

おいしい火山実験

高柳慎一郎*1・早川由紀夫*2

*1 吉岡町役場

*2 群馬大学教育学部理科教育講座

1. はじめに

家庭にある調理道具と食材を使って火山におけるさまざまな現象を再現する実験をキッチン火山学という。キッチン火山学最大の魅力は、身近なものを使って火山の現象を再現できる手軽さと、実験後に食べることができる楽しみにある。

ここでは、コーラ噴火実験、小麦粉溶岩流実験、カルメ焼きの3つの実験を紹介する。小中学校で理科実験をするときの参考にしてほしい。

2. コーラ噴火

数多くある炭酸飲料の中で、噴出の量に違いがあるかどうかを調べた。実験は、コカ・コーラ、ファンタ、炭酸水、C.C.レモン、ペプシ、バブルマン、カルピスソーダ、レモンスカッシュ、三ツ矢サイダー、がぶ飲みメロンソーダの10種類を使用し、ペットボトルを振る回数を3回と統一して炭酸の飛距離を測定した。

結果を、各炭酸飲料の特徴と一緒に表1に示した。総合的に見て、この実験に適している炭酸飲料は、コカ・コーラとペプシである。

表1 各炭酸飲料の炭酸の飛距離と特徴

商品名	飛距離 (cm)	特徴
コカ・コーラ社 コカ・コーラ	830	着色されていて観察しやすい。
コカ・コーラ社 ファンタ	670	距離が不十分である。
サントリー 炭酸水	800	噴出の勢いが継続しない。
サントリー C.C.レモン	760	距離が不十分である。
サントリー ペプシ	870	着色されていて観察しやすい。
サントリー バブルマン	1090	缶のため中身の炭酸が見えない。
カルピス社 カルピスソーダ	560	距離が不十分である。
不二家 レモンスカッシュ	620	距離が不十分である。
アサヒ 三ツ矢サイダー	1110	無色透明で炭酸が観察しにくい。
サッポロ メロンクリームソーダ	580	距離が不十分である。

コカ・コーラの液温の違いで噴出量に違いがあるかどうかを調べた。

常温で保存しておいたコーラと、冷蔵庫に保存しておいたコーラを使用して、ペットボトルを振る回数を3回に統一した。よく噴出するのは、常温で保存しておいたコーラであった。コーラの液温は高いほうが炭酸をよく噴出することがわかる。

ふたに開ける穴の大きさの違いで噴出の量に違いがあるかどうかを調べた。穴の大きさを1～10mmまで1mm間隔で穴の大きさを変えて、ペットボトルを振る回数を3回に統一した。結果を表2に示す。穴の大きさが大きくなればなるほど、噴出の量が多くなることがわかった。しかし、穴が大きすぎる（7～10mm）と、炭酸だけでなく、コーラ自体も多く噴出し、実験者がぬれてしまう。また、穴が小さすぎる（1～3mm）と、噴出するのは、細かい炭酸だけになってしまい、迫力に欠ける部分がある。迫力があり、ぬれる可能性が低い穴の大きさは、5mm前後である。

表2 穴の大きさと炭酸の噴出量の関係

穴の大きさ (mm)	噴出の量
1	+
2	+
3	+
4	++
5	++
6	++
7	+++
8	+++
9	+++
10	+++

実験

【目的】 火山の噴火で、マグマから軽石と溶岩ができることを、コーラを使って理解する。

(i) 屋外用

【準備するもの】 500ml ペットボトルのコーラ、きり、ドライバーセット



【実験手順】

- ① 常温で置いておいたコーラを準備する。
- ② ペットボトルのキャップに、きりとドライバーセットを使って直径約5 mmの穴を開ける。
- ③ 穴を指で押さえて、ペットボトルを振る。
- ④ 指を離す。

(ii) 室内用

【準備するもの】

500ml ペットボトルのコーラ、森永ラムネ 17粒、試験管、5cm×5cm くらいの紙



【実験手順】

- ① 試験管に森永ラムネ17粒を詰める。
- ② 常温で置いておいたコーラのふたを開け、流し台におく。
- ③ ①の試験管の口に紙を当て、逆さまにする。
- ④ ③の試験管と飲み口が重なるようにコーラの飲み口に乗せる。
- ⑤ 紙を抜き、ラムネをペットボトルに入れる。
- ⑥ 炭酸が出てくる様子を観察する。



【解説】コーラ噴火実験では、ペットボトルを振ったり、コーラの中にラムネを入れたりして、刺激を与えると、コーラの液中に溶けていた炭酸が、一気に気化し、体積膨張によってコーラが穴から勢いよく噴出する。噴出が終わると、ペットボトル内に炭酸の泡がしばらく残る。ペットボトル内に残っているコーラは、2～3回くらい同じ実験をすると、炭酸は、ほとんど抜けてしまい、噴出は、もう起こらない。ペットボトルの側面を押しつぶすと、穴からコーラがあふれる。

火山噴火では、マグマが地下深くにあるときは、高温高压のため揮発性成分である水は、マグマ中に溶け込んでいる。そして、マグマが、地下深くから地表に上昇してくると、圧力が低下し、揮発性成分である水が、マグマ中で気泡になり爆発的に地表に噴き出す。こうして軽石ができる。マグマ中に溶け込んでいる揮発性成分が、なくなると、地下から新しいマグマの供給、または周囲の岩盤から押されたりして、溶岩が火山口からあふれ出る。

3. 生クリーム溶岩流

小麦粉ときな粉を使った溶岩流実験では、実験後に小麦粉ときな粉が大量のごみになる。ごみを減らすために、実験後に食べられるような食材がほしい。そこで思いついたのがホットケーキミックスの粉とココアを使った溶岩流実験と、生クリームとココアを使った溶岩流実験である。

ここでは、小麦粉、ホットケーキミックス、生クリーム各実験の長所・短所を示していく。まず、準備は、小麦粉、ホットケーキミックスともに袋の中に粉と水を入れ手から混ぜるので、袋の口を汚すことなく準備を進めることができる。また、混ぜる時間もそれほどかからない。一方、生クリームは、ホイップしてから袋に入れるので、袋の口が汚れてしまう場合がある。また、生クリームをホイップするのも時間がかかってしまう。火山の形は、小麦粉、ホットケーキミックス、生クリーム、すべての実験において、傾斜のゆるやかな火山と傾斜の急な火山を再現することができた。ただ、小麦粉とホットケーキミックスの実験において、傾斜の急な火山を再現するときに、ビニール袋が破れてしまう場合がある。次に、食べることができるでは、小麦粉は、実験後、簡単に調理できるものがなく、そのまま廃棄物になってしまう。

この食材の廃棄物をなくすために考えたのが、ホットケーキミックスである。ホットケーキミックスは、実験後、卵を入れて混ぜて、フライパンで焼くことにより、チョコレート風味のホットケーキを作ることが

できる。しかし、傾斜の急な火山を再現した材料は、水と卵を加えても、だまになってしまい、うまくできないことがわかった。そこで生クリームを使うことを考えた。生クリームは、ホイップする時間により粘性を変えることができる。また、実験後、そのまま食べることができる。味も生クリームとココアの組み合わせなので、とてもおいしい。

ごみの量と片付けは、小麦粉は、廃棄物が多いので片付けが大変である。ホットケーキミックスは、半分は食べることができて残りの半分が廃棄物なので、小麦粉よりもごみは少なく、片付けも楽である。生クリームは、すべて食べることができるので、ごみも少なく、片付けもとても楽である。価格は小麦粉が一番安い。次に、ホットケーキミックス、生クリームと続く。表3の各実験材料の比較をし、総合的に見て、実験に適している材料は、生クリームである。

表3 各実験材料の比較

	小麦粉	ホットケーキ	生クリーム
準備	○	○	×
火山の形	○	○	○
食べることができる	×	△	○
ごみの量	×	△	○
片付け	△	△	○
価格	○	△	×

実験

【目的】火山の形は、マグマの粘性の違いによって決まることを、生クリームを使った実験を行うことにより、理解する。

【準備するもの】

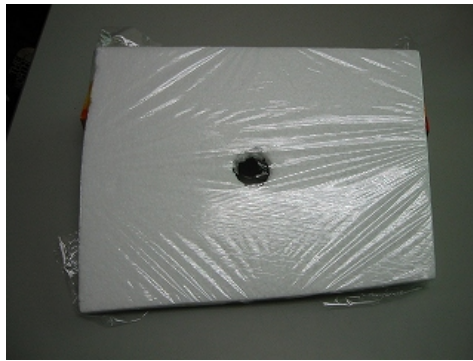
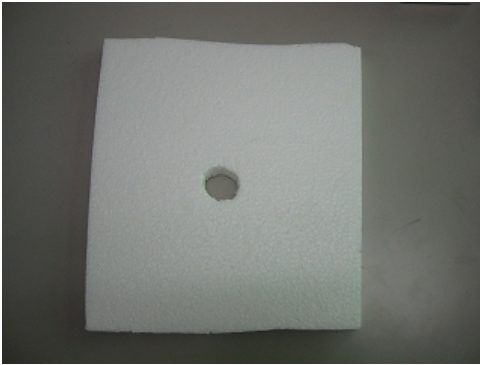
生クリーム（200ml）、砂糖（15g）、ココア（適量）、発泡スチロール板（およそ25cm×25cm×0.5cm）×2、三脚×2、ラップフィルム、セロハンテープ、カッター、ボール、泡だて器、スプーン、ビニール袋（およそ20cm×12cm）×2、もしくは、ビニール袋（およそ20cm×12cm）1枚と、しぼり袋×1（クリスマスの時期に生クリームを買うとついでに）



【実験手順】

① 土台の作成

発泡スチロール板の中央部にカッターで直径約3cmの穴をあける。スチロール板にラップフィルムをかぶせ、セロハンテープで固定する。スチロール板の穴に合わせて、ラップフィルムに穴をあける。



② 溶岩に見立てる生クリームの作成

ボールに生クリーム200mlと砂糖15gを入れて、泡だて器でかき混ぜる。かき混ぜていて生クリームがトロトロになってきたら、いったんかき混ぜるのをやめて、半分くらいをビニール袋に流し込む。残った生クリームは、少し硬いかなと思うくらいまでかき混ぜる。完成したら、スプーンでビニール袋の中に入れていく。



※しぼり袋を使う場合

しぼり袋の先を5 cm くらい切り、口を大きくする。しぼり袋の口の部分を発泡スチロール板の穴の下から上に出し、セロハンテープでラップに貼る。逆さにして、少し硬く作った生クリームを入れる。硬いので、下の穴から生クリームが出ることはない。生クリームを入れ終わったら、口をセロハンテープなどでふさぐ。



③ 粘性の確認

2つのビニール袋に入った生クリームの粘性の違いを確認する。このとき、スプーンなどで取って、実際に触ってみるとよい。

④ 組み立て

実験方法①で作った発泡スチロール板を三脚の上ののせ、ビニール袋の口の部分を発泡スチロール板の穴の下から上に出し、セロハンテープでラップに貼る。このとき、ビニール袋の口の部分に生クリームがついている場合は、ティッシュで拭いてからセロハンテープを貼るとよい。ビニール袋を手で絞り、溶岩に見立てた生クリームが発泡スチロール板と同じ高さまでくるようにする。発泡スチロール板の穴のまわりに、5 mm くらいの厚さになるようにココアをのせ、地表に見立てる。



⑤ 火山を噴火させる

ビニール袋をゆっくりと絞り、溶岩に見立てた生クリームが出てくる前後の様子、出てきた溶岩の形を観察して、2つの溶岩流を比較する。



⑥ みんなで食べる

実験・観察が終わったら、生クリームは食べることができる。



【解説】生クリーム溶岩流実験では、生クリームに含まれる空気の量によって、生クリームの粘性を調節した。生クリームに含まれる空気の量が多い、つまり、ホイップする時間が長ければ、粘性は大きくなる。また、生クリームに含まれる空気の量が少ない、つまり、ホイップする時間が短ければ、粘性は小さくなる。

実際の火山では、マグマ中の二酸化珪素 (SiO_2) の含有量とマグマの温度により、火山の形は決まる。マグマ中の二酸化珪素が多ければ、粘性は大きくなる。粘性が大きくなると、マグマは流れにくく、傾斜の急な火山ができる。また、マグマ中の二酸化珪素が少なければ、粘性は小さくなる。粘性が小さくなると、マグマは流れやすくなり、傾斜のゆるやかな火山ができる。

4. カルメ焼き

お玉で作るカルメ焼きは、温度管理が難しく、失敗も多い。また、子どもたちが作るのには十分な大きさだが、教師の演示実験には小さいと感じた。そこで、参考となったのが、「青少年のための科学の祭典 2005年全国大会」で出展していた「カルメ焼きはなぜふくらむ」と「“プウ〜”っとふくらむカルメ焼き」というコーナーであった。出展されていたコーナーでは、容器をクッキングシートでおおうように包み、

そこに重曹卵を入れる。そして、加熱した砂糖水を流し込み、砂糖水から出てくる泡が小さくなってきた時にかき混ぜるというものであった。この方法なら、簡単で失敗も少なく、巨大カルメ焼きが出来ると思い、研究を進めることにした。

実験

【目的】パン皮火山弾や軽石ができる様子を、カルメ焼きを作ることによって理解する。

(i) 直径15cmカルメ焼き (教師演示実験用)

【準備するもの】

重曹卵 (卵白 2g、重曹 6g、砂糖 1g)、上砂糖 大さじ9杯、水 50cc、片手なべ、200℃まで計測できる温度計、直径15cmくらいのドンブリ、クッキングシート、割り箸、計量スプーン、ボール (ドンブリよりも大きいもの)



【作り方】

① 重曹卵を作る

卵白2g(小さじ1/2)に重曹6gを加えて、割り箸でかき混ぜる。1～2分くらいかき混ぜるとシャーベット状になる。砂糖1gを加えざっとかき混ぜて、重曹卵の出来上がり。塊になってシャーベット状にならない場合は、卵白を少し加えて、また、水っぽくなってしまった場合は、重曹を加えてシャーベット状になるようにする。

② 容器の準備

ドンブリをクッキングシートでおおうように包む。そして、容器にビー玉くらいの大きさの重曹卵を入れておく。



③ 砂糖水を加熱する

砂糖大さじ9杯に水50cc加え、中火にかける。加熱中は、砂糖水の温度が均一になるようにかき混ぜる。しばらく加熱すると、泡が立ち始める。水が沸騰するような感じになるくらい泡が出てきたら、約100℃である。さらに加熱し、115℃くらいになったら火を弱火にする。ここからは温度が緩やかに上昇し、水っぽかった砂糖水はだんだん粘度が増してきて、カレーをぐつぐつ煮込んでいるような状態になる。130～140℃になると無色透明であった砂糖水がうっすら黄金色になる。ここで火からおろす。



④ 容器に加熱した砂糖水を流し込む

火からおろした後、クッキングシートを敷いた容器に加熱した砂糖水を流し込む。流し込んだ直後、大きな泡が出てきますが、かき混ぜずにしばらく待つ。泡が出てこなくなったら、クッキングシートが破れないように注意しながら、割り箸で思いっきりかき混ぜる。

カルメ焼きの膨らみ方に2つのパターンがある。

- ・ かき混ぜるとすぐに膨らむパターン

かき混ぜていると膨らみですが、ここで手を休めず、割り箸で混ぜている軌跡がでてくるまでかき混ぜる。軌跡が見えてきたら、割り箸をそっと抜き、そのまま置いておく。しばらくするとプーッと膨らみ、表面に亀裂ができる。

- ・ かき混ぜてもすぐに膨らまないパターン

かき混ぜた直後は、白色になるが、しばらくかき混ぜると黄色に変化する。そして、粘り気が出てきたら、割り箸を抜き、膨らむのを待つ。



⑤ 冷却

膨らみ終わったら、水の入ったボールにドンブリをそのまま入れ、冷却し固める。

⑥ どんぶりから取り出す

カルメ焼きが十分冷えたら、ボールからどんぶりを出し、どんぶりからクッキングシートを外す。このとき慎重に外さないと、せっかく作ったカルメ焼きが割れてしまう場合がある。



(ii) 小さなカップで作るカルメ焼き (生徒実験用)

【準備するもの】

「直径15cmカルメ焼き」で準備するものとほぼ同じである。変更点は、「直径15cmくらいのドンブリ」を下の写真のような「直径10cmくらいの小さいカップ」にするだけである。



【作り方】

「直径15cmカルメ焼き」での作り方とほぼ同じである。変更点は、【作り方】④で「加熱した砂糖水を各カップに小分けする。」だけである。

【解説】

(i) 教師用

カルメ焼きの発泡は、炭酸水素ナトリウムの分解によって起こる。最初に、砂糖水を130℃くらいまで加熱することにより、砂糖水に粘度を持たせる。その砂糖水の中に炭酸水素ナトリウムを入れ、かき混ぜると熱により炭酸水素ナトリウムが分解され、二酸化炭素が発生する。このとき表面は、空気により冷却され皮を形成する。内部は、高温で炭酸水素ナトリウムの分解で二酸化炭素が、発生し続けている。この発生した二酸化炭素が、粘度を持った砂糖水の中から外に逃げ出すことができずに膨れ、表面の皮が破れる。内部は、二酸化炭素が発生した空洞がたくさん見られる。化学反応式は、 $2\text{NaHCO}_3 \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \uparrow$

安山岩火山の噴火によって、パン皮火山弾を見ることができる。マグマには、水などの揮発性成分が含まれている。マグマが地下深くにあるときは、高温高压のため揮発性成分は、マグマ中に溶け込んでいる。そして、マグマが、地下深くから地表に上昇してくると、圧力が低下し、揮発性成分が、マグマ中で気泡になり噴火を起こす原因となる。地表に放出された溶岩は空中を飛びながら、冷却され表面にガラス質の皮を形成する。しかし、溶岩内部は高温であるため発泡し続けて体積が増加し、表面の皮が破れひび割れが生じ、内部には空洞がたくさん見られる。

(ii) 生徒用

パン皮火山弾は、噴火のときに火口から飛び出した溶岩によって出来る。火口から飛び出した溶岩は、とても熱い。飛び出した溶岩は、空気によって一気に冷やされて、表面が固まる。しかし、溶岩の中は、まだ熱いので、泡が発生する。泡が発生すると、溶岩の中の体積が増えるので、空気によって冷やされて固まった表面の皮を破って、割れ目ができる。このようにして、パン皮火山弾ができる。

5. おわりに

食材を使った火山実験を3つ紹介した。これらの実験を火山学習の授業素材として、教育現場で利用してもらえたら幸いである。また、宮永忠幸が2006年2月に群馬大学大学院教育学研究科に提出した修士論文「中学理科の火山学習プログラム」とあわせて使うとスムーズに授業が展開できる。この論文の概要は、2007年3月発行の群馬大学教育学部紀要に印刷される。

本稿は、高柳が2006年1月24日群馬大学教育学部に提出した卒業論文にわずかに手を加えたものである。卒業論文を作成するにあたり、アドバイスや撮影を手伝っていただいた研究室の皆さんにこの場を借りて感謝申し上げます。

高柳慎一郎・早川由紀夫（2007）おいしい火山実験。群馬大学教育実践研究、24、109-119.