

投稿類別:自然探究

篇名:

海嘯與海嘯預警系統之探究

作者:

詹沃然。東華附小。六年級 忠 班

吳雅仁。東華附小。六年級 忠 班

李宥馨。東華附小。六年級 愛 班

陳昀睿。東華附小。五年級 仁 班

指導老師:

周子宇老師 張玉真老師

壹、前言

一、研究動機

2024 年 4 月 3 日上午 7 時 58 分花蓮發生強烈地震，震央位於台灣花蓮縣壽豐鄉，芮氏規模 7.2，震源深度為 22.5 公里，並在花蓮縣秀林鄉和平村觀測到中央氣象署地震分級中最大震度 6 強的地震，持續搖晃共大約 98 秒，全臺都感受到明顯搖晃。

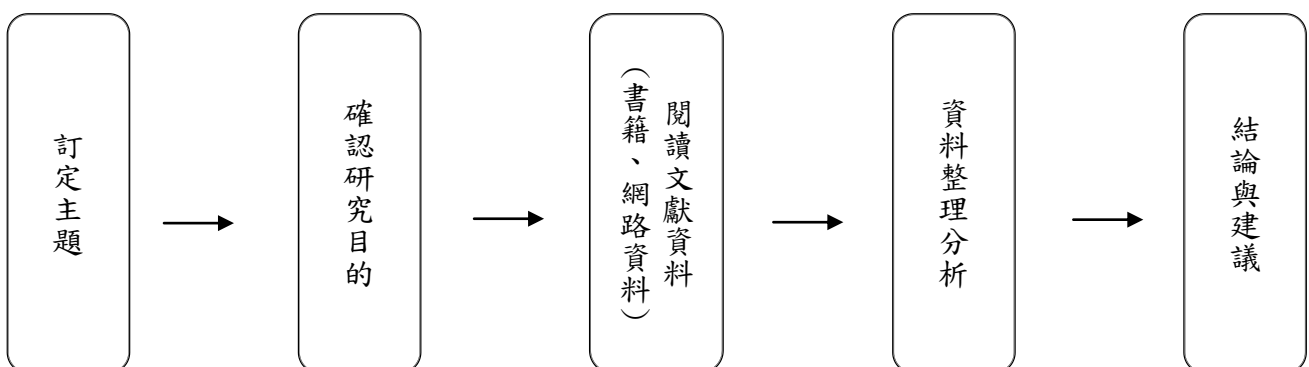
4 月 3 日地震發生當天，我們剛抵達學校，縣政府因為不斷收到強震警報基於安全考量宣布停班停課。當中央氣象署也發出海嘯警報時，讓我們聯想到老師提過日本曾經在 2011 年 3 月 11 日當地時間下午 2 點 46 分時，發生地震規模 9 的大地震，這是自 1900 年以來，全球發生的第四大規模地震。而隨之而來的強烈海嘯，在多處引起高達 10 公尺的巨浪，不僅硬生生將漁船沖上岸、摧毀大半的仙台機場，在沿海地區造成嚴重的破壞。海嘯波更造成交通中斷、多處失火等災害。

台灣和日本同樣位於地震頻繁的環太平洋地震帶，而四面環海的地理位置，也使得台灣不能免於海嘯的威脅，因此如何防患未然，建置海嘯預警系統是必須重視的議題。雖然我們不曾經歷過海嘯的災害，防患未然，想要對海嘯有更進一步的認識與了解，於是開始進行一系列的探究行動。

二、研究目的

- (一) 透過資料檢索與閱讀，了解海嘯的成因與傳播情形。
- (二) 透過資料檢索與閱讀，了解地形對海嘯的影響。
- (三) 透過資料檢索，了解台灣發生海嘯的歷史記錄。
- (四) 透過文獻探討，了解海嘯形成的災害。
- (五) 透過資料檢索與閱讀，了解海嘯預警系統建置的重要性。

三、研究流程

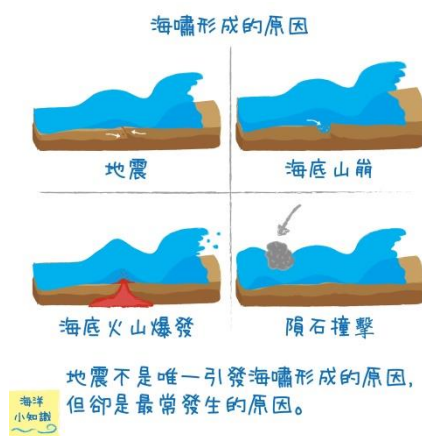


貳、文獻探討

一、海嘯的成因與傳播情形

海嘯是一種因為海底地形改變導致的具有強大破壞力的海浪。海嘯形成的原因有下列幾項：

- 1.地震引發的海底地質變動：當地震發生時，如果是由於海底板塊運動引起的地震，可能會導致海底地形的顯著變化，如：海底斷裂、滑坡或地震引起的海床隆起或沉降，這些都可能造成水體的體積變化，進而引發海嘯。
- 2.海底火山爆發：海底火山爆發釋放大量的熱能和能量，可能導致海床的快速變動，進而引發海嘯。
- 3.滑坡或坍塌：海岸線或海床上的大規模滑坡或坍塌，特別是在峽灣或陡峭的海床地形中，這種現象可能導致大量水體的急劇位移，形成海嘯。
- 4.冰山坍塌：在極地地區，冰山的坍塌或大冰蓋的斷裂，同樣可以釋放大量的能量，導致海洋水位的劇烈變化，形成海嘯。



圖一:海嘯生成的原因(資料來源:國立海洋科技博物館網站)

海嘯與風浪都是海浪，最大的不同在於其週期與波長。一般風浪的週期大約是在 5 至 20 秒之間，然而海嘯的週期大約在 15 至 30 分鐘之間。週期長的甚至可以到 1 小時。風浪一般在海岸邊就會因為破碎而導致能量逸散，而海嘯則像是洪水一般，1 個 5 公尺高的海嘯就像 5 公尺的洪水，或是 5 公尺高的水平面抬升。

一般在深而廣闊的海洋，海嘯傳播速度約每小時 500 至 1,000 公里，浪高不超過 30 至 60 公分，不致引起海面船隻之注意。當其接近沿岸時，受到海岸及海底地形之影響，波浪前進速率減小而造成後浪往前堆積現象，使浪變得高大並往內陸侵襲，造成沿岸地區重大的破壞及生命財產的損失。

水深(m)	海嘯傳播速度
5000	時速約800km，與噴射機飛行時速相當
500	時速約250km，與新幹線時速相當
100	時速約100km，與高速行駛汽車相當
10	時速約36km，與短跑選手時速相當

圖二:海嘯傳播速度(資料來源:中央氣象署地震測報中心)

二、地形對海嘯的影響

有地震就一定有海嘯嗎？事實上海嘯的衍生與否，仍須視當地的海底地形而定，因此並非所有的沿海地區都會面臨海嘯的威脅。

中央氣象局地震測報中心郭鎧紋主任說明，海嘯形成的條件之一，就是要有一個水深由深到淺的緩坡地形。當海水隨著地殼變動而大幅波動並向陸地擴散時，在水深三、四千公尺處海水的速度可比噴射機，而在水深一、兩百公尺處，速度則趨近於汽車。當後方的海水不斷推擠前浪，遇到陸地而無處可進時，海水就會堆高，形成海嘯。一般來說，海水位的增加若低於 50 公分不會造成災害。

台灣周邊的海底地形而言，台灣海峽的海水較淺，不易形成海嘯；而花東地區一帶，若發生芮氏規模大於 6.5 且屬淺層的地震時，確實有可能形成海嘯，但因高度變化大且坡度較陡，且有海岸山脈作為屏障，海浪來時無法堆高起來，即使來了也會被峭壁反彈回去，所以受到海嘯襲擊的可能性也不高。

東北部海岸，外海有基隆海谷、棉花峽谷及沖繩海槽，海底地形相對平坦，因此基隆和蘭陽平原是較為危險的區域。另一方面，西南部海岸則因為從馬尼拉海溝、澎湖峽谷到澎湖水道，也是由深到淺的地形，因此若於馬尼拉海溝附近發生了芮氏規模 9.0 以上的地震，則隨後引發的海嘯可能十分鐘就會到達台灣最南端，約二十分鐘會侵襲高雄和台南，屆時可能將造成極大的危害。(資料來源: <https://pansci.asia/archives/3431>)

三、台灣發生海嘯的歷史紀錄

依據歷史記載，確定為臺灣近海地區地震所引發之災害性海嘯僅有 1867 年臺灣北部基隆地區之海嘯災害，其餘之紀錄不是為概述性記載，缺乏明確之量化描述與科學佐證確為海嘯所造成外，就是波浪高度僅為十數公分，並未造成任何傷害。有關臺灣地區歷史海嘯紀錄，其相關資料整理成下列三類摘錄如下

(資料來源: 中央氣象署地震測報中心 <https://scweb.cwa.gov.tw/zh-tw/tsunami/taiwan>)

遠地地震引起的海嘯	近海地震引起的海嘯	存疑性海嘯
<ul style="list-style-type: none"> ●1781 年 4、5 月間，屏東佳冬附近：海水暴漲數十丈，但此次海嘯並無地震報導，故有可能是由遠地地震所引起。 ●1960 年 5 月 24 日智利地震：造成基隆 0.66 公尺、花蓮 0.3 公尺之波高。 ●1963 年 10 月 13 日千島列島地震：造成花蓮 0.1 公尺之波高。 ●1964 年 3 月 28 日阿拉斯加地震：造成花蓮 0.15 公尺之波高。 ●1993 年 8 月 8 日關島地震：引起花蓮 0.28 公尺、成功 0.25 公尺之波高。 ●1994 年 9 月 16 日福建東山地震：引起澎湖 0.19 公尺波高。 	<ul style="list-style-type: none"> ●1867 年 12 月 18 日，臺灣北部地震：基隆地區沿海山傾地裂，全市房屋倒壞，死者數百人，基隆港海水向外海流出，港內海底露出，瞬間巨浪捲進，船隻被沖上市內，釀成重大災害，處處發生地裂；淡水地區也有地裂、海嘯等現象，數百人被淹死，房屋部分倒壞。此紀錄為目前確定為因臺灣近海地區地震所引發之災害性海嘯。 ●1986 年 11 月 15 日臺灣東部地震：花蓮港水位上升 1 至 2 公尺。 ●1996 年 9 月 6 日臺灣東部地震：引起成功 0.15 公尺波高。 	<ul style="list-style-type: none"> ●1661 年 1 月，臺南安平地區：地震後房屋倒塌二十三棟，城破裂多處，之後海水曾被捲入空中，其狀如雲，疑為陸地近海之淺層地震。 ●1721 年 1 月，臺南地區：地震十餘日，並有海水上漲現象，可能與地震有關。 ●1792 年 6 月，臺南鹿耳門地區：地震造成海水湧起數丈，疑為陸地近海之淺層地震。 ●1866 年 12 月 16 日，高雄地區：發生地震後河水陡落三尺，忽又上升，疑為陸地近海之淺層地震。

<ul style="list-style-type: none"> ●1994年10月4日北海道地震：引起成功0.13公尺、蘇澳0.05公尺波高。 ●1996年2月17日印尼地震：引起成功0.55公尺、基隆0.1公尺波高。 ●1999年11月27日萬納度地震：引起馬崗（東北角）0.38公尺波高。 ●2006年11月15日千島群島地震：引起成功約0.40公尺波高。 ●2010年2月27日智利地震：造成恆春0.72公尺、宜蘭0.26公尺、成功0.23公尺、花蓮0.19公尺之波高。 	<ul style="list-style-type: none"> ●2003年12月10日成功地震：成功出現0.64公尺波高。 ●2006年12月26日恆春西南外海地震：恆春出現0.61公尺波高。 ●2009年12月19日花蓮外海地震：花蓮出現0.40公尺波高。 	
--	--	--

四、世界各國重大海嘯形成的災害

(一)日本三陸大海嘯

西元1896年（日本明治29年）6月15日，日本釜石東方約200公里的海底發生地震，引起一場大海嘯，巨浪襲擊日本青森縣尻矢崎至宮城縣牡鹿半島的沿海各地。岩手縣的宮古於當日19時33分感到地震，震度不強，可是所引發的海嘯，襲擊三陸沿岸，流失房屋10,370棟，死亡人數27,000人，其他的堤防、道路、漁船的毀損、流失無法計算。

大海嘯開始於當日19時50分（海水初向後撤的開始時間），初時海水先後退，20時左右開始回升，接著海水又向後撤，海面再次升高，捲起了巨浪橫掃陸地。襲擊宮城縣吉濱的浪高，曾達到了24公尺的紀錄，襲擊續黑灣的浪高，更達到了30公尺。（資料來源：國立台灣大學氣候天氣災害研究中心）

(二)葡萄牙里斯本的海嘯

西元 1755 年 11 月 1 日，葡萄牙地震。葡京里斯本經歷了歷史上空前的浩劫。里斯本位於 Tagus 河北岸，距河口約九公里，河港深廣，為葡國第一良港，也是伊伯里安半島的最好港灣。當天在聽到一陣如雷響聲後，山搖地動了 6 分鐘之後，一排一排房屋震倒，繼而火災煙霧大起，地面陡生裂縫，開而復合，葬身其中者數以千計。大震初起時海水退而旋進，高逾 50 公尺的巨浪沖進河岸。巨浪越過了大西洋，到達西印度群島時，還引起了 4 至 6 公尺之波浪。蘇格蘭的羅蒙河水，突高 2 公尺後又退落。西班牙沿海浪高 60 公尺，非洲北岸海水起落 58 次，近海各地浸水成災。喪生於這次地震、火災、海嘯的人數，達到了 8 萬人以上。里斯本到處瓦礫，一片廢墟，其景象之淒涼，令人鼻酸。(資料來源:國立台灣大學氣候天氣災害研究中心)

(三)印尼喀喇卡多亞的海嘯

在喀喇卡多亞火山大爆發的時候，海嘯跟著發生了，巨浪襲擊海峽北側，高達 22 公尺，碇泊在離岸 3,300 公尺距離的軍艦貝魯號，被海浪往上推離當時的水平面，達到了 9 公尺的高度。爪哇有些地方，巨浪高達 35 公尺。波浪自巽他海峽的南口向印度洋擴散，使錫蘭島的浪高達到了 2 至 2.4 公尺。及至澳洲的西岸，餘波還未全平，依舊有 1.5 至 1.8 公尺的高度。海嘯巨浪以每小時 350 英里的速度，朝向大西洋北進，抵達法國沿岸，在北大西洋的英吉利海峽，波浪還留下了幾厘米高的紀錄。於 32.5 小時內，波浪繞過了半個地球，沿途至少有 50 艘以上的船隻毀於巨浪之下。死於這次噴火和海嘯的人數，達到了 36,400 人之多，財物的損失不可數計。(資料來源:國立台灣大學氣候天氣災害研究中心)

(四)2004 年南亞海嘯

2004 年 12 月 26 日 00:58(格林威治時間)，印尼蘇門達臘西部外海發生了規模 9.0 的巨震，其所引發的海嘯重創了瀕臨印度洋水域國家之沿岸，包括：印尼、斯里蘭卡、印度、泰國、馬來西亞等國以及非洲東部在內，地震及海嘯總計造成十多萬人罹難。

(五)2011 年日本 311 大地震引發海嘯

2011 年 3 月 11 日發生於日本宮城縣外海規模 9.0 的大地震，引發超過 10 公尺高的海嘯重創日本東北部，這起世界地震史上規模第 4 大的地震，截至 4 月 14 日的統計共造成超過 1 萬 3 千人死亡以及超過 1 萬 4 千人失蹤，為 1923 年關東大地震以來日本傷亡最為慘重的地震災害。



圖三:311 強震引發海嘯(資料來源:國立台灣大學氣候天氣災害研究中心)

五、認識海嘯預警系統

海嘯預警系統 (英語：Tsunami warning system，簡稱 TWS)，又譯作海嘯警報系統、海嘯警告系統。是一種偵測海嘯的系統，經由發布警報以避免生命與財產的損失，其起源可追溯至 1920 年代。它是由兩個同等重要的要素所組成：一個是偵測海嘯的感測器網路，另一個是即時發布警報以批准沿海區域避難的通信基礎設施。又可分為兩種不同類型的海嘯預警系統：「國際性」與「區域性」。其正確的操作範例是，地震警報照慣例會發出一連串的監控與警報。隨後藉由觀察海平面的高度得到資料 (取自岸基驗潮儀或 DART 浮標)去證實海嘯的存在。至於其他系統，則認為可以強化警報範例。舉例如 T 波能量的持續時間與頻率含量 (透過海洋裡的聲傳通道捕捉地震能量的數據) 會被推斷是一場潛在地震引起的海嘯。

(一) 國際預警系統 (IWS) ~以印度洋(ICG/IOTWS)為例

2004 年印度洋大海嘯造成將近 23 萬人罹難後，2005 年 1 月神戶市舉辦了一場聯合國會議，並作了一項使國際預警計劃邁向一小步的決議，認為聯合國應創建一套印度洋海嘯預警系統。這項決議促使後來印尼有了這套預警系統。(資料來源: <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E6%B5%B7%E5%98%AF%E9%A0%90%E8%AD%A6%E7%B3%BB%E7%B5%B1>)

(二)區域預警系統~以日本、台灣為例

日本氣象廳 24 小時監視造成海嘯的地震活動，並於地震發生後最快 2 分鐘內發布海嘯預報及警報（包含海嘯預報、海嘯注意警報、海嘯警報、大海嘯警報）。即使是震源較遠但規模較大的地震或震度較小的地震也可能會發布海嘯警報。為了縮減發布警報所需要的時間，也進行了將地震計更換為性能更高的儀器或者裝設海底地震計的工作。

此外，發表海嘯警報的時候，電視台、廣播電台等會進行緊急警報廣播。同時，根據震源的位置、規模、斷層數據，可計算預測海嘯是否發生及高度等。氣象廳擁有一個資料庫，可以根據震源要素進行檢索，並決定發布何種警報消息。另外，氣象廳發布的海嘯警報、注意警報以預報區為單位表示各地的預測海嘯高度和到達時間。

在發布海嘯警報、注意警報時，將會發布包括抵達岸邊的時刻、預測的海浪高度、各地滿潮時刻、到達時所觀測到的波高等的「海嘯消息」。原本發布海嘯警報需要 3 分鐘左右的時間，由於 2007 年 10 月開始，日本氣象廳對日本近海的地震啟用緊急地震速報系統，因此發布警報需要的時間得以縮減，日本氣象廳最快可在 2 分鐘內發布海嘯警報（如 2007 年 3 月的能登半島地震等）。

警報名稱	發布基準
海嘯消息	預計海嘯來臨時發布，並通報實時的海嘯波高預報數值、觀測數值等有關事項。
海嘯預報	預測將會出現波高20厘米以下的海嘯。
海嘯注意警報	預測將會出現波高20厘米以上、1米以下的海嘯。
海嘯警報	預測將會出現波高1米以上、3米以下的海嘯。
大海嘯警報	預測將會出現波高3米以上的海嘯。

臺灣則由中華民國交通部中央氣象署地震測報中心發布海嘯警報。雖然臺灣亦處環太平洋火山帶，不過和日本不同，臺灣很少有海嘯侵襲。主要原因是海嘯多來自太平洋的海底地震，會從臺灣東部靠近，而在臺灣東部的海底，菲律賓海板塊和歐亞板塊交界處，海底地形非常陡峭，容易使波浪受到折射而遠離，不利海嘯成形。2011 年日本東北大地震（海底地震）臺灣僅觀測到 10 公分潮差，而 1960 年智利大地震所引發的海嘯對於臺灣也沒有造成重大災害。

1. 「海嘯警報」發布及解除時機

依據「交通部中央氣象署海嘯資訊發布作業要點」相關規定，中央氣象署(以下簡稱氣象署)將於下列情形發布「海嘯警報。」：

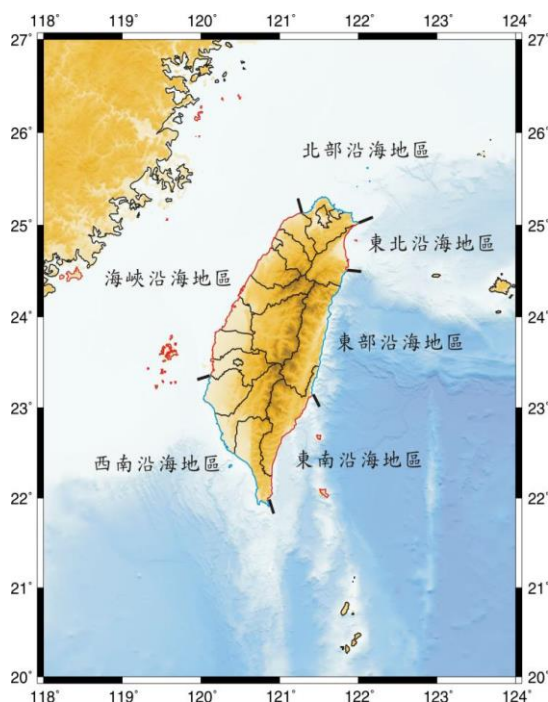
(1)遠地地震所引發之海嘯：主要根據太平洋海嘯警報中心（PTWC）發布之海嘯警報內容，如預估 3 小時內海嘯可能會到達臺灣，氣象署即發布「海嘯警報」，提醒民眾防範。

(2)近海地震所引發之海嘯：主要根據氣象署地震速報系統發布之地震報告內容，當報告內容為臺灣近海發生地震規模 7.0 以上，震源深度淺於 35 公里之淺層地震時，氣象署即發布「海嘯警報」，籲請沿岸居民準備因應海嘯侵襲。

如太平洋海嘯警報中心警報內容為解除海嘯警報，或依氣象署潮位站資料，研判海嘯之威脅解除時，氣象署即發布「解除海嘯警報」。

2. 「海嘯警報」警戒分區說明

根據海嘯威脅可能性與周圍海底地形等因素，並輔以行政區域考量，氣象署將臺灣沿岸劃分為北部沿海地區、東北沿海地區、東部沿海地區、東南沿海地區、西南沿海地區及海峽沿海地區等 6 個海嘯警戒分區。氣象署依據海嘯模擬的結果，於海嘯警報中提供各分區預估的海嘯波高與到達時間。



圖四:台灣海嘯警戒分區(資料來源:中央氣象署地震測報中心)

參、研究結果與建議

(一)海嘯形成的原因有下列幾項：

- 1.地震引發海底地質變動：因海底板塊運動引起地震，導致海底地形顯著變化，引發海嘯。
- 2.海底火山爆發：海底火山爆發釋放大量熱能和能量，導致海床的快速變動，進而引發海嘯。
- 3.滑坡或坍塌：海岸線或海床上的大規模滑坡或坍塌，形成海嘯。
- 4.冰山坍塌：冰山坍塌或大冰蓋的斷裂，釋放大量能量，導致海洋水位劇烈變化，形成海嘯。

(二)地形對海嘯的影響：

海嘯形成的條件之一，就是要有一個水深由深到淺的緩坡地形。當海水隨著地殼變動而大幅波動並向陸地擴散時，海水位的增加若低於 50 公分，不會造成災害。就台灣周邊的海底地形而言，台灣海峽的海水較淺，不易形成海嘯。

花東地區一帶，若發生芮氏規模大於 6.5 且屬淺層地震時，有可能形成海嘯，但因高度變化大且坡度較陡，又有海岸山脈作為屏障，受到海嘯襲擊的可能性也不高。

東北部海岸，外海有基隆海谷、棉花峽谷及沖繩海槽，海底地形相對平坦，因此基隆和蘭陽平原是較為危險的區域。

西南部海岸因為從馬尼拉海溝、澎湖峽谷到澎湖水道，也是由深到淺的地形，因此若於馬尼拉海溝附近發生了芮氏規模 9.0 以上的地震，則隨後引發的海嘯可能十分鐘就會到達台灣最南端，約二十分鐘會侵襲高雄和台南。

(三) 海嘯預警系統建置的重要性：

海嘯預警系統是一種偵測海嘯的系統，它是由兩個同等重要的要素所組成，一個是偵測海嘯的感測器網路，另一個是即時發布警報以批准沿海區域避難的通信基礎設施。經由發布警報提醒居民預作準備，避免並降低生命與財產的損失。

肆、參考資料

海嘯會侵襲臺灣嗎？ - 科技大觀園(<https://scitechvista.nat.gov.tw/Article/C000008/detail>)

臺灣海嘯之研究進展與災害防治之道 - TSUNAMI SCIENCE RESEARCH LABORATORY
(<http://tsunami.ihs.ncu.edu.tw/tsunami/tsunami201701.htm>)

臺灣自 1661 年起之 10 次臺灣歷史海嘯紀錄(<http://tsunami.ihs.ncu.edu.tw/tsunami/history.htm>)

臺灣歷史海嘯 - 中央氣象署地震測報中心(<https://scweb.cwa.gov.tw/zh-tw/tsunami/taiwan>)

海嘯的成長過程 - 中央氣象署數位科普網

<https://edu.cwa.gov.tw/PopularScience/index.php/earthquake/145-海嘯的成長過> 102

不能不面對的真相—臺灣的海嘯威脅 - PanSci 泛科學(<https://pansci.asia/archives/3431>)