

研討會名稱：中央氣象局 109 年天氣分析與預報研討會

參與之議題：海象測報與應用 **Observation, Prediction, and Applications on
Marine Meteorology**

瞬變海象的監測及預警

林志宗 張煥盟 錢樺

國立中央大學水文與海洋科學研究所

本研究採用佈放微型波浪浮標陣列來達成廣大空間上的即時監測，於 2019 年 9 月在台灣海峽北側佈放 13 套自行研製的波浪及海面平均坡度(Mean Square Slope)微型資料浮標陣列，針對兩個案例進行討論：第一為颱風風速驟變下的實際海況演變，以及第二在東海海面遠域颱風（編號 13 號玲玲颱風）產生之湧浪抵達。分析包括波高、週期、波譜、海面粗糙度、表面風速等的空間分佈與其時間演變，探討進行瞬變海況預警的可行性。

關鍵字:瞬變海象、海象監測、微型波浪浮標陣列

Monitoring and Early Warning of Transient Sea State

Chih-Tsung Lin Huan-Meng Chang Hwa Chien

Graduate Institute of Hydrology and Oceanography Sciences, National Central University

ABSTRACT

In this study, a miniature buoy array is deployed to achieve real-time monitoring over a wide range of space. In September 2019, 13 buoy arrays were deployed on the north side of the Taiwan Strait to study two case studies: first, the evolution of sea conditions under sudden changes in typhoon period. Second, the swell generated by Typhoon No. 19 Ling Ling from the East China Sea. The spatial and temporal distribution of wave height, period, wave spectrum, surface roughness, surface wind speed, etc. are analyzed to explore the feasibility of transient sea state prediction.

Key Words: Transient Sea State, Sea State Monitoring, Miniature buoy array

一、前言

快速的海象變化是海域活動意外發生的主要風險之一，其中包括諸如颱風等極端天氣系統通過以及平日常態性的海象變化，後者因為波浪及風速不大，常使民眾失去戒心，對於突發瞬變的海況應變不及，造成人員傷亡與海事意外，例如今年漢光 36 號演習的膠舟翻覆三人死亡以及觀塘 LNG 接收站工程工作平台斷纜，擱淺於藻礁造成生態破壞。

非極端天氣系統引致的瞬變海象變化，可能肇因於海洋大氣不穩定性、海陸氣交互作用或是波流交互作用，由於發生機制複雜，事件空間尺度小、時間變化快速，對其之預警具有高度的挑戰性，傳統天氣與海象數值預報技術多半無法滿足需求，目前比較有效的預警方法為進行廣大面積的高時間解析連續即時監測，偵測空間域中的快速變化的特徵，據此推算系統移動速度與方位，估計抵達時間，以進行預警。這樣的預警手段常見於氣象雷達對於降雨的應用，有賴於即時監測的能力與技術。

本文利用的儀器為中央大學自行研製的微型資料浮標（如圖 1），浮標內包含 GPS 接收系統及 9 軸加速度計，可利用 GPS Tracking 方式估算海流的變化以及記錄海面的波浪變化造成的加速度計的姿態，並以 10Hz 採樣頻率進行採樣，該浮標已利用成功大學水工試驗所大型斷面水槽進行比對試驗，比較結果波高與週期的相關性分別為 0.97 及 0.98 及均方根誤差分別為 0.04m 及 0.12s。

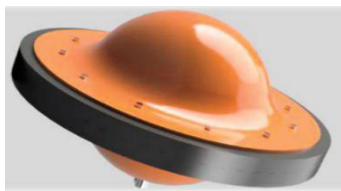


圖 1 微型資料浮標

二、觀測資料來源

為了有效蒐集實驗海域海況在空間上變化的特徵，本研究於 109 年 9 月 3 日於桃園永安海域進行陣列式的佈放，利用微型資料浮標在空間上的優勢形成陣列網，觀測平均波浪週期以及示性

波高的即時變化。讓浮標隨波逐流，浮標漂流軌跡如圖 3 所示，所有觀測資料利用衛星即時回傳資料庫，實驗期間編號第 13 號颱風玲玲於 109 年 9 月 2 日 20 時形成，並沿臺灣東部海面往北移動，於 9 月 5 日至 9 月 7 日接近觀測海域，因此利用微型波浪浮標所觀測到的資料，做為本研究資料來源，針對其距離觀測海域的遠近所造成的海表面粗糙度(sea surface physical roughness)、波高(Hs)及週期(Tm)進行分析與討論。

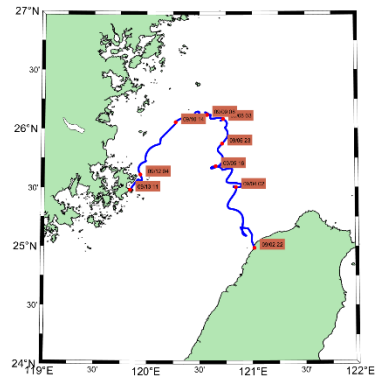


圖 2 浮標漂流軌跡示意圖

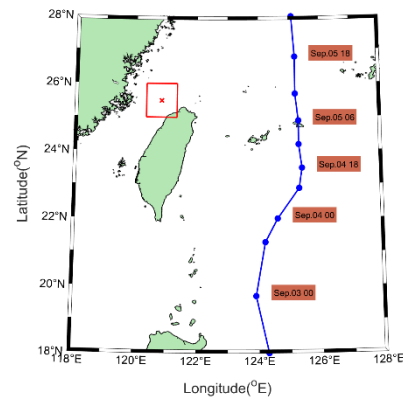


圖 3 觀測海域與颱風路徑圖

三、觀測資料分析

由衛星資料顯示，9 月 5 日 06 時海面風向由東北風逐漸轉變為 9 月 6 日 06 時的西南風(圖 4)，此期間颱風由臺灣三貂角的西南方約 400 公里處，向北北西前進，逐漸靠近與遠離浮標佈放海域，

圖 5 為觀測海域的中心點與颱風遠近之時間序列圖，在 9 月 5 號 12 時(紅圈標示處)為颱風最靠近觀測海域的時間點，由此時刻區分為颱風接近與遠離觀測海域。

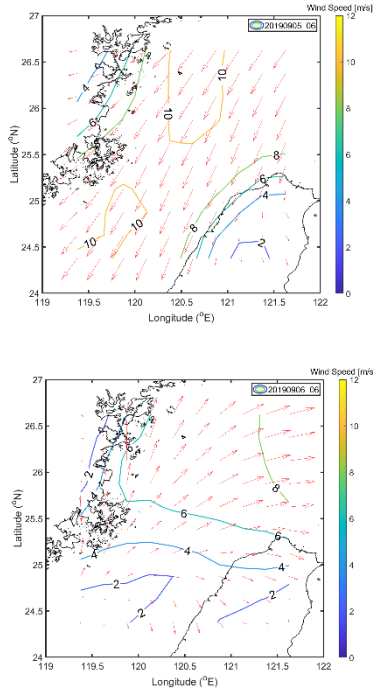


圖 4 衛星風速分布圖

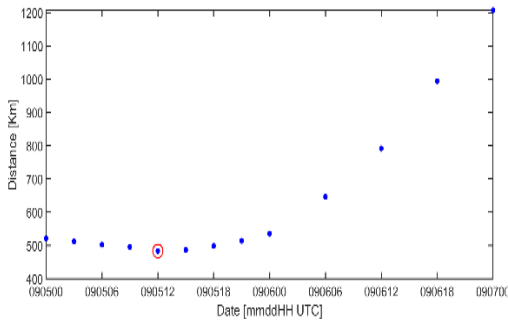


圖 5 觀測海域與颱風距離

3.1 海表面粗糙度

海表面粗糙度(sea surface physical roughness)是海洋表面幾何起伏程度，受到海洋表面波浪狀態與大氣邊界層動力(Aerodynamic)影響，是大氣-海洋交互作用中決定動量、熱量與水汽等交換之主要因子，本研究利用海面平均坡度(mean square slope, MSS)作為海面粗糙度的指標。

再者，利用微型資料浮標蒐集之傾角變化做為海面起伏的參數，求得海面平均坡度，再以 Cox and Munk(1954) 提出之光滑表面(slick surface)理論，進行資料品管處理後，來推算當時的海表面風速值。

$$MSS_{\text{Slick Surface}} = 0.008 + 1.56 \times 10^{-3} \times U10$$

首先利用微型資料浮標所量測到海面平均坡度來推算當時海面的粗糙度，再由示性波高時序列分析，當颱風逐漸靠近及遠離觀測海域時的波浪變化情形，由圖九觀察發現，當颱風逐漸靠近觀測海域並距離觀測海域接近時，觀測海域的風速於 9 月 5 日 06 時，達到 12 m/s，此時示性波高也有明顯的成長，由 1.5 公尺逐漸增強至 2.5 公尺。

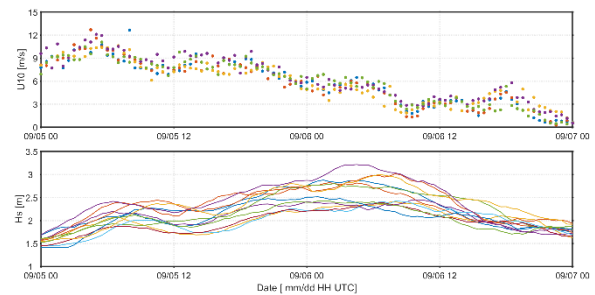


圖 6 風速與示性波高時序列圖

3.2 風速變化下一維波譜變化

由一維波譜變化中發現，在颱風逐漸接近觀測海域(9 月 5 日 0 時)波譜能量尖峰頻率約在 0.1 Hz 與 0.2 Hz 有雙峰能譜出現，表示在觀測海域範圍外的颱風湧浪已經傳入此區域，而在 9 月 5 日 6 時，是風速最大的時刻，波譜能量尖峰明顯增大，雙峰譜的型式逐漸變為單峰能譜，說明觀測海域可能在颱風的風域內，再者，於 9 月 5 日 12 時，雖為颱風最接近觀測海域，浮標波譜能量在 0.15 Hz 處減少，並在 0.1 Hz 處開始增長，判斷是因為颱風開始遠離，受颱風的影響程度降低。

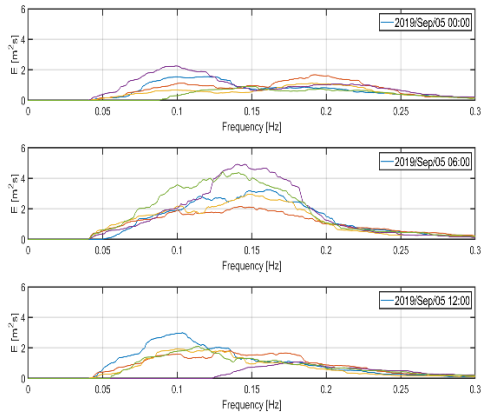


圖 7 玲玲颱風期間浮標能譜變化

3.3 遠域颱風之湧浪

由示性波高時序圖(圖 6)觀察當颱風在 9 月 6 日逐漸遠離觀測海域, 但其波高沒有減弱, 並在 9 月 6 日 3 時達到最大, 另外, 由波浪週期時序列圖(圖 8)觀察發現在颱風靠近及遠離時, 波浪的週期持續的增長, 且相同在 9 月 6 日 3 時達到峰值, 隨後在 9 月 6 日 12 時之後開始有下降的趨勢, 由此顯示雖然颱風遠在幾百公里之外, 但颱風的湧浪仍影響觀測海域。

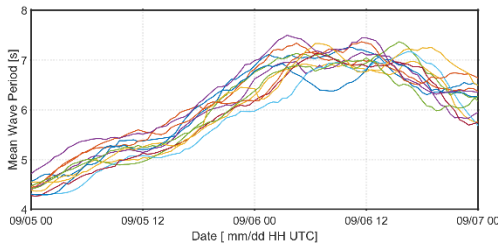


圖 8 平均波浪週期時序列圖

本文利用微型資料浮標陣列的空間優勢, 可直接觀察到相對應時刻在空間的示性波高、平均波浪週期與尖峰波浪週期。下方各圖分別為示性波高、平均波浪週期與尖峰波浪週期在不同時間下的現象, 並由圖觀察相距最遠的微型資料浮標可達 60 至 70 km。

圖 9~圖 12 為示性波高之空間示意圖, 圖 9~圖 10 是颱風最靠近觀測海域的時刻, 值得注意的是在觀測範圍內(右上)波高有明顯較強的現象, 是前一節所提到由風所引起的第一次波高增長到衰弱時刻。9 月 6 日 02 時 ~ 03 時為颶

風遠離後, 波高產生第二次的增強, 此時是由颶風的湧浪所造成波高增長的現象。同樣地, 圖 11 ~ 圖 14 為平均波浪週期之空間示意圖, 在颶風最靠近觀測海域時(圖 11、圖 12), 9 月 5 日 11 時 ~ 12 時, 平均波浪週期的成長尚未達到峰值, 必須至颶風遠離後(圖 13、圖 14), 9 月 6 日 02 時 ~ 03 時, 才有明顯的增強。

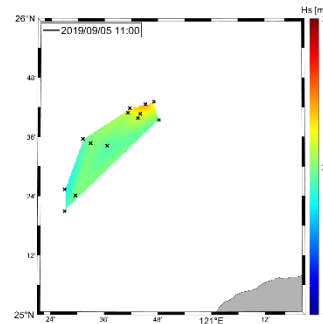


圖 9 Hs 空間分布圖(5 日 11 時)

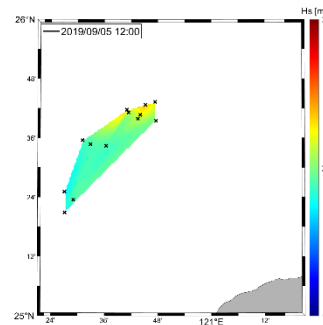


圖 10 Hs 空間分布圖(5 日 12 時)

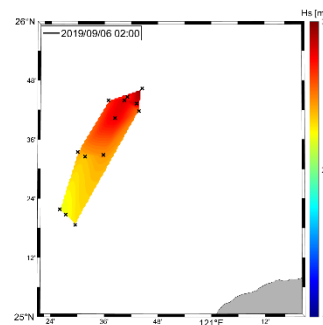


圖 11 Hs 空間分布圖(6 日 02 時)

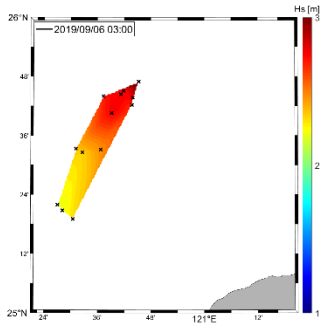


圖 12 Hs 空間分布圖(6 日 03 時)

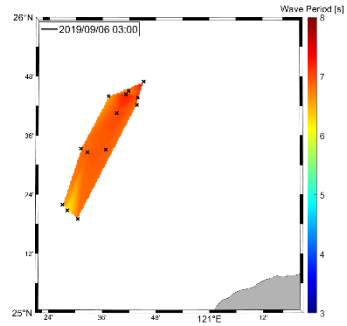


圖 16 Tm 空間分布圖(6 日 03 時)

在尖峰波浪週期方面，於颱風遠離後，9 月 6 日 02 時(圖 16)，有最大的尖峰週期發生。

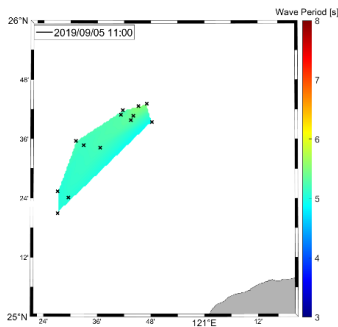


圖 13 Tm 空間分布圖(5 日 11 時)

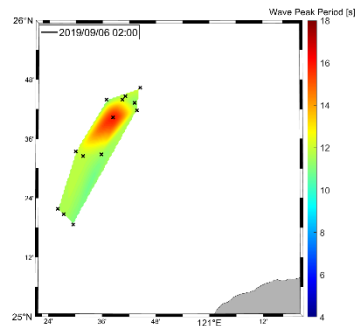


圖 16 尖峰波浪週期空間分布圖(6 日 02 時)

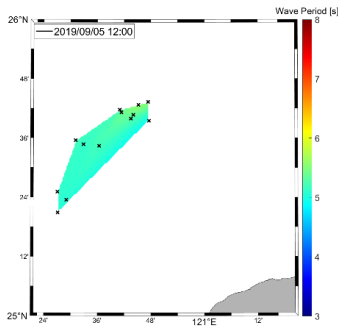


圖 14 Tm 空間分布圖(5 日 12 時)

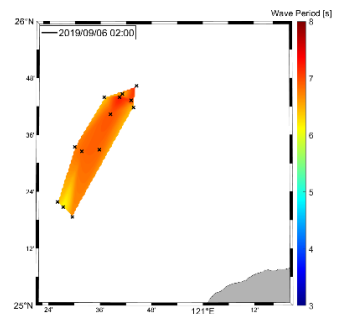


圖 15 Tm 空間分布圖(6 日 02 時)

3.3.2 低頻能量在一維波譜的變化

波浪是由風浪及湧浪混合而組成，其中湧浪會保持一定的能量而傳遞至遠處。本研究再次透過一維波浪頻譜觀察颱風在最靠近觀測海域到逐漸遠離觀測海域後，能量在不同頻段上的發展。

圖 17 是颱風於 9 月 5 日 12 時 ~ 9 月 6 日 6 時波譜能量變化。從 9 月 5 日 12 時開始，是颱風最接近觀測海域的時刻，在此階段，從能譜上並無發現明顯的能量增強，主頻約在 0.1 Hz。隨後於 9 月 5 日 19 時與 6 日 0 時波譜能量開始增長，並在 6 日 0 時達到峰值，且能量的頻率範圍集中在較低頻段 0.06 Hz ~ 0.11 Hz。在 9 月 6 日 6 時，能量逐漸減弱，且主頻往高頻移動，尖峰頻率約為 0.12 Hz。

參考文獻

1. Charles Cox and Walter Munk, 1956: Slopes of the Sea Surface Deduced from Photographs of Sun Glitter
2. 董東環(1999): 颱風波浪之時頻域特性, 第 21 屆海洋工程研討會論文集
3. 邱明達(2000): Pitch-Roll 浮標觀測方向波譜之誤差分析及修正, 第 22 屆海洋工程研討會論文集
4. 錢樺(2011): 淺化波浪對於近岸海面粗糙度之影響, 第 22 屆海洋工程研討會論文集
4. 謝凡迪(2013): 龍洞急速成長波浪特性, 第 35 屆海洋工程研討會論文集
5. Y. Zhong (2019): Miniature Wave Buoy – Laboratory and Field Tests for Development of a Robust Low-Cost Measuring Technique

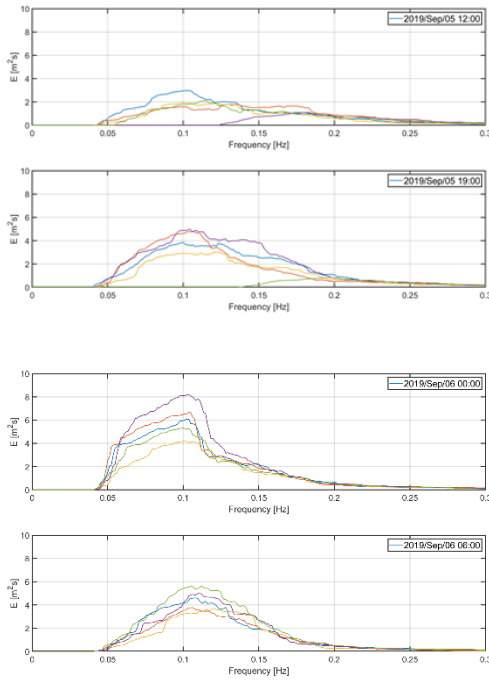


圖 17 颱風開始遠離之一維波譜變化

四、結論

本文利用微型資料浮標分析瞬變的海象發生，並且從風浪與湧浪的角度觀察波浪特性。

1. 風浪特性方面：由於觀測海域之風速在颱風靠近觀測海域的過程中達到最大值，且波高在一小時後也有所成長，因此透過微型資料浮標的空間特性，得以迅速掌握周遭海域的波浪特性，同時也可用一維能譜觀測了解波浪能量的變化，再利用即時性回傳的優點，來達到預警的功能。

2. 湧浪特性方面：受遠域颱風的影響，湧浪會維持一定的能量傳至較遠處，以平均波浪週期與示性波高做為能量依據，當颱風遠離觀測海域一段時間後，於觀測海域內皆有更高的波浪成長發生，並實際透過一維波譜來觀察能量變化，在低頻率域確實有較高的能量增長。

利用微型資料浮標做為監測之儀器，並且界定一能量上限做為警戒標準，在當上述瞬變海象發生時，可立即回報訊息，以利告知周遭海域的海上作業人員，以確保相關人員的生命安全。