

キッチン火山実験とは？

秋田大学大学院 教育学研究科 教職実践専攻教授
林 信太郎



その時、私は茶こしに入ったココアの粉をふるって、小さな山を作っていた。そこは湖畔のカフェだった。しかも、透明度の高い水をたたえた十和田湖の湖畔なのである。この気持ちの良いカフェで、楽しい気分でココアをふるう私はいったい何をしていただろうか？これがこの寄稿のテーマの「キッチン火山実験」だったのだ。

このココアの山の中にはコンデンスミルクが仕こんである。これがマグマだまりのかわり。ココアの山はマグマだまりの上の地殻である。この実験はカルデラを作る実験である。実際の噴火では、マグマが噴出して火砕流となって抜けていく。この実験ではそのかわりにコンデンスミルクを下から抜くことでカルデラを作るのである（写真1）。

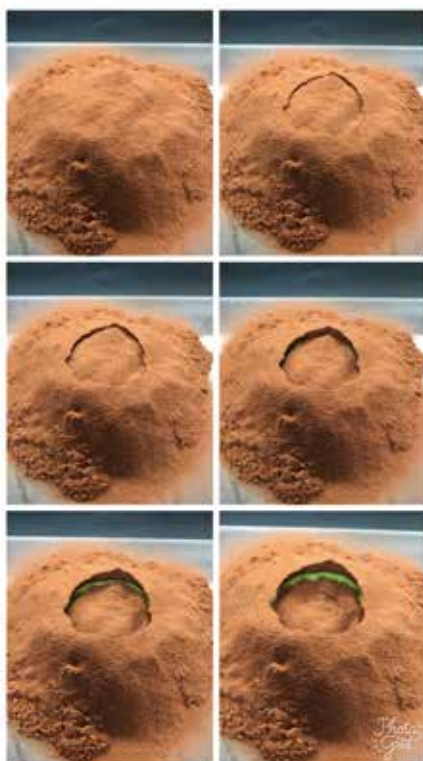


写真1 コンデンスミルクとココアのカルデラ実験。ココアの中にあるコンデンスミルクを抜くことによって陥没が起こる。

この時、私はNHKの人気番組「ブラタモリ」の案内人（#81 十和田・奥入瀬）として、タモリさんに十和田カルデラのできかたを解説していた。

このカフェで行った実験のように、ココアなどの身近な材料で火山現象を再現する実験は、キッチン火山実験と呼ばれている。私はここ10数年、キッチン火山実験の開発を続けている。本来は火山地質学者なのであるが、多くの方のイメージはキッチン火山学の専門家である。では、キッチン火山実験とはどのようなものだろうか？

キッチン火山実験で噴火のイメージをわかりやすく教える

火山災害は多様であり、「大きく異なった種類の現象が複合して生じる」（荒牧、1997）。空から火山灰が降ってきたかと思うと、火山灰が火山ガスとともに高温のまま流れてきて火砕流になったりする。ホームランボールのように（実際は、はるかに高速に）、弾道軌道を描いて火山弾や噴石が飛んできたかと思うと、ガラガラと溶岩が流れてきたりする。じつにいろいろなことが起きるのが火山噴火なのである。

噴火から避難するときは、起こる現象に対応して、すばやく行動する必要がある。現象が比較的単純な、津波や地震とは異なり、対応は多様である。

したがって、火山噴火から身を守るためには、様々な噴火現象のイメージをわかりやすく伝えることが必要である。

キッチン火山学の始まり

ところが、火山専門家の一般市民むけの説明は多くの場合非常に難しい。専門用語

を多用するし（ある程度は仕方ないが）、業界特有の言い回しがあったり、時には英単語を交えて説明したりするのである。これでは、多くの住民、特に高齢者や子供には理解不可能だろう。火山災害は誰にでも起こりうることだ。できるだけ多くの方に、噴火について知ってもらうことが重要で、わかりやすい説明が必要である。

では、どうやってわかりやすく説明するのか？

この問題について悩んでいた頃、私の趣味はお菓子作りだった。お菓子を作っていると目の前で火山そっくりの現象が起きる。沖縄のおやつサーターアンダギーを作ると、表面の割れ目が火山弾そっくりである。パウンドケーキをつくるとき、最終段階でタネを詰めるためにトントンとテーブルに打ち付ける。この時できるマール模様は日本の火山の地下にあると推定されているマントルダイアピルそっくりの形状になる。あるいはパンケーキ作りのとき、卵と牛乳を混ぜた液の上から小麦粉を振るう工程がある。このとき、小麦粉の山の周囲にできる環状の割れ目は、岩木山の東側の山麓に形成された環状の断層（鈴木、1972）とそっくりである。

最初は自分一人で面白がっていたのだが、これを説明に使えばきっとわかりやすいだろうと考え、小学校の出張授業で使い始めた。

キッチン火山実験第1号

私のオリジナルのキッチン火山実験の第1号は、潜在溶岩ドーム実験である。2000年の有珠山（北海道）の噴火のとき、地下に入りこんできた溶岩により地面が75mほど隆起した（三浦・新井田、2002）。隆起

した地面には多数の割れ目がはいって階段のようになった（写真2）。



写真2 有珠山2000年の噴火による地殻変動。地下に貫入した溶岩によって国道が階段のようになっている。

この現象を小学生に説明するとき、とても困った。地下にやわらかいマグマが入ってきてもりあがるのは直感的にわかるのだが、地面に割れ目が入ることはとても説明しにくい。なかなか子どもたちに「ピンとくる」説明がむずかしい。ならば、実験をすることで実感してもらおうということで開発したが、生チョコレートとココアによる溶岩ドーム実験なのである（林、2006）。

生チョコレートはガナッシュクリームとって、溶かしたチョコレートと生クリームを混合してつくる。すこし、ゆるめにつくるとマグマのモデルとしてとても良い物性を持っている（粘性と降伏応力の両方が適当）。また、地盤に使うのはココアである。ミルクココアではなく純ココア。様々な試行錯誤の結果、バンホーテンの純ココアがもっともよく火山体の割れ目を再現できた。

この実験の良いところは、できあがったチョコレートがたいへんおいしいことである。チョコレートショップでトリュフを買うと大変に高価だが、この実験でできあがるのは、まさにそのトリュフである。実験終了後、ココアの地面の下にあるトリュフを掘り出し、

形態を観察し、味見をするのはなかなかすばらしい体験である。

このようにして、私はキッチン火山実験を開発し始めた。いくつかのキッチン火山実験を紹介したい。

2018 年草津白根火山の水蒸気噴火

2018 年の 1 月 23 日、草津白根山で水蒸気噴火が発生し、1 名の方が亡くなった。おそらく地下深部からあがってきた熱水が浅いところで急激に沸騰して爆発が起きたのである。御嶽山 2014 年の水蒸気噴火の場合、爆発のエネルギーは TNT 火薬で数トン分に相当するという(谷口・植木、2014)。草津白根山でも、おそらくこのような爆発が起こり、爆発点周辺の石が飛び散ったのだろう。噴石の速度はまだ解析されていないが、噴火口とスキー場の位置から考えて、おそらく新幹線並みかそれ以上の速度だったと推定される。このような高速の噴石は大変危険である。3cm ほどの噴石が頭部にあたっただけで、致命傷になりかねない。写真 3 はこのような噴石の一例で、有珠山 2000 年噴火のものである。数十センチメートルサイズの噴石が火山灰でおおわれた道路上に多数落下していることがわかる。



写真 3 有珠山 2000 年噴火の噴石。写真中のスケールは 1m。

では、この難しそうなメカニズムの水蒸気噴火の爆発を、キッチン火山実験を使ってどう伝えたいだろうか？水蒸気噴火の爆発の起こり方と噴石の飛び方の二つに分けて考えよう。

水蒸気噴火とポップコーン

水蒸気噴火の爆発は平衡破綻型の爆発である(谷口、1996、北川、1980)。大気圧以上の圧力のかかった状態の水は 100℃よりも高温で水と水蒸気が平衡で共存する。この状態で圧力容器を壊すと、圧力が急激に低下し、過熱した水が発泡し 100 分の数秒で爆発的に沸騰する。火山の場合は、高温の熱水が上昇したり、浅所で熱水だまりがやぶれると、爆発が発生する。この現象はあまりにも危険でなかなか子供達に実験を見せるわけにもいかない。

そこで、採用したのがポップコーンである。ポップコーンは 180℃で爆発する。ポップコーン一粒の中に含まれる 0.02g の水の一部が気化し、内部の圧力はおよそ 10bar(= およそ 10 気圧)にもなっている。皮が弾けた瞬間に、残りの水が爆発的に気化し、激しくはじける(Virot & Ponomarenko、2015)。これは水蒸気爆発と同じメカニズムである。ポップコーンという親しみやすい材料を用いて、学校用の教材ができあがった。小学校での授業で使用してみたところ好評だった。

また、噴石はホームランボールのように弾道軌道を描きながら飛んでくる。これを再現するためには火山模型から勢いよく空気を吹き出して紙粘土でつくった噴石をとばすという実験が効果的である。詳しくは、林(2014)を参照されたい。

コンデンスミルクとココアの溶岩実験

溶岩のキッチン火山実験を紹介したい。

溶岩は粘性流体であり、ソース、マヨネーズ、コンデンスミルクなどがモデルとして使える。この実験では、溶岩の上部や下部にあるクリンカーを説明するために、コンデンスミルクとココアを使う。

実験はたいへん簡単である。お皿のはじの方にコンデンスミルクをすこしだけしぼる。そしてその上に茶こしで純ココアをかける。一見、ココアの山のように見えるくらいココアの粉を茶こしでかけるのである。これで、実験準備完了。あとはお皿をかたむけると、中のコンデンスミルクがココアをのせて流動し始める (写真 4)。



写真4 コンデンスミルク溶岩。この実験では顆粒状のミルクココアを使用している。

本物の溶岩、それも粘性の高い溶岩（日本に多い）では、最初に固まった表面部分が流動によってわれ細かいブロックが多数形成される。例えば、岩手火山の焼走り溶岩に行くと、みわたすかぎり、このようなブロックで覆われている（このブロックは、クリンカーと呼ばれ、トゲトゲとした小さな出っ張りがたくさんある）。

お皿を傾けてコンデンスミルクとココアを流動させる。すると、まずココアの表面がわれ始める。これが冷却し固結した溶

岩が割れる現象と対応している。細かく割れたココアのブロックは溶岩の前面からどんどん落ちていく (写真 5)。内部のコンデンスミルクはブルドーザーのキャタピラのように流動する。それにつれ、上に乗ったココアのブロックもどんどん溶岩前方に落ちていくのである。この様子は、実際の溶岩の流動と絶妙に似ている。ココアのブロックは、コンデンスミルク（まだ固結していない流動性を保った溶岩）に乗り越えられ、ココアのブロックの層が下敷きになる。



写真5 コンデンスミルク表面のココアの層が割れ、ブロックになり、さらに前面から落下していくのが観察できる。この実験では純ココアを使用している。



写真6 アア溶岩のクリンカーと溶岩の本体。十和田湖、十和田神社の近くの露頭。

.....

このようにしてこんな構造ができあがる。すなわち、最下部にココアブロックの層、その上にコンデンスミルク、さらにその上にはまたココアブロックの層。つまり、サンドイッチのような3層構造ができあがる。

実際、火山で見られる溶岩の露頭でもこのような3層構造が見られる。写真6は、青森県と秋田県の県境にある十和田湖の溶岩（十和田神社の近く）であるが、溶岩の下部にブロック化したクリンカーが認められる。

火砕流実験

火砕流は火山で起こる噴火現象の中でもっとも高速で危険な現象である。走って逃げることはできないので、火砕流が起こる前に、あらかじめ逃げておく必要がある（警戒避難）。ところが、火砕流のイメージがないと、「恐ろしい火砕流がくるから逃げて」といわれてもなかなか避難行動に結びつかない。火砕流を理解させることは、火山教育の中でもっとも重要なことのひとつだが、これも実験なしで説明するのはむずかしい。特に子どもの場合、言葉で説明しても、ビデオを見せても、さっぱりわかってもらえないのである。

そこで、考え出されたのが水槽火砕流実験である。日本では、神奈川県立生命の星・地球博物館の笠間友博氏が、最初にこの実験を開発した（笠間ほか、2011）。笠間氏は学校によくあるチョークを利用した実験を行ったが、筆者はこれを入浴剤に置き換えて実験している。入浴剤の方が簡便であるということ、および家庭の浴槽を使って大規模な実験を行えることがその理由である。

実験はとても簡単である。紙粘土で火山模型を作る。チューブを埋めこみ、火山の

上部に口をのぞかせるようにする。チューブのもう片方の端には半分に切ったペットボトルを接続する。

次に噴煙の元になる液体を作成する。スーパーなどから「バスロマン ミルクプロテイン」（銘柄はこれに限る）を購入し、この粉末を大さじ1杯カップに入れる。その14倍量の水を入れ良くかき混ぜる。

水槽に水を満たし、その底に火山模型を沈める。チューブの一方の端のペットボトルに先ほどの噴煙用の液体を入れる。すると、噴煙用の液体は火山模型の火口部分から勢い良く噴き出す。数センチあがったところで、噴煙は勢いを失う。「バスロマン ミルクプロテイン」は食塩を主成分とした、入浴剤なので水よりも密度が高い。したがって、バスロマンの噴煙は火口に向かって下降し、火山模型の周囲に高速で広がる。これが火砕流（噴煙柱崩壊型）に相当する（写真7）。



写真7 入浴剤のバスロマンでつくった火砕流。噴煙柱崩壊型の火砕流とよく似ている。

この実験を行うと、火砕流の勢いがよくわかるし、危険性も実感できる。また、流動層が厚く多少の尾根は乗り越えてしまうということも直感的に理解できる。詳しい実験方法については日本火山学会のウェブページに掲載されている、公開講座の資料を参照されたい（第18回公開講座「火山

学者と火山をつくろう in 旭川」テキスト
2011 年)。

岩なだれ実験

鳥海山の北西のふもとにあるにかほ市の象潟は、かつて芭蕉が訪れたことで有名である。当時は小さな湖(古象潟湖、汽水湖だった)があったが、1804 年の象潟地震でこの近辺は 2m ほど隆起し、湖はなくなってしまった。その湖にはたくさんの小さな島があった。芭蕉は船で島巡りを行い、俳句を詠んだのである。遠くに見えるのは鳥海山。この島々は今からおよそ 2500 年前の鳥海山の崩壊でできあがった。

紀元前 466 年鳥海山は突然崩壊した。山頂部がごっそりと抜け落ちて(およそ 3 立方キロメートル)その土砂が象潟に向かってすべりおちてきたのである(写真 8)。その速度は最高で時速 300 キロメートルを超えたと推定されている。このように火山が崩れる現象を火山体の崩壊、生じた流れを岩なだれ(あるいは岩屑なだれ)という。このような山体崩壊は地震、小さな噴火、あるいは火山体への溶岩の貫入が引き金になって起こる。鳥海山の 2500 年前の山体崩壊のきっかけは、まだよくわかっていない。



写真 8 鳥海山の 2500 年前の山体崩壊でできた東鳥海馬てい形カルデラ。

このような火山の大規模な崩壊物の堆積面は平坦になる。ところがその中に多数の丘ができるのである。結果として平坦地の中に丘が点在する(流山)というたいへん見栄えの良い景色ができあがる(写真 9)。ここに湖ができあがると、湖の中に多数の島が点在するという日本人好みの景色ができあがる。その一つがかつての象潟なのである。福島県の磐梯山、長崎県の島原市でも、同じように水域に散在する流山をみることができる。



写真 9 鳥海山の 2500 年前の山体崩壊でできた堆積物の上面に見られる流山。秋田県にかほ市象潟。

この流山のできかたを言葉で説明するのもなかなかむずかしい。流山のように堆積物から飛び出している場所は、じつはあまり破碎されていない火山のかけらである。

これを説明するために作成した実験が、マッサージ機を使った流山実験である。実験には珪砂(ホームセンターで販売されている)を使う。板の上に珪砂の山を作る。山を作る過程で、2、3 度スプレーで軽く水をかける。強力なマッサージ機でこの板を振動させる。すると砂の安定角は低くなり、砂は低い方へと流動を始める。その過程で、スプレーした部分は「ダマ」になり平坦な砂の面から多数の「ダマ」が頭を出し、流山のような地形ができあがる(写真 10)。



写真10 珪砂による流山実験。多数の「流山」が形成されている。3Dの赤色立体地形図上で実験を行った。立体モデルはアジア航測作成。

この実験は磐梯山火山博物館の佐藤公館長と開発したものである。じつはこの実験もプラタモリの磐梯山の回で紹介されている。また、詳しい実験方法については第20回公開講座「火山学者と火山をつくらう 姿を変える磐梯山の秘密」テキスト（2013年）を参照されたい。

キッチン火山実験の本の紹介

このようにキッチン火山実験を使うと、大規模で理解のむずかしい火山現象を直感的に理解させることができる。そのため、日本全国の火山でキッチン火山実験が使われている。特に近年数の増えているジオパークでは盛んに利用されている。

キッチン火山実験について調べるときには、最初に拙著の「世界ーおいしい火山の本」（林信太郎著、小峰書店）をおすすめしたい（写真11）。10数年前に出版した本だが、現在でも版を重ねている。それ以後に作成した実験については、拙著の「ジオパークへ行こう!」（林信太郎著、小峰書店）や日本火山学会のサイトにある公開講座のテキストを参照されたい。また、火山の基本や日本の主な火山について知るためには「知っ

ておきたい 日本の火山図鑑」（林信太郎編著、小峰書店）を参照されたい。なお、現在これまでのキッチン火山実験をとりまとめた新しい本を構想中である。しかしながら、人一倍遅筆の私としてはいつできあがるのかは定かではない。

また、キッチン火山実験の映像はインターネット上でもすぐに発見できる。特にNHK、Eテレの「学ぼうBOSAI」のサイトでは、私の行ったキッチン火山実験映像を見ることができる。第17回の映像では入浴剤の火砕流実験を、第18回の映像では紙粘土の噴石実験を使って火山現象を解説している。



写真11 林信太郎著「世界ーおいしい火山の本」（小峰書店）と「知っておきたい 日本の火山図鑑」

.....

さいごに

日本は世界有数の火山国である。今後も大きな火山災害が起こるに違いない。そんなとき、住民一人一人が火山に関する知識を持ち、自分の身を自分で守ることができるように、今後もキッチン火山実験の開発及び普及の努力を続けていきたい。

参考文献

- 荒牧重雄 (1997) 序章. 宇井忠英(編)『火山噴火と災害』(東京大学出版会), pp.1-18.
- 林信太郎 (2006) 世界一おいしい火山の本—チョコやココアで噴火実験—. 小峰書店, pp.127.
- 林信太郎 (2015) 噴石から「逃げる, 隠れる」—御嶽山 2014 年水蒸気噴火災害の教訓をもとに開発した火山噴火実験教材. SABO,no.117, p.8-12.
- 笠間智博, 平田大二, 新井田秀一, 山下浩之, 石浜佐栄子 (2011) 水槽実験を活用した小学生向け火山学習プログラム. 地学教育, 64, p.1-12.
- 北川徹三 (1980) 爆発災害の解析. 日刊工業新聞社, pp.348.
- 三浦大助, 新井田清信 (2002) 有珠火山 2000 年噴火における岩脈形成過程と潜在ドームの形成メカニズム. 火山, 47, p.119-130.
- 鈴木隆介 (1972) 岩木火山の変位. 地理学評論, 45-11, p.733-755.
- 谷口宏充 (1996) 高温流紋岩質溶岩流: 水接触型マグマ水蒸気爆発の発生機構. 地質学論集 (46), p.149-162.
- 谷口宏充・植木真人 (2014) 御嶽山の地下で何かが起きていたのか?—御嶽山 2014 年水蒸気噴火のメカニズム—. 2014 日本火山学会講演予稿集 2014 年度秋季大会 別冊: 緊急学術セッション, UP-16, U19.