

発泡ウレタン噴火実験

アナログモデル実験による噴火現象の再現



先端技術研究所 ちば たつろう ありやす えみこ
千葉 達朗・有安 恵美子

はじめに

アジア航測では、火山噴火のメカニズム研究や火山防災のための取り組みとして、アナログモデル実験の研究を進めてきました。アナログモデル実験とは、時間的空間的にスケールの大きな現象の研究に用いられる手法で、コンピュータシミュレーションと共に、よく行われます。

伊豆大島や有珠山の赤色立体模型を使用した、シャンプー溶岩流実験や、ゼリーの地形模型を使用した、キッチン火山実験などです。

このたび、発泡ウレタンと粉体を使用した、全く新しい火山噴火のモデル実験を考案しましたので紹介します。

噴火の仕組み

マグマには、 H_2O や CO_2 などの揮発性成分が含まれています。マグマが地下深くにあるときには、高温高压のために溶け込んでいますが、上昇に転じると、減圧のために気化し気泡となり、マグマの体積は急激に膨張します。気泡が大きくなるにつれ、みかけ密度が低下、加速度的に上昇し、ついには火口から噴出します。これが

火山の噴火のしくみです。そのため、固化した溶岩には多数の気泡が含まれています。火口から大気中に放出される際には、爆発を伴うことも多く、火山噴火の実験は危険で困難です。また、マグマの膨張にともない隆起などの地殻変動も発生しますが、その状況を、アナログモデル実験で再現することは、難しいことでした。

発泡ウレタン

発泡ウレタンは、木造住宅の断熱工事や、空洞充填剤として広く使用されています。2液性硬質発泡ウレタンは、2液を混合してから5分程度で固化し、その間に体積が約50倍に膨張します。その後、長期間にわたって変化しない安定な建築材料として知られています。特に、ハンドミキシング法は、JIS規格にも採用されている手

法で、容器内に2種類の発泡原液を同量投入して攪拌することで、発泡させるというものです。今回、容器の形状を工夫し、口の狭い容器を使用し、効率的に発泡させ、噴出させることができました。噴出後、空気中では単純に垂下しますが、粉体中では浮力で上昇する可能性があることに気づき、この一連の実験を考案しました。

実験準備

表1に実験材料の一覧を示します。これは実験1から7まですべて行うのに必要な材料と数量と金額です。

2液性発泡ウレタンは、T液とR液のセットで販売されています。通販あるいは大きなDIYショップで入手できます。粘性が高いため、あらかじめソース容器等に移しておくとうよいです。等量混合は本来容積ですが、比重が同程度なので重量でもさしつかえありません。粉体としては、表に上げた以外にも、見かけ密度が異なる様々な物質を試しています。たとえば、鉢底石、軽石、スコリア、中粒砂、金魚鉢用細礫、などです。

表1 実験材料一覧表

品名	種類	サイズ	個数	金額
ウレタン原液	T液 & R液	各1000ml	各1	各2,900円
一輪挿し	上すぼまり	100cc	6	600円
プラスチックカップ	透明	350cc	10	200円
漏斗	円錐形	10cm	1	100円
割りばし	混合用	20cm	50	100円
電子天秤	計量用	1000gまで	1	2,000円
絵具	マーブリング用	6色セット	1	1,000円
ソース容器	液だれ防止用	300cc	2	200円
バケツ	上広がり	10リットル	2	600円
猫のトイレの砂	ベントナイト系	500g	4	1200円
発泡スチロールビーズ	梱包材料	500cc	2	200円
大理石細礫	角礫	200g	1	500円

実験

以下に、実験の手順を1から7まで示します。順に行うことで、噴火の仕組みがよく理解できます(図1)。

実験1: 350ml 透明カップにT液とR液を各20gずつ投入、割り箸で攪拌します。2分後ウレタンは発泡を開始、一定の割合で垂直に上昇し、5分後に固化します。

実験2: カップの縁を越える寸前の状態のウレタンに、さかさまにした漏斗をかぶせることで、上の口から勢いよく噴出させることができます。通路を段階的に狭めることで、上昇速度が加速するのです。火山噴火と類似の現象です。時間とともにウレタンの粘性が増加、漏斗口は閉塞します。その後、漏斗全体が隆起し変形します。

実験3: 口が狭い、一輪さしなどの小瓶に入れて、ハンドミキシングをすることで、安定的に発泡するウレタンを効率的に生成させることができます。100ccの容積に対しR液とT液それぞれ30gずつを入れた例です。攪拌開始後約1分から2分で音が変わり、急激に発泡が始まります。垂れ下がってもいい場所に置きます。

実験4: 攪拌後の小瓶をバケツの底に定置し、その上にすばやく様々な見かけ密度の粒状物質を投入することで、発泡ウレタンと粒状体の見かけ密度の差で起きる現象を確認することができます。粒状体の見かけ密度が極端に小さい、発泡スチロールビーズの場合は、密度が同じなので、瓶の出口を中心とした球形の塊を形成します。

実験5: ベントナイトを粉体に加工したネコのトイレの砂は、ウレタンとよくなじむので、火山体のモデル化に適しています。発泡ウレタンは膨張の過程で、気泡の核数は増えないで、気泡サイズが大きくなるという性質があります。そのため、見かけ密度は時間とともに小さくなっていくので、ウレタンは浮力で上昇続け、最終的に粒状体の表面に到達して、横に広がります。この様子は溶岩ドームの成長過程とよく似ています。溶岩ドームが顔を出す寸前に、表面が膨張変形する様子もみられます。

まとめと課題

2液性発泡ウレタンを使用した、噴火のアナログモデル実験を開発しました。発泡だけで、マグマの上昇、地殻変動と溶岩ドームの形成、爆発的な噴火まで再現することができました。この実験は、日本地球惑星科学連合2017年大会のアジア航測のブースで実演し、好評でした。今後、さらに改良を続けていきたいと考えています。

実験6: 粒子の種類や量、ウレタンの量や色を変化させることで、様々なバリエーションを作成、マグマの上昇の様子や、ドームの成長の様子をシミュレーションすることができます。

実験7: 瓶の口の上に大理石粒子を載せることで、小爆発を起こすことができます。バケツの表層部に発泡スチロールビーズを入れておけば、数センチ程度まで飛び上がる、ミニ火山弾を作ることも可能です。



図1 実験結果

注意: 瓶の口にコルク栓をすると爆発的に噴出します。その圧力は、コルク栓の閉め方の強弱で大きく変化します。ウレタンは付着性がきわめて高く、衣類についた場合は、除去することが困難です。爆発実験は、屋外で十分に離れて行うなどの注意が必要です。なお、ウレタン除去剤という薬品もありますが、やわらかくなるだけで、完全に溶解除去することはできません。