

中山風穴における風穴現象について

横井 みずほ (愛知県小牧市役所)・田中 博 (筑波大学地球科学系)

1 はじめに

中山風穴は、福島県下郷町の阿賀川左岸に位置する中山 (標高 855.6 m) の中腹に存在する (図 1)。風穴内部には夏でも氷が見られ、風穴から出る冷気により低高度にもかかわらず高山植物が生育している。これらは中山風穴特殊植物群落として国の天然記念物に指定されている。また、冷蔵庫が普及する以前は、農産物や蚕の保存など農業気象的に利用されていた。氷の成因や風穴現象のメカニズムは過去にいくつかの仮説がたてられているが、定説はまだない。近年、吹き出しの弱まりとともに高山植物にも衰退がみられ、この貴重な植物郡を保護するためにも風穴現象のメカニズムを知る必要がある。本稿では、1998年3月から1999年6月までの観測結果から風穴現象に関する考察を行った。

2 中山風穴概要

風穴には大別して洞窟型と累石型の2つがある。前者には観光名所としても有名な溶岩洞の富岳風穴、鍾乳洞の秋芳洞がある。中山風穴は積み重なった岩石の隙間から冷気が吹き出す後者のタイプで、前者とは様相が全く異なる。累石型風穴は冷気を吹き出す穴より高い位置に、外気を吸い込む穴を伴っている。上位の穴は冬期に暖気を吹き出すことから温風穴、下位の穴は冷風穴と呼ぶ。

中山の山体を形成する石英安山岩は塔のへつり層と呼ばれるグリーンタフを貫いており、顕著に柱状節理が発達している。東側及び南側は、岩盤が露出した傾斜 60° 前後の急峻な崖と、直径数

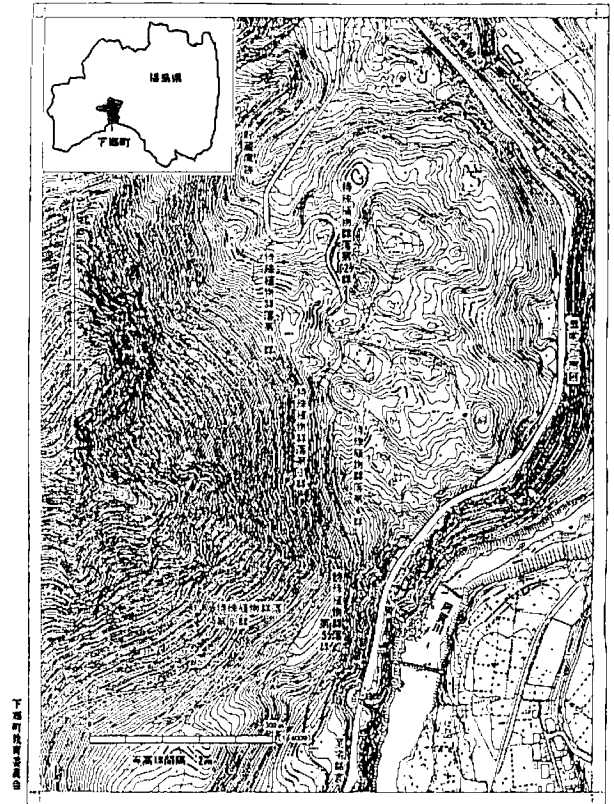


図 1: 地形図

cm～数 m の角礫が積み重なった 35° 前後の崖錐斜面、さらに、阿賀川直前まで広がる平坦面には流れ山とみられるいくつかの小丘があり、過去に大規模な岩屑なだれをおこしたことが伺われる。このことから図 2 のような地下構造が想定できる。

中山は全体的に植生に覆われているが、崖錐下部に沿って標高 500m～560m には所々岩石が露出している所があり、岩石の間からは春から夏にかけて涼しい風が吹き出している。7月の初め頃までは風穴内で氷を見ることもできる。高山植物

や多湿・岩礫地に生育する植物が見られるため特殊植物群落に指定されている所が6ヶ所あり、北から南にかけて第1～第6指定地と呼ばれている。指定地において吹き出しが強いのは言うまでもないが、指定地以外でも吹き出しのある地帯がいくつか散在している。標高620mには温風穴があり、夏期における外気の吸い込みと冬期における暖気の吹き出しが確認できる。下郷町役場の観測データによると、このあたりは年平均気温10.4°C、年降水量1133mmで、1、2月の月平均気温は氷点下となる。東北地方を中心に全国に60箇所以上存在している累石型風穴の多くに共通する条件として石英粗面岩地帯、大崩壊地形、崖錐脚部、積雪地、1月の平均気温が氷点下、などが挙げられている¹⁾が、中山風穴もそれらの条件の多くを満たしている。

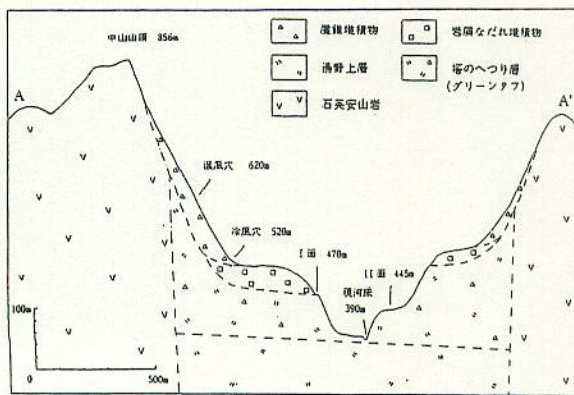


図 2: 地下構造

3 観測

気温の時系列 1998年3月から1999年6月までの間、Spiiring Data Logger シリーズのマイクロロガーを設置して外気温、崖錐下部の冷風穴内気温、崖錐上部の温風穴内気温を測定した。

24時間観測 1998年6月30日の0時から24時の間、第4指定地において風穴内気温、湿度、風速、地温を観測した。データは1時間間隔、夜間は2時間間隔で測定し、外気温は

マイクロロガーから測定時刻のデータを抜き出して用いた。

氷の同位体 氷の起源を調べるため、風穴周辺の雪が融けた3月から風穴内に氷がなくなってしまう7月までの間で3回、河川水、地下水、及び風穴内の氷を採取し、酸素同位体、及び水素同位体を測定した。同位体とは原子番号が同じで質量数の異なるものである。特に存在量が時間によって変化しない安定同位体においては同位体組成の変動は水が受けた外部からの作用を直接反映するため、水の挙動を知る手立てとして用いられる。

4 結果と考察

日変化 24時間観測の結果を図3に示す。この日は終日晴れており、強弱はあるものの常に冷気の吹き出しが見られた。個の吹き出した空気は周りの空気に比べて冷たく重いため、斜面下方へと流れて行く。外気温が日変化をしているのに対し、地温、風穴内気温はほぼ一定、また、湿度は常時90%以上で高湿である。外気温と風穴内の気温の差に反応して、風速が大きくなっていることが示されている。気温差と風速のピークは数時間のずれが生じているだけである。

気温の時系列 図4は外気温、冷風穴内気温、温風穴内気温の時系列である。外気温度は年変化に日変化が重なり、-10°Cから35°Cの範囲で変動している。

春先の冷風穴は氷の融解も手伝って7月上旬まで氷点を維持した後、徐々に上昇し9月末に外気温と一致すると最低気温をなぞるように変化している。冬の間冷やされた崖錐内部の空気は外気が暖かくなると、密度が高いため重力流として崖錐下部から流出して行く。補償流として崖錐上部から侵入した空気は、冷たい岩石の間を通りぬける間に冷やされ、再び冷気流として外へ流出するのである。外気と崖錐内の温度差が大きいほど吹き

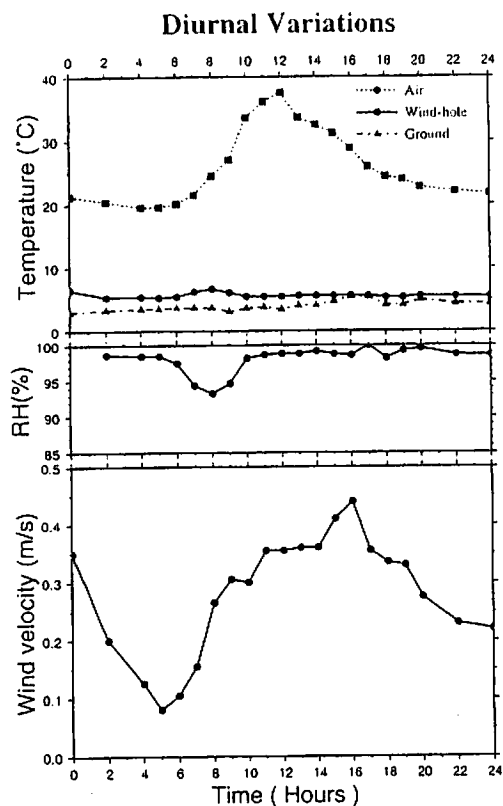


図 3: 24 時間観測

出しは強くなるわけであるが、この循環を繰り返すうちに、熱容量の大きい岩石も徐々に暖められ、9月末に外気温と一致するころには吹き出しは無くなってしまふ。一方、温風穴は冷風穴循環が止まる9月下旬までは外

気温と同様に推移し、その後は徐々に下がりにながらではあるが3月下旬まで高温を維持する。今度は夏の間暖められた空気が外気に比べて軽いので上方へ抜けて行き、それを補うために外気が岩石の隙間から侵入して行くのである。この温風穴循環も岩石が徐々に冷やされ外気温との差が小さくなると弱まり、3月には止まってしまう。

崖錐は空隙が多く、さらに石英安山岩のように硬い岩石であったために、目詰まりの原因となる土砂を生成しにくいことで、崖錐の奥深くまで空気は自由に行き来することができ、崖錐全体から効率良く熱交換できた。その結果、約5ヶ月もの間冷気や暖気を出しつづけられるのだと思われる。

温風穴と冷風穴の、外気温と一致していない部分をつなぎ合わせたのが、風穴内部の年変化といえる。外気温の年変化よりも振幅が少なく、3ヶ月ほど遅れていることがわかる。

冷風穴循環初期の4月下旬から5月上旬の一週間を拡大してみると、さらに興味深いことがわかった。図5において外気温と冷風穴内気温に注目すると、冷風穴内は、外気温が風穴内より暖かいときは冷風穴循環がおこり0度に保たれている。ところが、明け方外気温が0度以下になると冷風穴循環はとまり、冷たい外気が入りこんで0度以下に下がって

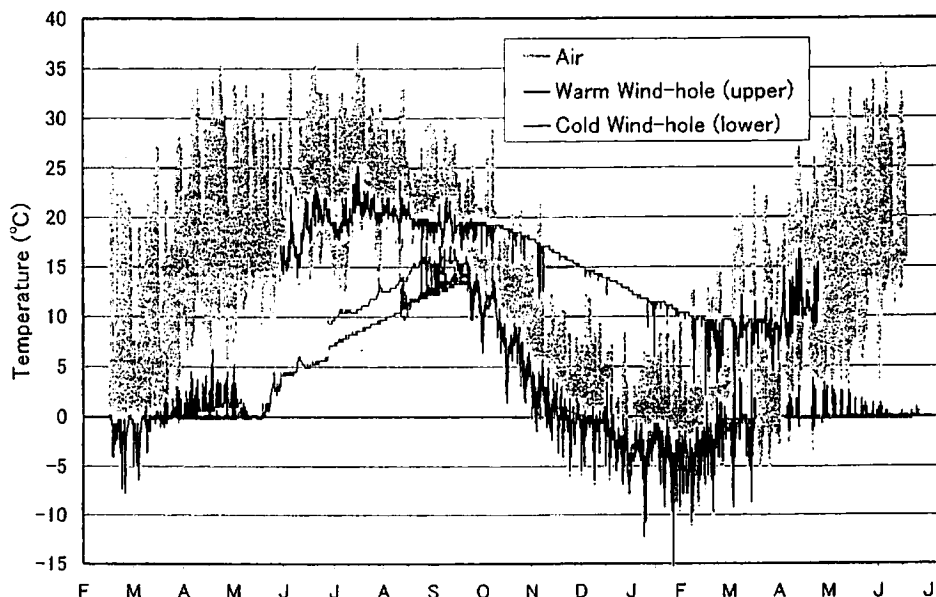


図 4: 時系列

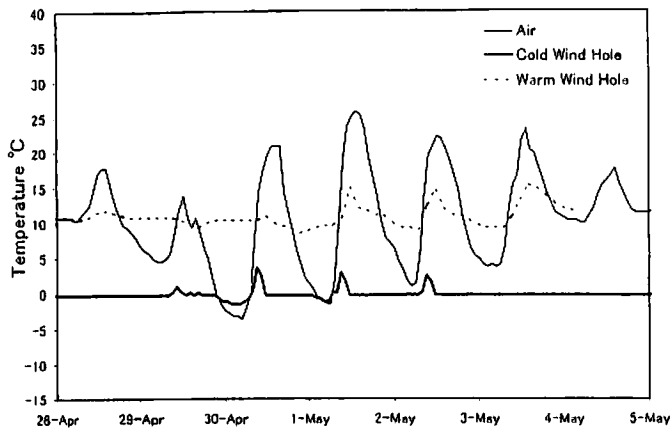


図 5: 4 月の時系列

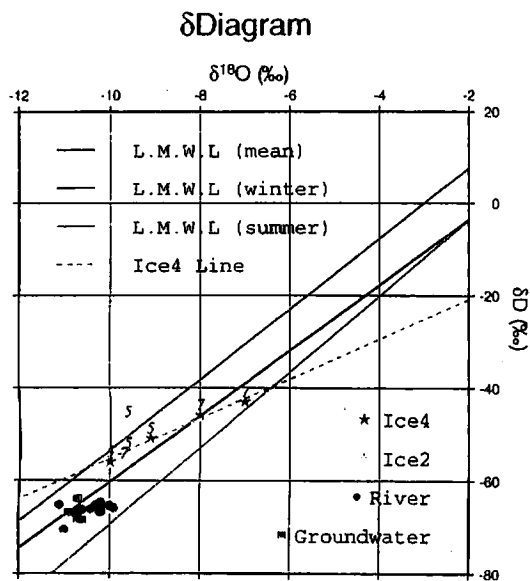


図 6: δ -ダイアグラム

くる。一時的に温風穴循環がおこっているの
である。朝になり外気が徐々に上がってく
ると、再び冷風穴循環が起こり 0 度に保たれ
る。外気温との差により、敏感に温風穴循環
と冷風穴循環が変化しているのである。循環
が入れ替わる 9 月下旬から 10 月上旬、3 月
下旬から 4 月上旬は、一日の気温変化に対応
して温風穴循環と冷風穴循環が変化してい
ると考えられる。

水の同位体 酸素同位体、水素同位体をプロット
した δ -ダイアグラムを図 6 に示す。河川水
も地下水も天水線上にのることから、このあ
たりの降水が平均化されて出てきていること
がわかる。一方、風穴内の氷は、時間の経過
に伴って重いほうへシフトして、冬期の天水
線からはずれていく。これは、軽い水から融
解、又は昇華をしていき、重い水が残ってい
く同位体分別が起こったことを示している。
つまり、冬期の降水が風穴の冷気により非常
にゆっくりと融けていき、その結果 7 月上旬
まで残っていたと考えることができる。

5 おわりに

4 月から 9 月は温風穴から外気を吸いこみ冷風
穴から冷気を出す冷風穴循環が、10 月から 3 月
は冷風穴から外気を吸いこみ温風穴から暖気を出
す温風穴循環がおこっている。そして、これらの
循環は崖錐内部と外気の温度差によって生じてい
ることがわかった。また、夏に見られる風穴の氷
は、冬の氷が融けずに残っていたと説明するこ
とができた。

本研究による観測結果に基づいて、中山風穴の
数値的なシミュレーションが Tanaka et al. (2000)
によって行われている。風穴のメカニズムが解明
されれば、いずれ風穴を人工的に作ることも可能
となろう。

参考文献

- 1) 藤原滋水, 1985: 箱根・早雲山の累石風穴. 気
象, 29, 8135-8137.
- 2) Tanaka, H.L., D. Nohara, and M. Yokoi,
2000: Numerical Simulation of Summer-
time Ice Formation at the Nakayama Wind-
Hole in Shimogo, Fukushima. (Submitted
to JMSJ.)