

天氣型態對陸上地震儀地動能量的影響及可能應用

林靜怡¹

滕春慈²

陳仁曾²

國立中央大學地球科學系¹
中央氣象局海象測報中心²

摘 要

本研究對照2014和2015年所發生颱風的位置、地震時頻圖、氣象雷達資料和雨量分布統計，來了解陸上寬頻地震儀受到不同型態天氣現象影響時，不同地震動訊號的可能來源。結果顯示當測站尚未直接受到颱風暴風影響時地震動訊號都是在0.1至0.3 Hz左右呈現較大能量；可是當測站已在暴風圈內，時頻圖會在較高頻段，約0.1至0.5 Hz，呈現較高能量，其他尚未直接受到暴風半徑影響的地震測站，而其高能量區域則僅限於0.1至0.3 Hz，表示颱風暴風圈的影響在地震測站資料較高頻部分(約0.3至0.5 Hz)造成影響，其可能和暴風半徑中強大的風勢和雨量有關；在更強大的風勢和雨勢籠罩，高能頻段部分更是延伸至0.5至1 Hz。整年的地震儀紀錄更顯示出中心登陸颱風和一般中心未登陸台灣颱風所產生地震動訊號的差異。只有中心登陸颱風會在0.3至1 Hz間產生較大微地動能量，如2014年的MATMO麥德姆、FUNG-WONG鳳凰颱風和2015年SOUDELOR蘇迪勒和DUJUAN杜鵑颱風。另外，我們發現颱風生成後在較低頻約0.1~0.2 Hz可觀察到可能與湧浪相關頻譜能量，而當颱風朝台灣前進時才有此相關訊號出現；進入大陸棚後或是朝遠離及平行方向運動時，都不會觀察到類似訊號。除了颱風的影響，我們也發現在5月和6月時有可能因梅雨鋒面，造成在0.3~0.5Hz的較高能量，其與波高並無正相關關係。本研究希望藉由陸上寬頻地震站資料和實際上所觀測到海洋參數比對，來了解兩者之間的關聯性和研究其相互作用的物理機制。目的在於建立海洋觀測資料和一些地震動資料訊號能量間的量化關係，了解其即時應用的可能性。

關鍵字：微地動、波高、東北季風、颱風、寬頻地震儀、湧浪

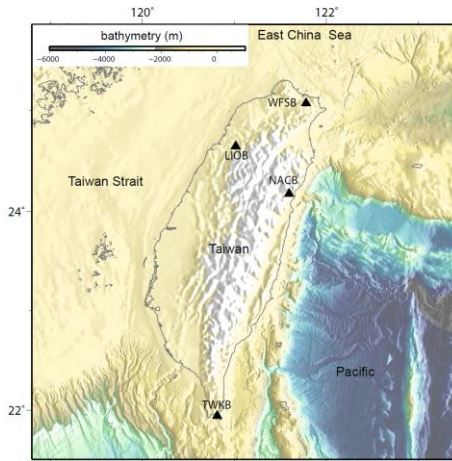
一、前言

極端的氣候或天氣事件的變化是一般人談到氣候變遷時最關心的問題，通常包含了白天和夜晚的溫度上升，暖期及熱浪事件的增加，極端降水事件增多等等。因此許多研究致力在增加各項氣候觀測資料，以討論氣候變遷確切原因和影響層面。而雖然如此，目前對於各種氣候條件和固態地球之間互動過程的了解並不多，雖然藉由各種物理理論能夠推導出波浪、氣壓變化或其他參數可能對於陸上地震記錄影響，但實際的資料分析工作顯示其互相作用過程可能比這些物理模型所估計的來的複雜。複雜的天氣型態分布、海底地形變化或海岸線型態差異等都可能是造成這種現象的影響因素。因此，研究陸上地球物理資料和實際上所觀測到各種氣候條件資料的關聯性可以讓我們對於這些不同物理作用的互動過程和訊號來源有更清楚的了解，而這樣的結果對於儀器修正、測站佈置設計、海洋工程和沿岸災害預防等都會有很大的貢獻。因此，本研究的主要目的即在應用地震學之地球物理探勘技術分析

不同天氣型態下陸上地震儀所資料可能具有的特性，並提供適當且完整的資訊作為政府防災之考量，進一步在可能的氣候變遷下，分析不同氣候型態影響對於台灣週遭海域的衝擊。本研究之優勢在於利用陸地上的觀測站，分析不同天氣型態發展時的地動能量特性，以提供連續性的觀測資訊。另外，研究成果將可建置輔助監測系統，提升既有地震觀測應用於大氣及海洋科學之研究。

二、研究方法及資料

而為了瞭解在不同地理區域及氣候的限制下陸上地震測站的能量分佈情況。本研究則利用分佈於台灣不同地理條件(例如水深、海岸性質等)位置下的四個陸上地震測站2014和2015年資料，並與颱風位置、氣象雲圖和雨量變化等不同氣候條件比較，以了解不同天氣型態所可能造成的時頻特性變化。四個地震測站分別為台灣東部花蓮寧安橋站、北部新北五分山站、西部新竹獅頭山站和南部屏東墾丁站(圖一)(表一)。



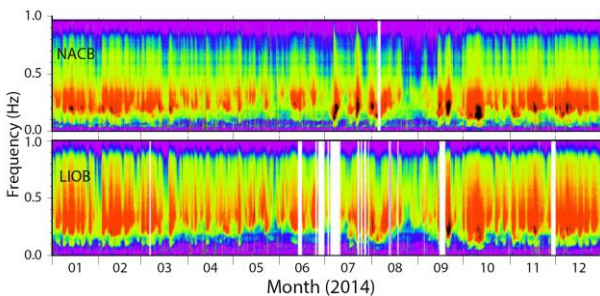
圖一、本研究使用之地震站位置。各測站中文名稱請參考表一。

表一、本研究使用地震站代號及座標。

| Seismic station | Position |
|-----------------|-----------------------|
| NACB (花蓮寧安橋站) | 121.5947°E, 24.1738°N |
| WFSB (新北五分山站) | 121.7806°E, 25.0716°N |
| LIOB (新竹獅頭山站) | 121.0156°E, 24.6456°N |
| TWKB (屏東墾丁站) | 120.8125°E, 21.9406°N |

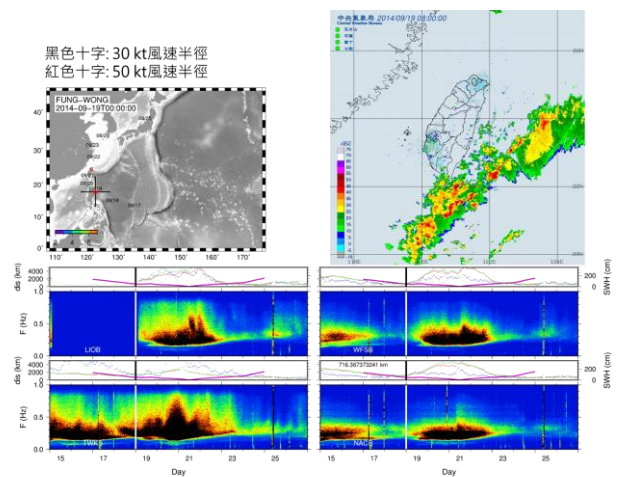
三、結果及討論

圖二為位於台灣東部和西部地震測站在2014年整年的地震動時頻圖。在前人研究中，和海象和天氣變化有關之地震動影響約都在較低頻段，因此我們只畫出0 ~1 Hz頻段時頻圖(Rhie and Romanowicz, 2004; Schimmel et al., 2011; Stutzmann et al., 2009; Traer et al., 2012)。雖然兩測站地理環境相差很多(一為接近較淺的台灣海峽，一為鄰接東部沿岸)，但我們可發現其時頻曲線並無太大差異。由一整年的時頻分布圖，我們也可看出季節性差異(Thompson and Vincent, 1985; Howell, 1990; Tillotson and Komar, 1997)。在冬季時，時頻能量分析從0.05 Hz就開始有明顯的能量分佈，並隨著一波波的東北季風，呈現一包一包能量分佈。而從春季開始(約3月中後)，除了颱風的影響時段外，在0.2Hz以上才有較明顯的能量增強。而我們也發現在颱風的影響下，高能量分佈又會延伸到較低頻，甚至比0.05 Hz還低頻的位置。

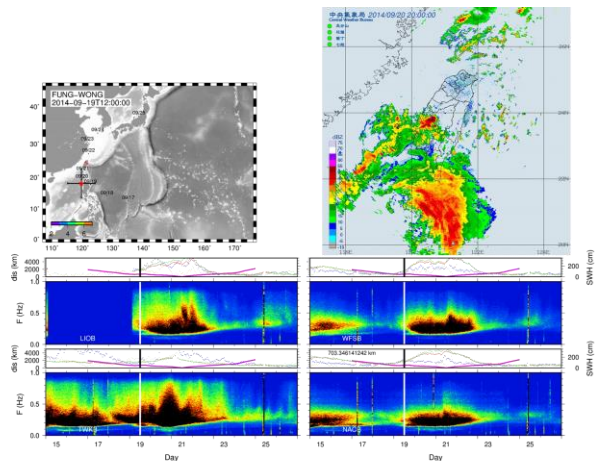


圖二、2014年陸上地震儀頻譜資料範例表示。

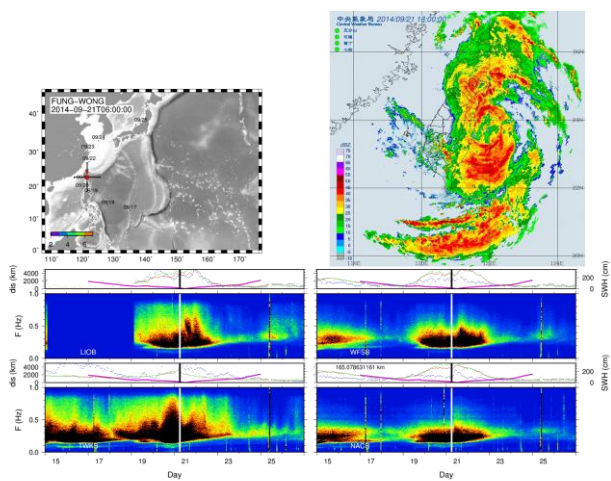
為了確認不同天氣型態影響地震儀訊號的區段，我們對照颱風位置、地震時頻圖、氣象雷達資料和雨量分布統計來了解不同訊號的來源。圖三至圖五為2014年鳳凰颱風(FUNG-WONG)侵台時三個時間的颱風位置圖、氣象局雷達影像圖以及四個地震測站的時頻分布圖。圖三顯示2014/09/19凌晨颱風暴風圈即將進入台灣時，當時所有測站都尚未直接受到颱風半徑影響，也都在0.1至0.3 Hz左右呈現較大能量。圖四顯示12個小時之後的颱風影像和氣象雷達圖，此時最南部TWKB測站已在暴風圈內，因而在時頻圖0.1至0.5 Hz呈現較高能量，其他測站尚未直接受到暴風半徑影響，而其高能量區域則僅限於0.1至0.3 Hz，表示颱風暴風圈的影響會在地震測站資料較高頻部分(約0.3至0.5 Hz)，其可能和暴風半徑中強大的風勢和雨量有關，而在之後的時間內，TWKB屏東墾丁站也因被強大的風勢和雨勢籠罩，高能頻段部分更是延伸至0.5至1 Hz (圖四)。接著颱風持續向北移動，圖五為2014/09/21清晨6:00颱風位置及影像。雖然該時全台已經在暴風半徑內，但氣象雷達圖顯示TWKB屏東墾丁受到影響似乎較小，也因此該地震站時頻圖上，我們可以觀測到該測站在較高頻0.5至1 Hz部分能量已減弱。而位在西部和北部的LIOB新竹獅頭山站以及WFSB新北五分山測站在0.5至1 Hz部分能量則忽然增加，似乎是颱風暴風圈往北移動至中央山脈以北後，暴風圈直接影響西部和北部測站所造成。而該現象在東部NACB花蓮寧安橋站也可被觀察到，但較不明顯，是否與沿岸環境有關係尚需進一步確認。



圖三、2014/9/19凌晨0點鳳凰颱風(Fung-Wong)侵台時的颱風位置圖(a)、颱風在該位置點約略時間的氣象局雷達影像圖(b)(資料來源:中央氣象局)以及四個地震測站的時頻分布圖(c)。(a)中的時間為GMT時間；(b)則為當地時間；(a)中紅色點表示颱風位置；黑色十字表示七級暴風半徑範圍。(c)中的白線對應到(a)中的時間點。

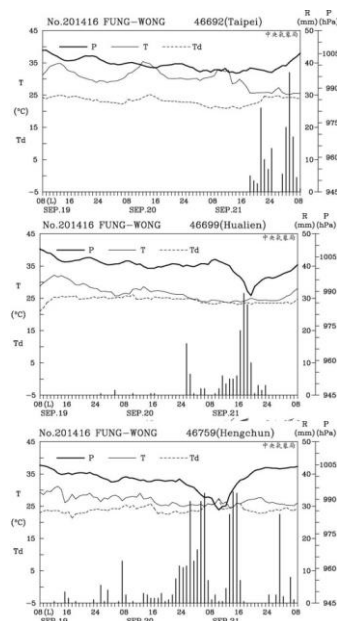


圖四、2014/9/19中午12點鳳凰颱風(Fung-Wong)侵台時的颱風位置圖(a)、颱風在該位置點約略時間的氣象局雷達影像圖(b)(資料來源:中央氣象局)以及四個地震測站的時頻分布圖(c)。(a)中的時間為GMT時間; (b)則為當地時間;(a)中紅色點表示颱風位置; 黑色十字表示七級暴風半徑範圍。(c)中的白線對應到(a)中的時間點。



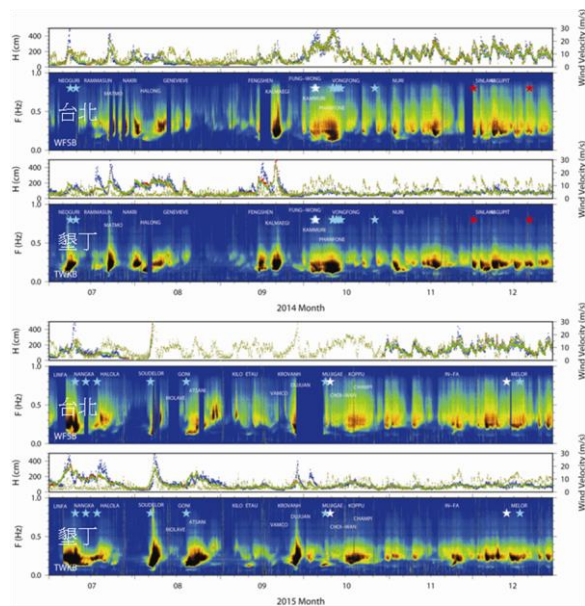
圖五、2014/9/21清晨6點鳳凰颱風(Fung-Wong)侵台時的颱風位置圖(a)、颱風在該位置點約略時間的氣象局雷達影像圖(b) (資料來源:中央氣象局)以及四個地震測站的時頻分布圖(c)。(a)中的時間為GMT時間; (b)則為當地時間;(a)中紅色點表示颱風位置; 黑色十字表示七級暴風半徑範圍。(c)中的白線對應到(a)中的時間點。

圖六為鳳凰颱風期間台北、花蓮和恆春三個測站的雨量分布，雨量較大時段都與0.5至1 Hz部分能量出現吻合，因而推論該頻段能量是與降雨量有關。



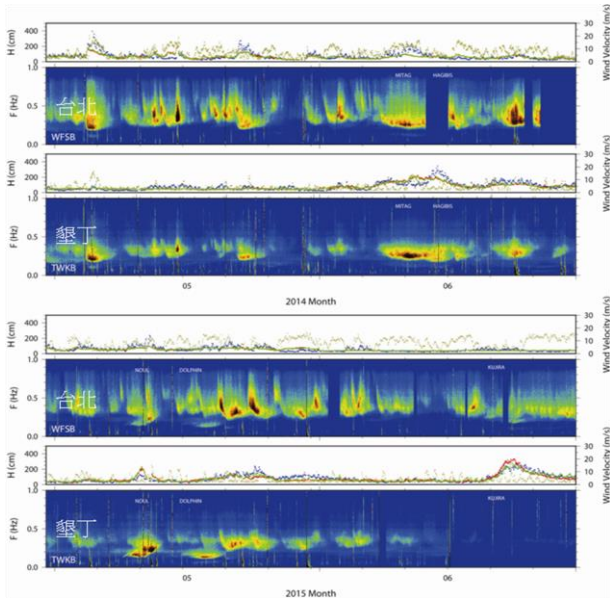
圖六、2014年鳳凰颱風(Fung-Wong)侵台時台北、花蓮和恆春三個測站的雨量分布圖(資料來源:中央氣象局)。

若我們把之前描述的結果用來分析整年的地震儀紀錄，我們則可以容易的判斷出有中心登陸颱風和一般未登陸台灣地震的訊號。只有中心登陸颱風會在0.3至1 Hz間產生較大微地動能量，如2014年的MATMO麥德姆、FUNG-WONG鳳凰颱風和2015年SOUDELOR蘇迪勒和DUJUAN杜鵑颱風(圖七)。



圖七、2014和2015年七月至十二月間WFSB新竹五分山站和TWKB屏東墾丁測站實際波高、模擬波高和地震儀頻譜資料展示。藍色點為實際波高;紅色和綠色點為分別用0.1~0.4 Hz和0.1~1 Hz地動能量模擬的波高; 軍綠色點為風速。星號為瘋狗浪發生時間點。

而在5月和6月時則有可能因梅雨鋒面，造成在0.3~0.5Hz的較高能量，其與波高並無正相關關係(圖八)。另外，我們發現颱風生成後，在較低頻約0.1~0.2 Hz可觀察到可能與湧浪相關頻譜能量，而當颱風朝台灣前進時才有此相關訊號出現;進入大陸棚後或是朝遠離及平行方向運動時，都不會觀察到類似訊號。



圖八、2014和2015年5月至6月間WFSB和TWKB測站實際波高、模擬波高和地震儀頻譜資料展示。藍色點為實際波高;紅色和綠色點為分別用0.1~0.4 Hz和0.1~1 Hz地動能量模擬的波高;軍綠色點為風速。星號為瘋狗浪發生時間點。

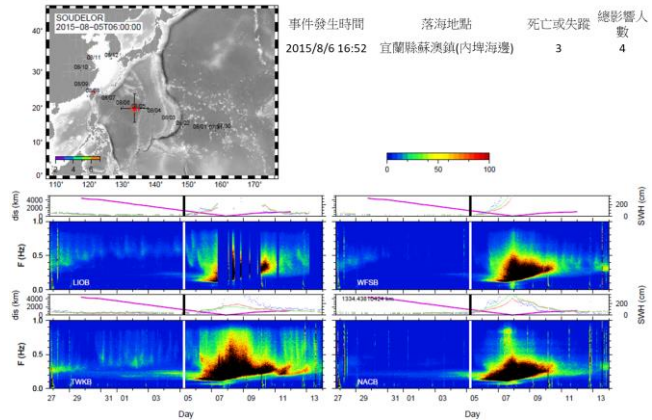
瘋狗浪通常是指比有效波高高出1倍的巨浪，被認為是湧浪的其中一種，然而它的成因目前還沒有確實定論。湧浪在大海不易察覺，往往到了岸邊時，常在地形效應下，突然出現3到4公尺浪高，在風不大時，更容易讓人失去戒心(資料來源:維基百科)。在前章節所提到0.1~0.2 Hz間的高能量訊號既然可能與湧浪有關，在本研究，我們也把2014和2015年瘋狗浪記錄(資料來源:中央氣象局)和此類訊號出現時間做比較，來了解兩者間是否有任何相關性。

圖九顯示出在2015年蘇迪勒(SOUDELOR)颱風侵台時，0.1~0.2 Hz間的高能量訊號約在GMT時間8月5日清晨6點開始出現，該時颱風所在位置，即湧浪有可能產生位置，距NACB花蓮寧安橋測站約有

1350公里。依照深水波傳遞波速公式 $c = \sqrt{\frac{gL}{2\pi}}$ ，其

中c為波速;L為波長;g為重力加速度。又 $L = gT^2/2\pi$ ，其中T為週期。海洋科學家普遍認為，湧浪週期應為10秒以上，因此可推測湧浪速度約在1300公里/天。

需約超過一天的時間傳遞至台灣東部，即8月6日晚上左右，而此時間與瘋狗浪有記錄時間相差不遠，在粗略估計湧浪傳遞速度的情況下，這樣的對應關係似乎還是可以成立。



圖九、2015/8/5清晨6點蘇迪勒颱風(SOUDELOR)侵台時的颱風位置(左上圖)、四個地震測站的時頻分布圖(下圖)以及附近時間的瘋狗浪記錄(右上)。颱風位置圖中的時間為GMT時間;瘋狗浪記錄則為當地時間。時頻圖中白線為颱風位置圖的時間。

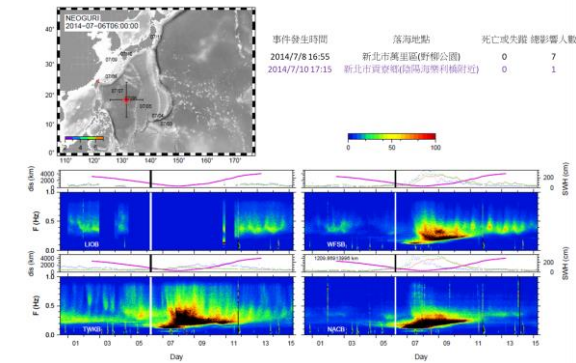
另一個例子為2014年7月的浣熊(NEOGURI)颱風，同樣的0.1~0.2 Hz訊號約在清晨6點出現(圖十)，而該時颱風所在位置距NACB花蓮寧安橋測站約1200公里。瘋狗浪有記錄時間似乎有半天多的延遲，這一方面有可能是湧浪或颱風位置的不精準所造成，一方面亦有可能是由於0.1~0.2 Hz訊號持續存在，湧浪在這段時間或許持續生成，而造成的災害記錄時間也相對較晚。2014年10月發生的黃蜂(VONG-FONG)颱風就有類似的現象產生(圖十一)，雖然0.1~0.2 Hz訊號在約10月6日清晨6點開始產生，但整個持續時間是一直到10月13日左右，而瘋狗浪的記錄也是確實由10月11日一直持續到10月14日左右。在以上三個例子，瘋狗浪記錄都是在北部港口，而我們發現若颱風路徑經過台灣南部，瘋狗浪記錄則多在南部港口，例如2015年4月的梅莎(MAYSACK)颱風(圖十二)。在梅莎侵台時，0.1~0.2 Hz訊號約在4月2日清晨0點產生，而該時颱風所在位置距NACB測站約1850公里，需2天左右時間傳遞。我們發現瘋狗浪的記錄即發生在4月3日至4月4日間，並由台灣南邊的港口往北邊傳遞。而不論是何種情況，我們也發現瘋狗浪發生大部份時間，台灣都不在颱風暴風圈內，都至少還有一千多公里距離，也許就會因此讓民眾喪失警覺。另外，在冬季東北季風影響台灣時的瘋狗浪記錄並看不到0.1~0.2 Hz高能量訊號，但通常多是在東北季風鋒面到達前。

四、結論

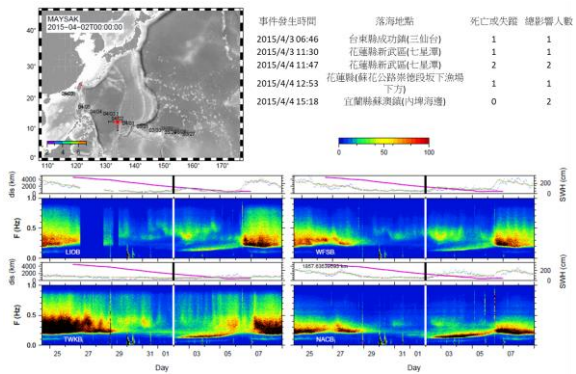
臺灣位於亞熱帶地區，容易受到海洋與大氣互動所產生氣候現象的影響，例如颱風就是個影響臺灣極端降雨的重要天氣系統。因此，對於海洋環境和其與大氣互動所產生的氣候現象觀察是很重要的。尤其是大型的極端事件，通常都包含了大規模大氣、海洋和固態地球間的交互作用。而這樣的作用下所造成的氣壓變化、海浪和風場通常都會和固態地球相互作用而產生影響。目前雖然能藉由各種物理理論推導出各種氣候條件和固態地球之間互動過程，如波浪、氣壓或其他參數可能對於陸上地震或是地磁記錄影響，但實際分析顯示，其相互作用過程比這些物理模型所估計的複雜。本研究對照2014和2015年所發生颱風的位置、地震時頻圖、氣象雷達資料和雨量分布統計，來了解陸上寬頻地震儀受到不同型態天氣現象影響時，不同地震動訊號的可能來源。結果顯示當測站尚未直接受到颱風暴風影響時地震動訊號都是在0.1至0.3 Hz左右呈現較大能量；可是當測站已在暴風圈內，時頻圖會在較高頻段，約0.1至0.5 Hz，呈現較高能量，其他尚未直接受到暴風半徑影響的地震測站，而其高能量區域則僅限於0.1至0.3 Hz，表示颱風暴風圈的影響在地震測站資料較高頻部分(約0.3至0.5 Hz)造成影響，其可能和暴風半徑中強大的風勢和雨量有關；在更強大的風勢和雨勢籠罩，高能頻段部分更是延伸至0.5至1 Hz。整年的地震儀紀錄更顯示出中心登陸颱風和一般中心未登陸台灣颱風所產生地震動訊號的差異。只有中心登陸颱風會在0.3至1 Hz間產生較大微地動能量，如2014年的MATMO麥德姆、FUNG-WONG鳳凰颱風和2015年SOUDELOR蘇迪勒和DUJUAN杜鵑颱風。另外，我們發現颱風生成後在較低頻約0.1~0.2 Hz可觀察到可能與湧浪相關頻譜能量，而當颱風朝台灣前進時才有此相關訊號出現；進入大陸棚後或是朝遠離及平行方向運動時，都不會觀察到類似訊號。除了颱風的影響，我們也發現在5月和6月時有可能因梅雨鋒面，造成在0.3~0.5Hz的較高能量，其與波高並無正相關關係。本研究希望藉由陸上寬頻地震站資料和實際上所觀測到海洋參數比對，來了解兩者之間的關聯性和研究其相互作用的物理機制。目的在於建立海洋觀測資料和一些地震動資料訊號能量間的量化關係，了解其即時應用的可能性。

參考文獻

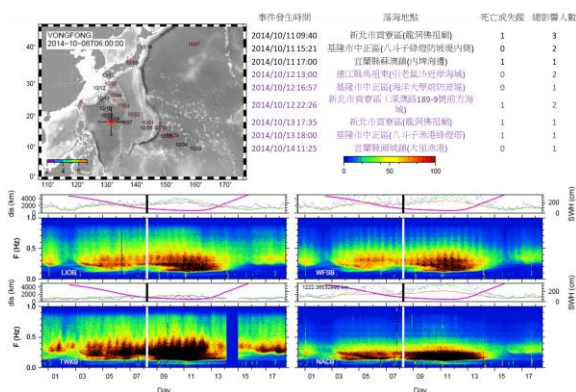
Howell, R. K., 1990, An algorithm for the extraction of ocean wave spectra from narrow beam HF radar backscatter, Memorial University of Newfoundland.



圖十、2014/7/6清晨6點浣熊颱風(NEOGURI)侵台時的颱風位置(左上圖)、四個地震測站的時頻分布圖(下圖)以及附近時間的瘋狗浪記錄(右上)。颱風位置圖中的時間為GMT時間；瘋狗浪記錄則為當地時間。時頻圖中白線為颱風位置圖的時間。



圖十一、2014/10/6清晨6點黃蜂颱風(VONGFONG)侵台時的颱風位置(左上圖)、四個地震測站的時頻分布圖(下圖)以及附近時間的瘋狗浪記錄(右上)。颱風位置圖中的時間為GMT時間；瘋狗浪記錄則為當地時間。時頻圖中白線為颱風位置圖的時間。



圖十二、2015/4/2的0點瑪莎颱風(MAYSAK)侵台時的颱風位置(左上圖)、四個地震測站的時頻分布圖(下圖)以及附近時間的瘋狗浪記錄(右上)。颱風位置圖中的時間為GMT時間；瘋狗浪記錄則為當地時間。時頻圖中白線為颱風位置圖的時間。

- Reul N, Tenerelli J, Chapron B, Vandemark D, Quilfen Y, Kerr Y (2012) SMOS satellite L- band radiometer: A new capability for ocean surface remote sensing in hurricanes. *Journal of Geophysical Research: Oceans* 117(C2), doi:10.1029/2011JC007474.
- Rhie, J., and B. Romanowicz, 2004, Excitation of Earth's continuous free oscillations by atmosphere-ocean-seafloor coupling, *Nature*, 431(7008), 552-556.
- Schimmel, M., E. Stutzmann, F. Arduin, and J. Gallart, 2011, Polarized Earth's ambient microseismic noise, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 12(7), doi: 10.1029/2011GC003661.
- Stutzmann, E., M. Schimmel, G. Patau, and A. Maggi, 2009, Global climate imprint on seismic noise, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 10(11), doi: 10.1029/2009GC002619.
- Tillotson, K., and P. D. Komar, 1997, The wave climate of the Pacific Northwest (Oregon and Washington): A comparison of data sources, *Journal of coastal research*, 440-452.
- Thompson, E. F., and C. Vincent, 1985, Significant wave height for shallow water design, *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 111(5), 828-842.

