



國立中山大學 海洋生物科技暨資源學系研究所

碩士論文

利用表面浮球及衛星高度計觀測北南海反氣旋渦漩

Anticyclonic eddies in northern South China Sea observed by drifters  
and satellite altimeter

研究生：廖允強 撰

指導教授：曾若玄 博士

中華民國 九十九年七月

## 謝 誌

本論文能順利完成，首先要感謝我的指導教授曾若玄老師，謝謝老師在這段日子的諄諄教誨，幫助我無論在學習、生活上度過許多的困難和挫折，在此獻上我最誠摯的感謝，並謝謝師母殷勤的關心我求學生活上的大小事，提醒我要注意健康。同時感謝王玉懷老師、陳冠宇老師和李逸環老師在口試時細心的指正與建議，讓我獲益良多。感謝學長勇廷、育嘉、蜂鈞在程式上與生活上熱心的幫助，感謝同學煥傑、家睿、永昇課業上的協助，也感謝學弟們郁峰、文瑜、展加的陪伴，讓我的研究所生活充滿歡樂。謝謝大家。

最後感謝我最親愛的家人，謝謝你們給我最無私的愛，並且將這份喜悅獻給你們，謝謝。

## 摘 要

本研究以 1986-2008 年間 NOAA/AOML 浮球資料庫中南海北部表面漂流浮球資料及 1992-2008 年 AVISO 衛星高度計之海面高度異常(Sea Level Anomaly, SLA)，探討南海北部及呂宋海峽附近區域中尺度反氣旋渦漩的時空分佈特性。首先利用浮球軌跡與衛星高度計同步觀測相同的渦漩現象，比對 2003.12-2004.02 及 2004.11-2005.01 兩個時期若干個具有渦漩特性的浮球軌跡與同時期的 SLA，驗證了兩者觀測結果的一致性。研究結果顯示 1992-2008 年北南海共發生 78 次連續存活的反氣旋渦漩事件，以 1994、1996、2001 及 2004 年的次數最多，1998 年最少，推測應與聖嬰發生時風場減弱有關。渦漩發生位置主要集中在台灣西南外海、北南海中部及呂宋海峽西側，東北季風期間(9 月至 3 月)生成的渦漩平均存活時間有 66.88 天，渦漩中心高度差為 10-20 cm，偶而有超過 30 cm 以上的渦漩存在，西南季風時期(4 月至 8 月)渦漩平均存活天數則有 51.43 天，渦漩中心高度差大部份小於 15 cm，其中台灣西南外海的渦漩中心高度差及移動速度均大於其他區域的渦漩。渦漩發生的位置與季風有明顯的關係，東北季風期間渦漩幾乎集中在呂宋海峽北端，此時的渦漩具有存活時間長、傳遞距離長且傳遞路徑向西移動的特性，存活時間超過 70 天的渦漩主要是沿著大陸棚邊緣向西傳遞，甚至到達 112°E，遠大於西南季風期間渦漩多半僅傳遞

至  $118^{\circ}\text{E}$ 。統計結果發現渦漩中心高度差與渦漩存活時間之間存在良好的線性關係，顯示強度較大的渦漩其存活時間較久。最後本研究發現浮球軌跡隨黑潮向北移動時，若在台灣西南外海觀測到套流的現象後，高度計在隨後短時間內往往可觀測到渦漩的形成，因此可推論黑潮套流可能為北南海渦漩生成的原因之一。

(關鍵字：浮球、南海、黑潮、海面高度異常、渦漩)

## Abstract

Satellite-tracked surface drifter data from 1986 to 2008 acquired from NOAA/AOML and the sea-level anomaly (SLA) data of AVISO from 1992–2008 were used in this study to investigate the mesoscale anticyclonic eddies in the northern South China Sea (SCS) and Luzon Strait. A comparison of the concurrent drifter trajectories and SLA for two eddy events (2003/12~2004/02 and 2004/11~2005/01) indicates good agreement between the two datasets. From historical SLA data (1992–2008) it is found that 78 anticyclonic eddies can be identified in the studied region. The number of occurrence is highest in 1994, 1996, 2001 and 2004, and is lowest in 1998. This result is likely due to the ENSO event and the associated wind lessening in the SCS.

Most eddies were generated off southwestern Taiwan coast, northern SCS and west of Luzon Strait. During northeastern monsoon the average life time of eddies is 66.88 days, and the average sea level height difference is 10–20 cm, occasionally reached a maximum value of over 30 cm. During southwestern monsoon eddies have an average lifetime of 51.43 days, and the average sea level height difference is mostly less than 15 cm. In

particular, eddies off the southwestern Taiwan coast have the characteristics of lower sea level height difference and translational speed. Location of eddy generation has a marked seasonal variation. During northeastern monsoon, most eddies were concentrated in northern Luzon Strait, propagating longer distance toward the west along the continental shelf, even reaching  $112^{\circ}\text{E}$ . On the other hand, eddies generated during the southwestern monsoon can only reach  $118^{\circ}\text{E}$ . Statistical results indicate a linear relationship exists between the sea level height difference and the life time for eddies, implying that stronger eddies are more long-lived. Finally, from drifter tracks it can be found that as Kuroshio penetrates through the Luzon Strait and forms a loop current off the southwestern Taiwan coast. Subsequently, eddies could often be identified from the SLA data. Therefore, it can be conjectured that in the northern SCS anticyclone are often shed from the Luzon Strait by Kuroshio penetration.

(keywords: drifter, South China Sea, Kuroshio, sea level anomaly, eddy)

# 目 錄

| 章次                           | 頁次   |
|------------------------------|------|
| 謝誌                           | I    |
| 中文摘要                         | II   |
| 英文摘要                         | IV   |
| 目錄                           | VI   |
| 圖目錄                          | VII  |
| 表目錄                          | VIII |
| 第一章、序論                       | 1    |
| 1.1 前言                       | 1    |
| 1.2 研究區域                     | 4    |
| 1.3 研究動機與目的                  | 5    |
| 第二章、資料來源                     | 7    |
| 2.1 Argos 表面漂流浮球             | 7    |
| 2.2 衛星高度計                    | 9    |
| 2.3 QSCAT 衛星風資料              | 10   |
| 2.4 TMI 水溫資料                 | 10   |
| 第三章、分析方法                     | 13   |
| 3.1 漂流浮球                     | 13   |
| 3.1.1 渦漩特性                   | 13   |
| 3.1.2 動能與速度變化量               | 14   |
| 3.2 衛星高度計                    | 16   |
| 第四章、渦漩的判斷及驗證                 | 17   |
| 4.1 平均動能、渦動動能及海面高度變化         | 18   |
| 4.2 衛星高度計及表面浮球觀測驗證           | 25   |
| 4.2.1 2003 年 12 月—2004 年 2 月 | 25   |
| 4.2.2 2004 年 11 月—2005 年 1 月 | 30   |
| 第五章、渦漩統計分析和觀測結果              | 41   |
| 5.1 渦漩空間分佈                   | 41   |
| 5.1.1 表面浮球觀測的渦漩事件            | 41   |
| 5.1.2 衛星高度計觀測之統計結果           | 49   |
| 5.2 渦漩特性及機制討論                | 52   |
| 5.2.1 渦漩季節性特徵                | 52   |
| 5.2.2 渦漩產生之機制：以黑潮套流為例        | 56   |
| 第六章、結論                       | 75   |
| 參考文獻                         | 79   |

## 圖目錄

|                                                                                                            |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 圖 1-1 南海北部水深地形圖                                                                                            | 6  |
| 圖 2-1 Argos 衛星定位系統示意圖                                                                                      | 11 |
| 圖 2-2 迷你型洞襪式 Argos 浮球                                                                                      | 11 |
| 圖 2-3 Argos 浮球之原型與迷你型洞襪式浮球示意圖                                                                              | 12 |
| 圖 4-1 1986-2008 年研究區域內浮球資料數目時間分佈圖                                                                          | 20 |
| 圖 4-2 1986-2008 年浮球施放點分佈圖                                                                                  | 21 |
| 圖 4-3 歷年所有浮球軌跡圖                                                                                            | 21 |
| 圖 4-4 歷年浮球速度分佈圖                                                                                            | 22 |
| 圖 4-5 冬季平均流動能及流向量圖                                                                                         | 23 |
| 圖 4-6 冬季渦動動能圖                                                                                              | 23 |
| 圖 4-7 1993-2007 北南海海面高度變化圖                                                                                 | 24 |
| 圖 4-8 2003 年 12 月-2004 年 2 月 NO. 41154 漂流浮球軌跡圖                                                             | 27 |
| 圖 4-9 2003/12/31-2004/2/4 SLA 分佈及 No. 41154 浮球軌跡圖                                                          | 28 |
| 圖 4-10 2003/12/31-2004/2/4 海表面溫度圖                                                                          | 29 |
| 圖 4-11 2004/11/11 於 $20^{\circ}$ - $22^{\circ}$ N, $116^{\circ}$ - $120^{\circ}$ E 同時順時針打轉並向西移動的 3 個漂流浮球軌跡 | 33 |
| 圖 4-12 2004/12/08-2005/1/12 SLA 分佈圖                                                                        | 34 |
| 圖 4-13 2004/12/08-2005/1/12 渦漩及漂流浮球軌跡                                                                      | 35 |
| 圖 4-14 表面浮球 NO. 49698、49699、49722, U、V、流速及海面溫度之時間序列變化圖                                                     | 37 |
| 圖 4-15 2004. 11. 24-2005. 01. 12 海表面溫度圖                                                                    | 38 |
| 圖 4-16 2004. 12. 15 浮球流速及地轉流速比較圖                                                                           | 39 |
| 圖 4-17 2004. 12. 22 浮球流速及地轉流速比較圖                                                                           | 40 |
| 圖 5-1 2003 年 10-12 月於台灣西南 $119^{\circ}$ - $120^{\circ}$ E, $21.5^{\circ}$ - $22.5^{\circ}$ N 順時針打轉的漂流浮球軌跡  | 43 |
| 圖 5-2 表面浮球 NO. 41139、41150、41250、41481, 流速、U、V 及海面溫度的時間序列變化圖                                               | 44 |
| 圖 5-3 2003 年 11-12 月於 $19^{\circ}$ - $21^{\circ}$ N, $114^{\circ}$ - $120^{\circ}$ E 同時順時針打轉的 2 個漂流浮球軌跡    | 45 |
| 圖 5-4 表面浮球 NO. 41128、41133, 流速、U、V 及海面溫度的時間序列變化圖                                                           | 46 |
| 圖 5-5 2006 年 5-6 月 No. 62305、62308 漂流浮球軌跡                                                                  | 47 |
| 圖 5-6 2006 年 5-6 月表面浮球 NO. 62305、62308 流速、U、V 及海面溫度的時間序列變化圖                                                | 48 |
| 圖 5-7 北南海反氣旋渦漩發生時間年月分佈圖                                                                                    | 51 |
| 圖 5-8 反氣旋渦漩發生位置分佈圖                                                                                         | 51 |
| 圖 5-9 1993-2008 年反氣旋渦漩發生位置及移動路徑圖                                                                           | 52 |
| 圖 5-10 呂宋海峽 $17^{\circ}$ - $24^{\circ}$ N, $118^{\circ}$ - $122^{\circ}$ E 反氣旋渦漩發生位置分佈圖                    | 63 |



|                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------|----|
| 圖 5-11 夏季西南季風期間發生於 118°E 以東渦旋路徑圖，(a)存在 60 天以上(b)存在 60 天以下 ..... | 64 |
| 圖 5-12 冬季東北季風期間發生於 118°E 以東渦旋路徑圖 .....                          | 65 |
| 圖 5-13 北南海反氣旋渦旋傳遞速度分佈圖(a)為西南季風期間(b)東北季風期間.....                  | 66 |
| 圖 5-14 北南海反氣旋渦旋所在位置高度差分佈圖(a)為西南季風期間 (b)東北季風期間 ... ..            | 67 |
| 圖 5-15 渦旋存在時間與渦旋強度之線性關係(a)為發生在西南季風時期 (b)為東北季風時期(c)為全年 ... ..    | 68 |
| 圖 5-16 2003 年 No. 41116、41119、41173、41167 浮球軌跡圖.....            | 69 |
| 圖 5-17 2004 年 No. 49641、49679、49725 浮球軌跡圖.....                  | 69 |
| 圖 5-18 2005 年 No. 56644、56694、56703、56743 浮球軌跡圖.....            | 70 |
| 圖 5-19 2006 年 No. 63097、63098 浮球軌跡圖.....                        | 70 |
| 圖 5-20 2003 年 12/17-1/7 SLA 分佈及表面漂流浮球 No. 41167 軌跡圖             | 71 |
| 圖 5-21 2004 年 1/14-2/4 SLA 分佈及表面漂流浮球 No. 41173 軌跡圖...           | 72 |
| 圖 5-22 2004 年 3/17-4/7 SLA 分佈及表面漂流浮球 No. 41489 軌跡圖...           | 73 |
| 圖 5-23 2004 年 11/17-12/5 SLA 分佈及表面漂流浮球 No. 49679 軌跡圖            | 74 |

## 表目錄

|                                                      |    |
|------------------------------------------------------|----|
| 表 4-1 2003. 12. 31-2004. 02. 04 衛星高度計估算渦旋物理特性.....   | 27 |
| 表 4-2 2004. 11. 24-2005. 01. 05 衛星高度計估算渦旋物理特性.....   | 36 |
| 表 4-3 2004. 11. 24-2005. 01. 05 台灣西南外海漂流浮球其渦旋特性..... | 36 |
| 表 5-1 2003 年 10-12 月 21.5°-22.5°N 發生打轉現象浮球其渦旋特性...   | 43 |
| 表 5-2 2003 年 11-12 月 19°-21°N 發生打轉現象浮球軌跡其渦旋特性...     | 45 |
| 表 5-3 2006 年 5-6 月表面浮球 NO. 62305 62308 渦旋特性.....     | 46 |
| 表 5-4 歷年西南季風期間發生在呂宋海峽反氣旋渦旋特性統計 .....                 | 60 |
| 表 5-5 歷年東北季風期間發生在呂宋海峽反氣旋渦旋特性統計 .....                 | 61 |

# 第一章、序論

## 1.1 前言

渦漩 (Eddy) 是大洋中常發生的自然現象之一，尺度從數公里到上百公里，存活時間數天到數月之間，渦漩本身形成的機制與特性是科學家感興趣的，渦漩發生後會將海洋底部碎屑如葉綠素、營養鹽等帶到浮游生物所生長及覓食的表面水面進而吸引魚群覓食形成漁場，對於全球海洋生態有重要的影響。目前海洋中尺度渦漩的觀測以衛星高度計為主，衛星觀測之海水位精度可達數公分等級，全球海洋中尺度渦漩被認為是向西傳播，傳播速度隨著緯度有著明顯不同的變化，赤道附近的西向傳播速度為 13 cm/s，而在高緯度速度將遞減到不足 1 cm/s，表現出類似 Rossby wave 的傳播特性。北太平洋西方邊界流-黑潮，起源於菲律賓東部，北緯約 10 度處，對東亞之漁業、導航、洋流等扮演了重要角色，呂宋海峽深受其影響，近幾年來，學者們已經利用數值模式、衛星觀測資料、水文資料來探討此區域渦漩的特性。

北南海是中尺度渦漩活動最頻繁的區域，渦漩的形成由季風、黑潮入侵、及地形等相互影響(He et al., 2002)，而風應力旋度也是重要的形成機制之一(Xiu et al., 2010)，而南海北部暖渦的形成已證實來自黑潮的入侵。Li et al. (1998) 利用 Sb-ADCP 討論黑潮套流，

指出在北南海黑潮入侵後在台灣西南部形成的套流(loops)是屬於間歇性發生的情況，研究區域中的黑潮套流非常相似於墨西哥灣流。Richardson(2005)使用 212 個 Argos 表面漂流浮球軌跡分析加勒比海的渦漩，利用打轉的浮球軌跡可以用來辨識渦漩的存在並計算其特性，分析結果顯示委內瑞拉及哥倫比亞海盆之間發生的渦漩向西傳遞速度則約 13 cm/s，渦漩平均旋轉速度在  $40\pm 4$  cm/s，平均直徑 172 km。Centurioini et al.(2004)分析 Argos 浮球、衛星高度計資料與海表面溫度，利用通過呂宋海峽的浮球觀測向西的表面流速，結果顯示該海域的表層流速遠大於東北季風風速 8-10 m/s 所造成的艾克曼流速，另外水文資料顯示出黑潮在東北季風的作用下會從呂宋海峽入侵南海，表面漂流浮球在冬季時以  $0.7\pm 0.4$  m/s 的平均流速通過呂宋海峽進入南海內部，每天平均向西流的速度超過 1.65 m/s，主要向西流的路徑約在  $20^{\circ}\text{N}$ ，文中亦提及在一次浮球經過海峽直接向西入侵南海的路徑中，其衛星高度計資料指出在海峽西側浮球路徑的北面和南面分別有反氣旋渦漩和氣旋渦漩存在。

Hwang et al.(2000)利用衛星高度計分析南海的環流和渦漩，結果顯示南海環流的季節性變換方向深受季風的影響，且在呂宋島西側、呂宋海峽西側和越南東側海域都有冷渦和暖渦出現過。Yuan et al.(2006)指出黑潮的反氣旋渦漩入侵是屬短暫的情形，會發生在任

何一個季節，冬季為主要發生的季節，一般至少會存在數星期之久，最長的入侵事件發生在 1995-1996 年冬季，存活時間有 5 個月之久。Jia and Liu(2004)使用 Parallel Ocean Climate Model 和衛星高度資料分析黑潮入侵時流場的變化以及 1992-2001 年在呂宋海峽發生之渦漩的開始時間，結果顯示黑潮主流進入南海會呈彎曲狀，隨著時間變化形成週期性的反氣旋渦漩，夏季西南季風盛行期間共有 16 次渦漩發生的事件，冬季東北季風期間則有 17 次，發生的頻率最高的區域在  $19.5^{\circ}$ - $21.5^{\circ}$ N,  $119.5$ - $120^{\circ}$ E 之間。Chow et al. (2008)利用 AVISO 衛星高度資料及 28 個歷史浮球軌跡，研究北南海東沙附近的中尺度渦漩現象，根據海面高度變異值定義出在北南海的中尺度渦漩，該區域中尺度渦漩，平均移動速度為 9.4 cm/s、渦漩平均中心高度差 5.9 cm、平均面積大小達  $22.4 \times 10^3 \text{ km}^2$ ，渦漩每年會發生一到兩次，每次發生後存在的時間約 1-3 個月，春、夏季時平均移動速度約 12-16 cm/s，秋、冬季則較快約 16-31 cm/s。Wang et al. (2008)觀測 2003/2004 年衛星遙測資料及 MEDS(Marine Environmental Data Services)中兩個表面浮球的漂流軌跡 No. 22517 和 No. 22918 結果配合水文資料的分析顯示出在北南海在 2003 年初前後發生的兩個反氣旋渦漩，移動速度分別是 9.7 cm/s 和 10.5 cm/s，其認為渦漩的強度及速度的變化是由北南海周圍流場交互影響所造成的，並從水文資

料判定渦漩的核心是屬於高溫低鹽的型態。

綜合以上學者所述，冬季時黑潮在東北季風的作用下會從呂宋海峽入侵南海，而夏季時南海海水則會流出呂宋海峽(Shaw and Chao., 1994)，黑潮部份支流會入侵南海北部形成反氣旋渦漩，且有繼續由東向西移動的趨勢，在北南海區域發生的反氣旋渦漩具有高度的活動力，其形成的機制與季風的轉換、黑潮入侵、地形的高低、海水水溫及風應力旋度值等因素有相當大的關聯。

## 1.2 研究區域

為了探討在黑潮海域所發生的反氣旋渦漩特性，本研究將分析的範圍放在  $16^{\circ}$ - $24^{\circ}$ N,  $110^{\circ}$ - $122^{\circ}$ E 間，觀測由呂宋海峽一帶延伸至北南海內部所發生的反氣旋渦漩。圖 1-1 為南海北部水深地形圖，水深間隔為 1000 公尺，南海(South China Sea)位於台灣西南方，南起赤道，北至台灣海峽南端約  $22^{\circ}$ N，經度  $99^{\circ}$ - $121^{\circ}$ E 之間，是世界第三大邊緣海(僅次於珊瑚海和阿拉伯海)，其海底地形複雜，包含寬廣的大陸架、較陡的大陸坡和遼闊的深海盆地。南海四周較淺，中央深陷，海盆不對稱，其長軸呈東北西南走向，長軸的東北端瀕臨巴士海峽，西南伸向中南半島和南沙群島之間的海域，最大水深超過 5000 公尺，平均水深則超過 2000 m，這種地形非常有利於和北邊的台灣海峽、

東北邊的呂宋海峽以及南邊的麻六甲海峽分別與東海、太平洋及印度洋進行水體交換。而呂宋海峽比起其他海峽由於具有較寬且深的水道，在南海與西太平洋的動力交換上扮演重要的角色。

### 1.3 研究動機與目的

表面漂流浮球及衛星高度計有別於其他現場觀測方法，可在任何天候、海象與時間下進行大面積、大範圍和長期觀測的特性與優點，有助於了解南海北部及呂宋海峽歷年發生的渦漩之特性。若僅利用水文及現場觀測資料如 CTD、ADCP 等觀測渦漩，因其發生及消失的時間點較難以決定，故需要大範圍且長時間序列的觀測資料才能驗證渦漩的存活時間及所在位置。此外漂流浮球的觀測包含流速及軌跡，故能直接了解實際海流的情況，可驗證衛星高度計觀測到的渦漩現象。從前人的研究發現呂宋海峽為渦漩發生最頻繁的區域之一，多數研究採用衛星遙測技術、實測資料、數值模式等方法來討論，但是結合表面浮球觀測及衛星海面高度計驗證渦漩的存在及探討其特性的研究仍屬少數，且歷年來的研究並未針對北南海的整體性統計分析、渦漩傳遞路徑及季節性的特徵做完整的探討。因此本研究期望分析表面漂流浮球及衛星高度計的資料來了解北南海海域及呂宋海峽所發生的反氣旋渦漩的起始位置、傳遞路徑及物理特性等深入研究，探討這些現

象的關連性。

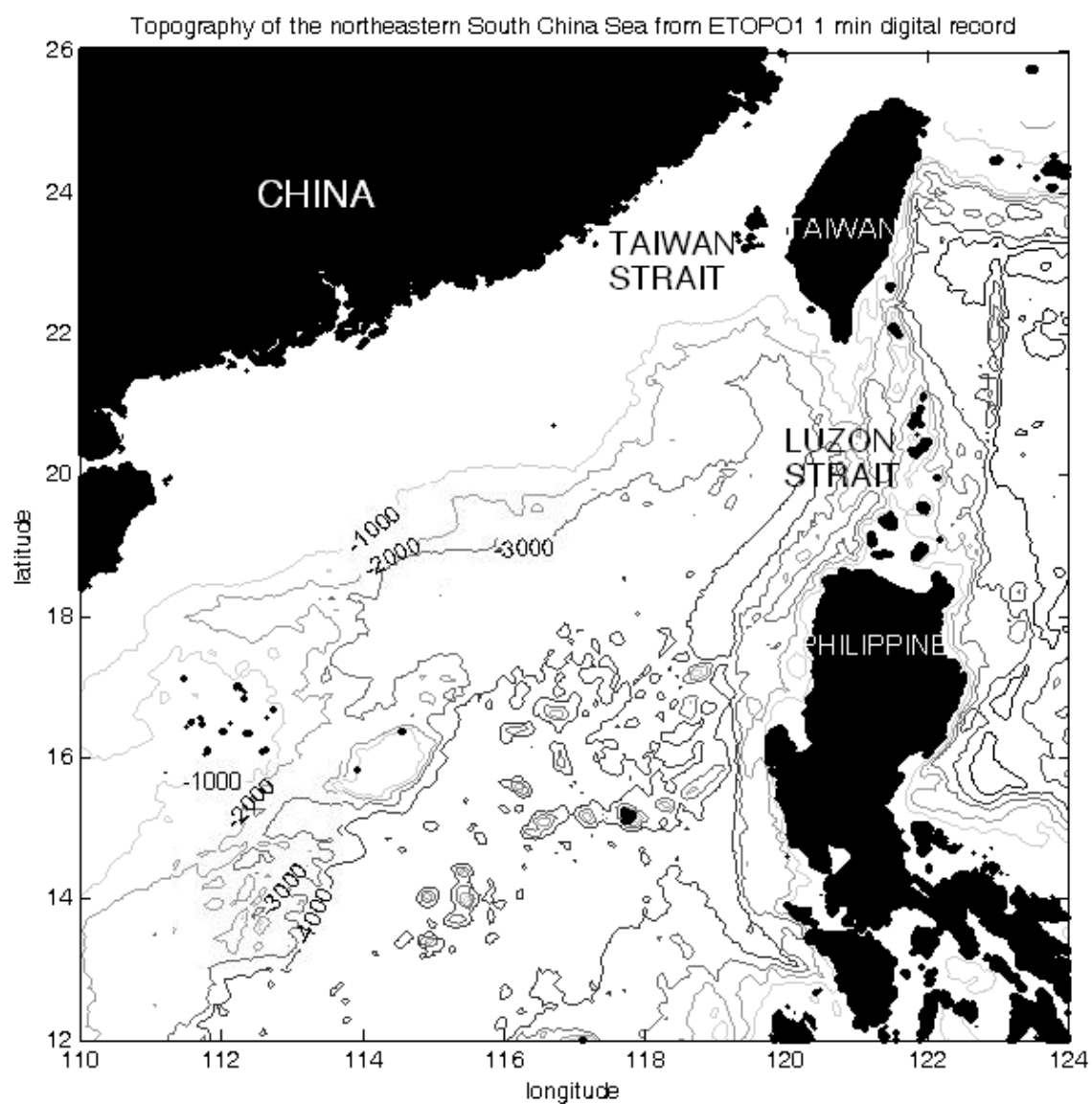


圖 1-1 南海北部水深地形圖，水深間距為 1000 m。

## 二、資料來源

### 2.1 Argos 表面漂流浮球

Argos 於 1978 年由法國 CNES (Centre National d' Etudes Spatiales) 和美國 NASA (National Aeronautics and Space Administration) 及 NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) 所創立，目的是收集全球的氣象及海洋資料，是資料收集、處理和提供的衛星定位系統，發射頻率為  $401.650 \text{ MHz} \pm 30 \text{ kHz}$ ，圖 2-1 為 Argos 衛星定位系統的示意圖，將系統裝載在表面漂流浮球或任何需追蹤的生物或物體上，採用都卜勒效應來定出發報器平台的位置，再利用系統回報的位置資料進行分析，每天約有 16 到 20 顆的浮球被衛星予以定位，本系統的優點是較 GPS 系統省電，只需消耗數毫安培，定位準確度在 200-300 m 內。本研究中的表面漂流浮球為 WOCE (The World Ocean Circulation Experiment) 所發展出來的洞襪式浮球(Holey Sock Drifter)，洞襪式浮球有原型和迷你型兩種(圖 2-2 迷你型洞襪式 Argos 浮球，圖 2-3 為原型和迷你型浮球示意圖)，主要是大小上的差異。表面浮球上的拖傘受海流的拖曳力遠大於風和浪的影響，浮球中心深度為 15 m 以測量在海洋表面混合層中的海流，具有直接追蹤渦流、即時回報浮球位置、流速等優點，另外可記錄海水表面溫度(SST)，浮球的平均壽命大於 400 天，這也



是浮球能長期觀測的最大主因。浮球施放前拖傘會用溶於水的紙膠帶捆綁以縮小體積方便拋投，圖 2-2 為迷你型洞襪式 Argos 浮球圖，連接球體與拖傘的纜繩也會捲在溶於水的厚紙板圓弧上，避免其下水前後扭結在一塊，浮球施放前需將浮球上的磁鐵移除，使其磁力開關打開並開始發送信號，下水後經 1 小時以上拖傘和纜繩便會完全展開，承受中心水深 15 m 左右的海流拖曳力。

Argos 浮球資料下載網址為美國 NOAA/AOML 浮球資料庫 <http://www.aoml.noaa.gov/phod/trinanes/xbt.html>，下載 1986 年 1 月 1 日到 2008 年 12 月 31 日，北緯  $15^{\circ}$ - $25^{\circ}$ N，東經  $110^{\circ}$ - $125^{\circ}$ E 的歷史浮球資料，共有 636 顆表面浮球漂流軌跡，資料間隔為每 6 小時一筆，資料格式包含浮球編號、經緯度、東西和南北方向的速度分量、海水溫度等，由美國 NOAA/AOML 的 Drifter Data Assembly Center (DAC) 收集，並進行資料品管，刪除浮球擱淺、被漁夫撈走和在船上未佈放前的位置等因素，消除極端錯誤的資料後內插成為 6 小時間隔的資料(Hansen and Poulain, 1996)，再經由 12 小時的位移量取中心點有限差分(centered finite differences)的東西向 U 與南北向 V 的速度分量，精確度為流速 10 cm/s 在風的影響下誤差約為 1 cm/s (Niiler et al., 1995)。

## 2.2 衛星高度計

衛星高度計資料融合 TOPEX/POSEIDON、ERS-1/2 及 Jason-1 三種衛星高度資料，由法國 AVISO (Archiving, Validation and Interpretation of Satellite Oceanographic data) 提供，這些資料被內插為解析度  $1/3^\circ \times 1/3^\circ$ ，範圍  $82^\circ\text{S}$ - $82^\circ\text{N}$ ，資料間隔為一週的網格化產品，海面高度異常 (Sea Level Anomaly, SLA) 為絕對動力高度減去 1993 年 1 月到 1999 年 12 月共七年的平均，當中包含潮汐和海面大氣壓力的修正，大陸棚區域的 SLA 仍然包含潮汐及內波影響的因素 (Yuan et al., 2007)，本研究將水深低於 200 m 區域之 SLA 遮蔽。除此之外，地轉流資料也被本研究使用，地轉流則由絕對動力高度所計算。TOPEX/POSEIDON 人造衛星是由美國太空總署 (NASA) 與法國太空總署 (CNES) 共同合作，於 1992 年 8 月 10 日所發射，主要任務是研究全球海洋洋流，以衛星測高技術獲得更精確的海水位觀測量。ERS-1 遙感探測衛星為歐洲太空總署 ESA (European Space Agency) 於 1991 年 7 月發射，從海洋及冰上的回波提供海水面高度、風速、大地水準面、潮汐和漂浮在海上之冰山和薄冰之各種資料和參數，ERS-2 於 1995 年發射，功能和 ERS-1 相同，皆於同一個軌道飛行。衛星上裝有測高儀，自天線沿天底方向發射脈衝到海面而折回，雷達往返海面之所需時間推算衛星到海面的距離得知海面水位。下載網址

<http://www.avisioceanobs.com/en/data/products/sea-surface-height-products/global/msla/index.html>，資料日期 1992 年 10 月 14 日到 2008 年 1 月 23 日，共 798 週的 SLA 資料。

### 2.3 QSCAT 衛星風資料

Qscat 海面上 10 公尺處的風資料，包含 SeaWinds 和 QuikScat 兩個散射儀，資料可分別下載，但僅提供 2003 年 4 月至 10 月的 SeaWinds 資料和 1999 年 7 月到 2009 年 11 月的 QuikScat 資料。資料類型包含了當天早、晚或每週、月的平均風速，解析度為  $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ ，下載網址為 [http://www.ssmi.com/qscat/qscat\\_browse.html](http://www.ssmi.com/qscat/qscat_browse.html)。

### 2.4 TMI 水溫資料

由 Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) 雷達衛星觀測之 TMI (TRMM Microwave Imager) 的海水表面溫度 (SST)，解析度為  $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ ，資料類型包含每日、每三天、週、月平均等四種，由 Global Hydrology Resource Center of NASA 所提供，下載網址為 [http://www.ssmi.com/tmi/tmi\\_browse.html](http://www.ssmi.com/tmi/tmi_browse.html)。



圖 2-1 Argos 衛星定位系統示意圖(摘自 NOAA/AOML 網站)



圖 2-2 迷你型洞襪式 Argos 浮球：迷你型浮球直徑為 38 cm，托傘分為 4 層，總長度為 4.88 m，重 20 kg，每層 1.22 m 長，托傘直徑為 61 cm。托傘每層有兩個圓洞相對，相鄰兩層的圓洞為  $90^\circ$  交錯。

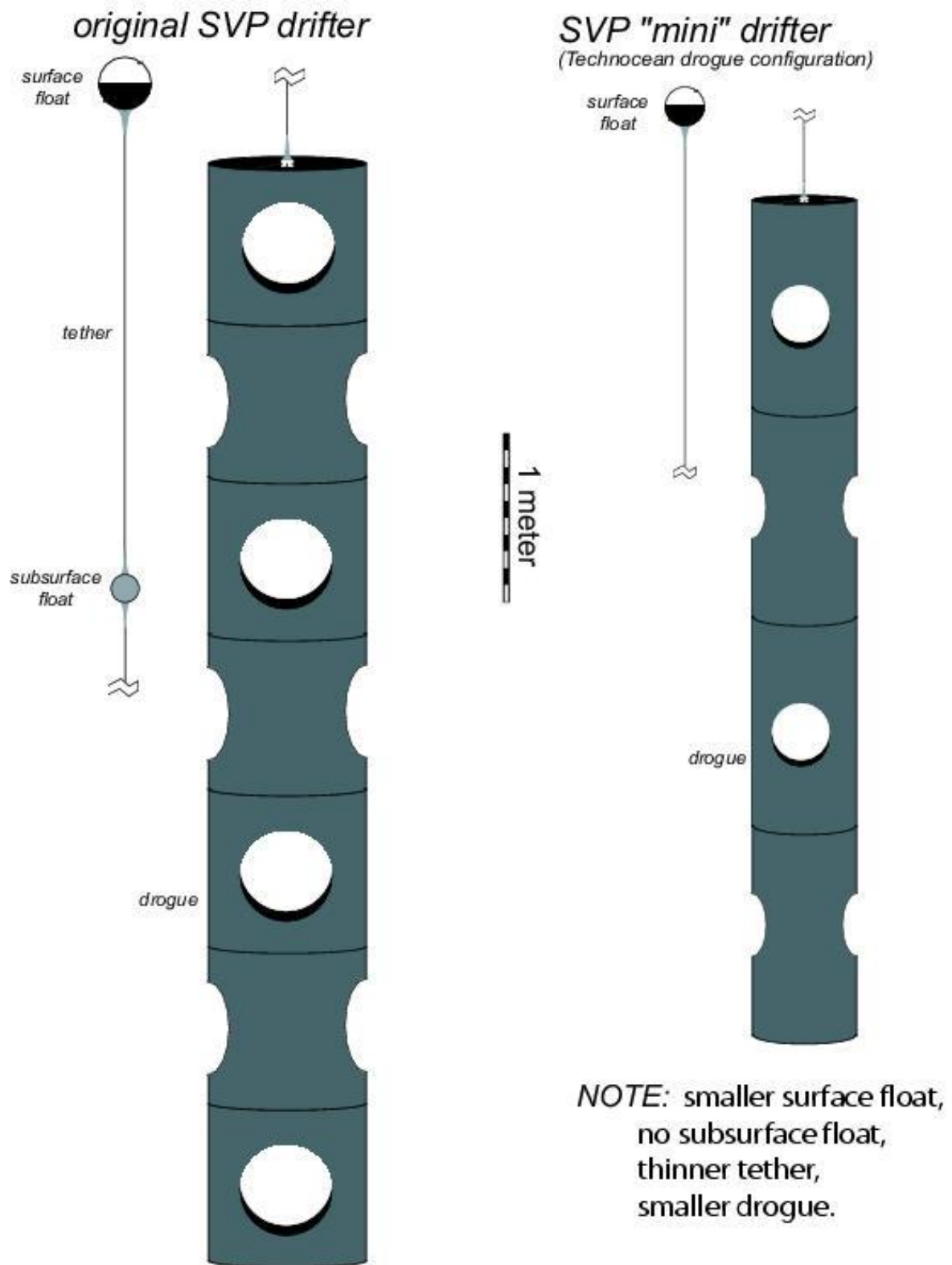


圖 2-3 Argos 浮球之原型與迷你型洞襪式浮球示意圖，左圖為原型，右圖為迷你型，兩者僅大小上的不同(摘自 NOAA/AOML 網站)，原型浮球直徑為 30.5 到 40 cm，托傘由上至下分為七層，總長度為 6.44 m，每層 92 cm 長，直徑 92 cm，重 45 kg。

## 第三章、分析方法

### 3.1 漂流浮球

#### 3.1.1 渦漩特性

本研究利用 1986 年到 2008 年間所有浮球的軌跡與流速資料，參考 Richardson(2005)所提出的方法，來估算渦漩的各項物理特性，例如渦漩直徑、旋轉週期、旋轉速度及移動速度等。首先需鑑別出符合渦漩定義的漂流浮球軌跡，必須在同一方向順時針或逆時針至少旋轉二圈以上，稱之為 looper，再利用浮球開始進入到離開渦漩之流速時間序列做以下特性之計算：

- 旋轉速度(Swirl velocity)：

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N [(u')^2 + (v')^2]}{N}}$$

S：渦漩的旋轉速度。

i：在打轉期間內第 i 個浮球資料點。

N：打轉期間內資料點的個數。

$u'$ ： $u' = u - \bar{u}$ ，其中 u 為浮球的東西分量速度， $\bar{u}$  為 u 的平均值。

$v'$ ： $v' = v - \bar{v}$ ，其中 v 為浮球的東西分量速度， $\bar{v}$  為 v 的平均值。

- 旋轉週期(Looping period)：

$$LT=T/n$$

n：looper 的打轉次數。

T：浮球進入渦旋後的資料時間長度。

- 渦旋直徑(Eddy diameter)：

$$\text{Diameter}=(S \times LT) / \pi$$

S:旋轉速度。

LT:旋轉週期。

### 3.1.2 動能與速度變化量

網格化的渦動動能及平均流動能則參考 Poulain(2001)提出之

Eulerian 統計方法加以分析：

- 平均動能(Mean Kinetic Energy, MKE)：

$$MKE = \frac{1}{2} \left[ \langle u \rangle^2 + \langle v \rangle^2 \right]$$

表示流場平均流強度， $\langle \rangle$  為網格內所有流速的平均。

- 渦動動能(Eddy Kinetic Energy, EKE)：

$$EKE = \frac{1}{2} \left[ \langle u'^2 \rangle + \langle v'^2 \rangle \right]$$

表示流場紊流的強度。

● 速度變化量橢圓(Velocity ellipse):

速度變化量橢圓的長短軸及方位角，可由以下公式來推算(Emery and Thomson, 1998)

Principal angle :

$$\tan(2\theta_p) = \frac{2\overline{u'v'}}{\overline{u'^2} - \overline{v'^2}}$$

$$\theta_p = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left[ \frac{2\overline{u'v'}}{\overline{u'^2} - \overline{v'^2}} \right]$$

$$-\pi/2 \leq \theta_p \leq \pi/2$$

$$\left. \begin{matrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \end{matrix} \right\} = \frac{1}{2} \left\{ \left( \overline{u'^2} + \overline{v'^2} \right) \pm \left[ \left( \overline{u'^2} + \overline{v'^2} \right)^2 + 4 \left( \overline{u'v'} \right)^2 \right]^{1/2} \right\}$$

$\lambda_1$  及  $\lambda_2$  分別是主要軸(長軸)和次要軸(短軸)的速度變化量，兩軸夾角為  $90^\circ$ ， $\theta_p$  是主要軸的角度。當速度變化量橢圓為近似圓形時表示該區域的流速方向性並不一致，常發生在流速不定的區域，相反地當橢圓呈線性或扁平狀，表示此區域流速方向性一致，多半發生在靠近沿岸如台灣東岸黑潮流域及台灣西岸。



### 3.2 衛星高度計

本研究繪製了 1992 年 11 月至 2008 年 1 月於研究區域內每週的 SLA 分佈圖，等高線間距為 2 cm，由於反氣旋渦漩會造成正 SLA 的變化並連續存在的特性，利用連續的 SLA 分佈圖判斷渦漩發生的位置以及存活時間，並參考 Chow et al. (2008) 研究中尺度渦漩的定義來鑑別渦漩的存在及其特性。

1. 封閉等高線所呈現的相貌近似於橢圓或圓形，若形成凹面或不規則形的封閉等高線並不能被定義為渦漩。
2. 封閉等高線的面積需大於  $50 \times 50 \text{ km}^2$ 。
3. 渦漩中心定義為該封閉等高線經緯度的平均。
4. 渦漩中心與最外圍等高線高度差需大於 6 cm。
5. 以上四點特性需連續在 SLA 等高線圖中觀測到 4 次，至少需連續存在 28 天以上，在本研究中才被定義為渦漩。

其中渦漩高度差為渦漩中心的變異值減去邊緣等高線的變異值，此值定義為渦漩強度，稱為 Dif(height difference)，Xiu et al. (2010) 指出強度越大的渦漩，存活時間越久，南海反氣旋渦漩平均強度約 17 cm。傳播速度是將渦漩從開始到結束所移動的距離除以渦漩的存活時間。渦漩半徑則是渦漩中心取四個方向至封閉高度線邊緣的半徑平均。

## 第四章、渦漩的判斷及驗證

本章利用歷史浮球資料及 SLA 討論北南海流場及渦漩等特性，圖 4-1 為研究區域內浮球資料數目逐年分佈圖，圖 4-1(a) 為年份分佈，顯示浮球資料巔峰期在 2005 年，資料達 30000 筆以上，圖 4-1(b) 為月份分佈，資料數量在冬季最多，夏季較少，圖 4-2 及圖 4-3 分別為浮球施放位置分佈圖及漂流軌跡圖，圖中符號「+」代表浮球的施放點，顯示漂流浮球的資料在北南海具有相當程度的覆蓋率可做為分析，浮球的起點大多集中在南海北部的東部邊界，也就是台灣東南方海域延伸至菲律賓呂宋島西南海域一帶，自 1986 年以來浮球在北海海域投放的數量，從初期的少數一直到 2005 年時投放的數量最多，而這些漂流浮球施放點多在呂宋海峽，研究目的為了解呂宋海峽間的黑潮特性所施放(Centurioini et al., 2004)，並有部份浮球被施放在北南海內部，一部份是從太平洋漂流進入北南海，浮球資料較少的區域包含台灣海峽西邊及南海南部。本研究從浮球軌跡來判定渦漩的存在，從 1986 年起在台灣附近海域呈現 looper 現象的浮球只有 43 個，以浮球時間的分佈年來看，1992、1993、1995 分別只有 1、2、1 個浮球有打轉現象，1996-2002 年則無明顯打轉現象的軌跡，可能是浮球施放的數量較少所致，之後 2003 年底有 11 個，2004 年底有 14 個，2005 年底有 11 個，夏天有 3 個，2006 年底有 4 個，另外 2007

年底有 1 個，夏季有 7 個，這些資料均可作為渦漩的分析。

整體而言，在北南海海域夏季浮球資料比冬季少，從呂宋海峽施放的浮球多半從臺灣東側向北流，部份在臺灣西南外海呈現順時針打轉 2-3 周後，再隨黑潮從臺灣東側向北漂流，在冬季東北季風旺盛時期，浮球會以順時針方式向西漂流，一部份的軌跡是從太平洋漂流進入北南海(Centurioini et al., 2004)。圖 4-4 為歷史表面浮球流速分佈圖，顯示呂宋海峽及臺灣東側的黑潮主軸是流速較強的區域，均達 1 m/s 以上，其他達 1 m/s 的區域只有海南島外的沿岸流，北南海的海流多半在 0.2-0.4 m/s 之間，而 0.4-0.6 m/s 的流速集中在大陸棚架的區域，呈現東北向西南的流向。

#### 4.1 平均動能、渦動動能、海面高度變化

本節使用  $1/3^\circ \times 1/3^\circ$  的解析度，在資料品質管理上每網格點至少包含 10 筆以上的浮球資料來計算冬季平均動能(MKE)及渦動動能(EKE)，期望了解整個研究區域中冬季 MKE 及 EKE 的分佈，由於夏季浮球資料不充足，符合 10 筆資料的網格點不多，對於整體性的探討缺乏較客觀的結果，故本節僅討論冬季的分佈情形，圖 4-5 為北南海冬季平均動能及流向量圖，在冬季季風期間流場呈現逆時針方向向西南流，MKE 的高值在呂宋海峽及海南島南邊，達  $4611.6 \text{ cm}^2/\text{sec}^2$ ，台

灣東側的 MKE 也很大，顯示黑潮扮演了重要的角色，南海其他區域的 MKE 值較低，呂宋海峽的冬季平均流皆朝西北方顯示出黑潮有入侵南海的現象，平均流場亦顯示在台灣西南方形成一反氣旋渦漩。圖 4-6 為冬季渦動動能及速度變化橢圓圖，顯示呂宋海峽為渦動動能最高的區塊，渦動動能均大於  $800 \text{ cm}^2/\text{sec}^2$ ，最大可達  $2407.8 \text{ cm}^2/\text{sec}^2$ ，經過呂宋海峽後 EKE 有逐漸向西遞減的趨勢，速度變化橢圓的分佈，在呂宋海峽海域  $118^\circ\text{-}121^\circ\text{E}$  呈現圓型，顯示此區域流速及流向皆不穩定，橢圓的面積也較其他區域大，另外水深低於 1000 m 的區域速度變化橢圓較扁且細長，如台灣東側呈現扁平狀，台灣西側、大陸及海南島沿岸流則呈現線型，說明了這些海域的流場較為穩定。

圖 4-7 為 1993 至 2007 年 Aviso 海面高度變異隨緯度和經度的變化圖，橫軸為  $117^\circ\text{-}122^\circ\text{E}$ ，由左至右分別為  $19^\circ\text{-}22^\circ\text{N}$  的高度變化，目的是驗證前述渦動動能高值的區域與 SLA 是否有相關。結果顯示 1993 年各緯度的 SLA 變化並不明顯，1995 及 1996 年於  $19^\circ\text{N}$  秋、冬季 SLA 隨時間有東向西遞增的趨勢， $20^\circ\text{-}21^\circ\text{N}$  變異值則較低，1995-1996 年反聖嬰年 EKE 值為歷年最高，此時期渦漩具有強的活動力，1997-1998 年間聖嬰現象造成風速變弱，使渦漩的活動力降低(Xiu et al., 2010)，SLA 的變化較其他年份並不明顯，在此段時間觀測到的渦漩並不多。在 1998、1999、2000、2001 年於  $19^\circ\text{N}$ ，正 SLA 幾乎

延續秋、冬甚至春季，屬於大範圍且連續性的異常，隨後 2002-2005 年則較弱，一直到了 2004 年下半年 SLA 就明顯降低，2006-2007 年 SLA 又轉變為強烈，從 1993 年到 2007 年在  $20^{\circ}$ - $22^{\circ}$ N 這個範圍中是正負 SLA 交錯發生，夏季也有正 SLA 存在，從圖上可窺知在  $20^{\circ}$ - $22^{\circ}$ N 的 SLA 存在時間較短，但發生次數頻繁，筆者認為與渦漩活動有關並與計算渦動動能值之最大區域相呼應，更誘使本研究繼續對該區域渦漩的活動做深入的討論。整體而言，研究區域內的 SLA 是接近於週期的變化，冬季時 SLA 是比夏季時來得大並屬於正值，夏季的變異大都份則屬於負值，利用浮球軌跡或可解釋 SLA 的變化是否與此處渦漩的頻繁發生間的關係並可了解本區域渦漩運動方式及其物理特性。

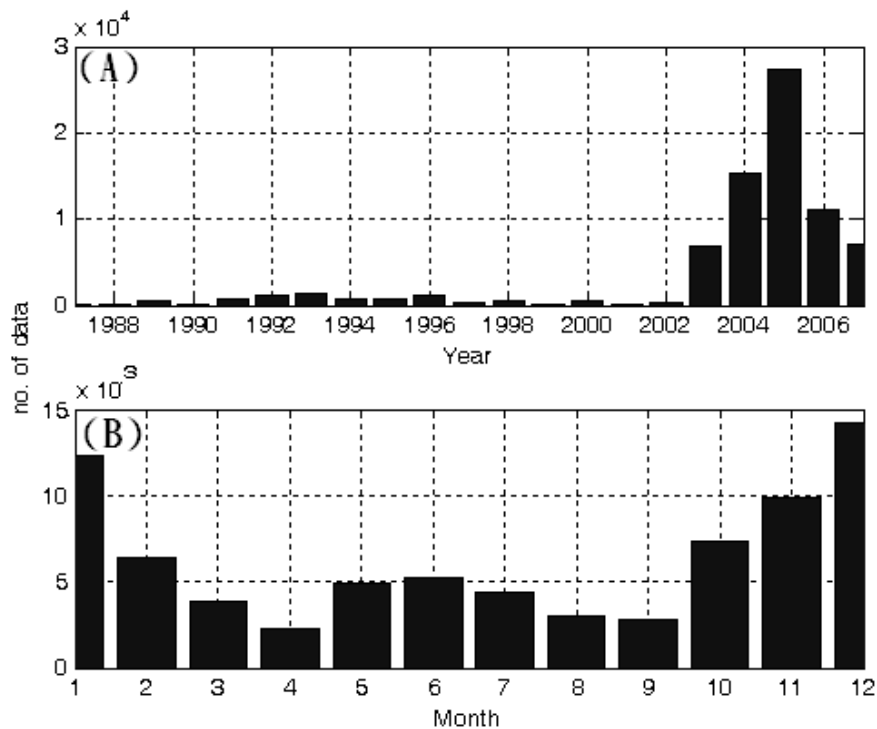


圖 4-1 1986-2008 年研究區域內浮球資料數目時間分佈圖，(a)為年份分佈(b)為月份分佈。

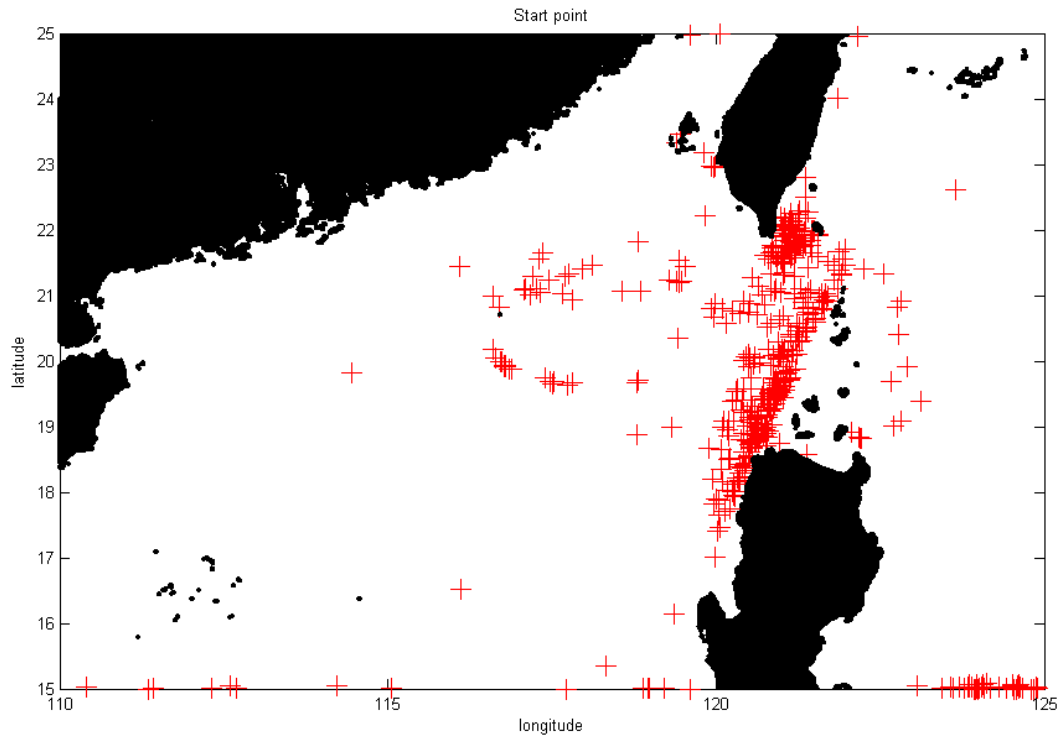


圖 4-2 1986-2008 年浮球施放點分佈圖，「+」則為浮球的施放點。

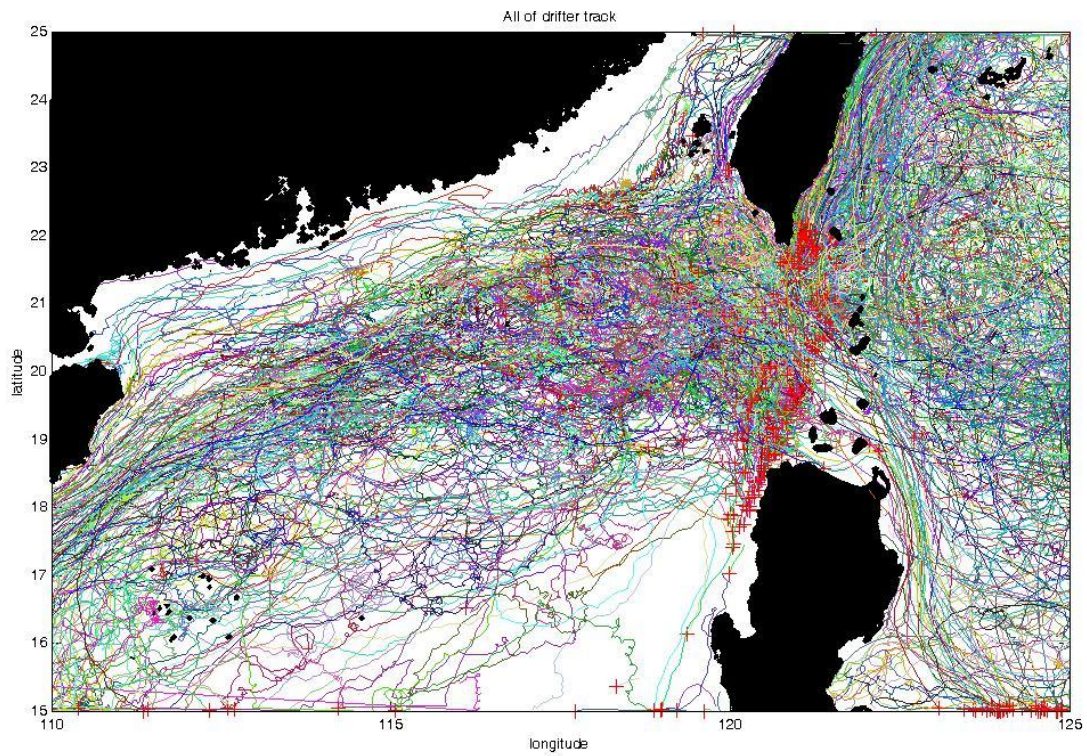


圖 4-3 歷年所有浮球軌跡圖，「+」則為浮球的施放點。

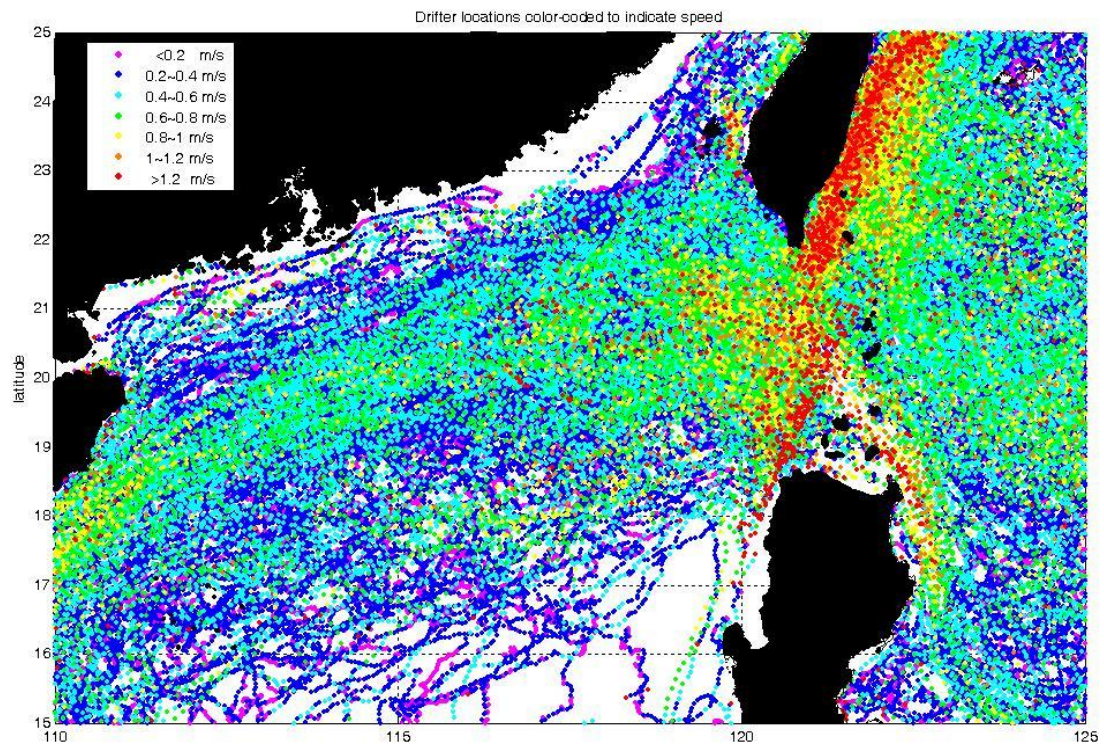


圖 4-4 歷史表面浮球流速分佈圖，紅點顯示流速達 1.2 m/s 以上。

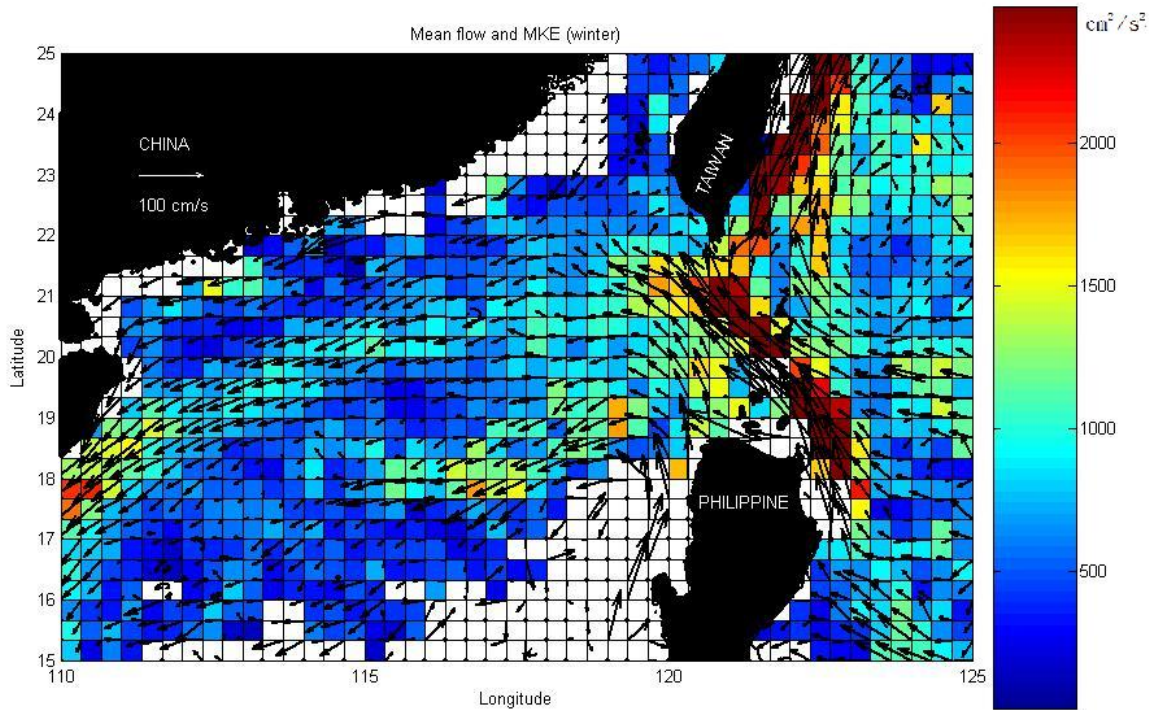


圖 4-5 冬季平均流動能及流向量圖，網格點  $1/3^\circ \times 1/3^\circ$ 。

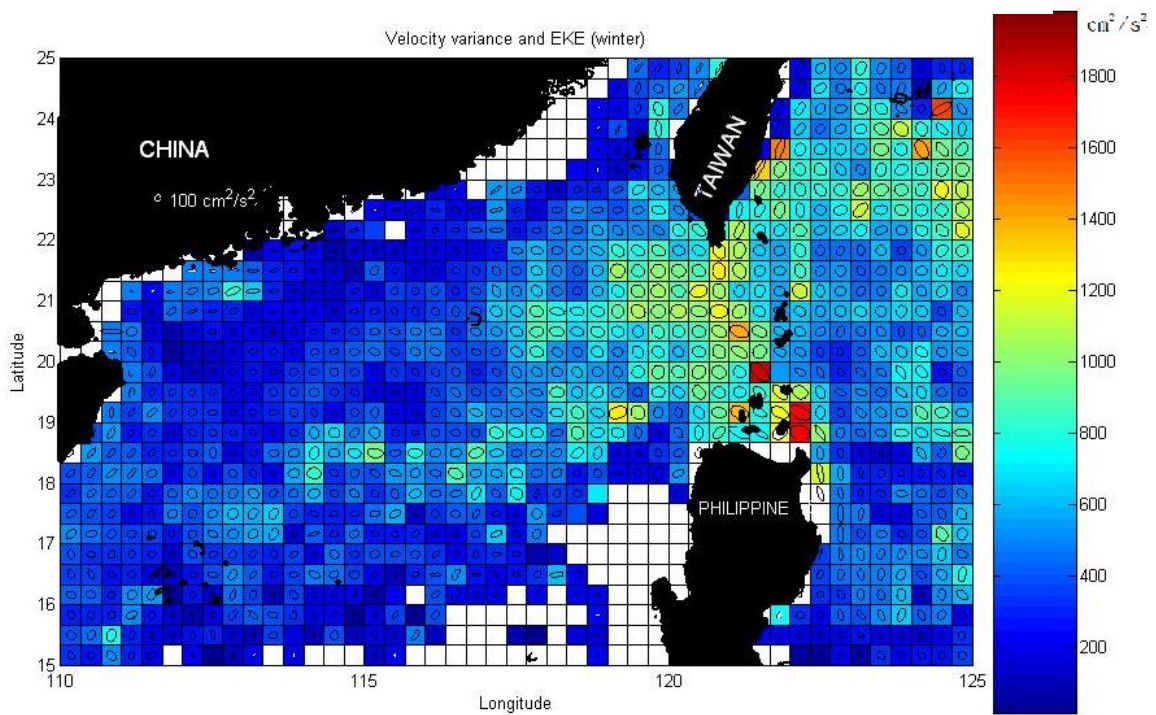


圖 4-6 冬季渦動動能及速度變化橢圓圖，網格點  $1/3^\circ \times 1/3^\circ$ 。



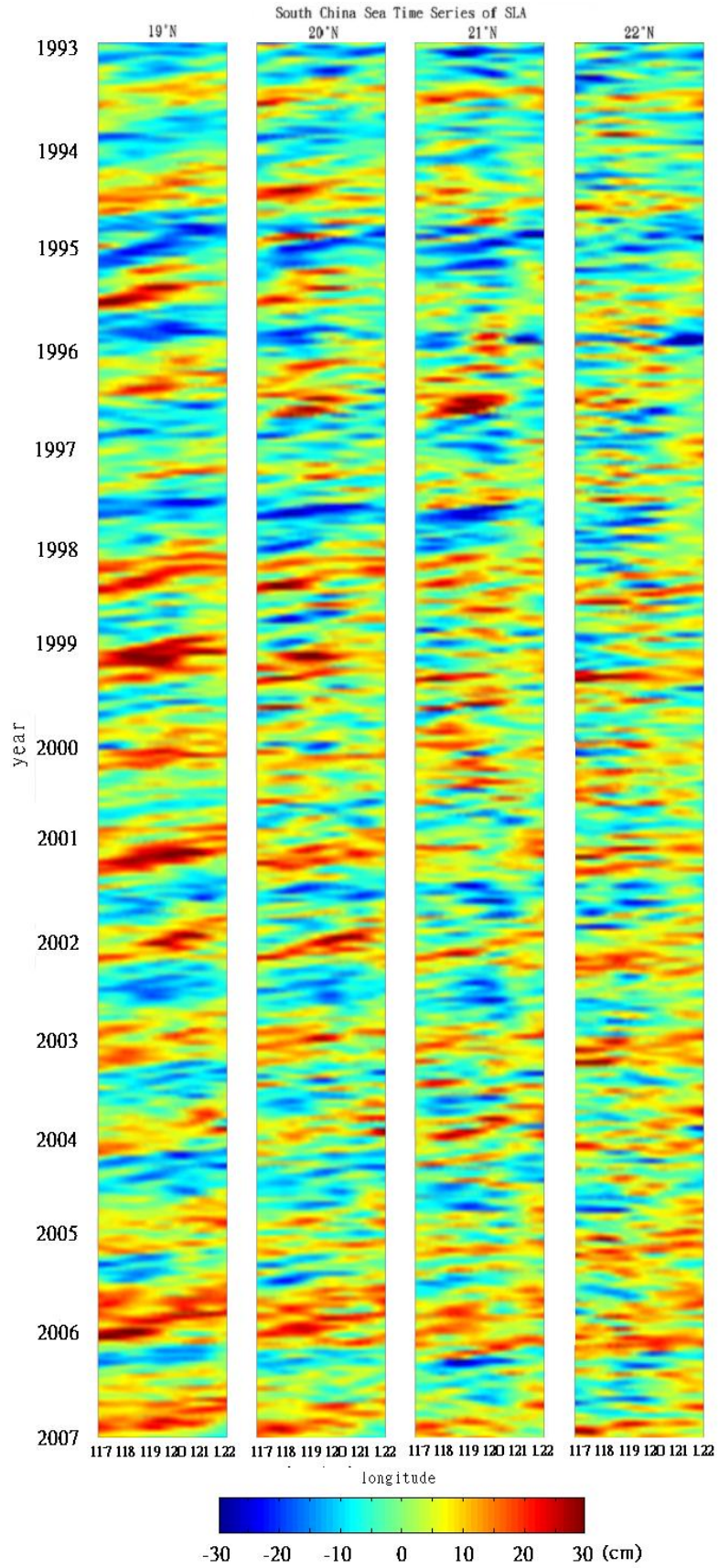


圖 4-7 1993-2007 北南海海面高度變化圖，由左至右分別為 19°-22°N 範圍是在 117°-122°E，時間序列為 1993-2007 年。

## 4.2 衛星高度計及表面浮球觀測驗證

本節主要探討相同時間衛星高度計及表層浮球觀測到的渦漩間的關係結果是否相符，因此本研究同時繪製歷史浮球軌跡及 SLA 分佈圖期能探討二者間的關係，選取浮球軌跡的時間為 SLA 的日期前後三天，以符合衛星高度計的時間解析度，比對出浮球軌跡及 SLA 分佈是否有相符合的時期？並討論兩種資料對於同一渦漩觀測的結果是否相類似。比對結果顯示 2003 及 2004 年冬季 11-1 月分別在東沙南方  $19^{\circ}-21^{\circ}\text{N}$ ,  $116^{\circ}-118^{\circ}\text{E}$  及台灣西南外海  $20^{\circ}-22^{\circ}\text{N}$ ,  $117^{\circ}-120^{\circ}\text{E}$  兩處觀測到反氣旋渦漩的存在，本節以浮球流速、SST、衛星海表面溫度及地轉流驗證渦漩的存在及討論渦漩的物理特性。

### 4.2.1 2003 年 12 月-2004 年 2 月

圖 4-8 為 2003 年冬季 No. 41154 浮球軌跡，為發生在北南海內部的渦漩，浮球在東沙南方海域順鐘向打轉了 2 圈，符合本研究對渦漩特性的定義，浮球漂流時至  $116^{\circ}\text{E}$  後即不再回傳資料。圖 4-9 為 2003 年冬季 12 月 31 日至 2004 年 2 月 4 日  $19^{\circ}-21^{\circ}\text{N}$ ,  $116^{\circ}-118^{\circ}\text{E}$  於東沙 SLA 分佈及浮球軌跡圖，圖 4-9 (a)、(b) 顯示浮球於 12 月 31 日由北向南進入渦漩後，以順時針打轉的方式於 2004 年 1 月 7 日漂流至  $20^{\circ}\text{N}$ ,  $115^{\circ}\text{E}$ ，1 月 14 日浮球順時針漂流時並沒有呈現隨渦漩的

外圍漂流的情形反而以較小的角度向南漂流進入渦漩內部(圖 4-9 c)，或許是當時風場向南所致，1 月 21 日漂流浮球已漂流至  $114^{\circ}\text{E}, 20^{\circ}\text{N}$ ，軌跡呈現圓弧狀(圖 4-9 d)。在此段時間裡地轉流的流向能與浮球漂流的方向相同，浮球隨著渦漩的移動做順時針漂流。圖 4-10 為 2003 年 12 月 31 日至 2004 年 2 月 4 日海水表面溫度圖，黑色等值線表示 SLA，黑點為渦漩中心，TMI 的 SST 資料則使用衛星高度計日期前後三天共七天的平均。呂宋海峽為溫暖的海水，水溫大於  $25^{\circ}\text{C}$  以上，靠近澎湖沿大陸沿岸溫度較低，約在  $21^{\circ}\text{C}$  以下。12 月 31 日-1 月 21 日渦漩內部的溫度較周圍海域高，尤其在渦漩中心。到了 1 月 28 日-2 月 4 日周圍海水表面溫度比之前的溫度更低，但渦漩仍呈現內部為高溫的型態(Wang et al., 2008)。表 4-1 為利用 SLA 估算的渦漩物理特性，12 月 31 日至 1 月 14 日渦漩移動速度為  $5.77\text{ cm/s}$ ，渦漩直徑從  $72\text{ km}$  增大至  $128\text{ km}$ ，中心高度差由  $15.47\text{ cm}$  增至  $18.33\text{ cm}$ ，表示渦漩正逐漸增強中，到了 1 月 21 日或許是風及其他因素，移動速度增為  $11.54\text{ cm/s}$ ，渦漩成為橢圓的形狀，直徑則縮小至  $100\text{ km}$ ，渦漩高度差降為  $15.54\text{ cm}$ ，此渦漩其存活了 42 天，平均直徑  $112\text{ km}$ ，旋轉速度  $29.86\text{ cm/s}$ 。Wang et al. (2008) 曾利用水文及海表面溫度資料研究此渦漩的存在及討論其特性，認為此渦漩是發生在南海內部，其估算的傳播速度為  $9.7\text{ cm/s}$ ，與本研究估算的傳播速度 5-11

cm/s 大致相符，當該渦旋移動到東沙西南方時，呂宋海峽西北方有另一個反氣旋渦旋逐漸成形，其成因可能是來自黑潮(Wang et. al., 2008)並向西傳遞，從海表面溫度中看出其內部為高溫的反氣旋渦旋。

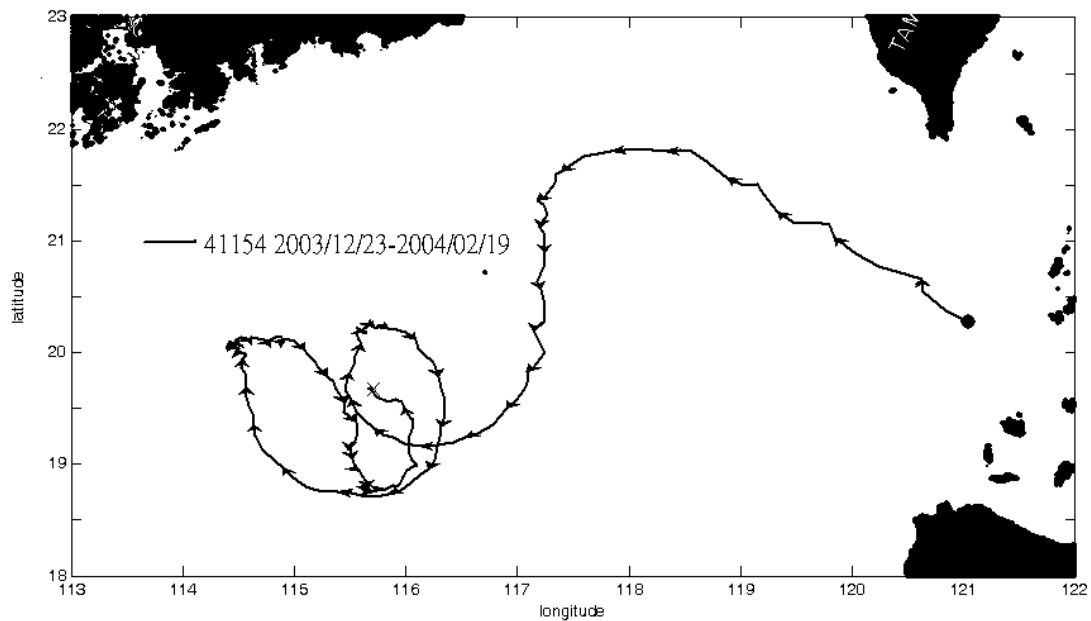


圖 4-8 2003 年 12 月-2004 年 2 月 NO. 41154 漂流浮球軌跡圖，「●」則為浮球施放點，「x」為浮球終點，箭頭為間隔一天的浮球位置。

表 4-1 2003. 12. 31-2004. 02. 04 衛星高度計的渦旋物理特性統計

| 日期         | 經度(°E) | 緯度(°N)      | 傳播速度(cm/s) | 高度差(cm) | 直徑(km) | 面積(km <sup>2</sup> ) |
|------------|--------|-------------|------------|---------|--------|----------------------|
| 2003/12/31 | 116.76 | 19.542      | x          | 15.47   | 146.26 | 16731                |
| 2004/01/07 | 116.32 | 19.583      | 5.77       | 18.05   | 215.89 | 36204                |
| 2004/01/14 | 115.92 | 19.542      | 5.77       | 18.33   | 260.82 | 51859                |
| 2004/01/21 | 115.34 | 19.404      | 11.54      | 16.16   | 202.71 | 31731                |
| 2004/01/28 | 114.99 | 19.199      | 8.17       | 13.81   | 274.4  | 55051                |
| 2004/02/04 | 114.49 | 19.058      | 11.56      | 11.43   | 238.46 | 44039                |
| 存活時間       | 42 天   | 平均中心高度差(cm) | 15.54 cm   |         |        |                      |

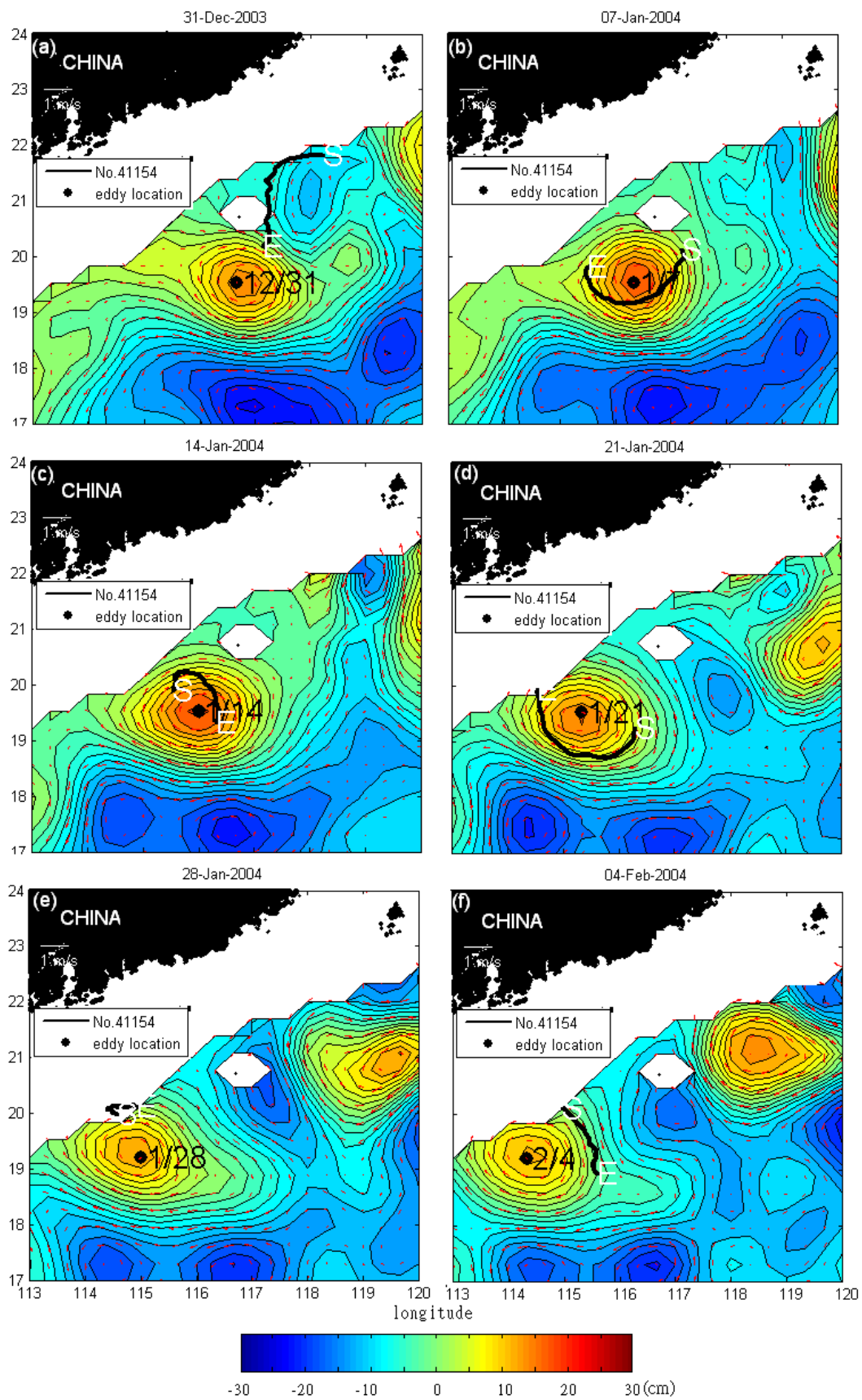


圖 4-9 2003/12/31-2004/2/4 SLA 分佈及 No 41154 浮球軌跡圖，彩色圖層為海面高度變異，黑點為渦旋中心點，紅色箭頭表示為地轉流，「S」則為浮球該週的起點，「E」則為浮球終點。

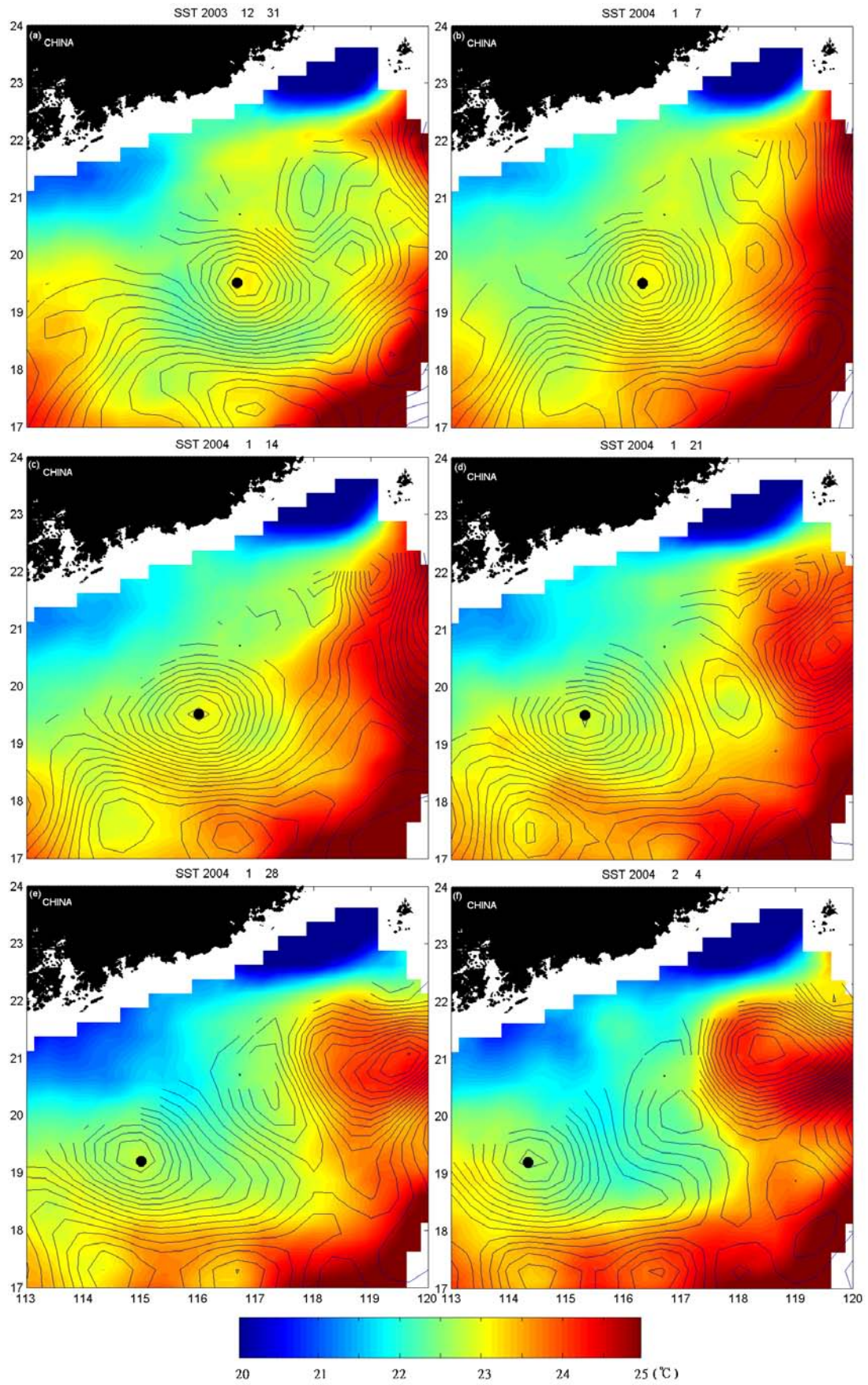


圖 4-10 2003/12/31-2004/2/4 海表面溫度圖，黑點為渦旋中心，黑色等值線為 SLA，高度間距 2 cm。

#### 4.2.2 2004 年 11 月-2005 年 1 月

2004 年 11 月-2005 年 1 月間在呂宋海峽北方有三個浮球同時進入一個順鐘向旋轉的反氣旋渦旋並逐漸向西移動，圖 4-11(a)、(b)、(c)為這三個浮球的軌跡，浮球編號分別是 NO. 49698、49699 和 49722，浮球持續以順時針打轉的方式在  $117^{\circ}-120^{\circ}\text{E}$ ， $21^{\circ}\text{N}$  之間打轉一個月左右，至  $117^{\circ}\text{E}$  浮球不再隨渦旋打轉，之後渦旋應是受摩擦力或其他因素影響逐漸減弱，NO. 49699 一直到了  $19^{\circ}\text{N}$ ， $112^{\circ}\text{E}$  時還有一次打轉的現象。將每週 SLA 與浮球軌跡繪製在一起，圖 4-12(a)、(b)顯示浮球自 11 月 24 日-12 月 1 日於  $21^{\circ}\text{N}$ ， $119^{\circ}\text{E}$  進入渦旋隨後見到浮球在台灣西南外海沿著渦旋中心順時針打轉，中心高度差約 11-12 cm，圖 4-13(c)、(d)浮球在這 2 個禮拜內連續打轉了 2 圈，經計算浮球打轉的週期約 7 天，符合高度計資料及浮球軌跡所觀測之特性，圖 4-13(e)、(f)顯示渦旋漸強，中心高度差增至 20 cm 以上，浮球在渦旋內部漂流，No. 49698、49722 於 12 月 29 日並未打轉而是呈現 loop 的型態，圖 4-13(g) 1 月 5 日已是觀測到的最後一個時期，圖 4-13(h)黑線為渦旋傳遞路徑，最後渦旋傳遞距離超過了 300 km。圖 4-13 為 2004/12/08-2005/1/12 浮球軌跡及地轉流圖，去掉 SLA 後更能看出渦旋能與浮球漂流的方向相同，浮球繞著渦旋的中心打轉。

表 4-2、4-3 分別為 SLA 及浮球所算得之渦旋物理特性，得知三

顆浮球所觀測的渦旋旋轉速度大致相符，在台灣西南方此反氣旋渦旋打轉週期為 6.7-7.8 天，旋轉速度為 42-47cm/s，估算直徑為 102-117 km，11 月 24 日至 1 月 5 日渦旋傳遞速度均為 5.70 cm/s，表示周遭流場及風場應屬於持續穩定的情形，使渦旋的傳遞保持均速，直到了 12 月 29 日至 1 月 5 日或許是風及其他因素的變化，渦旋成為橢圓的形狀，移動速度則變大為 18.34 cm/s，平均高度差則有 17.95 cm，渦旋是具有強度的。圖 4-14 為表面浮球 NO.49698、49699、49722 絕對流速、U、V 及海水面溫度之時間序列變化圖，浮球被施放時海表面溫度為 30°C 左右，NO.49698 則略低 1-2°C，表示在渦旋外圍的海水表面溫度較內圍低，渦旋內部可能為高溫型態，絕對流速及 U、V 分量的變動一直到第 340 天均保持一致，認為在同個流場中，到了第 340 天以後三顆浮球漂流至不同的位置，但三顆浮球的 U、V 分量卻保持一致的變動，均保持在 -50~50 cm/s，可以確認三顆浮球處於穩定旋轉的渦旋中，海表面溫度則同時降至 25°C，一直到了第 360 天所有物理量的變化趨勢就不再一致了。圖 4-15 為 2004 年冬季 11 月 24 日至 2005 年 1 月 5 日海表面溫度圖，從 11 月 24 日-1 月 12 日渦旋內部的溫度比周圍海域較高，尤以渦旋中心的溫度，12 月 8 日-12 月 29 日周圍海水面溫度明顯呈現橢圓狀，周圍海水溫度較中心點低的情況，呈現內部為高溫的型態，到了 1 月 5 日之後渦旋已消散，



海水溫度已無高溫的情形。2003 年 12 月 31 日至 2004 年 2 月 4 日和 2004 年 11 月 21 日至 2005 年 1 月 8 日期間的案例，可說明漂流浮球與 SLA 間的渦漩特性相符，當 SLA 為正時，地轉流為順時針方向，漂流浮球也同時隨著渦漩呈順時針方向運動，另一方面本研究配合地轉流之解析度將 12 月 15 日及 22 日地轉流速及其前後三天共七天的浮球流速平均作比對，如圖 4-16、17 為浮球流速及地轉流速比較圖，可發現這兩個星期的流速及流向相符應可驗證衛星高度計追蹤渦漩成果之正確性及可靠度。

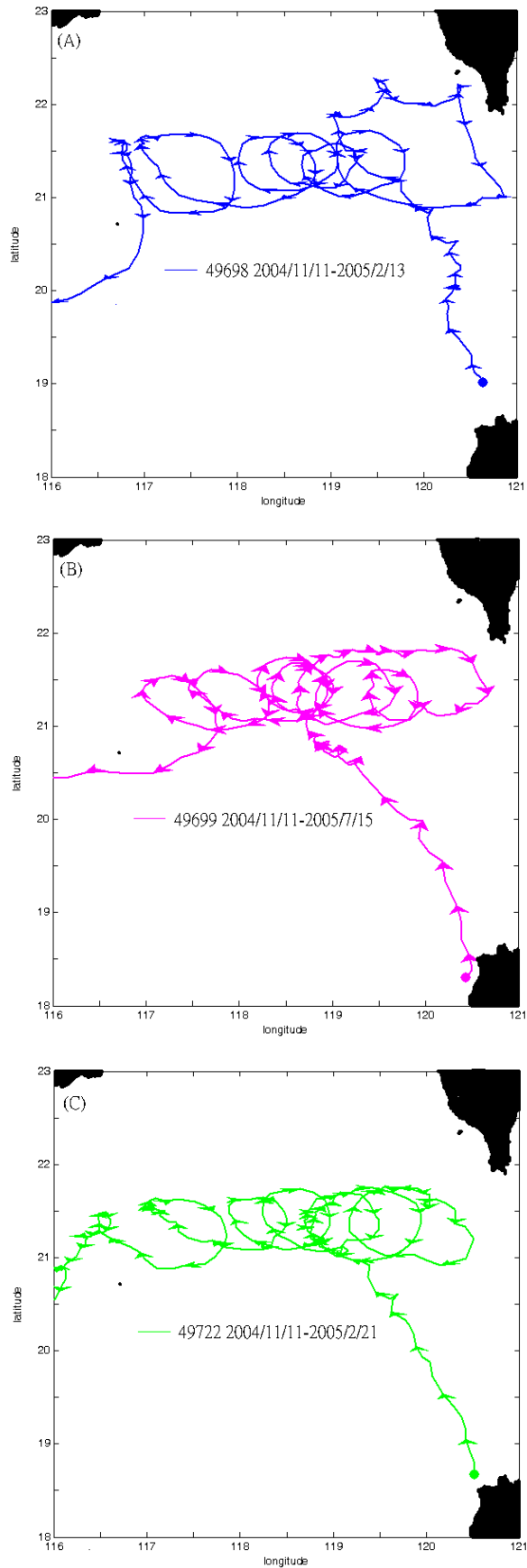


圖 4-11 2004 年 11 月 11 日施放於  $20^{\circ}$ - $22^{\circ}$ N,  $116^{\circ}$ - $120^{\circ}$ E 同時順時針打轉並向西移動的 3 個漂流浮球軌跡，(a) 49698、(b) 49699、(c) 49722。

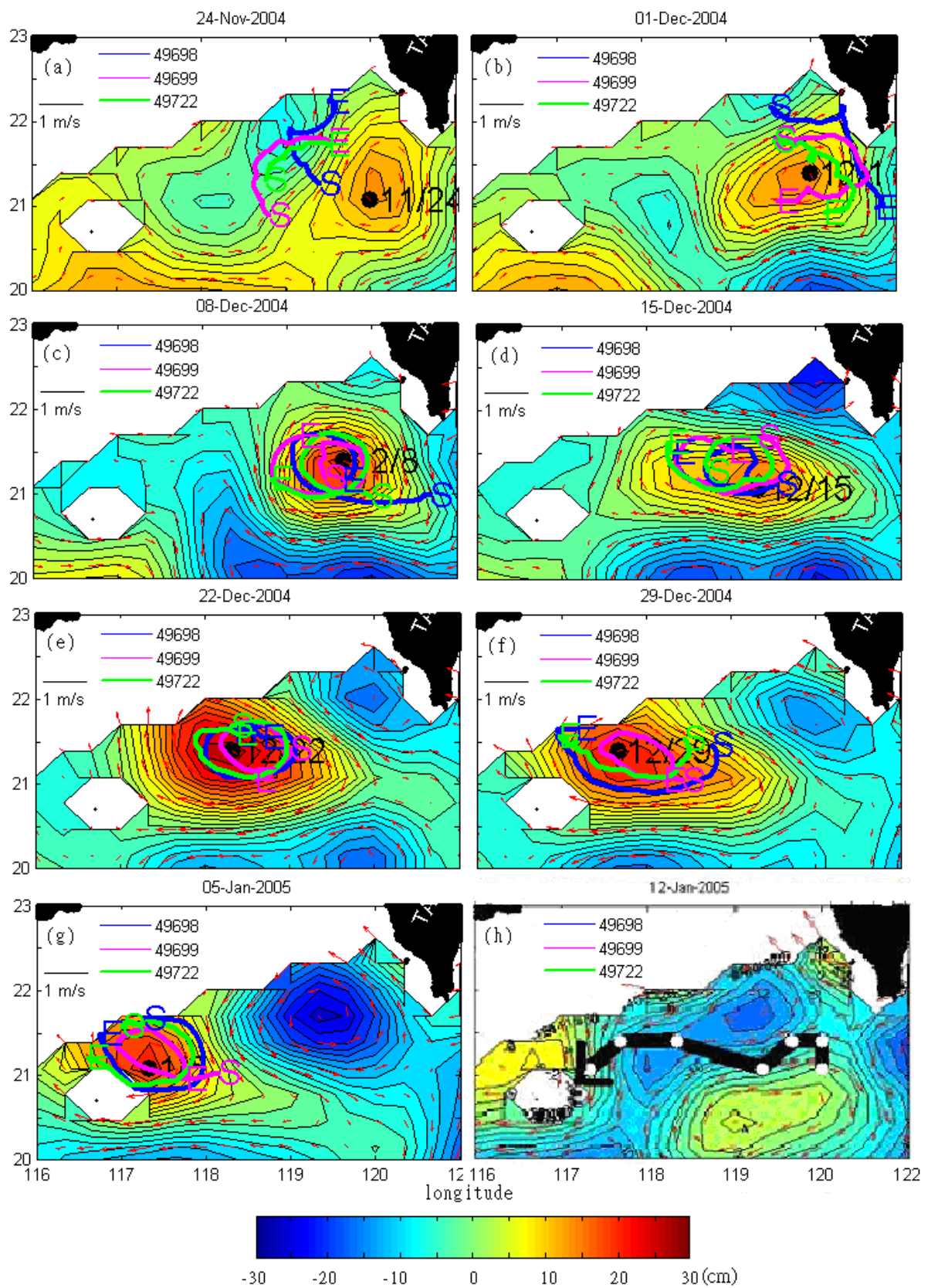


圖 4-12 2004/12/08-2005/1/12 SLA 分佈圖和 No. 49698、49699、49722 的浮標軌跡圖，等高線間距為 2 cm，黑點為渦旋中心點，黑色線表示為 12/8-1/5 的渦旋軌跡，紅色箭頭表示地轉流，「S」則為浮球該週的起點，「E」為浮球終點。

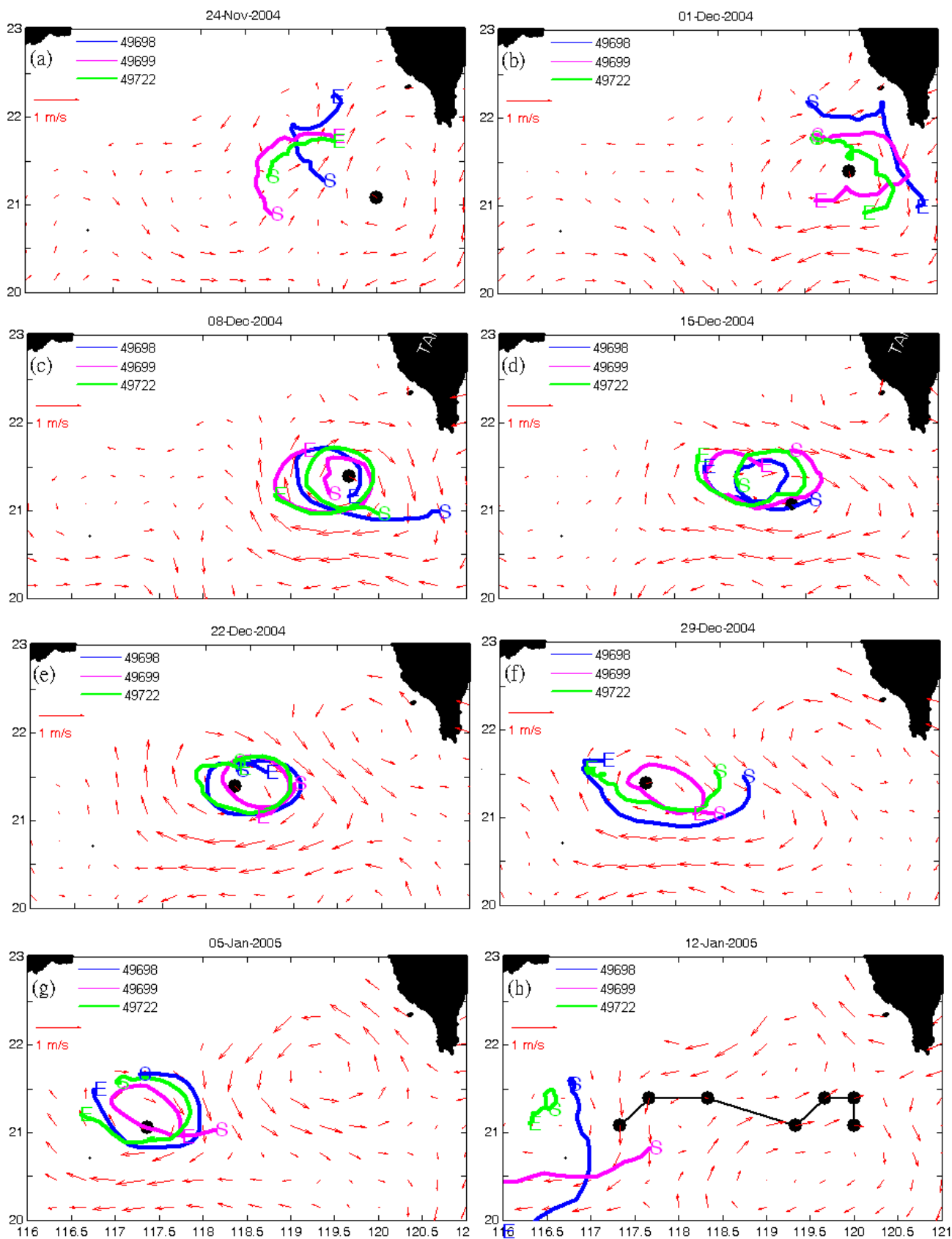


圖 4-13 2004/12/08-2005/1/12 渦旋路徑及漂流浮球軌跡，黑點為中心點，黑線為渦旋軌跡，藍、紫、綠色為 NO. 49698、49699、49722 漂流浮球軌跡，紅色箭頭為地轉流，「S」則為浮球該週的起點，「E」則為浮球終點。

表 4-2 2004. 11. 24-2005. 01. 05 衛星高度計渦漩物理特性統計

| 日期         | 經度(°E) | 緯度(°N)    | 傳遞速度(cm/s) | 高度差(cm) | 直徑(km) | 面積(km <sup>2</sup> ) |
|------------|--------|-----------|------------|---------|--------|----------------------|
| 2004/11/24 | 119.79 | 20.929    | X          | 11.23   | 256.69 | 51454                |
| 2004/12/01 | 119.83 | 21.363    | 5.71       | 15.33   | 244.93 | 46898                |
| 2004/12/08 | 119.64 | 21.339    | 5.70       | 20.84   | 229.06 | 40167                |
| 2004/12/15 | 119.06 | 21.214    | 8.07       | 14.49   | 234.77 | 37745                |
| 2004/12/22 | 118.48 | 21.233    | 18.05      | 24.72   | 259.14 | 47919                |
| 2004/12/29 | 118.12 | 21.197    | 11.41      | 19.64   | 235.57 | 38970                |
| 2005/01/05 | 117.49 | 21.035    | 8.07       | 18.59   | 268.46 | 50817                |
| 存活時間(天數)   | 49 天   | 平均高度差(cm) |            | 17.95cm |        |                      |

表 4-3 2004. 11. 24-2005. 01. 05 台灣西南外海漂流浮球之渦漩特性統計

| ID    | DATE                     | Days tracked | Number loops | PERIOD (DAYS) | Swirl speed (cm/s) | U (cm/s) | V (cm/s) | DIAMETER (KM) |
|-------|--------------------------|--------------|--------------|---------------|--------------------|----------|----------|---------------|
| 49698 | 2004/11/19<br>2005/01/12 | 54           | 7            | 7.714         | 47.66              | -7.04    | 0.98     | 117.08        |
| 49699 | 2004/11/22<br>2005/01/08 | 47           | 7            | 6.714         | 47.29              | -8.11    | 1.33     | 101.11        |
| 49722 | 2004/11/19<br>2005/01/13 | 55           | 7            | 7.85          | 41.06              | -5.37    | 0.16     | 102.65        |

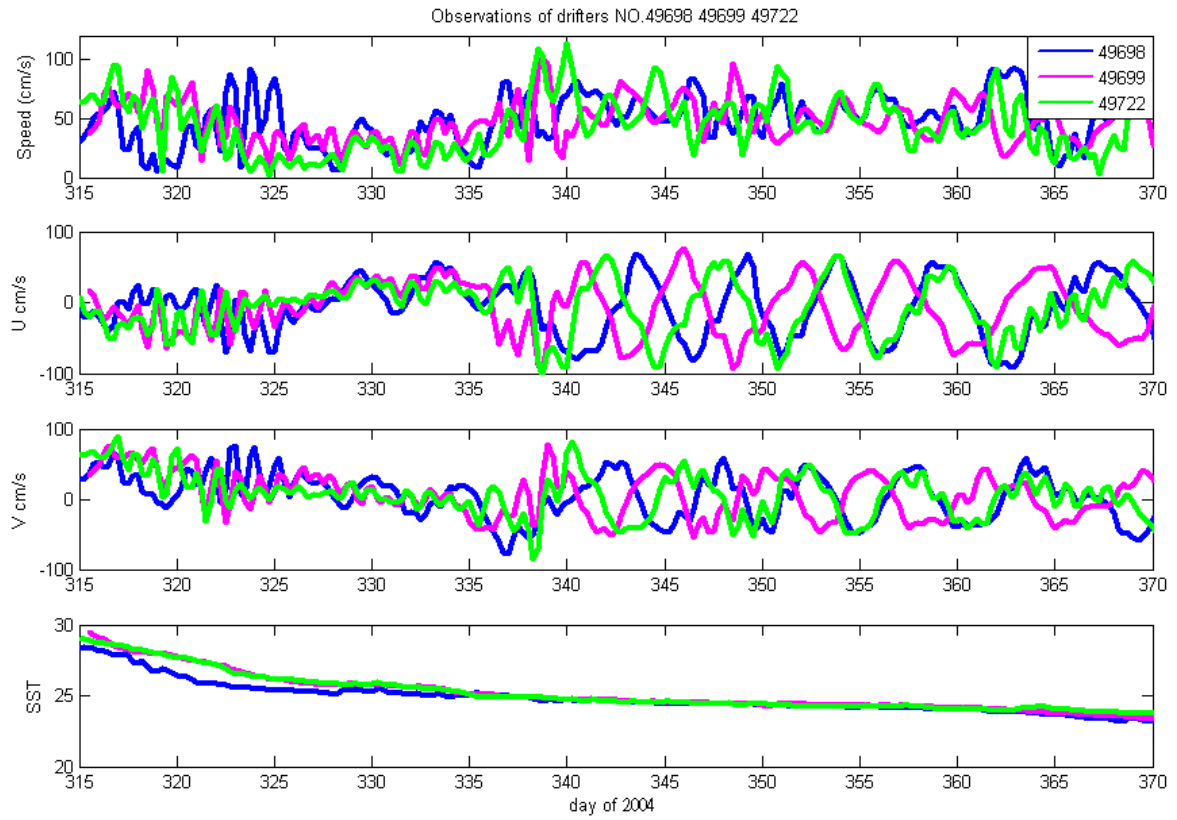


圖 4-14 表面浮球 NO. 49698、49699、49722，U、V、流速及海水面溫度之時間序列變化圖

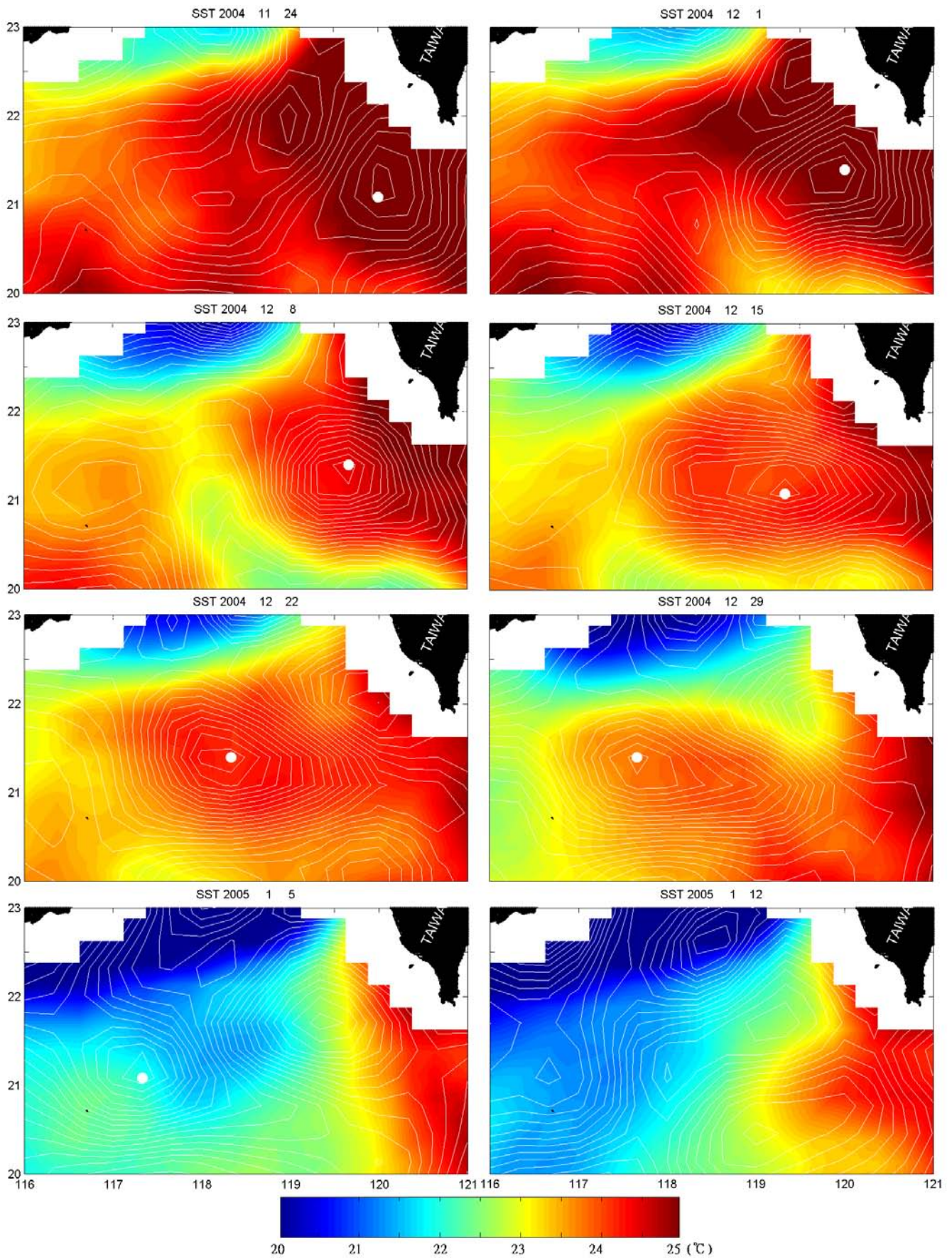


圖 4-15 2004.11.24-2005.01.12 海表面溫度圖，白點為渦旋中心，白色等值線為 SLA，高度間距為 2 cm。

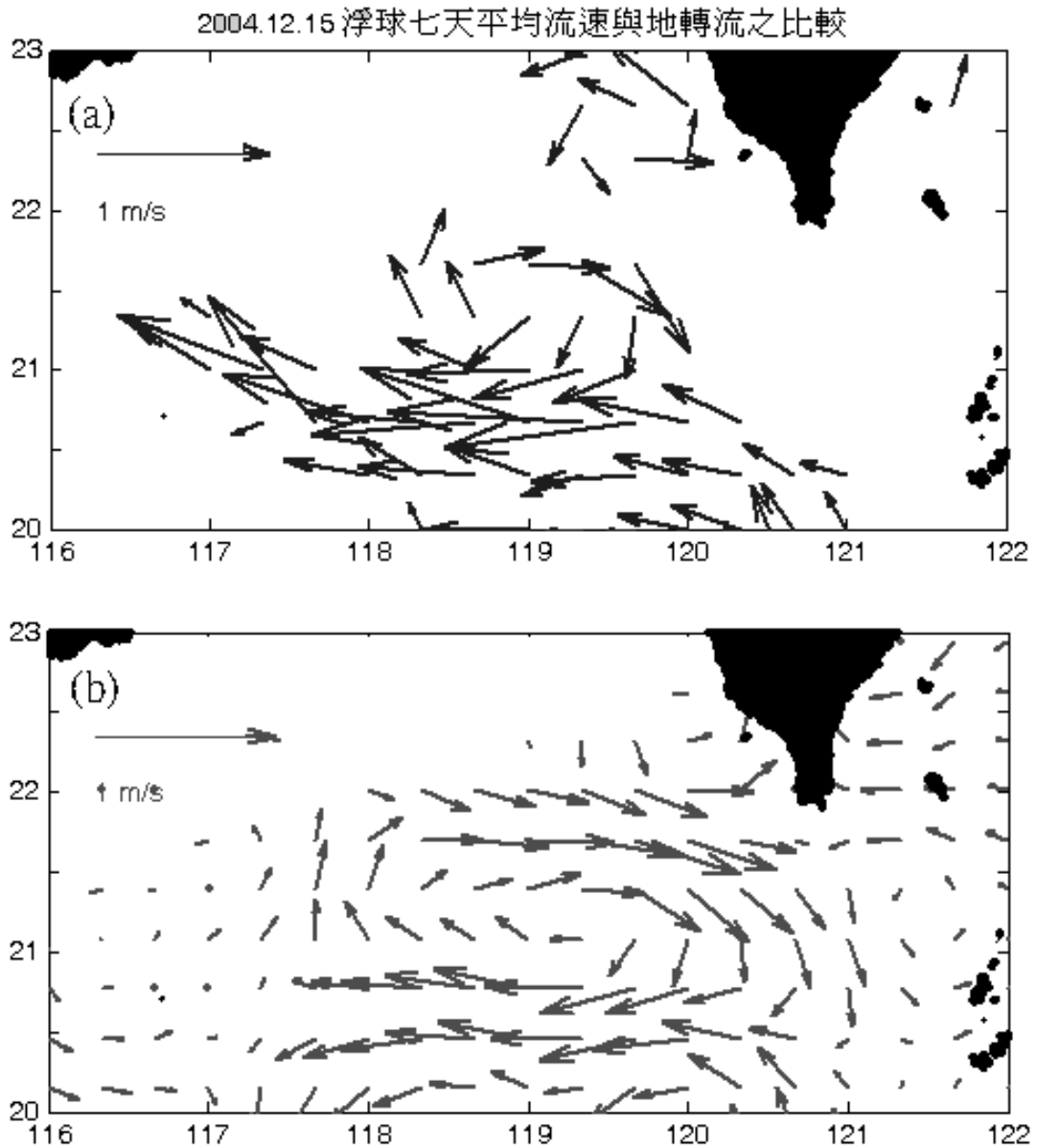


圖 4-16 2004. 12. 15 浮球流速及地轉流速比較圖，網格解析度為  $1/3^{\circ} \times 1/3^{\circ}$ ，(a)圖為 2004/12/15 前後三天共七天浮球流速的平均(b)圖則為 2004/12/15 Aviso 地轉流速。



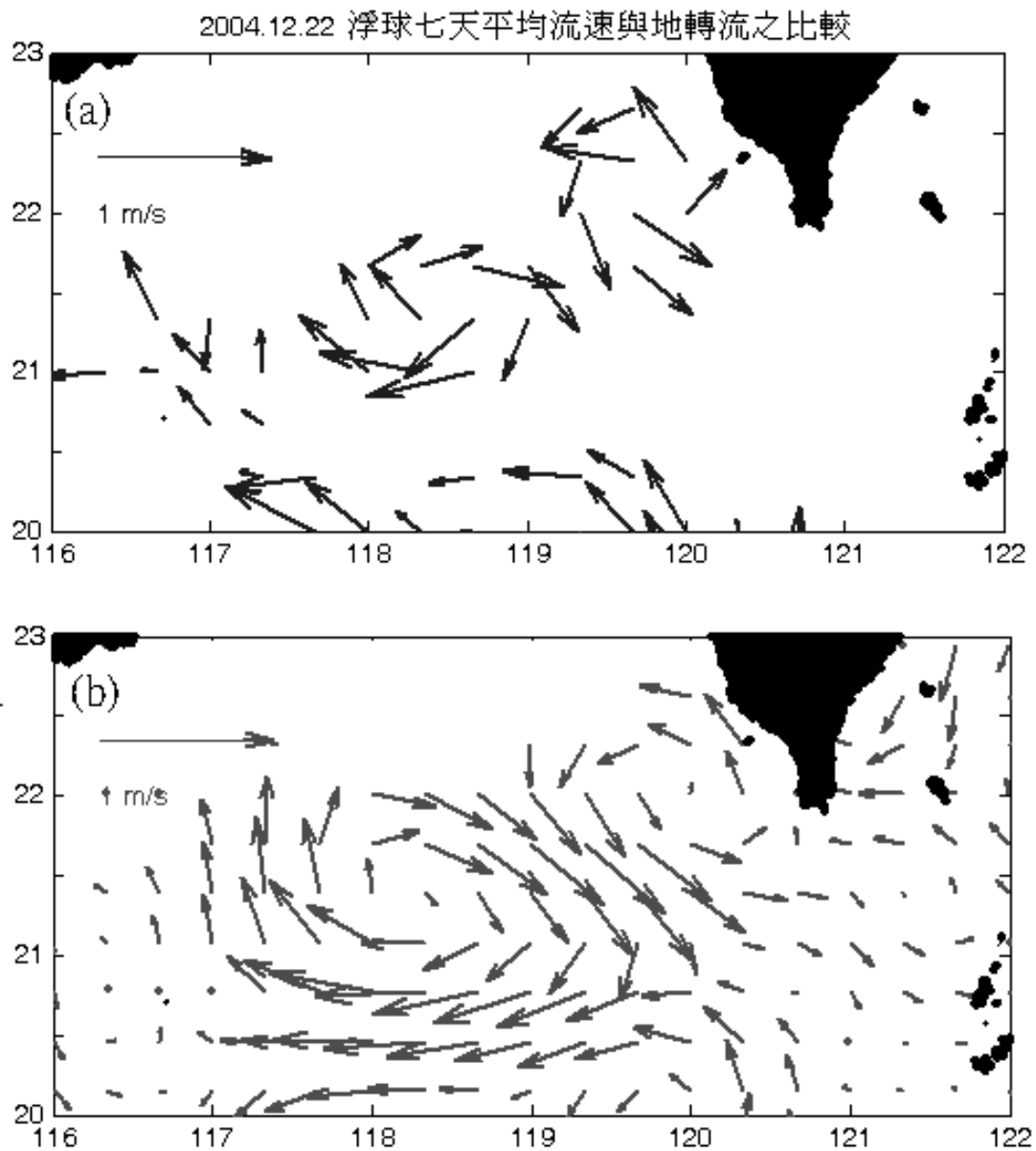


圖 4-17 2004. 12. 22 浮球流速及地轉流速比較圖，網格解析度為  $1/3^\circ \times 1/3^\circ$ ，(a)圖為 2004/12/22 前後三天共七天浮球流速的平均(b)圖則為 2004/12/22 Aviso 地轉流速。

## 第五章、渦漩統計分析與觀測結果

2003 及 2004 年冬季的漂流浮球及 SLA 資料應能同時驗證呂宋海峽和南海北部反氣旋渦漩的存在及估算物理特性，研究區域內可作渦漩分析的浮球軌跡並不多，因此本研究將 SLA 的歷史資料進一步統計歷年所發生的中尺度反氣旋渦漩特性，包含存活時間、直徑大小、渦漩強度、移動軌跡及傳遞速度，並試以浮球的觀測討論渦漩發生時的機制。本章先探討其他年份浮球所觀測之渦漩事件，再將 SLA 的統計結果用四季討論渦漩的空間分佈，針對東北季風期間及西南季風期間分別討論渦漩的特性。

### 5.1 渦漩空間分佈

#### 5.1.1 表面浮球觀測的渦漩事件

前章的討論裡浮球能夠觀測到渦漩的存在，本節繼續討論其他年份於研究區域內浮球所觀測的渦漩事件，包含 2003 年 11 月、2006 年 5 月兩個時期共有三次反氣旋渦漩的事件，其發生的位置皆不相同，應有助了解在浮球觀測下於北南海不同區域之渦漩面貌。

- 2003 年 11 月-12 月

2003 年冬季於呂宋海峽有多顆漂流浮球軌跡呈現打轉的型態，

將浮球打轉的範圍分為兩個區域，一組是在  $21.5^{\circ}$ - $22.5^{\circ}$ N，另一組則是在  $19^{\circ}$ - $21^{\circ}$ N 間，顯示有兩個反氣旋渦漩發生於此處，圖 5-1 顯示出 2003 年冬季 11 月至 12 月於台灣西南外海有反氣旋渦漩存在，四個漂流浮球軌跡 NO. 41139、41150、41250、41481，同時施放在呂宋海峽隨著黑潮分支向西北方向漂流至台灣西南外海  $21.5^{\circ}$ - $22.5^{\circ}$ N 停留一個月後，順時針旋轉一至兩圈後再向西漂流，這是北南海典型的渦漩類型，由於北南海有符合估算渦漩特性的浮球軌跡並不多，故也將同時期僅打轉一次的 No. 41150（藍）的軌跡一併繪入圖中做為參考。表 5-1 為此四個浮球軌跡的渦漩特性，此渦漩旋轉速度均在 30-40 cm/s 之間，與 2004 年同區域所估算的旋轉速度略慢 10 cm/s，這四顆浮球應存在於同一個渦漩之中，打轉週期約 6-12 天會打轉一次，直徑估算約 66-120 km。圖 5-2 為這四個浮球的流速、U、V 及海水溫度的时间序列變化圖。浮球施放時海表面溫度約在  $27.5^{\circ}\text{C}$ ，但水溫隨著浮球漂流至南海內部後逐漸降至  $25^{\circ}\text{C}$  以下，No. 41481 所觀測到的水溫則略高於另外三顆浮球，顯示當時呂宋海峽海水溫度應較其西側略高，NO. 41139、41250、41150 三顆施放後 U、V 分量及流速隨著時間保持一致的變動趨勢。

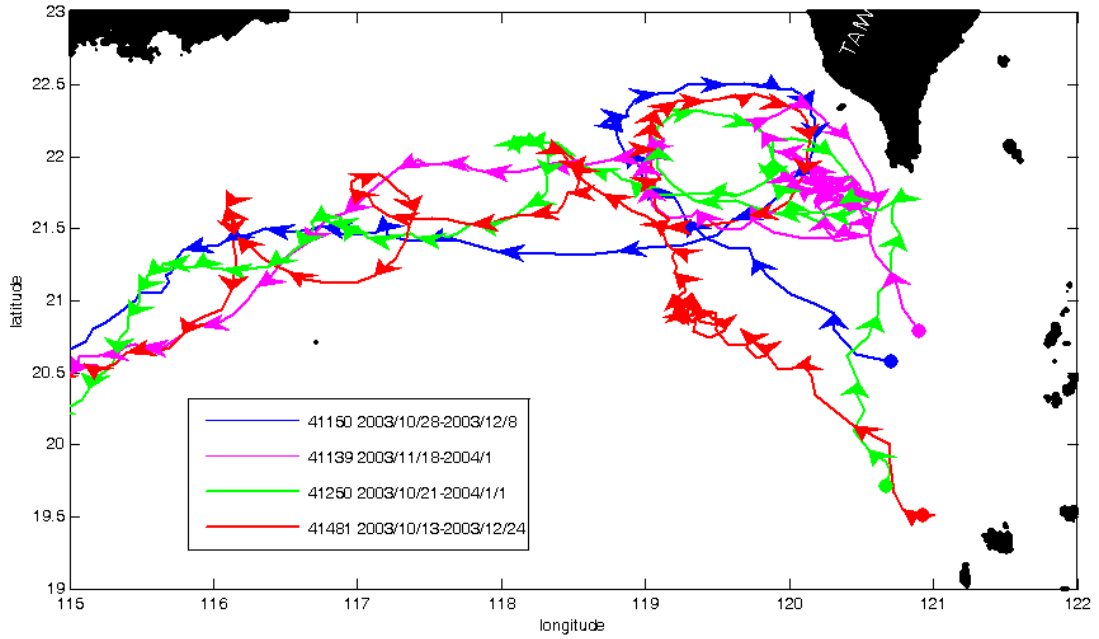


圖 5-1 2003 年 10-12 月於台灣西南方在 119°-120°E, 21.5°-22.5°N 順時針打轉的 4 個漂流浮球軌跡。

表 5-1 2003 年 10-12 月 21.5°-22.5°N 發生打轉之浮球軌跡的渦旋特性

| ID    | DATE                     | Days tracked | Number loops | PERIOD (DAYS) | Swirl speed (cm/s) | U (cm/s) | V (cm/s) | DIAMETER (KM) |
|-------|--------------------------|--------------|--------------|---------------|--------------------|----------|----------|---------------|
| 41139 | 2003/11/20<br>2003/12/12 | 22           | 2            | 11            | 33.38              | -3.87    | 0.23     | 116.93        |
| 41150 | 2003/10/30<br>2003/11/11 | 12           | 1            | 12            | 37.09              | -16.49   | 6.67     | 141.74        |
| 41250 | 2003/10/27<br>2003/11/08 | 12           | 2            | 6             | 34.57              | -17.38   | 1.10     | 66.05         |
| 41481 | 2003/10/27<br>2003/11/26 | 30           | 4            | 7.5           | 37.75              | -12.84   | 1.65     | 90.16         |

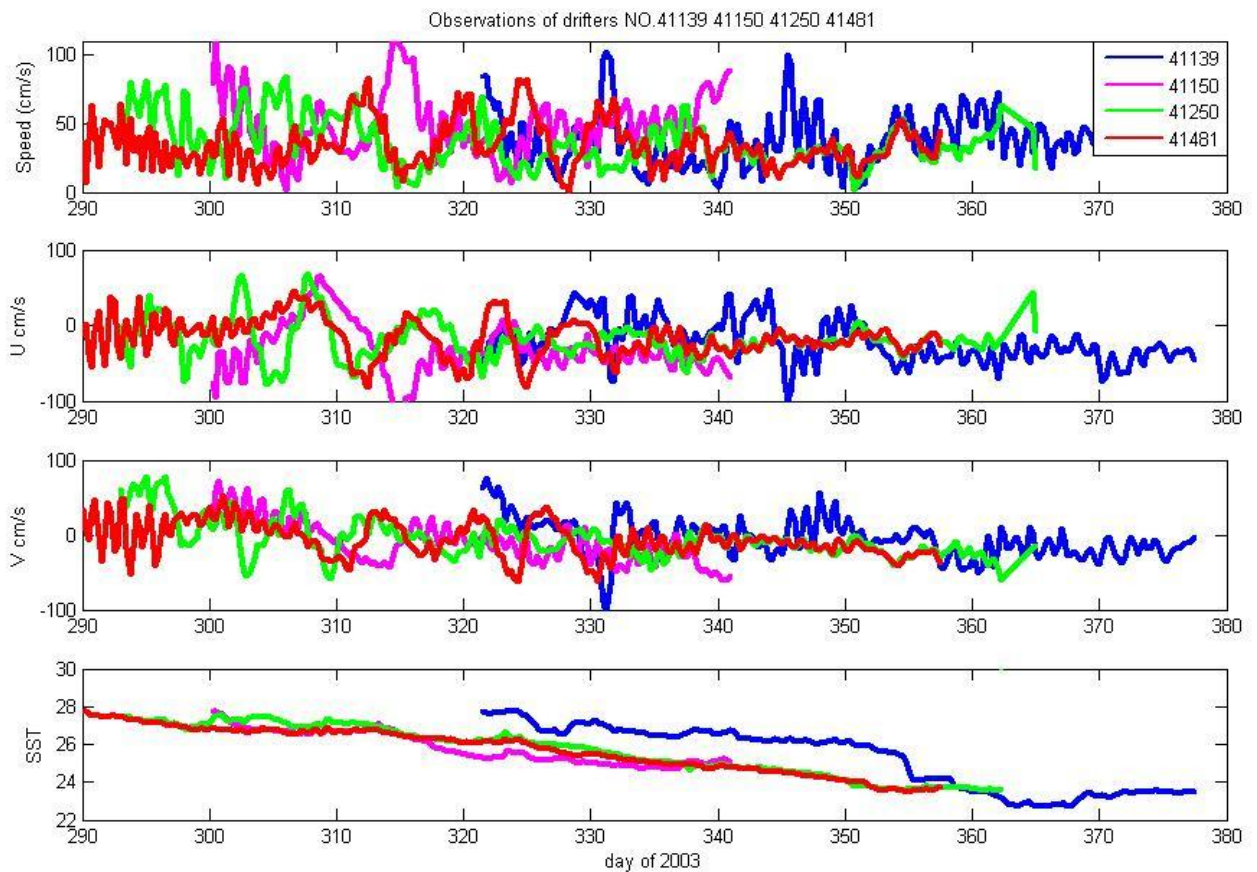


圖 5-2 表面浮球 NO. 41139、41150、41250、41481，流速、U、V 及海面溫度的時間序列變化圖。

圖 5-3 為 2003 年 11 月間在較低的緯度中所觀測到的 2 個浮球軌跡，在  $19^{\circ}$ - $21^{\circ}$ N,  $114^{\circ}$ - $118^{\circ}$ E 之間與先前在台灣西南外海觀測到的渦旋緯度稍低，而表 5-2 為 2003 年冬季在  $19^{\circ}$ - $21^{\circ}$ N 發生打轉現象之浮球軌跡的渦旋特性，旋轉速度在 30-36 cm/s，直徑估算約 100-200 km 之間。NO. 41128 在 2003 年 11 月 11 日被施放之後連續打轉兩圈以順時針方式向西移動，旋轉速度為 31.09 cm/s，NO. 41133 而是在  $20^{\circ}$ N,  $118^{\circ}$ E 打轉了兩圈後才向西漂流。圖 5-4 為此兩顆浮球之絕對

流速、U、V 及海水面溫度的時間序列變化圖，浮球施放後，海表面溫度從施放時 28°C 左右一直到了年底降至 25°C 以下，顯示當時海水溫度呂宋海峽應較北南海中部略高，比較可惜的是 NO. 41128 則第 330 天後則無溫度資料回傳，NO. 41128、41133 流速保持約 50 cm/s，U、V 的分量則呈現正負值上下波動型態表示浮球正在打轉，可以確認這兩顆浮球存在於同一個渦漩中。

表 5-2 2003 年 11-12 月在 19-21°N 發生打轉現象之浮球軌跡的渦漩特性

| ID    | DATE                     | Days tracked | Number loops | PERIOD (DAYS) | Swirlspeed (cm/s) | U (cm/s) | V (cm/s) | DIAMETER (KM) |
|-------|--------------------------|--------------|--------------|---------------|-------------------|----------|----------|---------------|
| 41133 | 2003/11/17<br>2003/12/20 | 33           | 2            | 16.5          | 36.74             | -1.30    | -1.06    | 193.06        |
| 41128 | 2003/11/18<br>2003/12/08 | 20           | 2            | 10            | 31.09             | -14.89   | 3.14     | 99.01         |

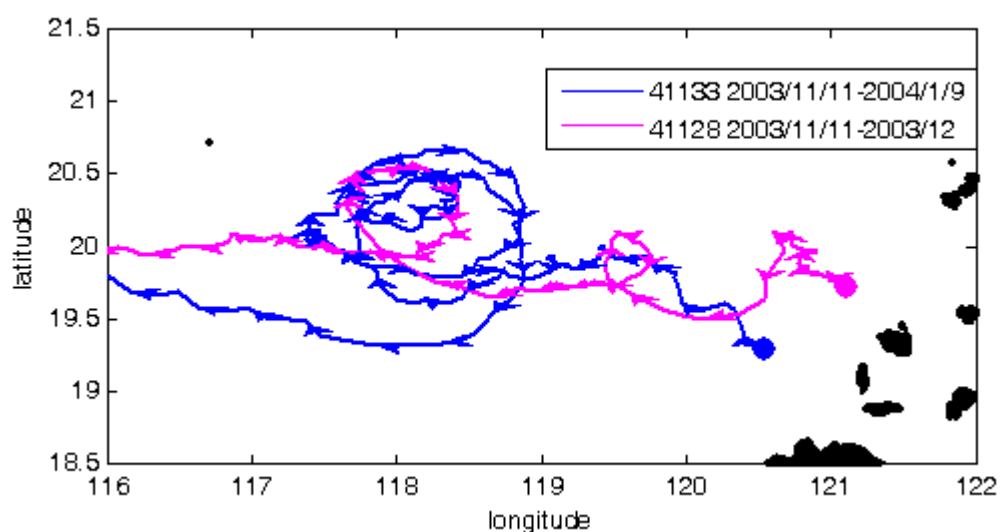


圖 5-3 2003 年 11-12 月 19°-21°N 114°-120°E 於同時順時針打轉的 2 個漂流浮球軌跡。

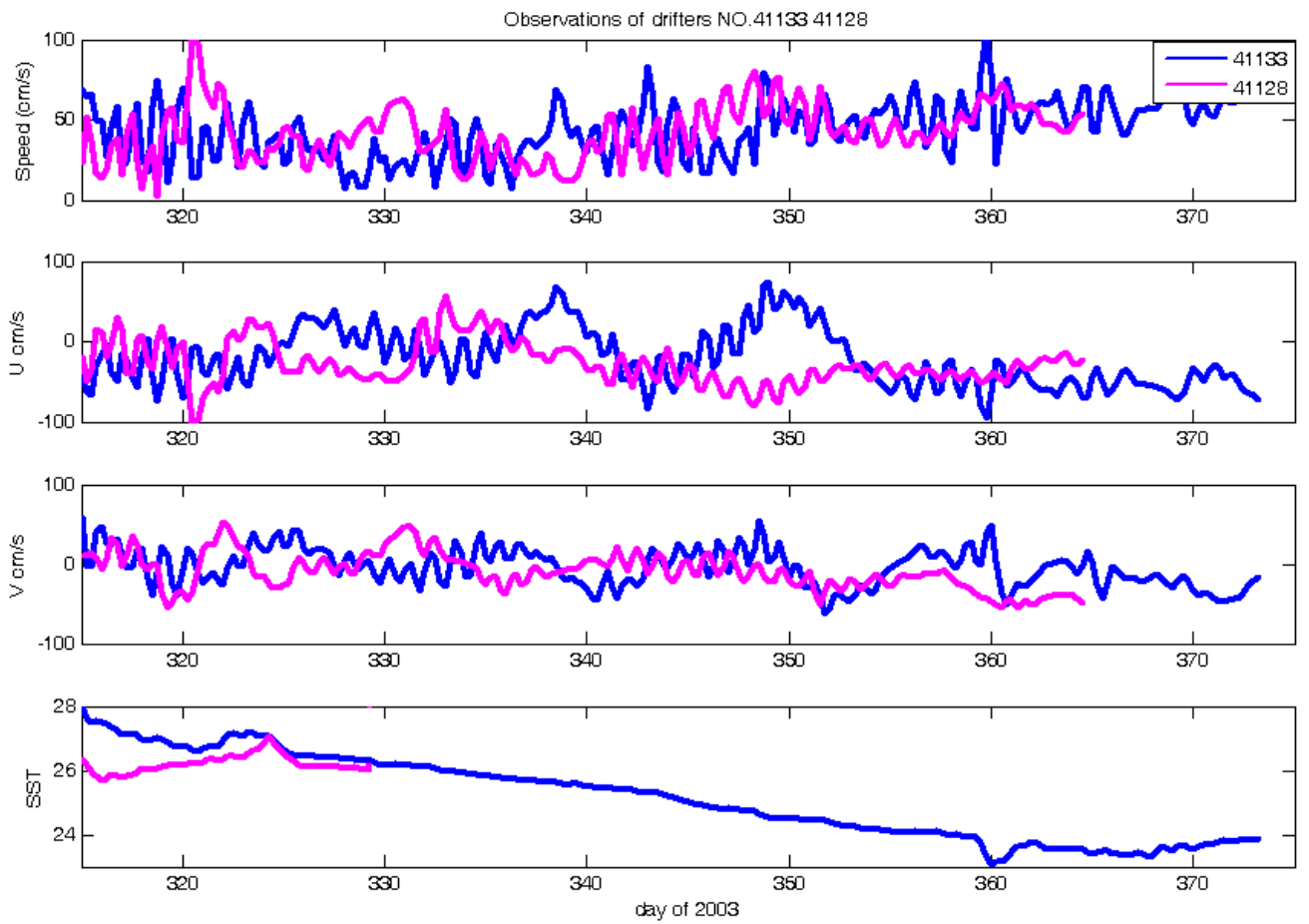


圖 5-4 表面浮球 NO. 41128 41133，流速、U、V 及海面溫度的時間序列變化圖。

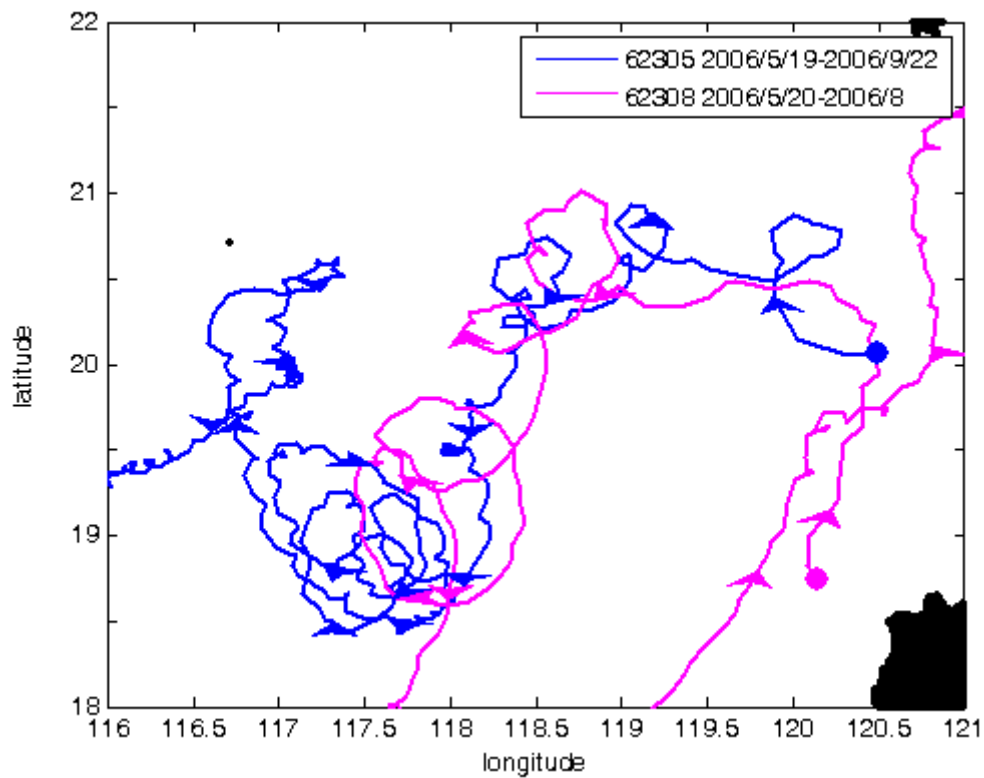


圖 5-5 2006 年 5-6 月 No. 62305 62308 漂流浮球軌跡，箭頭為浮標每間隔七天的位置。

表 5-3 2006 年 5-6 月表面浮球 NO. 62305 62308 所估算之渦漩特性

| ID    | DATE                     | Days tracked | Number loops | PERIOD (DAYS) | Swirl speed (cm/s) | U (cm/s) | V (cm/s) | DIAMETER (KM) |
|-------|--------------------------|--------------|--------------|---------------|--------------------|----------|----------|---------------|
| 62305 | 2006/05/27<br>2006/06/25 | 28           | 4            | 7             | 29.12              | -6.64    | -9.28    | 91.43         |
| 62308 | 2006/05/20<br>2006/06/03 | 13           | 3            | 4.3           | 47.28              | -16.50   | 12.74    | 148.45        |



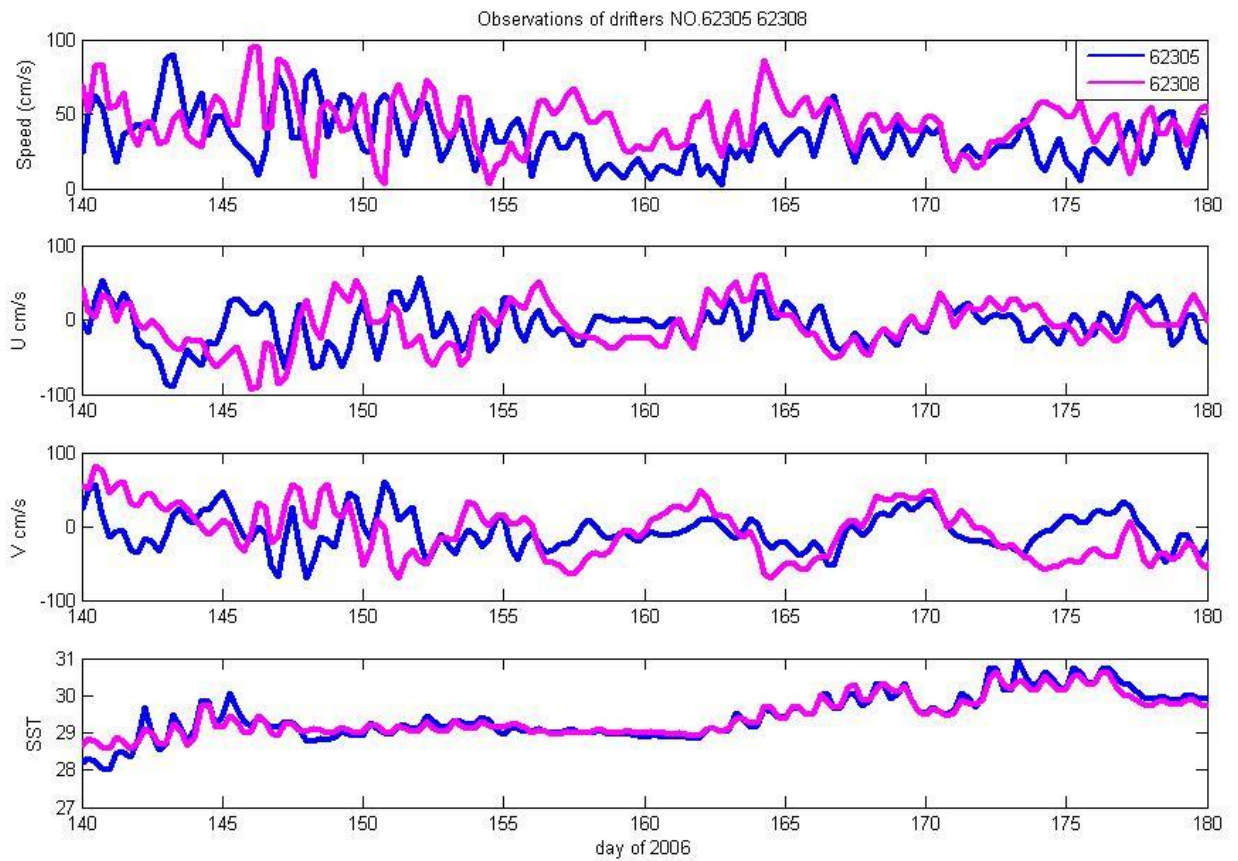


圖 5-6 2006 年 5-6 月表面浮球 NO. 62305 62308 的 U、V、總流速及海水溫度之時間序列變化圖。

### 5.1.2 衛星高度計觀測之統計結果

根據本研究對於渦漩的定義，1992-2008 年  $16^{\circ}$ - $24^{\circ}$ N,  $110^{\circ}$ - $122^{\circ}$ E 連續存在一個月以上之反氣旋渦漩事件共有 78 次，圖 5-1 為北南海反氣旋渦漩發生時間分佈圖，圖 5-7(a) 為各年的統計次數，時間分佈清楚可知 1994、1996、2001、2004 這四年發生渦漩的次數最多，分別有 7、7、8、7 次，1998 年發生次數則最少。圖 5-7(b) 顯示渦漩的發生集中在 6-12 月與前章討論歷年 SLA 的變化趨勢相吻合，皆是 1-6 月正 SLA 不明顯，下半年 SLA 正負交替則較頻繁，9 月則發生了 12 次，比起其他月份多了數次。Xiu et. al(2010) 研究指出 1995-1996 年反聖嬰年間的冬季北南海 EKE 值為歷年最高，此時期的渦漩具有強的活動力，另一方面 1998 年發生渦漩的頻率最少應與聖嬰現象有關，因風速變弱所致，在 1997 和 1998 年北南海的 EKE 值相對比其他年份來得低，使得渦漩的活動力最弱。

本研究將春季定義為 4、5 月，夏季為 6、7、8 月，秋季 9、10 月，冬季 11、12、1、2、3 月，圖 5-8 為歷年北南海  $19^{\circ}$ - $24^{\circ}$ N,  $112^{\circ}$ - $122^{\circ}$ E 反氣旋渦漩發生位置分佈圖，分成(a)春季(b)夏季(c)秋季(d)冬季，「\*」為渦漩起始位置。圖 5-8(a) 春季時僅有 4 個渦漩發生在台灣西南，另外 6 個則散佈在北南海內部，平均存活時間有 54.72 天，圖 5-8(b) 夏季西南季風盛行期間，平均存活 50.12 天，有 8 次的渦

漩事件發生在  $18^{\circ}\text{N}$ ,  $114^{\circ}\text{E}$  附近，應與流場變化有關，還有 17 次發生在  $117^{\circ}\text{E}$  以東，在台灣西南外海及菲律賓西側外海都有發生。呂宋海峽在夏、秋季時季風轉換期間，SLA 逐漸轉變為正值並持續至整個冬季，而 SLA 能判斷出順時針方向的渦漩，延續著於夏季開始的正 SLA，圖 5-8(c) 秋季發生的渦漩平均存活時間比其他季節來得長有 65.21 天，渦漩的起始位置逐漸集中散佈在  $18^{\circ}-22^{\circ}\text{N}$ ,  $116^{\circ}-121^{\circ}\text{E}$ ，由呂宋海峽向西延伸至北南海內部並分佈在共有 17 次，發生在 9 月的渦漩緯度較低，較靠近呂宋島，圖 5-8(d) 冬季渦漩則發生了 23 次，平均存在則有 57.68 天，可能原因是在冬季受到東北季風的影響，中尺度渦漩有由東向西移動的趨勢，海水面再經由其他外力如季風或地形的起伏形成了數個存活一個月以上的渦漩，這些渦漩則沿著陸棚東北向西南分佈的現象。中尺度渦漩的傳播方向主要以西方向為主(李, 2003)，本研究將渦漩的中心點連接起來，認為此路徑為渦漩的行進軌跡，圖 5-9 為 1993-2008 年反氣旋渦漩發生位置及移動路徑圖，「S」點表示為渦漩的初始位置，渦漩大部分發生在  $20^{\circ}-22^{\circ}\text{N}$ ，只有少部分的渦漩發生在較南側，並由這些軌跡可窺知渦漩的移動軌跡大致沿著大陸棚邊緣移動，但在較南側發生的渦漩會有先向北傳遞後再轉向西的情形。

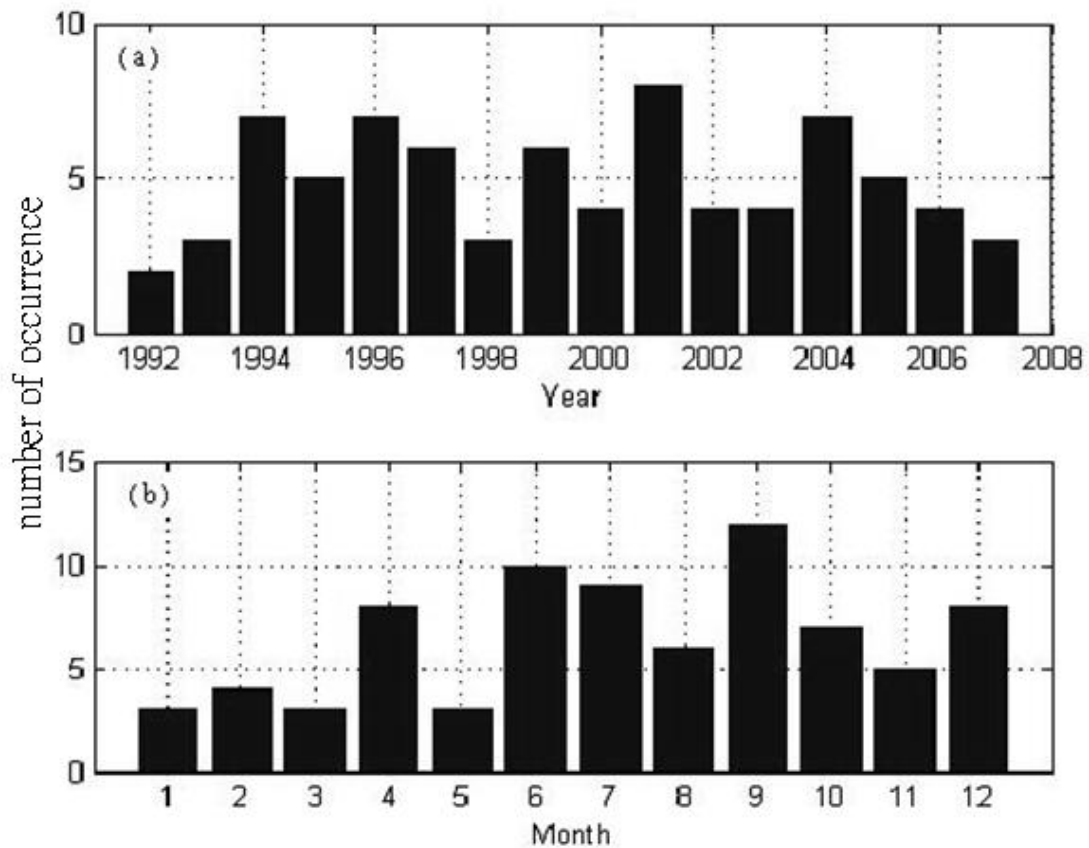


圖 5-7 北南海反氣旋渦旋發生時間年月分佈圖，(a)圖為各年的統計次數，(b)圖則為各月份發生的次數。

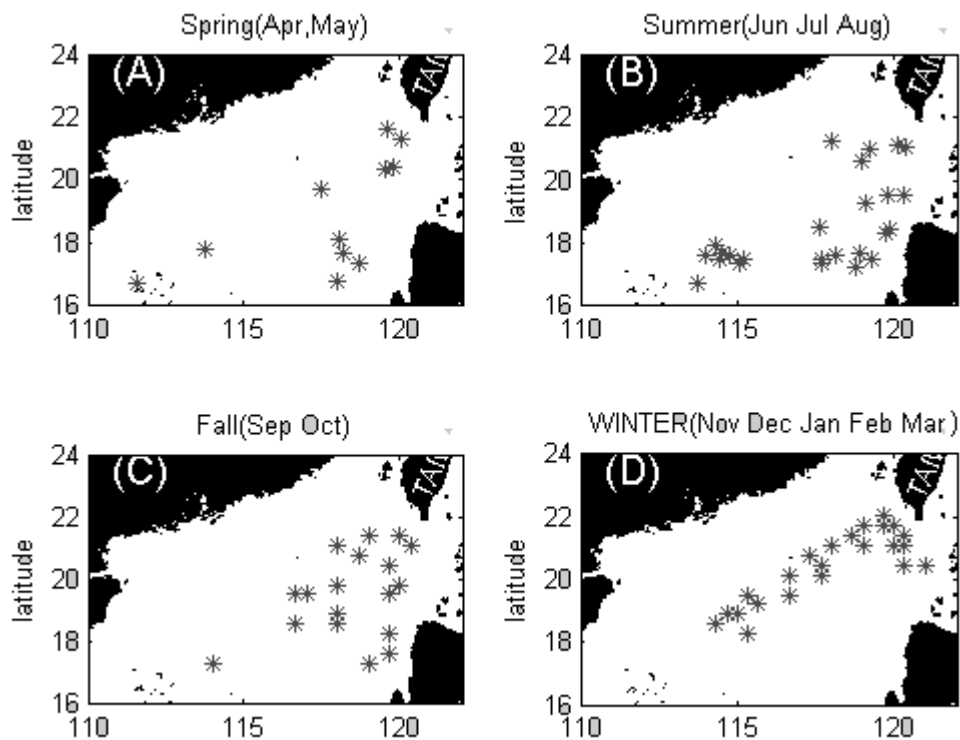


圖 5-8 反氣旋渦旋發生位置分佈圖，(A)春季(B)夏季(C)秋季(D)冬季，「\*」

為渦旋起始位置。

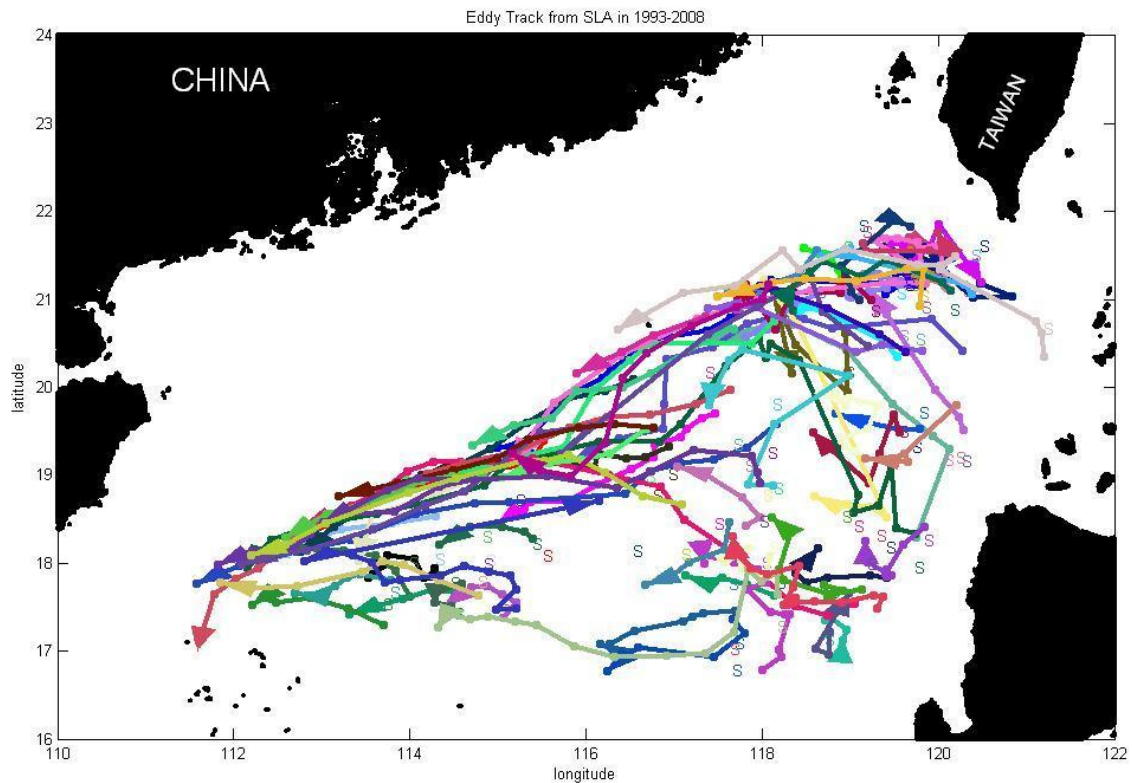


圖 5-9 1993-2008 年反氣旋渦旋發生位置及移動路徑圖，「S」點表示渦旋的初始位置，箭頭為渦旋終點及傳遞方向。

## 5.2 渦旋特性及機制討論

呂宋海峽是受黑潮影響最大的區域，在前人研究中黑潮被認為是影響北南海渦旋的主因之一，本節將討論呂宋海峽  $118^{\circ}\text{E}$  以東發生的渦旋事件的成因及分佈情形，全年分為西南季風及東北季風兩個時期，根據兩個季風時期討論渦旋的初始位置、存活時間、移動路徑以及渦旋強弱的分佈並比較渦旋的特性有無季節性的差異。

### 5.2.1 渦旋季節性特徵

表 5-4 及 5-5 為呂宋海峽 118°E 以東，東北及西南季風期間反氣旋渦漩特性統計，西南季風期間(4 月至 8 月)一共發生了 18 次，東北季風期間(9 月至 3 月)則有 22 次，與 Jia and Liu(2004)研究結果顯示 1992-2001 年在 118°-120.5°E 區域內，反氣旋渦漩於兩個季風期間渦漩發生次數都顯示無明顯的差異。

- 夏季西南季風期間

圖 5-10(a)為呂宋海峽反氣旋渦漩發生位置分佈圖，一共有 18 次於呂宋海峽西側發生，以 21°N 為分界恰好南側及北側各九次，顯示西南季風時期渦漩的發生並無特定區域，而渦漩平均起始直徑有 242.10 km(表 5-4)，最大直徑發生於 1996 年 6 月 12 日有 322 km，另外在 1996 年 8 月 28 日渦漩起始直徑 132 km，為歷年最小，存活時間分別為 35 天及 49 天，反而起始面積較小的渦漩，存活時間還多了數天。夏季西南季風時期發生的渦漩普遍存活的時間並不長，但在 2005、2006、2007 分別各有一個連續存活超過 70 天的反氣旋渦漩，其餘渦漩存活時間皆在 30-50 天不等。圖 5-11 為夏季西南季風期間發生於呂宋海峽之渦漩路徑圖，圖 5-11(a)為六次存在時間較長的渦漩行進路徑，顯示渦漩並未都發生在呂宋海峽，只有一次發生在台灣西南外海，反倒是在菲律賓西側共發生了五次反氣旋渦漩。這六個渦漩平均直徑約在 260-370 km 之間，最大直徑達 372 km，平均高度差

為 6-12 cm。圖 5-11(b)為西南季風期間存活 60 天以下的渦漩傳遞路徑，可看出渦漩傳遞的距離都不長，大部分的渦漩多半傳遞至 118°E 左右即消散，渦漩的平均直徑在 200-250 km 之間，或許是受到夏季西南季風的影響使渦漩並不如冬季時渦漩向西傳遞的明顯趨勢。圖 5-13(a)為西南季風期間北南海反氣旋渦漩傳遞速度分佈，由圖可知歷年西南季風期間渦漩傳播速度多半低於 10 cm/s，僅有零星渦漩的傳播速度大於 10 cm/s，更只有少數大於 15 cm/s。圖 5-14 為北南海反氣旋渦漩所在位置高度差分佈圖，圖 5-14(a)顯示西南季風期間渦漩高度差分佈，渦漩經過的區域集中在台灣西南外海、東沙以東之間、菲律賓西側以及北南海西側，這些渦漩中心高度差大部份小於 15 cm，少部份超過 15 cm，尤其菲律賓西側存在過的渦漩中心高度差幾乎小於 10 cm。

- 冬季東北季風期間

圖 5-10(b)為冬季東北季風盛行期間的渦漩起始位置，渦漩發生幾乎集中在台灣西南外海 19°-22°N 之間，在呂宋海峽南側僅有三次渦漩事件，而呂宋海峽渦漩的平均直徑為 233 km(表 5-5)。圖 5-12 為冬季東北季風期間發生於呂宋海峽之渦漩路徑圖，圖 5-12(a)為存活 70 天以上的反氣旋渦漩路徑，長時間存活的渦漩幾乎都是沿著大陸棚邊緣向西傳遞，應是冬季南海環流及東北季風的影響，渦漩呈現

明顯向西的路徑，東北季風期間長時間存活 100 天以上的反氣旋渦漩之路徑，由表 5-5 可知發生日期 1992. 12. 9、1996. 10. 23、1998. 9. 16、1999. 12. 1、2000. 9. 20 及 2003. 12. 24 這六個時期，平均傳遞速度約 3-8 cm/s，起始直徑 100-280 km 不等，起始高度差 6-9 cm 之間。圖 5-12(b) 為東北季風期間存活 70 天以下的反氣旋渦漩路徑圖，冬季渦漩多半集中在呂宋海峽北側，但因存活時間較短，故多半行進至東沙東側就不再向西傳遞。圖 5-13(b) 為東北季風期間北南海反氣旋渦漩傳遞速度分佈，顯示歷年東北季風期間台灣西南外海  $117^{\circ}$ - $120^{\circ}$ E 部分渦漩的傳播速度可達 10-15 cm/s，其他區域傳播速度約小於 10 cm/s，符合 Rossby wave 的傳播特性，與 Wu et. al(2007) 研究所估算出中尺度渦漩傳播速度約 10 cm/s 相符。圖 5-14(b) 為東北季風期間渦漩高度差分佈圖，顯示東北季風期間  $116^{\circ}$ E 以東呂宋海峽西北側區域，渦漩中心高度差均在 10-20 cm，偶而有超過 30 cm 以上的渦漩存在過，反倒是  $116^{\circ}$ E 以西高度差多半在 7-15 cm 並沿著大陸棚邊緣分佈。圖 5-15 為渦漩存活時間與渦漩強度之線性關係(a)西南季風期間(b)東北季風時期(c)則為全年，圖 5-13(a) 顯示西南季風時期渦漩的存活時間之線性關係較類似於全年 (圖 5-13 (c))，結果顯示存活天數越久強度會越強，而東北季風時期渦漩存活天數越久，其強度會比夏季西南季風時期更大，而全年  $Y=0.089X+8.8$  之線性關係與



Xiu et. al(2010)曾估算整個南海反氣旋渦旋強度與存在時間之關係  $Y=0.08X+10.04$  相似。

### 5.2.2 渦旋產生之機制：以黑潮套流為例

根據統計結果，呂宋海峽一帶是北南海渦旋發生最頻繁的區域，渦旋發生時的機制成為一項課題，本研究分別於 2003 冬季、2004 夏、冬季、2005 年冬季及 2006 年夏季共五個時期找到 4、1、3、4、2 顆如黑潮套流的漂流浮球軌跡能符合 SLA 的分佈及地轉流速，並於浮球經過後渦旋會向西傳遞。圖 5-16、17、18 分別為 2003、2004、2005 年冬季施放於呂宋海峽西側的浮球軌跡，11、12 月份時黑潮持續向北流動並在台灣西南形成套流，似乎可驗證渦旋的形成是受到黑潮所造成(Wang et. al 2008)。圖 5-16 為 2003 年冬季 No. 41116 在 12/3 於  $20.92^{\circ}\text{N}$ ,  $120.61^{\circ}\text{E}$  施放後隨黑朝向西北漂流，進入台灣西南外海後呈現順時針漂流的型態，流速則在 20-70 cm/s 最快曾高達 60.74 cm/s，當浮球漂流至台灣東側時，最快流速已達 105.03 cm/s。No. 41167 於 12/16 施放比 No. 41116 還要偏東側的位置，但浮球仍向西北漂流至  $22^{\circ}\text{N}$ ,  $119^{\circ}\text{E}$ ，軌跡大幅度的偏轉，以順時針漂流回巴士海峽後才再轉向東進入蘭嶼，呈現出更類似於套流的現象。圖 5-17 為 2004 年冬季 No. 49641、49679、49725 浮球軌跡圖，No. 49641 於

12/26 在呂宋海峽西側  $19.43^{\circ}\text{N}$ ,  $120.97^{\circ}\text{E}$  施放，進入台灣西南外海後或許受到當時東北季風的影響呈順時針漂流，流速則在 20-70 cm/s 之間，當浮球漂流至台灣東側時流速最快達 75.61 cm/s。接著 No. 49679、49725 施放在菲律賓北側，漂流軌跡與 2003 年 No. 41119 浮球軌跡的流向類似，同樣朝西北漂流到台灣西南外海後再向東進入黑潮主流。圖 5-18 為 2005 年冬季 No. 56644、56694、56703、56743 浮球軌跡圖，No. 56664 於 11/18 施放於呂宋海峽西側，最快流速曾達 116.22 cm/s，浮球隨黑潮進入台灣西南外海後或許受到當時東北季風的影響於呈順時針漂流，當浮球漂流至台灣東側時流速最快達 75.61 cm/s。接著 No. 56694、56703、56743 分別於 2004 年 11 月 26 日及 10 月 18 日施放，漂流的軌跡與 2003 年及 2004 年同時期找到的浮球軌跡類似，同樣朝西北漂流後再轉向東進入黑潮主流。

本實驗室曾於 2006 年 6 月至 2007 年 1 月施放了 30 顆漂流浮球，其中有 2 顆浮球呈現套流的現象，圖 5-19 為 2006 年夏季 No. 63097、63098 浮球軌跡圖，這兩顆浮球是由海研三號於  $119.47^{\circ}\text{E}$ ,  $21.58^{\circ}\text{N}$  所施放，No. 63097 順時針旋轉時漂流速度約 11-15 cm/s，之後以 20-50 cm/s 的速度越過台灣南端，7/12 之後此浮球即無資料回傳了，僅提供了 17 天流速資料，No. 63098 與 63097 以相等的流速在台灣西南外海呈現 loop 的軌跡，速度 10-20 cm/s，但不同的是浮球漂至蘭嶼後

反而轉向東進入太平洋，爾後流速約 50-80 cm/s，測得最大流速曾到達 202.25 cm/s，此浮球的壽命較 No. 63097 長，資料回傳的最後日期為 9/17 一共回傳了 46 天的流速資料。

由於連續在三年內能找到類似套流的浮球軌跡，同時期的 SLA 分佈圖應能觀測到類似的情形，圖 5-20 為 2003 年 12/17-1/7 SLA 分佈及漂流浮球軌跡圖，12/17-12/24 浮球由台灣東側向西北漂流進入台灣西南外海後，SLA 呈現封閉情形，12/21-27 浮球以順時針方向漂流與地轉流方向一致，渦漩中心高度差大於 12 cm，12/28-1/3 間浮球除了沿渦漩周圍順時針漂流外，已繞過台灣南方進入黑潮主流向北漂流，渦漩已存在一個月以上但還未向西傳遞。

圖 5-21 為 2004 年 1/14-2/4 SLA 分佈及表面漂流浮球軌跡圖，1/11-1/17 浮球向西北漂流至西南外海，SLA 已有渦漩的特徵，1/21-28 SLA 更呈現橢圓的情況，浮球隨著渦漩的邊緣呈現 loop，2/4 渦漩開始向西傳遞，浮球也繞過台灣南方進入黑潮主流向北漂流。

圖 5-22 為 2004 年 3/17-4/7 SLA 分佈及漂流浮球軌跡圖，此時期反氣旋渦漩於台灣西南外海已存在一個月以上，3/21 漂流浮球由呂宋海峽東側向西北漂流進入北南海，3/23 浮球隨渦漩已有順時針打轉的跡象，明顯向西漂流，浮球的流向及軌跡也與地轉流一致，3/28 更呈現 looper 的情況，浮球的移動速度顯示均速的情形，或許是其

他因素的影響如當時的風應力，浮球並未呈現如渦漩的特徵反而於 4 月 3 日流至蘭嶼附近並隨黑潮向北漂流。圖 5-23 為 2004 年 11/17-12/5 SLA 分佈及浮球軌跡，11 月 14 日至 11 月 20 日期間浮球向西北漂流到台灣西南外海約  $21^{\circ}\text{N}$ ，此時 SLA 還未呈現渦漩的特徵，11/24 渦漩中心高度差已大於 14 cm，浮球沿渦漩周圍順時針漂流，到了 12/1-8 更呈現渦漩的特徵，浮球隨著渦漩的邊緣呈現 loop 打轉，12/5 浮球已繞過台灣南方進入黑潮主流繼續向北漂流。

綜觀呂宋海峽渦漩的特性，冬季時反氣旋渦漩發生的次數較夏季發生的次數為多，分別是 22 次及 18 次，夏季西南季風期間，渦漩向西傳遞的距離都不長，渦漩多半傳遞至  $118^{\circ}\text{E}$  左右即不見蹤影，Wang et. al(2003)討論此區域的渦漩特性，存在時間較短、傳遞距離不長類似，歷年存在於夏季超過 70 天的渦漩並未發生在呂宋海峽，反而是發生在菲律賓西側，渦漩仍呈現向西傳遞的情形。相反地，冬季東北季風期間，渦漩存在的時間較久、傳遞距離較長的特性並有明顯向西的情形，從存在超過 70 天以上的渦漩路徑來看，渦漩幾乎都發生在台灣西南外海  $20^{\circ}-21^{\circ}\text{N}$  左右，並沿著大陸棚邊緣向西傳遞至  $112^{\circ}\text{E}$  左右，向西傳遞的尺度遠大於夏季西南季風期間。東北季風期間  $116^{\circ}\text{E}$  以東呂宋海峽西北側區域，渦漩中心高度差均在 10-20 cm，偶而有超過 30 cm 以上的渦漩存在過，反倒是  $116^{\circ}\text{E}$  以西多半在 7-15 cm

並沿著大陸棚邊緣分佈。西南季風時期，渦漩經過的區域集中在台灣西南外海東沙以東之間、菲律賓西側以及北南海西側，這些渦漩的高度差大部份小於 15 cm，另外少部份超過 15 cm，尤其菲律賓西側存在過的渦漩高度差幾乎都小於 10 cm。總觀來說東北季風期間平均高度差大於西南季風期間，台灣西南外海在兩個時期渦漩高度差均大於其他區域，且相同的存在天數東北季風時期渦漩強度會比西南季風時期來得強。

冬季由呂宋海峽發生的渦漩多半集中在  $20^{\circ}$ - $21^{\circ}$ N 左右，更引起本研究試探討其發生的機制為何。將歷年漂流浮球軌跡及 SLA 分佈比對後，於 2003-2005 年間冬季及 2004 年夏季台灣西南方  $20^{\circ}$ - $21^{\circ}$ N 之間，共有 12 顆表面漂流浮球皆觀測到套流現象，配合同時期 SLA 後，浮球施放後向西北傳遞並沿著渦漩周圍順時針方向漂流，但漂流至台灣南邊後並未隨渦漩繼續旋轉反而轉向台灣東側進入黑潮主流，此套流的現象應為區域發生渦漩的重要機制之一(Wang et al, 2000; Jia et al, 2005; Yuan et al, 2006)。

表 5-4 歷年西南季風期間發生在呂宋海峽反氣旋渦漩特性統計

| 起始日期   |   |    | 結束日期 |    |    | 存活<br>天數 | 經度<br>(°E) | 緯度<br>(°N) | 起始直徑<br>(km) | 平均速度<br>(cm/s) | 起始高度差<br>(cm) |
|--------|---|----|------|----|----|----------|------------|------------|--------------|----------------|---------------|
| 1994   | 4 | 27 | 1994 | 5  | 25 | 35       | 119.53     | 20.352     | 268.02       | 5.29           | 9.85          |
| 1994   | 7 | 20 | 1994 | 9  | 14 | 63       | 119.75     | 18.297     | 162.64       | 8.66           | 7.71          |
| 1995   | 6 | 28 | 1995 | 7  | 19 | 28       | 119.78     | 19.529     | 284.27       | 4.24           | 12.21         |
| 1996   | 4 | 17 | 1996 | 5  | 15 | 35       | 120.02     | 21.317     | 222.35       | 3.48           | 11.50         |
| 1996   | 6 | 12 | 1996 | 7  | 10 | 35       | 118.14     | 17.635     | 248.36       | 3.75           | 6.29          |
| 1996   | 6 | 12 | 1996 | 7  | 10 | 35       | 120.29     | 19.511     | 322.41       | 6.86           | 9.13          |
| 1996   | 7 | 31 | 1996 | 9  | 4  | 42       | 118.94     | 20.623     | 264.26       | 9.05           | 11.87         |
| 1996   | 8 | 28 | 1996 | 10 | 16 | 49       | 118.02     | 21.216     | 132.81       | 10.07          | 7.64          |
| 1997   | 5 | 21 | 1997 | 6  | 18 | 35       | 118.71     | 17.348     | 181.57       | 2.22           | 6.22          |
| 1998   | 7 | 8  | 1998 | 8  | 26 | 56       | 119.23     | 20.989     | 265.66       | 5.80           | 7.98          |
| 1999   | 4 | 21 | 1999 | 6  | 9  | 56       | 119.6      | 21.631     | 229.51       | 4.41           | 7.12          |
| 1999   | 7 | 14 | 1999 | 9  | 1  | 56       | 119.07     | 19.273     | 165          | 3.19           | 8.22          |
| 2000   | 6 | 7  | 2000 | 8  | 2  | 63       | 119.84     | 18.415     | 265.22       | 2.910          | 8.83          |
| 2001   | 4 | 4  | 2001 | 6  | 20 | 84       | 118        | 16.785     | 267.12       | 3.69           | 8.19          |
| 2001   | 7 | 18 | 2001 | 8  | 8  | 28       | 118.76     | 17.22      | 224.14       | 5.24           | 7.15          |
| 2002   | 5 | 1  | 2002 | 5  | 29 | 35       | 119.82     | 20.417     | 259.13       | 8.89           | 6.88          |
| 2004   | 6 | 30 | 2004 | 7  | 21 | 28       | 120.38     | 21.066     | 301.17       | 7.76           | 6.31          |
| 2004   | 8 | 4  | 2004 | 9  | 29 | 63       | 120.14     | 21.097     | 205.06       | 4.82           | 6.18          |
| 2005   | 5 | 4  | 2005 | 6  | 1  | 35       | 118.08     | 18.077     | 226.09       | 3.03           | 7.31          |
| 2005   | 6 | 22 | 2005 | 7  | 20 | 35       | 117.62     | 18.469     | 363.54       | 4.67           | 6.29          |
| 2005   | 8 | 17 | 2005 | 10 | 26 | 77       | 118.92     | 17.688     | 231.09       | 4.20           | 6.99          |
| 2006   | 4 | 26 | 2006 | 8  | 2  | 105      | 118.17     | 17.647     | 245.75       | 5.91           | 9.34          |
| 2007   | 6 | 27 | 2007 | 10 | 3  | 105      | 119.31     | 17.49      | 233.28       | 3.54           | 9.99          |
| 平均存在日期 |   |    |      |    |    | 51.43    | 平均直徑       |            | 242.10 km    |                |               |

表 5-5 歷年東北季風期間發生在呂宋海峽反氣旋渦漩特性統計

| 起始日期   |    |    | 結束日期 |    |    | 存活<br>天數 | 經度<br>(°E) | 緯度<br>(°N) | 渦漩直徑<br>(km) | 平均速度<br>(cm/s) | 起始高度差<br>(cm) |
|--------|----|----|------|----|----|----------|------------|------------|--------------|----------------|---------------|
| 1992   | 12 | 9  | 1993 | 3  | 31 | 119      | 119.71     | 21.586     | 176.04       | 7.10           | 6.56          |
| 1993   | 9  | 1  | 1993 | 11 | 3  | 70       | 118.08     | 21.165     | 220.12       | 7.19           | 12.60         |
| 1994   | 2  | 9  | 1994 | 3  | 2  | 28       | 118.93     | 21.073     | 153.44       | 3.36           | 7.21          |
| 1994   | 9  | 7  | 1994 | 10 | 12 | 42       | 119.41     | 17.837     | 216.23       | 4.29           | 8.58          |
| 1994   | 11 | 23 | 1995 | 1  | 4  | 49       | 119.64     | 21.634     | 246.33       | 3.43           | 14.43         |
| 1995   | 2  | 1  | 1995 | 4  | 19 | 84       | 120.27     | 20.412     | 333.91       | 8.14           | 6.76          |
| 1995   | 9  | 6  | 1995 | 10 | 11 | 42       | 119.57     | 19.496     | 341.47       | 5.71           | 20.13         |
| 1995   | 10 | 25 | 1996 | 1  | 17 | 91       | 118.16     | 19.582     | 210.14       | 9.37           | 6.67          |
| 1996   | 2  | 28 | 1996 | 3  | 27 | 35       | 119.69     | 21.578     | 233.79       | 3.22           | 19.38         |
| 1996   | 10 | 23 | 1997 | 1  | 29 | 105      | 119.56     | 21.172     | 195.38       | 3.08           | 8.35          |
| 1997   | 10 | 22 | 1997 | 12 | 3  | 49       | 120.48     | 21.181     | 287.09       | 7.49           | 9.03          |
| 1997   | 12 | 24 | 1998 | 1  | 14 | 28       | 118.62     | 21.556     | 166.55       | 5.12           | 6.92          |
| 1998   | 9  | 16 | 1999 | 2  | 17 | 161      | 119.73     | 18.329     | 278.27       | 8.55           | 6.22          |
| 1999   | 11 | 3  | 2000 | 1  | 19 | 84       | 118.13     | 20.753     | 304.22       | 7.65           | 20.36         |
| 1999   | 12 | 1  | 2000 | 3  | 22 | 119      | 120.08     | 21.658     | 106.71       | 8.55           | 6.41          |
| 2000   | 9  | 20 | 2000 | 10 | 25 | 42       | 119.1      | 20.988     | 209.09       | 4.29           | 8.55          |
| 2000   | 9  | 20 | 2000 | 12 | 27 | 105      | 119.05     | 17.535     | 220.94       | 8.29           | 7.68          |
| 2001   | 9  | 19 | 2001 | 10 | 10 | 28       | 120.21     | 19.803     | 295.37       | 6.24           | 17.58         |
| 2002   | 9  | 25 | 2002 | 12 | 25 | 98       | 119.2      | 20.473     | 238.96       | 11.76          | 6.016         |
| 2003   | 9  | 3  | 2003 | 9  | 24 | 28       | 119.62     | 20.402     | 220.81       | 7.93           | 16.99         |
| 2003   | 10 | 29 | 2003 | 12 | 17 | 56       | 118.12     | 18.881     | 209.37       | 8.95           | 6.85          |
| 2003   | 12 | 24 | 2004 | 3  | 31 | 105      | 120.15     | 21.406     | 179.53       | 7.17           | 8.10          |
| 2004   | 3  | 17 | 2004 | 4  | 7  | 28       | 120.23     | 21.304     | 266.13       | 4.22           | 10.11         |
| 2004   | 10 | 13 | 2004 | 11 | 10 | 35       | 117.81     | 18.428     | 307.27       | 4.66           | 8.18          |
| 2004   | 11 | 24 | 2005 | 1  | 5  | 49       | 119.79     | 20.929     | 256.69       | 6.98           | 6.23          |
| 2005   | 3  | 2  | 2005 | 3  | 30 | 35       | 119.15     | 21.639     | 175.3        | 4.89           | 11.18         |
| 2006   | 11 | 22 | 2007 | 2  | 14 | 91       | 121.19     | 20.348     | 251.4        | 8.28           | 6.95          |
| 平均存在時間 |    |    |      |    |    | 66.88    | 平均直徑       |            | 233.35 km    |                |               |

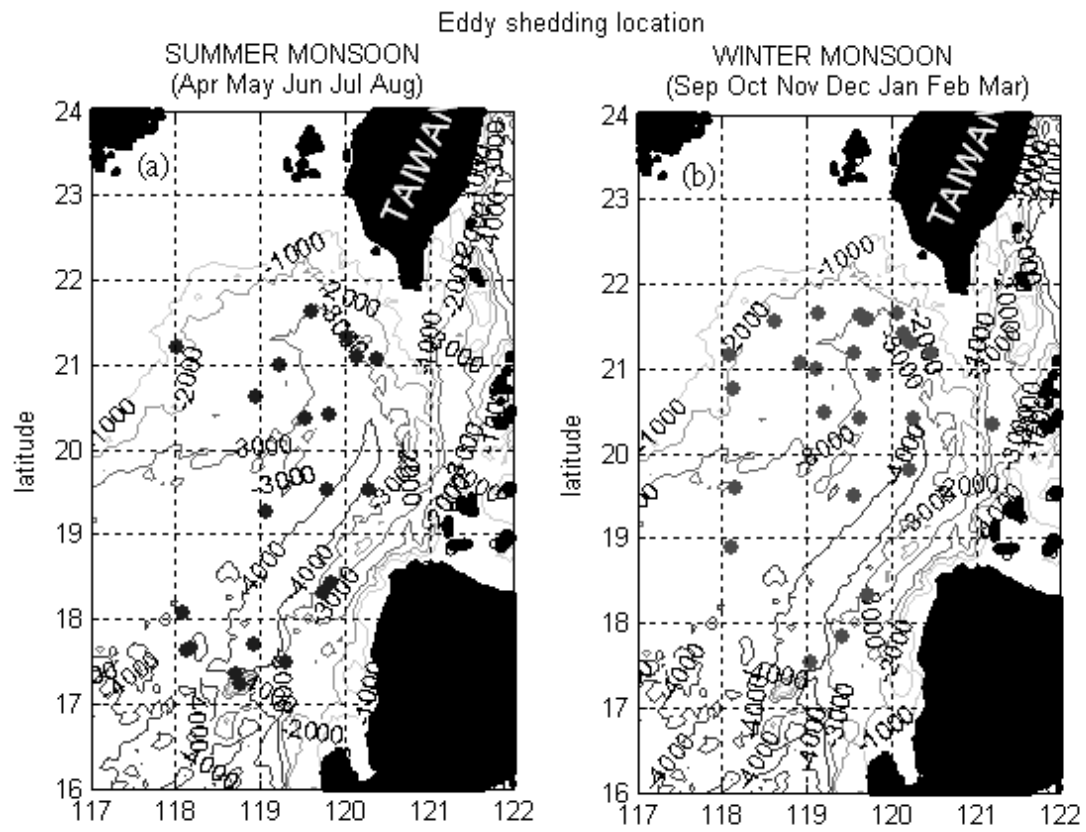


圖 5-10 呂宋海峽  $16^{\circ}$ - $24^{\circ}$ N,  $118^{\circ}$ - $122^{\circ}$ E 反氣旋渦漩發生位置分佈圖，藍、紅點分別為東北及西南季風渦漩的起始位置，地形等高線距為 1000 m。



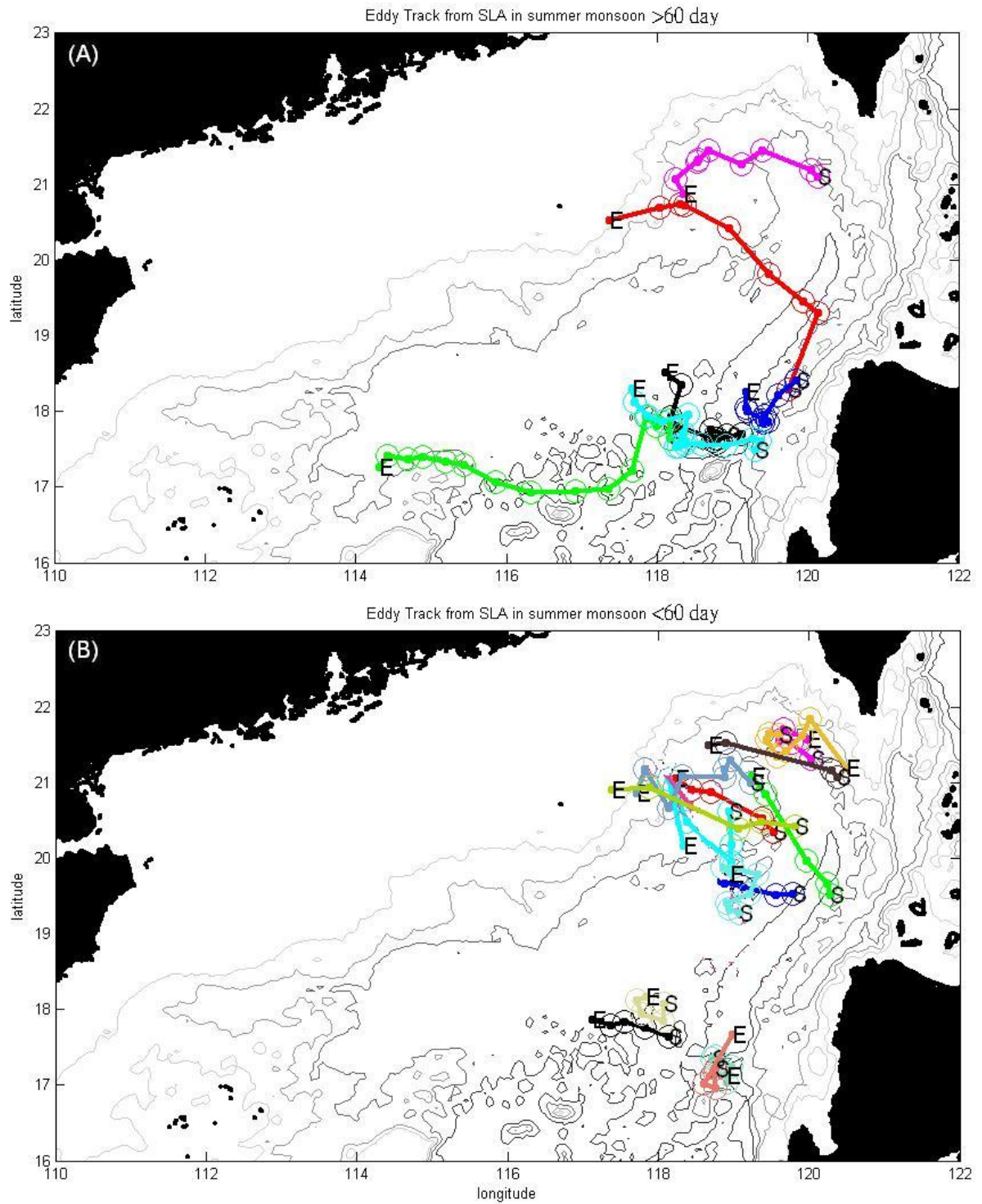


圖 5-11 夏季西南季風期間發生於  $118^{\circ}\text{E}$  以東渦旋路徑圖，(a)存在 60 天以上(b)存在 60 天以下，「S」點表示渦旋的初始位置，「o」點為每週的所在位置，「E」點為渦旋終點。

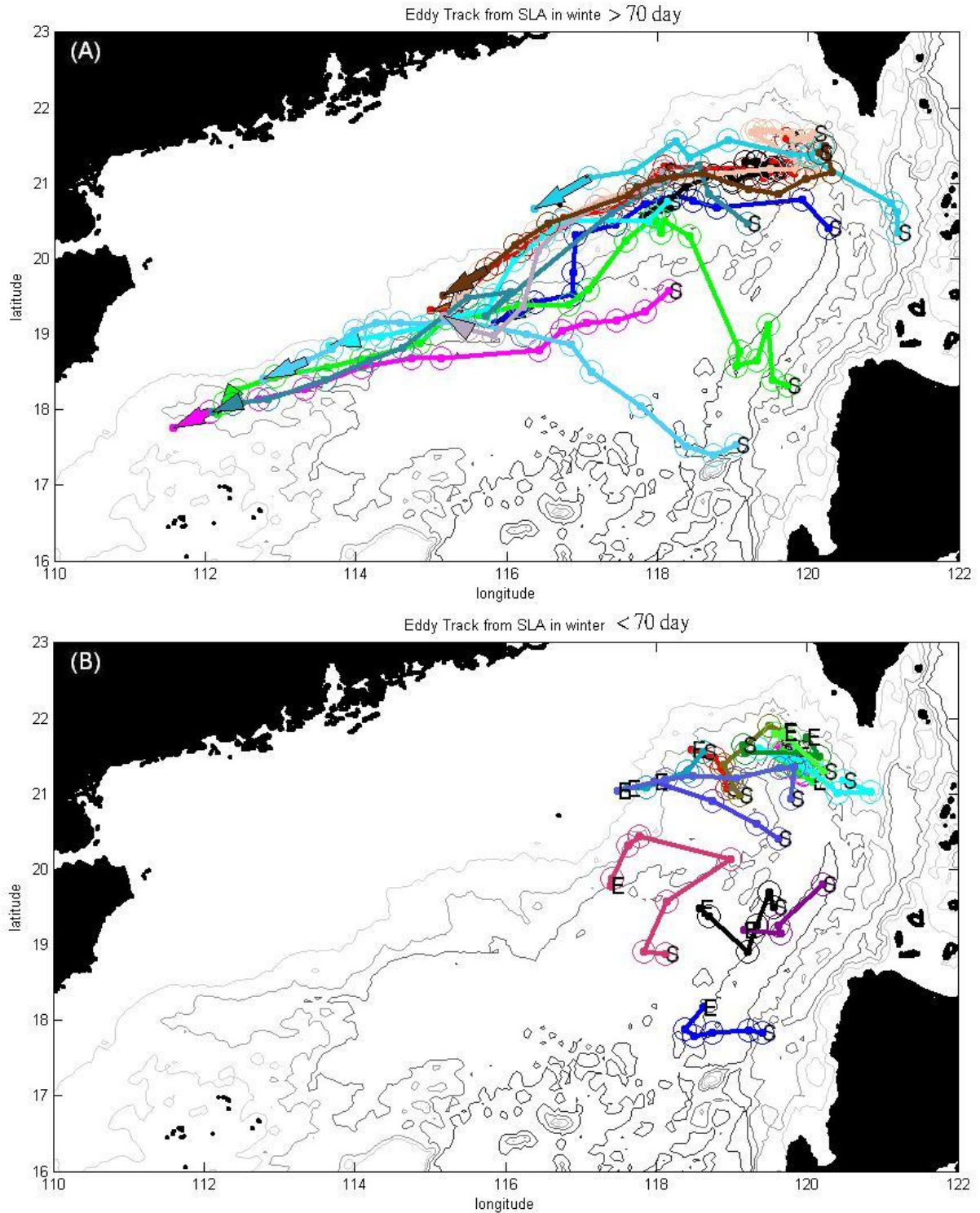


圖 5-12 冬季東北季風期間發生於  $118^{\circ}\text{E}$  以東渦旋路徑圖，(a)存在 70 天以上的反氣旋渦旋路徑，「S」點表示渦旋的初始位置，「o」點為每週的所在位置，箭頭為渦旋終點及傳遞方向。(b)存在 70 天以下的反氣旋渦旋路徑，「E」點則表示渦旋終點。

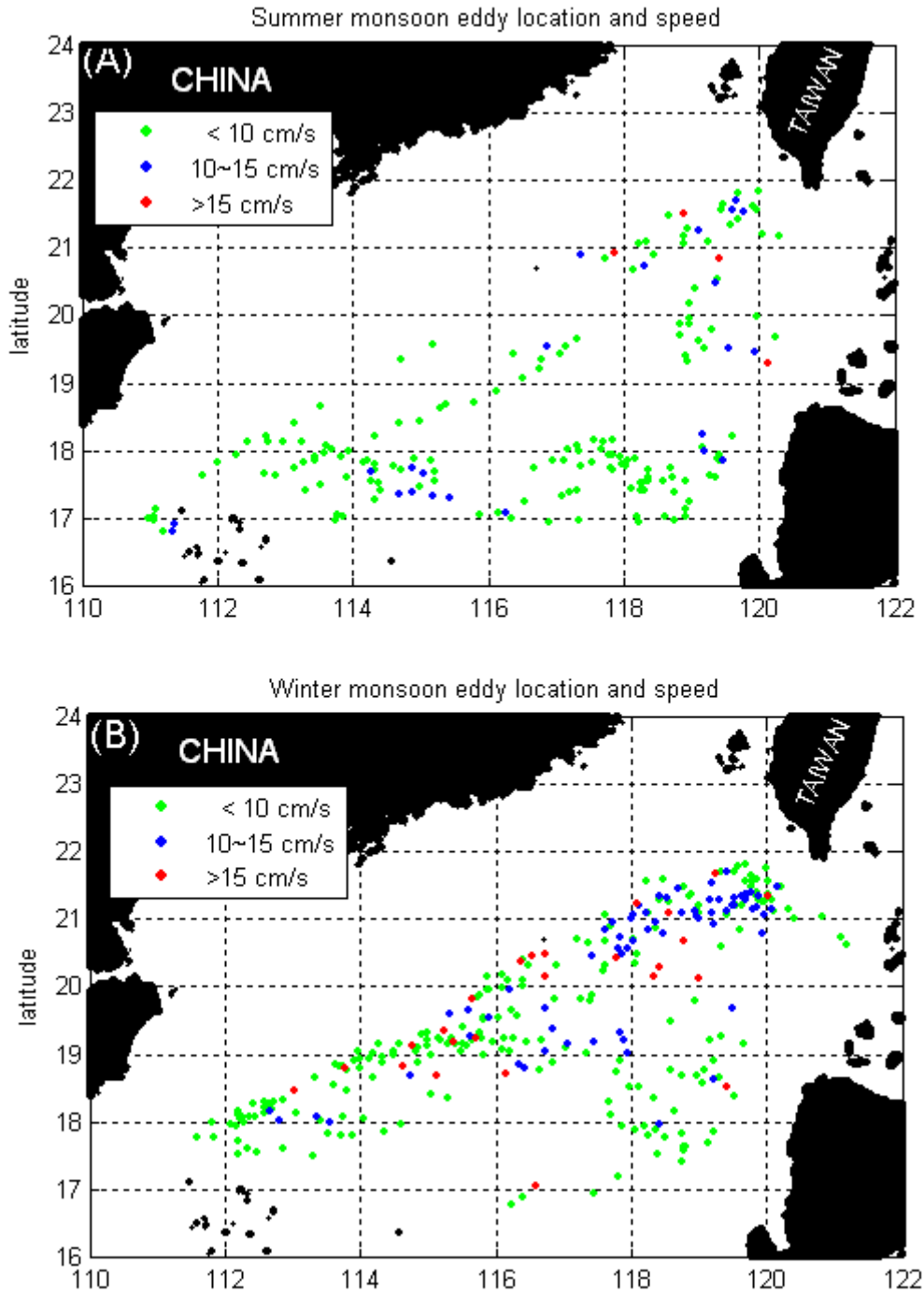


圖 5-13 北南海反氣旋渦旋傳遞速度分佈圖(a)為西南季風期間(b)東北季風期間。

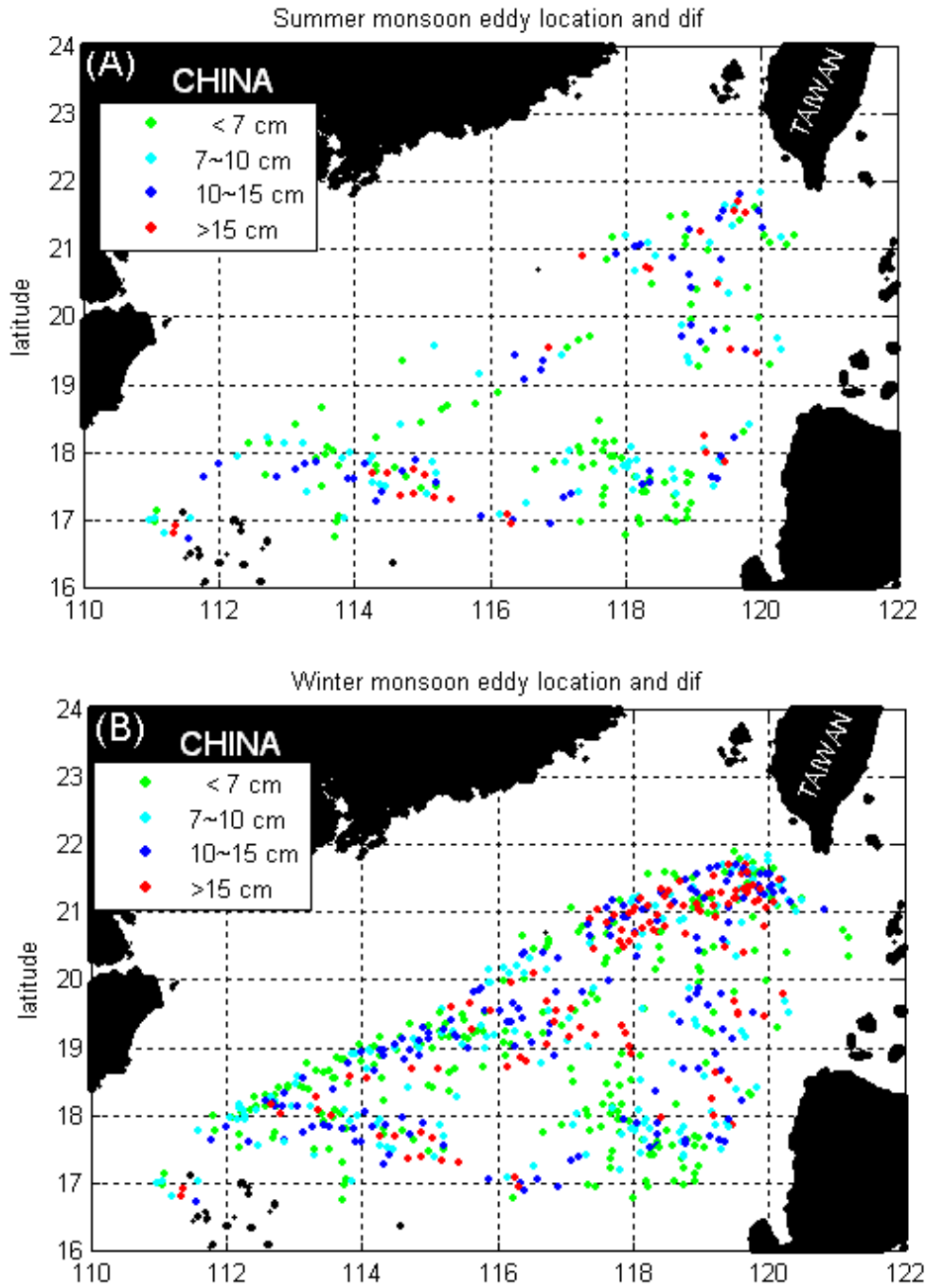


圖 5-14 北南海反氣旋渦漩所在位置高度差分佈圖(a)為西南季風期間(b)東北季風期間。

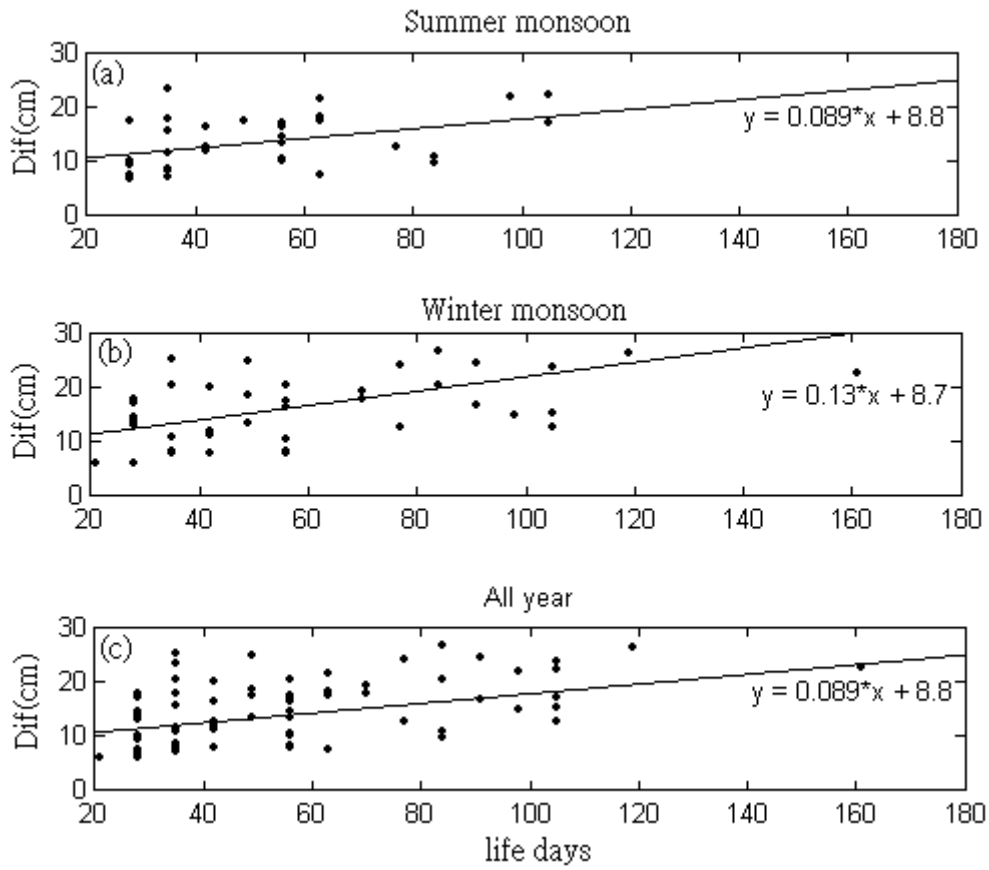


圖 5-15 渦旋存活時間與渦旋強度之線性關係(a)為發生在西南季風時期(b)為東北季風時期(c)則為全年

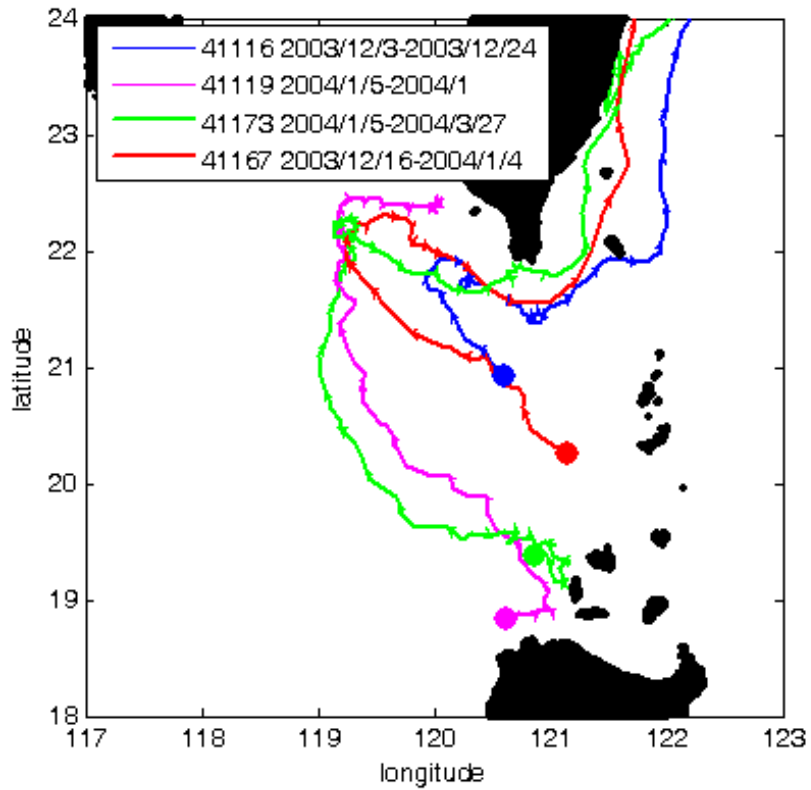


圖 5-16 2003 年冬季 No. 41116、41119、41173、41167 浮球軌跡圖，「●」點表示浮標施放點，箭頭為時間間隔一天的浮球位置。

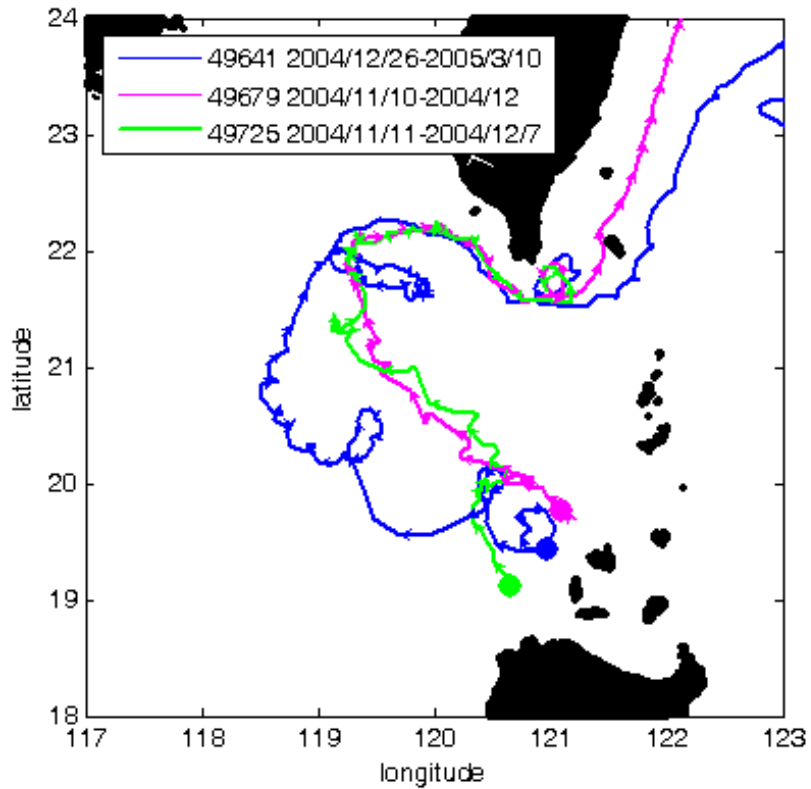


圖 5-17 同 5-16 圖，2004 年 No. 49641、49679、49725 浮球軌跡圖。

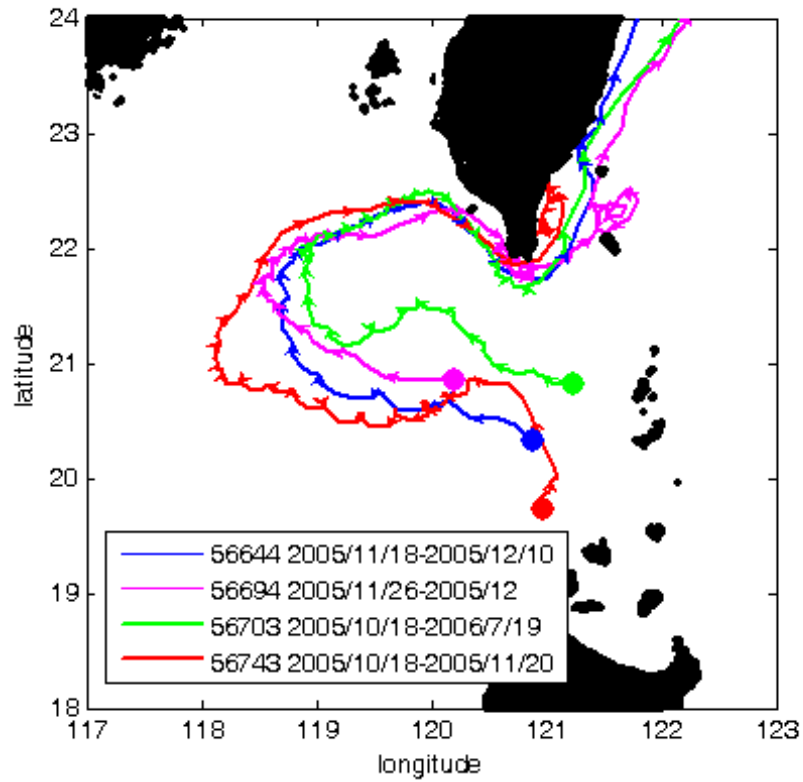


圖 5-18 同 5-16 圖，2005 年 No. 56644、56694、56703、56743 浮球軌跡圖

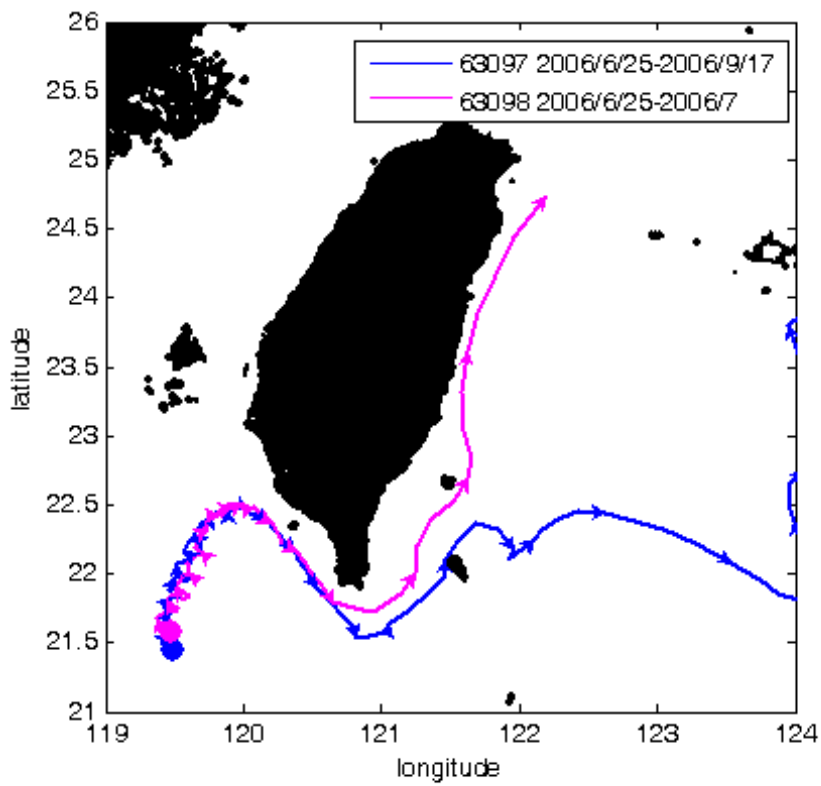


圖 5-19 同 5-16 圖，2006 年 No. 63097、63098 浮球軌跡圖

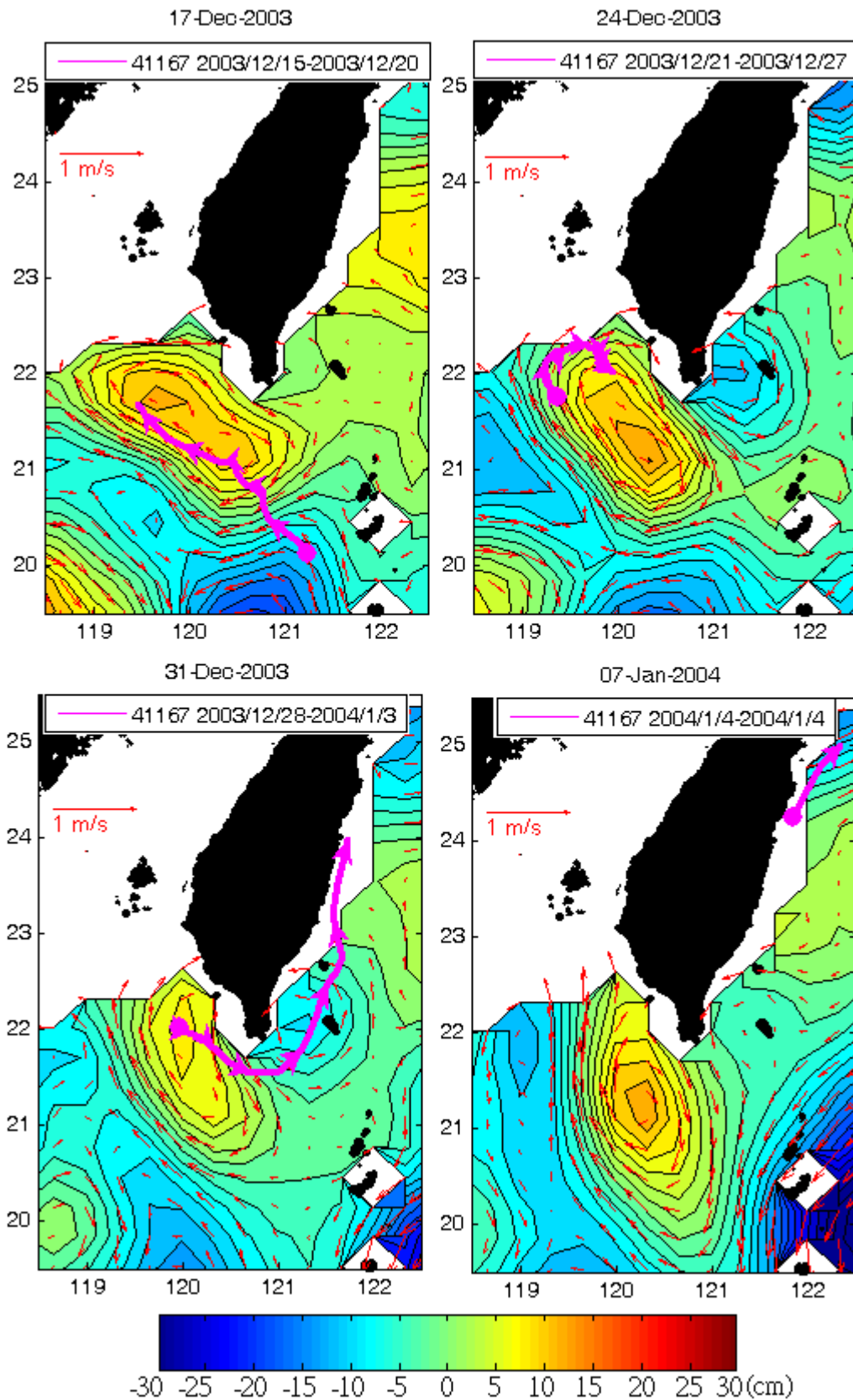


圖 5-20 2003 年 12/17-1/7 SLA 分佈及表面漂流浮球 No. 41167 軌跡圖，粉紅線為浮球軌跡，箭頭為時間間隔一天的浮球位置，紅色箭頭為地轉流，「●」點表示該時期浮球起點。



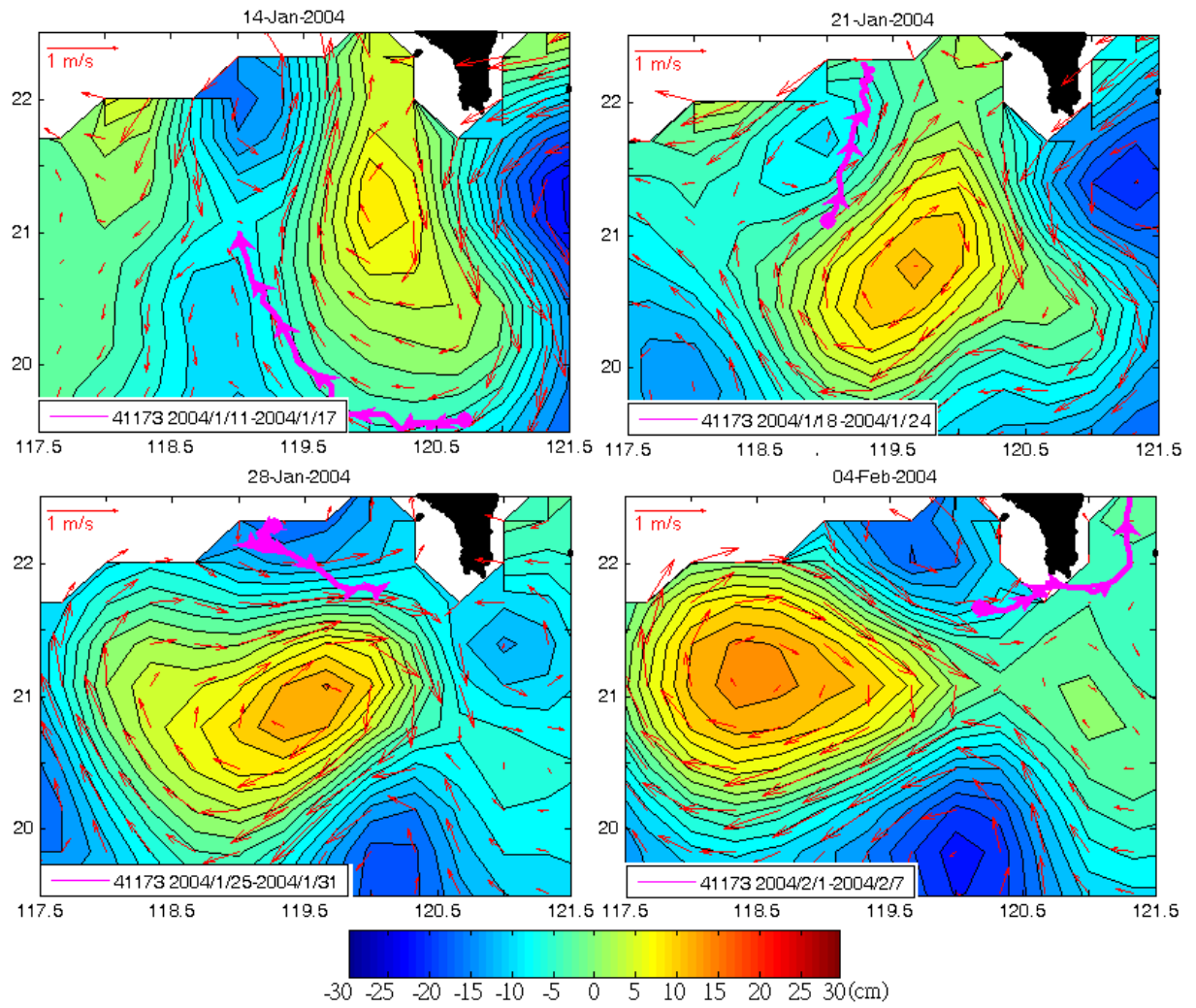


圖 5-21 同圖 5-20，2004 年 1/14-2/4 SLA 分佈及表面漂流浮球 No. 41173 軌跡圖。

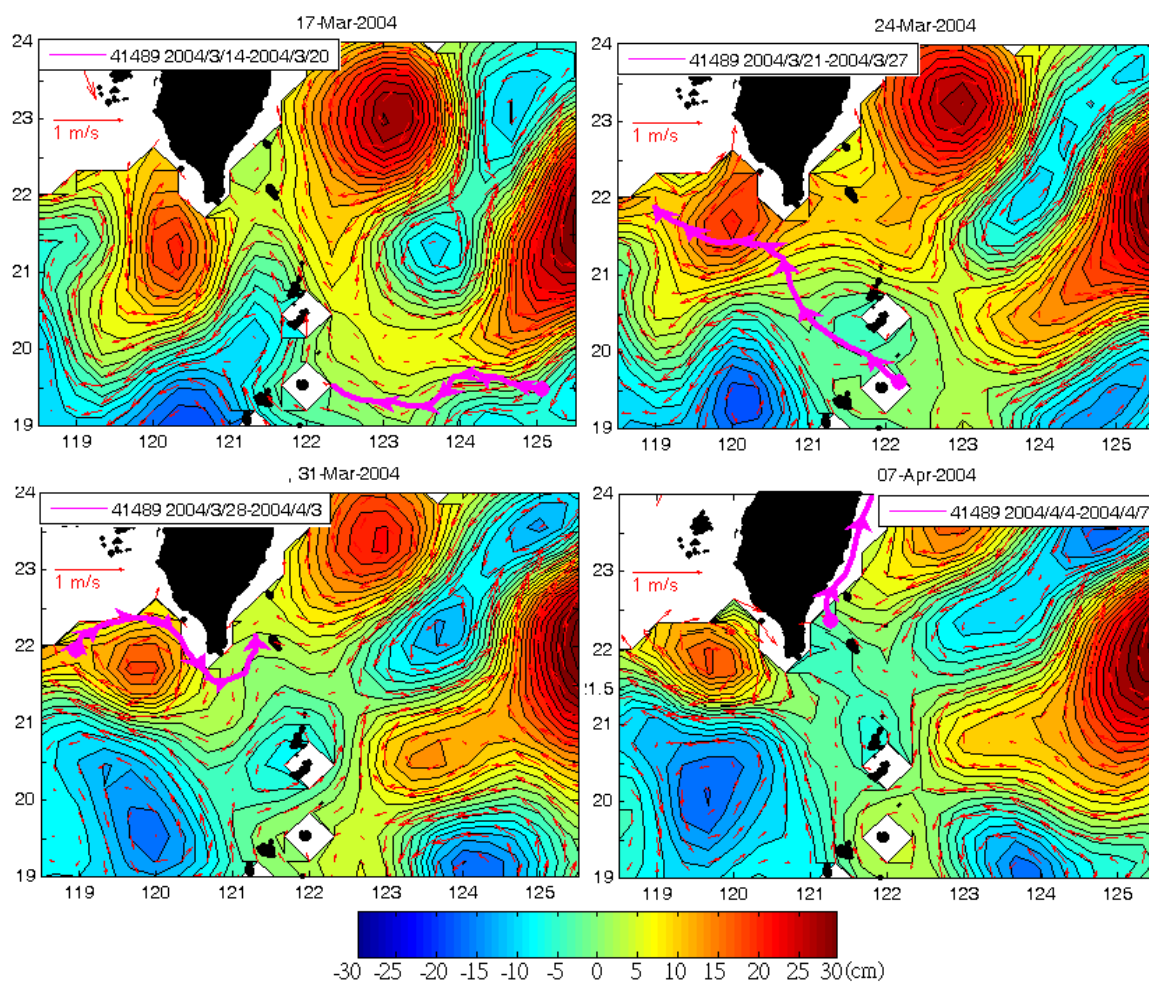


圖 5-22 同圖 5-20，2004 年 3/17-4/7 SLA 分佈及表面漂流浮球軌跡 No. 41489 圖。

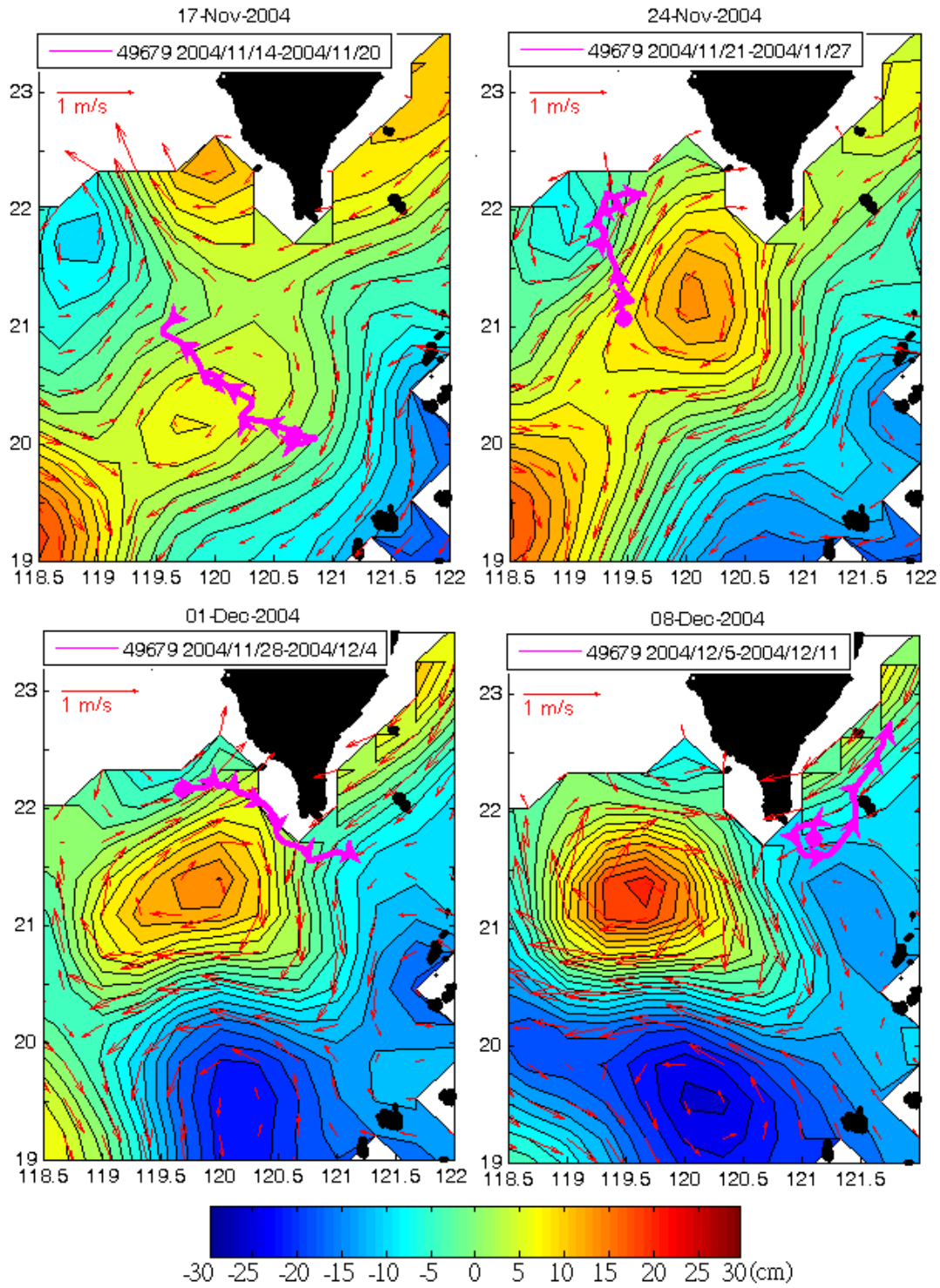


圖 5-23 同圖 5-20, 2004 年 11/17-12/5 SLA 分佈及表面漂流浮球 No. 49679 軌跡圖。

## 第六章、結論

本研究利用 1986-2008 年漂流浮球的軌跡與流速資料，參考 Richardson(2005)所提出的方法，找出歷年可能發生的渦漩事件並估算物理特性。並利用 1992 年 11 月至 2008 年 12 月每七天一筆的 SLA 資料，鑑別出反氣旋渦漩的存在及其特性，如渦漩的初始位置、存活時間、移動路徑以及渦漩強弱的變化。藉由 SLA 及表面漂流浮球大範圍且可連續觀測等優點，分析南海北部海域渦漩的特性及時空變化，本研究獲得了以下結論：

### 1. 表面漂流浮球與衛星高度計的驗證

由漂流浮球及 SLA 資料可辨識出北南海渦漩於 2003.12-2004.02 及 2004.11-2005.01 兩個時期的存在，利用 SST 亦可證實渦漩內部溫度較高。2003 年冬季發生在南海內部的渦漩，旋轉速度為 29.86 cm/s，存在了 42 天，平均直徑 112 km，傳播速度 5-11 cm/s，與 Wang et al.(2008) 估算的傳播速度為 9.7 cm/s 相符。2004.11-2005.01 於呂宋海峽北方有三個浮球在台灣西南外海沿著渦漩中心順時針打轉，中心高度差為 11-12 cm，旋轉速度為 42-47 cm/s，估算直徑為 102-117 km，當 SLA 為正時，地轉流為順時針方向，漂流浮球也同時隨著渦漩呈順時針方向運動，驗證了衛星高度計追蹤渦漩成果之正確性及可靠度。

## 2. 表面浮球觀測結果

Argos 浮球觀測結果顯示研究區域內會產生順時針方向的渦漩，2003 及 2006 年於台灣西南方、北南海中部及呂宋海峽西側曾觀測到三個反氣旋渦漩事件，2003 年 11-12 月靠近台灣西南方渦漩旋轉速度約 30-40 cm/s，直徑約 60-120 km，與 2004 年同區域所估算的旋轉速度略慢；同年於較低緯度於北南海中部，渦漩旋轉速度約 30-35 cm/s，直徑約 100-200 km；2006 年 6 月呂宋海峽西側，渦漩旋轉速度在 30-50 cm/s，直徑約 90-150 km。

## 3. 北南海渦漩的統計結果

根據本研究之定義，利用 SLA 歷史資料判斷出 1992-2008 年之間研究區域內連續存在一個月以上之反氣旋渦漩的事件共有 78 次，1994、1996、2001、2004 這四年發生的次數最多，1998 年的次數最少，渦漩發生集中在 6-12 月，尤以 9 月發生 12 次之多。此外春季平均存活時間有 54.72 天，夏季平均存活 50.12 天，秋季發生的渦漩平均存活時間有 65.21 天，冬季渦漩平均存活則有 57.68 天。

## 4. 呂宋海峽發生的渦漩特性

東北季風時期反氣旋渦漩發生的次數較西南季風時期發生的次數並未相差太多，分別是 22 次及 18 次，全年渦漩的平均直徑在 200-250 km，西南季風期間渦漩傳遞的距離都不長，多半傳遞至 118

°E 左右，渦漩存在時間皆在 30-50 天不等，東北季風期間渦漩沿著大陸陸棚由東北向西南分佈，具有存活較久、傳遞距離較長的特性並有明顯向西的情形。冬季存活超過 70 天的渦漩多半發生在台灣西南外海，並沿著大陸棚邊緣向西傳遞至 112°E 左右，向西傳遞的尺度遠大於西南季風期間。東北季風期間，台灣西南外海 117°-120°E 部分渦漩的傳播速度可達 10-15 cm/s，其他區域傳播速度約 10 cm/s，符合 Rossby wave 的傳播特性。

#### 5. 北南海渦漩的強度分佈

東北季風期間於 116°E 以東，台灣西南外海渦漩中心高度差為 10-20 cm，偶而有超過 30 cm 以上的渦漩存在，反倒是 116°E 以西之高度差約 7-15 cm 並沿著大陸棚邊緣分佈。西南季風時期，渦漩經過的區域集中在台灣西南外海至東沙以東、菲律賓西側以及北南海西側，這些渦漩中心高度差小於 15 cm，少部份超過 15 cm，尤其菲律賓西側存在過的渦漩，中心高度差幾乎都小於 10 cm。總體而言，東北季風期間渦漩高度差大於西南季風期間，台灣西南外海在全年渦漩中心高度差均大於其他區域，此外存活天數若相同，東北季風時期發生的渦漩強度會比西南季風時期強。

#### 6. 渦漩發生的機制

2003-2005 年冬季及 2004 年夏季於台灣西南外海 20°-21°N 之

間，共有 12 顆表面漂流浮球觀測到套流的現象，若在台灣外海觀測到套流的現象後，高度計在隨後短時間內往往可觀測到渦漩的形成，因此推論黑潮套流可能為北南海渦漩生成的原因之一。

## 參考文獻

- 梁文德, 2002: 南海上層海溫及海流變化之研究, 博士論文, 國立台灣大學海洋研究所。
- 李逸環, 2003: 西太平洋中尺度渦旋及其對黑潮的影響, 博士論文, 國立台灣大學海洋研究所。
- 曾光明, 2007: 利用漂流浮球觀測南海北部表層環流的統計分析, 碩士論文, 國立中山大學海洋生物科技暨資源研究所。
- 張育嘉, 2008: 台灣海峽及附近海域之流場觀測分析, 博士論文, 國立中山大學海洋生物科技暨資源研究所。
- Centurioni, L. R., P. P. Niiler and D.K. Lee, 2004: Observations of inflow of Philippine Sea surface water into the South China Sea through the Luzon Strait. *J. Phys. Oceanogr.*, 34, 113–121.
- Chaigneau, A., A. Gizolme and C. Grados, 2008: Mesoscale eddies off Peru in altimeter record: Identification algorithms and eddy spatio-temporal patterns. *Progress in Oceanogr.*, 79, 106–119.
- Chow, C.H., J.H. Hu, L.R. Centurioni and P.P. Niiler, 2008: Mesoscale Dongsha Cyclonic Eddy in the northern South China Sea by drifter and Satellite observations. *J. Geophys. Res.*, 113, C04018, doi:10.1029/2007JC004542.
- Emery, W. J. and R. E. Thomson, 1998: *Data analysis methods in Physical Oceanography*. Pergamon, New York, 328–328.
- Hansen, D. V. and P. M. Poulain, 1996: Processing of WOCE/TOGA drifter data. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 13, 900–909.
- Hwang, C.W. and S.A. Chen, 2000: Circulations and eddies over the South China Sea derived from TOPEX/Poseidon altimetry. *J. Geophys. Res.*, 105, 23943–23965.
- He Z. G., D. X. Wang and J. Y. Hu, 2002: Features of eddy kinetic energy and variations of upper circulation in the South China Sea. *Acta Oceanol. Sinica*, 21(2), 305–314.
- Isern-Fontanet, J., E. Garcia-Ladona and J. Font, 2002: Identification of Marine Eddies from Altimetric Maps. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 20, 772 – 778.
- Jia, Y. L. and Q.Y. Liu, 2004: Eddy Shedding from the Kuroshio Bend at Luzon Strait. *J. Oceanogr.*, 60, 1063 – 1069.
- Jia, Y. L., Q. Y. Liu and W. Liu, 2005: Primary Study of the Mechanism of Eddy Shedding from the Kuroshio Bend in Luzon Strait. *J. Oceanogr.*, 61, 1017 – 1027.
- Li, L., W. D. Nowlin, Jr and J.L. Su, 1998: Anticyclonic rings from the Kuroshio in the South China Sea. *Deep Sea Res.*, 45, 1469–1482.



- 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., Part II*, 50, 1085-1105.
- Poulain, P. M. and P. P. Niiler, 1989 : Statistical analysis of the surface circulation in the California Current system using satellite-tracked drifters. *J. Phys. Oceanogr.*, 19, 1588 - 1603.
- Poulain, P. M., 2001 : Adriatic Sea surface circulation as derived from drifter data between 1990 and 1999. *J. Mar. Syst.*, 29, 3 - 32.
- Poulain, P. M. and Zambianchi, E., 2007 : Surface circulation in the central Mediterranean Sea as deduced from Lagrangian drifters in the 1990s. *Cont. Shelf Res.*, 27, 981-1001.
- Richardson, P. L., 2005 : Caribbean Current and eddies as observed by surface drifters. *Deep Sea Res., Part II*, 52, 429-463.
- Salas, J., G. L. Emilio and J. Font, 2001 : Statistical analysis of the surface circulation in the Algerian Current using Lagrangian buoys. *J. Mar. Syst.*, 29, 69-85.
- Shaw, P. T. and S. Y. Chao, 1994 : Surface circulation in the South China Sea. *Deep Sea Res.*, 41, 1663-1683.
- Su, J. L., 2004 : Overview of the South China Sea circulation and its influence on the Coastal Physical Oceanography near the Pearl River estuary. *Cont. Shelf Res.*, 24, 1745-1760.
- Wang, G. H., J. L. Su and Peter C. Chu, 2003 : Mesoscale eddies in the South China Sea observed with altimeter data. *Geophys. Res. Lett.*, 30, No. 21, 2121, doi:10.1029/2003GL018532
- Wang, D. X., H. Z. Xu, J. Lin and J. Y. Hu, 2008 : Anticyclonic eddies in Northeastern South China Sea during Winter 2003/2004. *J. Oceanogr.*, 64, 925-935.
- Wu, C. R., T. Y. Tang and S. F. Lin, 2005 : Intra-seasonal variation in the velocity field of the northeastern South China Sea. *Cont. Shelf Res.*, 25, 2075-2083.
- Wu, C. R., and T. L. Chiang, 2007 : Mesoscale eddies in the northern South China Sea. *Deep Sea Res., Part II*, 54, 1575 - 1588.
- Xiu, P., F. Chai, L. Shi, H. J. Xue and Y. Chao, 2010 : A census of eddy activities in the South China Sea during 1993-2007. *J. Geophys. Res.*, 113, C04018, doi:10.1029/2007JC004542.
- Yang, J. Y., D. X. Wu and X. P. Lin, 2008 : On the dynamics of the South China Sea Warm Current. *J. Geophys. Res.*, 113, C08003, doi:10.1029/2007JC004427.
- Yuan, D. L., W. Q. Han and D. X. Hu, 2006 : Surface Kuroshio path in

the Luzon Strait area derived from satellite remote sensing data.  
*J. Geophys. Res.*, 111, C11007, doi:10.1029/2005JC003412.

Yuan, D.L., W.Q. Han and D. X. Hu, 2007: Anti-cyclonic eddies  
northwest Of Luzon in summer-fall observed by satellite  
altimeters. *Geophys. Res. Lett.*, 34, L13610,  
doi:10.1029/2007GL029401.

NOAA, The Global Drifter Program,  
[http://www.aoml.noaa.gov/phod/dac/gdp\\_drifter.html](http://www.aoml.noaa.gov/phod/dac/gdp_drifter.html).