

北海道・然別の風穴地に分布する越年地下水の形成年代と起源の推定

澤田 結基 (北海道大学低温科学研究所)

1. はじめに

北海道中央部に位置する然別火山群を構成する溶岩ドームである西ヌプカウシヌプリ (1251m) の山頂部には粗大な岩塊が堆積する岩塊斜面が分布しており、その斜面末端部には越年地下水が分布する。演者はこれまでの研究のなかで越年地下水の季節変化の観測を行い、地下水は毎年、成長・融解を繰り返す季節氷とその下の越年地下水に分かれること、季節地下水の成長は主に融雪期に生じることを明らかにした (澤田・石川, 2002; Sawada et al., 2003)。もし越年地下水が、季節的な地下水の累積した結果として成長したのであれば、その安定同位体比に過去の気候変化が記録されている可能性がある。そこで本研究では、ボーリングによって越年氷を含む長さ約 3 m のコアを採取し、含まれる有機物の年代測定と氷の酸素・水素同位体比の分析を行った。本報告では、分析結果より推測される越年地下水の形成年代とその起源をについて報告する。

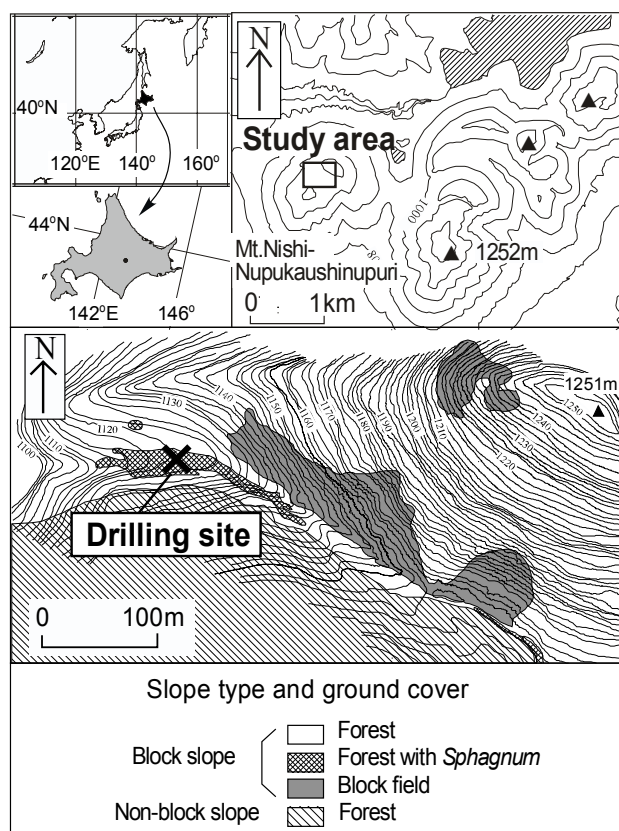


図1 調査地域とボーリング地

2. 調査地域とコア試料の採取方法

コア試料の採取は、北海道中央部、然別山地の西ヌプカウシヌプリ (標高 1251m) 山頂付近の岩塊斜面末端部で行った (図1)。岩塊斜面の一部は森林を欠き、粗大な礫が露出する (図1)。岩塊斜面に設置した温度計による気温観測の結果、年平均気温は 0.7~1.7℃ (1999~2003 年) であった。斜面末端部周辺は主にアカエゾマツからなる高木林に覆われ、その地表面はミズゴケのマットやガンコウラン、イソツツジなどの矮性低木が分布する。地表面の一部には岩塊空隙に通じる穴が空いており、夏から秋にかけて冷気が吹き出す風穴となっている。風穴が分布する斜面末端部の地下 1.5m 以深には、岩塊層の空隙を満たす越年氷が確認されている (澤田・石川, 2002, Sawada et al., 2003)。越年氷の掘削は、斜面末端部に続く谷底で行った (図1)。

コア試料採取のための掘削作業は 2005 年 7 月に行った。掘削の前に表層に堆積する

岩塊を取り除いて凍結面を露出させ、そこから掘削を開始した。掘削では、エンジンオーガーから伝わる刃先の感触をもとに、氷が多いと判断される場合はタングステンビット、岩塊を貫いていると判断される場合はダイヤモンドビットを用いた。その結果、氷の一部が融解によって失われたものの、ほぼ連続したコアサンプルを得ることができた。掘削深度は、コア試料

が取り出されるごとにメジャーをボーリング孔に差し込み測定した。

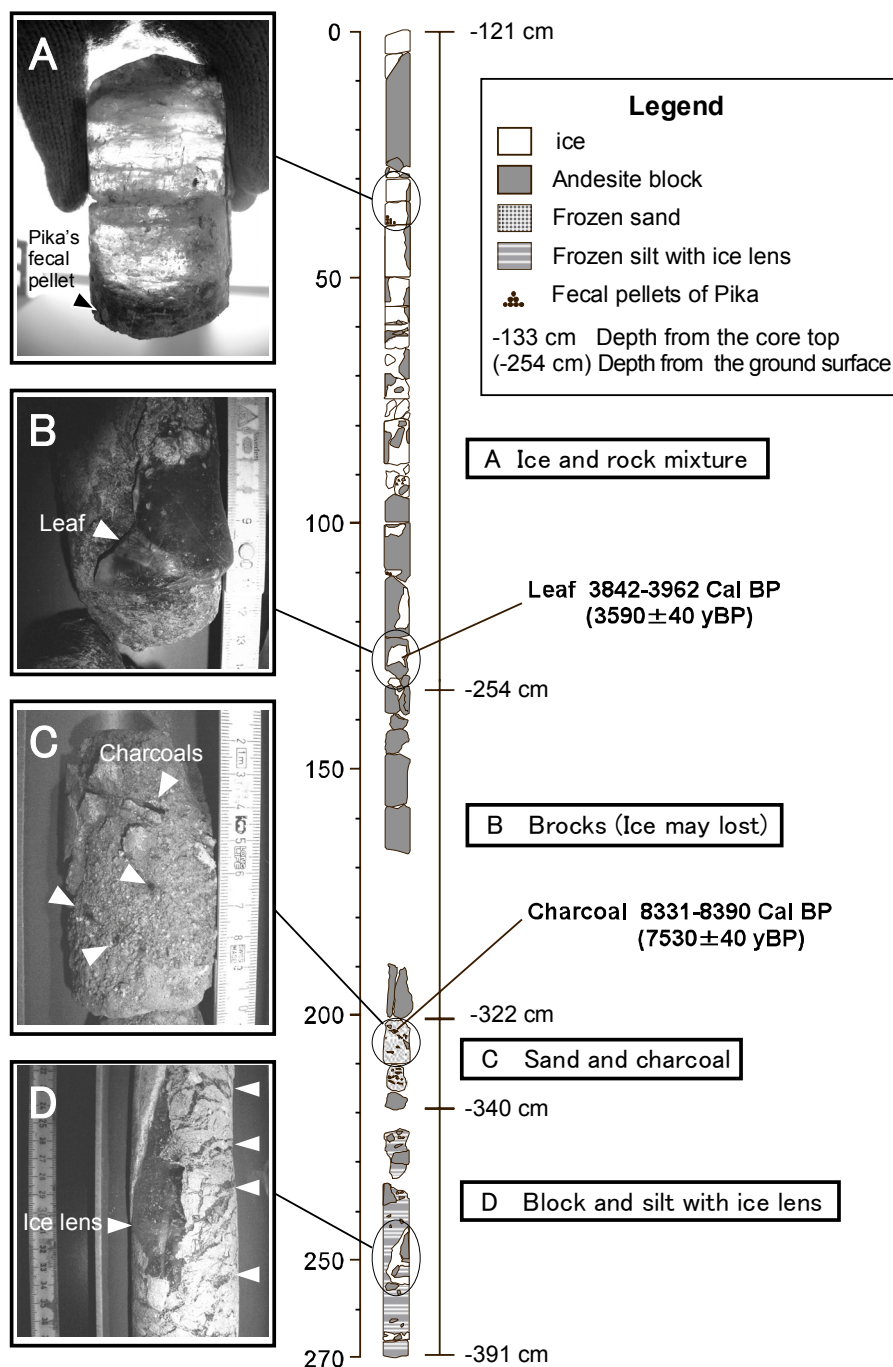


図2 地下水コア試料の層構造と有機物の放射性炭素年代測定結果

3. 堆積物と地下水の構造

図2に、掘削によって得たコア試料のスケッチを示す。堆積物の粒径と氷の有無より、コア試料はA～Dのセグメントに区分される。A層は岩塊とその空隙を埋める透明な氷から構成される。ボーリング地点で行った地下水の 通年観測結果 (Sawada, 2003; 澤田, 2004) より、A層最上部にある氷は2005年の融雪期(4月)以降に形成されたと考えられる。30cmから下は、気泡を含み明瞭な層構造を持つ透明氷と岩塊の一部が混在する。氷にはエゾナキウサギの糞や葉片、茎などの黒色有機物が豊富に含まれる。

B層は氷を欠く岩塊層である。B層では、得られたコアの長さと深さが一致しない。B層の掘削では刃先が安定しなかったため、やむを得ず水を注入しながら掘り進めた。このときの発熱と水で、岩塊層空隙を満たしていた氷が融解してしまったと考えられる。

C層は主に小礫～砂からなる層である。長さ約 5mm 以下の炭化木片が斑状に混入する。この混入状態より、炭化木片の堆積後、砂質の堆積物に炭化木片が取り込まれるようなプロセスが生じたと推定される。D層は礫混じりのシルト層で、その一部には岩塊片も混入する。D層にはアイスレンズが発達しており、かつてこの深さまで凍結融解が及んだことを示す。

4. 地下水の形成年代

図3に、堆積物と地下水を分離した柱状図と、測定された年代値を示す。地下水の形成は、まず下部にシルト～砂、上部に岩塊が堆積する構造が形成された後に始まったことは確実である。そこでまず、堆積物の形成年代について述べる。C層（礫混じり砂層）には森林火災起源と見られる炭化木片が多数混入しており、その年代は 8331-8390 Cal BP (7530 ± 40 yBP)であった。層序の上下関係より、炭化木片が示す砂層形成の年代は地下水よりも確実に古いと判断できるので、地下水の形成は 8400 Cal BP 以降、岩塊堆積物が安定した後に開始されたと判断できる。

いっぽう、岩塊層の空隙が氷に充填されるA層の最下部（コア深度 127 cm）には、幅約 5 mm の葉片が混入しており、その AMS¹⁴C 年代は 3842-3962 Cal BP (3590 ± 40 yBP)であった。葉片は岩塊層の上に落ちたものが移動したか、あるいは調査地に生息するエゾナキウサギの貯食行動によって運び込まれたものと推測される。薄い葉片が腐敗せずに保存されるには、外気から遮断された氷内部に保存されていたためと考えられる。したがって葉片の年代の時点（3842-3962 Cal BP）で、地下水はすでに存在していたと解釈される。以上の解釈より、地下水の形成開始は約 8300～3900 年の間、すなわち完新世前期～中期であると推定される。

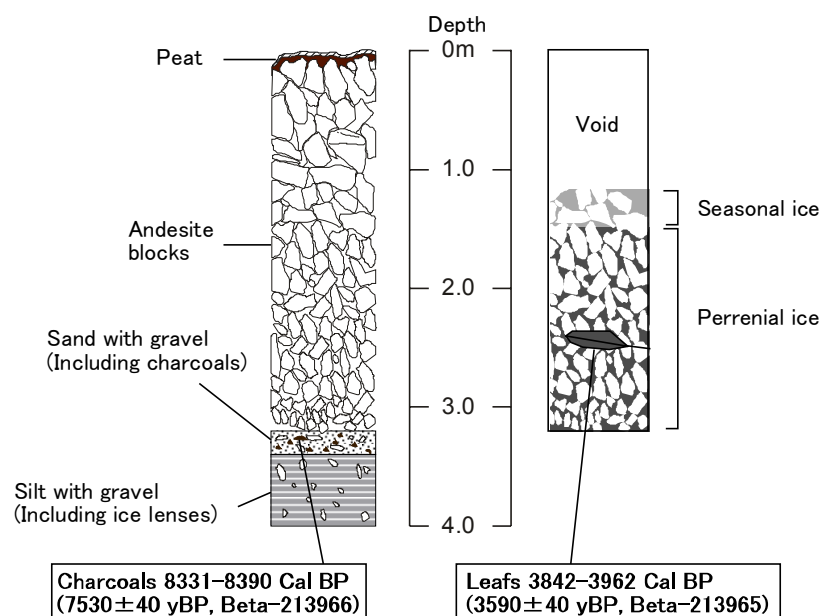


図3 コア試料から推定された堆積物（左）と地下水（右）の構造

5. 地下水の酸素・水素同位体比と地下水の起源

氷試料は、バンドソーで切断した後に融解させ、酸素・水素同位体比の測定を行った。酸素・水素同位体比の値は、標準試料（VSMOW）からの偏差を千分率（‰）で表す。地下水の $\delta^{18}\text{O}$ 値

は $-10.51 \sim -14.10$ ‰, δD 値は $-66.9 \sim -96.3$ ‰の範囲であった. $\delta^{18}O$ 値を横軸に, δD 値を縦軸にとるグラフに結果をプロットすると, 測定値の近似直線の傾きと切片はそれぞれ 7.52, 10.5 であった. この値は世界各地の降水の平均的な経験式である Craig (1961) の天水線の値 (傾き 8, 切片 10) に近く, 地下水の起源が降水であることを示している. また, 直線近似の相関係数は 0.97 と高く, 長期にわたって地下水を形成する水を供給する起源が安定していることを示す.

いっぽう, 北日本の日本海側から脊梁山脈周辺では, 夏季の降水は太平洋の水蒸気が起源となり, 冬季の降水は日本海から水蒸気の供給を受ける. 冬季の日本海ではシベリア高気圧から

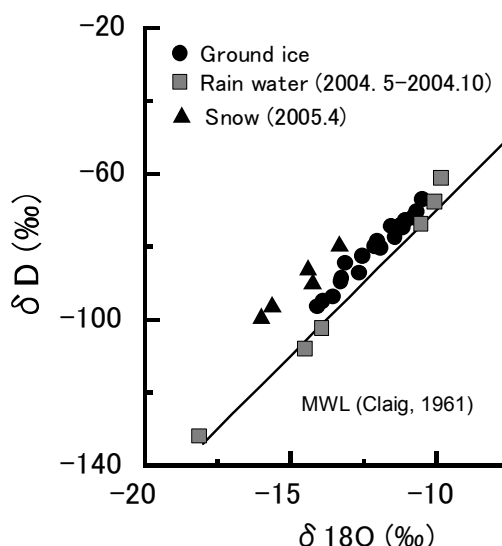


図4 測定された酸素同位体比と水素同位体比の関係

吹き出す冷たく乾燥した季節風によって急速に水蒸気の蒸発が生じる. 酸素・水素同位体比の d 値 (切片) は水の蒸発速度で異なり, それが早いほど大きくなる. そのため, 冬季に日本海側から水蒸気の供給を受けた雲から降水が生じる日本海側では, 降水の d 値は夏季に比べて高くなる (早稲田, 1983).

調査地で採取された冬の積雪サンプルの値 (傾き 7.11, 切片 14.2) は地下水の上に, 春～秋の降雨サンプルの近似直線 (傾き 7.87, 切片 9.6) はグラフ上で地下水の下に, 平行して並んでいる. すなわち, 然別における降水の d 値には明瞭な季節変動があり, 地下水の d 値はその中間に位置している. この結果は, 地下水の起源について2つの可能性を示唆する. ひとつは, 地下水の起源が冬の積雪と春～夏の降水の混合水である可能性で

ある. この場合, 夏～秋季の降水が地下水の上に溜まるか土壌水として存在し, 春季の融雪水と混合されるプロセスが生じていると考えられる. 両者の混合比が変化すると, 地下水の同位体比も変動する. したがって, 地下水の同位体比から過去の降水の同位体比変動を復元するには, 混合による変動量を見積もる必要がある.

もうひとつの可能性は, 融雪と再結氷過程で酸素・水素同位体比の変動が生じた結果として地下水の値が決まるという可能性である. この場合, 地下水の酸素・水素同位体比の変動は, 過去の降水の同位体比の相対的な変動を反映している可能性が高いと考えられる. 今後, 現地において季節氷と降水のサンプリングを続け, 地下水を形成する水の起源をさらに詳しく探っていきたい.

謝辞

ボーリング作業では, ジオアクト (株) の安達寛氏, 野坂信之氏の技術的なご指導と現場でのご協力を頂きました. 地下水の酸素・水素同位体比は, 北海道大学低温科学研究所の中塚武博士に測定していただきました. 環境省大雪山国立公園上士幌自然保護官事務所ならびに林野庁十勝西部森林管理署には調査の許可を頂きました. このほか, この研究は多くの方のご協力のもと実現することができました. ご協力いただいた皆様に, 心より感謝申し上げます. なお本研究には, 平成 16 年度北海道大学低温科学研究所リーダーシップ経費および平成 17 年度東京

地学協会究調査助成を用いました。記して御礼申し上げます。

参考文献

- Craig, H. (1961) : Isotopic variations in meteoric waters. *Science*, 133, 1702-1703.
- Sawada, Y. (2003): Monitoring of ground-ice formation in a block slope at Mt. Nishi-Nupukaushinupuri, Hokkaido, Japan. *Proc. 8th Int. Conf. Permafrost, Zurich, Switzerland, Vol. 2*, 1001-1005
- 澤田結基 (2004) : 北海道・西ヌプカウシヌプリの岩塊斜面における越年地下水の季節変化とその要因. *北海道の雪氷*, 23, 52-55.
- 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.
- Sawada, Y., Ishikawa, M. and Ono, Y. (2003): Thermal regime of sporadic permafrost in block slope in Mt. Nishi-Nupukaushinupuri, Hokkaido Island, northern Japan. *Geomorphology*, 52, 121-130.
- 早稲田周・中井伸之 (1983) : 中部日本・東北日本における天然水の同位体組成. *地球科学*, 17, 83-91.