

自然災害（地震・火山噴火・水害）の減災教育用実験教材の開発

村田 守*, 川真田 早苗**

（キーワード：減災教育，自然災害，地震，火山噴火，水害）

I. はじめに

自然災害への減災・防災に特定のアプローチはない。自然災害が起こるメカニズムは、多様な学問分野の応用であり、単独ではなく複数の分野にまたがっていることも多い。メカニズムが明らかになったとしても、その対策には工学的なアプローチもあれば、社会的や看護・心理学的なアプローチもあるであろう。また、災害の被害を少なくする減災・防災教育を教育現場で行うにしても、授業カリキュラムとの兼ね合いがあり、一筋縄では行かない。保育園児や幼稚園児でも分かってもらえるプログラムも必要だし、何故かを説明し、納得してもらうプログラムも必要である。さらに、地震と水害の減災・防災教育は異なるし、被災体験も異なる災害には役に立たないので、減災・防災教育の普遍化・共通化は難しいという問題もある。効果的な減災・防災教育を行うためには、地域毎に異なる自然災害別のプログラムを個別に作るしかないようだ。しかし、自然災害のメカニズムはある程度共通化することは可能である。そして、それが視覚に訴えれば、理解もし易いだろう。

中学校第3学年理科「自然と人間」の学習で、自然が人間の生活におよぼす影響として、地震、火山の噴火、大雨による河川の氾濫等の自然災害を学習する。その際、自然からもたらされる恩恵を受け、生活を豊かにしていること、この自然の仕組みを理解したうえで、減災・防災対策を行い、自然との共生を考えることが大切である。

自然災害は、理科と社会科で学習する。両科目とも暗記科目であるが、暗記する対象が異なっている。理科は結果を暗記するのではなく、結果を導いた原理やプロセスを理解し、覚えるのが肝要である（村田・川真田，2021）。したがって、本教材をそのまま使っても良いが、原理を理解すれば本報で使用した物品以外の身の回りの品で同様の実験教材を作ることができるので、試して貰いたい。そのために、自然災害が発生する原理も分かり易く説明した。

II. 防災の背景と今後

自然災害の減災・防災教育を行う時に、あまり関係のなさそうなESDやSDGsという用語や、防災士と言う資格を耳にすることがある。防災には、助成や予算がつき易いために、胡散臭いことも多いようだ。ここでは、防災教育が突然現れた感が強い理由を、ESD, SDGs及び防災士の誕生経緯から纏めた。今後、自然災害への減災・防災教育が衰退できない理由も明らかになるだろう。

1. ESD(Education for Sustainable Development)持続可能な開発のための教育

ESD（持続可能な開発のための教育）とは、2005年から2014年までの10年間を「国連持続可能な開発のための10年（UNDESD, 国連ESDの10年）」とすることが2002年12月の第57回国連総会本会議で採択され、主導機関に指名されたユネスコが提案した国際実施計画案である。それは、現代社会の諸問題（環境・貧困・人権・平和・開発等）を自らの問題として捉え、身近なところから取り組むことにより、それらの課題の解決につながる新たな価値観や行動を生み出すこと、そしてそれによって持続可能な社会を創造していくことを目指す学習や活動とされている。

*鳴門教育大学

**北陸学院大学

2006年に環境省は、「国連持続可能な開発のための教育の10年促進事業」の実施地域を募集し、10地域を採択した。外務省が受け、環境省が主体のために、環境教育と国際理解教育が主要な課題とされた。それでも、ESDは持続可能な社会づくりの担い手を育む教育であると拡大解釈し、各教科でESDへの取り組みが行われて来た。日本は自然災害が頻発するので、自然災害を自らの問題として捉え、身近なところから（減災・防災活動）を取り組むことにより、課題の解決につながる行動を生み出すことができるので、自然災害の学習はESDの基本理念を体現している。

ESDは2014年に終了するが、2012年の国連持続可能な開発会議（リオデジャネイロ）では、2014年以降もESDを推進することが宣言文に盛り込まれた。しかし、実際のESDの活動は、先進国と途上国とでは安全・衛生・貧困に大きな格差があるために、対象諸問題が異なっていた。

2. SDGs(Sustainable Development Goals)持続可能な開発目標

ESDでは先進国と途上国とで解決すべき諸問題が異なっていたので、先進国と途上国が共通して取り組める課題がSDGs（持続可能な開発目標）である。SDGsは、2015年の国連サミットで採択された「持続可能な開発のための2030アジェンダ」に示された国際目標である。これは、2030年までに実現すべき17のゴール及び169のターゲットからなる。ESDと異なり、SDGsは地球上の「誰一人取り残さない」ことを理念としているので、先進国・途上国共に取り組むユニバーサルな目標である。

SDGs 1 から 17 のゴールは以下の通り。その中のターゲットに防災が含まれるものを参考のために挙げる。

SDGs 1：貧困をなくす

1.5：2030年までに、貧困層及び脆弱な立場の人々にレジリエンス（回復力）を付けることで、極端な気象現象やその他の経済・社会・環境的ショックや災害に耐性を付ける。

SDGs 2：飢餓をゼロに

SDGs 3：健康と福祉

SDGs 4：質の高い教育

SDGs 5：ジェンダー平等

SDGs 6：きれいな水と衛生

SDGs 7：安価でクリーンなエネルギー

SDGs 8：ちゃんとした仕事と経済成長

SDGs 9：産業、確信、基幹施設

SDGs 10：不平等の減少

SDGs 11：持続可能な町と社会

11.5：2030年までに、貧困層及び脆弱な立場の人々の保護に重点を置き、水害等の死者や被災者数を大幅に削減し、直接的経済損失額を国内総生産比において大幅に減らす。

11.b：2020年までに、資源効率や気候変動に適応し、災害に対するレジリエンスのある総合的政策や計画を導入・実施した町と社会を大幅に増やす。さらに、仙台防災枠組2015-2030により総合的な災害リスク管理の策定と実施を行う。

SDGs 12：消費と生産への責任

SDGs 13：気象対策

13.1：気候変動による危険や自然災害に対するレジリエンス及び適応力を強化する。

SDGs 14：水棲生物

SDGs 15：陸棲生物

15.1：2020年までに、陸域生態系及び内陸淡水生態系の保全・回復・持続可能な利用を確保する。

15.2：2020年までに、森林の持続可能な管理を進め、森林破壊の阻止及び劣化した森林の回復のために、植林と森林再生面積を大幅に増加させる。

15.3：2030年までに、砂漠化に対処し、砂漠化・干ばつ・洪水により劣化した土地・土壌の再生・復元に努力する。

SDGs 16：平和、正義、強固な制度

SDGs 17：協力関係

3. ESD for 2030(Education for Sustainable Development: Towards achieving the SDGs)持続可能な開発のための教育：SDGs 達成に向けて

2019年の第74回国連総会で、ESDの更なる取り組みのために、ESD for 2030（持続可能な開発のための教育：SDGs 達成に向けて）が採択された。主導機関はユネスコである。これは、2015年以降に2600万人がESDカリキュラムを学び、200万人の教育者がESD研修を受けたことから、SDGsの達成にESDが必要不可欠と判断されたからである。SDGs 4では質の高い教育が、SDGs 10では公平さが求められており、全ての教育においてESD for 2030の活動を通してESDの浸透を図ることになっている。したがって、教育現場ではESDの実践が今まで以上に求められるので、ESDと結びつけ易い自然災害への減災・防災教育は益々重要性を増すであろう。

4. 防災士

学校教員や児童生徒が防災士の資格取得とマスコミで報道されることがある。防災士は防災のプロと誤解されがちだが、プロではなく、自然災害に関心がある人のことである。1995年阪神・淡路大震災後、経団連が地域防災力の強化を国に働きかけ、NPO日本防災士機構が発足し、ここが有料で認定するのが、防災士である。2003年に216名が認定され、現在約18万人が認定されている。認定には、簡単な60分の講座を21講座中12講座以上選択受講（53900円）し、筆記試験（3000円）合格後、3時間の救急救命講習を受け、資格認証登録（5000円）が必要である。試験は、3択式30問が50分で行われ、2019年より80%（以前は70%）が合格基準である。出題は、講義の教材から出され、応用問題や実践問題は出題されない。合格率は、ほぼ100%と言われている。自然災害は居住地域の地質に依存するが、教材は地域別に作成されたものではない。

法的根拠のない民間資格にもかかわらず、5000円の登録料を払わないと防災士と名乗ることができない。また、防災士の資格を持っていても、就職に有利になることはない。この資格ビジネスに助成金を出す自治体も多いが、これはNPO日本防災士機構が総務省やその外局の消防庁の天下り団体であるからで、総務省OBが首長の自治体は補助金を出し、受講を奨励することが多い。税金を防災教育に投入することに反対しにくい、防災士は防災の初歩的な教育を受けたボランティアと認識すべきで、専門知識を持っている訳ではないので、防災士に過度な期待は禁物である。

Ⅲ. 地震

文明開化後の日本は、お雇い外国人により先進の学問・社会制度・技術を導入した。その数8000名以上であり、週に1・2度感じる地震が彼らの間の話題になっていた。1880年2月22日に気象庁マグニチュード(M)5.5と推定される横浜地震が起き、彼らの居住地の横浜の震度は4程度であった。1855年11月11日のMが6.9～7.4の安政江戸地震を経験した日本人はあまり驚きもしなかつただろう。しかし、地震のない英国からやって来たお雇い外国人にとっては、正しく動天驚地の出来事だったろう。その結果、地震に関する世界で初めての学会である日本地震学会が、英国人お雇い外国人ミルンを中心に1880年に設立された。英国人3名によるユーイング・グレー・ミルン式地震計が1883年に日本の気象台に採用された。改良型は英国科学振興協会の地震学委員会の標準地震計として数年間利用された。等方弾性体の中を伝わる波は、弾性体内の一点の振動方向が波の進行方向と一致する縦波及び進行方向と直角の面上で起こる横波とからなる。1881年に、ユーイングは自作地震計に東京で観測された地震記録から、P波とS波を認め、それが縦波と横波であると説明したが、これが確立するには30年を要した（宇津，1977）。

地震頻発国に住む以上は、地震が起こるメカニズムや地震波の性質を知ることで、地震災害を減らすことができる。地震災害は、建物の崩壊・津波・火災・液状化・山体崩壊・土石流・地滑り等にとどまらず、道路交通網・通信施設・ライフラインの途絶等に及ぶ。最近のIT化に伴うデータの喪失や有害物質の流出等の混乱も予想される。地震が起こるのを防ぐことはできないが、地震が起こるメカニズムを知ることで、地震災害を減らすことができるので、小中学校の学習内容と併せて、実験により地震のメカニズムを見える＝理解できるようにしてみよう。なお、ここでは火山性の地震は対象外とした。

1. 小中学校の当該学習内容

小学校第6学年理科、「大地のつくりと変化」では、火山や地震と大地の変化を学習する。そこでは、溶岩・火山灰・断層や、海洋プレートの大陸プレート下への沈み込みで地震が起こり易いことも学ぶ。地下でずれ（断



第1図 P波・S波ふりこ実験（撮影：川真田早苗）

層)ができることで地震が起き、震源が海底の地下だと津波が発生することがあることも学んでいる。

中学校第1学年理科、「活きている地球」の「大地は語る」では、地震前に大陸プレートが海洋プレートに引きずりこまれながら、土地が少しずつ沈降した後、大陸プレートが反発して地震が発生すると同時に、土地が隆起してできる海岸段丘を学習する。

中学校第1学年理科、「光・音・力による現象」の光による現象では、波としての性質は学習しない。したがって、虹は光の色によって屈折する角度の違いで説明される。一方、音は物体の振動により生じ、波として伝わることを学習する。1秒間に振動する回数を振動数と学ぶ。しかし、波の性質として、縦波・横波を学習するのは、高校物理である。

2. P波・S波と縦波・横波を理解させる実験

1) 縦波・横波が理解できない理由

小学校第3学年理科、「光のせいしつ」では、日光はまっすぐ進むこと、はね返したり集めることができることを学習する。さらに、「音のせいしつ」で、音が出る時はものが震えること、音が伝わる時は音を伝えるものが震えることを学び、空気や水も音を伝えると学ぶ。

中学校第1学年理科、「活きている地球」の「大地がゆれる」では、初期微動、主要動、速い波(P波)、遅い波(S波)を学習する。発展学習として、P波とS波の伝わり方の違いを、ばねの端を固定させ、疎密の状態が伝わるP波及びねじれの状態が伝わるS波が図示される。このとき、S波は上下に揺られた矢印が示される。そのために、S波は上下に揺れると思いつくようだ。高校物理の縦波・横波に踏み込んでいるのは、調べた限り平成28年東京書籍の新編新しい科学1のみであった。ここでは、P波は波の伝わる方向に物質が振動する縦波で固体中でも液体中でも伝わること、S波は波の伝わる方向と直角方向に物質が振動する横波で液体中では伝わるできないと説明している。ただし、S波の伝わり方を示す図では、振動の向きは他の教科書同様の上下方向であった。

2) P波・縦波とS波・横波が見える実験

同時にP波とS波が発生し、P波が進行方向と平行に振動しながらより速く進み、一方速度の遅いS波が進行方向に対してねじれながら進むのが見える実験教材を第1図に示す。P波は進行方向と平行に、前後に揺れながら進むので、縦波(疎密波)であることが見て分かる。S波が振動方向にねじれながら進むのは、S波が進行方向に対して直角の面上を振動している横波であるからである。実験の性格上、進行方向の左右のねじれは観察



第2図 魚釣り道具で代用可能（撮影：村田 守）

できるが、上下方向のねじれは観察できない。しかし、S波・横波がねじれて進むことを眼に焼き付くことが重要である。S波・横波はねじれながら進むので、ねじることのできない液体中や気体中は減衰し、進むことはできない。江戸時代の人々はS波の知識は無かったが、船では地震を感じないことを経験上知っていた。そのために、宝永や安政の南海地震時に人々が船に避難し、津波被害で多くの死者を出したが、何故船に逃げ込んだかの理由は、S波の性質を知ることによって、理解できるであろう（村田・吉川，2013）。

実験教材は、小学校のふりこの実験に用いるふりこを用いた。これは、既に重りに糸が埋め込まれており、糸の長さを自由に調節できる。この重りを角材に糸の長さが同じ、重りの間隔が同じになるように括り付ける。重りと重りを3～5ヶの輪ゴムで順次繋いでいく。輪ゴムの代わりに長さを一定にした糸ゴムで繋いでもよい。この棒の両端を机や椅子の上で固定し、最初のふりこを進行方向に斜行するように引っ張り、離すと、P波が前後方向に揺れながら進み、それをS波が左右にねじれながら追いかけていくのが観察できる。

実験教材のふりこがない場合や数が足りない場合には、以下の簡便な教材で同様の学習効果が得られる。用意するものは、角材に代わる2m程度の塩ビパイプ、ふりこの代わりに鈴（第1図）かサビキ釣り用のアミカゴ（撒き餌かご）と釣り用の重り、塩ビパイプとふりこを繋ぐたこ糸、たこ糸を塩ビパイプに止める代わりに洗濯はさみ、輪ゴムである（第2図）。ふりこの代わりに鈴やアミカゴを使うのは、たこ糸が括り付け易いからである。洗濯はさみを用いるのも、はさみのバネ部に尻糸が括り易く、洗濯はさみで塩ビパイプの好きな位置にふりこを固定できるからである。ふりことして鈴を用いると、軽量のためにP波とS波の到着時間差が小さくなる。その時は、塩ビの内径より一回り細い10cm程度の塩ビパイプをジョイントとし、塩ビリングを2本3本と伸ばせば、P波とS波の到着時間差がよく見えるようになる。アミカゴを用いる場合は、アミカゴ中の釣り用の重りの数に応じて、P波とS波の到達時間差は大きくなる。

3) 被害の集中する方向

1880年2月22日の横浜地震後の横浜外人墓地の墓石の回転の様子は、お雇い外国人のミルンがスケッチしている（金，2007の図1・1及び1・3）。彼は鉾山技師であったから、地質学も知っていて応力の方向に気付いて、墓石の回転をスケッチしたのかもしれない。当時は、P波とS波の違いも分からなかったから、墓石の回転や倒壊方向の規則性についてお雇い外国人は記録に残していないようだ。



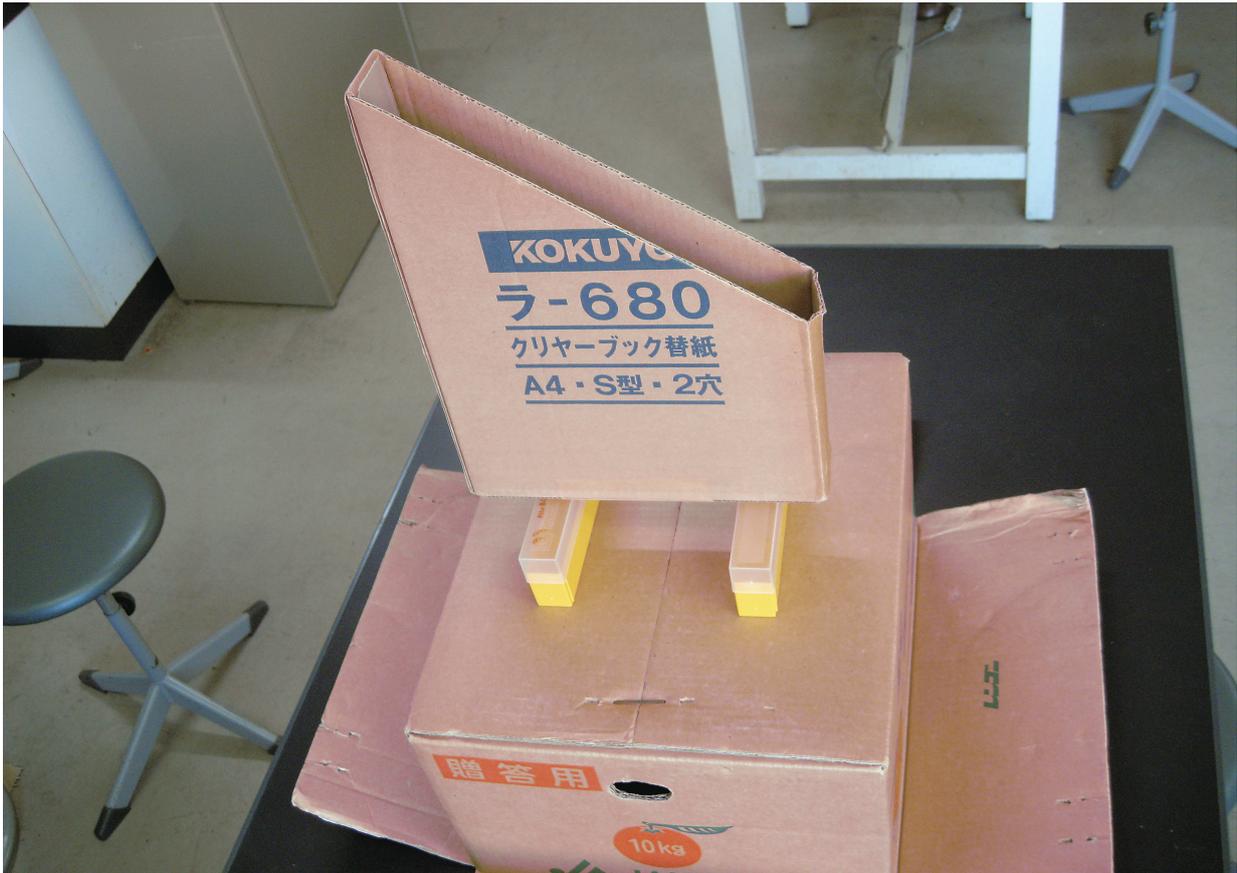
第3図 S波の揺れと構造物の伸びを確認する実験（写真：村田 守）
下の段ボール箱を左右（東西）に揺らし、上の段ボールが倒れない方向を確認する。

横浜地震に先立つ125年前の1755年11月1日にモーメントマグニチュード(Mw)が8.5~9.0のリスボン地震が起こった。震源はポルトガルのサン・ヴィンセント岬の西南西約200kmと推定されている。いくつかの見積もりがあるが、当時世界第4位の大都市であったリスボンの人口は約30万人であり、地震・津波・大火で約10万人が亡くなった。時の宰相ボンバルは被害調査を行い、リスボンの下町（沖積平野）では、南北方向に伸びた窓が少ない4階建ての建物に被害が小さいことを見いだした。そして、それを基にリスボンの再復興計画を立案した（村田，2021）。南北方向に伸びた窓が少ない4階建ての建物で、屋根瓦の落下を防ぐ防御壁を屋根に付けたボンバル様式と呼ばれる建物が、現在もリスボンの繁華街（沖積平野部の再復興整備区域）を構成している。

1978年6月12日に仙台東方100kmを震源とするM7.4の宮城沖地震が発生した。仙台市の震度は5で、津波は50cmであった。仙台市では、東西方向に伸びるブロック塀・墓石・灯籠・門柱等は北か南に倒壊したものが多かった（東北大学理学部地質学古生物学教室，1979）。酒屋では、棚が南北方向にある瓶は無事だったが、東西方向の棚では落下した酒瓶が多かった（加藤，2009）。著者の1人(M. M.)の下宿も東西方向の壁が崩落した。

第1図のP波・S波のふりこ実験でも分かるように、被害を与えるS波は横波であるので、進行方向（震源から居住地の方向）に対してねじれて進んで来る。震源が西のリスボンや東の仙台では、S波は東西に対して直角の南北の面で振動するので、南北の方向に揺さぶられる。南北に伸びる（構造）物を南北に揺さぶっても影響は小さいが、東西に伸びる（構造）物を南北に揺ると容易に転倒する（第3図）。

2020年以降に極めて高い確率で発生する新南海トラフ巨大地震は、震源が徳島の南方と考えて良い。P波は南北方向に揺れながら進み、被害を与えるS波は東西方向に揺れながら北進してくる。したがって、南北方向に伸びたブロック塀・本棚・食器棚・薬品棚・タンス・構造物に倒壊等の被害が集中する。灯籠・門柱・電柱等は東か西に倒れる。学校・病院・スーパーマーケット・コンビニエンスストア・酒屋等は棚の方向を東西に配置換えしておくのが減災に繋がる。



第4図 橋の被害シミュレーション実験（撮影：村田 守）
橋は東西に伸び、橋脚は南北に伸びており、下の段ボールを左右（東西）に揺らし、橋の安全な伸びの方向を確認する。

4) ゴールデンゲートブリッジと大鳴門橋

新南海トラフ巨大地震発生時、徳島や鳴門では南北方向に伸びる構造物が危険であることが分かった。吉野川に架かる橋、鳴門と淡路島・淡路島と明石を繋ぐライフラインに直結する橋は、全て南北方向に伸びている。地震が発生時にこれらの橋全てが倒壊するのだろうか？このシミュレーションになるのが、サンフランシスコのゴールデンゲートブリッジ（金門橋）とベイブリッジである。1989年10月17日にサンフランシスコ南方90kmを震源とするロマブリーダ地震が発生した。南北に伸びるゴールデンゲートブリッジに被害は無かったが、東西に伸びるベイブリッジに被害が出た。

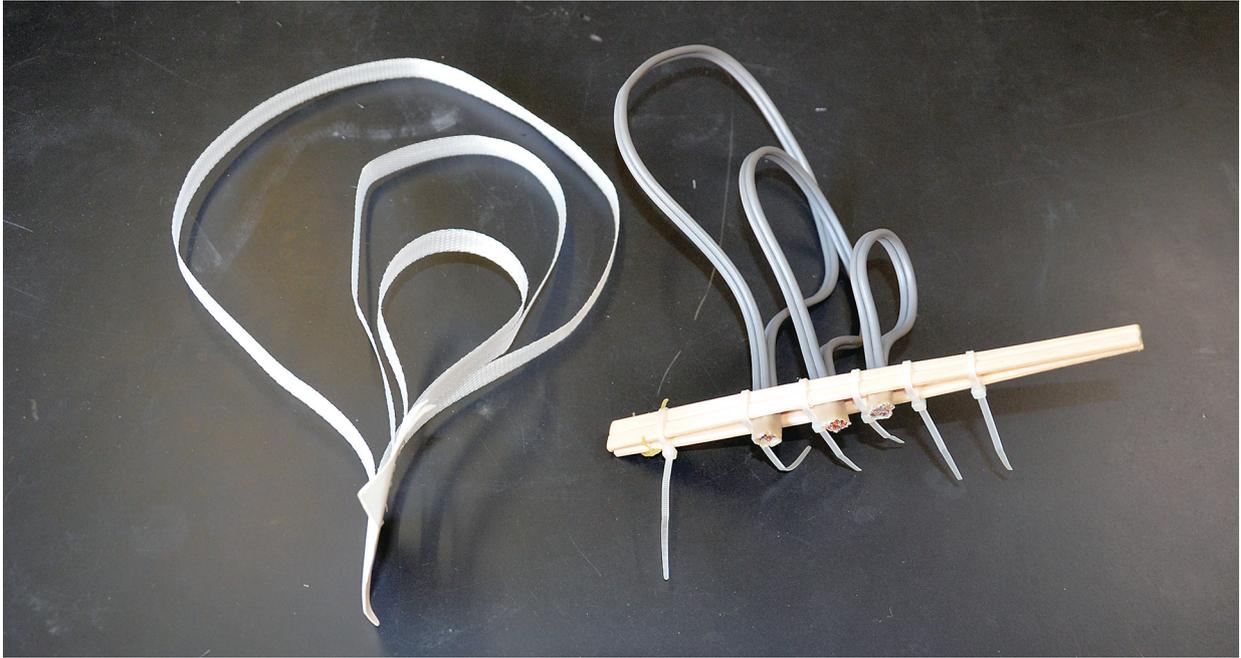
東西に伸びるベイブリッジに被害があったのは、上述の説明（第3図）と一見矛盾するようだが、実はそうではない。橋は伸びの方向と直角の方向に橋脚や橋台の基礎が築かれている。ベイブリッジの橋脚の基礎は南北に伸びているために、南から東西方向にねじれながら進んで来たS波により揺られ、被害が大きくなった（第4図）。従って、南から進行して来る新南海トラフ巨大地震のS波に対して、南北に伸びるライフラインの橋は比較的安全と思われる。一方、徳島から香川に向かう高速道路は東西方向に伸びており、この橋脚は南北方向に伸びているので、徳島・香川間や東西に伸びる高速道路に被害が集中すると思われる。

2. 地震波の震動

中学校第1学年理科、「活きている地球」の「大地がゆれる」では、震央からの距離が同じでも、土地のつくりやようすなどにより、震度が異なることを学習する。しかし、この説明では、木造と鉄筋の建物の違いによる揺れの違いは説明できない。そこで、以下のような眼で見える実験を開発した。

1) 固有振動周期の実験

小学校第5学年理科、「ふりこのきまり」では、1往復する時間といい、振動数や震動周期という語は使わない。しかし、一定時間でふりこの往復する回数を数えるので、周期は分かる。ふりこの長さが長くなれば、周



第5図 だんご三兄弟の固有振動周期実験（撮影：村田 守）
輪の大きさ合わせて、台座の揺らす速さを調節する。

期も長くなることを実験で確かめる。したがって、固有振動周期はふりこの長さと関係があることは理解できる。2つの同じ高さの音の出る音叉の片方を叩き、もう一方の音叉が鳴り出すことで、同じ固有振動周期の場合に共振することを学ぶのは、中学校第1学年理科なので、小学生に次に記述する耐震設計の基本を理解させるために、だんご三兄弟の実験を行う。

だんご三兄弟の実験の目的は、固有振動数の違いを体感させることである。そこで、紙やテープで大中小の輪を作り、それらを同じ台座に固定する（第5図）。輪の大きさに決まりはないが、大きさに差があったほうが良い。また、小の輪を10cm程度の大きさにしてしまうと、揺らすことが困難になる。揺らし方は、台座を傾けるのではなく、水平に揺らす。ゆっくり（固有振動周期を長く）揺すれば、振動周期の長い大の輪だけが揺れる。揺らす速度を速めると、大の輪は揺れなくなり、揺らす振動周期に応じて、中の輪や小の輪が揺れる。決して、同時に異なる大きさの輪が揺れることがないことを体感させる。

2) 建物と地盤の固有振動周期

建物には固有の振動周期がある。木造家屋で1～2秒、構造物（鉄筋）で0.4～1秒、高層建物で2～3秒、超高層建物で5～6秒である。鉄筋だと階数に0.1を乗じた数字が、振動周期の目安となる。建物が建っている所にも固有の振動周期があり、これが同調すると被害が大きくなる。埋め立て地で1秒以上、沖積層（平野）で0.4～1秒、洪積層（山の手や坂の多い台地）で0.2～0.3秒、岩盤で0.1秒である。同じ平野でも、海に近い所は軟弱な地層が厚くなるので、固有振動周期は長くなる。なお、地質学的に沖積世や洪積世という用語は用いなくなったが、普通名詞として本報では使用する。

江戸時代には、下町（沖積層）は長屋等の木造家屋に被害が多く、土蔵は被害が少なかったが、山の手（洪積層）では逆に、土蔵の被害が多く、木造家屋に被害が少ないことが分かっていた。1923年の関東大震災後、木造2階建てと土蔵の全壊率を調査した結果、江戸時代の言い伝えと被害が一致した。

建物の固有振動数と地盤の固有振動数が合うと被害が大きくなるので、両者を同調させないのが耐震設計の基本である。大小のペットボトルと段ボールで耐震設計の基本を知る実験を第6図に示す。ペットボトル大はユツサユツサ揺れ、固有振動周期が長いので木造家屋を示す。ペットボトル小はカタカタ揺れ、固有振動周期が短いので土蔵や低層鉄筋建物を示す。これを同時に段ボールの上に立て、段ボールをゆっくり前後に揺ると、ペットボトル大は倒れるがペットボトル小は立ったままである。段ボールを激しく前後にカタカタ揺ると、ペットボトル小は倒れるが、大は何ともない。



第6図 ベットボトル大小で見る耐震設計（撮影：村田 守）

3) 被害の多い建物

耐震補強をしても学校建物には危険な場所がある。それは固有振動周期の異なる建物と建物の境界・接合部である(相馬・柵座, 1997)。地震時に両者が衝突し合い、被害が出る。学校に多い、中庭を囲んだコの字型校舎、校舎と校舎を繋ぐ渡り廊下、外付け非常階段や増築部分である。さらに危険なのは、避難経路に渡り廊下や外付け非常階段が含まれていることである。火災時の避難経路と地震時の避難経路を区別することが重要で、地震時にわざわざ校庭に集合する必要はない。

固有振動周期の異なる境界に被害が集中するのは、一般の建物でも同じである。ビルとビルを繋ぐ渡り廊下やアーチ、上層に行くにつれて床面積が小さくなる建物、鉄骨の構造が途中から鉄筋に変わる建物、ビルの屋上駐車場へ繋がる外付けスロープ等危険な接合部は身近に数多くある。

Ⅳ. 火山噴火

火山が噴火するには、マグマが必要なので、マグマができる共融現象の実験を開発した。固溶体を作らないAとBが接していると、各々の融点よりも低い温度で、両者の接点が融け出す。AとBのどちらかが無くなるまで、同じ温度で同じ組成の液ができる。これが共融現象である。マントルは、主にかんらん石と輝石からなる岩石であるから、Aがかんらん石でBが輝石である。どちらかが無くなるまで融け続けることはなく、途中でできた液は集まり、密度が小さいために分離し、マグマとして上昇する。大西洋中央海嶺の玄武岩(MORB)はこのようにしてできたと考えられている。同じ組成の液(玄武岩)ができるので、1億年前や10億年前の玄武岩がMORBと同じ化学組成を示せば、それらの岩石はMORBと同じような環境でできたと推定できる。

実験は、佐藤利夫共融実験と呼んでいる。実験材料が砂糖と塩だからである。準備するものは、砂糖の代わりに試薬のショ糖(融点186℃)と塩の代わりに試薬の塩化ナトリウム(融点800℃)、アルミのケーキカップ、ホットプレートである。ショ糖を入れたカップ、塩化ナトリウムを入れたカップ、両者を半量ずつ入れたカップをホットプレート上でゆっくり加熱する。すると、ショ糖のカップも塩化ナトリウムのカップも変化は無いが、両者を



第7図 佐藤利夫共融実験（撮影：村田 守）
赤く融けた液の上に融けていないショ糖が見えるが、これは塩化ナトリウムと接していなかったため。

入れたカップは赤く融け始める。第7図の右側の粗粒がショ糖，左側の細粒が塩化ナトリウムである。両者の境界（接点）のみが融け始めていることが分かる。

マントルで岩石が融け，玄武岩質マグマができる。液体は固体よりも体積が大きくなるので，密度は周辺の岩石よりも小さくなり，マグマは上昇する。大陸地殻上部の岩石の密度は玄武岩質マグマよりも小さいので，上昇を続けたマグマは，密度が釣り合ったところで止まり，マグマ溜まりを作る。マグマ溜まりが周囲の岩石に熱を奪われ冷え出すと，密度が大きく高温で安定なかんらん石や斜長石等の結晶ができ始め，マグマの液体の部分の水や二酸化炭素等の揮発性成分の量が相対的に増えていく。揮発性成分が増えると，液体の部分の密度は小さくなり，濃集した揮発性成分は溶解度を超えると気泡になる。気泡発生により密度の小さくなったマグマは周囲の岩石よりも密度がさらに小さくなり，より地表近くへと上昇する。マグマが上昇し，圧力が低下すると，揮発性分の溶解度も小さくなり，気泡が生じ，発泡する。この発泡が大規模になると，マグマを破裂させ，火山灰・軽石を噴出したり，岩石を破壊し溶岩を流出する。二酸化炭素の溶解度は水よりも小さいので，二酸化炭素の方が先に気泡として発生する。

火口に溜まったマグマの表面に，気泡が集合・合体し，ある程度大きくなると気泡は破裂する。これが粘性の低い玄武岩や安山岩の噴火様式である。粘性が高くなると，気泡の集合・合体が上手く行かず，マグマの表面に集まることができない。しかし，マグマは上昇し，圧力は小さくなるので，高圧のガスを含んだ気泡が破裂する際に，マグマをも破壊し，岩片と火山ガスと一緒に噴出する大規模な噴火が起こる。これが粘性の高い安山岩や流紋岩の噴火様式（含火砕流）である。

1. 小中学校の当該学習内容

小学校第6学年理科，「大地のつくりと変化」では，火山や地震と大地の変化を学習する。そこでは，溶岩・

火山灰を学ぶ。岩石を堆積岩、火成岩（深成岩・火山岩）の分類を学習しなくなって久しいが、地域の野外観察実習を行う上で、支障を来しており、早急の復活が望まれる。また、教科書の「資料」の写真の説明で火山ガスや火砕流も学ぶ。

中学校第1学年理科、「活きている地球」の「大地が火をふく」では、マグマが上昇して噴火が起こり、火山噴出物が火口から噴出すると学習する。

中学校第2学年理科、「化学変化と原子・分子」では物質の成り立ちとして、物質の加熱した時の変化を学習する。砂糖水に炭酸水素ナトリウムを加え、加熱・攪拌し、カルメ焼きを作ったりする。カルメ焼きが膨らみ、たくさんすきまを作ったのは、加熱で発生した二酸化炭素であることを学ぶ。これは、火砕流や軽石・火山灰のでき方と原理的には同じなので、地学分野のマグマや火成岩は第2学年で学習しないと、岩石の化学組成・色・鉱物組み合わせ等が理解できず、単に暗記で終わってしまうだろう。

2. 溶岩実験の誤り

紙粘土と同じ形の火山のモデルを2つ作り、山頂から注射器に入れたねばりけの違うスライムや水溶き石膏を押し出して、形の違いを比較する実験が教科書に示されている。この実験では、マグマ溜まりが外から押されて、受動的に溶岩が流れ出すことになる。つまり、マグマ溜まりの圧力よりも周囲の圧力の方が大きいことになる。実際は、マグマ溜まりの圧力の方が高いから、溶岩を噴出し、山体崩壊を引き起こし、地下ではマグマを貫入させ岩脈を作るのである。噴火は、あくまでも能動的な活動である。

教科書の誤りはこれにとどまらず、「揮発性成分が多いマグマほど爆発的噴火を起こす」や「粘性の大きいマグマほど爆発的な噴火を起こす」としばしば書かれているが、これは正しくないと藤井・頼額（2008）は指摘している。あくまでも、マグマ中に溶解していた揮発性成分が、マグマ上昇に伴い分離し生じた気泡の挙動という観点で噴火を総合的にとらえさせることが重要である。これは、マグマの噴火だけでなく、暖かい空気塊が上昇し雲を作る（中学校第2学年理科）や水溶液の性質（中学校第1学年理科）の履修事項と関連づけて理解できる。残念ながら、現行のカリキュラムではそこまで考慮されていない。

中学校第1学年理科、「活きている地球」の「大地が火をふく」では、火山灰の観察を行うが、観察対象は鉱物であって、マグマが揮発性分の発泡により破碎された跡の火山ガラスを観察しないのは、噴火現象の本質から眼をそらしていると非難されても仕方ない。村田（1998）と林（2006）は、炭酸飲料のコーラで、マグマの発泡現象や火砕流の説明を行っており、一部の教科書でも炭酸飲料の説明がコラム的にあるが、火山灰の観察で発泡の証拠と結びつけられていない。

3. 自噴式溶岩実験

1) お好み焼き粉

中学校理科の火山の形態と溶岩の粘性との関係を知る噴火モデル実験として、チョコレートシロップと水飴やスライム等を用いることが多い。その理由として、容易に粘性を変えることができるからである。岡田・澁江（2009）はスライムが溶岩と同様の挙動を示し、溶岩の代替としてスライムが使えるのかを検討し、スライムの流れは層流と見なせること、玄武岩質溶岩流の粘性率なら再現できるが、熔岩ドームの粘性率は実際の熔岩ドームのそれよりは小さいことを明らかにした。彼等の粘性率の検討から、スライムの流速から実験室で溶岩流の流速を求めることもできるようになった。

火山の噴火実験で、スライム等を用いた実験を中学生や教育学部学生が行う時に、2つの問題点が生じる。第1点は、マグマとみなす材料を火口から押し出す作業にある。この火山のモデル実験を行ったために、彼等は火山の噴火は周囲の岩盤から押されて（加圧されて）溶岩が流出すると考えてしまう。第2点は、溶岩流と火山灰を統一的に理解できないところにある。火山灰中の鉱物を観察することで、逆に火成岩と鉱物の正しい理解を妨げていると益田（2004）が指摘しており、観察実験を行うことで、正しい理解が得られるような工夫が必要である。

上記の問題点を解決するために、お好み焼き粉を用いた火山噴火実験モデルを作製した（村田，2010）。玄武岩、安山岩及び流紋岩の溶岩流を水とお好み焼き粉の割合が各々1：2、2：5及び1：3で代用した。これを市販のソース容器（マグマ溜まり）に入れ、容器の口に穴をあけた黒色ボードかぶせ、火口と地表とした。放置しても、お好み焼き粉中のベーキングパウダーや重曹が分解し、二酸化炭素が発泡することで、お好み焼き粉の流れがソース容器よりあふれ出し、それぞれの火山地形を形成した。この実験を行うことで、マグマ溜まりでの



第8図 自噴式溶岩実験（撮影：村田 守）

発泡現象が溶岩の流出の原因であること、外圧ではなく内圧で噴出すること、発泡の多いところが火山灰となること、発泡現象が火山灰中のガラスに観察できることが容易に理解できるようになった。

実験材料は以下の通り。お好み焼き粉（賞味期限切れ可）、ソース容器（200ml）、カラーボード（発泡ポリスチレン）、500ml ビーカ（お好み焼きと水の計量及び湯浴用）、電熱器（湯浴用）、お好み焼き粉を混ぜるボウルと泡立て器（はしで可）。水溶性お好み焼き粉をソース容器が一杯になるまで入れるので、200ml は大きすぎる。小さければ小さい程、自噴に要する時間が短くなる。

操作手順概略は以下の通り。玄武岩、安山岩、流紋岩の溶岩流を、水とお好み焼き粉が各々1：2，2：5，1：3の割合とし、ボウルでよく混ぜ、ソース容器に移し、蓋をする。ソース容器の蓋であらかじめ穴を空けておいたカラーボードをソース容器に被せる（第8図）。噴出物の流動性を見るために、カラーボードは少し傾けておく。10～20分放置、あるいはビーカで5分湯浴する。室温放置の場合、10分で自噴するが、20分放置しても噴出量はあまり増加しなかった。湯浴すると、2～3分で噴出し始め、5分湯浴で噴出量は充分であった。湯浴により噴出したお好み焼き粉溶岩流は、1時間放置しても溶岩流の形状を残しているため、従来の実験材料よりも優れている。

2) 2種類のケーキミックス

お好み焼き粉の水分量を調整して、粘性の差による火山体の形状の違いを示すことができた。しかし、黒色の玄武岩と白色の流紋岩の色の違いも同時に見せるために、お好み焼き粉をケーキミックスに変更した。流紋岩は普通のケーキミックス（ホットケーキミックス）を用い、玄武岩はチョコレートケーキミックスを用いた。実験材料や操作手順は上述と同じである。実験結果は、色の違いと粘性の違いが一緒に理解できるが、ややもすると発泡現象への注意がおろそかになるため、流紋岩の発泡跡は観察させたい。お好み焼き粉でもケーキミックスでも、玄武岩溶岩の粘性は実現できるが、流紋岩の粘性は再現できなかった。

3) マグマミキシング

ソレライト質岩系列の玄武岩質マグマと流紋岩質マグマが混合すること（マグマミキシング）で、カルクアルカリ岩系列の安山岩質マグマが生じることがある。マグマミキシングで生じた安山岩には、非平衡な鉱物組み合わせ

わせやマグマの混合した名残の不均質部が残っている。マグマが完全に混じらずに、黒色（玄武岩）と白色（流紋岩）繰り返しの縞模様が残った軽石もある。マグマミキシングで生じた安山岩の組織や非平衡鉱物組み合わせを玄武岩と流紋岩とを熔融混合させ、室内で再現したのは Kouchi and Sunagawa (1982, 1983) であった。多くの安山岩はカルクアルカリ岩系列に属するのに対し、玄武岩の多くはソレアイト岩系列に属すが、西南日本ではソレアイト岩系列を伴わないカルクアルカリ岩系列の安山岩が大量に分布しており、全ての安山岩がマグマミキシングで生じたわけではない（村田, 2019）。このあたりが、岩石学では一般科学（専門家の常識）となっているマグマミキシングが教科書に降りてこない理由だろう。

2種類のケーキミックスを用いて、自噴式マグマミキシング実験を行った。上述したように、流紋岩のケーキミックスの粘性は、実際の流紋岩マグマのそれよりも小さい。実験の器具・操作は基本的に上述の通り。マグマミキシングの実験は、玄武岩マグマを想定したチョコレートケーキミックス液を先にソース容器の半量より多めに入れる。次に、流紋岩マグマを想定したケーキミックス液を静かに容器一杯まで入れる。これを湯浴する。縮状軽石にはならないが、1層の混合軽石、マグマミキシングができる。

V. 水害

水害は、地震や火山噴火に比べ、予想し易く、災害も頻発しているために避難対策がたて易い。また、古来から水害による恩恵も受け、他の自然災害と比べ人間社会との共存の面も大きい。サハラ砂漠の東部に位置するエジプトは、ナイル河の洪水による泥土で肥沃な平野ができ、紀元前4200年から文明が栄えた。当時は、氷河期が終わり、温暖化の後の寒冷化の時期であり、乾燥化していた。一時期の湿潤期をはさみ、乾燥化が続いた。しかし、ナイル河の定期的な氾濫で、ナイル河西岸に古代エジプト文明が栄えた。ギリシャのヘロドトス（紀元前5世紀、生没年不詳）が著した「歴史」の第2巻（エウテルペ）に、ナイル河の記述がある。そこには、ナイル河のデルタはナイル河の賜で、新しく獲得した土地と記している。また、デルタが隣接地域よりも海中に突出していること、エジプトの土壌は、（元からあった）泥とナイル河がエチオピアから運んだ沖積土からなるとも書かれている。頻繁な洪水とそれがもたらした恩恵を当時から実感していたのだろう。

令和2年から、「雨水の行方と地面の様子」が小学校4年生理科で新たに学ぶようになった。地面の様子は、平成10年から削除された3年生理科「土砂泥の水のしみ込み方の違い」の学習の復活である。このことにより、降雨が地面に浸透することまでは児童が理解できるようになった。ただし、地表における水の循環のうち、降雨の一部は地面に保水されるが、それ以上の水は大地を通り、降雨と共に河川に流入し、外水氾濫を引き起こすことは、教員のフォローが必要である。地面にしみ込んだ水が保水されることは、森林とダムという日本の治水・利水の大原則の一翼を担っている。

1. 小中学校の当該学習内容

小学校第4学年理科、「自然の中の水のゆくえ」では、「地面を流れる水のゆくえ」を学び、農業への恵みと崖崩れ・地滑り・土石流の災害の二面性を学習する。

小学校第5学年理科、「台風と気象情報」と「流れる水のはたらき」では、森が自然のダムとなり、一時的に水を蓄えるので、コンクリートの地面や舗装道路が増えると、雨水が一気に川に流れ込み水害になることを学習する。

中学校第1学年理科、「活きている地球」の「大地が語る」では、仙台平野の弥生時代の水田遺跡（沓形遺跡）で、水田が津波堆積物に覆われている例や高知県蟹ヶ池の津波堆積物の例が「資料」で示されている。

中学校第2学年理科、「天気とその変化」では、地球上の水の循環、降雨や台風のメカニズムを学ぶ。また、水害に備えた放水路や遊水地も学習する。道路はアスファルト舗装されているために、降雨は側溝から河川に入り、海に流れていくことに注意が向けられ、森林や地面の保水や地下水については、ほとんど触れられない。

2. 過去の水害跡の実例

日本の沖積平野は国土の約10%、盆地等を含めた可住地は国土の約30%であるが、これらの大部分は河川水害（洪水）によって形成されたものであって、日本でも昔から、今とは比べ物にならないほど大規模な水害が頻発していた。水害があったのであるから、当然大規模な豪雨もあったはずである。

歴史学や考古学は社会科の分野になるが、水害と密接に関係している。遺跡を埋蔵文化財と呼べば、地面の下



第9図 川田中小学校の校舎建替え工事現場のパイピング跡 (撮影：川真田早苗)

から掘り出した感が強くなる。しかし、地面を掘り起こして出て来た出土品や側溝等の遺構の面が当時の地面であったことや、何故現在の地面の下に埋もれたのかについて、あまり疑問に思われないようだ。地質学を学べば、化石が出なくても、堆積岩があれば、昔は海だったことぐらいは容易に分かる。同様に、平野を見れば、過去の大規模な洪水を容易に推察することができる。しかし、小中学校で地学分野を学んだ程度では、地質学のもの見方まで身につけることはできない。しかし、遺跡や江戸時代の治水工事や埋め立て工事を社会科で学習する際に、洪水時に大量の土砂が堆積したことに気付かせれば、水害に対する意識付けができるだろう。

1) 徳島県の例

吉野川は水害が多く、流域には高地蔵と呼ばれる1～4mの台座の上に地蔵像が祀られている。これは他地域にはない特殊な地蔵である。諸説はあるが、その分布域が過去の水害地域とほぼ一致することから、水害に備えて台座を作成したと考えられている。このことから分かるように、吉野川流域は水害と恩恵の共存共栄の歴史であった。

吉野川がもたらした恩恵の一つに藍がある。名西郡石井町には、藍の豪商であった田中家が国指定重要文化財として保存されている。藍作りのために、洪水氾濫原に約30年の年月をかけて作った屋敷であり、水害対策として、吉野川に面した方角に石垣の塀をめぐらし、床を高くし、天井には小舟を吊るし、茅葺きの屋根は家屋と切り離せば船として使えるように工夫されている。田中家以外でも、周辺家屋は隙間無く積まれた高い石垣のある家屋が多く、水害頻発地域であったことが分かる(川真田ら, 2017)。

吉野川市山川町は、吉野川に流入する川田川の扇状地が発達している。川田川は水位が低く、多くが途中から伏流水として吉野川に流れ込むと考えられている。扇状地に位置する川田中小学校の運動場は、豪雨後に校庭に水の噴出口が見られ、2013年9月15日の台風18号では校庭に625ヶの噴出口が出現した(川真田・村田, 2017)。この時に、著者の一人(S. K.)から防災教育プログラム(川真田・村田, 2017)を受けた女子児童が中学生になり、川田中小学校の建替え工事現場で、奇妙な地層があると連絡して来た(Kawamata and Murata, 2017)。これは、台風時の校庭の水の噴出口の跡で、伏流水の抜け跡のパイピングであった(第8図)。垂直に見えた部分は、伏流水が運搬した岩石で埋められている。校庭での噴出口からは、水だけでなく、土砂や小石も運ばれ、水の流れの跡として観察できた(川真田・村田, 2017)。防災プログラムを学んだ児童は、水害を自らの問題として捉え、

身近なところから課題の解決につながる行動を生み出すことができたので、自然災害の学習はESDの基本理念の体現に適しているようだ。

2) 滋賀県の例

滋賀県守山市と野洲市には、野洲川によって作られた沖積平野が分布している。JR東海道線の北西側の沖積平野は、水田や京都・大阪通勤のベッドタウンになっているが、その下には多くの遺跡が分布し、ベッドタウンの住民は、洪水跡地に住んでいる。

野洲川河口の服部遺跡（現在は埋蔵文化財センター）は、弥生時代から平安時代の水田と集落の遺跡である。埋蔵文化財センターの展示内容を参考に纏めると以下の通りである。服部遺跡は、1974年に野洲川の洪水対策のために、北流と南流の間に放水路を作る工事の際に発見された。1979年の発掘調査終了時には埋め戻しはなく、残念ながら工事再開により消滅した。地下3mから1.5mの範囲に下位から、弥生時代前期の広大な水田跡と集落跡、弥生時代中期の方形周溝墓群と集落、弥生時代後期の初頭の集落及び後半の環濠集落、古墳時代前期の導水施設と大規模集落、古墳時代中後期の古墳、奈良～平安時代の条里制の遺構が積み重なる複合遺跡である。弥生時代の前期から平安時代までの遺構は互いに混じることがないことから、大洪水で土砂に埋まり、人は去り、人は戻り、営みを始める。洪水による破壊・埋没・再生が繰り返される（村田ら、2020）。古墳時代中後期の方形周溝墓群と集落の間と弥生時代後期の初頭の集落及び後半の環濠集落の間にも各々洪水が想定されている。洪水による堆積層は40～50cmとされている。勿論、地層として残った層だけが見えているので、洪水は6+2の8回あったのではなく、紀元前400年前から現在まで、最低8回大洪水があり、3mの堆積物が残ったのが解釈として正しい。その他の洪水の証拠は、その後の農耕作業による浸食で失われているだけであり、周辺の遺跡と組み合わせることで、より正確な水害の歴史が編めるだろう。

野洲川は下流の北流と南流のほかに、旧境川や葉山川の支流もある。これら支流流域にも数十の遺跡が分布している。野洲川と葉山川の間の沖積平野の遺跡の分布を調べると、寒冷な気候の弥生時代や古墳時代には遺跡は全般に分布し、温暖な気候の奈良～平安時代には弥生・古墳時代の北西側（下流）の遺跡に重なって分布し、寒冷な気候の中世には葉山川沿いに小規模な遺跡が分布する。中世の時代には、野洲川の治水工事があったのかも知れない。寒冷な時代は雪解け水による洪水が多いかと予想したが、遺跡数が少なく、洪水は少なかったようだ。温暖な気候の時代は水の蒸発量が多く、湿潤で降雨量も多く、洪水も多かったのかも知れない。

さらに上流の栗東・草津市境界近くの守山市に国史跡の伊勢遺跡がある。これは、弥生時代後期の30haに及ぶ巨大祭祀空間であり、大型建物が等間隔で配置されていた。西半部には縦穴建物群も分布した。周辺にも、弥生時代中期や後期の集落遺跡が分布している。現在は埋め戻しになっており、住宅地の更地状態を呈している（村田ら、2020）。

守山市の野洲川周辺には、数多くの遺跡が分布している。これらの遺跡は水田地帯にあり、水田は大洪水の土砂の運搬・堆積により形成した沖積平野を意味している。大洪水で土砂に埋もれてしまったことで、風化浸食を免れ、保存された。しかし、過去の生活の営みが全て遺跡として保存されている訳ではない。しかし、遺跡やエジプト文明の例から、沖積平野は洪水の結果できたことは理解できるだろう。私たちは、洪水の氾濫原の上に住んでいるのだと分かれば、水害対策も自分ごととして取り組めるようになるだろう。

3. ホートン型地表流実験と環境保全

降雨の一部は地面に保水されるが、それ以上の水は大地を通り、降雨と共に河川に流入し、外水氾濫を引き起こす。地面にしみ込んだ水が保水されることは、森林とダムという日本の治水・利水の大原則であるが、水が地面にしみ込むか・しみ込まないかについて、十分教えられることはなかった。このことを教えない限り、森林保全の重要性は理解できない。

Bennettの1939年の米国における降雨による土壌の浸食量と雨水の流失量をGilluly *et al.* (1968)が再掲している。雨水の流失量を纏めると、休閑地では48.8%、トウモロコシ畑では41.95%、草地では6.5%、森林では1.2%であった。日本と米国では、土地の傾斜も異なるが、森林の保水力が高いことは分かる。土壌の浸食量も雨水の流失量と対応しているため、森林の保全が水害や土砂崩れの防止に役立っていることが分かる。

途上国においては、燃料（薪）としての森林伐採が増えており、降雨による突発的な洪水の被害が頻発している。森林のない山肌は、上記の休閑地と同じで、保水能力が低い。本来なら、降雨初期の土壌の浸透能は高く、徐々に小さくなり、雨水は地面に吸い込まれないように見える。この浸透能よりも降雨量が多くなると、雨水は地表を流れる。これをホートン型地表流と呼び、その後は水害に見舞われる。

ホートン型の地表流は突発的な水害を引き起こすので注意が必要である。このホートン型地表流と森林保全の重要性が分かる実験を開発した。準備するのは、乾燥したスポンジである。厚めの食器洗い用のスポンジが良い。これを傾け、水道水を表面に流す。水はスポンジに浸透せず、表面を流れていく。ここで、スポンジを握り、水を吸わせ、軽く絞る。濡れたスポンジを同様に傾け、水道水を表面に流す。今度は、水はスポンジに浸透し、過剰な水がスポンジの下に垂れ、次にスポンジの表面を流れていく。この表面を流れるのが、ホートン型地表流である。この実験では、森林の手入れを怠ると、地表が乾燥した禿げ山同様に、地面に雨水が浸透せず、突発的な水害を引き起こすこと、水源涵養林の保全が緑のダムとなり、水害の発生を抑えることが理解できる。

VI. おわりに

近年では、小規模頻発災害の水害や大規模稀発災害の地震による被害のニュースを目にすることが多い。これらの自然災害に適切に対応するためには、自然の事物・現象や規則性等を理解することが必要であり、理科、とりわけ地学分野の知識が必要不可欠である。自然災害の学習には社会科の地理分野として扱われる分野もあるが、自然地理学は学問体系としては第四紀地質学に属するので、地質学（地学）の知識を持った理科教員が自然災害の原因や予測の学習や、教科横断的な防災減災教育の取り組みの中心的な役割を担う必要がある。

謝辞

本研究には、兵庫教育大学大学院連合研究科共同プロジェクト(X)、科研費18H01071及び20K22225の経費の一部を使用した。記して謝意を表す。

引用文献

- 藤井敏嗣, 額額一起編 (2008), 地震・津波と火山の事典. pp. 188, 丸善, 東京.
- Gilluly, J., Waters, A.C., and Woodford, A.O.(1968), Principles of geology(third edition). pp.687, Toppan, Tokyo.
- 林 信太郎(2006), 世界一おいしい火山の本ーチョコやココアで噴火実験(自然とともに). pp. 127, 小峰書店, 東京.
- 加藤祐三 (2009), 軽石ー海底火山からのメッセージ. pp. 264, 八坂書房, 東京.
- 金 凡性 (2007), 明治・大正の日本の地震学「ローカル・サイエンス」を超えて. pp. 174, 東京大学出版会, 東京.
- 川真田早苗, 村田 守 (2017), 徳島県吉野川市川田川水害頻発地域の小学校4年生を対象とした総合的な学習の時間における防災教育プログラムの実践. 実践教育学論集, 18, 145-155.
- Kawamata, S. and Murata, M.(2017), The Prevention Disaster Program of Flood in 2013 for the 4th Grade Students of Kawatanaka Primary School, Tokushima Prefecture, Japan and Underflow Channels Revealed in 2016. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 95, (022026), 1-5, <doi: 10.1088/1755-1315/95/2/022026>
- 川真田早苗, 藤岡達也, 香西 武, 村田 守 (2017), 徳島県飯尾川流域における2011年台風15号水害の防災教育プログラム開発. 地学教育, 69, 171-183.
- Kouchi, A. and Sunagawa, I.(1982), Experimental study of mixing of basaltic and dacitic magmas. Sci. Rep. Tohoku Univ. Ser/III, 15, 163-175.
- Kouchi, A. and Sunagawa, I.(1983), Mixing of basaltic and dacitic magmas by forced convection. Nature, 301, 527-528.
- 益田裕允 (2004), 学習内容の厳選と指導法の相違が中学生の火成岩概念の形成に与える影響. 地学教育, 57, 59-67.
- 村田 守(1998), X解説編. 徳島自然の歴史, 奥村 清, 西村 宏, 村田 守, 小澤大成著, pp. 242, コロナ社, 東京, 163-240.
- 村田 守 (2010), お好み焼き粉を用いた自噴式火山噴火モデル. 日本地質学会第117年学術大会(富山大学)講演要旨集.

- 村田 守 (2019), 鳴門教育大学地学教室村田研究室小史. 鳴門教育大学研究紀要, 34, 270-322.
- 村田 守 (2021), 減災教育から読み解く1755年リスボン地震と宰相ポンバルの復興計画. 近年の自然災害と学校防災Ⅱ, 兵庫教育大学連合大学院・防災教育研究プロジェクトチーム著, (印刷中), 協同出版, 東京.
- 村田 守, 川真田早苗 (2021), 月は西から昇る: 鳴門教育大学生驚愕の真実. 鳴門教育大学学校教育研究紀要, 35, (印刷中).
- 村田 守, 吉川武憲 (2013), 津波を取り扱った減災教育の観点. 生きる力をはぐくむ学校防災, 学校防災研究プロジェクトチーム著, pp. 184, 協同出版, 東京, 44-53.
- 村田 守, 堀 道雄, 川真田早苗, 藤岡達也 (2020), 近年の自然災害と学校防災・危機管理 (Ⅱ)-8 — 社会科教育への科学リテラシーの導入: 遺跡を過去の水害跡として読む — 令和2年度日本教育大学協会研究集会 (愛媛大) 研究発表資料集, 270-273.
- 岡田浩一, 澁江靖弘 (2009), スライムの粘性率の測定と溶岩の粘性と火山の形に関するモデル実験. 地学教育, 62, 185-193.
- 相馬恒雄, 梶座圭太郎 (1997), 阪神大震災と学校 (2) 教師のための地震工学. 富山大学教育学部紀要, 49, 21-34.
- 東北大学理学部地質学古生物学教室 (1979), 1978年宮城沖地震に伴う地盤現象と災害について. 東北大学理学部地質学古生物学教室研究邦文報告, 80, 1-97.
- 宇津徳治 (1977), 地震学. pp. 286, 共立出版, 東京.

Development of experiments for the education of prevention and reduction of natural disasters (earthquake, volcanic eruption and flood)

MURATA Mamoru* and KAWAMATA Sanae**

Natural disasters often occur in the world. The education of prevention and reduction of the disasters is one of the most important targets in schools and lifelong learning. The education has been performed as ESD although it was finished in 2014. As EDS for 2030 is promoted by UNESCO to achieve SDGs (the sustainable development goals), the education of prevention and reduction natural disasters is still important. Experiments based on the mechanisms of natural disasters such as earthquake, volcanic eruption and flood are introduced with the brief professional explanations.

*Naruto university of education

**Hokuriku gakuin university