HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	7. 溶融岩石の電気伝導度に及ぼす水蒸気圧の影響について
Author(s)	村瀬, 勉
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 15, 85-90
Issue Date	1966-03-14
DOI	https://doi.org/10.14943/gbhu.15.85
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/13909
Type	departmental bulletin paper
File Information	15_p85-90.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

7. 溶融岩石の電気伝導度に及ぼす水蒸気圧の影響について

村　瀬　　勉
(北海道大学理学部地球物理学教室)
— 昭和40年10月受理 —

1. まえがき

水を含むマグマの物理的性質を予想しておくことは，マグマ溜りを探すといった火山学上重要な問題に欠くことの出来ないことである。著者はさきに溶融岩石の粘性係数に及ぼす水蒸気圧の影響を BUERGER の "bridge density"[1] の考えを用いて推論した[2]。ここでは，その結果及び電気伝導度と粘性係数の関係から電気伝導度について水蒸気圧がどのように影響するかを考察する。

2. 考察の方法及び結果

常圧下で溶けた岩石の電気伝導度 (σ) は温度 (T) の上昇とともに急速に増加し，その温度変化は広い温度範囲にわたって次式で表わされる[3]。

$$\ln \sigma = -E_\sigma/RT + B_1 \qquad (1)$$

ここで，E_σ は電気伝導の活性化エネルギー，R は気体定数，B_1 は常数である。

また，溶けた岩石の粘性係数 (η) は次式で表わされる[4]。

$$\ln \eta = E_\eta/RT + B_2 \qquad (2)$$

ここで，E_η は粘性流動の活性化エネルギー，B_2 は常数である。

(1), (2) 式が同じ形の式であることから，その間の関係について，特にガラス工学において実験・考察が多くの人によってなされ，電気伝導一粘性係数の関係式で提出されている[5]。

(1), (2) 式より温度 (T) を消去すると，

$$\ln \eta = A \ln (1/\sigma) + B \qquad (3)$$

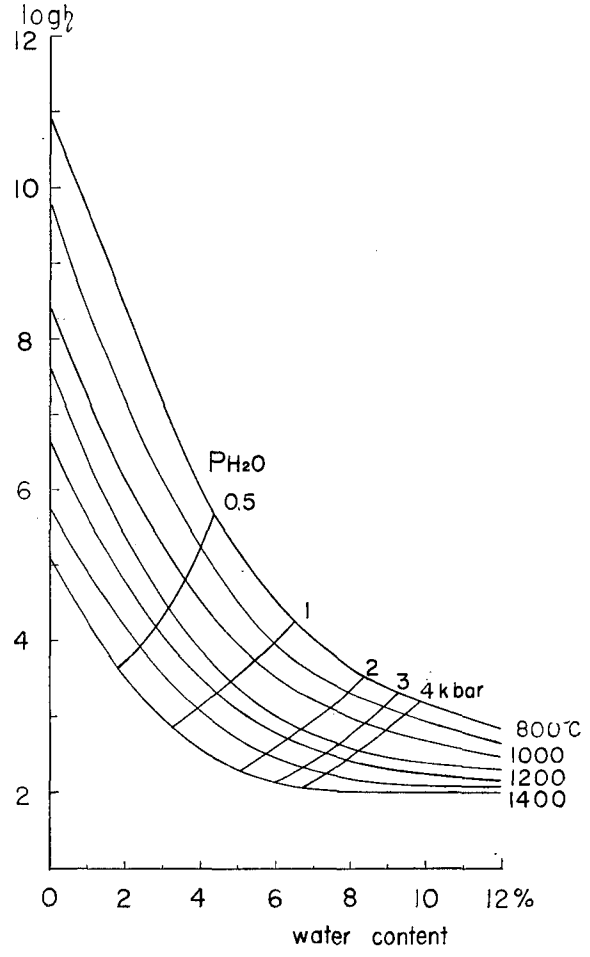
---

1) M. J. BUERGER; The Structual Nature of the Mineralizer Action of Fluorine and Hydroxyl, Amer. Min., 33 (1948), 744-747.
2) T. MURASE; Viscosity and Related Properties of Volcanic Rocks at 800° to 1400°C, Jour. Fac. Sci., Hokkaido Univ. Ser. VII (Geophys.) Vol. I, No. 6 (1962), 487-584.
3) 前出 2).
4) 前出 2).
5) G. W. MOREY; The Properties of Glass, 2nd ed., Reinhold Pub. Corp. New York, (1954).

ここで $A=E_\eta/E_\sigma$, $B=B_2+B_1E_\eta/E_\sigma$.

(1) 式は溶融岩石中のイオンの移動に関連しているし，(2) 式は溶融岩石の構造における強い結合に主に関係する流れ過程に支配されるものであるから，(3) 式の物理的意味は明らかでないが，多くのガラスについて成立し，電気伝導度から粘性係数，またはその逆を予想するのに有効である[6]。

ここでは，まず水蒸気圧下でも (3) 式が成立つものと仮定する。次に考察する岩石への水の溶解度を高温高圧下で知っていなくてはならないが，岩石については GORANSON[7] の 900°C



第1図 昭和新山ドーム溶岩の粘性—温度—水蒸気の関係

Fig. 1. Log viscosity-temperature-water vapor pressure relation for "Showa-Shinzan dome lava".

6) 前出 5).

7) R. W. GORANSON; The Solubility of Water in Granite Magmas, Amer. J. Sci., **22** (1931), 481–502.

における Stone Mountain granite glass のみが知れている。同じ GORANSON[8] の albite についての 900°C の結果は前者と全く等しいので，Albite についての結果 (900°～1200°C) を用いる。従って，水蒸気圧の影響を考察する岩石は granite 成分のもので粘性係数及び電気伝導度の知れているものとなる。第1表に示すように，昭和新山ドームが溶岩は granite 成分に類似しており[10]，常圧下で粘性係数も電気伝導度も測定されている[11]。即ち

$$\ln \sigma = -17.2/RT + 1.75 \qquad (4)$$

$$\ln \eta = 84.5/RT - 13.6 \qquad (5)$$

活性化エネルギーは K cal/mol で表わされている。

第 1 表

Table 1.

	Showa-shinzan dome lava	Average chemical composition of 546 granites (the world)	Stone Mountain granite	Elidjyrtinskii granite
SiO_2	69.74	70.18	73.39	72.58
Al_2O_3	15.59	14.47	14.41	14.11
Fe_2O_3	1.52	1.57	0.09	0.57
FeO	2.59	1.78	0.70	1.53
MgO	0.85	0.88	0.27	0.65
CaO	3.63	1.99	1.05	1.72
Na_2O	3.43	3.48	3.96	3.17
K_2O	1.36	4.11	5.07	0.89
H_2O_+	0.67	0.84	0.39	0.49
H_2O_-	0.23		0.05	0.08
TiO_2	0.45	0.39	0.27	0.35
ZrO_2	—	—	tr.	—
P_2O_5	0.22	0.19	0.57	0.11
Cl	—	—	0.03	—
S	—	—	0.02	0.03
MnO	0.08	0.12	0.01	0.04
BaO	—	—	0.06	—
F	—	—	—	0.06
CO_2	—	—	—	0.02
Total	100.36	100.00	100.36	99.88

8) R. W. GORANSON; Silicate-Water Systems: Phase Equilibria in the $NaAlSi_3O_8$–H_2O and $KAlSi_3O_8$–H_2O Systems at High Temperatures and Pressures. Amer. J. Sci., **35** (1938), 71–91.

9) K. YAGI; Recent Activity of Usu Volcano, Japan, with Special Reference to the Formation of Syowa Sinzan, Trans, Amer. Geophys. Union, **34** (1953), 449–456.

10) 根本忠寛・早川正己・高橋　清・小穴進也；昭和新山地熱地帯における火山地質および地球物理・地球化学的研究，地質調査所報告第 170 号，昭和 32 年 3 月 (1–149).

11) 前出 2).

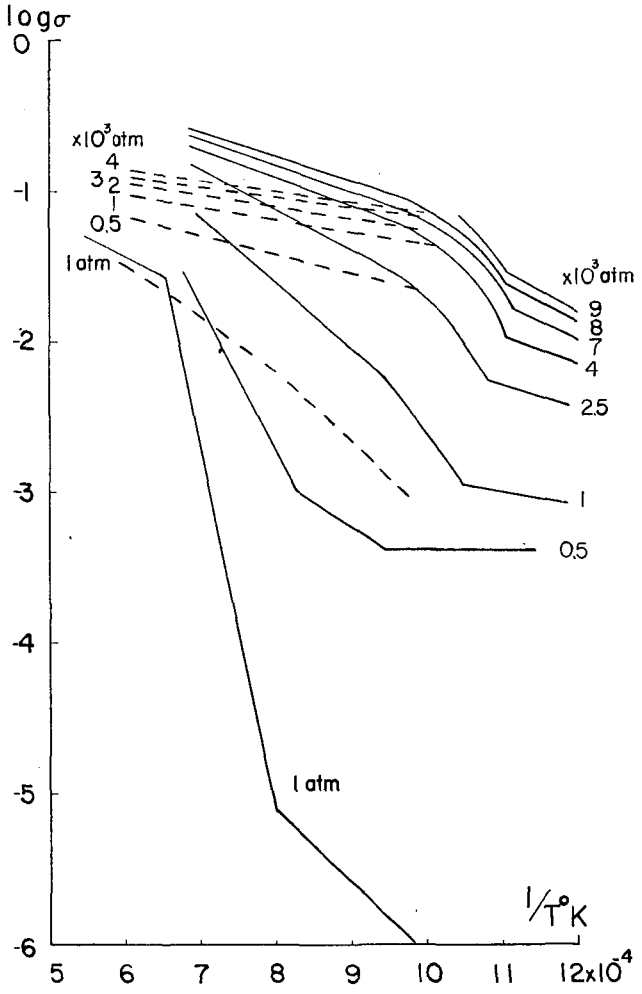
(4), (5) 式から

$$\ln \eta = -4.9 \ln \sigma - 5.0$$

または

$$\log \sigma = -2.0 \log \eta - 0.4 \qquad (6)$$

既に bridge density の考えから求めてある粘性係数と含水量の関係に水蒸気圧の関係を図示すると第1図の通りになる。この図から (6) 式の右辺が水蒸気圧によってどのように変化するかが知れるので，電気伝導度の水蒸気圧による変化を知ることが出来るのである。その結



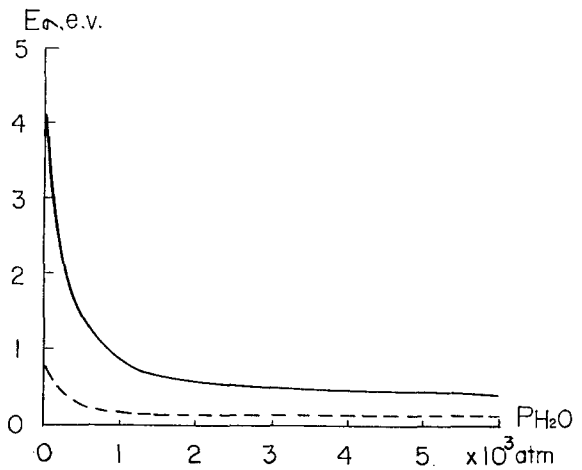
第2図 電気伝導度—温度—水蒸気圧の関係 (点線)
実線は Lebedev と Khitarov の実験結果

Fig. 2. Log electrical conductivity-temperature-water vapor pressure relation.
Full line; Levedev and Khitarov's results.
Dotted line; the present estimations.

果が第2図に点線で示されている。

最近 LEBEDEV と KHITAROV[12] が Elidjyrtinskii granite (第1表) について行なった実験結果を比較のために第2図に実線で示した。両者をみると水蒸気圧の増加につれ電気伝導度が増大すること，およびその度合が次第に減少しているという傾向はよく一致しているが，値そのものは，かなり違っている。特に低温，低圧において著しい。この相違の主な原因は，実験試料の相違および実験中の試料の状態の相違によるものと考えられる。即ち，(4) 式の導出のための実験は常圧で完全な溶融状態にあるが，LEBEDEV と KHITAROV の実験では，結晶状態または結晶と溶融物との共存状態にあり，完全に溶けてはいないと思われるのである。このことは完全に溶融状態にあると考えられる1気圧，1200°C 以上の結果がよく一致していることから推測される。第3図に求めた活性化エネルギー (1 e. v. = 23.05 K cal/mol) の相違についても以上のことは云える。したがって，同じ試料で完全に溶かした実験を行なえば，値そのもののかなりよい一致が期待できる。

以上は，granite 成分または非常に SiO_2 に富んだ岩石に適用されうるが，basalt のようなものについては水の溶解度が不明で定量的に扱えない，しかし粘性係数に対する水蒸気圧の影響は小さいと考えられるので[13]，電気伝導度についても影響は小さいものと予想される。



第3図　活性化エネルギーと水蒸気圧の関係 (点線)
実線は Lebedev と Khitarov の結果 (900°–1200°C 間)

Fig. 3. Activation energy vs. water vapor pressure.
Full line; Levedev and Khitarov's results at 900° to 1200°C.
Dotted line; the present estimations.

12) E. B. LEBEDEV and N. I. KHITAROV; The Dependence of Electrical Conductivity of Granite Melt and the Beginning of Granite Melting on High Pressure of Water, (in Russian), Geochimiya, 1964, No. 3, 195–201.

13) 前出 2).

3. あ と が き

電気伝導度—温度，粘性係数—温度の関係を電気伝導度—粘性係数とし，粘性係数—水蒸気圧を通して電気伝導度—水蒸気圧として求めたのがこの論文の筋である。

結局，粘性係数—水蒸気圧関係を求めるときに用いた bridge density が基礎にあり，溶融岩石の構造が完全に Si-O-Si の bridge となっているとしているが，不完全であるかも知れない，その不完全さの度合を実験との差から求めてみることは興味深く，残された問題である。

7. Effect of Water Vapor Pressure on the Electrical Conductivity of Molten Rocks

By Tsutomu MURASE

(Department of Geophysics, Faculty of Science, Hokkaido University)

The purpose of this paper is to make clear the electrical conductivity-water vapor pressure relation for molten rocks which is of importance in connection with volcanology.

For molten rocks the electrical conductivity (σ)-temperature (T) relation (Eq. 1 & 4) is of the same form as the viscosity (η)-temperature (T) one (Eq. 2 & 5). Combing both equation, we obtain the conductivity-viscosity relation (Eq. 3 & 6). If the relation is applied to the molten rocks under water vapor pressure, the conductivity-vapor pressure relation for molten rocks is derived from the data on the solubility of water in the rock and the viscosity-vapor pressure relation.

The present paper discusses the effect of water vapor pressure on the conductivity of "Showa-shinzan dome lava". The chemical composition of the lava is similar to that of granite. The solubility of water in albite-water system which is almost same as that in the Stone Mountain granite glass is applied to the lava. The viscosity-vapor pressure relation is estimated by the writer previously on the basis of the concept of bridge density. The viscosity-isobar curves obtained is shown in Fig. 1. The viscosity-conductivity relation Eq. 6 derives the conductivity-isobar curves as shown in Fig. 2. Fig. 3 shows the activation energy-vapor pressure relation.

The estimation is compared with Lebedev and Khitarov's experimental results in both figure. Their results agree qualitatively with the present estimation, but there are some difference between them at low vapor pressure and low temperature. No difference at pressure of 1 atm and temperature above 1200°C suggests that a main source of the difference may be the difference of the state of specimen under experiment, i.e., their specimen is a crystalline state or a mixture of crystal and melt, and the present one is a glassy or molten state.

The dependence of conductivity on vapor pressure of basaltic rocks may be weak since their dependence of viscosity on vapor pressure is weak.