

自然災害を再現する実験教材の工夫・開発

横山 光

日本列島において、地震や火山の噴火などの自然現象は、度々大きな災害をもたらしてきた。しかし我々は、地震や火山の噴火にともなって発生する液状化現象、津波、火砕流などの仕組みや特徴を理解しておくことで、それらがもたらす災害を減らすことができる。そこで、液状化現象による噴砂、津波の特徴、火砕流の発生メカニズムについて捉えることができる実験装置を開発したので、報告する。

[キーワード] 言語活動の充実 中学校理科 探究的な学習 指導資料

はじめに

災害を最小限に防ぎ自らの命を守るため、災害時の冷静な判断と行動だけでなく、平常時の災害に対する心構えと準備が大切である。そのためには自然災害の仕組みに関する知識を身に付けている必要があり、理科においても自然の事物・現象と自然災害とを関連付けて学ぶことが求められている。液状化現象、津波、火砕流については、これまでもいくつかの実験教材が紹介されている。しかし、既存の教材は高価であったり、装置が大がかりで準備片付けに手間がかかるなどの課題があった。そこで、より安価で、手軽に準備、片付けができ、繰り返し観察、実験ができる実験装置を開発した。

1 液状化観察装置「フンサー」

(1) 作成の目的

液状化現象は地震にともなって発生する自然現象のうちで、広く知られている現象のひとつである。埋め立て地をはじめ、河川の氾濫原でできた平野など、人間生活と密着した場所で発生しやすく、災害の一因となっている。

理科教育センターではこれまでも液状化現象の仕組みを学ぶための教材を開発してきた。^{※1)}しかし、現象そのものを捉えることはできても、そのメカニズムや、ともなって生じる噴砂などの再現をすることが難しかった。

噴砂を再現できる優れた教材のひとつに「エキジョッカー」^{※2)}があり、市販されている。この教材は噴砂現象を繰り返し観察できるほか、噴砂にともなってできるサンドパイプや、地盤

沈下などの現象も観察できる。

そこで、「エキジョッカー」を参考に、同様の効果があり、より安価な材料で、教師が学校で作成することができる教材を作成しようと考えた。

(2) 教材の作成

【材料】

ペットボトル (500mL, 炭酸飲料用), 寒水砂 (径5mm程度, 200g), 水槽用底砂 (赤色, 径0.5mm程度, 100g), ガラスビーズ (#100, 60g)

【作成方法】

- ① 寒水砂と水槽用底砂を、水が濁らなくなるまで水洗いする。
- ② ペットボトルに洗った寒水砂と水槽用底砂、ガラスビーズを入れる。
- ③ 水をペットボトルの飲み口まで入れ、できるだけ空気が入らないようにふたをする。

【実験の目的】

地震によって液状化現象が起きることや、噴砂現象がともなうことを知り、それらのメカニズムを調べる。

【実験方法】

- ① 装置をよく振って、中の砂やビーズを攪拌する。
- ② 装置を平らな場所に置き、全て沈み終わるまで待機する (図1)。
- ③ ペットボトルの側面を軽くはじいたり、机



図1 攪拌後、静置した「フンサー」

の面を叩くなどして模擬的な地震を発生させる。

- ④ 地震発生後、ペットボトル内の堆積物の様子を観察する。

(3) 観察できる現象

「フンサー」では、「エキジョッカー」が再現していた次の①から③の現象についてはほぼ同様の再現をすることができた。また、粒が粗く角張っている寒水砂を使うことにより、「エキジョッカー」では分かりづらかった④の現象も再現することができた。



図2 噴砂の様子

① 噴砂現象

地震発生後、2秒ほどの時間差を経て、水槽用底砂が、上に堆積しているガラスビーズを突き破り噴き出す様子を観察できる。

② サンドパイプ

噴砂する際の砂の通り道がペットボトルの側

面から観察できる。

③ 地盤沈下

液状化現象発生後、地表面が地震前よりも低くなっていることが観察できる。

④ 地盤の圧密

地震発生時に、最も下に堆積している寒水砂に注目すると、地震前にたくさんあった砂と砂の間の空隙が、少なくなっていることが観察される。このことにより、行き場を失った液体成分が、上方向に移動し、途中の水槽用底砂をともなって噴き出すことを考察できる。

(4) 教材の成果・課題

【成果】

- ① 「エキジョッカー」と同様の現象を再現することができた。
- ② 「エキジョッカー」では観察できない地盤の圧密を観察することができた。
- ③ ガラスビーズ以外の材料はホームセンターなどで入手でき、ガラスビーズもインターネット上で購入することができる。1本あたり、130円ほどで作成でき、大幅のコストダウンが望める。

【課題】

- ① 砂をしっかりと洗浄しなければ水が濁ってしまうため、決して手軽ではない。
- ② ガラスビーズを使用することから、全ての材料が身近な素材とはなっていない。

2 津波実験装置

(1) 作成の目的

津波による災害はときに甚大で、2011年の東日本大震災における津波災害の様子は、世界中の人々に衝撃を与えた。

理科教育センターではこれまでも津波現象を再現する実験装置を紹介してきた。^{*1)}この装置値は海面を波が伝達する様子や海岸地形を変化させることで波高がどのように変化するかを調べることができる優れた教材である。しかし実験装置が大きく、準備や片付けに手間がかかることや、設置場所の課題等があり、十分に普及されたとはいえない。

横から波を観察するための装置^{*3)*4)}もある

が、作成に時間やコストがかかり、学校現場で手軽に実験をすることができない。

そこで、アクリル板とホースを使った簡易水槽を作成することで、実験台の上で横から波を観察することが可能な実験装置を開発しようと考えた。

(2) 教材の作成

【材料】

アクリル板 (90cm×20cm×3mm)、灯油用ホース (φ1.3cm×100cm)、クランプ10個程、スチレンボード (A3サイズ、厚さ10mm)、つまようじ2本

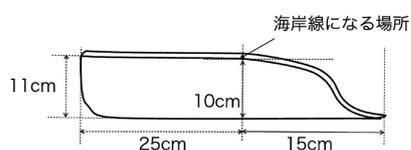


図3 陸地部品

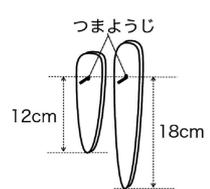


図4 波発生装置

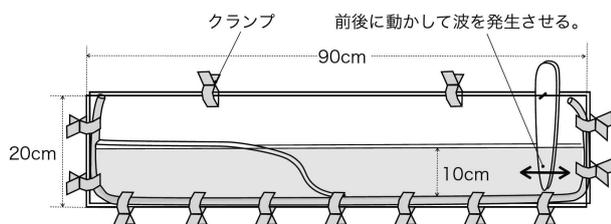


図5 津波実験装置

【作成方法】

- ① スチレンボードをカッターナイフで切り抜き、図3のような陸地を作る。
- ② あまったスチレンボードとつまようじで、図4のように波発生装置を2種類作成する。
- ③ 陸地をアクリル板に両面テープで固定し、灯油ホースとともに、2枚のアクリル板で挟む。
- ④ クランプ (メダマクリップでも良い) で縁を固定し、薄型の水槽となるようにする。

- ⑤ 波発生装置を設置し、水槽に水深10cmになるように水を入れる (図5)。

【実験の目的】

津波と表面波の違いを調べ、波の周期・水の動き・水の力などの違いから、長周期の波は海岸線よりも内陸部へ到達しやすいことを発見させる。

【実験方法】

- ① 短い波発生装置を使い、前後に揺らすことで表面波を作り出す。
- ② 波長、波の到達点について観察する。
- ③ 長い波発生装置を使い、沖側に1度揺らしてすぐに陸の方へ波を送る (津波)。
- ④ 波長、波の到達点について観察する。

【発展】

- ① 浅くなることで波頭が立つこと (波形が崩れる様子) に気づかせる。
- ② 堤防などを設置して、津波のエネルギーの大きさを実感させる。
- ③ 水中に糸くずなどを浮かべ、海面付近と海底付近での水の動きを調べる。

(3) 観察できる現象

この実験装置では、津波の発生メカニズムについては一切再現できていない。表面波と津波の伝わり方や波の性質、形状の変化などについて再現するモデルを目指した。その結果、次のような現象を観察できた。

① 波長の違い

表面波の波長と比べ、津波の波長が長いことが観察できる (図6)。

② 陸域への進入距離の違い

表面波は伝わるにつれて減衰し、海岸線付近で消えて無くなるが、津波は容易に陸域に進入していくことが観察できる (図7)。

③ 浅海域での波の形状変化

水深が急に浅くなる海岸線付近では、波の形状が乱れる様子が観察できる (図8)。これは実際の津波で波頭がつくられる様子を再現したと考えられる。

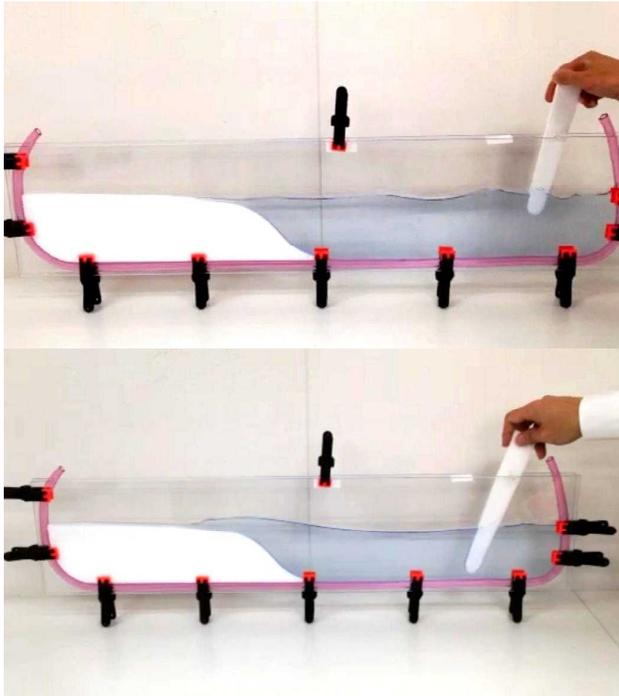


図6 波長の違い（上：表面波，下：津波）



図7 陸域への浸水



図8 波頭の観察

(4) 教材の成果・課題

【成果】

- ① 薄型水槽を用いることで、準備や片付けが容易になった。
- ② 薄型水槽を用いることで、生徒が班ごとに

津波に関する探究的な学習を行うことが可能になった。

- ③ 表面波と津波の伝わり方や性質の違いをはっきりと観察することができる教材となった。

【課題】

- ① アクリル板が高価なため、実験装置は1台あたり約3,000円である。市販されているアクリル水槽などと比較すれば安価ではあるが、班の数の装置を揃えるには相当なコストとなる。
- ② この装置は波の伝達や特徴を調べる目的に特化しているため、津波発生メカニズムや、海岸地形の違いによる波高を調べる実験など、津波について知識を深めるためには、他の実験と並行して行う必要がある。

3 火砕流実験装置

(1) 作成の目的

火砕流は、火山の噴火にともなって起きる現象の中でも、最も危険な現象の1つであり、過去において、火砕流による災害で命を落とした数は少なくない。

日本では1991年の雲仙普賢岳の噴火により発生した火砕流で43名の死者行方不明者が記録されている。しかし、雲仙普賢岳で発生した火砕流はメラピ型火砕流という小規模のもので、日

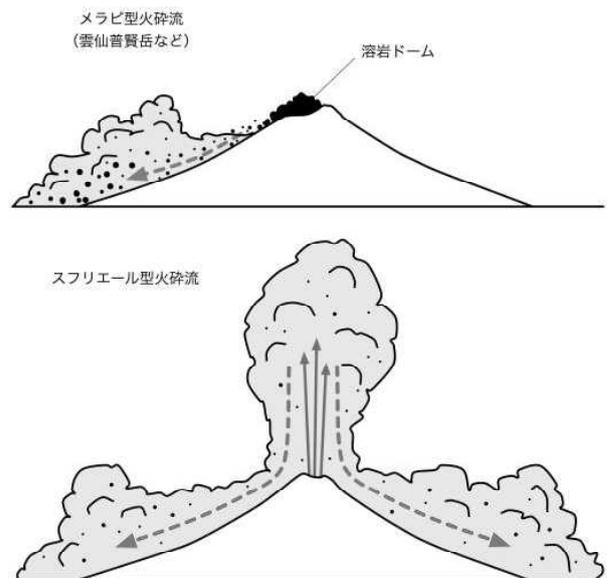


図9 メラピ型とスフリエール型の火砕流 (Francis, 2002^{*5)}を参考に作図)

本の多くの火山が噴火した際に恐れられているのはスプリュール型火砕流である（図9）。スプリュール型火砕流について理解することは、火山防災を進める上で必要なことであり、そのための教材を開発することは大変意義がある。

これまで、大型水槽を用いて火砕流の発生モデルを観察する実験^{*6)}が紹介されていたが、実験を繰り返して検証することや、装置の片付けに課題があった。そこで、火山の形を模した薄型水槽を用いて、スプリュール型火砕流の発生メカニズムについて理解を深める教材を開発しようと考えた。

(2) 教材の作成

【材料】

透明プラ板（A4サイズ×厚さ1mm）、スチロール板（A4サイズ×厚さ5mm）、両面テープ、シリンジ（20mL）、ビニルチューブ（外径5mm）

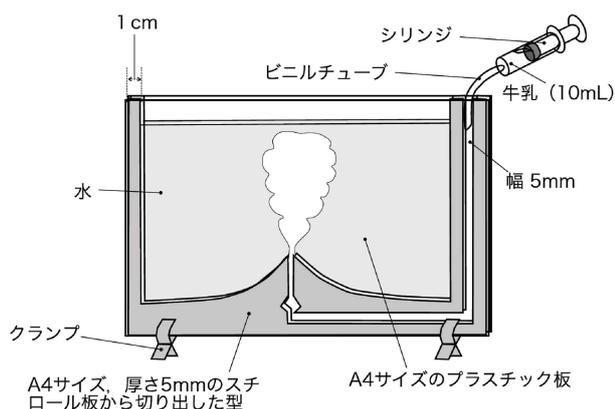


図10 火砕流実験装置

【作成方法】

- ① スチレンボードをカッターナイフで切り抜き、図10のような山体を作る。
- ② ①のボードを両面テープでプラ板に固定する。

【実験の目的】

火砕流発生モデル実験を通して、どのようなときに火砕流が発生するのか検証し、スプリュール型火砕流について理解する。

【実験方法】

- ① 水槽に水を入れる。
- ② 図のようにシリンジで牛乳を一気に入れて

噴火させる（噴火の勢いをいろいろ変えてみる）。

- ③ 噴煙柱が崩壊して火砕流となって斜面を下る様子を発見させる。
- ④ 噴火後すぐに勢いを弱めるとどうなるか調べてみよう。
- ⑤ マグマ（牛乳）の量を変えてやってみる。

【発展】

- ① 雲仙普賢岳のような火砕流のタイプはどのように再現できるか考えてみる。
- ② 装置を改良し、山裾をもって広くしたときにどうなるか考えてみる。
- ③ 勾配を変えるとどうなるか確かめてみる。

(3) 観察できる現象

噴火初期から、噴煙柱が大きくなる様子、噴煙柱が崩壊して火砕流となり流れ下る様子が観察できた（図11、12）。

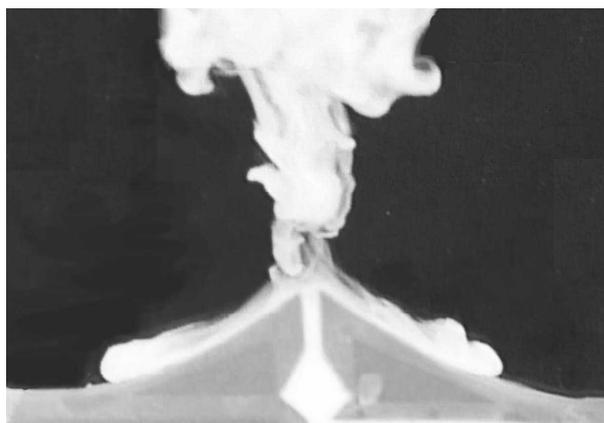


図11 火砕流実験の様子

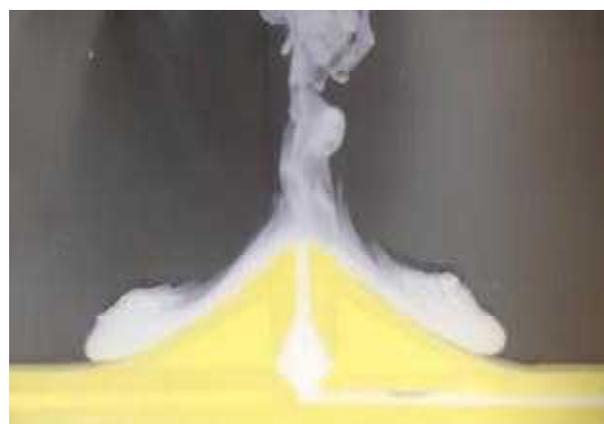


図12 勢いがない噴火の火砕流

(4) 教材の成果・課題

【成果】

- ① 火砕流が発生する様子を容易に観察することができた。
- ② 薄型水槽を用いることで、各班で生徒が操作しながら、繰り返し実験を行うことのできる教材となった。
- ③ 準備、片付けが手軽に行える教材となった。

【課題】

- ① 両面テープを使用しているため、作成時に隙間があると水漏れを起こすことがある。
- ② 噴火の勢い（牛乳を注入する勢い）強すぎると火砕流が発生しないまま、水槽全体が濁ってしまう。弱すぎると噴煙柱ができない。生徒が探究する前に、コツが必要である。

6) 下司信夫 水槽を用いた噴煙のアナログ実験 pp. 22-24
地質ニュース627号 2006

(よこやま ひかる 地学研究班)

おわりに

日本列島で生活する我々日本人は、地震災害、火山災害、風水害など自然災害といつも隣り合わせである。東日本大震災を経て、防災教育の重要性がいわれているが、防災教育といえば避難教育のように扱われているように感じる。どのような避難訓練も、なぜそれを行う必要があるのか、知識に基づいて行うことで、その意義は増してくる。また、実際に災害に出会う場面には、正しい知識が行動を冷静にさせる。だからこそ、理科教育で求められている自然災害に関する学習と、他の教科や地域社会などで身に付ける防災に関する知識とが互いに結びつく必要があるだろう。

今後、これらの教材を用いてどのような学習を展開していくのか、理科の時間での活用方法はもちろんだが、教科を超えた学習計画の立案と、検証を進めていきたい。

参考文献

- 1) 北海道立理科教育センターHP 災害防災の実験レシピ
(http://exp.ricen.hokkaido-c.ed.jp/tobira/htdocs/index.php?action=cabinet_action_main_download&block_id=2683&room_id=1&cabinet_id=32&file_id=686&upload_id=1659)
- 2) 宮地良典・兼子尚知 エキジヨッカーによる液状化実験装置 pp. 26-27 地質ニュース, no. 570 2002
- 3) 佐武直紀 地震防災教育のための津波実験装置の開発 p. 321-324 日本建築学会技術報告書, 第15巻29号 2009
- 4) 堀込智之 小さな疑問から波をつかまえる pp. 156-158 連合出版 2002
- 5) Francis, P Volcanoes pp. 443 Oxford University Press 2002