

チベットにおける天体観測サイト探査

佐々木敏由紀, 高遠徳尚

〈国立天文台ハワイ観測所 Subaru Telescope, 650 North A'ohoku Pl., Hilo, HI 96720, U.S.A.〉

e-mail: Sasaki@naoj.org; takato@naoj.org

吉田道利

〈国立天文台岡山天体物理観測所 〒719-0232 岡山県浅口郡鴨方町本庄 3037-5〉

e-mail: yoshida@oao.nao.ac.jp

次世代超大型望遠鏡建設に向けた秘境チベットの天体観測サイトとしての調査が行われようとしている。ラサで開かれた天文サイト調査研究会の概要とその後に行われたチベット西部地域の探査紀行を紹介する。その探査行の中で、いくつかの天文サイト候補地を訪問し地勢を概観した。秘境チベットの天体観測サイトとしての可能性とサイト調査の必要性を指摘する。

1. はじめに

北京を離陸し、經由地成都から1時間30分あまり、高度を下げて着陸したのはラサ空港である。ラサは高度3,650 mではあるが、ハワイ・マウナケア山腹のハレポハク(2,800 m)に着いたときのような軽い息切れもない。高山病対策として当日朝飲んだダイアモックス(医薬品)が効いているのかもしれないが、皆調子が良いということなので、飛行機内での気圧順応が施されていたのだろう。秘境チベットへの初めての旅である。これから「中国西部(チベット)天文サイトサーベイ研究会」と、それに続くチベット西部の探査旅行が始まる。

2. 衛星データから見るチベットの天体観測環境

超大型望遠鏡計画の検討に伴って地上各地のサ

イト調査が進められている。2002年のハワイ島コナで開かれたSPIEでのMarc Sarazinらの報告¹⁾の中で全地球的な雲量分布が時系列アニメーションとして示されていた。すでに大型望遠鏡が設置されているチリ、アメリカ中西部などの地域が雲量の少ない地域として明瞭であったが、さらに中国西部チベット地域も同様に雲量の少ない地域として目立っていた。秘境と言われるだけあって、チベットの天体観測環境の調査は十分になされていない。そこで、SPIEでの報告をフォローし、より詳細にチベット地域の様子を見るために、公開されている気象衛星データをNASA大気科学データセンターSOAA²⁾から取得した。図1(表紙)はそうにして求めたチベット地域の2月期平均の現地24時の雲量分布である。分解能は1度(ほぼ100 km)である。北緯33度、東経83度を中心として半径2度の地域が雲量の少ない地域と認められる*1。雲量の年変化を図2に他のサイ

*1 NASAから配布されたりモートセンシングデータ可視化ソフトウェアWorld Windでは、衛星レーダーデータと合わせて等高図を表示することができる。該当する領域には平原中に立ち上がる山塊があり、筆者らは候補地の一つと考えている。

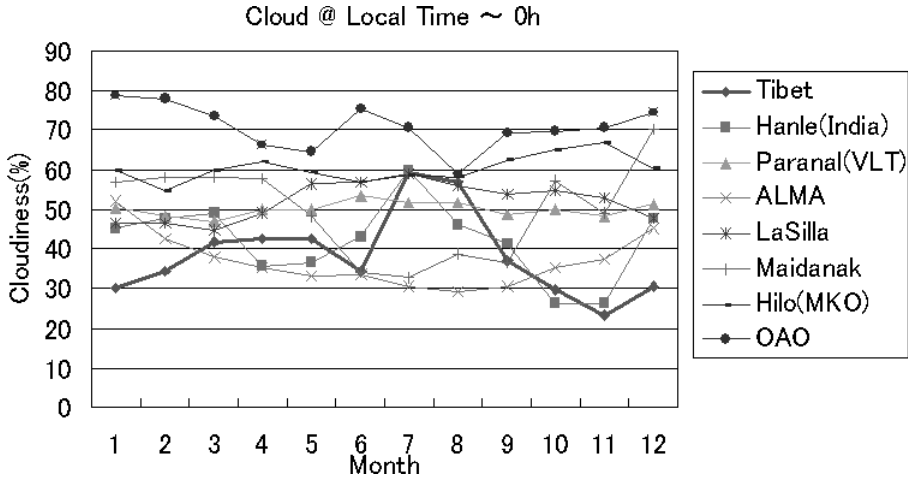


図2 チベット地域および各地天文台の雲量の年変化. SOAA/NASA 気象衛星データより, 地方時 24 時のデータを用いている.

トと比較して示した. 電波天文台 ALMA 建設予定地*2 (チリ) と比べると若干悪いが, チベット西方にあるインドのハンレ天文台*3, ウズベキスタンのマイダナク天文台と比較するとかなり条件が良いように見受けられる.

これらの衛星データを用いたサイト候補地選定とともに, シーイング, 地上風速などの実際の天体観測条件の評価には, 現地での調査が不可欠である. 数年にわたり季節変化や昼夜ごとの変化などを詳細に調べる必要がある. 2003 年夏に, 中国の超大型望遠鏡計画の一環としてチベット地域のサイトサーベイ研究会が開かれようとしていた. しかし, 世間を騒がせた SARS の影響でその開催が 1 年延びることになり, 筆者らもタイミング良く研究会に参加することができるようになった. この研究会に続いてチベット西部の探査行も企画されており, 現地の地勢を確認するためにも参加することにした.

3. 中国西部 (チベット) 天文サイトサーベイ研究会

本研究会は, 2004 年 7 月 5 日から 9 日にかけて, ラサ市人民公会堂で世界各国からのサイトサーベイの関係者が集まって開かれた (図 3). 主催は中国国家天文台サイトサーベイグループ (姚永強教授) である. 日本からは, 名大の佐藤修二, 栗田光樹夫, 国立天文台から佐々木, 高遠, 浦口史寛 (すばる), 宮下暁彦 (三鷹), 吉田 (岡山) が参加した.

Jean Vernin 氏 (ニース大), Remy Avila 氏 (メキシコ) らの大気乱流理論のレビューでは, さまざまなサイトでの観測環境調査の話, これからの計画, 中国西部の天文サイトとしての可能性の話など, 話題が多岐にわたり, また, 可視光から電波まで幅広い波長での話があった. サイトサーベイに用いられているいろいろな観測機器の紹介もあり (表 1), それぞれの観測機器によるデータ間の比較校正が, 今後各地でのサイトサーベイ結果を検討するうえで重要であることも示された. ま

*2 アタカマ地域のサイト調査については本原・宮田・土居氏の天文月報記事 (2004)³⁾ を参照ください.

*3 ハンレ天文台については上野氏の天文月報記事 (1998)⁴⁾, 小倉氏の訪問記 (2004)⁵⁾ を参照ください.

表 1 可搬型天体観測条件測定機器

装置名	測定方法	測定値	測定高度
MASS (Multi-Aperture Scintillation Sensor)	多瞳光学系による大気上層擾乱測定装置	シンチレーション	1 km から数十 km
SODAR (Sound detection and ranging)	音波反射による風速高度分布測定	シンチレーション	15 m から 1 km
DIMM (Differential Image Motion Monitor)	多入射口での複数星像の相対位置揺らぎ	シーイング	上空の積分
赤外線雲モニター	10 μm 帯赤外線カメラ	雲量	上空の積分
可視光全天カメラ	可視光 CCD カメラ	星野	上空の積分
気象塔	気温, 湿度, 風速, 風向, 気圧, 雨量, 日照, 赤外放射, 大気微熱乱流測定, 塵量	気象データ	0 m から 30 m
軽量無人飛行機	気温, 湿度, 気圧, 大気微熱乱流測定	気象データ	数 m から 300 m
バルーン	回数限定	気象データ	数 m から数十 km

た, Jon Lawrence 氏 (オーストラリア) による南極のドーム C (高度 3,260 m, 緯度 75S) でのサイトサーベイ結果が報告され, シーイング平均 0.27 秒, 70% 以上の快晴夜, 赤外大気放射が少ないなどマウナケアと比較しても天体観測条件が抜群に良いとの報告もあった. 南天しか観測できない不利はあるが注目すべきサイトである. 栗田氏 (名大) の軽量化望遠鏡はサイト調査にも使えるとの関心を呼んでいた.

研究会の主目的である中国西部 (含チベット) でのサイト調査については, 中国国家天文台を中

心に一昨年から行われてきているサイト調査の報告があった. 中国独自の気象データに基づき, インド国境, タジキスタン, キルギス諸国国境のサイトを候補地としている旨の発表があった. 可視赤外線望遠鏡とミリ波望遠鏡の両者をターゲットとしている.

研究会の締めくくりとして, これからの中国サイトサーベイの方向性が議論された. 国際協力でのサイトサーベイを継続することが中国側から提案された. Nordic Optical Telescope 所長の Johannes Andersen 教授 (前 IAU 事務局長) も, その提案に沿って協力して活動する意向を示した. Science advisory committee と Executive committee の 2 本立てで進む提案がなされた.

なお, 研究会の詳細は, その発表内容とともに Web で公開されている⁶⁾. 参加者は, メキシコ, フランス, ドイツ, 米国, ESO, ルーマニア, デンマーク, オーストラリア, インド, 日本, 韓国, 中国, 台湾からの総勢 86 名であった.

4. チベットサイト調査

ラサでの研究会に続いて, 3,300 km を超すチベット縦断の自動車踏破行が 8 日にわたって行われた (図 4). チベット全体の地形の印象を得, 数カ所のサイト候補地を訪問して地勢を見聞するこ



図 3 中国西部 (チベット) 天文サイトサーベイ研究会. 演壇近くにいるのは, 高遠 (左), 吉田 (右) 両氏と主催者の姚教授.

表2 チベット踏破行程 (2004年)

日付	旅程	距離	所要時間	サイト候補地
Jul. 10	ラサ (拉薩) からサンサン (桑桑)	600 km	17.5 h	
Jul. 11	サンサン (桑桑) からガイゼ (改則)	700 km	21.5 h	
Jul. 12	ガイゼ (改則) からガー (喝尔)	500 km	13 h	(O1)
Jul. 13	ガー市周辺調査			G1, G2
Jul. 14	ガー (喝尔) からイエチェン (叶城)	1,100 km	31 h	
Jul. 15	イエチェン (叶城) からタクシコルガン (塔什庫爾干) 崖崩れのためカシュガル (喀什) に戻る	300 km	10.5 h	
Jul. 16	カシュガル (喀什) からタクシコルガン (塔什庫爾干)	150 km	4 h	T1
Jul. 17	タクシコルガンからカシュガル (喀什) 飛行機でウルムチ (烏魯木齊)	150 km		T2
Jul. 18	ウルムチ (烏魯木齊) から北京			

とが目的である。ドライバー、専属医師も入れて総勢33名が7台のランドクルーザに分乗しての旅である。日本からは佐々木、高遠、浦口、宮下、吉田が加わった。ほかには、中国、台湾、デンマーク、ドイツ、オーストラリア、インドからの参加である。

初日はラサ市からの600 kmの行程、2日目は700 km、3日目は500 km、4日目は自動車の保守とガー市周辺のサイト候補地調査、5日目には崑崙山脈越えの1,100 km、6日目は300 km、最後の7日目は150 kmでカシュガル市に至る(表2)。途中高度5,000 mを超える峠をいくつも越えるので、気候の穏やかな時期でも相当な強行軍であると覚悟はしていたが、訪問時はモンスーン時期であり、崖崩れや道路の流出などにも遭う過酷な旅となろうとは予想もしていなかった。

出発前に医者が来て、高山病の薬とウェットティッシュをくれる。車に酸素ボンベを積み込む。筆者らは、サイト候補地周辺で地上300 m以内の気温分布の測定を予定しており、そのための機材を持ち込んでいる。探査行主催者の姚(ヤオ)教

授グループも天体観測モニタ機器を用意して臨んでいた。

初日は、ラサを出発しシガツェ(日喀則)経由でサンサン(桑桑)までの移動である。南回りの近道は工事中で通行不能のため、研究会のエキスカカーションで行った宇宙線観測施設のあるヤンパーチン*4(八羊井)から山道を経由してのシガツェ行きである。ラサ近郊では、ラサとゴルムド、西寧(シーニン)を結ぶ青蔵鉄道の工事が行われていた。間もなくの開通と聞く。雪の舞う山道に揺られ、峠で小休止である。チベットでは峠ごとに石積みがしてあって旗(タルチョ*5)が巻いてある。携帯GPSでは5,442 mとなっている。かなり寒く、体を動かすごとに息切れがする。ゆっくりと体をいたわって行動するに限る。この辺りの高度まではまだ筆者(佐々木)の体力はもつ。峠を下って行き、さすがに疲れて居眠りをしてしまったが、気がつくと平坦な舗装道路に至っている。比較的大きな町の周辺に着いたのだ。シガツェ(3,900 m)で昼食である。地方政府迎賓館でもてなした。この旅行には地方政府の支援をか

*4 マウナケアより高い4,300 mのところに温泉と温泉プールがある。エキスカカーションの訪問時にはESOからの参加者は同道していた娘さんと泳いでいた。

*5 タルチョとは経文が印刷された祈禱旗のこと。タルチョが一度風になびけば一度読経したことになるのだという。峠越えなどの際、自然への畏敬を表し、道中の安全を願ってタルチョを掲げる風習があるという。その回りは必ず上から見て時計回りに回らねばならないそうだ。

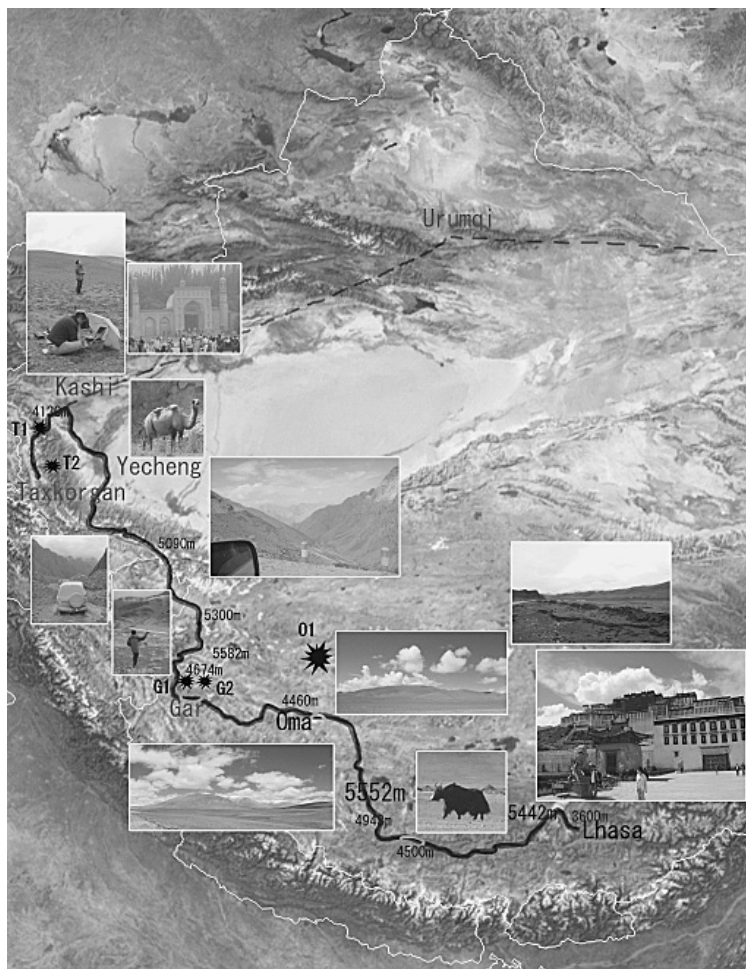


図4 チベット地図と探査経路。探査行中の写真をはめ込んである。小さい★印はガー周辺 (G1, G2) およびタクシコルガン周辺 (T1, T2) のサイト候補地、大きい★印はオマ周辺のサイト候補地 (O1)。数字は高度を表している。背景は World Wind で取得したチベット地域の Landsat 7 衛星画像。

なり受けているようだ。歓待もされた。姚教授の準備が行き届いていると同時に、地方政府に天文台設置への期待があるのだろう。

シガツェは、パンチェンラマが住持をつとめるタシルンポ寺のある町である。遠目にタシルンポ寺を眺めながら先を急いだ。上海から距離 5,000 km の碑のある集落を抜け、夜中の 1 時過ぎにサンサンに到着。宿はいわゆる招待所というものだ。遅い夕食を掻き込んで就寝する。扉のないトイレには翌朝とまどうことになるのだが、この際は郷に入っては郷に従えで、なかなか度胸が据

わるものである。疲れもあってぐっすり睡眠を取った。サンサンとて高度 4,500 m である。高度順応は大丈夫のようだ。

2 日目は、衛星データの解析から晴天が期待できるガイゼ（改則）への行程だ。峠を越え、広々とした平原の続く道を縫って、ヒマラヤ山脈沿いの道から北へ分岐した。青空が広がってきており、快適なドライブである。温泉が湧出している地点を過ぎ、チベット遊牧民のテントを尋ね、屋前に湖が見渡せる小さな峠に着いた。高度 4,943 m である。筆者らが準備してきた軽量飛行機での



図5 オマ周辺のチベット高原。なだらかな高原に小高い丘が望まれる。高度 5,000 m の世界。遠方には羊の群れとヤクの群れが見える。

地表温度計測が始められた。今回の踏破行での機材による初めての調査である。軽量飛行機での温度計測はこのあと、ガー周辺のサイト候補地、タクシコルガン周辺のサイト候補地で行われた。ここではその予行演習である。飛行の準備はスムーズにいき、初飛行では機体に取り付けたビデオカメラでの地上風景の撮影、そのあと機体を替えての温度計測と、参加者皆の興味をひいた。足を踏み入れにくい場所を上空から調べるには良い手段である。

小休止のあとガイゼ（改則）目指して進む。遠くに高山を見ながらの高原の道である。この踏破行での最高高度 5,552 m の峠に着いた。タルチョはためく峠である。車外はさすがに寒い。雪を抱いた峰も見える。野には青いポピーがあちこちに咲いている。ヒマラヤブルーポピーである。可憐な花に心が安まる。しかし、ここまでだ。この高さは筆者（佐々木）の限界を超えていた。その後半日は強い頭痛に悩まされ、車内で眠り続けた。気がつけば夕方、湖脇の道を疾駆している。ガイゼ（改則）に到着したのは、翌日の明け方 4 時 30 分頃だ。しかし、十分な空きベッドが見つからなかったようだ。ドライバーのみベッドを確保して休息、他の全員は食堂で小休止。そこで食べた麺

はなかなかのものであった。

翌朝 9 時、ガー（喝尔）へ向けて出発である。悪天候のため道も悪くなっており、時間がかかりすぎているので、先を急いでいるようだ。ガイゼ（改則）を過ぎたオマ（物瑪）の北方が、筆者らがサイト候補地として選定した地域である（図5）。今回は街道を通り過ぎるだけであるが、次回にはその地を尋ねてみたい。広々とした高原が続く。野には牧草がまばらに、所々濃く生えている。山には木はほとんどない。4,500 m を超すチベット高原なのだ。野原の中に幾筋にもつけられた道をたどって進む。羊の群れを何カ所かで見かけた。チベット人が生活している証だ。仲間の車がパンクで、タイヤ交換である。タイヤは次の集落でパンク修理である。集落ごとに食堂と自動車修理工場があるのは生きていくうえで必然であると素直に納得する。やがて、右手に白っぽい湖が見えてくる。その湖は塩湖のようだ。その畔には塩採取所があり塩が積み出されていた。

午後 7 時頃ガキー（革吉）に着く。地方政府の人の歓迎を受ける。チベット式の歓迎の印である白い布（カタ）を首からかけてもらう。ガキーを出て山道を進み、5,000 m 近くまで上る。峠を越えた辺りで道のそばを小さな川が流れていた。インダス川の源流らしい。遠くに見える山並みは中国とインドとの国境らしい。その向こうには 2 m 望遠鏡のあるハンレ天文台がある。踏破行中インドに最も接近した瞬間である。ガーの入り口にさしかかり、再度歓迎を受ける（図6）。出迎えのご婦人にチベット式白い布（カタ）をかけてもらい、差し出された灰と麦をつまんで 3 回空に放り上げる。そして、差し出されたコップで乾杯である。なかなか情緒ある歓迎であった。夜の 10 時過ぎ、ガーのホテルに入った。

ガーはこの地方の中心都市であり、ホテルも素晴らしい。地方政府招待の夕食会では、地方政府関係者の方から、ガーを中心とするアライ（阿理）地方での天文台構想にたいへんな感心を寄せてい



図6 ガーでの歓迎。歓迎を受けているのは J. Lawrence 氏（オーストラリア）。



図7 ガー候補地での飛行機測定。浦口氏が飛行機を発進させようとしている。

るとの話をついた。また、数年以内に空港ができるとの話も聞く。空港ができれば、今まで通ってきた地域へのアクセスも格段に良くなる。ショットグラスのような小柄のコップにビールを注いで乾杯*6の嵐のあと、“Great Wall” 銘のワインを飲ませてもらった。久しぶりで良い味であった。

翌朝は車の保守を兼ねた一日である。移動はない。しかし、早朝5時からガー周辺のサイト候補地での軽量飛行機による測定である(図7)。ガーから北に向かう。4,674 m の峠が目的地である。夜明け前でさすがに寒い。この測定の初期テストはマウナケアで行ってきた。2日前にガイゼ(改則)への途中でテストをしたものの、本格的な測定は初めてである。地方政府の関係者家族が同道していたがたいへん興味深げだ。100 m から 150 m の高さにある等温層が時間とともに上昇・消失していく様子がとらえられた(次章参照)。

5日目になった。いよいよ踏破行中の最難所、崑崙山脈越えである。ガーの町を出たら新疆ウイグル自治区のイエチエン(叶城)まで、途中に大きな町はない。飛行機も飛んでいない。1,100 km の踏破である。ガーへの空港開設が待ち望まれるゆえである。

午前7時にガーを出発し、途中ルトック(日土)で朝食を取る。キャラバンのドライバーの一人が調子を崩し、交代する。中国・インドをまたぐ美しいバンゲン湖の脇を通り進む。山の断崖は見事な褶曲模様を見せていたりする。正午頃、車の1台が来ないので停車して待つ。辺りは砂礫である。道は、平原、山岳の繰り返しだ。真夜中近く山間の小さな村に着く。ガソリンを補給し、またぞろ場末の飯屋で食事を取る。食事は裏切られたことはない。なかなか美味である。夜を徹してのドライブである。午前4時近くに車を止めて2時間ほどの仮眠を取る。ドライバーが休憩することは非常に重要なことである。夜が明けて、大工事の峻険な谷あいの道に入った。重機を用いた大がかりな工事が行われている。工事場を避けた脇道は所々濁流に押し流されている。4輪駆動車でなければ走行できない道である(図8)。

午前9時、入境検問所に到着する。新疆はアフガニスタンなどとの国境地域であるため、人の出入りを厳しく管理している。外国人旅行証とパスポートのチェックを受ける。昼前、工事場の谷を抜けて突然道が良くなる。舗装はされていないが、大きな段差のないたいへん良い道だ。イエ

*6 乾杯(カンペイ)を避けるには「随意(スイイー)」と言えよ。ただし、自分より身分の高い人が乾杯と言った場合には効力はないようだ。



図8 崑崙山脈越えの悪路走行. 車も人も踊りまくりながら延々と疾駆する.



図9 タクシコルガン周辺のサイト候補地が眺望できる丘で調査している参加者. 中央左手の奥は、雲にかかっているが7,000 m 超級の高山.

チェンまで 200 km と出る. ふたたび峻険な山道となる. 崑崙山脈越えの最後の峰である. かなりの高低差のある峰を二つ越えて, ラクダの出迎えを受けた. コヤーという村である. 村の様子がチベットのそれと全く違う. イスラム系だ. 舗装道路が始まり, 遠くには油田が見える. 午後3時すぎ, ようやくイエチェンの中心街に到達. 先に着いていた姚教授が待っていた. あたりはロバ車が行きかい, 羊肉が店先に釣り下がっているイスラムの世界. 長い4輪駆動車のドライブは終了である. 安心して昼食を取った. ここからは空調の効いたゆったりしたバスの旅となる. 危険な踏破行はほとんど済んだとの感慨をもつ.

途中カシュガルを抜ける. 西域の拠点カシュガルは日本人になじみのある町である. 有名なエイティガールモスクを脇目にバスは疾駆する. 目的地はタクシコルガンである. タクシコルガンは, タジキスタン, アフガニスタン国境に近い観光地である. その近辺にサイト候補地が2カ所ある. バスに揺られて, オアシスの町や砂漠の中を爆走し, 夜になって峠越えにかかる. 午後10時ごろ峠の途中の入境検問所に到着, 徒歩で越える. 外国人旅行証とパスポートの検査をされる. ガーから2日がかりのドライブ, あと少しでタクシコルガンに着くはずであった. しかし, 終夜の豪雨のた

めに道路は崖崩れにあい, 通行不能となっていた. 急遽カシュガルに引き返し, ホテルで仮眠を取る頃には午前2時を回っていた.

運転をしていないとはいえ, 14日朝7時にガーを出てからほとんど丸2日車に乗りっぱなしである. かなり過酷な2日間であった. ここまで至れば, 残りは少しであり, 過酷な踏破にも慣れてタフになっている自分に感心してしまう. 翌朝はホテルでのまっとうな中華料理で朝食を取り, 朝9時に昨日と同じバスでタクシコルガンを目指した. 道は快適. 昨日の崖崩れも処理されているという. イスラム色の濃いこの地域に行くのは気分が変わってなかなか爽快である. 途中で止まった市場の店先に山と積まれたスイカ, メロン類を見ていると, それらの原産地がこの辺りであったことを思い起こさせられた. 振舞われたメロンの甘さと瑞々しさは格別であった.

前夜阻まれた山道を通っていく. この山道は, K2を擁するカラコルム山脈を越えてパキスタンへ至る「カラコルム・ハイウェー」である. 谷底の道から見上げた氷河を抱く山は7,719 mのゴングール山であろう. 曇天のため頂は見えないが, 晴天であれば見事な眺めだろう. 山道がある程度登ったところで谷底が大きく広がり, やがて湖が見えてきた. 標高3,600 m, 氷河の水をたたえる

カラクリ湖である。美しい。タクシコルガンへ至る最後の峠にバスを止め、歩いてたどり着いたなだらかな丘からサイト候補地が望めた(図9)。なだらかではあるが高度 4,130 m であり、慣れてきているとはいえやはり歩いていくのはきつい。遠方に見えるサイト候補地は広々とした良い丘のようだ。しかし、三方には雪を抱く高山があり、シーイングなどの天体観測条件が気がかりとなる。サイトの評価は、機材を持ち込んでのサイトテストをするしかないだろう。ここでも、軽量飛行機による垂直温度分布の測定を行った。警護係官、バス運転手たちの興味を誘った。峠を下り、快適な堤防沿いの舗装道路でタクシコルガン市を目指す。途中でバストラブルのため、分乗してタクシコルガンに到着する。3,200 m である。観光地であるだけに素晴らしいホテルで、やっと旅の疲れを癒すことができた。

翌朝早くにはタクシコルガン周辺の別のサイト候補地に調査に出かけた。しかし、悪天候のため、サイト候補地には到達できず、疲れ切ってホテルに引き返した。モンスーン時期の悪天候に当たってしまったのは不運である。代替のバスでカシュガルに引き返し、ウルムチへ飛んで今回の踏破行は終了予定である。漢唐時代からの石頭城^{*7}に寄ってカシュガルへと向かう。途中で、昼食として取ったラグ麺はトマト風味のうどんのようなもので、羊肉の串焼ケバブとともになかなか良い味であった。無事にウルムチ経由で北京まで戻ってきた。

5. サイト調査時に取得した 気象データ

今回のチベットでのサイト調査では、温度センサーを取り付けた飛行機で地上 300 m 以内の温度分布とその時間変動を測り、無線ビデオカメラを取り付けた飛行機あたりの地形の空撮を行う

ことを中国側に提案してきた。高遠、浦口、宮下が中心となって計画を練ったものである。地上数百 m というのは、いろいろな測定手段の「穴」になっている高さであり、この層のデータを得ることはたいへん貴重である。明け方と夕方、地表付近の逆転層がどのように形成され、消失していくのかを追いかけることは天文サイト調査として重要な意味をもつ。

ハワイのマウナケア山麓で初期テストを行ったが、本格的な測定は今回が初めてである。チベットの3カ所で測定を行った。テストを兼ねたガイゼ(改則)までの峠での測定、そして本格的な測定は、ガー市周辺のサイト候補地での早朝の測定、タクシコルガン市手前のサイト候補地での測定である。日の出前から日の出後の温度逆転層の測定ができたのは、ガー市周辺のサイト候補地である。

ガー市周辺のサイト候補地での測定では、浦口が飛行機操縦係、高遠がパソコン操作と高度指示係、宮下が地表気温計測、佐々木が地表風速計測、吉田が記録係と分担して計測した。運搬中に壊れた機体を応急処置してから、まずは測定機器の電源を入れ、パソコンとの通信を確認する。いよいよ飛行機を飛ばす。まずは温度測定からだ。飛行機はぐんぐん上昇し、地上 300 m に達する。これ以上上がると飛行機を見失うため、この高度が限界なのである。そこでエンジンを止め、滑空しながらデータを取る。高遠が飛行機の高度をチェックして読み上げる。それを聞きながら浦口が飛行機の下降速度を調節している。あとの3名は地表の温度・風速を測定して記録していく。いったん地表付近まで滑空したあと、再びエンジンを回して飛行機を上昇させる。これを3度繰り返して測定した。

最後は地表にランディングである。飛行機を壊さないようにうまく着陸させるのは難しいらしい

^{*7} 町名タクシコルガンはタジク語で「石の城」という意味らしい。

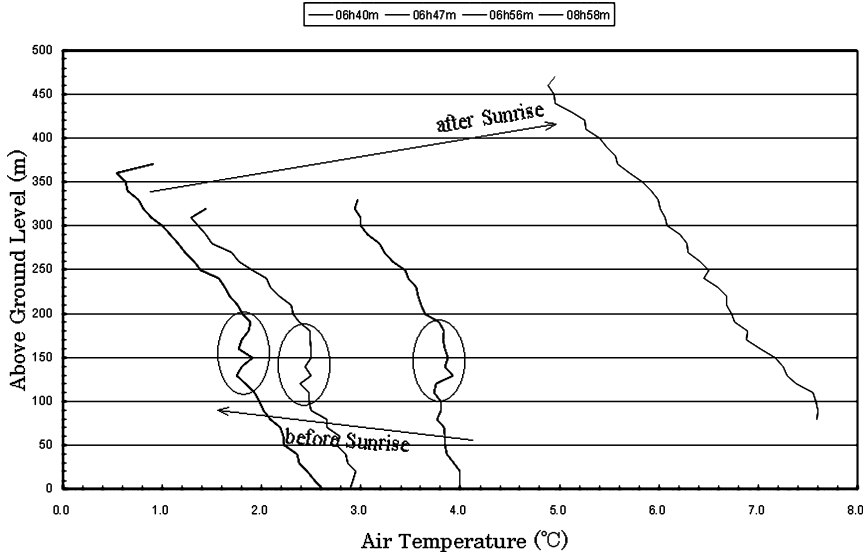


図 10 ガー市周辺サイト候補地で取得した気温垂直分布 (2004年7月13日)。日の出前の温度逆転層がとらえられている。日の出後には逆転層は消滅している。温度逆転層でシーイングが悪化する。データは浦口氏による。

が、素晴らしいランディングであった。

現地の早朝は 4,674 m の高さもあってさすがに寒い。地表付近の気温は 3 度から徐々に下がり、最後は 2 度くらいまでになった。3 回の測定が終わった時点でようやく夜が明け始めた。夜明け前から日が昇る直前までのデータが取れたことになる。

次に、場所を変えることにする。この峠は鞍部となっているので、隣の丘の上からやることにした。丘の上で準備が終わると夜は完全に明けていた。午前 8 時くらいである。今度は一度温度測定飛行機を飛ばしたあと、ビデオカメラを積んだ飛行機を飛ばした。付近の地形の空撮である。無線でリアルタイムの画像が送られてくるのでモニターを見ているとたいへん面白い。まるで自分が飛行機に乗っているようだ。

ガー市周辺での温度計測の結果*8を図 10 に示した。地上 150 m 付近に温度逆転層が見られる。逆転層は時間とともに上昇し、日の出後には消滅

していきようだ。逆転層の高さ変化の傾向から判断して、夜中はもっと低い高さに逆転層がある可能性がある。逆転層の上下の薄い層でシーイングが悪化するので、この層の振舞いは今後のサイト調査の重要項目である。

6. まとめと将来に向けて

今回の中国チベット地域の天体観測条件をターゲットとしたサイトサーベイ研究会と、チベット西部域の踏破行によって、チベットにおける天体観測条件の良好さ、そして観測所設置が可能な地形的な概観を得ることができた。中国独自の気象データに基づき、天文サイト候補地の発表があり、筆者らの衛星データによる推定と合わせて、今後衛星データを駆使してのサイト選定を中国側と協力して精密に行う必要が認識された。

現地でのサイト調査は定量的にサイトを評価するうえで不可欠である。姚教授らはチベット地域のサイト調査を続けているようである。筆者ら

*8 温度較正は地上で同時に測定した気温で今回は行った。詳細な解析には精度の良い較正が必要である。

も、チベット地域の天体観測条件についてのサイト評価を協力・支援し、地球上でサイト調査が欠落しているチベット地域の評価に貢献をしたい。具体的には、いくつかのサイト候補地にサイトモニターできる機器（主として、シーイングモニターと水蒸気量モニター）を設置できるように努力していきたいと思っている。このサイト調査によって、チベット地域の超大型望遠鏡候補地としての評価が明らかになるであろうし、サイト調査結果は中小口径の望遠鏡を設置するための基本資料ともなる。

チベット西部域の中心都市ガー(喝尔)には数年以内に空港ができるとの話だ。空港ができれば、サイト候補地へのアクセスも格段に良くなる。サイト調査は前人未踏の作業を伴うこともある。日本の岡山でもハワイのマウナケアでも最初は道なき道をかき分けて候補地に至ったわけである。今後はアクセスが容易になることを期待したい。

チベットは秘境と言われ未開の地のごとく思われるが、現地にはチベットの遊牧民が至る所にいる。彼らの庭なのだ。今回は短期間での強行踏破であった。チベット、新疆ウイグルともに随所に秘境の名に恥じないサイトがある。ラサでの研究会では、エクスカッションとしてポタラ宮、ジョカン寺、ノル布林カ(夏の宮殿)などを見学させてもらった。踏破行中はドライブ以外の時間もなく、次回行くときには余裕をもって秘境探索もしてみたいものだ。また、チベット式食事にはバター茶がつきものであったが、味が濃く結局は慣れずに終わった。もう少しチベット文化にも触れてみたいと思う。

最後に、ラサにおける研究会とチベット現地の探査旅行を組織、運営した姚教授をはじめとした中国の方々には非常にお世話になった。外国人旅行証の準備から現地地方政府との交渉などの努力に深く感謝する。探査旅行に参加した方々のサイト調査への熱意とその精神力には感心した。8日間の過酷な探査旅行の成功の鍵であった。この研

究会とサイト探査旅行が、今後のチベット地域での天文サイト調査の本格化の先駆けであると思いたい。また、クリーンテクノロジーとしての天文観測でチベットの文化に貢献できることを切望している。

参考文献

- 1) Sarazin M., et al., 2003, SPIE 4840, 291
- 2) <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>; Surface Meteorology and Solar Energy; Global/Regional Plots
- 3) 本原顕太郎, 宮田隆志, 土居 守, 2004, 「TAO サイト調査 (1)」, 天文月報 97, 530
- 4) 上野宗孝, 1998, 「ヒマラヤは地球最後の楽園か? 究極の天文観測サイトを求めて—ハンレへの旅」, 天文月報 91, 594
- 5) 小倉勝男, 2004, <http://www2.kokugakuin.ac.jp/science/staff/ogu/intro.html>
- 6) <http://www.bao.ac.cn/conference/sitesurvey2004/meeting/home.htm>. 講演内容 HP は, <http://www.bao.ac.cn/conference/sitesurvey2004/meeting/program.htm>

Perspective of Astronomical Site Survey in Tibet

Toshiyuki SASAKI and Naruhisa TAKATO

Subaru Telescope, 650 North A'ohoku Pl., Hilo, HI 96720, U.S.A.

Michitoshi YOSHIDA

Okayama Astrophysical Observatory, 3037-5 Honjo, Kamogata-cho, Asakuchi-gun, Okayama 719-0232, Japan

Abstract: A survey program of an astronomical site around Tibet has started for future large telescopes. Discussions in a site survey workshop held at Lhasa in July 2004 are summarized. An exploration tour around the west Tibet was carried following out after the workshop. We visited and searched around several candidates for astronomical sites. It is shown that Tibet area has a good potentiality for astronomical observations. We emphasize the necessity of the site survey in Tibet.