

# 台灣四周海域表層即時觀測平台

## The surface of the near sea real-time observation platform in Taiwan

主管單位：國家實驗研究院台灣海洋科技研究中心

楊文昌<sup>1</sup> 賴堅戌<sup>1</sup> 林昆毅<sup>1</sup> 陳少華<sup>1</sup> 王雅真<sup>1</sup> 龔國慶<sup>1</sup>

Yang, Wen-Chan Lai, Jian-Wu Lin, Kun-I Chen, Shao-Hua Wang, Ya-Jen Gong, Gwo-Ching.

<sup>1</sup>台灣海洋科技研究中心

### 摘要

本計畫為台灣四周海域表層即時觀測平台，透過在台灣四周沿岸建置高頻雷達測流系統，對台灣四周海域之表面海流進行長期觀測，已完成環台 11 座長距離高頻雷達站及 4 座標準型高頻雷達站。首先就高頻雷達監測表面海流之原理進行簡單的介紹及其架設環境條件。雷達站建置完成後，需進行天線場型測量(Antenna Pattern Measurement)，以得知當地背景電磁環境之下的接收天線場形，進而提升接收天線判斷雷達波入射方向之準確度。為了解雷達遙測之海洋表面流速之準確性，於 2012 年夏季施放 6 個表面漂流浮標於台灣東部，經由軌跡追蹤分析漂流速度並與高頻雷達量測的結果分析得到之流場進行比較，以初步確保高頻雷達測流資料之合理性。由高頻雷達流場分析可見，黑潮於蘭嶼與綠島間形成兩個主要分支，一則沿台灣東岸北流；另一則往東北東轉向外海北流。在 23°N, 122.4°E 附近有間歇性環流現象，強弱與黑潮外海分支的消長呈現相關性，間接影響黑潮整體向北的傳輸量。

**關鍵詞：**高頻雷達、表面流場、浮標、黑潮、漂流軌跡

### Abstract

The main purpose of this project is going to establish an instant observation platform for long-term monitoring surface current characteristics around Taiwan. Hence setup of HF radar system was implemented and distributed along the costal area of Taiwan. Up to date we have already finished 15 radar stations, including 11 long-range and 4 standard-range radar sites. Before starting operation of each radar stations, conduction of Antenna Pattern Measurement (APM) should be performed. Such that, the receiver antenna pattern corresponding the local electromagnetic background can be detected, and then the calculating accuracy of the radar incident wave direction from receiver antenna can be enhanced.

In order to ensure the accuracy of surface current detected by the HF radar, the verification was performed by throwing 6 GPS drifter into the eastern sea of Taiwan on

2012 summer. Then the reliability of HF radar measurement can be made sure through comparisons of trajectory approach and analysed velocity between drifters and HF radar measurement. Form the results of observed current data analysis it is found that Kuroshio bifurcation appears between Orchid Island and Green Island. One branch of Kuroshio flows northward along the eastern coast of Taiwan, and another branch flowing turns to east-northward to the open ocean. Also an intermittent circulation phenomenon is detected at the location with coordinate  $23^{\circ}\text{N}, 122.4^{\circ}\text{E}$ . It seems that the strength of such a circulation has a correlation with the latter branch of Kuroshio, and the northern flux of Kuroshio may be affected indirectly.

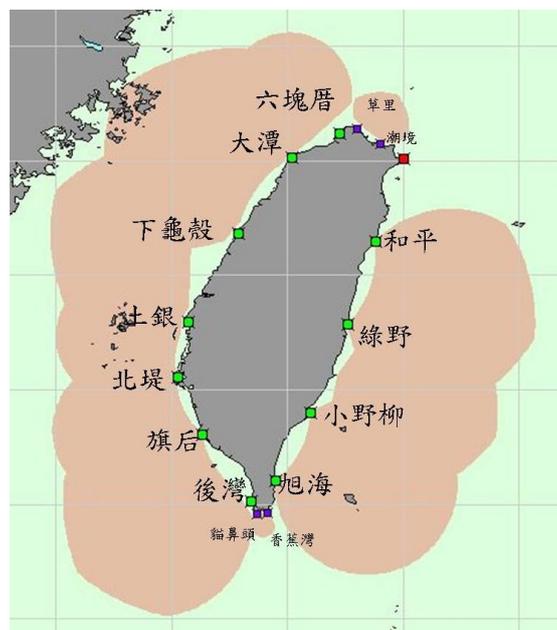
**Keywords : high-frequency radar, surface current, buoy, Kuroshio, drifting track.**

## 一、前言

台灣四周海域表層海流即時觀測平台之建立，係透過在台灣四周沿岸建置高頻雷達測流系統，對台灣四周海域之表面海流進行長期觀測，以期將產出之表面海流觀測資料提供產、官、學各界之應用。例如系統的產出可供學研單位對環台海流之學術研究之用，而觀測成果在結合其他觀測系統及數值模式的輔助後預期可於海域防災、救難、海洋污染防治、航運安全、海洋遊憩等應用上提供參考資訊，上述的應用顯示本計畫之執行能夠符合「推廣與擴散海洋科學與技術研發成果應用以富利民生」的目標。另外，實測之表面海流資料，藉由資料同化與風場校正，可提供數值模擬預測運算的精準度，進而建立台灣四周長期海流資料庫，可作為國家海洋政策之重要參考依據，達到「促進海洋國家永續發展」的標的。

## 二、研究地區與研究方法

本計畫已完成台灣本島沿岸架設15座高頻測流雷達站，期間考量雷達站之安全間距80~100公里以下，歷經規劃全台測站點位，並實地勘察各雷達站環境地形及可測量視角，建置所在地的取得及設置地點安全性等。建置如圖1所示之11座長距離雷達站點(綠框處)，因台灣南北端海岸線地形變化較大，兩站間距離短，標準型雷達觀測此海域的效益較高，因此規劃南北各二組標準型雷達站(紫框處)，以提供北部金山萬里海域遊憩區、南部墾丁海域遊憩區域及南北重要漁場近即時測流資料。而台灣東北角海域測流缺口，則由海軍官校建置二站長距離高頻雷達系統進行海流量測，目前正討論合作機制共享測流資料，使得台灣四周海域完整的近即時表面海流資料指日可待。



圖一 測流雷達站分佈與測量範圍圖

### 2.1 高頻雷達測流原理

雷達 (RADAR) 為英文 Radio Detection and Ranging (無線電偵測和定距) 的縮寫，其作用原理為將電磁能量以全向性的方式發射至空間之中，藉由接收空間內存在物體 (稱『目標』) 所反射之電磁波，可以計算出該物體與雷達站之間的方位、距離及速度。台灣海洋中心所建置的高頻雷達測流系統 (以下稱本系統) 的量測目標為海面之波浪，藉由所觀測到之波浪相速度與深水波理論相速度的差異，計算出表面海流的流速及流向。

高頻 (High Frequency, 簡稱 HF) 雷達波的頻率範圍為 3MHz 至 30MHz，對應波長為 100 公尺至 10 公尺，與海面上波浪的波長相近，且垂直偏極化的高頻電波信號可在海洋表面傳播至視距外，因此被利用來當成測量海洋波浪及流速之工具。雷達波碰到海洋表面凸出物 (例如波浪) 時，會朝各個方向散射，但當海面上波浪之波長為電磁波波長一半的整數倍時，因疊加效應，將會朝入射波的反方向產生能量較大的反射波，此現象稱為布拉格散射 (Bragg scattering)。

$$\lambda_w = n\lambda / 2 \quad (1)$$

其中  $\lambda_w$  為海面波浪的波長， $\lambda$  為雷達波波長， $n$  為整數，因已知所發射雷達波之波長，故可得所觀測波浪之波長。測量波速的方法為利用都卜勒效應，當訊源 (雷達站) 與目標物 (波浪) 之間在連線方向 (或稱為徑向方向) 上有相對速度時，則反射回來的雷達波將有頻率位移的現象。

$$f_D = 2V/\lambda \quad (2)$$

其中  $f_D$  為都卜勒頻移， $V$  為波浪於徑向方向上的速度，而觀測到的波浪速度除了波浪本身的深水波理論波速之外，還受到表面海流的影響：

$$V = \pm \sqrt{g\lambda_w/2\pi} + U \quad (3)$$

其中  $g$  為重力加速度， $U$  為表面海流的徑向流速，根號部分為波長為  $\lambda_w$  之波浪的相速度，正、負符號分別代表行進方向為靠近或遠離雷達站之方向，則當  $n=1$  時，由 (1)、(2)、(3) 式可得出：

$$f_D = \pm \sqrt{g/\pi\lambda} + 2U/\lambda \quad (4)$$

其中僅有  $U$  為未知數。圖 2 為本系統實際量測之反射波譜，包括了兩個明顯的第一階能量

峰值以及其他次要的峰值(如圖2)，經由此二峰值對應的都卜勒頻移量，即可由(4)式計算出表面海流之徑向流速。若有兩座設置於不同地點之雷達站對相同海域進行量測時，可得到兩個不同徑向方向的流速，據以合成實際的波速及波向。

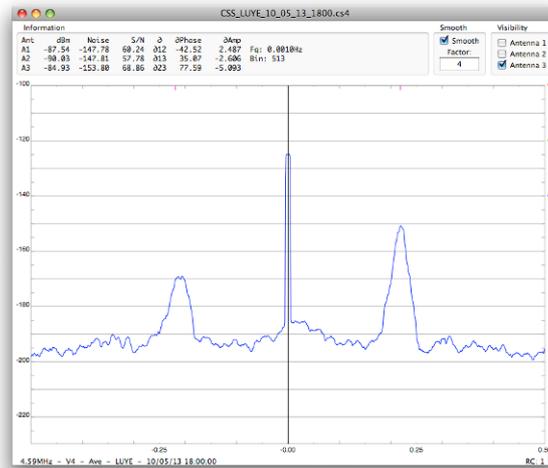


圖2 反射波譜圖

本系統利用獨特的天線設計來判別反射波的方向，由3支相互垂直的接收天線組成，其中1支與地面垂直，2支與地面水平(如圖3)，產生3組場型(pattern，如圖4)，垂直天線形成一圓形場型，另2支水平天線則各產生一組一正一負場型，藉由反射波被此三組場型所接收到的振幅以及相位，即可得知反射波的方向，表1舉例列出數個不同角度之反射波於接收天線3個場型中產生之結果，本系統的方向解析度為1度。

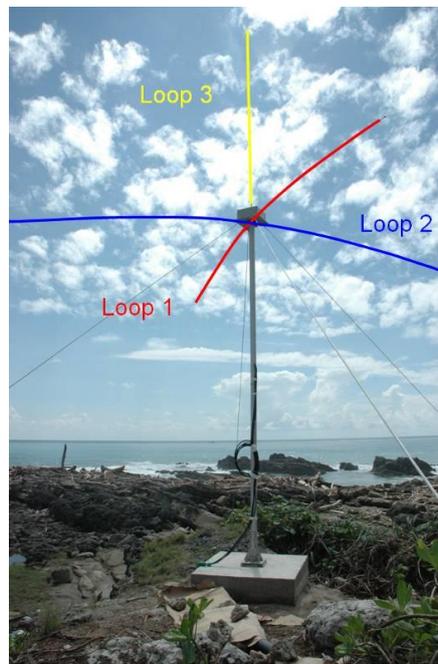


圖3 接收天線組成示意圖

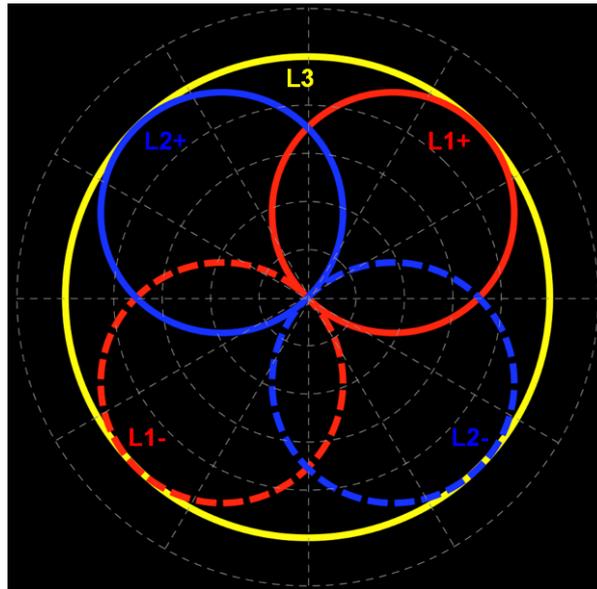


圖4 天線場形示意圖

表1 各角度入射波於接收天線場型中產生之結果舉例表

入射角度	振幅 (Amplitudes)		相位 (Phases)	
	A1/A3	A2/A3	P1-P3	P2-P3
0	0.707	0.707	0	0
15	0.866	0.5	0	0
45	1	0	0	
75	0.866	0.5	0	180
90	0.707	0.707	0	180
120	0.259	0.966	0	180
180	0.707	0.707	180	180

雷達判斷目標物距離之方式，是利用電磁波發射與接收之來回時間差乘上光速再除以2而得，本系統採用連續變頻方法取得與目標物之間的距離，發射機在一個發射週期內(通常為1秒)，由起始頻率開始，連續發射並調高頻率，直到所設定的頻寬為止，此時接收機接收到的，亦為連續變頻但具有時間差的電磁波，將發射與接收之信號兩者相減即可得到與目標物之間的距離，本系統以這種方式在空間上建立距離間隔 (Range Cell)，頻寬越寬，則距離間隔越小，空間解析度則越高，其關係為

$$R_c = BW/150 \quad (5)$$

$R_c$ 為距離間隔尺寸，單位為公里， $BW$ 為頻寬，單位為kHz。至此，已得出目標物之速

度、方位、以及距離，達成以雷達觀測表面海流之目的。

## 2.2 設置處所需求條件

雷達站的設置環境直接地影響到觀測範圍以及觀測資料的品質，因此建置雷達站之前需花費許多時間尋找適當的架設地點，對於本系統而言，理想的設置環境條件包含以下7點：

1. 靠近水邊，且為凸出之地形：本系統採用的高頻雷達波屬於地波，可沿著海水與空氣之交界面傳遞，但其能量在陸地上會急劇衰減，而無法傳遞至遠處，因此雷達站的架設位置需盡量靠近水邊，避免雷達波能量被地面吸收而減短測量距離，以海洋中心所建置之5 MHz 長距離型雷達站而言，其天線與海之水平距離不可超過250公尺。此外，若將雷達站建於類似海灣之內凹地型，則會損失可視角度，故須建置在凸出之地形以獲得較大之視角。以上兩個要件直接影響到雷達站的探測範圍，是尋找合適建置地點時首要注意之事項。
2. 遠離障礙物及導電體：障礙物會阻擋並反射電磁波，天線離障礙物太近將會影響雷達波之傳遞，並且受到反射之電磁波的干擾，天線與障礙物之間的最短距離應為障礙物高度之5倍(如圖5)。而導電體會對改變其週遭之電磁環境，離天線太近之導電體會成為天線的一部份，改變天線之場形，導致測量數據品質降低。本系統之發射天線以及接收天線與長度大於1公尺之連續導電體(如電纜線、金屬圍籬等)間的水平距離需大於100公尺，自天線基座正下方10公尺處為短邊，與水平100公尺為長邊所形成之半橢球體區域內亦不能存在長度大於1公尺之連續導體(如圖6)，而與小於1公尺長之導電體的最小之水平距離為4公尺，以天線基座為球心，地底下半徑四公尺所形成之半球體區域亦不能存在導電體(如圖7)，而連接天線及機組之間的纜線則需埋入地下，以降低對天線之影響。

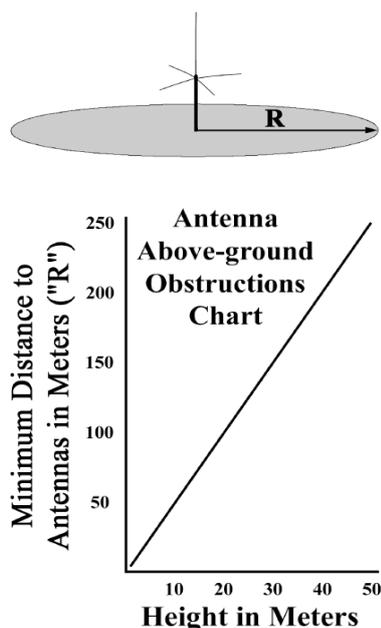
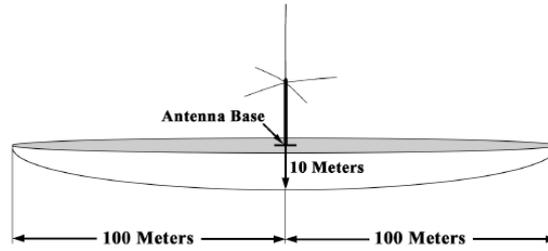
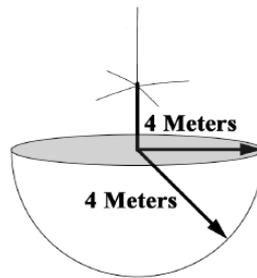


圖5 天線與障礙物之間最短距離示意圖



**Transmit Antenna Underground Clear Area for Long, Continuous Objects (Not to Scale)**

圖6 天線與1公尺以上連續導體之間最短距離示意圖



**Transmit Antenna Underground Clear Area for Objects Less than 1 Meter Length (Not to Scale)**

圖7 天線與1公尺以下導體之間最短距離示意圖

3. 接收與發射天線之間距離足夠：為了避免發射之電磁波訊號對接收天線形成過載 (overloading)，發射天線與接收天線之間的距離必須大於1個波長，以海洋中心所建置之5 MHz長距離型雷達站為例，1個波長即為60公尺。此項條件將對於雷達站選用地點造成限制，若欲建置地點之腹地無法具有至少相距60公尺之天線架設位置，則無法於該地點架設雷達站。
4. 具足夠之電力供應：雷達主要組件包含接收機、發射機、及訊號處理電腦，合計耗電功率為700W，若加上冷卻機件所需之機房空調，則至少需要約2000W之電力，以此電力消耗需求，難以使用太陽能發電方式達成日夜不停之穩定電力供應，因此需選擇電力公司能夠設置電源之處，雖然台灣的電力供應已相當普及，然而某些較為偏遠的海岸地區，因人煙稀少，原先並無電力供應，若需特別為雷達站而架設電力設施，則付出之成本將相當高昂。
5. 具傳輸速率較高之網路連線：各個雷達站所測量到之資料皆透過網路回傳至中央控制站進行流速合成，且本系統之雷達站皆無人值守，平時操作雷達站電腦需透過網路以遠端連線方式進行，因此需要穩定的網路連線，其上傳頻寬至少須有128 kbps以上。
6. 保全：雷達站平時皆無人值守，因此保全相當重要，應避免架設於無人看管且遊客容易到達之處，天線及設備有遭受破壞或竊盜之虞，若能架設於原先即有人看管之處(如哨所)為最佳選擇，且為了遠端管理方便，可架設監視系統以用於設備的狀態掌握，或便於故障時之損壞評估。

7. 雷達站之間距離適當：因兩座以上雷達站共同觀測之區域方為可合成流速之區域，相距過近或過遠都將使得可合成流速面積縮小，為獲得兩雷達站之間較大之共同觀測面積，雷達站之間的距離應為最大觀測距離的40%~50%，以5 MHz長距離型雷達站之最大觀測距離200公里而言，兩雷達站較佳之設置距離應為80公里~100公里。

### 三、研究成果

為了解本中心高頻雷達站測流的合理性，於2012年7月~9月總共於東部外海施放6個表面漂流浮標軌跡，經由軌跡追蹤分析漂流速度並與高頻雷達量測的結果分析得到之流場進行比較。

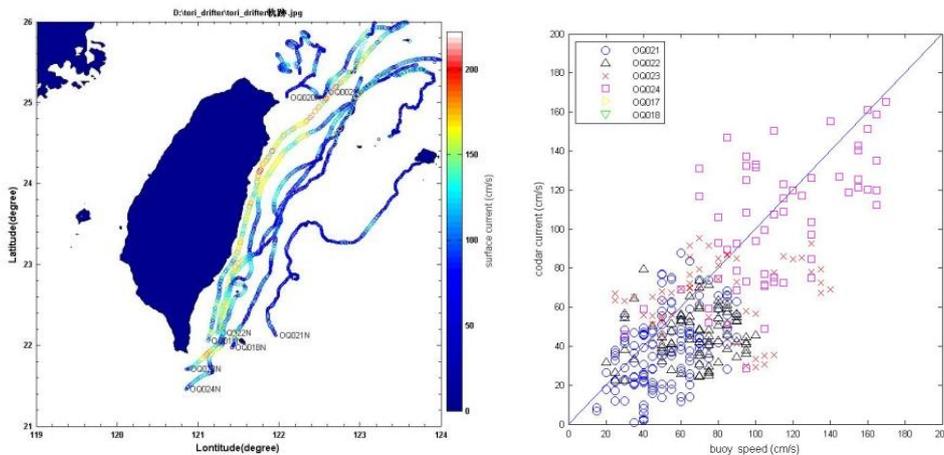
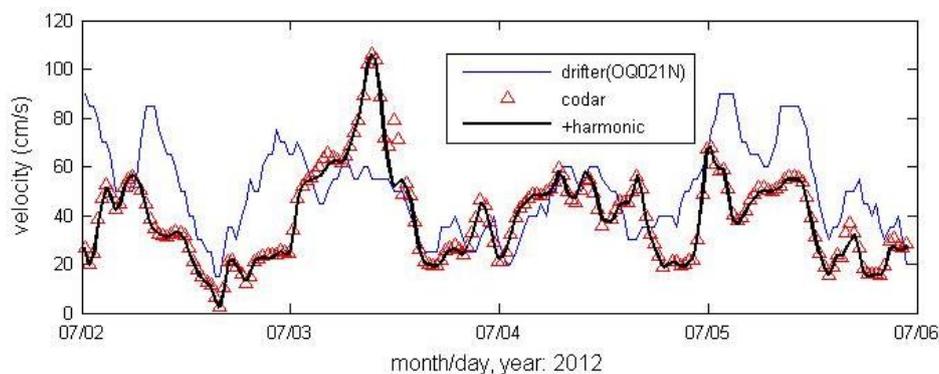


圖8 左為六個浮標漂移軌跡圖，右為浮標漂移軌跡推算速度與高頻雷達測得數據之比較結果。

由圖8右圖可見流速強弱的空間分析趨勢，兩者基本上一致，然浮標流速略有較強的現象。進一步將浮標的流速與其漂流過程中每一個相對應時間與空間上由用雷達所測經過內插後得到之流速比較如圖9，可見7月3日之前浮標位於超出高頻雷達施測範圍，利用周圍較低流速內插的結果，使得高頻雷達流速較浮標流速微弱，然7月3日中午之後，兩者的流速趨勢一致且無明顯系統性差異，經由前述比較，高頻雷達量測合理性得到確認。



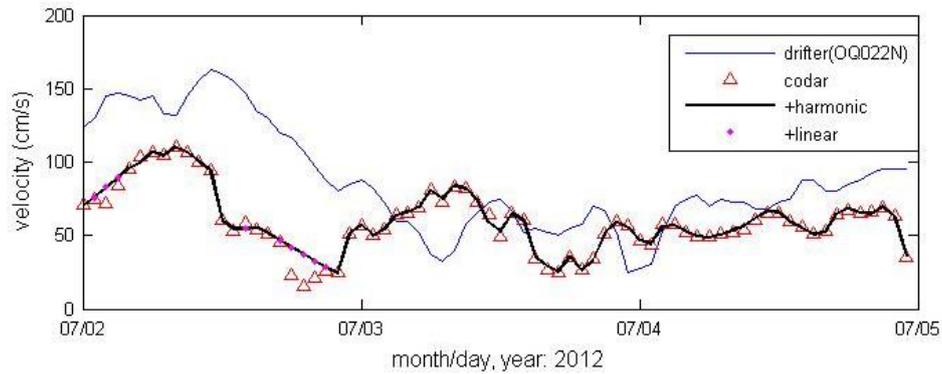


圖9 上為浮標OQ021N流速(藍線)與高頻雷達流速(三角形)比較圖，下為浮標OQ022N流速(藍線)與高頻雷達流速(三角形)比較圖

因東部海域最早架設完成，故分析台灣東部四個高頻雷達站於2011年12月至2012年7月間測得之流速，並取空間網格點上，有效流速資料達80%以上者，計算其平均流場如圖10，可見黑潮到達蘭嶼與綠島間附近海域時部分水流通過海底地形深槽轉向東北東流，以下稱外海分支；另外近岸還有一分支朝北沿台灣東部海岸前進，以下稱為沿海分支。往東北東方向的水流因離開陸棚邊緣後水深陡降，流速遽減，在 $22.6^{\circ}\text{N}\sim 23^{\circ}\text{N}$ 與 $122.4^{\circ}\text{E}\sim 123^{\circ}\text{E}$ 之間區域形成局部環流的跡象；相反的，沿岸支流因海岸線凸出與局部海底地形隆起，使得流速增強。隨著海岸線的地形曲折與水深變化，此水流主軸沿岸蜿蜒持續向北流動，且直到 $24.6^{\circ}\text{N}$ 以南區域，流速較強的核心區域有擴大趨勢，另在 $24.2^{\circ}\text{N}$ 遠離海岸區出現轉向東流的分支。

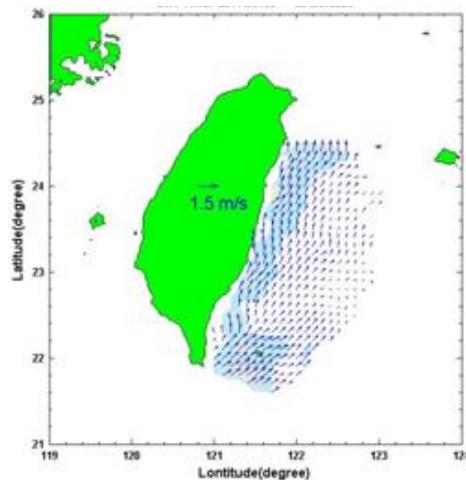


圖10台灣東部海面近全年(2011/12~2012/7)平均流速分布

各月份平均流場如圖11，2012年1月較強流速區位於蘭嶼東側海域，台灣東部沿岸的流速較為微弱，此流速較強區域的北側約 $23^{\circ}\text{N}$ 、 $122.4^{\circ}\text{E}$ 對存在弱環流跡象。2012年2月環流普遍較1月為強，水流在蘭嶼與綠島間的地形深槽產生轉折的跡象較為明顯，前述弱環流跡象消失不見。2012年3月沿岸分支的流速更較2月增強，相反地，黑潮外海分支則流速減弱，同時前述弱環流跡象再次出現。2012年4月黑潮沿岸分支持續加強，外海分支則持續減弱，其次，外海環流強度增強，同時牽引黑潮沿岸分支在 $23.2^{\circ}\text{N}$ 、 $122.2^{\circ}\text{E}$

E附近形成向東流的另一個次分支，這可能會影響黑潮水整體的向北傳輸量。2012年5月黑潮沿岸分支強度減弱，外海分支則增強，同時外海環流減弱。2012年6月外海分支在蘭嶼附近顯著增強，沿岸分支則相對地減弱。2012年7月流速呈現全面性增強現象，外海環流跡象完全消失。

彙整前述，可見黑潮由菲律賓東方向北流到台灣東部外海過程中，於蘭嶼與綠島間之地形深槽處形成兩個主要分支，一支沿台灣東岸蜿蜒朝北流為沿海分支；另一支往東北東轉向外海再轉往北流稱外海分支。兩支水流強弱互為消長。就 $23^{\circ}\text{N}$ 以南區域而言，冬季外海分支較強；春季則沿岸分支較強；夏季則兩者相當。繼續往北傳輸過程中，外海分支因離開陸棚邊緣後水深陡降，流速遽減；沿岸支流則因海岸線凸出與局部海底地形隆起，使流速增強。所以 $23^{\circ}\text{N}$ 以北海域只有一個較強流動主軸，另外，在 $23^{\circ}\text{N}$ 、 $122.4^{\circ}\text{E}$ 附近存在間歇性環流現象，該環流的強弱與黑潮外海分支的消長呈現顯著相關性。當黑潮外海分支增強，水流往東北方向動能較強，環流不顯著甚至消失，亦可能往外海更深入太平洋移動，超出目前觀測範圍無法確認；當黑潮外海分支減弱則該環流增強，同時牽引黑潮沿岸分支在 $23.2^{\circ}\text{N}$ 、 $122.2^{\circ}\text{E}$ 外形成一個轉向東流的次分支，亦導致黑潮整體向北的傳輸量發生改變。

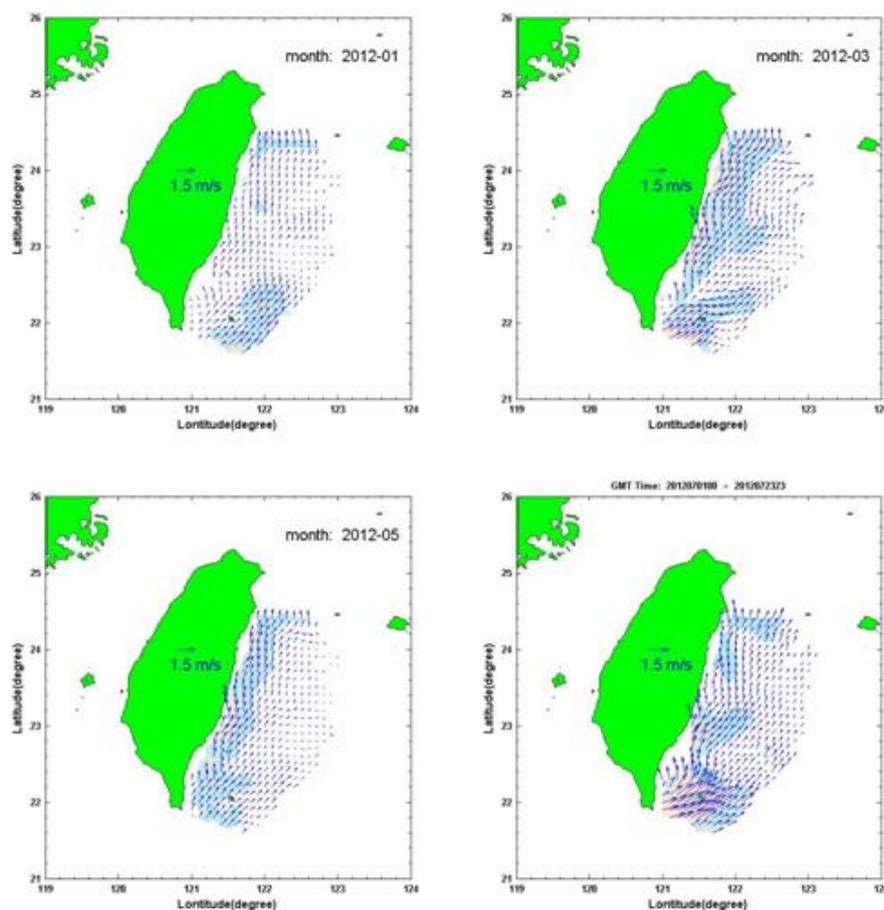


圖11台灣東部海面各月份平均流速分布(a)1月 (b)3月(c)5月 (d)7月

#### 四、結論與建議

由浮標佈放驗證，可知高頻雷達測流之合理性可得到初步確認。在流場部分，黑潮於蘭嶼與綠島間形成兩個主要分支，水流強弱互為消長，一支沿台灣東岸蜿蜒北流；另一支往東北東轉向外海北流。冬季時外海分支較強；春季則沿岸分支較強；夏季則相當。在 $23^{\circ}\text{N}$ ， $122.4^{\circ}\text{E}$ 有間歇性環流現象，強弱與黑潮外海分支的消長呈現相關性。當黑潮外海分支減弱則該環流增強，影響黑潮整體向北的傳輸量。另外在高頻雷達軟硬體部分需爭取在離島設置高頻雷達系統，使其效益最大化，以彌補目前高頻雷達測流在海岸區的不足。並分析高頻雷達流場資料，提出台灣周遭海面流場新的觀測事實，掌握台灣周遭海域水流的特性，以推動高頻雷達流場資料於各種應用如海域油污擴散、海運安全與營運管理、海域搜救、船艦偵測等項目的開發。

#### 參考文獻

1. 林佳興(1996)「海岸雷達遙測臺灣東北海域之流況」，國立台灣海洋大學海洋科學系碩士學位論文。
2. Barrick, D-E. (1988)HF radio oceanography -- A review, in Radar Applications, M. I. Skolnik, Ed., New York: IEEE Press, 427-437.。
3. Barrick, D-E., Lipa ,B-J.and Crissman, R-D. (1985)Mapping surface currents with CODAR, Sea Technology, Oct. '85, 43-48.
4. Lipa, B-J. and Barrick, D-E. (1983), Least-squares methods for the extraction of surface currents from CODAR crossed-loop data: Application at ARSLOE, IEEE J. Oceanic Engr., vol. OE-8, 226-253.
5. Ward, J-F. and Dexter, P-E. (1976), A long-range ocean radar for ocean surface studies using backscatter via the ionosphere, Australian J. of Physics, vol. 29, pp. 183-194.
6. Crombie, D-D. (1955), Doppler spectrum of sea echo at 13.56 Mc/s, Nature, vol.175, 681-682.
7. Kohut, J., Glenn, S. (2003). Improving HF radar surface current measurements with measured antenna beam patterns, J. Atmospheric and Oceanic Technology,1303-1316.
8. Paduan, J- D. , Monterey, C-A. , Cook ,M-S. ,and Chavez, F- P. (2006). Calibration and Validation of Direction-Finding High-Frequency Radar Ocean Surface Current Observations , Oceanic Engineering, IEEE Journal of, Vol 31,Issue 4,862-875.
9. Codar Ocean Sensors,<http://www.codar.com/>
10. HW6\_Antenna\_Pattern\_Measure.(CODAR GuidesToTheHardware Document)