

創新海岸防災觀測與預測科技

林演斌¹、范揚洺²、吳立中³

摘要

本研究成功研發觀測與預測的創新技術，包括河口及海岸 GPS 潮位波浪觀測、非接觸式海洋遙測技術及波浪系集預測技術。河口與海岸地區之實測潮位資料可作為河川洪水演算之臨海邊界條件，然而部分河口及海岸地區因為缺乏構造物，難以架設作業化潮位計，本研究結合 RTK GPS 與資料浮標技術成為 GPS 浮標，經證實 GPS 浮標已具備即時觀測潮位與波浪能力，且作業化之加速度型波浪感測器與 RTK GPS 的觀測資料比較，顯示兩者的示性波高、平均週期、主波向、一維波譜、方向波譜及波浪水位時序列誤差皆極小。相較於現場量測是將儀器放置於海水中，藉由量測海水的一些物理或是化學現象隨時間變化之特徵，取得所需海洋環境資訊，遙測則具有隔空探測與廣景覽要的優勢，可與現場量測技術相互搭配，藉以獲取更完整的海洋環境資訊。本研究透過雷達觀測結果與現場同步觀測數據之交互比對，驗證 X-band 雷達技術則應用於波浪、海流、近岸地形與溫排水偵測之可行性。除了掌握現在，預測未來的變化亦不可或缺，然而傳統的數值波浪預報為單一模式預測，這種決定性的預測無法掌握預測過程中的不確定性，同時亦無法提供預測過程中的不確定性資訊，本研究研發極端波浪系集預測，並率先採用區域加權學習方法於波浪預測領域，驗證顯示確實可掌握大部份的颱風波浪。

一、前言

世界氣象組織(WMO)副秘書長 Jerry Lengoaas 於 2013 年的聯合國氣候變遷會議中表示，颱風造成的強風巨浪才是導致死傷的原因。他並引用 IPCC 的報告補充說：「現階段我們當然無法將單一颱風歸咎於氣候變遷，但可以確定的是，增高的海平面讓沿海居民完全暴露於颱風和隨之而來的狂風巨浪之中。」。麻省理工學院(MIT)教授 Kerry Emanuel 的研究發現(Emanuel, 2013)，在氣候變遷的條件下，強烈颱風會變得更多，其中又以西北太平洋的情形最顯著。為了因應全球氣候變遷，國內應強化海象觀測，掌握海象長期變化，提升極端海象監測與預報能量。

河口附近之潮位，為河川洪水演算之重要參考依據，為防災決策不可或缺資料。另外，海岸的波浪、潮位、海流為研究漂沙所需的基本資料。部分河口及海岸缺乏既有構造物作為架設儀器之基礎，不易進行觀測，於河口及海岸同時觀測潮位與波浪的觀測技術有待突破。Harigae et al. (2005)利用低成本之汽車導

航等級 GPS 接收器，研發高通濾波器及波浪分析方法，以觀測波高、週期與波向，其波高準確度為公分等級，波向準確度為 5 degrees。其研究將低頻訊號濾除，因此無法觀測潮位。Doong et al. (2011)安裝 GPS 接收器於資料浮標上，擷取 GPS 接收器於三軸向之運動速度分析波浪，並以傳統的加速度計、傾角計、電羅經計算的結果驗證，波高與週期之相關係數達 0.95。以 GPS 接收器之運動速度為一種適當的波浪觀測替代方案，但其 GPS 系統尚未具備觀測潮位功能。Joodaki et al. (2013)使用單一 GPS 接收器於浮標上量測波浪，該研究亦尚未量測潮位。Kato et al. (2010)使用 RTK (Real Time Kinematic) GPS 接收器觀測海嘯，為獲得海嘯資料，其 GPS 浮標將原始數據進行低通濾波並扣除天文潮。隨後繼續發展 GPS 浮標觀測波浪，但未同時觀測潮位，其 GPS 浮標布設範圍為水深 100 ~ 300 m，離岸 10 ~ 20 km。綜合以上文獻之研究成果可知既有研究尚未發展能同時觀測潮位與波浪之 GPS 浮標。有鑑於此，本研究目的為結合 RTK GPS 接收器、資料浮標技術及虛擬基準站即時動態定位技術等，研發 GPS 潮位波浪浮標。

在各種遙測技術之中，雷達是透過將特定頻率電

1 國立成功大學近海水中心計畫經理

2 國立成功大學近海水文中心研發組組長

3 國立成功大學近海水文中心專案助理研究員

磁波發送至目標區域，再接收目標區域內存在物體所反射以及散射之電磁回波，藉以獲取目標物資訊的一種觀測技術。依據電磁波原理，電磁波僅能穿透海水極短之深度，因此其散射或反射的電磁回波可充分表示出海水表面的動態特性。若輔以海氣交互作用的機制或是已知的一些數學理論，則可以有效從雷達回波獲取各種海面的物理特徵。為能將雷達技術實際應用於海洋環境調查，Young et al. (1985)提出分析 X-band 雷達海面回波影像時序列資料之演算流程，藉以從中推算海面波譜資訊，並反推求得海表面波浪與流場，確立了 X-band 雷達應用於海洋參數觀測的可行性。在國內，港灣技術研究中心與臺灣大學進行 X-band 雷達遙測系統之建置(王，1999)，為國內開發 X-band 雷達海洋環境遙測系統之先驅。臺灣海洋大學(翁等，2011)的研究團隊則針對雷達所測得海面影像的統計特徵進行深入之檢討。成功大學的研究團隊則將研究重心聚焦於雷達系統軟硬體技術之研發，自行開發雷達訊號的取樣、分析方法與軟體程式，並經將雷達系統自行改裝為陸上移動式觀測系統，對臺灣沿海進行機動性的觀測作業，在 X-band 雷達遙測領域也獲得了相關之研究結果(Wu et al., 2011)。

改進海洋波浪預報，一直是世界各國海洋相關單位所努力的主要目標。為了要改進波浪預報，最直接的方法是改進數值模式的準確度，其中包含改進初始場、提高模式解析度或是引進更複雜的物理參數化過程。但因為波浪具有混沌的特性且數值預測系統中存在著非線性過程，任何微小的變化，皆有可能導致預測結果產生巨大的差異。此外，預測系統中存在著許多不確定性，包含初始資料的誤差或是模式中的缺陷，皆可能造成模式預測結果的變化。傳統的數值天氣預報為單一模式預測，期望由最佳的單一初始資料，獲得最佳之模式預測結果。這種決定性的預測無法掌握預測過程中的不確定性，同時亦無法提供預測過程中的不確定性資訊，因此期望單一模式掌握所有可能的海象變化有其困難度。系集預測的發展是為彌補單一模式預測的不足，藉由多個不同的系集成員預測，期望能包含模式預測的不確定性，並且將不確定性量化，以提供未來的預報機率(Leith, 1974)。歐

洲中程天氣預報中心(ECMWF)以能量向量為基礎進行初始系集攝動的案例分析(Palmer et al. 1992; Molteni et al. 1996)。在美國國家環境預報中心(NCEP)以非線性擴展向量後進行系集分析(Toth and Kalnay 1993)。Houtekamer 等(1996)使用多樣分析循環(受擾動的觀測數據和不同的標準配方)用於生成初始系集擾動。Pan et al. (2012)與 Fan et al. (2011)初步分析波浪系集預報結果證明波浪系集預報有較佳的預報準確度。

二、河口及海岸 GPS 潮位波浪浮標

本研究採用虛擬基準站即時動態定位技術，以 RTK GPS 作為潮位波浪感測器，此乃海象觀測創新技術，同時率先應用 GPS 直接觀測之水位原始數據所獲得的波浪資料驗證加速度型波浪感測器 SHR (Strapdown Heading Reference)間接分析之波浪資料(水位時序列、一維波譜、方向波譜、示性波高、平均週期及主波向)，結果如下：

(一) 潮位

GPS 浮標於 2013 年 8 月於蘇澳港北邊外海布放，與港內的蘇澳潮位站直線距離約 4 km，圖 1 為 2013 年 8 月 20 至 22 日之潮位比較圖，為了比較，於繪圖前調整 GPS 浮標觀測資料之基準，使其與蘇澳潮位資料之基準一致。圖 2 中 GPS 浮標觀測即時潮位之均方根誤差(Root Mean Square Error, RMSE)為 9.5 cm，其中小部分 GPS 浮標觀測潮位有遺漏之原因為解算不成功，此原因為目前僅以 GPS 衛星訊號解算，預期未來加入 GLONASS (GLObal NAVigation Satellite System)衛星訊號解算後能獲得改善。圖 1 中四個高潮位時，GPS 浮標較蘇澳潮位稍低，可能是高潮位時承載的鐵鍊重量增加，使得 GPS 浮標較低潮位時下沉所造成，但是否還有其他原因仍有待進一步探討。

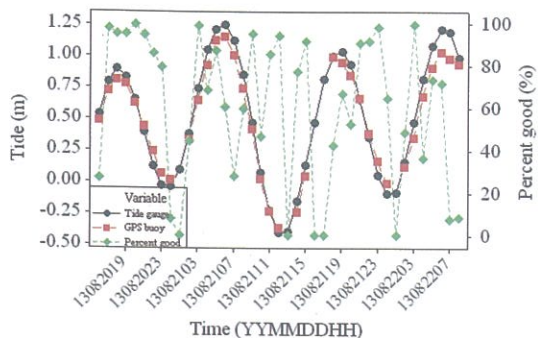


圖 1: 2013 年 8 月 20-22 日 GPS 浮標與潮位站潮位比較(紅色方點為 GPS, 黑色圓點為蘇澳潮位站, 綠色菱形點為解算成功率)

(二) 波浪

以 2013 年 8 月 20 日 17:00 加速度型波浪感測器 SHR 與 GPS 所得到的水位時序列資料為例, 由圖 2 可知, 加速度型波浪感測器 SHR 所獲得之水位時序列資料與 GPS 直接觀測之水位原始數據不論是相位或振幅均相當一致, 此說明加速度型波浪感測器 SHR 水位時序列資料的正確性。

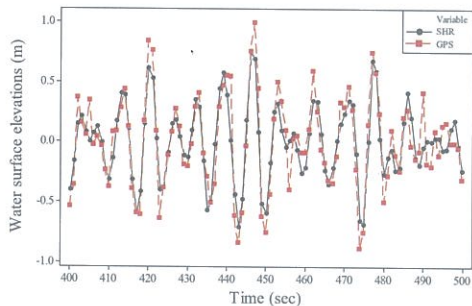


圖 2: 2013 年 8 月 20 日 17:00 水位時序列(紅色方點為 GPS, 黑色圓點為加速度型波浪感測器 SHR)

此外, 以 2013 年 8 月 20 日 17:00 加速度型波浪感測器 SHR、GPS 兩種儀器所得一維波譜作比較, 此筆資料 GPS 解算成功率為 0.99, 可信度相當高, 如圖 3 所示。圖中縱軸為水位之能量密度(Power Spectral Density, PSD), 而橫軸為頻率。該圖中兩波譜之尖峰週期相同。而波譜曲線當頻率大於等於 0.15 Hz 時, 兩波譜 PSD 值非常吻合, 當頻率介於 0.1 及 0.15 Hz 之間時有細微差異, 此細微差異原因應是由於加速度型波浪感測器 SHR 波譜於分析過程中使用經驗公式濾除加速度雜訊所致。

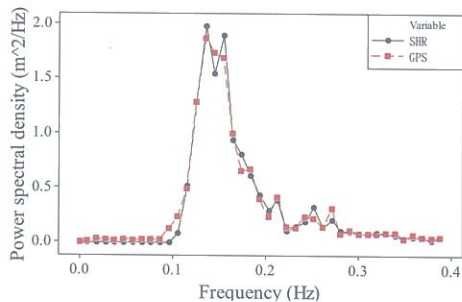


圖 3: 2013 年 8 月 20 日 17:00 一維波譜(紅色方點為 GPS, 黑色圓點為加速度型波浪感測器 SHR)

方向波譜方面, 仍以 2013 年 8 月 20 日 17:00 資料為例, 如圖 4 所示, 圖中亦顯示方向波譜資料最大能量密度對應之尖峰頻率與主波向, 可發現兩波譜主波向相等且能量分布亦一致, 其中加速度型波浪感測器 SHR 方向波譜所計算之尖峰頻率與其一維波譜計算之尖峰頻率不相等之原因為計算資料基礎不同。

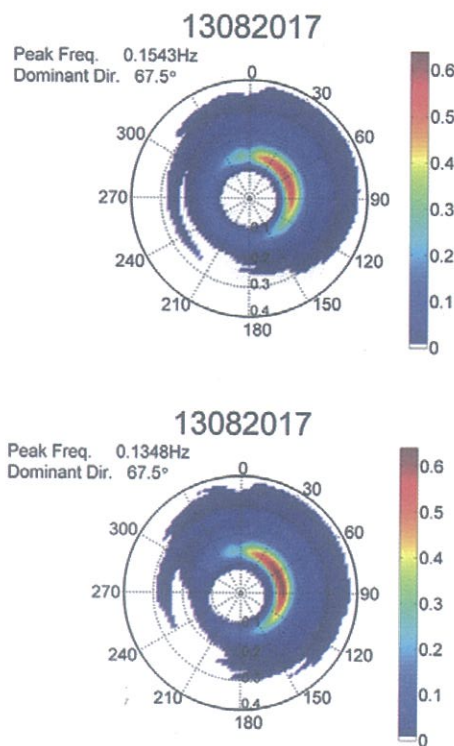


圖 4: 2013 年 8 月 20 日 17:00 方向波譜(上圖為加速度型波浪感測器 SHR, 下圖為 GPS)

圖 5 分別為 GPS 與加速度型波浪感測器 SHR 示性波高、平均週期、主波向散佈圖, 為維持一定的可信度與足夠樣本, 僅選取 GPS 解算成功率大於等於 0.95 及對應的加速度型波浪感測器 SHR 資料分析,

共取得 30 筆樣本。圖 5 中相關係數平方(R^2)分別為 0.998, 0.971, 與 0.873, 三者皆為高度相關。以線性迴歸線觀之, 圖 5(上圖)顯示加速度型波浪感測器 SHR 示性波高與 GPS 示性波高幾乎相等, 且平均週期亦幾乎一致(圖 5 中圖), 僅在平均週期較長(約 8 秒)時, 加速度型波浪感測器 SHR 平均週期較 GPS 平均週期稍大。圖 5(下圖)係方向解析度為 11.25 degrees 之分析結果, 可知主波向亦幾乎一致, 以線性迴歸線來看圖 5(下圖)左下角處誤差最大, 當加速度型波浪感測器 SHR 主波向約 40 degrees 時, GPS 主波向約為 50 degrees, 誤差約 10 degrees, 與方向解析度相當, 預期若以更細解析度分析, 誤差應可縮小。

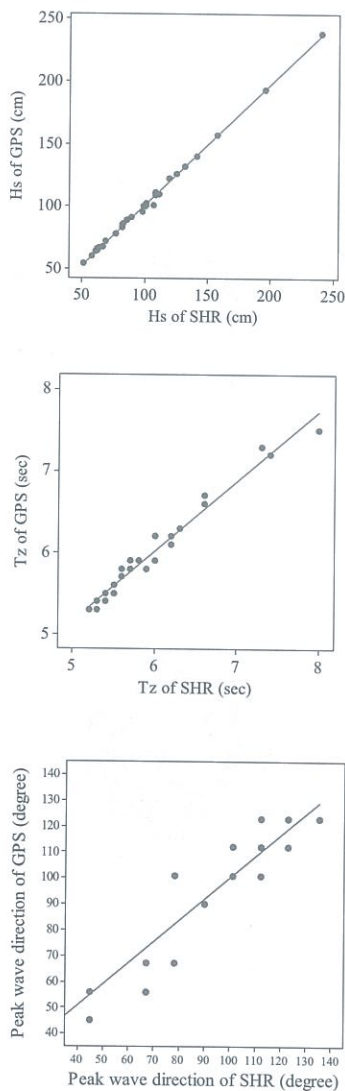


圖 5：示性波高(上圖)、平均週期(中圖)及主波向(下圖)散佈圖

三、航海雷達觀測技術

常見的雷達遙測方式有利用衛星或是其他飛行載具作為搭載平台, 從海面上空對海域進行大尺度的影像攝取。相較於空拍影像大空間尺度的觀測, 陸上的 X-band 雷達則具有近岸範圍高解析度觀測的能力, 且具有不受飛行載具再訪時間(revisit time)限制的優勢。岸際雷達系統架設於陸地上, 可連續不間斷地對同一海域進行監測, 藉以長期穩定地取得海面時間及空間的變化, 是一種兼具時間與空間特性的三維度觀測技術, 且具有下列之優勢:

- (一) 透過雷達訊號取樣、成像以及解析技術之發展, 搭配完整的作業以及資料品管程序, 現有技術已可達到作業化以及自動化觀測之需求。
- (二) 由於雷達觀測系統具有作業化觀測之優勢, 後續可大量複製模組化之軟硬體架構, 有效降低觀測成本。
- (三) 雷達觀測設備可設置於陸域, 可進行海域的長期監測, 且沒有布放水深限制。在不適合大型資料浮標作業之極淺水海域, 岸基雷達仍能發揮其功用。
- (四) 透過雷達系統與網路傳術技術之整合, 可達到資料即時傳輸之目標。
- (五) 相較於海上測站, 雷達觀測設備可設置於陸域, 後端維護作業相對容易。且陸上系統並無電力不足之問題, 可持續長期進行作業。若有特殊之觀測需求, 亦可配合進行更密集之不間斷觀測。
- (六) 雷達系統使用微波作為觀測之媒介, 因此不受可見光之限制, 日夜皆可進行觀測作業。
- (七) 雷達系統可持續不間斷地觀測大範圍之海表面特徵, 針對近岸非均勻海域, 可選擇海面影像中不同區域進行解算, 提供海域內不同位置之海象資訊。

如圖 6 所示, X-Band 雷達觀測海象系統的硬體設備主要包含幾個部份, 分別是雷達、訊號擷取單元、控制與分析單元。圖 7 則為雷達測波系統與現場海上資料浮標系統之同步觀測波高資料之比對結果, 結果顯示大多數的雷達觀測資料趨勢與浮標波高

觀測結果一致。經定量分析求得雷達與浮標系統測得波高之均方根誤差為 26cm，相關係數為 0.9。除了波浪之外，X-band 雷達系統也具有海表面流場觀測之能量。圖 8 為雷達與海上 ADCP 同步觀測流場資料之比對結果。儘管因為雷達觀測區域與現場資料浮標的觀測位置有數公里之差距，且 ADCP 加掛於現場資料浮標底層支架，其所測得之最接近表層之流速為水下約 3.5m 處之流速。相較於 ADCP，X-Band 雷達影像分析所得之流速為實際表層海面之流速，因而造成兩者所測得之流場有一定之差距，但從比對結果能看出相近之趨勢。

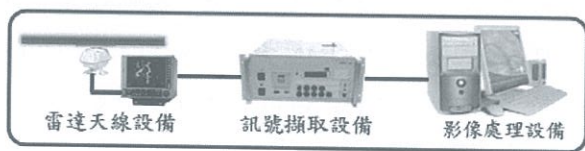


圖 6：雷達監測系統架構

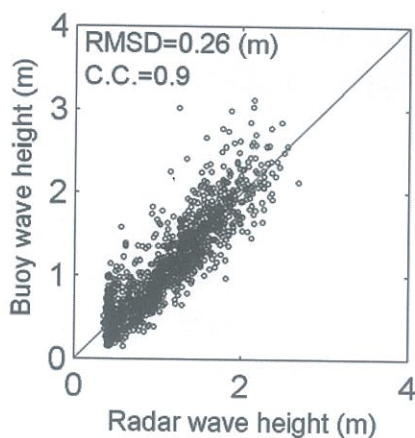


圖 7：X-band 雷達與現場資料浮標測得波高之比對

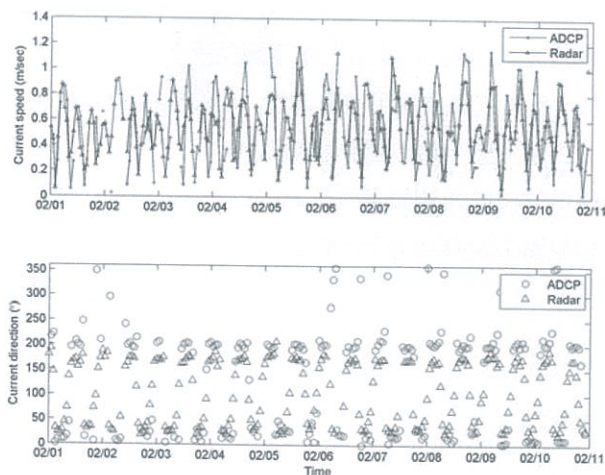


圖 8：X-band 雷達與現場 ADCP 測得流場之比對

除波浪與海流之監測外，透過雷達影像所呈現之波紋移動特徵搭配波浪分散關係理論，可進一步從中求解出近岸海域的水深資訊。如圖 9 所示，為海面雷達回波影像反演水深之案例。經雷達影像所反演之空間域水深結果與現場海岸地形特徵一致，但仍有待後續進行更進一步的現場資料比對與檢討工作。

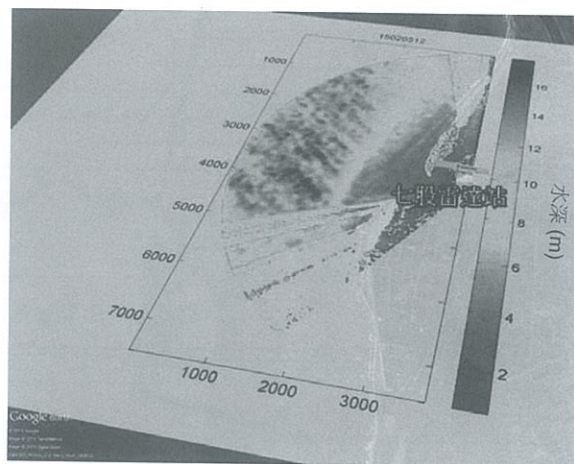


圖 9：X-band 雷達影像反演海底水深之結果

根據 X-band 之 Bragg 散射機制，只要會牽涉到海表面毛細波粗糙度的物理現象，應都有可能利用 X-band 雷達探測出，因此除前述之天然海洋環境資訊之外，本文嘗試利用 X-band 雷達遙測技術來偵測、解析、與研究臨海發電廠於近岸海域之溫排水放流(thermal effluent discharge)現象，以掌握放流水對海洋環境之影響。如圖 10 所示，為鄰海發電廠溫排水之排水口附近所測得海面雷達影像，可以明顯看到觀測區域內不同目標物之回波。陸上結構物之回波包括有：港口防波堤、海上棧橋以及電廠排水道等，海面上船隻的回波反射則會在雷達影像中呈現出斑點狀之回波特徵。除上述之回波特徵外，從圖 5 的海面回波影像中可發現：電廠排水道外側之海面上有一道明顯之雷達回波帶，此一帶狀特徵之回波強度雖然較陸上結構物之回波微弱，但仍可辨識出其特徵從電廠排水道向外延伸，並朝北方彎曲。為能證實 X-band 雷達偵測溫水放流之可行性，本文於雷達觀測區域內進行現場水溫資料之量測，如圖 5 所示，為電廠溫排水口外之海面回波影像與現場同步船測之海表面水溫值之嵌套結果。從大範圍的現場海溫量測結果發現，海面上確實有一條明顯的溫排水區域，從排水道

向外延伸並擴散。相較於整個船測區域的平均水溫值(29°C)，溫水帶內的平均水溫可達 31°C。而這條溫水帶的分布區域與前述的強烈海面雷達回波帶的空間分布區域一致，由此比對結果確認了 X-band 雷達影像中的帶狀回波與海面溫排水分布之間的關聯性。

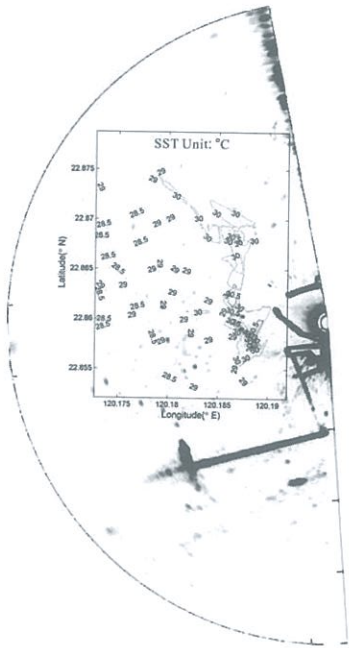


圖 10：溫排水口之雷達影像與現場水溫量測結果

四、極端波浪系集預測

系集預報分為參數系集與模式系集兩種：參數系集為改變單一數值模式的參數值後產生系集預報成員；模式系集則為利用不同的數值模式模擬結果做為系集預報成員。由於本研究以建立極端波浪預報模式為目標，因此高準確度的風場資料才足以描述極端波浪變化，評估國際上可取得已作業化的風場資料包括美國國家環境預報中心的大氣模式、日本氣象廳的大氣模式、中央氣象局的 WRF 大氣模式與 RCMC 大氣模式作為數值波浪模式的驅動力，產出多個波浪系集預報成員，再採用系集權重方式，調整各成員間的權重關係，以致於最後系集波浪預測與觀測波浪之間有最小誤差，故可提昇波浪預測能力。由整體評估結果顯示模式系集預測方法，對於波浪模擬，比起單一的模式均顯示有其功效，且並未有太大的差異。

在模式結合的過程中，如果特定一個模式和其他模式相比，總是比較缺乏精確性，則在平均結合這些模式的同時，可能會導致不理想的預測結果，因為這個較差模式所引發的負面影響，或許就勝過了藉由模式平均結合所得到的改善。因此，根據模式預測和觀測值比較表現，藉由一些統計方法求得各模式的權重值再做模式的結合，則較合理而且會有比較好的結果。

過去的研究發現系集成員反映在波高預測上的準確度各有優劣，以圖 11 為例，X 軸是日期，Y 軸是波高值，單位是公尺，圖中不同顏色表示不同的大氣風場驅動波浪模式的波高預測結果，分別是 AVN 大氣風場(美國氣象局)、JMA 大氣風場(日本氣象廳)、RCMC 大氣風場(中央氣象局)及 WRF 大氣風場(中央氣象局)，藍色圓點表示資料浮標實測波高。圖中顯示使用 AVN 大氣風場驅動波浪模式的波高預測結果在大波浪時表現較好，但卻在小波浪時表現較差，而那些在大波浪時表現較差的系集成員，反而在小波浪時表現較好。若以系集平均方法改進預測結果，如圖 12 所示，紫色實線表示系集平均分析後的波高值，與實測值比對顯示雖然已明顯改善波浪預測結果，但仍無法準確預測颱風事件過程中的最大波浪值。

面對上述挑戰，本研究以區域加權學習(locally weighted learning, Atkeson et al., 1977)方法，應用於波浪預測領域，即調整各成員間在不同波浪範圍內的權重關係，以致於最後系集預測波浪時的誤差為最小。如圖 13 所示，圖中紅色虛線表示經過系集權重調整後的波高預測，計算結果顯示即使是 7 公尺左右的大浪，系集波高預測可確實掌握，小波浪期間也有很好的表現。進一步由相關性圖(圖 14)可以看出採用系集權重的波高預測與實測值之間的為高度相關，系集平均整體來說有部分預測值高估。

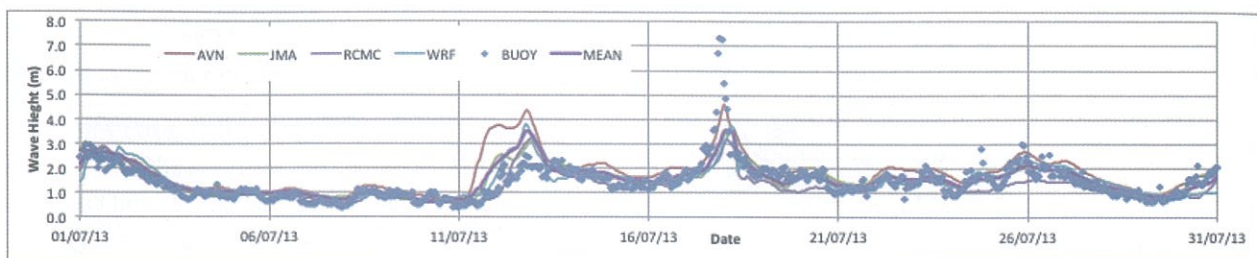


圖 11：各系集成員波高預測與實測值比對圖

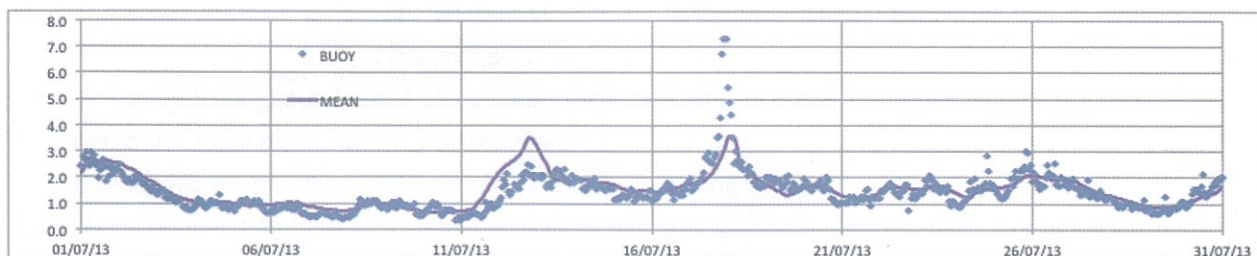


圖 12：系集平均之波高預測與實測值比對圖

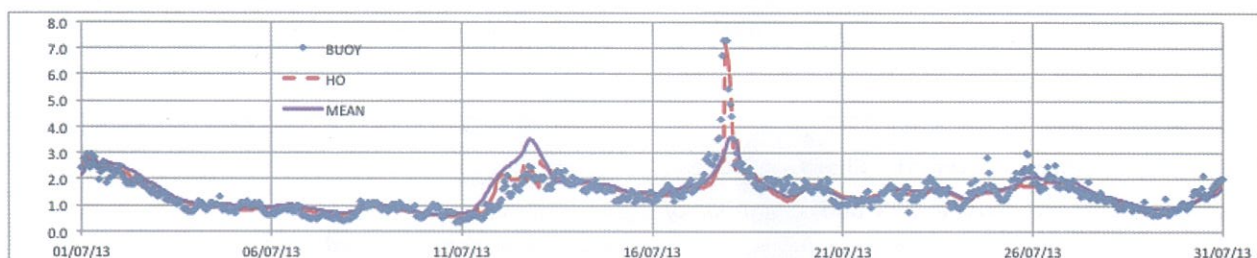


圖 13：系集平均波高、最佳權重波高波浪與資料浮標站實測示性波高時序列比對圖

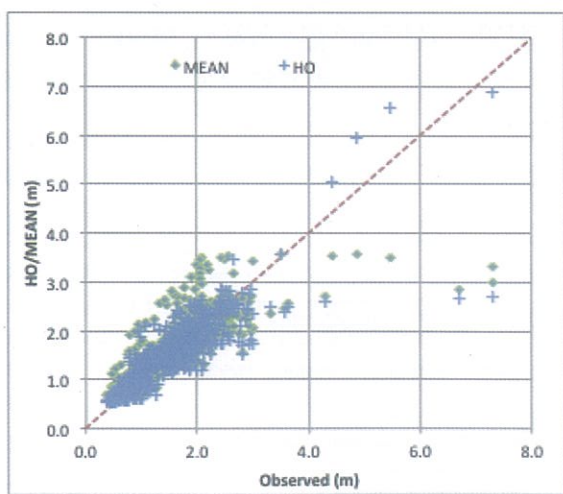


圖 14：不同系集分析之波高預測值與實測值的相關性比對圖

五、結語

本研究開發之河口及海岸 GPS 浮標具備即時潮位與波浪觀測能力。以 GPS 直接觀測波浪水位原始數據所獲得的波浪資料驗證加速度型波浪感測器所

間接分析之波浪資料，證實波浪水位時序列、一維波譜、方向波譜、示性波高、平均週期與主波向皆極為一致。

本研究也透過雷達觀測結果與現場同步觀測數據之交互比對，確認 X-band 雷達技術則應用於波浪、海流、近岸地形與溫排水偵測之可行性，是一項極具持續發展潛力的非接觸式海洋遙測技術。

模式系集預測證明可準確預測極端波浪，又調整各系集成員間在不同波浪範圍內的權重關係，以致於最後系集預測波浪時的誤差為最小，證明可改進系集平均無法準確預測極端波浪的最大波浪值。

六、參考文獻

- [1] Atkeson, C. G., Moore, A. W. and Schaal, S.: Locally Weighted Learning, *Artificial Intelligence Review*, 11, 11-73, 1997.
- [2] Doong, D. J., Lee, B. C., Kao, C. C.: Wave measurements using GPS velocity signals, *Sensors*,

- 11, 1, 1043-1058, 2011.
- [3] Emanuel, K.A.: Downscaling CMIP5 climate models shows increased tropical cyclone activity over the 21st century, *Proc. Nat. Acad. Sci.*, 110, doi/10.1073/pnas.1301293110, 2013.
- [4] Fan, Y.M., Pan, Shunqi, Chen, J.M., Kao, C. C.: Ensemble forecasting on wave modeling. Proceedings of the 10th International Conference on the Mediterranean Coastal Environment (MEDCOAST 11), Rhodes, Greece, 2, 809-820, 2011.
- [5] Harigae, M., Yamaguchi, I., Kasai, T., Igawa, H., Nakanishi, H., Murayama, T., Iwanaka, Y., Suko, H.: Abreast of the waves: Open-sea sensor to measure height and direction, *GPS World*, 16, 5, 16-26, 2005.
- [6] Houtekamer, P.L., Lefavre, L., Derome, J., Ritchie, H. and Mitchell, H.L.: A system simulation approach to ensemble prediction, *Monthly Weather Review*, 124, 1225-1242, 1996.
- [7] Joodaki, G., Nahavandchi, H., Cheng, K.: Ocean wave measurement using GPS buoys, *Journal of Geodetic Science*, 3, 3, 163-172, 2013.
- [8] Kato, T., Terada, Y., Nishimura, H., Nagai, T., Koshimura, S. I.: Tsunami records due to the 2010 Chile Earthquake observed by GPS buoys established along the Pacific coast of Japan, *Earth Planets Space*, 63, 6, E5-E8, 2011.
- [9] Leith, C.E.: Theoretical skill of Monte Carlo forecasts, *Monthly Weather Review*, 102, 409-418, 1974.
- [10] Molteni, F., Buizza R., Palmer T. N. and Petroliagis T.: The ECMWF ensemble prediction system: Methodology and validation, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 122, 73-119, 1996.
- [11] Palmer, T.N., Molteni, F., Mureau, R., Buizza, R., Chapelet, P. and Tribbia, J.: Ensemble prediction, *ECMWF Research Department Tech. Memo.* 188, 45 p, 1992.
- [12] Pan, Shunqi, Fan, Y.M., Chen, J.M., Kao, C. C.: Ensemble forecasting on typhoon wave modeling, Proceeding of the 6th Chinese-German Joint Symposium on Hydraulic and Ocean Engineering, 473-480, 2012.
- [13] Toth, Z. and Kalnay, E.: Ensemble forecasting at NMC: The generation of perturbations, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 74, 2317-2330, 1993.
- [14] Wu, L.C, Chuang, L.Z.H, Doong, D.J., and Kao, C.C.: Ocean Remote Sensed Image Analysis by the Two-dimensional Continuous Wavelet Transform, *International Journal of Remote Sensing*, 32, 23, 8,779-8,798, 2011.
- [15] Young, I.R., Rosenthal, W., and Ziemer, F.: A three dimensional analysis of marine radar images for the determination of ocean waves directionality and surface currents, *Journal of Geophysical Research*, 90, 1,049-1,059, 1985.
- [16] 王胄, 淡水港雷達遙感波浪監測研究(I), 港灣技術研究中心報告, 1999。
- [17] 翁文凱、周宗仁、尹彰、邱永芳、何良勝, 利用海雜波推算推算海面波場特性, 海洋工程學刊, 第11卷, 第1期, 第31-55頁, 2011。

謝 誌

承蒙行政院科技部「離岸風力發電場址波浪特徵之調查與研究(1/2)」(MOST104-3113-E-006-016-CC2)、「X-band 雷達觀測技術應用於近岸海域溫熱水放流現象之研究」(NSC102-2221-E-006-078-MY2)及「熱帶氣旋影響下的極端波浪系集預報系統研發」(NSC 102-2221-E-006-126-MY2)之經費補助, 同時中央氣象局與經濟部水利署提供寶貴的資料浮標資料, 使本文得以順利完成, 謹致謝忱。

英文摘要

Innovative Technologies for Safer Coasts in Observation and Forecasting

Yen-Pin Lin, Yang-Ming Fan, and Li-Chung Wu

Abstract

This study has successfully developed the innovative technologies of observation and forecasting, which including GPS buoy, X-band radar monitoring technologies, and ensemble wave forecast. Real-time tide data at the estuary are usually used as boundary conditions in the simulation of river water level for assess the flood risk. However, there is no construction to set up the operational tide sensor at some estuary. This study utilizes the data buoy and RTK receiver to integrate the GPS buoy and validates that the GPS buoy is capable of measuring both tide and wave. Furthermore, the difference in the data of water surface elevation, one-dimensional spectrum, directional spectrum, significant wave height, mean wave period, and dominant wave direction between the accelerometer-type and RTK GPS wave sensor is very small. This study presents the practicalities of X-band radar on the monitoring of ocean waves, sea surface, and bathymetry. We also confirm the potential on the detection of coastal thermal plume using X-band radar images. In addition to understand the real-time observation, forecasting is also indispensable. However, the effectiveness of the forecasting system will heavily depend on the accuracy of the wave model used and the surface forcing that is used to drive the wave model. And due to the complexity and uncertainties associated with the meteorological and oceanographic processes, it has been particularly difficult and challenging to make accurate wave forecasting, in particular, for the extreme waves. This study is going to optimised the weightings for the ensemble members can significantly improve the accuracy of the forecasted wave heights from the standard mean values for the extreme peak waves.

作者簡介



林演斌(Yen-Pin Lin)，國立成功大學水利及海洋工程研究所碩士，現為博士研究生，現任成功大學近海水文中心計畫經理，專長為資料浮標系統設計規劃、海氣象觀測系統開發。



范揚洺(Yang-Ming Fan)，國立成功大學工學博士，現任成功大學近海水文中心研發組組長，專長為數值模式、資料同化及系集方法。



吳立中(Li-Chung Wu)，國立成功大學工學博士，現任成功大學近海水文中心助理研究員，專長為海洋遙測與訊號分析。