

## 鹿追小学校「地球学」の取り組みとペットボトルを用いた風穴実験

# Education Program of the "Earth Studies" in Shikaoi Elementary School and an Experiment of Air Circulation in Talus Slopes Using a Pet Bottle

澤田 結基\*, 舟越 洋二\*\*, 松本 宏樹\*\*\*, 出村 沙代\*\*\*\*, 古賀 友子\*\*\*\*,  
松田 倫明\*\*\*\*, 岡澤 佑介\*\*\*\*, 遠藤 海斗\*\*\*\*, 小野 有五\*\*\*\*\*

Yuki SAWADA\*, Yoji FUNAKOSHI\*\*, Hiroki MATSUMOTO\*\*\*, Sayo DEMURA\*\*\*\*,  
Tomoko KOGA\*\*\*\*, Tomoaki MATSUDA\*\*\*\*, Yusuke OKAZAWA\*\*\*\*,  
Kaito ENDO\*\*\*\*, Yugo ONO\*\*\*\*\*

キーワード：環境教育，小学校，風穴，鹿追町，然別火山群

Key words : environmental education, elementary school, air circulation, Shikaoi Town, Shikaribetu volcano group

### I. 鹿追町の小中高一貫教育と「地球学」

鹿追町は北海道十勝地方北部に位置する，人口約6,000人の農業を基幹産業とした町である。鹿追町では，小さな自治体のメリットである地域コミュニティの結束力を背景に，町を挙げて子供たちの教育に取り組んでいる。そのひとつが，小中高一貫教育の取り組みである<sup>1)</sup>。町内には，合計8校（小学校5校，中学校2校，高校1校）の教育施設がある。これらの学校の相互連携によって，小学校入学から高校卒業までの12年間にわたる一貫教育を行うものである。一貫教育の取り組みは，平成15年度（2003年度）に文部科学省か

ら，連携型中高一貫教育に取り組む研究開発学校に指定されたことで本格的に開始した。6年間続いた指定をさらに発展させた取り組みが，平成21年度（2009年度）に始まっている。

鹿追町の小中高一貫教育は，英語力養成と国際的視野の醸成に重点を置く「カナダ学」と，地域の歴史や自然環境，環境問題を学び，持続性のある町づくりを考える「地球学」，早い段階から進路指導を行い，特別進学・国際教養・情報ビジネスの3コースを持つ鹿追高校へスムーズに接続する「進路連携」の3つの柱から構成される。「地球学」は，平成20年度（2008年度）までは「しか

\* (独)産業技術総合研究所地質標本館/Geological Museum, Geological Survey of Japan, AIST

\*\* 鹿追町立鹿追小学校/Shikaoi Elementary School

\*\*\* 然別湖ネイチャーセンター/Lake Shikaribetsu Nature Center

\*\*\*\* 北海道大学大学院環境科学院/Graduate School of Environmental Science, Hokkaido University

\*\*\*\*\* 首都大学東京大学院都市環境科学研究科/Graduate School of Urban Environmental Sciences, Tokyo Metropolitan University

\*\*\*\*\* 明治大学文学部史学地理学科/School of Arts and Letters, Meiji University

\*\*\*\*\* 駒澤大学文学部地理学科/Faculty of Letters, Komazawa University

\*\*\*\*\* 北海道大学地球環境科学研究院/Faculty of Environmental Earth Science, Hokkaido University

おい学」として地域学習に位置づけられていたが、地球規模の環境問題に取り組むという視点で再構築されたものである。「地球学」では、資源リサイクル（バイオガスプラント）など地域の環境問題を扱うほか、森、川など学年毎に決められたテーマに従い、然別湖周辺での野外観察実習を取り入れている。この野外観察実習には、然別湖周辺で自然観察やカヌー、登山ツアーを主催する然別湖ネイチャーセンターが協力している。

身近な地域の自然に重点をおき、自分の住む地域の学習を通じて、生徒たちに、自然や環境について学ばせようとする「しかおい学」は、環境教育の視点から見ても高く評価される取り組みといえる。しかし、それを「地球学」とした場合、当然のことながら、地域を超えたより広い視野が必要となる。また、これまでの「しかおい学」においても、ほんとうに地域の自然や環境にとって重要な要素が、すべてカリキュラムのなかに取り入れられ、プログラムとして教えられていたかという点、必ずしもそうとはいえない。たとえば、鹿追町の自然の基盤をつくる然別火山のことや、寒冷な気候と、それにとまう土壤凍結などの地域にとっては重要な自然要素が取り上げられていなかったという問題点がある。

特に、寒冷な気候や土壤凍結は、「カナダ学」が対象とするカナダの自然環境とも共通するため、生徒がそれらについての知識や関心を身につけることは重要と考えられる。また、地域の自然の学習を通じて、地球全体の自然や環境、あるいはいわゆる地球環境問題への学習に結びつけることは、「しかおい学」が「地球学」となった現在、きわめて重要な課題であるといえる。

このような視点にたって、筆者らは、然別火山群のなかにある永久凍土に起因する「風穴」という特異な現象に着目し、それを使った学習プログラムを作成し、1時間の授業として実施したので報告したい。

## II. 風穴の出前授業とペットボトルを用いた実験

「風穴」の授業は、2010年5月31日(月)、鹿追小学校(図1)の理科実験室で行った。この出前授業は、著者の一人である澤田が野外調査のために出張する機会を得たため、それに合わせて企画

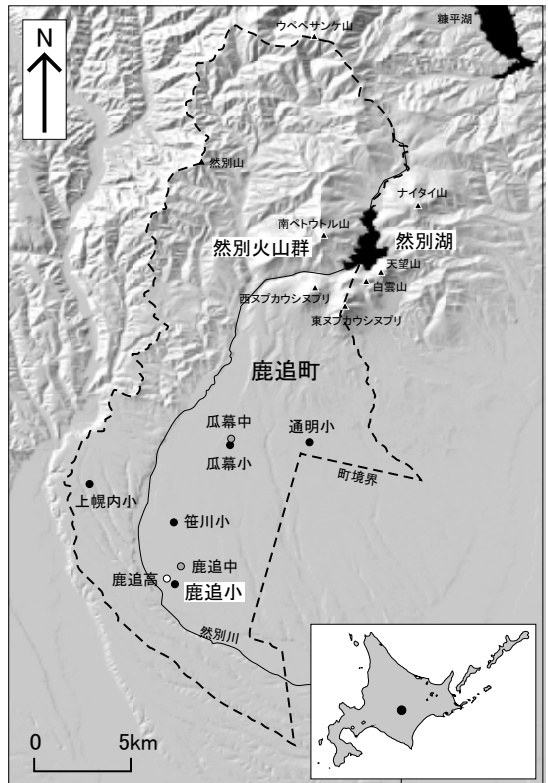


図1 鹿追町の地形と学校施設の位置

したものである。授業には、鹿追小学校5・6年生83名に加え、菅川小学校・上幌内小学校・通明小学校(図1)の複式学級に通う5・6年生13人がスクールバスで鹿追小に集まり参加した。授業は、午前中の2～4時間目を利用し、3回にわたってほぼ同じ内容で実施した。

### 1. 風穴の成因

今回の出前授業と実験の説明に入る前に、まず風穴の成因について記載する。風穴の吹き出しは、巨礫が堆積した斜面(崖錐や岩塊斜面)の内部と外部の温度差で生じると考えられている(江川ほか, 1980; 藤原, 1985; 田中, 1997; 横井・田中, 2000; 田中ほか, 2004)。冬の岩塊斜面では、斜面空隙の気温が外部の気温よりも相対的に高くなる。すると、暖かく軽い空気の上に、冷たく重い空気がのしかかる状態が生じ、空気の密度成層が破れて活発な対流が生じる(図2A)。の冬の対流では、斜面内部の暖かい空気が浮力で外部へ抜けるいっぽう、冷たい外気が斜面内部へ活

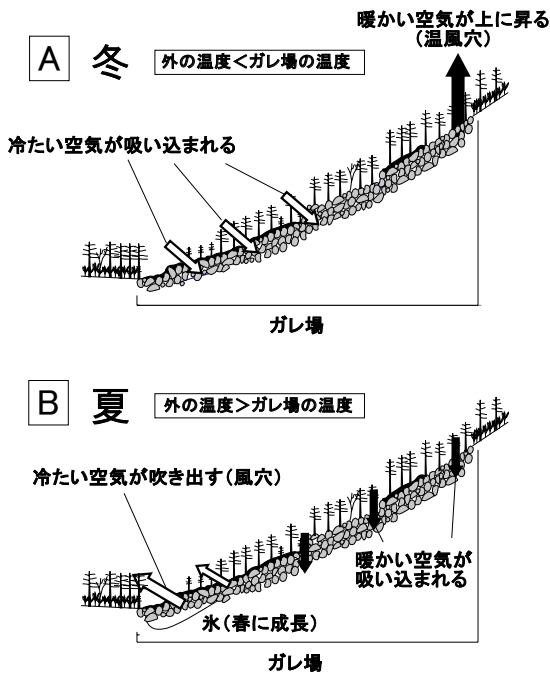


図2 風穴で生じる空気対流の模式図  
実際の授業でも同じ図を用いた。

発に侵入し、斜面内部の温度低下が生じる。こうして、冬の寒気が斜面内部に蓄積される。斜面空隙の気温よりも外気温が高くなる夏～秋には、相対的に低温な斜面内部の空気が重力によって穏やかに流出する (図2B)。

然別湖の南側に位置する小規模な溶岩ドームの集合である然別火山群 (守屋, 1983) には、広範囲にわたって風穴が分布する (佐藤, 1995)。秋でも風穴の内部に氷が残り、吹き出しの気温が0℃に近いこと、地温の低い部分に、エゾイソツツジやガンコウランなどの高山植物やミズゴケが出現することが、然別火山群の風穴の特徴である (佐藤, 1995)。澤田・石川 (2002) は、然別火山群のひとつである西ヌブカウシヌプリの岩塊斜面末端部で地下水の深さの観測を行い、春の融雪水が再結氷することで氷が成長することを確認した。この春に成長する氷が、然別火山群の風穴に特徴的な、夏でも0℃近い温度の吹き出しを維持していると考えられる。

## 2. 授業の進行

授業では、まず主担当の澤田から、然別の山

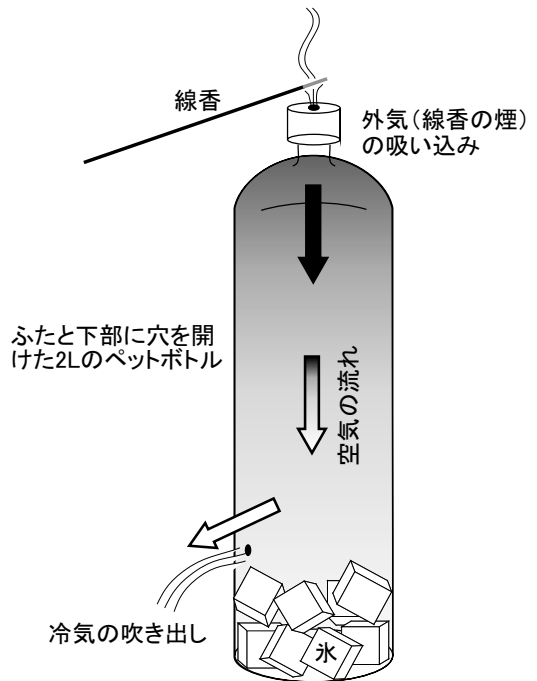


図3 ペットボトルに生じる空気の流れ  
氷に冷やされた空気は、ペットボトル下部の穴から弱い冷気流として流出する。この流出を埋め合わせるために、ペットボトルのふたに開けた穴から外気が侵入する。穴から入った空気は、ボトル内部をゆっくりと下降する。

(然別火山群) の自然の概要をプロジェクターの写真とビデオで説明した。説明では、風穴から冷気が吹き出す様子や地下水、発見された日本で最も古い氷 (澤田, 2007, 2009) を紹介し、次に風穴に分布するエゾイソツツジなどの高山植物や、高山植物を食べるカラフトトリシジミとエゾナキウサギを紹介した。以上の説明のあとで、熱気球を例に示しながら、暖かい空気が軽く、冷たい空気が重いこと、風穴の空気は冷たく重いので、外に向かってあふれるように流れることを説明した。

以上の説明の後に実験を行った。実験は、全体を6班に分けて行った。ペットボトルを用いた風穴実験では、氷で冷やされた空気の吹き出しを再現する (図3)。具体的な手順は、以下の通りである。

### 3. ペットボトルを用いた実験

#### (1) 事前の準備物

- ・ 2.0 Lまたは1.5 Lのペットボトル
- ・ 角氷20個程度
- ・ 線香 1～2本

#### (2) 実験手順

1. 千枚通しやきりを使って、ペットボトルのふたと下端部の横に直径2 mm程度の穴を開ける。開ける位置は、側面の一番低いところから上へ5 cmのところ。
2. ハンマーなどを使って、ペットボトルの飲み口から入る程度に氷を砕く。砕いた氷に塩をまぶす。
3. ペットボトルの下端部に開けた穴の少し下まで水を入れる。
4. 水で冷やされた空気が下の穴からでてくる。吹き出しは微少なので、線香の煙を近づけ、乱れる様子を観察する。
5. 線香の煙をペットボトルのふたに開けた穴に近づけると、煙が吸い込まれるのが観察される。冷たい空気が抜けていったあとを埋め合わせる「補償流」が発生していることがわかる。

実験では金槌や線香の火を使うので、1 班に一人ずつ学生・院生が補助につき、火の扱いや観察指導にあたった。実験は、布を敷いたバットの上に氷をひろげ、金槌で砕くことから始めた。氷がちょうど良いサイズに砕けたら塩を振り、ペットボトルに記入した目安の線まで入れるよう指示した。氷を入れ終わったら、ペットボトル内部に密度成層する空気の温度差を強めるために、手のひらでボトルの上部をつつんで60秒温めてもらった。

以上の準備ができた班から、空気の吹き出しと吸い込みを観察した(図4)。ペットボトル下の穴から吹き出す冷風は非常に弱いので、指の感覚では感知が難しい。そこで、線香の煙を近づけて、まっすぐに上がる煙が、穴に近づけると穴をよけるように曲がることで吹き出しを確かめさせた。次に、線香の煙をペットボトルのふたに開けた穴に近づけ、吸い込まれる煙の筋を観察させた。うまくいったグループでは、吹き出しと吸い込みを全員観察することができたが、吸い込みが



図4 実験授業の様子

弱いグループもあり、うまく見えなかった子供もいたようである。実験が終了したあとは、ワークシートに観察でわかったことと感想をまとめ、最後にもう一度風穴のしくみを図で説明して授業を終了した。

1 回目の授業では、氷を砕く作業に手間取り、空気の動きを観察する時間が足りず、またワークシート作業も行うことができなかった。そこで、2 回目以降は氷をあらかじめ入れたペットボトルを用意して、観察結果をワークシートに記録するように促した。その結果、吹き出しと吸い込みを観察できた児童は増えたっぽうで、授業の進行がやや間延びした感があった。

### Ⅲ. 児童の反応

弱い空気の流れを見せるのに苦戦した実験であったが、児童の反応には予想以上の手応えがあった。表1に、ワークシートに書かれた感想を類型化し、集計した結果を示す。「楽しかった」が最も多く、次いで「風穴のしくみがわかった」の回答が多い。「楽しかった」という感想には、実験や授業そのものに対する感想だけではなく、普段は席を並べない他の小学校の児童が集まったことや、外部講師が授業を担当する非日常的な雰囲気を楽しんだと感じた児童も多いと思われる。「風穴のしくみがわかった」との感想は、風穴のしくみを理解させる授業のねらいが通じた児童が少なからずいたことを示している。しかし、この感想を記入した児童が、回答数全体(48)の四分の一しかいなかったのは、後述するように実験そ

表1 実験授業を受けた児童の感想

感想	出現数
楽しかった	24
風穴のしくみがわかった	13
風穴を初めて知った	7
風穴に興味がわいた・行ってみたい	5
古い氷があることに驚いた	5
わかりやすかった	2

回収したワークシートは56, そのうち無回答は8。1回目の授業では、氷割りのためにワークシートの記入ができなかったので、2、3回目の授業で回収したものをとりまとめた。

集計には重複が含まれる。例えば、「楽しかったし、風穴のことを初めて知った」という感想は、「楽しかった」と「風穴のことを初めて知った」のどちらにもカウントした。

のものが難しめであったことの現れであろう。

3番目に多い感想は、「風穴を初めて知った」であった。授業中に、岩塊斜面（ガレ場）の写真を示して行ったことがあるか質問したところ、各授業とも数名から手が挙がった。現地を訪れたことのない多くの児童にとって、今回の授業はガレ場や風穴の存在を知るきっかけになったようである。いっぽう今回の授業には、地球学が始まる以前に行われていた小学校独自の野外観察によって、ガレ場や風穴を訪れたことのある児童も参加していた。手が挙がったのは、こうした過去の取り組みの成果も現れていたと考えられる。

#### IV. 授業の問題点と改善案

実験そのものについて生じた問題点について述べる。この実験で生じる風穴の吹き出しと吸い込みは、肌で感じられるほど強くない。そのため線香の煙を用いたが、実際には線香の煙を用いても、なかなか観察が難しい児童もいたようである。その結果、途中で飽きてしまい、他の作業に移ってしまう児童も見受けられた。児童を実験に集中させるためには、何よりも風穴の吹き出しと吸い込みを強くする工夫が必要である。ペットボトル内の空気は密度成層して安定しており、また温度差を室温と氷点の差以上に大きくすることは難しいので、単位時間あたりに冷却される空気

量を増やす工夫が必要である。容積・底面積ともに大きい灯油タンクを使えば、より強い吹き出しを得られる可能性がある。また、吹き出し口に栓をして、観察直前まで冷気をためることで、一時的に強い吹き出しを得ることも一策である。今後改良を加えていきたい。

さらに、ペットボトルを用いた簡易実験とは別に、より長いパイプのなかに、ガレ場の岩塊に相当するような物質を詰め、その狭い間隙を伝って空気が流れる「チムニー効果」が発揮できるようモデル装置を作って、生徒たちが空気の吸い込みや流出をはっきり見られるような工夫を行えば、一層、効果的であろう。

今回の実験は急遽設定されたため、児童への事前学習を行うことができなかった。然別火山群で実際に感じる事ができる風穴の吹き出しは、真夏であれば非常に冷たく、児童にとって印象に残りやすいと思われる。現場で本物の風穴を観察してから実験を行えば、斜面の内側と外側の温度差によって空気が流れることを理解しやすかったかもしれない。今後行う際には、事前の十分な打ち合わせのもと、現場での体験と合わせて実験を行うことが効果的と思われる。

風穴の存在を、この授業を通じて初めて知った児童も多い（表1）。鹿追町内の自然について、実体験を通して児童が知ることは、「地球学」のプログラムを進める上で重要な取り組みになるであろう。たとえば鹿追小学校では、3年生のカリキュラムのなかで、風穴のある東ヌブカウシヌプリでの現地学習が計画されている。それにあわせて実験を行えば、効果的な学習となるであろう。また、秋以降、気温・地温の低下にともなう土壤凍結の進行を校庭などで実際に観測するプログラムを導入することで、風穴と関連する永久凍土への理解が深まるだけでなく、地域の自然環境を児童が自分で手足を動かして学習する機会をつくる事が可能となる。今後の課題としたい。

#### V. おわりに

実験とその運用方法には多くの課題を残したが、風穴の実験を小学校で行った授業は、筆者らが知る限り前例がない。日本の各地に、かつて養蚕や農産物貯蔵用の冷蔵庫として使われた風穴

が知られており（清水，2009），その一部は地域の自然遺産，産業遺産，観光資源として見直されつつある。例えば，群馬県下仁田町にある荒船風穴は明治期に蚕卵の貯蔵庫として利用され，蚕糸の増産を通じて富岡製糸工場の発展を支えてきた（群馬県企画部世界遺産推進課，2010）。こうした歴史が再評価された結果，荒船風穴は産業遺産群のひとつとして世界遺産の暫定リストに記載され，観光・教育への活用が期待されている。今回の鹿追小学校での出前授業は，風穴を地域学習に活かす取り組みのケーススタディともなるであろう。

#### 謝辞

授業にあたっては，鹿追町教育委員会，および鹿追町内の小学校・中学校・高校の教員の皆様にご協力いただいた。心より御礼申し上げます。

#### 注

- 1) 鹿追町の小中高一貫教育の詳細は，公式ホームページに詳しい。<http://www.town.shikaoi.hokkaido.jp/ikkan/index.htm>

#### 参考文献

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，89，85-96.

藤原滋水（1985）：箱根・早雲山の累石風穴．気象，29，218-219.

群馬県企画部世界遺産推進課（2010）：『富岡製糸工場と絹産業遺産群』．<http://worldheritage.pref.gunma.jp/ja/index.html>.

守屋以智雄（1983）：『日本の火山地形』東京大学出版会.

佐藤 謙（1995）：北海道の風穴植生概説．上士幌町ひがし大雪博物館研究報告，17，107-115.

澤田結基・石川 守（2002）：北海道中央部，西ヌブ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.

澤田結基（2007）：岩塊斜面の永久凍土氷を用いた古気候復元．地学雑誌，115，516-523.

澤田結基（2009）：風穴に眠る永久凍土の謎を追う．地理，54(7)，40-47.

清水長正（2009）：日本の風穴－その利用と先駆的研究をめぐって．地理，54(7)，32-39.

田中 博（1997）：韓国密陽郡のICE VALLEYにおける夏季氷結現象の数値実験．地理学評論，70A，1-14.

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現象の成因．地理学評論，77，1-18.

横井みずほ・田中 博（2000）：中山風穴における風穴現象について．気象利用研究，13，57-60.