

關於南亞海嘯之二三事

鄭文通

前陣子南亞大地震所引起的大海嘯，奪走了斯里蘭卡及印尼等鄰近國家數以萬計的生命，一定還讓大家還記憶猶新，或許大家都跟我一樣很好奇什麼是海嘯，海嘯是如何形成的，或許可以從我所整理的一些資料得到概念性的了解。

何謂海嘯？

首先來認識海嘯 tsunami 這個字，看起來不像英文倒比較像日文，沒錯，根據美國韋氏大辭典第十一版解釋中提到：tsunami 是日本字，原意是「津波」，因為在日本的"津(tsu)"港曾經發生過海嘯，而日本人波浪(wave)的發音為 nami，因此在 1897 年時被正式承認為英文用語並收錄字典之中。從中國大百科提到的海嘯為：由水下地震、火山爆發或水下塌陷和滑坡所激起的巨浪，日本人稱海嘯為“津波”，意思是湧向灣內和海港的破壞性的大浪，破壞性的地震海嘯，只在地震構造運動出現垂直斷層，震源深度小於 20 50 公里，而里氏震級大於 6.5 的條件下才能發生，沒有海底變形的地震衝擊或海底的彈性震動，可引起較弱的海嘯，水下核爆炸也能產生人造海嘯。

過去有那些大海嘯發生？

海嘯的分布是在環太平洋地震帶的西北太平洋海域、日本太平

洋沿岸、太平洋的西部、南部和西南部、夏威夷群島、中南美和北美，受海嘯災害最重的地區是日本、智利、秘魯、夏威夷群島和阿留申群島沿岸。歷史上的幾次大海嘯介紹如下：

(一)日本三陸大海嘯

西元 1896 年(日本明治二十九年)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，當時流失房屋 10370 棟，死亡人數 27000 人。大海嘯開始於海水初向後撤的 19 時 50 分，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。當時襲擊的浪高，曾達到了 24 到 30 公尺。

(二)葡萄牙里斯本的海嘯

西元 1755 年 11 月 1 日，葡萄牙里斯本經歷了歷史上空前的一次浩劫。里斯本位於太加斯(Tagus)河北岸九公里，河港深廣。在大震開始時海水退而旋進，50 公尺之浪高沖進河岸，巨浪越過大西洋到達西印度群島時，引起 4~6 公尺之波浪，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。此次地震及海嘯的死亡人數高達八萬人以上。

(三)印尼喀喇卡多亞的海嘯

海嘯在喀喇卡多亞火山大爆發時跟著發生，高達 22 公尺的巨浪襲擊海峽北側，爪哇某些地區之巨浪高達 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 公尺以上，傳至澳洲的西岸仍有 1.5~1.8 公尺的浪高。海嘯以每小時 350 英哩的速度，朝著大西洋北進，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。此次火山爆發及海嘯的死亡人數高達 36400 人之多，財物的損失更不可計數。

海嘯是如何形成的？

通常是由於海底發生地震，或海底火山爆發，造成滑動斷層，海水因而產生大擾動，發生重力波向四方傳播。在此擾動源的強迫力作用下，海嘯的傳播可分為 3 個階段：(1)源地附近的傳播(2)大洋中的自由傳播(3)近岸帶中的傳播，海嘯在傳播過程中，如果不發生反射、繞射和摩擦等現象，則兩波線之間的能量與波源的距離無關。

說到重力波的傳播大家一定是冷汗直流，想必在大三念過大氣動力學一定有學過，筆者特別去翻了一下教科書，這種因海底地震或火山爆發引起的海嘯是屬於外重力波，其傳送速度之計算公式如下：

$$C = U \pm (gh)^{1/2}$$

其中 U：基本狀態平均速度 h：海的深度 g：重力加速度若取海洋平均深度為 4 公里，週期為 40 分鐘，則相應的海嘯的波速為每小時 713 公里，波長為 475 公里。想必大家對物理或數學不太感興趣，真的有興趣的讀者請翻箱倒櫃把多年前的課本拿出來瞧瞧吧！

既然海嘯的能量是如此的大，那又為什麼岸邊的人們無法察覺呢？

由格林定律得知，波高 α 隨相鄰兩波線間的距離 l 和水深 h 滿足 $\alpha \propto h^{-1/4} l^{-1/2}$ ，也就是說當海浪傳播至港口時，波線間距離及水深急速變小的情況下，波高急速增大，因此造成突如其來的異常浪高了，特別是在 V 型(三角型或漏斗型)的灣口處更是如此，當海嘯進入灣內後，波高驟然增大，這時灣頂的波高通常為海灣入口處的 3-4 倍。

另外，若從連續方程($\rho_1 A_1 v_1 = \rho_2 A_2 v_2$) 的角度來看，當震央之海水深度(5 公里)遠小於海嘯的波長(500 公里)，當海嘯於海水深度不變之水平傳播時，波速並不會有太大的變化，但當此波進入淺海地區時，因流體垂直方向被壓縮，海水深度變小(單位面積變小)，且海水密度 ρ_1 、 ρ_2 相同時，則流體移速會變大，直到因近海底部摩擦作用造成海面的波速較海底附近波速快，流體質量守恆造成海面上的浪高變大。

海嘯波在傳播過程中遇到海岸邊界、海島、半島、海角等障礙物時，還會產生繞射。此外，筆者曾在新聞中看到經歷當時情景的人說，海嘯像帶著旋轉的方式捲進岸邊，這個現象或許也可以從動力學中的位渦觀念得到映證。請大家忍耐複習一次位渦公式： $(\zeta + f) / dz = \text{constant}$ ，當地球渦度(f)不變下，在流體厚度變化之下，相對渦度也將跟著變化，這些現象就學理上而言都是很合理的。

海嘯之預警機制為何？

為預防海嘯災害，於 1968 年成立國際太平洋海嘯預警中心

(International Coordination Group for the Tsunami Warning System in the Pacific, ICG/ITSU)，透過國際海嘯預警系統彙集所有參與國家的地震監測網路的各種地震資訊進行電腦分析，建立模式來判斷可能形成海嘯的地區及其規模和破壞性，同時系統會立即向有關成員國傳達相關警報。

監測海嘯的主要方法：(1)在沿海設置自記驗潮儀，根據水位記錄曲線的異常昇降現象判斷出現海嘯的可能性。(2)設置岸邊水聲接收站，監測海嘯(因為地震海嘯產生的聲波的傳播速度為每小時5400 公里，比海嘯傳播的速度快得多，故可根據接收到海嘯聲音的時刻，推算地震海嘯到達的時間)。(3)通過國際性的合作組織，加強通訊網，建立聯合海嘯預警和警報系統。

但印度洋沿岸並沒有海嘯預警中心和缺乏相應的海嘯波監測裝置，如果印度洋有類似太平洋海域那樣的海嘯預警中心，利用海嘯預警網路技術，就可以挽救不少生命，特別是此次受海嘯打擊最為嚴重的斯里蘭卡和印度地區。人們若利用潮汐監測儀資料，類比和預測海嘯襲擊的路徑與大概時間的話，至少可以對岸邊民眾爭取時間逃往高處避難。

目前太平洋海嘯警報系統以地震站網和配備自動測潮儀的沿岸驗潮站網來監測海嘯，目前預警系統可以在地震發生 10 分鐘後就發出海嘯警報，它曾在 1983 年的日本海海嘯中獲得不錯的減災作用。當時，海嘯發生後第 7 分鐘，最靠近震中的驗潮站觀測到海嘯波的來臨；第 14 分鐘，電腦自動製作的電子警報就向日本全國發佈，並同時傳達到太平洋沿岸各國政府指定的海嘯防禦機構，從而

使這次海嘯損失減小到最低限度，僅造成 104 人死亡和百餘萬美元的經濟損失。

最後，對於地處環太平洋地震帶的台灣來說，海嘯的威脅我們也不可輕忽，希望以上的文章能讓大家對海嘯有一些些的了解。

參考資料：

http://www.prh.noaa.gov/itic/more_about/itsu/itsu.html

http://www.wordpedia.com/fcontent/cp_tsunami.asp

作者現任職民航局航管組