

平成 19 年度研究報告
南極における赤外線天文学の開拓

研究代表者 市川 隆（東北大学理学研究科）

1. 背景と目的

雪面に建築物を設置すると次第に沈降していき、観測の障害となる。また極寒環境での望遠鏡維持に多くの困難が危惧される。対寒冷且つ軽量な高精度望遠鏡の基礎技術開発、望遠鏡の輸送方法・建設方法・運用方法等の検討、雪上面設置による望遠鏡指向精度の技術開発、着氷・着雪対策方法などの開発、並びに期待される天文学の検討なども実施する。平成 19 年度は、大型望遠鏡の雪上設置法の検討、接地乱流測定装置の設計、極寒で動作する電気・電子回路の技術的検討、低消費電力での駆動回路開発、極地用赤外線専用 2m 望遠鏡の技術的検討、着氷着雪対策の検討を行った。

2. 極寒仕様 40cm 赤外線望遠鏡の開発と北海道陸別町での極寒期の駆動実験

南極におけるサイト調査と天文学の初期成果を上げるために、40cm 赤外線望遠鏡を開発した。−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。そこで常温で調整した後、冷却化でも性能を維持する軸受けなどを開発した。また運搬と現地での組み上げを容易にするために、総量 200kg 余りある望遠鏡は 5 分割できる構造とし、最低 2 人での組み上げができることを確認した。本装置の極寒環境での性能を評価するために、平成 20 年 2 月に日本で一番寒い場所といわれる北海道陸別町に分解した望遠鏡を運搬し、現地で組み上げ実験観測を行った。最低気温は−23℃だったが、この極寒環境においても、望遠鏡、制御システムなど必要な観測装置は暖める必要もなく、正常に動作し、当初の性能が出ていることを確認した。望遠鏡は−80℃でも動く仕様で設計されているので、その性能を確認するには陸別町はまだ暖かい。そこで今後、南極に設置する前に、開発中の赤外線カメラとともにアラスカでの性能評価を行うための検討を行った。さらにこの 40cm 望遠鏡の開発と実験観測の結果を基に、2m 級望遠鏡建設のための技術的検討も行った。



極寒仕様の 40cm 赤外線望遠鏡



北海道陸別町で行った耐寒観測実験

3. 低消費電力での駆動回路開発

南極での電力事情からできる限り節電型の装置を開発しなければならない。一方で、太陽発電や風力発電によって電力を補う必要がある。特に冬季での観測は太陽発電が使えないため風力発電の有効性を評価する必要がある。そこで風の弱いドームふじ基地にて有効な風力発電の検討を行うため、小型の風力発電装置を購入して、北海道陸別町において低消費電力設計の40cm赤外線望遠鏡の風力発電による駆動実験を行った。今回使用した風力発電は容量が少ないので、1晩の連続駆動には不十分であったが、補助的な電力供給の方法として風力発電が有効であることがわかった。



極寒下で風力発電による望遠鏡駆動実験

4. 極寒で動作する機械部品、電気・電子回路の技術的検討

望遠鏡と観測装置はすべてリモートで運用する。故障がなく、誰でも操作でき、また、極寒地でも正常に動作しなければならない。通常の機械部品や電気・電子回路部品は極低温では正常に動作しない場合がある。しかし一部の部品については改良を加えることによって、動作させることも可能である。そこでこのような部品の選択と動作確認を行い、低温下でも安全に動作する部品の検討を行うために、 -80 度に保持できる低温槽の中でエンコーダ、パルスモーター、軸受けなど様々な物品の低温実験と改良を行った。駆動部分については固体潤滑剤の硫化モリブデンと -90 度でも性能の変わらないグリス(FOMBLIN)を実験し、比較した。その結果、後者のグリスが軸受けなどの潤滑剤として非常に優れた結果を得ることができた。

常温から -80°C の間で支障なく動く軸受けの開発

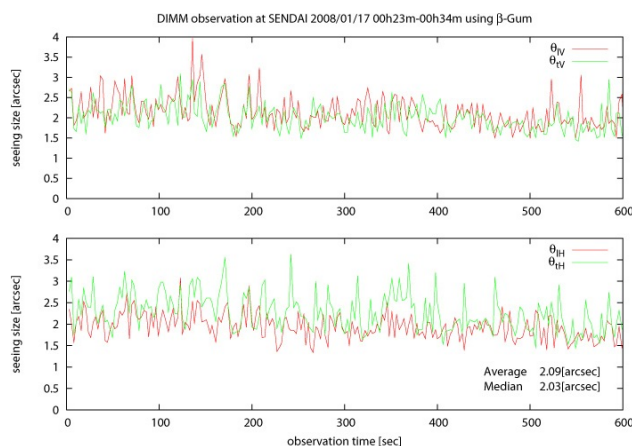


5. シーイング測定装置 DIMM の開発

南極サイト調査のひとつシーイング測定(大気擾乱)に用いるため DIMM 測定装置を開発した。DIMM は対物プリズムのついた 4 つの開口を持つ望遠鏡の先端に取り付ける観測装置であり、この装置を通して星を観測すると対物プリズムによって同じ星から 4 つの星像を得られる。4 つの星像の相対的な位置の揺らぎを測定して、これを長時間露出したときに得られる星像輝度分布を星の像の FWHM に換算し、シーイング値を測定する。DIMM のメリットは小型の望遠鏡でシーイング値が測定可能で、多少の追尾精度の誤差や風による望遠鏡の震動をキャンセルできる点にある。完成した DIMM を東北大学(仙台)と北海道陸別町にて実証試験を行い、当初の性能に達していることを確認した。



南極望遠鏡に装着した DIMM 装置

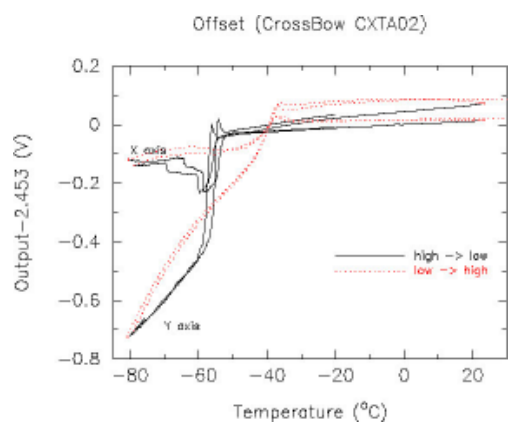


東北大(仙台)でのシーイング測定結果例。約 2.1 秒

6. 大型望遠鏡の雪上設置法の検討

南極ドームふじの雪の上に建設される望遠鏡は不等沈下によって望遠鏡の傾きが懸念される。多少の傾きの場合はその傾きをソフトで補正することで、望遠鏡の追尾・指向精度が落ちることはない。望遠鏡の傾きを低温下でも使うことのできる傾斜センサーが必要である。そこでクロスボー株式会社製 2 軸傾斜センサー(CXTA02, 精度 0.05 度、静電容量型)の低温時での動作確認とキャリブレーションを行った。このセンサーの仕様範囲は -40°C までであるが、 -80°C で動作することを確認するとともに、 -50°C 、 -80°C での傾斜と出力電圧の測定を行った。測定は日本ブレーザの冷凍庫の中で行った。その結果、センサーの精度は仕様では 0.05°C であるが、低温でもこの精度がでることを確認した。 0.05°C は約 30 分角の赤外線カメラには十分に高い精度である。しかしオフセットが温度変化に強く依存す

るので、センサー毎に予め再現性の確認とキャリブレーションを十分にしておくか、傾斜センサーを温度コントロールのできる恒温槽に入れておく必要のあることがわかった。



加速度センサー(傾斜計)と低温時でのオフセット特性

7. 着氷、着雪対策の検討

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、40cm 望遠鏡に組み込んだ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の実証試験を行った。この方法は放射冷却による鏡面以外の部分の霜付着を防ぐ手段としても有効であることが期待されるが、実験の結果、十分な風圧で空気を送るにはまだ能力が十分でないことがわかった。

8. SODAR 乱流強度の微小熱擾乱への較正

天文サイト調査において、接地境界層の構造は重要な調査項目のひとつである。第 48 次南極観測隊に SODAR を託して、ドームふじにおける風向・風速および乱流強度の高さ分布を測定したが、SODAR により得られる乱流強度から微小熱擾乱(CT2)に変換には較正が必要である。そこで 2007 年 5 月、岡山天体物理観測所にて SODAR と CT2 センサーの同時観測による較正測定を行った。また同装置をハワイマウナケア山頂に設置して、キャリブレーションを行った。

9. 国際協力の推進

南極点における赤外線観測やドーム C でのサイト調査を長年行ってきたオーストラリアの南極天文グループのリーダーであるニューサウスウェールズ大学の Michael Burton 教授と John Storey 教授を東北大学に招待して、ドームふじでのサイト調査と天文学について議論を行った。東北大のグループの他に、名古屋大学、筑波大学、国立天文台ハワイ観測所からの南極天文コンソーシアムのメンバーが参加した。議論の結果、ドームふじでのサイト調査にオーストラリアの協力を得ることとなった。特にオーストラリアが開発して、中国・米国と協力してドーム A に設置したサイト調査用自動観測システム「PLATO」をドームふ

じ用の開発することになった。

ドームAにおいてサイト調査を開始した中国の Xiang Cue 氏と連絡を取り、国際協力についての議論を開始した。Cue 氏は来年度に招待し、ドームAにおける進捗状況の情報交換を行う予定である。その他韓国の研究者から問い合わせがあり今後情報交換していくこととなった。



ドーム A に設置された全自動サイト調査観測ユニット PLATO (Storey 氏提供)