

應用X-band雷達進行波浪海流油污監測之研究

張國棟¹ 王樹倫¹ 方君翔¹
國立高雄海洋科技大學海岸水與環境中心¹

摘 要

民國 105 年 3 月 11 日上午 9 點本國籍貨櫃船「德翔台北」因失去動力加上天候惡劣，被東北季風推往岸際，擱淺在石門區外海距岸 0.3 海哩處，因當時油品洩漏，造成石門區鄰近海域污染，本文藉由此次事件，利用國立高雄海洋科技大學海岸水與環境中心建置的海洋環境雷達監測車，進行新北市石門區近岸海域的波浪、海流及油污的即時監測，主要利用挪威 MIROS 公司發展的波浪、海流及油污監測(Oil Spill Detection，以下簡稱 OSD)系統進行監測。該系統是利用海面的雷達回波訊號經由計算來獲得海表面的波浪及海流數據，在油污偵測原理上，為當一地區海面被油覆蓋時會減輕海面毛細波，反射出較少的微波功率，由此分析及計算得知溢油分布範圍，可即時判斷油污在海面上的分布位置與未來可能漂移的行進軌跡。本文將 Miros OSD 雷達與富貴角資料浮標觀測數據進行比對，顯示兩者所測得的波浪與風資料有相當高的相關性，在海流監測方面，OSD 所測得的海流變化特性與潮汐變化相符，在油污偵測方面，OSD 雷達所得到的油污分布狀況與國立中央大學提供的衛星與無人機拍攝影像進行比對，顯示油污位置與分布結果一致。

關鍵字：X-band 雷達、油污偵測、波浪觀測

一、緒論

台灣四面環海，許多經濟活動發生在海岸地區，例如貿易航運、魚撈養殖、各種工商業設施等，海岸地帶之土地逐步朝高利用率發展。不論是海岸地區的發展或是海上活動，也伴隨著相當程度的風險，面對紛紜多變的海洋環境，所造成之災害常危及人民的生命財產之安全，例如颱風所引起之波浪，造成海上或海岸結構物之破壞、海水倒灌以及海岸侵蝕，導致了沿岸居民居住的安全與國土流失等問題。

除了海洋災害的問題之外，海洋環境污染之議題也受到了關注，多數的海洋污染源皆會隨著風、波、流等海洋外力的影響而產生擴散以及漂移的現象，近年來，部分貨、輪船擱淺產生的溢油事件對海洋環境造成了相當大的衝擊，若能瞭解海洋環境特性變化狀況，可以事先掌握污染物的移動特性，減低污染對海洋環境的影響。(行政院環境保護署，

2014)

本研究利用挪威 MIROS 公司發展 OSD (Oil Spill Detection) 系統，可利用雷達偵測油污、波浪、海流，針對本次新北石門海域德翔台北貨輪漏油事件，作即時的波高、平均海流觀測以及油污監測，偵測半徑範圍為離岸 2 公里，即時監測結果提供主管單位作應變處理之參考。

二、儀器與方法

2.1 X-band 雷達系統測量之原理

雷達最早應用在軍事用途之偵測上，雷達偵測係對海面上發射電磁波及接收目標物所反射之回波訊號得知所在海域相關資訊，雷達的波段名稱基本上是根据雷達波波長而劃分，為二次大戰所制定，最初使用 23cm 的波長(L-band)來搜索目標物，之後較短波長雷達出現(10cm)，稱為 S-band，後來是 X-band

雷達，波長為 3 cm，屬於定位雷達，其後德國發展了更短波長的雷達，稱之為 K-band，波長只有 1.5cm。(經濟部水利署，2004)

以往 X-band 雷達大多是作為船艦航行安全之用，但此一設備應用於海洋現象研究之潛力絕不容小覷。往昔曾有學者利用各種頻率範圍的雷達電磁波來進行波浪觀測，分析結果確認了 X-band 雷達確實適用於海面波紋之觀測(Mattie&Harris，1978)。

雷達影像的獲得是藉由雷達天線向海面發射電磁波，由於海表面的粗糙不平，造成電磁波產生回波。產生回波的主要機制是由於鏡面反射和布拉格散射(Young et al.，1985)。鏡面反射是指當海面起伏大或波浪大時，大曲面之海面類似鏡面，雷達波射向鏡面產生反射，一般而言，海面粗糙度越大其反射效果越明顯。

並非所有時刻都有大曲面之海面，當海上之波浪並不大時，Crombie (1955)提出了布拉格散射概念，當波動在週期性結構的介質中或沿著浪狀的介面傳遞時，會與介面的幾何形狀或介質的物理結構產生共振而導致全反射，如圖 1 所示，當海面波浪波長為雷達波長一半的整數倍時雷達波就會被強烈的反射回來，雷達測波就是根據此原理收集海面回波。

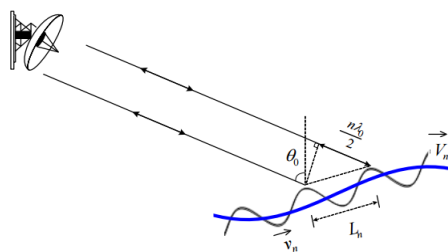


圖 1 雷達波入射水面布拉格共振示意圖

2.2 OSD雷達監測系統設備及性能介紹

本研究是使用國立高雄海洋科技大學海岸水與環境中心所建置的海洋環境雷達監測車如圖2所示，是由8.5噸大貨車配有剪力式昇降架，將雷達天線架設在升降架上，可配合地形即時改變 X 波段雷達天線高度，增加監測距離，當天線高度上升至高於海平面70公尺時，偵測距離最遠可達4公里，OSD 雷達監測系統規格如表1所示，雷達油污監測系統安裝於8.5噸卡車上如圖2，以便迅速於各地點作監測

作業，各系統供電使用柴油發電機供電使得各系統能24小時全天候順利運行。



圖 2 高海科大-海洋環境雷達監測車

OSD 系統可監測波浪與海流，波高偵測範圍最高可達 15 公尺，海流偵測範圍為 0 - 5 m/s(請參考表 1)。依據海洋油污污染監控系統實測結果，若海面上有溢漏 100 公升的油即可被偵測出來，利用 X 波段雷達偵測海面油污回波，配合現地地形與地勢設定雷達觀測高度，適時調整設定參數或方位角度，以取得較具參考性之海洋環境資料。另外，本研究所搭配的雷達天線為 Furuno FAR-2117 如圖 3 所示，其監測性能如表 2 所示。

表 1 OSD 雷達監測波浪與海流規格

技術規格	範圍	解析度	誤差
示性波高	0-5 m	0.1m	± 0.5 m
	5-10 m	0.1m	< 10 %
	10-15 m	0.1m	< 20 %
波浪週期	3.2 - 5.2 s	0.1s	< 20 %
	5.0 - 13.0 s	0.1s	< 10 %
	13.0 - 25.6 s	0.1s	< 20 %
波浪方向	1 - 360 °	1 °	< 20 %
海流速度	0 - 5 m/s	0.01 m/s	± 0.05 m/s
海流方向	1 - 360 °	1 °	± 10 °

(資料來源:MIROS OSD 操作手冊)



圖 3 Furuno 雷達天線示意圖

表 2 Furuno 雷達天線規格

技術規格	範圍
最大輸出功率	12kw
發射頻率	9410±30 MHz
天線轉速	24rpm

(資料來源:Furuno 官方網站)

2.3 監測方法

海洋環境雷達監測車抵達預定監測位置後，需尋找一處地勢平緩且無遮蔽物之地點，確認適合作業後，即可將雷達系統架設，升起雷達天線升降架(如圖4)前，先使用油壓缸控制桿(如圖5)將雷達車之固定腳架伸出，平衡雷達車並保持車體水平，確認無誤後即可將雷達天線升降架升起。



圖4 剪力式升降架



圖 5 油壓缸控制桿

雷達天線架設完成後，即可開始進行監測系統設定如圖 6 所示，起始必須先設定雷達的監測方向(Heading Offset)，雷達電磁波為 360 度發射，在雷達天線上會有一基準點，通常會將雷達參考基準點面向欲觀測的海面，若參考基準點方位與正北順時針方向差 270 度，則 Heading Offset 的值則設為 270 度。監測方向設定完後，設定影像偵測範圍之角度(Sector Size)，通常會設定為 180 度。

Range configuration parameters 為監測距離之設定，Start 為雷達監測最小有效監測距離，距離遠近則需視雷達天線架設高度而定。Interval 為自雷達天線電磁波發射最大有效監測距離。

雷達監測系統參數設定完成後，即可進行 24 小時即時油污、波浪、海流之監測，雷達監測油污影像如圖 7 所示，雷達監測海流與波浪之影像如圖 8 所示。

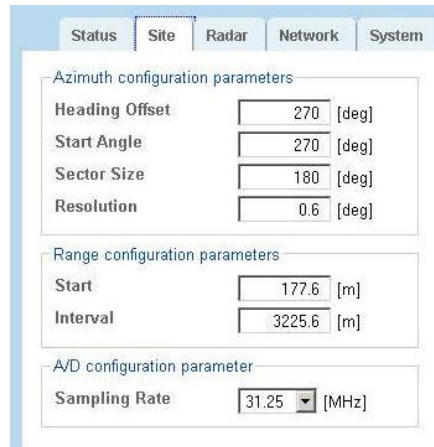


圖 6 雷達系統參數設定頁面

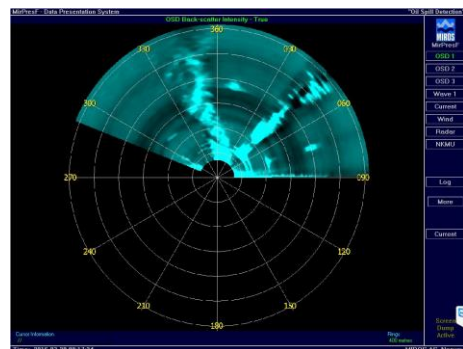


圖 7 雷達監測油污之影像



圖 8 雷達監測海流與波浪之影像

三、結果與討論

105/03/10 09:18 於新北市石門外海 0.3 海浬處 (坐標 25°18'0.0"N, 121°34'0.0" E)，發生德翔臺北貨輪擱淺事件，本研究團隊接獲環保署通報便立刻備便海洋環境雷達監測車，並開往事故現場，完成架設後，即開始進行監測作業，OSD 雷達監測位置如圖 9 所示 (坐標 25°17'51.3"N, 121°34'23.8" E)，監測期間 24 小時人員輪值，波浪、海流及油污監測時間為民國 105 年 3 月 11 日至 5 月 11 日。



圖 9 OSD 雷達與富貴角浮標監測位置

3.1 波浪、海流、風監測結果

為了探討雷達監測系統的可靠性，圖 10 為富貴角資料浮標與 OSD 雷達監測結果，顯示兩者結果趨是一致的，兩種資料散佈圖結果如圖 11 所示，顯示兩者相關係數達 0.79，表明兩者結果有良好的相關性。

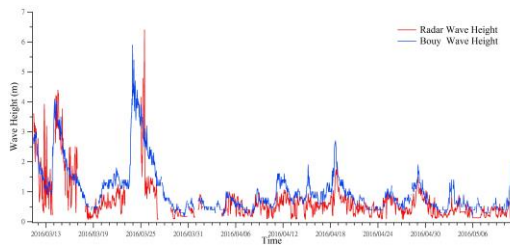


圖 10 OSD 雷達與富貴角浮標波高監測之結果 (105/03/11- 05/11)

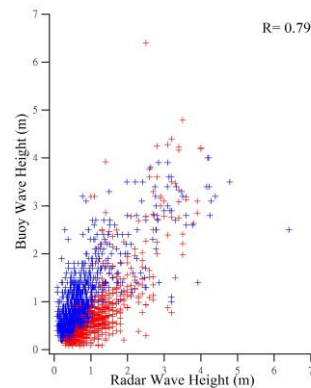


圖 11 OSD 雷達監測波高結果與浮標波高散佈圖

Miros OSD 雷達監測與潮位顯示的結果以 2016/04/06-04/09 為例，圖 12 與圖 13 顯示當時的潮位狀態，可比對漲退潮時流速與流向的變化，潮位資料為中央氣象局在麟山鼻所設置的潮位站所提供，分析結果顯示，在漲潮及退潮期間流速較大，而在高潮及低潮期間流速相對較小，在流向與潮位比對上，漲潮期間，流向介於北至西北之間，退潮期間，流向介於東至東北之間，其監測之流向變化與當地海域潮汐特性相符。

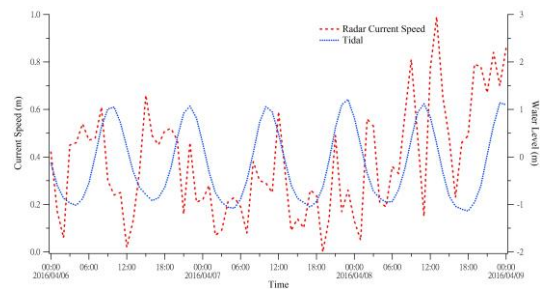


圖 12 OSD 雷達監測流速與潮位比對結果

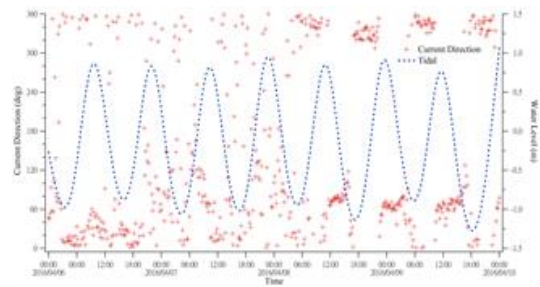


圖 13 OSD 雷達監測流速與潮位比對結果

以 2016/03/24-03/26 為例，OSD 雷達監測與 HydroMap 模式模擬流速結果如圖 14 所示，由圖中比對結果，顯示流速趨勢一致，惟此次模擬過程只有模擬八個分潮，有可能造成部分時間流速高估的情形。

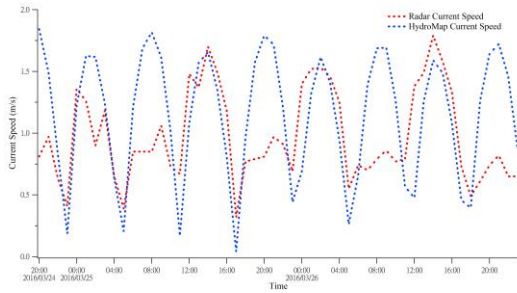


圖 14 OSD 雷達監測流速與模式流速比對結果

3.2 油污偵測結果

Miros OSD 雷達監測系統在油污監測方面，可每五分鐘產出半徑約 2 公里的油污分布影像，能夠即時掌握油污位置及未來可能漂移的行進軌跡。在監測期間，為了更能掌握海洋油污擴散應變時效，使用行動應用程式(LINE)逐時回報監測作業結果予環保署緊急應變相關人員，另外在作業期間，每日至少製作一份油污 OSD 監測報告提供給環保署做應變處理參考，直到環保署指示結束為止。同時，國立中央大學太空及遙測研究中心亦支援油污監測作業，使用福爾摩沙衛星 2 號及無人飛行載具(UAV)取得影像，並提供同一時間 OSD 油污監測系統資料之比對來驗證 OSD 系統之可靠性，不同油污監控功能比對如表 3 所示。

表 3 不同油污監控功能比對表

	OSD	衛星航拍	UAS
作業時長	24 小時連續監控。	衛星軌道行經事故位置時提送影像。(每 1-2 天取得)	單顆電池約可拍攝 20 分鐘。
干擾因素	若風雨達颱風或暴雨等級，雷達回波干擾較大，影響判釋結果。	雲層遮蔽與夜間無法進行監控。	風雨過大及夜間時不建議進行監控作業。
影像成像	每 5 分鐘產生一雷達回波圖，可進行即時油污監測作業。	影像處理時間需耗費較長時間。	最佳影像可達 4K 畫質，可採用錄影或拍攝照片兩種方式。

OSD 偵測系統在 105/03/29 上午 8:17 時，油污偵測影像發現德翔台北貨輪有油污滲出的情形如圖 15 所示，圖中顯示油污在船體的西側，於上午 09:57 時，油污繼續向船體西側方向飄移(圖 16)，於下午 12:27 時，受潮汐及海流變化影響，油污轉往東側飄移(圖 17)。

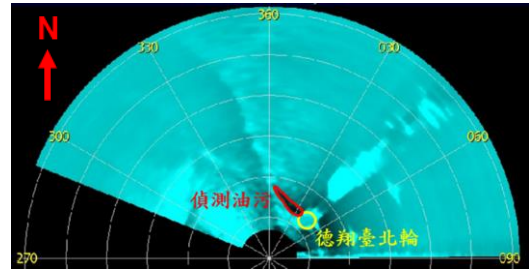


圖 15 Miros OSD 偵測影像 105/03/29 上午 08:17

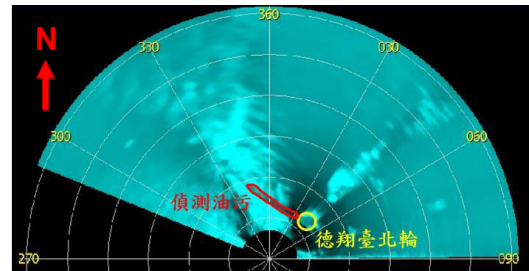


圖 16 Miros OSD 偵測影像 105/03/29 上午 09:57

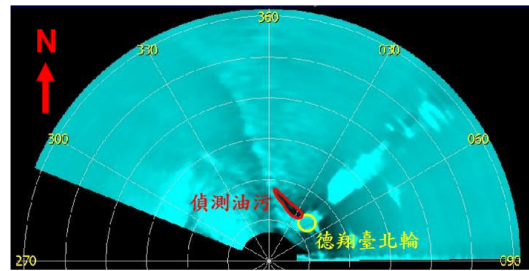


圖 17 Miros OSD 偵測影像 105/03/29 上午 12:27

國立中央大學福衛 2 號的衛星影像圖，在國立中央大學福衛 2 號的衛星影像圖，在 105/3/29 上午 10:03 時，發現船體西、東兩側有油污污染現象，油污為較薄的銀白色油花，西側最遠至富貴角外海，東側最遠至核一電廠出水口處如圖 18 所示。

此外在相似時間點國立中央大學的無人飛行載具(UAV)，所拍攝的空拍影像如圖 19 所示，可明顯判釋出有油污從船體滲出的情形，並朝西側方向飄移，此結果與 Miros OSD 所偵測的油污影像位置一致，UAV 作業易受天候及能見度所限制，且時間有限，而 OSD 雷達偵測油污可 24 小時持續監測，能有效掌握油污狀況。

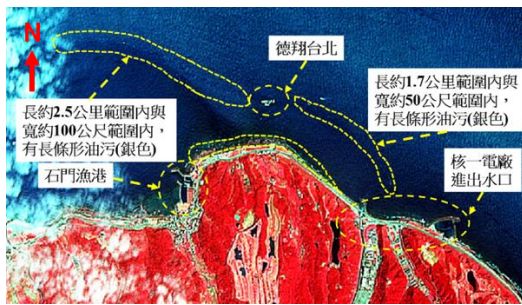


圖 18 油污染全區衛星影像圖 105/03/29 上午 10:03



圖 19 UAS 空拍影像 105/03/29 上午 10:08

四、結論

本文研究結果證實了 Miros OSD 雷達監測系統具有觀測近岸海域波浪、海流及油污變化之能力。Miros OSD 觀測波浪的結果與現場浮標結果趨是一致的，相關係數達 0.79，雷達觀測平均示性波高 0.66(m)、浮標觀測平均示性波高 1.06(m)。在海流監測方面，雷達所觀測之海流變化與當地海域潮汐特性相符，Miros OSD 雷達與 HydroMap 模式的海流比對的趨勢也一致。OSD 雷達監測期間發現在船體西側有油污存在並朝西方飄移，在同一時間衛星與 UAV 空拍影像中也可明顯判釋出船體西側有油污洩漏之情形。

謝誌

本文係行政院環境保護署委辦之「海洋污染緊急應變科學支援暨監控專案工作計畫」計畫部分成果，謹致感謝。

參考文獻

1. 行政院環境保護署(2014)「海洋污染緊急應變科學支援暨監控專案工作計畫」，行政院環境保護署，專案報告。

2. 經濟部水利署 (2004) 「雷達測波監測系統建立之研究」，經濟部水利署，計畫報告。
3. Mattie, M.G., Harris, D.L. (1978) "The Use of Imaging Radar in Studying Ocean Waves," In: Proc.16th Coastal Eng., ASCE, pp.174-189.
4. R.Gangeskar,E.Nøst(2004) "Oil spill detection system: results from field trials October 2004," WIT Transactions on Ecology and the Environment, Vol 88,pp. 377-386.
5. Crombie, D.D., 1955. "Doppler Spectrum of Sea Echo at-13.56 MHz,"Nature, 4459, 681-682.
6. Young, I.R., Rosenthal, W., 1985. "A Three-Dimensional Analysis of Marine Radar Images for the Determination of Ocean Wave Directionality and Surface Currents," Journal of Geophysical Research, 90 (C1), 1049-1059