

大雪山系の風衝地における微気象観測

Micrometeorological Measurements in the Daisetsu Mountains

岩花 剛*
Go IWAHANA*

キーワード：大雪山系・微気象・風衝地・多年凍土・永久凍土

Key words : Daisetsu Mountains, micrometeorology, alpine bare ground, perennially frozen ground, permafrost

著者を含む日本の山岳凍土研究者が、大雪山系の約 2000 m 地点に微気象（地表付近のごく狭い範囲の気象）測定装置を設置した。これまで大雪山系での気象観測は、気温・風速・地温などの断続的な測定に限定されてきた。今回の観測装置の設置により、気圧や雨量などの気象要素の他に、地表面上の風速・気温・湿度の鉛直分布が捕らえられるようになり、放射収支環境や多年凍土の温度環境、土壤水分を含めて通年での自動観測が可能となった。これらの微気象観測について紹介する。

I. 観測の背景

国際永久凍土学会作成の北半球の永久凍土分布地図 (http://nsidc.org/fgdc/maps/ipa_browse.html) によると、日本の位置する経度において日本列島が永久凍土分布の南限であり、その大部分は大雪山系に展開している。日本が位置するような低い緯度に存在する永久凍土は、山岳永久凍土として微妙な地表面エネルギー・バランスの下にその存在を維持しているものと考えられる。つまり、日本の山岳多年凍土は地球規模の温暖化の影響を受けやすい環境に存在すると考えることができる。

永久凍土とは、連続して 2 年間以上 0 °C 以下の温度状態を維持している土壤や岩石のことを指

す。これは英語の permafrost の訳語であると考えられるが、永久に凍結しているかのような誤解を与えるしまう。ここでは、この永久凍土が融解するかもしれない事象を扱うため、旧ソ連邦や中国で用いられている多年凍土という言葉を使用することとする。また、山岳地帯に存在する多年凍土を山岳多年凍土とする。

こうした多年凍土の融解は、山地の地形や生態系を激変させる。実際に、日本と同様、平地に多年凍土を持たず、山岳地帯に広く多年凍土の分布域を持つスイスでは、2003 年の夏にマッターホルンで大規模な山体崩壊が起こり、登山客がヘリコプターで救出されるという事件が発生した。これは、2003 年ヨーロッパを襲った猛暑が山岳多年凍土の部分融解を促進し、山体および岩塊斜面が不安定化したためであると考えられている (Gruber et al., 2003)。日本の山では状況が違うものの、斜面の安定度や登山道の侵食度に山体の凍結・融解作用が大きな影響を与えていると考えられる (Ishikawa et al., 2003)。また、地中の凍結層は不透水層となることから、地表層の水文環境に大きな影響を与える。北海道・大雪山系には広い面積にわたり多年凍土が分布し、その特殊な環境下に多くの稀少な動植物が生息している (小泉・新庄, 1983 など)。

これまで世界の山岳地では、多年凍土の分布や

*北海道大学大学院工学研究科

*Graduate School of Engineering, Hokkaido University

これに関連した地形の分布などの研究が精力的に進められてきた。近年、ボーリング孔での地温モニタリングや平地で行われているような地表面のエネルギー収支観測に準じた微気象観測を行い、山岳多年凍土維持のメカニズムを定量的に解明しようとする試みが始まつつある（例えば、Harris et al., 2001）。一方日本でも、広範囲に多年凍土分布域を持つ大雪山系において多年凍土の地温測定や分布調査が実施されており（福田・木下, 1974; Sone et al., 1988; Ishikawa & Hirakawa, 2000など），これに並行して、山岳気象の観測（山田ほか, 1988；曾根, 1994など）や地形・微地形の研究が行われている（高橋・曾根, 1988；高橋・佐藤, 1994など）。そこでは、必要十分な測器の不足と冬季などの厳しい山岳条件での観測の困難さによって研究の進行が妨げられてきた。しかし、長期的な山岳環境の変動や山岳多年凍土の安定性を定量的に議論するためには、さらに測定項目を加え、長期的に安定して測定を行える観測システムの構築と設置が不可欠である。

II. 研究の目的

上記の背景の下、大きく分けて二つの目的を持って今回の微気象観測システムを設置した。一つは、地球環境の監視である。地球環境変化の影響を敏感に受ける山岳多年凍土上での微気象や地中環境モニタリングはヨーロッパ・アルプスで近年さかんに行われるようになっているが、今回設置された観測システムによって、日本での山岳環境変化の把握に重要な役割を果たすことが期待される。得られたデータによって、空間的な凍土の分布を推定するための基礎情報が与えられ、大雪山系の山岳多年凍土がどのようなエネルギーバランス上に維持されているのか？ 生態系にとっての多年凍土の役割は？ 長期的な山岳多年凍土の状態変化は？ といった課題の解決に必要な客観的事実が与えられることになる。二つ目の目的は、登山者にとっての山岳環境情報の取得である。高山帯で登山者が晒される気象条件をより具体的に把握することによって、より安全に登山を実施するための情報を提供することができる。逆に、登山者が自然に与える影響として登山道の侵食過程を考える場合、自然環境による侵食要因を登山者

自身の歩行による人為的要因から分離して考える際に必要な情報の取得も可能である。

III. 観測内容と現状

観測システムの設置場所は、登山道から十分に離れた北海平の東に位置する五色岳付近の台地である（図1, 写真1）。この台地はほぼ平坦で、卓越風方向に300~400 m の吹走距離をとることのできる、微気象観測に比較的適した場所である。システムの設置地点は五色岳から北東に約400 m の標高2015 m の地点である。

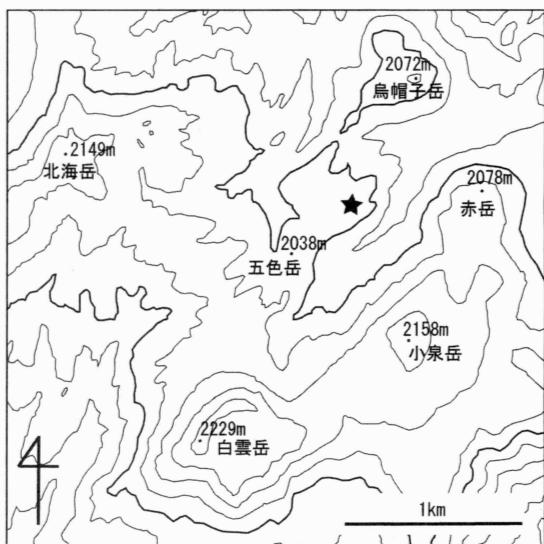


図1 微気象観測システムの位置(星印)。等高線は50 m 每



写真1 観測地(約500 m 西から撮影)。背景の山は烏帽子岳

設置済みの測器及び今後、設置予定の測器の一覧を表1に示す。また、写真2は、観測システム全体の近影である。放射量は4成分（短波・長波それぞれ下向きと上向き）の測定が可能な放射計を使用した。風速計と温湿度計は最終的に4mまで4高度に設置し、高度分布を捕らえられるシステムを構築する予定である。

図2はサーミスタセンサを用いて作成した地温計による2005年9月30日の測定結果である。図2からわかるように一年のうちもっと多くの熱量が地中に蓄えられていると考えられる9月下旬においても0℃以下の地層が存在し、多年凍土が深くまで存在しているようである。多年凍土帯において凍結・融解を繰り返す地表層を活動層と呼ぶが、この厚さは1.2~1.3m程度であることがわかる。活動層の体積含水率は8深度で計測をはじめ、地中の熱と水の動態を同時に検討することが可能となった。風については、西または南西の風向が卓越し、30分間の平均風速で5~20m/sの強風が吹きつけていることがわかった。

IV. 今後の課題

欧米では、高山帶に設置された気象観測装置からのデータを無線で町の基地まで送信し、インターネットのサイトで逐次公開している研究組織がいくつか見られる（例えば、アラスカ大学 <http://www.uaf.edu/water/projects/champ/mccall/ahab/current.html>）。これは学術研究における山岳気象のデータ利用のみならず、登山者がより安全に山登りを楽しむために欠かせない情報を公開するためである。大雪山系においても同

様の情報公開システムの構築を検討していくたい。

今回の観測システム設置に際して、なるべく多くの人たちに研究の目的と意義を伝えてきたつもりであるが、まだ不十分であることは否めない。一般の登山者・国立公園の管理者・自然保護団体・研究者などすべての関係者にとって有用な観測体制を議論の上、進展させていく必要があると思われる。

極地での観測技術の発展に伴い、大雪山系のみ

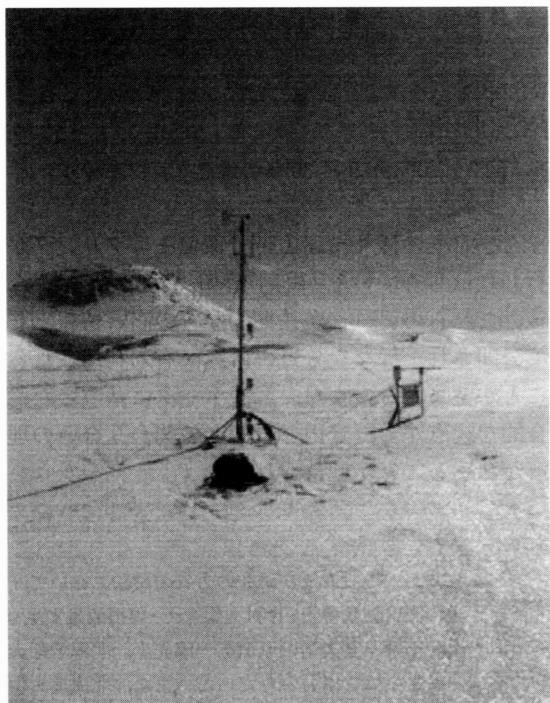


写真2 観測システム近影。背景の山は白雲岳

表1 観測システムを構成する測器の一覧

測器	モデル	製造元	測定高度	記録間隔
放射計	CNR-1	Kipp & Zonen	1m	30分
雨量計	52203	R. M. Young	1m	30分
風向・風速計	05103-47	R. M. Young	4m	30分
地温計	自作（サーミスタ）		15深度 1点	30分
土壤水分計	Enviro Smart	Sentek	8深度 1点	12時間
温湿度計	HD9009TR-5	Delta OHM	3高度	30分
熱流板	PHF-01	Hukseflux	10cm深×3点	30分
風速計（予定）	03101Y-5	R. M. Young	2高度	30分

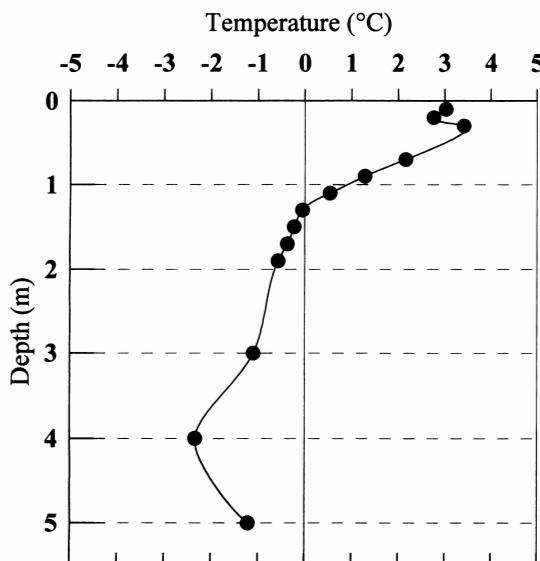


図2 2005年9月30日の地温プロファイル。

ならず日本の様々な高山帯で環境モニタリングが行われはじめている(飯島・篠田, 2003など)。今後、これらのデータが長期的な質の高い情報として公開され、様々な分野の研究に有効利用されることが望まれる。また、客観データに基づいた総合的な視点から、登山と自然との関わり合いの理解が深まることが期待される。

謝辞

本観測システムの設置及び研究の方針の議論において、北海道大学の澤田結基博士・片村文崇博士・曾根敏雄先生・石川守先生、宮城県立大学の原田鉱一郎先生、北海学園大学の高橋伸幸先生にご協力いただいた。また、北海道大学低温科学研究所のリーダーシップ経費制度及び日本科学協会より研究資金の援助を得た。ここに感謝の意を示す。

参考文献

- 飯島慈裕・篠田雅人(2003)：中部日本山岳地域の気候環境の形成に果たす大気—陸面の熱・水循環過程。地学雑誌, 112(3), 419-422.
- 小泉武栄・新庄久志(1983)：大雪山永久凍土地域の植物群落。日生態会誌, 33, 357-363.
- 曾根敏雄(1994)：北海道、大雪山白雲小屋における1990-1993年の気温観測資料。低温科学・物理篇, 53(A), 33-50.
- 高橋伸幸・曾根敏雄(1988)：北海道中央高地、大雪山平ヶ岳南方湿原のパルサ。地理学評論, 61A(9), 665-684.

高橋伸幸・佐藤謙(1994)：高山風衝砂礫地にみられる冬季卓越風指標としての“しつぼ状”植生。季刊地理学, 46, 136-146.

福田正己・木下誠一(1974)：大雪山の永久凍土と気候環境(大雪山の事例とシベリア・アラスカ・カナダとの比較を中心としての若干の考察)。第四紀研究, 12(4), 192-203.

山田知充・菊池時夫・金田安弘(1978)：大雪山における積雪期の気象観測資料(1977-1978)。低温科学・物理篇, 36-37(A), 11-24.

Fukuda, M. and Kinoshita S. (1974): Permafrost at Mt. Taisetsu, Hokkaido and its climatic environment. *The Quaternary Research*, 12(4), 192-202.

Gruber, S., Hoelzle, M. and Haeberli W. (2004): Permafrost thaw and destabilization of Alpine rock walls in the hot summer of 2003. *Geophysical Research Letters*, 31(13), L13504.

Harris, C., Haeberli, W., Vonder Muhll, D. and King L. (2001): Permafrost monitoring in the high mountains of Europe: the PACE Project in its global context. *Permafrost and Periglacial Processes*, 12(1), 3-11.

Ishikawa, M. and Hirakawa, K. (2000): Mountain permafrost distribution based on BTS measurements and DC resistivity soundings in the Daisetsu Mountains, Hokkaido, Japan. *Permafrost and Periglacial Processes*, 11(2), 109-123.

Ishikawa, M., Fukui, K., Aoyama, M., Ikeda, A., Sawada, Y. and Matsuoka, N. (2003): Mountain permafrost in Japan: distribution, landforms and thermal regimes. *Zeitschrift Fur Geomorphologie*, 47, 99-116.

Sone, T., Takahashi, N. and Fukuda M. (1988): Alpine permafrost occurrence at Mt. Taisetsu, Central Hokkaido, In Northern Japan. in *Permafrost, proceedings of fifth international conference on permafrost*, 253-258, Taipir Publishers, Trondheim.