

富良野市近郊にある風穴の分布とメカニズムについて

北海道富良野高校科学部
 発表者 鈴木 勲 (3年)
 研究者 若佐 雄太 (2年) 嶋田 愛 (2年)

1. はじめに

私たちは昨年度から富良野市近郊の風穴地の調査を行い、その地域における植生や冷風の吹き出しについてまとめた。植生についてはコケモモなどの高山植物が出現すること、風穴に関しては山の中腹と頂上付近に2つの穴があり夏は下の穴(下部風穴)で冷たい空気が吹き出し、冬には上の穴(上部風穴)から暖かい風が吹き出すことを見出した。今回は新たに発見した風穴も含め秋から冬、春、夏と1年を通して調査し、風穴ができる地質、地形的な条件、上部風穴・下部風穴間の空気の移動、冷風発生の原因について調査を行った。

2. 調査地の概要と調査方法

(1) 調査地について

今回の調査は、昨年度から断続して布部、扇山、今年度新たに発見した0号、鳥沼の4カ所の風穴地とその周辺で行った。それぞれの標高については、布部(360m)、扇山(300m)、0号(300m)、鳥沼(190m)だった。

(2) 調査期間と調査項目、調査方法について

(a) 野外調査期間は、昨年度1999年3月29日～1999年9月3日まで24回、今年度は1999年10月6日～2000年9月3日までは40回、休日、放課後、夏休みや冬休みを利用して調査した。

(b) 調査方法について

- ① 自動温度記録機(おんどとり)を使い風穴の温度、湿度のデータを15～20分間隔で集めた。測定日数はのべ860日、測定回数90188回に及んだ(測定内容を表1に示した。)集めたデータをパソコンで吸い上げ、グラフに読みだし解析した。
- ② 上部風穴、下部風穴で風の移動が見られたときは、風速計で風の吹き出し・吸い込み速度を測定した。
- ③ 赤外線センサーを用い風穴地におけるさまざまな場所の地表面の温度を測定した。
- ④ 風穴地周辺の湧水の温度を測定した。
- ⑤ 風穴のメカニズム再現するために風洞実験器を用い風穴装置を製作し冬に風の温度を測定した。
- ⑥ 地質図・地形図を読み取り、現地調査から風穴の成立条件を探った。

2. 結果と考察

(1) 風穴が成立する条件とは？

富良野市周辺に出現する風穴は、共通するある一定の条件をもっている。風穴はどれも、富良野市から北東に位置する麓郷～八幡丘の台地の西端に分布している(図-1参照)。この台地は、今から140万年

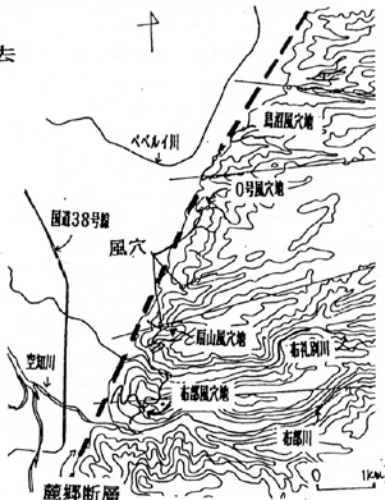


図-1 調査地の概要

調査地	内容	記録期間(全記録日数)	
布部	上部風穴 (+温度)	'99.9.21-10.5・10.20-'00.3.10 '00.3.13-7.11・8.19-8.30(294日)	
	下部風穴 (+外気温)	'99.7.2-7.19・7.28-8.16 '99.11.22-12.19・'00.7.28-8.16 '00.8.19-8.30(99日)	
	地中温 (+外気温)	'99.7.2-7.19・7.17-7.19 '99.7.19-7.22(24日)	
	扇山	上部風穴 (+外気温)	'00.5.9-5.26(18日)
扇山	下部風穴 (+外気温)	'99.6.14-6.30・7.2-7.19・8.27-8.28 '99.8.31-9.3・'00.6.1-6.24 '00.5.9-7.11・7.28-7.30(132日)	
	地中温 (+外気温)	'99.8.3-8.6・8.27-8.28・8.27-8.29 '99.8.29-8.31・'00.7.28-7.30(14日)	
	0号	上部風穴 (+外気温)	'00.11.5-12.6(32日)
	地中温 (+外気温)	'00.5.31-7.26(57日)	

表-1 自動温度記録機

前(文獻②)の十勝火砕堆積物で構成されている。岩質は溶結度が低く、多孔質な溶結凝灰岩である。合地の西端は北北東-南南西方向に直線的に切れている(図-1の点線)。これは麓断層とよばれるもので富良野盆地との断層変位は200~300mもあるといわれている(文獻⑤)。風穴は断層崖の斜面で、河川によって削られた南西側の方向に位置している。模式的に表すと図-2のように南西方向の尾根筋にあたる。実際私たちは布部と扇山の風穴地の共通性から類推し、0号、鳥沼風穴などを発見した。

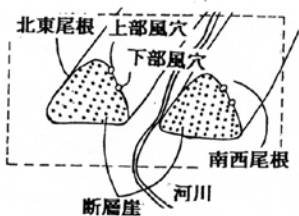


図-2 断層模式図

さらに興味深いことは、昨年私たちが定義した上部風穴と下部風穴の関係である。風穴は上部と下部が地下でつながっていて季節によって風の出方が違うことである。冬期では下部風穴から風を吸い込み上部風穴から暖かい風が出るため、風穴がある地点の雪が解けているので積雪期に山の中に入り風穴がありそうな場所を探索した。そうしたところ図-1の○の位置で発見した。これら上部風穴に共通することは標高250m~400mの尾根筋の山に良く見られ、上部風穴から尾根づたいに下ると下部風穴が見られるということが分かった。

②季節による風穴の吹き出し温度の変化

昨年、私達は風穴地に発生する風が冬期と夏期で逆になることを見出した。そこで昨年の秋から約1年間、上部・下部風穴の入口に温度センサーを設置し、いつ風の向きが入れ替わるのかを調べた。

①秋の変化 下部風穴の吹き出しの停止

~上部風穴吹き上げの始まり

図-3は1999年11月からの布部の下部風穴の記録である。温度の変化のグラフからa~dの4つの区間に分けてみた。まずaにおいては、まだ吹き出しが行われているために温度が一定している。

このとき外気温は日中6℃ほどで吹き出しは2℃前後であった。bくらいの位置になると冬が近づき気温が急激に下がり、山の内部と外部との温度差が小さくなり、それともない風の勢いも弱くなり外気温と吹き出しの温度が混ざりあい微妙な期間が2週間ほど続く。cでは、完全に風が止まってしまいうため外気温に似た変化を起こす。そしてdの12月16日の気温が約-2℃の部分からは、外気温と吹き出し口の温度が全く同じ変化を続けた。このことからdから完全に吸い込みの状態となっていることが分かった。

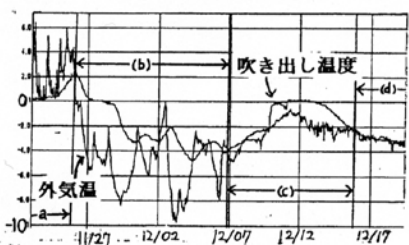


図-3 布部下部風穴

②春の変化 上部風穴吹き上げ停止

~下部風穴の吹き出しの始まり

図-4は冬から春にかけて、布部上部風穴で吹き上げる風の温度と湿度を測定したものである。4月中は温度8℃・湿度60%程度の空気を吹き上げていたが、cの4月30日から完全に湿度、温度ともに外気と同じ変化が見られた。この日から吹き上げが止まり吸い込み始めたことを示している。

次の図-5も冬から春にかけての扇山の下部風穴の温度の変化を記録したものである。5月14日までは吸い込みが続いているため、吹き出し口の温度が外気温に同調していることが分かる。しかしbの5月14日あたりから急に吹き出し口の温度が6~7℃と低くなった。これは、冷風の吹き出しが始まったため始めのころは風の勢いが弱いためか外気温に影響されているが次第に安定した冷風を出すようになった。

まとめると、春は5月を境に、秋は10~11月を境に風の流れが逆転することが分かった。

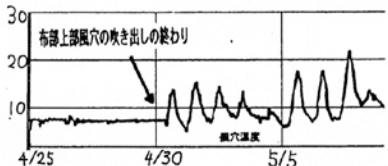


図-4 布部上部風穴

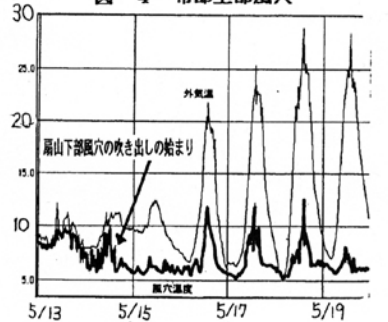


図-5 扇山下部風穴

(3) 風穴のメカニズムは？

私達は昨年、風穴から冷風が吹き出す機構について「対流説」を指摘した。まず、対流説とは送風管現象と呼ばれる現象で図-6はそれを示す図である。このように標高差のある2つの地点(aとd)があり内部には空洞が存在する。cのような深い場所では、常に温度が一定に保たれており、その場所の年平均気温とほぼ一致するといわれている。(富良野の平均気温は約6℃)そのため、暖かい日(主に夏場)には、空気がaの部分から吸い込まれ岩石によって冷やされ重くなる。そしてdに押し出されるという空気の動きが生じる。冬期においては外気温より内部の温度の方が高いため、逆の現象が起こる。

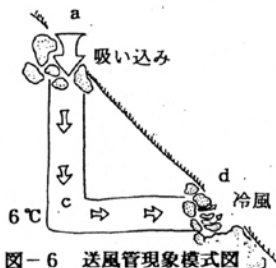


図-6 送風管現象模式図

しかしこれでは地下の温度と同温度の風が出るということで、実際に測定されたのは、0.6℃という冷風が出る説明に疑問が残る。夏期における吹き出しの温度は、地域によって多少異なるが1~4℃ほどで安定している。(図-7)冬期における吹き出しの温度は10℃前後でこれも安定している。これらのことをふまえて私達は、冷風が吹き出すメカニズムについて4つの仮説を立てて考えてみた。

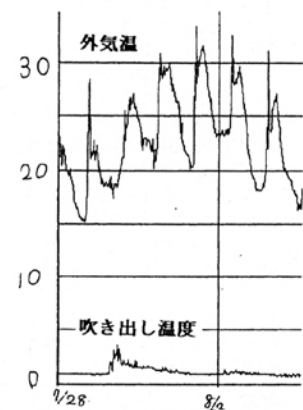


図-7 布部下部風穴 夏期における吹き出し温度

①山の内部に冷たい地下水が実際に流れておりこれによる温度低下が原因の地下水クーラー説。

②山の内部で温度が下がり空気の密度が大きくなる。密度が高くなった空気が密度の小さい外気に出るため断熱膨張が起こりその際に熱が奪われ、冷風が発生する断熱膨張説。

③地下に永久凍土がありこの間を風が通るため冷やされるという永久凍土説。

④湿った溶結凝灰岩の間を風が通り抜ける際に水分が蒸発し、その気化熱が風から奪われ冷風になるという気化熱説。

まず、地下水クーラー説について検討する。図-8は富良野市鳥沼の水地質横断面図であるがWtが溶結凝灰岩が崩れたような部分で、Wtが完全な岩盤となる。そして、想定地下水位線はこの位置になる。私達が風穴吹き出し地点を発見したのはA地点で、上部風穴は推測でA地点から100mほど上部にあると考えられる。すると、風が上部から下部風穴へ移動する際に明らかに地下水の影響を受けづらいたことが良く分かる。これらのことから、この説はありえないと考えた。



図-8 湧水地質横断面図

永久凍土説は、冬期において下部風穴から吸い込まれる空気は氷点下のため、下部風穴付近の水分が凍り秋から冬の終わりまで凍土が生成される。そして夏の始めに風の向きが上から下へと逆転し冷風が発生するという説である。しかし、春の吹き出しより夏期の方が冷たく安定した風が出ていることと、冬の10℃近い風の吹き上げという点で、疑問が残る。

次に断熱膨張説についてだが、夏期における風穴内部の温度は約6℃で、外気温を30℃と設定した。まず風穴内部の温度が低いため風が入り込み、冷やされる。このとき温度が下がると同時に空気の密度が大きくなる。そしてその空気が密度の低い外に出るときに、断熱膨張が起こり冷風が吹き出すというしくみである。

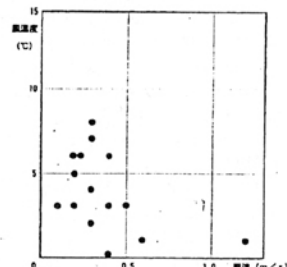


図-9 温度と風速の相関グラフ

この説に関連して私達は、風穴から吹き出す風の風速によって吹き出す温度がどのように変わるのかを調べた。図-9は扇山の風穴吹き出しの温度と風速の相関を示したものである。結果は吹き出す速度が速いほど風の温度が低いことが分かった。

これは気圧の変化が激しいほど空気の移動も強くなり、同時に温度も下げられる、という構造ではないかと考えられる。まれに風がわずかしか出ていないが温度が低い場合がある。これは地中で既に断熱膨張が行われ冷風発生に至ったと考えられる。

最後に気化熱説についてだが図-10のように風穴実験機を用いて煙突をつなげ、中に湿った十勝溶結凝灰岩を入れ風を送り、外気温・出てきた風の温度と湿度を測定していった。測定の結果、このとき外気温が26℃で、出てきた風の温度は21.9℃で湿度は99%だった。温度の差は4.1℃あり、実際の風穴地で空気が地下で6℃に冷やされ、下部風穴から出るまでの間に、気化熱により4℃以上温度が下がり出てきたとすると2℃弱となる。気化熱が奪われる際に水分を吸収してくるため、湿度が上がる、と考えると十分に納得のいく説である。

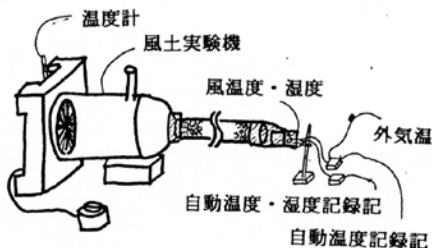


図-10 人工風穴装置

4. まとめと今後の課題

今回の調査で次のようなことが分かった。

- ①富良野地区において風穴は、釧路～八幡丘の台地の西端の断崖崖の斜面に位置し、南西向きの尾根筋の山に良く見られる。
- ②秋から冬にかけての変化は、徐々に風が止まり吸い込みが始まるようだ。風の向きが変わる境目の温度は0℃ほどで、雪が降り積もるころには完全に入れ替わっている。
- ③春から夏にかけての変化は、5月上旬に比較的急に風の向きが変わることがわかった。
- ④風が出るメカニズムについては、対流説(送風管現象)である。
- ⑤冷風吹き出しのメカニズムについては以下にまとめた。

- ・地下水クーラー説は、ほとんど冷風に影響がないと考えた。
- ・永久凍土説は、可能性はあるが実際に地下を掘らなければわからないため推測での判断になった。
- ・断熱膨張説は、風穴内部の推測や風速と温度の関係から可能性が高いことがわかった。
- ・気化熱説は、風土実験機の実験からも可能性がかなり高いことがわかった。

以上、これらのことから言えるのは冷風のメカニズムは「断熱膨張説」と「気化熱説」が非常に可能性として高いことが言える。しかし、まだ不十分な部分もありさらに冬の風の吹き上げが最大12℃を示したことなど、まだ不明な点がいくつもあるため今後も引き続き調査をしていきたいと思う。

昨年に引き続き今年も調査に多くの方々のご支援を得た。

東京大学富良野演習林 井口和信さん、松井理生さん、北海学園大学 佐藤謙先生、富良野山岳会 久保健一さん、扇山風穴地の所有者 繰上佳行さん、林業指導事務所 清水保志さん、北海道開発局 旭川開発建設部の職員の方皆さん、㈱北海道開発コンサルタント環境保全部 櫻井善文さん、愛お世話になりありがとうございました。

【参考文献】

- ①佐藤謙 (1999) ハンス・シェフトライン著「シュトラミング・タウエルン山地の特殊な高層湿原」(全訳) 北海学園大学学術論集
- ②新谷俊一 (1998) 「富良野市西方、なまこ山-鯨丘陵の地質」富良野高校科学部
- ③開発建設部 (1999) 「鳥沼地区環境調査業務中間報告資料」北海道開発コンサルタント
- ④橋本亘 (1953) 地質図幅「下富良野」
- ⑤活断層研究会(1980) 日本の活断層-分布図と資料
- ⑥小野有吾 (1991) 「北海道の自然史」～氷期の森林を旅する～