

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 19 日現在

機関番号：62616

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2014

課題番号：23540275

研究課題名(和文) アジアにおける天体観測拠点の光赤外線観測条件評価

研究課題名(英文) Weather Characteristics at Observatory Candidate Sites in West Tibet

研究代表者

佐々木 敏由紀 (Sasaki, Toshiyuki)

国立天文台・光赤外研究部・准教授

研究者番号：80178657

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：西チベットにおける天文サイト調査で平成22年度から重点地域になっているアリ地区ガー山に、天体観測環境評価装置を設置し調査した。ガー山は晴天率が高く、すばる望遠鏡に匹敵することを示した。一方、ガー山は冬期には強風環境であることを気象データから示し、観測可能条件は岡山観測所(日本)相当となることを示した。

ガー山と同等の晴天率を有して、風速環境の穏やかなサイトの選定を気象庁気象研究所との協力で領域非静力学モデルで行い、ガー山より東方80km ZoZo Hill での風速環境はガー山の半分の風速であることを示した。天文観測サイトとしてチベット・アリ地区の重要性を東アジアの研究者に提言した。

研究成果の概要(英文)：The high plateaus in west Tibet may provide promising sites for a part of global astronomical observation network. We have been conducting to search for good sites to monitor at Gar (Tibet) since 2010 after previous monitoring at Karasu (Xinjiang Uighur) and Oma (Tibet). Weather characteristics at Gar shows its high clear-sky ratios, comparable to Mauna Kea. A wind problem at Gar has been revealed in winter that higher wind speeds over 20m/sec occur frequently even though sky is clear.

To find more calm site both with high clear-sky ratios and mild wind speed, we have searched for another site, ZoZo Hill, near Gar. To clarify their weather characteristics, we have conducted numerical simulations at Gar and ZoZo Hill using Japan Meteorological Agency Non-Hydrostatic Model. ZoZo Hill shows nearly half wind speed than at Gar.

We hopefully should continue to monitor Gar site to clarify weather characteristics through a whole year and start site monitoring at ZoZo Hill in near future.

研究分野：天文学

キーワード：光赤外線望遠鏡 サイト調査 チベット西部域 大学間連携 国際協力

## 1. 研究開始当初の背景

すばる望遠鏡などに代表される最新型の光赤外線大型望遠鏡の更なる発展を目指して口径30m級の望遠鏡の建設計画が現在進んでいるが、それと並行して汎地球的な天体観測網による観測時期を逃さない観測の必要性も強く指摘されている。中国西部域は、汎地球観測網の一翼としての天文台候補地として重要な位置を占めている。光赤外線での天体観測条件の評価を科学的に行う必要がある。

本研究は、上記目的のために望遠鏡設置を検討する上で必須の天体観測条件の評価を中国西部域において科学的かつ系統的に行ったものである。

## 2. 研究の目的

汎地球観測網の構築の上から望遠鏡空白域で、かつ気象衛星データから晴天率の高い天体観測に適した候補地としてチベット西部域で天体観測環境調査を試みた。

光赤外線天体観測条件の評価は、

- ・晴天率
- ・星像サイズ
- ・大気安定性
- ・大気水蒸気量
- ・夜間背景光の暗さ
- ・大気環境（風雨状況、塵など）

などの時間経過を測定し評価するものである。そのために、測定に対応した機器を設置し常時運用可能な測定環境を整備しなくてはならない。中国国家天文台との共同での評価事業を行うこととした。評価するべきサイトの選定、測定環境の整備は中国国家天文台側が担当し、日本からは測定機材を搬入し設置した。

## 3. 研究の方法

事前評価研究として、中国西部域2カ所での天体観測環境評価装置を用いた継続的な天体観測環境モニターを2007年から行い、評価装置設定、運用、解析の手法を確立し、本研究の基礎とした。事前の天体観測環境評価を行ったサイト(図1)は中国西部域のカラ



図1. 中国西部域で天体観測環境調査のために訪問したルート図。チベット西部から新疆ウイグル地域を探訪した。

ス（新疆ウイグル）、オマ（チベット）であり、比較評価が可能となるデータが取得できていた。

また、中国気象衛星風雲2号FY2画像を用いた全域的な雲量分布評価を試行し、これまでの先行研究とあわせてチベット西部域に天体観測に適したサイトの選定を行うことが可能であった。気象衛星データから晴天率が高い報告がなされているチベット西部域・アリ地区のガー山を新規評価サイトとし、観測基地を中国国家天文台側が設立した（2010年）。評価サイトは図1にAliと示した、インド国境に近い山頂（標高5032m）である。インド側にはハンレ天文台があり、周辺は天体観測環境として優れていることが予想されている。

我々は、カラス、オマでの到達点を元に、以下の天体観測環境調査機器を選定し、ガー山に設置した。A) 晴天率評価のための全天中間赤外線雲モニタカメラ（FLIR社A40-Mカメラを検出器とした国立天文台製全天カメラ）、B) 気象観測機器（バイサラ社WXT510）、C) 気圧計（バイサラ社PTB210）、D) 塵計測器（TSI社DustTrak 8520）、である。

中国国家天文台側は気象センサー、全天可視光カメラ、小望遠鏡によるDifferential Image Motion Monitor (DIMM) / Multi-Aperture Scintillation Sensor (MASS) 装置を準備した。



図 2. 天体観測環境評価機材用 10m ドーム。屋上部分に機材が設置された。

評価機材を恒常的に設置するために 10m ドームが建設され(図 2)、その屋上に全天中間赤外線雲モニタカメラ、気象観測機器、気圧計、塵計測器を設置した(図 3)。電源は太陽光パネルで供給された。評価データは制御 PC により自動的に取得され、RAID ディスクにデータが保存される(図 4)。

測定は、2011 年 11 月から 2013 年 6 月にかけて行われた。評価データ量は、主として全天中間赤外線カメラ画像であり、生画像で 2011 年 23.4 GB (80,395 Files)、2012 年 12.3 GB (42,196 Files)、2013 年 73.8 GB (52,567 Files) である。



図 3. ガー山 (5032m) サイト調査用 10m タワー屋上に設置された中間赤外線カメラ雲モニター装置(円形チューブ)と気象観測機器(右側手摺上)。左側 2 台のカメラは中国国家天文台による可視光全天カメラ。



図 4. ガー山 (5032m) 10m ドーム内に設置された測定機材制御計算機類とモニター装置。

#### 4. 研究成果

中間赤外線カメラ雲モニター装置による画像は FITS 形式で、画像解析で背景光除去を行い、明るい日中の太陽像、夜間の月像を除いて、雲画像が鮮明に見える処理を行って、晴天率推定を行った。全天における雲画像の占める割合を雲割合として、晴天率評価を、快晴(雲割合=0%)、準快晴(雲割合<=15%)、晴天(15%<雲割合<=50%)、曇天(雲割合>50%)、雨滴が観測されているときは雨天として、1 分毎の画像判定を目視で行った。晴天率を、

$$\text{晴天率} = (\text{快晴時間} + \text{準快晴時間} \times 0.75 + \text{晴天時間} \times 0.50) / \text{総観測時間}$$

として求めた。図 5 にガー山での測定された晴天率を、他の地域の測定とあわせて示した。

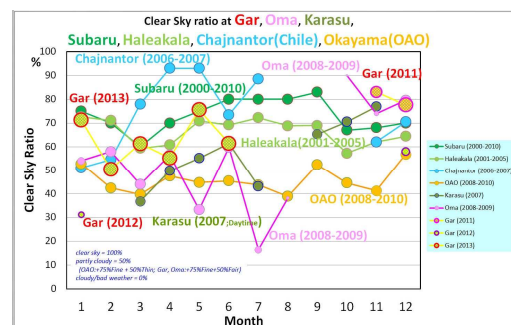


図 5. ガー山サイト(アリ)の晴天率と他のサイトとの比較。オマ、カラス、すばるの望遠鏡、ハレアカラ(マウイ島)、チャナントール(チリ)、岡山観測所の晴天率を示している。ガー山、オマ、カラス測定では、快晴 100%、準快晴 75%、晴天 50%、岡山は快晴 100%、晴天 75%、薄晴れ 50%、他は、快晴 100%、晴天 50%、として晴天率を求めている。冬期のオマ、ガー山の晴天率はすばるの望遠鏡に匹敵しており、通年に渡って岡山観測所より快晴割合が高い。

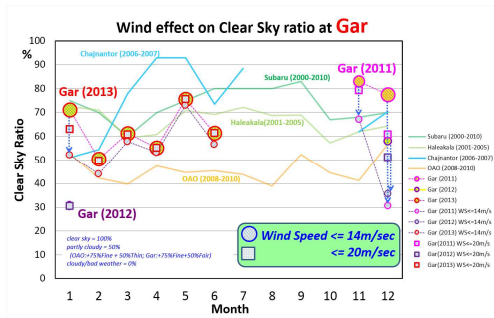


図 6. 風速条件を加味した晴天率分布。冬期の晴天率の高い期間に強風速のため観測可能率が低減する。

気象観測機器で測定された風速データを用いて、風速による望遠鏡励振の影響を考慮した観測可能時間の評価を行うと、ガー山では快晴であるが風速の強い場合が冬期に頻発し、望遠鏡の安定的な運用に不相当であることが判明した。ハワイ・マウナケア山すばる望遠鏡 (4139m) では、運用上の最高風速は 14m/秒である。ガー山はマウナケア山より高山にあり、空気が薄く風の持つ運動量が少ないため、最高風速 20m/秒として、風速条件の違いによる晴天率分布を図 6 に示した。最高風速 20m/秒以下の制限では観測可能夜の割合は 20%ほど劣化し、より厳しい条件の最高風速 14m/秒では岡山観測所(日本)と同程度となることが判明した。

なお、強風速環境に接地境界層擾乱評価用測定センサーが耐えきれないので、事前評価研究として行ったカラス、オマとは異なり、ガー山での接地境界層擾乱評価は行えなかった。

一方、冬期の晴天率の高さを最大限有効化

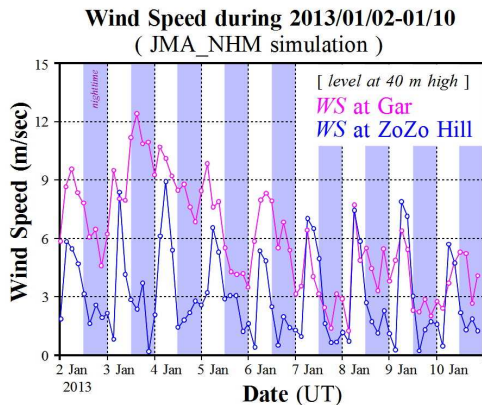


図 7. ガー山と ZoZo Hill における風速シミュレーション図 (2013 年 1 月、JMA-NHM による)。ガー山に比較して、ZoZo Hill の風速は穏やかで約 1/2 である。

するために、晴天率が高いアリ地区周辺で風の穏やかなサイト候補の選定が必要である。ガー山周辺でガー山と同程度の晴天率をもち、かつ弱風環境であるサイトとして、ガー山から東方約 90km の半径 20km の円形盆地内にある小山 (ZoZoHill, 位置は図 1 参照) に着目し、気象シミュレーションで気象環境の評価を行った。気象庁で運用されている領域非静力学モデル (JMA-NHM モデル) により ZoZoHill での風速環境はガー山の半分の風速であることが示された (図 7)。気象シミュレーションによる風速垂直プロファイルでは、ガー山は風速の強い時に高風速帯に連結し、ZoZoHill では周囲の山塊により風が抑えられていることが示されている (図 8)。

中国気象衛星 FY2 の画像データが千葉大学環境リモートセンシング研究センターで利用できる。予備的な衛星データの評価では、ZoZoHill での晴天率は、ガー山と同等以上であることが判明している。JMA-NHM モデルでの穏やかな風速環境と合わせて今後の評価サイトとして有望であることを示した。

### 今後の進展

上空 1000m-2000m の大気擾乱を測定できる SODAR (Sound detection and ranging) の導入を含め、早晚 ZoZoHill でのサイト調査を開始できるよう検討している。

また、2008 年 11 月から直近の日時まで利用可能な中国気象衛星 FY2 画像データの完全

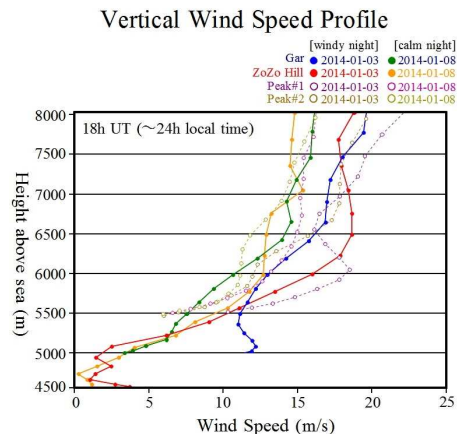


図 8. ガー山、ZoZoHill での風速垂直プロファイル (気象シミュレーション JMA-NHM モデルによる)。ガー山(Gar)は風速の強い時に高風速帯に連結し、ZoZoHill では周囲の山塊により風が抑えられていることが示されている。図 5 に示した高山 (Peak#1, Peak #2)は上空の高風速帯に直結して強風環境であることがわかる。

な解析を行い、気象衛星での晴天率評価と現地サイトに設置した機器での観測環境評価観測を突き合わせて、汎地球的な天体観測網の一翼を担うアジア域での光赤外望遠鏡サイトを世界に発信できるように今後とも進めるべきであろう。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

### [雑誌論文] (計 5 件)

- ① 佐々木敏由紀、「アジア域に観測サイトを求めて—西チベットサイト調査記」、天文月報、査読無、2015年8月号(印刷中)、ISSN-0374-2466
- ② Toshiyuki Sasaki, Hiroaki Naoe, Yosuke Utsumi, Hongshuai Wang, Yongqiang Yao, Michitoshi Yoshida, Norio Ohshima, Yoshitaka Mikami, Norio Okada, Hisashi Koyano, Kazuhiro Sekiguchi, Hiroyasu Ando, Liyong Liu, Cai-Pin Liu, Norio Kaifu, 2014, "WEATHER CHARACTERISTICS AT OBSERVATORY CANDIDATE SITES IN WEST TIBET", to be published in Publ. Korean Astr. Soc. (Proceedings of APRIM2014), 査読無, (印刷中)
- ③ Toshiyuki Sasaki, Yongqiang Yao, Michitoshi Yoshida, Norio Ohshima, Yoshitaka Mikami, Norio Okada, Hisashi Koyano, Kazuhiro Sekiguchi, Liyong Liu, and Lin Li, "A China-Japan Collaborative Site Survey in west Tibet : Sky clearness at Oma, Tibet", Proc. 11th APRIM, NARIT Conf. Series, 査読無, Vol. 1, pp.428-429, 2013, <http://www.narit.or.th/ncs>
- ④ Yongqiang Yao, Yiping Wang, Liyong Liu, Yunhe Zhou, Lin Li, Toshiyuki Sasaki, Michitoshi Yoshida, Norio Ohshima, Yoshitaka Mikami, Kazuhiro Sekiguchi, "The NAOC Ali Observatory, Tibet", Proc. 11th APRIM, NARIT Conf. Series, 査読無, Vol. 1, pp.424-425, 2013, <http://www.narit.or.th/ncs>
- ⑤ 佐々木敏由紀、「マウナケア山頂すばる望

遠鏡での血中酸素濃度の変化」、国立天文台ニュース、査読無、2011年5月号10-11頁

### [学会発表] (計 6 件)

- ① 佐々木敏由紀、大島紀夫、三上良孝、岡田則夫、小矢野久、関口和寛、海部宣男(国立天文台)、直江寛明(気象研究所)、吉田道利、内海洋輔(広島大学)、姚永強、劉立勇、王紅帥(中国国家天文台)、劉彩品(中国紫金山天文台)、「チベット西部域における光赤外線天体観測環境調査(VIII)」、2014 天文学会秋季年会、B19b、2014年9月12日、山形大学(山形県・山形市)
- ② 内海 洋輔、吉田 道利、川端 弘治(広島大学宇宙科学センター)、川野元 聡、成相 恭二、佐々木敏由紀、柳澤 顕史(国立天文台)、姚 永強、王 紅帥(中国国家天文台)、劉 彩品(中国紫金山天文台)、石橋 遥子(埼玉大学)、谷津 陽一(東京工業大学)、「チベットロボット三色撮像カメラ(HinOTORI)：仕様評価」、2014 天文学会秋季年会、V205b、2014年9月11日、山形大学(山形県・山形市)
- ③ 佐々木敏由紀、大島紀夫、三上良孝、岡田則夫、小矢野久、関口和寛(国立天文台)、吉田道利、内海洋輔(広島大学)、姚永強、劉立勇、王紅帥(中国国家天文台)、「チベット西部域における光赤外線天体観測環境調査(VII)」、天文学会春季年会、V229a、2014年3月21日、国際基督教大学(東京都・三鷹市)
- ④ 内海 洋輔、吉田 道利、川端 弘治(広島大学宇宙科学センター)、海部 宣男、川野元 聡、佐々木敏由紀、成相 恭二、柳澤 顕史(国立天文台)、谷津 陽一(東京工業大学)、姚 永強(中国国家天文台)、劉 彩品(紫金山天文台)、佐藤 修二(名古屋大学)、石橋 遥子(埼玉大学)、「チベットロボット三色撮像カメラ(HinOTORI)：最終デザイン」、天文学会春季年会、V230b、2014年3月21日、国際基督教大学(東京都・三鷹市)
- ⑤ 内海 洋輔、吉田 道利、川端 弘治(広島大学宇宙科学センター)、川野元 聡、成

相 恭二, 佐々木 敏由紀, 柳澤顕史 (国立天文台), 谷津陽一 (東京工業大学), “チベットロボット三色撮像カメラ: HinOTORI プロジェクト”, 天文学会秋季年会、V229b、2013 年 9 月 11 日、東北大学 (宮城県・仙台市)

- ⑥ 佐々木敏由紀、大島紀夫、三上良孝、岡田則夫、小矢野久、長山省吾、関口和寛 (国立天文台)、吉田道利 (広島大学)、姚永強、劉立勇 (中国国家天文台)、“チベット西部域における光赤外線天体観測環境調査 (VI)”, 天文学会春季年会、V05a、2013 年 3 月 21 日、埼玉大学 (埼玉県・さいたま市)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

佐々木 敏由紀 (SASAKI, Toshiyuki)  
国立天文台・光赤外研究部・准教授  
研究者番号: 80178657

### (2) 研究分担者

吉田 道利 (YOSHIDA, Michitoshi)  
広島大学・宇宙科学センター・教授  
研究者番号: 90270446

関口 和寛 (SEKIGUCHI, Kazuhiro)  
国立天文台・光赤外研究部・教授  
研究者番号: 20280563

大島 紀夫 (OHSHIMA, Norio)  
国立天文台・天文情報センター・研究技師  
研究者番号: 80223808

三上 良孝 (MIKAMI, Yoshitaka)  
国立天文台・先端技術センター・研究技師  
研究者番号: 70165984  
(平成 24 年度より連携研究者)