

電解質溶液を含む岩石の電気比抵抗について

奥山良俊

(昭和61年10月31日受理)

Measurement of Electrical Resistivity of Rocks
Saturated with Electrolytic Solution.

Ryoshun OKUYAMA

The quantities of some electrolytes in water, in which powdered rock samples were immersed, were measured to make clear of the ionic effect of altered minerals on the electrical resistivity of rocks saturated with water, and it could be sure that there were conductive electrolytes in the pore spaces of water-bearing rocks by reason of dissolution of altered minerals.

Then, the author measured the electrical resistivities of rock samples saturated with solution of sodium chloride as a model to detect the ionic effect of electrolytic solution in the pore spaces.

In this measurement the electrical and ionic properties of rock samples were found in relation to resistivity, porosity and salinity of contained solution.

1. ま え が き

先の報告で著者⁸⁾は変質地域における試錐コアの粉末状試料による浸出溶液の電気比抵抗と固体試料の比抵抗及び孔隙率との関係について述べたが、今回の実験では浸出溶液に含まれているイオンのいくつかについて分光分析による同定を行ない、また塩化ナトリウム溶液を含む岩石の比抵抗測定から岩石の孔隙中に含まれる電解質溶液の、岩石の比抵抗に及ぼす影響について考察することにした。尚、試錐コアの岩相、記号はすべて金属鉱業事業団の精密調査報告書^{1)~3)}によっている。

2. 測定試料及び測定方法

測定に用いた試料は秋田県北鹿地域十和田地区の粗粒玄武岩 (HT-15 Dol), 石英安山岩 (HT-25 D₀) 及び北鹿北地域久吉地区の玄武岩 (KH-3 B₁-2), (KH-6 B₁-2), 石英安山岩 (KH-8 Da₂-3), (KH-8 Da₂-4), 凝灰岩 (KH-2 T₀-a), (KH-2 T₀-b) であり、固体試料の比抵抗測定には直流四極法を用い、純水或は塩化ナトリウム溶液による完全湿潤状態の下での測定である。浸出溶液の比抵抗は電気伝導度計(東亜電波CM-50AT)によって測定し、イ

オンの同定は秋田県分析化学センターによるもので JIS K 0101 及び 0102 に従っている。

尚、粉末試料による浸出溶液は粉末試料2.0gに100ccの蒸留水を加えて1時間強制攪拌したものであり、イオンの同定はさらに遠心分離(3000rpm)15分後濾過(濾紙1μGFP)した溶液についてなされている。またすべての測定において測定試料の温度は25°Cに保たれている。

3. 測定結果と考察

3.1 粗粒玄武岩 (Dol) 及び石英安山岩 (D₀) の孔隙率と浸出溶液の比抵抗値並びにイオン濃度の関係

図1は粗粒玄武岩 (Dol) の孔隙率φ (volume%) と浸出溶液の比抵抗値ρ (Ω・cm) 及びイオン濃度 (mg/l) の関係を示す。比抵抗値が孔隙率の増加とともに減少しており、孔隙率が大きい程岩質が脆く、より多くのイオンの溶出がみられることを示唆しているが、イオン濃度についてみると鉄、マグネシウムの各イオンは全く類似した傾向を示し孔隙率の増加とともにイオン濃度の増加することが顕著に認められナトリウムイオンについてもほぼ同様の傾向がみられる。またカルシウムイオンに関してはイオン濃度が大きく塩基性岩の特徴として当然

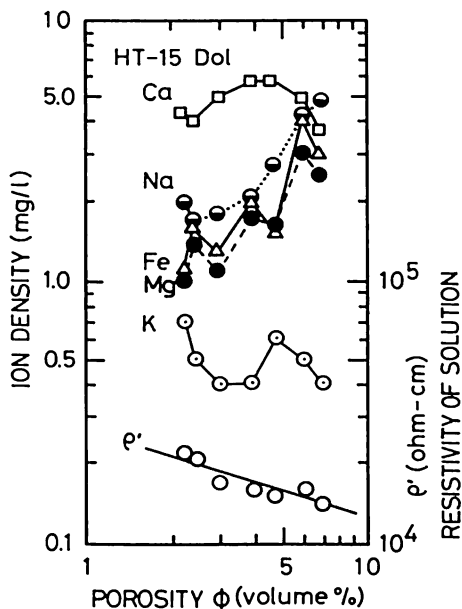


図1 粗粒玄武岩の孔隙率と浸出溶液の比抵抗値並びにイオン濃度の関係

のことと考えられるが、孔隙率との関連はカリウムイオンと同様に認められない。因みに、塩素イオン、硫酸イオンについても分析しているが、分析可能な最小値以下という結果が得られ比較の対象から除いている。勿論、他に多くの種類のイオンが溶液中に存在する筈で、また特に水素イオン、水酸イオンが最も溶液の比抵抗に関与することは溶液中での移動度の大きさからみて当然のことであり、そのような事柄を含めて溶液の比抵抗値が意味をもつものと考えられる。

次に図2は石英安山岩(D0)の孔隙率と浸出溶液の比抵抗値及びイオン濃度の関係を示すが、比抵抗値が孔隙率の増加とともに増大し、前述の粗粒玄武岩(Dol)の例とは全く逆の傾向がみられる。この結果から前報⁸⁾においては石英安山岩(D0)の孔隙率がおおよそ10%~25%と大きいことと、また中性岩で有色鉱物の含有比が小さいことなどから熱水による変質作用をすでに受けて溶出すべき岩石成分が溶脱し安定なシリカ成分が卓越しているものと推定し、孔隙率の大きい試料からのイオンの溶出は少ないものと考えた。しかし、図2の結果から鉄及びマグネシウムの各イオンについては孔隙率の増加とともにイオン濃度が増大し、ナトリウム及びカリウムの各イオンについてもほぼ同様の傾向を示していることが知られる。一方、カルシウムイオンのみが孔隙率の増加とともにイオン濃度が減少している。

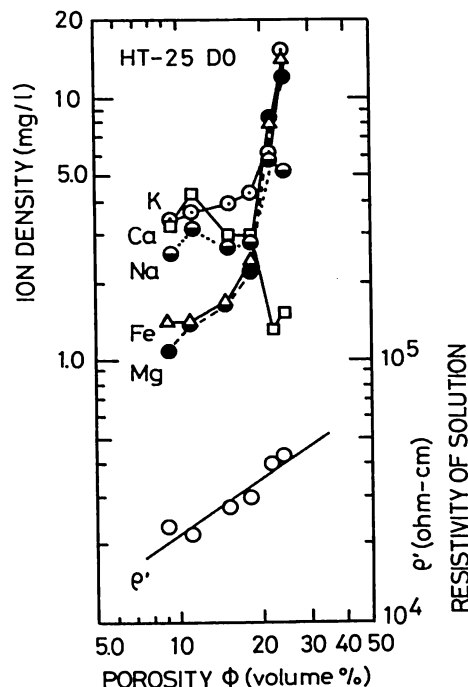


図2 石英安山岩の孔隙率と浸出溶液の比抵抗値並びにイオン濃度の関係

溶液の比抵抗値が孔隙率の増加とともに増加するというこの現象は、カルシウムイオンに加えて、分析していないその他の未知のイオンの影響によるものか、或は溶液の比抵抗値とpHの間の良好な相関関係からみて特に影響の大きい水酸イオンが変質鉱物としての粘度鉱物によって攪拌の際に吸着された結果によるものか明確には断定できない。

以上の二つの例から、変質地域における岩石は岩質が脆く水の存在によってその成分が容易に溶出し電解質溶液として岩石中の孔隙に含まれ岩石の比抵抗に関与するものと考えられる。

3.2 塩化ナトリウム溶液を含む岩石の比抵抗値

前述の結果から岩石の孔隙中に含まれる電解質溶液が岩石の比抵抗値にどのような影響を及ぼすかを知るための一つのモデルとして、塩化ナトリウム溶液による完全湿潤状態での岩石の比抵抗値を測定した。その結果を図3に示す。同様に塩化ナトリウム溶液の濃度S (mol/l) と比抵抗値 ρ_s ($\Omega \cdot \text{cm}$) の関係も図3に示す。溶液の濃度が増すと溶液の比抵抗値の減少するのは当然のことであるが、濃度の増加に伴いイオンの間の方の影響が大きくなり、また粘性も増加することからイオンの移動度に限りがあり終速度に達し飽和する傾向がみられる。このような溶液を玄武岩(KH-6 B1-2)、石英

安山岩 (KH-8 Da2-4) そして凝灰岩 (KH-6 T0-a) に含ませたときの溶液の濃度 S (mol/l) と岩石の比抵抗対数値 $\log \rho$ ($\Omega \cdot \text{cm}$) の関係を示すのが図3の(1), (2) 及び(3)である。各々の試料の孔隙率 ϕ (volume %) が関与するのは勿論のことであるが、塩化ナトリウム溶液の濃度と比抵抗にみられる挙動が、岩石試料の比抵抗に類似した形で反映していることが知られる。そして狭い孔隙中に閉じ込められている溶液ではイオンの移動度はさらに小さいものと考えられ、塩化ナトリウム溶液そのものに比べて岩石の比抵抗値はさらに濃度の小さいところで飽和する傾向がみられる。次に、同一の試料について塩化ナトリウム溶液の比抵抗値 ρ_s ($\Omega \cdot \text{cm}$) と試料の比抵抗値 ρ ($\Omega \cdot \text{cm}$) の間の関係を図4に示すが良好な直線性が認められ、それらの関係は次の(1), (2) 及び(3)の式で示される。 r は相関係数である。

$$(B_1-2) : \log \rho = 3.2 + 0.51 \log \rho_s \quad (1)$$

$$(r = 0.99)$$

$$(Da_2-4) : \log \rho = 3.1 + 0.50 \log \rho_s \quad (2)$$

$$(r = 0.99)$$

$$(T_0-a) : \log \rho = 2.3 + 0.58 \log \rho_s \quad (3)$$

$$(r = 0.98)$$

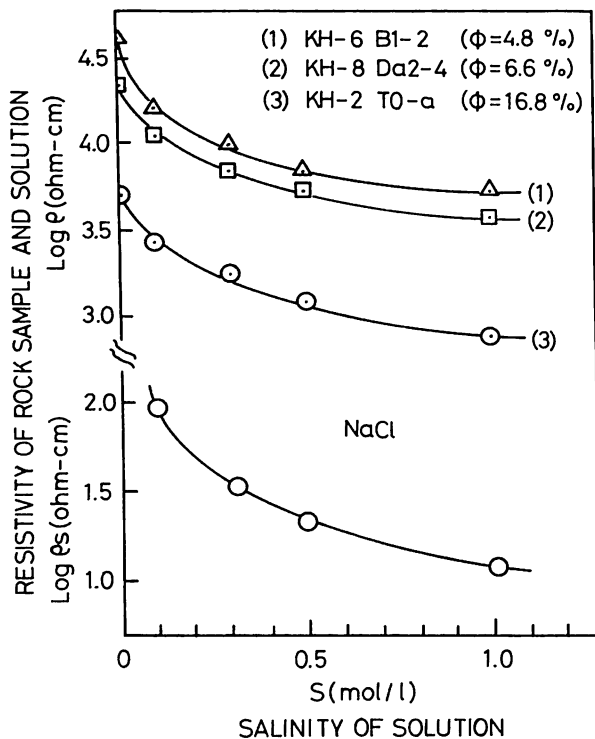


図3 塩化ナトリウム溶液の濃度と比抵抗値並びにそれを含む岩石の比抵抗値の関係

次に、凝灰岩 (KH-2 T0-b) に関して比抵抗値 ρ ($\Omega \cdot \text{cm}$) と溶液の比抵抗値 ρ_s ($\Omega \cdot \text{cm}$) の関係を孔隙率 ϕ (volume %) の変化についてみると図5が得られるが、前述の玄武岩 (B1-2), 石英安山岩 (Da2-4), 及び凝灰岩 (T0-a) に比べて直線の傾きが大きく電解質溶液の影響の受け易い岩質であることと、孔隙率の増加によって比抵抗値がさらに著しく減少することがわかる。このことは岩石の変質が著しく、岩石中の孔隙が互に繋がりが合って電解質溶液中のイオンを運ぶ流路を形成し易くしているものと考えられ孔隙率の増加はさらにその傾向を強めているものと推定される。尚、図5については試料に用いている電極の導電塗料が塩化ナトリウム溶液の影響などから一部脱落し測定が困難となり測定値が不足しているが、図4から推定して直線で結んだものである。図5で得られた関係は次の(4), (5), 及び(6)式で示される。

$$(T_0-b) : \log \rho = 2.1 + 1.1 \log \rho_s \quad (4)$$

$$(\phi = 8.7\%, r = 0.99)$$

$$\log \rho = 1.4 + 1.1 \log \rho_s \quad (5)$$

$$(\phi = 15.4\%, r = 1.0)$$

$$\log \rho = 1.0 + 1.1 \log \rho_s \quad (6)$$

$$(\phi = 23.1\%, r = 1.0)$$

以上のことから岩石の孔隙に含まれる電解質溶液

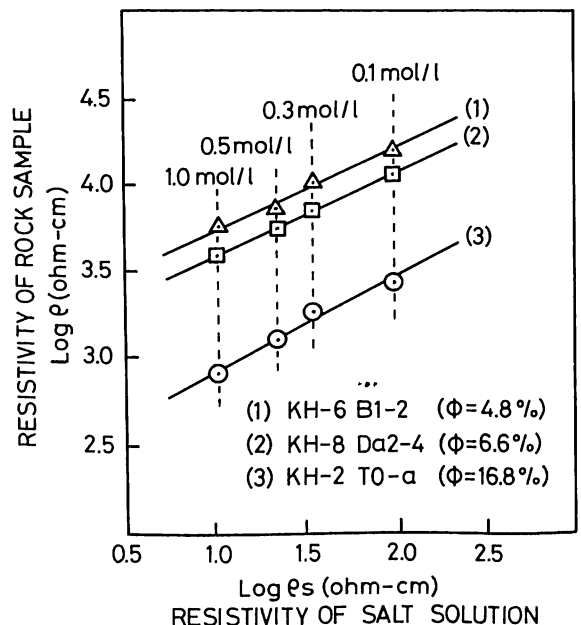


図4 塩化ナトリウム溶液の比抵抗値とそれを含む岩石の比抵抗値の関係

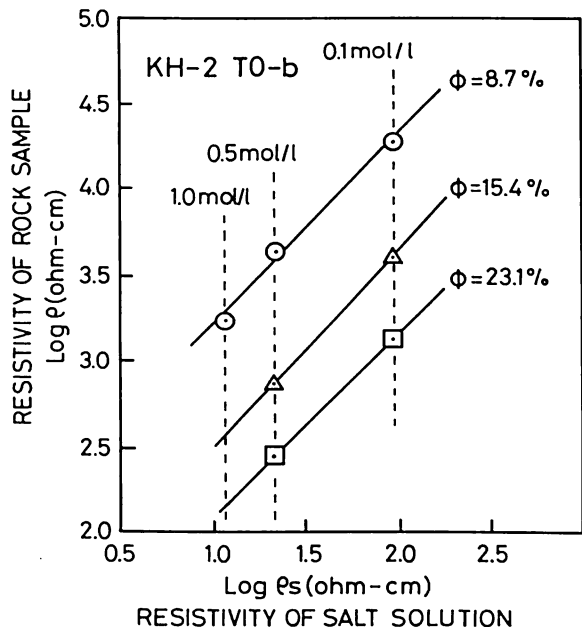


図5 塩化ナトリウム溶液の比抵抗値とそれを含む凝灰岩の比抵抗値並びに孔隙率の関係

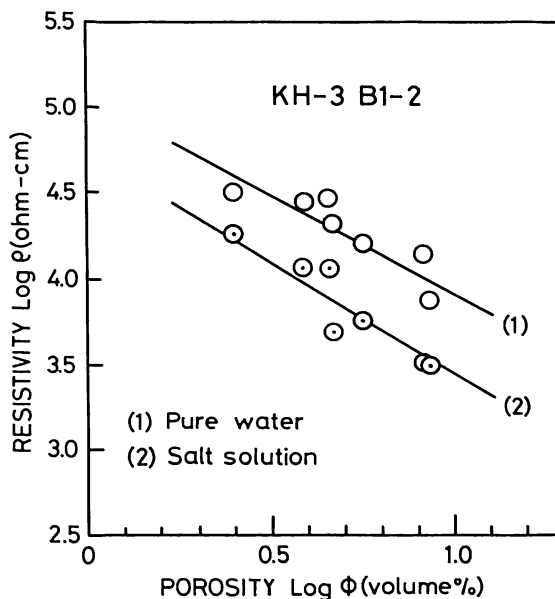


図6 蒸溜水及び塩化ナトリウム溶液を含む玄武岩の孔隙率と比抵抗値の関係

は岩石の比抵抗に密接に関係し、溶液の濃度、粘性、イオンの移動度、またイオンを運ぶ岩石中の流路の形成、孔隙の状態など岩質によって比抵抗値の大きく支配されることが知られた。

3.3 電解質イオンの岩石中の流路 (current path) と比抵抗値の関係

前述のように、電解質溶液を含む岩石の比抵抗値には各々のイオンが移動するための流路が関与する筈でありそのような岩質がどのように関係するかを玄武岩 (KH-3 B1-2) 及び石英安山岩 (KH-8 Da2-3) を例として調べた結果を図6及び図7に示す。図の中で(1)は蒸溜水を含む試料の比抵抗値 $\log \rho$ ($\Omega \cdot \text{cm}$) と孔隙率 $\log \phi$ (volume%) の関係を示し、(2)は塩化ナトリウム溶液(濃度0.5mol/l)を含むときの試料の比抵抗値である。図6の玄武岩(B1-2)は孔隙率が10%以下と小さいが、直線の傾きが小さく孔隙率に対する変化が少なく、また溶液を含む場合の比抵抗値の減少の程度もそれ程大きくはない。それに比べて図7の石英安山岩(Da2-3)では孔隙率が10%~20%と大きいことに加えて、直線の傾きが大きく溶液を含む場合の比抵抗値の減少も顕著である。このことは前者に比べて後者では岩石試料の孔隙が互に繋り合って電解質イオンを運ぶ流路を形成しやすくしていることを示唆している。また変質の程度、岩質の脆さなどがその傾向をさらに強めているもの

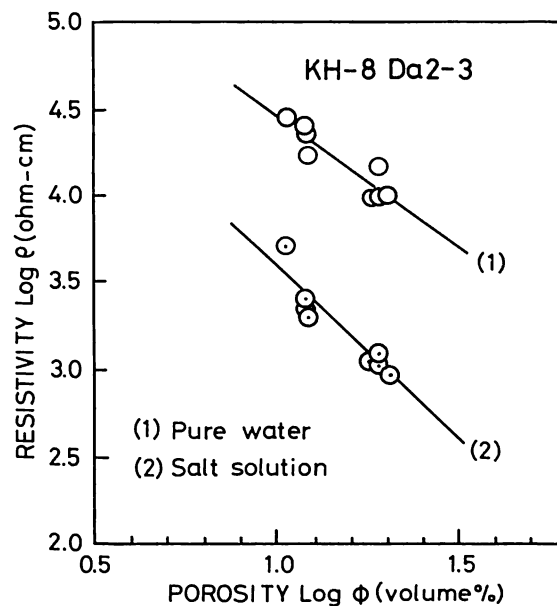


図7 蒸溜水及び塩化ナトリウム溶液を含む石英安山岩の孔隙率と比抵抗値の関係

と推定される。

図6及び図7に示す関係は次の(7)~(10)の式で示される。rは相関係数である。

(B1-2):(1) 蒸溜水を含むとき

$$\log \rho = 5.1 - 1.2 \log \phi \quad (7)$$

$$(r = -0.91)$$

電解質溶液を含む岩石の電気比抵抗について

(2) 塩化ナトリウム溶液を含むとき
 $\log \rho = 4.7 - 1.3 \log \phi$ (8)
 (r = -0.82)

(Da - 3): (1) 蒸留水を含むとき
 $\log \rho = 6.0 - 1.5 \log \phi$ (9)
 (r = -0.92)

(2) 塩化ナトリウム溶液を含むとき
 $\log \rho = 5.6 - 2.0 \log \phi$ (10)
 (r = -0.93)

4. まとめ

岩石の粉末状試料による浸出溶液の電気比抵抗測定並びに溶液に含まれるイオンの同定と、塩化ナトリウム溶液を含む岩石の比抵抗測定から次の結果が得られた。

(1) 秋田県北鹿地域のように地熱変質地域とされているところでは岩石が熱水などの変質作用を受け岩質が脆く、水の存在によって岩石成分が溶出し電解質溶液となり得る。そして孔隙率の増加とともにその傾向が顕著であり、特に鉄、マグネシウムの各イオンにおいて明らかである。

(2) 岩石の孔隙中に存在する電解質溶液そのものの電気比抵抗にみられる性質、例えば濃度との関係にみられる傾向がそれを含む岩石の比抵抗に極めて類似した形で反映されている。

(3) 電解質溶液を含む岩石では電解質イオンが運ばれるための流路が形成されているかどうか、即ち孔隙が互に繋がり合っているか、或は独立に存在するかで電気比抵抗値が増減し、孔隙率の大小と岩石の変質の程度がその流路の形成に大きく関与しているものと考えられる。

以上報告するにあたり九州大学工学部乗富一雄教授の御指導と本校一般化学軽部昭夫教授並びに佐藤孝行技官の御協力に深甚の謝意を表するものである。

参 考 文 献

- 1) ~ 3) 金属鉱業事業団 (1974, 1975, 1976): 精密調査報告書 北鹿地域, 北鹿北地域
- 4) KELLER, G. V. (1979): Electrical Methods in Geophysical Prospecting, PERGAMON PRESS, pp. 16-27, 1979
- 5) 奥山良俊・乗富一雄 (1983): 秋田県北鹿地域における試錐岩芯の電気比抵抗について 秋田大学鉱山学部地下資源研究施設報告 No. 48, 43-60, 1983
- 6) 奥山良俊・乗富一雄 (1984): 秋田県北鹿地域における試錐岩芯の電気比抵抗について (その2) 秋田大学鉱山学部地下資源研究施設報告 No. 49, 41-52, 1984
- 7) 奥山良俊・上杉良市 (1985): 青森県久吉地区における玄武岩の電気比抵抗測定について 秋田工業高等専門学校研究紀要 No. 20, 83-89, 1985
- 8) 奥山良俊 (1986): 変質地域における試錐岩芯の粉末状試料による浸出溶液の電気比抵抗について 秋田工業高等専門学校研究紀要 No. 21, 61-66, 1986