

大雪山系における永久凍土観測 —2005～2010 年—

岩花 剛（北海道大学），澤田結基（福山大学），片村文崇（特殊高所技術），
石川 守（北海道大学），曾根敏雄（北海道大学）

1. はじめに

日本の位置する経度においては日本列島付近に永久凍土分布の南限があり，永久凍土の大部分は大雪山系に展開している．近年では Sone (1992)¹⁾や Ishikawa and Hirakawa (2000)²⁾によってその空間分布が論じられている．地中の凍結層は難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．しかし，地球規模の気候変動が日本の凍土状態や高山帯生態系，高山地形へ与える影響についての知見は非常に限られている．山地の生態系は，気温の上昇や降水量の変化に伴う地中の物理的変化に強く影響を受けるが，特に土壌の凍結融解（季節凍土）や多年凍結による不透水層の存在（永久凍土）がしばしば重要となる．

我々は，大雪山系の永久凍土の現状把握とその長期的変化のモニタリングを目的として観測をはじめた．ここに 2005～2010 年の約 5 年間の観測結果を報告する．

2. 研究の方法

調査域は，北海道・大雪山系中央部，五色岳から平ヶ岳南部，標高 1600～2200 m の山頂域である（図 1）．観測システムの設置場所は，以下の 4 サイトである．

〈G サイト（五色岳サイト）〉

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 2）．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が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 200 m の標高 2035 m の地点である．2005 年より 4.5 m 深までの地中を含む微気象の観測を開始した（Iwahana et al., 2008）³⁾．また，2009 年 9 月には，国内の永久凍土観測孔としては最深のボーリングを行い，土壌サンプリングの後，10 m の地温モニタリングを開始した．

〈K サイト（小泉岳サイト）〉

小泉岳（2158 m）の頂上付近に設置したサイトである．1970 年代から福田・木下（1974）⁴⁾によって永久凍土の存在が報告された場所である．2008 年 5 月より地温の観測（2.3 m）を開始した．

〈H サイト（白雲岳サイト）〉

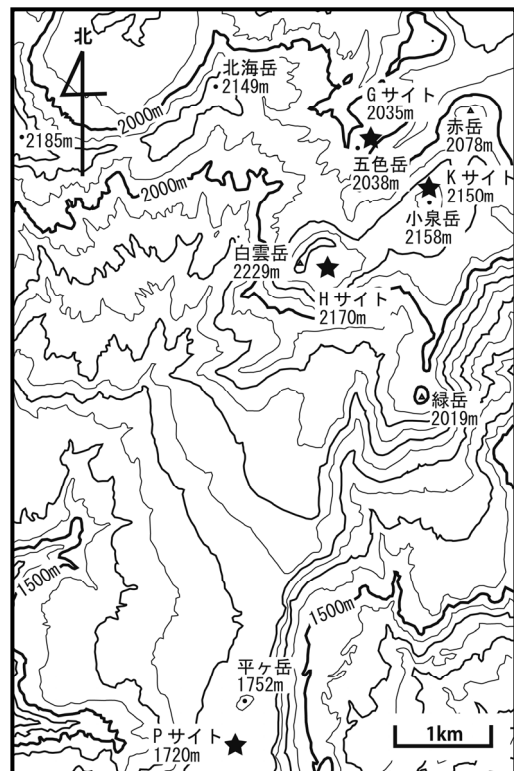


図 1 調査地の位置図．等高線の間隔は 50 m.

白雲岳 (2229 m) の火口内に設置したサイトである。融雪直後、火口に一時的な湖が現れ、凍土の融解進行に伴って数日中に湖水が排出される現象が見られる。2008 年 7 月より地温観測 (3.45 m) を開始した。

〈P サイト (パルササイト)〉

平ヶ岳 (1752 m) の南方に存在する日本で唯一確認されているパルサ湿原 (高橋・曾根, 1988)⁵⁾ に設置したサイトである。対象 4 地点の中では最も標高が低い永久凍土が確認されている。2008 年 9 月より地温測定 (1.54 m) を開始した。

G サイトおよび K サイトの地温測定には市販のサーミスタ (104ET, 石塚電子) を用いた自作のプロブを検定して使用した。地温プロブは, 0 °C の氷-水恒温槽中にて 0.02 °C の精度で検定し, -20 ~ 30 °C における確度は ± 0.09 °C 以下である。測定深度は, G サイトにおいて 4.50 m までの 14

深度, K サイトにおいて 2.30 m までの 10 深度である。土壌水分の測定は EnviroSMART センサー (Sentek) を用いた。これらのサイトでは, 10 秒毎に測定し, 30 分間平均として記録した。測定及びデータ記録には CR1000 および CR10X データロガーとマルチプレクサ (Campbell Scientific, Inc.) を用いた。

G サイトの 10 m ボアホールでの地温測定・記録には, 10.0 m までの 11 深度, H サイトで 3.45 m までの 8 深度, P サイトで 1.54 m までの 4 深度の地温測定を他のサイトと同様に校正を行ったサーミスタ (TMC-HD) を用いて U12-008 ロガー (Onset 社) で 1 時間毎に計測と記録を行った。

3. 結果と考察

① 10 m ボーリングと地温測定

大雪山系の山頂部では, 活動層と永久凍土上層部の温度観測が継続されているが, 永久凍土層の底面深度はわかっていない。活動層とは, 永久凍土帯において季節的に凍結・融解を繰り返す地表層のことである。これまでに, 物理探査によって永久凍土層の下限は 8 ~ 9 m と見積もられている (Ishikawa and Hirakawa, 2000²⁾, Fukuda and Sone, 1992⁶⁾)。また, 我々の 4.5 m 地温観測からも 10 m 程度掘ると永久凍土層下限深度の見通しがつくと考えられた。1 年間の地温測定の結果, 10 m 深でもなお, 温度的に安定した永久凍土が存在することが判明した (図 3)。1 m 深から最深部 10 m までの年平均地温は,



図 2 五色岳サイト。左手奥は白雲岳。

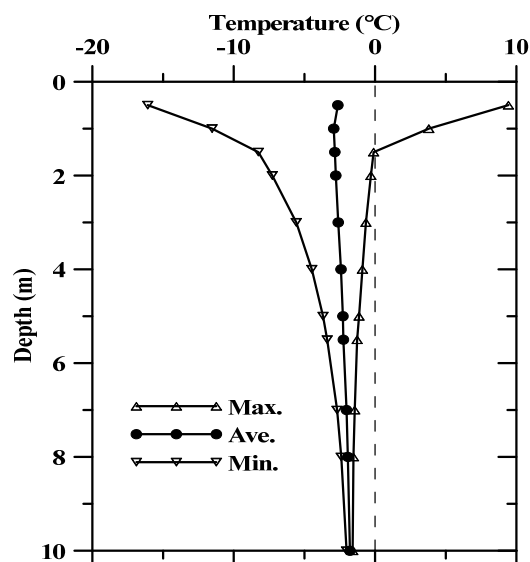


図 3 五色岳サイトにおける 2009 年 10 月 15 日から 2010 年 9 月 14 日までの 10 m 地温プロファイル (Max. : 最大値, Ave. : 平均値, Min. : 最小値)。

-2.93℃から-1.78℃まで一意的に上昇した。調査地の年平均気温が-4℃前後であることを考えると、長期的にはこの場所での永久凍土が成長中である可能性がある。また、約8m深においては斜めに入った亀裂を透明な氷が埋めていた(図4)。こうした地下水を用いた地球化学的手法による山頂部の古環境復元が期待される。

また、8~10mの深い部分の地温プロファイルを外挿すると、永久凍土層は考えられていたよりもさらに深く30~40mとなる可能性が示された。近年の気候変動がこの山岳永久凍土の消長に与える影響が注目される。

② 5年の観測から示された地中環境の変化

Gサイトでは、2005年の秋以降5年間にわたり活動層厚が1.2~1.5mの変動幅を記録した(図5)。シベリアなどの永久凍土帯でシルト質土壌の場合の活動層厚変動幅に比べると0.2m程度大きな変動幅である。これは、本観測地の土壌が火山灰で構成され非常に透水性のよい活動層を形成しており、単純な熱伝導以外に融雪水や雨水の浸透による熱輸送によって活動層厚が影響を受けているためと考えられる。活動層厚が5年間で一意的な変化を見せず、変動したのに対して、永久凍土上層の温度は徐々に温暖化傾向を示した。これは冬期に4m深の地温が-3℃以下となる期間が短くなっていることから明らかである(図5)。

Gサイトの他に3箇所にて1.6~3.5mまでの地温変化を観測し、永久凍土の存在を確認した。これまでの3~5年間の地温観測からは、季節的最大融解深が2010年に最大となり深部の永久凍土温度は昇温傾向を示した。この地温の短期的温暖化傾向は、4調査サイトで共通していた。

山地山頂部としてははじめて、土壌水分プロファイルの連続データも得られた。Gサイトにおける1.2m深までの土壌水分変化は、2005~2009年までは、地表面の融解が始まる5月から融解深が0.6m程度となる6月にかけて0.2~0.6mの表層部分が30%を超える高含水率で維持される傾向を示し、7月以降は融解深の増加に伴って高含水層が活動層深部へと移動した。7月以降においても降雨イベントのたびに地表層まで高含水層となり、降雨後2~3日で再び0.5mより浅い層が乾燥化することが観測された。2010年融解期の土壌水分プロファイルの変化は他の年と明らかに違い、融解期間を通じて1.2m深までの全層が35%から飽和状態に近い高含水率で推移した。2010年夏期は、北海道の山岳観測史上最高の気温と最大の降雨量を観測した。その結果、観測期間で最大の融解深を記録し、土壌水分が極めて高い状態に保たれたと考えられる。積算暖度は、2009年まで968~1121 degree-day℃の値を示していたが、2010年の値は約30%も大きい1301 degree-day℃であった。こうした大きな活動層の増加、土壌水分の変動やその周期が特異なものであるか否かを長期的に観測して判断する必要がある。



図4 五色サイト10mボアホールの約8m深で採取された凍土コア。斜めに走る割れ目は透明の氷で充填されていた。

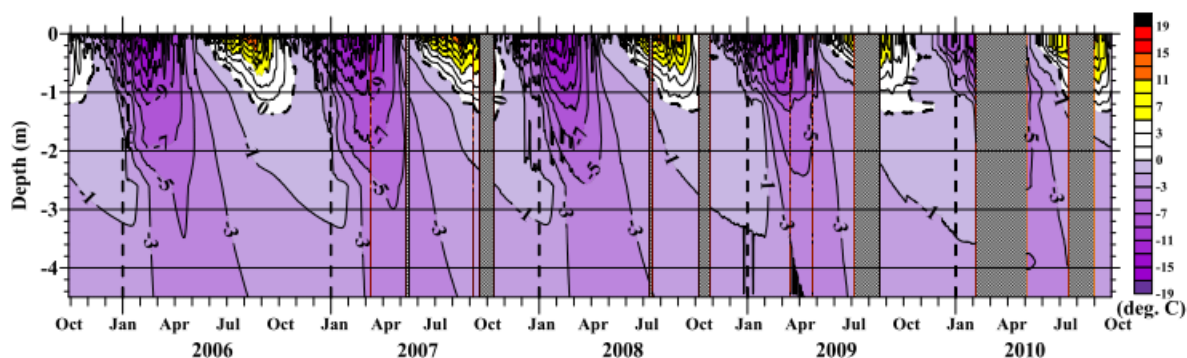


図 5 五色岳サイトにおける 4.5 m 深までの地温プロファイル変化. 実線の等温線は 2 °C 間隔, 破線の等温線は 0 °C を示す. 白色から暖色部は正の温度域, 寒色部は負の温度域である.

4. おわりに

本研究によって, 調査地の微気象的特徴は降水量が非常に大きく, 活動層厚の年々変動が激しいことを除いて北極域のツンドラに似た環境であることが示唆された. 気候変動の影響を受けやすい北極域のアナロジー観測サイトを国内に持つことの意義は大きい. この観測システムを維持し, 長期的に運用することによって生態学的研究の基礎データを提供するのみならず, 登山の安全や地球温暖化の監視塔として応用していきたい.

【参考・引用文献】

- 1) Sone, T., 1992: Permafrost environment of the daisetsu mountains, hokkaido, japan. *Permafrost and Periglacial Processes*, **3**, 235-240.
- 2) 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.
- 3) Iwahana, G., Sawada, Y., Ishikawa, M., Katamura, F., Sone, T., Sueyoshi, T. and Harada, K., 2008: Micrometeorological measurements on mountain permafrost in the daisetsu mountains, hokkaido, japan. *Ninth International Conference on Permafrost Conference, Location, Institute of Northern Engineering University of Alaska Fairbanks*, 809-814.
- 4) 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.
- 5) 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*, **61** (A), 9, 665-684.
- 6) Fukuda, M. and Sone, T., 1992: Some characteristics of alpine permafrost, mt-daisetsu, central hokkaido, northern japan. *Geografiska Annaler Series a-Physical Geography*, **74**, 2-3, 159-167.