

19. 岩石風化からみた山形県白鷹火山カルデラの構造 と山体崩壊の可能性

Caldera Structure and Probability of Recent Sector Collapses
based on Rock Weathering in the Shirataka Volcano, Yamagata, Japan

○横田 修一郎 (島根大学)
西山 賢一 (徳島大学)

1. はじめに

岩石は地表に露出した直後から風化作用を受けて劣化していくが、浸食・堆積作用が活発な火山地域では、風化環境は頻繁に変化する。このため、逆に岩石の風化状態とその空間分布から、過去の風化環境の変遷やそれをもたらした浸食・堆積プロセスについても言及できる可能性がある。このような試みとして、山体崩壊ないし大規模地すべりが指摘されている^{1,2)}山形県白鷹火山カルデラ(図-1)において、ボーリング・コア試料の色彩値を測定し、岩相と対応させて風化程度の空間分布を調べてきた³⁾。これは、火山岩類・火砕岩類では含まれる鉄鉱物の色調が酸化・還元環境に敏感に反応するとともに、色彩値パターンから局所的な高温酸化作用を広域的な常温酸化から識別できることを利用したものである。

2. 白鷹火山のカルデラ壁崩壊と緩斜面、小丘の形成

白鷹火山は新第三系の堆積岩類や火山岩類の上に重なり^{4,5)}、北東に開いた長径約4.3 kmのカルデラ構造をもっている(図-1)。ただし、有史以来の活動記録はなく、岩石のK-Ar年代は0.6~0.9 Maである⁶⁾。カルデラ内部には小丘が点在し、それらの間は湖沼群を含む緩斜面となっている。カルデラ内壁は急傾斜をなすが、全体に開析が進んでいるのが特徴である。カルデラ壁の一部は大規模な山体崩壊跡の可能性があり、そこから供給された岩屑なだれ堆積物が上記の小起伏緩斜面を構成していると推定されてきた^{1,2,4,5)}。こうしたことから、防災科学研究所によってカルデラ内で1998年以降ボーリング調査が行われてきた⁷⁾。

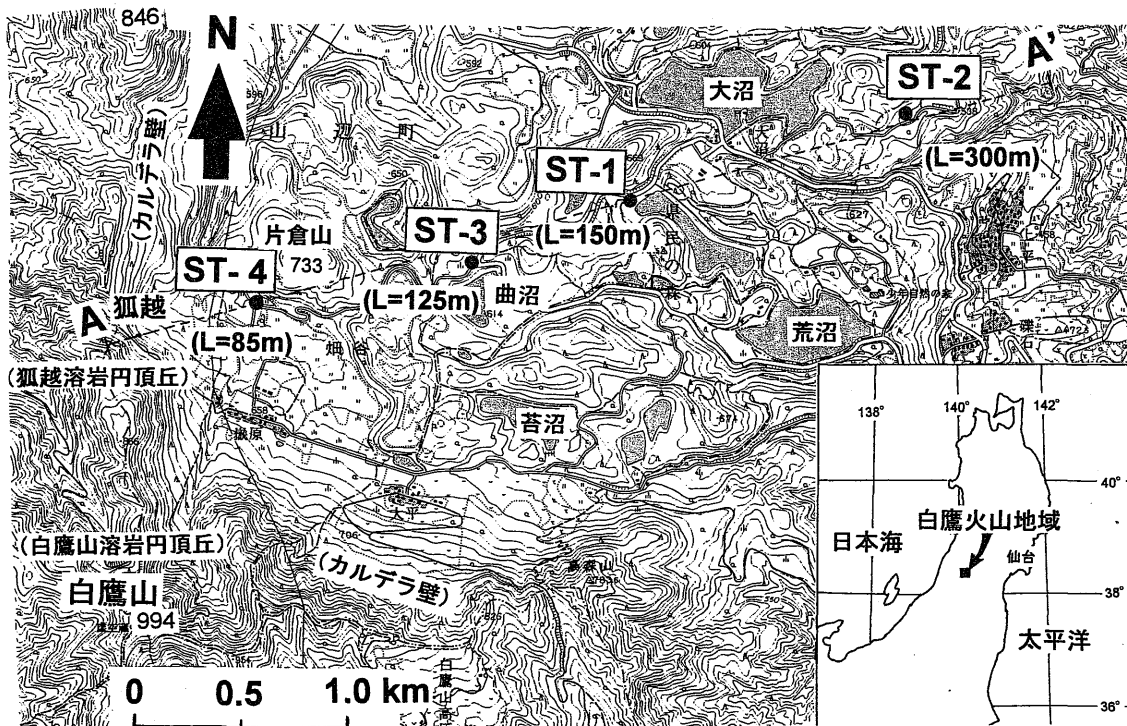


図-1 白鷹火山カルデラの位置と地形概要。破線 A-A' は図-6 の断面図位置。

3. ボーリング・コアと色彩値計測結果

ボーリングは図-1 のように、ENE-WSW方向に直線的に配置されており、西から ST-4 (延長85m)、ST-3(同125m)、ST-1(同150m)、ST-2 (同300m)となっている。図-2 に ST-1 のボーリン

グ柱状図を RQD 値とともに示す。地表から深度 2.5m までは表土および崖錐堆積物、2.5 ~ 20.7m は河川成堆積物および火山泥流堆積物、20.7 ~ 42.5m は安山岩溶岩を主体としている。42.5 ~ 45.7m は火砕流堆積物であるが、45.7m からは再び溶岩となり、孔底の 150.0m まで続く。RQD 値は概して高く、厚い塊状溶岩部の 46m 以深では自破碎状部分を除いた広い範囲で RQD 値は高く、良好な岩盤状態が続いている。

ボーリング・コア表面の色彩値を色彩色差計（ミノルタ CR-200）を用いて深度ごとに測定した。測定結果は L*a*b*座標系の a*値と b*値で表した。図-3 は ST-1 の 40m 以深における a*値と b*値の深度方向への変化を示したものである。a*値は赤～緑（赤が正、緑が負）を、b*値は黄～青（黄が正、青が負）を表している。測定は深度 1.0m 間隔であるが、浅部は一部 0.5m 間隔のところもある。岩石構成物のバラツキも反映して a*, b*値はばらついているため、色彩値の深度変化は、全体のトレンドとバラツキの両方からみる必要がある。

深度 90m 前後までは a*,b*値はどちらも高く、かつバラツキが大きいが、90m 以深になると急に小さくなる。この急変は厚い溶岩中であり、岩相変化に対応していないことから、その後の地表からの風化等によると考えられる。

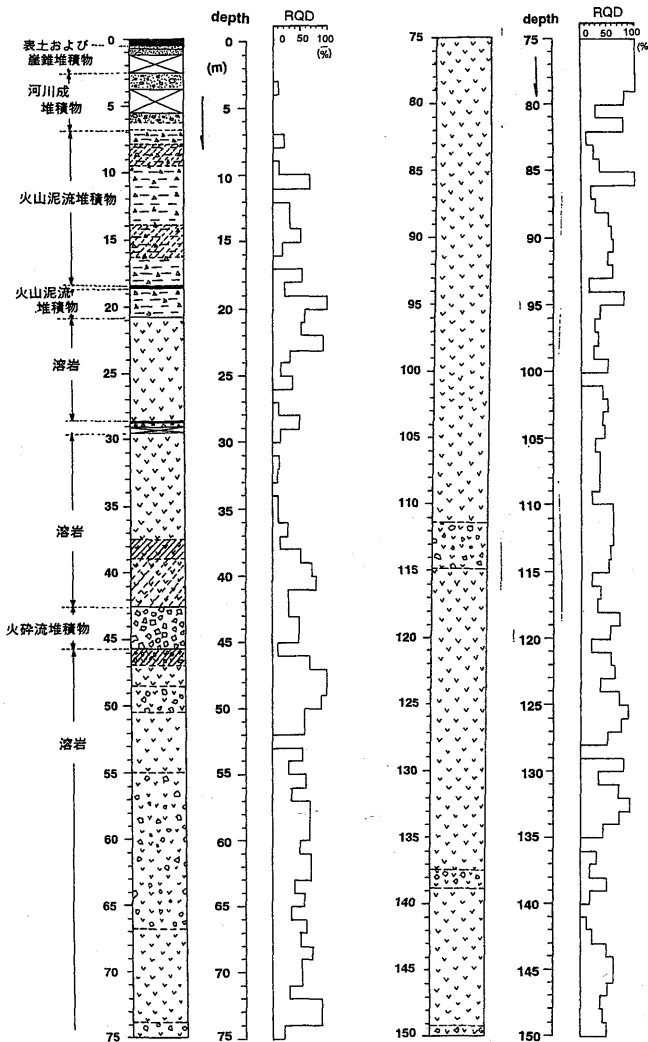


図-2 ST-1 のボーリング柱状図と RQD 値

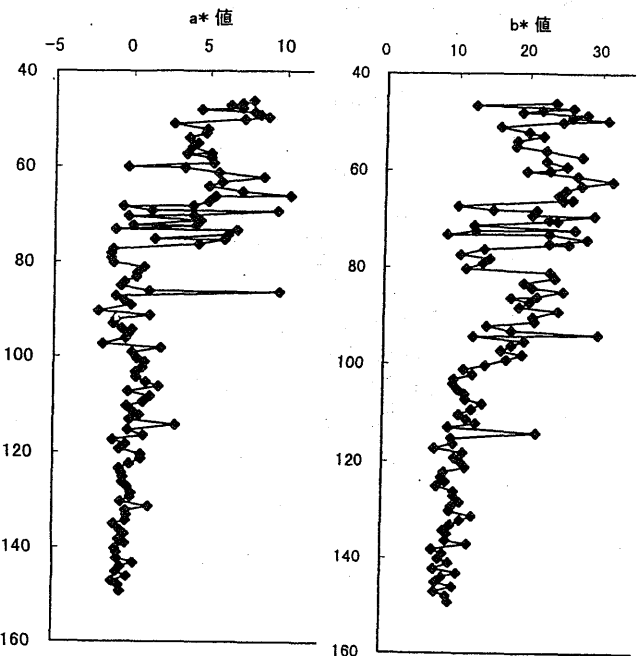


図-3 ST-1 における深度 40m 以深の色彩値 a*,b*の変化。

4. 色彩値 a*-b*のパターンと鉄鉱物の酸化

図-4 は ST-1 の a*値と b*値を両軸にとってプロットしたものである。よく知られているように、このトレンドの勾配によって、鉄酸化物のうち、ヘマタイト (hematite, 赤鉄鉱: Fe_2O_3) が主体か、ゲータイト (goethite, 針鉄鉱: $FeOOH$) が主体かの識別が可能である^{8),9)}。ゲータイトが主体の水酸化鉄ではトレンドは急勾配 (勾配は 3~8) になり、逆にヘマタイトが主体の酸化鉄では緩勾配 (勾配は 0.8~1.0) となる。

火山岩類・火砕岩類では常温での風化（酸化）作用と高温での熱水変質作用が考えられる。 a^* 、 b^* 値はいずれの場合でも高くなるが、前者では b^* 値の変化は a^* 値のそれより概して大きい。これは、黄褐色化をもたらす水酸化鉄（ゲータイトなど）は、常温で普遍的に存在する非晶質水酸化鉄（フェリハイドライト： $Fe_2HO_3 \cdot 4H_2O$ など）の脱水生成物として容易に形成されるためである。これに対し、後者のような高温下で生成されやすい酸化鉄（ヘマタイトなど）は a^* 値のみを大きく増加させる。これらには pH も関わっており、一般に温度が低く pH が高いほどゲータイト（goethite, 針鉄鉱： $FeOOH$ ）が生成されやすく、温度が高く pH が低いほどヘマタイト（hematite, 赤鉄鉱： Fe_2O_3 ）が生成されやすい^{8,9)}。

結果として、ST-1 では溶岩部分のトレンド勾配は 3 以上であり、常温での酸化作用が主体と推定される。 a^*/b^* 比をとって深度方向への変化を示すと図-5 のようになる。深度によって a^* 、 b^* 値が変化だけでなく、この比も変化していることがわかる。したがって、深度 90m 前後までは地表からの常温風化作用の結果と見てよいであろう。なお、他のボーリング ST-2,3,4 でも火山岩・火砕岩部分で同様の傾向が認められた³⁾。

a^* - b^* の関係から、地下で局所的に現れる高温酸化と地表から進行する常温酸化をある程度識別することができる。 a^* 、 b^* 値の全体的なトレンドからはずれて a^* 値が高い部分を高温酸化によると判断し、それらを除けば地表からの風化の影響範囲を抽出することができる。

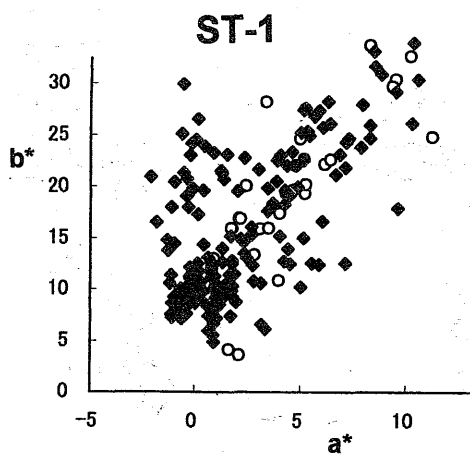


図-4 ST-1 における a^* - b^* 関係図。
○は表層の堆積物

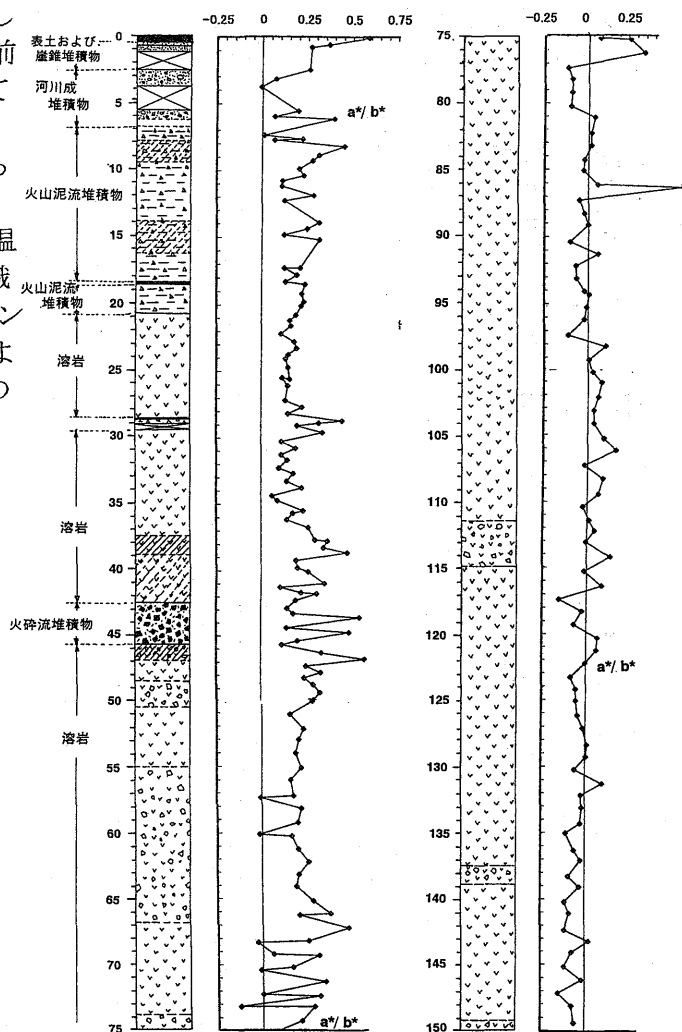


図-5 ST-1 における a^*/b^* 値の深度変化

5. カルデラ内の風化帯構造と大規模山体崩壊による物質移動の可能性

図-6 は他のボーリング ST-2,3,4 をも用いて全体の風化帯構造を示したものである。前述のように個々の色彩値データから高温酸化による部分を除けば、地表から風化が及んだ範囲をとることができる。図では b^* 値が大局的に 20 以下および 10 以下になる深度をそれぞれ W20, W10 として矢印で示している。W10 を広域的な風化帯の下限と見なせば、これは、標高 530m ~ 450m で北東方向に緩く傾斜している。

地質断面図と対応させれば、風化帯は火砕流堆積物や岩屑なだれ堆積物など特定の岩相分布や地質構造に規制されたものではなく、むしろ、全体として現在の地形に調和的にみえる。W10, W20 で示される風化帯の下限は地表下 100 ~ 150m である。したがって、カルデラ地下での風

化作用は広域のかつ長期間に及んだものと推定され、カルデラ内にて風化帯形成以降に大規模な埋積を想定することは難しい。風化帯形成に要した時間は明らかではないが、100mに達する厚さからみて少なくとも数1000年以上は要するであろう。風化帯構造の連続性から、カルデラ内で物質の付加と埋積をもたらすような大規模な山体崩壊はたとえ発生したとしても最近の可能性は低い。

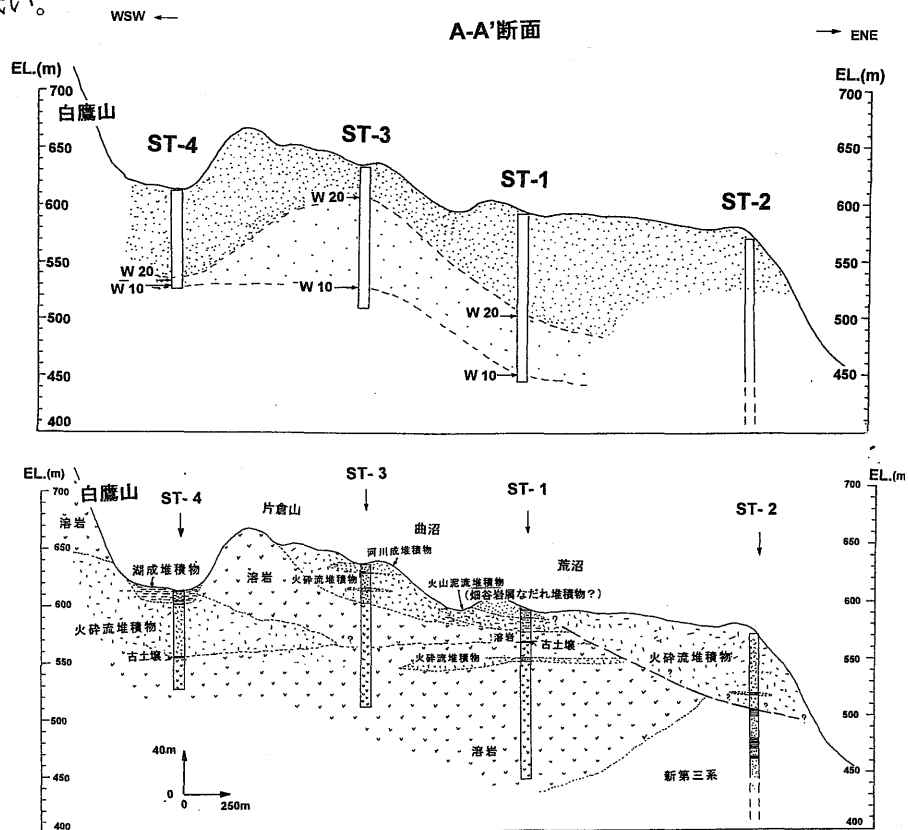


図-6 白鷹火山カルデラ内における WNE-WSW 方向の風化帯構造と地質断面図³⁾。W20,W10 は個々のボーリング・コアにおいて b^* 値が 10 以下, 20 以下になる深度。

文 献

- 1) 八木浩司・井口 隆 (2000) : 白鷹火山の山体崩壊時期に関する層位学的研究, 京都大学防災研究所, 特定研究集会「十津川災害 111 周年記念集会」報告書, 94-97.
- 2) 井口 隆・八木浩司・横田修一郎 (2000) : 山形県白鷹火山における大規模崩壊斜面の探査, 第 39 回日本地すべり学会研究発表会講演集, 565-568.
- 3) 横田修一郎・西山賢一・原口 強・井口 隆 (2003) 岩石色彩値の深度変化からみた山形県白鷹火山周辺の風化環境と山体崩壊の可能性, 地すべり, (印刷中)
- 4) 加藤武雄・柴橋敬一・新関八郎 (1978) : 白鷹火山地域の陸水, 東北学院大学東北文化研究所紀要, no. 9, 11-35.
- 5) 三村弘二・鹿野和彦(2000) : 東北日本, 白鷹火山の層序と歴史, 火山, 45, 13-23.
- 6) 石井六夢・斉藤和男 (1997) : 山形県白鷹火山の K-Ar 年代, 山形大学紀要 (自然科学), no.14, 99-108.
- 7) 防災科学技術研究所 (1998) 平成 10 年度白鷹山ボーリング・コア採取業務報告書地質柱状図資料.
- 8) Nagano, T. and Nakashima, S. (1989) : Study of colors and degrees of weathering of granitic rocks by visible diffuse reflectance spectroscopy. *Geochemical Journal*, 23, 75-83.
- 9) Nakashima, S., Miyagi, I., Nakata, E., Sasaki, H., Nittono, S., Hirano, T., Sato, T., and Hayashi, H. (1992) : Color measurement of some natural and synthetic minerals: Rep. Res. Inst. Natural Resources, Mining College, Akita Univ., no. 57, 57-76.