

減災教育を意識した液状化現象実験観察の実践例

下 岡 順 直* 山 本 圭 香** 山 本 順 司***

キーワード：河川砂、選別分析、液状化現象、減災教育

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東日本大震災では、地震や津波による甚大な被害が生じた。東日本大震災以降、全国的に地震によってもたらされる被害想定や防災、減災への意識が非常に高まった。大分県においても、大分県周辺で起こると想定される地震に対する津波や液状化の被害想定が行われ、行政のホームページなどで公表されている（例えば、<http://www.pref.oita.jp/soshiki/13550/higaisoutei.html>）。上記ホームページによると、別府地溝南縁断層帯や中央構造線断層帯で想定される地震により、大分市街地の液状化被害が想定されている。東日本大震災では、千葉県浦安市など想定していなかった地域での液状化現象による甚大な被害が報告されている。

液状化現象は、1948年福井地震を契機として研究が始まり、1964年新潟地震においてその現象が一般に広く認識された。液状化現象とは、「固体として振る舞っていた地層が急激に流動化する現象」（風岡2005）と説明されている。液状化現象が発生することによって生じる被害は、地盤の沈下や構造物の浮き上がりなどが挙げられる。液状化現象は、自然堤防縁辺部や旧河道、旧池沼などの地形で発生しやすく、東日本大震災では千葉県浦安市において甚大な被害が報告されたように、特に盛土地や埋め立て地など人工形成された地形で起こりやすいとされている。

液状化現象は、身近に起こりうる被害として東日本大震災でも目の当たりになった。そのため、液状化現象に関する教材や実習の実施は、岩藤（2011）や田中（2011）など様々取り上げられている。しかし、一般市民にはまだ十分認知されているとはいえない。幾度となく自然災害を被ってきた我が国において、自らが居住する周辺地域の地質および自然環境に対する無知は、大きな危険を意味するだろう。減災教育の一環として、地域地質を重

視した地学教育は現在において最重要課題の一つである。

筆者らは、2011年10月に大分県少年少女科学体験スペース「O-Labo」（以下「O-Labo」）において、実習『身近な「すな」の性質を知ろう！－「すな」粒の大きさと液状化の関係－』を行った。実習では、大分市などで地震被害として起こりうる可能性が高い液状化現象を取り上げた。液状化現象と砂の粒径の關係に着目し、粒径の違いによって液状化現象が発生する差を観察することに重点をおき、液状化現象がどういったメカニズムで生じる現象であるかを子ども達に理解してもらうことを目的とした。本稿では、「O-Labo」で行った実習について報告し、事後に行ったアンケート結果から子ども達がどの程度理解できていたかについて考察する。

2. 教育実践の概要

(1) 液状化現象観察のための河川砂の選別作業

液状化現象の実習に使用した砂は、大分県杵築市安岐町の安岐川中～下流の河原から採取した河川砂である（図1）。安岐川堆積物の粒度分布については、向井ほか（1968）の報告を参考にした。液状化現象を起こしやすい平均粒径は、振動や含水率などで変動するが、一般に約0.02～2 mm（<http://www.mmjp.or.jp/honki/ie/ekizy-ouka/kiso0052.htm>）や0.1 mm程度（北川2011）とされている。今回は、粒径の違う2種類の砂を用いて液状化現象の実習を行うため、なるべく分級作用が生じていない河川砂を採取した。ただし、6 mm程度よりも大きい粒度に関しては、後述するふるいの耐久性を保持するために採取時点で除去した。

「O-Labo」における実習時間は90分であるため液状化現象の観察だけでなく、身近な「すな」の性質についても考えてもらうために実際に採取した河川砂を粒度で複数に分け、河川砂の円磨度判定や磁気分離作業も行える

* 立正大学地球環境科学部

** 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所

*** 北海道大学総合博物館

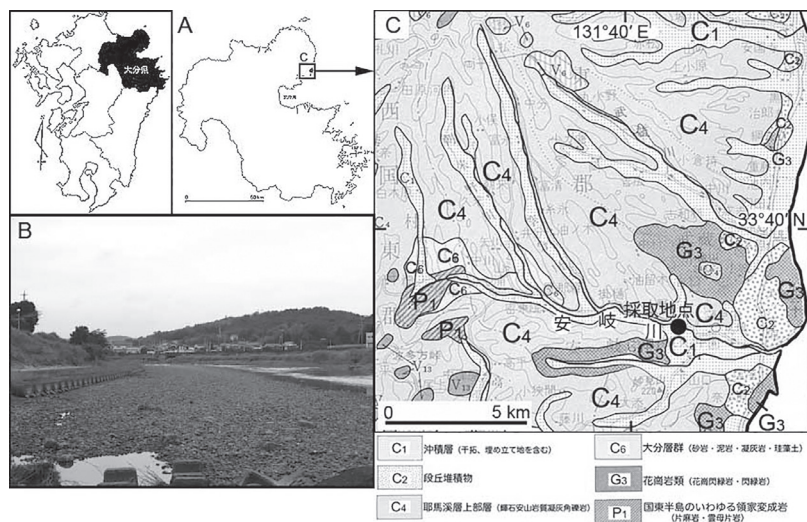


図1 河川砂の採取地点（Cの●地点）

A：大分県杵築市安岐町安岐川の位置、B：河川砂を試料採取した安岐川の河原風景、C：採取地点周辺の地質図（大分県地質図1/200,000（宮久1971）を使用した）

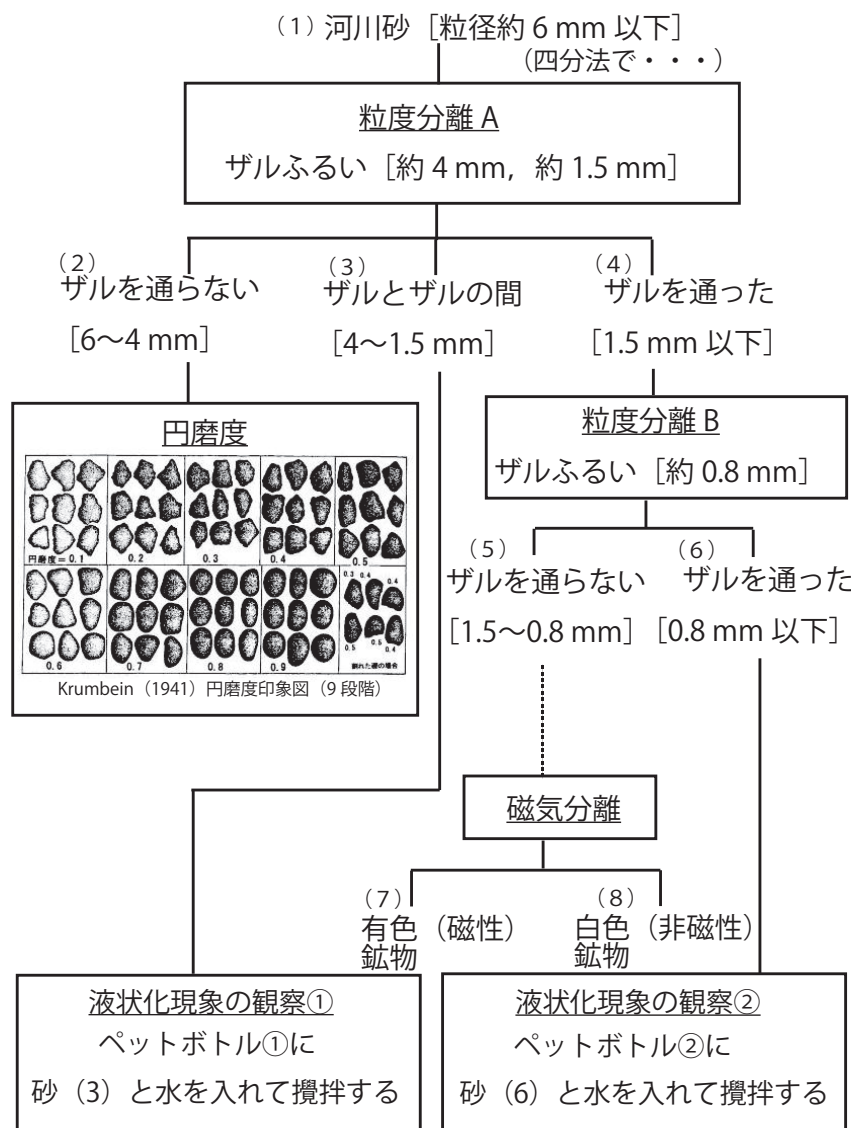


図2 河川砂選別作業および液状化現象観察手順のフローチャート

(1)～(8)は選別した砂を分けて入れるポリチャック袋の番号を示す（表2を参照）

表1 作業で使用する道具類一覧(1名分)

用具類など	個数	コメントなど
河川砂	1	河川砂をフローチャートでは(1)とする
ペットボトル	2	2Lサイズを用意
ポリチャック袋	8	篩い分けをした砂を入れておく
ザルふるい	3	篩い用(目の開きは約4 mm、1.5 mm、0.8 mm)
洗面器	2	篩い分けをした砂の受け器
ルーペ	1	円磨度判定に使用、倍率は5倍～10倍程度がよい
A3用紙	1	実験中に下に敷いておくと試料の散乱を防げる
ボール	2	100円で販売されている小さいボール状玩具
はかり	1	粒径や水の重さをはかる
磁石	1	100円の円磁石で可能
スプーン	1	液状化現象の観察の際に攪拌のために用いる
葉包紙	3	磁気分離の際、磁石に直接砂がつかないようにするため。 また、少量の試料を包むのに有効

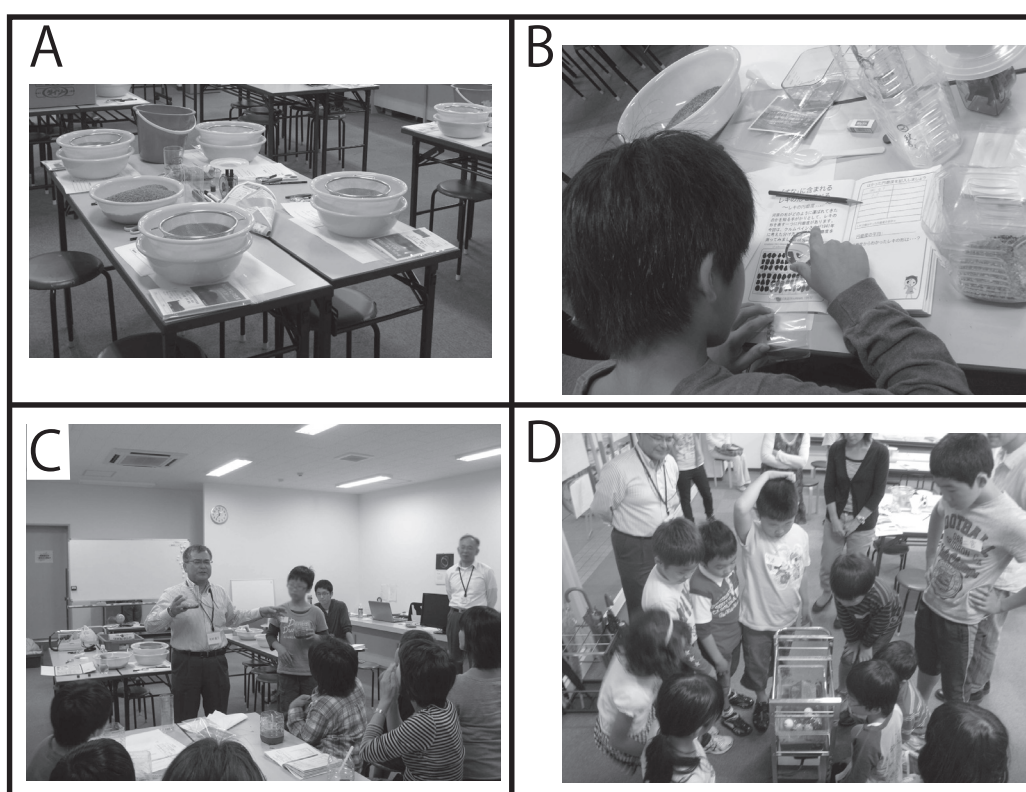


図3 大分県主催少年少女科学体験スペース「O-Labo」での授業実践の様子(2011年10月15日実施)
A: 1テーブル4名分の作業道具、B: 河川砂の円磨度観察、C: 液状化現象の観察、D: 教授者による特製デモ装置の実演風景

複合的な実習プログラムを設定した。図2に、作業手順のフローチャートを示す。また、実習プログラムで用いる一名分の道具類一覧を表1に示す。作業は子ども達が一人ずつ行えるようにするために、道具類はすべて身近にありかつ安価なもので揃えた。(図3A)。

次項では、実習プログラムの作業手順について記述する。

(2) 作業手順と授業展開

タイムスケジュールとなる授業展開例を表2に示す。河川砂を用いた実習プログラムにおける作業の手順は、以下の通りである。

1. 河川砂の粒度分離
2. 河川砂の円磨度判定
3. 河川砂の磁気分離(磁石を用いて有色鉱物(磁性鉱物)と白色鉱物(非磁性鉱物)に分離)

表2 大分県主催少年少女科学体験スペース「O-Labo」での授業実践の展開例（90分）

所要時間	学習・作業内容	各作業の概要など
目的説明 (15分)	動機付け	最初に砂をなぜわかるのか？…目的を紹介する
		粒度でわけた河川砂の説明
		液状化現象の観察について
	作業の説明	道具の確認
		作業順番の簡単な説明
		作業中の注意事項
作業・観察 (55分)	観察キットの作成	2本のペットボトルを二つに切って液状化現象観察キットを作成
		ペットボトル①とペットボトル②とする
	粒度分離 A	2つのザルで砂(1)をふるう
		砂(2)と砂(3)と砂(4)の作成
		砂(2)は円磨度観察用に保管
		砂(3)は液状化現象の観察①用にペットボトル①へ入れておく（重量を計測）
	円磨度の観察	作業方法および円磨度について説明
		砂(2)を使い、Krumbein の印象図に従い、円磨度の観察
		円磨度作業結果を発表させる
		円磨度のまとめ
	粒度分離 B	砂(4)をザルでふるう
		砂(5)と砂(6)の作成
		砂(6)は液状化現象の観察②用にペットボトル②へ入れておく（重量を計測）
	磁気分離	時間が短いので、作業方法を説明し、作業は家で行ってもらう
	休憩	
	液状化現象 観察① 液状化現象 観察②	液状化現象の観察①と②を行う意図について説明
		1. ペットボトル①と②へ入れて水を注ぐ
		2. 机の上でペットボトルに軽く振動を与える
まとめ (20分)	まとめ	3. 観察後、スプーンでしっかりと攪拌し、表面を平らにならす
		4. ボール状玩具を軽く埋めて再度ペットボトルに振動を与える
		観察①と②で起こった違いを観察させる
	実演による観察	教授者が特製デモ装置による実演、液状化現象の観察
		液状化現象について
	質問	大分でもし液状化現象がおこったら…
		今後私たちが取り組むことは…
	アンケート記入 片付け	

4-1. 子ども達によるペットボトルを用いた液状化現象の観察

4-2. 教授者による特製デモ装置を用いた液状化現象の実演とその観察

5. 大分県で想定されている地震と液状化現象の被害状況について教授者による説明

河川砂の粒度分別作業は、目の大きさがそれぞれ違う台所用もしくは園芸用のふるい（以下、ザルふるい）を用いた。まず、2種類の目の粗いザルふるいを用いて一人400 ml 程度の河川砂を、おおよそ6～4 mm、おおよそ4～1.5 mm、おおよそ1.5 mm 以下の粒度に分離後（図2：粒度分離 A）、1.5 mm 以下の砂はさらに目の細かいザルふるいを使って、おおよそ1.5～0.8 mm とおおよそ0.8 mm 以下に分離した（図2：粒度分離 B）。今回、液状化現象

の観察には、おおよそ4～1.5 mm とおおよそ0.8 mm 以下の粒径を用いた。後者の粒径で、液状化現象は観察できる。1～3の作業工程で分離した河川砂は、それぞれ（2）～（8）（図2）のポリチャック袋へ入れるように指示し、作業後に観察しやすいようにした（以下、砂（2）～砂（8）とする）。

分離した砂（2）の円磨度判定には、Krumbein（1941）の円磨度印象図を用いた。そして、無作為に抽出した10粒についてそれぞれルーベを使って観察させ（図3B）、その平均値を求めさせた。

磁気分離の作業は、砂の磁気的な性質を知るためであり、液状化のメカニズム理解で必要とされる知識とは外れる。また、時間をかなり要する作業であるため、作業の仕方について実演して見せ、実際には実習後に子ども

液状化現象の観察①
 ペットボトル①に
 砂 (3) と水を入れて攪拌する
 (割合は 3.3 : 1)

砂 (3) + ペットボトル	−	ペットボトル	+	加える水の量
g		g		g
3.3				

ペットボトルのなかで起こった現象をスケッチしてみましょう

液状化現象の観察②
 ペットボトル②に
 砂 (6) と水を入れて攪拌する
 (割合は 3.3 : 1)

砂 (6) + ペットボトル	−	ペットボトル	+	加える水の量
g		g		g
3.3				

ペットボトルのなかで起こった現象をスケッチしてみましょう

図 4 子ども達に配布した液状化現象の観察シート

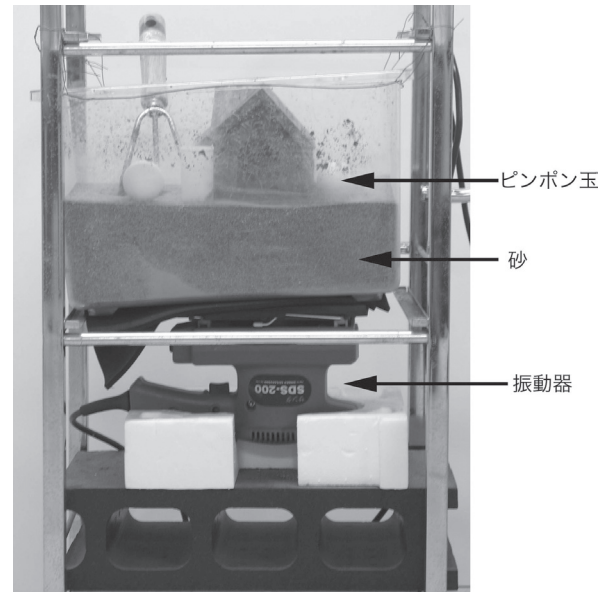


図 5 液状化現象の実演に用いた特製デモ装置

身近な「すな」の性質を知ろう！アンケート

設問① 液状化現象とは・・・(今日わかったこと、教わったことを書いてください)

設問② レキと砂を入れたペットボトルで液状化がおこなったのは・・・？
 1 レキのみ 2 砂のみ 3 レキと砂の両方 4 どちらも起こらなかった

設問③ すなや液状化現象について、自分の知らなかった新しいことを知ることができましたか？
 1 知ることができた 2 できなかった 3 わからない

設問④ どの内容に一番興味を持ちましたか（複数回答可）
 1 すなをわけていくところ 2 レキの円磨度をしらべるところ
 3 液状化現象の観察 4 先生が見せてくれた液状化現象の実験

設問⑤ 液状化現象について自分なりに理解できましたか？
 1 できた 2 まだできていない 3 わからない

設問⑥ 砂に入れた水が振動でしみ出したのをみてどう思いましたか？（複数回答可）
 1 おもしろかった 2 つまらなかった 3 不思議だった 4 わからない

設問⑦ 講師の先生のお話はどうでしたか？
 1 おもしろかった 2 まあまあだった 3 もっと話を聞いてみたかった
 4 わからなかった

設問⑧ もう一度、液状化現象の実験をしてみたいですか？
 1 してみたい 2 してみたくない 3 わからない

図 6 - 1 授業実践終了後に実施したアンケート設問一覧

達が各自で行うこととした。

液状化現象の観察手順について記述する。

1. ペットボトル①と②にふるい分けたおおよそ4～1.5 mm とおおよそ0.8 mm 以下の粒径を入れた。
2. ペットボトル①と②に入れた粒径と水の重さが、おおよそ3.3：1 となる程度に水を加えた。この割合は、筆者らが前もって実験を行い、液状化現象が起こりやすかった値である。しかし、実験状況は個人ごとに様相が異なることから、適宜、加える水の増減を行った。
3. 砂の表面をスプーンで平らにならし、ペットボトルの側面をたたいて振動を与えた。
4. ペットボトル①と②で行った現象を観察させ（図3C）、それぞれのペットボトルの内部をスケッチさせた（図4）。
5. ボール状玩具を一人二個ずつ配布し、スプーンでペットボトル②の砂の表面を平らにならし、その中に軽く埋めさせた。振動を加え、ボール状玩具が浮き上がってくる現象を観察させた。

最後に、教授者が液状化現象を観察する特製デモ装置（図5）で実演を行い、模型の家の地盤が沈下する様子や砂の中に埋め込んだピンポン球が浮き上がる現象を観察させた（図3D）。

(3) 実習の様子

今回参加した子ども達は、小学校3～4学年が13名、小学校5～6学年が5名であった。実習は講師役のほかに、1

テーブル子ども4名につき一人のアシスタント役をつけて行った。教授者の説明の後、アシスタントが各テーブルの子ども達の作業を手伝いながら進行した。実習タイムスケジュールどおりに進行したが、90分の実習時間にかなりの作業量があったこと、作業に用いる道具類が多すぎた（図3A）こと、机の上を整理しながら実験を行ったために、道具の整理に気が散るなど実習の終盤では子ども達がやや疲れていたように感じた。対象学年や授業時間に応じて、作業の簡略化などの改善は必要だろう。しかし、最後に実施した教授者による液状化現象の実演は好評であり、自分たちで何度もピンポン球や模型の家などを設置し直して液状化現象を観察するなど観察時間は十分とれたことから、実習時間に対する作成した実習プログラムの量としてはほぼ妥当と考える。実習最後に、理解の到達度を確認するためにアンケート調査を行った（図6-1）。次項で、アンケート結果についてまとめる。

3. アンケート結果から評価した観察による効果

参加者18名中、17名よりアンケート回答を得た。設問①「液状化現象とは…」については、自由記述で回答を得た（表3）。その他の設問②～⑧のアンケート集計を図6-2に示す。

設問①では、子ども達に自分たちが理解したことを言葉で綴ってもらった。どの回答も、細かい砂で液状化現象が起こったこと、水が上がってくることなどが表現は異なるけれども記述されていた。

表3 授業実践終了後に実施したアンケート（図6-1：設問①）結果の一覧（自由記述）

地震は粗い砂に強く、砂は弱い
細かい砂のときは、地震が起きたとき液状化になる
小さい砂の中に水を入れてゆらすこと
下にある水が上に来る
地震の時に水が上がる
下からモノが出てくるのがわかった
液状化のこと
ゆらしたら、下から水が上がってくることがわかった
地下の地盤が液状化になる現象
①は水が浮き上がってこなかったけど、②は水とボールが浮き上がってきた
地下の地盤が液体状になる現象
ジャリジャリした砂は液状化現象が起こらないことがわかった
細かい砂の間にある水が、揺れたら水が上に上がってくること
砂と同じ量ぐらいに水を混ぜてかき混ぜてから平らにしてゆらすと、上に水が出てきて、ボールを埋めてゆらすとボールが浮かんでくることがわかった
砂がさらさらで水分があり、揺れれば水が上がる
揺れて水や土に埋まっているものがでてくる
地面が揺れて、ずれる隙間から水が出てくる現象

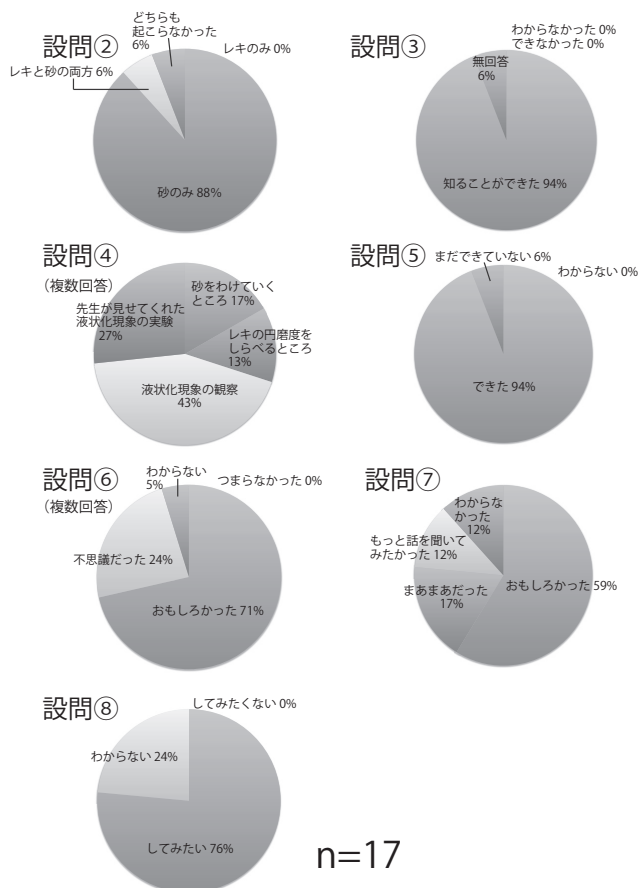


図 6-2 授業実践終了後に実施したアンケートの結果集計（設問②～⑧）。n は被験者数を示す

設問③では、16名が液状化現象についてこの実習で新しく知ることができたと回答している。このことから、この実習により子ども達が液状化現象についてほぼ理解できていることが示された。しかし、設問②でペットボトル①とペットボトル②のどちらで液状化現象が起こったかについて聞いたところ、15名はペットボトル②（粒径が細かい砂が入ったペットボトル）であると正しく答えたが、ペットボトル①（大きい粒径が入ったペットボトル）が1名、どちらのペットボトルでも液状化現象が起こったが1名であった。これらは、理解不足というよりも、砂や水の量の調整がうまくいかず、実験がうまくいかなかったことが原因と考える。これは、粒径の差による液状化現象の観察を行う場合の課題であり、今後の実習プログラムの改善点として生かしていきたい。なお、設問⑤では、子ども達自身が液状化現象について理解できたかとの問いに対して、16名は理解できた、1名は理解できていないと回答した。設問②から、2名が液状化現象の観察でうまくいっていないにもかかわらず、その内の1名が理解できたと回答できたことは、教授者による実演観察により液状化現象について実際に観察できたこ

とが要因と考えられる。また、設問④や⑥より、液状化現象に多くの関心が集まったことがわかった。

以上より、子ども達が液状化現象と砂の粒径の関係について一定の理解が得られたことから、実習プログラムの目的は達成できたと考える。

4. おわりに

液状化現象と粒径の関係に着目し、ザルふるいなど身近で安価な道具を用いた実習プログラムを作成した。そして、その実習プログラムをアウトリーチ活動で授業実践し、液状化現象の理解の助けになる一定の学習効果を認めることができた。

東日本大震災から数年が経過しようとしている今日、液状化現象を含めた減災に関する教育活動などは多く行われてきている。一般市民においても、テレビなどいろいろな情報手段から東日本大震災による被害を目の当たりにして減災への意識は非常に高まっている。しかし、きちんと災害が語り継がれないと時間の経過とともに減災への意識が低下することが懸念される。そして、減災教育の活動がどこまで継続されるかということが危惧される。川村ほか（2011）は、「理科・地学教育において、防災に有益な自然災害教育をさらに推進することが必要」と述べている。これらの活動こそ持続的発展する社会を目指した教育の中に組み込み、政府が持続可能な開発のための教育を10年ごとに見直すことに併せて、その成果を総括することも一つではないかと考える。減災への意識を高め、さらに自らが居住する周辺地域の地質および自然環境に対する関心を持ち続けられる授業実践を、今後も継続していきたい。

謝 辞

教材を作成し授業実践するにあたって、大分県少年少女科学体験スペース「O-Labo」関係者には多大にご協力いただいた。また、大分大学大学院教育学研究科の酒井拓哉氏および京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設の皆様、福井大学教育地域科学部の三好雅也准教授からアドバイスをいただいた。匿名査読者からの指摘により、本稿は大幅に改善された。末尾ながら記して感謝申し上げる。

参考文献

- 岩藤英司（2011）液状化現象の仕組み。大人のワクワク実験（アウトドア編），小学館，東京，60-64。
- 風岡 修（2005）液状化。地学団体研究会（編），地学事典，

- 平凡社，東京，p.127.
- 川村教一・内記昭彦・荒井賢一・宮嶋 敏・高木大輔・鈴酒明日香（2011）高校生の遠地津波に関する認識：2010年チリ地震津波を例としたアンケート調査から．地学教育，64，163-177.
- 北川達彦（2011）「液状化現象」とはどのような場所で起きますか？．左巻建男（編），大災害の理科知識 Q&A 250，新潮社，東京，p.93.
- Krumbein, W. C. (1941) Measurement and geological significance of shape and roundness of sedimentary particles. Journal of Sedimentary Research, 11-2, 64-72.
- 宮久三千年（1971）大分県地質図（1/200,000）.
- 田中一樹（2011）これが「液状化」だ！－家庭でできる簡単「液状化現象」実験．左巻建男（編），大災害の理科知識 Q&A 250，新潮社，東京，p.93.
- 向井清人・小野寺公児・丸山修司（1968）国東半島東部地域の海岸地形と海浜堆積物について－とくに打上げ砂鉄の濃集変化－（付）海浜，河川堆積物の鉱物組成．地質調査所月報，19-5，285-301.
- 引用 Web サイト
- (有)安藤建築事務所，液状化発生要因－液状化しやすい地盤条件・地形－.
<http://www.mmjp.or.jp/honki/ie/ekizyouka/kiso0052.htm>
- 大分県地震被害想定調査，調査結果：第4編 地震動・液状化・斜面崩壊の想定.
<http://www.pref.oita.jp/soshiki/13550/higaisoutei.html>

Report on Experimental Observation of Liquefaction Phenomenon for Education of Disaster Prevention

SHITAOKA Yorinao^{*}, YAMAMOTO Keiko^{**}, YAMAMOTO Junji^{***}

^{*} Department of Environment Systems, Risho University

^{**} Institute of Space and Astronautical Science, Japan Aerospace Exploration Agency

^{***} The Hokkaido University Museum

Key words: fluvial sand, separation method, liquefaction phenomenon, education of disaster prevention