

溶岩チューブ形成に関わる地球の溶岩流と月・マリウス丘の溶岩流の検討

Study of the lava flow under the Marius Hills Hole on the Moon by analogy on the Earth

*本多 力¹

*Tsutomu Honda¹

1. 火山洞窟学会

1. Vulcano-speleological Society

1.はじめに：溶岩チューブ形成に関わる地球の溶岩流と月・マリウス丘の溶岩河川（リル）内を流れた溶岩流の比較を行い、月で想定される溶岩チューブ形成のシナリオと温度を推定することが本検討の目的である。通常のニュートン流体では円管内の流れであれ傾斜面表面重力流であれレイノルズ数(Re)が2000程度を超えると流れは層流から乱流へと遷移する¹⁾。溶岩流はビンガム流体と考えられ、そのビンガム数(B)やヘドストロム数(He)はビンガム性とニュートン性の程度を示し、Heが増大すると層流から乱流への遷移Reが増大することが知られている^{1,2)}。ここでは溶岩流のRe,さらにB,Heに注目して、溶岩チューブ³⁾形成に関わる溶岩流の検討を行った。

2.地球の溶岩流の検討：表1(a),(b),(c)に三原山1951年溶岩流(SiO_2 :52-53wt%)⁴⁾、マウナロア1984年溶岩流(SiO_2 :52wt%)⁵⁾、トルバチク2013年溶岩流(SiO_2 :52wt%)⁶⁾における温度、溶岩厚さ、粘性係数、降伏値等のその場測定値を整理したものを示し、それに基づいたRe,さらに降伏値が得られている場合にはB, Heを示す。それぞれは低いレイノルズ数を示し、マウナロアの例では長距離にわたり降伏値が測定されている。流れに沿って温度が低下しそれに伴って粘性係数と降伏値が大幅に増大している。これらの流れは噴出口から下流まですべて層流域にあり、三原山1951溶岩流では三原ホルニトケイブが、マウナロア溶岩流及びトルバチク溶岩流でも溶岩チューブが観察されている。地球上の溶岩チューブは層流域で形成されている。

3.月・マリウス丘の溶岩河川リル-Aの溶岩流の検討：マリウス丘のリル-Aの溶岩流のB,He,Reを知るには溶岩流動厚さ、粘性係数、降伏値、重力加速度、溶岩密度、溶岩流速、傾斜度が必要である。溶岩河川リル-Aにある縦孔下の空洞高さ17mを溶岩流動厚さとし、降伏値131Paを固定値として用いた⁷⁾。粘性係数は5Pa.sから16000Pa.sの範囲として流速はビンガム流体の層流として傾斜角度0.31°の傾斜面を自由表面重力流と並行平板間重力流の式⁸⁾で計算した。得られたB,Re,Heを表1(d),(e)に示す。自由表面重力流では粘性係数100Pa.sで遷移域にあり、3000Pa.sで層流を示し、並行平板間重力流では100Pa.sで層流を示している。温度の関数としての月の溶岩の粘性係数は様々な化学組成の溶岩についてChevrel (2014)⁹⁾にまとめられている。マリウス丘の溶岩化学組成が不明なので明確なことは言えないが、100Pa.s~3000Pa.sはCukierman (1973)¹⁰⁾のFig.3の高チタン成分の溶岩(試料15555)として判断すると表1(d)(e)に示すように溶岩温度1050-1000℃に対応している。低チタン成分の溶岩(試料68502)であればもっと高い溶岩温度1200-1100℃に対応する。溶岩チューブは流れが乱流では攪乱されチューブ天井となるクラストは形成されにくいと考えられるので、高温時は乱流であっても、流れに沿って冷却後低温になり層流となり溶岩チューブを形成するシナリオが妥当と考えられる。

4.まとめ：噴出口近傍で乱流であれば層流への遷移後、溶岩チューブが形成される。溶岩チューブ形成推定温度は、溶岩の化学組成にもよるが1000-1200℃程度である可能性がある。今後の課題としては、温度の関数としての月の溶岩の化学組成に基づいた粘性係数、降伏値の合成試料実験データ等の蓄積・整理(粘性係数と降伏値の温度変化に対する同時計測例としてIshibashi(2010)¹¹⁾によるFuji1707溶岩がある)が必要である。

参考文献：

- 1) 岐美格,他：日本原子力学会誌, Vol.7, No.11, 1965,627-633
- 2) G.Hulme:Geophysical Surveys 5 (1982) 245-279
- 3) T.Kaku et al:Geophysical Research Letters 44.20 (2017): 10-155. DOI:10.1002/2017GL074998
- 4) T.Minakami:東大地震研彙報, Vol.29,pp.487-493,1951
- 5) H.J.Moore:Volcanism in Hawaii,Chapt 58: USGS Professional Paper1350(1987)

6)A.Belousov et al:Bulletin of Volcanology (January 2018) 80(1)

<https://doi.org/10.1007/s00445-017-1180-2>

7)本多力:SVC50-05,第61回地球惑星科学連合大会,2017

8)本多力:1B11,宇宙科学技術連合講演会講演集,2017

9)M.Chevrel et al:Geochimica.Cosmochimica Acta 124,(2014), 348-365

10)M.Cukierman et al:Geochimica.Cosmochimica Acta 3,(1973) 2685-2696.

11)H.Ishibashi et al:J.Mineralogical & Petrological Science 105,(2010) 334-339.

キーワード：溶岩チューブ、粘性係数、降伏値、溶岩流、月縦孔

Keywords: lava tube, viscosity, yield strength, lava flow, lunar pit

表 1. 地球上の玄武岩溶岩流と月・マリウス丘のルルAの溶岩流の傾斜表面重力流の比較検討

(a)三原山1951年溶岩流測定的位置 ^①	溶岩温度 ^②	流速 ^③	溶岩深さ ^④	降伏値	粘性係数 ^⑤	密度	傾斜角度 ^⑥	ビンガム数:B	レイノルズ数:Re	ヘドストロム数:Ile
I	1125℃	1.02±0.08 m/sec	0.31 m	-	560 Pa.s	(2500 Kg/m ³)	35°	-	1.41	-
II	1108℃	0.35±0.04 m/sec	0.5 m	-	1800 Pa.s	(2500 Kg/m ³)	27°	-	0.24	-
III	1083℃	0.15±0.03 m/sec	0.77 m	-	7100 Pa.s	(2500 Kg/m ³)	16°	-	0.04	-
VI	1038℃	0.08±0.02 m/sec	1.3 m	-	23000 Pa.s	(2500 Kg/m ³)	11°	-	0.01	-
(b)マウナウル1987年溶岩流測定的位置 ^①	参考溶岩温度 ^②	流速 ^③	溶岩深さ ^④	降伏値 ^⑤	粘性係数 ^⑥	密度 ^⑦	傾斜角度 ^⑧	ビンガム数:B	レイノルズ数:Re	ヘドストロム数:Ile
火口から3km	1140±3℃(火口)	5.3 m/sec	4 m	150 Pa	1134 Pa.s	1000 Kg/m ³	5.6°	0.099	18.7	1.86
火口から8km上段	1135±5℃(火口から10km)	1.6 m/sec	5 m	970 Pa	3014 Pa.s	1700 Kg/m ³	3.75°	1.005	4.5	4.54
火口から8km下段	1135±5℃(火口から10km)	1 m/sec	6 m	891 Pa	2885 Pa.s	1700 Kg/m ³	2°	1.853	3.5	6.55
火口から15km	1086-1126℃(火口から12km以上)	0.34 m/sec	9.3 m	3200 Pa	81110 Pa.s	2400 Kg/m ³	3.3°	1.079	0.09	0.10
(c)トルバチク2013年溶岩流測定的位置 ^①	溶岩温度 ^②	流速 ^③	溶岩深さ ^④	降伏値	粘性係数 ^⑤	密度 ^⑦	傾斜角度 ^⑧	ビンガム数:B	レイノルズ数:Re	ヘドストロム数:Ile
火口から2.4km	1089℃~1082℃	0.008 m/sec	3.5 m	-	1800000 Pa.s	2500 Kg/m ³	8°	-	3.89x10 ⁻⁴	-
(d)月マリウス丘溶岩流(表面流れ)の位置 ^①	推定溶岩温度(試料15535から推定)	推定流速(層流として計算)	溶岩深さ ^④	設定降伏値 ^⑤	推定粘性係数	密度	傾斜角度 ^⑧	ビンガム数:B	レイノルズ数:Re	ヘドストロム数:Ile
縦孔下	不明(900℃)	0.08 m/sec	17m	131 Pa	16000 Pa.s	2500 Kg/m ³	0.31°	1.68	0.22	0.37
縦孔下	不明(1000℃)	0.44 m/sec	17m	131 Pa	3000 Pa.s	2500 Kg/m ³	0.31°	1.68	6.26	10.5
縦孔下	不明(1050℃)	13.3 m/sec	17m	131 Pa	100 Pa.s	2500 Kg/m ³	0.31°	1.68	5634	9464
縦孔下	不明(1100℃)	44.2 m/sec	17m	131 Pa	30 Pa.s	2500 Kg/m ³	0.31°	1.68	6.3x10 ⁴	1.05x10 ⁵
縦孔下	不明(1200℃)	265 m/sec	17m	131 Pa	5 Pa.s	2500 Kg/m ³	0.31°	1.68	2.3x10 ⁶	3.79x10 ⁶
(e)月マリウス丘溶岩流(並行平板間)の位置 ^①	推定溶岩温度(試料15535から推定)	推定流速(層流として計算)	溶岩深さ ^④	設定降伏値 ^⑤	推定粘性係数	密度	傾斜角度 ^⑧	ビンガム数:B	レイノルズ数:Re	ヘドストロム数:Ile
縦孔下	不明(900℃)	0.02 m/sec	17m	131 Pa	16000 Pa.s	2500 Kg/m ³	0.31°	6.72	0.06	0.37
縦孔下	不明(1000℃)	0.11 m/sec	17m	131 Pa	3000 Pa.s	2500 Kg/m ³	0.31°	6.72	1.56	10.5
縦孔下	不明(1050℃)	3.31 m/sec	17m	131 Pa	100 Pa.s	2500 Kg/m ³	0.31°	6.72	1408	9464
縦孔下	不明(1100℃)	11.1 m/sec	17m	131 Pa	30 Pa.s	2500 Kg/m ³	0.31°	6.72	1.56x10 ⁴	1.05x10 ⁵
縦孔下	不明(1200℃)	66.3 m/sec	17m	131 Pa	5 Pa.s	2500 Kg/m ³	0.31°	6.72	5.6x10 ⁵	3.79x10 ⁶