

一個朝向作業化營運前進的環臺岸基雷達測流系統

賴堅成¹ 林昆毅¹ 陳思樺¹ 黃郁軒¹ 廖建明¹ 楊文昌¹

財團法人國家實驗研究院 台灣海洋科技研究中心¹

摘要

國家實驗研究院台灣海洋科技研究中心以「台灣四周海域表層海流即時觀測平台」發展計畫自 2009 年至 2012 年初完成台灣周遭海域 15 座岸基高頻雷達測流系統 (Taiwan Ocean Radar Observing System, TOROS) 觀測站網建置。TOROS 團隊依據國內外專家學者建議,自 2013 年 7 月至 2014 年 12 月間分三階段分別對台灣西南、西北及東部海域,以各站歷年之觀測品質狀況進行系統微調及校驗,期改善系統品質及穩定度,期望本中心所維運之表層海流觀測研發服務平台能成為作業化之前瞻科研平台,達成支援具在地價值之海洋科技前瞻學術研究之使命。

為期 18 個月的系統品質改善計畫以提升測流系統穩定度與可信度以及擴大平台資料使用者為目標,根據系統現況擬定之策略則為從系統硬體、徑向流速、合成海流三個面向進行檢討與調整,並透過參與支援學界海洋科研工作、海巡署海難搜救事務、國家公園海域遊憩風險管理等方式來確保改善計畫持續在朝向使用者需求的方向上。除了硬體及系統參數的最佳化外,TOROS 團隊更著重 5S 作業紀律之建置與要求,並導入 5W2H1E1R 專案執行思維,提升成員素質及經費執行效益,朝向作業化系統營運團隊前進。

透過上述目標、策略及方法的追蹤管理與執行,台灣西南海域各測站於 2014 年上半年之逐時徑向流速資料產出率達到 78% 以上,各測站於日間未受電離層干擾時之資料產出覆蓋面積較 2012 年同期擴大 5% ~ 55% 且合成海流探測面積擴大約 6,383 km²。TOROS 團隊更據此擬定系統兩項品質指標,即系統硬體額定空間覆蓋範圍與測流資料逐時產出率之百分比,初期以 70/70 之系統目標開始,並期望隨著團隊成員維運技術能量提升、上線系統增加及關鍵備品補充後,於未來五年內逐步達成 90/90 的目標。

關鍵字：高頻雷達測流系統、資料品質、作業化

一、前言

為加強監測台灣周遭海域之海流海象等海洋環境資訊,國家實驗研究院台灣海洋科技研究中心以科技部委辦之「台灣四周海域表層海流即時觀測平台」發展計畫自 2009 年起陸續於台灣本島建置環臺岸基高頻雷達測流系統 (Taiwan Ocean Radar Observing System, TOROS),截至目前為止已建置 15 座觀測站網,並預定於 2014 年初於東北角海域新增測站,初步達成環臺測流之目標。

TOROS 系統依據國內外專家學者建議,自 2013 年 7 月至 2014 年 12 月間分三階段分別對台灣西南、西北及東部海域,以各站歷年之觀測品質狀況進行系統微調及校驗,改善系統品質及穩定度,期望海洋中心所維運之表層海流長期觀測研發服務平台能成為作業化之前瞻科研平台,達成支援具在地價值之海洋科技前瞻學術研究之使命。

本文旨在描述 TOROS 平台朝向作業化營運前進的系統改善計畫及其初步成果,期能成為支援國家海洋事務及海洋科學研究的有力後盾。

二、系統改善計畫

為期 18 個月的系統品質改善計畫以提升測流系統穩定度與可信度以及擴大平台資料使用者為目標,根據系統現況擬定之策略則為從系統硬體、徑向流速、合成海流三個面向以及參與支援學界海洋科研、海巡署海洋搜救事務、支援海域遊憩風險管理等議題推進,並擬定包括 1.調整測站天線系統及天線場型量測方式,提升訊號品質及系統穩定度; 2.統計徑向測站產出並訂定一階峰參數設定方式,改進各測站之訊號分析品質; 3.統計中控站海流合成產出及合成參數最佳化,提高海流資料可信度; 4.建立資料品管程序、資料展示介面及資料釋出辦法; 5.作業化團隊的紀律與專案執行思維的精神內化等五大方向進行,以下分別就重點工作進行描述:

天線環境與天線場型優化

TOROS 平台所選定之高頻雷達測流系統為基於方向偵測 (Direction Finding) 演算法之交叉回圈 (cross-loop) 單指向性天線系統,相較於陣列式雷達

系統而言，雖然系統建置所需空間較小、維護容易，然而亦存在著對於環境背景噪訊干擾較敏感且方向判別精度較差等弱點。因此除了去除潛在影響接收天線之環境干擾，電磁環境之天線場型亦是影響訊號品質的重要因素，改善計畫的工作重點即在天線場型量測 (Antenna Pattern Measurement, APM) 作業的調整，透過船測 (bAMP)、步測 (wAPM) 等方式量測各測站之天線場型找出最佳解。圖1即為墾丁南灣地區測站步行式天線場型量測作業情形。

根據最近1年間對於西部測站進行天線環境改善及場型量測作業調整的結果顯示，各測站系統的產出效益不論在空間覆蓋率及產出之時間穩定性都得到顯著的提升，以位於台南七股之 PETI 站於2013 年第四季改善後之資料產出率指標與去年同期相比較，即可明顯看出其差異 (如圖2所示)。



圖1. 步測式天線場型量測 (wAPM) 作業

站位	PETI	
APM		
	2012/5/11	2013/10/29
Bearing	235° ~ 343°	150° ~ 30°
角度 (°)	108	240
覆蓋面積 (km ²)	3372.89	7495.31
改善狀況 (%)	122.2	
資料產出率		

圖2. 天線環境及場型量測改善對資料產出之影響

徑向資料品管流程建置

經過一連串的嘗試錯誤及學習後，TOROS 平台各徑向測站之測流資料於圖3之流程中導入資料品管機制，最重要的工作即為定常性的逐月資料統計，包含有空間與時間不確定性 (Spatial and Temporal Uncertainty)、徑向流速之極值與平均值 (Velocity Max., Min and Average)、空間與時間產出計數 (Spatial and Temporal Count) 等項目。

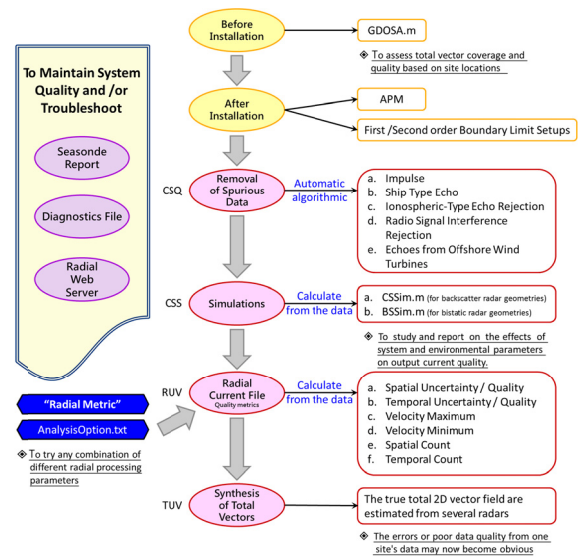


圖3. TOROS系統現行徑向流速產出流程及品管機制

在歷史資料的統計數據支持下，並建立了一、二階譜峰參數設定 (First/Second order Boundary Limit Setups) 的依據，確保海流、風及波浪訊息由後向散射回波 (backscatter) 交錯譜中被正確萃取出來。如圖4中綠野站之 CSS 交錯譜顯示，在經過系統譜峰參數設定調整後之綠野站，已可由系統根據參數及運算規則自動框定代表表層海流資訊的一階峰範圍 (如圖4上之白線或圖4下之紫線)，對於正確產出徑向流速及方向偵測都有一定的可信賴度。

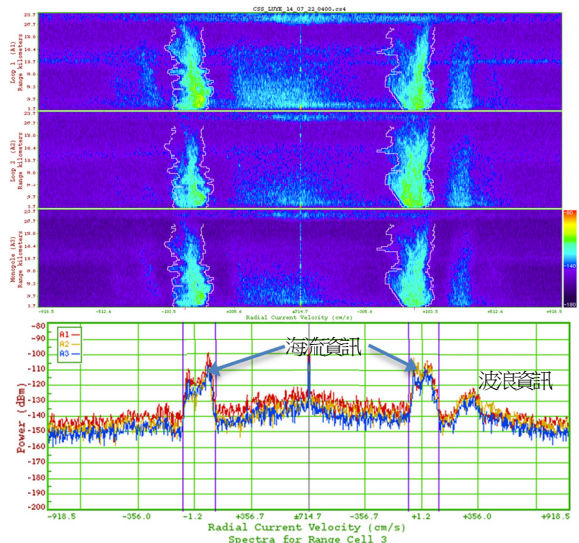


圖4. 正確框定海流資訊之譜峰參數設定成果例

除了上述以月為時間尺度的資料品管流程，TOROS 系統亦建置一即時系統狀態監控網頁，團隊成員可隨時隨地連線檢視環臺 15 座測站之系統硬體狀態或資料產出情形，以圖5為例，SUHI 站之資料覆蓋範圍 (Max_Range_km) 已降至 0 公里，即無徑向流速產出之意，此時可注意到發射機已停止運作 (Transmitter_Forward_Power_W 為 0)，因此進一步連接測站系統後，即可從遠端診斷此問題。此外，

亦參考 NOAA MARACOOS 之即時測站性能檢查法 [4]，正積極建置基於徑向流速覆蓋範圍 (coverage)、徑向方位 (radial bearing) 以及徑向速度進行整體平均之調和分析預報，作為即時檢出系統資料品質異常之參考依據。

Parameter	HOPE	LUYE	SHA	SUH	HOWN	CHIO	PETI	TWIN	TUTL	DATN	LUK
Last_RDLI_Short_Name	16,2200	13,1600	13,1600	13,1600	10,2200	13,1600	13,1600	13,1600	13,1600	13,1600	13,1600
Last_RDLI_Age_Hours	606	9	9	9	606	9	9	9	9	9	9
Last_RDLI_Short_Name	16,2200	13,1600	13,1600	13,1600	06,0200	13,1600	13,1600	13,1600	13,1600	13,1600	13,1600
Last_RDLI_Age_Hours	606	9	9	9	606	9	9	9	9	9	9
Root_Disk_Available_GB	38	111	69	128	113	119	166	96	71	262	110
Archive_Disk_Available_GB	12	38	30	102	102	102	102	102	102	102	102
Computer_Runtime_Hours	12	38	30	102	102	102	102	102	102	102	102
Max_Range_km	102.4	102.4	102.4	102.4	102.4	102.4	102.4	102.4	102.4	102.4	102.4
Radial_Vector_count	12	38	30	102	102	102	102	102	102	102	102
Receiver_Chassis_Temperature_DegC	38	38	38	38	42	42	42	42	38	38	38
Receiver_AWG_Temperature_DegC	38	38	38	38	42	42	42	42	38	38	38
Transmitter_Chassis_Temperature_DegC	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38
Transmitter_Amplifier_Temperature_DegC	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38
Transmitter_Forward_Power_W	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Transmitter_Reverse_Power_W	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Loop1_Phase_Deg	1752	1652	1652	1652	1652	1652	1652	1652	1652	1652	1652
Loop2_Phase_Deg	1752	1652	1652	1652	1652	1652	1652	1652	1652	1652	1652
Monopole_SNR_dB	112	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116
Sentinel_Log_Failures	84	3	8	47	145	71	8	23	83	1	268

圖5. 即時系統狀態監控網頁例

中控合成流場品管流程建置

位於海洋中心總部之 TOROS 中控站逐時透過網路自各徑向站抓取資料後，依據設定之格網及徑向資料搜索半徑逐一解算各格點之合成流場。系統所產出之各整點合成海流資料具有時間延遲，此乃因各徑向測站之整點徑向流速時間涵蓋達 155 分鐘，再加上合成 15 測站所需之運算時間約 20~30 分鐘，因此各整點合成海流之實際產出時間約延遲了 2 小時，此為高頻雷達測流系統被稱之為近即時 (near real-time) 觀測系統原因所在，又在空間解析方面，目前合成海流之系統格網間距為 10 公里，搜索半徑 15 公里範圍內來自各測站之徑向流速進行合成，有關合成海流產出之空間與時間意義如圖6所示。有關空間與時間的解析，已預定自2015年起將徑向流速時間涵蓋縮短為 90 分鐘而合成海流格網縮小為 5 公里，以提高資料的可應用性 [3]。

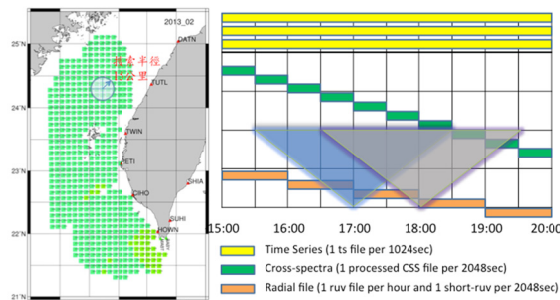


圖6. 現行合成海流產出之空間與時間意義

由於高頻雷達的表層海流係由兩組以上的徑向測站提供徑向流速再經過最小二乘法演算而得，因此某空間格網上之徑向測站貢獻數量越多則可提升因分量合成之表層海流可信度，因此有關合成流場之資料品質管理，TOROS 亦建立了定常性的徑向測站對各合成海流格網貢獻度統計與合成海流格網之海流資料產出率統計，分別如圖7及圖8所繪之範例所示，此類品管資訊除了可以提供測流品質之依據，亦可作為測站配置適當與否之重要指標。

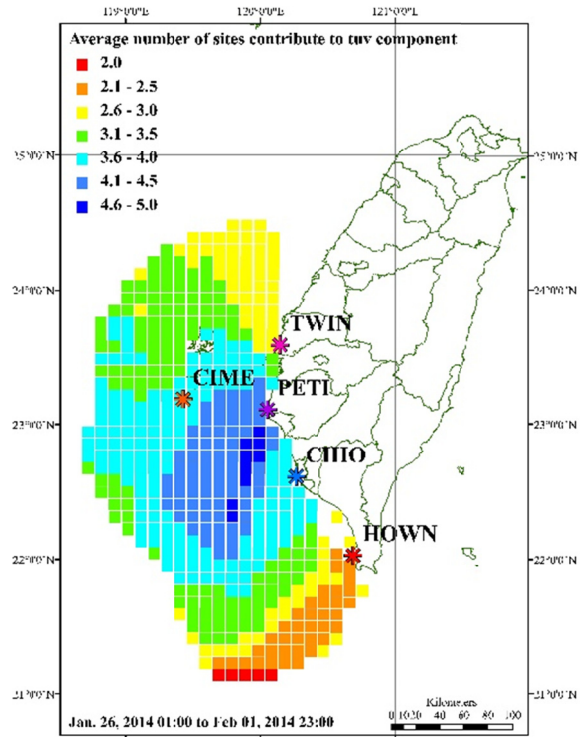


圖7. 徑向測站對合成海流各格網貢獻度統計圖例

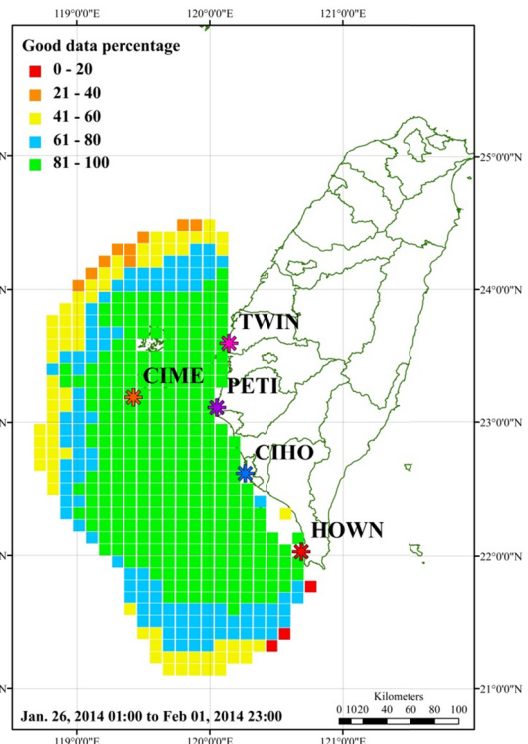


圖8. 合成海流格網之海流資料產出率統計圖例

此外，在 TOROS 平台所使用之 CODAR SeaSonde 高頻雷達測流系統中，代表空間向量合成精確度之幾何精度因子 (Geometric Dilution of Precision, GDOP) 之 DistanceAngularLimit 參數，目前參考其他國家之設定值以較保守設定方式訂為 30，預定將來待環臺測站完成建置後再對 TOROS 系統進行此項參數的整體評估分析。

作業化精神的內化

作業化的海洋觀測模擬系統旨在提供持續的、長期的、且俱有區域甚至全球尺度特性的海洋環境數據，因此系統之空間尺度 (Coverage)、即時性 (Timelines) 以及一致的程序與標準 (Agreed procedures and standards) 是必須視儀器系統及區域特性被定義清楚以符合需求 [2]。TOROS平台是以前瞻科學研究目的為出發所建置的研究觀測平台，隨著任務的擴展使用者需求也有所改變，然而，作業化觀測平台的營運管理除了設備的優化與自動化更應重視維運團隊成員的紀律及專案執行力。

因此，在 TOROS 的改善計劃中，嘗試推行5S法 [1]，即「整理」(Sort)、「整頓」(Straighten)、「清掃」(Shine)、「清潔」(Standardise)和「素養」(Sustain)等5個「S」，使成員在作業環境及作業流程上時時謹記「分類處理」、「定量定位」、「清潔檢查」、「訂定規格」和「守紀守法」的原則。透過於日常工作環境中推行 5S 法，不僅僅是作業環境變得整齊清潔，更讓人值得一提的是透過內化的紀律使得改革的動能得以在有效的監督與測量下持續改進，擬定的作業流程更為流暢有效率，同時亦達到提升作業安全的目的。

有鑒於 TOROS 平台為科技部以公務預算委辦計畫形式資助的系統，為改善預算執行效能團隊成員並導入 5W2H1E1R 的專案執行思維，即「目的」(What)、「原因/機會」(Why)、「想法/方法」(How)、「地點/範圍」(Where)、「參與對象/執行人員」(Who)、「時間/期程」(When)、「費用」(How Much)及「效益」(Effect)與「風險」(Risk)。成員間透過此一簡單清楚的思維邏輯，相互提醒練習，對於大大小小的專案進行規劃與執行，不僅使得每位成員的工作素質能達到一定的程度，協同工作更為順暢，更因為時時思考著每件專案的效益與風險，也使得公務預算的執行效益、效率得以符合甚至超過預期。

三、改善初步成果及問題討論

根據前述對維修及徑向、合成資料品管等高頻雷達測流改善計畫的初步執行成果，於 2014年上半年之系統維運及資料產出統計如表1所示。在全台15座測站中，多數的系統達成 70% 以上的運作及產出，其中 PETI、HOWN、BABY、LIUK、TUTL、LILY 及LUYE 等七站更是連續運作 4344 小時。探究資料產出率低於 70% 的 DATN、CIAO 等站之原因，分別為位於桃園大潭電廠防波堤的 DATN 站因電力管線遭疏濬作業機具破壞以及位於基隆潮境的 CIAO 站因接收天線故障但備品不足而無法即時修復，其他幾個測站發生運作中斷的原因則是訊號線

遭老鼠或其他外力破壞、GPS 故障、控制電腦當機、APM 作業等因素，但維運團隊多能在備品充足的情況下儘速修復克服。基於上述系統因公共基礎設施停止服務或觀測系統元件故障等因素而使得徑向測站被迫離線的慘痛經驗，在經過訪問其他作業化系統團隊討論有關測站維運所需備品數量後，TOROS 平台將依據過去數年之損壞部品統計，於未來數年中逐漸朝向運作系統總數之 1/4~1/2 的備品來準備，使得維修及復原效率都得以提升；另一方面將針對電力系統較不穩定的測站 (如 SUHI、LUYE、CIAO 等站) 增加備援電力的方式 (如擴充不斷電系統電瓶數或增加發電機) 縮短長期觀測平台停機時間。

表1. 2014年上半年資料產出情形統計表

測站		第一季	第二季	上半年
西南	TWIN	100%	94%	97%
	PETI	100%	100%	100%
	CIHO	98%	72%	85%
	HOWN	100%	100%	100%
南部	BABY	100%	100%	100%
	MABT	85%	71%	78%
西北	LIUK	100%	100%	100%
	DATN	36%	100%	68%
	TUTL	100%	100%	100%
北部	CIAO	85%	51%	68%
	LILY	100%	100%	100%
東部	HOPE	100%	77%	88%
	LUYE	100%	100%	100%
	SHIA	98%	99%	99%
	SUHI	99%	86%	93%

根據 2014 年初以加掛 1 公尺拖曳傘之漂流浮標於台南至澎湖間海域之漂流軌跡與 TOROS 合成海流模擬漂移之比較結果顯示，測流系統尚稱能掌握潮汐漲退的流速流向變化特性，若用於推算海表面漂流物在 14 小時內之推移偏差仍在流場格網解析度 10 公里以下，應已俱有一定應用價值；另一方面，各測站更詳細的比對仍在逐一進行，將進一步找出徑向測流誤差較大之測站進行評估調整。

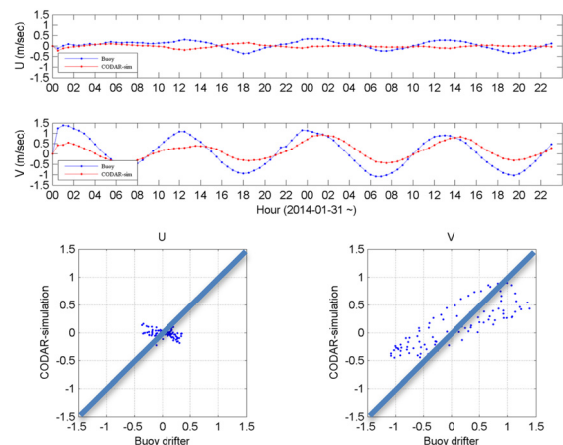
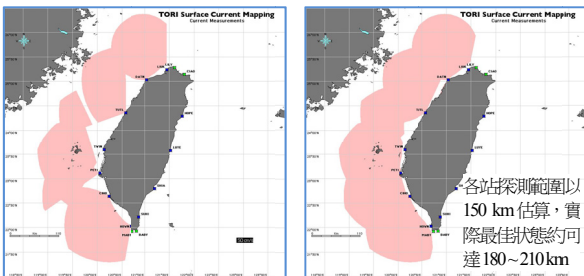


圖9. 西南海域海流驗證結果例



2012年底探測面積69,495km² 2014年中探測面積78,645km²
圖10. 西部海域7座長距型系統測流面積改善情形

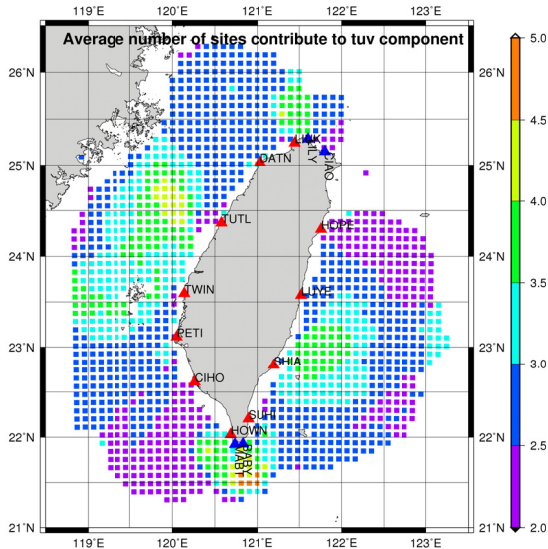


圖11. 環台15座徑向測站對合成海流各格網貢獻度

透過上述目標、策略及方法的追蹤管理與執行，台灣西部海域 7 座長距離型測站於 2014 年上半年之逐時徑向流速資料產出率達到 92% 以上，各測站於日間未受電離層干擾時之資料產出覆蓋面積較 2012 年擴大 5% ~ 55%，因此使得合成海流探測面積擴大約 9,150 平方公里，如圖10中所示。

由於高頻雷達測流系統產出空間格網上任一點之海流資訊需要由至少 2 座徑向測站提供資訊，因此對於作業化系統而言，為使得資料產出範圍的穩定性得以維持，站網之規劃應更著重在其相互支援性，對 TOROS 系統而言意即各格網點之徑向測站貢獻度最好能達到 3 站以上。圖11為改善計畫推動後2014年3月間，環台 15 座徑向測站對合成海流各格網之流速合成貢獻度，根據實際觀測品質的統計結果，未來將進行系統增設與調整以提供更穩定、更精準的表層海流觀測資訊。

在平台服務及推廣方面，TOROS 團隊於 2014 年 1 ~ 4 月間於澎湖七美嶼進行臨時架設，除評估離島測站對測流品質之影響外，並且因測流範圍之穩定度提升，資料得以支援國內海洋學研界及美國科學家於台灣西南海域進行海洋科學調查研究；在另一方面，2014 年 6 ~ 11月間於墾丁南灣進行臨時架設，並與海洋中心海象模擬平台 (Taiwan Ocean Prediction System, TOPS) 共同評估前瞻科研觀測與

模擬系統於灣岸地區之運作特性，同時並與墾管處就南灣海域遊憩風險管理以及海巡署優化海難搜救系統進行合作的可應用性能評估。圖12即為南灣測試作業期間所架設之專屬資訊交換平台，提供了墾丁周遭海域的風波流觀測與預測資訊以及南灣海灘之即時影像。海洋中心的跨平台整合團隊正嘗試將前瞻科研成果與產官學研界分享，甚至轉譯成普羅大眾所能理解的資訊，並透過使用者分析進行調整，發揮其在地價值。

除了海流觀測的系統與資料品管程序的建置，TOROS 團隊亦開始著手就 CODAR® SeaSonde® 系統之副產品一波浪觀測之實用性進行參數設定的分析討論，目前以 24MHz 標準型於南灣架設臨時測站(NAWA) 並且將風波流之觀測結果與水利署鵝鑾鼻浮標進行比對，藉以評估後續在風向及波浪觀測的應用可能性，目前為止初步比較波高及波浪週期之結果如圖13所示，TOROS 團隊將持續進行參數的調整以優化觀測品質。



圖12. 墾丁南灣海域觀測與模擬整合資訊交換平台

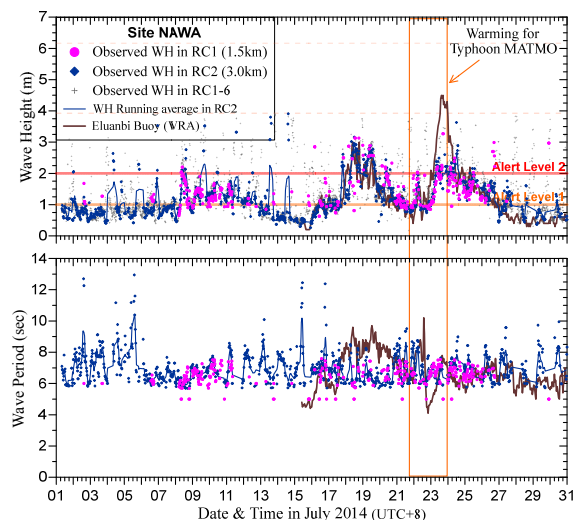


圖13. 南灣高頻雷達臨時站與水利署鵝鑾鼻浮標之波浪觀測時間序列比較圖

四、結論

隨著 TOROS 團隊成員對於系統熟悉度提升以及系統硬體、參數設定的優化與資料品管程序的建立，我們預期將在 2015 年初新增位於台灣東北角之 SDGO 測站後迎來作業化環臺岸基雷達測流的新時代 (見圖14)。

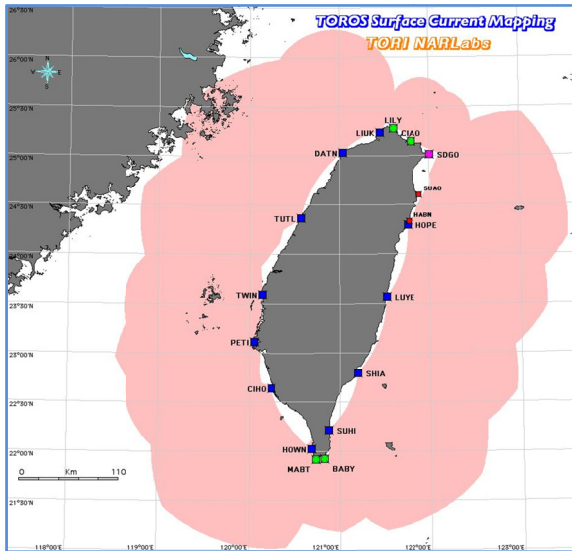


圖14. 新增東北角SDGO站後之測流覆蓋範圍

TOROS 系統自 2015 年度起將參考美國整合觀測系統 (NOAA IOOS) 之高頻雷達測流系統訂定測流資料產出達系統硬體額定範圍之百分比與測流資料逐時產出率百分比兩項指標，訂定出 70/70 之系統目標，期望在團隊成員維運技術能量提升及補

足系統備品後，並於未來五年內逐步達成與美國系統相同之 90/90 目標。

國研院海洋中心目前正積極整合 TOROS 平台、衛星遙測資料處理與另一個作業化平台—海象模擬平台 (TOPS) 的研發成果，並朝向將衛星遙測與近即時表層海流觀測資料同化至波流耦合之預測模式中，預期將可提高台灣周遭海域海流、海象之觀測與預測模擬能量。

參考文獻

1. 廖兆旻, 2006: “SS整理整頓活動之意義與管理功效”, 品質管制月刊, 第32卷第12期, 78-79
2. Chassignet, E. P. and J. Verron (eds.), 2006: Ocean Weather Forecasting: an integrated view of oceanography, Chapter 8, Springer, Netherlands, 207-227
3. Lee, C.W., Y.H. Huang, S.H. Chen, Y.C. Lu, S.H. Chen and J.W. Lai, 2014: “A series of parameters tune on SeaSonde system in south-western of Taiwan and its effect on the precision of trajectories simulation”, The Second Ocean Radar Conference for Asia-Pacific, O-05
4. Lisa Hazard and Hugh Roarty, 2014: “HF Radar Network Data Management and Applications”, GEO meeting in the Second Ocean Radar Conference for Asia-Pacific.