

サブリキダスでの粘性係数測定：富士火山 1707 玄武岩の場合

佐藤博明（神戸大理）

Viscosity measurement of subliquidus basalt: 1707 eruption product of Fuji volcano

Hiroaki Sato (Kobe University)

マグマの粘性係数については、無水の場合のメルトについて、Bottinga & Weill(1972)、水を含むメルトについて Shaw(1972) 等があり、最近ではTVF方程式によるGiordano & Dingwell(2003)があり、一応実用的に問題ない計算式が知られている。しかし、結晶や気泡を含むマグマについては、いくつかの実験がおこなわれ、経験式も知られているものの、実際の個々の溶岩に適用するには、温度、結晶度、結晶サイズ分布、結晶形態等、多くの要素があり、また結晶作用自体が組成依存性や非平衡な効果が大いいため、未だ一般的な扱いはおこなわれていない。特に、これまでの実験は玄武岩では粒状のかんらん石が晶出するハワイ溶岩についてのもの（Shaw, 1969; Ryerson et al. 1988; Pinkerton & Norton, 1995）、板状の斜長石が多く晶出する島弧玄武岩についての実験的研究を知られていない。今回、富士 1707 年玄武岩を用いて粘性係数測定と結晶組織の観察を予備的におこなったので、その結果について報告する。

今回の測定は雰囲気制御した電気炉の上部に粘度計（東機産業、TV-100型）を設置し、そこからステンレス棒、アルミナ棒（6 mm φ）を接続し白金るつぼの高温玄武岩質融液にひたし、回転トルクを測定することによって粘性係数を求めた。基本式は $M=4\pi\eta\Omega R_1^2R_2^2/(R_2^2-R_1^2)$ 、ここで、Mは回転モーメント、 η は粘性係数（Pa sec） Ω は角速度、 R_1 、 R_2 それぞれロッド半径、るつぼ半径である。先端の効果については、標準液での校正のさいに高さを変化させて経験的に求めた。校正はJISの標準液を用いておこない、今回用いたるつぼ、ロッドについて校正パラメータを求めた。実際の測定の酸素雰囲気は、CO₂:H₂=400ml/10mlの混合気体を炉心管に約 0.5cm/秒で流すことによりほぼNNOパuffersの条件で実験をおこなった。測定はまず試料を 1230 または 1220 でほぼ溶融し、20 毎に温度を低下させて、各温度で数時間以上保持した後に 3~20 回の測定セッションを繰り返し、温度をさらに 20 度低下させることをおこなった。測定セッションは、回転数（rpm）を一定にして時間経過と共に粘性係数の変化を記録するもので、各温度での最初のセッションでは最初大きな粘性を示すが、指数関数的に粘性係数が減少するのが観察された。これは一見、チクソトロピー（歪速度によって粘性係数が変化する現象）かと思われたが、文献を見ると次のような回転式粘度計に関する問題があるので、必ずしもそれに帰することはできないと判断し、できるだけ回転数の小さい条件での値を採用することとした（天然での溶岩の流動における

歪速度は最大でも 1 sec⁻¹程度）。回転式粘度計の歪速度は半径方向に変化し、例えば、今回のるつぼ・ロッドでは 10rpmの条件で、内側で 1.2 sec⁻¹、外側で 0.17 sec⁻¹ と 1 桁近く変化する（ランダウ・リフシッツ）。このため固体粒子は歪速度の小さい外側へ移動することが実際に試料採取により確認された。これは回転中、結晶分布の均質性が保たれないことを意味している。2 番目の問題は、Shear heating の問題で、Spera et al. (1988, JGR) の計算では数度程度の上昇が予想されるが、Shearが上記のように内側に集中することから温度の均質性も若干破られることが考えられる。3 番目の問題は、半径方向に中心に向かうNormal stressが生じることで（Spera et al. 1988）、このため、回転速度を上げると、回転ロッドに液が上昇することが観察される。このため、液面が元の平面を保てずに、粘性係数の計測に誤差を与える。以上のような理由で回転法による粘性係数測定は誤差をある程度含むので、今回、歪速度による粘性係数の変化についての検討はおこなわないこととした。

粘性係数の測定結果は、1220 で 48 Pa sec から 1140 での 570 Pa sec まで 80 で約 1 桁の増加を示す。結晶相は斜長石がリキダスで、1140 では磁鉄鉱が酸化的な条件で晶出しているものの輝石、かんらん石は認められなかった。結晶度はおよそ 0~20Vol%程度である。この測定結果を計算値と比較するのに、実際の実験試料（各温度で採取）の液組成を EPMA 分析で求めそれを用いて Shaw(1972)の式を用いて計算すると、温度低下に伴い液の粘性係数が低下する。これは液組成が温度の低下に伴い斜長石の分別により、Al, Ca が減少し鉄、マグネシウムが富むことによっている。ハワイの溶岩のようにかんらん石が結晶分別すると、液組成はより Si, Al に富み、Mg, Fe に乏しくなるので粘性係数は液組成変化だけでも増加することになり、今回の富士玄武岩とは異なった挙動をとる。実測値は、計算で求めたよりもかなり大きな温度依存性を示すが、これは主に結晶の存在によるものと考えられる。固体の存在下での液の粘性係数の変化については、Einstein(1914)の式 $\eta=\eta_0(1+2.5\phi)$ 、Einstein-Roscoeの式： $\eta=\eta_0(1+a\phi)^b$ 、Marsh(1981)の経験式： $\eta=\eta_0(1+\phi/0.6)^{2.5}$ 、等があるが、今回の結晶相はきわめて偏平な四角板状を呈しており、そのために、これらの近似式よりも結晶作用によるマグマ（結晶+液）の粘性係数が大きな値を示すようになったと考えられる。