

晴天氣候的帽子戲法——氣象海嘯

■ 林立青

微小且持續的大氣壓力變化可產生有破壞力的類海嘯波。

事件發生於克羅埃西亞的楚拉島（Korcula）的維拉盧卡（Vela Luka）港灣。在 1978 年 6 月 21 日的清晨，最先到達的異常波溢過岸上的防波堤，大水淹進靠近海岸的房屋，破壞房屋的圍牆，扯斷繫船的纜繩，船隻被推向岸上，甚至漂流到住宅街道區域。

數十分鐘後，大水迅速從港灣退去，留下遭受破壞的船隻。這種現象持續幾次，並在 3 個小時後，累積的水位變化達到 6 公尺左右，大水幾乎漫淹到房屋的二樓。雖然港灣中沒有實際的量測紀錄，但是從房屋牆面的淹水痕跡，可以初步估計當時的最高水位。

事件發生 6 小時後，大水逐漸退去，許多目擊和水位觀測的報告都指出，海水倒灌的災害遍布整個亞得里亞海的海岸地區。事件經過後，許多學者著手調查這事件的原因。雖然這個事件和海嘯波造成的災害非常類似，但是後來證實和地震或海底山崩等所造成的海嘯沒有任何關聯。



克羅埃西亞的維拉盧卡港灣的氣象海嘯事件，造成港內和周邊城市淹水。（圖片來源：<http://mirabilissimo100.wordpress.com/?s=Vela+Luka>）



西班牙休達德亞港區氣象海嘯事件的歷程：(1) 事件發生前、(2) 水位快速退去、(3) 氣象海嘯來到、(4) 大水對船隻的沖擊。
 (圖片來源：<http://ichep.blogspot.tw/2006/06/rissagaciudadella.html>)

最令學者們百思不解的是，當時天氣晴朗，造成嚴重淹水的原因到底是什麼？當時在亞得里亞海沿岸只記錄到非常微小的大氣壓力變動，最重要的發現是氣壓變動和水位上升到最大高度的時間幾乎相同。最近有學者針對這種現象提出非常廣泛的討論，探討大氣壓力微量的變化如何產生劇烈且快速傳播的類海嘯波，而這種現象也稱為氣象海嘯（meteotsunamis）。

揮動氣壓變化的魔術棒

1978 年的事件只有水位觀測和災後影像紀錄，並無事件發生過程的影像。2006 年 6 月 15 日，發生在西班牙梅諾卡（Menorca）島休達德亞（Ciudadella）港的事件，岸上的監視系統記錄到這種類似海嘯波的發生歷程。

這場事件持續將近一個小時，最高的水位達到 4 至 5 公尺。港區水道內的船隻被大水推擠成一團，造成一百多艘船隻的翻覆和 35 艘沉沒。事件發生前，氣壓計在很短的時間內（約 10 分鐘）觀測到 4 至 5 毫巴的變動，並伴隨強烈的風速，在 1 小時之後就發生港區淹水的災害。造成當時氣壓迅速變化的原因，是一種稱為颶線（squall line）的強陣風天氣現象正發生在梅諾卡島。

其他海域，如 1979 年 3 月在日本長崎港曾有 4 公尺左右的淹水高度，1980 年 9 月在中國山東半島的龍口港也有 3 公尺的紀錄。

在這些事件的報告中都提到一個相同的現象，這種近岸類海嘯波的發生都伴隨著天氣系統的變化，也就是大氣壓力微小且持續的擾動。經由事件發生歷程的影像、

除了海嘯外，過去也有許多不明的海水漫淹的災害，大氣壓力的觀測提供研究這種現象的重要線索。

水位和大氣壓力的觀測，可以提供學者重要的線索去尋找事件發生的原因。

經調查，台灣近岸共有 4 次較大的事件，一次發生在 2007 年 4 月 2 日的台南將軍漁港，水位最高達 1.4 公尺並造成兩艘船隻翻覆；另有三次事件在桃園竹圍漁港，分別發生在 2008 年 1 月 29 日、2009 年 3 月 5 日和 2010 年 2 月 16 日，最高水位約為 1 至 1.5 公尺。

上述事件，水位的變化最大可達 1.5 公尺，相當於當地潮差的 60% 以上，且可持續 1 ~ 3 天以上，在相鄰的海域也觀測到相對應的水位變化。2007 年的台南將軍漁港事件和颱風系統有關，竹圍漁港事件則和冷氣團南下有關。

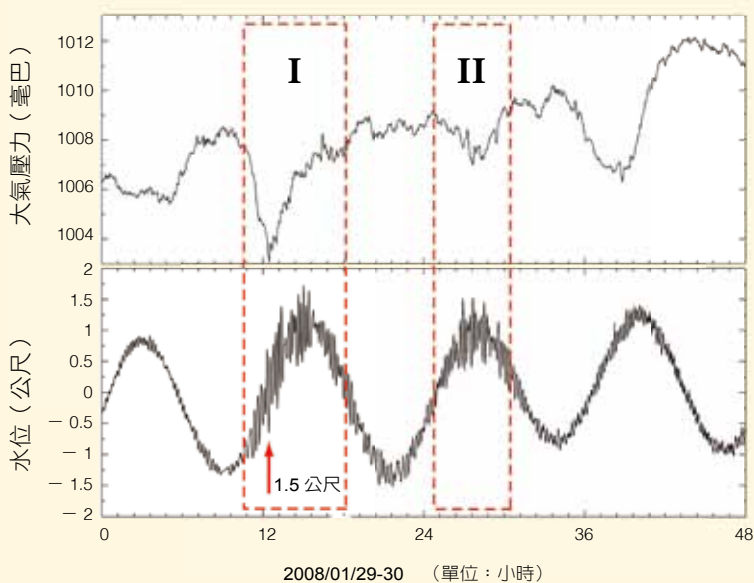
值得注意的是，假若氣象海嘯和地震引發的海嘯波同時發生，水位的累積則可能增加數倍之多。這種情況已發生在 2004 年印尼海嘯抵達美國東岸時，恰巧一個低壓風暴沿著東岸由南往北行進，海嘯波和風暴產

生的氣象海嘯最後在緬因州北部海岸結合，使得水位增幅達到 2 ~ 5 倍以上。

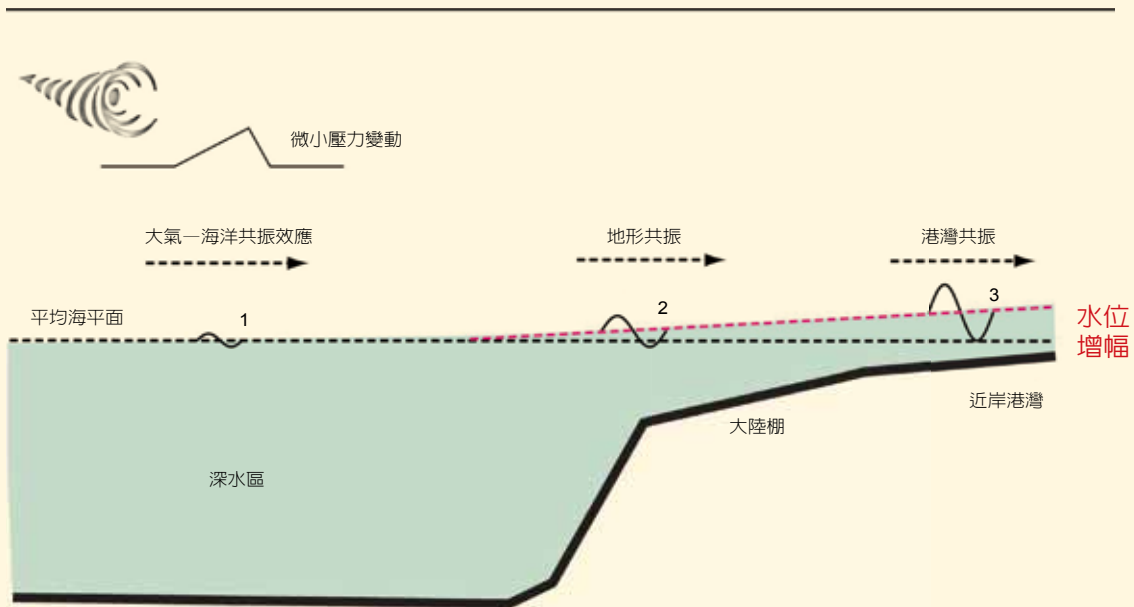
打開氣象海嘯的帽子

由過去的觀測報告得知，氣象海嘯源自天氣系統的變化，並和大氣壓力微量的變動有關。學理上，大氣壓力在海面所引發的水位變化，大約 1 個毫巴就可產生約 1 公分的水位升降。以西班牙梅諾卡島觀測到的 4 至 5 毫巴氣壓變動，僅產生 4 至 5 公分的初始波。當這初始波開始傳遞至近岸時，它的傳播行為就和海嘯波一樣，傳播速率因不同的水深和地形而異。當行進至特定的水深或地形時，若傳播速率和微量氣壓變化的移動速率約略相同時，就產生共振效應並使初始波產生數倍的增幅。

即使大氣壓力的變動很微小，仍可因共振而在外海產生具相當能量的氣象海嘯。除了上述的機制外，當氣象海嘯進入特定的海底地形或港灣時，地形或港灣的共振



在竹圍漁港所觀測到的氣象海嘯和相對應的大氣壓力變化，I 和 II 是異常事件的持續時間，事件 I 的最大水位差約為 1.5 公尺，微小氣壓的變動始於 2008/01/29 12:00。



氣象海嘯的形成機制：(1) 大氣—海洋共振效應產生初始波、(2) 地形共振造成水位增幅、(3) 港灣共振增強近岸水位的抬升。

效應也可造成氣象海嘯的增幅。舉例來說，這種情況就等同在裝水的浴缸中擾動。當擾動持續一段時間後，若擾動的頻率接近這個浴缸的共振頻率時，水位就會以一定的振盪周期在浴缸兩端起伏，水位的高度則可能超過浴缸而溢出。地震所形成的海嘯波也會受到地形或港灣共振的影響。

氣象海嘯和地震海嘯的主要差異在於初始波的形成機制，目前已知微小氣壓變化可以受到如大氣重力波、鋒面、颱風線等的影響。雖然氣象海嘯和氣壓的變化有關，但是和一般熟知的颱風暴潮（storm surge）不同。暴潮是由於颱風低氣壓使得初始水位上升高於平均海平面，加上強烈風速對

上升水位的推移，形成堆積效應並造成水位的增幅。當暴潮接近海岸時，產生的海水倒灌可達 1 公尺高，但是水體並不會在數小時內產生多次的往復運動。

氣象海嘯只需微小的氣壓變動加上適當的傳播速率，就可因大氣—海洋的共振而產生，水體在近岸以數十分鐘的周期產生往復運動。已知的水位和氣壓觀測資料顯示，氣象海嘯的作用時間比颱風暴潮長。

魔術師的預知能力

目前氣象海嘯的分析指出，在冬春兩季，台灣北部海岸發生海水倒灌和船隻翻覆

藉由大氣—海洋的共振效應，微小且持續的氣壓變動可在外海形成具相當能量的氣象海嘯，從這些現象可進一步估算近岸水位的異常抬升，甚至做為防災預警之用。



在氣候變遷的條件下，氣象海嘯事件可能逐漸增加。（圖片來源：種子發）

的可能性甚大。由於冷氣團快速南下，使得北部受到氣象海嘯的影響較大，而且也常發生在北部地區（最大水位值發生於竹圍）。在冬春兩季，氣象海嘯和微小氣壓的變化可達到很高的相關性。這結果提出一種可能的預測方法，當觀測到具有特定移動速率的氣壓變化時，就可預期氣象海嘯的到來。

雖然初始波形成機制是一個關鍵的因素，但是它行進至不同的海底地形或有限水域的港灣，水位增幅效應也因地而異。

由於要達到上述條件的複合效應相當稀少，因此類似事件報告只發生在特殊且少數的海區。未來在氣候變遷的情況下，這種事件可能會逐漸增加。

林立青

中央研究院地球科學研究所

深度閱讀資料

Monserrat, S., I. Vilibic , and A. B. Rabinovich (2006) Meteotsunamis: Atmospherically induced destructive ocean waves in the tsunami frequency band. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 6, 1035-1051.