

# 海嘯預警浮標系統之建置

謝佳穎<sup>1</sup> 楊穎堅<sup>1</sup> 張翠玉<sup>1</sup> 滕春慈<sup>2</sup> 麥如俊<sup>2</sup> 陳仁曾<sup>2</sup>  
國立臺灣大學海洋研究所<sup>1</sup> 中央氣象局海象測報中心<sup>2</sup>

## 摘要

臺灣因同時位於環太平洋地震帶與颱風行經之熱區，因此易發生複合型災害，且因現今的氣候變遷，導致該地區暴露於諸多風險中。來自海上的潮濕氣流或颱風所引起的暴雨、洪水、波浪及暴潮皆危及臺灣地區陸域及海域之安全，此外受地震引發之海嘯所造成的經濟生命財產之損失也是不可忽視的。而我國目前在防災方面，尚缺乏海嘯預警的部分。現今國際使用之海嘯預警的方式為，將海嘯觀測浮標放置於外洋，偵測海嘯的來臨，優化海嘯預報，用準確的預報來推估海嘯規模與衝擊範圍，提供人民應變所需的時間。因此在2018年的下半年，中央氣象局規劃在臺灣東南及西南海域各建置一組海嘯預警浮標系統，以達海嘯預警與防災避難之目的。本文將介紹海嘯觀測浮標系統、海嘯預警的運作機制、佈放位置周邊環境及海嘯可能到達時間。

關鍵字：海嘯預警浮標

## 一、前言

海嘯為長波的重力波，當海底的變動讓海水面產生垂直變化時，即可能造成海嘯的發生，例如海底地震、海底山崩、海底火山爆發或隕石撞擊等，而最常造成海嘯發生的因素為海底地震。當海底發生地震時，地殼的變動使該區域的海水產生垂直位移後，而有海嘯的生成。海嘯為淺水波，根據淺水波理論， $c=(gh)^{0.5}$ ( $c$ ：波速、 $g$ ：重力加速度、 $h$ ：水深)，當海嘯在深海區傳遞時，其速度約為每小時700至800公里，但振幅大小約數十公分至1、2公尺，海上航行的船隻不會有明顯的感覺；但是當海嘯傳播至岸邊時，地形的效應使海嘯波隨地形被抬起，再加上水深變淺時，波速會變慢，而後方的海嘯累積上來，造成整個海嘯波高被放大，因此會對沿岸地區造成很大的損害。例如：於2004年12月26日，印尼蘇門答臘島西側外海發生芮氏地震規模9.0級的大地震。該地震引發南亞大海嘯，巨浪沖向印度洋周邊國家，甚至波及遠在五千里外的非洲東岸，一日之內造成數十萬人傷亡。而在2011年3月11日下午，日本東北地區近海發生芮氏地震規模9.0級的大地震。該地震引發了日本紀錄以來最大的海嘯，也引發了一系列的災害及核洩漏事故。

臺灣同樣位於環太平洋地震帶與颱風行經之熱區，季風或颱風所引起的暴雨、洪水、波浪及暴潮皆危及臺灣地區陸域及海域之安全。除此之外，地震所引發之海嘯也可能造成經濟生命財產之損失。但在海嘯預警方面，目前使用氣象局所屬之潮位站監測海嘯波到達岸邊時間，作為海嘯警報告參考，但相關設施對海嘯防災應變時間太短或甚無預警時

間，亟需改善。有鑑於此，中央氣象局規劃在2018年底分別於臺灣東南及西南海域建置海嘯預警浮標系統，以達海嘯預警與防災之目的。

本文即為介紹氣象局將於2018年建置之海嘯預警浮標系統。文章結構如下所述：第二章為海嘯浮標結構，第三章介紹海嘯預警機制，第四章介紹海嘯浮標預計佈放位置周遭環境，第五章分析海嘯可能到達時間，最後為總結與未來發展。

## 二、海嘯預警浮標介紹

在2018年預計放的兩組浮標是採購自美國科學應用國際公司(Science Applications International Corporation, SAIC)，符合NOAA之深海海嘯觀測浮標(Deep-ocean Assessment and Reporting Tsunamis, DART®)之規範(Lawson et al., 2011)，稱為中頻率海嘯浮標系統(簡稱SAIC Tsunami Buoy-Mid Frequency, STB-MF)，如圖1所示。浮標主體分為三個部分，分別是海面浮標系統、海底壓力紀錄系統、固定海面浮標的錨繫錨碇系統。另外陸上還有海嘯浮標通訊與資料展示系統。

海面浮標系統有安裝於浮體中的系統主機，主機內有中央處理器、銜衛星數據機、與提供浮標系統運作之電池。而浮體下方連接中頻聲波數據機(Acoustic Modem, AM)及音鼓(Transducer)，可與海底壓力記錄器進行雙向通訊。

海底壓力紀錄系統包含海底壓力紀錄系統主體、音響釋放儀、固定之錨、浮球。海底壓力紀錄系統主體中有供系統運作之鋰電池、將觀測資料傳送至浮標端之聲波數據機及音鼓，以及最重要的高

精度壓力感應器(Digiquartz Bottom Pressure Recorder, BPR), 此感應器可紀錄海底水壓的變化, 並將資料儲存, 其水壓變化之解析度為1mm。儲存空間可記錄儲存至少2年之水壓與溫度資料。而系統本體之側有音響釋放儀, 當其接收自船舶上所傳送之聲波指令, 即可將底部的錨釋放, 透過10顆深海玻璃浮球提供之浮力, 使設備浮至水面。

海嘯浮標通與資料展示系統, 作為通訊與監測之用。浮標通訊系統部分是由SAIC開發, 可接收與顯示海嘯浮標即時與原始資料, 系統包括通訊服務伺服器(含收發機)與資料伺服器各2部(1套主系統、1套備援系統)。而資料展示系統在安裝SAIC資料展示監控軟後, 可進行浮標狀況監控與資料查詢顯示。資料展示系統可展示正常模式(每小時)、事件模式(每分鐘及每15秒)下之水深時序列圖, 並可展示浮標位置、電池電壓相關資訊等之監控畫面。

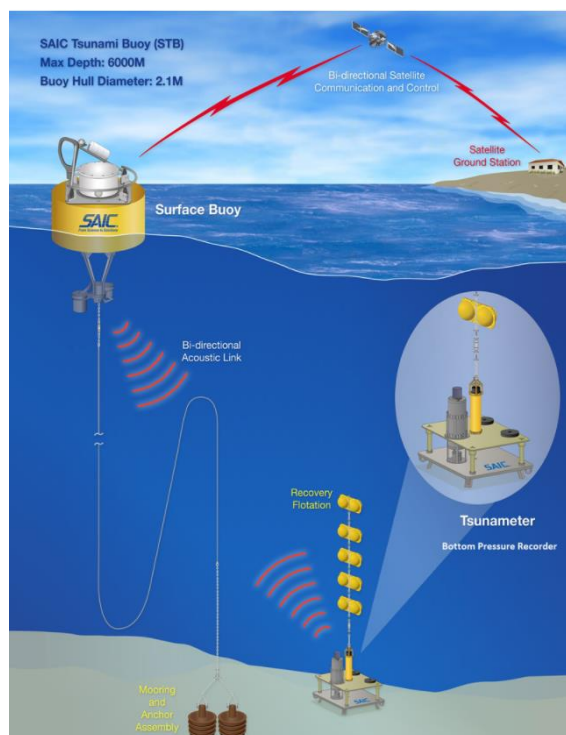


圖1：STB-MF浮標之示意圖。左上方為海面浮標系統, 右側放大圖為海底壓力紀錄系統。(取自<https://www.oceannews.com/featured-stories/september-feature-story-saic>)

### 三、海嘯預警機制簡介

海嘯預警系統是由科學家們, 整合全球的歷史觀測資料, 包含: 地震、潮汐、海嘯浮標等, 將其分析後, 開發出海嘯預報模式。而此預警系統的機制為, 當觀測到觸發海嘯產生的要件時, 如: 海底

地震。海嘯模式將輸出海嘯可能移動的方向與時間, 同時系統會喚醒海嘯可能會經過的浮標, 使其開始進行密集觀測, 並將資料回傳至預警中心。而回傳的資料可供預報修正, 以取得更精確的海嘯大小、到達時間與影響範圍(NOAA PMEL, 2007:

Bernard et al., 2010; Bernard and Meinig, 2011)。而模式輸出的結果, 透過科學家的解讀, 告知在特定區域人員海嘯可能來襲的訊息, 提前採取避難措施。

海嘯在深海區域移動速度相當快、且震幅很小, 需要使用位於海底的BPR觀測海水面的微小變化。平時, BPR呈休眠狀況, 每15分鐘採樣一次, 以節省電源。當海嘯可能發生時, BPR會因感受到震波而自動啟動、或是由海嘯預警中心啟動遠端遙控啟動, 進行每15秒一次的高頻率採樣並將資料回傳至海嘯預警中心。這樣的運作方式能減少海嘯預警浮標觀測系統的耗電, 始之維持更長的觀測時間。

目前的海嘯資料整合與預警發布主要是由美國大氣海洋總署(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)隸屬的國家浮標資料中心(National Data Buoy Center, NDBC)負責。圖2顯示海嘯浮標觀測網之海嘯浮標的分布位置。這些浮標分屬美國、澳洲、智利、哥倫比亞、厄瓜多、中國、印度、泰國、日本、俄羅斯等國家。日後我國氣象局採購的海嘯浮標, 也將成為此觀測網的一員。

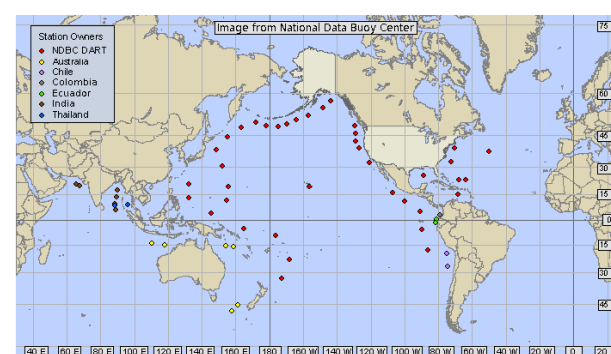


圖2：現今DART浮標佈放之位置。(取自<http://www.ndbc.noaa.gov/dart.shtml>)

### 四、海嘯浮標預定佈放位置環境介紹

這兩組浮標的佈放位置選在臺灣東南方海域—臺東縣東南方約340公里處, 水深約5,500公尺, 平均聲速約1510.4 m/s, 此點位命名為CWB1。以及臺灣西南方海域—鵝鑾鼻西南方約220公里處, 水深約2,900公尺, 平均聲速約1494.8 m/s, 此點位命名為CWB2。該二點位的位置如圖3所示, 均在我國之200海浬經濟海域內, 也是在海巡署暫定執法線與護漁範圍內, 且鄰近海域是一片平坦地, 初步判斷該海

域適合施放海嘯預警觀測浮標(國立臺灣大學海洋研究所, 2017a; 2017b)。

而為了解周邊海流資訊, 在此使用向科技部海洋學門資料庫申請船攜式音響都卜勒流剖儀海流資料進行分析。主要的分析範圍為CWB1 與CWB2站東西與南北方向各0.5 弧度範圍內的資料。每個點位是兩分鐘的觀測資料, 其分布圖如圖3所示。

在CWB1站周邊計有12070個點位資料, 圖4則是此所有資料的平均值, 由左至右分別是東西向流速、南北向流速、水平流速、與資料筆數之垂直剖面分布圖, 粗線與細線分別為平均值與±1個標準差。該圖顯示全年平均為微弱的東南流, 近表層的平均流速約為60 cm/s, 往下遞減, 資料亦顯示此海域的流速變化大, 上層海洋的標準差約為40 cm/s。而這變化量可能是受潮流、海洋中尺度渦流或是背景流場影響。接著將此資料分為四季, 流況與資料筆數資訊將呈現在表1當中。

而在CWB2 站周邊計有41779個點位資料, 圖5則是此所有資料的平均值。該圖顯示全年平均為微弱的西流, 近表層的平均流速約為70 cm/s, 往下遞減, 資料亦顯示此海域的流速變化大, 上層海洋的標準差約為30 cm/s。而這變化量可能是受潮流、非線性內波、海洋中尺度渦流或是背景流場影響。而該站四季的流況資料彙整於表2當中。

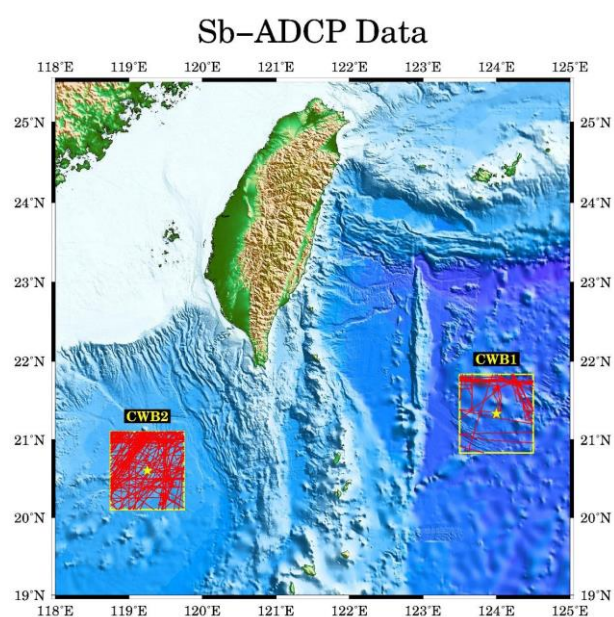


圖3：科技部海洋學門資料庫船攜式音響都卜勒流剖儀資料於CWB1與CWB2附近海域之點位分布圖。圖中黃色星號為CWB1與CWB2 測站位置, 黃色線框為CWB1與CWB2測站之東西方向、南北方向各0.5 弧度範圍。水深資料取自海洋學門資料庫500公尺解析之水深資料。

Sb-ADCP Data around CWB1

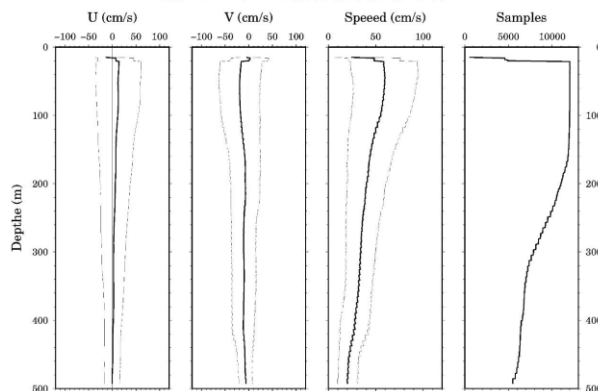


圖4：由左至右分別是科技部海洋學門資料庫船攜式音響都卜勒流剖儀資料於CWB1附近海域之東西向海流、南北向海流、水平流速之歷年平均(粗線)與±1個標準差(細線)及資料筆數垂直剖面分布圖, 每一筆資料的觀測時間為兩分鐘。

Sb-ADCP Data around CWB2

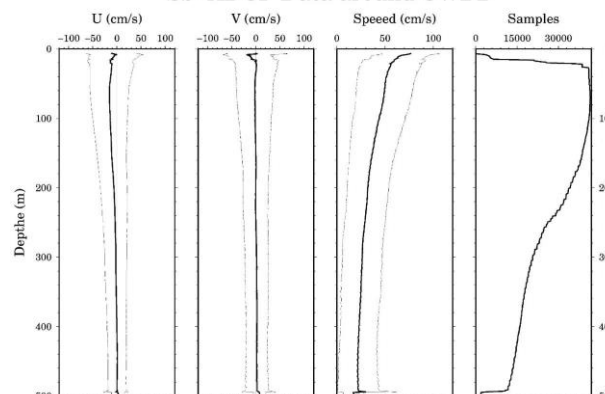


圖5：CWB2附近海域之海流, 圖中各線條代表意義同圖4。

表1：CWB1各季節海流資料彙整。

季節	資料筆數	平均流向	近表層的平均流速(cm/s)	上層海洋的標準差(cm/s)
春	3448	東南	70	40
夏	2142	西北	30	30
秋	6480	西	50	30
冬	無資料			

表2：CWB2各季節海流資料彙整。

季節	資料筆數	平均流向	近表層的平均流速(cm/s)	上層海洋的標準差(cm/s)
春	19189	西	70	30
夏	10884	無法判斷	30	30
秋	8071	西	50	30
冬	3637	西北西	70	40

## 五、海嘯可能到達時間評估

中央氣象局規劃的CWB1與CWB2站，分別在台灣東部以及西南外海，可以精確地量測來自太平洋以及南海/菲律賓隱沒帶的地震海嘯波。

以2009發生在太平洋中央的Samoa地震為例(震央位置請見圖6)，地震發生後共有17個 DART 站紀錄清楚記錄到海嘯波(圖7)，整理其傳播距離與波傳時間的關係(圖8)，該地震到CWB1約需8100秒，到臺灣近岸約需8500秒，其中約有400秒的時間差，可以用來修正海嘯波侵台的災害評估。

而分析2011日本Tohoku地震的海嘯波資料(震央位置請見圖5)，發震時間共有28個 DART 站紀錄清楚記錄到海嘯波(圖9)，從傳播距離與波傳時間關係圖中(圖10)，該地震到CWB1約需27422秒，到蘭嶼約需28650秒，其中約有1208秒的時間差，可以用來修正海嘯預報，並即時對可能致災地區發出警告。(國立臺灣大學海洋研究所, 2017a)。

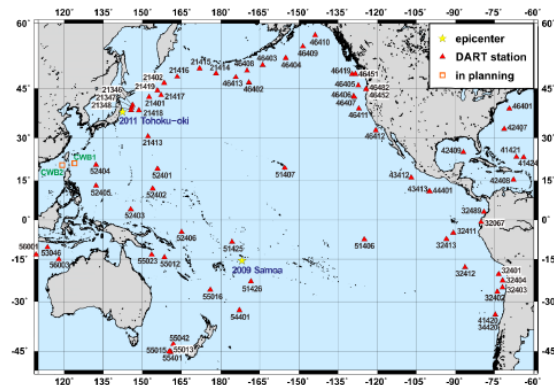


圖6：DART測站(紅色三角形)分布，與2009 Samoa地震與2011 Tohoku地震震央(黃色星號)位置。

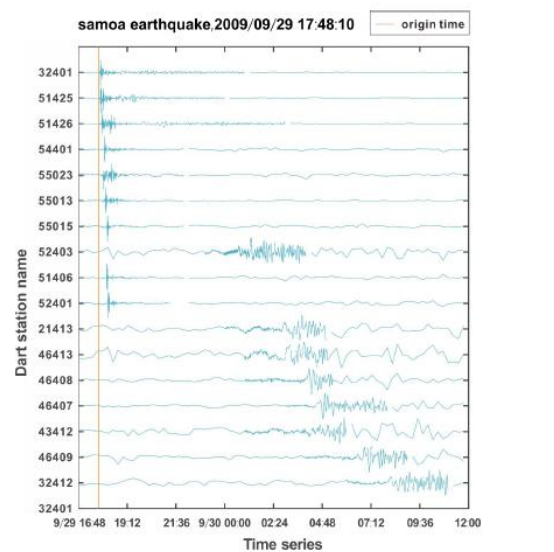


圖7：記錄到2009 Samoa地震海嘯波之DART測站的時間序列。

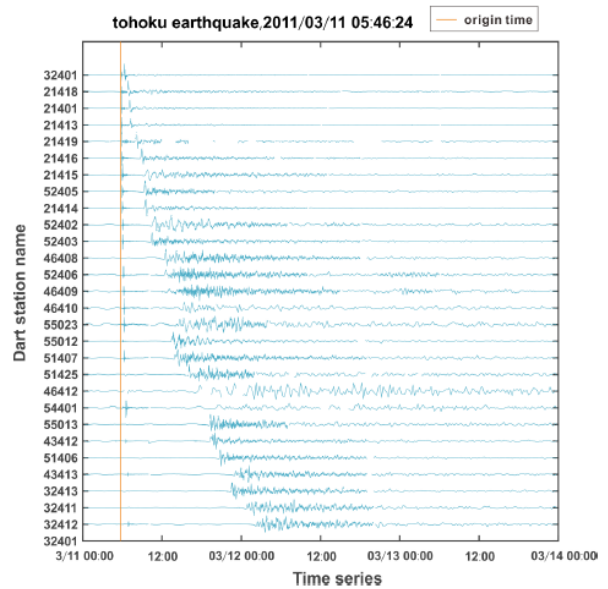


圖8：2009 Samoa地震之海嘯波的到時與震央距之關係圖，橫軸為震央距，縱軸為到達時間。

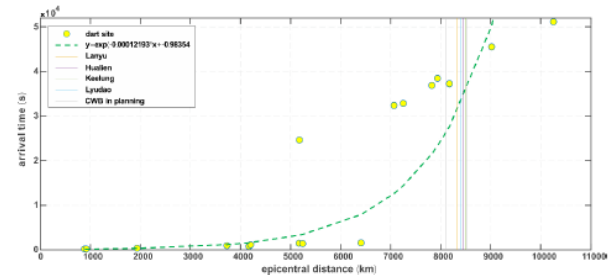


圖9：記錄到2011Tohoku地震海嘯波之DART測站的時間序列。

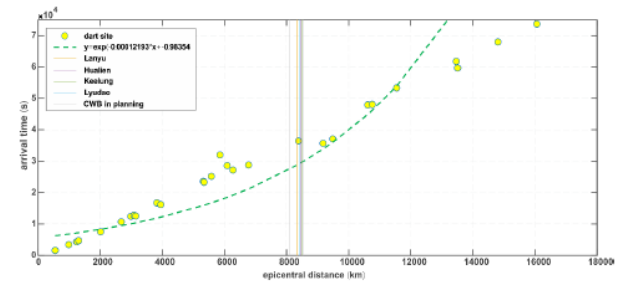


圖10：2011Tohoku地震之海嘯波的到時與震央距之關係圖，橫軸為震央距，縱軸為到達時間。

## 六、總結與未來發展

本文所提及之海嘯預警浮標系統將於2018年下半年完成建置，執行單位已於2018年7月中旬前往SAIC 公司完成查驗，預定於8月中旬用送至臺灣、9月底出海布放。此系統的建置將有助於更好的災害風險評估，對民眾的安全有更上一層保障，除此之外，還可盡到國際的社會責任。此外，倘若技術可

行，開發一些輕便、可掛載於此浮標上的海氣象探針，如：風向風速計、溫濕度計、氣壓計、表水溫度計等，同時收集海氣象資料，將海嘯預警浮標系統擴展為一個海嘯、氣象、海象的綜合觀測平台，發揮最大的效益。

## 參考文獻

- Bernard, E., and C. Meinig (2011): History and future of deep-ocean tsunami measurements. In Proceedings of Oceans' 11 MTS/IEEE, Kona, IEEE, Piscataway, NJ, 19–22 September 2011, No. 6106894, pp.7
- Bernard, E.N., C. Meinig, V.V. Titov, K. O'Neil, R. Lawson, K. Jarrott, R. Bailey, F. Nelson, S. Tinti, C. von Hillebrandt, and P. Koltermann (2010): Tsunami resilient communities. In Proceedings of the "OceanObs'09: Sustained Ocean Observations and Information for Society" Conference (Vol. 1), Venice, Italy, 21–25 September 2009, Hall, J., D.E. Harrison, and D. Stammer, Eds., ESA Publication WPP-306.
- NOAA PMEL (2007): Capability Assessment of the DART® -ETD Tsunami Buoy: Deep Ocean Assessment and Reporting of Tsunami - Easy to Deploy, NOAA PMEL Technical Note.
- Lawson, R.A., D. Graham, S. Stalin, C. Meinig, D. Tagawa, N. Lawrence-Slavas, R. Hibbins, and B. Ingham (2011): From Research to Commercial Operations: The Next Generation Easy-to-Deploy (ETD) Tsunami Assessment Buoy. In Proceedings of Oceans' 11 MTS/IEEE, Kona, IEEE, Piscataway, NJ, 19–22 September 2011, No. 6107114, pp. 8
- 國立臺灣大學海洋研究所, (2017a)。海嘯預警浮標布放作業規劃書。
- 國立臺灣大學海洋研究所, (2017b)。海嘯預警浮標布放海域海象環境與水深地形分析評估報告。