



Title	1988-1989年十勝岳噴火で放出された高アルミナ質岩の粘性係数測定
Author(s)	後藤, 章夫; GOTO, Akio; 大島, 弘光 他
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 57, 11-22
Issue Date	1994-10-31
DOI	https://doi.org/10.14943/gbhu.57.11
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/14220
Type	departmental bulletin paper
File Information	57_p11-22.pdf



1988–1989年十勝岳噴火で放出された 高アルミナ質岩の粘性係数測定

後藤 章夫・大島 弘光・西田 泰典

北海道大学理学部地球物理学教室

(1994年8月8日受理)

Viscosity Measurements of High-Alumina Rocks Ejected by 1988–1989 Eruptions of Tokachi-dake Volcano

Akio GOTO, Hiromitsu OSHIMA and Yasunori NISHIDA

Department of Geophysics, Faculty of Science, Hokkaido University

(Received August 8, 1994)

The 1988–1989 eruptions of Tokachi-dake Volcano were exceptionally explosive, accompanying pyroclastic surges and small-scale pyroclastic flows. Obsidian-like glassy rocks found in the pyroclastic flow deposit were very unusual and were characterized by much higher SiO_2 , Al_2O_3 and TiO_2 content. Because Al_2O_3 exceeds the sum of metal oxides on a molar basis, the method for calculating the viscosity of magma (Bottinga and Weill (1972), Shaw (1972)) are out of application. Then, we measured the viscosity of high-alumina glassy rocks in molten states. For the convenience of comparison we also measured the viscosity of essential rocks ejected at the 1988–1989 eruptions and the 1962 scoriae.

The experimental results showed that the glassy rocks have about 1.5~2 order higher viscosity than other samples, mainly due to high SiO_2 content. The glassy rocks with high viscosity must play an important role for the explosive eruptions in 1988–1989.

We propose extended Shaw's method to be able to calculate the viscosity of high-alumina magma through the present viscosity data of the glassy rocks. We considered the excess alumina as an independent oxide and experimentally determined the contribution of the excess alumina to the viscosity. Adding the contribution to Table 1 of Shaw (1972), we calculated the viscosity of synthesized high alumina melt. The calculated value well agreed with the measured one.

I. ま え が き

北海道中央部に位置する十勝岳は1988年12月16日に、26年ぶりに噴火し、翌年3月5日までの間に23回の噴火を断続的に繰り返した(Katsui et al., 1990). 勝井他(1989)によると、この一連の噴火は1926年、1962年と比べると小規模ではあるが極めて爆発的で、小型ではあるが火砕

サージと火砕流を頻発するのが特徴だった。この火砕流の中には、高温の玄武岩質安山岩マグマにより火道で変質した岩石が溶融して生じたと思われるガラス質岩が多く含まれていた。この岩石はアルミナが極めて多く、チタンも異常に多い。今回の一連の噴火は十勝岳としては異例で、このような特異なマグマによる噴火としてその活動様式を検討する必要があると勝井は指摘している。

噴火様式に影響を与えるマグマの物性に粘性が挙げられる。普通のマグマの粘性係数はその化学組成から計算で求めることがほぼ可能である (Bottinga and Weill, 1972 ; Shaw, 1972)。しかし十勝岳のガラス質岩はアルミナがアルカリ対して過剰に存在し、計算によって粘性係数を求めることが出来ない。これは、過剰なアルミナの粘性に対する効果が、これまで定量的には評価されておらず、計算の適用外とされていたためである。そこで実験室にてガラス質岩を溶融させ、粘性係数の測定を行なった。また、本質噴出物および 1962 年噴出物の粘性測定も併せて行ない、両者の比較を行なった。さらに、過剰分のアルミナの粘性に対する効果を定量的に評価し、Shaw (1972) の計算法の高アルミナ質マグマへの拡張法を提案する。

II. 試料及び測定方法

粘性係数を測定した試料は 1988-1989 年本質噴出物 3 個 (以下本質噴出物 A~C と表現)、同ガラス質岩 4 個 (ガラス質岩 A~D)、1962 年噴出スコリア 6 個 (62 年噴出物 A~F) の計 13 個である。本質噴出物 A は 40 cm×50 cm 程度のやや発砲した岩石の一部、残りの二つはいずれも直径数 m のやや破碎した扁平な岩塊の一部で、B は発砲が良くアア溶岩に似た産状を示し、C は緻密で表面に数 cm の急冷層がみられた。62 年噴出物はいずれも拳大から人頭大のスコリア状火山弾で、本質噴出物より全般的に発砲がよい。ガラス質岩は緻密で濃緑色を呈し、その程度に差はあるもののいずれも肉眼で不均質が認められた。各試料の化学組成を Table 1 に示す。分析は粘

Table 1. Chemical composition of the used samples by XRF analysis. Total irons are represented as Fe_2O_3 . Major elements are normalized to 100wt. %, volatile free basis.

	essential rocks			62 scoriae						glassy rocks			
	A	B	C	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D
SiO_2	54.02	53.78	53.71	53.80	53.71	53.50	53.34	53.69	52.63	65.59	67.70	65.65	64.27
TiO_2	1.08	1.07	1.10	1.08	1.11	1.09	1.11	1.12	1.40	1.20	1.17	1.15	1.21
Al_2O_3	17.63	17.74	17.49	17.67	17.58	17.82	17.62	17.55	14.92	19.38	19.84	18.81	18.23
Fe_2O_3	9.61	9.71	9.96	9.85	10.04	9.88	10.19	10.22	14.31	8.28	5.34	6.17	8.75
MnO	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.17	0.20	0.03	0.01	0.04	0.03
MgO	4.51	4.50	4.56	4.50	4.51	4.54	4.56	4.48	4.03	0.32	0.19	1.14	0.87
CaO	8.89	9.05	9.00	9.00	9.00	9.05	8.88	8.67	9.25	1.05	0.50	2.34	1.88
Na_2O	2.78	2.73	2.74	2.68	2.65	2.71	2.85	2.80	2.73	1.44	1.21	2.20	1.29
K_2O	1.30	1.25	1.26	1.23	1.23	1.22	1.27	1.30	0.52	2.71	4.04	2.49	3.47

粘性係数測定後のガラス試料について、北大理学部地質学鉱物学教室のXRF分析装置を用いて行なった。各本質噴出物の化学組成は、その産状の違いによらずほとんど同じである。62年噴出物の組成はFを除いて試料間での差は小さく、勝井他(1963)の分析値にほぼ一致すると同時に、本質噴出物の組成とも大差ない。ガラス質岩の化学組成は、 SiO_2 と Al_2O_3 が多いことと、各成分とも試料間でのばらつきが大きいことが特徴である。

これらの試料を粉碎後白金坩鍋に入れ、炉内にてガラス質岩は 1600°C で、他の試料は 1450°C で溶融したまま2時間保持して均一化と気泡の離脱をはかった。その後坩鍋ごと室内で自然放冷させ試料をガラスにし、粘性係数測定に用いた。

粘性係数の測定は、溶融試料中の白金球を天秤を介して引き上げる球体引き上げ法(例えば Murase and McBirney, 1973)で行った。測定可能範囲は約 $10^2 \sim 10^5$ poiseである。試料を入れた白金坩鍋の直径は50 mm、高さは60 mmで、その中に深さ約40 mmの試料を用意した。白金球とそれにつながる白金線の直径はそれぞれ8 mm, 0.5 mmである。坩鍋の大きさや天秤の摩擦などの影響を補正するため、標準ガラスNBS 710の粘性係数を測定することによって、装置の較正を行なった。得られた較正式を用いて、NBS 710より低粘性のガラス(Little, 1929)と高粘性のガラス(Bockris et al., 1955)の粘性係数を測定し、文献の値と比較した(Fig. 1)。それぞれ4回づつ行なった測定の結果はいずれも文献のデータと良く一致した。

三つの本質噴出物、62年噴出物F、及びガラス質岩A、Bについては、昇温、降温、昇温の順序で、各々途中温度を固定しながら粘性係数を測定した。また、62年噴出物A~Eについては 1400°C 、ガラス質岩C、Dについては 1540°C まで、それぞれ一度昇温した後、降温、昇温の順序で、同様に測定を行なった。

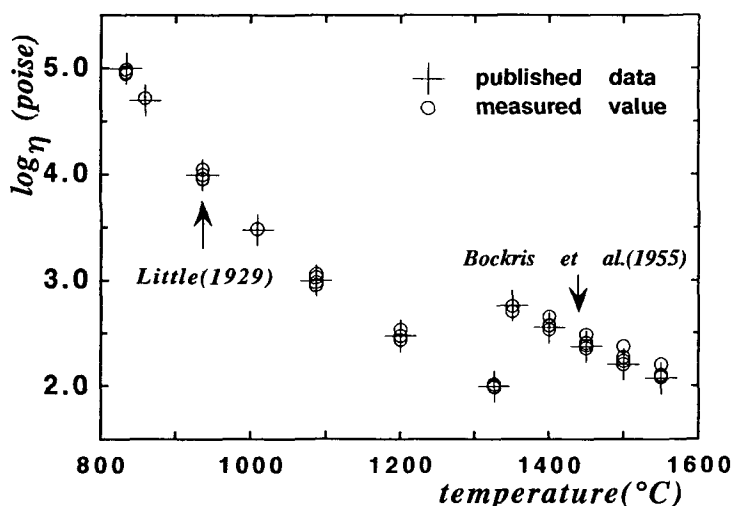


Fig. 1. Comparison of the measured viscosity of two artificial glasses. Open circles show the newly measured viscosity by our experiment and crosses represent ones measured by Bockris et al. (1955) and Little (1929).

III. 測定結果

全測定結果を Table 2 に示す。温度の単位は°C, 粘性係数の単位は poise (log スケール) である。値はすべて測定が行なわれた順に並べられている。同じ温度が繰り返されている部分は、時間に対する粘性係数の変化を見るために複数回の測定が行なわれたことを示している。その場合は粘性係数値のあとに、その温度に到達した時を基準として、測定を開始した時刻を付記した(単位:分)。その結果、時間の経過に伴う粘性の増加が認められた。粘性係数が空欄になっている部分は、その温度での測定を行なったものの、測定に成功しなかったことを意味する。これはおもに通常は一回の引き上げに対する白金球の移動速度は一定であるのに対し、それが途中で変化したことによる。表から、低温ではしばしばよい測定結果が得られなかったことがわかる。この傾向は特に降温直後の昇温時に顕著だった。

粘性係数の全測定結果を本質噴出物, 62 年噴出物, ガラス質岩の三つに分けて図に示す (Fig. 2)。本質噴出物の粘性係数には, 1250°C 以上では, 試料間で有意な差は認められなかった。一方これより低い温度では, 試料間で値に差がみられると同時に, 同じ試料の同じ温度での測定値にも, 昇温時と降温時の間で違いが生じた。62 年噴出物では, F を除くと全測定温度範囲で粘性係数に試料間の差はなく, 降温時と昇温時の測定値にも違いはみられない。ガラス質岩は試料間で粘性の差が大きいことがわかる。また, C と D はそれぞれ各測定値が一本の直線を描くように見えるのに対し, A と B では明らかに低温で測定値がばらついている。

IV. 考察

1. 低温域での粘性増加

液体状態のマグマやガラスでは, 粘性係数の対数は絶対温度の逆数に対して直線的に増加することが知られている (Arrhenius の関係)。Fig. 2 から, 62 年噴出物 A ~ E とガラス質岩 C, D は, 全体にはほぼ Arrhenius の関係を満たしていることがわかる。一方本質噴出物, 62 年噴出物 F, 及びガラス質岩 A, B では, 低温領域において直線より高粘性側にずれる。測定順序と粘性係数の関係を見るため, 一例として 62 年噴出物 F の温度と粘性係数の関係を昇温時及び降温時を区別して示す (Fig. 3)。この図から, 低温では昇温時の粘性係数が降温時のそれより高いことがわかる。この傾向は, ガラス質岩も含めて, 低温で昇温時と降温時の値に差がでた試料に共通している。

低温での粘性増加の原因として, 試料中での結晶の晶出が考えられる。結晶の晶出が起ると, それに伴う液相の組成変化と結晶粒子によるサスペンションの効果のため, マグマの粘性係数は高くなるとされている (例えば Pinkerton and Stevensen, 1992)。

結晶の晶出過程は核の生成とそれに続く結晶の成長とからなる。核生成速度 (単位時間に単位体積中にできる核の数) と結晶成長速度 (結晶と液相との界面の移動速度) は共に温度の関数として与えられ, それらがピークとなる温度は, 結晶成長速度曲線の方が高温側にある。従って高温状態から温度を下げてきた場合は核の少ない状態で結晶成長の早い領域を通過するため結晶の

Table 2. Results of viscosity measurement. The units of temperature and viscosity are °C and poise (in log scale), respectively. The sequences of data correspond to the measurement program. Durations of the same temperature mean the repeating measurement on the temperature. Values in parenthesis indicate the time (in minute) after reaching the set temperature when the measurement was started. No values are written in the columns when the measurements were unsuccessful.

essential rocks						glassy rocks							
A		B		C		A		B		C		D	
temp.	viscosity	temp.	viscosity	temp.	viscosity	temp.	viscosity	temp.	viscosity	temp.	viscosity	temp.	viscosity
1200	3.52	1200	3.50	1210	3.38(15)	1410	4.09	1480	3.97	1540	3.04	1540	2.99
1260	2.98	1260	2.99	1210	3.34(60)	1470	3.40	1520	3.61	1480	3.38	1480	3.24
1320	2.64	1320	2.65	1210	3.35(120)	1530	3.08	1560	3.39	1420	3.69	1420	3.56
1380	2.34	1380	2.34	1210	3.38(180)	1590	2.83	1540	3.49	1360	4.05	1360	3.90
1440	2.00	1440	2.11	1210	3.42(240)	1550	3.02	1500	3.68	1300	4.45	1300	4.29
1200	3.30	1260	2.97	1240	3.16	1490	3.26	1460	3.92	1270	4.66	1270	4.49
1170	3.51	1200	3.37	1300	2.74	1430	3.59	1440	4.10	1330	4.24	1330	4.12
1130	3.83(12)	1175	3.55	1360	2.46	1370	3.95	1400	4.78	1390	3.90	1390	3.76
1130	3.90(32)	1145		1420	2.18	1340	4.18(20)	1600	3.21	1450	3.56	1450	3.40
1130		1100		1300	2.74	1340	4.22(40)			1510	3.21	1510	3.09
1090	4.27(12)	1145		1210	3.28	1340	4.36(60)			1570	2.88	1570	2.80
1090	4.33(37)	1200		1180	3.44	1340	4.41(70)						
1090	4.44(62)	1240	3.54	1150	3.69	1340	4.50(80)						
				1100	4.13(28)	1340	4.52(90)						
				1100	4.18(60)	1340	4.50(100)						
				1100	4.23(90)	1340	4.56(110)						
				1100		1340	4.72(120)						
				1100		1420	4.27(20)						
				1210	3.57(24)	1420	4.33(50)						
				1210	3.58(56)	1450	3.72						
				1210	3.55(68)	1510	3.21						
						1570	2.92						

62 scoriae											
A		B		C		D		E		F	
temp.	viscosity	temp.	viscosity	temp.	viscosity	temp.	viscosity	temp.	viscosity	temp.	viscosity
1400	2.24	1400	2.25	1400	2.24	1400	2.18	1400	2.25	1200	3.36
1340	2.54	1340	2.47	1340	2.54	1320	2.55	1320	2.62	1250	2.88
1280	2.88	1280	2.82	1280	2.84	1240	3.03	1240	3.06	1300	2.48
1220	3.22	1220	3.21	1250	3.03	1200	3.35	1160	3.59	1350	2.25
1160	3.61	1160	3.62	1220	3.25	1160	3.58	1100	4.11	1400	2.03
1100	4.13	1100	4.14	1160	3.64	1200		1130	3.91	1425	1.93
1070		1130	3.88	1100	4.13	1240		1200	3.42	1375	2.12
1130		1190	3.47	1160		1280	2.80	1280	2.83	1325	2.32
1220	3.24	1250	3.02	1220		1440	2.01	1360	2.42	1275	2.59
1250	3.03	1310	2.78	1250	3.00			1440	2.09	1225	1.87
1360	2.41	1385	2.30	1310	2.72					1175	3.16(20)
1430	2.18	1430	2.09	1430	2.11					1175	3.16(40)
										1175	3.19(60)
										1175	3.20(80)
										1175	3.29(110)
										1175	3.34(200)
										1200	3.30
										1250	2.89

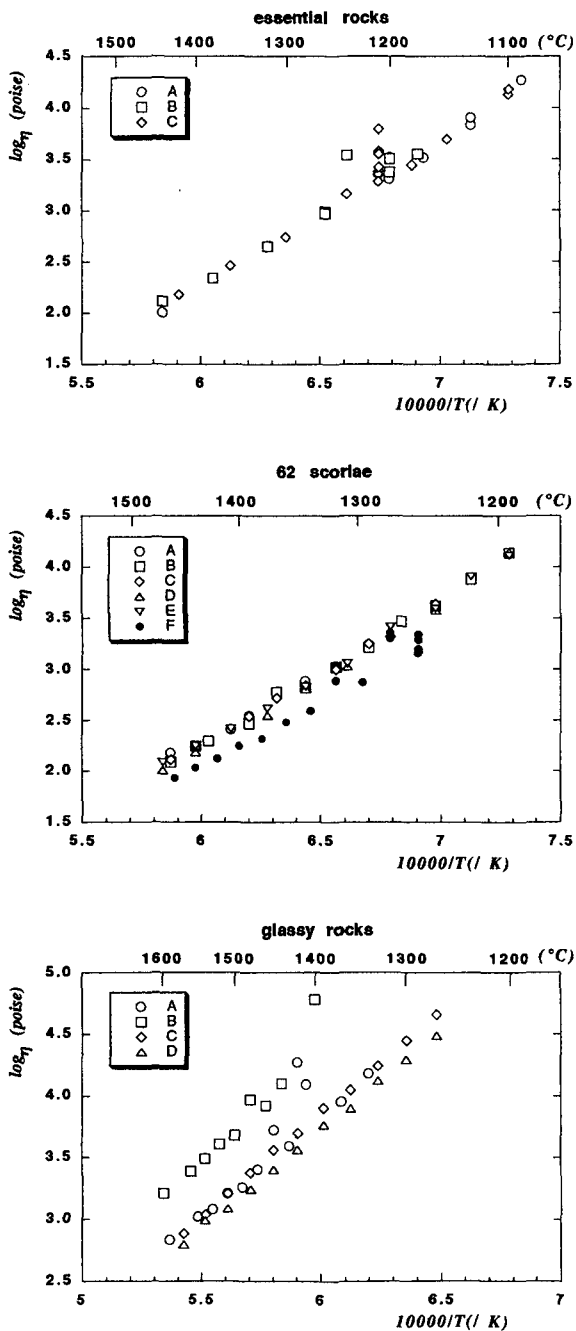


Fig. 2. Temperature dependence of the viscosity. Original data are already shown in Table 1. Ordinate shows the viscosity in poise (in log scale). Lower abscissa shows reciprocal absolute temperature while upper abscissa shows temperature in $^{\circ}C$.

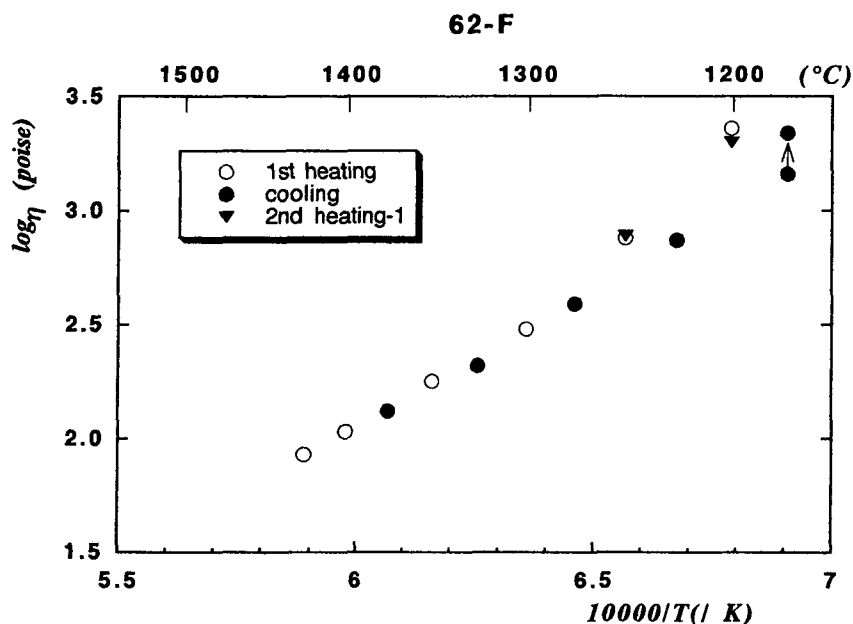


Fig. 3. An example of the effect of thermal history during the experiment. Data are from Table 1, 62-F.

晶出は起こりづらい。それに対して低温側から温度を上げる場合は核生成が盛んに行なわれる温度を経験した後に結晶成長の早い温度域に入るため、そこでは急速な結晶成長が起こる。

昇温、降温、昇温の順序で測定が行なわれた本質噴出物、62年噴出物F、及びガラス質岩A、Bでは、昇温時の粘性係数は降温時のそれに比べて高い。これは一回目の昇温については室温にあった試料が最初の測定温度に到達する過程で、二回目の昇温についてはその前に低温で複数回の測定が行なわれた過程で、核生成の盛んな温度帯を長時間かけて通過するため、測定時には多数の結晶が晶出していたからと解釈できる。

ただし、本実験では温度の変化のさせかたが必ずしも系統的ではなかったため、低温での結晶量はたとえ同じ温度でも試料間で異なっていた可能性がある。また、低温で粘性係数の時間に対する変化を見た実験では時間と共に粘性係数は増加し続け、結晶の晶出あるいは成長が続いていたことが考えられる。これらのことから、得られた値はその温度での粘性係数を代表しているとは必ずしも言えない。以下では Arrhenius の関係を満たす測定値のみを用いて議論を進める。

2. 粘性の成分依存性

Fig. 4に、Arrheniusの関係から外れる点を除いて全測定結果を示す。但し、三つの本質噴出物、並びに62年噴出物A～Eについては、全ての測定値を同一シンボルで表した。また、本質噴出物Aと62年噴出物Fの化学組成をもとにBottinga and Weill (1972)とShaw (1972)の方法で計算した値も示した。なおBottinga and Weill (1972)の方法では50°Cごとの値が算出されるので、それをArrheniusの式でフィッティングして示した。

3個の本質噴出物と62年噴出物のAからEは、ほとんど同じ粘性係数を持つことがわかる。これは、8個の試料の化学組成がほとんど同じであることに起因する (Table 1)。また計算値との一致も良好である。一方62年噴出物Fの粘性係数は他の試料より低い。化学組成を比較すると、62年噴出物Fの方が本質噴出物より Fe_2O_3 に富み、 SiO_2 、 Al_2O_3 に乏しい。Bottinga and Weill (1972)の表から判断すると、これらの成分の違いはいずれも粘性を下げる方に働き、実際計算値ともよく一致する。両者の粘性係数の違いは化学組成の差を反映していると考えられる。

四つのガラス質岩の粘性係数はいずれも、本質噴出物及び62年噴出物より約1.5桁以上高く、特にBではその違いが2桁に及ぶ。一般に、マグマの組成のうち粘性に最も影響を与えるのは SiO_2 で、それが多いほど粘性係数は高くなる。ガラス質岩の化学組成をみると SiO_2 量は65%前後

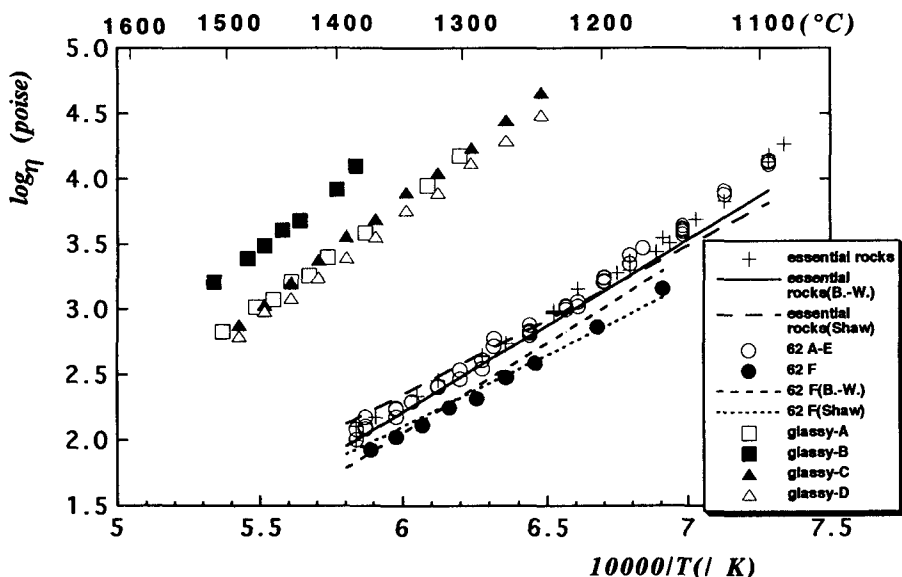


Fig. 4. Comparison of the temperature dependence of the viscosity for all samples, excluding some data which were out from Arrhenius relation. The calculated viscosity of essential rock-A and 62-F from the method of Bottinga and Weill (1972) and Shaw (1972) is also indicated.

と他の試料より10%以上高く、最も粘性の高いBではその量は67%以上にもなる。ガラス質岩の粘性が非常に高いのは、主にSiO₂量が多いことによると考えられる。

十勝岳のガラス質岩はアルミナがアルカリに対して過剰なため従来の方法の適用外となり、粘性係数を化学組成をもとにした計算から求めることはできない。そこで今回実測を行ない、それらのいくつかの粘性係数を求めた。しかし試料ごとに粘性係数を測定することはかならずしも容易ではない。そこで次章に示すように、Shaw (1972)の方法を拡張し、高アルミナ質岩の粘性係数の計算を可能にすることを試みた。

3. 高アルミナ質岩の粘性係数計算法

マグマではSi-O結合が基本となる網目構造を作っており、網目構造の発達程度によって粘性が変化すると考えられている。SiO₂の溶融物は全体が強いSi-O-Si結合からできているため、その粘性は極めて高い。そこにアルカリ金属酸化物あるいはアルカリ土類金属酸化物が加えられるとそれらが網目構造の中に入って結合を切ったり、あるいは弱い金属結合が間に入ることでその付近の結合力を弱め、粘性が下がると考えられている。

SiO₂溶融物にAl₂O₃を加えると粘性は減少するが、アルカリの存在によって粘性が下がった珪酸塩溶融物の場合はAl₂O₃を加えると粘性が上がる。これはアルカリによって切られたり弱められたSi-O-Si結合をAlが仲立ちとなってつなぎ、再び網目構造を形成するためと考えられる。この時Alはアルカリ元素と対をなすことで粘性の増加に寄与すると考えられるので、KAlO₂、NaAlO₂、CaAl₂O₄、MgAl₂O₄などの“分子”を仮定すると、Alの粘性に対する効果を説明する上で都合がよい (Bottinga and Weill, 1972)。

一般の火山岩では、アルミナはアルカリに対して不飽和で、この時アルミナは全て網目形成酸化物として働くと考えられている。そのためBottinga and Weill (1972)の計算法ではアルミナの粘性に対する効果は“分子”が粘性に及ぼす効果として表わされており、“分子”形成後に過剰分のアルミナが残る場合についてはその効果は評価されていない。

Shaw (1972)によると、シリケートメルトの粘性係数は、温度の関数として次の式で求めることが出来る。

$$\ln \eta = S(10^4/T - 1.50) - 6.40 \quad (1)$$

η : 粘性係数 (poise), T : 絶対温度 (K)

ここで、 S は化学組成から次の式で与えられる。

$$S = X_{\text{SiO}_2} / (1 - X_{\text{SiO}_2}) \times \sum X_i \cdot s_i^\circ \quad (2)$$

X_{SiO_2} : SiO₂のモル分率, X_i : 成分*i*のモル分率, s_i° : 成分*i*に与えられた定数

但し、Fe₂O₃はFeOに、Al₂O₃は仮想的にAlO₂に、その量をそれぞれ換算している。定数 s_i° はBottinga and Weill (1972)の計算法で求めた二成分系の粘性係数をデータベースとして求められている。但し $s_{\text{AlO}_2}^\circ$ については、AlO₂はSiO₂同様網目形成酸化物として働くとして、SiO₂溶融体の粘性係数測定値をもとに求められている。

今回、網目形成後に残るアルミナを一つの酸化物として扱い、さらに高アルミナ質岩の粘性も(1)、(2)式で近似できると仮定し、以下の方法で過剰なアルミナの粘性に対する効果を評価した。

1. AlO_2 を Bottinga and Weill (1972) に従い CaO 、 Na_2O 等と結び付け、網目を形成する分と修飾する過剰分とに分ける (以下過剰分を AlO_2^* で表す)。
2. AlO_2^* 以外の全酸化物のモル分率より、(2)式を用いて S を求める (これを S_0 とする)。
3. ガラス質岩の粘性係数測定値を(1)式でフィッティングし、 S を求める (これを S_m とする)。
4. S_m と S_0 の差 (ΔS とする) を $X_{\text{SiO}_2}/(1-X_{\text{SiO}_2})$ で割り、その値と AlO_2^* のモル分率 $X_{\text{AlO}_2^*}$ の比から、過剰なアルミナの粘性に対する効果を評価する定数 $s_{\text{AlO}_2^*}$ を求める。

Fig. 5 に、 $\Delta S(1-X_{\text{SiO}_2})/X_{\text{SiO}_2}$ と $X_{\text{AlO}_2^*}$ の関係を示す。各点は原点を通る一つの直線上に乗り、 $s_{\text{AlO}_2^*}$ が一定の値をとることがわかる。この直線の傾きから、 $s_{\text{AlO}_2^*}=5.8$ が求められた。この値は Shaw (1972) がアルミナに対して与えた $s_{\text{AlO}_2}=6.7$ より小さい。アルミナが過剰な岩石については、アルミナ全体のうち網目を形成する部分には従来の $s_{\text{AlO}_2}=6.7$ 、修飾する部分には新たに求めた $s_{\text{AlO}_2^*}=5.8$ を用いることで、その粘性係数の計算が可能になると考えられる。このことを確認するため、アルミナがアルカリに対して過剰な試料を合成し、その粘性係数を測定し計算値と比較した (Fig. 6)。参考に、従来の Shaw (1972) の方法をそのまま適用し、アルミナ全体に対して $s_{\text{AlO}_2}=6.7$ を用いた計算値も Fig. 6 に示した。試料の化学組成を Table 3 に示す。この組成は、アルミナが過剰な鹿児島県産の紫蘇輝石角閃斜長流紋岩 (地質調査所, 1962) にさらにアルミナ

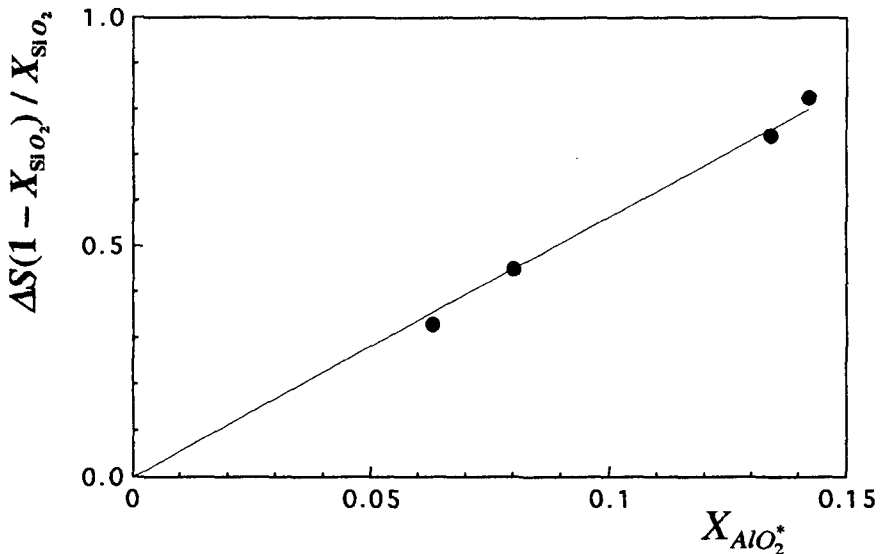


Fig. 5. Relationship between $\Delta S(1-X_{\text{SiO}_2})/X_{\text{SiO}_2}$ and $X_{\text{AlO}_2^*}$. The constant slope, 5.8, corresponds to the value of $s_{\text{AlO}_2^*}$.

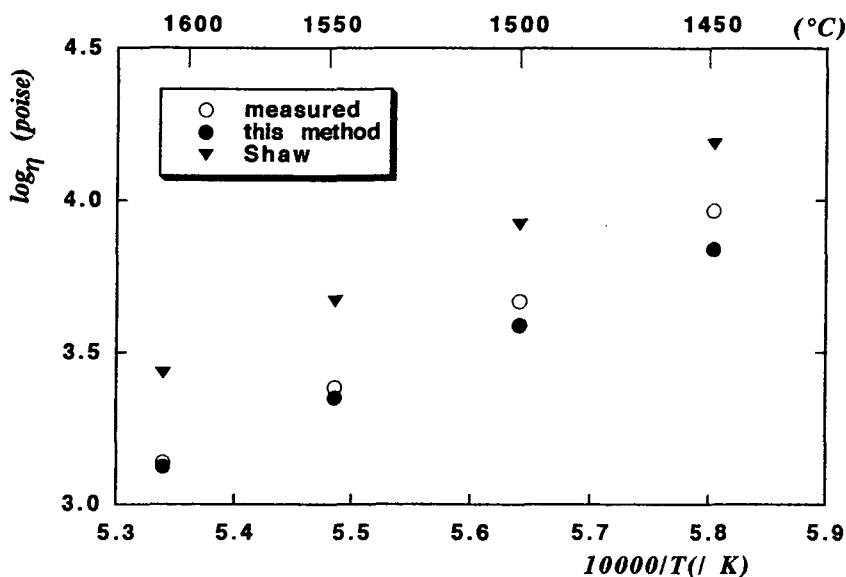


Fig. 6. Comparison between measured and calculated viscosity of artificial high-alumina sample. The value $S_{AlO_2^*} = 5.8$ was taken for the calculations for excess alumina. Viscosity calculated by using $S_{AlO_2^*} = 6.7$ for all alumina is also indicated.

を加えた場合に相当し、 $X_{AlO_2^*}$ は0.104である。本方法で求めた値と測定値とがよく一致することと、従来のShawの方法で計算した場合は実際より高い値を算出することが分かり、本方法の有効性が認められている。

ガラス質岩の各成分の比が試料間で異なるにもかかわらず、 $S_{AlO_2^*}$ の値は一定であった。このことから、今回求められた $S_{AlO_2^*}$ の値は他の組成比をもつ高アルミナ質岩の粘性係数計算に対しても適用できる可能性が高い。但し測定を

行なった温度が1270°C以上に限られている上、試料の数も十分とは言えない。計算手法そのものや、 $S_{AlO_2^*}$ の値の妥当性については、さらに試料を増やして検討する必要がある。

V. ま と め

十勝岳の1988-1989年本質噴出物、ガラス質岩、及び62年噴出物について、粘性係数の測定

Table 3. Chemical composition of the artificial high-alumina sample which was used to test extended Shaw's method.

SiO ₂	66.36
TiO ₂	0.21
Al ₂ O ₃	22.12
Fe ₂ O ₃	3.18
MnO	0.05
MgO	0.73
CaO	2.54
Na ₂ O	2.92
K ₂ O	1.89
total	100.00

を行なった。その結果、以下のことが明らかになった。

1. 1250°C 以上では、本質噴出物と 62 年噴出物の粘性係数は、62 年噴出物の一つを除いてよく一致する。
2. 1250°C 以下では、それより高温の傾向から外れて粘性係数が高くなった例がいくつかの試料で見られた。この傾向は、昇温時の測定値に顕著である。
3. 計算では求められなかったガラス質岩の粘性係数は、本質噴出物や 62 年噴出物より 1.5~2 桁高かった。
4. Shaw (1972) の Table 1 に過剰なアルミナに対する係数 $S_{AlO_2^*} = 5.8$ を加えることで、高アルミナ質岩の粘性係数を計算によって求められる可能性がある。

謝辞 本研究を行なうに当たり、職業訓練大学校の村瀬勉教授には、粘性係数の測定法を指導して頂いた。北海道大学理学部の新井田清信助教授、同中川光弘博士、同桑島俊昭技官、同寺田省一技官には試料の分析に際し便宜をはかって頂いた。佐藤卓氏、北海道立地下資源調査所の岡村俊邦氏、同岡崎紀俊氏、白銀荘管理人の故杉山夫妻には、試料採取の際お世話になった。大阪府教育センターの谷口宏充博士には、スタンダードガラスを提供して頂いた。ここに記し、感謝の意を表します。

文 献

- Bockris, J. O' M., J. D. Mackenzie and J. A. Kitchener, 1955. Viscous flow in silica and binary liquid silicates. *Faraday Soc. Trans.*, **51**, 1734-1748.
- Bottinga, Y. and D. F. Weill, 1972. The viscosity of magmatic silicate liquids : a model for calculation. *Amer. Jour. Sci.*, **272**, 458-475.
- 地質調査所, 1962. 日本産火山岩の化学成分. 工業技術院地質調査所, 441pp.
- Katsui, Y., S. Kawachi, Y. Kondo, Y. Ikeda, M. Nakagawa, Y. Gotoh, H. Yamagishi, T. Yamazaki and M. Sumida, 1990. The 1988-1989 explosive eruption of Tokachi-dake, central Hokkaido, its sequence and mode. *Bull. Volcanol. Soc. Japan. Ser. 2*, **35**, 111-129.
- 勝井義雄, 高橋俊正, 大場与志男, 平井喜郎, 岩永将暉, 西村豪, 曾屋竜典, 伊藤宏, 1963. 十勝岳 1962 年の噴火, 岩鉱, **49**, 213-226.
- 勝井義雄, 河内晋平, 荒牧重雄, 今堂祐弘, 1989. 1988-89 年十勝岳噴火の推移, 文部省科学研究費突発災害調査研究成果 1988 年十勝岳噴火の推移. 発生機構および社会への影響に関する調査研究, 3-29.
- Little, H. R., 1929. Viscosity of glass between the strain point and melting temperature. *Jour. Amer. Ceram. Soc.*, **12**, 502-511.
- Murase, T. and A. R. McBirney, 1973. Properties of some common igneous rocks and their melts at high temperatures. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, **84**, 3563-3592.
- Pinkerton, H. and R. J. Stevensen, 1992. Method of determining the rheological properties of magmas at sub-liquidus temperatures. *Jour. Volcanol. Geotherm. Res.*, **53**, 47-66.
- Shaw, H. R., 1972. Viscosities of magmatic silicate liquids : an empirical method of prediction. *Amer. Jour. Sci.*, **272**, 870-893.