

南極 2m 赤外線望遠鏡計画 ～構想と進捗状況～

市川隆^①、高遠徳尚^②、浦口史寛^②、Ramsey Lundock^①、村田千紘^①、谷口友一郎^①

南極天文コンソーシアム

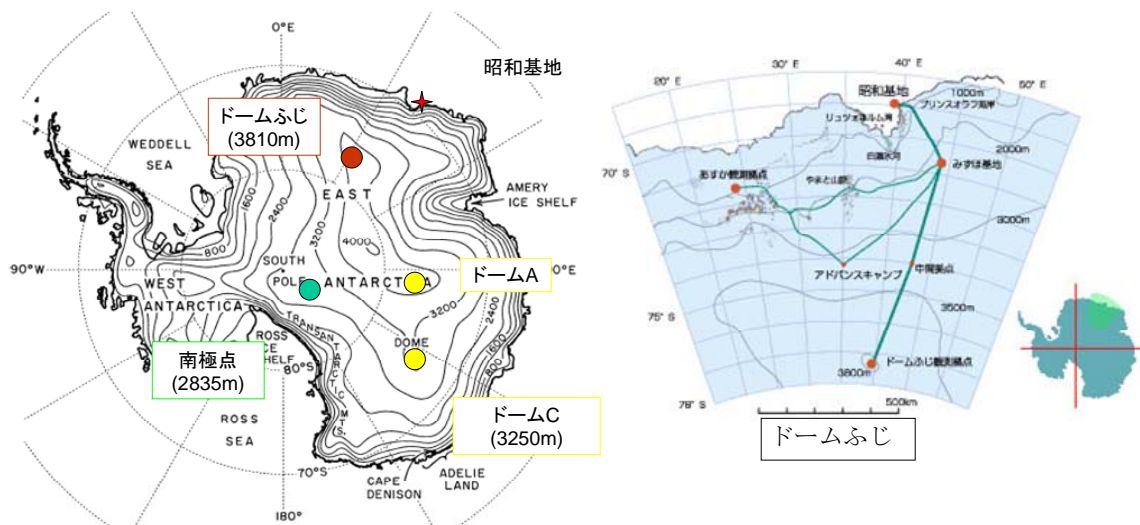
^①東北大学 ^②国立天文台

中井直正、瀬田益道 (筑波大学)、岡野章一、坂野井健(東北大学)、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)

1. なぜ南極？

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 以上のドームは、ブリザードがほとんどなく、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 ($0.5\mu\text{m}$ 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・中間赤外線での回折限界を達成し、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。さらにマウナケアでは観測が極めて困難な中間赤外線での新しい窓からの観測が可能となる。そこで将来南極に口径 2m クラスの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査とクラスター進化、(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査、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ドームふじは標高が高く (3810m で、最高峰の 4200m ドーム A 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) の調査と天文学の初期成果を得るために、全自動の口径 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 3200 m) でのサイト調査を進めているが、地理的状况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。





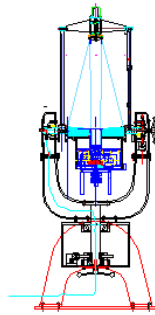
(2m 望遠鏡の架台モデル: 栗田 提供)

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

ドーム C 以外オーロラは強いが、赤外線では無縁。特に $2.3 \mu\text{m}$ は赤外線でも最も暗い。 $3 \mu\text{m}$ 、 $3.7 \mu\text{m}$ の透過率が高く、放射率も低いので、**high-z** 銀河($z>4$)サーベイが可能となる。豊富な観測時間によって、恒星質量に基づく宇宙初期の大規模構造が明らかになる。

2. 極寒仕様の全自動 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、できる限り同じ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、現地での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表の雪が舞いあげられ、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、乾燥圧縮窒素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。これまで光学系、鏡筒の製作を行った。今年中に架台と制御システムが完成する予定である。

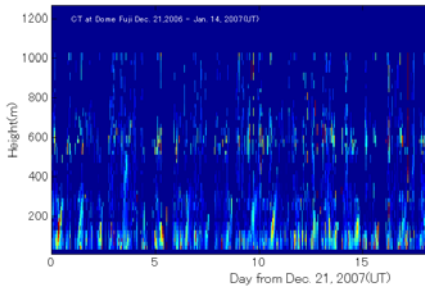


(右図) 極寒下での駆動を考慮した 40cm 赤外線望遠鏡(架台は仮)

3. 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。

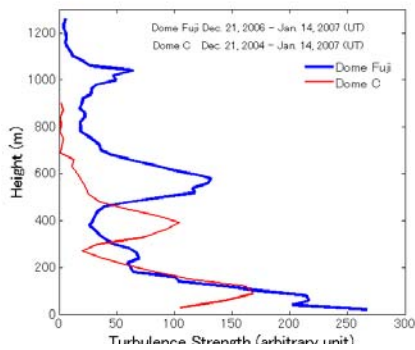
SODAR 音波を大気中に発して反射波のドップラー効果から大気の擾乱を測定する装置を観測隊に託した。預ける荷物の重量制限のために、一部加工しケーブタウンに発送した。ケーブタウンからドームふじの近くまでチャーター飛行機で運搬し、その後は昭和基地から観測隊と荷物を運送する雪上車に乗せてドームふじに運んだ。写真はドームふじに設置された SODAR である。



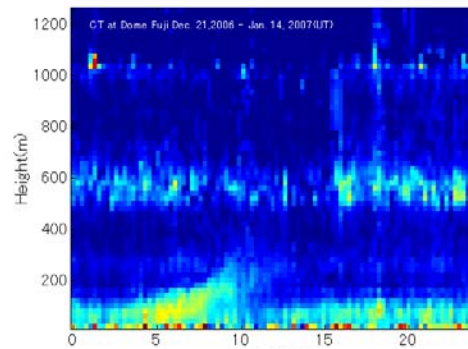
全観測データ



ドームふじ基地に設置された SODAR



高さ分布

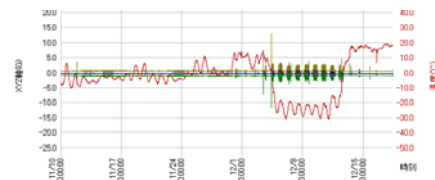


日変化

今回初めてドームふじ基地夏季の接地乱流層の高度プロファイルを測定した。高度 300m 付近まで地表からの揺らぎが上ってくるのが見取れる。さらに地上 600m、1000m 付近に乱流層が見られる。乱流強度のキャリブレーションは国立天文台岡山観測所でタワーに付けた CT2 センサーと同時測定によって行う予定である。また冬季の測定や実際に望遠鏡が設置される高度 30m 以内の測定が不可欠である。

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)



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

4. 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著しく劣化する。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

5. 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、低温時でも発砲スチロールの 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。



6. 諸外国の動向と世界の協同体制への参加

ヨーロッパ・オーストラリアは 10 年以上も前から南極における天文学の重要性を訴え、ドーム C(下図)におけるサイト調査を進めて来た。2008 年より 80cm 望遠鏡による中間・近赤外線観測開始する予定で準備を進めている。また南極氷床を将来の巨大望遠鏡群の候補地として位置づけ、そのパイロットプロジェクトとして PILOT2.4m 望遠鏡計画を進めている。なお、中国は米国とオーストラリアと協力してドーム A に天文台を建設する準備を開始した。

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。2006 年 5 月に米国の NOAO 台長から、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あったので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 台長と議論した。



7. 今後の予定

- ・40cm 全自動 40cm 望遠鏡の製作と 3 色赤外線カメラの開発

平成 19 年度中に望遠鏡を完成させ、極寒地での性能評価を行う。並行して、波長 2.3、3.0、3.7 μm の 3 色赤外線カメラを開発する。カメラの光学設計はすでに終了し、現在クライオスタットを設計中である。これらの装置は天文学観測環境のサイト調査と天文学の初期成果を得る目的で開発される。しかし、できる限り人手がかからないように、完全自動の仕様を目指す。その結果、越冬観測者がいなくても、ある程度データを得ることができるように開発を進める予定である。

- ・今後のサイト調査

平成 19 年度以降、しばらくは限定された南極観測しか予定されていないので、どのようなサイト調査ができるか検討する。

- ・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。