

地学現象の実感を育成するモデル並びにモデル実験

各務原高等学校 林 讓治

「1：火砕流モデル実験」

1 目的

火砕流は、粉碎されたマグマや高温の岩石が、ガスとともに地表面を一団となって時速数十～100km以上の速度で流下する現象で、しばしば、甚大な災害をもたらしている。この火砕流の運動像についてアクリル透明容器を用いたモデル実験により、発生しやすい条件や運動像などを探究する事を通し、火砕流を実感する。

2 準備

アクリル透明容器（30×30×30cm：厚さ2mmのアクリル板で作成、同程度の水槽でも代用できる。）ビデオカメラ、ストップウォッチ、メスシリンダー（1l）、ピーカー（500mlと50mlを各1～2ヶ）、電卓、定規、自動上皿天秤、ビニール袋、500mlペットボトル、シリコンチューブ（直径5mmと6.5mmを各200cm程度）、ゴム管、アランダム（#2000、#1000）、カーボランダム（#800）食塩100g程度、ガラス管（長さ5cm程度）浮き計り、ゴム栓（9号）、薬包紙、薬さじ、油粘土（水に溶けないもの）ピンチコック、コルクボーラー。

3 原理

火砕流は、噴出された火砕物と空気塊が一団となって地面をほうよう移動する層流であり、火山噴出物を含む火砕流本体は、周囲の空気塊の密度より大きく、かつ、拡散しない特徴を持っている。このモデル実験は、実際の火砕流とを比較した結果、火砕流の密度、および、火砕流自体の粒子径、火口径に注目して実験を行う(図1)。

なお、火砕流は、その移動形式から、(a)噴煙柱崩壊型、(b)低圧吹きこぼれ型、(c)ダイレクトプラストおよび溶岩円頂丘崩落型などの発生モデル(図2)が示されているが、この実験では、主に、噴煙がほぼ垂直に上昇した後に下方に崩れて落ちる噴煙柱崩壊型の火砕流を扱った。

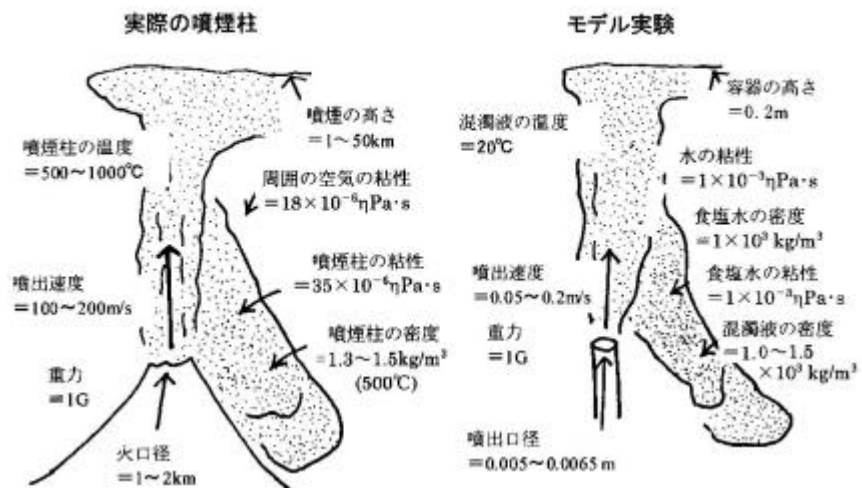


図1 モデルと火砕流の物理量の比較（岐阜県教育委員会：2000を一部修正変更）

混濁液の密度、噴出速度（=位置エネルギー）、発生に火砕流の噴出口径が、影響を与える（図中のデータは、宇井（1997）と理科年表（1998）および実測値による）。

4 方法

(1)火砕流のモデル実験の仮説

実験は、次の仮説A～Eを変化させて実施する。火砕流の挙動を見せるのが目的の場合は、結果のグラフ(図5,6)から発生しやすい濃度と高さを読みとって実施する。

仮説A：噴煙柱崩壊型の火砕流は、噴煙柱に働く上昇エネルギーに比べて重力が大きく

- なった時に発生する ペットボトルの高さが低いときに発生しやすい
- 仮説イ：周囲の空気密度に比べ噴煙柱の密度が高いほど噴煙柱崩壊型の火砕流が発生する 混濁液の濃度が濃いほど発生しやすい。
- 仮説ウ：大規模火砕流ほど大きな岩塊を含み遠方まで到達する。 混濁液の粒度の大きいほど火砕流が発生しやすい。
- 仮説エ：大規模火砕流を発生させるバイアス型カルデラは巨大な噴火口を形成する シリコンチューブの径が大きいほど、火砕流が発生しやすい。

(2) 実験装置の製作と実験方法

アクリル透明容器の製造：市販されている一辺30cm程度の正方形のアクリル板をジエチルメタンによって接着し、透明容器を作成する。この時、水漏れにはよく注意する。なお、一般の市販の水槽でも、代用できるが、その時は、4角が多少見にくい。

噴出装置の製造：500mlのペットボトルの底をハサミなどで切り落とす。切り口をサンドペーパーなどで少し磨いた方が安全である。次に、コルクボーラーを使い、ゴム栓にガラス管が入る大きさの穴を開け、長さ5cm程度のガラス管を入れる。この時、ペットボトル側にはガラス管をあまり出さない方がよい。ゴム栓をペットボトルの口にセットした後、スタンドのある高さ（仮説ア）に固定する。高いスタンドがない場合は、手に持って行う（図3）。

火山モデルの作成と設置：粘土で高さ数cmの火山モデルを作り、その中央部に径5mm程度の穴を開ける。穴に、直径5mmシリコンチューブ（仮説エ）を折れ曲がらないように通した後、アクリル透明容器のほぼ中央部に粘土の火山モデルを固定する。シリコンチューブが6mmの時は、火山モデルに開ける穴は大きくする。また、火山モデルの火口の位置にシリコンチューブの端を一致させる。

噴出装置の完成と準備：ペットボトルのガラス管にピンチコックを付けた後、火山モデルに繋いだシリコンチューブのもう一方を、スタンドに固定したペットボトルのガラス管に接続する。次に、水槽に、15,000ml（深さ24cm）程度の水を入れる。（食塩を少量加えると、火砕流がより発生しやすくなる。）シリコンチューブの中の空気を追い出すために、ペットボトルに少量の水を入れ、水槽内に流す。ペットボトルにいれた水がほぼなくなった頃に、ピンチコックでシリコンチューブを締める。

混濁液の準備：1~10g（仮説イ）の#2000のアラウンドム（または、カーボラウンドム）（仮説ウ）と、水100mlを、ビーカーに入れ、ガラス棒でよく混濁させる。混濁液はすぐに沈殿するため、実験するときには必ずガラス棒で混濁してから、ペットボトル内に流し込む。

モデル実験

混濁液をペットボトル内に入れると同時に、ピンチコックを開き、混濁液を水槽内に流入させる。仮説ア~エに従って条件を変化させて、水槽内に形成される混濁液の形態に注目し、分類などを行う。

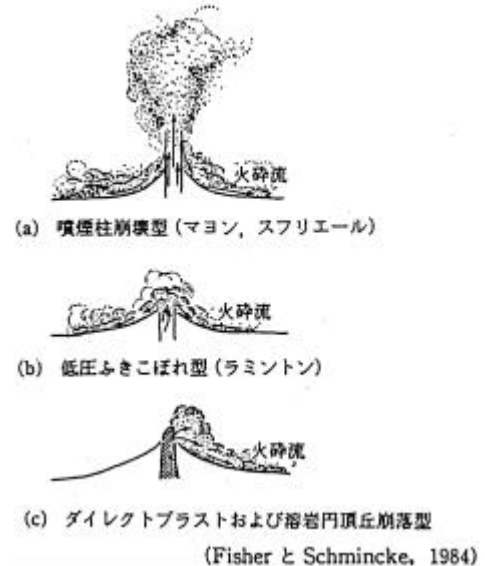


図2 火砕流発生モデル

実験では、主に、噴煙柱崩壊型を扱ったが、時に、低圧吹きこぼれ型が発生した（下鶴他：1997より）。

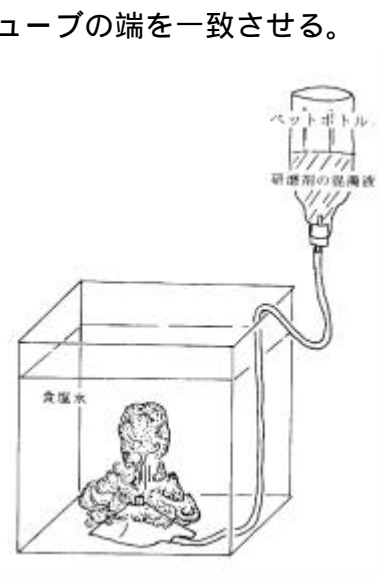


図3 実験装置

ペットボトルの中に岩石研磨剤混濁液を入れた後ピンチコックを開き、火砕流を発生させる（林：2001）。

5 結 果

(1) 噴煙柱のタイプと火砕流との関係

直径5mmのシリコンチューブから、#2000（細粒）と#1000（粗粒）のアランダム混濁液を、濃度と高さを変化させた結果、観察された噴煙柱は、タイプA～Fである（図4）。

タイプAは、その形態から低圧吹きこぼれ型火砕流に、また、タイプB～Dは、噴煙柱崩壊型の火砕流に相当し、ボルカノ式からウルトラプリニー式噴火の噴煙柱が崩壊して火砕流が発生する様式に相当するものと考えられる。タイプE、Fは、噴煙柱が上方で拡大する形態から、プリニー式～ウルトラプリニー式噴火に相当し、タイプEの様に一部噴煙柱が下方に崩壊して、噴煙柱崩壊型火砕流を発生することもある。

(2) 煙柱崩壊型火砕流の発生条件

タイプB～Eの噴煙柱崩壊型火砕流は、アランダム（#2000）の噴出実験では、高濃度程、また、中程度の位置エネルギーほど発生しやすく、アランダム（#1000）はより低濃度で発生する（図5,6）。これらは、先に示した仮説が妥当であることを示す。







タイプ	模 式 図	特 徴	火砕流との対比
A		噴煙柱を形成せずに、火口から直ぐに一塊りになって火山斜面を移動する。	低圧吹きこぼれ型火砕流に対応。
B		噴煙柱は、少し上昇した後、一気に一塊りになって下降し、側方に移動する。	噴煙柱崩壊型火砕流に対応。
C		噴煙柱は、水中の中ほどまで上昇した後、タイプBと同様に一気に下降し、一塊りに移動する。	
D		噴煙柱は、水槽の水面近くまで上昇した後、一気に下降を開始し、一塊りとなって移動する。	
E		噴煙柱は、ほぼ垂直に上昇し、水面近くで側方に広がる一方、その一部が崩れ、一塊りに移動する。	
F		噴煙柱は垂直に上昇し、水面近くで側方に移動するが、一塊りでは、下降しない。	

図4 観察される噴煙柱の形態

観察された噴煙柱を分類した。これらのタイプは、水面と位置関係や広がり方によって更に分類される（各務原高校地学部：2001を加筆修正）。

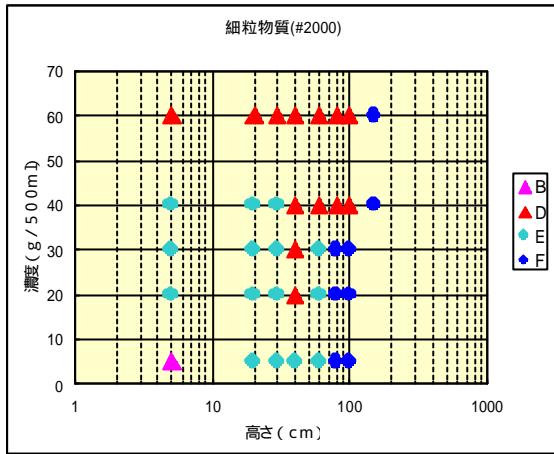


図5 (左): 細粒な#2000のアランダムの結果
噴煙柱崩壊型の火砕流は、高濃度、中程度の
高さの時に発生する。

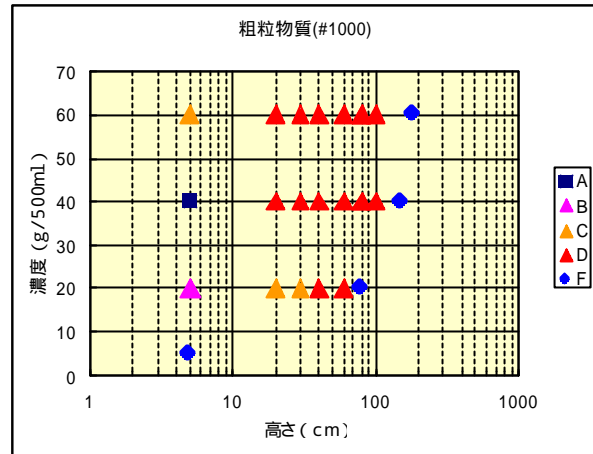


図6 (右): 粗粒な#1000のアランダムの結果
細粒な#2000のアランダムの結果とよく似ている
が、噴出エネルギーがより大きい場合や低濃度で
でもきれいな噴煙柱崩壊型火砕流が発生している
ことが分かる。

(図5,6は各務原高校地学部:2001より作成)。

6 まとめ

- ・火砕流は、教科書などには簡単な説明しかないので、発生機構やその災害について、実感として把握しにくい。しかし、この実験は、自分の手で実験するので、「一塊となり襲ってくる火砕流」が実際の体験のように感じられる。
- ・火砕流の発生条件として、噴出速度、火砕物の粒度、火口の大きさが重要であることが推論できる。
- ・混濁液が水槽の底に作った数cmの高まりを楽に越えるのを見て、生徒は、実際の火砕流が数百mの山も越えてゆくと結論づけるとともに、火砕流のすごさを実感できる。

7 引用文献

- 宇井 忠英 (1997): 火山噴火と災害、東京大学出版会
- 各務原高校地学部 (2000): モデル実験による火砕流の研究、岐阜県高文連自然科学部会のあゆみ、Vol.18,13-24。
- 各務原高校地学部 (2001): 日本の火山噴火を探る - 火砕流の研究 その2、岐阜県高文連自然科学部会のあゆみ、Vol.19,印刷中。
- 下鶴 大輔・荒牧 重雄・井田 喜明編集 (1997): 火山の事典、朝倉書店
- 岐阜県教育委員会 (2001): モデル実験による火砕流の研究、理数科指導の手引き、28集、45-54。
- 林 譲治 (2001): 火砕流と液状化の簡単モデル実験と指導、平成12年度東レ理科教育賞受賞作品集、41-44。
- 理科年表 (1998): 国立天文台、丸善。

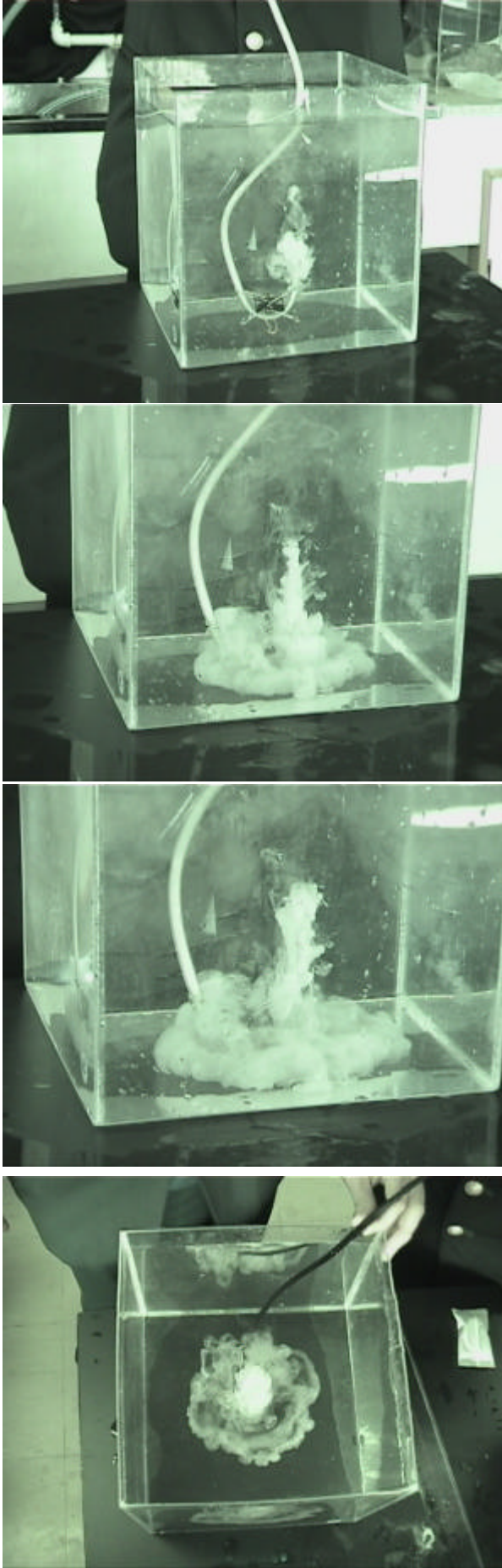


図7 火砕流の写真

上3枚が、上昇する噴煙柱が崩壊する連続写真である。一番下のそれは、側方に広がる様子を示し、この混濁液が容易に高まりを越えてゆく。