

滄海一嘯

# 從南亞海嘯談起

2004年發生的南亞海嘯總計奪走二十多萬條人命，

印證科學仍無法勝天。

但是，一些印尼鄉下人，

卻因為恪遵祖訓而逃過一劫。

究竟現代人在科技與文化間忽略了什麼？

運用現代科技，我們又能為子孫做些什麼呢？

■ 演講人／馬國鳳 文字整理／張志玲



2004年12月26日清晨6點58分50秒，位於北緯3.298度，東經95.779度，也就是印尼蘇門答臘西北方的海底斷層帶，突然造成規模9.0的地震。頃刻間，釋放了相當於1萬6千顆廣島級原子彈的強大能量，並隨海浪快速傳送。這股能量在印度洋沿岸掀起滔天巨浪，印尼、斯里蘭卡、印度、泰國首當其衝，距離較遠的馬來西亞、緬甸、馬爾地夫、非洲東岸也一樣災難頻傳，全球總計二十多萬人喪生，這就是舉世震驚的南亞海嘯。

尤其令人鼻酸的是，災難發生當時，有許多人正在歡度耶誕假期，災難發生後，歡樂氣氛嘎然中止，人們的心情盪到谷底，真是科學仍無法勝天！這場災難讓我們深深警惕，雖然大海嘯不常發生，但在未來仍會再度出現。我們該如何架構完善的預

**南亞海嘯讓我們深深警惕，雖然大海嘯不常發生，但在未來仍會再度出現。我們該如何架構完善的預警系統，把未來可能發生的災害降到最低，實在是痛定思痛後的當務之急。**

警系統，把未來可能發生的災害降到最低，實在是痛定思痛後的當務之急。

地震大到令人不敢相信

猶記得1999年的921地震嗎？那是全球公認的大地震之一，但與造成南亞海嘯的大地震比起來，又算幸運的了。



財團法人佛那雷如醫護基金會

南亞海嘯發生後的第9天，包括醫護人員在內的台灣救災團隊抵達斯里蘭卡展開救援工作。圖中受傷小男孩哇哇大哭的表情令人心疼，而他對醫生叔叔的求救、信賴與感恩眼神更令人動容。



財團法人佛那雷如醫護基金會

大海浪沖向斯里蘭卡內陸500公尺，一輛巴士被沖撞得狼狽不堪，想必當時在路上行走的人也未能倖免。





樹上每一條飄盪的彩帶都代表一個緊抓樹枝的生命，怎奈海浪無情，人去樹空，徒留無限唏噓。

若以地震威力看，921地震的規模是7.6，造成南亞海嘯的地震規模是9.0。由於地震規模相差1，釋放的能量相差約32倍，所以南亞地震威力大約相當於921地震的1千倍。若以斷層錯動量看，921地震時，車籠埔斷層地表破裂帶延續約100公里，我們已覺得不可思議，然而南亞地震斷裂從南到北大約1,000公里。再從事後資料看，南亞海嘯的能量傳送速度，

所掀起的海浪高達10公尺以上（相當於3層樓高）。

事後回想起來，南亞海嘯的發生還真的有點詭異。因為在發生地震的同一個月分的稍早幾天，有一位日本地震學家發表文章表示，地球上曾經發生過規模9.0以上的地震。看到文章的人大都半信半疑！原來他在1700年1月26日的日本文獻中，發現一個浪高15英尺的海嘯紀錄，文中記載房

**當海底發生斷層、山崩或火山爆發時，都可能引起地形突然變動，一旦海底地形突然變動，海浪就跟著而來，就易引起海嘯。**

屋破損、火災、死亡人數等資料，且在文獻所說的土地上仍留有一個海嘯標誌。奇怪的是，他在日本文獻中卻未能找到同一天與地震有關的紀

錄，因此很好奇地進一步研究，想了解這個海嘯是從哪裡來的。後來他推測，那次海嘯應該是從美國西岸傳過來的，可能是華盛頓州與加拿大交界處的一個隱沒帶發生地震所引起。他更推測，那次地震規模絕不小於9.0，因此才會引起這麼大的海嘯。文章刊出以後，很多人不相信，認為地球上不會發生這麼大的地震，誰知幾天以後規模9.0，造成南亞海嘯的大地震，就出現了。

錄，因此很好奇地進一步研究，想了解這個海嘯是從哪裡來的。

後來他推測，那次海嘯應該是從美國西岸傳過來的，可能是華盛頓州與加拿大交界處的一個隱沒帶發生地震所引起。他更推測，那次地震規模絕不小於9.0，因此才會引起這麼大的海嘯。文章刊出以後，很多人不相信，認為地球上不會發生這麼大的地震，誰知幾天以後規模9.0，造成南亞海嘯的大地震，就出現了。

## 海嘯形成的原因

發生南亞海嘯是因為：印澳板塊與歐亞板塊互相擠壓，把海底地殼隱

沒帶往下推，使得板塊間的交接處出現斷層破裂，這個裂縫由南往北走，形成規模9.0的地震。巨大能量使得海底產生變形，海浪因而向上推高，快速往四處傳送，因而形成海嘯。地震所引起的地震波還一直繞著地球轉，力量大到連地球的自轉也受干擾。不只如此，這股地震能量的上下衝擊力也很強，強到影響地球的膨脹



斯里蘭卡境內佛像林立，但在海浪沖向內陸肆虐的同時，緊臨海邊的佛像卻未受損，這情境一樣令人驚訝。



南亞海嘯能量大到影響地球的自轉。因為海水衝擊，一艘艘笨重漁船擠成一團的景象，只能算是小狀況了。

與收縮，致使地球表面像西洋梨般扭曲。

海底地震會引起海嘯造成災害，但是，海底地震與海嘯間的關係究竟如何呢？海底地層變動是引起海底地震的原因之一，一旦海底地形突然發生變動，就易引起海嘯。也就是說，當海底發生斷層、山崩或火山爆發時，都可能引起地形突然變動，一旦海底地形突然變動，海浪就跟著來。當海浪往外傳時，水愈深傳得愈快，水愈淺傳得愈慢；再加上波的反射、折射作用，使得波浪到達岸邊時，會變得很高而形成海嘯。

如此看來，在海嘯到來以前仍有一段逃命時間，逃命方法就是三十六計「跑」為上策。南亞海嘯發生時，就有一個印尼村莊的居民因為遵照祖訓：「看到海浪往後退的時候趕快往山上跑。」因此整個村莊沒人傷亡，這是古人留下來的生命智慧。另一個逃命實例發生在泰國，有些遊客在海嘯來襲前，因為往山上跑而保住性命。

只是人們如何知道有多少時間可以逃跑呢？科學上有這麼一個公式：重力加速度乘以海底深度，再開根號，就是波的傳遞速度。因此，預警人員可據以發布海浪到達的時間。

話說回來，推算時間是地震學家的工作，一般人能做的就是相信預警訊息，趕快逃命。倘若不相信，後果就不堪設想。例如，1946年美國阿拉斯加州發生大地震時，在岸邊引起35公尺高的大海嘯，當時的人見到海浪往後退蔚為奇觀，還叫更多人出來看，後來的悲慘情況可想而知。

### 南亞海嘯送來的訊息

南亞海嘯對人類造成很大傷害，但就研究立場而言，它也為地震學家帶來很多意外收穫。前面說過，南亞海嘯能量很大，大到影響地球的轉動，因此世界各國的偵測儀都接收到很完整的震動訊號，這使得地震學家有能力去解析當中的波向到底是由哪一個訊號所造成的。這些訊號可協助科學家了解地球的內部構造，也可以協助算出海嘯到達岸邊的時間。

另外，研究者又從地震偵測中獲知，引起南亞海嘯的海底斷層長度約1,200公里，寬度約40公里，次地震斷層傾角約17度，最大滑移量約20公尺。根據這些資料繼續推測，這次的海底斷層應是由南到北，整個板塊抬升約20公尺（相當



7層樓高)，而且是垂直抬升的。

當研究者把「最大滑移量約20公尺」分成兩個分量來看時，地層的垂直變形大約5公尺，水平變形大約10公尺。這當中似乎存在一個困惑，區區5公尺的變形，怎會引發這麼大的海浪呢？於是大家更深入研究，這次的斷層傾角是不是真的只有17度？是否還有其他原因……

說來真是幸運，台灣在這次地震中並未受到波及。其實，地震發生時，台灣也曾感受到能量，幸好這次能量往東傳的力道不大，加上很多島嶼和海溝的阻隔，使得台灣受到的影響不大。甚至可以說，在這個地震中，我們還獲得許多寶貴資訊。

地震發生時，中央研究院的寬頻網曾接收到非常清楚、伴隨地震而來的表面波訊號，這些訊號非常不容易取得，它可以幫助學者從事台灣西南海域的地殼構造研究。此外，學者在花蓮和那拔兩地的地下水位資料中也發現，在地震表面波通過時，這兩處的地下水位都出現改變。因而促使研究者開始思考，是否可利用地下水從事地震前兆或地震預測的研究。同時又想到，或許可利用這些資訊分析

「地震與地下水位間的關係」，或研究「地震在傳播路徑上對地下水位造成的影響」，甚或研究地震所帶來的其他資訊等。

## 台灣古海嘯耐人玩味

台灣位在歐亞板塊與菲律賓海板塊接合處，當板塊推移時，台灣境內和附近海域岩石受到擠壓而抬升或下陷，這就是斷層與地震發生的原因。同樣情形若發生在附近海域，台灣沿岸就可能出現海嘯，因此研究者對於台灣海嘯的歷史，以及多久會發生海嘯的問題相當關心。

只是台灣成立地震偵測站的時間不長，若想研究較早期的海嘯，只能從文獻中推估。例如，1604年泉州發生規模8.0的大地震，研究者在新竹站的文獻中就找到海浪變化的紀錄，雖然當時的浪高未達20~30公尺，但可以證實當時確曾收到一些訊號。又如，1867年基隆發生大海嘯，那次也有明確的文獻記載。

然而讓學者感到驚恐的是，在1741年的文獻記載中，日本石垣島曾發生浪高85公尺的海嘯。能產生這麼高的海浪，顯然地震規模很大，但

是截至目前為止，研究者並未在台灣文獻中找到相關的地震或海嘯記載。照理來說，石垣島出現85公尺高的海浪，台灣肯定會受到影響，但海浪到底多高呢？這是一條好線索，值得對台灣海嘯歷史有興趣的人繼續追查下去。

此外，中央大學師生在1995年曾為台灣海嘯歷史做過整理，結果發現整個台灣沿岸都發生過海嘯，就連高雄外海也不例外，雖然當時高雄的浪不高，但仍造成一些災害。

## 海嘯預警的當務之急

台灣位在活躍地震帶上，海嘯預警工作很重要。研究者推估，萬一基隆外海發生地震，應有約19分鐘的預警時間，如果西南沿海發生地震，則只有6到9分鐘。

當然，最精準的預警時間，仍需依地震發生的遠近決定。而且一旦海浪到達岸邊時，因為一個海浪周期約有15分鐘，所以一個浪頭下去以後再上來的時間，可用半個周期計算，也就是說，從海浪下去到上來大概有5分鐘可逃命。因此為了掌握時間，只要一發生地震，地震學家就忙著做地



台中市北屯區的車籠埔斷層帶災區，已被相關單位保留做為921地震公園。圖中沿紅磚而上的土地，以及汽車旁邊的高聳土堆，在地震前是平坦的校園，因地震時受地層斷裂影響而變成這個樣子。



圖中列車在海浪沖向斯里蘭卡時正好開到附近，當人們慶幸未被海浪吞噬時，緊接而來的第2波海浪卻在瞬間吞沒列車，總計約1,500人喪生。如果當時能夠推估衝上陸地的海水體積有多大，這上千人是否就有機會逃過劫數呢？

震定位，若能提早30秒預警，就有機會把災害降到更低。尤其海上發生地震時，有了地震定位，就可正確研判，並把警訊快速傳出去。

因為預警時間如此分秒必爭，所以需要先進儀器的協助。歐美國家現在採用一種叫做驗潮設備的儀器，在儀器下方有個感應器，萬一發生地震，感應器會把訊息透過儀器傳到人造衛星上，再由人造衛星送到地面，如此就可快速知道海浪的傳遞情形。目前國內因為這種儀器昂貴而無力添購，不過在海嘯警訊與研究方面，氣象局、海巡署已開始與地震站配合。

南亞海嘯發生後，我國地震學者警覺到台灣需要更完整的海嘯資訊。又因台灣地震頻仍，學者們因此認為，只要科技發展到什麼程度，我們就該做些什麼事情。至於哪些是該做的事呢？首先是對台灣歷史上的海嘯有所了解。台灣在1604年、1741年、1771年、1867年曾發生海嘯，到底引起這些海嘯的真正原因是什麼？是海底山崩、海底地震、或是海底火山所引起的？這些都該去評估而且是可評估的。

接下來是對海嘯的危害性做評估。首先假設

一個造成地震的原因，然後虛擬一個地震，假設地震規模7.0或8.0，發生地點在東南外海某處，如此便可估算出海浪會在幾分鐘內傳到沿岸。不過，做這項評估以前，必須先完成台灣附近的海底地形資料，有了地形資料就可評估浪高，有了浪高就可評估整個因應範圍。一旦計算出浪有多高、面積有多大以後，就能知道海水體積有多大，然後算出海水淹到陸地的範圍是多少，這些都是與監測預警有關的工作。

如果更嚴謹一點，把事情做得更完善，那麼至少每隔5年要舉行一次海嘯演習，讓人們知道海邊警示訊號所代表的意義，以及萬一海嘯來時該往哪個方向跑，這些教育工作可把災害降到最低。當然，科學家還可以應用科學技術，依照評估出來的海嘯淹沒範圍，標示逃生路線，如此可再度降低災害的危害程度。 □

演講人／馬國鳳

中央大學地球物理研究所

文字整理／張志玲

本刊特約文字編輯