

火砕流のモデル実験

横山 光（壮瞥町立壮瞥中学校）

日本には108の活火山がある（気象庁）。そのうち北海道には北方領土を含め29の活火山があり、4つの火山がランクAの活火山として指定されている。筆者が勤務する壮瞥町は町内にランクAの活火山である有珠山があり、この山は20～50年に一度噴火を繰り返してきた。今回、この有珠山における防災教育の一環として、火砕流の噴火モデル実験をおこない、その結果から子ども達にハザードマップの重要性に気づかせる実践をした。理科教育センターのアドバンス講座に於いて教材開発をおこない、壮瞥中学校で実践をしたので、報告する。

〔キーワード〕 中学校理科 大地の変化 地域の地質素材 火山災害 モデル実験

はじめに

有珠山は約2万年前に噴火活動を開始し、その山体を形成し、約7000年前の山体崩壊を伴う大噴火を最後に活動を休止していた。しかし、1663年に噴火活動を再開してからは、約20～50年周期で噴火を繰り返してきた。有珠山を有する壮瞥町では町が中心となって火山防災の取り組みを進めており、様々な学習会が催されている。

壮瞥中学校では、5年前より総合的な学習の時間の中で「火山防災学習」を扱っており、専門家を招いて、野外学習や講座を開催してきた。しかし、生徒が主体的に学習活動に取り組む場が少なく、そのような場をカリキュラムの中に設定することが課題となっていた。そこで今回、生徒達の活動や興味を引き出すことを目的とした火山災害（火砕流）のメカニズムを学ぶ実験を交えて、実践をおこなうことにした。

1 火砕流を扱うことの意義

有珠山が噴火した際の火山災害として、最も大きな被害が予想される現象が火砕流である。実際、過去の噴火に於いて火砕流は度々人的被害を出している（表1）。そのため、今後、有珠山が噴火する際に火山学者が最も警

戒しているのがやはり火砕流である。

表1 有珠山噴火の歴史

有珠山噴火の歴史	
1.5～2万年前	成層火山の形成、側火山ドンコロ山スコリア丘も形成。
7千～8千年前	善光寺岩屑流発生（山体崩壊で流れ山形成）。外輪山形成。
1663年（寛文3年）	6千年の休止期終了。大量の降灰で家屋埋積、死者5名。
17世紀末	最近見つかった噴火。詳細はわかっていない。
1769年（明和5年）	小有珠形成。降下軽石。火砕流で家屋火災の記録あり。
1822年（文政5年）	オガリ山形成、火砕流で1村全滅（死者82名）
1853年（嘉永6年）	大有珠形成、「煙の中に赤く光るドーム」と記録あり。
1910年（明治43年）	明治新山形成、火山泥流死者1名。洞爺湖温泉湧出する。
1944-45年（昭和19-20年）	昭和新山形成、新山沼、鉄橋跡など地殻変動多数。
1977-78年（昭和52-53年）	有珠新山形成、降雨により泥流発生し、犠牲者3名。
2000年（平成12年）	国道に火口出現。完全避難で死者・負傷者なし。

火砕流は高温の火山灰や軽石とガスの混合物が、重力によって高速で山体を流下する現象である。1996年の雲仙普賢岳の噴火で多くの人がその言葉を知ることになった。しかし、雲仙普賢岳の火砕流は、溶岩ドームが崩落することによって生じる「メラピ型火砕流」というもので、小規模火砕流の中では最も小さな規模の現象である。一方、有珠山で生じる火砕流、特に1882年に生じたような火砕流は、より規模が大きく、噴煙柱の密度が大きいため、自重で崩壊して斜面を下る「スフリエール型火砕流」だと考えられている（図1）。

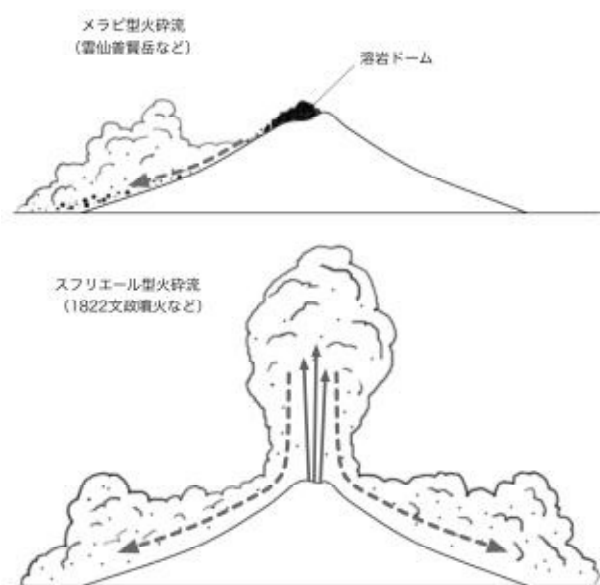


図1 雲仙と有珠の火砕流発生機構
(Francis, 1993 を参考に作図)

そこで、有珠山の火山防災を考える場合には、最悪の状況を想定して、火砕流といえばスフリエール型火砕流を想定している。このような知識を身につけ、ハザードマップで表されている想定される被害地域の意味を理解することが重要である。

2 モデル実験装置の開発

実験装置を作成するにあたり、最も重視したのは、ハザードマップとの整合性と、モデル実験のリアリティである。水槽の中でおこなうタイプの火砕流実験(林, 2001)もあるが、今回はハザードマップの学習へとつなげるために、立体模型で作った有珠山頂から噴煙を上げて、火砕流へと移行させたいと考えた。

(1) 山体模型製作

立体模型の作成は、次のように行った。

ベニヤ板にプロジェクターを用いて地形図を投影した。この際、画像処理ソフトにて等高線を赤く強調して地形がわかりやすいようにおこなった。元になる地形図は国

土地院発行の1/25000地形図を用い、ベニヤ板上での縮尺が約1/20000になるように投影した。縮尺を1/20000にしたのは、ベニヤ板と表現したい区域の大きさの関係からであり、特に大きなこだわりはない。

次に投影されている地形図を元に、目印となる場所(河川や国道、山頂や大きな谷、崖地形など)をベニヤ板に書き込んだ。

書き込んだ情報を元に、紙粘土で地形を作った。山体の土台には新聞紙を用い、その上を紙粘土で覆った。各地点の標高は正確ではないが、比高が1:1.2くらいになるように地形を作っていた(図2)。



図2 完成した立体模型

(2) 噴火装置

噴火装置は北海道立理科教育センター地学研究室で紹介している火山噴出物モデル実験用の装置⁴⁾を本実験用に改造し、利用することにした。従来の装置で行う実験は、ジオラマ用のパウダーとスポンジを火山灰と噴石に見立てて噴出させ、上空の気流によってその分布域がどうなるのかを調べる実験であった。今回、火砕流を発生させるにあたり、目指したのは、従来の実験のように、発生した火砕流の堆積物がハザードマップ同様の分布をするように、その噴出させる物質と素材と容量、噴出装置の構造・設置などをいかにするかが課題となった。

噴出させる物質の素材

今回再現する火砕流は、上空に噴き上がった

た噴煙柱の一部が自重によって崩壊し、斜面を流下する現象である。吹き上げる火山灰よりも密度が高く、斜面を流れ下るような素材さがしをした。その結果、火口のそばに落下し、斜面を流れ下る素材として、マイクロビーズクッションなどに充填される微少の発泡スチロール球が適していることがわかった。

最終的には容器中に発泡スチロール球：ジオラマパウダー＝7：3の割合で混合して、降下火山灰と火砕流とを表現することにした。噴石用のスポンジは後述のように噴出の勢いが大きいと、ハザードマップの範囲を大きく超えて分布してしまうため使用しないことにした（図3）。

噴出物の容量

従来の実験装置はマグマだまりとなるペットボトルの容量は300mlであった。この容量で実験をしたところ、あまりにも短時間で実験が終了する上に、火砕流の堆積物が少なく、谷を埋める様子を再現できないことがわかった。そこで、今回は容量を500mlに増やして噴出させることにした。

噴出装置の構造・設置

今回作成した立体模型はベニヤ板の上、ほぼ中央に有珠山の山頂が位置するように作られている。そこで、装置をベニヤ板の底部から噴出部に差し込む形で設置することにした。



図3 混合した噴出物 図4 ボトルの挿入

実験装置の両端を机などの上に設置し、噴出物の入ったボトルを中央部から挿入する（図4）。また、噴出するための送風は、家庭用のブロアーを用いることにした（従来使用していたゴム風船では、噴出物の質量や体積が増加したために力が足りなかった。またスイッチ全開だと勢いが強すぎるため、変圧器で事前に調節して用いた）。さらに、空気の乱流を少なくするために容器の横から送風していた構造を改め、容器の底から送風する構造にした（図5）。



図5 実験装置側面

3 現象の再現性

（1）噴煙柱の崩壊・火砕流発生

今回の実験で、噴火させる時間は約3秒～5秒と非常に短時間で終わってしまう。一瞬の迫力はあるが、噴煙柱が崩壊して火砕流が斜面を流れ下る様子は注意しないと観察できないことがわかった。ビデオ撮影したものをスローで再生してみたところ、噴煙柱が落下し、斜面を下る様子が確認できた（図6）。

（2）堆積する場

降下火山灰堆積物と火砕流堆積物とは堆積の仕方に大きな違いがある。降下火山灰は上空から降り積もるため、尾根筋にも谷間にも同様に堆積するが、火砕流は低いところを流下するため、谷間を埋めるように堆積する。今回の実験では、降下火山灰のジオラマパウダーはまんべんなく降り積もり、火砕流の発泡ビーズは谷間に堆積した。

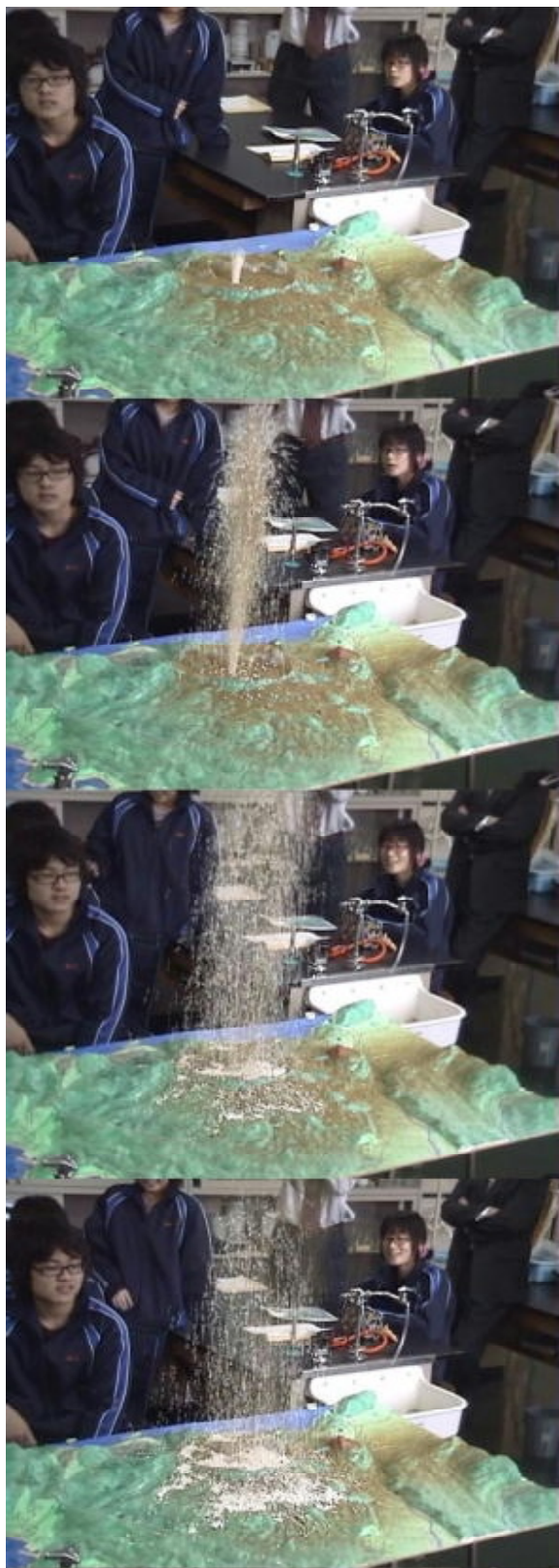


図6 噴出が始まったときは上向きに噴出
噴煙柱が落ち始める
落ちた噴出物が斜面を下り始める
火砕流として周囲に広がる

(3) 火砕流の分布域

このモデル実験の最大の目的である火砕流の分布域は、発泡ビーズがどの範囲まで広がっているか観察することで明らかになる。実験の結果から、火砕流の分布域は図7のような範囲となることがわかった。この範囲はハザードマップで示されている山頂噴火時の火砕流分布域と非常に調和的である。ハザードマップは過去の火砕流堆積物などの分布などを調査することにより作成されており、非常に再現性が高いということがわかった(図8)。



図7 実験による火砕流分布

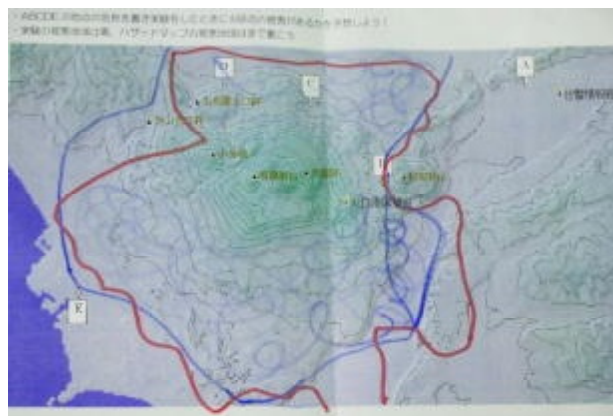


図8 生徒が記録した実験結果(青)と
ハザードマップによる火砕流分布域(赤)

4 授業実践

壮瞥中学校3学年12名(除欠席2名)を対象に、総合的な学習の時間に取り組んでいる火山防災学習の時間において、本実験装置を利用した授業実践を行った。また、授業者と

して、卒業論文で地域の防災教育を題材として研究している教育大学札幌校4年の磯貝佳久君に授業を進めてもらった。

(1) 授業の流れ(2時間)

これまで防災学習で学んだ有珠山の火山災害について確認。

降灰被害についてビデオによる学習。

実験装置上で降灰地域の予想をする。

噴火装置を用いて降灰実験(火砕流物質は入れず、ジオラマパウダーのみ噴出させ、上空で風をふかせた。)

ワークシート上の地図へ降灰範囲を記入。

- 休憩 -

火砕流についてビデオによる学習。

実験装置上で被害地域の予想をする。

噴火装置を用いて降灰・火砕流実験。

ビデオをスロー再生して火砕流現象の確認。

ワークシート上の地図へ被害地域を記入。

ハザードマップと記録した地図にて、被害予想地域と実験による被害地域の整合性を確認。

ハザードマップを活用する意義の確認

(2) 生徒の感想

- ・改めて火山が恐ろしく感じた。
- ・こんなに規模の大きいものだとは思いませんでした。だけどわかりやすかった。
- ・ハザードマップはあるような気がするが前回もらったやつは紛失しました。(こんどのは貼っておきます。)
- ・今日の実験は未来に役立つものだと思った。たぶん噴火したときの逃げるための実験になったと思う。
- ・火山灰や火砕流の恐ろしさやどのような感じでどのような場所に降ってくるのかということがわかってよかった。
- ・もう一度ハザードマップの置き場所につい

て検討して活用していきます。

- ・火山灰や火砕流のメカニズムやハザードマップの重要さを知ることができてよかった。意外に有珠山は怖い。
- ・実験結果とハザードマップの危険区域が同じでびっくりした。ハザードマップは本当に噴火したときに役立つのがわかった。噴火の被害のすごさも映像を見てわかった。
- ・もし噴火が起きた時にすぐ避難できるようにしたい。ハザードマップをちゃんと家のどこかに貼る。
- ・実験をしたことでどのくらいの範囲に被害が及ぶのかとリアルで分かった気がする。ビデオでも火砕流とかの危険とかがより一層わかった。これから先噴火したときのこととかも考える気になった。
- ・火砕流や火山灰がどの範囲にわたってくるか全然分かんなかったからわかってよかった。家にはきっとハザードマップがないからちゃんと覚えておこうと思う
- ・実際に実験や映像を見てすごく危険なものであることを改めて感じました。特に私が住んでいるところは火山に近い温泉街のほうなので噴火する前に早く逃げようと思いました。

5 研究の成果・課題

冒頭で述べたように、火砕流は発生すると大きな災害につながる大変危険な現象である。しかし、これまで火砕流の激しさや危険性を実感させられるような実験教材はほとんどなかった。こうしたことを前提にすると、今回火砕流という現象を、非常に短時間ではあるが再現し、その現象を理解したり、激しさや分布域を実感させることのできる装置を開発できたことは大変意味がある。

また、この装置は概念的なものではなく、地域に現存する火山である有珠山周辺を模しており、火砕流の被害地域も現実的であることから、装置を利用した防災教育実践にも大

いに活用できる。

C Gや映像による教材が多い中，目の前で起きた現象をよく観察し，実験結果をじっくりと考察する実験教材は，より実感を伴った学習になるはずであり，生徒達の感想がそれを示している。

実験装置の課題も残っている。噴火が短時間で終わってしまうため，ビデオ撮影や再生機器をどのように活用するか合わせて検証する必要がある。噴出物の量も少なく，容器をより大きくして検証してみたい。また，実験で再現している現象が，本当に噴煙柱崩壊型の火砕流のモデルとなっているのか，火山の専門家からも評価していただく必要がある。

6 おわりに

この研究を行うにあたり，北海道立理科教育センター地学研究室長の岡本研先生には大変有用なご意見をいただいた。また，北海道教育大学札幌校の磯貝佳久君には模型の仕上げから授業実践まで多大なる協力をしていただいた。また，磯貝君の指導教官である，北海道教育大学札幌校の田中実教授には，授業プランの検討や機材の提供などの協力をいただいた。皆様に感謝申し上げます。

なお，本研究は，平成20年度北海道立理科教育センター中学校理科アドバンス講座にて実施したものである。

参考

- 1) 伊達市ほか 有珠山地域防災ガイドブック 2003
- 2) Francis, P. Volcanoes, Oxford University Press, 1993
- 3) 林譲治 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 2001
- 4) 宮嶋衛次 総合的な学習の時間における災害・防災をテーマとしたカリキュラムの研究 北海道立理科教育センター研究紀要第12号 2000
- 5) 曾屋龍典ほか 有珠火山地質図（第2版），地質調査所 2007
- 6) 宇井忠英（編）火山噴火と災害 東京大学出版会 1997