

台灣西南海域渦漩的特性及其對流況的影響

張永昇¹ 沈勇廷¹ 曾若玄¹ 楊穎堅² 崔怡楓³ 滕春慈⁴

¹國立中山大學海科系 ²國立台灣大學海洋所

³海軍大氣海洋局

⁴中央氣象局海象中心

摘要

在台灣西南海域經常出現一個順鐘向的反氣旋渦漩，渦漩的中心大約位於 22°N, 119.5°E，亦即位於貓鼻頭西方大約 130 公里，渦漩東西方向長約為 220 公里，南北方向長約為 110 公里。本研究分析 AVISO 衛星海面高度資料、SVP drifter 資料以及實測海流資料(包含底碇式 ADCP 海流剖面資料以及環台雷達表面海流資料)，發現此渦漩在全年各月份都會發生，特別又以冬季出現的比率最高，產生機制可能和黑潮由呂宋海峽入侵北南海、當地風應力旋度以及海底地形有關。由於受到此一渦漩的影響，台灣西南沿岸(從高雄到貓鼻頭)的流場以朝南為最頻流向，流速會隨著渦漩的強度而改變，以 2011 年 4 月與 2016 年 12 月出現的反氣旋渦為例，此時最大流速為 1.45 m/s，周期為 3-6 天。

關鍵字:台灣西南海域、反氣旋渦、SVP drifter、AVISO 衛星海面高度、環台雷達表面海流

一、前言

台灣西南海域，受到南海水團與中國沿岸流冷水的混合，黑潮支流的入侵，複雜的海底地形以及顯著的季風更替等因素影響，流況十分複雜。

Liang et al.(2003)分析 1991-2000 期間所有的 Sb-ADCP 資料，經過網格平均處理之後獲得台灣附近海域的上層海流分佈圖。在西南季風期間台灣西南海域存在一個明顯順鐘向的渦漩，在東北季風時期，黑潮在呂宋海峽中南部會有支流向西北入侵到台灣西南海域，形成套流(loop current)之後再由台灣南端流出進入台灣東南外海。由於冬季海況惡劣，實測資料較少，因此流況並不十分清楚。Wu et al. (2007)分析兩個位於台灣西南海域的錨碇海流資料，經過 48 h 低通過濾後的海流顯示出具有季節內的變動，流場在同一個月之內會呈現氣旋或反氣旋交替發生的情形，分析結果指出該海域的風應力旋度就是造成流場型態的主要機制。

除了有限的實測資料以外，數值模擬也經常被應用來研究台灣海峽的海流型態。Wu and Hsin (2005)建立了一個 1/8° 的模式，用來重新檢視台灣海峽的

流量變化，發現現有的海峽實測流量因為冬天缺少資料而有低估東北季風影響的趨勢。最近的研究則是由 Wu et al. (2007) 建立的台灣海峽高解析度 (3~10 km) 模式，配合實際海底地形以及衛星遙測風及水溫等驅動力，探討台灣海峽流場的時空變化。鄭宇昕(2013)使用 1992 至 2011 年的衛星海面測高資料，探討台灣西南海域渦漩在海洋表面的分布與移動。他發展了一個渦漩自動偵測與追蹤演算法，並進行時空變化的研究。結果顯示絕大部分的渦漩都在北緯 21.5 度、東經 120 度為中心的 100 平方公里內生成，其中又以暖渦居多。生成之後大部分的暖渦會沿著約 500 公尺的等深線往西南方傳遞。Chang et al.(2015)中指出中尺度渦旋可以改變台灣海峽海流，研究中排除盛行季風的影響，較強的渦旋導致流量和海平面坡度的修正，產生更大的運輸流量異常。

最近幾年在此海域的實測資料日益增多，例如環台雷達表面海流與錨碇海流資料，提供了研究渦漩的有利工具。本研究分析了兩個實測的案例以及過去 23 年間的衛星遙測資料，對於此反氣旋渦的特性以及其對於台灣西南海域流場的影響得到幾點具體的結論。

二、資料來源與分析

2.1 AVISO 海面高度計資料

本研究使用的海面絕對動力地形資料，是向法國的 Archiving Validation and Interpretation of Satellite Data in Oceanography (AVISO)申請並下載分析使用，供探討分布在臺灣西南海域的海洋渦漩傳遞。

絕對動力地形是指從大地水準面到海水面間的高度，也就是海表面高度 (Sea surface height, SSH)，該資料結合了 TOPEX/POSEIDON、Jason-1/2、ERS-1/2 以及 ENVISAT 等衛星測高儀的海面高度資料，並進行儀器誤差、海況誤差與潮汐干擾等影響因素的校正，內插成全球 $1/4^\circ \times 1/4^\circ$ 的空間解析度，以及每日時間解析度的網格點資料，自 1993 年到 2017 上半年，畫圖呈現方法以每日的 SeaLevel Anomaly(SLA)，搭配推算出的絕對動力高度的海面流速(ADT uv)。

2.2 SVP 浮球資料

Global Drifter Program 提供 SVP 浮球於混合層的海流、水溫、經緯度以及重分析之風資料，資料經過處理後內插成 6 小時一筆，當拖傘(drogue)已經遺失後的海流資料，仍然是可信的，因為有經過修正。

2.3 環台雷達 TOROS 表面海流資料

由台灣海洋科技研究中心所建置的 17 座海岸雷達站整合成「環台岸基海洋雷達系統」(TOROS)，長期觀測台灣近岸周邊海域表層海流觀測，使用的資料時間為 2016-2017 年，每小時的時間解析度為 10 公里的網格點資料。

2.4 錨碇 ADCP 海流資料

此資料由台大海洋所於高雄外海所佈放收集，錨碇測站位於 $120^\circ04.600'E, 22^\circ27.755'N$ ，水深 562m，ADCP 頻率為 300KHz，海流資料的垂直間距為 4 m，時間間格為每小時一筆。

2.5 渦漩分析方法定義

本研究參考 AVISO 網站源自 Ssalto / Duacs 中尺度渦漩的多重高度計產品定義來鑑別氣旋渦的存在，從高度測量數據中檢測到的漩渦，包含每天的高度測量時間區段(年-持續時間，延遲時間)，類型(氣旋/反氣旋)，速度，半徑和相關數

據。在 1992 年 10 月至 2008 年 12 月的 16 年期間，由切爾頓等人已經製作了一個專門的數據庫，為了實現簡單的統計和長期研究。每個渦漩都是在連接像素滿足指定的標準基礎上定義。該程序是二維版本的 Williams 等人提出的方法[2011]。按照 Schlax 和 Chelton 的描述進行修改[2016]。

程序是由 D. Chelton 和 CLS / DUACS 合作開發的。現在，渦漩圖譜由 DUACS 團隊生成並作質量品管控制，再由 AVISO 提供給使用者。目標是簡化生成過程並減少生成過程此產品的延遲。

三、結果

3.1 AVISO(1993-2017)反氣旋渦統計結果

Mesoscale Eddy Trajectory Atlas product 是由 DUACS 系統下 CNES/CLS 處理，此資料分析方法由 Oregon State University (USA)的 D. Chelton and M. Schlax 發展並品管，由 AVISO+協助發布。當初版本 1 是每週資料分析，目前已經升級到版本 4 的每日再分析資料，可以找出渦漩軌跡。目前分析 1993/01-2017/01 資料的結果(如表 1):統計方式以出現在台灣西南海域順時針方向旋轉的暖渦 3 天以上為對象，自呂宋海峽的西北方向到澎湖水道以南到高雄外海，西到台灣淺灘。初步發現以季節分布以冬季最為明顯，頻率次數最多。總計有 77 個反氣旋式渦漩產生，大部分是在冬季所產生的，可能是受到較強的東北季風加強所致。表 2 為台灣西南海域出現持續時間最長天數之反氣旋渦的物理特徵分析統計，可知渦漩持續時間大約為 35~108 天，最大速度 36~91 cm/s，最大半徑 95~160 km，強度振幅 7~41 cm。

3.2 實測反氣旋渦個案分析

3.2.1 2011 年 4-5 月

2011 年 4-5 月發生的西南暖渦周圍有一顆 SVP 浮球經過，ID 為：79034，且被捲進去渦流中呈現順時針轉圈軌跡(Fig.1)，浮球#79034 在渦流中轉了 5 圈 (Loop)(Fig.2)，將每個 Loop 的中心、週期 (T)、旋轉速度、平均流速 (Umean) 以及最大流速 (Umax) 紀錄於表格中。Loop 半徑為大約估計，如為橢圓則以其 1/2 長軸值與 1/2 短軸值之和的一半，(1/2 長軸+1/2 短軸)/2，作為 Loop 的半徑值；最大流速 (Umax) 為單一 Loop 中最大的流速值。浮球#71417 打轉 5 圈，總共約 30 日，其中心向西南移動約 39 公里，平均水平傳遞速度約為 1.3 km/day。(如表 3)Loop1~Loop5 的旋轉速度介於 0.2~0.5 m/s，半徑約為 12~47 km，平均海流速度約 0.5 m/s，該其間內流速最大值出現在 Loop4 (2011 年 4 月 19 日至 4 月 26 日) 且達到 1.2 m/s，Loop4 與 Loop5 最大流速值皆達 1.0 m/s 以上。5 個 Loop 的旋轉週期 (轉一圈的時間) 約為 3~8 日。

將浮球資料和 AVISO 的 SLA 海面高度變異與 ADT 絕對地轉流資料結合，(Fig.2)可以看出浮球流速略大於地轉流速，而兩者方向則都是呈現順鐘向，而 5 個 Loop 的海面高度介於 10~20 cm。

(Fig.3)為浮球所紀錄的流速、風速以及海水表面溫度時序圖。實測的渦流最大流速 2011 年 4 月 22 日達到 1.2 m/s，打轉期間平均流速約 0.5 m/s，且浮球流速也隨著不同 Loop 有著週期性變化。從浮球紀錄的風速可知此時以北風為主，期間風速最大可達到 10 m/s，而水溫皆大於 24 度。

另外由表層(2m)、中層(58m)和下層(114m)錨碇 ADCP 測站(Fig.4)所紀錄的流速時序棍棒圖，顯示測站海流受到西南暖渦影響，海流流向往南為主，表層流速平均約 1.0 m/s，最大流速於 2011 年 4 月 24 日達到 1.9 m/s，流向朝東南，中層流速平均約 0.5 m/s，最大流速於 4 月 22 日達到 1.0 m/s，流向朝東南，下層流速平均約 0.3 m/s，最大流速於 4 月 26 日達到 0.8 m/s，流向朝東南，由此可見高雄外海從海面到 114m 深的水層皆受到西南暖渦的影響。

表 1 1993/01~2017/01 台灣西南海域各年月份出現暖渦次數(★表出現次數)

年(個)/月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
'93(3)	★		★	★		★	★	★	★			
'94(4)		★		★	★	★	★	★		★	★	★
'95(4)	★★	★	★	★			★	★	★		★	★
'96(4)	★★	★★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★
'97(3)	★		★	★			★	★		★	★	★
'98(1)							★	★				
'99(5)	★	★		★	★★	★				★	★★	★
'00(5)	★★	★	★	★★	★	★	★	★			★	★
'01(2)	★	★										★
'02(5)	★	★★	★★	★★					★	★		★
'03(3)	★				★	★		★	★		★	★
'04(3)	★	★	★	★				★	★		★	★
'05(3)		★	★	★		★	★★	★★				
'06(3)						★	★	★	★	★		★
'07(1)	★										★	★
'08(4)	★				★	★	★★	★★	★	★	★★	★
'09(3)	★★	★	★								★	★★
'10(2)	★									★	★	★
'11(3)	★		★	★	★	★					★	★
'12(1)	★									★	★	★
'13(3)	★	★	★				★	★	★	★	★	
'14(5)		★	★	★		★	★		★	★	★	★★
'15(3)	★	★★	★★	★							★	★
'16(4)	★		★	★	★		★	★	★	★	★	★
'17(1)	★											
共 77	24	16	17	16	9	11	15	16	11	12	21	23
趨勢		▼			▼		▲		▼		▲	

表 2 台灣西南海域暖渦出現持續時間最長之天數、最大速度、最大半徑及強度振幅

年-渦流編號	持續時間 DAY(月)	渦旋最大速度 cm/s	渦旋最大半徑 km	強度振幅 cm
'93-7827	85(6-9)	50.06	159.65	18.91
'94-16777	85(4-7)	56.26	116.61	14.24
'95-33752	45+10(11-1)	54.87	112.51	11.06
'96-38224	108(2-6)	91.08	109.13	35.05
'97-58236	78(10-12)	67.31	134.61	25.29
'98-65861	46(7-8)	43.85	143.81	14.90
'99-69570	58(1-2)	62.64	127.04	28.31
'00-84273	60(4-6)	44.64	173.03	17.59
'01-91770	35(1-2)	58.24	117.57	10.61
'02-105311	54(2-4)	45.9	97.07	7.43
'03-129031	40+41(11-2)	63.69	137.38	23.16
'04-127938	52(3-4)	50.86	95.65	12.76
'05-138200	40(1-3)	57.04	106.02	20.83
'06-15332	42(7-9)	36.83	138.78	10.88
'07-171603	54+16(11-1)	52.12	108.21	14.59
'08-178877	86(8-11)	59.49	142.28	18.30
'09-196183	27+22(11-1)	57.26	111.42	27.88
'10-201849	57(10-11)	67.56	119.86	24.65
'11-218685	43+29(11-1)	86.95	125.11	40.23
'12-227227	47(10-12)	61.16	124.10	31.88
'13-238727	65(10-12)	68.28	131.40	29.69
'14-248823	21+40(12-2)	58.67	135.46	19.14
'15-260285	54+8(11-1)	65.20	120.28	24.05
'16-269346	59+5(11-1)	78.14	111.60	31.66

表 3 2011 年浮球#79034 所偵測到反氣旋渦漩參數值

ID:	中心 經度 (度)	中心 緯度 (度)	週期 (days)	半徑 (km)	U_{rot} (cm/s)	U_{mean} (cm/s)	U_{max} (cm/s)
79034 Loop							
1	119.67	22.01	3	12.02	29.13	41.49	53.55
2	119.55	22.02	7.75	47.53	44.60	67.04	123.01
3	119.62	21.89	5.25	38.69	53.60	42.67	93.82
4	119.08	21.96	6	38.90	47.14	59.01	104.64
5	119.32	21.93	7.5	41.87	40.60	54.71	101.66

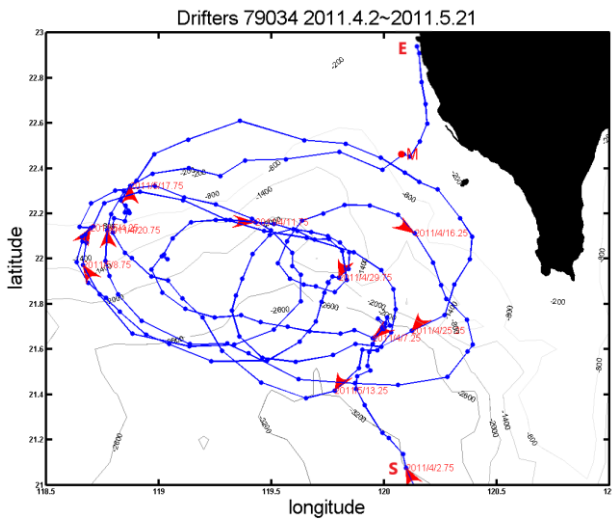


Fig.1 2011 年 4 月至 5 月浮球#79034 軌跡圖，藍色線為浮球軌跡線，紅色線箭頭為 4 天間隔時間標示，M 站為 ADCP 測站，S 為起點，E 為終點。

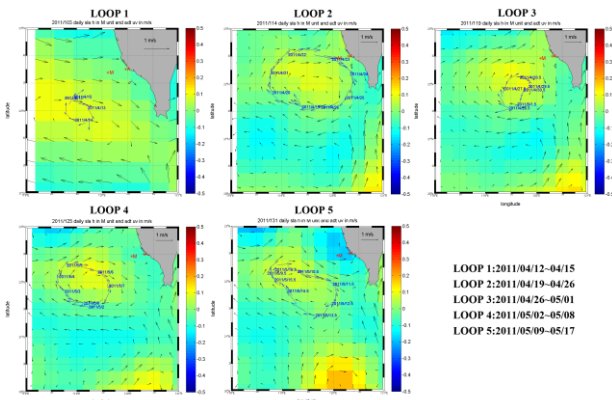


Fig.2 2011 年 4 月至 5 月浮球#79034 在渦漩中打轉 5 圈，藍色箭頭為浮球流速，黑色箭頭為 ADT 地轉流流速。

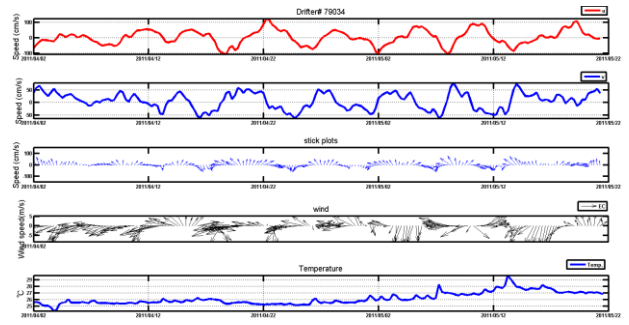


Fig.3 2011 年 4 月至 5 月浮球#79034 時序圖(由上至下分別為東西向流速 u ，南北向流速 v ，海流棍棒圖，風棍棒及海溫)。

3.2.2 2016 年 12 月-2017 年 2 月

2016 年 12 月到 2017 年 2 月發生的西南暖渦周圍也有一顆 SVP 浮球經過，ID 為：127384，且被捲進去渦漩中呈現順時針轉圈(Fig.5 所示)，浮球#127384 在渦漩中轉了 16 圈(Fig.8)，總共約 66 日，其中心向西南移動約 247 公里，平均水平傳遞速度約為 3.7 km/day。(如表 4)Loop1~Loop16 的旋轉速度介於 0.4~0.8 m/s，半徑約為 29~45 km，平均海流速度約 0.7 m/s，該其間內流速最大值出現在 Loop2 (2016 年 12 月 14 日至 12 月 18 日) 且達到 1.4 m/s，其餘 15 個 Loop 最大流速值介於 0.7~1.2 m/s。16 個 Loop 的旋轉週期(轉一圈的時間) 約為 3~6 日。

(Fig.6)為浮球所紀錄的流速、風速以及海水表面溫度時序圖。實測到渦漩最大流速於 2016 年 12 月 14 日達到 1.4 m/s，打轉期間平均流速約 0.7 m/s，且浮球流速也隨著不同 Loop 有著週期性變化。從浮球紀錄的風速此時以東北風為主，風速最大可達到 14 m/s，而水溫皆大於 24 度。另外將 SVP 浮球、環台雷達 TOROS 的表面海流和 AVISO 高度計資料結合，由圖 6 可以看出浮球流速略大於地轉流速，環台雷達 TOROS 的遙測表面海流則與地轉流速相當，而三者方向則都是呈現順鐘向，16 個 Loop 的海面高度介於 25~59cm，表示此西南渦漩較為強勁。

(Fig.7)為 2016 年 12 月至 2017 年 2 月的反氣旋渦 AVISO 資料的最大流速 VS 最大海面高度圖，本文定義渦漩最大高度即為中心，以距離中心位置正負半徑 55 公里內的最大流速與最大高度做相比，得到高度與最大流速呈現出正比關係，本案例中最大流速達到 1.2 m/s，而對應的高度約為 0.5 m。

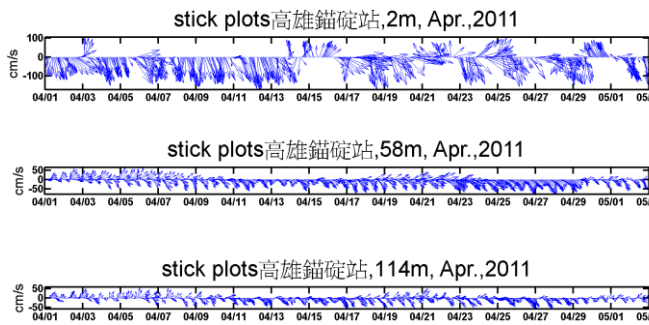


Fig.4 2011 年 4 月 ADCP 高雄測站時間序列棍棒圖(水深分別為 2m，58m 跟 114m)。

表 4 2016 年 12 月到 2017 年 2 月浮球#127384 所偵測到反氣旋渦漩參數值

ID:	中心經度	中心緯度	週期	半徑	U _{rot}	U _{mean}	U _{max}
127384	(度)	(度)	(days)	(km)	(cm/s)	(cm/s)	(cm/s)
Loop							
1	120.01	21.65	6	44.09	53.43	74.60	123.09
2	119.87	21.43	3.75	37.42	72.57	82.24	144.52
3	119.71	21.47	3.5	33.62	69.85	70.99	84.91
4	119.48	21.43	3	32.49	78.75	87.60	104.62
5	119.21	21.45	4.25	33.61	57.50	85.75	109.47
6	119.08	21.48	3.5	32.25	67.01	65.32	96.44
7	119.44	21.40	4	30.47	55.39	58.35	75.49
8	119.26	21.41	4	29.93	54.42	63.22	88.50
9	119.14	21.41	4	30.14	54.79	72.20	97.94
10	119.14	21.42	4.75	32.47	49.72	92.21	116.93
11	119.11	21.20	5	33.03	48.04	73.74	103.73
12	118.78	21.17	3.75	32.04	62.14	54.10	75.06
13	118.55	21.09	3.25	31.76	71.07	70.43	80.29
14	118.22	21.03	3.5	31.05	64.52	60.48	78.43
15	118.13	21.02	4.75	30.98	47.44	66.46	80.55
16	117.85	21.02	5.25	31.93	44.22	68.42	87.29

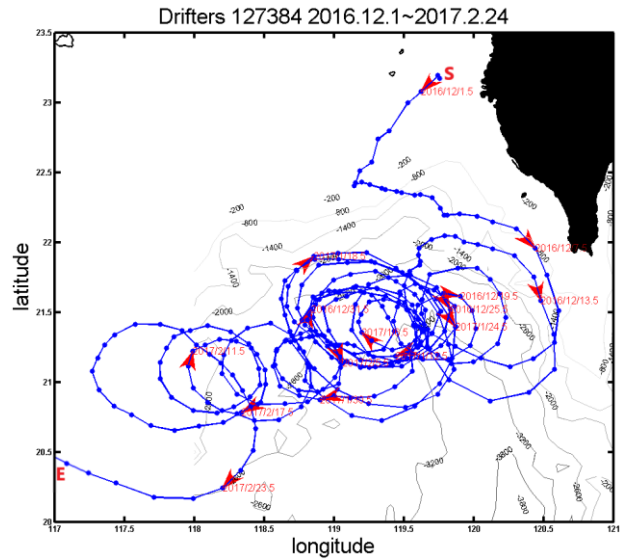


Fig.5 2016 年 12 月至 2017 年 2 月浮球#127384 軌跡圖，藍色線為浮球軌跡線，紅色線箭頭為 6 天間隔時間標示，S 為起點，E 為終點。

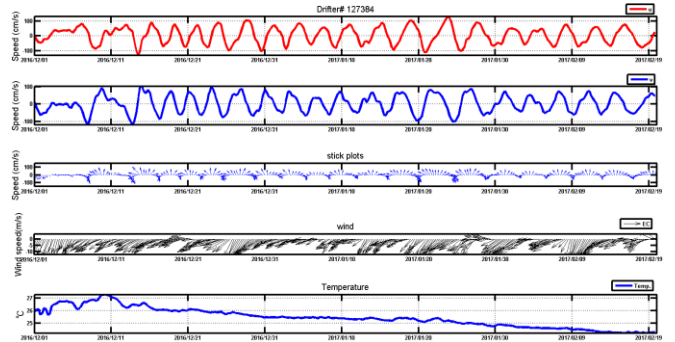


Fig.6 2016 年 12 月至 2017 年 2 月浮球#127384 時序圖(由上至下分別為東西向流速 u，南北向流速 v，海流棍棒圖，風棍棒及海溫)。

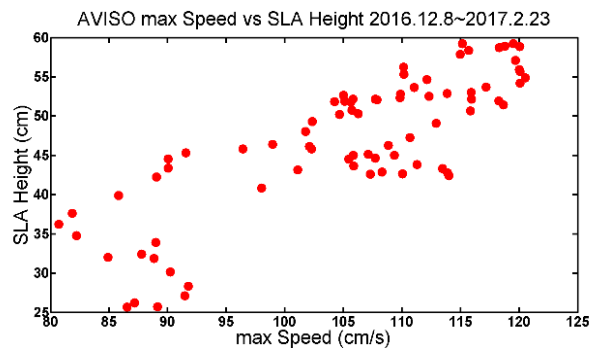


Fig.7 2016 年 12 月至 2017 年 2 月西南暖渦 AVISO 資料中最大流速 VS 最大海面高度圖。

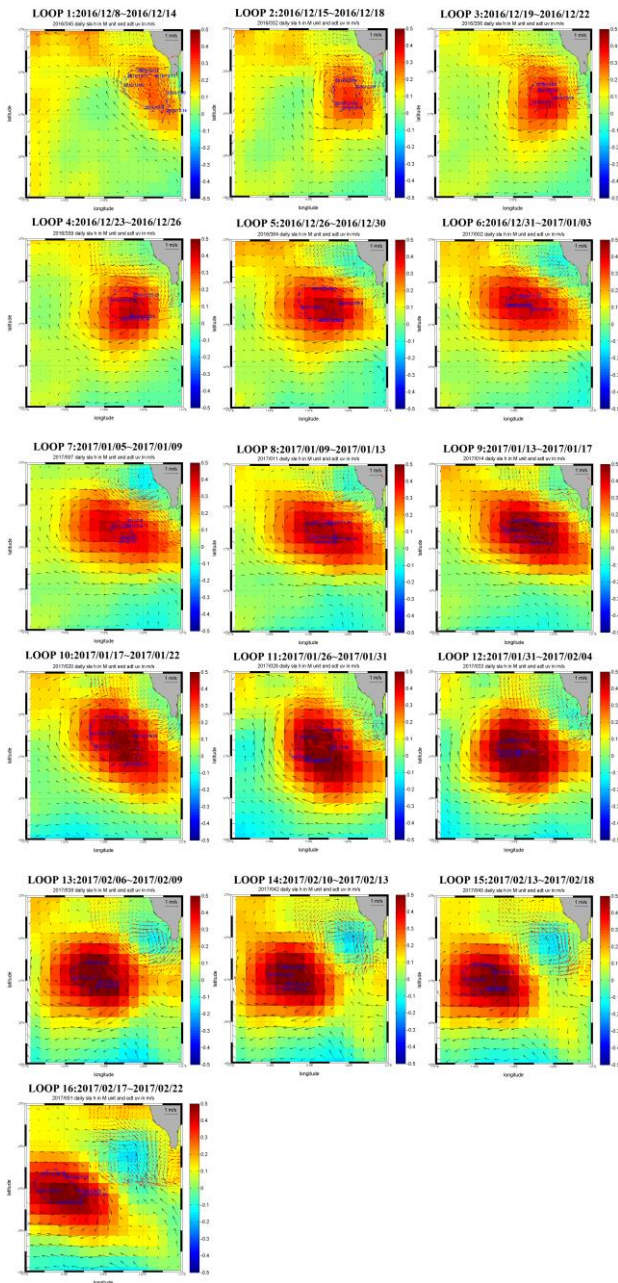


Fig.8 2016 年 12 月至 2017 年 2 月浮球#127384 在渦漩中打轉 16 圈，藍色箭頭為浮球流速，黑色箭頭為 ADT 地轉流流速，紅色箭頭為環台雷達 TOROS 的表面海流。

四、討論與結論

台灣西南海域受到複雜地形，黑潮入侵或套流流經，此海域經常產生順鐘向暖渦，由 SVP 浮球、環台雷達、高雄外海錨碇以及 AVISO 衛星遙測等多種實測資料交互比對，可以得知渦漩中心高度差較大的暖渦，

流速較強勁，旋轉周期短，旋轉速度較大，而暖渦中心皆是朝著西南方移動，特別在冬季產生的暖渦會受到風的強化效應，經由歷年 AVISO 高度計資料統計可知西南暖渦每一個季節皆會出現，其中又以冬天的出現頻率最高，此暖渦對於台灣西南外海的流況影響很大，本研究除了證實該海域暖渦的長期性存在，以及瞭解其物理特徵及季節性統計特性，未來將進一步探討暖渦的生成機制及動力過程分析的方向。

謝誌

本研究得已順利完成，要感謝國防科技計劃與氣象局計劃的資助，特此致謝。

五、參考文獻

1. Liang, W.-D., T.-Y. Tang, Y.-J. Yang, M.-T. Ko, and W.-S. Chuang, 2003: "Upper-ocean currents around Taiwan". *Deep-Sea Res. II*, 50, 1085-1105.
2. Wu, C.-R. and Y.-C. Hsin 2005: "Volume transport through the Taiwan Strait: a numerical study". *Terr., Atmos. Ocean. Sci.*, 16(2), 377-391.
3. Wu, C.-R., S.-Y. Chao and C. Hsu 2007: "Transient, Seasonal and Interannual Variability of the Taiwan Strait Current". *J. Oceanography*, 63, 821-833.
4. 鄭宇昕, 2013: "應用衛星測高偵測臺灣西南海域渦漩", 航測及遙測學刊第十七卷第 4 期第 287-293 頁.
5. Chang, Y. L.; Miyazawa, Y.; Guo, X., 2015: "Effect of Mesoscale Eddies on the Taiwan Strait Current", *J. Physical Oceanography*, 45, 1651-1666. DOI: 10.1175/JPO-D-14-0248.1
6. Dudley B. Chelton, Michael G. Schlax, Roger M. Samelson, 2011: Global observations of nonlinear mesoscale eddies, *Progr. Oceanogr.*, 91 (2011) 167-216, doi:10.1016/j.pocean.2011.01.002