

田切の南向きおよび北向き谷壁 における地温の差異とその 地形形成プロセスに及ぼす影響

Soil Temperature and its Effect on Geomorphic Processes
at South- and North-facing Vertical Cliff Made of Asama
Pumice Flow Deposits

松倉 公憲*・柳生 真宏**

Yukinori MATSUKURA and Masahiro YAGYU

I はじめに

浅間火山南西麓に分布する軽石流堆積物から成る緩斜面には、田切と呼ばれる、谷壁が垂直で、谷底が平坦な箱型の開析谷が発達する。これらの開析谷は主に北東ないし東から、西へ向って流れるため、谷壁の多くは南と北に面することになる。南向きおよび北向き谷壁とも、その基部にはノッチが形成されているが、両者のノッチの形態および形成プロセスには違いが認められる。すなわち、南向き谷壁のノッチは、ノッチ上限のエッジが明瞭であり、ノッチの成因は主に塩類風化と考えられている (Matsukura and Kanai, in press)。一方、北向き谷壁基部のノッチは上限が不明瞭な形態をもち、ノッチは凍結・融解作用によって形成されていることが観察されている (松倉・柳生, 1987)。このように、同一の地形材料から成り、その物性値や含水比などが同じであるにもかかわらず、谷壁の向きが異なることにより、地形形成プロセスが全く異なっている。

このような谷壁あるいは斜面の向きの違いによる

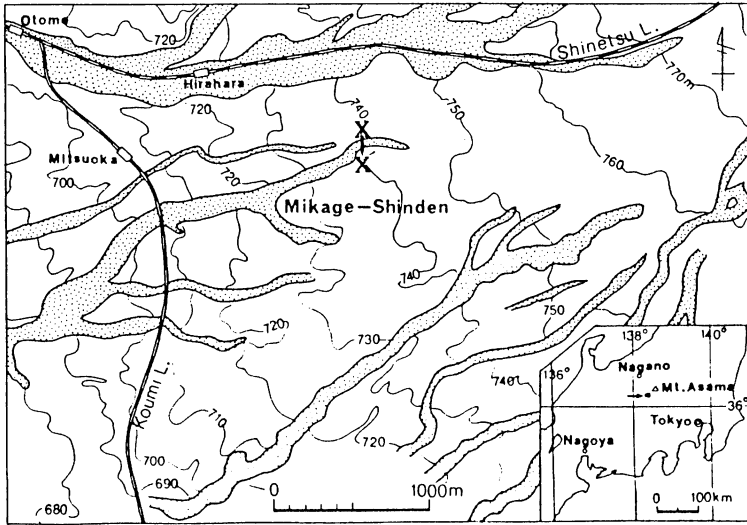
地形形成プロセスの差異については、非対称谷との関連で従来数多くの議論がされてきた (たとえば, French, 1976, pp. 253-256, and 260-262 ; Kennedy, 1976 などにまとめられている)。しかし、それらの議論の多くは定性的であり、日射量、地温などの実測例はほとんどないようである。

ところで、田切の南向き谷壁が受ける日射量は多く、逆に北向き谷壁では全く直達日射を受けない。このような差異は、谷壁の地温に大きな影響を与えることは容易に予想される。そこで、本研究では、実際に南向きと北向き谷壁の両者において地温の測定を行ない、上述の両谷壁基部のノッチ形成プロセスの差異との関連性について考察する。

II 地温測定点周辺の状況および地温測定法

南向きおよび北向き谷壁の代表として、小諸市御影新田の近接する二つの谷壁を選定した (第1図)。両谷壁の断面を第2図に示した。両者は幅40mの平坦な谷底をはさんで南北に相対している。南向き谷壁は高さ5mほどの垂直な面をもち、その谷壁基部には谷底からの高さ1m、奥行き40cmほどの

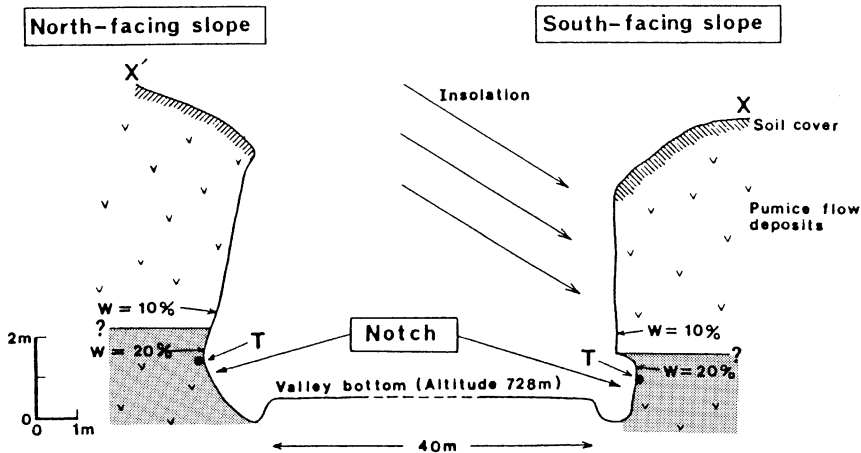
* 筑波大学地球科学系 ** 筑波大学自然学類



第1図 調査地域および地温測定対象の谷壁の位置 (X-X')
ドットで示した部分が田切谷。

明瞭なノッチが形成されている。一方、北向き谷壁においては、高さ6mほどの谷壁の基部に、やや不明瞭ながら、谷底からの高さ1.5mほどのノッチが認められる。これらの谷壁は、いずれも第1表に示したような物性値をもつ浅間第一軽石流堆積物によって構成されている。

第2図で示したように、南向き谷壁においては、谷底より約1mの高さまで毛管により地下水が吸い上げられており、そのため壁面および内部(20cm深)ともに含水比が20%と高くなっている(Matsukura and Kanai, in press)。北向き谷壁においても同様に、谷底から1.5mの高さまでの



第2図 南向きおよび北向き谷壁の縦断形とノッチ部における地温測定点。
図中の X-X' は第1図の X-X' に対応する。T は地温測定点、谷壁下部の網かけ部分は含水比の高いゾーンを示している。

第1表 谷壁を構成する浅間第一軽石流堆積物の諸物性（松倉・近藤，1985；松倉・柳生，1987；Matsukura, in press；Matsukura and Kanai, in press；による）

乾燥単位体積重量	1.56 gf/cm ³
湿潤単位体積重量	1.72 kgf/cm ³
間隙率	42%
粒度組成 礫分(>2 mm)	43%
砂分(2 mm~0.063 mm)	50%
シルト, 粘土分(<0.063 mm)	7%
透水係数	2.7×10^{-3} cm/s
一軸圧縮強度	1.1 kgf/cm ²
熱伝導率	0.72×10^{-3} cal/cm·sec·°C

ゾーンの含水比が高い。このような含水比の高いゾーンとノッチの形成されているゾーンとは極めてよく一致している。前述したように、南向き谷壁基部のノッチは春季の塩類風化によって、また北向き谷壁の場合は、冬季から春先にかけての凍結・融解作用によって徐々にその奥行きを増加させている。ただし、ノッチの拡大には限界があり、奥行きが1~1.5 m ほどになると崖は不安定となり上部が崩落をする（Matsukura, in press）。

地温の測定は、ノッチの中央部、すなわち南向きで谷底面から60 cmの高さ、北向きで110 cmの高さの所（第2図中にTで示した場所）で行なった。いずれも地表面温度とノッチの壁に対して直交する方向に深さ12~30 cm位まで、数点の地中温度プロファイルを測定した。南北両谷壁におけるノッチ形成のプロセスは主に冬季から春季に生起していることから、地温の測定もその時期に行なった。実際には、1985年1月19日~20日、2月10日~11日、4月1日~2日にかけて1~数時間おきに一昼夜にわたり観測を行なった。測定には電気抵抗温度計（東邦電探ET4型、同ET3A型、宝A600型）を用いた。測定はあらかじめ谷壁面に開けておいた深さ別の直径約1 cmの穴を用いた。測定と測定との間には、油粘土で測定孔の入口を塞ぎ、外気温の影響を受けないようにした。厳密に地表面温度を測定することは難かしいが、ここでは壁面に温度センサーを軽く押しつけ（その場合、センサー先端が数mm埋まることもあったが）測定した値をもって仮

に地表面温度とした。

地温の測定と同時に、両谷壁から等距離の谷底中央の水田の畦（高度728 m）において、地上からはほぼ1.5 mの高さでアスマン乾湿温度計を用いて気温の測定も行なった。

III 地温測定結果

1985年1月19日~20日、2月10日~11日、4月1日~2日における測定結果を、それぞれ第3図、第4図、第5図に示した。いずれも上部に南向き谷壁での、下部に北向き谷壁での地温測定結果を示した。また両者ともにその中に同時に気温の観測結果を示した。

なお、1月および2月の観測日の朝には、北向きノッチの表層において厚さ数cmの霜柱が観察された。日中これらの霜柱は融解し、表層の土粒子を壁面から剥離させた。また、1月20日の時点では、北向きのノッチにおいて壁面から13~16 cmの深さまで凍結層が観察された。同様に2月19日には、約20 cmの厚さの凍結層が認められた。ただしこれらの凍結層も、その後の3月中旬からの気温上昇（日平均気温がプラスに転化した）に伴ない徐々に融解したと推定される。4月の測定時には凍結層はすでに存在していなかった。

1) 1985年1月19日~20日の地温測定結果

1月19日、20日ともに天候は晴れで、日中の南向き谷壁は直達日射を受けている。19日夜の気温は-5.5°Cまで低下した。20日の日中は+4.8°Cま

で上昇している。

まず、南向き谷壁の地温（第3図a）をみると、19日16時において、地表面で4°C、深さ4cm、6cmがおおよそ10°Cと高い。夜半から明け方にかけて、地表面温度は-1.8°Cまで低下するが、4cm以深の地中では氷点下にはならなかった。20日7時頃から気温上昇がみられるが同様に地温も上昇する。上昇の速度は地表面で最も大きく、13時には16.5°Cを記録した。この値は気温より11°C以上も高い。最も深い12cmの所では、朝方の最低2.8°Cから徐々に上昇し続け、16時に8.5°Cとなった。地表面温度、地中温度ともに常に気温より高い温度で変動している。中でも地表面温度の日較差が最も大きく、地中深くなるほど日較差は小さくなる。

次に北向きの場合（第3図b）をみてみよう。測定開始時には気温-0.8°Cで、地表面、地中温度ともに-0.5°C付近に集中している。夜半から朝方にかけて気温が低下すると同様に地温も低下し、中でも地表面温度は-4°Cまで低下するが、しかしそ

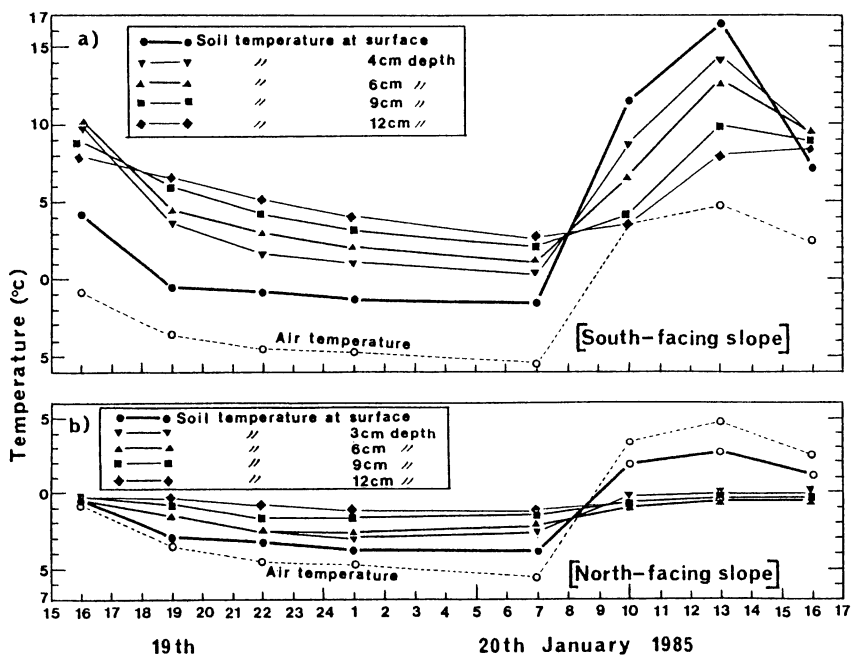
の後気温が上昇するのに合わせ13時には地表面温度は2.6°Cまで上昇した。深さ3cmから12cmまでの地中温度も、夜半に少し低下するが、その変化は小さく、いずれも0°C~-3°Cの範囲内である。

2) 2月10日~11日の地温測定結果

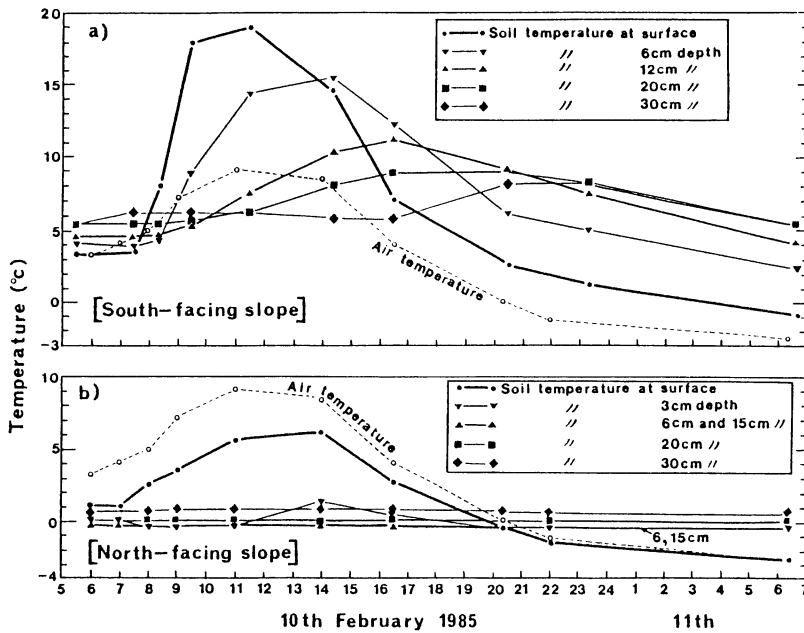
2月10日から11日にかけても、天候は晴れて、日中は南向きの谷壁は直達日射を受けている。

南向きの地温変化（第4図a）をみると、まず、地表面温度は7時25分の測定後から急激な上昇を示し、11時25分には19°C（気温より約10°Cも高い）を記録した。その後、気温の低下とほぼ平行に徐々に低下した。深さ6cm、12cm、20cmの地温の上昇・下降速度は、深くなるほど小さくなり、最高温度を示す時間も深いほど遅れて出現する。深さ30cmの地温は日較差が最も小さく、5.5~8.2°Cの狭い範囲で変化している。

一方、北向きの場合（第4図b）には、地表面温度のみが気温に追従した変化をとっている。ただし、その地表面温度は気温より常に低く、日較差も



第3図 1985年1月19日から20日にかけての地温および気温の変化



第4図 1985年2月10日から11日にかけての地温および気温の変化

気温のそれより小さい。深さ6 cm, 15 cm, 20 cmの地温は -0.2°C ~ -0.4°C の間で極めて変化が小さくほぼ一定しているとみなせる。深さ30 cmにおける地温も同様に 0.8°C とほぼ一定値を示した。この値は南向きの同じ30 cm深地温に比較して $5\sim 7^{\circ}\text{C}$ ほど低い。

3) 4月1日~2日の地温

4月1日から2日にかけても晴天が多かった。2日の午後12時から14時にかけて一時曇ったが、その後再び晴天となり、南向きの谷壁には直達日射がよく当たった。気温はこの時期にしては低く(4月上旬の日平均気温は約 5°C)、2日の朝には -4.4°C を記録した。

南向きの地温変化(第5図a)は概ね2月10日~11日の変化(第4図a)と同様である。すなわち、午前中の地表面温度の上昇速度は気温のそれより大きく、2日の11時には 22.9°C まで上昇している。また、11時から14時にかけての下降も急激である。深さ3 cmの地温は気温とほぼ平行した変化

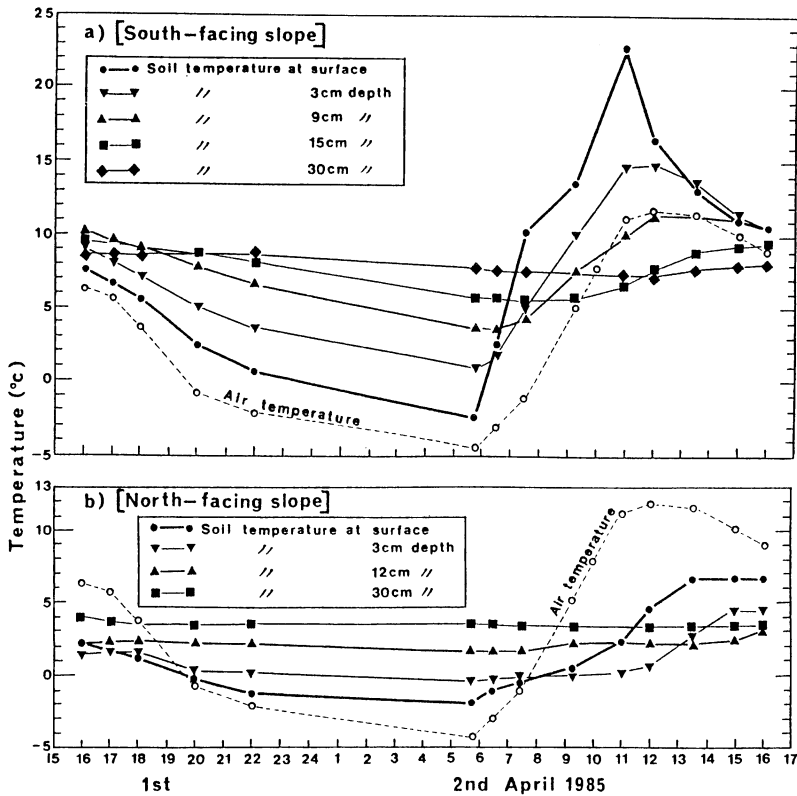
をとる。この3 cm深地温と地表面温度は気温より常に高い値をもっている。3 cm, 9 cm, 15 cmと深くなるほど地温の上昇・下降の速度が小さくなり、日較差も小さくなる。最も深い30 cmの地温は、 8°C 前後で極めて小さい変化を示している。

一方、北向きの地温変化(第5図b)のパターンは1月19日~20日の結果(第3図b)と類似している。地表面、3 cm深地温は気温変化に追随し、12 cm以深においては温度変化が小さくなる。特に30 cm深地温は 3.5°C 前後でほぼ一定となる。この値は、前述の南向きの同じ深さ(30 cm)の地温より約 5°C ほど低い。

IV 考 察

南向き谷壁における地温変化の特徴をまとめると以下ようになる。

- (1) 南向きの地表面温度は気温より常に高く、特に午前中の温度上昇速度は大きく、日中の最高地温は気温より 10°C も高くなる。



第5図 1985年4月1日から2日にかけての地温および気温の変化

(2) 夕方から夜にかけての地表面温度の下降は気温の低下傾向にほぼ平行する。

(3) 壁からの深さが大きくなるほど温度上昇・下降の速度が小さくなり、日較差も小さい。

一方、北向き谷壁部分では

(1) 冬季（1月、2月の観測例）の地表面温度は気温に追従し 0°C を上下するが、日中の温度上昇は気温より大きくなることはなく、従って日較差も気温のそれより小さい。

(2) 1月、2月の凍結層が形成されている部分の地温はすべて氷点下の値をとる、などの特徴がみられた。

南向きと北向きの両者を比較すると、南向き谷壁の地温は北向き谷壁のそれよりかなり高い。たとえば30cm深地温を比較すると（2月と4月の例）、南向きの方が $5^{\circ}\text{C}\sim 7^{\circ}\text{C}$ 高いことがわかる。

以上のような特徴は、基本的には谷壁の向き、すなわち直達日射が当たるか否かによって説明できるように思われる。南向きの谷壁表面においては、いずれの観測日においても、直達日射が当たった直後から急激な地温の上昇がみられる。そしてこの地温の上昇は徐々に谷壁の深部にまで進行し、谷壁内部に熱を貯留していくと考えられる。そのため、気温の低下と同様に地温が低下しても、1月や2月の観測例のように、ごく地表面のみが短時間氷点下になるだけで、数cm以深は氷点下になることはほとんどない。このことは、南向き谷壁においては土壌凍結は勿論、ノッチ表面に霜柱の形成すら認められなかったことと符号する。

一方、北向き谷壁の場合には、直達日射を全く受けなため、日射による熱の供給を受けることが少ない。そこで冬季には谷壁表面からゆっくりと加

熱・冷却されることになる。すなわち、地表面温度の変化としては、日中はプラス、夜間は氷点下になることが多い。前述したように、冬季の北向きのノッチ表層部分では、夜間に霜柱が形成され、日中融解するのが観察されており、このことは地表面温度の変化からも首肯される。

深さ3 cm~12 cm (1月) および3 cm~20 cm (2月) の地温はいずれも氷点下となっている。前述したように、1月19日にはノッチ表面から13~16 cmの深さの、2月10日には約20 cmの深さの凍結層が観察されており、地温測定結果とも符号する。このように、冬季には北向き谷壁のノッチ部分では凍結層が徐々に厚く発達し、一冬の凍結深は20 cm~30 cmと推定されている(松倉・柳生1987)。ただしこれらの凍結層も3月中旬には融解しており、そのため4月の測定時には、3 cm以深の地温はプラスに転じている。

以上のように、谷壁の向きの違いによる地温の差異がかなり大きいことが判った。このような地温の違いは地形形成プロセスの違いに反映される。すなわち、直達日射の当たる南向きの谷壁においては熱が貯留され地温が高く、土壤凍結が起こらない。ここでは、春先の低湿度の環境下で塩類が析出する。この時、日射による地表面地温の上昇は、塩類析出と同時に起る乾燥クラックの発生を促進させる働きをするであろう。一方、北向き谷壁においては、直達日射による熱の供給がないため、南向きに比較してかなり地温は低くなる。そのため冬季にはノッチ表面では霜柱が形成され、内部では土壤凍結が起る。この凍結層は、積算寒度の増加とともに谷壁内部へ徐々に拡大し最大20~30 cmとなる。このような凍結層の存在が、逆に地温の0°C付近での停滞(潜熱の放出による)をもたらしと考えられる。

V おわりに

冬季から春先にかけて、田切谷壁のノッチ部において、地温の測定を行なった。その結果、南向きの谷壁では、日中の日射によってかなり温められることが判った。一方、北向き谷壁では、直達日射が当たらないため冷却が進み氷点下になることが多い。そしてこのような地温の差異は、それぞれの田切谷壁のノッチ部で生起する異なった地形形成作用と、(その原因あるいは結果として)密接に関連していることが明らかとなった。

謝 辞

本研究を行なうにあたり、地球科学系小林守講師と山川修治助手には測器の使用に関して便宜を計って頂いた。また、野外での測定には、小玉芳敬君、佐藤亮君をはじめとする院生、学生諸君の御助力を得た。以上の方々に記して謝意を表します。

引用文献

- 松倉公憲・近藤昭彦(1985): 田切谷壁における応力状態 — 有限要素法による弾性解析 —, 筑波大学水理実験センター報告, 9, 49-52.
- 松倉公憲・柳生真宏(1987): 浅間火山南西麓“田切”の北向き谷壁の後退過程, 地形, 8, 54.
- French, H. M. (1976): *The Periglacial Environment*. Longman, London, 309p.
- Kennedy, B. A. (1976): Valley-side slopes and climates. Derbyshire, E. ed. *Geomorphology and Climate*, 171-201, John Wiley & Sons, London.
- Matsukura, Y. (in press): Cliff instability in pumice flow deposits due to notch formation on the Asama mountain slope, Japan. *Zeitschrift für Geomorphologie*.
- Matsukura, Y. and Kanai, H. (in press): Salt fretting in the valley cliff of the Asama volcano region, Japan. *Earth Surface Processes & Landforms*.