

# 寿司酢と重曹を用いた火山爆発模擬実験の実演

竹内晋吾<sup>1)</sup>

## 1. はじめに

火山噴火とは、地下から地上に向かってマグマが上昇し、火口から噴出する現象です。マグマが噴出する様式は比較的静かに溶岩流を流す、あるいは溶岩ドームを成長させるものから、爆発的に火砕物を飛び散らせるものまで多様です。噴火現象が多様性を持つ不思議は人々の関心を火山にひきつける魅力の一つでしょう。このような噴火の多様性を簡単な実験によって子供たちでも分かるように表現できないかというのが、一般公開「つくばで火山を噴火させよう」での実験を企画するにあたっての筆者のテーマでした。

マグマが火口から静かにあふれ出るか、あるいは火口遠方まで激しく飛び散るかということは、“マグマの破碎はいかに起こるか?”という最新火山学の大問題にも通じます。マグマがどのような条件で破碎するかというモデルはいくつかありますが、今回実験を設計するにあたっては、減圧のされ方によって破碎条件が決まるというモデルから発想を得ました。そのモデルは簡単に言うと以下のとおりです。気泡を含むマグマがゆっくり減圧される場合、気泡の膨張に液体マグマの流動も追いつき、マグマ全体がバラバラにならずに膨張し、溶岩流や溶岩ドームとして噴出します。一方、急に減圧された場合には気泡の膨張に液体マグマの流動が追いつかず、マグマは引きちぎれてバラバラになり、火山弾や火山灰などの火砕物として噴出します。このモデルで考えられているマグマの破碎は、突発的な爆発とともに火砕物を飛び散らせるブルカノ式噴火のイメージに近いものです。このようなブルカノ式噴火を、最近盛り上がりを見せている“キッチン火山学実験”（林ほか、2005；林、2006；日本火山の会、<http://www.kazan-net.jp/kitchen/>）として、簡単な素材で模擬することを目指し実験・実演方法

を開発しました。本報告では誰でも実験を再現できるよう、そのノウハウをまとめました。

## 2. 寿司酢を使った火山爆発実験の概要

今回の実験ではマグマ模擬物質として、重曹を混ぜた寿司酢を用いています。酢と重曹の混合によって起こる発泡を利用した噴火の模擬実験は古くから行われており、真新しさはありません。本実験では、発泡した酢の減圧のされ方に違いをつけ噴火の多様性を表現し、実際の噴火推移に似た順序で実演していくことで新しさを盛り込んだつもりです。

マグマ溜まりおよび火道として用いるのは丈夫なガラス瓶です。発泡した寿司酢マグマの減圧のされ方の違いを作るために、瓶の口を開放した状態と閉塞させた状態の二つの条件で寿司酢を発泡させました。この二つの条件での発泡実験を、溶岩ドーム噴火が突然爆発的なブルカノ式噴火に変わるという流れの中で行いました。瓶の口を開放した状態で発泡させると、発泡の進行とともに寿司酢全体が膨張し、やがて瓶から静かにあふれます（溶岩ドーム噴火）。一方、瓶の口をゴム栓で閉塞させた時には、発泡が進行するとともに瓶の内は増圧していきます。やがてゴム栓と瓶の壁面との摩擦力では押さえ切れない内圧に達すると、ゴム栓が噴き飛ぶと同時に、高压の寿司酢が大気圧へと急減圧されます。この瞬間、寿司酢の一部は急減圧によってバラバラになり、寿司酢の飛沫が爆発的に飛び散ります（ブルカノ式噴火）。

実験のポイントは、静かな溶岩ドーム噴火を一度、起こさせた後にゴム栓をするところにあります。重曹と寿司酢を混ぜた直後に栓をしてしまうとゴム栓の直下には空気溜まりが存在してしまいます。増圧が起こっている最中、この空気溜まりは多少、堆積が小さ

1) 産総研 地質情報研究部門

キーワード：火山爆発, ブルカノ式噴火, アナログ実験, キッチン火山学実験

くなるもののゴム栓の直下に存在し続けます。この状態で爆発が起こっても高压の空気だけが噴出し、寿司酢は飛び散りません。このような状態を避けるために、本実験では一度、静かな噴火をさせ、瓶全体を発泡した寿司酢で満たし、空気溜まりを無くした後にゴム栓をしています。

一度、静かに溶岩ドームを噴出した後に爆発するという推移は、実際のプルカノ式噴火でも見られることがあります。プルカノ式噴火をする代表的な火山である桜島火山でも、比較的静かな溶岩ドーム噴火に引き続いて爆発が発生することが観測されています(井口, 2000; 石原, 2000)。このような噴火の推移から、実際のプルカノ式噴火の発生メカニズムは次のように考えられています。プルカノ式噴火に先立って、マグマが溶岩ドームとして静かに噴出した後に、冷却や脱水による結晶化といった効果によりマグマが火口付近で固結し、火口をふさぐ栓を形成してしまいます。この栓の形成によって、マグマの火道上昇が妨げられ、溶岩ドーム直下の火道浅部マグマが増圧していきます。やがて栓をしていた溶岩ドームが増圧に耐えられなくなり破壊すると、ガスを含んだ高压のマグマが爆発に至ります(井口, 2000; 石原, 2000; 竹内ほか, 2006)。本実験は、火口を塞ぐ栓をゴム栓で代用しているものの、発泡によるマグマの膨張と火道上昇、火口からのマグマの静かな噴出、火口閉塞後の火道浅部マグマの増圧、それに引き続く爆発的噴火というプルカノ式噴火の推移を手軽に再現するアナログ実験となっています。

### 3. 実験の準備

この実験を行うにあたっては、以下のものを用意しました。

- ・ 無色透明なガラス瓶
- ・ 瓶の口に合うゴム栓
- ・ 油粘土で作った火山体
- ・ 火山体を支えるプラスチック板とプラスチック容器
- ・ 動物のフィギュア
- ・ 火山を置く台
- ・ 台の下に敷くシート
- ・ 危険区域を設定するためのビニールテープ
- ・ 寿司酢(粘り気のある酢)
- ・ 重曹



写真1 実験に用いた火山模型と静かな溶岩ドーム噴火の様子。

マグマ溜まりおよび火道として、長さ20cm弱・口の直径が18mmの無色透明なガラス瓶と、その口をしっかり封じることの出来るゴム栓を用意しました。実験はこれだけでも可能ですが、一般の聴衆、特に小さい子供には瓶と火山とのイメージがまず繋がらないと考え、瓶の口が火口に見えるように油粘土で火山体を作りました(写真1)。プラスチック板の真ん中に直径 3cm程の穴を開け、その穴を通じて板の下から瓶の口を6cm程の高さで露出させ、周りを油粘土で固めることで火山体としました。火山体に乗っているプラスチック板は透明なプラスチック容器で支えました。いずれも透明な素材を用いているので、聴衆が瓶内部の発泡の様子を観察できるようになっています。また子供の興味を火山にひきつける目的で動物のフィギュアを山体に置きました。この動物たちは、噴火による被災範囲を説明する時にも役立ちました。噴火の様子を観察しやすくするため火山模型を台の上に乗せて、聴衆の目線に近づけました。その台の下には寿司酢で汚れても良いシートを敷きました。

マグマの素としては寿司酢を用意しました。寿司酢は普通の酢に比べて、糖分が添加されている分、粘性が高いという特徴があります。そのために重曹と反応し発泡した際、発生した気泡同士が合体・粗大化しにくく、浮力によって寿司酢から気泡が分離しにくくなります。その結果、寿司酢内に細かい気泡が長時間とどまり、気泡の発生・膨張とともに寿司酢全体が良く膨張します。通常の酢を用いると、粘性が低いために気泡同士が合体・粗大化しやすく、粗大化した気泡が浮力によって酢の中から分離しやすくなりま



写真2 噴火現象と実験の概要の解説風景。



写真3 静かな溶岩流噴火を待つ聴衆。

す。つまり粘性の低い酢だと“脱ガス”が進みすぎて、酢全体が膨張しません。その結果、瓶の口を開放して実験した時には主にガスしか出てこない場合が多くなります。瓶の口をゴム栓で閉塞させて実験する時にも、ゴム栓の直下にガス溜まりを形成し、爆発の際にはガスだけが噴出し、酢を飛び散らせるような噴火にならないことが多くなります。普通の酢をベースにして実験を行う時には、蜜などの糖분을酢に添加して、粘性を高めると気泡が抜けにくくなります。また台所用洗剤を酢に少量、添加し、気泡の合体・粗大化の原因となっている表面張力を下げることによって、気泡の合体・粗大化を遅くし、酢から気泡が分離する速度を抑えることも出来ます。ただし洗剤を入れると、ゴム栓と瓶の壁面との滑りが良くなって、より小さな内圧で爆発してしまう傾向があり、爆発の派手さが失われる場合があります。重曹の粉は洗剤として販売されているものを用いました。一回の実験で使用するマグマの素の量は瓶の大きさによります。今回の実験で用いた瓶の場合には、大きじ1杯の重曹と大きじ2, 3杯くらいの寿司酢を入れました。

本実験を行うに当たっての注意点として、

- ・ 実験で割れない丈夫な瓶を用意する。
- ・ 寿司酢が飛び散るので周りが汚れないようにシートを引く。あるいは汚れても良い場所で行う。
- ・ 瓶の口をゴム栓できつく閉めすぎない。
- ・ 飛び散る寿司酢が目に入らないようにする。
- ・ ゴム栓が人に向かって飛ばないようにする。
- ・ 瓶が倒れないようにする。

といったことが挙げられます。

#### 4. 実演の展開

実験の始めに、ラミネートシートで作ったA3サイズのプレートを用いて、実験で模擬しようとしている静かな溶岩ドーム噴火と激しいブルカノ式噴火が同じ火山で同時期に起こることを実際の火山の画像などを用いて解説しました(写真2)。また実際の噴火と寿司酢と重曹を用いたこの実験が似ている点を説明しました。その後、瓶の中に重曹の粉を入れ、続いて寿司酢を注ぎました。順序が逆だと、寿司酢の上に重曹の粉が浮いてしまい、反応が起こりにくくなってしまいます。しばらくすると発泡によって火口から寿司酢マグマが静かに噴出します(写真1)。この時点では噴火は静かな溶岩ドーム噴火なので、聴衆は火口に近づいて噴火を観察できます(写真3)。また、この時には聴衆には危険が及ばない一方、火口の極近傍にいる動物たちには溶岩ドーム噴火による危険が及んでいることを示しました。しばらく静かな溶岩ドーム噴火を見せた後に、火口をゴム栓で密閉するとある程度時間を置いて爆発することを説明しました。その際には、この時点で聴衆がいる位置にも危険が及ぶことを前もって説明しました。そしてゴム栓で火口を閉塞させると同時に火口から半径3m以内の範囲には“避難勧告”を出し(写真4)、事前に設定した危険区域の外側へ聴衆に避難してもらいました。火口を閉塞させて数分後、ゴム栓が噴き飛ぶと同時に寿司酢マグマの一部が飛沫となって半径数mの範囲に爆発的に飛び散りました(写真5)。飛沫は最大で写真5の黒矢印の高さ(約3m)まで飛んでいます。爆発の後にもマグマ溜まりでは寿司酢マグマの発泡が進行し



写真4 火口をゴム栓で塞いだ瞬間に避難する聴衆。

ているので、火口を塞ぐ栓がなくなった後には静かな溶岩ドーム噴火が再び始まります。この時点で避難勧告を解除し、火山に近寄って静かな噴火を再び、観察してもらいながら、噴火といっても噴出の様式は様々あり、それによって危険区域も変化することを述べて、実験を締めくくりました。以上で、1回当たり10-15分の実演プログラムとなりました。

## 5. 聴衆の反応

一般公開の時には合計で10回以上の実演を行いました。人通りの多い建物の出入り口という実演場所の良さもあって、毎回、20人近い数の聴衆を集めることが出来ました。主な聴衆である子供たちが実際の噴火現象と本実験が似ている点をどこまで理解できたかは定かではありませんが、少なくとも父兄の方々からは分かりやすいとの講評を頂きました。寿司酢の発泡だけでも子供にとっては興味を引くものようです。寿司酢の爆発に至っては想像力が膨らみすぎて、怖がって父兄の陰に隠れる小さな子供もいました。この様子から判断して、子供にとって多かれ少なかれ印象に残るスリリングな実験となったことが想像されます。噴火様式の違いによって噴出物の到達距離と危険区域が変化し、実演中に「避難する」という動きをいれたのも聴衆を刺激する上で効果的だったと思います。実演終了時には、誰でも家庭や学校などで実験できるように実験方法の解説シート(A4紙1枚)を配布しました。50部ほど準備していた解説シートが2-3回の実演でほぼ無くなってしまっ



写真5 爆発の瞬間。この時、聴衆は危険区域線の外側へ避難している。黒矢印は飛沫が飛んだ最大の高さ。

どでした。

## 6. おわりに

今回、一般公開に参加する機会を頂き、一般聴衆向けのアナログ実験を初めて設計し、子供を含む一般聴衆の前で実演するという貴重な経験をさせていただきました。この経験は筆者にとっても多くのことを学ぶ良い機会となりました。本実験は汚れることと爆発時に物が飛ぶことについてだけ注意を払えば、学校でも家庭でもどこでも実験が可能です。今後、本報告のノウハウを基にして様々な場で、本実験が実演されていけば幸いです。

### 文 献

- 井口正人(2000):火山性地震の発生と火山爆発発生場としての火道内の状態変化。月刊地球, 22, 315-333.  
 石原和弘(2000):プルカノ式噴火の特性とその発生場。月刊地球, 22, 308-314.  
 竹内晋吾・奥村 聡・山野井勇太(2006):プルカノ式噴火の発生要因としての火道浅部マグマの増圧過程, 岩石鉱物科学, 35, 144-152.  
 林信太郎(2006):世界一おいしい火山の本, 小峰書店, p127.  
 林信太郎・毛利春治・伴 雅雄・大場 司(2005):キッチンで見つけた火山実験教材, 地球惑星科学関連学会2005年合同大会予稿集, A111-006.

TAKEUCHI Shingo (2006): Demonstration of an analog experiment using sushi vinegar and baking soda to simulate volcanic explosion.

<受付:2006年10月3日>