

ボーリングコアサンプル(高野尾羽根溶岩)のゼータ電位測定

長谷英彰¹⁾・石戸経士²⁾・橋本武志³⁾・古川邦之⁴⁾

1) 京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設

2) 産業技術総合研究所地圏資源環境研究部門

3) 北海道大学大学院理学研究科附属地震火山研究観測センター

4) 京都大学大学院人間環境学研究科相関環境学専攻

ζ potential measurements of rock samples (Takano-obane lava) from a boring core

Hideaki Hase¹⁾, Tsuneo Ishido²⁾, Takeshi Hashimoto³⁾ and Kuniyuki Furukawa⁴⁾

1) Institute for Geothermal Sciences, Graduate School of Science, Kyoto Univ.

2) Institute for Geo-Resources and Environment, Geological Survey of Japan, AIST

3) Institute of Seismology and Volcanology, Graduate School of Sciences, Hokkaido Univ.

4) Department of Interdisciplinary Environment, Graduate School of Human and Environmental Studies, Kyoto Univ.

Abstract

Quantitative assessment of subsurface fluid flow from the field SP data requires the streaming potential coefficient, a conversion factor between electric current and fluid flow. The ζ -potential of a rock-water interface is essentially important to evaluate the streaming potential coefficient. Recent laboratory study (Hase et al., 2003) has reported a significant variability of the ζ potential, including its polarity, for volcanic rock samples from Aso caldera.

The present study focuses on the variability of the ζ potential due to the difference of mineral species on the solid side. For this purpose we have done a systematic measurement of the ζ potential for rock samples from a boring core. The core was taken from a drill hole at Takano-obane lava dome, a rhyolitic unit of 100m thick, in the western part of Aso caldera (courtesy of Aso volcanological laboratory, Kyoto University). We took 16 core samples from the surface to about 100m deep. The samples were grained into 0.5mm for ζ potential measurement by using the streaming potential method. Temperature, concentration, pH conditions of the liquid side are 30 °C, 10^{-3} mol/l (KCl), 2.5~11.5 (by 1.0 step), respectively. We made a surface conduction correction by using 0.1 mol/l (KCl).

The isoelectric point (IEP, the pH condition at which the ζ potential becomes apparently null) obtained from ζ potential measurements was almost the same for all the samples. In contrast, the ζ potential itself showed an increasing trend in magnitude from top to bottom. One of the implications of this result is that the ζ potential is affected by the valence number of Fe.

1. はじめに

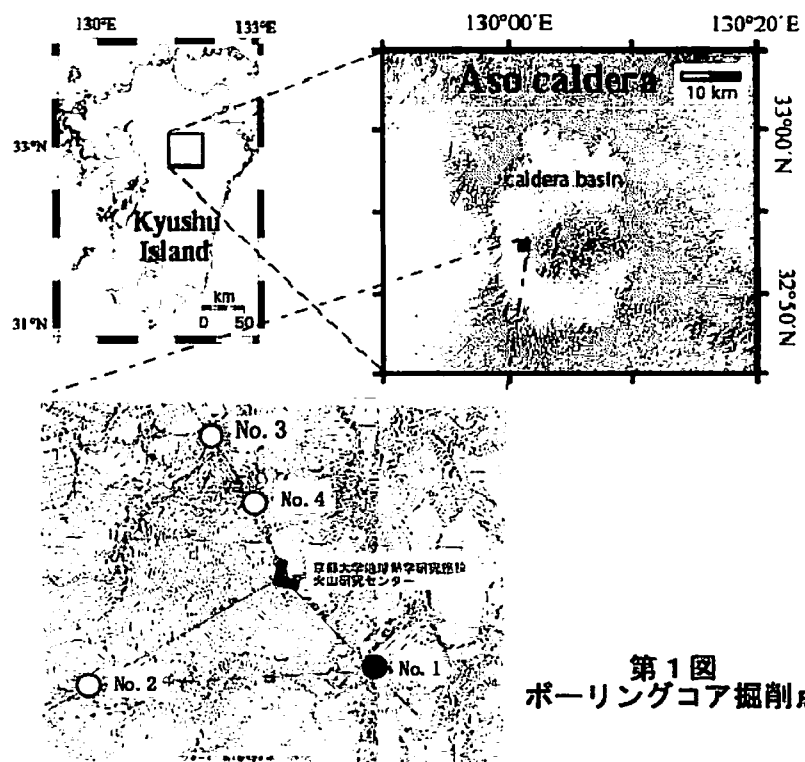
ゼータ電位は固-液界面の電位であり、界面動電現象である流動電位を評価する上で重要な要素のひとつである。火山や地熱地域で観測される大きな自然電位異常の発生原因は、地下の流体流動に伴う流動電位と考えられており、フィールド岩石のゼータ電位は自然電位を解釈する上で考慮しなければならない情報のひとつと言える。しかし岩石ゼータ電位に関する研究はこれまで十分に行なわれてきたとは言えず、特に岩石種の違いとゼータ電位の値の関係についての研究はほとんど進んでいない。

最近 Hase et al.(2003)は、火山岩のゼータ電位は種類によって値にかなりの差があり、プラスを示すものも多く存在することを示し、さらに岩石ゼータ電位値の差異は岩石を構成している元素組成比の違いである程度説明ができることを示した。しかし同じ元素組成比であってもゼータ電位の値に差異がみられ、大きく分けて二つのグループになることも示しており、一概に元素組成比だけでゼータ電位を議論することはできない。それは同じ元素組成比であったとしても、バルクの岩石と液体の影響を受けた界面部分とでは酸化度などの状態が異なると考えられるが、このようなことがゼータ電位に影響を与えている可能性がある。また鉱物組成の変化やガラス質・結晶質等の岩石内部構造が異なることによって、ゼータ電位に違いが生じることも十分考えられる。

このような問題を解決するためには、元素組成比が同じであり、かつ鉱物組成や岩石内部構造が異なるいくつかのサンプルについて、ゼータ電位を測定して議論する必要がある。そこで本研究では、このような条件をほぼ満たしていると思われる高野尾羽根溶岩についてゼータ電位測定を行い、この問題について議論することにした。

2. 測定サンプル

本研究で用いた高野尾羽根溶岩は、京都大学地球熱学研究施設火山研究センター(熊本県阿蘇郡南阿蘇町)が建立している丘を形成している流紋岩であり、形成年代は $51 \pm 5 \text{ka}(\text{K-Ar})$ と推定されている(松本ほか, 1991)。火山研究センターでは建物が建立している丘周辺で、これまでに4ヶ所のボーリング調査を行っている(第1図)。ボーリング調査の結果、高野尾羽根溶岩は厚いところで約90mの層を形成していることが確認されており、岩石学的特徴は古川・鎌田(2004)によって詳しく調べられている。本研究では高野尾羽根溶岩が最も厚く層を形成している No.1 のボーリングコアからゼータ電位測定用として16サンプル採取した(第2図)。



3. 測定方法・条件

測定は産業技術総合研究所地質調査センター所有のゼータ電位測定装置 EKA(Anton Paar 社製)を用いて行った。この測定装置は流動電位法を適応したものであり、サンプルセルに岩石サンプルを充填し、そこに溶液を流動させ、セルの両端に設置した電極で発生した流動電位を測定することにより、ゼータ電位を求めることができる。

岩石サンプルは約 0.5mm の粒径に粉砕したものを使用し、電極は Ag-AgCl を用いた。溶液は 10^{-3} mol/l の KCl を用い、溶液温度は約 30℃一定の環境で測定を行った。ゼータ電位は測定された流動電位と Fairbrother-Mastin の式を用いて計算で求めた。Fairbrother-Mastin の式は次のようにあらわされる。

$$\zeta = \frac{dV}{dP} \cdot \frac{\eta\kappa}{\epsilon} \quad (1)$$

ここで dV : 流動電位(mV), dP : 圧力(mbar), η : 溶液の粘性率(mPa.s), κ : 溶液の電気伝導度(mS/m), ϵ : 溶液の誘電率(F/m)である。圧力 dV は本研究環境で層流が保たれる 50mbar を最大として測定を行った。

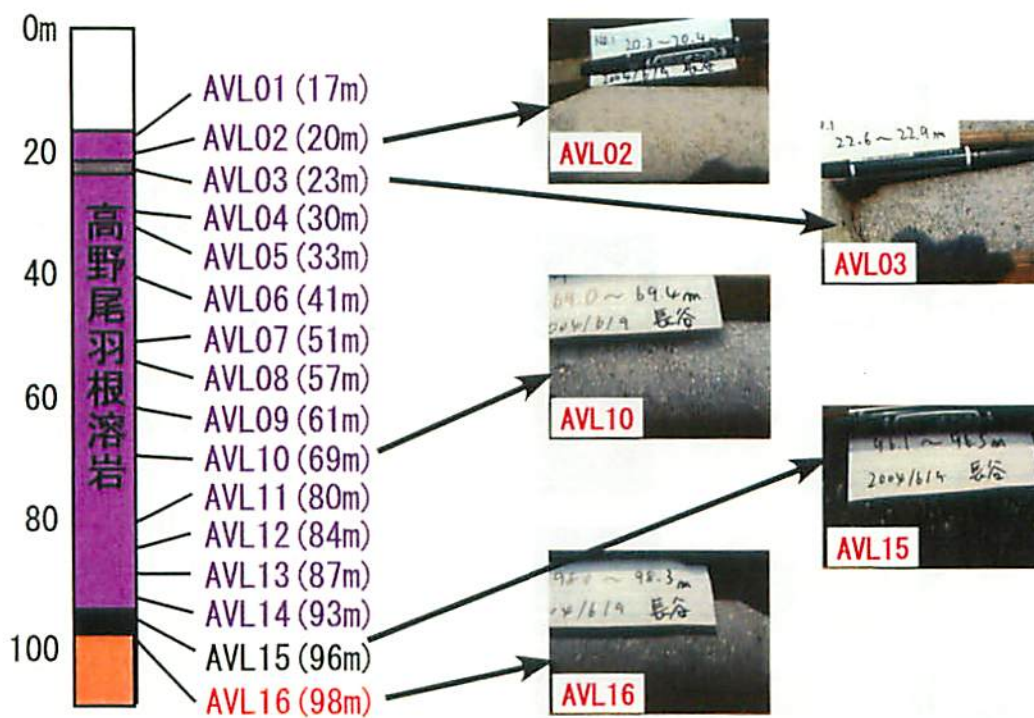
測定されたゼータ電位はサンプル形状や界面で発生する電気二重層の状態により、表面伝導効果によって見かけ上小さくなることがある。本研究では 0.1 mol/l の KCl 溶液を用いてサンプルの電気抵抗を測定することで表面伝導効果を見積もり、すべてのサンプルについて表面伝導補正を行った。

4. 測定結果

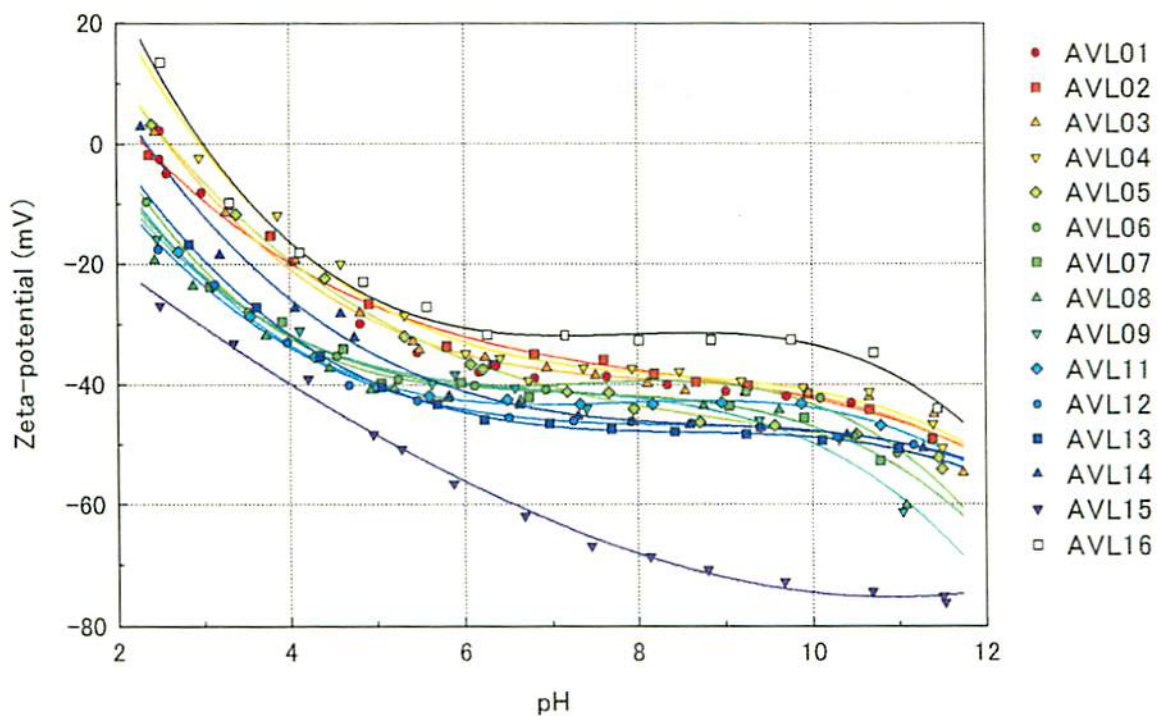
測定結果を第 4 図に示す。全体的にみるとゼータ電位は pH に対して左肩上がりのプロファイルを示しているが、AVL01~14 については pH が 6~9 の間でゼータ電位値の変化率が小さく三次関数的なプロファイルを示している。またゼータ電位の垂直方向のオフセットが系統的に見られ、サンプル採取点が深くなるに従ってゼータ電位の値がマイナスに大きくなる傾向を示している。AVL15 は上記にサンプルとは異なる二次関数的なゼータ電位プロファイルを示しており、値も他のサンプルに比べて顕著にマイナスに大きく、pH が 9 以上でゼータ電位が -70mV 以下を示している。AVL16 は AVL01~14 と同じように三次関数的なゼータ電位プロファイルを示している。しかしこれまでのサンプルのように深くなるに伴いゼータ電位がマイナスに大きくなるような傾向とは異なり、コアの最も深い場所に位置するサンプルであるにもかかわらず、ゼータ電位の絶対値が全体的にわたって最も小さい値を示している。

5. 議論

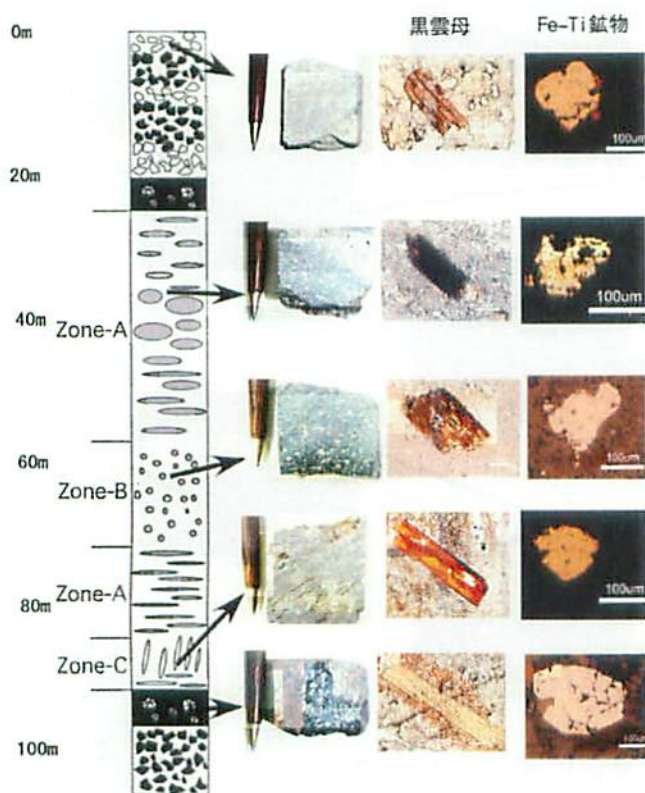
古川・鎌田(2004)によると高野尾羽根溶岩は上部・下部の急冷部と中心部の結晶質部で構成され約 90m の一枚の流紋岩質溶岩流であると記している。上部は軽石質層と黒曜石層が互層しており、やや脱ガラス化している。黒雲母はやや赤色に酸化しており、Fe-Ti 酸化鉱物には細かいラメラが発達している。中心部は厚さ約 55m の結晶質から成り、黒雲母は軽石質の白色部が卓越する部分では分解して黒色化が進んでおり、劈開に沿って細粒の Fe-Ti 酸化鉱物を形成している。Fe-Ti 酸化鉱物は、ヘマタイトーシュードブルッカイトの強酸化を示すラメラを形成している。下部は厚さ約 15m ですべて黒曜石から成り、脱ガラス化は起きていない。また黒雲母、Fe-Ti 酸化鉱物ともに酸化を受けていない(第 5 図)。



第2図 ゼータ電位測定に用いたサンプル



第3図 ゼータ電位測定結果



No. 1

第4図 高野尾羽根溶岩の鉱物特徴

AVL01~03もAVL15と同様に急冷部である上部に位置しているが、上部は脱ガラス化が起こっており、色で識別した場合にも、AVL15のように明確にガラス質部と結晶質部を区分できる状態ではなかった。そのためAVL15のような明確なゼータ電位の違いが見出せなかったのではないかと推察され、むしろ混入している結晶質部に支配されているように見える。

上部と中部に位置するAVL01~14のゼータ電位は、ほぼ同じような三次関数的なプロファイルを示しているが、コアが深くなるにつれてゼータ電位がオフセット的にマイナスに大きくなるような傾向を示している。AVL01~14の位置と黒雲母の状態をみると、結晶質内部では深くなるにつれて黒雲母の色が黒色から赤色になっており、酸化状態の変化により鉄の価数が Fe^{2+} から Fe^{3+} に変化していると考えられる。このことからAVL01~14のオフセット的なゼータ電位の変化を解釈すると、結晶質内の鉱物酸化状態の変化が影響していると考えられる。

6. おわりに

本報では高野尾羽根溶岩のボーリングコアを用いたゼータ電位測定の結果について述べた。元素組成比が同じで、かつ鉱物組成などの岩石内部構造が変化していると思われるサンプルを用いてゼータ電位実験を行った結果、急冷部のガラス質と中心部の結晶質の部分でゼータ電位プロファイルが大きく異なることが明らかとなった。また結晶質内部においても酸化状態の違いに伴った鉱物組成の違いの影響

上記の岩石学的分類とゼータ電位測定で用いたサンプルとの関係は、AVL01~03が上部、AVL04~14が中部、AVL15が下部、AVL16が高野尾羽根溶岩と異なる溶岩(おそらく立野溶岩)にそれぞれ位置していると考えられる(第3図)。

AVL16は他のサンプルに比べ異なるゼータ電位プロファイルを示していたが、それはサンプルが高野尾羽根溶岩とは異なる溶岩であったため、そもそも元素組成比が異なっている可能性が大きい。しかしAVL15はAVL01~14と同様の元素組成比であると考えられるが、他のサンプルに比べて明らかにマイナスに大きい傾向を示している。これはAVL15は脱ガラス化の起きていない高野尾羽根溶岩の下部に位置しており、急冷されたガラス質部分と結晶質部分との違いによってゼータ電位が異なると解釈することができる。つまり岩石内部構造の違いがゼータ電位の値の違いとして表れた結果であると考えられる。

と思われる，オフセット的なゼータ電位プロファイルの変化がみられることが明らかとなった。

これらの結果はこれまで明確にされていなかったことであり，自然電位解釈の基礎資料として活かす事ができると考えている．今後は岩石内部構造の違いによるゼータ電位の変化の原因をより詳しく調べるとともに，火成岩ゼータ電位のデータベース化を進め，自然電位研究の定量化に向けた研究を推進していく必要があると考えている．

参考文献

- Hase, H., T. Ishido, S. Takakura, H. Hashimoto, K. Sato, and Y. Tanaka, ζ potential measurement of volcanic rocks from Aso caldera, *Geophys. Res. Lett.*, Vol.30, No.23, 2210, doi:10.1029/2003GL018694, 2003.
- 古川邦之・鎌田浩毅，流紋岩溶岩流の内部構造：阿蘇カルデラ内，高野尾羽根溶岩の例，日本火山学会 2004 年度周期大会講演予稿集，168，2004.
- 松本哲一・宇都浩三・小野晃司・渡辺一徳，阿蘇火山岩類の K-Ar 年代測定，日本火山学会 1991 年度秋季大会講演予稿集，73，1991.