

多摩川上流における風穴の現状およびその自然
条件と温度観測

2016年

清水 長正
駒澤大学文学部地理学科 非常勤講師

共同研究者：指村奈穂子 琉球大学西表研究施設森林生態学

多摩川上流域における風穴の現状およびその自然条件と温度観測

清水 長正 (駒澤大学)

指村奈穂子 (琉球大学)

I 多摩川上流域の風穴

風穴とは、高低差のあるトンネル状の空隙を空気が低い方へ移流して冷やされ、下方の穴から冷風を吐出する現象または場所のことである。いっぽう、冬季には風穴内の空気の流れが逆になって、上方の穴から温風を吐出する。下方の冷風を吐出する穴を「冷風穴」、上方の温風を吐出する穴を「温風穴」という。冬季に温風穴からの吹き出しによってピストンのような状態となり、下方の冷風穴へ低温の外気が吸い込まれる。その結果、風穴内の岩石などが著しく冷やされ、その低温が潜熱の効果なども加わって夏まで維持される。風穴は日本全国の山地・火山地に多数分布し、崖錐斜面や富士山麓の熔岩トンネルなど、地下の空隙を形成する地形・地質条件があるところに生じやすい。

風穴は局所的に寒冷的な環境をつくるので、植物にも影響を及ぼし、それが位置するよりも冷涼な気候帯に生育する植物が見られることがある。これらからなる集団を風穴植生とよぶ (清水・澤田, 2015)。

明治・大正期には、蚕種用の冷蔵倉庫 (蚕種貯蔵風穴) として、この自然エネルギーが利用された (清水・澤田, 2015)。時の農商務省が全国の蚕種貯蔵風穴を記録しており、うち多摩川流域では、檜原村の檜原風穴、丹波山村の熊澤風穴・釜ノ沢風穴が記載されて



図 1 多摩川上流域の風穴位置 (1:200,000「東京」「甲府」)

いる（農商務省農務局, 1914～1919 など）。このほか、奥秋（丹波山村）や風穴の沢（甲州市）などで、他の文献や地元での聞き取りから風穴跡を見出した（図1）。

本報告では、以上5箇所の風穴跡の現状および周辺の自然環境、さらに約2年間にわたる温度観測などの基礎資料を提出する。このうち風穴の沢は、多摩川流域外だが、流域界に続く主稜線付近にあることや、標高・岩種など多摩川流域4箇所の風穴にない特徴があるので、そこも加えた。

II 蚕種貯蔵風穴と多摩川上流域における風穴

我が国の蚕種貯蔵風穴のはじまり

山の斜面から冷風が吹き出す現象は江戸期中ごろまでには知られており、信州の^{いおこき}稲核村では宝永年間ごろ以降、風穴を利用した天然冷蔵庫を造って漬物保存に利用していた。これを「かざあな」または「かざな」と呼んでいた。

稲核の風穴は、幕末には蚕種（蚕の卵）貯蔵用の天然冷蔵倉庫（以下、蚕種貯蔵風穴）として利用され始めた。風穴の低温により通常の春～初夏における孵化を抑制し、貯蔵風穴から漸次出穴して孵化させ、養蚕の時期を秋季まで延長させる方法である。なお、孵化を抑制する温度は、明治40年制定「長野県風穴取締規則」によれば、華氏45度（7.2℃）と定められている。その後の明治期の蚕糸業の振興にともない各地で風穴が利用され、「ふうけつ」の語が蚕種貯蔵風穴の代名詞となって定着した。明治後期には、養蚕農家から蚕種を預かって貯蔵する「風穴業」（一種の委託冷蔵倉庫業）が全国に展開し、280箇所以上の風穴が各地に記録されている（農商務省農務局, 1914～1919）。これらの蚕種貯蔵風穴は、地方名・県名・郡名・村名・字名・山名・所有団体名や所有者苗字などを冠した「・・・風穴」という登録名をもっていた。蚕種貯蔵風穴の開業の最初は稲核の風穴本元の文久元年（1861）、開業の最後は長野県青木村の青木風穴の大正13年（1924）であり、多くは明治20～40年代に開業している。

蚕種貯蔵風穴の一般的様式は、斜面の冷風吐出部を石垣の法面として造成し、それを方形に囲うように前方に石室式の小屋を設け、奥の石垣のすき間からの冷風によって小屋内の低温を保つというものである（図2）。また、富士山麓の熔岩トンネルや東海・近畿・中国地方の鍾乳洞では、洞穴そのものを冷蔵庫に利用していた（清水・澤田, 2015）。

種子貯蔵庫などの再利用

その後、大正後期から昭和初期にかけて電気冷蔵庫の普及により、一部を除き蚕種貯蔵風穴は漸次廃止・放棄されていった。昭和10年代になると、営林署を中心として植林用樹木（カラマツ、スギ、ヒノキなど）の種子貯蔵に、全国の営林署管内などの風穴が利用されるようになった。このために蚕種貯蔵風穴を再利用したり、新たに造成して貯蔵庫を新造されたりした。この利用は昭和30年代まで続いた。

また、多摩川上流域と同じ関東山地内にある群馬県の荒船風穴・星尾風穴・大見山風穴などでは、病人用の氷の貯蔵庫（いわゆる氷室^{ひむろ}）として、蚕種貯蔵風穴が再利用されている。山間部で公共の電気が通じず電気冷蔵庫が使用できなかった昭和30年代ころまで、風穴がそのために利用された。後述するように、丹波山村では夏季に来訪者に振る舞う氷の貯蔵庫としても使われていた。

このほか、長野県内の小諸（氷風穴）・佐久（入沢風穴）・長和・安曇（風穴本元）・大町（鷹狩風穴）、兵庫県北部の神鍋山風穴、島根県出雲地域の八雲風穴では、風穴へ種苗・花卉・果実・酒類・蕎麦・野菜などの貯蔵が現在でも行われているところがある。

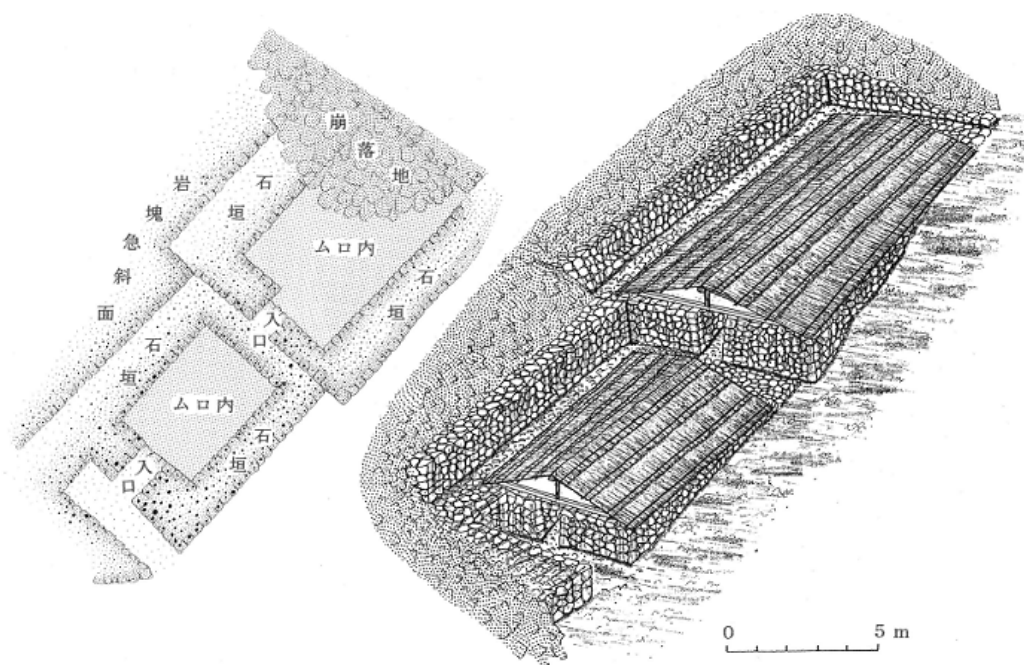


図2 檜原風穴（2号）の復元図（角田清美原図：『日本の風穴』P.190より）
実測により、元の蚕種貯蔵風穴（冷蔵倉庫）を想像して描いたもの

多摩川上流域における風穴の資料

多摩川流域の蚕種貯蔵風穴は、檜原風穴、熊澤風穴、釜ノ澤風穴の3箇所が、明治・大正期の農商務省が調べた資料などに記載されている。それらの、当時の所有者名、蚕種紙貯蔵枚数（年ごとの貯蔵実績）、記載文献名などを、表1にまとめた。

開設年は、熊澤風穴、釜ノ澤風穴が明治25年（1892年）で、これは蚕種貯蔵風穴の創設としては比較的初期に当たる。檜原風穴は創設年の記録がないが、明治42年（1909年）の資料にあることから、創設はそれ以前である。

いっぽう、奥秋の風穴や大菩薩黒岳の風穴の沢などは、農商務省の資料には記録されていない。これらは、農商務省が蚕種貯蔵風穴の記録を終了した大正 6 年以降に創設された可能性がある。

表 1 農商務省などによって記録された多摩川流域の蚕種貯蔵風穴

| 風穴名 | 開設年 | 所有者氏名 | 蚕種貯蔵枚数 | 文献年 | 文献名 | 著者名 |
|-------|-------|--------------------|--|-------|---------|-----------|
| 檜原風穴 | | - | - | 明治42年 | 全国風穴調 | (群馬県筆写資料) |
| 檜原風穴 | | 宇田守雄 | - | 明治43年 | 風穴新論 | 柳澤 巖 |
| 多摩風穴 | | 多摩風穴 | 3583 | 大正元年度 | 蚕業取締成績 | 農商務省農務局 |
| 多摩風穴 | | 多摩風穴 | 10480 | 大正2年度 | 蚕業取締成績 | 農商務省農務局 |
| 多摩風穴 | | 多摩風穴 | 33535 | 大正3年度 | 蚕業取締成績 | 農商務省農務局 |
| 多摩風穴 | | 多摩風穴 | 2500 | 大正4年度 | 蚕業取締成績 | 農商務省農務局 |
| 多摩風穴 | | 多摩風穴 | 18600 | 大正5年度 | 蚕業取締成績 | 農商務省農務局 |
| 多摩風穴 | | 多摩風穴 | 3850 | 大正6年度 | 蚕業取締成績 | 農商務省農務局 |
| 熊澤風穴 | 明治25年 | - | 7400 | 明治42年 | 日本風穴蚕種論 | 久保田松吉 |
| 熊沢風穴 | 明治25年 | 中村包高 外7人 | 8000 (明治40年) 9500 (明治41年) 6500 (明治42年) | 明治42年 | 全国風穴調 | (群馬県筆写資料) |
| 熊澤風穴 | | 中村包高 外7名 | - | 明治43年 | 風穴新論 | 柳澤 巖 |
| 熊澤風穴 | | 中村守忠 (東山梨郡七里村) | 9209 | 大正元年度 | 蚕業取締成績 | 農商務省農務局 |
| 熊澤風穴 | | 中村守忠 | 12000 | 大正2年度 | 蚕業取締成績 | 農商務省農務局 |
| 熊澤風穴 | | 中村守忠 | 13500 | 大正3年度 | 蚕業取締成績 | 農商務省農務局 |
| 熊澤風穴 | | 中村守忠 | 12936 | 大正4年度 | 蚕業取締成績 | 農商務省農務局 |
| 熊澤風穴 | | 中村守忠 | 15347 | 大正5年度 | 蚕業取締成績 | 農商務省農務局 |
| 熊澤風穴 | | 中村守忠 | 8904 | 大正6年度 | 蚕業取締成績 | 農商務省農務局 |
| 釜澤風穴 | 明治25年 | - | 15000 | 明治42年 | 日本風穴蚕種論 | 久保田松吉 |
| 釜ノ沢風穴 | 明治25年 | 守屋松太郎 外6人 | 8000 (明治40年) 9500 (明治41年) 6500 (明治42年) | 明治42年 | 全国風穴調 | (群馬県筆写資料) |
| 釜ノ澤風穴 | | 守屋松太郎 外6名 | - | 明治43年 | 風穴新論 | 柳澤 巖 |
| 釜ノ澤風穴 | | 守屋松太郎 (東山梨郡七里村) | 17000 | 大正元年度 | 蚕業取締成績 | 農商務省農務局 |
| 釜ノ澤風穴 | | 守屋松太郎 | 17000 | 大正2年度 | 蚕業取締成績 | 農商務省農務局 |
| 釜ノ澤風穴 | | 守屋松太郎 | 20186 | 大正3年度 | 蚕業取締成績 | 農商務省農務局 |
| 釜ノ澤風穴 | | 守屋松太郎 | 20186 | 大正4年度 | 蚕業取締成績 | 農商務省農務局 |
| 釜ノ澤風穴 | | 守屋松太郎 | 19098 | 大正5年度 | 蚕業取締成績 | 農商務省農務局 |
| 釜ノ澤風穴 | | 守屋松太郎 | 9100 | 大正6年度 | 蚕業取締成績 | 農商務省農務局 |

風穴所有者（風穴業者）は、熊澤風穴、釜ノ澤風穴とも、地元の丹波山村民ではなく、甲府盆地側の東山梨郡^{ななさと}七里村（現・甲州市）の人である。明治 11 年（1878 年）には柳澤峠を越える青梅街道が開通し、塩山～丹波山間を馬が通れるようになっていたから（丹波山村誌編纂委員会,1981）、それにより村外から蚕種貯蔵風穴の経営がもたらされたといえよう。いっぽう檜原風穴の所有者は檜原村の宇田守雄と記録されており、村内の人が経営していた。檜原風穴は、大正期になって多摩風穴と改名され、所有者も同名の組織（団体？）となった。

これらの蚕種紙貯蔵枚数は数千枚～2 万枚程度であるが、多摩風穴の大正 3 年度の実績

は3万枚を越えているので、貯蔵庫の規模が拡充したと推定される。後述するように、現在の檜原風穴には3基の蚕種貯蔵風穴跡があり、そのころに増設された可能性がある。

多摩地区の蚕種業者と風穴

東京都蚕糸業史編さん委員会（1978）には、「明治19年（1886年）風穴蚕種（多摩錦）の製造を始める」とあり、秋川市蚕糸業史編さん委員会（1980）には、「秋川市の蚕種製造業者の多くは小諸柳澤大六氏の風穴に蚕種の貯蔵保護を依頼した」とある。坂上洋之（1999, 2000）には、下田伊左衛門が創設した成進社（養蚕伝習所）が、明治20年（1887年）から長野県稲核の風穴に蚕種を貯蔵し、明治29年から風穴秋蚕種として製造販売を開始した。その後の成進社では、山梨県の富士風穴、長野県の小諸風穴（柳澤大六）、群馬県の荒船風穴（春秋館）などとの関係があったことが記述されている。これらの資料からは、多摩地区の蚕種製造業者は、およそ他県の風穴へ蚕種貯蔵を依頼していたようで、檜原風穴への貯蔵記録は認められていない。

これに対し、明治43年東京府農商務課技師から下田査一（伊左衛門の次代）へ西多摩郡氷川村鯉沢の風穴に試験蚕種の貯蔵を依頼している。この鯉沢（越沢）の風穴は、今のところ所在不明だが、小沢小兵衛宅の室内に保管した後に入穴する、と記載されていることから、小沢氏宅の近傍にあったと思われる。しかし、その後の記録にいっさい現れないことから、この蚕種貯蔵風穴は+実用化しなかったのではなかろうか。

明治42年の全国風穴一覧表（久保田,1909）には檜原風穴が載っているので、当然、東京府農商務課がその存在を知っていたはずであるが、今のところ東京府側の関連資料は見出されていない。

III 風穴周辺の地形・地質と蚕種貯蔵風穴跡の現状

多摩川流域内4箇所（1箇所）の風穴と、流域分水界に連なる笛吹川流域1箇所（1箇所）の蚕種貯蔵風穴跡について、それらの標高・位置などを表2にまとめた。それぞれ、空中写真判読による地形分類図、実測による風穴周辺の地形図、風穴の遺構の実測図などを作成した。それらから、5箇所の風穴の周辺の地形、原況などについて以下に記録する。

表2 多摩川上流域周辺の風穴の標高と位置

| | 標高 m | 経度 | 緯度 |
|---------|------|------------------|-----------------|
| 檜原風穴 1号 | 485 | 139° 08' 27.4" E | 35° 41' 48.6" N |
| 檜原風穴 2号 | 490 | 139° 08' 27.7" E | 35° 41' 47.0" N |
| 檜原風穴 3号 | 540 | 139° 08' 27.9" E | 35° 41' 43.8" N |
| (温風穴) | 594 | 139° 08' 30.9" E | 35° 41' 42.8" N |
| 奥秋 | 645 | 138° 54' 36.8" E | 35° 47' 34.1" N |
| 奥秋 | 700 | 138° 54' 29.8" E | 35° 47' 33.0" N |
| 熊澤風穴 | 825 | 138° 56' 10.1" E | 35° 46' 54.7" N |
| 釜ノ澤風穴 | 1020 | 138° 56' 23.5" E | 35° 48' 04.8" N |
| (温風穴) | 1045 | 138° 56' 21.6" E | 35° 48' 04.4" N |
| 風穴の沢 | 1775 | 138° 51' 13.4" E | 35° 41' 19.5" N |



写真1 檜原風穴の位置する地すべり地形

写真中央の▽の部分地すべりによる谷埋めで上部はおよそ平坦

1) 檜原風穴

農商務省農務局（1914～1919）には、多摩風穴（檜原風穴）の所在地字名の記載がないが、『檜原村村史研究』3号（1982）の「蚕種業」のなかに、柏木野に風穴があったという、わずかな記載がある。その後、近年では、清水ほか（2007）、清水（2015）、清水・澤田（2015）などによって、檜原風穴の概要が述べられている。

檜原風穴が位置する地すべり地形

檜原風穴は、南秋川沿い柏木野の南方の斜面にある。柏木野から望むと、スカイラインをなす稜線の下に逆三角形を呈した谷埋め地形が見られ、そこに蚕種貯蔵風穴跡がある（写真1）。谷埋め地形は、西側斜面からの地すべりによって形成されたもので、成因的には地すべり地形と言える。

柏木野から三国峠・連行峰への標識にしたがって登山道をたどり、比高150 mほど登ると山腹の平坦面に達する。この平坦面が地すべり移動体の上面で、そこで登山道から分かれた平坦面の奥に檜原風穴がある。

空中写真判読では地すべり地形の滑落崖はあまり明瞭でないが、地すべり移動体は3ブロックに分かれ、3回にわたって地すべりが生じたことがわかる（図3）。3回目は、北側の副次的移動堆である。これらの地すべり移動体は、全体で300 m×300 m、厚さ200 mほどの規模であり、およそ3,000,000 m³余の体積を有する。この地すべり移動体上には、ガリーなど認められず、ほとんど開析されていない。移動体上に全く流水もなく、移動体下端で湧水し、下流側の谷底ではワサビ田跡が見られる。

多摩川上流域には、地すべり地形が点在するが、三頭山北西側の地すべりではAD1292～1399年前以降に形成されたことが知られている（荻谷ほか, 2014）。この地すべり地形は、開析の程度から判断して、おそらく完新世（およそ1万年以降）に形成されたと推定される。なお、地すべり移動体の規模から、大地震の揺れが誘因となったものと推定される。

地すべり移動体の上面は、幅50 m奥行き300 mほどの細長い平坦地をなし、その南側と東側には、その平坦地が受け皿となって崖錐斜面が発達する。この地域の地質は、四万十累帯小仏層群益堀川層の砂岩（酒井, 1987）が分布している。崖錐堆積物は、最大径1 mから径数10 mまでの砂岩の角礫から構成されている。この砂岩はやや粗粒な石英粒を多く含んでいる。崖錐堆積物は、マトリックスを欠いて空隙となっている部分も多く、そうした表層地質が風穴の自然条件をつくっている。平坦地はスギの植林が育っているのに対し、崖錐斜面は自然林（広葉樹林）が覆っている。崖錐斜面は表層部がやや不安定なようで、大径木の樹木は比較的少ない。

檜原風穴の位置と現状

檜原風穴の蚕種貯蔵風穴跡は3箇所あり、2箇所は崖錐斜面末端で地すべりによる平坦地と接するところ、もう1箇所は地すべり地形のやや上流側の崖錐斜面末端で谷底と接するところにある（図3, 4）。登山道からそれぞれ、約120 m、約160 m、約240 mほど離れていて、その間はスギの植林地となっているので、登山道から風穴の遺構が全く見え

ない。

以下、これらを北側（下方）から、1号・2号・3号と呼ぶことにする。それぞれの蚕種貯蔵風穴跡の位置・規模・現状などについて述べる。



図3 檜原風穴周辺地形分類図（1/25,000「五日市」）

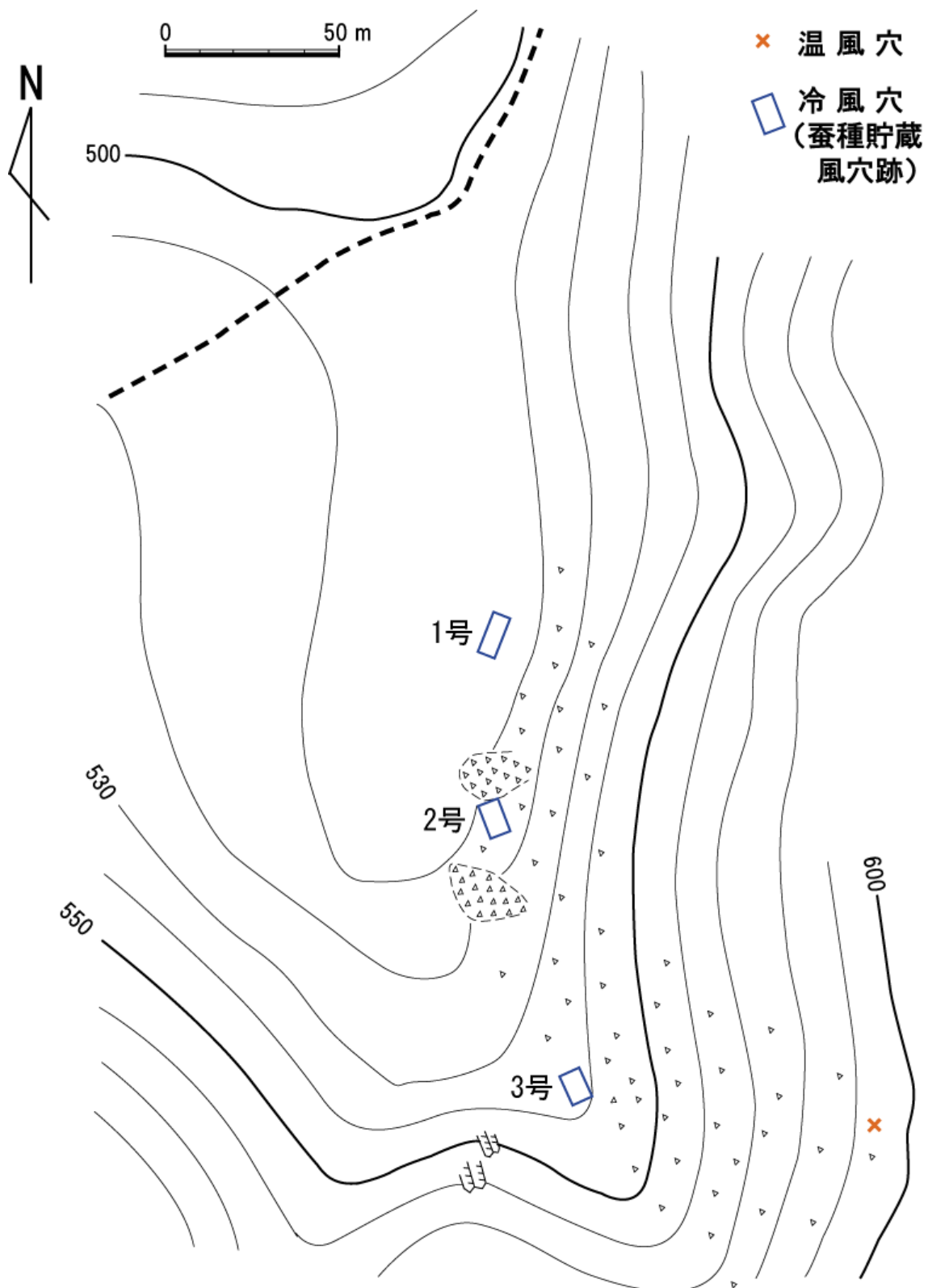
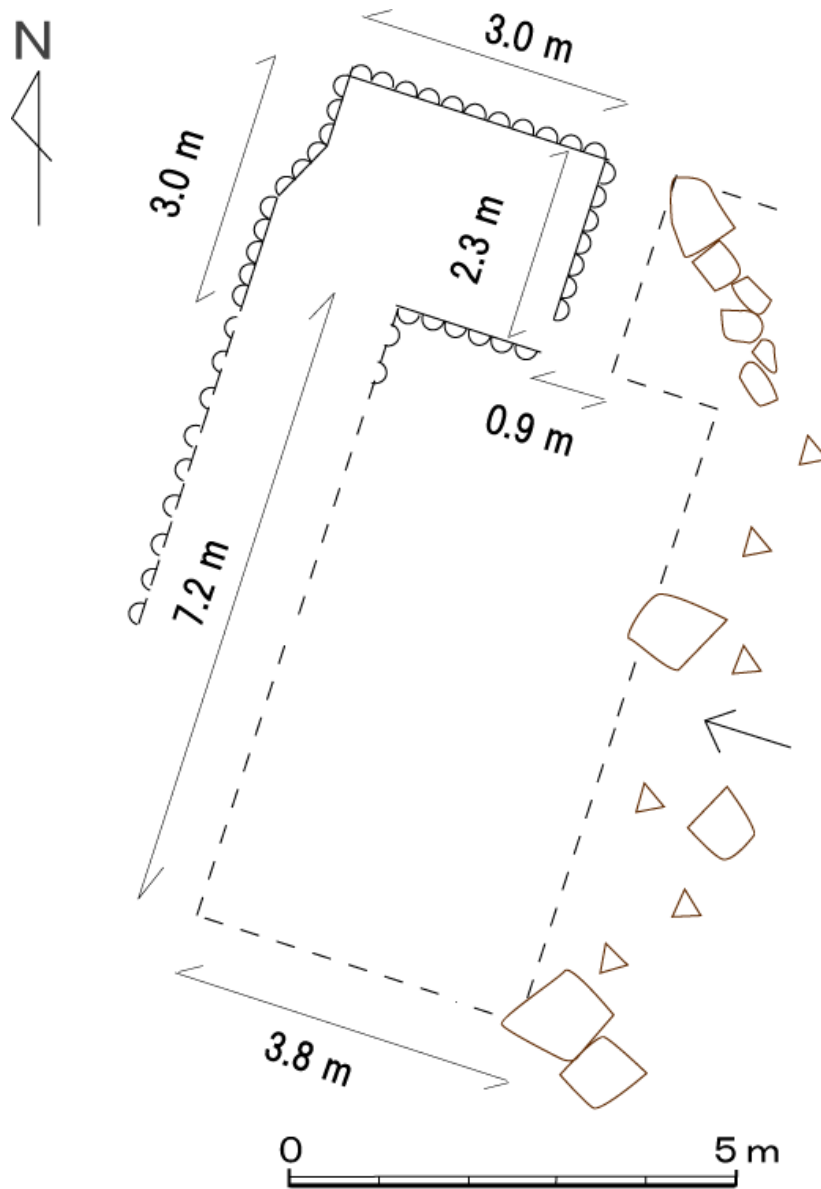


図4 檜原風穴周辺実測図

1号風穴

1号風穴は標高 485 m 付近にあり、かつての石垣がかなり崩れていて、原形をあまりよく留めていない。7.2 m×3.8 m・深さ 2.5 m の蚕種貯蔵庫跡が確認され、幅 0.9 m 長さ 2.3 m の出入口通路が残っている（図5）。3箇所風の穴のうち最も変形していることから、檜原風穴で最初に創設された蚕種貯蔵庫だろう。



檜原風穴（1号）

図5 檜原風穴1号 実測図



写真2 檜原風穴（1号）

2号風穴

2号風穴は、幅20m長さ30m以上のコーン状崖錐の側縁部にある。蚕種貯蔵庫跡が2室あって、石垣囲いも山留めの石垣も比較的残っている。手前側が4.7m×3.1m・深さ1.8m、奥側が4.7m×4.0m・深さ1.5mの規模で、その間は厚さ1.8mの石垣の壁で隔てられ、その標高が492mである。奥側は崖錐で半分ほど埋積されている。さらに、崖錐斜面側には、高さ1.5mと高さ2.0mの石垣の山止が施されている。

2室存在したことは、蚕種の入出穴に関わって、温度の異なる貯蔵庫で段階をおっていたものと思われる。すなわち、入穴にあたっては、やや低温から低温へ、出穴にあたっては、低温からやや低温へと漸次移動するように、2室をそれぞれに利用したのであろう。



写真3 檜原風穴（2号）

（2014年5月10日の残雪状況。2014年は関東山地で空前の大雪）

2号の出入口跡付近には、扉のかんぬき金具（26 cm×12 cm）が見出された。また、奥側の石垣が崩れた部分には、2 m×3 m ほどの範囲にツルネコノメソウの小群落があった。

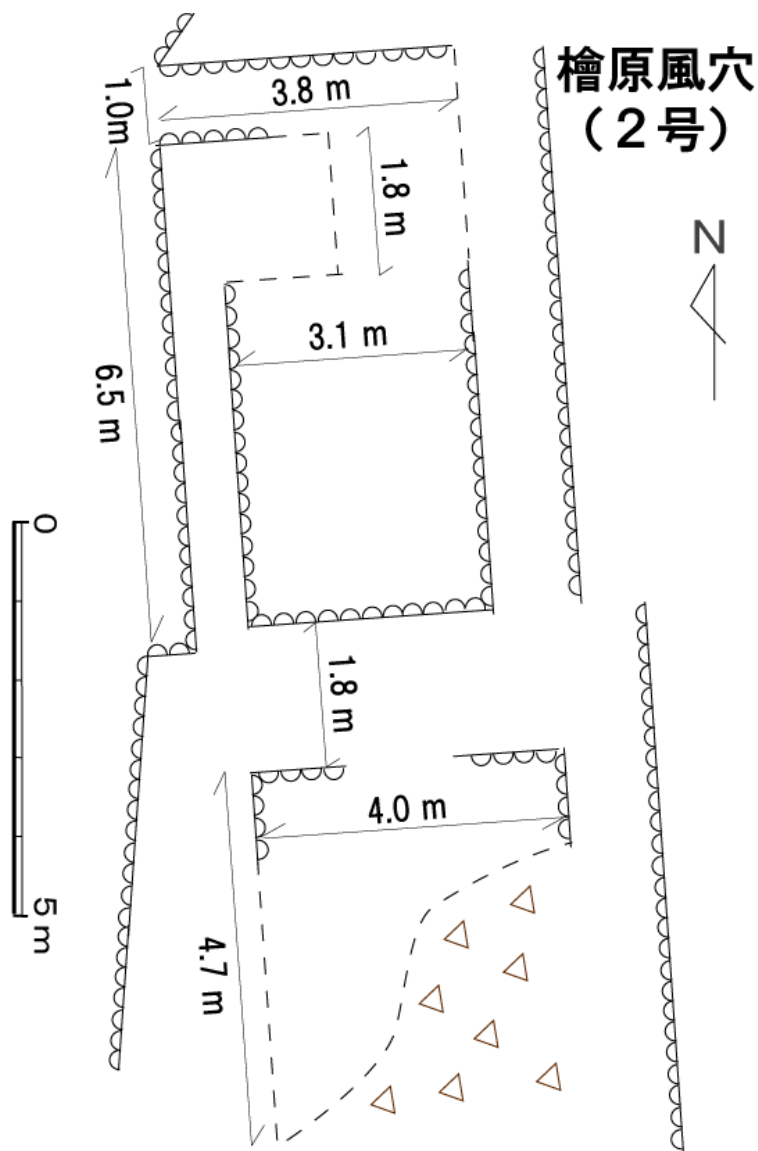


図6 檜原風穴2号 実測図

3号風穴

3号風穴は同じく2室あり、手前側の前室が3.6 m×4.0 m・深さ1.8 m、奥側の本室が6.0 m×4.0 m・深さ4.2 mの規模と深く、その間は4.5 mある。奥側は、崖錐で石垣が崩れ貯蔵庫跡は半分ほど埋積されている。石垣は矢羽根状に積み重ねられていて（写真5）、現在でもよく残っている。この石垣上の標高は538 mである。ここの2室は入口が向き合っていて、入出穴の蚕種の移動がスムーズであったと思われる。奥壁に接して貯蔵庫の柱と思わ

れる角材が残っていた。

以上の3風穴のなかで、高く積まれた石垣が残っていることから、最も新しく造成された蚕種貯蔵風穴と思われる。3風穴のなかでは最も深く掘られていることから、貯蔵庫跡の底部（南東側）は最も低温であった。また、本室は深く掘り下げられていることから、前室の西側にはズリ（掘り出した残土）を堆積させた人工地形が見られる。



写真4 檜原風穴（3号）
（左の写真は2014年4月13日の残雪状況。）



写真5 檜原風穴（3号）の西側内壁面の石垣
（矢羽根状に斜めに積まれている）

3号上方の温風穴

3号から50m以上高い標高594mの崖錐斜面中に、温風穴を見出した（図4の×）。2015年1月16日の斜面に薄く積雪がおおう中、温風穴周辺は積雪がなく、冬にも関わらずコケが青々と茂っていて、地温は12℃を示した（写真6）。位置的に、3号の冷風穴に対する温風穴と考えられる。

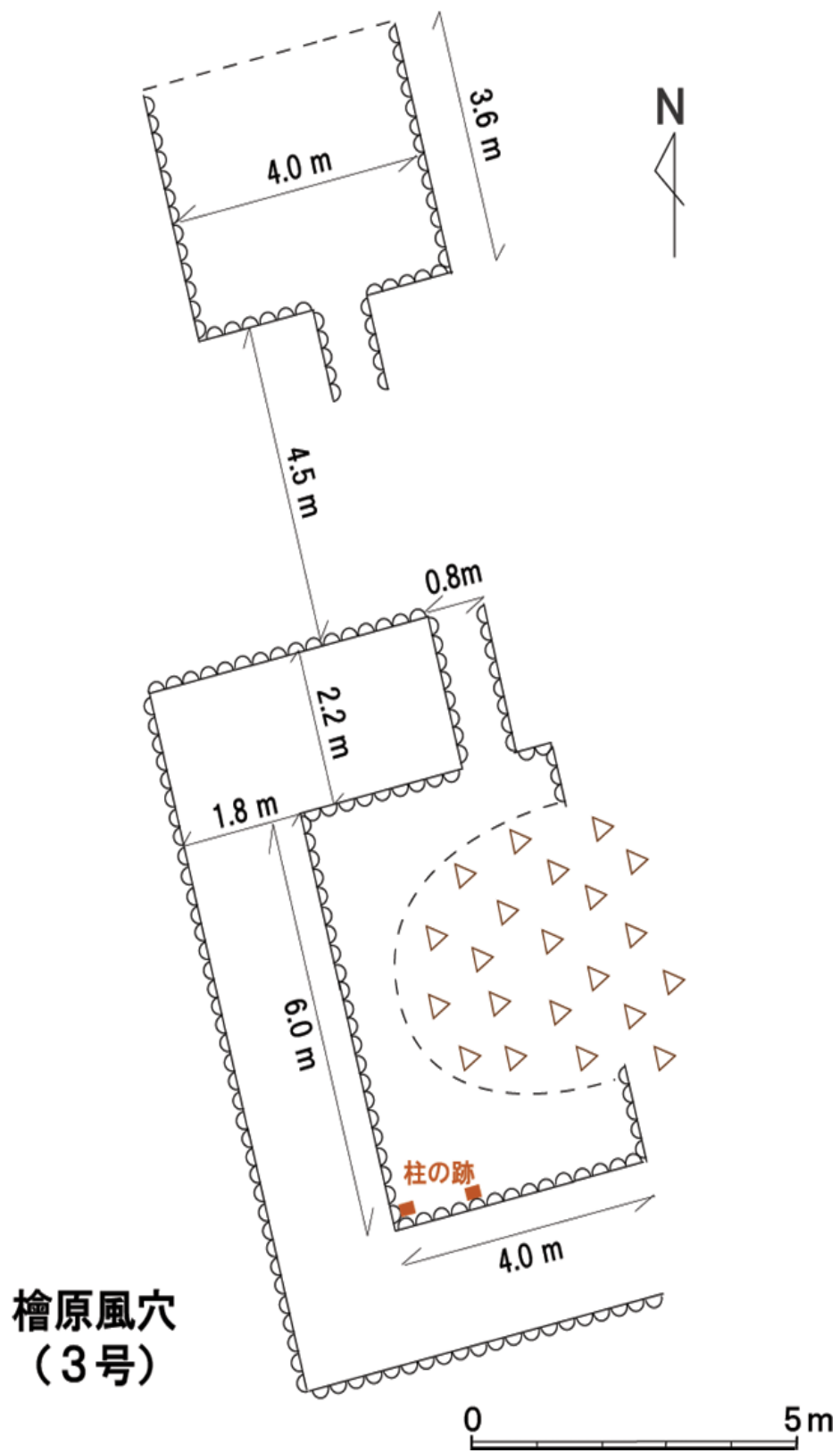


图7 檜原風穴3号 実測図



写真6 檜原風穴（3号）の斜面上部にある温風穴（2015年1月16日）
（温風穴周辺は雪が融け、コケが青々としている）

2) 奥秋

丹波山村奥秋の丹波川対岸に蚕種貯蔵風穴跡があるが、とくに固有の風穴名は付けられていなかったようである。奥秋の住民からの聞き取りによると、戦前から昭和30年代くらいまで、氷の貯蔵庫（氷室）として使われていた。自然水を冬季に凍らせて氷を風穴に保存し、夏に天然氷として来客に振る舞われた。また、その風穴より50mほど高い、標高700m付近の凹地状斜面にも蚕種貯蔵風穴があった。これらは、大正期の農商務省の記録にはない。

奥秋周辺には4段の河岸段丘（高いほうから第1～第4段丘面）が発達するが、第2段丘面と背後の崖錐斜面が接する標高645mに風穴がある。奥秋から源太川橋を渡り、キャンプ場から段丘を2段登ると、崖錐斜面基部に石垣が見える。そこが蚕種貯蔵風穴跡である（写真7）。

30°ほどの傾斜がある崖錐斜面の背後は、比高300mほどの三角末端面のような斜面である（図8、9）。なお、奥秋付近には上野原方面から鶴川断層という活断層が延びている。斜面は四万十帯小仏層群の砂岩（酒井,1987）が分布しており、崖錐堆積物は砂岩の角礫からなる。この崖錐堆積物のオープンワークの部分が風穴の自然条件をつくっている。この斜面では温風穴は確認できなかった。

蚕種貯蔵風穴跡の石垣はよく残っていて、貯蔵庫跡は3.7m×3.0m深さ1.6m、出入口の長さ2.1m幅0.8mの規模である。貯蔵庫跡の南側角が最も低温である。

このほかに、標高700m付近の蚕種貯蔵庫跡は5.0m×3.0mほどの遺構が認められるが、ほとんど原形をとどめていない。ここは浅い谷状を呈し、東側に崖錐斜面が発達する（図8、写真8）。

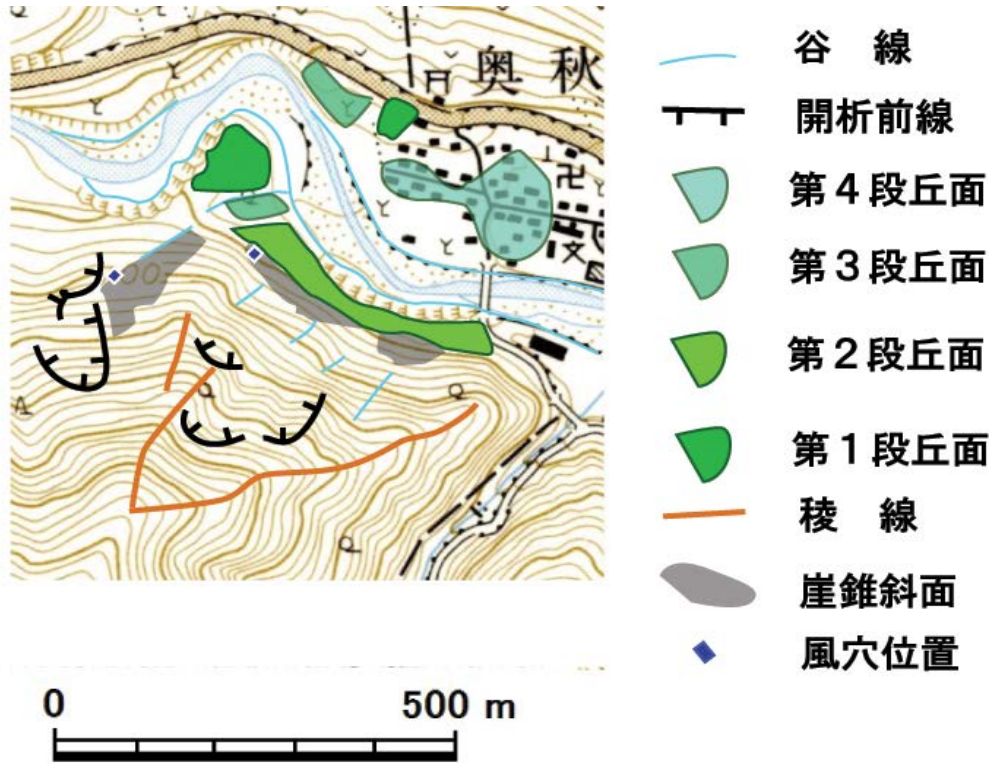


図8 奥秋の風穴周辺の地形分類図 (1/25,000「丹波」)

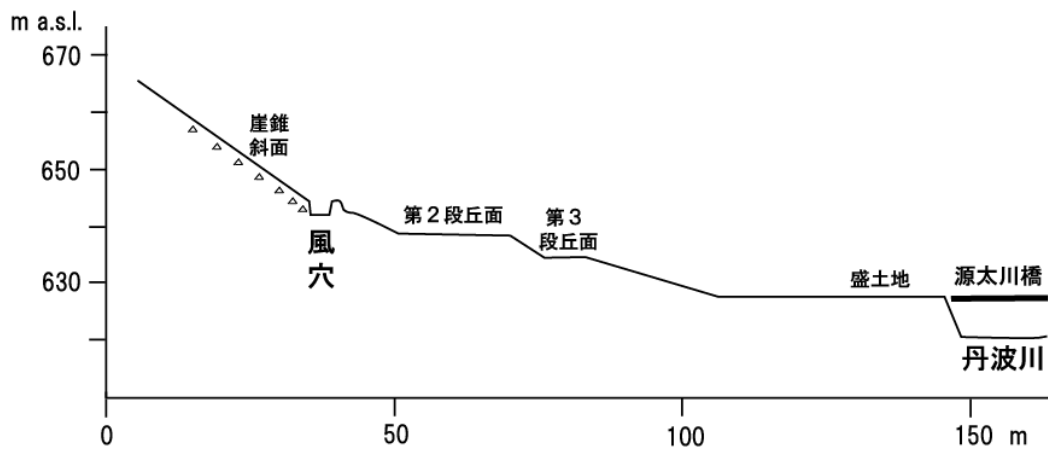


図9 奥秋の風穴 地形断面図



写真7 奥秋の風穴 (左の写真は2014年4月27日の残雪)

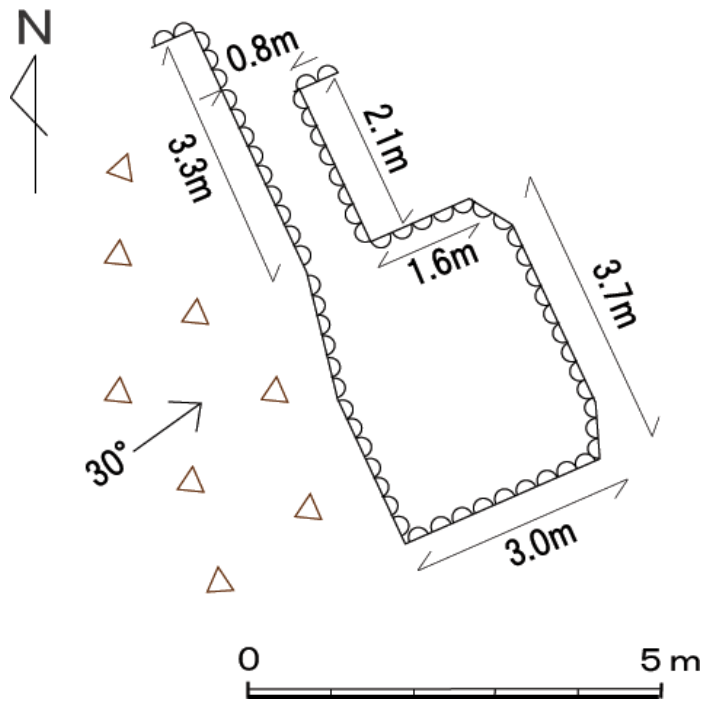


図10 奥秋の風穴実測図

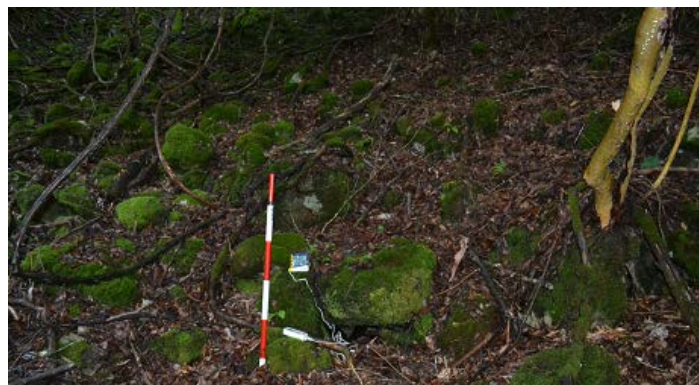


写真8 標高700mの風穴

3) 熊澤風穴

丹波より下流の丹波川右岸（南岸）側から注ぐ谷が熊澤で、その上流部の標高 825 m の谷底に蚕種貯蔵風穴跡がある。現地の風穴情報は全くなく、数回の踏査によってその位置が判明した。熊澤風穴へは、下流側から谷沿いの踏み跡をたどるか、大丹波峠からトラバースする仕事道をたどって斜面を下降する、などのルートがある。

熊澤の主谷沿いには崖錐斜面が発達し、下流部を除いてほとんど流水がない。上流部の主谷は侵食が進みガリーとなっている（図 11）。風穴付近には、幅 6~7 m 深さ 3 m ほどの明瞭なガリーとなっている。風穴は浅い凹形斜面の合流点付近の崖錐斜面末端のやや緩傾斜な斜面にある。上方の崖錐斜面は 36° と急峻で、比高 30 m ほどの上部には露岩壁が存在する（図 12）。

周辺は四万十帯小仏層群の砂岩（酒井,1987）が分布しており、崖錐堆積物を構成する径数 10 cm の砂岩の角礫である。崖錐堆積物はオープンワークの構造で、その角礫間の空隙が風穴をつくっている。周辺は自然林（広葉樹林）で、風穴近傍にはカツラの大木がある。なお、この崖錐斜面一帯では、温風穴は見出されなかった。

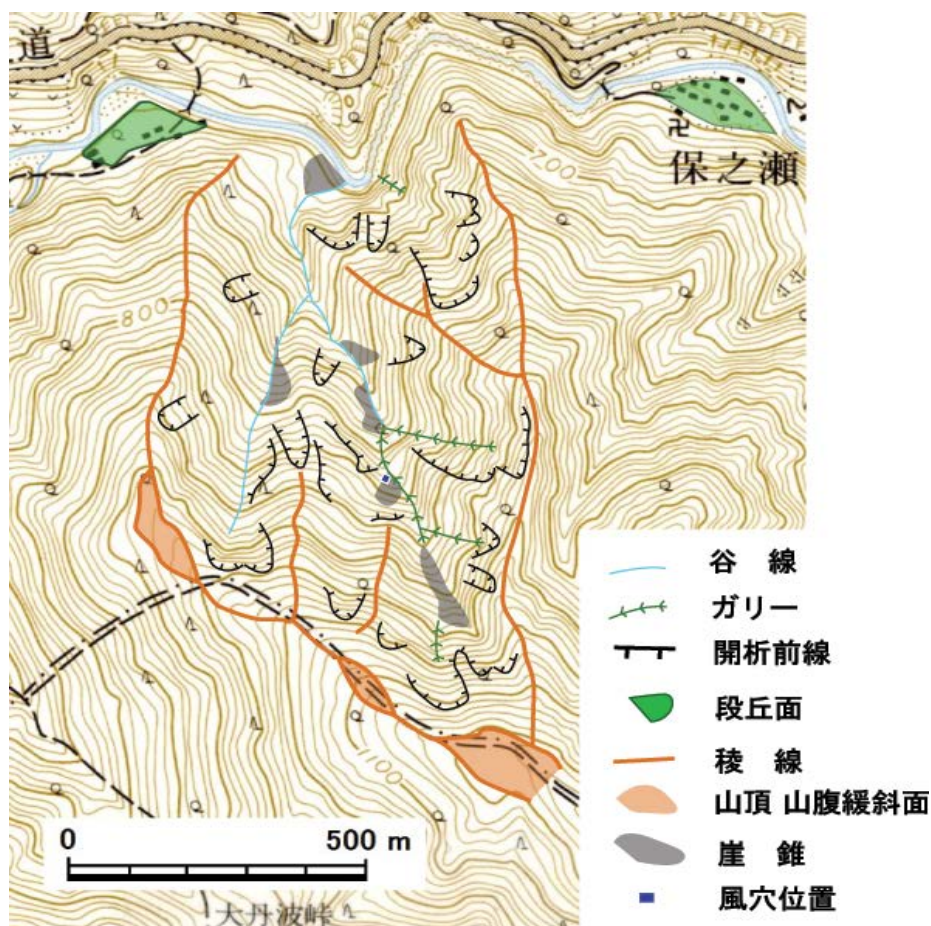


図 11 熊澤風穴周辺地形分類図 (1/25,000 「丹波」)



写真9 熊澤風穴（外壁と内部）
背後の大木はカツラ

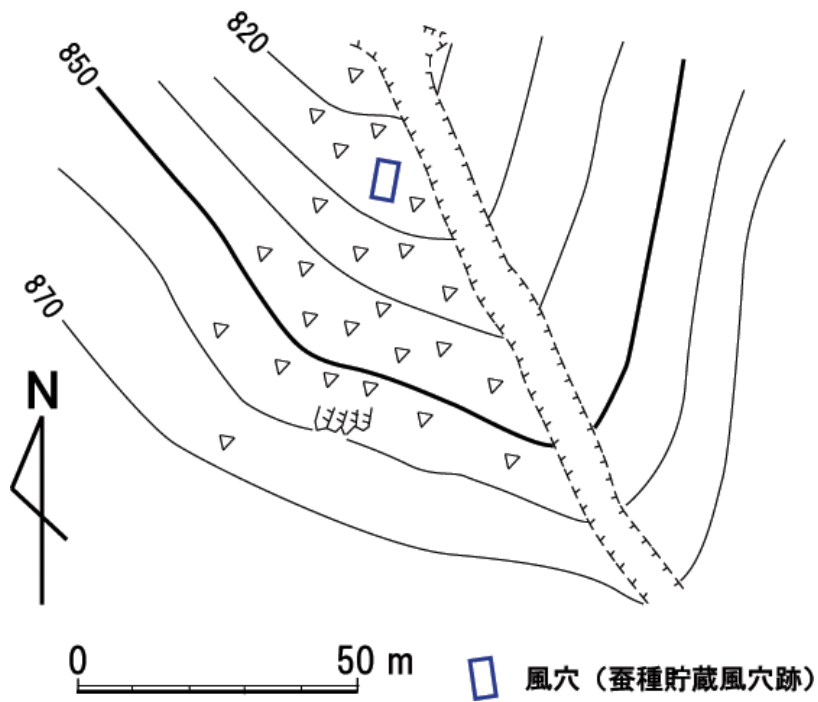


図12 熊澤風穴周辺実測図

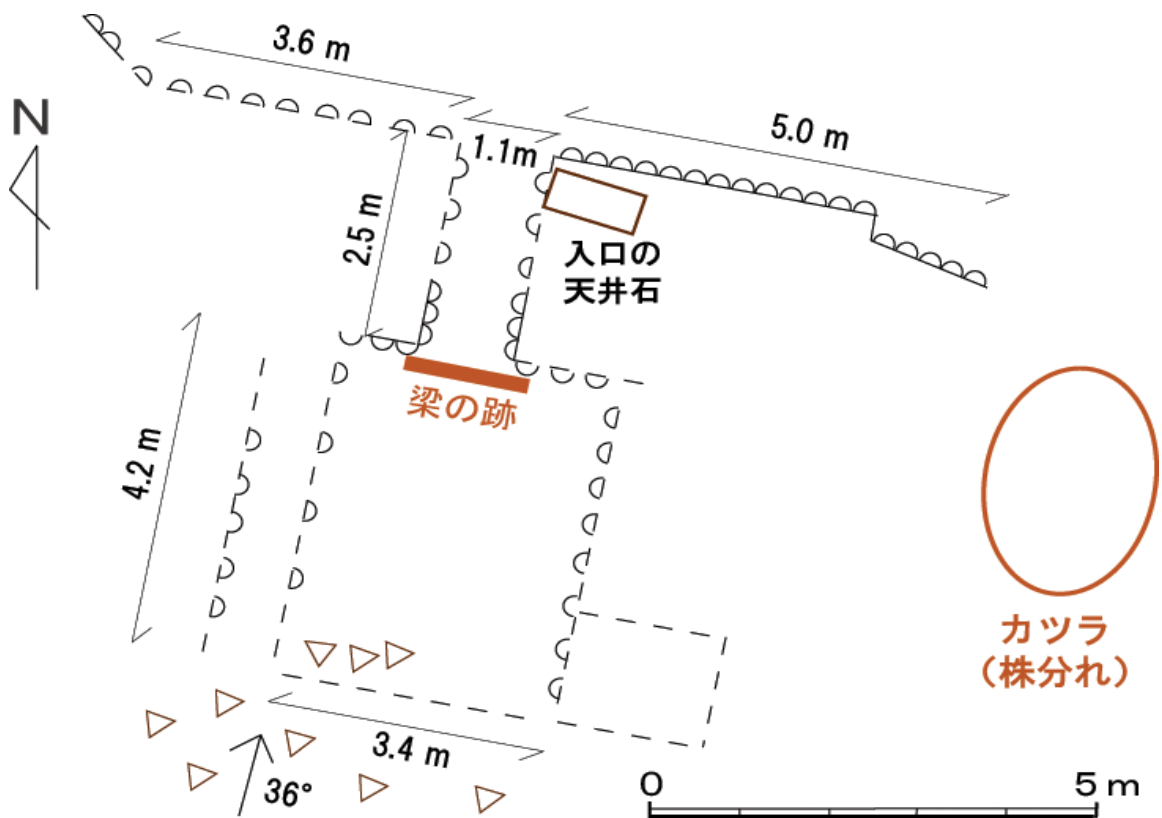


図 13 熊澤風穴実測図

蚕種貯蔵風穴跡の石垣は、外壁の一部がよく残っているが、内部はかなり崩れている（写真9）。貯蔵庫跡は4.2 m×3.4 m 深さ2 m、出入口の長さ2.5 m 幅1.1 mの規模である。出入口の石垣上には60 cm×30 cm×15 cmの平たい石材が残されていて、おそらく出入口の天井石であったと思われる。また、出入口の内側には扉の梁と思われる角材も残されている。この貯蔵庫跡では、南東側角が最も低温である（図13）。

4) 釜ノ澤風穴

戦前の山岳名著『奥秩父』（原,1933）に雲取山から旧・後山林道を下山する紀行文があり、「右上に小徑が入り釜ノ澤風穴みちとしてある」と記述されている。これが釜ノ澤風穴に関する唯一の情報であった。現地では、元・後山集落の住民から、およその位置を聞くことができた。

現在、旧・後山林道（図14、標高900 m前後の中腹の徒歩道）は廃道となっており、釜ノ澤風穴へは後山川沿いの現・後山林道（車道）の釜ノ澤橋から釜ノ澤沿いの仕事道・踏

み跡をたどることになる。旧・後山林道より上は踏み跡程度となり、スギ植林が終わり広葉樹林になるあたりの標高 1020 m に蚕種貯蔵風穴跡がある（図 14）。右岸側の崩壊地と谷底の大岩塊が目印である。

釜ノ澤は最下流部にワサビ田があり、そこに流水があるが、そこから上流では全て伏流している。大雨時には流水・土石流が発生するようで、土石流堆やガリーなどが谷底に見られる。旧・後山林道より上流では崖錐斜面が発達し、谷底を埋積している。釜ノ澤背後の稜線上は保ノ瀬^{でんでい}天平で、広い山頂緩斜面や線状凹地が認められる。これらは、苜谷ほか（2014）によって山体重力変形地形と考えられている。このことから、釜ノ澤流域は全体にやや不安定で崩壊や崖錐が形成されやすく、結果として表層は堆積物に覆われ、伏流していると考えられる。釜ノ澤一帯は四万十累帯小河内層群鴨沢層の砂岩（酒井,1987）が分布しており、崖錐堆積物には径 2 m 以上の砂岩の岩塊が見られるところもある。

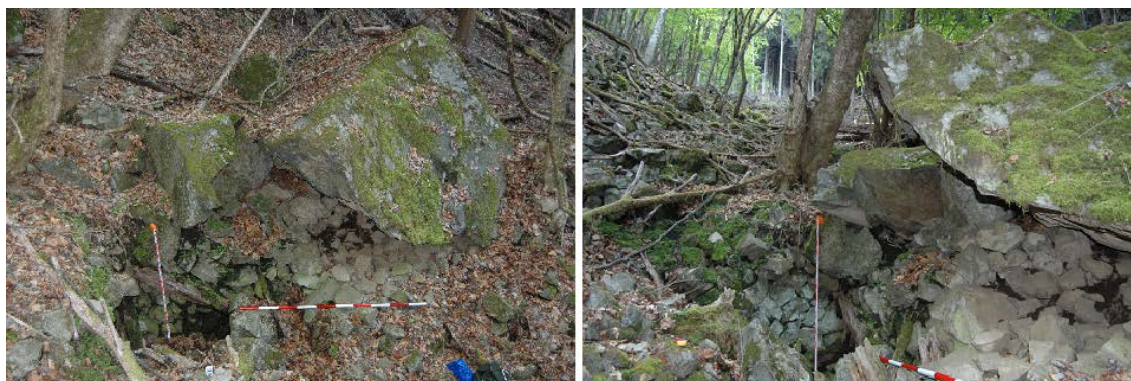


写真 10 釜ノ澤風穴

谷底を埋積する崖錐堆積物間の空隙が風穴をつくっている。蚕種貯蔵風穴跡には、340 cm × 260 cm × 220 cm の 140 cm × 100 cm × 60 cm の大岩塊があり、蚕種貯蔵庫はそれを利用して石垣で囲っていたようである。貯蔵庫跡は崖錐斜面末端部にあつて 6.0 m × 3.2 m 深さ 1.6 m の規模である。崖錐斜面側は崩れて石垣は失われている。奥側（谷の上流側）には、梁や柱の角材も残されている。この貯蔵庫跡では、奥側（北西側）角が最も低温である（図 16）。

背後の崖錐斜面は 30° の傾斜で、蚕種貯蔵風穴跡からすぐ下流側には、高さ 60 m 幅 10 m 以上の現成崩壊地がある。この崩壊地を形成した崩壊は、従来^の観察から 2007 年ころに発生したようである。

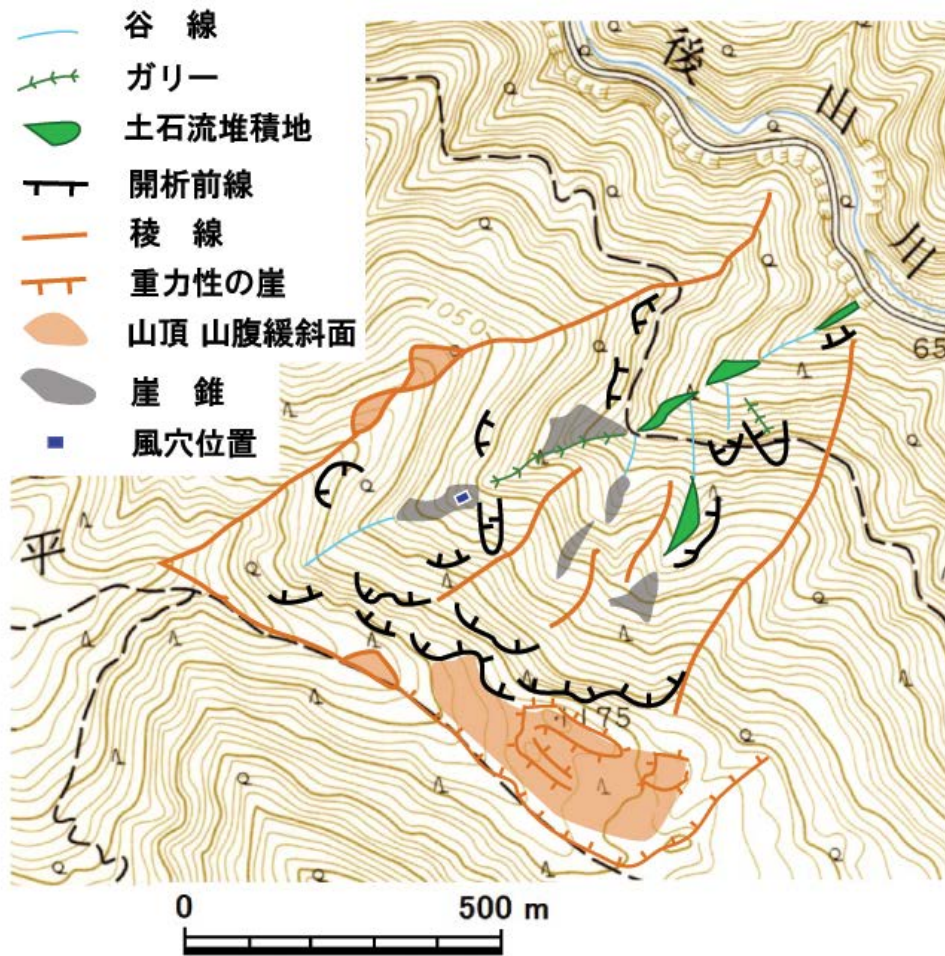


図 14 釜ノ沢風穴周辺地形分類図 (1/25,000「丹波」)

標高 1020 m の蚕種貯蔵風穴跡から、さらに釜ノ沢を遡った標高 1045 m 付近の谷底から右岸側斜面にかけて、温風穴を見出した (図 15)。温風穴は、列状に角礫の積み重なった長さ 5 m 以上の細長い範囲に見られ、小規模な火口列のような状況である (写真 23・24)。冷風穴 (蚕種貯蔵風穴跡) から温風穴までの比高 25 m、その間の急傾斜な谷底に沿って、地下に空気の移流があるようである。

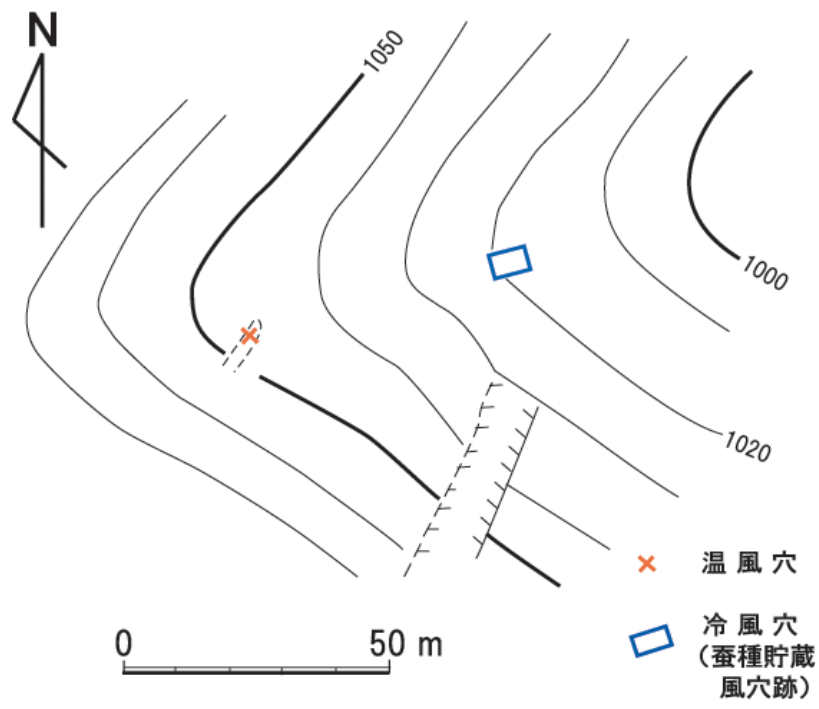


図 15 釜の沢風穴周辺実測図

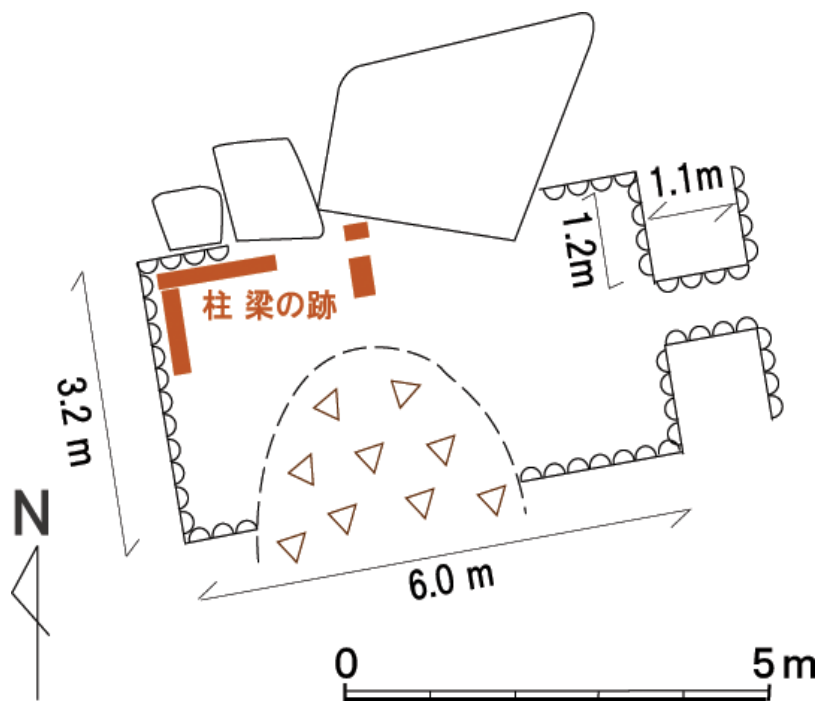


図 16 釜ノ澤風穴実測図

5) 風穴の沢

大菩薩峠から南へ延びる主稜線（大菩薩連嶺）は、相模川流域と笛吹川流域の分水界をなし、標高 1900 m 級のピークが連なっている。風穴の沢は、黒岳（1987.5 m）の西側斜面の沢で、谷頭部に風穴があったことに因んでいる（現在では、風穴を利用していたと考えられる焼山集落は離村し、この沢名はほとんど忘れ去られている）。

大菩薩峠一帯の文化・民俗をまとめた『大菩薩連嶺』（岩科, 1959）の「黒岳と小金沢山」の章に風穴の項がある。

「フウケツは、寺平から黒木立にはいって少し行って、道を焼山沢側にはずした所にあるゴウロ（岩石地）の地点で、焼山沢へ風穴の沢を落としている。名称由来は、以前この天然洞穴に蚕種を蔵したのによる。のちに焼山の某が外部から窺えぬよう手を加えると、風通しが悪くなって貯蔵に耐えられなくなって廃止し、今では小名をとどめるに過ぎない。」

という聞き取り結果が記述されている。この蚕種貯蔵風穴は、大正期の農商務省資料には記録されていない。

黒岳周辺は花崗岩類が分布しており、徳和型花崗閃緑岩と呼ばれている（山梨県地質図編纂委員会, 1970）。ゴウロと呼ばれる岩塊堆積地形が、風穴の沢の谷頭部に発達する。標高 1740~1840 m、比高 100 m、長さ 150 m、幅 20~30 m に広がり、傾斜 30° 前後で、径 2~3 m から最大のもので径 6 m 以上の大岩塊がマトリックスを欠いて集積した状況が見られる。岩塊堆積地形上にはコメツガを主とする森林が成立しており、これは亜高山帯の下限部を構成している。

こうした岩塊地形は、大菩薩連嶺周辺では何箇所も見出されていて、かつては周氷河成の岩塊流と考えられていた（三枝, 1993）。近年では、このような岩塊堆積地形は、花崗岩類の風化過程で残留風化核（コアストーン）が露出して形成された地形、と訂正されている（池田, 1998）。

この岩塊堆積地形の下端の標高 1746 m には、岩小屋状にひさしがある半洞穴状の自然状態の風穴があり（写真 11）、また標高 1775 m に蚕種貯蔵風穴跡が残されている（写真 12）。これらは、岩塊間の空隙を空気が移流して風穴となっているものと推定される。

蚕種貯蔵風穴の跡は、岩塊堆積地形にある扁平な大岩塊（5.5 m×4.4 m×0.5 m）を入口通路の屋根とし、その奥に 3 m×2.5 m、深さ 2 m の蚕種貯蔵室跡の空間があり、その周囲には簡易な石積が施されている。石積からして、おそらく、そこに簡易な屋根が架せられていたのだろう。岩科（1959）の記述や、後述する温度条件からも、蚕種貯蔵風穴が長期間使用されたとは考えられず、また、農商務省の資料に記録されていないことから、蚕種貯蔵風穴として使用に耐えうるかを試すにとどまったものかもしれない。



図 17 風穴の沢周辺地形分類図 (1/25,000「大菩薩峠」)

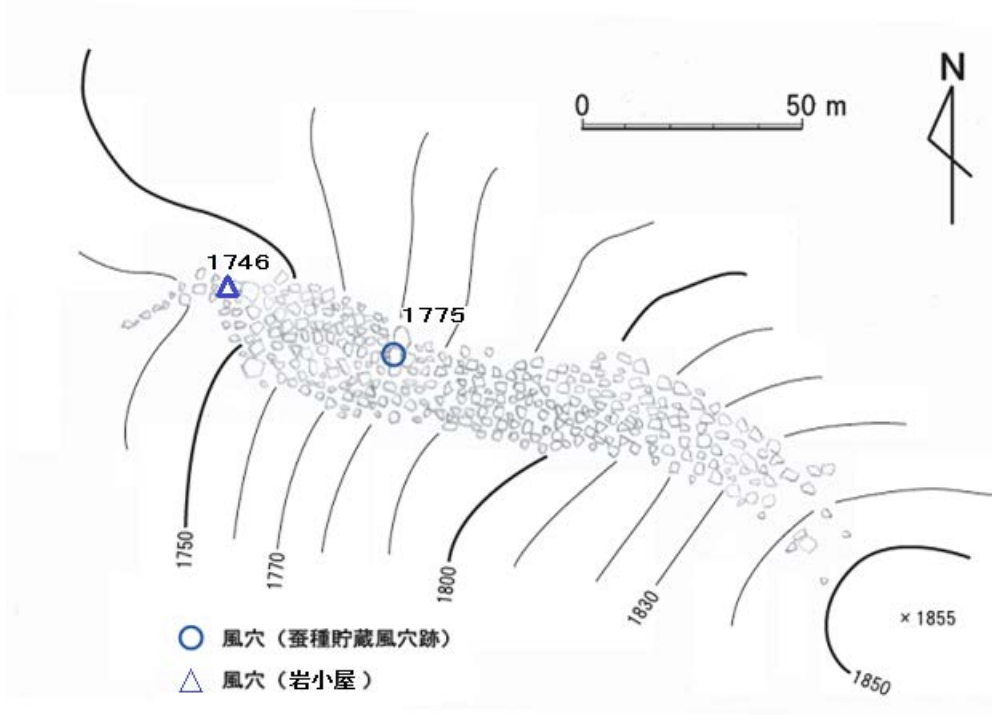


図 18 風穴ノ沢岩塊堆積地形周辺実測図
 (1855 m 山頂付近から風穴の沢の谷頭にかけて岩塊堆積地形が発達する)



写真 11 風穴の沢 岩小屋の風穴（標高 1746 m 奥行 1.7 m）



写真 12 風穴の沢の蚕種貯蔵風穴跡の入口と内部（標高 1775 m）
 扁平な大岩塊が入口通路の屋根となっている。
 内部に残雪が見られた（2014 年 4 月 27 日）

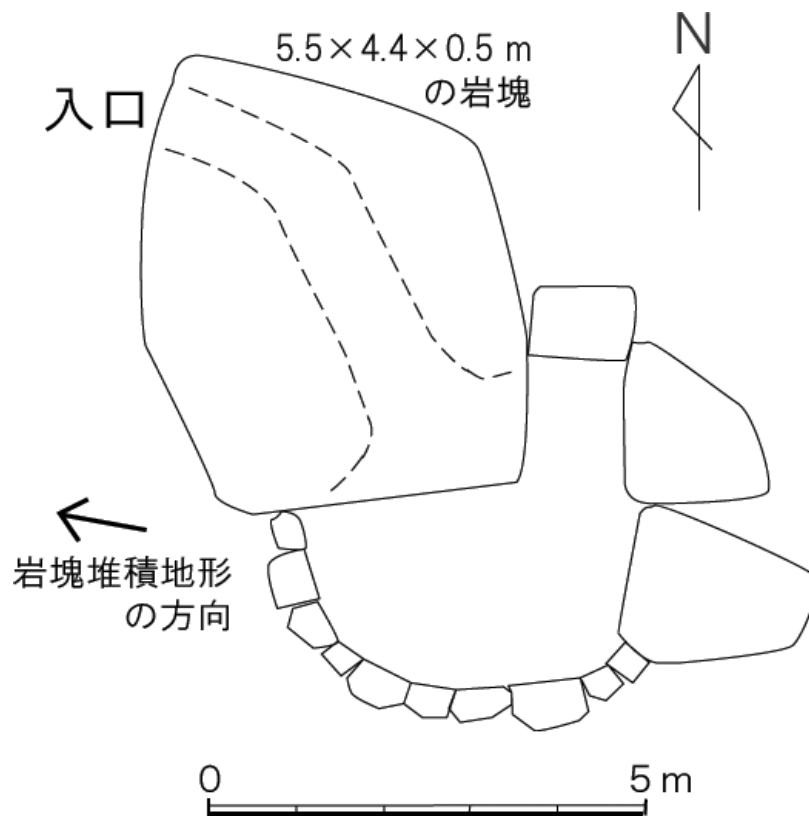


図 19 風穴ノ沢 蚕種貯蔵風穴跡実測図

IV 風穴周辺の植生

調査地および調査解析の方法

風穴地の自然条件を記録・比較することを目的に、多摩川流域の風穴地周辺で植生調査を行った。調査地は、檜原村の「檜原風穴」、丹波山村の「熊澤風穴」、「奥秋」、比較のために、甲州市 黒岳西側に位置する「風穴ノ沢」の4箇所である。それぞれの風穴地が位置する標高は異なり、檜原風穴は 500m、熊澤風穴は 825m、奥秋は 640m、風穴ノ沢は 1790m である。

一般に、風穴地では、本来その場所より垂直分布的に高標高域に分布する植物が生育しており、垂直分布が高度別に逆転する現象がみられることもある(真木 1998、斎藤 1953)。また、水平分布的には、より高緯度に分布する植物が、同程度の標高の風穴地では低緯度にみられる(五百川 2003)。本調査では、風穴地とその周辺の植生について、相観では明瞭な傾向が見られなかったため、風穴地の近くと遠くで詳細な植生調査を行い、冷気の影響を受けている植物が生育するか確かめることにした。

それぞれの風穴地とその周辺において、各階層に出現した主な樹木種を記録した。調査対象とした風穴地は、過去に蚕種貯蔵として利用されたため、石垣で囲われた遺構がある。この遺構の中心部、石垣の上、冷気の吹き出し口、遺構から冷気が流れ出るところ、遺構の外側など風穴地周辺のさまざまなところに、1辺が 1m のコドラートを設置した。コドラート数は、檜原風穴は 21、熊澤風穴は 10、奥秋は 11、風穴ノ沢は 18 である。そのコドラート内の維管束植物全種の種名と、コドラートに占める面積割合を記録した。また、コドラート内の蘚苔類をできるだけ全種採集し、持ち帰って種を同定した。

コドラート内の維管束植物の被度を用いて TWINSpan 解析によりコドラートを類型化した(Hill 1979, 「TWINSpan for Windows (WinTWINS)」),

<http://www.canodraw.com/wintwins.htm>, 2016年5月22日確認)。コドラートごとの蘚苔類の種の存在データを用いて nMDS 分析と Kmeans 法によりコドラートを類型化した(Oksanen et.al, 2015, Roberts, 2016), 「R を使って確認種リストから調査地点を序列化&クラスタリング&指標種分析する方法」

<http://d.hatena.ne.jp/tmizu23/20100201/1265019381>, 2016年4月18日確認)。さらに、温度等の環境要因を説明変数として、これら類型化で得られたグループを判別させる分類樹木分析(Therneau et.al (2012))を行った。環境要因としては、温度調査で測定された、風穴地内の地温、外気温から、各月の平均、最低、最高温度、温量指数、風穴地内地温と外気温の差の各月の平均を算出したものを用いた。また、コドラートの風穴地からの距離を測定し、冷気の影響として斜面上方は距離を2倍とした値を算出したものも環境要因に加えた。

調査地の植生概況

調査対象とした4箇所の風穴地は、すべてニホンジカによる食害の痕跡がみられる。特に丹波山村の熊澤風穴、奥秋では食害が激甚で、低木層と高さ10cm以上の草本層が欠如している。檜原風穴は、風穴地の外縁は、スギ人工林となっているが、風穴地内は高木のサワグルミ、オニイタヤなどの落葉広葉樹林で、低木層にチドリノキ、フサザクラなどが生育する。熊澤風穴は、急傾斜の崖錐にカツラ、サワグルミ、トチノキなどの高木が生育しており、ニホンジカ食害のため低木層や草本層が欠如して、斜面崩壊が著しい。奥秋の風穴の周囲はスギ人工林で、風穴地内は高木層にサワグルミ、低木層にアブラチャンがわずかに生育している。風穴ノ沢は、尾根部は高木層にコメツガとダケカンバ、低木層にリョウブなどが茂り、沢沿いは低木層にナナカマド、ヒロハツリバナ、サラサドウダン、ミネザクラ、アラゲヒョウタンボクが生育している。風穴ノ沢だけは亜高山帯、他の3地点は山地帯の様相である。これらの風穴地は崖錐や沢沿いであるため、土砂移動しがちの所に成立する溪畔樹種が占めている。このような植生は、風穴地に特有のものではないが、4カ所の風穴地に共通する。

維管束植物の組成の類型化

コドラート内の維管束植物の被度を TWINSpan 解析によって類型化した結果を表1に示す。全コドラートは、まずコヨウラクツツジ、ヘビノネゴザ等が優占し、風穴ノ沢を主体とするF,G,Hグループと、それ以外の風穴地に大きくわかれた。風穴ノ沢以外のグループは、その後、奥秋のコドラートを主体とする、ミヤマクマワラビの優占度の高いA,Bグループがわかれた。さらにそれ以外は、熊澤を主体としたヤマミズが優占するEグループがわかれ、その残りのうち、檜原と熊澤の風穴地にとっても近い、ツルネコノメソウ（写真13）の優占するDグループと、檜原を主体でジュウモンジシダやイッポンワラビ（写真14）の優占するCグループに分かれた。グループDとEには、檜原と熊澤のコドラートが混在したことから、風穴地の冷気の影響のある場所では、距離的に離れている他の風穴地同士でも共通の種が含まれている。



写真 13. ツルネコノメソウ



写真 14. イッポンワラビ

維管束植物の組成と環境条件の関係

環境要因によって類型化されたグループを判別する分類樹木分析の結果を図20に示す。風穴地内の6月平均気温が5.67°Cより小さいノードにグループCが多く振り分けられた。残りのうち、10月の風穴地温度と外気温の差が1.9°Cより小さいノードにF,G,Hグループが振り分けられた。さらに残りのうち、10月の風穴地温度と外気温の差が2.9°C以上のノードにグループDが、残りのノードにグループAとBが振り分けられた。

環境要因と植生の関係については、以下のように考えられる。風穴地の冷気がよく供給される檜原風穴などには、サワハコベやイッポンワラビの生育するCグループが出現した。また標高が高く外気温が低く、風穴地内の温度と外気温の差が小さい風穴ノ沢には、コヨウラクツツジ、ヘビノネゴザ等が優占するF,G,Hグループが、逆に風穴地温度と外気温の差が激しく、空中湿度が高い熊澤風穴の近くでは、ツルネコノメソウの常在度の高いDグループが、その残りとして、風穴地の影響のあまり大きくない奥秋を中心とした普通の崖錐植生として、ミヤマクマワラビの優占度の高いA,Bグループがわかれた。つまり、風穴地の冷気の影響は、サワハコベやイッポンワラビの生育するCグループに、また風穴地の冷気と外気温との差で空中湿度が高くなる影響は、ツルネコノメソウの常在度の高いDグループによく表れているといえる。ツルネコノメソウは風穴地の指標種とされており(株式会社建設環境研究所・財団法人ダム水源地環境整備センター 2010)、イッポンワラビは、観察された場所より本来もっと標高の高いところに生育する種であり、風穴地の冷気の影響で生育が可能となっている可能性が高い。ニホンジカの個体数が増える以前であれば、もっとはっきりとしたこれらの傾向がみられたと思われる。

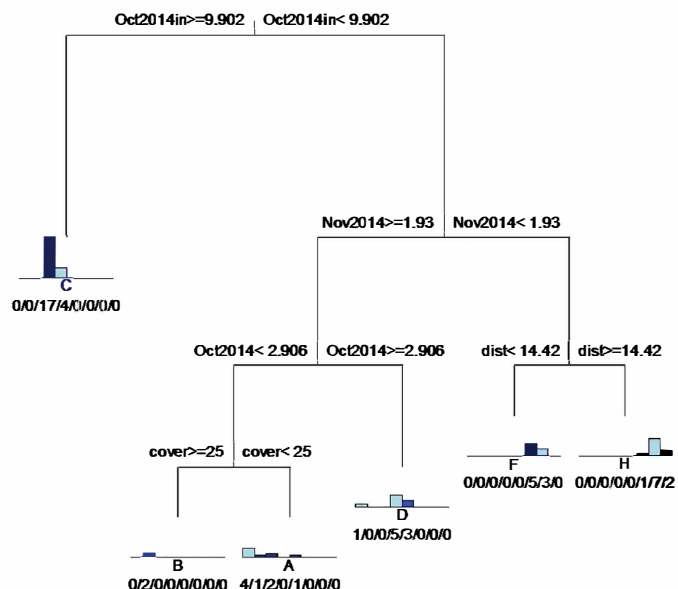


図20. 維管束植物と環境要因の分類樹木分析

蘚苔類の組成の類型化

蘚苔類の在不在を用いてnMDS解析とKmeans法によって類型化した結果を図21および表2に示す。その結果、1軸上の負の方向のグループEに、イワダレゴケやエゾチョウチンゴケを指標とする、風穴ノ沢のコードラートがまとまった。1軸上の正の方向のグループAには、トサカハウオウゴケとクジャクゴケを指標とする、奥秋と檜原の一部のコードラートがまとまった。2軸の正の方向には、グループCとして、ナメリチョウチンゴケとマルフサゴケを指標とする、風穴ノ沢を主体とするコードラートがまとまった。2軸の負の方向には、グループBとして、ホソミツヤゴケとミヤマサナダゴケを指標とした、熊澤と檜原の一部のコードラートがまとまり、残りにグループDとして、トヤマシノブゴケとネズミノオゴケを指標とする、熊澤、奥秋、檜原のそれぞれ一部がまとまった。維管束植物の解析では、各風穴が同じグループに類型化する傾向が強かったが、蘚苔類の解析では、異なる風穴地に分布した種が同じグループに入ることが多かった。つまり、地理的に離れた風穴地でも、蘚苔類の種組成が類似したコードラートが存在するという傾向があるといえる。

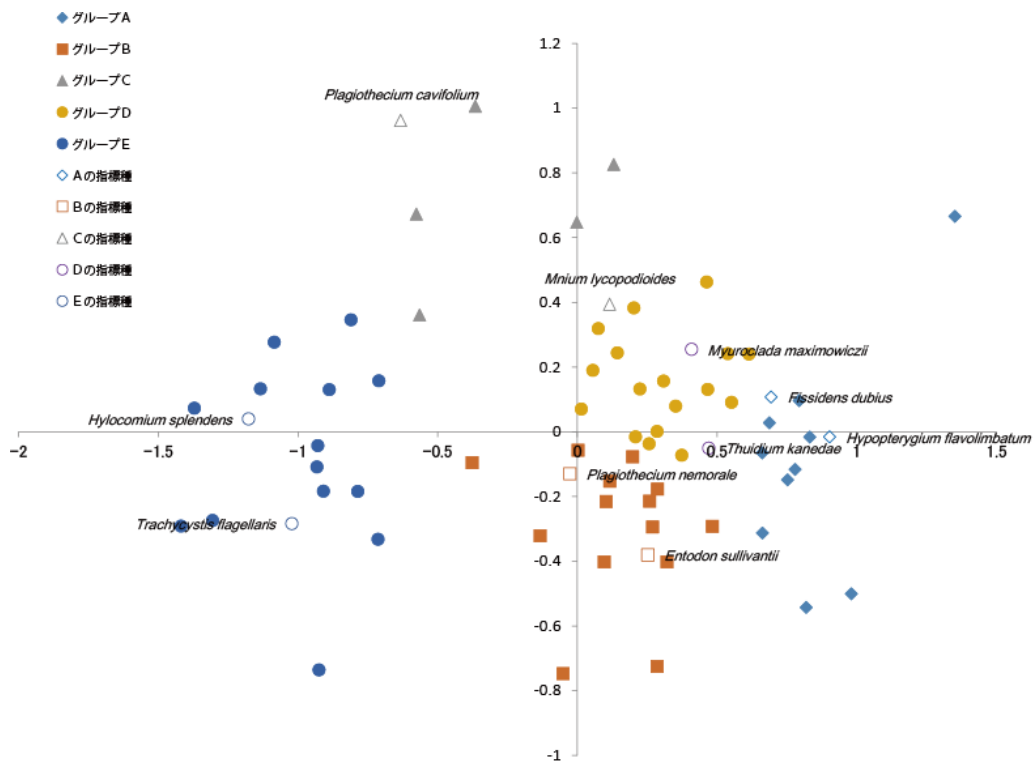


図 21. 蘚苔類の nMDS による非階層クラスター分析

蘚苔類の組成と環境条件の関係

維管束植物と同様の方法で算出した環境要因を説明変数として、nMDS 分析と Kmeans 法で類型化されたグループを判別させる分類樹木分析を行った (図 22)。まず、風穴地内の温量指数が 26.38 以上に、風穴の沢のほとんどのコドラートが入る、グループ E が多く振り分けられた。その残りのうち、風穴地からの距離が 3.8m より近いにグループ D の多くが振り分けられた。さらにその残りのうち、10 月の風穴地内の温度と外気温の差が 2.9°C より小さいにグループ A の多くが振り分けられ、さらに残りにはグループ B が多かった。グループ C は分類樹木分析ではバラバラになった。

これらから、風穴地の影響を受けて生育していると考えられる蘚苔類の種組成についてまとめると、熊澤、奥秋、檜原の風穴地から近く冷気の影響の強いコドラートは、グループ D であり、トヤマシノブゴケとネズミノオゴケが指標となった (写真 14)。また、熊澤と檜原の一部で、10 月の風穴地温度と外気温の差が大きい、空中湿度の高いコドラートは、グループ B としてまとめ、ホソミツヤゴケとミヤマサナダゴケが指標となった (写真 16)。風穴地から吹き出す冷気による結露の影響で、風穴地周辺には湿原性の植物が生育することが知られている (佐藤ら 1993)。また、蘚苔類においても、本来、より高標高域に分布する蘚類が、低標高地で見られる報告がある (出口ら 1981、中西 1959)。そのため、この解析で指標種となった種が風穴の強い影響によるものである可能性があるが、さらに各種の本来分布する場所と、風穴地との環境の比較などのさらなる研究が必要である。

本研究により、蘚苔類の種組成は、維管束植物より顕著に、風穴地からの冷気や、結露による空中湿度の高さの影響を受けている可能性が示唆された。蘚苔類はニホンジカの食害の影響が維管束植物ほど激甚でないことも、このような傾向が明瞭となった原因である可能性がある。今後も、風穴地によって維持されている貴重な植生として、蘚苔類にさらに注目す

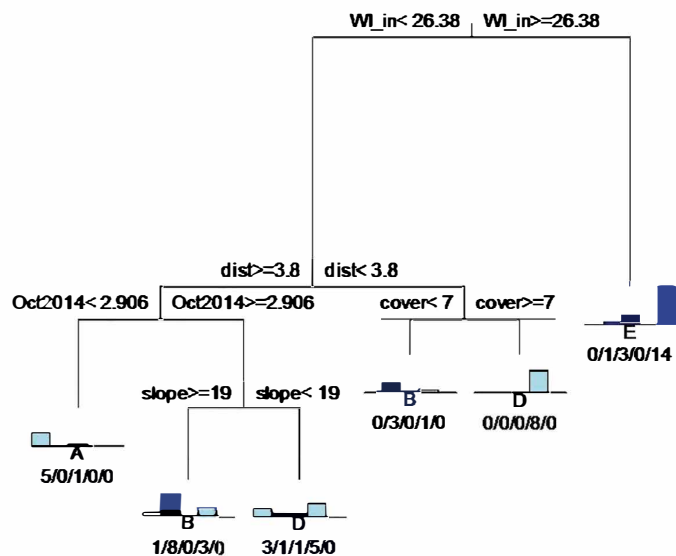


図 22. 蘚苔類と環境要因の分類樹木分析



写真 15. コドラート熊沢 8



写真 16. コドラート檜原 1 2

V 風穴の熱画像・温度観測・風速観測

2014年春季から2016年の春季にかけての約2年間、5箇所の蚕種貯蔵風穴跡にそれぞれ温度ロガーを設置し、気温ならびに風穴の地温を測定した。

蚕種貯蔵風穴跡では、斜面上部側の最も低温となる石垣基部（冷風穴）の地温、および風穴から離れた（風穴の低温の影響をうけにくい）場所の気温、などをそれぞれ1時間毎に測定した。また、檜原風穴と釜ノ澤風穴では冷風穴上方の崖錐斜面に温風穴を見出したので、そこの地温も併せて測定した。使用したロガーは、T and D社のおんどとり（TR-51i, TR-52i）である。

このほか、サーモカメラを用いて風穴周辺の熱画像を作成した。また檜原風穴では、インターバルカメラを用いて、残雪の消雪状況を記録した。さらに、釜ノ沢風穴では、冬季の気流の強弱を、冷風穴・温風穴で同時に計測した。

各風穴の年平均気温と凍結指数

測定を開始した2014年は2月14～15日にかけて空前の大雪に見舞われ、秩父で98 cm、甲府で114 cmもの積雪をみた。奥多摩一帯では、場所によっては2 mと記録されている（大平・平山，2014）。この残雪は風穴周辺では初夏まで存在し、その間の風穴の地温にも影響を与えている。

表5 各風穴の標高と年平均気温・凍結指数

| | 標高 | 年平均気温 | 凍結指数 |
|-------|------|-------------------------|-------------------------------|
| | m | 2014.6～ 2015.6 °C | 2014.12～ 2015.3 °C・days |
| 檜原風穴 | 540 | 11.3 | 31.7 |
| 奥秋 | 645 | 10.9 | 71.9 |
| 熊澤風穴 | 825 | 10.3 | 91.5 |
| 釜ノ澤風穴 | 1020 | 9.6 | 135.8 |
| 風穴の沢 | 1775 | 5.5 | 594.5 |

このようなごく稀な多量の残雪の影響をうけることのない、ごく標準的な風穴における年平均気温を、2014年6月から2015年6月までと限定して算出した。2014年12月から2015年3月までの積算寒度（凍結指数）も算出した。標高別に、5箇所の風穴の年平均気温・凍結指数をまとめたものが表1である。

結果は、標高が上がるにしたがって年平均気温は低くなり、最も標高が高い風穴の沢で5.5℃である。また、凍結指数は風穴の沢で最も大きく、およそ亜高山帯域ほどの比較的高い数値を示すようで、他は温暖域の低い値である。これらの年平均気温・凍結指数は、およそ標高による気温減率の結果を示すものと考えられる。

1) 檜原風穴

2014年の残雪期間

檜原風穴（3号）では、前述した2014年の大雪がもたらした残雪の消雪状況を、インターバルカメラ（brinno社 ガーデンウォッチカム）を用いて、1日1回撮影した。撮影は4月17日～7月4日までの79日間である。全期間の撮影画像（動画）は、以下のファイルに収め、添付のCDに収めてある。

[Hinohara_Apr-Jul2014.avi](#)

このほか、この撮影期間前の4月13日の状況を写真4、撮影期間中の5月10日、6月4日、7月4日の状況を写真16に示した。これらの撮影データから、2014年の春季から夏季にかけての消雪状況を述べよう。

4月13日は、3号風穴の内部から周辺の崖錐斜面下端部にかけて、風穴周辺の広い範囲に残雪があった。3号風穴の内部は深さ4.2mで、それが雪で覆われるほどであることから、風穴の最大積雪深は4.2m以上に達している。例年4月中旬になると、檜原風穴ではほぼ残雪が見られなくなるので、それに比して極端に多いことがわかる。4月17日のインターバルカメラ撮影開始時でもこの状況にほとんど変化がない。

以降、崖錐斜面下端部の残雪は消えてゆき、5月16日には、風穴の内部にのみ残雪をとどめるようになる。内壁の石垣が高さ1.5～2m程度露出しているので、風穴内の積雪深はなお2m前後あった。

6月7日に至って、風穴の内部の底部にのみ残雪が見られるようになることから、積雪深は1m以下となる。6月15日で風穴の底部の深いところのみに残雪があり、標尺から積雪深60cmと読みとれる。その後、6月20日で積雪深40cmに減ずる。

7月1日で風穴の底部の一部にのみ残雪を見る程度となり、7月4日には、70cm×35cm×30cmサイズの柱状の残雪がとどまっていた（写真16）。風穴内の温度変化から、この最後の残雪は2・3日以内に消滅した。

結果として、2014年は7月上旬まで、風穴内に残雪があったことになる。奥多摩の低山

の沢すじやガリーなどでは、5月中ころまで残雪が見られたが、6月以降、それが見られるところはほとんどないようであった。7月上旬まで残雪があったのは檜原風穴のみで、風穴の低温の効果が消雪を妨げていたか、知ることができる。

いずれにしても、冬季の大雪の結果、奥多摩の標高 500 m 程度の低山で、7月上旬まで残雪があったことは記録すべきことであろう。



(2014年5月10日)



(2014年6月4日)



(2014年7月4日)

写真 17 空前の大雪だった 2014 年の檜原風穴（3号）の残雪の変化

檜原風穴の熱画像

夏季に撮影した檜原風穴（1号）（3号）の熱赤外画像を示す。撮影にはサーモカメラ（NEC Thermo Shot）を用いた。表示されている温度は、反射温度で対象地点の絶対温度ではなく、相対的な温度差である。

1号では、崖錐下端部の巨礫の下あたりが相対的に低温で、低温の範囲はやや狭い（写真18）。3号では、風穴の内側と出入り口（右下）が、周囲に比べて著しく低温となっている状況が写し出されている（写真19）。

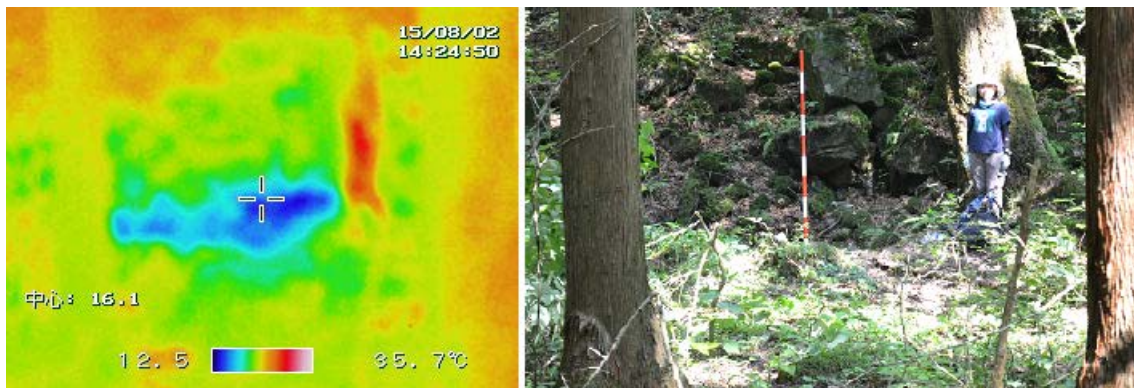


写真18 檜原風穴（1号）の熱画像（2015年8月2日）

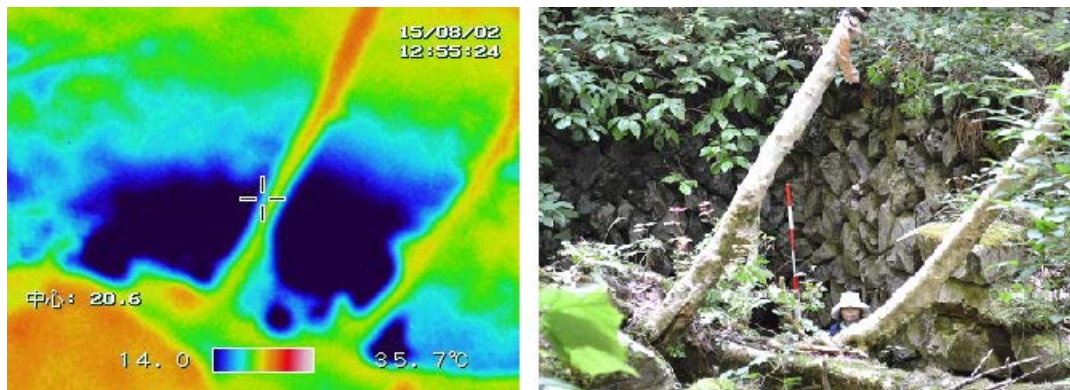


写真19 檜原風穴（3号）の熱画像（2015年8月2日）

檜原風穴（3号）の2014年から2016年の約2箇年にわたる温度変化

檜原風穴（3号）では、蚕種貯蔵風穴跡の内部（冷風穴）の地温と、その近傍の気温、それらより50m以上高いところにある温風穴の地温を測定した。期間は2014年6月4日

～2016年5月2日の約2年間、それぞれ1時間毎に測定した。なお、温風穴については、2015年1月16日に確認したので、それ以降のデータである。結果をグラフ（図23）に示す。元の温度データは、以下のファイル名で、添付のCDに収めてある。

Hinohara_2014-2016.xls

気温は、2014年2015年ともに夏季の最高で31℃、その間の冬季にはマイナス8℃に低下した。2014年6月から2015年6月の年平均気温11.3℃、凍結指数34.7℃・daysで、山地帯下部のやや冷涼な気候である。

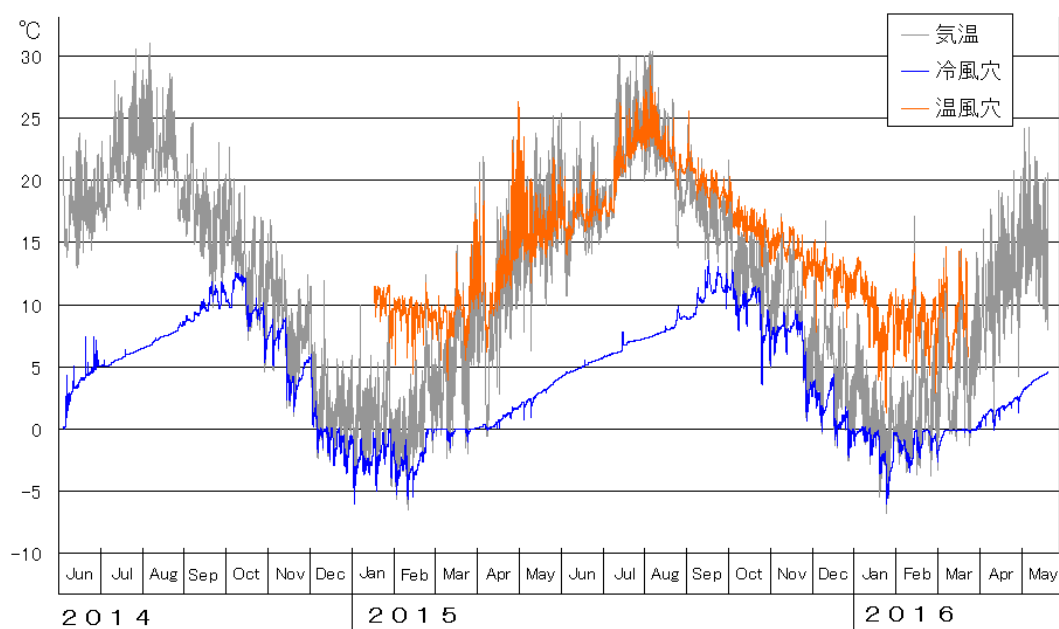


図23 檜原風穴（3号） 2014年から2016年の温度変化

冷風穴の地温（3号）は、2015年は4月15日まで、2016年は3月30日まで0℃以下であった。2015年は10月上旬、2016年は9月中下～旬ころが最も高く、12℃以上に上昇する。気温と地温の差は7～8月ころが最も大きく、その差は20℃以上に達する。

両年の冷風穴の地温変化からは、蚕種貯蔵に適合する7.2℃以下は8月上旬ころまでと推定される。これは、蚕種貯蔵可能期間としては比較的長い。

気温と冷風穴の地温を比較すると、およそ9月から2月ころまでの秋季～冬季に、気温の日変化のなかで低い部分が地温と一致する。このことは、夜～朝にかけての比較的低温時に外気の吸い込みが起り、気温と地温が一致することを示唆している。

いっぽう温風穴の地温は、4月ころから9月ころにかけての夏季には気温とおよそ一致し、11月ころから翌2月ころにかけての秋季～冬季には気温より高い値を示しながら、15℃から5℃まで徐々に低下し、3月に入ると気温に近接する。温風穴の地温は0℃以下には低下しなかった。なお、12～1月ころの温風穴と冷風穴の差は、0℃を挟んで10°～15°程度あった。

2) 奥秋

奥秋の風穴の熱画像

初夏に撮影した奥秋の風穴の熱赤外面像を示す。撮影にはサーモカメラ（NEC Thermo Shot）を用いた。表示されている温度は、反射温度で対象地点の絶対温度ではなく、相対的な温度差である。

奥秋の風穴では、風穴の内側と出入り口（左下）が、周囲に比べて低温となっている状況が写し出されている（写真 20）。この画像では、風穴の底部より周囲の石垣のほうが多少とも低温である。撮影した6月は風穴の地温も上がりつつある時期であり、底部に積もった枯れ枝・落ち葉などが多少高くなっている可能性がある。

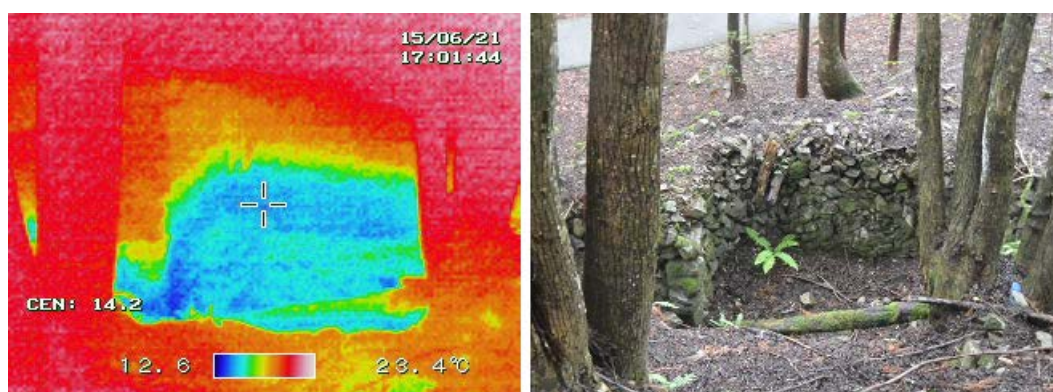


写真 20 奥秋の風穴の熱画像 (2015年6月21日)

奥秋の風穴の2014年から2016年の約2箇年にわたる温度変化

熊澤風穴では、蚕種貯蔵風穴跡の内部の地温と、その近傍の気温を測定した。期間は2014年4月27日～2016年4月23日の約2年間、それぞれ1時間毎に測定した。結果をグラフ(図 24)に示す。元の温度データは、以下のファイル名で、添付のCDに収めてある。

Okuaki_2014-2016.xls

気温は、2014年2015年ともに夏季の最高で31℃、その間の冬季にはマイナス8℃に低下する。2014年6月から2015年6月の年平均気温10.9℃、凍結指数71.9℃・daysで、山地帯のやや冷涼な気候である。

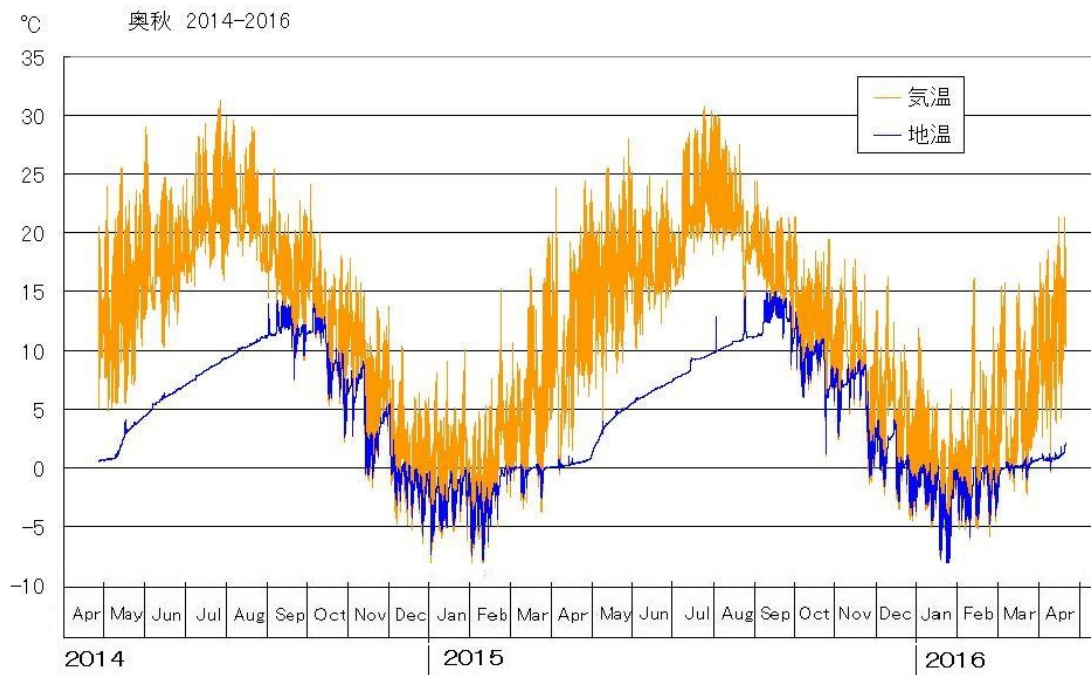


図 24 奥秋 2014～2016 年の温度変化

地温は、2015年は4月9日まで、2016年は3月9日まで0℃以下であった。おそらく、それぞれの年で、そのころまで地下水が残存したと推定される。2015年・2016年ともに8月上旬ころに10℃以上となり、2014年は9月に最高14℃、2015年は9月に最高15℃に達した。気温と地温の差は7～8月ころが最も大きく、その差は約20°にも達する。

気温と地温を比較すると、およそ9月から2月ころまで、気温の日変化のなかで低い部分が地温と一致する。このことは、夜～朝にかけての比較的低温時に外気の吸い込みが起り、気温と地温が一致することを示唆している。

両年の地温変化からは、蚕種貯蔵に適合する7.2℃以下は7月中旬ころまでと推定される。この蚕種貯蔵可能期間は、後述する熊澤風穴よりも長い。

3) 熊澤風穴

熊澤風穴の熱画像

初夏に撮影した熊澤風穴の熱赤外面像を示す。撮影にはサーモカメラ（NEC Thermo Shot）を用いた。表示されている温度は、反射温度で対象地点の絶対温度ではなく、相対的な温度差である。

熊澤風穴では、風穴の内側と出入り口（左上）が、周囲の斜面に比べて著しく低温となっている状況が写し出されている（写真 21）。風穴内右よりの温度ロガーを設置したあたりが最も低温である。出入り口（左上）のほうは、低温の範囲が狭くなる。

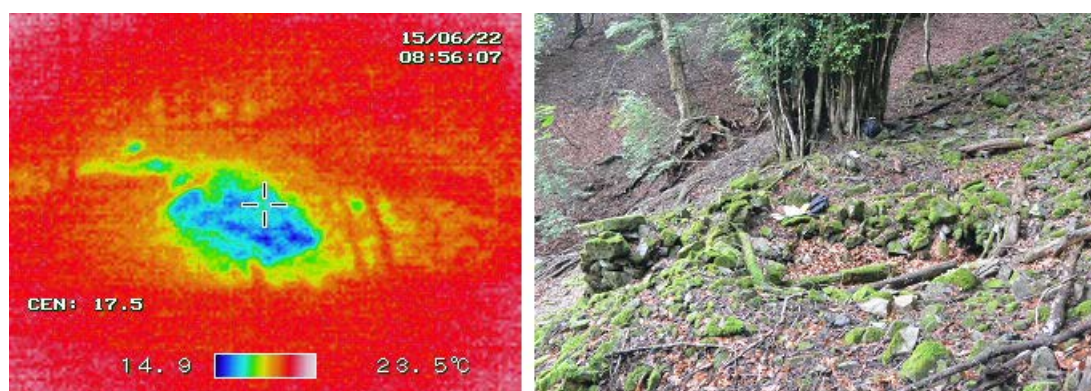


写真 21 熊澤風穴の熱画像（2015年6月22日）

熊澤風穴の2014年から2016年の約2箇年にわたる温度変化

熊澤風穴では、蚕種貯蔵風穴跡の内部の地温と、その近傍の気温を測定した。期間は2014年4月27日～2016年4月23日の約2年間、それぞれ1時間毎に測定した。結果をグラフ（図 25）に示す。元の温度データは、以下のファイル名で、添付の CD に収めてある。

[Kumazawa_2014-2016.xls](#)

気温は、2014年2015年ともに夏季の最高で28°C、その間の冬季にはマイナス8～9°Cに達する。2014年6月から2015年6月の年平均気温10.3°C、凍結指数91.5°C・daysで、山地帯のやや冷涼な気候である。

地温は、2015年は4月15日まで0°C以下であった。2016年には、温度ロガーを回収した4月23日でもロガーが地下氷におおわれ、氷を砕きながらのロガー回収に30分以上を要した。おそらく2016年は5月上旬ころまで地下氷が残存したと推定される。両年とも7月下旬ころに10°C以上となり、2014年は9月に最高14°C、2015年は9月には最高15°Cに達した。気温と地温の差は7月ころが最も大きく、その差は18°以上に達する。

気温と地温を比較すると、およそ9月から2月ころまで、気温の日変化のなかで低い部

分が地温と一致する。このことは、夜～朝にかけての比較的低温時に外気の吸い込みが起
こり、気温と地温が一致することを示唆している。

両年の地温変化からは、蚕種貯蔵に適合する 7.2℃以下は 6 月中旬ころまでと推定される。
これは、蚕種貯蔵可能期間としてはやや短い。

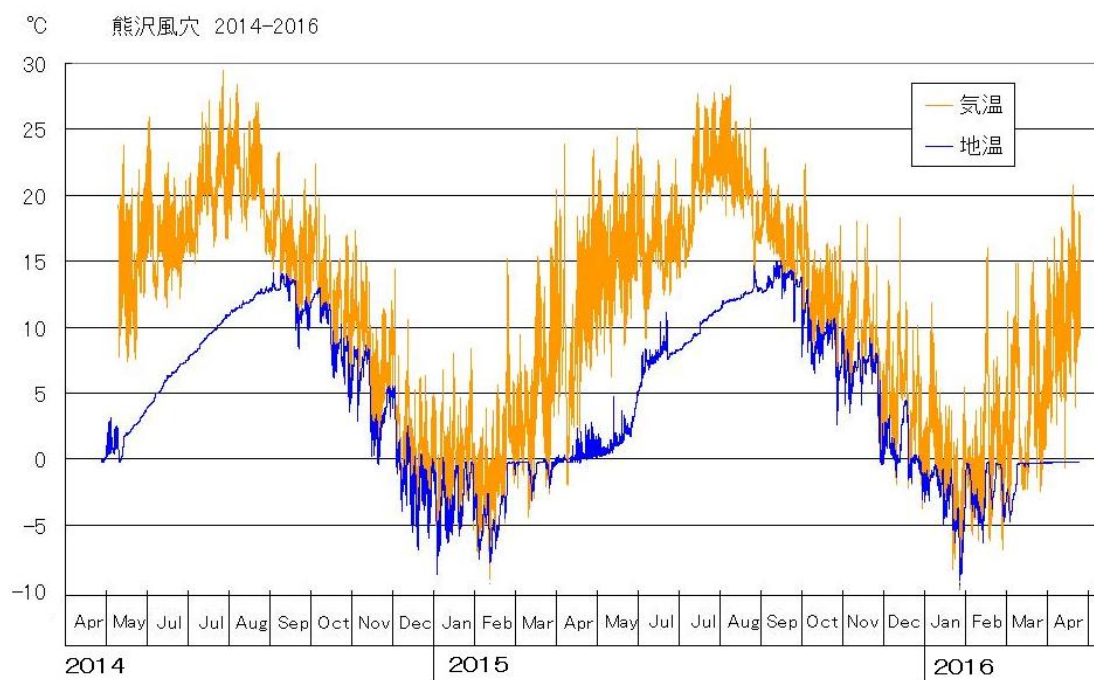


図 25 熊沢風穴 2014～2016 年の温度変化

4) 釜ノ澤風穴

釜ノ澤風穴の熱画像

初夏に撮影した釜ノ澤風穴の熱赤外面像を示す。撮影にはサーモカメラ (NEC Thermo Shot) を用いた。表示されている温度は、反射温度で対象地点の絶対温度ではなく、相対的な温度差である。

釜ノ澤風穴では、風穴の奥側 (釜ノ澤の上流側) から撮影した。奥側 (下) から出入口 (上) にかけての風穴内が、周囲の斜面に比べて著しく低温となっている状況が写し出されている (写真 22)。風穴内では奥側 (下) の温度ロガーを設置したあたりが最も低温である。

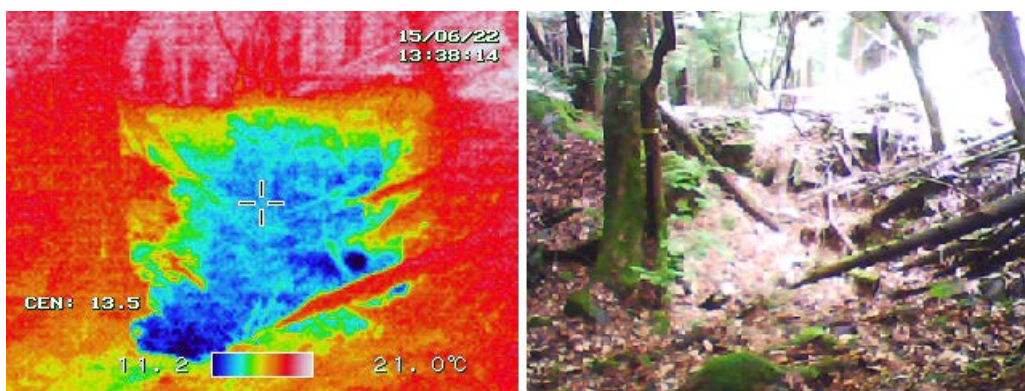


写真 22 釜ノ澤風穴の熱画像 (2015 年 6 月 22 日)

釜ノ澤の温風穴の熱画像

釜ノ澤風穴より 25 m 高いところに温風穴がある。冬季に撮影したこの温風穴の熱赤外面像を示す。撮影にはサーモグラフィ（FLIR C2）を用いた。表示されている温度は、反射温度で対象地点の絶対温度ではなく、相対的な温度差である。

写真中央部の温風穴部分が、高温になっている状況が写し出されている（写真 23）。温風穴は、右上から左下にかけて列状に広がっていて、その範囲が高温である。

同じ場所の積雪時には、温風穴の範囲は雪が融けている（写真 24）。

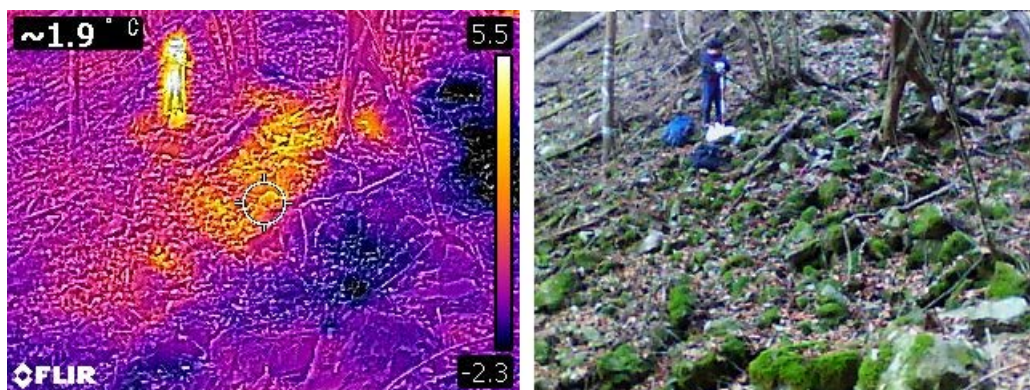


写真 23 釜ノ澤の温風穴熱画像 (2015 年 12 月 7 日)



写真 24 釜ノ澤の温風穴 (右上から左下にかけて積雪が融けている)

釜ノ澤風穴の 2014 年から 2016 年の約 2 箇年にわたる温度変化

熊澤風穴では、蚕種貯蔵風穴跡の内部の地温と、その近傍の気温、それらより約 25 m 高いところにある温風穴の地温を測定した。期間は 2014 年 4 月 27 日～2016 年月 2 日の約 2 年間、それぞれ 1 時間毎に測定した。結果をグラフ (図 25) に示す。元の温度データは、以下のファイル名で、添付の CD に収めてある。

[Kamanosawa_2014-2016.xls](#)

気温は、2014 年 2015 年ともに夏季の最高で 31℃、その間の冬季にはマイナス 8℃に低下する。2014 年 6 月から 2015 年 6 月の年平均気温 10.9℃、凍結指数 71.9℃・days で、山地帯のやや冷涼な気候である。

冷風穴の地温は、2015 年は 4 月 21 日まで、2016 年は 3 月 27 日まで 0℃以下であった。両年とも 9 月下旬～10 月中旬ころが最も高く 9℃ほどに上昇するが、10℃を越えることはなかった。気温と冷風穴の地温の差は 7～8 月ころが最も大きく、その差は 20° 近くに達する。

両年の冷風穴の地温変化からは、蚕種貯蔵に適合する 7.2℃以下は 8 月中旬ころまでと推定される。これは、蚕種貯蔵可能期間としては長いほうである。

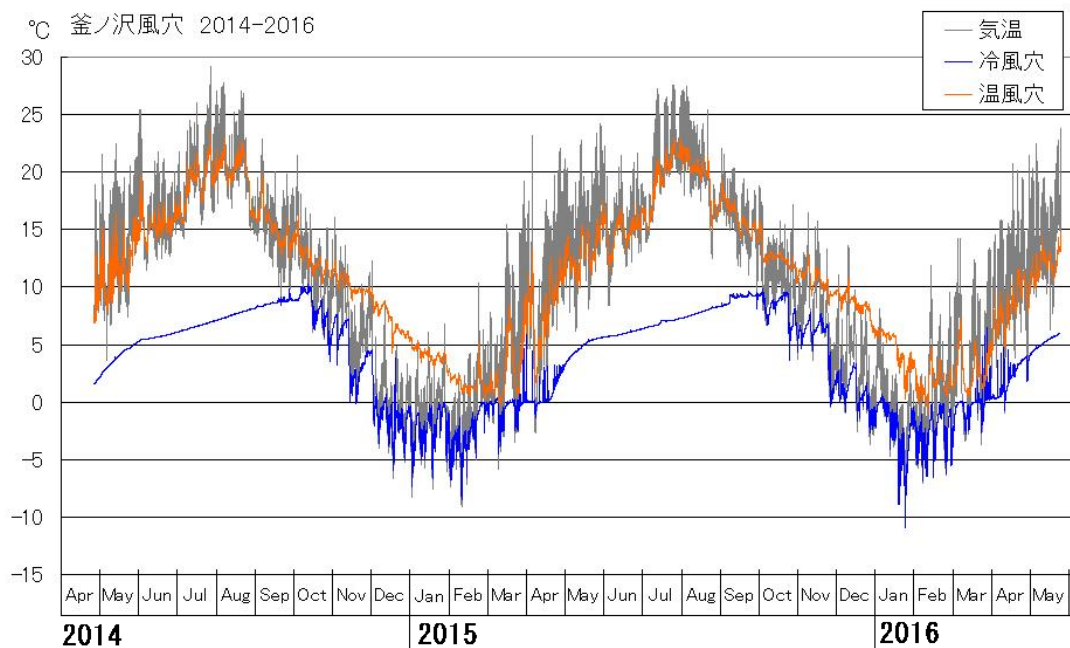


図 26 釜ノ澤風穴 2014～2016 年の温度変化

気温と地温を比較すると、およそ 9 月から 2 月ころまで、気温の日変化のなかで低い部分が地温と一致する。このことは、夜～朝にかけての比較的低温時に外気の吸い込みが起こり、気温と地温が一致することを示唆している。

いっぽう、温風穴の地温は、5 月ころから 8 月にかけての夏季には気温の日較差のうち低い温度と一致し、11 月から翌 2 月にかけての秋季～冬季には気温より高い値を示しながら、10℃から 2℃まで徐々に低下し、3 月に入ると気温に近接する。温風穴の地温は 0℃以下へは低下しなかった。なお、12～1 月ころの温風穴と冷風穴の差は、0℃を挟んで 10° 程度である。

温風穴・冷風穴における吹き出しと吸い込みと気温の関係

2016 年 1 月中旬の釜ノ澤風穴で約 4 日間、冷風穴の吸い込み風速と温風穴の吹き出し風速を、それぞれの温度と気温とともに、1 時間毎に記録した。使用した風速ロガーは、熱線式風速記録計 (AM-4214SD) 2 台で、冷風穴と温風穴それぞれで、吸い込み風と吹き出し風が抜けやすい箇所である。

冷風穴の吸い込み風速と温風穴の吹き出し風速は、数 cm～30cm/秒と微風で、ともに夜間から翌朝にかけて気温が低い時間帯に 10cm/秒以上と風速が比較的強くなり、とくに冷風穴では気温の上がる午後に吸い込みが弱くなる傾向がみられた。通年温度変化のうち冬季の冷風穴温度が日変化気温の低い温度に一致することは、夜間から翌朝の気温が低い時

期帯に吸い込みが著しくなることにより、冷風穴内部が外気と同等に低温化し冷却することを示している。

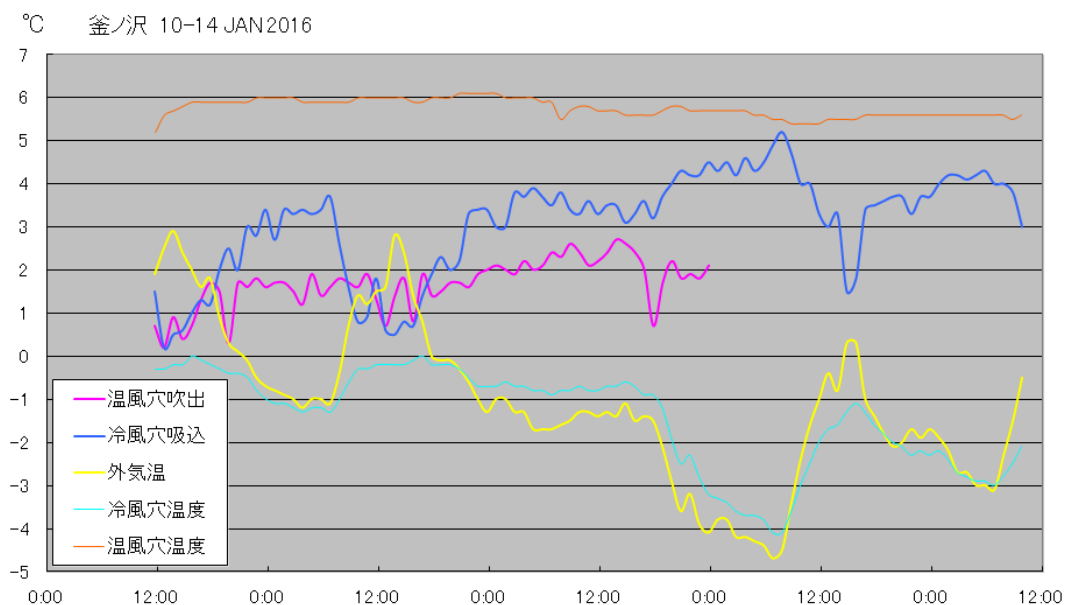


図 27 冬季の釜ノ澤風穴における温風穴と冷風穴の風速（2016年1月10～14日）

5) 風穴の沢

風穴の沢では、蚕種貯蔵風穴跡の内部の地温と、その近傍の気温を測定した。期間は2014年4月27日～2015年10月12日の約1.5年、それぞれ1時間毎に測定した。結果をグラフ（図28）に示す。この温度データは、以下のファイル名で、添付のCDに収めてある。

[Fuketsunosawa_2014-2015.xls](#)

気温は、2014年2015年ともに夏季の最高で24°C、その間の冬季にはマイナス15°Cに達する。2014年6月から2015年6月の年平均気温5.5°C、凍結指数594.5°C・daysであり、亜高山帯下部のやや寒冷な気候である。

地温は、2014年は5月11日まで0°C以下、2015年は4月中旬ごろに0°C前後から上昇し、両年とも7月上旬ごろに10°C以上となり、8月には最高15°Cに達する。8月の地温15°Cは、風穴の温度としては高く、高標高の冷涼な気候条件に反して風穴の低温環境は良好でない。また、一般的な風穴の地温変化は9～10月ごろに最高になって気温変化とのズレが生じる。風穴の沢の気温と地温は概ね平行的な変化を示しており、夏季に気温と地温の差が大きく隔たっていない。この点は風穴の温度変化としては例外となろう。

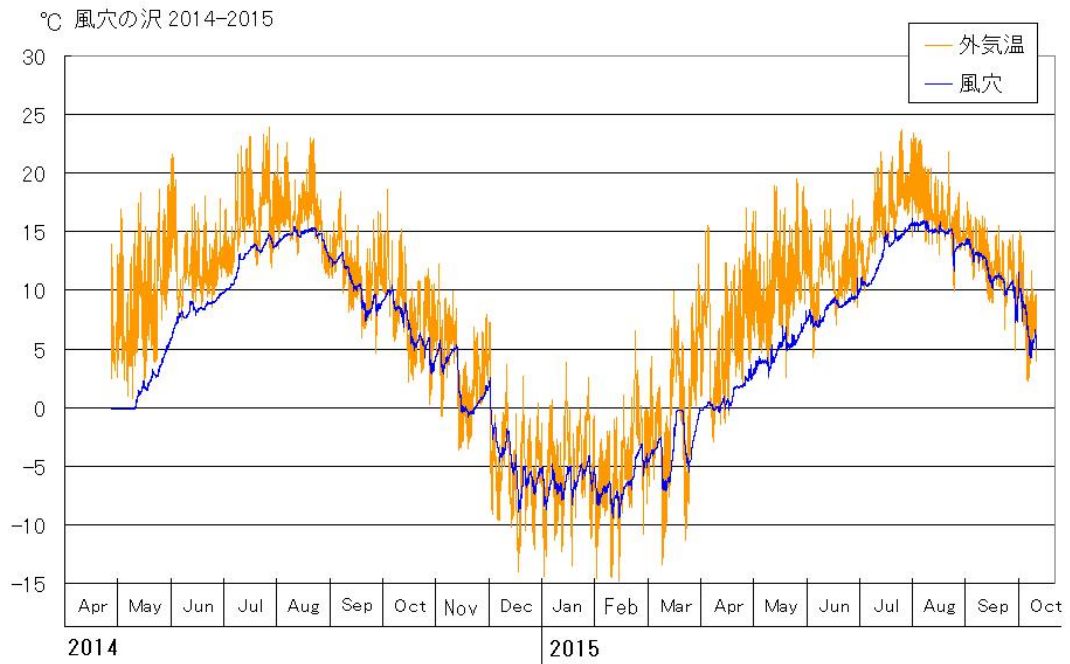


図 28 風穴の沢 2014~2015 年の温度変化

両年の地温変化からは、蚕種貯蔵に適合するのは6月までと推定される。2014年は5月11日まで0°C以下が長く続くが、同年春季に関東山地一帯の多量の積雪の影響によるもの



写真 25 風穴の沢の蚕種貯蔵風穴跡内部の残雪と氷柱 (2014年4月27日)

である。積雪が風穴内に融けずに長く残り、それが風穴内の低温を維持した。その低温が融雪水などを再結氷させ、風穴内の氷柱（直径 7 cm 長さ 40 cm）を生長させた（写真 25）。

VI 風穴の温度変化の傾向、標高による温度と凍結期間・外気温との一致と吸い込み

2014 年から 2015 年にかけての冷風穴における温度（地温）変化は、5 箇所の風穴でも同様であり、12 月上旬にマイナスとなって、冬季の最低は $-6\sim-9^{\circ}\text{C}$ に低下し、3 月上旬ころから 0°C 前後の横ばいとなり、4 月中旬ころ 0°C から上昇した。

風穴の地温と外気温の温度差は、各風穴とも夏季（7 月）で最も開きがあり、檜原風穴で 20° 程度、奥秋で 20° 程度、熊澤風穴で 15° 程度、釜ノ澤風穴で $^{\circ}$ 程度、風穴の沢で 5° 程度であった。風穴の沢ではその差が著しく小さく、風穴の地温と外気温のが近接していて他の風穴とは異なっている。また、風穴の沢では、4 月の 0°C 前後の横ばい期間が短い。

各風穴の冬季～春季の低温さを比較するために、冬季の風穴の地温がマイナス側になる期間、春季の 0°C 前後の横ばいとなる期間を示した（図 29）。

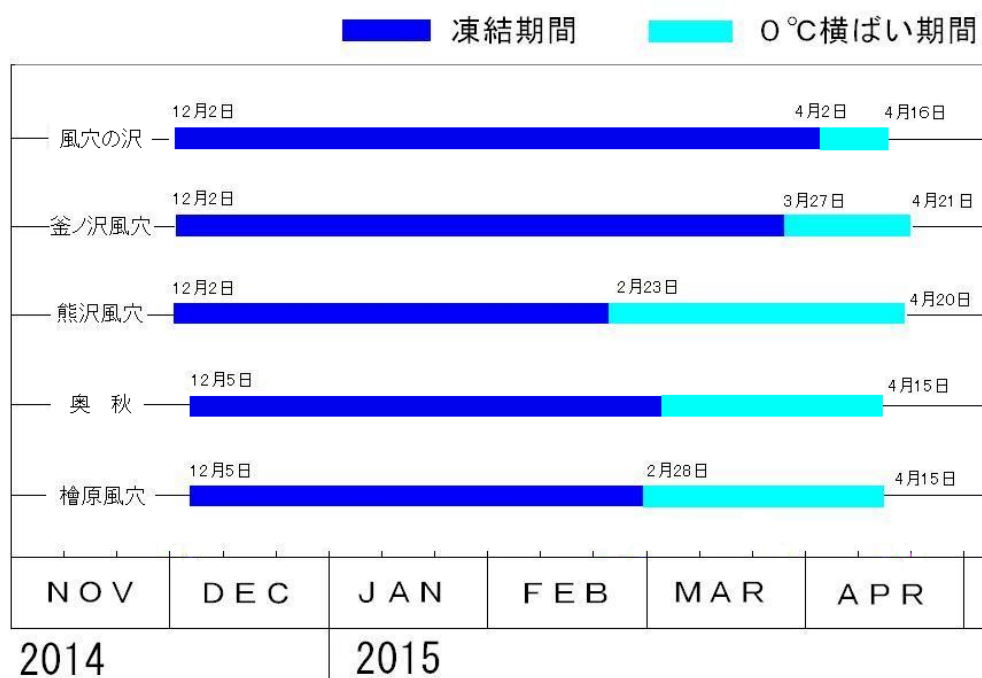


図 29 標高別の風穴の凍結期間・ 0°C 横ばい期間（2014～2015 年）
（風穴の沢：1775 m, 釜ノ澤 1020 m, 熊澤 825 m, 奥秋 645 m, 檜原 540 m）

地温がマイナス側になる期間を凍結期間と読み替えると、風穴の沢が最もそれが長い。風穴の沢の観測地点は標高 1775 m と高く、亜高山帯下部の気候帯であり、そうした気候条件によって凍結期間が長いと考えられる。次いで標高が高い釜ノ沢風穴 (1020 m) が、凍結期間も比較的長い。この凍結期間は、基本的に高度帯ごとの気候条件によるものと判断される。また、凍結期間の開始時期は、高い高度帯の風穴の沢・釜ノ沢・熊澤が 12 月 2 日、低い高度帯の奥秋と檜原が 12 月 5 日に集約されるが、これは初冬の寒気をもたらした低温の開始が高い高度帯から順に下がってきたことを示す。

春季の 0°C 前後の横ばいとなる期間は、その時期に形成される地下氷の存続期間と読み替えることができる (清水・澤田, 2015)。この期間が最も長いのが熊澤風穴であり、檜原風穴がこれに次ぐ。これらに対し、最も短いのが風穴の沢である。したがって、気候帯 (標高) に関わりなく、その長短が決まるようである。おそらく、個々の風穴の機構をつくる条件が異なると考えられ、それが風穴の低温化をもたらす冷却効果の性能が反映していると推定される。

こうした風穴の低温化の性能を地下氷の存続期間の長短と置き替えれば、熊澤風穴や檜原風穴で冷却効果が高性能で、最も気候条件が低温である風穴の沢は風穴の冷却効果の性能が低いことになる。

なお、風穴の沢の気温と地温をみると、観測した 2 箇年全期間の夏季～冬季～夏季にわたり、気温と地温が近接する値を示し、一般的な風穴の地温と外気温の関係とは異なっている。標高が比較的高いところに位置するので、凍結期間は長いものの、その後の地下氷の存続期間が短く、風穴の温度変化としては異例である。夏の地温も高めで、蚕種貯蔵に耐えられる時期は高標高の冷涼な地域の割には短いようである。

次に風穴の温度 (地温) と外気温の関係についてみてみよう。

風穴の沢を除く各風穴で、気温と冷風穴の地温をみると、10 月から 2 月ころまでの秋季から冬季にかけては、冷風穴の地温は日変化気温のうち低い温度に一致した。

いっぽう、檜原風穴・釜ノ沢風穴での気温と温風穴の地温をみると、5 月から 9 月ころまでの夏季におよそ温度が一致した。

このことは、下方の穴である冷風穴で冬季の気温が低い時に吸い込み、夏季には上方の穴の温風穴で吸い込むことによって、それぞれ外気と同じ温度を示したものと考えられる。

このうち冬季の現象 (温風穴の吹き出しと冷風穴の吸い込みと外気温の関係) についての詳細は、釜ノ沢風穴で観測した。結果として、夜間から翌朝にかけて気温が低い時間帯に、温風穴の吹き出し・冷風穴の吸い込みの風速が強くなり、気温が比較的高い昼間は風速が弱まることが明らかとなった。

VII 風穴の岩石の凍結実験

風穴（冷風穴）は、冬季における低温の外気がそこから吸い込まれ、地下が著しく冷却されて低温化し、それが夏季まで維持されることにより生じると考えられている（清水・澤田, 2015 など）。地下の低温の維持は、その岩石に低温が蓄熱された結果と考えられる。

各地で風穴をつくる岩石は様々であるが、これまでの資料からは火山岩（溶岩）が多く、凝灰岩・砂岩などがそれに次ぎ、花崗岩類や泥岩などでは少ないという傾向がある（清水, 2004）。そこで、風穴をつくる岩石に蓄熱（低温の持続期間）に差が生じるものかどうか、試してみた。

本調査の風穴の岩種は、4箇所が砂岩で1箇所（風穴の沢）が花崗閃緑岩である。それぞれ、15cm×15cm×8cm 程度のサイズ（重量 2kg 前後）の岩石片を採取し、試料として使用した（表6）。釜ノ澤風穴・熊澤風穴・奥秋の3風穴が秩父多摩国立公園の範囲内にあるが普通地域で試料採取等は届け出不要であった。他のは国立公園の範囲外にある。その他、風穴をつくる岩石の比較のため、秋田県大館市・長走風穴のデイサイト、長野県諏訪市の神宮寺風穴の玄武岩、長野県上伊那郡・小野風穴の石灰岩を試料として用いた。

表6 凍結実験に使用した岩石の試料

| 風穴名 | 岩種 | 重量(kg) |
|----------------|-------|--------|
| 檜原風穴 | 砂岩 | 2.3 |
| 釜ノ澤風穴 | 砂岩 | 2.0 |
| 熊澤風穴 | 砂岩 | 1.9 |
| 奥秋の風穴 | 砂岩 | 2.0 |
| 風穴の沢(黒岳) | 花崗閃緑岩 | 2.4 |
| 神宮寺風穴 (諏訪市) | 玄武岩 | 2.5 |
| 小野風穴 (上伊那郡) | 石灰岩 | 3.1 |
| 長走風穴 (大館市) | デイサイト | 2.6 |



写真 26 極地研究所の低温室



写真 27 低温室での岩石の冷凍



写真 28 室温で岩石の温度計測

実験方法は、各岩石試料をハンマーで2つに割り、その破断面に温度センサーを挟み込み、割れた岩石をテープで縛りあげ、国立極地研究所の低温室（室温マイナス 20℃）へ冷蔵した（写真 26・27）。2週間後に低温室から、常温（11月）の外部に取り出し、以後室温下に置き 30.5 時間、破断面に挟みこんだセンサーからの温度を 2 分毎に記録した（写真 28）。使用したロガーは、T and D 社のおんどとり（TR-52i）である。

低温室から取り出し後、約 10 時間後には各試料の温度が 15℃前後に収れんしたので、グラフ（図 30）にはそこまでの温度変化を示した。その間、室温に対して玄武岩（神宮寺）が最も低温で推移し、デイサイト（長走）・石灰岩（小野）・砂岩（熊澤）・花崗閃緑岩（風穴の沢）などが高めで推移している。砂岩（檜原・釜ノ澤）はほぼ同等で、玄武岩よりやや高めに推移する。

この 10 時間の温度変化からは、玄武岩、砂岩、花崗閃緑岩、デイサイト、石灰岩の順で、風穴の低温の持続が良好のようである。したがって、岩種によって低温の持続期間の変化が異なっていて、風穴は岩石によってもその低温さに差があることを示している。また、同じ砂岩でも熊澤と檜原・釜ノ澤で温度変化に差があるのは、おそらく粗粒・細粒などの岩質に差があると推定される。

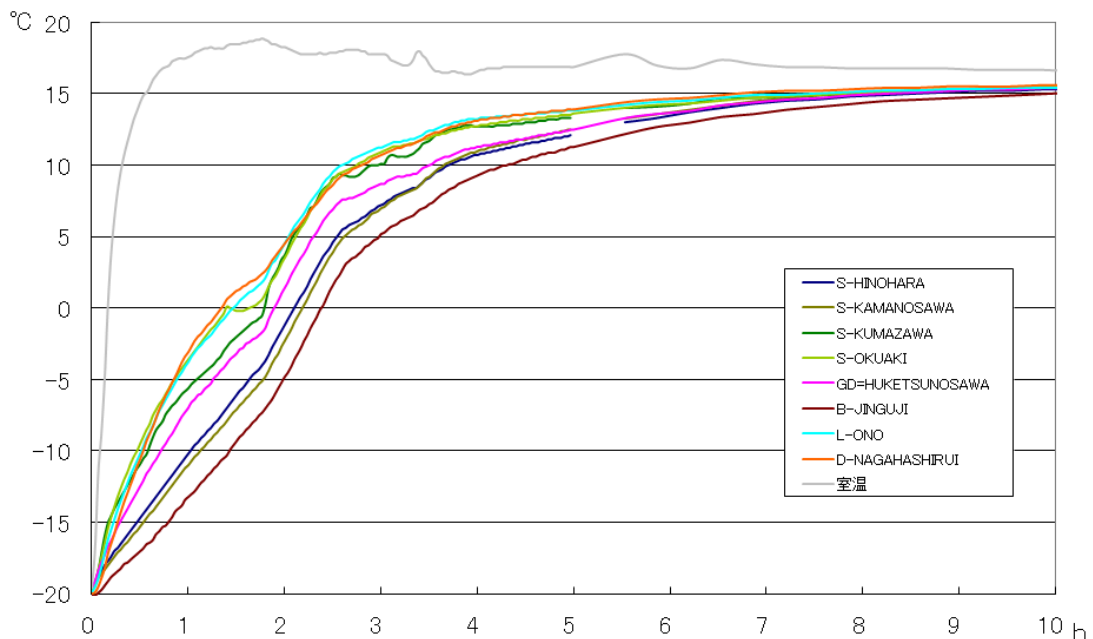


図 30 凍結後の室温での各岩石の温度変化

風穴の沢（花崗閃緑岩）で風穴の低温化があまり良好でない条件として、冬季に低温の外気が吸い込まれる風穴の機構のほか、岩石の低温の持続の条件がやや低いことも多少効いていることが推定される。

有名な富士山麓の溶岩トンネルには、風穴や氷穴の名称があり、夏でも氷がみられるほどの低温環境であるが、大半が玄武岩である。いっぽう花崗岩類の風穴は全国でも少なく、風穴の沢のほか飯田風穴（飯田市）と朝日風穴（山形県白鷹町）くらいである。また、鍾乳洞をつくる石灰岩は夏に 10°C 以上の洞内温度になることが多いので、一般的な崖錐型風穴と比較すればやや高温である。

風穴の低温さは、第一義的には空気の移流によって生じるが、低温を保つ熱源にも注目すれば、岩種や岩質についても考慮しなければならない。今回の実験は岩石ごとに蓄熱の差があることを示唆しよう。なお今後とも、方法なども含めて課題を残す。

VIII まとめと今後の展望

本調査の結果、以下のことが明らかとなった。また、風穴の文化財などへの展望も併せて述べておく。

- 1) 多摩川上流域一帯の山地斜面には、明治～大正期に利用された蚕種貯蔵風穴が複数存在する。檜原風穴（檜原村）、熊澤風穴・釜ノ澤風穴（丹波山村）の3箇所が、当時の農商務省の記録にある。このほか、農商務省の記録にない蚕種貯蔵風穴が、奥秋（丹波山村）、風穴の沢（甲州市）で見いだされた。
- 2) これらの風穴は、風穴の沢を除いて砂岩の岩屑が堆積する崖錐斜面の下部に造成されたものである。檜原風穴は地すべり地形の平坦部が、奥秋の風穴は低位段丘面が、熊澤風穴・釜ノ澤風穴は谷底部が、崖錐の受け皿となっている。いずれも、崖錐堆積物の空隙に空気の移流が生じ、風穴となっている。なお、檜原風穴と釜ノ澤風穴では、蚕種貯蔵風穴（冷風穴）に対し、その上方に温風穴を見出した。いっぽう風穴の沢は、その谷頭部に花崗閃緑岩の岩塊堆積地形に風穴がある。
- 3) 植生調査として、檜原風穴、奥秋、熊澤風穴、風穴ノ沢の各風穴周辺に、1辺が1mのコドラートを複数設置し、コドラート内の維管束植物全種の種名などを記録した。各風穴地では、すべてニホンジカによる食害の痕跡がみられた。檜原風穴周辺ではサワグルミ、オニタヤなどが高木層の落葉広葉樹林で、低木層にチドリノキ、フサザクラなどをともなう。熊澤風穴では崖錐にカツラ、サワグルミ、トチノキなどの大木が生育する。奥秋は斜面上部までスギ人工林で、風穴周辺には高木層にサワグルミ、低木層にアブラチャンが生育する。風穴ノ沢は尾根部はコメツガとダケカンバが林冠を占め、リョウブなどの低木を伴い、沢沿いはナナカマド、ヒロハツリバナ、サラサドウダン、ミネザクラなどの低木が覆う。風穴ノ沢は亜高山帯、他は山地帯の植生である。また、風穴地は物質移動の多い不安定な崖錐であるため、攪乱体制に適応した溪畔樹種が占めていた。このような植生は、風穴地に特有ではないが、風穴地に共通する。環境要因によって類型化されたグループを判別する分類樹木分析の結果として、風穴内の6月平均気温が5.6°Cより小さいノードにグループCが多く振り分けられた。残りのうち、10月の風穴温度と外気温の差が1.9°Cより小さいノードにF,G,Hグループが振り分けられた。
- 4) コドラート内の蘚苔類をできるだけ全種採集し、種を同定した。蘚苔類の在不在を用いてnMDS解析によって類型化した。その結果、1軸上の負の方向のグループEに、イワダレゴケやエゾチョウチンゴケを指標とする、風穴ノ沢、1軸上の正の方向のグループAには、トサカホウオウゴケとクジャクゴケを指標とする、奥秋と檜原風穴の一部、2軸の正の方向

には、グループCとして、風穴ノ沢を主体とするナメリチョウチンゴケとマルフサゴケを指標とする、など各コドラートがまとまった。地理的に離れた風穴でも、蘚苔類の種組成が類似したコドラートが存在するという傾向がより強い。

- 5) 各風穴において 2014 年春季から 2016 年春季にかけて、気温ならびに風穴の地温を 1 時間ごとに観測した。各風穴周辺の 2014 年から 2015 年にかけての年平均気温は、檜原風穴で 11.3℃、奥秋で 10.9℃、熊澤風穴で 10.3℃、釜ノ澤風穴で 9.6℃、風穴の沢で 5.5℃と冷涼で、とくに風穴の沢は亜高山帯下部に含まれるためやや寒冷地といつてよい。
- 6) 冷風穴の地温は、冬季にマイナス側となり、春季に 0℃横ばいとなり、およそ 4 月中に 0℃から上昇し、秋季に最高となる。気温と冷風穴の地温の差は 7 月ころが最も大きく、その差は 20° 前後に達する。晩秋季～冬季には、冷風穴（蚕種貯蔵風穴）の地温と日較差の低い気温が一致する傾向があり、その時期には冷風穴から外気が吸い込まれた結果と考えられる。
- 7) 檜原風穴と釜ノ澤風穴では、温風穴の地温も 1 時間ごとに観測した。温風穴の地温は、温風穴の地温は、4 月ころから 9 月ころにかけての夏季には気温とおよそ一致し、11 月ころから翌 2 月ころにかけての秋季～冬季には気温より高い値を示しながら徐々に低下し、3 月に入ると気温に近接する。温風穴の地温は 0℃以下には低下しない。12～1 月ころの温風穴と冷風穴の差は、0℃を挟んで 10° ～15° 程度あった。
- 8) 2016 年 1 月中旬の釜ノ澤風穴で約 4 日間、冷風穴の吸い込み風速と、温風穴の吹き出し風速を、温度と気温とともに 1 時間毎に記録した。冷風穴の吸い込み風速と温風穴の吹き出し風速は、数 cm～30cm/秒と微風で、ともに夜間から翌朝にかけて気温が低い時間帯に 10cm/秒以上と風速が比較的強くなり、とくに冷風穴では気温の上がる午後に吸い込みが弱くなる傾向がみられた。冬季の冷風穴温度が日変化気温の低い温度に一致することは、夜間から翌朝の気温が低い時期帯に吸い込みが著しくなることにより、冷風穴内部が外気と同等に低温化し冷却することを示す。
- 9) 各風穴の冬季～春季の低温さを比較するために、冬季の風穴の地温がマイナス側になる期間（凍結期間）、春季の 0℃前後の横ばいとなる期間（地下水の存続期間）に注目した。凍結期間は風穴の沢が最もそれが長く、亜高山帯の気候条件による。次いで標高が高い釜ノ沢風穴（1020 m）が凍結期間も比較的長い。凍結期間は、基本的に高度帯ごとの気候条件によるものと判断される。いっぽう、地下水の存続期間が最も長いのが熊澤風穴であり、檜原風穴がこれに次ぐ。また、最も短いのが風穴の沢となる。

気候帯（標高）に関わらず、風穴ごとにその長短を決める冷却効果が異なっている。

- 10) 風穴の低温の夏季までの維持は、岩石に低温が蓄熱された結果と考えられ、風穴をつくる岩石に蓄熱（低温の持続期間）に差が生じるか試した。試料とした風穴の岩種は、本調査の風穴4箇所の砂岩、風穴の沢の花崗閃緑岩、その他、比較のため、他地域の風穴のデイサイト、玄武岩、石灰岩なども試料とした。室温マイナス 20℃の低温室へ冷蔵して2週間後に常温の室内に出し、以後室温下に置き 30.5 時間、岩石の温度を 2 分毎に記録した。低温室から取り出し後、約 10 時間後には各試料の温度が 15℃前後に収れんした。その間、室温に対して玄武岩（神宮寺）が最も低温で推移し、デイサイト（長走）・石灰岩（小野）・砂岩（熊澤）・花崗閃緑岩（風穴の沢）などが高めで推移している。砂岩（檜原・釜ノ澤）はほぼ同等で、玄武岩よりやや高めに推移する。この結果から、岩種によって低温の持続期間の変化が異なっていて、風穴は岩石によってもその低温さに差があることを示す。
- 11) 檜原風穴は、地元市村で構想中の秋川流域ジオパークの範囲内にあり、今後、檜原村教育委員会・観光課などへ檜原風穴をジオサイトとして推薦する予定である。風穴は、史跡（産業遺産）や天然記念物など地域の文化財として十分な価値があり、また夏季における冷気の体験スポットとしてジオサイトにうってつけなものである。秋川流域ジオパーク関連のシンポジウムなどの開催を関係方へ促し、風穴の意味や価値をアピールする予定である。

謝 辞

風穴周辺の蘚苔類の調査では、新潟薬科大学生物学教室の白崎 仁教授にご協力いただいた。極地研究所の低温室の使用にあたっては、同研究所の三浦英樹教授にお世話になった。

その他、本調査にあたって次の諸氏の協力を得た。

角田清美 池田明彦 関 秀明 宮下けい子 川上 薫 鴨居直子 黒瀬匡子 小岩清水
阿部康彦 吉川ひろし 原島俊二 鳥潟幸夫 柿下愛美 石井正樹 山川信之

以上の方々に謝意を表す。

文 献 (風穴関係)

- 秋川市蚕糸業史編さん委員会 (1980) : 『秋川市蚕糸業史』. 秋川市教育委員会.
- 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(1)13~27.
- 岩科小一郎 (1959) : 『大菩薩連嶺』. 朋文堂.
- 株式会社建設環境研究所・財団法人ダム水源地環境整備センター (2010) : 平成 22 年度.湯西川
ダム環境調査検討業務.報告書.環境調査編 (本編) .p175,176.
- 久保田松吉 (1909) : 『日本風穴蚕種論』. 有隣堂.
- 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.日本生態学会誌.2(4)151~155.
- 坂上洋之 (1999) : 成進社と風穴蚕種 (上). 羽村市郷土博物館紀要, 14, 22~30.
- 坂上洋之 (2000) : 成進社と風穴蚕種 (下). 羽村市郷土博物館紀要, 15, 1~10.
- 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
- 清水長正 (2004) : 日本における風穴の資料—地形条件・永久凍土の関連から—. 駒澤地理, 40,
121~148.
- 清水長正 (2012) : 奥秩父の埋もれた風穴——白石山 (毘沙門山) と神流川上流. 地図中心, 2012
年 12 月号, 28~29.
- 清水長正 (2013) : 空中写真に写る文化財級の石垣——甲府盆地の東側、牧丘・勝沼・大菩薩連
嶺周辺. 地図中心, 2013 年 4 月号, 32~33.
- 清水長正 (2015) : 東京都にも風穴がある——奥多摩の檜原村・山梨県丹波山村周辺. 地図中心,
2015 年 1 月号, 46~47.
- 清水長正・澤田結基 編 (2015) : 『日本の風穴』. 古今書院.
- 清水長正・山川信之・角田清美 (2007) : 関東山地の風穴. 季刊地理学, 59, 214~218.
- 清水長正・指村奈穂子・角田清美・池田明彦・関 秀明・宮下けい子 (2016) : 多摩川上流域に
おける風穴の温度観測. 日本地理学会発表要旨集, 89, 249.
- 角田清美 (1998) : 神津島の風穴. 季刊地理学, 50, 208~210.
- 東京都蚕糸業史編さん委員会 (1978) : 『東京都蚕糸業史』. 東京都経済農業協同組合連合会.
- 出口博則・刑部亭 (1981) : 富士青木ヶ原・富士風穴の蘚類.日本蘚苔類学会会報 3(2)21~24.
- 原 全教 (1933) : 『奥秩父』. 朋文堂.
- 中西哲 (1959) : 風穴で見られる蘚苔類の異常分布. 植物研究雑誌 34No. 7. 211~213.
- 農商務省農務局 (1914~1919) : 『大正元年度~大正六年度蚕業取締成績』. 農商務省農務局.
- 真木太一 (1998) : ジャガラモガラ風穴・盆地の地形,気象および植生の特徴.農業気象 54(3):255
~266.
- 柳澤 巖 (1906) : 『風穴論』. 梅丸商店, 松本.
- 柳沢 巖 (1910) : 『風穴新論』. 秋蚕専修学校, 豊科村.

文 献 (風穴以外)

池田 硯 (1998) : 『花崗岩地形の世界』. 古今書院.

苧谷愛彦・清水長正・澤部孝一郎・目代邦康・佐藤 剛 (2014) : 関東山地南部、三頭山西面にみられる大規模地すべりの地形・地質的特徴と発生年代. 地理学評論, 87, 386~399.

苧谷愛彦・澤部孝一郎・清水長正・黒沢 兆 (2014) : 多摩川上流・保之瀬天平の山体重力変形地形とその変遷履歴. 日本地理学会発表要旨集, 85, 285.

三枝 茂 (1993) : 関東山地南部、六本木峠~丸川峠の岩塊流. 季刊地理学, 45, 266~268.

酒井 彰 (1987) : 『五日市地域の地質』. 地質調査所.

丹波山村誌編纂委員会 (1981) : 『丹波山村誌』. 丹波山村.

山梨県地質図編纂委員会 (1970) : 『山梨県地質図』. 山梨県.

大平哲也・平山剛士 (2014) : 平成 26 年 2 月 14 日の豪雪対応について. 東京都西多摩建設事務所奥多摩出張所.

Hill MO (1979) TWINSpan, a FORTRAN program for arranging multivariate data in an ordered two-way table by classification of the individuals and attributes. Cornell University, Ithaca

Oksanen J, Blanchet FG, Kindt R, Legendre P, Minchin PR, O'Hara RB, Simpson GL, Solymos P, Stevens MHM, Wagner H (2015). vegan: Community Ecology Package. R package version 2.3-1. <http://CRAN.R-project.org/package=vegan>

Therneau T, Atkinson B, Ripley B (2012). rpart: Recursive Partitioning. R package version 4.1-0. <http://CRAN.R-project.org/package=rpart>

Roberts DW (2016). labdsv: Ordination and Multivariate Analysis for Ecology. R package version 1.8-0. <http://CRAN.R-project.org/package=labdsv>

多摩川上流における風穴の現状およびその自然条件と温度観測

(研究助成・学術研究VOL. 45—NO. 318)

著 者 清水 長正

発行日 2016年11月

発行者 公益財団法人とうきゅう環境財団

〒150-0002

東京都渋谷区渋谷1-16-14 (渋谷地下鉄ビル内)

TEL (03) 3400-9142

FAX (03) 3400-9141

<http://www.tokyuenv.or.jp/>