



Title	4. 溶融火山岩の表面張力の測定
Author(s)	横山, 泉; YOKOYAMA, Izumi; 飯塚, 進 他
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 24, 57-61
Issue Date	1970-09-18
DOI	<a href="https://doi.org/10.14943/gbhu.24.57">https://doi.org/10.14943/gbhu.24.57</a>
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/13980">https://hdl.handle.net/2115/13980</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	24_p57-61.pdf



## 4. 溶融火山岩の表面張力の測定

横山 泉・飯塚 進\*

(北海道大学理学部地球物理学教室)

—昭和45年4月受理—

### 1. 緒 論

火山爆発に際しての火山灰あるいは浮石の生成は、噴火現象の一つの著しい特徴であって、その機構については従来とも議論されてきた——例えば VERHOOGEN<sup>1)</sup>——。高温液体状のマagmaから火山灰あるいは浮石が生成される場合に関与する物理量としては、マagmaの粘性係数、表面張力、揮発性ガスの含有量およびこれらのガスの外気圧に対する圧力差とが考えられる。最初の2つの量は温度の関数である。粘性係数に関しては、実験室での測定、野外における溶岩流の測定が既に行なわれている。溶融岩石の表面張力の実測例は未だないようであるので、今回筆者らはこれを行なった。浮石の生成に関する議論は改めてなす筈である。

### 2. 溶融火山岩の表面張力

実験室で数種の火山岩を溶融してその表面張力を測定した。これらの試料は、元来のマagmaに含まれている揮発性ガスを既に放出しているので、“dry melt”である。表面張力の測定法は、白金環を液に浸し、これを引き上げるときの張力を測定する、いわゆる Jolly ぜんまい秤を用いた。用いた環の直径は 20 mm、厚さは 0.2 mm で、岩石を溶融したるつぼの内径は 50 mm である。試料の殆んどは、本邦火山の溶岩および浮石である。それらの化学成分は第 1 表に与えられている。表面張力が測定された温度範囲は、1,250°C から 1,500°C までである。

Jolly のぜんまい秤で表面張力を測定する際のぜんまいの張力  $F$  は、環に付着して上昇した液体の膜面の高さを  $h$  とすれば、次のように表わされる：

$$F = 2\pi(r_1+r_2)\sigma(T) + \pi(r_1^2-r_2^2)h\rho g + D(T), \quad (1)$$

ここで、 $r_1$  および  $r_2$  は環の外半径および内半径、 $\sigma$  および  $\rho$  は表面張力と密度である。 $D$  は環の上昇に伴う粘性抵抗で、次式で表わされる：

$$D = K\pi(r_1+r_2)\eta \frac{dh}{dt}, \quad (2)$$

ここで、 $K$  は常数、 $\eta$  は溶融岩石の粘性係数で温度の関数であり、 $dh/dt$  は環の上方への速度であり、今回の実験では 0.1 cm/sec の桁であった。この値を更に小さくすることは、実際の操

\* 現在、通産省地質調査所

1) J. VERHOOGEN; Mechanics of ash formation, Amer. Jour. Sci., 249 (1951), 729-739.

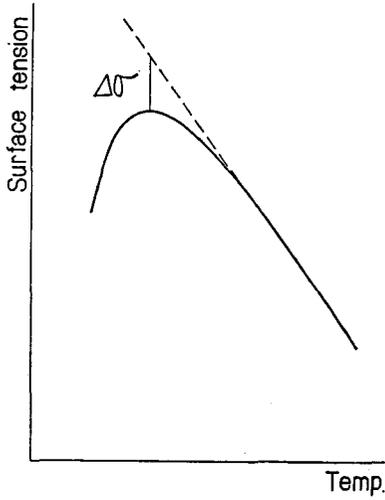
第1表 実験に用いた火山岩試料の化学成分

Table 1. Chemical components of volcanic rocks used for surface tension measurements.

Element	Etna*	Oosima	Tarumai	Komagatake		Syowa-
	lava (1939)	lava (1950~51)	lava (1909)	pumice (1929)	bomb (1929)	sinzan lava (1944)
SiO <sub>2</sub>	48.20	52.45	57.40	61.41	60.74	69.74
TiO <sub>2</sub>	1.54	1.47	0.65	0.46	0.67	0.45
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.62	15.41	16.84	15.42	15.89	15.59
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.39	3.38	3.68	2.64	3.01	1.52
FeO	6.67	10.03	5.96	4.93	5.26	2.59
MnO	0.16	0.11	1.08	tr.	0.10	0.08
MgO	4.63	4.62	3.28	2.34	2.65	0.85
CaO	9.80	9.73	6.60	6.70	6.83	3.63
SrO	0.23	—	—	—	—	—
BaO	0.08	—	—	—	—	—
Na <sub>2</sub> O	4.79	1.64	2.88	4.72	3.96	3.43
K <sub>2</sub> O	1.28	0.34	1.21	1.10	0.76	1.36
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.33	0.12	tr.	—	0.12	0.22
H <sub>2</sub> O	0.03	0.66	0.36	0.54	0.43	0.90
S	—	—	0.02	—	0.17	—
Total	99.75	99.96	99.46	100.26	100.59	100.36
Analyst	F. Stella	J. Ossaka	S. Kōzu	S. Kōzu	S. Kōzu	K. Yagi

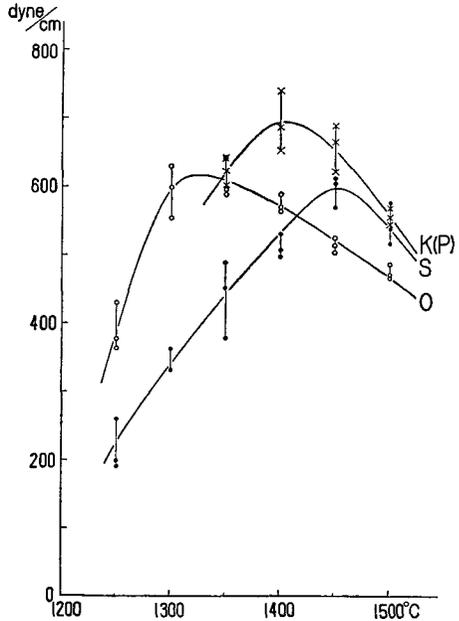
\* The authors measured surface tension of the 1910 lava of Etna.

作上困難であった。この粘性抵抗は、高温度ではりが充分小さく無視できるが、温度が低くなると、粘性係数が対数的に増大して、無視できなくなる。そのために、低温域においては、 $D(T)$ の項を無視して $\sigma(T)$ を求めると、真の値より低い値が得られる。この関係を示すのが第1図であり、 $\Delta\sigma$ は粘性に因る抗力 $D$ の効果を示す。測定値の数列を温度に対してプロットすると第2図のようになるが、高温の電気炉の内部で、先ず白金環を溶融岩石の表面に浸し、次にこれを徐々に引き上げることを炉の外で操作するため、測定値は幾分ばらついている。これらの測定値を結んで平滑化したものが、第2図の曲線である。この結果には、粘性の効果が考慮されていないので、前述のように極値が現われる。これらの極値を示す温度は、岩石の粘性によって異なり、一般に石英安山岩では高く、玄武岩では低い、故に、このようなJolly ぜんまい秤による方法では、溶融岩石に特有なある温度以下では、その表面張力を測定することはできない。粘性の影響のない高温域での表面張力を、数種の岩石について示すと、第3図のようになる。図において、表面張力の温度係数はすべて直線的であり、負である。そして粘性係数の場合とは対照的に、SiO<sub>2</sub>の量によらない。また、樽前火山および駒ヶ岳の例におけるように、溶岩の“dry melt”も、浮石の“dry melt”も、その表面張力は殆んど同じである。



第1図 表面張力の測定

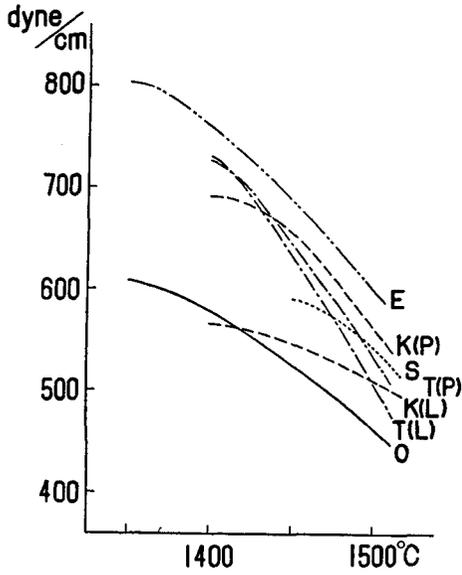
Fig. 1. Schematic expression of surface tension measurement.



第2図 表面張力の測定例

Fig. 2. Examples of measured values of surface tension.

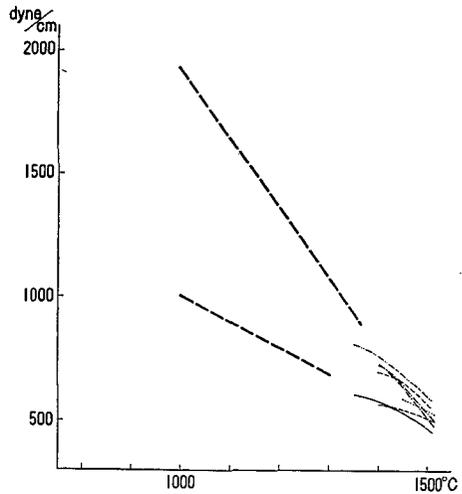
K (P): Pumice from Komagatake  
 S: Lava from Syowa-sinzan (Showa-shinzan)  
 O: Lava from Oosima



第3図 表面張力の温度変化

Fig. 3. Surface tension in relation to temperature.

E: Lava from Etna  
 S: Lava from Syowa-sinzan  
 O: Lava from Oosima  
 K (L): Lava from Komagatake  
 T (L): Lava from Tarumai  
 K (P): Pumice from Komagatake  
 T (P): Pumice from Tarumai



第4図 表面張力の温度変化の実測からの外挿

Fig. 4. Extrapolated expression of surface tension in relation to temperature.

いま第3図の直線部分を低温へ外挿できると仮定すると、上記の火山岩の表面張力の温度変化は第4図に示されるようになる。

### 3. 溶融火山岩の粘性係数と表面張力

種々の火山岩の“dry melt”の粘性係数は、現在まで多くの研究者によって実験室で測定されている。一般に、 $\text{SiO}_2$  および  $\text{Al}_2\text{O}_3$  の成分が増加すると粘性係数は大きくなり、 $\text{Na}_2\text{O}$  成分が増加すると小さくなる。可児<sup>2)</sup> および VOLARVIČ<sup>3)</sup> の測定結果をまとめたのが第5図である。

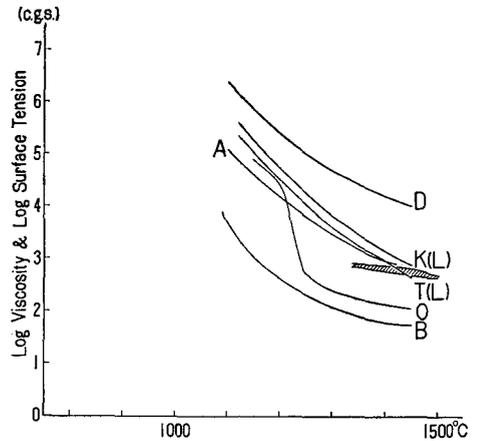
粘性係数および表面張力と温度との関係は次のような実験式で表わされる：

$$\eta = C_1 e^{\Delta U/kT}, \quad (\text{Andrade の式}) \quad (3)$$

$$\sigma = C_2 V_m^{-2/3} (T_c - T), \quad (\text{Eötvös の式}) \quad (4)$$

ここで、 $C_1$  および  $C_2$  は常数で、 $\Delta U$  はギブスのエネルギー、 $k$  はボルツマン常数、 $V_m$  は分子容、 $T_c$  は表面張力が消失する臨界温度である。なお(3)式は、斜長石あるいは磁鉄鉱の結晶化が始まる約  $1,250^\circ\text{C}$  以下では成り立たない。

表面張力は(4)式のように、分子容の  $2/3$  乗に逆比例する。岩石を構成している鉱物には、単位格子の体積に大小があるが、第3図に示した実験結果においては、岩石の種類に基づく系統的違差を認めにくい。これに対して、粘性係数は第5図に示されるように、 $\text{SiO}_4$  の重合の程度によって著しく差違がある。また  $\text{Na}_2\text{O}$  あるいは  $\text{H}_2\text{O}$  の存在は珪酸塩の中の Si 原子と O 原子との結合を弱めるように作用する筈であるが、これらの効果が粘性に対して著しいことは既に実験的にも知られている。例えば、SABATIER<sup>4)</sup> は  $800^\circ\text{C}$ 、 $500\sim 1,000$  bar の下で粘性に対する  $\text{H}_2\text{O}$  の効果を調べた。表面張力に対する  $\text{H}_2\text{O}$  の効果は未だ実験的に調べられていないが、表面張力に対する  $\text{SiO}_4$  の重合の程度の効果が殆んどないことを考えると、これも小さいものであろうと考えられる。すなわち、自然の溶岩の表面張力の大きさは、“dry melt”のそれと、



第5図 粘性係数および表面張力の温度変化を示す模式図

Fig. 5. Schematic graphs of viscosity and surface tension in relation to temperature. Shaded zone contains the observed values of surface tension. Solid lines represent the viscosity curves :

- D: Dacite
- A: Andesite
- B: Basalt
- K (L): Lava from Komagatake
- T (L): Lava from Tarumai
- O: Lava from Oosima

2) K. KANI; The measurement of the viscosity of basalt glass at high temperatures, II, Proc. Imp. Acad. Japan, **10** (1934), 79-82.

3) M. P. VOLARVIČ; Sur la viscosité des roches fondues, Compt. Rend. Acad. Sci., **202** (1936), 78-80.

4) G. SABATIER; Influence de la teneur en eau sur la viscosité d'une rétinite, verre ayant la composition chimique d'un granite, Compt. Rend. Acad. Sci., **242** (1956), 1340-1342.

桁において殆んど同じであろうと考えられる。

また、(4) 式に示されるように、表面張力は温度の増加と共に直線的に減少するが、これは熱運動の結果として、液体の表面が拡大しようとする傾向として解釈される。これに対して、粘性係数は温度と共に対数的に減少する。比較のために、第5図には表面張力の大きさをも斜線域で示してある。

さて、第3図の各火山岩の表面張力の測定結果において、駒ヶ岳火山および樽前火山の溶岩と浮石との間には著しい差はない。駒ヶ岳の浮石とパン皮状火山弾との化合成分は、第1表に表されるように、殆んど同じである。いま、浮石の生成にマグマの粘性係数、表面張力、および外気圧に対する圧力差が関与することを考慮すると、マグマが溶岩になるか、浮石になるかは、最後の要因である圧力差だけによるであろうと推察される。

浮石の生成に関する詳細な議論は今後の問題である。

#### 4. Short Note on Measurements of Surface Tension of Some Molten Volcanic Rocks

By Izumi YOKOYAMA and Susumu IIZUKA\*

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

Surface tension of magmas has an important bearing on the mechanics of ash or pumice formation as well as viscosity, temperature, water content of magma and explosion pressure.

The authors measured surface tension of several molten rocks ("dry melt") by a Jolly's spring balance, of which thin ring was made of platinum. Almost all specimens are lavas and pumice from Japanese volcanoes. Surface tensions of these molten rocks range from 450 to 800 c.g.s. at the temperature between 1,250°C and 1,500°C, and their temperature coefficients are all linear and negative. Surface tensions of rocks are insensitive to the content of  $\text{SiO}_2$  in contrast with the case of viscosity. It is also noticeable that both lava and pumice of the same chemical component take almost the same values of surface tension as the examples of the rocks from Volcano Komagatake. Provided the original magmas contain the same quantity of volatile material, this fact shows that it would depend on the external conditions such as explosion pressures, whether magma takes the forms of lava or pumice.

---

\* Present address; Geological Survey of Japan.