

ビーカーの中の玄武洞 -片栗粉を用いた柱状節理のアナログモデル実験-

"Genbudo" in the beaker -Analogue model experiment with starch for columnar joints-

赤石 和幸[1], 山本 仁[1]

Kazuyuki Akaishi[1], Jin Yamamoto[1]

[1] 大阪教育大学・教育

[1] Natural Science, Osaka Kyoiku Univ.

<http://www.sci.osaka-kyoiku.ac.jp/nsystem/akaishi/akaishi.html>

柱状節理は溶岩や岩脈，溶結凝灰岩内部に典型的に見られ，特に玄武洞のような玄武岩質溶岩には六角柱状のみごとな節理の発達することがある．柱状節理の形成過程を考察するため，アナログモデル実験を行なった．片栗粉と水の混合物をビーカーに入れ，乾燥機で温度を制御して乾燥に伴う重量減少と割れ目の伝播の様子を観察し，また画像解析を行ない生じた割れ目を定量的に解析した．その結果，ビーカー内部には柱状節理と類似する多角形の柱が生じること，柱の形状およびサイズ分布は温度および表面からの深さと相関のあることが判明した．これらは柱状節理の特徴に対応付けることができ，その形成過程を考察する上で重要な情報となる．

1．はじめに 柱状節理は溶岩や岩脈，溶結凝灰岩内部に典型的に見られ，特に玄武洞のような玄武岩質溶岩には六角柱状のみごとな節理の発達することがある．一般に岩体の冷却時の体積収縮によって形成されると考えられるが，岩体内部が立体的に連続して観察できる露頭は極めて少なく，また形成時の岩体内部の「その場観察」も不可能なため，形態的特徴の空間分布や形成過程の詳細は不明なままである．そこで柱状節理の形成条件と形態的特徴，形成過程を考察するため，片栗粉を用いたアナログモデル実験を行なった．

2．実験および解析方法 容易に入手でき，乾燥によってビーカーサイズの容器で短期間に肉眼サイズの割れ目が観察可能なため，片栗粉と水の混合物は柱状節理に関する最適なアナログ物質である．実験では，直径48mm，高さ70mmのポリプロピレン製ビーカーに片栗粉60gと4水5gを超音波洗浄機で流動化させてよく混合したものを入れた．Muller(1998)はコーンスターチと水の混合物を用いて実験を行ない，X線トモグラムで内部の様子を観察しているが，ランプの熱で乾燥させたため正確な温度管理を行なっておらず，また生じた割れ目についても定量的な測定を行っていない．そこで今回の実験では乾燥機を用いて温度を一定(30-60℃)に制御して乾燥に伴う重量減少と割れ目の伝播の様子を観察し，さらに画像解析を行ない生じた割れ目を定量的に解析した．乾燥後の試料は非常に崩れやすく，そのままではX線トモグラムのような特別な測定機器を用いる以外の方法で内部を観察することが不可能である．そこで，溶かした「ろう」を乾燥後の試料に浸透させ，固化した試料を切断機で水平方向および鉛直方向にスライスして内部を詳細に観察するという簡便な手法を新たに開発した．スライス試料の画像をフラットベッドスキャナーからパソコンに取り込み，画像解析ソフト(Scion Image)を用いて割れ目の解析を行ない，柱の形状および面積を測定した．測定にはビーカーの壁面による影響の少ない領域を使用した．

3．結果 試料の重量は最初急激に減少し，蒸発量は大きい，時間と共に減少の割合が少なくなる．乾燥を開始してしばらくしてから(50℃で約10時間後，30℃で約50時間後)表面に不規則な割れ目が生じ始め，それが内部に向かって数を減らしながら伝播していく．割れ目には初期に生じて試料全体を分断させる程大きな直線状の「一次割れ目」と，その後生じる多角形の「二次割れ目」に分類できる．割れ目が生じることで形成された柱(直径数mm程度)の数は表面付近で多く(ひとつの柱の断面積は小さく)，内部に向かって急激に減少する(断面積は大きくなる)．その傾向は乾燥温度が高いほど顕著であるが，内部の柱の数は表面付近ほど大きな差が無い．柱の形状は六角形が多く，五，四，三角形と徐々に減少するが，七角形以上のものは極端に少ない．乾燥温度が高いほど，五角柱の多い傾向がある．五角柱の多くは「一次割れ目」に沿って分布する．

4．考察 片栗粉を用いたアナログモデル実験において，ビーカー内部に柱状節理と類似する多角形の柱が生じること，柱の形状およびサイズ分布は乾燥温度および表面からの深さと相関のあることが判明した．片栗粉と水の混合物は含水量の減少に従い，流動化から非流動化への変化の境界が明瞭であり，流動化できる領域では体積減少による収縮応力を流動変形することで解消できるが，非流動化の領域では割れ目を拡大することで収縮応力を解消している．すなわち，乾燥に伴って進行する割れ目の先端はこの臨界含水濃度に達していると考えられる．またひとつの柱の断面積は含水濃度勾配が大きいほど小さくなる．これらは溶岩の冷却に伴う流動化から非流動化への変化に対応すると推定でき，臨界含水濃度は溶岩のガラス転移温度に対応すると考えられる．表面の不規則な小さな割れ目は含水濃度勾配が確立される前に表面からの急激な乾燥によって生じたものであり，高温の溶岩表面が空気または水と接したときに生じる「急冷クラック」に対応する．含水濃度勾配が形成された後に生じた内部の柱が溶岩内部の柱状節理に対応する．「一次割れ目」に接する柱は，直線状の「一次割れ目」形成後に生じた割れ目である柱面がそれと垂直になることから必然的に五角柱になる．さらに，乾燥温度が高いほど「一次割れ目」が多く

発達するため五角柱の割合が高くなる．溶岩の冷却においても初期に大きな直線状の割れ目が生じることから (Spry, 1961), 柱状節理に五角柱の割合が比較的高い (Beard, 1959) 理由として同様の解釈が可能である．