

中学校における防災教育のための 津波実験装置の製作とそれを用いた授業実践

里 嘉千茂*1・村上 潤*2

宇宙地球科学分野

(2017年5月29日受理)

SATO, K. and MURAKAMI, J.: Construction of Tsunami Experimental Equipment for Disaster-prevention Learning at Junior High Schools and Application of It to Educational Practices. Bull. Tokyo Gakugei Univ. Div. Nat. Sci., **69**: 115-127. (2017)

ISSN 1880-4330

Abstract

We constructed two types of tsunami experimental equipment (equipment #1 and #2) with different shape of sea floor and applied them to educational practices for disaster-prevention learning of tsunami aimed at second grade pupils of junior high school. The shape of sea floor in equipment #1 is like a continental shelf, while that in equipment #2 is a gentle slope. Both of anaseism and backwash of tsunami can be arisen with each equipment. The coastline in the equipment can be set to both of linear and V-shaped ones. We surveyed the effect of educational practices with the equipment by free description type questionnaire to the pupils. Many of them answered as follows; “the difference in magnitude and power of tsunami between the two types of sea floor shape was clearly understood”, “two types of tsunami, i.e. the anaseism and backwash of tsunami, were easily understood”, and “speed, height and power of tsunami were well understood, and I felt tsunami is very terrible”. Hence, it was found the equipment used here were very useful to understand the nature of tsunami. Also, some pupils answered as follows; “the equipment were very useful to understand the mechanism, type and power etc. of tsunami, and my consciousness of tsunami had changed through the experiment”, “the reality of tsunami had been difficult to feel for me, but this experiment was very easy for understanding tsunami and the experiment was valuable experience”. Moreover, their answers included those as follows; “this experiment made me to consider again about that how one should prepare against tsunami”, “it was clearly understood that taking quick refuge in upland when tsunami is approaching is very important”, and “I became to want to know more about tsunami”. Thus, we may say that the educational practices with the equipment could make the pupils deepen their understanding of tsunami, arouse their interest and concern in tsunami, and recognize the importance of quick refuge from tsunami. Therefore, it might be possible to conclude that the tsunami experimental equipment constructed here and the educational practices with them are very effective in disaster-prevention learning of tsunami.

Keywords: disaster-prevention learning, tsunami experimental equipment, junior high schools, educational practice

Department of Astronomy and Earth Sciences, Tokyo Gakugei University, 4-1-1 Nukuikita-machi, Koganei-shi, Tokyo 184-8501, Japan

*1 東京学芸大学 広域自然科学講座 宇宙地球科学分野 (184-8501 小金井市貫井北町 4-1-1)

*2 東京学芸大学附属小金井中学校 (184-8501 小金井市貫井北町 4-1-1)

要旨: 本研究では、海底面の形状が異なる2つの津波実験装置（それぞれ津波実験装置1号と津波実験装置2号と呼ぶ）を製作し、津波防災教育としてそれらを用いて中学2年生を対象に授業実践を行った。津波実験装置1号は、海底面を陸棚を模した形状にしたものであり、津波実験装置2号は海底面をなだらかなスロープ状にしたものである。これらの津波実験装置では、通常押し波だけでなく引き波も起こすことができ、また海岸線の地形として直線状の場合だけでなくV字型にすることもできる。これらの津波実験装置を用いた授業後に生徒たちに津波に関する理解や認識について自由記述式のアンケート調査をしたところ、多くの生徒が「海底の地形によって津波の大きさや威力が違うことがよくわかった」とか「津波には押し波だけでなく引き波もあることがわかった」、「津波が伝わる速さや高さ、威力がよくわかり、とても怖いと感じた」などと回答し、津波の性質や威力などを理解する上で生徒にとってたいへん役に立ったことがわかった。また、「津波のしくみや種類、大きさ、強さ等がよくわかって便利だし、津波への意識が変わった」、「今まで津波について実感がわかかなかったが、この実験はとてもわかりやすく貴重な体験だった」などと回答した生徒も多く、さらには「津波に備えてどうすべきか、改めて考えてみようと思った」とか「津波が来そうな場合は、すぐに高台などに避難しないといけないことがよくわかった」、「津波についてもっと調べたいと思った」と書いた生徒もいた。このように、これらの津波実験装置を用いた授業によって、生徒たちに津波についての理解を深めさせることができ、また津波に対する興味・関心を持たせたり迅速に避難することの大切さを認識させたりすることができたと言え、津波防災教育上たいへん効果的であったものと考えられる。

1. はじめに

日本は世界有数の地震多発国であり、地震によってしばしば大規模な人的・物的被害を受けることがある。また、地震の揺れそのものによる被害のほかに、大きな地震が海底で発生した場合には沿岸部に大きな津波が押し寄せ、それによって甚大な被害が発生することもある。

近年における日本での津波災害として特筆すべきものに、2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震（M9.0）によるいわゆる東日本大震災がある。この地震による人的被害（2017年3月1日現在）の総数は、死者19,533人、行方不明者2,585人（消防庁、2017）にも及ぶ非常に大きなものであったが、これらの人的被害の圧倒的多数は津波によるものであった。この地震の発生時刻は午後2時46分であり、地震後に主として北海道から関東地域にかけての太平洋沿岸部に最大40 m程度にも及ぶ巨大な津波が押し寄せた（たとえば、気象庁、2012）。この時の津波による犠牲者の中には、宮城県の石巻市立大川小学校（当時の校舎は北上川河口から約5 km上流のところに位置していた）のケースのように、地震や津波の発生が平日の日中であったため学校管理下にあった児童72名（他に自宅等にいた2名）も含まれる（児童の他に教職員10名も犠牲になった）（大川小学校事故検証委員会、2014）。また、1983年5月26日に秋田県能代市西方沖で発生した日本海中部地震（M7.7）では日本海で大きな津波（青森～秋田沿岸で3～7mで最大遡上高は約14 m）が発生し、日本海沿岸部で100名もの津波に

よる人的被害が出た（たとえば、伊藤、2014）。その中には、教員に引率されて男鹿半島の海岸に遠足に来ていた秋田県内陸部にある合川町（現在は北秋田市）立合川南小学校（当時）の児童13名が含まれている（伊藤、2014）。

このように、学校管理下ないし教員の引率下にありながら津波によって児童・生徒が犠牲になることもあるので、教員はもちろん児童・生徒の一人一人が津波に対するより確かな知識や防災意識を持つ必要がある。そのためには、より多くの児童・生徒に対してよりわかりやすい形で防災教育を行っていくことが重要であろう。実際、東日本大震災の際の岩手県釜石市立釜石東中学校及び同鶴住居小学校（両校は海岸から500 m足らずのところに位置している）における事例は、このことを如実に示している（たとえば、内閣府防災担当、2011）。釜石東中学校では東日本大震災の数年前から「津波に関する学習」として津波防災教育や避難訓練を行って来ていたが、その取り組みは同校のみにとどまらず地域全体にも広げられていた（たとえば、里、2013）。このような日頃からの防災教育や避難訓練のおかげで、巨大津波が来襲した際には同校の生徒一人一人が率先して隣接する鶴住居小学校の児童や住民と一緒に迅速に避難することができ、両校の校舎は津波によって浸水したにもかかわらず、児童・生徒約570名は全員無事であった（内閣府防災担当、2011）。

ところで、児童・生徒によりわかりやすい形で津波防災教育を行うには、どのようにするのが効果的であろうか。もちろん実際の津波の映像や資料等を見せな

がらの学習も一定の効果はあるであろうが、津波の威力や怖さを実感させることができればより効果的であろう。言うまでもなく防災教育の中で実際の津波を体験することはできないが、それに準じた体験すなわち津波の実験をすることができれば、実感として津波の威力や怖さを知ることができるのではないか。著者らはそのような考えの下に、水槽を用いた津波実験装置を製作し、それを用いて中学生を対象とした津波防災教育のための授業実践を行った。なお、児童・生徒を対象とした津波実験装置はこれまでもいくつかの製作例があり（たとえば、佐武ほか, 2009; 香月ほか, 2010; 明石ほか, 2012; 佐藤, 2012; 牧野, 2016; 境・片岡, 2016; 杉山・横川, 2016; 横山ほか, 2016), それぞれにいろいろな工夫がなされているが、

本研究ではそれらを参考にしつつ独自性のあるものを製作した。

2. 津波実験装置の製作

2.1 津波実験装置の概要

今回著者らが製作した津波実験装置は、海底面の形状が異なる2つのものである。すなわち、海底面を陸棚を模した形状にしたものと、海底面をなだらかなスロープ状にしたものの2つであり、ここではそれぞれを津波実験装置1号及び津波実験装置2号と呼ぶことにする。それぞれの津波実験装置の写真を、寸法とともに図1に示す（なお、装置の構造をわかりやすくするために、これらの写真では一部を加工してある）。

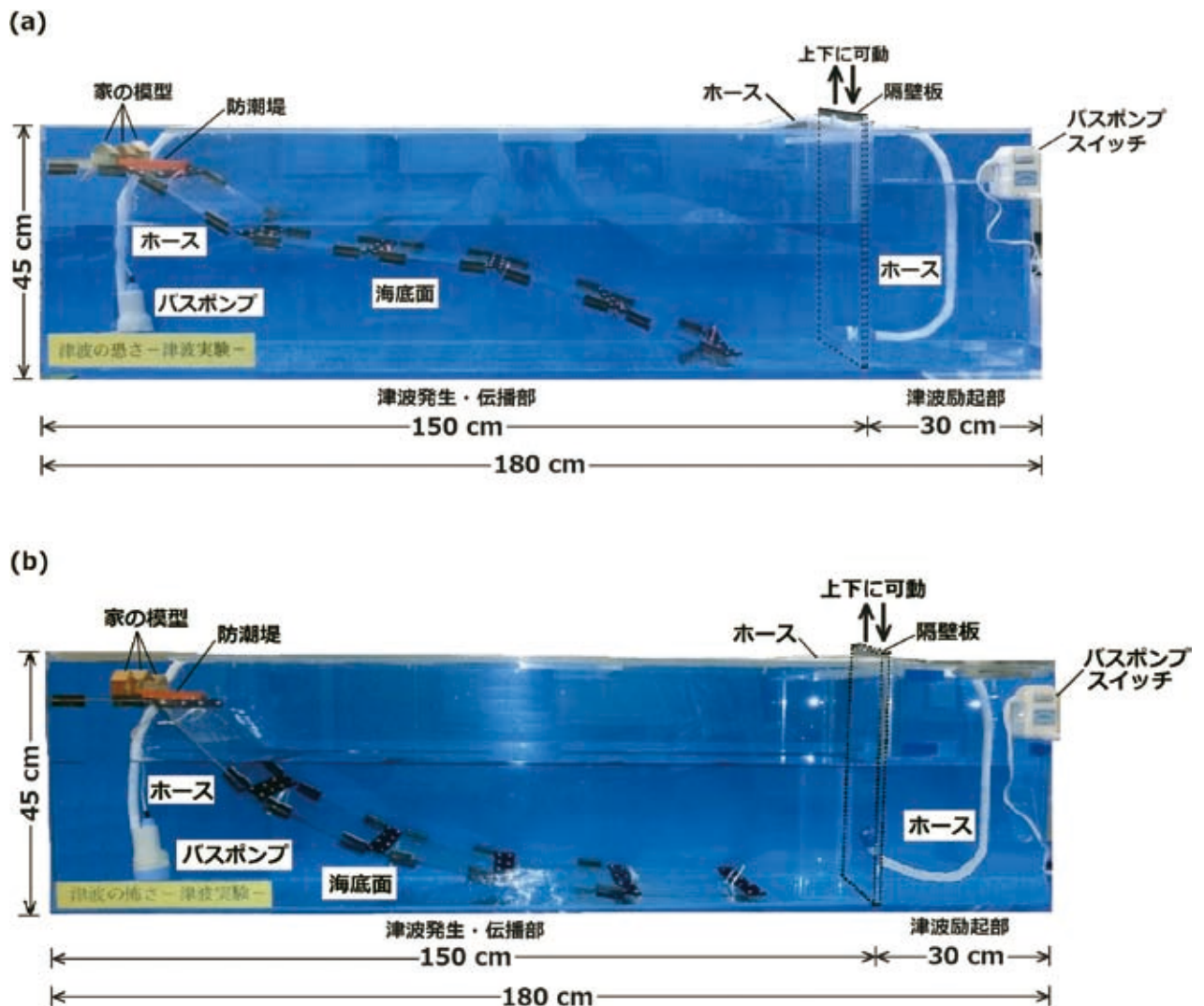


図1 製作した2つの津波実験装置の写真。(a) 海底面を陸棚を模した形状にした津波実験装置1号（陸棚海底と呼ぶことにする）と (b) 海底面の形状をなだらかなスロープ状にした津波実験装置2号（スロープ海底と呼ぶことにする）。どちらも隔壁板で仕切られた向かって右側が津波励起部、左側が津波発生・伝播部で、予め両側に水位差をつけて水を入れ（頻度の高い津波発生・伝播部側から津波励起部への水の移動にはバスポンプを利用できるようにしてある）、勢いよく隔壁板を上方に引き上げて取り外すことにより、津波を発生させることができる。なお、いずれの写真においても、装置の構造をわかりやすくするために、一部を加工してある。また、全体的に青く写っているのは、実験装置の背面に青色のセロハン紙を貼り付けてあるためである。

図に示すように、いずれの津波実験装置も本体部分は長さ180 cm、高さ45 cmの水槽（なお、図には示していないが水槽の幅（奥行）はいずれも30 cm）であり、長さ方向に一端から30 cmのところまで隔壁板によって2つの部分に分けられている。ここでは、それら2つの部分を、それぞれ津波励起部と津波発生・伝播部と呼ぶことにする。この隔壁板は水槽の側壁や底板に設けられた溝に差し込まれていて上下にスライドでき、上方向に完全に抜き取ることができるようになっている。なお、水槽及び隔壁板は厚さ8mmの亚克力製である。また、海底面とその延長部である陸地面は28 cm×23 cm（厚さ0.5 cm）の亚克力板7枚を板ゴムで連結して作り（板ゴムは亚克力板に接着剤を使って貼り付け、さらに補強のためネジとナットで固定した）、図1の各写真に見られるような形状にしてそれぞれの装置の津波発生・伝播部にセットした。なお、この海底面や陸地面は1.5 cm×4.5 cm×0.9 cmの直方体状の磁石（図中の黒く写っているもの）を多数使って水槽の壁面に固定してある。このように海底面を水槽壁面に磁石を用いて固着することにより必要に応じて海底面の形状を変えることが可能であり、接着剤で完全に固着するのに比べて柔軟性がある。

津波が海岸部に押し寄せて来た時の破壊力のすさまじさや怖さを生徒たちにより実感してもらいやすくするために、亚克力板（オレンジ色に着色）で作った高さ2cm程度の防潮堤をセットし、その背後には家の模型（木製）を3個程度置いた。また、単純な形状の海岸地形の場所に比べていわゆるV字型海岸やリアス式海岸など湾の奥が狭くなっているような海岸地形の場所では、津波がより増幅されて破壊力が増すことを観察してもらうために、防潮堤の代わりに長さ15cm、幅5cm程度の亚克力板（緑色に着色）2枚を使ってV字型海岸線も形作ることができるようにもした。これらの防潮堤や家の模型、V字型海岸地形用の亚克力板は津波によって押し流されるので、実験の都度セットし直す必要がある。なお、津波が発生し伝播していく様子を観察しやすくするために、津波実験装置1号、津波実験装置2号いずれもそれぞれの背面に青色のセロハン紙を貼り付けてあるほか（図1の各写真で、全体的に青く見えるのはそのためである）、必要に応じて水にグリーン系の入浴剤を溶かして着色する。

2. 2 津波を発生させるしくみ

本津波実験装置においては、前節で述べた隔壁板で

仕切られた津波励起部と津波発生・伝播部の水位が異なるように水を入れ、隔壁板を勢いよく上にスライドさせて抜き取ることによって津波を発生させることができるようにしている。つまり、この隔壁板の操作によってその下を通過して水位の高い方から低い方へ水を急激に流れ込ませ、水の体積を急変させることによって津波を発生させるのである。

言うまでもなく実際の津波は海底下における縦ずれ断層（逆断層または正断層）型の地震によって海底が急激に隆起または沈降しそれに伴ってその上の海水も隆起または沈降することによって発生するが、本津波実験装置では海底の隆起・沈降の代わりに津波発生・伝播部の水槽底部で水そのものの急激な体積変化を起こすことによって水面の隆起・沈降を生成し、津波を励起していることになる。このように本津波実験装置では津波発生・伝播部の水槽底部で水の体積変化を起こしているため、それによって発生する波すなわち津波は水面近くで発生する風波など通常の波とは全く異なることが理解しやすい。なお、津波励起部側の水位を高くしておいて隔壁板を操作した場合は、津波発生・伝播部で水の体積が急増することになるので水面が隆起する「押し波」の津波が発生して伝播し、逆に津波励起部側の水位を低くしておいて隔壁板を操作した場合は、津波発生・伝播部で水の体積が急減することになるので水面が沈降する「引き波」の津波が発生・伝播する。このように、本津波実験装置では「押し波」だけでなく「引き波」の津波も発生・伝播させることができるので、その違いを生徒たちに理解させやすい。因みに、実際の地震では、陸側の海底が隆起する逆断層型の場合は陸への第一波が「押し波」である津波を発生させ、陸側の海底が沈降する正断層型の場合は陸への第一波が「引き波」である津波を発生させる。

ところで、津波励起部と津波発生・伝播部の水位差を作るには、まず隔壁板を取り除いた状態で水槽全体に水を入れてから隔壁板を溝に沿って一番下まで差し込み、一方から他方へ水のある分量だけ移す必要がある。水槽全体に水を入れる際は、いつも同じ水位になるように水槽側面の見やすい位置に目印をつけておき、それを目安に入れて入れる。また、隔壁板両側の水位差の大小に応じて発生する津波の大きさを変えるため、隔壁板の一方から他方へ水を移す際は敢えて一定量とはしない。

なお、本津波実験装置では、水を津波発生・伝播部から津波励起部に移す作業（つまり、通常よく行う「押し波」の津波実験のために津波励起部側の水位を

高くするための作業)の際は、人手によらずに手際よくできるようにするためバスポンプを利用している。すなわち、津波発生・伝播部側の端近くにバスポンプを入れ、ホースの他端を津波励起部側に入れておき、津波発生・伝播部側でバスポンプによって吸い上げられた水が津波励起部側に排水されて、津波励起部の水位を高くできるようにしてある(図1には、これらのバスポンプやホース、バスポンプのスイッチも示してある)。なお、「引き波」実験を行う際には、逆に津波励起部側から津波発生・伝播部に水を移す必要があるが、今のところバスポンプは逆流対応にはなっていないので適当な容器を使って人手で行う必要がある。ただし、この作業が必要になる「引き波」実験は、より一般的な前述の「押し波」実験に比べて頻度があまり多くないので、それほど不便ではないであろう。

3. 津波実験装置を用いた授業実践

3.1 授業実践の概要

2016年6月に、中学生に対して2つの津波実験装置を用いた津波防災教育の授業を行った。対象は本学の附属小金井中学校の2年生2クラスであり、授業時の出席者はそれぞれ40名と38名で計78名(男子と女子はそれぞれ39名ずつ)である(各クラスの授業は別々の日に実施した)。なお、この生徒たちは既に1年次において地震やそれによって引き起こされる津波について過去の事例も併せて学習済みである(使用した教科書は、啓林館の「未来へひろがるサイエンス1」(関連ページはp.64～p.73及びp.88～p.96)である)。

上述のように、今回の授業対象の生徒たちは既に1年次に地震や津波について一通り学習済みではあったが、知識を再度確認し、津波実験に対するレディネス



図2 津波実験の前に行った地震や津波に関する復習・補足説明の際の様子。

を概ね揃える目的で、各クラスとも津波実験の前にまず約40分間の復習・補足説明を行った。この復習・補足説明は、授業者が予め作成した地震や津波に関する事項をまとめたプリントを配布し、プロジェクターでスクリーンに映写しながら説明するという形式で行った(図2)。生徒たちは説明をたいへん熱心に聞いていたようで、中には1年次に習ったことを思い起こしてはしきりに首を前後に振ってうなずきながら聞いている生徒も少なからずいた。

復習授業が終わった時点で10分間の休憩時間を入れ、その後に津波実験の授業を実施した。授業時間は後述するアンケートを含めて50分であり、次のような順に進めた。なお、津波が発生し伝播する様子や防潮堤及び家の模型が津波で押し流される様子などは速すぎて目視だけでは観察しにくいいため、実験の終わりの方ではデジタルカメラ2台を用いてハイスピード撮影し、その動画をスクリーンに映写して全員で確認した。

- (1) まず、2つ並べてセットした津波実験装置1号と津波実験装置2号の回りに生徒たちを集めて、この津波実験の目的や各津波実験装置の概要、実験のしかたや注意点などについて説明した(約5分間)。
- (2) 次に、生徒を2グループに分けて、グループ毎に津波実験装置1号と津波実験装置2号それぞれで実験をさせた。約12分間ずつ実験させた時点で、それぞれの津波実験装置のグループを入れ替えて再び約12分間ずつ実験をさせた。これらの約12分間ずつの実験の際は、各グループとも自由に実験をさせた。なお、2.1で述べたV字型海岸線用のアクリル板をセットして実験したり、2.2で述べた「押し波」だけでなく「引き波」の津波の実験もするように指示し、海岸線の形状による津波の威力の違いや「押し波」と「引き波」の違いなどについてよく観察するように注意した。最後に、各グループから希望者を2名ずつ募って、それぞれの生徒に津波実験装置1号と津波実験装置2号それぞれで「押し波」と「引き波」の実験を行わせて、前述のデジタルカメラによるハイスピード撮影をした(全体で約30分間)。この時の様子を図3に示す。なお、この写真及び以降の写真で水槽の水が緑色になっているのは、津波の発生や伝播の様子を観察しやすくするためにグリーン系入浴剤を溶かしてあるためである。
- (3) 生徒をそれぞれ元の位置に着席させ、(2)で撮影したハイスピード撮影動画をプロジェクターでスクリーンに映写しながら、全員で津波実験装置1号と

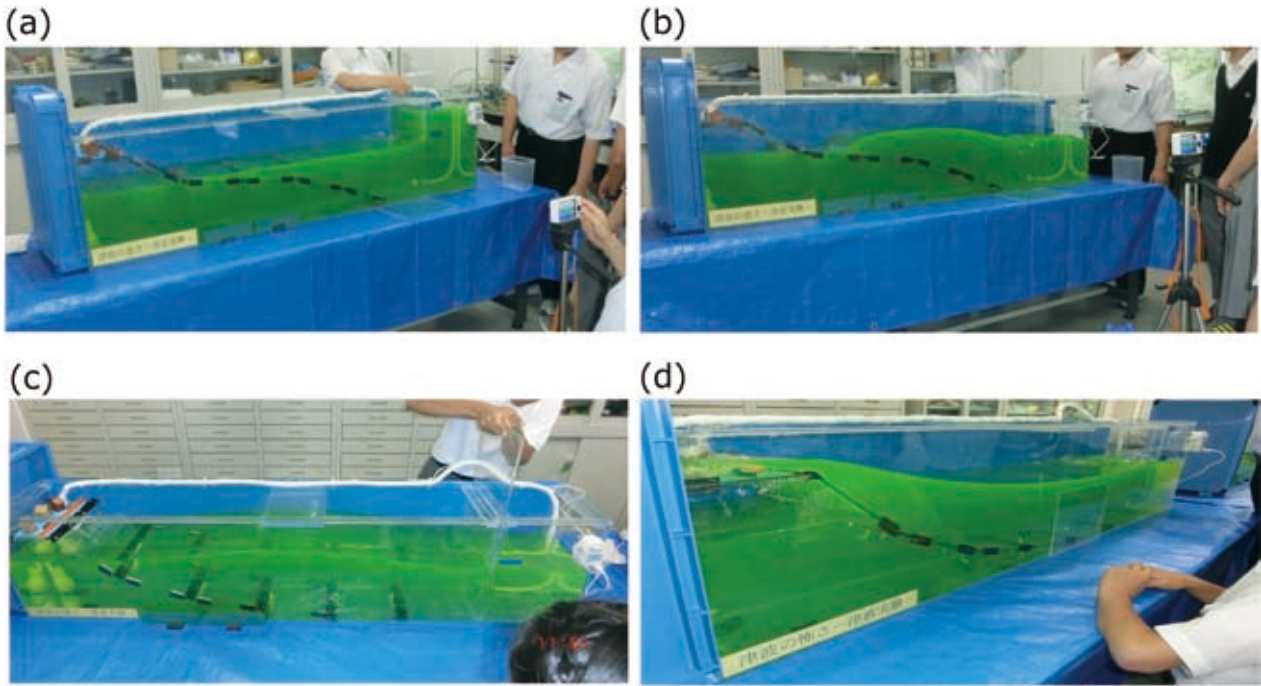


図3 生徒が自由に津波実験をしている際の様子。(a) 津波実験装置1号(陸棚海底)で津波励起部と津波発生・伝播部に水位差をつけて水を入れ、隔壁板を引き抜く直前の様子(押し波の実験時)。(b) 津波実験装置1号(陸棚海底)で津波(押し波)が発生し伝播していく様子。(c) 津波実験装置2号(スロープ海底)で隔壁板を引き抜き始めた際の様子。(d) 津波実験装置2号(スロープ海底)で津波(押し波)が陸にまで押し寄せた際の様子。



図4 津波実験時に撮影したハイスピード動画を実験終了後にスクリーン上で再生しながら、津波の発生・伝播の様子や性質、威力などについて確認している際の様子。

津波実験装置2号での津波の様子の違いやそれぞれの装置での「押し波」と「引き波」の違いなどについて確認させた。その際、まず生徒たちが気付いたことを自由に発表させて、それらについて全員で確認し合った後で、授業者がまとめをした(全体で約10分間)。この時の様子を図4に示す。

(4) 最後に、この津波実験を通して各人が津波についてわかったことや考えたこと・感じたことなど((3)の際に出たことも含めて)、さらに2つの津波実験装置についての意見や感想などについて、無記名でのアンケート(自由記述式)を実施した(約5分)。

3. 2 ハイスピード撮影動画による観察

前節で述べたように、本津波実験における津波の発生や伝播の様子を肉眼のみで観察するのは困難なため、デジタルカメラによるハイスピード撮影をし、実験の後で生徒たちにその動画を見せながら解説をした。本節ではそのハイスピード撮影した動画からいくつかの静止画にしたものに基づいて、津波実験装置1号(陸棚を模した形状の海底面のもの、以下、単に陸棚海底という)及び津波実験装置2号(なだらかなスロープ状の海底面のもの、以下、単にスロープ海底という)による津波の様子について述べる。なお、以下の各図は、津波実験装置1号及び津波実験装置2号いずれにおいても津波励起部と津波発生・伝播部の初期水位差がいつも同じようになるようにして実験した際

のものである。

まず、津波実験装置1号（陸棚海底）及び津波実験装置2号（スロープ海底）それぞれで発生させた津波（押し波の場合）の様子を、複数の連続的な静止画として図5に示す（同図の（a）～（e）が津波実験装置1号（陸棚海底）でのもので、（f）～（j）が津波実験装置2号（スロープ海底）でのもの）。いずれの場合も明瞭に押し波が発生・伝播し、陸に遡上していく様子がよくわかる。ただし、よく観察すると、津波実験装置1号（陸棚海底）の場合は陸に近づくにしたがって次第に波形の均衡が崩れて津波の先端部が急峻に

なっていく（同図の（c）や（d））のに対して、津波実験装置2号（スロープ海底）の場合は波形が崩れることなくほぼ均衡を保ったまま陸に到達する様子がわかる（図6に両者における津波の先端部付近を拡大して比較したものを示す）。津波の速度 V は $V = \sqrt{gh}$ （ g は重力加速度で約 9.8 m/s^2 、 h は水深）と表されるように水深が浅くなると速度が小さくなるが、津波実験装置1号（陸棚海底）で見られるこのような現象は、陸棚のところで津波の速度が急激に低下し後背部の水が先端部に追いつくために起きている現象であり、実際の津波の場合にも同じようなことが起きる。した

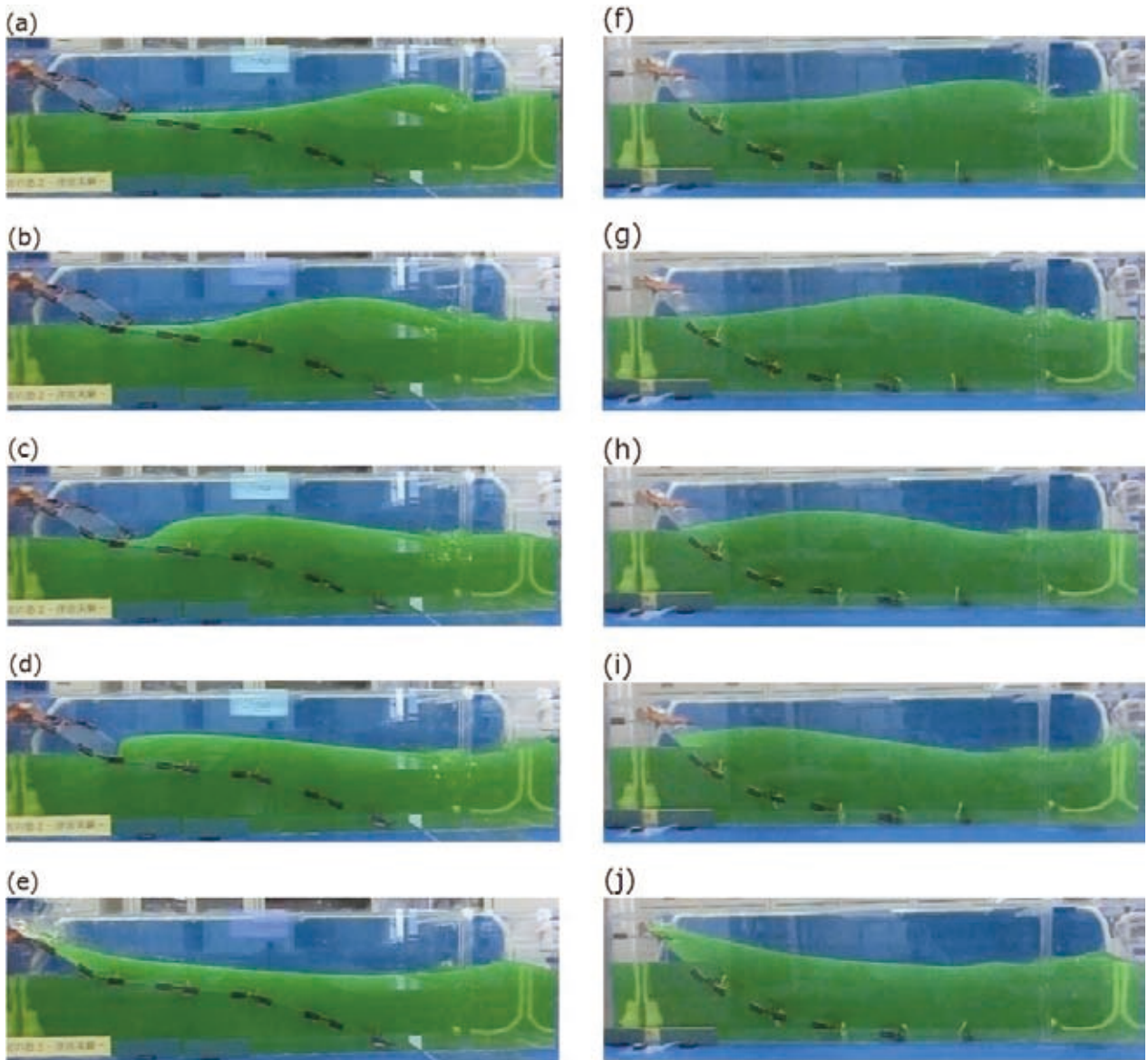


図5 津波実験装置1号（陸棚海底）と津波実験装置2号（スロープ海底）それぞれで津波（押し波）が発生・伝播し、陸に押し寄せるまでの様子を時系列で並べたもの。（a）～（e）が津波実験装置1号（陸棚海底）でのもので、順に、（a）津波が発生した直後の様子、（b）津波がある程度進んだ時の様子、（c）津波が陸棚部分を進む際の様子、（d）津波が陸の近くまで到達した時の様子、（e）津波が陸に押し寄せた時の様子。また、（f）～（j）が津波実験装置2号（スロープ海底）でのもので、順に（a）～（e）に対応する（ただし、（h）については「陸棚部分を進む」ではなく「スロープ部分を進む」に変える）。津波実験装置1号（陸棚海底）の場合は（c）や（d）において津波の先端部が急峻になっていく一方、津波実験装置2号（スロープ海底）の場合は（h）や（i）において津波の先端部が急峻にならず波形を保ったまま陸に到達することがわかる。

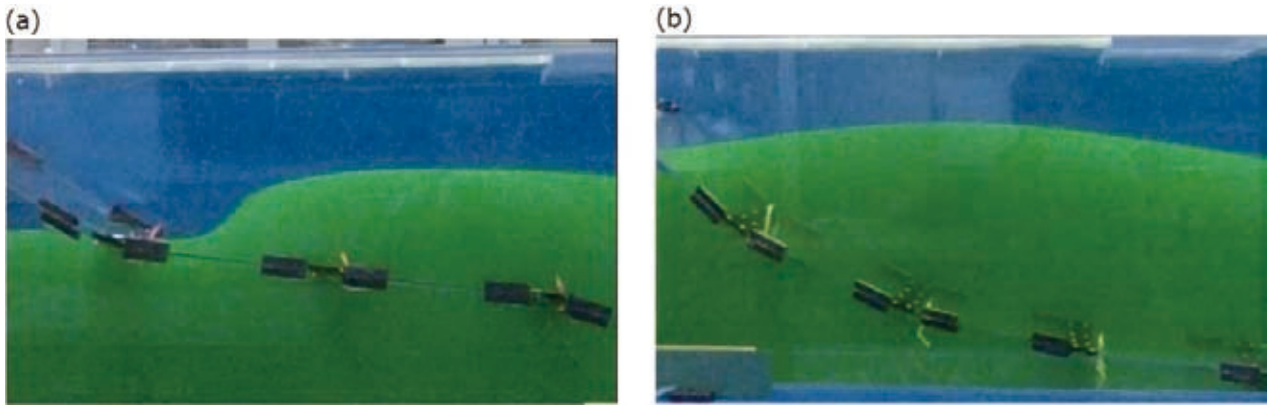


図6 津波実験装置1号（陸棚海底）と津波実験装置2号（スロープ海底）における津波の先端部の比較。(a) 津波実験装置1号（陸棚海底）の場合、(b) 津波実験装置2号（スロープ海底）の場合。

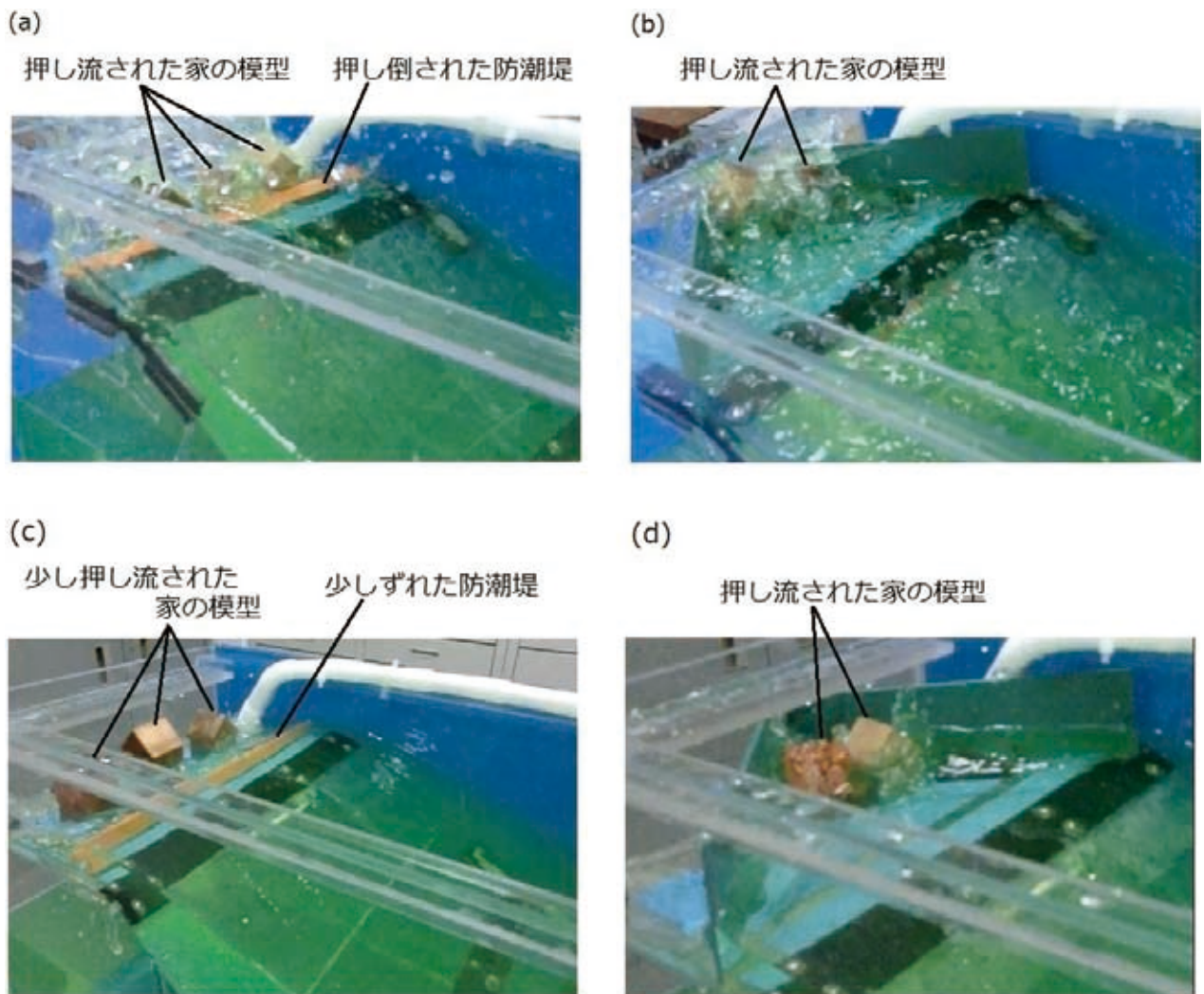


図7 津波（押し波）が押し寄せた際の海岸付近の様子と比較。(a) 津波実験装置1号（陸棚海底）で海岸線が直線状の場合、(b) 津波実験装置1号（陸棚海底）で海岸線がV字形の場合、(c) 津波実験装置2号（スロープ海底）で海岸線が直線状の場合、(d) 津波実験装置2号（スロープ海底）で海岸線がV字形の場合。(c) や (d) に比べて (a) や (b) の方が、また (a) や (c) に比べて (b) や (d) の方が、それぞれ津波の破壊力がより大きいことがわかる。

がって、沖合の海底地形がこうになっているところでは、水量が増した状態で陸に押し寄せるため津波の破壊力が一段と大きくなり、より危険である。

次に、津波が押し寄せて来た際の陸の様子を図7に

示す。同図の (a) と (b) が津波実験装置1号（陸棚海底）、(c) と (d) が津波実験装置2号（スロープ海底）での様子である。また、(a) と (c) は、それぞれにおいて海岸線が直線状で防潮堤がある場合であ

り、(b) と (d) は海岸線がV字形になるようにした場合である。これらの図を比較すると、前述のように津波実験装置1号（陸棚海底）の場合が津波実験装置2号（スロープ海底）の場合より津波の破壊力がより大きいこと、また、それぞれにおいて海岸線が直線状の場合よりV字形状の場合の方がより津波の破壊力が大きいことが見て取れる。

最後に、津波実験装置1号（陸棚海底）及び津波実験装置2号（スロープ海底）それぞれにおける引き波の様子を、図8に連続的な静止画として示す（同図の(a)～(d)が津波実験装置1号（陸棚海底）のもので、(e)～(h)が津波実験装置2号（スロープ海底）のもの）。いずれの場合も引き波が発生・伝播していき、陸に近いところで徐々に水位が下がっていく様子がわかる。この実験によって、生徒たちに確かに津波には押し波だけでなく引き波というものもあるということを実証的に示すことができた。

4. アンケートに基づく津波実験授業の効果

ここでは、授業の最後に行ったアンケート（自由記述式）結果に基づいて、津波実験の効果について考察する。

4. 1 津波実験を通して津波についてわかったこと・考えたこと・感じたことなど

まず、「津波実験を通して津波についてわかったこと・考えたこと・感じたこと」などについて生徒たちが回答（複数回答）したことを、回答数及び回答率とともに「授業後のアンケート結果(1)」として表1にまとめた（なお、必ずしも同じ文言ではなくても、文意に基づいて表に示すような各項目にまとめた上で数をカウントしているため、回答数の多少の増減はあり得る）。これらのうち、①～⑥は今回の津波実験の結果直接的にわかったことについてのものであり、⑦～⑨は津波実験を通して考えたことや感じたことについて

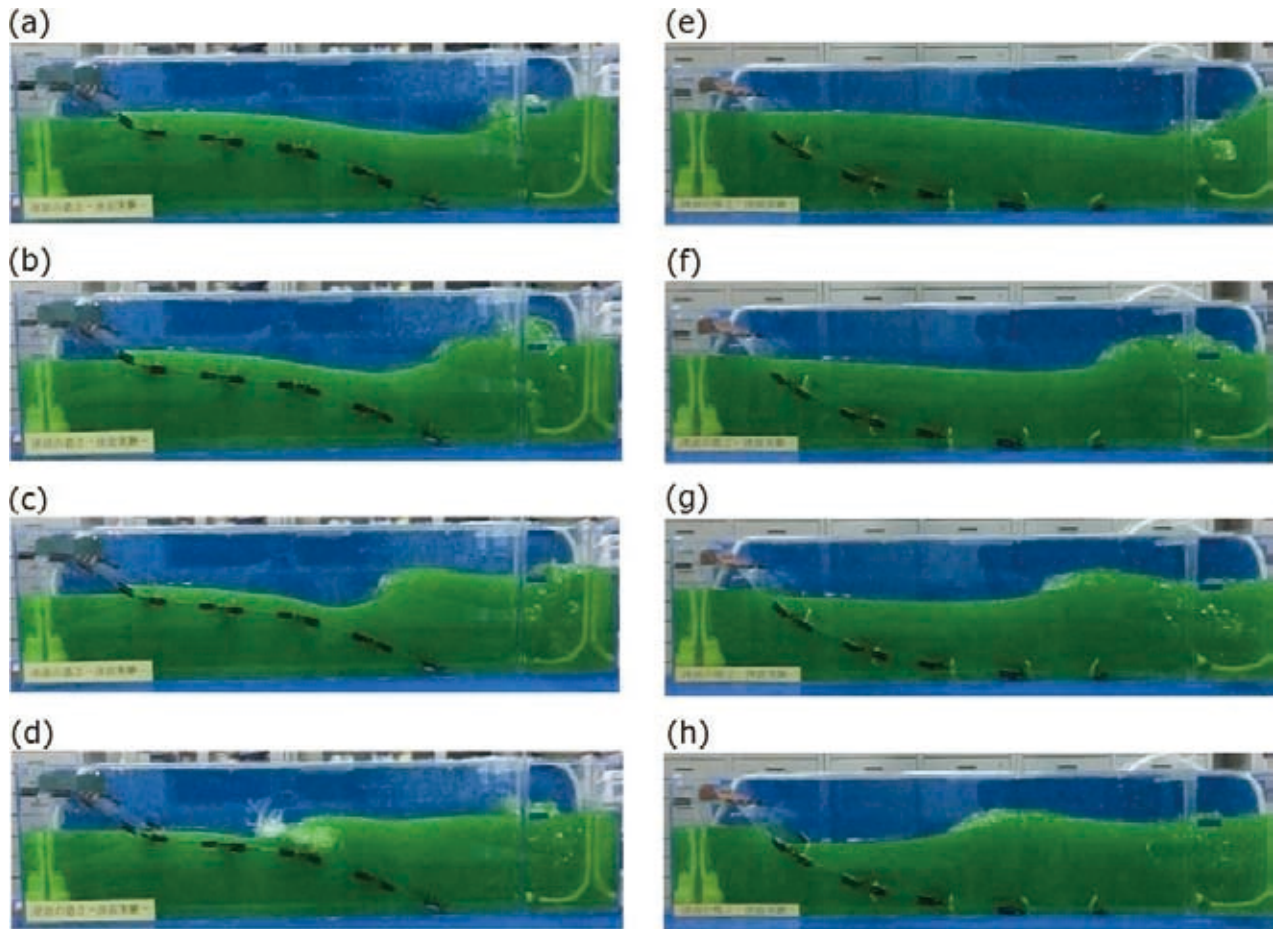


図8 津波実験装置1号（陸棚海底）と津波実験装置2号（スロープ海底）それぞれで津波（引き波）が発生・伝播し、陸に押し寄せるまでの様子を時系列で並べたもの。(a)～(d)が津波実験装置1号（陸棚海底）でのもので、順に、(a)津波が発生した直後の様子、(b)津波が少し進んだ時の様子、(c)津波がさらに進んだ時の様子、(d)津波が陸棚部分を進む時の様子。また、(e)～(h)が津波実験装置2号（スロープ海底）でのもので、順に(a)～(d)に対応する（ただし、(h)については「陸棚部分を進む」ではなく「スロープ部分を進む」に変える）。津波実験装置1号（陸棚海底）と津波実験装置2号（スロープ海底）いずれにおいても、陸に近いところで徐々に水位が下がっていく様子がわかる。

表1 授業後のアンケート結果 (1)

津波実験を通して津波についてわかったこと・考えたこと・感じたことなど (複数回答)	回答数 (%)
①海底の地形によって津波の大きさや威力が違うことがよくわかった。	45 (57.7)
②津波には押し波だけでなく引き波もあることがわかった。	39 (50.0)
③津波が伝わる速さや高さ、威力がよくわかり、とても怖いと感じた。	28 (35.9)
④海岸線の形によって津波の威力が違うことがよくわかった。	17 (21.8)
⑤津波が伝わる様子や津波で海面が変化する様子がよくわかった。	5 (6.4)
⑥普通の波などのような表面での波と津波の違いがよくわかった。	2 (2.6)

⑦津波に備えてどうすべきか、改めて考えてみようと思った。	7 (9.0)
⑧津波が来そうな場合は、すぐに高台などに避難しないといけないことがよくわかった。	6 (7.7)
⑨津波についてもっと調べたいと思った。	4 (5.1)

⑩遠くで起きた地震による津波が来る場合もあることがわかった。	6 (7.7)
⑪火山噴火の際に溶岩などが海に勢いよく流入することによっても津波が起きることが想像できた。	1 (1.3)

(注) 必ずしも同じ文言ではなくても文意に基づいてこの表のような項目にまとめた上で数をカウントしたので、回答数の多少の増減はあり得る

てのものと思われる。一方、⑩と⑪は今回の津波実験そのものによってではないが、それと関連付けて出てきた回答と思われる。

この表からわかるように、まず①～⑥の津波実験の結果直接的にわかったこととして、授業対象の全生徒78名のうち6割近い生徒が①「海底の地形によって津波の大きさや威力が違うことがよくわかった」と回答している。これは、海底地形の異なる2つの津波実験装置1号と2号を並置して実験させ、比較させたことによるものと考えられ、より効果的であったことがわかる。次に多かった回答は②「津波には押し波だけでなく引き波もあることがわかった」というもので、ちょうど半数の生徒が挙げている。これも、通常よく行われる押し波実験だけでなく引き波実験もして観察させた効果である。さらに、③「津波が伝わる速さや高さ、威力がよくわかり、とても怖いと感じた」が約36%で3番目に多かった。これは、実験とは言えかなりの速度で水槽の中を津波が伝わって行き、陸地へ押し寄せて防潮堤や家の模型を押し流す様子を目の当たりにしての感想であろう。陸地に津波が押し寄せる様子をテレビ等の映像で見るのとはまた違った形で、津波の怖さを実感してもらえたのではないかと考えられる。また、陸地の地形を湾奥が狭くなるようなV字型にした場合についても実験させたことにより、④「海岸線の形によって津波の威力が違うことがよくわかった」という回答も約22%あった。一方、⑤「津波が伝わる様子や津波で海面が変化する様子がよくわかった」や⑥「普通の波などのような表面での波と津波の違いがよくわかった」と回答した生徒は、それぞれ約6%と約3%と少なかった。このうち⑤については、津波実験装置の津波発生・伝播部が150cmと短く、津波が陸に到達するのに1秒ほどしかかからないため肉

眼では確認しにくかったということが考えられる。ただ、後述するように、「津波実験装置や津波実験についての感想」では「ハイスピード撮影の動画で津波の動きをゆっくり細かく見ることができてわかりやすかった」と答えた生徒が約20%いた。また、⑥については、実験の最初の方で、授業者が水槽の幅とほぼ同じ幅の亚克力板を使って起こした水面近くを伝わる波と水全体で発生・伝播する津波を比較しながらそれらの違いについて説明したが、生徒たちには違いがあまりよくわからなかったのかもしれない。

次に、⑦～⑨として挙げたように、津波実験を通して考えたことや感じたこととして⑦「津波に備えてどうすべきか、改めて考えてみようと思った」(9%)とか⑧「津波が来そうな場合は、すぐに高台などに避難しないといけないことがよくわかった」(約8%)、⑨「津波についてもっと調べたいと思った」(約5%)などの回答があった。したがって、それほど多くはないものの、生徒たちに津波に対する興味・関心を持たせたり、迅速に避難することの大切さを認識させたりすることができたと言え、津波防災教育上で一定の効果はあったと考えられる。

また、今回の津波実験そのものによってではないが、それと関連付けて⑩「遠くで起きた地震による津波が来る場合もあることがわかった」(約8%)とか⑪「火山噴火の際に溶岩などが海に勢いよく流入することによっても津波が起きることが想像できた」(約1%)というような回答もあり、津波に関する様々なことを知るきっかけにもなったことが窺われる。

4. 2 津波実験装置や津波実験についての感想など

次に、「津波実験装置や津波実験についての感想」などについて生徒たちが回答(複数回答)したこと

を、回答数及び回答率とともに「授業後のアンケート結果 (2)」として表2にまとめた (なお、表1と同様に、必ずしも同じ文言ではなくても、文意に基づいてこの表に示すような各項目にまとめた上で数をカウントしているため、回答数の多少の増減はあり得る)。これらのうち①～⑪は肯定的な感想であるが、⑫～⑮は疑問点や今後への要望などである (①～⑪については、前節で述べた「津波実験を通して津波についてわかったこと・考えたこと・感じたこと」などと重複するものもあり、必ずしも明確に分けられないことに注意する必要がある)。

まず、肯定的な感想として、①「津波のしくみや種類、大きさ、強さ等がよくわかって便利だし、津波への意識が変わった」という生徒が40%余りおり、本津波実験装置の有用性・有効性を示すものと考えられる。次いで、②「今まで津波について実感がわかなかったが、この実験はとてつわりやすく貴重な体験だった」(約30%)、③「実際の津波と同じような迫力があって、津波の怖さがよくわかった」(約25%)という回答も多く、実際の津波を再現したかのようなわかりやすさも備えていると言えよう。また、前節で述べたように、肉眼だけでは津波が伝わる様子や津波で海面が変化する様子をなかなか観察しにくい、④「ハイスピード撮影の動画で津波の動きをゆっくり細かく見ることができてわかりやすかった」(約20%)という回答が示すように、一通り実験が終わった後でハイスピード撮影した動画を見せることによって津波に対する理解がより深まるようである。したがって、実験中にハイスピード撮影しておき、後でそれを見せながら解説をすることが重要であろう。同じく津波を

観察しやすくするという点では、⑨「入浴剤で水を着色してあったので、津波の様子がわかりやすかった」と回答した生徒が約12%いることからわかるように、ちょっとしたことではあるが水を着色することも有効である。⑤「海底地形が異なる2つの津波実験装置があって比較できたので、わかりやすかった」や⑥「防潮堤や家の模型が置いてあるので、津波の怖さが実感できてよかった」、⑦「海岸の地形と津波の関係がわかりやすかった」は、前節で述べた表1の①や③、④に対応するものであるが、それぞれ15%程度の生徒が感想として挙げている。さらに、⑧「実際に自分で津波を起こして観察することができるので、より実感がわいてよかった」(約12%)とか⑩「津波の実験ができること自体たいへん興味深かった」(約10%)という回答が示すように、津波を含む自然現象の理解には何らかの工夫をしつつ生徒たちに実際に実験や観察をさせることが極めて有効であり、興味を持たせやすいことがわかる。中には、⑪「実際の地震のように海底を動かすことはできないが、十分それと同じ効果で津波を起こしていると思った」(約3%)というように、実際の自然現象とそれを模した人工的な実験の違いにも気づきつつ、実験の有用性も認識している生徒もいるようである。

次に、疑問点や要望についてであるが、何人かの生徒たちは⑫「隔壁板を引き上げる時の力加減やスピードで津波の大きさが変わるのではないかと思った」(約5%)とか⑬「水槽だと距離が短いので、結果が変わるのではないかと思った」(約1%)と回答しているように、津波をより定量的に理解する上では今回の津波実験では不十分であることも認識しているよう

表2 授業後のアンケート結果 (2)

津波実験装置や津波実験についての感想など (複数回答)	回答数 (%)
①津波のしくみや種類、大きさ、強さ等がよくわかって便利だし、津波への意識が変わった。	32 (41.0)
②今まで津波について実感がわかなかったが、この実験はとてつわりやすく貴重な体験だった。	23 (29.5)
③実際の津波と同じような迫力があって、津波の怖さがよくわかった。	19 (24.4)
④ハイスピード撮影の動画で津波の動きをゆっくり細かく見ることができてわかりやすかった。	15 (19.2)
⑤海底地形が異なる2つの津波実験装置があって比較できたので、わかりやすかった。	12 (15.4)
⑥防潮堤や家の模型が置いてあるので、津波の怖さが実感できてよかった。	12 (15.4)
⑦海岸の地形と津波の関係がわかりやすかった。	11 (14.1)
⑧実際に自分で津波を起こして観察することができるので、より実感がわいてよかった。	9 (11.5)
⑨入浴剤で水を着色してあったので、津波の様子がわかりやすかった。	9 (11.5)
⑩津波の実験ができること自体たいへん興味深かった。	8 (10.3)
⑪実際の地震のように海底を動かすことはできないが、十分それと同じ効果で津波を起こしていると思った。	2 (2.6)

⑫隔壁板を引き上げる時の力加減やスピードで津波の大きさが変わるのではないかと思った。	4 (5.1)
⑬水槽だと距離が短いので、結果が変わるのではないかと思った。	1 (1.3)
⑭津波の湾内トラップ効果や浅水効果などの実験ができるとなおいいと思った。	1 (1.3)
⑮遠くで起こった地震による津波の実験もできるともっとすごいと思った。	1 (1.3)

(注) 必ずしも同じ文言ではなくても文意に基づいてこの表のような項目にまとめた上で数をカウントしたので、回答数の多少の増減はあり得る

である。さらに、今後への要望として、⑭「津波の湾内トラップ効果や浅水効果などの実験ができるとなおいいと思った」というように、より高度な津波実験を望む回答や、⑮「遠くで起こった地震による津波の実験もできるともっとすごいと思った」というように、ともに約1%と少数ではあるが有用なアドバイスをしてくれた生徒もいる。これらの要望に応えるのは容易ではないが、今後、可能な範囲で津波実験装置に取り入れていくことが望まれる。

5. まとめ

本論文では、新たに製作した2つの津波実験装置、すなわち津波実験装置1号と津波実験装置2号について紹介し、さらにそれらを用いて中学2年生78名を対象にして行った授業実践とその効果について述べた。

これら2つの津波実験装置は、比較的大きな同じサイズの水槽をベースにしたもので、海底面の形状が異なるものである。すなわち、津波実験装置1号は、海底面を陸棚を模した形状にしたもの（陸棚海底）であり、津波実験装置2号は海底面をなだらかなスロープ状にしたもの（スロープ海底）である。2つとも津波を起こさせるしくみは同じで、隔壁板で仕切られた両側の部分（それぞれ津波励起部と津波発生・伝播部と呼ぶことにする）に予め水位差をつくって水を入れ、この隔壁板を勢いよく抜き取ることによって津波を発生させるという方式である。これによって、津波励起部の水位を高くして隔壁板を抜き取ると津波発生・伝播部に押し波が発生し、逆にして隔壁板を抜き取ると引き波が発生するので、押し波だけでなく引き波も起こすことができるので便利である。

この2つの津波実験装置を使って、中学2年生に対して津波防災を目的とした授業実践を行った。前述のように、これらの津波実験装置を使うと、海底面の形状が異なる2つの場合及びそれぞれに対して押し波と引き波の実験というように、4つの組合せの津波実験をして比較することができるので、津波の性質や威力などを理解する上で生徒にとってたいへんわかりやすかったようである。また、津波が発生・伝播する様子やそれが陸に押し寄せて防潮堤や家の模型を押し流す様子をデジタルカメラでハイスピード撮影し、実験後にそれを生徒たちにスクリーン上で見せながら解説を加えたが、このことも生徒たちが津波について理解する上でたいへん有効であったようである。これらのことは、授業後に書いてもらった自由記述式のアン

ケートからも窺われ、多くの生徒が「海底の地形によって津波の大きさや威力が違うことがよくわかった」とか「津波には押し波だけでなく引き波もあることがわかった」、「津波が伝わる速さや高さ、威力がよくわかり、とても怖いと感じた」などと回答していた。また、「津波のしくみや種類、大きさ、強さ等がよくわかって便利だし、津波への意識が変わった」、「今まで津波について実感がわかかなかったが、この実験はとてもわかりやすく貴重な体験だった」などと回答した生徒も多かった。さらに、「津波に備えてどうすべきか、改めて考えてみようと思った」とか「津波が来そうな場合は、すぐに高台などに避難しないと避けられないことがよくわかった」、「津波についてもっと調べたいと思った」と書いた生徒もいた。

このように、ここで紹介した2つの津波実験装置とそれを用いた授業によって、生徒たちに津波についての理解を深めさせることができ、さらに津波に対する興味・関心を持たせたり迅速に避難することの大切さを認識させたりすることができたと言え、津波防災教育上たいへん効果的であったものと考えられる。

謝 辞

本研究では、製作した津波実験装置を用いて本学の附属小金井中学校2年生を対象に授業実践を行った。授業実践に際してご協力いただいた同校の教職員及び生徒の皆さんに感謝します。また、津波実験装置の準備と片付けの際には、本学地震研究室所属の学生に手伝ってもらいました。記して感謝します。

参考文献

- 明石和大・山下清次・川村教一：中学・高校理科教材用に改良した組み立て式津波実験装置，日本科学教育学会科教研報，27，35-38，2012。
- 伊藤和明：[報告] あの津波災害を振り返る～日本海中部地震から30年～，歴史地震，29，245，2014。
- 香月興太・山口飛鳥・松崎琢也・山本裕二・村山雅史：小学生向け地震・津波発生装置の製作とその教育実践，地学教育，63，135-147，2010。
- 気象庁：平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震調査報告（第I編），気象庁技術報告，133，354pp.，2012。
- 牧野泰彦：実験水槽で起こした“津波”の観察，地学教育，69，15-21，2016。
- 内閣府防災担当：東日本大震災から学ぶ～いかに生き延びたか～，ほうさい，64，4-9，2011。

- 大川小学校事故検証委員会：大川小学校事故検証報告書，233pp.，2014.
- 境 智洋・片岡彩香：組み立て式津波実験装置の開発と防災教育への活用，地学教育，69，5-13，2016.
- 佐武直紀・福和伸夫・原 徹夫・太田賢治・飯沼博幸：地震防災教育のための津波実験装置の開発，日本建築学会技術報告集，15，321-324，2009.
- 里 嘉千茂：被災地現地調査報告，東京学芸大学トップマネジメント報告書（2012年度）「小中学校における防災教育のあり方に関する研究」（東京学芸大学防災教育研究チーム，プロジェクトリーダー：小泉武栄），pp.25-56，2013.
- 佐藤宏紀：中学校理科における跳ね上げ式津波教材の開発，秋田県総合教育センター平成23年度研修員研究集録，43-48，2012.
- 消防庁：平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）について（第155報），22pp.，2017.
- 杉山諒介・横川美和：持ち運び可能な教材用津波演示装置，地学教育，69，31-35，2016.
- 横山 光・村上鋭吉・武田明子・常田陽子：簡易組み立て式津波伝播モデル装置の開発と教育実践例，地学教育，69，23-29，2016.