温槽を購入した。まず、左で述べた加速度ロガーの冷却実験を行った。その結果、-75度でも正常に動くことが確認された。また、コールドスタート(冷却した状態で電源オン、測定開始)においても正常な動作をした。本製品は乾電池で動作するが、通常の乾電池では冷却化で性能が悪化する。そこで、市販のリチウム乾電池をテストした結果、ほとんど常温と性能は変わらず、加速度ロガーも正常に動くことを確認した。その他、これまでに望遠鏡の軸受け(材質を厳選したことで正常に回転)、ステップモーター(-57度で動作異常)、赤外線センサーのコントローラの動作実験を行った。



大型超低温槽低温槽内で動作実験中の赤外線カメラコントローラ

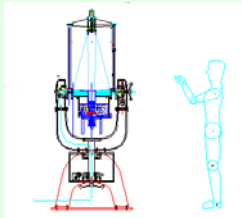
断熱材の低温下での熱伝導率実験

低温下で正常に動作しない機器については暖める必要がある。南極の電力は主に重油による発電機が用いられ、すべて、雪上車で運搬しなければならない。従って、すべての機器は節電が求められる。特に、冬には太陽発電も使えないため、節電が重要である。そこで、現在民生用に使われている断熱材の熱伝導率を測定した。松下電器が開発した真空断熱材は市販の冷蔵庫に使われている。そこで、松下電器の協力を得て、その断熱材を入手し、低温槽のなかで低温下における熱伝導率を測定した。その結果、低温時でも発泡スチロールの10分の1の熱伝導率を得た。南極での使用には最適であることがわかった。今後、保温が必要な機器についてはこの断熱材を用いた箱の中に入れて保温する。



極寒仕様の40cm望遠鏡の開発

サイト調査と天文学の初期成果を上げるために、40cm赤外線望遠鏡の設計と一部製作を行った。-80度で正常に動作するためには、できる限り材質で熱膨張などの影響をさける必要がある。特にドームふじはきわめて厳しい環境にあるので、現地で調整はできる限り少なくしなければならない。常温で調整した後、冷却化でも性能を維持する様々な工夫を行った。また、ドームふじでは雪はほとんど降らないが、ダイヤモンドダストは常に降り積もる。また風のある時は地吹き雪が舞いあげられ、望遠鏡に付着する。特に、鏡面の付着は性能を著しく低下させるので、表面を吹き払う工夫が必要である。そこで、乾燥圧縮塗料を電磁弁にて高圧で鏡面に吹き付ける装置を開発している。その他、軸受け、電気配線材料、配線管など、随所に極寒仕様で設計されている。18年度は光学系、鏡筒の製作を行った。



極寒下での駆動を考慮した40cm赤外線望遠鏡(架台は仮)

平成19年度の計画

・2m望遠鏡1/5模型(栗田方式)の製作
平成18年度に設計、一部製作した望遠鏡の製作を行う。本研究で望遠鏡架台とコントロールシステムの開発を行う。いずれもマイナス80度で高い精度を保つ設計となっている。
InSb256 \times 256-HgCdTe2048 \times 2048を搭載する赤外線カメラを装着する予定である。この小型望遠鏡の開発・試験観測を通して、南極2m赤外線望遠鏡の基礎を獲得する。

・第49次南極観測隊との協同サイト調査
平成19年度の第49次南極観測隊は限定された隊員による短期間の調査しか予定されていないので、隊員にどのようなサイト調査を委託することが可能かどうかを検討する。

・極寒地での性能試験の準備
これまで開発した40cm望遠鏡と現在開発中の赤外線カメラを極寒地で性能評価を行う準備を進める。

諸外国の動向

ヨーロッパ・オーストラリアによる南極天文開拓。2008年より80cm望遠鏡による中間・近赤外線観測開始

将来の巨大望遠鏡群の候補地?

PILOT2.4m望遠鏡計画

なお、中国は米国とオーストラリアと協力して

ドームAIに天文台建設計画



南極 Dome Cの天文開拓