

岩塊斜面の空気対流を示す積雪構造 —北海道中央部、然別火山群山城の例—

澤田 結基 (北海道大学大学院地球環境科学研究科)

1. はじめに

風穴とは、夏から秋にかけて冷たい風を吹き出す穴のことで、北海道では道東地方を中心に、数多く存在することが知られている(例えば志保井, 1974; 高橋ほか, 1991). 北海道に分布する風穴のほとんどは、マトリックスを欠く礫質な堆積物に覆われた「累石風穴」と呼ばれるもので、粗大な岩塊が堆積した岩塊斜面に分布している。風穴が生じる最も大きな要因は、礫層の空隙と外気の温度差である。冬は外気温に比べて岩塊斜面の地下に広がる空隙の温度のほうが高い。そのために空隙内部の空気は浮力によって上昇し、斜面上部の「温風穴」と呼ばれる穴から放出される。いっぽう斜面下部では、吹き出した空気を埋め合わせるために、外気が地下に侵入する(補償流)。この空気対流が冬の間続いたために、斜面内部は効率的に冷却される(Tanaka et al., 2000)。春になると融雪水が地下に流れ込み、再結氷して地下水が成長する。夏の冷風は、地下水によって冷やされた空気が吹き出すために生じると考えられている(Tanaka et al., 2000; 澤田・石川, 2002)。

北海道の風穴では、地下水が越冬するために局地的な永久凍土が保存されるところがある(例えば Sawada et al., in press; 澤田・石川, 2002)。

岩塊斜面には地下の空隙につながる無数の隙間が存在し、それぞれが風穴の出口、または補償流の入り口となりうるが、従来の研究では、空気対流の構造を考えるうえで重要な通気口の分布が記載されることは少なかった。北海道のように、一般に厚い積雪に覆われる地域では、岩の隙間の大部分は積雪に蓋をされており、冬季の通気口は限られた場所に出現すると考えられる。そこで本研究では、空気対流の入り口、および出口を示唆する積雪の特徴を明らかにし、積雪に覆われた岩塊斜

面でのどのように空気対流が生じているか検討することを目的とする。

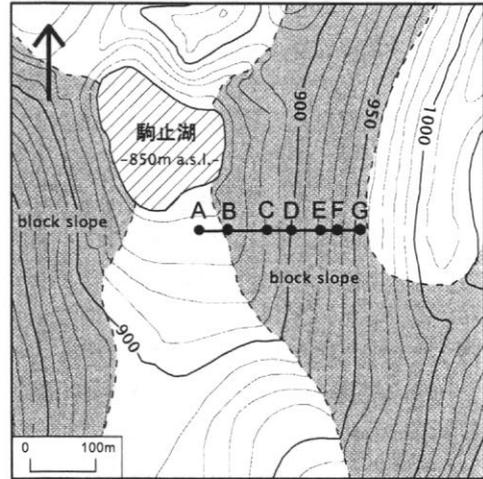


図1 岩塊斜面の範囲と観測点の配置

2. 観測内容

観測地域は、然別湖の南側に位置する東ヌブカウシヌプリの西向き斜面である。この斜面は粗大な礫に覆われる岩塊斜面になっており、斜面下部には風穴が分布する。この斜面の縦断面方向に地温観測点(斜面下方から上方に B~G)を設定し、地表面付近に小型の防水温度ロガー(ティアンドデイ社製, TR-51A)を埋設した(図1)。観測点 A は、岩塊斜面からはずれた場所にあるコントロールサイトである。ロガーは2001年10月28日に設置し、2002年6月6日にデータ回収を行った。2002年1月16日、これらの地温観測点において積雪断面観測を行った。

3. 観測結果

3-1. 積雪の形態と層構造

図2に、地点 A~G における1月16日の積雪断面、および積雪底の温度を示す。積雪は薄いところで50cm (E,G)、最も厚いとこ

るで 98cm (D) であった。得られた積雪断面を比較すると、各観測点の間で、しもざらめ雪の層厚に大きな違いが認められる。観測点 A,E,G では積雪の半分以上をしもざらめ雪・こしもざらめ雪が占め、積雪底の温度はほぼ 0°C であった。いっぽう B,D,F では、しもざらめ雪は積雪底付近にわずかにあるのみで、積雪のほとんどをしまり雪・こしまり雪が占めていた。積雪底の温度は非常に低く、3 地点とも -7°C を下回っていた。B,D,F と同様に積雪底温度が低い C では、しもざらめ雪が全く認められず、積雪のほとんどがしまり・こしまり雪であった。積雪底温度としもざらめ雪層厚の間には、よい相関関係がある (澤田・石川, 2002)。本研究の観測結果でも積雪深にややばらつきがあるものの、図 2 に示すように、積雪底温度が低いところではしもざらめ雪の成長が抑えられる傾向がみられる。

観測点のうち、C,D 付近には、積雪に直径約 50cm 程度の穴が開いていた (図 3)。この穴は地下の岩塊層空隙とつながっており、岩塊層空隙には新雪の粒子がわたぼこりのように吹き溜まっていた。この穴は、観測地に生息するエゾナキウサギの通り道になっているらしく、穴の奥から雪面まで小さな足跡が続いていた。いっぽう、斜面最上部の観測点 G では、C,D 付近の穴とは様子の異なる穴が見いだされた (図 4)。こちらの穴は直径 20cm 程度と小さく、穴の周縁部にはしもの発達を認められた。この穴の周辺を掘ってみると、積雪底部が融解して空洞ができており、生暖かい空気に満たされていた。空洞の雪壁は融解しており、壁は濡れたざらめ雪によって形成されていた。G に見いだされた空洞は、斜面空隙の空気が浮力によって上昇し、外に流出する「温風穴」であると考えられる。

3-2. 地温観測結果

図 5 に、各観測点における 2001 年 11 月 1 日から 2002 年 5 月 31 までの地温観測結果と、近傍で観測している気温測定データより気温減率 0.6°C/100m を用いて算出した観測地の日平均気温を示す。地温観測結果より、観測

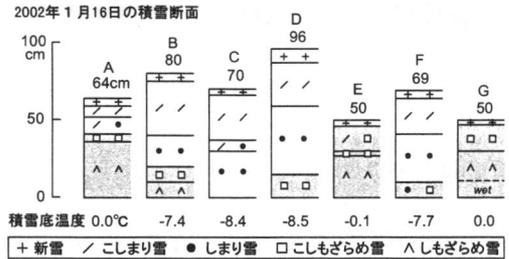


図 2 積雪断面構造の観測結果(2002年1月16日)。灰色はしもざらめ雪・こしもざらめ雪が多い部分を示す。

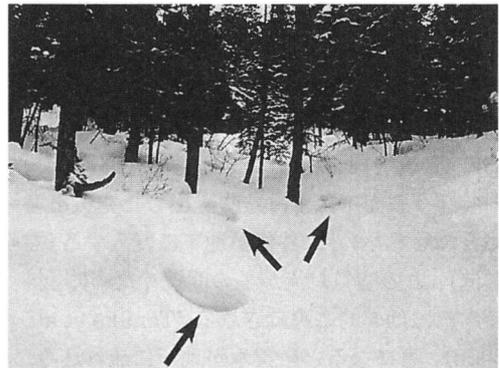


図 3 C,D 付近に見られる通気口 穴の奥には新雪の堆積が認められた。

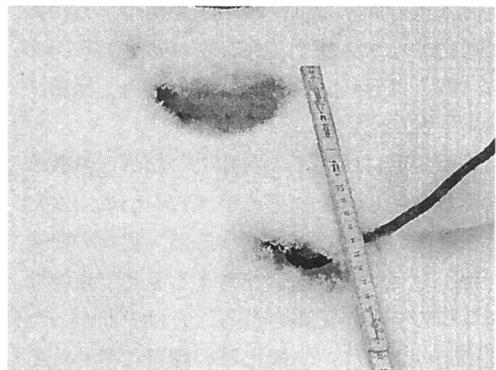


図 4 G 付近に見られる通気口。穴の周縁部にしものが発達する。内部の温度は 0°C を上回ることから、温風穴と考えられる。

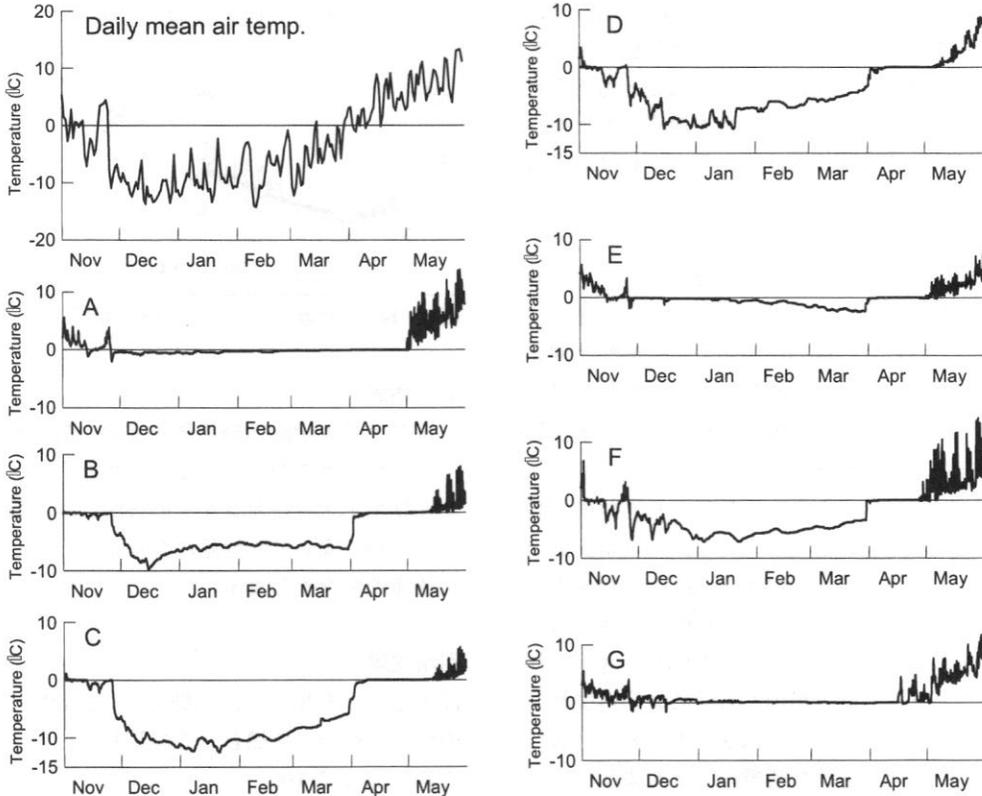


図5 各観測点における2001年12月～2002年5月の地温と、観測地の気温変化
 観測地の気温は、西に1km離れた西ヌブカウシヌプリの標高1160m地点における気温データより、気温減率0.6°C/100mを用いて算出した。

地では1月下旬に積雪が付きはじめ、4月上旬に融雪が始まったと考えられる。1月16日における積雪底温度測定と同様に、A,E,GとB,C,D,Fの間で地温変動パターンに大きな差が見られる。岩塊層が存在しないコントロールサイトのAでは、冬の地表温度はほぼ0°Cで一定である。Eの地温は、0°Cからゆるやかに低下し、融雪直前には-2.4°Cまで下がった。岩塊斜面最上部に位置するGでは、12月には約1°C、1月には0.5°Cと0°Cを上回る地温が記録され、融雪まで氷点下になることはなかった。Gにおける観測結果は、岩塊斜面最上部に温風の吹き出し口が存在することを示唆している。いっぽう、岩塊斜面末端部のBでは、12月中旬まで気温変化を追従した後、一転して緩やかな上昇を開始し、1月中旬から融雪までは、-5～-6°Cの間

で安定して推移した。この地温変化は、恐らく12月中旬にまとまった降雪があり、それまで外気が侵入していた通気口がふさがれたためと考えられる。いっぽうC,D,Fの地温変化は明らかに気温の変化に追従しており、外気が地下に侵入する通気口が近くに存在することを示唆している。現地観察では、C,Dにおいて積雪に穴が開いていた(図3)。この穴が通気口の役割を果たしていると推測される。

4. 考察

しもざらめ雪は、積雪層内部の温度勾配が十分に大きいとき発達する。積雪の温度勾配(dz)は、大局的には気温と地表温度の差、および積雪深に支配される。観測地の標高差は約100m程度であり、気温条件にはほとんど差がないと考えられる。したがって、澤田

ほか(2002)が考察したように、B,C,D,F では積雪底の地温が低いために温度勾配が小さく、しもぎらめ雪の成長が抑えられると考えられる。図5によると、C,D,F の地表面温度は、外気の影響を強く受けている。これは、図3のような穴が通気口になり、外気が侵入しているためと考えられる。

観測地は針葉樹の高木に覆われるため、風の影響を強く受けない。したがって、積雪に開いている穴は風的作用によって偶然に開いたものではなく、岩塊斜面が自ら外気を吸い込むために開いたと推測される。この不思議な現象は、補償流で説明可能である。すなわち、図6に示すように、外気より相対的に暖かい地下空隙の空気が上昇し、岩塊斜面最上部のG付近から放出される。Gから吹き出した空気を穴埋めするための補償流が発生し、斜面の各所に入気口が形成されると考えられる。入気口では雪が積もらずに吸い込まれてしまうため穴が開く。C,D付近の穴(図3)の奥で見いだされた新雪の吹き溜まりは、吸い込まれた雪が堆積したものと考えられる。

以上の考察から、C,D,Fでは入気口が近くに存在するために、外気の影響を受けて地温が低くなると考えられる(図6)。いっぽうBでは、12月中旬以降、地温が気温変化に追随しなくなり、ほぼ一定で推移するようになった。これはおそらく、12月中旬まで存在した通気口がその後の降雪によって蓋をされ、機能しなくなったためと考えられる。このような差が生じる要因を検討する十分なデータはないが、おそらく、粗大な岩塊による凹凸微地形や倒木などによって積雪深に違いが生じるためと推測される。

6. おわりに

然別火山群の岩塊斜面において地温と積雪断面の観測を行った。その結果、岩塊斜面に発達する累石風穴における空気対流の入気口と排気口(温風穴)を確認することができた。今後は観測を斜面の横断面方向に広げて、地形と空気対流の関係を明らかにしていきたい。

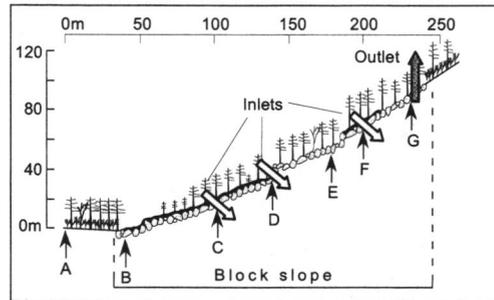


図6 観測点付近に生じる空気対流の模式図

5. 謝辞

筑波大学大学院地球科学研究科の池田敦氏には、現地調査を手伝っていただきました。然別湖ネイチャーセンターの皆様には、観測中の滞在に際してお世話になりました。ここに感謝の意を表します。

引用文献

- 澤田結基, 石川 守, 小野有五 (2002): 冬季地温推移の一指標としてのしもぎらめ雪. 雪氷 64:185-190
- 澤田結基, 石川 守 (2002): 北海道中央部, 西ヌプカウシヌプリにおける岩塊斜面の永久凍土環境. 地学雑誌 111 (印刷中)
- Sawada, Y., Ishikawa, M. and Ono, Y. (accepted): Thermal regime of sporadic permafrost in block slope in Mt. Nishi-Nupukaushinupuri, Hokkaido Island, northern Japan. Geomorphology
- 志保井 利夫 (1974): 北海道常呂郡留辺蘂町, 温根湯つつじ山の風穴について. 地学雑誌 83:89-102
- 高橋修平, 榎本浩之, 沢田正剛, 百武欣二, 安達 寛, 福田正巳 (1991) 北見地方置戸町に見られる氷穴の観測. 北海道の雪氷 10:28-31
- Tanaka, H.L., Nohara, D., Yokoi, M. (2000): Numerical simulation of wind hole circulation and summertime ice formation at Ice valley in Korea and Nakayama in Fukushima, Japan. Journal of the Meteorological Society of Japan 78:611-630