

[4] 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



佐々木敏由紀

〈国立天文台 〒181-8588 東京都三鷹市大沢2-21-1〉

e-mail: ToshiSasaki0502@gmail.com

アジア地域に優れた観測サイトを見だし、切れ目のない汎地球天体観測網を構築することを目指して、2007年から中国・日本共同で、天体観測サイト調査を西チベットで行っている。その結果、マウナケアに匹敵する晴天率をもつサイトの存在が有望になってきた。天上の国チベットが、天文観測にとっても楽園である可能性を世界の天文学界にアピールし、東アジア天文台の優れた協同観測基地も視野に、サイト評価を着実に進めている。

はじめに

日本が30 m望遠鏡TMT計画のプロジェクトメンバーになる以前、独自の超大型望遠鏡JELT計画があった。その候補サイトの検討過程で気象衛星データから西チベット域も少し注目されていた。同地域は光赤外線天体観測の可能性についてこれまで科学的な評価がなされていない地域であった。中国にも独自の大型望遠鏡計画があり、またESOからの打診もあって、柴金山天文台から中国国家天文台に移った姚永強（Yao, Yong-qiang）氏を中心に、中国内の好適サイトを求めて調査が開始された。2004年にチベット・ラサで開催されたサイト調査の研究会¹⁾で、中国から中国西部域でのサイト調査共同研究²⁾の話があり、西チベットに関心をもっていた私たちは、共同研究に参加することにした。

これには、東アジアでの天文学研究協力という目的もあった。東アジア天文会議（EAMA）では、東アジアの天文研究者が望遠鏡を持ち込み共同して天文学研究を進める優れた観測サイト（東アジア天文台）の構築を念頭に、1990年代にサイト調査を試みている（海部・劉の稿参照）。

図1は、世界の大型光赤外線望遠鏡（口径3 m以上）の分布を示している。アジア地域で観測条件の良いサイトを特定できれば、時間的に連続な観測を可能とする汎地球観測にも、重要な貢献となる。西チベットでのサイト調査共同研究は、両目的を兼ね備えた東アジアプロジェクトになりえるだろう。実際、西チベットが天体観測にとって重要な地域であろうことは、汎地球天体観測網を目指す複数のプロジェクトから報告されている。チベットに隣接するタイの研究者からも、チベットの観測環境の問い合わせがあった。日本でも、重力波検出プロジェクトの一環として、光望遠鏡を用いた重力波源に対応する天体の同定用小型望遠鏡HinOTORI設置の検討が、広島大学を中心に進んでいる。

カラス、オマからアリへ

サイト調査グループは、中国側が姚教授のグループ、日本側は佐々木、吉田道利（当時岡山天体物理観測所）が中心となっている。2007年に機材設置に出かけたが、すでに複数の調査サイトが中国側によって選定されており、2カ所で観測基地を開設していた。カラス（新疆ウィグル）と

世界の大型光赤外線望遠鏡 (口径3m以上)

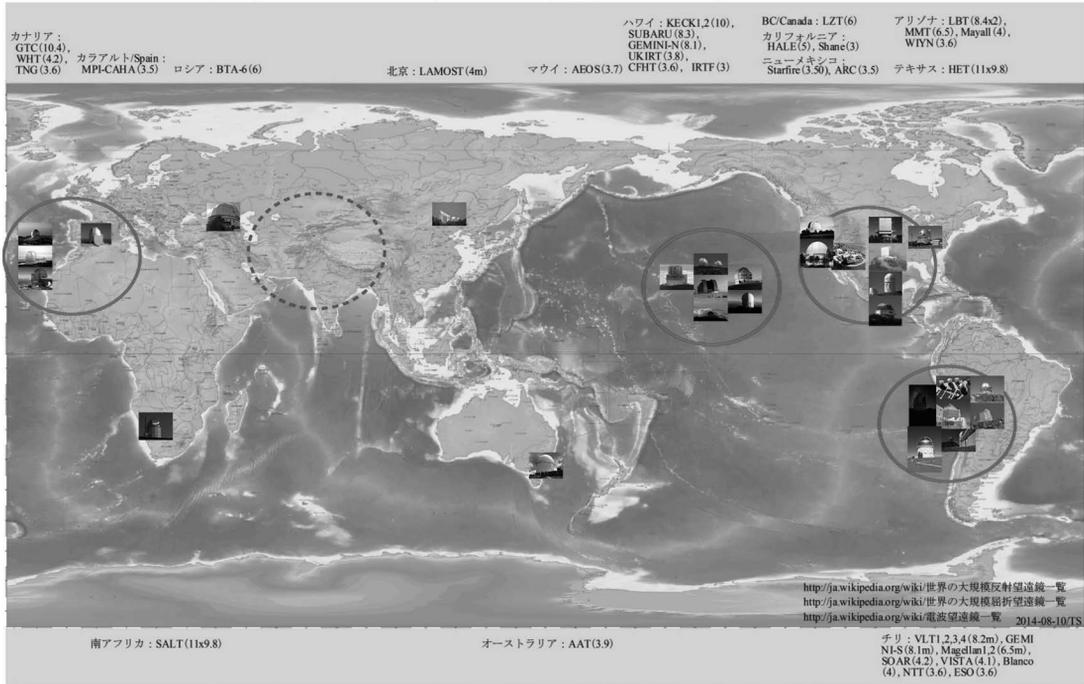


図1 世界の大型光赤外線望遠鏡 (口径3 m以上) の分布。アメリカ西部, チリ, ハワイ, カナリー諸島に集中している。汎地球観測網を構築するうえで, 東経80度周辺の西チベットの地は重要な観測サイト候補である。

オマ (チベット) である。調査サイトの位置と, カラス, オマを訪問した際に, 良いサイトを求めて別途訪問した中国各地を, 図2に示した。

調査サイト・カラスは, パミール高原の中国・タジキスタン国境沿いの高地にある。中国パミールと言われる高山コングール山 (7,649 m) を望む地で, 高度4,472 mである。日本から持参の中間赤外線カメラを用いた昼夜観測可能な雲モニター装置³⁾をプレハブ観測小屋の屋上に設置した。高さ40 mの気象タワーには微熱乱流計測装置のセンサーと気圧計, 気象センサーを設置した。微熱乱流計測装置による大気接地境界層の大気擾乱データは, 大気擾乱の高度方向の変化を測定し, 大気接地境界層の影響を受けにくい望遠鏡の高さを決める重要な測定となる。測定では, タワー最上部のセンサーから地上まで, カラスでは0.2秒角だった。事前に比較データを所得した岡



図2 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索した。

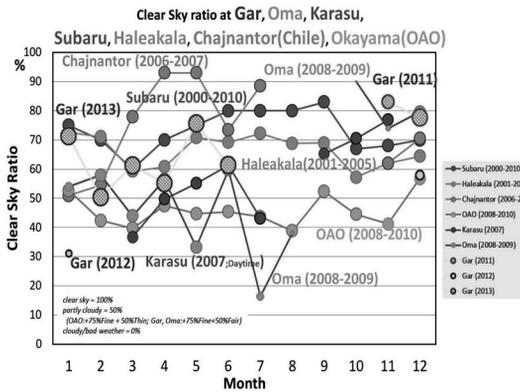


図3 望遠鏡サイトの通年晴天率比較。オマ、カラス、ガー山（アリ）、すばる望遠鏡⁸⁾、ハレアカラ（マウイ島）³⁾、チャナントール（チリ）⁹⁾、岡山観測所¹⁰⁾の晴天率の比較。晴天率は図中左下に示した評価式で求めている。カラス、オマ、ガー山は雲モニターカメラで雲を測定（ガー山での夏期のデータは未回収）。冬期のオマ、ガー山の晴天率はすばる望遠鏡に匹敵しており、通年にわたって岡山観測所より快晴割合が高い。ガー山では冬期には晴天でも強風の影響で観測不能となる割合が高いことが判明している。

山観測所では0.04秒角であり、周辺の6,000 mを超す高山による影響が想定された。カラスは十分な晴天が得られないことが判明し、2年間の調査の後、放棄された。

オマは、中国最西部のインド国境に近い町獅泉河を経て、260 km東方のチベット高原にある。標高5,032 mである。オマにもカラスに設置したのと同じ機器を設置した。2008年から2009年にかけて雲モニター装置で昼夜の空の状況がほぼ連続観測ができ、オマでの冬期の空はすばらしく快晴率80%以上であった（図3）。マウナケアの晴天率に匹敵する。しかし、チベット高原は日本にも影響するモンスーンの発生源で、夏場に快晴日はほとんどなく、観測可能性は期待できない。なお微熱乱流計測装置による測定では、タワー最上部のセンサーから地上までオマでは0.08秒角だった。

2010年からサイト調査の重点をインド国境に近



図4 気象衛星データから求めたアリ地区周辺の晴天率分布図⁵⁾で、濃い色のコントアは晴天率75%以上を示す。右上の挿入図は晴天率分布図に対応する地形図（Google Earth）。現在の調査サイト・ガー山（Gar）を濃い円、調査を検討しているZoZoHillを白い円で示している。比較のために近くにある高山（Peak #1, Peak #2）を薄い円で、またカイラス山を濃い円内の▲で示した。ガー山からZoZoHillまでは直線距離90 km。図中左に示している Hanle は2 m望遠鏡を有するハンレ観測所（インド）。

いアリ地区に移した。オマよりインド国境に近い地域が年間を通じて良いと報告⁴⁾されていた地域で、インドのハンレ観測所に近い地域だ（図4）。インダス川源流が町中を流れているアリ地区獅泉河から20 km南西にあるガー山（高度5,036 m）にサイト調査基地が開設された。北京天文館および紫金山天文台（南京）が望遠鏡設置を検討しているとの話だ。オマに設置してあった雲モニター装置、気象センサー、気圧計、塵測定器を移設し、測定を継続している（図5）。晴天率は、オマよりも良く、すばる望遠鏡での晴天率データに近い結果を示している（図3）。口径25 cm小型望遠鏡DIMMを用いた星像によるシーイング測定も姚教授らにより行われ、2013年の月ごとのシーイング中央値は、6月/0.79秒角、7月/0.81秒角、8月/0.85秒角、10月/0.58秒角、11月/0.90秒角で、通年で0.82秒角を示している⁵⁾。



図5 ガー山(5,036 m)サイト調査用10 mタワー屋上に設置された雲モニター装置と気象センサー。左側2台のカメラは姚教授らによる可視光全天カメラ。奥の山の向こうには古代遺跡グゲ、さらにその奥にヒマラヤ山脈がある。

5,000 mを越す高地であるので、赤外線での天体観測にも有利である。TAOの検討過程で報告⁶⁾されているように、乾燥した高地での低水蒸気量による赤外線観測性能の向上が予想される。今後の評価項目として調査することが望まれる。

調査の過程で、ガー山ではネガティブな面も明らかになってきた。西風が卓越する山峡に面するため風の隘路となり、特に晴天率の高い冬期(11月-1月)に強風になる割合が高い。すばる望遠鏡では強風によるドーム内への風の侵入により望遠鏡本体や主鏡の震動のために十分な光学性能を達成できないので、観測可能風速条件は秒速14 m以下に制限している。ガー山はマウナケア山より高いので空気が薄く、風のもつ運動量は小さいが、同程度の風速の制限がつく。秒速20 m以下の制限では観測可能夜の割合は20%ほど劣化し、秒速14 m以下とすると岡山天体物理観測所(日本)と同程度となる。

もう一つの問題点は、地域の中心の町獅泉河が直視できることだ。町が将来発展すると、ガー山への都市光の影響が避けられなくなる。周辺に人工光のないサイトを選ぶべきだろう。

Vertical Wind Speed Profile

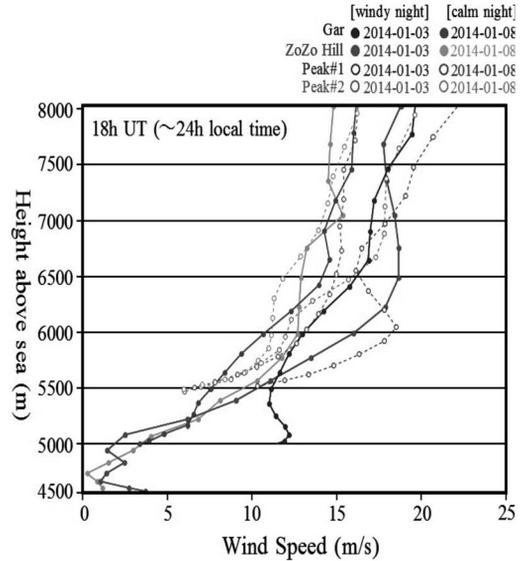


図6 ガー山, ZoZoHillでの風速垂直プロファイル(気象シミュレーションJMA-NHMモデルによる)。ガー山(Gar)は風速の強いときに高風速帯に連結し, ZoZoHillでは周囲の山塊により風が抑えられていることが示されている。図4に示した高山(Peak #1, Peak #2)は上空の高風速帯に直結して強風環境であることがわかる。

今後のサイト調査の展開

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90 kmの半径20 kmの円形盆地内にある小山(ZoZoHill, 高度4,619 m, 位置は図4参照)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6)。現在、チ

ベット入境についての中国政府の方針の変化への対応に中国国家天文台が手間取り、私たちのチベット入りが停滞しているが、上空1,000–2,000 m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。ZoZoHill周辺の平原は東京23区をすっぽりと覆う広さであり、将来的にはこの平原にサブミリ電波望遠鏡アレイの展開も含めてさらなる発展の可能性も望める。

2007年からのサイト調査のなかでは、同乗していた自動車が道路下に落ちたり、急な日程で高山病に罹り緊急入院したり、さまざまな出来事が起こった。マウナケア山以上の高地 (0.5気圧) での活動なので、高所順応を十分に体の具合を血中酸素濃度計などでチェックしながら行動している。高所順応のためラサのポタラ宮で一日を過ごすなどは最高のイベントだ。ラサから獅泉河への2日にわたる車での移動も、カイラス山脇を通る見応え十分なものだった。2010年からは空路でラサから獅泉河にもいけるようになり、飛行3時間で便利だが、高所順応は平地に住む私たちは十分に気をつけないといけない。

この先アリ地区に良いサイトが確定したら、そのサイトの周辺の峰々までを自然保護区として人工光を避ける方策を行い、各界の了解・支援のもと、世界の天文研究者、天文ファンに天文公園としてオープンできることを夢見ている。

サイト調査のメンバーは、私のほかに三上良孝、大島紀夫 (元 国立天文台)、吉田道利 (広島大学)、長山省吾 (国立天文台) がいる。サイト調査では、国立天文台で製作した機材が有効に機能している。雲モニター装置は岡田則夫さん (先端技術センター) の製作、微熱乱流計測装置は三上さんの秀作。同センサー取り付けには、小矢野久さん (元 岡山天体物理観測所) に援助していただいた。

参考文献

- 1) 佐々木敏由紀, 吉田道利, 高遠徳尚, 2005, 天文月報98, 734
- 2) サイト調査の公式ウェブサイト <http://sitesurvey.bao.ac.cn/>
- 3) Saganuma M., et al., 2007, PASP 119, 567
- 4) Hu J., et al., 2004, International Workshop on Astronomical Site Survey in West China (Lhasa)
- 5) 姚永強, 2015, Private Communication on “A short summary of seeing measurements”
- 6) TAOプロジェクトブック第2版図5.4参照 <http://www.ioa.s.u-tokyo.ac.jp/TAO/pjbook/201203/chap5.pdf>
- 7) 佐々木敏由紀ほか, 2014, 日本天文学会2014年秋季年会 (山形大学), B19b
- 8) すばる望遠鏡の気象統計 <http://www.subarutelescope.org/Observing/Telescope/ImageQuality/Seeing>
- 9) Miyata T., et al., 2008, SPIE 7012, 701243
- 10) 岡山天体物理観測所の気象統計はユーザーズミーティング報告から。(例) http://www.oao.nao.ac.jp/oaoweb/wp-content/uploads/oaoum09_yoshida.pdf

Toward Astronomical Observatory Site in Asian Area: Site Survey Records in West Tibet

Toshiyuki SASAKI

National Astronomical Observatory of Japan,
2–21–1 Osawa, Mitaka, Tokyo 181–8588, Japan

Abstract: It is important to cover the globe with seamless astronomical observatory network to research on new astronomical objects and new phenomena. As astronomical site candidates have been sought in west Tibet since 2007 under China and Japan collaborations, a prominent site is manifested to show sky-clearness nearly comparable to its statistics at Subaru telescope on Mauna Kea. The site monitoring in west Tibetan site should be continued to show its potentiality on astronomical observations, with hope to establish collaborative observation facilities for East-Asia Observatory.