

九州大学北海道演習林における風穴の気温と風穴地の植生

山内, 康平
九州大学農学部附属演習林

榎木, 勉
九州大学大学院農学研究院環境農学部門森林環境科学講座

<https://doi.org/10.15017/7172206>

出版情報：九州大学農学部演習林報告. 105, pp.5-11, 2024-03-22. The Kyushu University Forests
バージョン：
権利関係：



九州大学北海道演習林における風穴の気温と風穴地の植生

山内康平^{*1}, 榎木 勉²

九州大学北海道演習林清川地区の風穴について調査を行った。コケモモが局所的に群生し、ミヤコザサが生育していない範囲を風穴の影響が及ぶ風穴地と定義し、サーモカメラが特に低温と示した岩の隙間の気温（以下、風穴気温）と約10m離れた風穴地外の斜面上の地上1.3mに設置した通風シェルター内での気温（以下、風穴地外の気温）を2022年11月から2023年10月まで計測した。測定期間中の風穴気温は最高8.8℃、最低-16.7℃、平均は-0.7℃であった。風穴地外の気温は最高31.6℃、最低-19.2℃、平均は7.0℃であった。風穴地外の気温が30℃を超える8月でも風穴気温は5℃程度の低い値を示した。風穴気温の日較差は最大8.3℃で、観測期間の85%以上で4℃以内だった。2023年1月、風穴地の斜面上方で対応する温風穴を示す融雪を確認した。2023年10月、風穴地の内外で植生調査を行い、風穴地内でコケモモやオオタカネバラなどの北海道における風穴を代表する植生を確認した。風穴地外ではミヤコザサや周辺に生育するハリギリ等の木本の実生が生育していた。

キーワード：崖錐型風穴、下層植生、温度日較差、コケモモ、オオタカネバラ

We investigated an algific talus slope in the Kiyokawa area of the Ashoro Research Forest, Kyushu University where we defined an algific talus slope based on the presence of cowberry (*Vaccinium vitis-idaea*) and the absence of miyako-zasa (*Sasa nipponica*). We measured air temperature in rock crevasse (air temperature in the algific talus slope) and air temperatures in a ventilation shelter set up 1.3 m above the ground on a slope about 10 m away from the crevasse (air temperature outside the algific talus slope) from November 2022 to October 2023. The maximum and minimum air temperature in the algific talus slope during the measurement period were 8.8°C and -16.7°C, respectively, with an average of -0.7°C. The maximum and minimum air temperatures outside the algific talus slope were 31.6°C and -19.2°C, respectively, with a mean of 7.0°C. In August, the air temperatures outside the algific talus slope exceeded 30°C, while the air temperature in the algific talus slope remained around 5°C. A warm wind-hole was identified on the upper slope of the algific talus slope site in January 2023. We observed *Vaccinium vitis-idaea* and *Rosa acicularis* representative of algific talus slope in Hokkaido, while *Sasa nipponica* and *Kalopanax septemlobus* outside the area.

Key words: Algific talus slope, *Rosa acicularis*, Temperature daily range, understory vegetation, *Vaccinium vitis-idaea*,

1. はじめに

九州大学北海道演習林（以下、北海道演習林）は十勝平野の内陸に位置する北海道足寄郡足寄町にあり、利別川に沿って南北に長い敷地を有する。海拔450m以下の低標高域に所在し、常緑針葉樹が混在しないミズナラ *Quercus crispula* var. *crispula* やシラカンバ *Betula platyphylla* var. *japonica*, エゾイタヤ *Acer pictum* subsp. *mono*, オオバボダイジュ *Tilia maximowicziana* などの落葉広葉樹林が広がっている。一方、北海道演習林における植物相調査では、コケモモ *Vaccinium vitis-idaea* やゴゼンタチバナ *Cornus canadensis* などの雌阿寒岳の900m付近の高標高域などに分布する植物の局所的な生育が確認されている（井上1980；中村ら2020）。特に北海道演習林11林班のコケモモ群落は多数のコケモモが高密度に生育していた。コケモモ群落の

周辺は夏季でも冷涼であり、サーモカメラによる計測では8℃を記録したことから風穴による影響を受けている可能性が考えられた。

風穴とは、夏に冷風が吹き出す山の斜面の穴やその現象として知られており、その冷風は0℃から10℃程度が多く、天然の冷蔵倉庫、特に蚕種の貯蔵庫として明治期から広く全国で活用されてきた（清水・澤田2015）。既往の風穴に関する報告では吹き出す風は冷風に限らず、外気温に対し相対的に低温を示すものを風穴または冷風穴、相対的に高温を示すものを温風穴ということが一般的である（清水2004）。風穴と呼ばれるものには富士山麓などにおいて知られる溶岩洞穴性のものや、崖錐地脚部の斜面又は窪地において、積み重なった岩塊の隙間から冷気が流れ出る「崖錐型風穴」がある（清水2004）。崖錐型風穴の成因として

Kouhei Yamauchi, Tsutomu Enoki.: Air temperature and the understory vegetation on an algific talus slope in Ashoro Research Forest, Kyushu University

* 責任著者 (Corresponding author): Email. yamauchi.kouhei.013@m.kyushu-u.ac.jp 〒089-3705 北海道足寄郡足寄町北5条1-85

1 九州大学農学部附属演習林

University Forest, School of Agriculture, Kyushu University

2 九州大学大学院農学研究院環境農学部門森林環境科学講座

Division of Forest Environmental Sciences, Department of Agro-environmental Sciences, Faculty of Agriculture, Kyushu University

は風穴内外の温度差に起因する対流説が有力である。夏季は外気が高温であるのに対し崖錐内部が相対的に低温となるため、両者の間に気圧傾度力が生じ崖錐下部の冷風穴から冷気が吹き出す。その空気を補償するために崖錐上部の温風穴からは外気が吸い込まれる。逆に冬季には外気が低温であるのに対し崖錐内部が相対的に高温となるため、冷風穴から外気を吸い込み温風穴から暖気を噴出するようになる（江川ら 1980；田中ら 2004；澤田・石川 2002；清水・澤田 2015）。また、冷風穴の周辺には風穴植生と呼ばれる高標高地に分布する植物が確認されている（五十嵐 1986；斎藤 1953；佐藤ら 1993；佐藤 1995；清水・山川 2008）。冷風穴周辺では夏季に低温が保たれるため氷期の生き残りが隔離分布していると考えられており、独特の植生が発達する場所としても知られている（五百川・石沢 2003；Shimokawabe *et al.* 2015）。清水（2004）は全国の風穴に関する文献から 60 箇所の風穴地の環境等をまとめているが、気温を通年で連続観測している報告は 13 件にとどまり、北海道では 3 件のみであった。なお、大学演習林の報告としては北海道富良野市に所在する東京大学北海道演習林で布部風穴を調査した報告（松井・井口 2001）があるのみである。

本資料では、北海道演習林 11 林班（清川地区）における

コケモモ群生地付近の冷風穴（図 1）において通年の気温観測および周辺の植生調査を行ったため報告する。なお、本報告では、冷気を吹き出す穴を「風穴」、その影響が及ぶ範囲を「風穴地」とし（佐藤 1995）、本調査対象の風穴は「清川風穴」とする。

2. 材料と方法

北海道演習林は北海道東部の足寄郡足寄町に所在し、約 3,711 ha の敷地は南北に 5 km、東西は 3 km におよぶ。十勝川水系利別川の右岸に位置し、利別川の支流（ピラポオマナイ川、上ワシップ川、下ワシップ川など）が東西に走る。地質は大部分が第三紀層であり、凝灰岩層と砂岩・頁岩のほぼ水平な互層とからなる。全域にわたり火山灰によって覆われており、表層は黒色の腐植質を多く含んだ壤土、下層は褐色～淡褐色の埴土あるいは砂質壤土である（九州大学農学部附属演習林北海道演習林第 8 次森林管理計画編纂委員会 2020）。標高は約 100 m～450 m で常緑針葉樹が混成しない落葉広葉樹林が分布する。南北を向いた斜面ではそれぞれで植生が大きく異なり、北向きの斜面は多様性が高く、南向きの斜面では乾燥に強いミズナラが優占する（岡野 1994；前田ら 2010；Maeda *et al.* 2018）。本研究の調査地から約 4 km 離れた北海道演習林拓北地区に位置する 20 林班の標高 310 m に設置した気象観測装置の値では、2017 年～2022 年の年平均気温は 6.2℃、年平均降水量は 935 mm である（九州大学農学部附属演習林研究部 2023）。これまで北海道演習林で風穴に関する記録はない。

北海道演習林の清川地区に位置する第 11 林班 2 い小班のカラマツ造林地内の斜面にコケモモ群落を観察されている（図 2A）。斜面方位は南西向きで、地質は新第三紀鮮新世の下愛冠浴結凝灰岩層である（三谷ら 1958）。この造林地は 1960 年に天然林を伐採し、1961 年に植栽された。既に 60 年生を超えるカラマツ人工林下には広葉樹が生育しており、その内ミズナラが最も多く、他にヤエガワカンバ *Betula davurica* var. *parvifolia*、エゾイタヤ、シラカンバなどが見られる。当該小班の大部分の林床はミヤコザサ *Sasa nipponica* が繁茂しているが（図 2B）、コケモモ群落付近では見られない。

佐藤（2015）は、「北海道の風穴植生」を「周囲の高木林と明瞭に区別される矮低木群落や低木群落など高山植物群落を形成する場合と、林冠は周囲の高木林と連続するが、林床においてササ類を欠き、亜高山植物や高山植物が出現する場合がある」としている。本調査地は後者とみなせることから、上層木の違いは見られないがコケモモ群落の周辺で特異的にミヤコザサが生育していない範囲を風穴の影響が及ぶ範囲（風穴地）とした。小班の中に天然林の伐採時に造られたと考えられる作業道の跡があり、コケモモ群落はその作業道跡の付近に位置していた。コケモモ群落の周辺温度をサーモカメラで確認し、局所的に低温を示した作業道の山側法面の岩の隙間（図 2C）に風穴用の温度計（おんどとり TR-51i T&D 社）を設置した。岩の隙間は狭く、直射光を受けない場所であり、入り口が狭いため通風

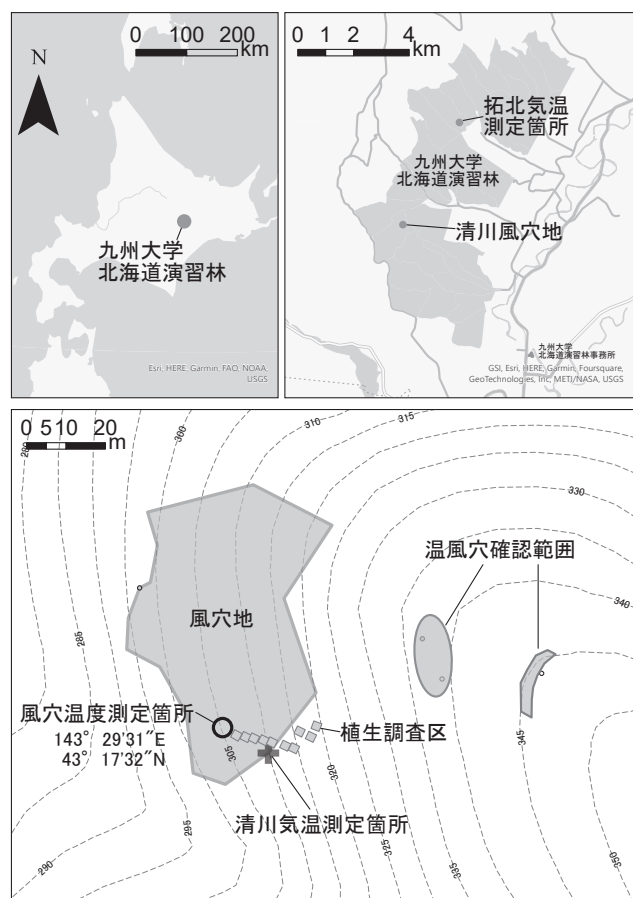


図 1. 北海道演習林における清川風穴の位置
Location of the Kiyokawa algific talus slope area in Ashoro Research Forest, Kyushu University.

シェルターは使用しなかった。また、そこから作業道跡沿いに斜面上方に約 10 m 離れ周辺にミヤコザサの生育が確認される場所で、地上 1.3m に設置した通風シェルター（図 2D）内に同様の温度計を設置した。それぞれの地点で 2022 年 11 月 19 日から 2023 年 10 月 1 日まで 1 時間毎に温度の瞬時値を測定した。以下では風穴用の温度計で測定した温度を「風穴気温」、周辺気温を測定した温度を「風穴地外の気温」とする。また、北海道演習林 20 林班で測定している気温を「拓北気温」とする。

2023 年 9 月に風穴地の範囲を測量したところ、その面積は約 2,500m²であった（図 1）。また、斜面方位は 260°でほぼ西向き、傾斜角は約 27°であった。2023 年 10 月に、風

穴地の内外に 1 m × 1 m のコドラートを 5 箇所ずつ設置して出現する草本植物、シダ植物、木本植物の種を記録した。

3. 結果と考察

2022 年 11 月から 2023 年 10 月までの気温の変化を図 3 に示す。11 か月間の記録で風穴気温と風穴地外の気温の記録数はそれぞれ 7,608 個で欠測率は 0%，拓北気温の記録数は 7,606 個で欠測率は 0.02% だった。相加平均は風穴気温で -0.7℃，風穴地外の気温が 7.0℃，拓北気温が 7.4℃であった。2022 年 12 月初旬から風穴地外の気温の低下にともない、風穴気温も低下した。3 月初旬に風穴地外の気温の日平均値がプラスを示すようになったが、風穴気温は 0℃



図 2. 清川風穴の気温観測地周辺の写真

Photographs of the area around the temperature observation site at the algalic talus slope area of Kiyokawa.

A. 清川風穴地に生育するコケモモ

A. *Vaccinium vitis-idaea* growing on the algalic talus slope of Kiyokawa.

B. 風穴地外のミヤコザサ

B. *Sasa nipponica* outside the algalic talus slope area.

C. 風穴気温を測定している岩の隙間（赤いスプレーで目印を付けている。）周辺にはコケモモが生育し（白丸），ミヤコザサは見られない。

C. A crevasse in the rock where the temperature of the algalic talus slope was measured. *Vaccinium vitis-idaea* are observed around the crevasse (white circle), while *Sasa nipponica* was not observed.

D. 風穴地外の気温を測定している通風シェルター

D. The ventilation shelter where the temperature was measured outside the algalic talus slope area.

を超えず4月下旬まで氷点下を示した。4月中旬ごろから風穴地外の気温が10℃を超え始めると風穴気温もプラスを示した。その後の風穴気温は少しずつ上昇したものの、風穴地外の気温が30℃を超える8月になっても5℃程度を保ち続けた。風穴地外の気温は9月以降に低下したが、風穴気温は9月以降も上昇した。なお測定期間中の風穴気温の最高値は8.8℃で、最低値は-16.7℃、風穴地外の気温の最高値は31.6℃で、最低値は-19.2℃、拓北気温の最高値は32.3℃で、最低値は-17.2℃であった。

風穴地外の気温と風穴気温、拓北気温について1日の最高値と最低値の差（日較差）の変化を図4に、頻度分布を

図5に示す。風穴地外の気温の日較差は最大22.8℃、風穴気温の日較差は最大8.3℃、拓北気温の日較差は最大19.8℃であった。風穴気温の日較差は観測期間の85%以上で4℃以下であった。本調査地の風穴気温が2022年12月上旬から気温と同様に比較的大きな変化を示したのは、低い外気温と相対的に高くなった地中の温度差により、風穴から空気の吸い込みが行われたために、外気温と同様に大きな変化を示したと考えられる。2023年1月に風穴から斜面上方に水平距離で約50～60m離れた斜面において10個程度の融雪地点を確認し、さらに風穴から約80m斜面上方の林道の法面の幅約10mの範囲でも融雪地点を確認した。

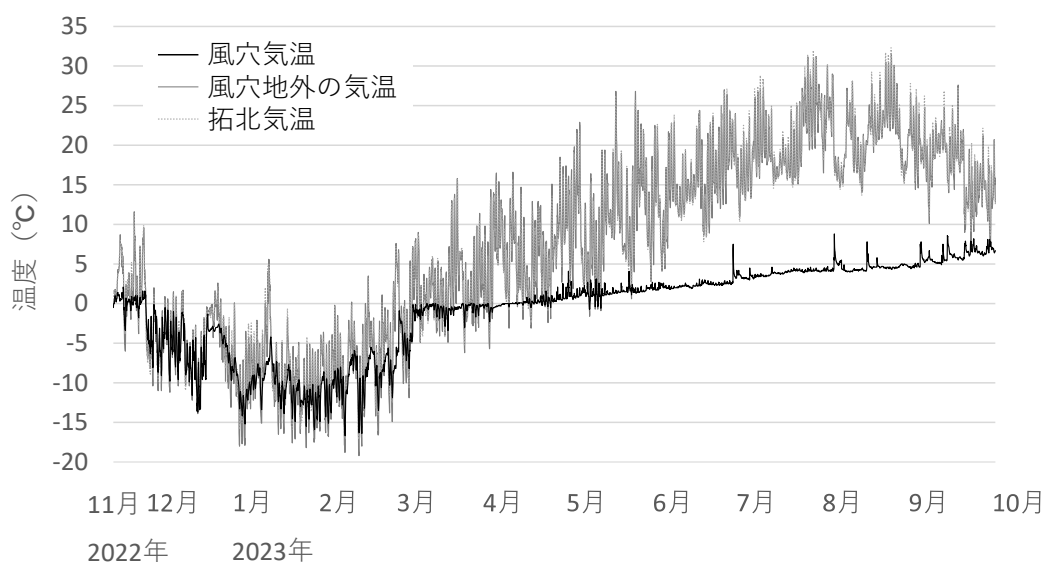


図3. 風穴気温の通年変化。風穴地外の気温、拓北気温との比較。

Annual variation of air temperature in the alagic talus slope. The temperature outside of the alagic talus slope and at the Takuhoku are also shown.

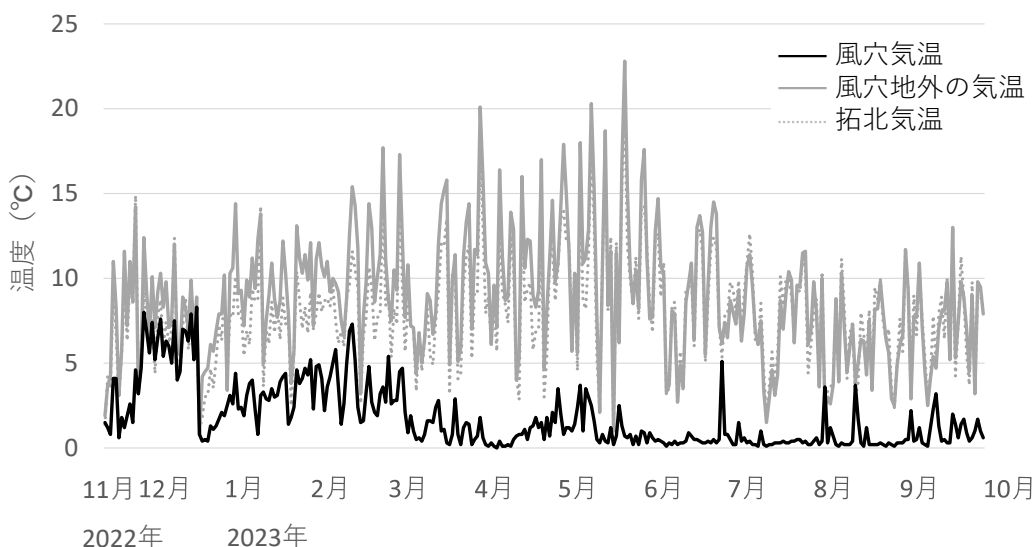


図4. 風穴気温の日較差の通年変化。風穴地外の気温、拓北気温との比較。

Annual variation in the daily range of air temperature at the alagic talus slope. The temperature ranges outside of the alagic talus slope and at the Takuhoku are also shown.

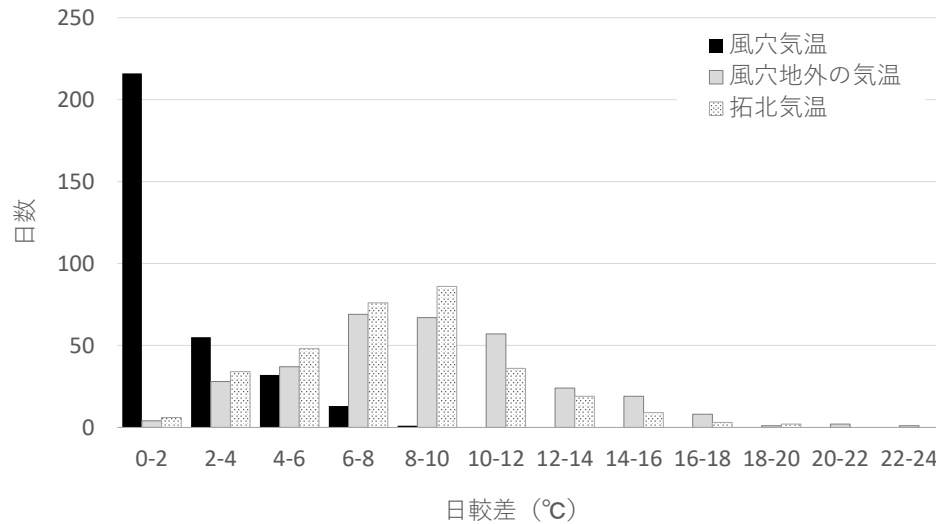


図5. 風穴気温の日較差の頻度分布。風穴地外の気温、拓北気温との比較。

Frequency distribution of daily variation in the daily range of air temperature at the algific talus slope. The temperature ranges outside of the algific talus slope and at the Takuhoku are also shown.

表1 風穴地内外に設置した調査コドラートで確認された植物
Plants species observed in the study quadrants inside and outside the algific talus slope area.

種名	学名	風穴地	
		内	外
タガネソウ	<i>Carex siderosticta</i>	5	5
ヒメノガリヤス	<i>Deyeuxia hakonensis</i>	5	3
※ エゾムラサキツツジ	<i>Rhododendron dauricum</i>	4	3
ツルアジサイ	<i>Hydrangea petiolaris</i>	4	2
オシダ	<i>Dryopteris crassirhizoma</i>	3	0
※ ミヤマワラビ	<i>Thelypteris phegopteris</i>	3	0
※ カラマツソウ	<i>Thalictrum aquilegifolium</i> var. <i>intermedium</i>	3	0
エゾイチゴ	<i>Rubus idaeus</i> subsp. <i>melanolasius</i>	3	0
※ コケモモ	<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	3	0
スゲ属 sp.	<i>Carex</i> sp.	2	3
※ マイヅルソウ	<i>Maianthemum dilatatum</i>	2	3
ミヤマザクラ	<i>Cerasus maximowiczii</i>	1	4
メシダ属 sp.	<i>Athyrium</i> sp.	1	0
カラマツ	<i>Larix kaempferi</i>	1	0
※ エゾミヤマハンショウヅル	<i>Clematis alpina</i> subsp. <i>ochotensis</i> var. <i>ochotensis</i>	1	0
カツラ	<i>Cercidiphyllum japonicum</i>	1	0
※ オオタカネバラ	<i>Rosa acicularis</i>	1	0
ホザキナナカマド	<i>Sorbaria sorbifolia</i> var. <i>stellipila</i>	1	0
スミレ属 sp.	<i>Viola</i> sp.	1	0
ハナヒリノキ	<i>Eubotryoides grayana</i> var. <i>grayana</i>	1	0
オククルマムグラ	<i>Galium trifloriforme</i>	1	0
ミヤコザサ	<i>Sasa nipponica</i>	0	5
※ ツマトリソウ	<i>Trientalis europaea</i>	0	4
ハリギリ	<i>Kalopanax septemlobus</i>	0	3
ヤマウルシ	<i>Toxicodendron trichocarpum</i>	0	1
オオモミジ	<i>Acer amoenum</i> var. <i>amoenum</i>	0	1
ハウチワカエデ	<i>Acer japonicum</i>	0	1
		21 種	13 種

風穴地内外の数字は出現したコドラート数を示す。

植物名の並び順は次の項目に従った。

1. 風穴地内の出現数の降順, 2. 風穴地外の出現数の降順, 3. 同数の場合は中村ら (2020) の配列

※マークが付く植物は清水ら (2015) において、北海道の風穴植生を特徴づける主な出現種とされたもの

融雪により岩が露出している付近では、霜が観察され、手を当てると暖かさを感じたため、清川風穴の温風穴であると考えられた。

調査地で確認された植物のリストを表1に示す。表の植物の学名は米倉・梶田(2003-)に従った。タガネソウ、ヒメノガリヤス、エゾムラサキツツジなど6種が風穴地内外両方で見られた。風穴地外にのみ出現した草本はミヤコザサ、ツマトリソウで周辺に生育する木本のハリギリ、オオモミジ、ハウチワカエデ、ヤマウルシの実生も確認された。風穴地のみで見られた植物のうち、コケモモ、カラマツソウ、エゾミヤマハンショウヅル、オオタカネバラは北海道における風穴を代表する植生とされる(佐藤 1995, 2015)。オオタカネバラは2019年に実施した北海道演習林植生調査(中村ら 2020)に記載が無く、新たに確認された。清水・澤田(2015)の風穴植生のリストと比較すると本風穴地の植生は富良野市に所在する0号風穴と扇山風穴に似た植生であると推察される。本報告では清川風穴における調査結果を示したが、北海道演習林内には他にもコケモモやゴゼンタチバナが生育する場所の記録があり(中村 私信)、また、北海道演習林10林班の林道工事時に法面を掘削して確認された夏季凍結層から、北海道の標高1,600 m以上の高山帯や十勝地方の風穴周辺で近年確認されたダイセツホタルヤスデ *Kopidoiulus longus* Shinohara (開澤 2022) が採集されており、他にも風穴がある可能性が高い。一方で、本調査では、清水・澤田(2015)が風穴植生を特徴づけると報告しているエゾムラサキツツジとマイヅルソウが風穴地外でも出現したこと、ツマトリソウが風穴地外で出現するが風穴地内では出現しないことなど、既存研究と異なる結果も見られた。本報告では気温の観測と出現種の調査結果から考察したが、植生と風穴の関係を明確に示すためには、各種の適正気温との関係のほか気温以外の環境要因や植物の分散様式などさらなる調査が必要である。

引用文献

- 江川良武・堀伸三郎・坂山利彦(1980) 風穴の成因について－過去における低温気候起源説に対する反論－。地学雑誌 89:1-12
- 開澤菜月・榎原良輔・乙幡康之・山内健生(2022) 北海道十勝地方におけるダイセツホタルヤスデの新記録。ひがし大雪自然館研究報告 9: 23-26
- 五百川裕・石沢進(2003) 風穴地の維管束植物(1)。植物地理・分類研究, 51: 13-26
- 五十嵐恒夫(1986) 阿寒国立公園の森林植生。北海道大学農学部演習林研究報告 43: 335-494
- 井上晋(1980) 北方林の植生に関する研究－九州大学北海道演習林産植物目録の追録－。昭和55年度九州大学農学部演習林年報 3-4
- 九州大学農学部附属演習林北海道演習林第8次森林管理計画編纂委員会(2020) 九州大学農学部附属演習林北海道演習林第8次森林管理計画書。九州大学農学部附属演習林
- 九州大学農学部附属演習林研究部(2023) 九州大学農学部

附属演習林概要。九州大学農学部附属演習林

- 前田由香・菱拓雄・田代直明・馬淵哲也・井上幸子・長慶一郎・山内康平・緒方健人・久米篤(2010) 九州大学北海道演習林のカラマツ人工林および落葉広葉樹天然林における斜面方位と斜面上の位置の違いによる植生の特徴。九州大学演習林報告 91: 7-14
- Maeda Y, Tashiro N, Enoki T, Urakawa R, Hishi T (2018) Effects of species replacement on the relationship between net primary production and soil N availability along a topographical gradient: Comparison of belowground allocation and nitrogen use efficiency between natural forests and plantations. For Ecol Manag 422: 214-222
- 松井理生・井口和信(2001) 布部風穴地帯の植生と地中温度の通年変化。日本林学会北海道支部論文集 49: 76-78
- 三谷勝利・小山内熙・橋本亘(1958) 5万分の1地質図「足寄太」。北海道開発局, 北海道
- 中村琢磨・壁村勇二・山内康平・村田秀介・佐々木寛和・智和正明・内海泰弘(2020) 九州大学北海道演習林の植物相。九州大学演習林報告 101: 12-35
- 岡野哲郎(1994) 九州大学北海道演習林の森林植生。九州大学農学部演習林報告 70: 1-12
- 斎藤實(1953) 風穴地帯に於ける地中温度と植物群落との関係。生態学会報 2: 151-155
- 佐藤謙・工藤岳・植村滋(1993) 定山溪漁入ハイデの風穴植生。日本生態学会誌 43: 91-98
- 佐藤謙(1995) 北海道の風穴植生概説。ひがし大雪博物館研究報告 17: 107-115
- 佐藤謙(2015) 北海道の風穴植生観察記。(日本の風穴－冷涼の仕組みと産業・観光への活用－。古今書院, 東京) 142-156
- 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: 555-563
- 清水長正(2004) 日本における風穴の資料－地形条件・永久凍土などとの関連から－。駒澤地理 40: 121-148
- 清水長正・山川信之(2008) 春日風穴と西クマネシリ風穴における地形・植生の資料。ひがし大雪博物館研究報告 30: 21-27
- 清水長正・澤田結基(2015) 日本の風穴－冷涼の仕組みと産業・観光への活用－。古今書院 東京
- Shimokawabe A, Yamaura Y, Akasaka T, Sato T, Shida Y, Yamanaka S, Nakamura F (2015) The distribution of cool spots as microrefugia in a mountainous area. PLoS ONE 10: e0135732
- 田中博・村規子・野原大輔(2004) 福島県下郷町中山風穴における風穴循環の成因。地理学評論 77: 1-18
- 米倉浩司・梶田忠(2003-)「BG Plants 和名－学名インデックス」(YList). <http://ylist.info414> (2021年5月14日ダウンロード)

謝辞

ひがし大雪博物館の乙幡康之氏にはコケモモ群落周辺が風穴である可能性をご指摘いただき、本調査のきっかけとなった。また、サーモカメラの貸出などのご協力もいただいた。九州大学福岡演習林の中村技術専門職員にはコケモモの群落についての情報や、植生調査の同定についてご協力いただいた。九州大学北海道演習林の井上技術専門職員・緒方技術専門職員・藤山技術職員には調査においてご協力いただいた。この場を借りて、厚く御礼申し上げる。

(2023年10月20日受付：2024年2月9日受理)