

## 澱粉を用いた柱状節理形成の模擬実験

## Analog Experiment of Formation of Columnar Joint using Starch

# 寅丸 敦志[1], 松本 健[1]

# Atsushi Toramaru[1], Takeshi Matsumoto[2]

[1] 金沢大・理・地球

[1] Earth Sci, Kanazawa Univ., [2] Dept.Earth Sci. Kanazawa Univ

<http://earth.s.kanazawa-u.ac.jp/toraken/index.html>

はじめに：

水を含ませた澱粉を乾燥させると、マグマが冷却固結する際に出来る柱状節理に非常によく似た構造が形成されることはよく知られている（たとえば Müller 1998）。本研究では、電球と、澱粉溶液との距離を制御することで、蒸発速度をパラメータとして変化させ、形成される柱状節理の構造変化を調べた。

実験：

澱粉は片栗粉（ホクレン、馬鈴薯澱粉）を使用し、粒度分析の結果から、粒径は 5~200  $\mu\text{m}$  に分布し、平均粒径は 31  $\mu\text{m}$  である。水と澱粉を質量比で 1:1 (60g:60g) の割合で混ぜ合わせた均質混合物を出発物質に用い、容器には、直径 8.5cm、深さ 2.8cm の鉄製の円筒を使用した。尚、乾燥終了後、試料を取り出しやすくするため、内側をアルミフイルで覆った。蒸発乾燥を制御する熱源としては、60 ワットの電球を用いた。容器に入れた澱粉-水の均質混合物を PC に接続した電子天秤に乗せ、30 分毎の質量を PC に記録し、質量変化（蒸発量・蒸発速度）を計測した。乾燥終了後、澱粉試料を取り出し、柱状節理様構造の観察と、底面の写真に基づく形状解析（柱状の柱断面積・断面多角形の角数など）を、PC 上（使用ソフトウェア：AdobePhotoshop 及び NIHImage）で行った。

結果：

蒸発乾燥に伴う柱状節理様構造の発達過程は、これまでの報告と同様に、まず、表面に板状の破片を作るクラックが発達し、その後、その下部で柱状節理様構造が発達していく。蒸発速度（柱状節理様構造が形成されている時間での平均値）は、電球と試料との距離を 1cm から 30cm 変化させたところ、およそ 4.8g/h から 0.6g/h の値をとることがわかった。蒸発速度は、電球からの距離のおよそ  $3/4$  に比例して減少し、約 13cm 離れたところで一定値（0.6g/h）に収束する。柱状節理の柱の平均断面積は、蒸発速度の減少と伴に増加していく（平均断面積が蒸発速度の  $-0.9$  乗に比例）が、蒸発速度が 1.0g/h より小さくなったところから増加率が急増し、約 0.5g/h 付近で断面積増加率は漸的に発散し、節理は形成されなくなる。また、柱状節理の断面多角形の角数の測定から、蒸発速度の増加に伴い、卓越角数が変化することがわかった。6 角形の出現頻度に対する 5 角形の出現頻度を見ると、蒸発速度が約 1.2g/h を境にして、6 角形卓越型から 5 角形卓越型に推移する。また、4 角形の出現頻度もこの蒸発速度を境に急増する。

考察：

#### 1) 玄武岩の柱状節理形成過程との対応と実験から得られる示唆

本実験では、蒸発乾燥に伴う水を含む澱粉試料が収縮することで、クラックが発達し柱状節理様構造が形成される。一方、天然の玄武岩では、マグマが冷却固結する際の体積収縮で、クラックが発達し柱状節理が形成される。物質の収縮が本質的であるとするなら、実験での蒸発速度は、熱膨張率を介して、天然での冷却速度の役割をしていると考えることが出来る。結果として、天然でも、柱状節理の断面積は、冷却速度の  $-0.9$  乗に比例して減少することが示唆される。さらに、ある臨界の冷却速度が存在し、それ以下では、柱状節理は形成されない。また、実験結果と同様に、天然でも 5 角形が卓越する場合と 6 角形が卓越する場合があることが観測されているが、このことは、冷却速度の違いを反映していると考えられる。

#### 2) 蒸発過程について

われわれの実験で、最も悩んだことは、実は蒸発過程の機構そのものについてである。蒸発過程なるものは、殆ど理解されていると高をくくっていたが、実験で得られた、蒸発速度と電球との距離との関係についてすら、当初皆目説明がつけられなかった。ここでは、それについて簡単な考察を試みる。

蒸発速度は、試料の表面付近に出来る飽和水蒸気からなる薄層と大気中の蒸気圧差に比例する。表面付近の薄層の飽和蒸気圧は、局所平衡を仮定すると、澱粉・水混合試料の表面の温度で決まる。その温度は、電球から受けるエネルギーと試料表面からの輻射エネルギーが、釣り合って決定されている（輻射平衡）と仮定する。電球からのエネルギーは距離の 2 乗に反比例し、輻射エネルギーはステファン・ボルツマンの法則より、試料表面付近の温度の 4 乗に比例するから、その温度は、距離の  $-1/2$  に比例する。一方、飽和蒸気圧は、273K から 373K の範囲でほぼ、温度の 2 乗に比例する。蒸気圧差を試料面付近の飽和蒸気圧によって近似すると、蒸発速度は、電球からの距離の  $-1$  乗に比例することになる。実験結果の指数  $3/4$  と差は、ここで用いたいくつかの仮定が正確には成り立っていないことが原因であると思われるが、実験結果はおおよそ説明される。