

教育用組み立て式津波モデル実験装置の製作

明石 和大*・川村 教一**・山下 清次**

Constructing of Prefabricated Tsunami Experimental Device for Education

Kazuhiro AKASHI*, Norihito KAWAMURA**, and Seiji YAMASHITA**

Abstract

The authors developed a new tsunami experiment device for educational use in school, which is approximately 5 meters long. This device is easy to carry, assemble and operate. This paper describes components and features of the device. Some measured values of tsunamis generated by the device are reported. This teaching material will enable students in middle school level to observe, measure some features of tsunamis.

キーワード：津波, モデル実験装置, 理科, 教育実践

Key words : tsunami, experimental equipment device, science class, educational practice

1. はじめに

平成 20 年改訂の中学校学習指導要領理科（文部科学省, 2008）では, 第 2 分野「(2) 大地の成り立ちと変化」と「(7) 自然と人間」で津波に触れることになっている。また, 平成 21 年改訂の高等学校学習指導要領（文部科学省, 2009）では「地学基礎」の「(2) 変動する地球」および「地学」の「(3) 地球の大気と海洋」で自然災害として津波が扱われている。明石・川村（2012）により, 教員対象のアンケート調査から明らかになったように, 津波のしくみを教えることを重要視している中学校理科教員が多いため, 教材開発の推進が求められている。

津波について学習するとき, モデル実験装置を用いることが考えられる。明石・川村（2012）は, 中学・高校理科の授業でモデル実験装置を用いて津波を理解させるとき, 学習活動として次の 5 項目が求められると考えた。

- ア 津波の波形の観察
- イ 海底地形による波の変化の観察
- ウ 海岸地形による波の変化の観察
- エ 津波の波高の計測
- オ 押し波と引き波の観察

モデル実験装置には, 次章で述べるように多くの先行事例があるが, これらの中には筆者らの考える 5 項目の

学習活動すべてが可能なものではなかった。そこで, 筆者らは機能を向上させた組み立て式の装置を開発した。本報告では改善した実験装置の製作状況と機能について述べる。

2. 津波実験装置の先行事例と課題

最近開発された教育・普及用の津波実験装置には, 佐武ほか（2009）の「地震防災のための津波実験装置（津波ぶるる）」, 香月ほか（2010）の「南海クン 2 号」, 佐藤（2012）の「跳ね上げ式津波教材」, 横山（2012）の「津波実験装置」, 吉川ほか（2012, 2013）の「組み立て式津波実験装置」などがある。このうち吉川ほか（2012, 2013）の「組み立て式津波実験装置」は秀逸で, この特長は, 塩ビ板で作製した組み立て式の枠（長さ 450cm, 高さ 30cm, 幅 30cm）にビニールシートをかぶせて, そのシートの端を地震に伴う海底面の隆起に見立てて持ち上げることで津波を発生させるものである。吉川ほか（2012）によると「一般に津波特有の長周期の波を見せるためには, 長さ 5m 程度の長い水槽が必要である」とあるが, そのような長さの固定式水槽を製作するには経費がかかる上, 収納や運搬が困難である。しかし, 水槽を組み立て式にするという工夫により, これらの困難点を克服している。

この組み立て式津波実験装置は, 筆者らが考える津波

* 秋田県大館市立第一中学校
Daiichi Junior High School, Odate

** 秋田大学教育文化学部
Faculty of Education and Human Studies, Akita University

実験装置で行う学習活動のうち、ア（波形観察）とイ（海底地形）が可能である。しかし、ウ（海岸地形）とエ（波高計測）、およびオ（押し波・引き波）のうち引き波が再現できていない。

また、明石・川村（2012）では、本モデル実験装置の原型を用いて中学校の理科で実践したところ、事前・事後のアンケート調査では、「津波はどんなときに起きるか知っているか」という選択肢回答の質問に対する正答「海の底の下で地震が起き、底が持ち上がったたりして海水を動かしたとき」の反応率が有意に高まらなかった。また誤答にあたる選択肢「海の底の下で地震が起きて、そのゆれが海水を伝わったとき」の反応率は、25.7%（35名中9名）から31.4%（35名中11名）とほとんど変化しておらず、有意差は認められなかった（両側検定： $Z=0.53$, $p=0.5967$, $.05 < p$ ）。このように中学生には、地震の揺れが津波を起こすという誤った認識を改善することができなかった。この原因は、実験による表面波は観察しやすいが、装置の底面付近の水の動きを観察しにくいのではないかと考え、この点についての改良が必要であった。

3. 津波実験装置の改良点

(1) 特長

筆者らが製作した本装置は、地震に伴う海底面の隆起・沈降による波を造波部で発生させ、深海部での津波の様

子を、浅海・海岸部で水深の変化に伴い波が変化する様子を観察することができる。その際、水路が長いので波の速さを計測することが可能である。また、海岸平野とリアス式海岸の湾とで津波の様子が異なることを観察することができる。また、水路の底面付近の水の動きを観察しやすくするために、砂粒子をマーカーとして使用するようにした。

(2) 実験装置の構成

1) 全体構成

完成した装置全体を図1に示す。

装置は側面に塩ビ板、底面に木板（桐集成材）を用い、上方に開口した枠（横60cm、高さ20cm、幅30cm）を8ユニット（図1のA～H）並べたもので、全長は約480cmである。造波部（A；可動部分をA1、固定部分をA2とする）、深海部（B～F）、浅海・海岸部（G、H）の3つの部分からなる。これらのユニットを1枚の農業用ビニールシート（5500mm×1800mm×0.1mm）で覆う。

2) 造波部

この部分は津波を発生させる部分である（図2）。図に示すように、ユニットの半分の長さ（30cm）のところで、底面の板を蝶番で固定した。A1の部分を持ち上げたとき（海底面の隆起）と持ち上げていたA1の部分を下げたとき（海底面の沈降）で、それぞれ押し波と引き波の津波を発生させることができる。ただし、A1は持ち上げた際に、蝶番を軸としてA2の方へ回転するため、A2よりも幅を小さくしてある。また、引き波の実

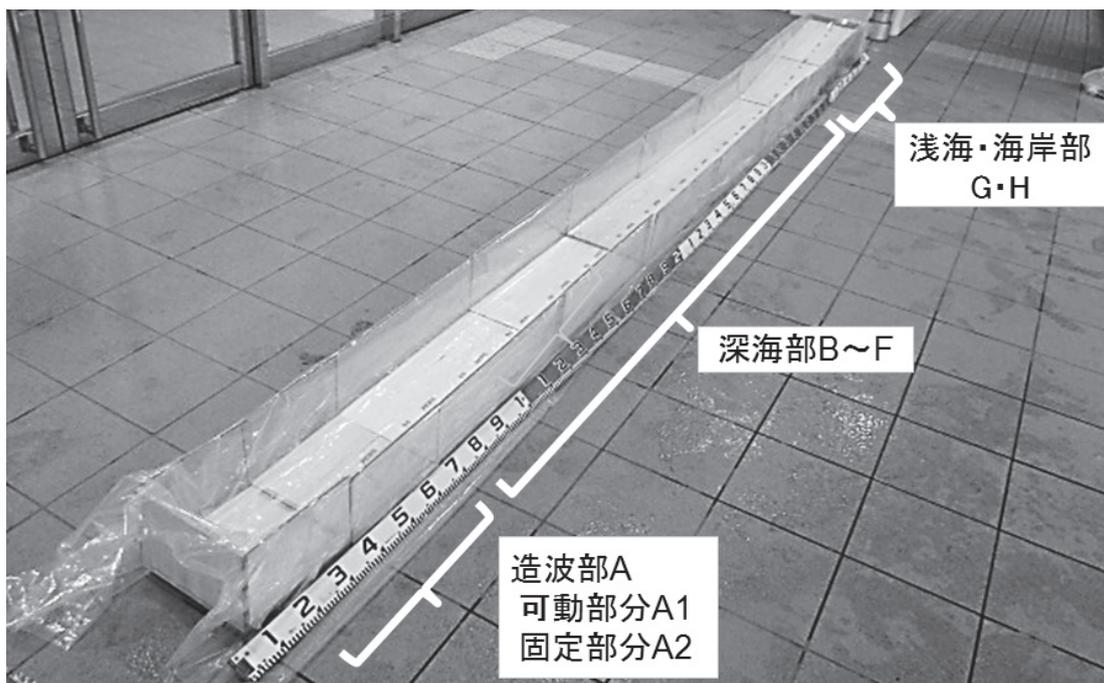


図1 組み立て後の津波モデル実験装置の全体

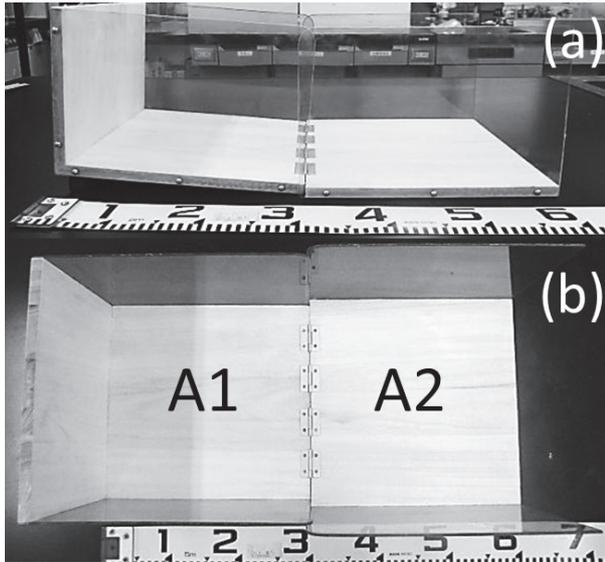


図2 造波部 (a) 側面, (b) 平面
A1 造波部分, A2 固定部分

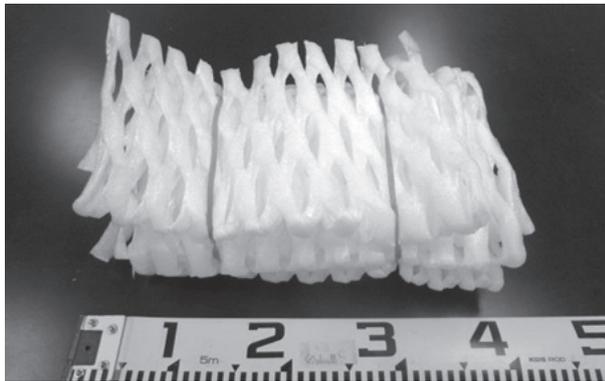


図3 消波材

験の際には、果物ネットを輪ゴムで留めたものを消波材（図3）としてA1付近の水中に入れる。津波の波高は小さくなるが、引き波の再現が可能である。

3) 深海部

この部分は一定の高さと幅の5つのユニットからなる水路である（図4）。

一般に津波の流速は次の式で求められる。

$$V = \sqrt{gh}$$

(V :流速 (m/s), g :重力加速度 (m/s²), h :水深 (m))

重力加速度を9.8m/s²、水深を0.1mとすると、流速は約0.99m/sとなる。津波の波形を観察するには少なくとも3秒ほどの時間が必要だと考え、深海部ユニットを5つ連結して約3mの長さとした。また、各ユニットの外側には波高測定用の目盛りを付けた。

あとで述べるように、直線状に並べたユニットにビニールシートをかぶせ、水を入れた後に、深海部の水路の横断方向に幅約1cmの帯状にガーネットサンド（砂

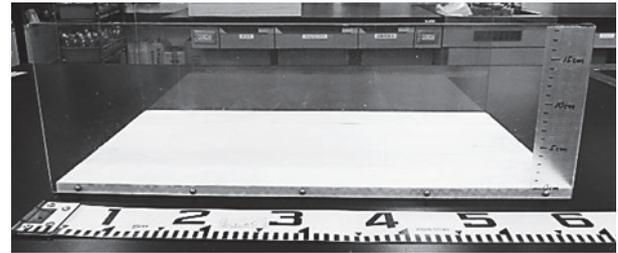


図4 深海部側面



図5 浅海・海岸部（海岸平野）側面



図6 リアス式海岸にした場合の浅海・海岸部

サイズに砕いたガーネットの粒）を散布する（図10(a), (c)）。これは水の動きを間接的に観察させるためのマーカーとするものである。

4) 浅海・海岸部

海底地形、海岸地形モデルを組み込んだ浅海・海岸部は、2つのユニットで構成する。2ユニットを連結し、木板の斜面を設けて徐々に浅くなる海底に見立てた（図5）。斜面の角度は8度程度である。また、浅海・海岸部の斜面にV字型の地形モデルを重ねておくことでリアス式海岸の湾を再現した（図6）。海岸平野・リアス式海岸いずれの場合も、地形模型の上から農業用ビニールシートを被せる（図7）。

(3) 実験装置の組み立て方法

1) 基本地形（海岸平野）

次の①～⑥の手順で実験装置を組み立てる。

- ①水平な場所にビニールシートを敷くなどして床が水で汚れないようにする。
- ②造波部（A）、深海部（B～F）、浅海・海岸部（G、

H) の順に直線的に並べる。

- ③全ユニットを覆うように上から農業用ビニールシートを被せ、水路とする。
- ④水道の蛇口から伸ばしたホースを通じて水槽内に水を入れながら、シートがユニットに密着するよういたるみをなくす。
- ⑤水深 10cm 程度まで水を入れる。
- ⑥ビニールシートを各ユニットの枠上端にダブルクリップで狭み固定する。

2) リアス式海岸への切り替え方法

- ①浅海・海岸部ユニットを覆う農業用ビニールシートを持ち上げる。
- ②V字型の塩基板地形モデルを設置する。
- ③再びシートで覆い塩基板に密着させる。

(4) 操作方法（押し波の場合）

- ①造波部 A 1（可動部分）の下に手を入れる。
- ②海底面の隆起に見立てて A 1 を持ち上げると（図 8）、A 1 内の水が押し上げられて津波（押し波）が発生する。
- ③再度、津波を発生させる場合は消波材を水槽内に入れるなどして、波を静めてから行う。

(5) 津波の観察と波高の計測方法

- ①深海部ユニットの側面から見ることで、波の観察をする。
- ②深海部ユニットの側面に付いている水深目盛りを読むことで波高を求める（図 9）。

4. 実験結果

(1) 実験条件

今回製作した実験装置により発生できる津波の特徴（速さ、波高、波長）を以下に述べる。

各種測定は、実験中の水槽内の様子をビデオカメラで



図7 浅海・海岸部（海岸平野）にビニールをかぶせ水を張った状態



図8 造波部の操作方法



図9 津波の波高の読み取り（波線は静水位）

撮影し、Windows Live ムービーメーカーにより動画1コマごとの位置を測定して行った。

実験では、造波部の底部を一定の高さまで一定の速さで持ち上げて津波を発生させた。底部を持ち上げるときの高さは30回平均で6.14cm（標準偏差0.79）、底部を動かす時間は平均1.14秒（標準偏差0.21）であった。

(2) 発生できる津波の特徴

(1) のような条件で測定した深海部の水路を伝わる津波は、いずれも30回平均で速さ1.32m/s（標準偏差0.02）、波長1.27m（標準偏差0.47）、最大波高平均14.6cm（標準偏差0.31）であった。先に述べたように、水深10cmの時の速さの理論値は約0.99m/sであるので、波高の分だけ水深が増し速さは0.99m/sより速くなる可能性があるため、実験結果は満足できるものである。

深海部の水路長を3mとしたとき、この区間を津波は約2.3秒で通過するので、授業実践において速さを求めさせることが可能である。波高の測定は、水深目盛りを注視していれば肉眼でも可能である。

(3) 津波の形状

前の項目で述べたように、造波部を約1秒間動かすと深海部の区間を2秒強で通過するので、波形の観察が可能である。なお、造波部を1秒未満で急激に動かすと発生した津波は碎波しやすく、碎波段波の観察に適している。また、2秒～3秒程度で造波部をゆっくり動かすと

津波は砕波せず、より長周期の波形の観察ができ、かつ海底・海岸地形による波の変化の観察により適している。

(4) 水路底における水の動き

発生させた津波が深海部および浅海部の水路底に帯状に散布したガーネットサンド上を通過するとき、水路底付近の津波の振動によって水路の伸長方向に粒子が動くことが観察できる(図10)。砂粒子が移動することにより、散布した砂の分布幅が広がるので、(1)で述べたような条件下でその幅を測定したところ、深海部で30回平均5.00cm(標準偏差0.91)、浅海部(木板の海底)で平均10.2cm(標準偏差1.21)であった。いずれも変化が十分に観察できる移動量である。

(5) 海岸平野への津波の遡上距離

海岸平野に見立て傾斜させた板上を津波が遡上するときの海岸線からの最長距離は、平野部をアクリル板にした場合は30回平均32.0cm(標準偏差2.77)、木製の板にした場合は平均37.0cm(標準偏差3.23)であった。なお、遡上距離が40cmを超えると実験装置から溢流するので、そのような実験結果は集計から省いた。なお、教育実践の際は、海岸平野部に家やビルに見立てたミニチュア模型を設置することにより、津波とその被害を結びつけるのが容易になると思われる。造波部を比較的高く持ち上げることにより高めの津波を発生させると、吉川ほか(2012)の装置同様、遡上した津波を装置の外に飛び出させることで、津波の威力をより感じるができる。

(6) リアス式海岸での津波の遡上高

海岸平野実験と比べ、リアス式海岸の湾の実験では湾奥で急激に波高が高くなり、飛沫を上げる。飛沫の高さは、湾の最奥部付近では平均29.5cmであった(29回分実験、標準偏差3.78)。

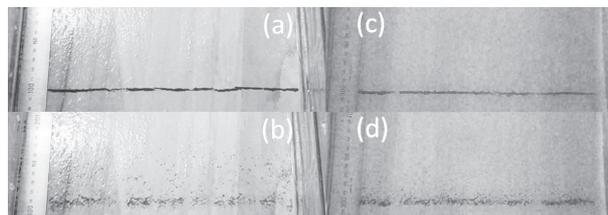


図10 実験水路底のガーネットサンドの動き
(a) 浅海部津波通過前, (b) 同津波通過後,
(c) 深海部津波通過前, (d) 同津波通過後

5. 教育実践試行の成果と課題

詳細は述べないが、本実験装置を中学校1年生の理科の授業で2回使用した。この授業では、吉川ほか(2013)のやり方と同様にドライヤーを用いて発生させる風波と比較させながら、津波の速さ、波高の違い、水底付近の

水の動きを観察させた。一部の生徒には速さの計算をさせ、風波と津波の違いを求めさせることも可能であった。

ところで秋田県潟上市が公表している津波ハザードマップ(潟上市, 2012)では、川を遡上する津波による浸水予想域が記されているが、アンケート調査によると中学生のそのような災害に対するリスクの認識は低い(川村, 2014)。川を遡上する津波の実験装置への改良が秋田県の生徒向けの教材として求められている。

謝辞

本実験装置を用いた授業実践にかかわるアンケート調査当たり、北秋田市立鷹巣南中学校(当時、現在は大館国際情報学院中学校) 畠山義仁教諭および北秋田市立鷹巣中学校の松田春彦教諭にご協力いただいた。また、実験データ収集に当たり、理科教育学研究室学生の大西諒君に協力いただいた。本研究の一部は、2012年度防災教育チャレンジプラン、平成24年度秋田大学教育文化学部地域連携推進事業、および平成26年度秋田大学COC事業地域指向教育研究費の財政的支援を受けた。本研究をご支援下さった皆様に感謝申し上げます。なお、本研究は、筆者のうち明石和大の平成24年度秋田大学大学院教育学研究科修士論文の一部にデータを加筆して修正したものである。

引用文献

- 明石和大・川村教一(2012): 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. 日本科学教育学会研究会報告, 27(2), 35-38.
- 潟上市市民生活部生活環境課(2012): 潟上市津波ハザードマップ.
- 川村教一(2014): 津波防災ハザードマップに関する中学生アンケート調査結果: 秋田県潟上市の場合. 平成26年度全国地学教育学会第68回全国大会北海道大会講演予稿集, 31-32.
- 香月興太・山口飛鳥・松崎琢也ほか(2010): 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(4), 135-147.
- 文部科学省(2008): 中学校学習指導要領解説理科編, 大日本図書, 149p.
- 文部科学省(2009): 高等学校学習指導要領解説理科編数編, 実教出版, 232p.
- 佐武直紀・福和伸夫・原 徹夫・太田賢治・飯沼博幸(2009): 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(29), 321-324.
- 佐藤宏紀(2012): 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.
- 横山 光(2012): 自然災害を再現する実験教材の工夫・開発. 北海道立教育研究所附属理科教育センター研究紀要, 24, 76-81.

吉川秀樹・七山 太・目代邦康・新井翔太・矢口紗由莉・生見野々花・成田明子・重野聖之 (2012) : 2011 年産総研一般公開チャレンジコーナー “ジオトイと砂遊びから学ぶ大規模自然災害” 実施報告と今後の課題, GSJ 地質ニュース, 1 (7), 213-216.

吉川秀樹・目代邦康・重野聖之・芝原暁彦・七山 太 (2013) : 2013 年産総研一般公開・チャレンジコーナー 「大規模自然災害を実験で再現してみよう！」実施報告と今後の課題, GSJ 地質ニュース, 2 (11), 339-342.