

極地・寒冷域・僻地の気象観測*

青木輝夫**

1. はじめに

アムンセンが人類で初めて南極点に到達したのは1911年である。そのアムンセンに先を越されたスコットの極点旅行を記録したチェリー・ガラード¹⁾は、その著書「世界最悪の旅」の中で、スコットの極点旅行が単なる冒険でなく、科学的探検を目的としたことを強調している。当時の極域探検でルート上での気象観測は天測による位置決定と共に重要な探検のプロセスかつ目的そのものであったようだ。さて、極地での組織的な気象観測が行われるようになったのは、1958年の国際地球観測年より少し前位からではないだろうか。Liljequist²⁾は南極において1949-1952年の期間に様々な放射観測を行い、積雪面上における短波・長波放射収支に関する基本的な知識を得ている。例えば、雪氷面上で晴天から曇天になるとアルベドが増加する理由は、下向き日射量の波長分布の変化が関係していることを既に指摘している。その後、南極のように厳しい条件下でも精密な放射観測が行われ、Yamanouchi³⁾は日射計の入射角依存性を直達日射計のデータを用いて補正し、アルベドや下向きフラックスの振る舞いについて定量的な知見を得ている。現在では極域と言えども相当精密な観測を行う必要がある。

アムンセンが初めて南極点に立ってから約100年後の現在、雪上車に取り付けられたGPSとレーダーによって正確な現在位置だけでなく、仲間の雪上車の位置や場合によっては目印のドラム缶の位置まで分かるようになった。しかし、極域の自然の厳しさは人間個人にとっては大きく変わらず、また、より緻密な観測

を行うためにはデリケートな測器を持ち込む必要があるため、厳しい自然条件下での観測にはそれなりのノウハウが必要である。私が観測で長期間訪れた極地・寒冷域・僻地は、海外では南極あすか基地、ヒマラヤ山脈のいくつかの氷河、タクラマカン沙漠周辺、アラスカバローなどで、国内では結氷したサロマ湖周辺で長年観測を行ってきた。観測の目的は放射観測、特に分光器や日射計を使った雪氷面の放射観測や積雪観測^{4,5)}である。本解説では、決して論文に載ることのないそのような場所での経験や注意点を、放射観測の立場から述べる。

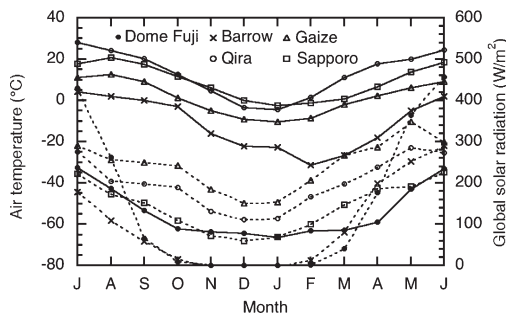
2. 極地・寒冷域・僻地の特徴

極地・寒冷域・僻地の代表的な地点における日平均の気温と全天日射量の季節変化を第1図に示す。極地の特徴としては極夜と白夜である。南極ドームふじとアラスカバローの日射量は冬にゼロとなり、ドームふじの夏には他の地域よりも日射量が多くなっている。これは太陽が沈まないことと、大気と雪面間の多重反射の効果による。バローは5月以降、積雪が融けるため、ドームふじほど日射量が増加しない。極地・寒冷域は当然気温が低く、ドームふじは例外としても、その他の地域でもバローでは分光放射観測に適した4月上旬は、まだ-30°C以下となることがある。反対にタクラマカン沙漠のチーラでは4月中旬に+30°C近くまで気温が上昇する。いずれの場合も野外でバッテリーを使ってパソコンを使用するのは大変である。また、気圧、風、降水量も観測条件として重要である。僻地と呼ばれる場所には、あまり人間が住んでいないが、その理由は気圧が低い、風が強い、雨が少ないなどの厳しい条件が考えられる。特に、ドームふじとチベットのガイゼでは気圧が600 hPa 前後しかなく、それだけで観測地点に到達するまでの高度順化が大変であ

* Field experiment in polar region, cold region, and remote area.

** Teruo AOKI, 気象研究所物理気象研究部,
teaoki@mri-jma.go.jp

© 2007 日本気象学会



第1図 南極のドームふじ、アラスカのバロー、チベットのガイゼ⁶⁾、タクラマカン沙漠のチーラ⁷⁾、札幌における、2003年後半から2004年前半の日平均気温(実線)と日平均全日射量(破線)の月平均値の変化。ドームふじの観測期間は2003年2月から2004年1月で、冬が中心になるように半年ずらしてプロットしている。

る。

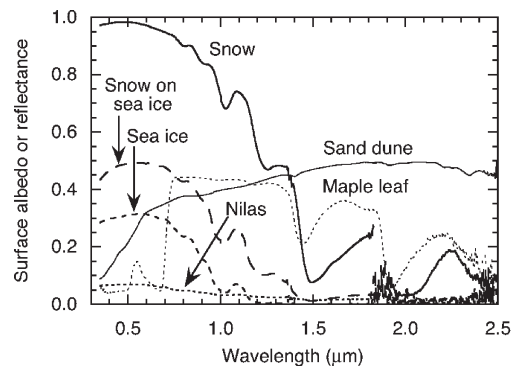
放射観測の立場から見ると、極地・寒冷域・僻地の地表面は測定のがいがある。第2図は分光器によって測定した各地の地表面の波長別アルベドまたは反射率である。雪氷面のアルベドは短波長域では高アルベドと認識されているが、波長 $1.5\mu\text{m}$ 以上の近赤外域では砂丘や楓の葉よりも低い。また、可視域でも海水と積雪では大きく異なる。放射収支にはこのアルベドが重要であるが、衛星リモートセンシングには方向別の反射率が重要で、その観測のために各地へ出かけていく必要がある。

3. 観測の準備

3.1 観測グループの組織化、実施計画書、事務手続き

極地・寒冷域・僻地の観測では、現地で物品の調達が困難なことから、観測が成功するかどうかの半分くらいは準備によって決まるのではないだろうか。個々の観測者はそれぞれの計画書を作成し、観測リーダーはそれらを取りまとめて全体の実実施計画書を作成し、メンバーに周知することが重要である。また、海外で観測する場合には共同研究のカウンターパートと事前に実施計画書を共同で作成する必要がある(大きなプロジェクトの場合には、共同研究の合意文書など、更に前段階の準備が必要)。

観測場所がその国の国立公園や環境保護区域に指定されている場合には、関連機関の許可を得る必要がある。バローで2003年に観測を行ったときには、Atmo-



第2図 分光器で測定した可視・近赤外域における様々な地表面のアルベド及び反射率。Snowはバローの積雪アルベド、Snow on sea iceとSea iceはそれぞれ結氷したサロマ湖のアルベドと反射率、Nilasは結氷後がないサロマ湖の薄氷の反射率、Sand duneは中国タクラマカン沙漠の砂丘のアルベド、Mapleは気象研究所の楓の葉の反射率。

spheric Radiation Measurement (ARM) と Climate Monitoring and Diagnostics Laboratory (CMDL) の両サイトを利用したため、両組織との共同研究の合意文書と、さらに国立公園使用願いの3種類の書類が必要であった。これは国によって大きく異なるので、ロジスティクスも含めて事前に共同研究の相手と十分話し合っておく必要がある。また、取得したデータやサンプルの扱いについても事前の協議が必要である。

3.2 測器の梱包と輸送

国内の観測では2~3週間前、海外では数か月前には測器の梱包と輸送準備に取りかかる必要がある。我々は梱包に折りたたみできる中型のアルミコンテナを主に使用している。その他にもプラスチックコンテナやプラスチック段ボールも使いやすい。頑丈に梱包する必要のある場合は、木枠に入れる。

輸送には意外に時間と経費を取られる。特に、海外に観測機材を送る場合には、通関用の梱包リストの作成、各種免税手続きなどがあり、素人にはできない作業は輸送業者に任せることになる。輸出規制品の場合には許可が必要となり、場合によっては輸出できない装置もある。

航空機を利用してやむを得ず、手持ちで測器を持ち込む場合、超過料金を取られる場合がある。また、税関でも高価な電気製品等に対してデポジットを取られ

ることもある。中国では価格の2倍のデポジットを取られる場合があるので、パソコンを持っていただけで数十万円必要となる。私は中国での観測に分光器を手持ちで持ち込むため、共同研究の相手に、装置の使用目的などを中国語で書いてもらった説明書を持参している。

4. 観測の実施

4.1 ベースキャンプ

観測のベースキャンプは実に様々である。雪上車やテントで寝泊まりすることもあれば、暖房の効いたゲストハウスのこともある。どちらの場合でも個人装備が多すぎると機動性が悪くなるので、極力衣類は少なくすることを心がけている。観測データはできるだけ現地で解析し、精度チェックや装置の動作確認を行うことが必要である。化学分析などの作業が必要ときは、現地には実験室を借りることもある。我々は積雪サンプルを現地で濾過するため、バローでは実験室に濾過セットと電動ポンプを持ち込んで作業した。ネパールの氷河では手動のポンプを用いた。しかし、ベースキャンプに電源がない場所ではバッテリー充電用に発電機が必要となる。

4.2 ロジスティックス

南極観測の場合、必要な個人装備は国立極地研究所から貸与または支給される。また、観測機器以外の現地で必要なロジスティックス（例えば、第3図に示す雪上車や橇（そり）など）は、観測計画を作る段階で担当者と話し合って準備できるため、作業が非常によく組織化されている。しかし、一般には自分たちで準備するか、共同研究相手に準備してもらうことになる。この作業は予算と時間がかかることを覚悟しな

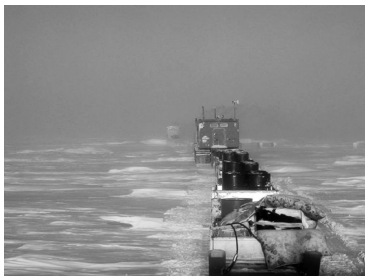
なければならない。ネパールでは山岳ガイドの会社が多くあり、名古屋大学では古くから氷河調査に慣れた会社を利用している。バローでは Barrow Arctic Science Consortium (BASC) という組織が現地で必要なロジスティックサポートを羽绒服から橇、ガイドの手配まで一手に引き受けてくれる。

4.3 現地観測

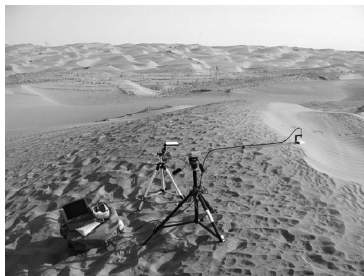
現地観測の方法は、大きく分けて (1) センサーからのデータをデータロガーなどで自動的に記録する方法と (2) 手動、半手動で測器を動かし、その場でデータを記録する方法の2つの方法がある。前者は比較的長期間（連続）の観測に適しているが設置に時間がかかる。後者の方法では設置も観測も短時間で行うため、異なった地点で機動的に観測できるが、連続観測や長期観測には向いていない。自動気象観測装置による観測は前者で、設置作業が現地作業の第一の目的になることが多く、測器の専門家が同行すると作業効率が上がる。無人で測定するときには盗難やいたずらの危険があるため、周囲にフェンスを張ることや現地に監視員を置くなどの対策も必要である。分光器（第4図）による観測は後者で、衛星同期観測の場合には決まった時間で必要な作業をこなす必要があるため、作業手順を十分習熟しておく必要がある。第2図の結果はそのような作業から得られたものである。

現地での機材輸送に橇を使う場合、第3図や第5図のような大小の橇にラッシング（固縛）する技術が必要である。これにはある程度の経験と想像力が必要で、ラッシングがまずいと凹凸のある雪面上に機材をばらまくことになる。

我々の観測では基本的に全ての測器がバッテリーで駆動できるシステムを採用している。バッテリーは低



第3図 大型橇を引く最新型のSM100型雪上車。ドームふじへの旅行に利用されている（45次越冬隊員の佐々木利氏提供）。



第4図 タクラマカン沙漠中心部での分光器によるアルベド観測。



第5図 バローにおける荷物輸送の様子。現地のガイド（左）は背中に北極熊対策の銃を背負っている。

温下では消耗が早いので、寒冷域では長持ちさせるための工夫が必要である。放射観測は大体晴天日に行うため、使い捨てカイロで暖めながら、半透明のプラスチックケースに入れて太陽光に当てると氷点下10°C以上なら問題なく使用できる。それ以下の気温になるとノートパソコンの液晶が見えなくなるなどの問題が出てくるため、パソコンをクーラーボックスで保温する等の対策が必要となる。最近では-30°Cでも駆動可能なサイクロンバッテリーというものもあるが、高価である。反対に、沙漠で気温が30°C近くなると地面温度は40°C以上になり、パソコンのファンが連続運転する結果バッテリーが短時間で消耗してしまう。高温対策は低温対策以上に困難である。

5. 危機管理

現地観測で最も重要なことは、事故を起こさないことである。しかし、極地・寒冷域・僻地は気象条件と地形条件が厳しく、リーダーの判断ミスが大きな事故につながる。極地で怖いのは風で、風が強くなると地吹雪が発生し、視界が効かなくなるため、遭難の恐れがある。その日観測を行うべきか、いつ現場から撤収するかなど、天候判断はリーダーの責任である。沙漠でも砂嵐が発生する危険性があるため、やはり天候判断は重要である。

地形的要因による事故は氷河、氷床、海水など雪氷圏では至る所に危険が存在する。1988年1月13日、私が参加した南極あすか隊はクレバス事故を起こし、3名の隊員が2箇所（クレバス）に転落した⁸⁾。幸い死者は出なかったものの2名の重傷者を出し、9名が内陸域からヘリで救出された。日本でも結氷したサロマ湖で氷が割れて湖に落ちる話はよく聞く。初心者は自分のいる場所が危険かどうかまず判断ができない。ここでもリーダーの責任は重要であるが、個々の観測参加者も決められたルールを守り、基本的に忠実に行動することが重要である。危険な場所で行動する場合は、予めレスキューのための装備を準備する必要がある。

その他、雪上車などの車両の運転中や設置作業中の事故も多い。また、自分だけの注意では防げないこともある。沙漠では現地のドライバーに命を預けるといっても過言ではない。事故が起こった場合にどのように対応するかも考えておく必要がある。中央アジアでは野犬や伝染病体としての予防注射をすることも必要である。野生動物の対策も場所によって必要で、バ

ローでは北極熊に備えてガイドが常に銃を携帯している（第5図）。

6. おわりに

ひとくちに極地・寒冷域・僻地の気象観測と言っても、実に様々な規模や内容があり、こうすればうまくいくというルールはない。しかし、重要な要素としては観測グループのリーダーがグループをどれくらい組織化し、危機管理を行いながら、冷静に観測を進めていくかという点が挙げられる。一方、個々の観測に関しては、十分な準備、経験、そして創造力が大切である。観測が長くなると肉体的な疲労が集中力を低下させる。チェリー・ガラードは述べている。「小屋の中かそのあたりで仕事をしている時に少くくらい怠けたところで、それは文明圏の生活と同じくらいさほどたいしたことはなく、ただ機会をむだにするくらいなものである。しかし、氷原上の橇旅行では、ちょっとした怠慢も一週間の影響を我々に与える」。

謝辞

タクラマカン沙漠とチベットのデータをそれぞれご提供頂いた気象研究所の三上正男博士と萩野谷成徳博士、雪上車の写真をご提供頂いた高層気象台の佐々木利氏にお礼申し上げます。

参考文献

- 1) チェリー・ガラード, 加納一郎訳, 1993: 世界最悪の旅, 朝日新聞社, 991pp.
- 2) Liljequist, G. H., 1956: Norwegian-British-Swedish Antarctic Expedition 1949-52, Scientific Results, vol. 2, part 1, Norsk Polarinstitut, Oslo, 184pp.
- 3) Yamanouchi, T., 1983: J. Meteor. Soc. Japan., 61, 879-893.
- 4) Aoki, Te. *et al.*, 2000: J. Geophys. Res., 105, 10219-10236.
- 5) Aoki, Te. *et al.*, 2003: J. Geophys. Res., 108, 4616, doi: 10.1029/2003JD003506.
- 6) Wang, K. *et al.*, 2005: Bound.-Layer Meteor., 116, 117-129.
- 7) Mikami, M. *et al.*, 2005: J. Geophys. Res., 110, D18S02, doi: 10.1029/2004JD004688.
- 8) 青木輝夫, 2006: セールロンダーネクレバス事故「忘れられない隊長の言葉」, 南極観測隊-南極に情熱を燃やした若者たちの記録-, 南極OB会・観測五十周年記念事業委員会編(共著), 技報堂出版, 262-265.