

1 はじめに

平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震(以下、東北地方太平洋沖地震)の甚大な被害(東日本大震災)を踏まえ、災害に強い社会づくりが求められている。今回の地震で起きた現象を正しく理解し、後世に伝えることは、命や財産を守るための第一歩だろう。一方、これまでの理科教育、とりわけ私が専門とする地学教育が防災にどう役立ったか、役立たなかったかについては、調査・検証されねばならないと考える。

利根川下流地域にある香取市佐原周辺では、今回の地震で大規模な液状化現象が起こり、自宅の半壊など大変な苦勞をした本校生徒も少なくない。上水道などライフラインも停止した。私自身、震災直後はあまりに大きな被害を目の当たりにし、地学の専門家としてこれまで何もできなかったことへの無力感を感じた。しかし被災した生徒から、「授業で液状化の実験をやっていたので、実際の液状化を見ても冷静でいられた」という声をかけられ、地学の教員として何ができるか・何をすべきかを考えるようになった。本研究では、これまでの地震についての授業の問題点を発見し、地震災害に対する理解を深めるために指導法を改善していきたい。地震に対する関心が高まっている今、防災という観点からも、研究主題を設定した。

2 研究方法

- (1) アンケート調査による、生徒の地震に対する知識や防災意識の実態把握
- (2) 液状化現象に対する理解を深めるための指導法の工夫
 - ア 佐原地域の液状化被害と旧版地形図との比較
 - イ 砂粒子の顕微鏡による観察・比較
 - ウ 砂の条件による液状化の起きやすさの違いを比較する実験
 - エ 震度 5 強の地震動を再現することを目指した実験方法
- (3) 表現活動を取り入れた授業展開の工夫
- (4) アンケート調査による授業の検証

3 研究内容

(1) アンケート調査による、生徒の地震に対する知識や防災意識の実態把握

本校は 1 学年が理数科 1 学級、普通科 7 学級からなる。2011 年度までは 1 年次普通科で理科総合 B が必修で、生物と地学の教員が前後期に分けて半年ずつ授業を行った。2 年次は選択科目として理数科には理数地学、普通科には地学 I が開講されている。3 年次は普通科文系向けの地学 I が開講されている。

2011 年度後期の最初の授業(10 月)で地震災害に関するアンケート調査を実施した。その結果は、高校地学の学習期間の違いによって、A～E グループに分けて集計・比較した(表 1)。なお表中の数字は、各グループの人数や合計の人数(問 8～10 については回答対象者の人数)に対する百分率で表してある。

Aグループ	3年普通科	3年次・2年次地学選択生徒(高校地学の学習期間は2年)	20人
Bグループ	3年普通科	2年次のみ地学選択生徒(高校地学の学習期間は1.5年)	20人
Cグループ	2年普通科	2年次地学選択生徒(高校地学の学習期間は1年)	37人
Dグループ	1年普通科	理科総合Bの前期地学生徒(高校地学の学習期間は0.5年)	38人
Eグループ	1年普通科	理科総合Bの後期地学生徒(高校地学の学習期間は0年)	38人

表1 2011年10月実施アンケート結果(表中の数字は百分率)

問1 東北地方太平洋沖地震の前に、身近で実際に巨大地震が起きると考えていたか。(複数回答)

	A	B	C	D	E	計
起きると考え、日頃から地震への備えをしていた。	0	0	5	0	11	4
起きると考えていたが、特に地震への備えをしていなかった。	65	40	41	39	47	45
起きるとはまったく考えていなかった。	35	60	51	61	42	50
その他	0	0	3	0	0	1

問2 地震被害で、恐ろしいと思うものは何か。(複数回答)

	A	B	C	D	E	計
津波	95	80	89	97	89	91
建物の倒壊	50	60	59	61	58	58
火災	45	30	30	50	53	42
液状化現象	20	10	30	21	24	22
土砂くずれ	15	10	19	11	32	18
長周期地震動	0	15	3	13	3	7

問3 地震被害で、東北地方太平洋沖地震の発生前に恐ろしいと思っていたものは何か。(複数回答)

	A	B	C	D	E	計
津波	35	25	19	18	24	23
建物の倒壊	70	70	76	84	84	78
火災	55	30	35	55	55	47
液状化現象	0	10	3	0	8	4
土砂くずれ	10	0	14	21	18	14
長周期地震動	5	10	0	5	0	3

問4 液状化現象とは、どのようなものか。(複数回答)

	A	B	C	D	E	計
水とともに砂や泥が吹き出す	60	55	51	53	61	56
埋立地で起こりやすい	35	25	35	13	29	27
水道管など埋めてあるものが地表に出てくる	15	20	35	21	11	21
地盤がゆるくなる	15	10	14	11	21	14
家が傾く	0	30	16	11	3	11
地盤が沈下する	10	10	5	13	13	10
地下の砂同士の結合がはずれる	5	0	8	0	0	3
ライフラインに影響を与える	0	5	0	0	0	1
わからない、知らない、無回答	0	0	5	0	5	3

問5 津波とは、どのようなものか。(複数回答)

	A	B	C	D	E	計
大きな波	35	25	35	29	47	35
海底の急な隆起や沈降によって起きる	15	25	32	16	5	18
海面全体が持ち上がる	40	10	0	26	8	15
何回も押し寄せることもある	0	20	5	5	3	6
入り組んだ海岸で波の高さが高くなる	20	0	11	0	0	5
伝わる速さが速い	15	0	5	3	3	5
寄せ波と引き波がある	0	10	0	0	13	5
遠くまで伝わる	5	0	0	3	5	3
海岸付近で波が高くなる	5	0	0	0	8	3
周期・振幅が大きい	0	5	0	0	0	1
気象現象によって起きたのではない高い波	0	0	0	0	3	1
わからない、知らない、無回答	0	0	3	0	0	1

問6 長周期地震動とは、どのようなものか。(複数回答)

	A	B	C	D	E	計
高層ビルがよく揺れる	35	60	57	37	3	36
ゆっくりとした揺れ(周期が長い地震の揺れ)	30	25	30	39	0	24
長い時間ゆれること	0	5	3	21	18	11
長く余震が続くこと	0	0	0	5	11	4
遠くまで伝わる	5	0	3	11	0	4
わからない、知らない、無回答	50	35	27	45	63	44

問7 これまで学校で習ってきたことは、東北地方太平洋沖地震の時に実際に役に立ったか。

	A	B	C	D	E	計
とても役に立った	5	10	8	5	11	8
少しは役に立った	25	40	43	53	55	46
あまり役に立たなかった	60	40	41	37	32	40
まったく役に立たなかった	5	5	5	11	0	5
無回答	5	5	3	0	3	3

問8 問7で「とても役に立った」、「少し役に立った」と答えた人は、どのような時間に習ったことが役に立ったか。(複数回答)

	A	B	C	D	E	計
避難訓練	0	30	47	77	80	60
中学校の理科の授業	50	30	21	23	44	32
高校の地学の授業	100	60	63	0	0	29
小学校の理科の授業	33	0	5	14	16	12
総合学習	0	10	0	0	4	2

問9 問8で「とても役に立った」、「少し役に立った」と答えた人は、具体的にどのような点で役に立ったか。(複数回答)

	A	B	C	D	E	計
落ち着いて身を守る行動ができた。	33	60	37	86	68	62
大きな余震が起きることがわかっていた	17	10	5	9	12	10
非常時にどんな道具が役に立つかがわかった	17	0	5	5	20	10
液状化現象がおきたとき、授業で液状化の実験を見ていたので冷静でいられた	17	0	16	0	0	5
テレビの解説がよく理解できた	17	10	11	0	0	5
地震を現実のものと感じることができた	0	10	0	5	0	2
ライフラインが使えなくなることを知っていた	0	0	5	0	0	1
無回答	0	10	21	0	0	6

問10 問8で「あまり役に立たなかった」、「まったく役に立たなかった」と答えた人は、どのような点で実際には役に立たないと感じたか。(複数回答)

	A	B	C	D	E	計
あせりや恐怖で何をしたらいいかわからなくなった	62	11	41	22	25	33
知識はあったが行動に移せなかった	15	56	12	28	17	23
予想外の大きさの地震だった。	8	0	24	0	17	10
校外では避難訓練は意味をなさなかった。	15	0	0	17	0	7
自分達の方ではどうにもならないことが起きていた	0	11	6	0	25	7
地震についてそこまで詳しく学習していなかった	0	0	12	11	8	7
津波がどこまで届くか知らなかった	0	0	0	6	0	1
自分の身の周りでは、そこまで大きな被害は出なかった	8	22	18	22	17	17
無回答	0	0	0	6	0	1

問1より、巨大地震が身近に起きると考えていなかった生徒が多いことがわかる。また問2、3より、東北地方太平洋沖地震の前は、津波や液状化現象の危険性が十分に認識されていなかったことがわかる。千葉県で津波や液状化現象による大きな被害が出た現実を踏まえ、これまでの授業での扱い方を反省している。問4、5より液状化現象や津波について、ある程度知っている生徒が多いが、正しく現象を理解できているとは言い難い。そこで、佐原地域の液状化現象について取り上げ、そのしくみについての理解を深めるための教材としたい。

問6の長周期地震動については、学習期間が長いAグループでも正しく理解していない生徒が多い。授業では共振によって高層ビルが大きく揺れることを、長さの異なるプラスチックシート(暗記用シート)を用いて実験したが、長周期地震動そのものについてはあまり扱ってこなかった点を改善したい。

問7より、学校で習ったことが役に立たなかったという意見が、地学の学習期間が長いグループで多くなっている。これは学習が進むにつれて、防災に直結しない地震についての学習内容が増えてくることが原因かもしれない。また、A~Cグループは東北地方太平洋沖地震発生時に高校生であり、自宅や

学校から離れた駅などのように、避難訓練を行ったことがない場所で地震に遭遇した生徒が多いことも一因だろう。今後は、実生活の様々な場面を想定した防災訓練が必要であると考え。

全体的に記述式の回答では、説明になっていないような文章も多かった。自分が言いたいことを受け手が理解できるように表現する力を鍛えていくことが必要であると感じた。地学の授業においても、表現活動を取り入れた展開を工夫していきたい。

(2) 液状化現象に対する理解を深めるための指導法の工夫

佐原地域で東北地方太平洋沖地震の際に液状化現象が起きたのは、国道 356 号線の北側に広がる利根川右岸の地域（以下、利根川右岸地域）と、佐原駅北口にあった佐原港を埋め立ててつくられた香取市中央公民館周辺（以下、旧佐原港地域）である。いずれも埋め立て地であるが液状化の程度は異なり、利根川地域の方が甚大な被害があった。利根川右岸地域では広範囲で噴砂や地盤沈下、下水道等の抜け上がりが見られ、上水道などのライフラインが停止した。図 1 は、川底からの噴砂によって川底が盛り上がった十間川の様子である。一方、旧佐原港地域は、入船橋ポンプ場周辺で陥没が見られたところもあるが（図 2）、液状化現象が起きた箇所は限定的である。そこで、両地域の液状化の違いが何に起因するのかに注目し、佐原地域の液状化現象を教材にすることにした。



図 1 利根川右岸地域の液状化現象
香取市十間川の川底からの噴砂



図 2 旧佐原港地域の液状化現象
入船橋ポンプ場脇の路面の陥没

利根川右岸地域は元々沼や湿地であったが、1900年に始まった利根川改修工事以降、浚渫した砂で埋め立てられるようになった。利根川河川下流事務所によれば、現在の香取市役所周辺は戦前にはすでに埋め立てられていた。戦後、さらに北西側に埋め立てが進み、1952年頃には全地域が埋め立てられたそうである。

一方、旧佐原港地域は米などを船で輸送するための荷揚げ場として、1951年に掘り込み式の佐原港が作られた（図 3）。しかし水運の衰退とともに利用されなくなり、1976年に埋め立てられた。その埋め立てには、香取市岩ヶ崎地区における住宅地造成の際に削り出された、下総台地をつくる地層の砂（いわゆる山砂）が用いられたそうである。岩ヶ崎地区のどの場所の砂かは特定できないが、下総層群木下層または上岩橋層の砂が用いられたものと思われる。

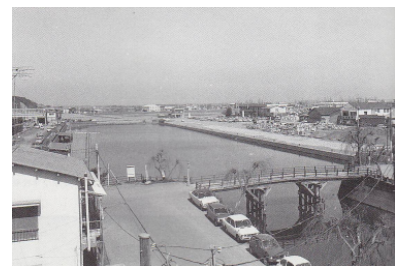


図 3 埋め立て前の佐原港
出典「市制 40 年のあゆみ」

ア 佐原地域の液状化被害と旧版地形図との比較

旧版地形図などを用いて、その土地の成り立ちを理解することは、液状化に対する脆弱性を理解する上で有効である。佐原地域でも土地の履歴の違いが、液状化の被害の違いとして顕著に表れている。

- ① 東北地方太平洋沖地震における、佐原地域の液状化現象の被害写真を見ることによって、地震時にどのようなことが起きたのかを確認する。
- ② 佐原地域の液状化被害地図(図5)と、現在および旧版の2.5万分の1地形図(図6~8)を重ねて比較することにより、どのような場所が液状化現象を起こしたのかを調べる。この比較は、窓ガラス上で重ねて透かしてみると行いやすい(図4)。



図4 比較の様子

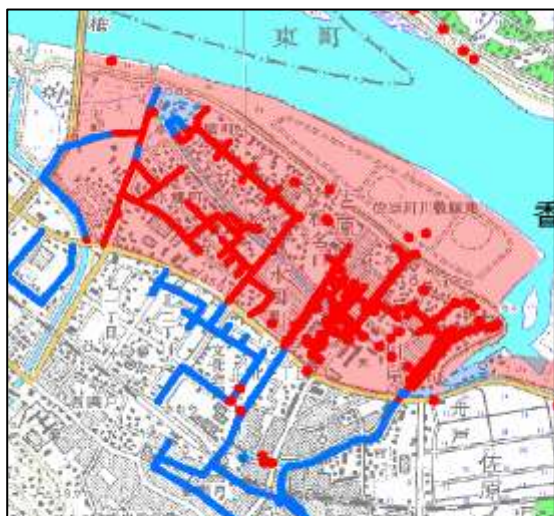


図5 佐原地域の液状化被害地図
 赤点 液状化が見られた地点
 青点 液状化が見られなかった地点
 桃色 液状化したと推定される地域
 出典 国土交通省関東地方整備局



図6 1999年に更新された地形図
 (ほぼ現在の佐原地域の姿である)
 赤矢印 図1の写真撮影地点
 橙矢印 図2の写真撮影地点
 国土地理院発行「佐原東部」「佐原西部」

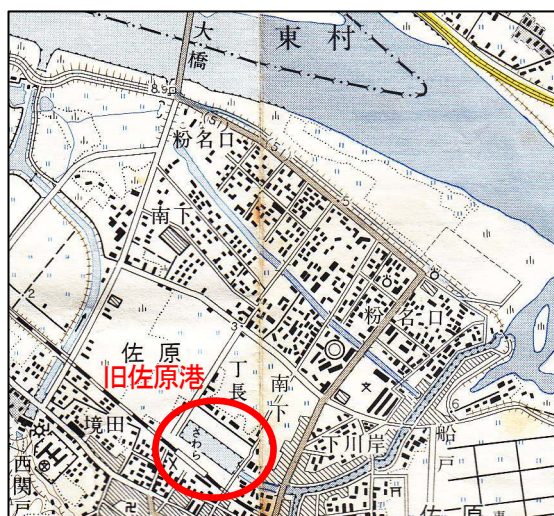


図7 1972年に測量された地形図
 国土地理院発行「佐原東部」「佐原西部」

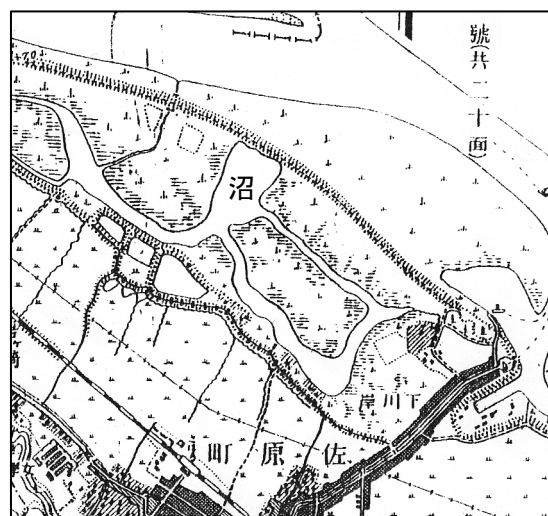


図8 1929年に測量された地形図(加筆)
 陸地測量部発行「佐原」

- ③ 液状化した要因を過去の地形より考え、発表する。以下のような意見が生徒から出た。
- ・現在の国道 356 号線は 1929 年の地図では堤防であり、液状化現象が著しい国道 356 号線以北は湿地や沼であった (図 8)。埋め立て地であるから、液状化現象がひどかったのであろう。
 - ・佐原駅の北側にある液状化を起こした地点は、1972 年の地形図では掘り込まれて佐原港になっていた (図 7 の赤丸内)。小野川から佐原港をつなぐ水路がかつてあったところも液状化している。
 - ・同じ埋め立て地なのに、利根川右岸地域と、旧佐原港地域で液状化の程度が違うのはなぜか。

イ 砂粒子の顕微鏡による観察・比較

利根川右岸地域と旧佐原港地域における液状化の程度の違いは、埋め立てに用いた砂の違いが一因である可能性がある。両地域の砂を採取し、双眼実体顕微鏡を用いてその特徴を観察・比較した。

- ① 色や触った感触の違いを比較する。利根川右岸地域は灰白色で細粒砂～微粒砂が多いが、旧佐原港地域の砂は黄褐色で粗粒砂～中粒砂が多い (図 9)。これは香取市岩ヶ崎地区に見られる下総層群中の砂と同様の特徴であり、旧佐原港地域は岩ヶ崎地区の砂で埋め立てられたという説明に合致している。

- ② 指先の感触によって砂を分類するには、紙やすりを用いるとよい。表 2 は、J I S が規定した研磨布紙用研磨材の粒度に、砂の分類基準をあてはめたものである。できれば砂の分類の境界である #30, #50, #100 の紙やすりを使いたいが、入手しやすい #40, #80, #120 でも粒径の目安にはなる (図 10)。

- ③ 観察する砂を入れるシャーレには、表計算ソフトを用いて作成したメッシュを貼り付けた。これは巻末の文献で紹介された手法であるが、本研究ではメッシュを 2mm で作成し、シャーレの内側の底面に貼り付けることによって、砂の粒径を測定できるようにした (図 9)。メッシュは白地と黒地の 2 種類を用意したが、本研究の砂の場合、黒地の方が観察しやすいようである。

- ④ 双眼実体顕微鏡を用いて、砂の粒径、円磨の程度 (丸まっているか角ばっているか)、淘汰の程度 (粒子の大きさがそろっているか)、鉱物組成 (どんな鉱物があるか) などを観察し、利根川右岸地域と旧佐原港地域の砂の特徴を比較する (図 11~13)。

表 2 紙やすりの粒度と砂の分類

粒度	粒径mm	砂の分類
#12	1.4	極粗粒砂 2-1mm
#16	1	
#20	0.71	粗粒砂 1-1/2mm
#30	0.5	
#40	0.3	中粒砂 1/2-1/4mm
#50	0.25	
#60	0.212	細粒砂
#80	0.15	
#100	0.125	1/4-1/8mm
#120	0.09	
#150	0.075	微粒砂
		1/8-1/16mm

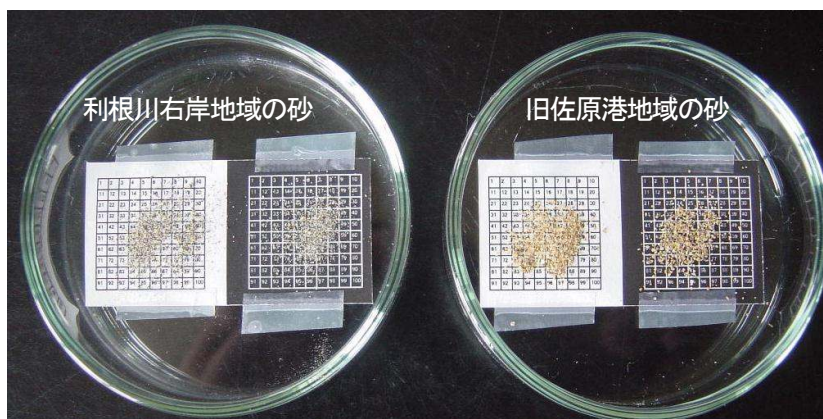


図 9 2mm メッシュを内側の底面に貼り付けたシャーレと砂

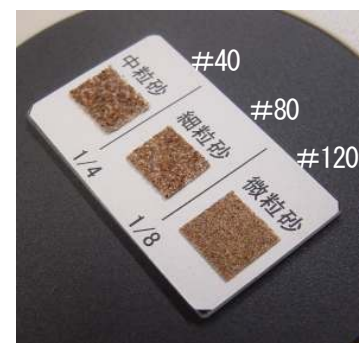


図 10 粒径による砂の分類に用いる紙やすり

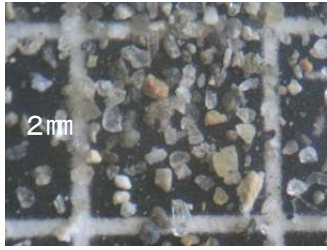


図11 双眼実体顕微鏡で観察した
利根川右岸地域の砂

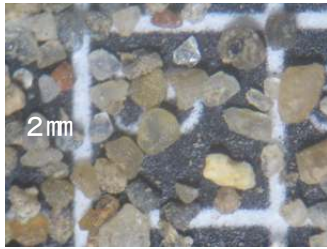


図12 双眼実体顕微鏡で観察した
旧佐原港地域の砂

	利根川右岸地域の砂	旧佐原港地域の砂
砂粒子の大きさ	おとし小さい 100分の1 (0.25mmほど) くらい!!	大きいのが4分の1 (0.25mm) 小さいのがいろいろ... 大きい 高さもある砂が
丸まっているか 角ばっているか	角ばっている方が多い たまに丸いもの	丸まっている方が多い
砂粒子の大きさが そろっているか	大きさはそろっている	大きさはバラバラ
どんな鉱物があるか ※岩片あり	光っている。 岩片あり	岩片? 長細くて 光っている
色	いろいろ 透明、灰色、 白、黄色	黒、白、灰色、しっかり色の ついているものが多い
触りごころ	小さい。あまりさわって 感がない。滑る。	大きかったのが、よくわかる ゴツゴツしてる

図13 生徒が記入した双眼実体顕微鏡による観察記録

ウ 砂の条件による液状化の起きやすさの違いを比較する実験

砂の条件の違いによって液状化の程度にどんな違いが表れるかを実験で確かめるには、一定の地震動を繰り返し再現できなければならない。しかし市販の振動装置は高価であるために多数用意することは難しく、40人規模の通常授業では生徒が実験することができなかった。そこで、一般的な実験器具を用いて一定の地震動を再現する実験方法を考えた(図14)。

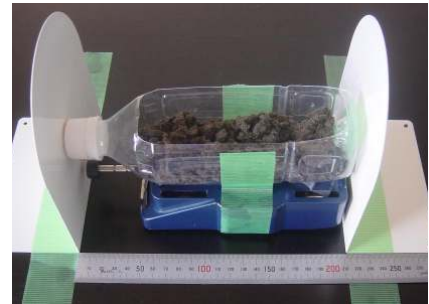


図14 液状化実験の装置

振動は、物体が一点を中心としてその後・左右・上下への運動を繰り返す状態であり、周期、変位、速度、加速度を用いて表される。4つの要素を全て制御するのは難しいため、振動は水平方向の1方向のみとし、周期と変位を一定にして実験した。

- ① 1つの側面を切って外した500mLのペットボトルに、水と混ぜた砂を入れ、養生テープで力学台車にしっかりと固定する(図14, 図15)。ペットボトルは四角柱に近い形のもが適している。
- ② 本立てを2個用いて、力学台車が動くことができる範囲(変位)を決める。本立ては養生テープを使って固定すると楽にはがすことができるため、調整や片付けが簡単である。
- ③ 力学台車の動きの周期を定め、電子メトロノームを用いてその周期ごとに音を出す。実験者はこの音に合わせて、ペットボトルが両側の本立てに当たるように手で動かす。
- ④ ペットボトル内の砂が、液状化するまでの時間をストップウォッチで計測する。本実験では、水面または砂の上面がほぼ水平になるまでの時間を、液状化するまでの時間とした(図16)。

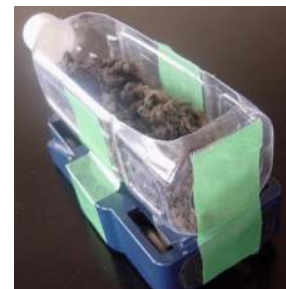


図15 養生テープで固定



図16 液状化した状態

生徒が手で力学台車を動かすので精度は高くはないが、ある程度一定の地震動をつくりだすことができる。ただし、周期が短いと音に合わせて動かすことが難しく、地震動を一定にできない。周期0.5秒（1分間に240拍）であれば、無理なく動かせるようであり、以後この周期で実験を行うことにした。力学台車を水平に動かす幅（変位）については3mmとしたが、その理由については後述する。

最初の実験に用いる砂は、利根川右岸地域の砂であり、乾燥させた砂250gに対して水85gを加えた。この割合は1分間ほど揺らしたときに液状化するように、調整したものである。その後、砂の種類や加える水の量を変える、砂に異物を混ぜるなど、条件を変えて実験を行い、液状化がどのような場合に起こりやすいのかを考察させる。なお香取市役所建設部道路河川管理課によれば、佐原港の埋め立ての際には、護岸に使われていたコンクリート片などもいっしょに埋めたそうである。

液状化するまでの時間の測定は同じ条件で3回行い、平均値をとるものとする。実験時間は3分間とし、3分以内に液状化しない場合は液状化しないものと見なした。また、乾燥させた砂と水の混合は、量りとした砂と水をビニール袋に入れ、**図17**のように外側からもむようにして行った。この際に袋を揺さぶらないように注意する必要がある。

建造物や舗装道路に地面が覆われている旧佐原港地域では、大量の砂の採取は難しいため、旧佐原港地域の埋め立てに用いたとされる砂を岩ヶ崎地区の砂層から採取して実験に用いた。

一方、利根川右岸地域の砂は十間川の底から噴出したものを採取したが、十間川には生活排水が流れ込んでおり、衛生的ではない。このような砂は10分間ほど煮沸して、殺菌することが望ましいだろう。



図17 砂と水の混合

エ 震度5強の地震動を再現することを目指した実験方法

ウの方法によって地震動を再現する実験を行うとき、「この揺れは震度いくつなのか」という疑問が生じるのは自然であろう。東北地方太平洋沖地震では、佐原地域は震度5強の揺れを観測した。しかし震度5強がどんな揺れかについては、教科書でも定量的に記載されてはおらず、「棚にある食器類などの多くが落ちる」のように発生する被害が記されている。そこで、力学台車をどのように動かしたら震度5強の揺れとなるのかを考えた。なお気象庁によれば、液状化は震度5弱より生じることがあるとされている。

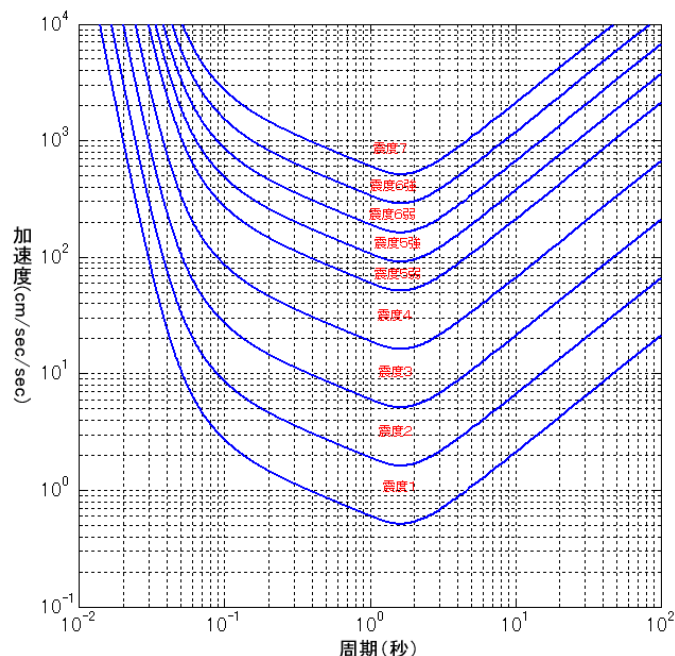


図18 周期および加速度と震度の関係

均一な周期の振動が数秒間継続した場合

出典 気象庁ホームページ

現在の震度は、計測震度計により自動的に観測されている。この計測震度の計算には地震動の加速度の大きさの他に、揺れの周期や継続時間が考慮される。気象庁の震度計は、測定した加速度の大きさを揺れの周期などで補正し、計測震度を決定している。

図 18 のグラフより、周期 0.5 秒の場合、加速度が 200cm/s^2 (gal) であれば、震度 5 強の範囲の地震動ということになる。そこで、傾斜計 (ダイヤル式スラント) を簡易加速度計として使い、力学台車を水平方向の加速度 200cm/s^2 で動かすことを試みた (図 19)。

傾斜計の針は、水平面上では鉛直方向上向きを指し、 0° である。力学台車を水平方向に加速度 200cm/s^2 で動かした場合、傾斜計の針が示す角度 θ は、重力加速度を 980cm/s^2 とすると、次のようになる。

$$\tan \theta = 200/980 \quad \theta \approx 11.5^\circ$$

したがって、傾斜計の針が 11.5° を示すように力学台車を動かすことにした。周期を一定にして力学台車を動かしたとき、変位が大きくなるほど加速度が大きくなる。変位の大きさを少しずつ変えながら実験を行った結果、周期 0.5 秒の場合、変位を 3mm としたときに傾斜計の針の振れが 11.5° 程度となることがわかった。

本研究の液状化実験で、力学台車を動かす周期 0.5 秒、変位 3mm としたのは、震度 5 強の揺れの再現を目指したためである。ただし、震度 5 強と表現できる地震動には幅があり、その 1 つを再現しようとしたにすぎない。また実験スケールが小さいため、たとえこの力学台車に人が乗り込んだとしても現実の震度 5 強の揺れには感じないだろう。この手法は、震度がどのようにして決まるのかを生徒に理解させるための指導法の 1 つという位置付けとしたい。



図 19 傾斜計を用いた簡易加速度計
赤いフィルムが 11.5° を示す

(3) 表現活動を取り入れた授業展開の工夫

地震についての理解を深めることを目的として、実験方法や結果・考察を表現 (説明) する場を設定した授業展開を考えた。地震に関する学習の最後に行った、(2) のウで述べた「砂の条件による液状化の起きやすさの違いを比較する実験」の授業展開例を紹介する。班ごとに異なる条件で実験を行い、その結果と考察について他の班と互いに説明し合うことで、共有化をはかった。実際の授業では、積極的に質問し合う姿が見られた。

ア 目標

- ・液状化しやすい砂の条件について仮説を立て、検証する実験条件を考える。(思考・判断・表現)
- ・実験の条件や結果・考察を、わかりやすく説明する。(思考・判断・表現)

イ 実験器具

- 力学台車
- 1つの側面を外した 500mL ペットボトル 7 本
- 養生テープ
- 30cm 定規
- 本立て 2 個
- 電子メトロノーム
- スピーカー
- ストップウォッチ
- ビニール袋
- 100mL メスシリンダー
- 利根川右岸地域の砂
- 旧佐原港地域の砂
- ビー玉 (大・小)

ウ 授業展開（2時間展開）

時配	指導内容・学習活動	学習活動の支援・指導上の留意点 ○ 観点別評価〔 〕
5分	1 導入 ・佐原地域の液状化被害と旧版地形図との比較により、液状化を起こした場所にかつて何があったのかを確認する。	○プロジェクターと実体投影機を用いて、前時までに生徒がワークシートに書いた観察結果を画面に提示する。
2分	2 本時の学習課題 <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">液状化はどのような条件で起こりやすいのか。</div>	○ワークシートに学習課題を記入させ、今日は何を学ぶのかという目的意識を持たせる。
43分	3 活動 (1) 利根川右岸地域と旧佐原港地域の液状化の違いは、何の違いによるのかを予想する。 (2) 利根川右岸地域の砂 250 g、水 85 g の割合で混合し、力学台車を用いて一定の地震動を与え、液状化するまでの時間を計測する（図 20）。 〔実験 1〕 (3) 班で話し合い、砂がどのような条件のときに液状化しやすいか（または液状化しにくい）仮説を立て、検証する実験条件を考える。 (4) (3) ができた班からその条件での液状化実験を行う。同じ実験を 3 回行い、結果の平均値を用いる。〔実験 2〕	○1 班（4 人）で実験を行う。 ○砂はあらかじめ 250 g ずつビニール袋に入れたものを多数用意しておく。 ○力学台車のベアリング部分を濡らすことがないように、砂を入れてからペットボトルを力学台車に固定させる。 ○地震動を与えて 3 分以内に液状化しない場合は、液状化しないものと見なす。 〔思考・判断・表現〕液状化しやすい（または液状化しにくい）砂の条件について仮説を立て、検証する実験条件を決めることができるか。（ワークシート）
30分	(5) 実験結果をもとに、仮説を検証するためのさらなる実験条件を考え、実験を行う。〔実験 3〕	
20分	4 まとめ (1) 実験 1, 2, 3 の結果よりわかること（自分の仮説は立証されたか）を考察する。 (2) 班員のうち 1 名を発表者、3 名を質問者とする。質問者が他の班の質問者のところに行き、その班の実験条件と結果についての説明を聞く（図 21）。このようにして実験結果を共有化する。 (3) 他の班の実験結果を踏まえ、液状化はどのような条件で起こりやすいのかを考察する。 (4) 感想を記入し、ワークシート（図 22）を提出する。	○いわゆる“屋台村形式”と呼ばれる発表会の形式である。 〔思考・判断・表現〕実験の条件や結果・考察を、質問者にわかりやすく説明することができるか。 ○実験の後片付けの際には 2 種類の砂を混ぜないように、回収場所を分ける。その後、専用のたらいでペットボトルをゆすいだ後、水道で洗う。



図20 一定の振動を与えている様子



図21 実験条件と結果を説明している様子

地学 I / 理数地学 1-2-0-3

液状化はどのような条件で起こりやすいか

【実験3】実験1と2の結果を踏まえて、仮説をさらに検証する実験条件を考える。

○仮説をさらに検証するための実験条件

砂の種類を変える → () の砂を使う

加える水の量を変える → 水を () g 加える

何か混ぜてみる → (A) ビー玉 を (B) 個入れる

変える砂の条件は、1つのみとする。残りの条件は【実験2】と同じ

※【実験2】で砂の種類を変えたグループは、砂の種類以外の条件を変えること。

	1回目	2回目	3回目	平均値
時間[秒]	26.7秒	10.1秒	9.2秒	49.6秒

【考察】実験1, 2, 3の結果よりいえること(自分の仮説は立証されたか)

○ ビー玉を入れた方が液状化が早い(砂、進みスピード)は早い。

【他の班の仮説と結果・考察】 インタビューして記入しよう

	仮説	結果と考察
①	ビー玉を混ぜると液状化しやすくなる	ビー玉を入れた方がはやかった
②	水が混ざると液状化しやすい	
③	''	ビー玉の量は関係ない!

【感想】学習したことをどう生活に生かすか

「砂以外のものが混ざっている」というのは、埋め立て地によくあてはまることだと感じ、水が多く含まれている(川)の近くだったり、水と混ぜていて水行っていてあてはまる。自分も住むなら、なるべく乾いていて、埋め立てていないところに家を建てるべきだと思った。

④ 水の量を変える 89ml → 100ml: (ビー玉) は液状化しなかった

⑤ '' 水を増やしても液状化しなかった。

⑥ '' 水を減らしても液状化しなかった。

⑦ ビー玉 大4 小4 入れる。 液状化しなかった。

⑧ ビー玉を入れたら関係ない! はやくはやく、ビー玉との関係は不明。

⑨ 砂を混ぜると液状化しなかった!

⑩ 小さいビー玉を10個 液状化しなかった。

図22 生徒が記入した液状化実験のワークシート

エ 授業後の生徒の感想

- ・粒が大きな砂に変えると液状化しにくくなる一方で、ビー玉を混ぜたときの方が早く液状化した。砂の状態によって液状化のしかたが異なることがわかった。
- ・将来、家を建てるときには、今の土地だけでなく過去の状態を調べるのが大切だと思った。
- ・将来、埋立地に住むときには、何によってどのように埋め立てたかを調べたい。
- ・自分の家の周りの砂でも実験してみたい。

(4) アンケート調査による授業の検証

2012年度2年生において、地震の学習が一通り終わった段階でアンケート調査を実施した(107名)。表3はその結果をまとめたものである。なお表中の数字は、問1~5は人数(問4, 5については回答対象者の人数)に対する百分率, 問6については回答を記入した生徒の人数である。

表3 2012年度 地震学習終了時に実施したアンケート結果 (問6以外の表中の数字は百分率)

問1 地震について行った実験・実習の中で、わかりやすかった(よくわかった)ものに○、わかりにくかったものに×、どちらもいえないものに△をつけよ。

	○	△	×	無回答
バネを用いたP波・S波の違い	90	8	2	0
暗記用シートを用いた建物の揺れやすさと周期の関係	74	22	3	1
シャボン玉を用いた震央の位置・震源の深さの求め方	53	38	8	1
旧版の2.5万分の1地形図を用いた、液状化と過去の地形の関係	32	46	21	1
双眼実体顕微鏡を用いた液状化した粒子の観察	40	36	9	5
力学台車を用いた液状化の実験	80	16	3	1

問2 液状化現象とは、どのようなものか。(複数回答)

水とともに砂や泥が吹き出す	48	2011年度 10月実施の アンケートでも 初めて出てきた 回答
埋立地で起こりやすい	41	
水道管など埋めてあるものが地表に出てくる	15	
地盤がゆるくなる	2	
家が傾く、家屋が沈む	6	
地盤が沈下する	5	
地下の砂同士の結合がはずれる	22	
ライフライン(水道など)に影響を与える	14	
水を多く含む土で起きやすい	28	
砂粒の大きさによって起きやすさが異なる	19	
粒の大きさがそろっているところで起きやすい	14	地震学習後の アンケートで 初めて出てきた 回答
水と砂が分離する	14	
未固結な地盤で起きやすい	7	
砂が水中に浮いた状態になる	7	
砂に混入物があると液状化しやすくなる	7	
地下水面が高い所で起きやすい	6	
震度5強以上で起きる	2	
揺れの大きさによって液状化の程度が異なる	1	
無回答	4	

問3 これまで地学で学習してきたことは、今後の大地震の時に実際に役に立つか。

とても役に立つだろう	57
少し役に立つだろう	41
あまり役に立たないだろう	2
まったく役に立たないだろう	0

問4 問3で「とても役に立つだろう」、「少し役に立つだろう」と答えた人は、どのような点が役に立つと感じたか。(複数回答)

地震の知識があれば適切な備えや冷静な対処ができる	51
将来、家を建てる時に液状化しやすい土地を避けられる	34
地震には周期性があることがわかった	6
自分で自分を守る大切さがわかった	4
初期微動継続時間が長ければ震源は遠いことがわかった	3
テレビなどの地震の情報がよく理解できるようになった	2
揺れが小さくても大津波がくることがあることがわかった	2
長周期地震動のしくみがわかった	1
無回答	2

問5 問3で「あまり役に立たないだろう」、「まったく役に立たないだろう」と答えた人は、どのような点が実際には役に立たないと感じたか。(複数回答)

液状化しやすい条件がわかっても、事前対策はできない	50
地震の起きる仕組みは、身を守ることに不要	50

問6 地震について、もっと詳しく知りたいと思うことは何か。

地震予知や緊急地震速報の技術は発達するのか	10人
日本国内で地震が起きやすい場所	5人
海外の地震や被害について	5人
地震直前の動物の行動(前ぶれ)	3人
地震と火山噴火の関連性	2人
液状化現象はどのくらいの深さまで起きるのか	2人
砂の質の違いなどを利用して、液状化しにくい埋め立て地が造れないか	1人
砂の違いによる液状化の違いをもっと知りたい	1人
液状化を考慮した避難の仕方、震災後の過ごし方	1人
揺れを感じない家(免震構造)	1人
地震のエネルギーを発電などに利用できないか	1人
津波で海の生物の住環境や数はどう変化したのか	1人
プレートが異なると地震の強さが変わるのか	1人
大地震が起きる可能性何%の根拠	1人
首都直下型地震の影響	1人
高層ビルで地震にあったときの対処法	1人
大震災の体験談	1人

問1より、地震について行った各実験・実習についてわかりやすかったという意見の方が多い。特に(2)のウで述べた力学台車を用いた液状化の実験については、生徒が興味を持って取り組んだ結果、理解が深まったと考えられる。しかし(2)のアで述べた旧版の地形図を用いた実習については、生徒がしっかり取り組んでいた割には、わかりやすかったという意見が少なかった。旧版の地形図がカラーではなくさらに印刷が不鮮明な部分もあったため、作業がやりにくかったものと考えられる。作業に用いる図を改善することによって、より理解しやすい教材を目指したい。なお、アンケートの項目にあるシャボン玉を用いた震央の位置・震源の深さの求め方については、実験の写真でのみ紹介させていただく(図23)。

問2では、液状化現象について理解だけでなく、記述式の回答でうまく文章表現できるかを調査した。地震学習前のアンケートでは出てこなかった内容も多く、液状化現象についての理解は深まったといえる。「地盤がゆるくなる」といったあいまいな回答が減り、「地下の砂同士の結合がはずれる」のように液状化のメカニズムについて記述しているものが多くなった。実験の結果を踏まえた回答も多く見られる。また全体として、説明になっていないような文章の回答はほとんどなかった。今後も受け手が理解できるように説明するという言語活動を授業に取り入れ、生徒の表現する力を高めていきたいと考える。このような活動は、学習内容についての深い理解にもつながるだろう。



図23 3つのシャボン玉の接し方が震央の位置を決めるヒント

問3では、地学で学習したことが、今後の大地震の時に役に立つとほとんどの生徒が答えた。もちろん実生活に役に立つか立たないかだけによって、学問の価値が決まるわけではない。しかし、学習を通して自然災害にどう向き合うかという姿勢を根気よく浸透させていくことは、地学教育の大切な役割と考えている。2012年9月に行われた本校避難訓練では、消防署員より「緊張感が足りない」と指摘される場面もあり、知識を行動に結びつける難しさを感じた。群馬大学大学院工学研究科の片田敏孝教授は、著作「人が死なない防災」の中で、知識だけでなく“自分の命は自分で守る”姿勢を学ばせることが大切であると述べている。地震についての授業では、知識だけを伝えることにならないように意識したい。

問4では今後の大地震を意識して、「家を建てるときに液状化しやすい土地を避けたい」といった意見が目立った。授業で液状化現象がどのような条件の土地で起きやすいかを実験し、考察した成果だろう。一方問5では、液状化現象への事前対策はできないと答えた生徒がいた。液状化しやすい条件の土地は日本に広大な面積があり、全てに対策を施すことは難しいのも現実である。佐原地域もかなり復旧してきたが、液状化現象によって壊れた家に住み続ける困難さから転居される方も少なくない。上水道も地表面を這わせた仮復旧の状態である。今後も液状化現象が起きうる土地でどのように暮らせばよいのかという問いに、地学の授業は何と答えればよいのか、難しさを感じている。

問6では、地震予知や緊急地震速報、建物の免震構造など、科学技術の発展に期待する意見が出た。砂の質の違いなどを利用して液状化しにくい埋め立て地が造れないかという意見は、実験結果を踏まえたものであろう。地震のエネルギーを利用できないかなど、高校生ならではの柔軟な発想である。一方で、地震直前の動物の行動（前ぶれ）のように、科学的に実証されていない「科学っぽいもの」に惹かれてしまう危うさも見えた。地学選択者の多くが文系の生徒という現状もある。生徒にとって地学の授業が、科学的なものの見方・考え方をしっかりと身につける機会となるよう、授業のあり方を考えたい。

4 おわりに

今回の研究は、地震時の現象に対する理解を深め、防災につなげることを目的に取り組んだ。身近な実験器具を用いてある程度一定の地震動を再現できたため、液状化現象の実験を40人規模の授業で班ごとに行うことができた。また、実験結果や考察を説明し合うという言語活動の場面を授業に設定した。これらの結果、生徒が主体的に実験に取り組み、考察する姿を見ることができた。なお本校は2013年度から55分授業を実施する。5分間長くなる授業時間を、表現力を高める活動にあてていきたいと考えている。

本研究の実験方法や結果を、理数科の課題研究につなげることも考えている。液状化現象の起きやすい条件を様々な視点から考察するために、より精度良く一定の地震動を作り出す方法の工夫が必要だろう。

本研究を進めるにあたり、教育庁教育振興部指導課の高梨祐介先生、尾竹良一先生、前指導課の小芝一臣先生、教科指導員の秋本行治先生、太田和広先生、前教科指導員の岡田実先生、教科研究員の諸先生方、千葉県立佐原高等学校の諸先生方より、御指導・御助言をいただいた。また、国土交通省関東地方整備局利根川下流河川事務所、および香取市役所建設部道路河川管理課より、貴重な情報を提供していただいた。厚くお礼申し上げます。最後になりましたが、この度の震災における被災地域の皆様の御健康と1日も早い復興を、心よりお祈り申し上げます。

参考文献

福田修武・神田光史, 2009, 生物遺骸を豊富に含む海砂の教材化とその指導例 一和歌山県東牟婁郡串本町における海砂を中心として一, 和歌山県教育センター学びの丘研究紀要(2009)-6, 1-8