



國立中山大學 海下科技暨應用海洋物理研究所

碩士論文

利用 ARGO 剖面浮標資料研究台灣周遭海域的流況與水文特性

Flows and hydrographical characteristics surrounding Taiwan from

Argo profiling float data

研究生：張永昇 撰

指導教授：曾若玄 博士

中華民國 九十九年七月

謝 誌

在研究所生涯裡，首先要感謝的是我的指導教授曾若玄老師，老師有耐心和因材施教的一路指導，學業上的諄諄教誨讓我渡過許多的難關和迷茫，老師在海洋學專業的知識讓我在學習中獲益良多。也要感謝師母在生活上的細心照護，總是帶水果到實驗室給我們吃，帶來歡樂和生活方式的改變，獻上我真誠的感謝。

感謝中山大學王玉懷老師、陳冠宇老師和李逸環博士在口試時給予指正和寶貴意見。特別感謝學長張育嘉、沈勇廷和蘇峰鈞在程式和思考方式的幫助和指引。感謝同窗廖允強、梁家睿和邵煥傑，學弟高郁峰、郭文瑜和林展加等，不管是在學業或生活上的協助和陪伴，使我的人生增添不少樂趣。

最後要感謝的是我的家人，親友們，舅舅、表哥、姐夫和表姐等，你們的支持讓我面臨挫折時，能夠克服和走出低潮。謝謝大家…

摘 要

本研究利用 2006-2010 年 Argo 剖面浮標資料，估算表層、深層海流流速以及溫鹽特性變化之時空分佈，並結合實測 Sb-ADCP、IFREMER 風應力旋度、QSCAT 風場和 AVISO 衛星高度計的海面高度異常等資料，探討台灣周遭海域的水文特性和流況，研究區域和海洋現象包含：台灣東北海域冷渦、呂宋海峽的流況特徵以及分別在台灣西南海域、黑潮以東渦旋區所觀察的暖渦特性。

首先探討台灣東北海域的水文特徵，發現冬天時期隨著黑潮北上的 Argo float 最常進入陸棚區域(25°N - 26°N , 122°E - 123°E)，湧升現象在水深 150m 以上非常明顯，在 50m 和 100m 深的溫降分別可達到 5.1°C 和 8°C ，在台灣東北角與黑潮中間則存在著一股向南的深層海流，流速可達 30 cm s^{-1} 。其次在呂宋海峽的表層海流有季節性變化，夏季主要為流出南海，秋季為流入南海，深層海流則無論夏季或秋季均為流入南海居多，最大流速約為 6 cm s^{-1} ，秋季和冬季黑潮水入侵南海的現象比夏季更明顯，春夏兩季北南海的混合層深度大概在 50m 深，冬季呂宋海峽東邊的混合層深度達 110m。

研究結果指出 2009 年時台灣西南海域終年存在一個反氣旋暖渦，其形成可能是和當地海底地形有關，表層流速最大值出現在 5 月初，流速為 104 cm s^{-1} ，此時期的船測 ADCP 資料亦可証實順時針暖渦的存在，風應力旋度在正值或負值時暖渦仍存在，所以風應力旋度只是改變渦旋強度的次要因素，推論造成暖渦的

主要因素為地形效應，渦漩在表層的最大直徑約為 110 km，打轉期間伴隨著 150-210m 深的黑潮混合水，可見暖渦的水文特性和黑潮水侵入有相關。另外對於剖面浮標在台灣黑潮東邊海域觀測到暖渦的存在，發現深層海流比表層海流更具有暖渦特性，溫度結構在水深 200m 以下主要為渦漩主導，在暖渦和冷渦交匯期間，兩者最大溫度差發生在 160m 深度，可相差 4.5°C，本次觀測到的暖渦比起冷渦更容易存在，且也較穩定。

(關鍵字：Argo 剖面浮標、表層海流、深層海流、暖漩、冷渦、黑潮)

Abstract

In the present study we use Argo float data, in-situ shipboard ADCP data, IFREMER wind stress curl data, QuikSCAT wind data and AVISO sea level anomaly data from 2006 to 2010 to investigate hydrographical characteristics and surface and deep currents in the seas surrounding Taiwan. The studied areas consist of the followings: the cyclonic eddy off the northeastern Taiwan coast, flow structure of the Luzon Strait, anticyclonic eddies off the southwestern Taiwan coast and east of Kuroshio.

Our results found that some Argo floats drifting northward with the Kuroshio were occasionally intruded to the continental shelf off the northeastern Taiwan at 25°N - 26°N , 122°E - 123°E . Statistics indicate that this phenomenon occurs most frequently in winter, and float profiling data reveal a marked upwelling above 150m depth. Temperature drops within this area can reach 5.1°C and 8°C , respectively at 50m and 100m depths. A deep southward current with a maximum speed of 30 cm s^{-1} can be found to exist between northeastern Taiwan and Kuroshio. On the other hand, Surface flows have strong seasonal variations in the Luzon strait, i.e., toward the southeastern side of Taiwan in the summer and intrude into the South China Sea (SCS) in the fall and winter. Deep currents in the Luzon Strait, however, flow mostly into the SCS regardless of seasonality. Maximum speed of deep current can reach 6 cm s^{-1} . Mixed-layer depth in the northern SCS is approximately 50m in the spring and summer, and about 110m depth in winter.

The third part of this thesis concerns with the anticyclonic circulation off the southwestern Taiwan coast. Float observations show that this circulation exists almost all year round in 2009. Surface currents have a maximum speed in early May, reaching 104 cm s^{-1} , and the wind stress curl attains a maximum negative value. It is conjectured that this anticyclonic eddy is generated primarily due to the restriction of local coast and topography, and the wind stress curl is the secondary mechanism. Surface current derived from Shipboard ADCP is also consistent with the float results. The diameter of this eddy is about 110 km. T-S characteristics of Kuroshio can be observed at 150–210m depth, indicating a close link between this eddy and the Kuroshio. Finally, anticyclonic warm eddies east of Kuroshio are also investigated from the float data. It is found that the eddy flow structure in this region is more obvious in depths than in surface. Temperature distribution below the depth of 200 m also confirms the warm core structure. At an event during which when one float incidentally travelling through a cold eddy and an adjacent warm eddy, the temperature difference can reach $4.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ at 160m depth. The warm eddies are found to be more stable and more frequently observed than the cold eddies in this region.

(keywords: Argo float, surface current, deep current, anticyclone, cyclone, Kuroshio)

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	IX
一、前言	1
1.1 前人研究	1
1.2 研究區域	6
1.3 研究動機與目的	9
二、資料來源	11
2.1 Argo 剖面浮標	11
2.2 儀器和工作原理	13
2.3 航次資料來源	14
2.4 風應力旋度和風場資料	15
2.5 AVISO 衛星高度計資料	15
三、資料分析方法	21
3.1 表層與深層海流的估算	21
3.2 MLD 的判定與溫鹽剖面分析	24
四、台灣周遭流場與水文特性	26
4.1 台灣東北角外海	26
4.2 呂宋海峽流場	28
4.2.1 漂流軌跡與水文特徵	28
4.2.2 溫鹽剖面與黑潮水之比較	30
4.2.3 混合層厚度(MLD)	32
五、渦漩現象	51
5.1 台灣西南暖渦	51
5.1.1 漂流打轉軌跡	51
5.1.2 溫鹽剖面特性	51
5.1.3 Sb-ADCP 流速與風應力旋度	54
5.2 台灣以東的渦漩區	56
六、結論	79
參考文獻	81
附錄一 本研究所利用 Argo floats 之參數設定和資訊	85
附錄二 本研究之 Argo floats 資料處理時使用的軟體	88

圖目錄

圖 1-1. 台灣周遭海底地形水深圖	8
圖 2-1. Argo float 浮標表面軌跡圖(2006-2010)	17
圖 2-2. 全球 Argo array 的分佈	18
圖 2-3. Argo float 外觀和內部結構示意圖	19
圖 2-4. simple mission operation	20
圖 2-5. park and profile mission operation	20
圖 4-1. 台灣東北海域的 6 顆 Argo floats 漂流路徑	33
圖 4-2. 台灣東北海域的 4 顆 Argo floats 漂流路徑	34
圖 4-3. 台灣東北海域的 6 顆 Argo floats 的表層海流流矢圖	35
圖 4-4. 台灣東北海域的 6 顆 Argo floats 的深層海流流矢圖	35
圖 4-5. 台灣東北海域的 4 顆 Argo floats 的表層海流流矢圖	36
圖 4-6. 台灣東北海域的 4 顆 Argo floats 的深層海流流矢圖	36
圖 4-7. 台灣東北海域 float#2900400 的連續溫度剖面時序圖	37
圖 4-8. 台灣東北海域 float#2900400 的連續鹽度剖面時序圖	37
圖 4-9. 台灣東北海域 float#5901579 的連續溫度剖面時序圖	38
圖 4-10. 台灣東北海域 float#5901579 的連續鹽度剖面時序圖	38
圖 4-11. 台灣東北海域 float#5901579 的 50m、100m 和 200m 深度溫度剖面	39
圖 4-12. 呂宋海峽的 5 顆 Argo floats 漂流路徑	41
圖 4-13. 呂宋海峽的 5 顆 Argo floats 的表層海流流矢圖	42
圖 4-14. 呂宋海峽的 5 顆 Argo floats 的深層海流流矢圖	42
圖 4-15. 呂宋海峽夏季在 120.825°E 測線的表層海流分布	43
圖 4-16. 呂宋海峽秋季在 120.825°E 測線的表層海流分布	43
圖 4-17. 呂宋海峽夏季在 120.825°E 測線的深層海流分布	44
圖 4-18. 呂宋海峽秋季在 120.825°E 測線的深層海流分布	44
圖 4-19. 呂宋海峽 float#2901172 的連續溫度剖面時序圖	45
圖 4-20. 呂宋海峽 float#2901172 的連續鹽度剖面時序圖	45
圖 4-21. 呂宋海峽 Argo float 的春季溫鹽空間分佈圖	46
圖 4-22. 呂宋海峽 Argo float 的夏季溫鹽空間分佈圖	47
圖 4-23. 呂宋海峽 Argo float 的秋季溫鹽空間分佈圖	48
圖 4-24. 呂宋海峽 Argo float 的冬季溫鹽空間分佈圖	49
圖 4-25. 南海和呂宋海峽 Argo float 在四季的 MLD 空間分佈 (0.2°) (a)春(b)夏(c)秋(d)冬	50
圖 4-26. 南海和呂宋海峽 Argo float 在四季的 MLD 空間分佈(0.125 kg m ⁻³) (a)春(b)夏(c)秋(d)冬	50
圖 5-1. 台灣西南海域的 3 顆 Argo floats 漂流路徑(a)float#2901169 軌跡 (1 月到 4 月) (b)float#2901169 軌跡(4 月到 5 月) (c)float#2901169 軌跡(5 月到 7 月) (d)float#2900819、#2901135 和#2901169 漂流軌 跡	60
圖 5-2. 台灣西南海域的 2 顆 Argo floats 的連續溫度剖面時序圖 (a)float#2901169 溫度剖面(1 月到 4 月) (b)float#2901169 溫度剖面 (4 月到 5 月) (c)float#2901169 溫度剖面(5 月到 7 月) (d)float#2901135 溫度剖面(10 月到 11 月)	61
圖 5-3. 台灣西南海域的 2 顆 Argo floats 的連續鹽度剖面時序圖	

	(a)float#2901169 鹽度剖面(1 月到 4 月)	(b)float#2901169 鹽度剖面 (4 月到 5 月)	(c)float#2901169 鹽度剖面(5 月到 7 月)	(d)float#2901135 鹽度剖面(10 月到 11 月).....	62
圖 5-4.	台灣西南海域 float#2901169 暖渦外(2009. 1. 22)和暖渦內(2009. 2. 6) 的溫度垂直變化				63
圖 5-5.	台灣西南海域 float#2901169 暖渦外(2009. 1. 22)和暖渦內(2009. 2. 6) 的鹽度垂直變化				63
圖 5-6.	台灣西南海域 Argo float 的春季溫鹽空間分佈圖				64
圖 5-7.	台灣西南海域 Argo float 的夏季溫鹽空間分佈圖				64
圖 5-8.	台灣西南海域 Argo float 的秋季溫鹽空間分佈圖				65
圖 5-9.	台灣西南海域 Argo float 的冬季溫鹽空間分佈圖.....				65
圖 5-10.	台灣西南海域渦漩 float#2901169 的表層海流				66
圖 5-11.	台灣西南海域渦漩 float#2901169 的深層海流				66
圖 5-12.	1368 航次的 Sb-ADCP 和 CTD 變化(a) Sb-ADCP 流速(b)float#2901169 溫鹽資料和(c)CTD 溫鹽資料.....				67
圖 5-13.	2009 年 3 月 30 日到 4 月 6 日的風應力旋度.....				68
圖 5-14.	2009 年 4 月 27 日到 5 月 4 日的風應力旋度.....				68
圖 5-15.	2009 年 5 月 4 日到 5 月 11 日的風應力旋度.....				69
圖 5-16.	台灣西南海域 float#2901169 表層及深層海流和表面溫鹽(a)U 總流速 (b)u 向量(c)v 向量(d)表面 5m 深度溫度(e)表面 5m 深度鹽度.....				69
圖 5-17.	台灣黑潮以東的 8 顆 Argo floats 漂流路徑.....				70
圖 5-18.	台灣黑潮以東的 8 顆 Argo floats 的表層海流流矢圖.....				71
圖 5-19.	台灣黑潮以東的 8 顆 Argo floats 的深層海流流矢圖.....				71
圖 5-20.	台灣黑潮以東 float#2901168 的連續溫度剖面時序圖				72
圖 5-21.	台灣黑潮以東 float#2901168 的連續鹽度剖面時序圖				72
圖 5-22.	西太平洋由 float 的軌跡(黑色線)與衛星高度計(2006. 1. 25~2006. 3. 1 所對應的渦漩現象.....				73
圖 5-23.	西太平洋由 float 的軌跡(黑色線)與衛星高度計(2006. 3. 8~2006. 4. 12) 所對應的渦漩現象.....				74
圖 5-24.	台灣黑潮以東 float#2900401 暖渦中的表層海流				75
圖 5-25.	台灣黑潮以東 float#2900401 暖渦中的深層海流				75
圖 5-26.	台灣黑潮以東 float#2900401 在暖渦中的溫度剖面 (2006. 1. 18~2006. 4. 28)				76
圖 5-27.	台灣黑潮以東 float#2900401 在暖渦中的鹽度剖面 (2006. 1. 18~2006. 4. 28)				76
圖 5-28.	台灣黑潮以東 float#2900401 暖渦內(2006. 3. 29)和暖渦外(2006. 5. 8) 的溫度垂直變化.....				77
圖 5-29.	台灣黑潮以東 float#2900401 暖渦內(2006. 3. 29)和暖渦外(2006. 5. 8) 的鹽度垂直變化.....				77
圖 5-30.	台灣黑潮以東 float#290040 暖渦內溫鹽(2006. 1. 18~2006. 4. 28) ...				78

表目錄

表 1. Argo floats 進入台灣東北海域冷渦的時空分佈·····	40
---------------------------------------	----

一、前言

1.1 前人研究

台灣周遭環海，處在菲律賓板塊和歐亞大陸板塊相互碰撞處，造成周圍海域的海底地形變化極複雜，東北面有沖繩海槽、東岸則為太平洋海盆、北面為大陸棚、西面有台灣海峽、西南面有海底峽谷，使得附近海域海底地形極其複雜，加上有來自南方高溫高鹽特性的黑潮水和南中國海流，與自北方南下有著低溫低鹽特性的中國沿岸流等兩種以上水文特性截然不同的洋流在此交會影響，形成世界上少有的複雜海洋環境，以下將前人研究分為：

- 台灣東北角外海

Tang et al.(1999)使用 SB-ADCP 在西南季風期間，針對台灣東北海域跟大陸棚邊緣地區作觀測，給予了該冷渦湧升流的位置分佈和不同深度的流場變化，發現黑潮主軸向東流去，而支流入侵東海，並在西側產生反時針的流場，同時解釋在下層的黑潮回流是此反時針環流的一部份。Tseng and Shen(2003)利用表面浮標也發現在 1997 年 11 月到 12 月期間，浮標曾在台灣東北外海逆時針打轉過，最後再被黑潮帶往東北漂流，研究指出是受到當地的冷渦影響所造成。Chang et al.(2009)使用模式結果研究台灣東北方海域的湧升流現象，發現在水深 100m 以上夏季的湧升流現象比冬季明顯，同時在當地也存在一個冷渦現象，而表層至深度 30m 處則受風

應力影響且具季節性趨勢，風應力旋度冬季為正，夏季為負，且在深度達到 100m 主要受黑潮離岸遠近影響，且渦漩現象在夏季比冬季更容易見到。

- 呂宋海峽及台灣西南海域

許多學者對於黑潮水入侵現象做了相當多的研究，有使用模式、海表水色、海表溫度、衛星海面高度計、溫鹽深儀(CTD)和表面浮標(Argos)資料等，來探討呂宋海峽間黑潮水跟南海水之間的關係。Centurioni et al. (2004)的觀測指出黑潮套流發生的季節在冬季，夏季反而很少被觀測到，冬季的表面浮球從太平洋經呂宋海峽進入南海內部，整層的平均流速為 $0.7 \pm 0.4 \text{ m/s}$ 和每日向西平均流速超過 1.65 m/s ，水文資料顯示，黑潮水在春季時也在台灣西南海域出現，結果並指出冬季時黑潮在東北季風的作用下會從呂宋海峽入侵南海，而夏季則是南海海水會流出呂宋海峽。

Jia(2004)通過模式模擬對黑潮水 Eddy Shedding 脫離進行機制性分析，發現 Eddy Shedding 期間從 40 天到 230 天不等，脫離頻率最多的發生期間則有 70 天，80 天和 90 天，渦漩脫落的位置則出現在 $118^\circ\text{E} \sim 120.5^\circ\text{E}$ 之間，在冬季跟夏季季風盛行期間，Eddy Shedding 的位置則較常出現在 $119.5^\circ\text{E} \sim 120^\circ\text{E}$ 間，至於 Eddy Shedding 位置的季節變化還不是很清楚。

Li and Wu(1989)推論出南海有黑潮套流的存在，這現象就相似在墨西哥灣流的套流，也指出了黑潮的分支從呂宋海峽南半部向西流入，同時在呂宋海峽北半邊蜿蜒向東流出南海。Li et al. (1998)利用 1992 年 3 月到

1994 年 9 月的 CTD 資料發現了黑潮向西入侵只能達到 119°E 處。從 Sheremet(2001)的研究工作中也指出黑潮減弱，會增加黑潮的入侵趨勢，Li and Pohlmann(2002)指出了渦漩起源於黑潮，Fang(1998)的水文資料也提供表層菲律賓水季節性地進入南海的直接證據，Yuan et al.(2007)使用衛星高度計資料研究呂宋暖渦現象，指明渦漩夏季時在呂宋西北沿岸形成脫落，較弱的西南風和較低的風旋度也有益於其產生，並在夏末和春初可到達大陸坡一帶。另外 Farris and Wimbush(1996)利用 SST 在秋冬兩季觀測黑潮套流和入侵的發生現象，在十月到二月之間明顯地在北南海表層發現到有菲律賓水的存在，且認為東北季風的風應力大小超過某一數值時，黑潮會在呂宋海峽發展出流套。

Yuan et al.(2006)使用 SST 衛星資料、葉綠素海洋水色和衛星高度計資料研究在南海東北部長期和短期的黑潮路徑變化，指出在呂宋海峽冬季的 SST 影象和長期性海洋水色資料，看出黑潮的主要路徑由呂宋東北直接入侵到臺灣西南，而不是用套流方式，衛星觀測也指出黑潮的順時針渦漩入侵是短暫的現象，在 2002-2005 一些夏季比冬季發生更多的黑潮套流事件。

徐洪周等人(2007)的報告根據 2001 年 3 月 CTD 測站資料、水色衛星 SeaWiFS 資料和美國海洋資料中心(NOAA/NODC) $0.25^{\circ}\times 0.25^{\circ}$ 的 Levitus (1994)多年平均的溫、鹽資料，觀測期間呂宋海峽中部黑潮入侵不超過

120.5°E，表示在臺灣西南面有黑潮水沿陸坡分布，部份黑潮水經過呂宋海峽北部到達台灣的西南邊，也推測出少量到達東沙島附近的黑潮水，呂宋海峽北部基本上是流入南海，南部中層和深層會有少量南海水流出，通過呂宋海峽進入南海北部的淨運輸量為 6.9 Sv。

其實前人對於黑潮是否直接入侵南海仍存在重大的爭議，

Wyrтки(1961)首先指出黑潮冬季在上層有一分支流經呂宋海峽進入南海，黃企洲等人(1983)認為黑潮有支流進入南海後，在廣東外海形成一支偏西向的海流，稱之為南海黑潮分支。Shaw(1991)認為冬天黑潮會從台灣南邊沿南海北部的大陸棚進入南海，而夏季僅蜿蜒。在呂宋海峽，黑潮終年均可能呈套狀入侵南海，稱為黑潮南海流套，劉秦玉等(1996)給出了其可能的動力機制的解釋，其它觀測資料顯示黑潮至始至終穩定流入南海，其中的一部分從海峽北部流出南海再回到黑潮主軸，但是在 200m 層基本上看不到黑潮進入南海，同時多次觀測資料顯示，雖然黑潮有沒有直接分支深入南海不能確定，但肯定的是黑潮水團可以通過台灣南端逸入南海東北部。

Yuan et al.(2008)利用 mooring 資料和模式結果顯示呂宋海峽的海流分布，mooring 資料在 2002 年春季時深度 200m 和 500m 的海流流向以朝西北或北為主，不同於 800m 深度的海流流向是朝東北或朝北。大陸學者 Yang et al.(2008)使用模式結果證實了南海暖流終年沿著大陸坡往東北

流，主要的影響因素為台灣海峽海流，次要因素則是黑潮入侵和風應力。

- 黑潮以東渦漩區

Cushman-Roisin et al.(1990)的研究表示在西太平洋的渦漩是往西傳播的，大部份都會抵達西太平洋大陸坡附近，特別是在台灣的東半邊海域。Zang et al.(2001)研究中發現台灣東邊的黑潮傳輸有 100 天的振盪期。劉秦玉等人(2004)研究中也認為渦漩到達黑潮時，會與黑潮互相交會，進而改變台灣東側的黑潮流量和路徑，所以瞭解台灣東側的環流型態是相當重要的，早期的水文資料和表層浮標都表明，台灣東邊是渦漩十分活躍的地區，不過對於此區仍缺乏深層觀測資料。Johns et al.(2001)在全球海洋環流實驗(WOCE)中置放於台灣黑潮東邊的錨碇測線(PCM-1)也指出黑潮東邊的渦漩影響黑潮通量頗深，且渦漩尺度必須與黑潮相當，才會使黑潮有明顯變化，黑潮通量在季節變化只有 4 Sv 左右，並不明顯。

Roemmich and Gilson(2001)利用衛星測高儀和水文的資料，發現高低壓渦漩出現的機率差不多，在 22°N 最多，渦漩的特徵除了西傾現象與緯度有關，緯度低的西傾最明顯，而緯度低的溫度變異值也使深度加深，溫度垂直結構變異值在水深 160m 處，統計出的渦漩大約在水深 400m 以上，往下則減弱。Lee(2003)研究中指出，在混合層以下渦漩的速度場運動結構主導性比季節性變化的影響更重要。

1.2 研究區域

台灣附近海域海底地形複雜，且水文特性隨季節有所變化，東邊的台灣海峽主要為大陸棚，其平均海底深度不到 50m，水域內地形差異大有淺灘、溝谷或島嶼礁石，南部在兩岸間斷續分佈的砂質淺灘最淺，不足 30m，最深處在東南部的大陸坡，可超過 1000m，而海峽內的海流隨季節也有所變化，夏季被由南向北的暖流和黑潮支流為主，冬季則是北向南沿岸流所支配，其中澎湖水道是台灣海峽最湍急的地方，一半的流量集中在寬約 30km 的澎湖水道內，加上有潮流影響，海流特別強勁，而受到黑潮支流潮北流的影響，海峽靠近台灣邊的海流則以經年朝北流為主。

台灣東北外海位於東海陸棚邊緣，東邊臨接太平洋，春夏兩季時，黑潮先經過北棉花峽谷入侵到東海，並同時在台灣東北海域陸棚區邊緣形成一個反時針的流場，並造成長期的湧昇流區，形成漁場，冬季時，黑潮先經過基隆、棉花峽谷入侵到東北陸棚，並在台灣北端形成一個強鋒面，入侵的黑潮水迫使台灣海峽外流水只能流向東海。

台灣南面的呂宋海峽(Luzon Strait)是南海與外部海水交換的最主要通道，可以影響到南海以及整個南海的環流結構，圖 1-1 是呂宋海峽及周遭海底地形水深圖，呂宋海峽寬度達到 250km，海峽中間最大水深可達到 2000m，位置處於南海水與外海水交匯的區域，影響著南海北部的環流構造，黑潮的入侵則是其中一個影響因素，呂宋海峽的北端連接臺灣，而海

峽南端則連接呂宋島，往西連接為南海，往東連接東太平洋。呂宋海峽區域介於 $119^{\circ}\text{E}\sim 122^{\circ}\text{E}$ 及 $18.5^{\circ}\text{N}\sim 21.5^{\circ}\text{N}$ 之間，重要性除了具有戰略和貿易價值外，同時也是亞洲至美洲電纜密集之處，我國在呂宋海峽區域的海測資料相對較少，再加上呂宋海峽區域內的海況不甚很好，所以使得 Argo floats 的資料更顯得珍貴。

台灣西南海域是弧陸碰撞後入侵被動式大陸邊緣的地區，聚合帶的摺皺和層構造以及被動方式的大陸邊緣獨有地壘、地塹構造明顯地從變形前緣而分開，幾個重要的海底峽谷由東北到西南的走向橫切過高屏陸棚，由東到西分別是枋寮峽谷、高屏峽谷、高雄峽谷以及澎湖峽谷，地形複雜，水深最深可達到 2000m 不等，此區域常受到黑潮入侵或套流流經，並與南海水有著密切的交互作用。

台灣東側緊臨西太平洋，西太平洋水深平均約 5000m 深，也因為斜壓不穩定，副熱帶逆流區會產生大量的渦漩，渦漩會向西傳遞，大部份到達西太平洋大陸坡附近，特別在台灣東部海域，並會和黑潮交匯，進而改變台灣東側的黑潮流量和流徑。南海位置在台灣西南方，南臨赤道，北接台灣海峽，是世界上第三大的邊緣海，其海底地形相當複雜，南海四周最淺，中央較深，最深水深能達到 5000 公尺，南海的地形易於跟周遭海域的水團互相作用。南海的環流類似在印度洋北部區域的季風環流型態，而南海則是太平洋裡季風環流型態最發達的海域，夏季西南季風開始盛行，

南起南海南部及爪哇海，並通過越南外海，北邊到達台灣南邊海域都是東北向的漂流。此時在越南沿岸有著流速能超過 0.5m/s 的強流區域。在南海東部的呂宋島西海岸，存在來自蘇祿海的北上流。而南海的北部，廣東附近的沿岸水，在西南季風增強後，開始向東北方流。在南海中、南部的海流，除了東北向的漂流以外，也有著區域性的環流存在。在南海北部，還有一支南海暖流，經年由西南流向東北。就算在冬季的東北季風盛行時，表面以下的東北海流也是很強，流速最高可達 1m/s。(參考自馮士筭、李鳳岐、李少菁所編著的海洋科學導論)

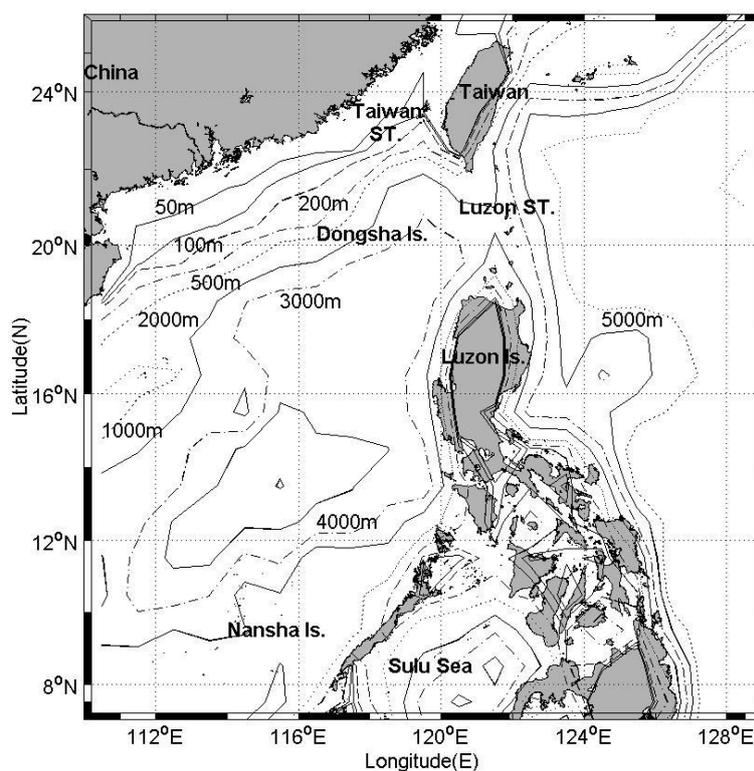


圖 1-1. 台灣周遭海底地形水深圖

1.3 研究動機與目的

全球 Argo(Array for Real-time Geostrophic Oceanography)計畫在 2000 年開始時，在全世界各大海洋所涵蓋的剖面浮標數量算是稀少，不過後來隨 Argo 計畫的擴大以及許多國家的投入，包括了 25 個國家自 2000 年共同建立的大型海洋觀測系統，將在全球大洋上每隔 300km 施放具有衛星追縱的剖面浮標，即 Argo 浮標，總計有 3255 多顆，能更迅速、精準和大範圍地收集全球海洋 0-2000m 上層的海水溫度、鹽度和漂流資料，而過去在呂宋海峽關於海流的研究大都只侷限在表層海流的探討，而 Argo 剖面浮標則提供了另一個工具來瞭解表層海流和深層海流的概況，由於早期在南海及呂宋海峽的 Argo 剖面浮標並不是很多，直至 2008 年以後南海和呂宋海峽的 Argo 剖面浮標的投放量逐漸提高，可望在將來能達到一定的數量，將是海洋研究的一項利多。Argo 剖面浮標在各大洋的溫鹽剖面資料也被應用在各項海洋研究上，所得到的結果也幫助於瞭解中上層海洋垂直剖面結構，前人應用 Argo 剖面浮標來研究的海洋現象方面不外乎，混合層厚度(MLD)、海洋的熱含量、Rossby 波、渦旋、海氣交換、颱風通過造成的溫度變化和表層深層海流之研究等，其中有的是以 Argo 剖面浮標為主要的分析工具，譬如 Ohno(2009)利用 Argo 的溫鹽資料來觀測北太平洋的長期混合層深度變化，但也有不少的研究是以其它如衛星高度計資料、歷史水文資料、SVP 浮標數據和海洋預測模式等方式，再加上 Argo 剖面浮

標的資料為補充的工具，譬如 Sun(2009)利用了 QuikSCAT 風場、AVISO 海洋衛星資料和 Argo 資料來探討颱風對黑潮區域的作用，由於 Argo 剖面浮標具有隨海流漂移、連續地每個 Cycle 收集溫鹽資料、還有能在惡劣天氣或船隻無法到達區域取得海洋資料，而本研究分別對於在台灣周遭的海洋現象及呂宋海峽的黑潮入侵現象，利用了歷史的 Argo 剖面浮標資料，站在剖面浮標的觀點上，除了來觀測菲律賓水流進或流出南海的季節性變化、台灣附近渦漩和海流變化以及對在臺灣西南邊出現的順時針渦漩之討論，則也利用了船測 ADCP 資料和 QuikSCAT 風的資料來針對渦漩的垂直剖面和深層海流的變化來探討，並找出其生成機制和成因之間的相關性。

二、資料來源

2.1 Argo 剖面浮標

使用的 Argo 剖面浮標軌跡和剖面溫鹽水文歷史資料，分別從九個不同國家/區域的 Data Assembly Centers(DAC' s)取得，本研究選擇下載的網站分別為美國網站 USGODAE(<http://www.usgodae.org/>)和法國網站 IFREMER(<http://www.coriolis.eu.org/>)，其中表面軌跡資料時間從 2006 年 1 月到 2010 年 2 月，範圍從經度 110°E 到 129°E，緯度 10°N 到 27°N，圖 2-1 是 2006-2010 年間所有 Argo float 在此區域的表面軌跡，而剖面溫鹽資料選取的時間由 2000 年 1 月到 2010 年 2 月，總共有 1897 個 Argo 溫鹽剖面，並選擇了 flag 為 1 品質為最佳的溫鹽資料，同時作處理時剔除不合理的資料點，資料點的分佈以黑潮區域最多，北南海次之，由於剖面浮標直接從呂宋海峽通過的並不多，大約不到十顆，有的從呂宋海峽流進南海，有的則是從呂宋海峽流出南海，其餘的剖面浮標則分佈在南海跟黑潮區域。

Argo float 主要的三個型式為 APEX(Autonomous Profiling Exporer)、SOLO(Sounding Oceanographic Lagrangian Observer)和 PROVOR(A free-drifting hydrographic profiler base on MARVOR technology)，另外的型式有 R1、MARTEC、PALACE、NINJA、NEMO、ALACE 和 METOCEAN 等，本文所用剖面浮標資料格式為 NetCDF(簡稱 NC)格式，儲

存在每一顆 Argo float 的資料分別有 meta、profile、trajectory 和 technical 四個部分，meta 部分包含了 float cycle 的前置程序資訊，漂移深度、浮標到達的最大深度等控制信息，這些信息均是在投放浮標之前，根據投放海域的水深及觀測目的而設定，profile 部份則含有每個 cycle 的 CTD 剖面資料，其性質類似於一般的船載 CTD，其每年所測量的剖面遠大於船載 CTD 資料，且測量不同深度的海水溫度和鹽度，profile 的資料需要 Argo 程式來輸出，包含浮標在上升過程中所觀測的自漂移深度及溫度、鹽度和壓力資料，technical 部份記錄了浮標在其觀測循環中的各個技術參數值，不同類型的浮標其技術參數的個數和類型也不同，trajectory 部份包含在表面漂浮經緯度和 parking 深度的資訊，典型的 parking 期間為 10 天，而 parking 深度一般設定為水深 1000m，1500m 或 2000m 等，在本研究中所使用的 float parking 期間分別有 3 天、4 天、5 天和 10 天不等，而深層 parking 深度皆為水深 1000m。為了確保能成功的接收到表面漂流點資料，則讓 Argo float 漂流在海洋表面 12 小時到 24 小時不等。

全球 Argo 計畫 2000 年投放至今已經有 3000 多顆 float 在各大洋，圖 2-2 是全球 Argo array 的分佈，美國投放在 Argo float 的數量即佔了 50%，而在 DACs 資料中，主要的國家的簡稱分別有，AOML(USA)、CORIOLIS(France)、JMA(Japan)、BODC(UK)、MEDS(Canada)、

INCOIS(India) 、KMA(Korea) 、CSIRO(Australia)和 CSIO(China)等。

2.2 儀器和工作原理

圖 2-3 是 Argo float 外型和內部結構示意，外觀上長約 110cm，重 25kg，可到達最深深度 2600m，主要構造分為三個部份，底部有一個外囊利用浮力原理來抽水或排水以改變浮力，因而進行上下運動，即 surface 和 dive 的動作，float 大部分的時間皆在作深層 parking 的運動，其中只有在上升到表面的過程中才會進行 CTD 剖面的量測，而 float 中間則有一個微處理器，用來處理內部功能和 float 預定計畫，float 的上部則有一個發射天線，用來傳送資料和訊息給 ARGOS 衛星接收，而 ARGOS 衛星再將資料傳送到地面接收站，地面接收站經過處理後則上傳至 Argo 資料中心提供免費下載。

Argo float 的運動形式可以分成 simple mission(圖 2-4)和 park and profile mission(圖 2-5)共兩種類型，simple mission 在 parking 後，即上升並作 CTD 的量測，而 park and profile mission 則先下降至指定深度後，才開始再上升作 CTD 的量測，在 2006 年開始，有 46%的 Argo 剖面量測深度在 2000m，66%的 Argo 剖面超過 1500m。

典型的 Argo float 是從第一個下沉開始到下一個下沉開始定義為一個 cycle，Argo 剖面浮標的單一 cycle 運動可分成四個階段：下沉期間(開始下沉至 parking 的經過時間)，深層漂流期間(在特定深度隨深層流漂的

經過時間)，上升期間(parking 結束而上升至表面的經過時間)和表面漂浮期間(在海表面隨海流漂流的經過時間)，其中深層漂流期間和表面漂浮期間為一個固定值，而四個階段加起來的總時間則為一個 cycle，Argo 剖面浮標以固定連續的 cycle 時間，持續作下一個 cycle 並量測溫鹽剖面的運動，一顆 Argo 剖面浮標通常可以存活幾個月至幾年不等。一個 cycle 依設定分別有 1 天到 10 天不等的期間，上升或下降時間依不同深度大概 6 小時到 13 小時，深層漂流期間則有 1 天至 10 幾天不等，也由於 Argo 剖面浮標有著連續性和漂流的特性，所以除了可以獲得溫鹽剖面外，最大的特點則是在海上進行長時間和循環的觀測，另外也可以利用其漂浮優點來作海流計算。

2.3 航次資料來源

本研究利用船載式杜卜勒剖流儀(ship board-Acoustic Doppler Current Profiler，簡稱 Sb-ADCP)的測量資料，海研三號的船載式杜卜勒剖流儀系統是美國 RD Instruments(RDI)公司所製造，可測得的最大水深 BB mode 大概在 220m 到 270m，NB mode 大概在 380m 到 425m，資料中包含了時間、經緯度、水深、溫度、heading 以及絕對流速的 u 向量和 v 向量。

研究中用到的是 2009 年 5 月 1368 航次的 Sb-ADCP 和 CTD 資料，並配合了 Argo float ID:2901169 的資料，來研究西南海域所觀測到的暖渦現

象，並分析了暖渦的垂直結構和變化。

2.4 風應力旋度和風場資料

風應力旋度資料來自法國海洋研究機構 IFREMER(Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer)以及 QSCAT 風場，包含了衛星風場和其它風參數資料，風應力旋度資料的資料解析度為 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ ，時間間隔為每周平均，而 QSCAT 風場資料解析度為 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ ，時間間隔為每天兩筆，分別是白天跟晚上。

網站分別為

<http://www.ifremer.fr/cersat/en/data/download/gridded/mwf.htm>。

http://www.ssmi.com/qscat/qscat_description.html#rain_info

2.5 AVISO 衛星高度計資料

從法國 Archiving, Validation and Interpretation of Satellite Oceanographic data (AVISO) 所提供，下載網站 <http://www.aviso.oceanobs.com/en/data/products/sea-surface-height-products/global/msla/index.html>，時間從 1992 年 10 月 14 日到 2009 年 7 月 22 日，資料時間間隔為每七天一筆，有 876 次的海面高度變異值，資料的解析度是 $1/3^{\circ} \times 1/3^{\circ}$ ，精確度達到 2 公分。

衛星高度計資料包括結合 TOPEX/POSEIDON、ERS-1/2 三種衛星測高的

資料，TOPEX/POSEIDON人造衛星由美國太空總署（National Aeronautics and Space Administration, NASA）和法國太空總署（Center National d'Etudes Spatiales, CNES）共同的合作。海面高度異常（SLA, Sea Level Anomaly）是絕對動力高度與1993年1月至1999年12月間的平均相減，除了陸棚區，將海表大氣壓力和潮汐作校正，測量海面水位方式是用衛星上的測高儀發射脈衝到海面，再利用往返的時間推算出來，網格化產品的優點是結合了上行和下行軌道和相連軌道的訊息。考慮軌道間的梯度，就算在交叉點，資料的精確性也比較好。缺點是網格化資料所繪出的圖，有著不同向的誤差，便是經度方向的誤差會比較小，但是緯度方向的誤差會較大。

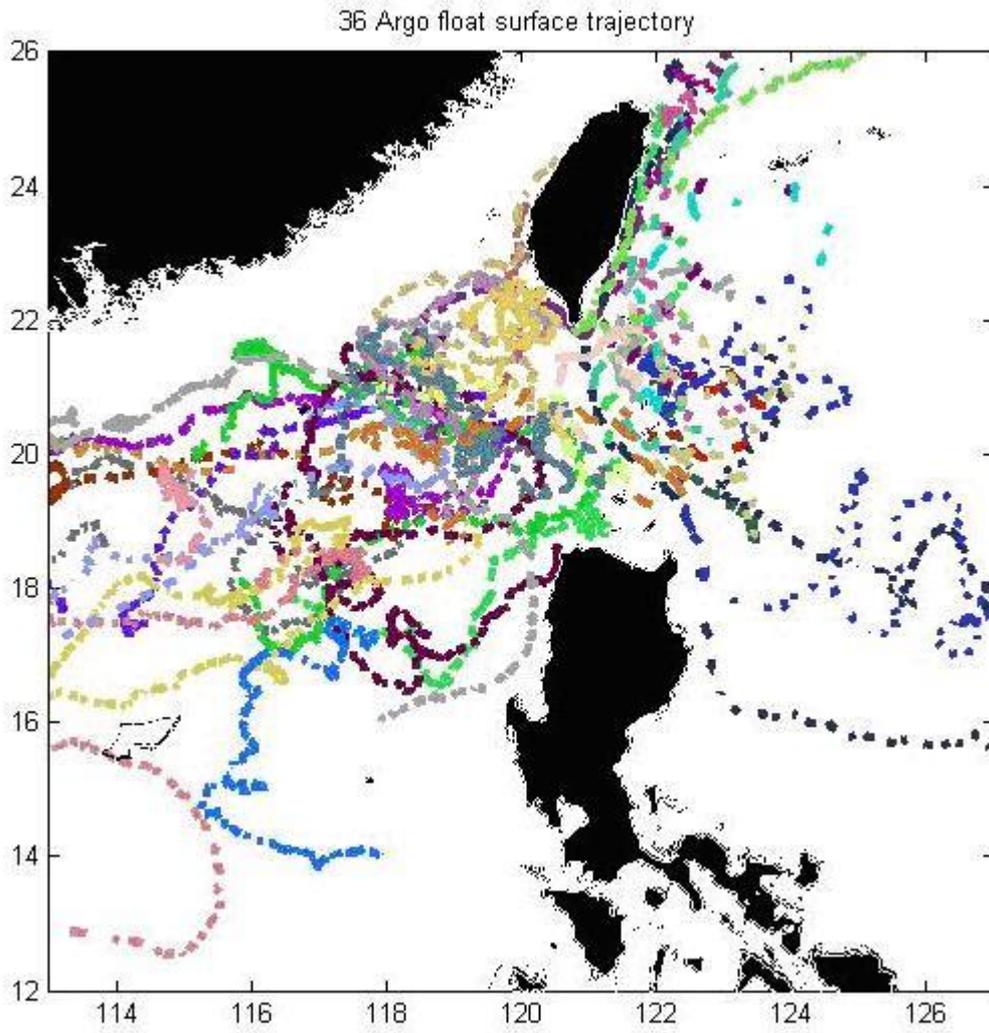


圖 2-1. Argo float 浮標表面軌跡圖(2006-2010)。

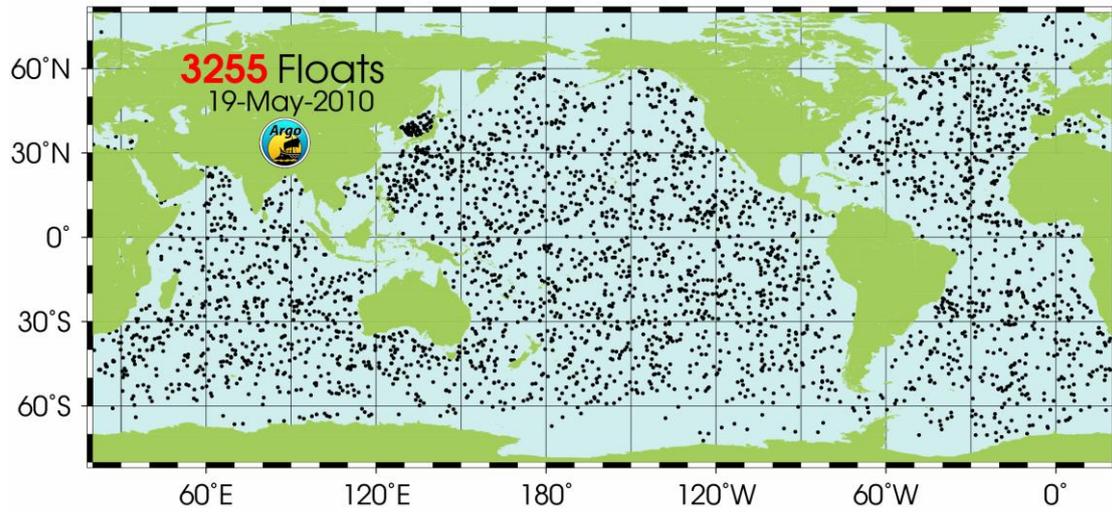


圖 2-2. 全球 Argo array 的分佈

(<http://www.argo.ucsd.edu/index.html>)

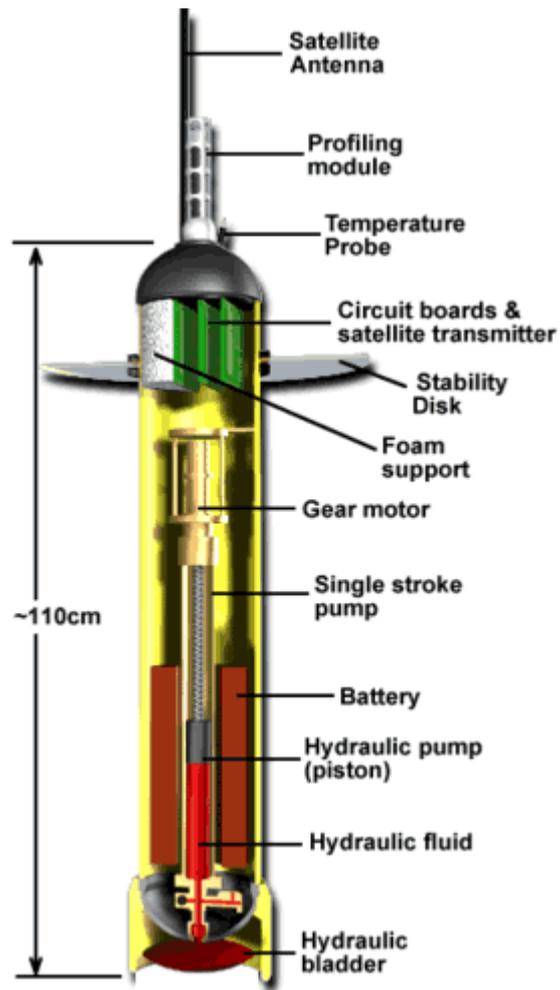


圖 2-3. Argo float 外觀和內部結構示意圖

(<http://www.argo.ucsd.edu/index.html>)

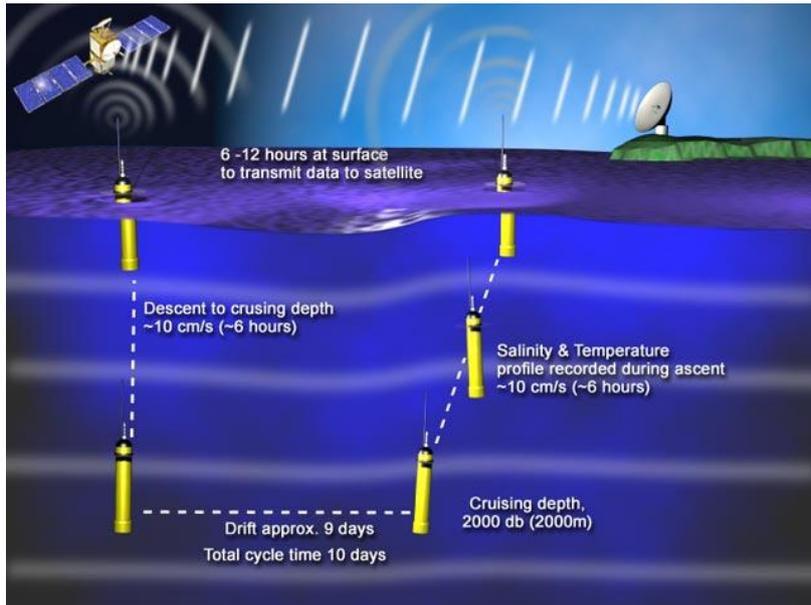


圖 2-4. simple mission operation

(<http://www.argo.ucsd.edu/index.html>)

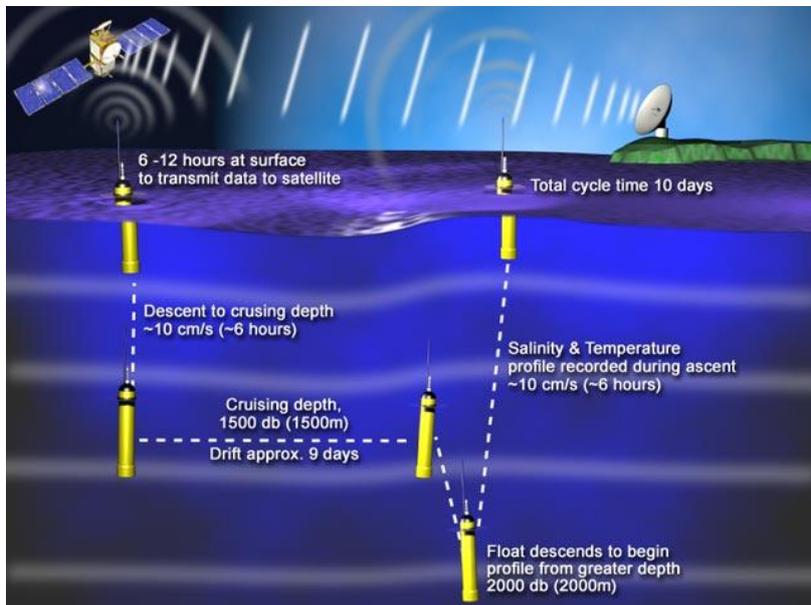


圖 2-5. park and profile mission operation

(<http://www.argo.ucsd.edu/index.html>)

三、資料分析方法

3.1 表層與深層海流的估算

本研究利用許多顆 Argo float 的表面軌跡資料，float 使用的是 ARGOS 衛星資料傳輸系統(CLS/Argos, 1996)，當 Argo float 在表層漂流時，ARGOS 衛星即能接收 Argo float 觀測資料和 float 狀態資訊，並將資料傳送到地面接收站。

衛星並不是總能接收到所有資料，所以 Argo float 的表面軌跡資料中第一個位置點並非為真正的浮上水面(surface)位置，同樣地，最後的位置點並非為真正的開始下沉(dive)位置，也由於衛星所接收到的位置點之間的時間間隔，可以從幾分鐘到一個小時多不等，所以在表層海流計算上採用了線性回歸最小平方法，這同時也是 Lebedev(2007)在 Argo 技術報告書中所採用的方法，並將資料中品質較不佳的點剔除掉，其計算原理簡述如下：

(1) 表層流流速(surface current)：使用了線性回歸最小平方法。

V_{surf} 為線性最小化距離的理想流速[Weistein, 1999]

$$V_{surf} = a = \frac{\sum yt - N\bar{y}\bar{t}}{\sum t^2 - N\bar{t}^2}$$

t 是表面軌跡點時間，y 是表面軌跡點坐標位置，N 表示資料個數

對應 y-t 值， \bar{t} 和 \bar{y} 分別代表 t 和 y 的平均值。

$$V_{surf} \text{ 的標準誤差為 } \varepsilon_{V_{surf}} = \sqrt{\frac{SS_{yy} - a \cdot SS_{ty}}{N-2}} \sqrt{\frac{1}{SS_{tt}}}$$

$$SS_{tt} = \sum t^2 - N\bar{t}^2, \quad SS_{yy} = \sum y^2 - N\bar{y}^2, \quad SS_{ty} = \sum ty - N\bar{t}\bar{y}$$

- (2) 深層流流速(deep current)：先使用 float 在每個 cycle 的海面位置座標來估算深層海流 (U_{deep}^n, V_{deep}^n) 在 dive 和下一個 cycle 再次重新到達表面的海流分量。

$$(U_{deep}^n, V_{deep}^n) = ([X, Y]_{first}^n - [X, Y]_{last}^{n-1}) / (T_{first}^n - T_{last}^{n-1})$$

$[X, Y]_{first}^n$ 是第 n 個 cycle 的第一個座標， $[X, Y]_{last}^{n-1}$ 是第 n-1 個 cycle 最後的座標， T_{first}^n 是第 n 個 cycle 的第一個時間， T_{last}^{n-1} 是第 n-1 個 cycle 最後的時間。

因為沒有包含真實隨深度變化的流速，所以簡化地估算水平流的

vertical shear 的誤差可以從以下假設獲得：

1. 在每個 cycle 所給予的垂直水平流的 vertical shear 是常數。
2. Float 的上升和下降的 V_0 速率在每個 cycle 的相位是一致的，

並且都近似於 10cm/s。

3. 同一個 cycle 最後位置的座標和真正 dive 的時間差，以及第一個位置的座標和真正 surface 的時間差被忽略。

所以真實的深海海流分量 (u_{deep}^n, v_{deep}^n) 可由以下公式導出

$$\begin{aligned} (U_{deep}^n, V_{deep}^n) - (u_{deep}^n, v_{deep}^n) &= ((U_{surf}^n, V_{surf}^n) - (u_{deep}^n, v_{deep}^n)) / (T_{first}^n - T_{last}^{n-1}) \cdot Z_{park} / V_0 = \\ &= ((U_{surf}^n, V_{surf}^n) - (U_{deep}^n, V_{deep}^n)) \cdot \alpha / (1 - \alpha), \end{aligned}$$

(U_{surf}^n, V_{surf}^n) 是海表面流速， Z_{park} 是 park 深度， V_0 是上升和下降速率

， $\alpha = Z_{park} / V_0 / (T_{first}^n - T_{last}^{n-1})$ 是上升或下降對 float 在水面下的總時間比值。

在深層海流的誤差定義為：

$$(\varepsilon_{U_{deep}}^n - \varepsilon_{V_{deep}}^n)_p = \left| (U_{deep}^n, V_{deep}^n)_p - (u_{deep}^n, v_{deep}^n)_p \right|$$

深層海流誤差中有部分的比例是來自 float 在 velocity shear 期間的垂直偏移，其中並沒有去利用公式校正深層海流的誤差，那是因為假設模式比較簡化，也因為除了不但真正的海洋的斜壓結構，同時也沒辦法分辨出 Ekman current、慣性振盪和地轉流，此外某些 floats 在開始上升前會先下降到比 parking 層更深的深度，這影響到深層海流誤差的估算，所以水平流速垂直 shear 的影響大於上層海流偏移量。

3.2 MLD(Mixed Layer Depth)的判定和溫鹽剖面分析

(1) MLD 的標準判定:

MLD 的判定標準分別使用溫度差 0.2°C 以及密度差 0.125 kg m^{-3} 兩種方式來做探討，並以 0~10m 深的溫度平均值視為判別 MLD 的參考溫度，各層溫度與 MLD 的參考溫度的差值取絕對值，小於上述兩種標準差值內視為混合層內(De Boyer et al., 2004)。

(2) 客觀分析(Optimal Analysis)網格化後的 MLD:

在研究中 MLD(Mixed Layer Depth)網格化的計算方式使用在 Emery and Thomson (2004)的客觀分析方程式：

$$X_{grid} = X_m + \sum_i (X_i - X_m) \cdot \left(\frac{w_i(D_i)}{c} \right)$$
$$c = \sum_i w_i(D_i)$$

不連續的資料值使用了距離權重來計算一些規格化的距離函數 $w(D)$ ， D 是網格化點和觀測點間的距離，由於權重是被標準化，以致於權重的總合具有一致性。

在公式中 X_i 是觀測值， X_m 則是首先想要推測的域場， X_{grid} 是內插後的值， X_m 能從輸入的資料點平均來得到。

(3) 溫鹽剖面(temperature-salinity profiles)

Argo float 被投擲到海中後，會隨著海流漂移，也代表了 float 不容易被回收回來。因此不能針對 float 上的感應器進行實驗室檢測，然而

float 上的 CTD 感應器，尤其導電度感應器最容易受到海洋生物污染等因素影響，造成感應器產生偏差，將使得觀測資料產生誤差。目前對於 Argo 觀測資料在長期在海中所產生的偏移鹽度誤差，最主要還是採用觀測海域的歷史水文資料來作校正，而在一些歷史資料較少區域，譬如南大洋海域，或者歷史資料品質較差區域，則使用船載 CTD 或佈放新的浮標來校正舊浮標所觀測到的資料。

四、台灣周遭流場與水文特性

4.1 台灣東北角外海

圖 4-1 包含以下漂流路徑 Argo float#2900400、#2900511、#2900512、#2900797、#2900817 和 #2901167，分別被投放在 123.3°E 、 121.3°E 、 122.4°E 、 123.6°E 、 116.6°E 和 122.8°E ，而緯度約在 20.7°N 、 21.6°N 、 22°N 、 21.5°N 、 17.9°N 和 20.2°N ，#2900400 的 cycle 間隔為 5 天，#2900511 的 cycle 間隔為 4 天不等，#2900512 的 cycle 間隔為 4 天，#2900797 的間隔為 4 天，#2900817 的間隔為 4 天，#2901167 的間隔為 10 天，圖 4-2 包含以下漂流路徑 Argo float#2900383、#2901154、#5900056 和 #5901579，分別被投放在 125.6°E 、 122.4°E 、 125.8°E 和 130.1°E ，而緯度約在 23.1°N 、 21.4°N 、 21.8°N 和 17°N ，#2900383 的 cycle 的間隔為 4 天，#2901154 的 cycle 的間隔為 10 天，#5900056 的間隔為 4 天，#5901579 的間隔為 1 天，以上除了 #5901579 parking 深度為 500m，其餘 parking 深度皆為 1000m，其垂直取樣間隔為：從表層至 400m 深為 5m~25m 不等，400m 至 1000m 深為 50m~100m 不等，1000m 至 2000m 深為 100m~200m 不等。

圖 4-3 到 4-6 分別為台灣東北角 6 顆 Argo floats 的表層海流流矢圖、深層海流流矢圖、台灣東北角 4 顆 Argo floats 的表層海流流矢圖、深層海流流矢圖，其中表層流速和深層流速受到黑潮影響在主軸西側有著入侵或反時針流場的趨勢，而在進入陸棚後表層海流也可達到 1.2m/s 以上，

深層流速在反時針區域大致上在 10 cm/s 以下，只有幾筆反流達到 20cm/s，應該是此區域地形變淺至水深 200m 時所量測到的海流值，反流現象與 Tang et al.(1999)所提到屬於反時針環流的一部份有關，圖 4-7 到 4-8 分別為#2900400 連續溫度剖面時序圖、連續鹽度剖面時序圖，時間為 2006.1.17~2006.4.27，#2900400 軌跡是從西太平洋先往西漂流進入黑潮，再順著黑潮漂到台灣東北角外海，可以看出表面溫度最高值發生在 2006 年的 3 月 23 日可到達 26.8°C 以上，表層最低溫發生在 2006 年的 4 月 22 日降到 23.9°C 左右，也就是已經受到台灣東北冷渦的影響，表層鹽度 0-100m 深度範圍在夏季在 34.4-34.6 之間，鹽度最大值出現在黑潮主軸 200-300m 深度範圍內達到 34.8，同樣在 650-750m 深度範圍內的鹽度出現低峰值 34.2，此顆 float 在春季經蘭嶼島流進黑潮，也看出 floats 在台灣東邊先被黑潮所引導，接著通過台灣東北海域再受到當地冷渦影響，不過總體而言最後仍然被帶進黑潮繼續向東北漂流。

圖 4-9 到 4-11 分別為 floats#5901579 的連續溫度剖面時序圖、連續鹽度剖面時序圖和 50m、100m 和 200m 深度在溫度剖面變化圖，時間 2008.12.24~2009.2.13，冬季時溫度剖面的湧升現象在水深 150m 以上是非常明顯，且上下層的溫度結構也呈現一個斜狀構造，上層為上凸型，下層往兩側延伸，鹽度剖面則因為湧升關係將下層低鹽水帶至表面，所以出現了極小值大約 34.2，可見湧升現象不只夏季可見到，在冬季也觀測得到冷渦現象，

在發生冷渦時的表層海流介於 51.4cm/s~120.1cm/s 之間，深層海流介於 3.6cm/s~10.8cm/s 之間，與 Chang et al. (2009)使用模式結果提到表層至深度 30m 處則受風應力影響且具季節性趨勢類似，可見冷渦現象為終年存在，在剖面浮標進入湧升區和脫離後的 50m 深度溫度相差大約 5.1°C。由前人研究可以得到台灣東北冷渦的位置可以定義在經度 122°E-122.8°E 和緯度 25°N-25.8°N 區域以內的區域，而表 1. 是 Argo 剖面浮標在台灣有受到冷渦牽引的剖面浮標季節上的分佈，雖然缺乏夏秋兩季的資料，但仍然可以得到剖面浮標在春季和冬季進到冷渦所在區域，表示冬季黑潮離台灣沿岸較近時，也是觀測得到湧升現象，剖面浮標的軌跡可以看到，不受冷渦影響的剖面浮標順著黑潮往北流去，其餘的有往台灣沿岸靠近或是入侵的現象，此時因為黑潮主軸向東流去，而支流入侵東海，並在西側產生反時針的流場，加上當地海底地形變化關係，在 122.2°E 及 25.7°N 附近的表層和深層海流顯示出黑潮向西入侵到台灣北部海域。。

4.2 呂宋海峽流場

4.2.1 浮標軌跡與水文特徵

圖 4-12 包含以下漂流路徑 Argo float#2900817、#2901170、#2901172、#2901180 和 #2901183，分別被投放在 116.6°E、121.2°E、122.5°E、121°E 和 120.8°E，而緯度約在 17.9°N、19.8°N、19.7°N、20.2°N 和 19.9°N，

#2900817 間隔為 4 天， #2901170 的 cycle 間隔為 3 天， #2901172 的 cycle 間隔為 10 天， #2901180 的 cycle 間隔為 10 天， #2901183 的 cycle 間隔為 10 天， parking 深度皆為 1000m。

圖 4-13 到 4-14 分別為呂宋海峽 Argo floats 的表層海流流矢圖、深層海流流矢圖，表層海流可以看出在台灣南端有一個黑潮套流存在，呂宋海峽內部海流則以秋季入侵居多，而計算出來的表層海流顯示流向也是朝東北或西北，深層 1000m 的海流流向則是朝西南、東北和西北都有出現，與 Yuan et al. (2008) 利用模式的結果相仿。剖面浮標在進入北南海後的海流值較紊亂，可能是受到南海內部海流及黑潮套流相互影響所致，而在呂宋海峽南部，夏季的表層海流主要是流出南海，深層海流則是以相反方向進入北南海，表示呂宋島北端可能有一支深層反流存在，平均流速約 5cm/s。圖 4-15 到 4-18 分別為夏季表層海流 120.825° 測線、秋季表層海流 120.825° 測線、夏季深層海流 120.825° 測線和秋季深層海流 120.825° 測線示意圖，將呂宋海峽的表層海流和深層海流選擇 120.825° 測線為中心來看海流分佈，取測線經向間隔東西 0.175° 的海流視為同一條線的資料來劃分，因春季和冬季資料太少，所以只取夏秋兩季，以 6 到 8 月為夏季，9 到 11 月為秋季，圖中顯示夏季時表層海流 120.825° 測線的海流有少部分進入南海，大部份離開南海；秋季時的海流有大多進入南海，一些離開南海；而夏季時深層海流 120.825° 測線的海流有大部分進入南海，少部分

離開南海；秋季時的海流有大部分進入南海，少部分離開南海。也就是說表層海流夏季時大部份的海流是離開南海，剛好與秋季時相反，深層海流夏秋兩季時以進入南海居多，這樣可以看出表層的黑潮入侵多是以秋冬為主，表層海流的觀測頗符合 Centurioni et al. (2004) 所利用的表面浮球觀測結果，本研究主要証實深層海流在夏秋兩季以入侵南海為居多，也就是說深層海流在呂宋海峽是終年入侵南海的，圖 4-19 到 4-20 是 float#2901172 的連續溫度剖面時序圖、連續鹽度剖面時序圖，時間為 2008.10.19~2009.12.3，剖面浮標軌跡是從呂宋海峽東部進入北南海，可以看出表面溫度最高值時同樣分別發生在 2008 年的 10 月到 11 月和 2009 年 6 月到 9 月都可到達 28°C 以上，表層最低溫發生在冬季則降到 24°C 左右，表層鹽度 0-100m 深度範圍大致上都在 34-34.5 之間，鹽度最大值發生在秋季 100-250m 深度範圍內達到 34.8，表示剖面浮標一開始在 10 月時呂宋海峽東側時先量測到高溫高鹽的黑潮水，接著在 3 月時也觀察到 100-200m 深度的鹽度剖面有個 34.7 的峰值，溫度大概為 16-20°C，也就是黑潮混合水進入北南海的證據。

4.2.2 溫鹽剖面與黑潮水之比較

研究中利用了 2000 年 1 月到 2009 年 11 月間在呂宋海峽 119°E~122.5°E 及 18.5°N~21.5°N 之間區域的 Argo float 溫鹽剖面，全部共有 538 個

溫鹽剖面點，季節的劃分為春季 3 月、4 月和 5 月，夏季 6 月、7 月和 8 月，秋季 9 月、10 月和 11 月，冬季 12 月、1 月和 2 月，顯示呂宋海峽海域 Argo float 溫鹽剖面的四季分佈情形，圖 4-21 到圖 4-24 分別是春、夏、秋、冬 Argo float 溫鹽剖面的水團分佈，綠色點代表南海水，藍色點代表黑潮水(參考自 Chen and Huang, 1996)，夏季的資料點最少，秋季的資料點最多也分佈最均勻。呂宋海峽春季的資料空間分佈上缺少較多的資料，不過仍可看出在呂宋海峽西北邊 $119^{\circ}\text{E}\sim 120^{\circ}\text{E}$ 及 $21^{\circ}\text{N}\sim 21.5^{\circ}\text{N}$ 之間區域有黑潮水的存在，西南邊 120.5°E 以西和 21°N 以南的海域則以南海水為主，而東半邊 121.5°E 以東的海域則以黑潮水為主。夏季黑潮水往西大致上不超過 120.5°E ， 120.5°E 以西部份皆為南海水，緯度上則在 $19.5^{\circ}\text{N}\sim 21.5^{\circ}\text{N}$ 間存在。秋季時黑潮水往西可以到達經度 120°E ，緯度則在 $19^{\circ}\text{N}\sim 21.5^{\circ}\text{N}$ 之間區域皆有分佈，但主要可以看出在呂宋海峽南邊是以南海水為主，而北半邊幾乎是黑潮水。冬季時黑潮水往西可以到達 $120.5^{\circ}\text{E}\sim 121^{\circ}\text{E}$ 及 $21^{\circ}\text{N}\sim 21.5^{\circ}\text{N}$ 之間的區域， 120.5°E 以西是以南海水為主，而西北邊在 121°E 以東則是黑潮水區。四季上除了春天和冬天資料點分佈不均勻外，在夏秋兩季來看，顯示出秋季黑潮水入侵南海的現象比夏季更加明顯，綜合以上得到夏季表層黑潮水最多只能到達 120°E 以東，其他季節則能進到南海東北部，甚至到達台灣西南海域。

4.2.3 混合層厚度(MLD)

利用了客觀分析方法來求得 MLD 在南海和呂宋海峽的深淺分佈，並參考了 De Boyer Montegut et al. (2004) 所提到的 MLD 參考深度，以及溫度差 0.2°C 和密度差 0.125 kg m^{-3} 兩種 MLD 判斷標準，圖 4-25 是南海和呂宋海峽 Argo float 在四季的 MLD 空間分佈(a)春(b)夏(c)秋(d)冬(溫度差 0.2°C)，圖 4-26 是南海和呂宋海峽 Argo float 在四季的 MLD 空間分佈(a)春(b)夏(c)秋(d)冬(密度差 0.125 kg m^{-3})，其中時間和空間是 2000 年 1 月到 2009 年 11 月間在南海和呂宋海峽 $110^{\circ}\text{E}\sim 124^{\circ}\text{E}$ 及 $10^{\circ}\text{N}\sim 23^{\circ}\text{N}$ 之間區域的 Argo float 溫鹽剖面，全部共有 2490 個溫鹽剖面點，圖 4-25 是溫度標準的 MLD 四季空間分佈，春夏兩季北南海海域的 MLD 大致上不超過 50m，而在春季呂宋海峽和黑潮區的 MLD 則明顯比北南海加深 10~20m，夏季空間上變化不大，秋冬兩季在 MLD 的分佈上比春夏兩季更深，其中秋季在北南海跟呂宋海峽海域的 MLD 最深可達到 60m，冬季時呂宋海峽東邊的 MLD 可以達到 110m 深，南海海域也有部份區域可達到 90m 深，可見除了空間上黑潮區的 MLD 較深外，在季節上，因為冬天東北季風的增強也會使得南海和呂宋海峽的 MLD 厚度變大。圖 4-26 是密度標準的 MLD 四季空間分佈，趨勢上與溫度標準的 MLD 相似，不過仍有些微的不同，特別是在冬季的呂宋海峽西邊，比溫度標準的 MLD 加深 10m 左右，兩種方法在 MLD 的差值約 0~15m 不等。

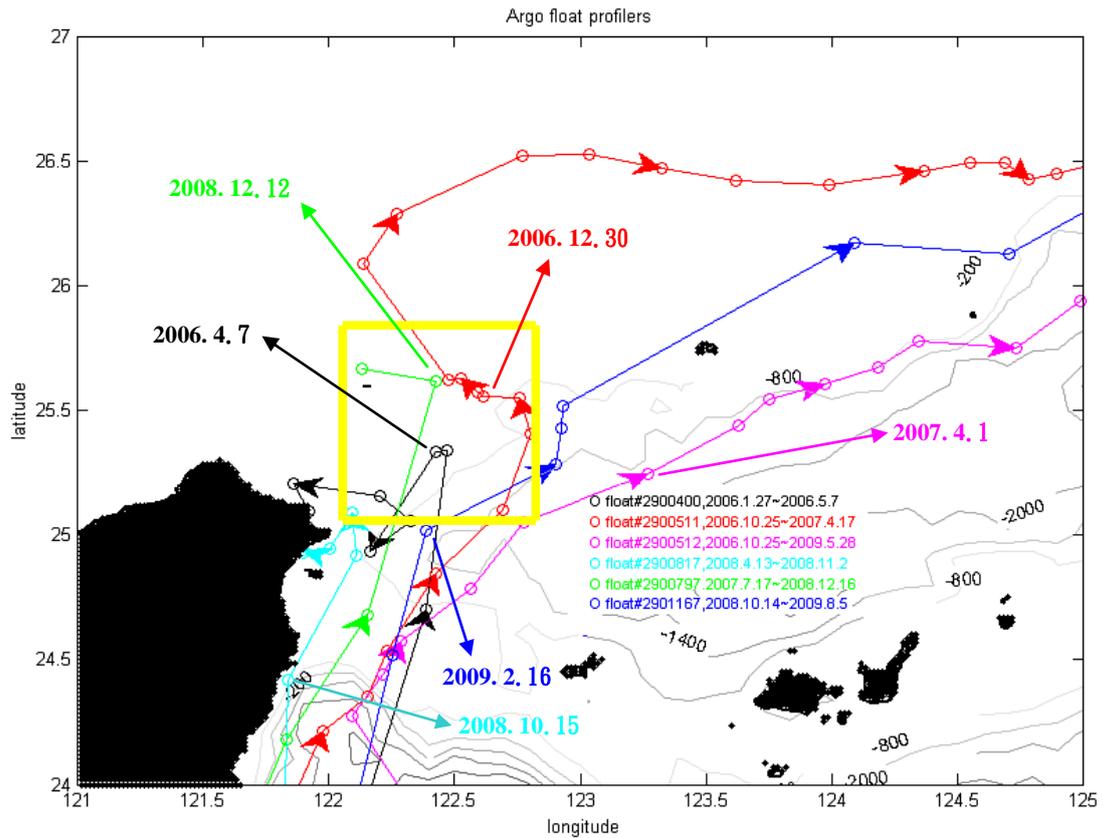


圖 4-1. 台灣東北海域的 6 顆 Argo floats 漂流路徑，開始位置以+號表示，結束位置-號表示。(float#2900400 cycle:5 天; float#2900511 cycle:4 天; float#2900512 cycle:4 天; float#2900817 cycle:4 天; float#2900797 cycle:4 天; float#2901167 cycle:10 天，黃色框線內是綜合前人研究所定義出來的冷渦位置，○ 是 profile 的位置，箭頭隔三個 profiles 標一次)

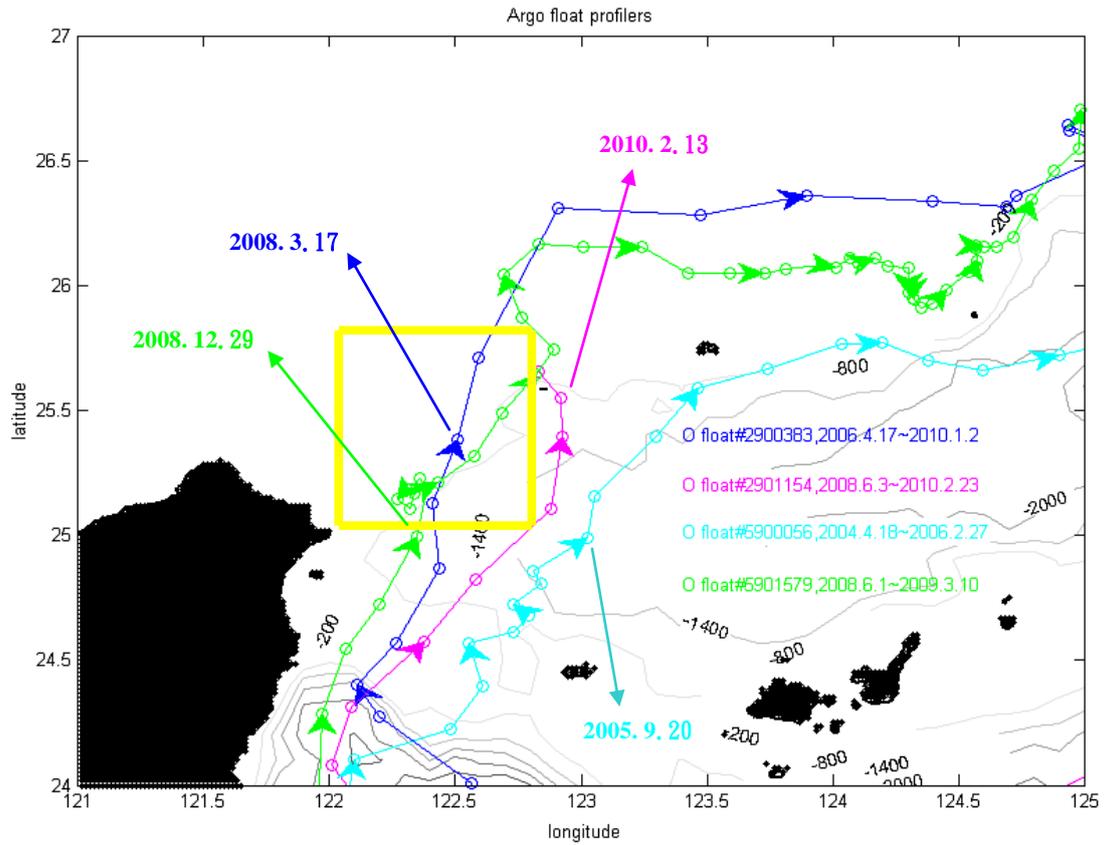


圖 4-2. 台灣東北海域的 4 顆 Argo floats 漂流路徑，開始位置以+號表示，結束位置-號表示。(float#2900383 cycle:4 天; float#2901154 cycle:10 天; float#5900056 cycle:4 天; float#5901579 cycle:1 天，黃色框線內是綜合前人研究所定義出來的冷渦位置，o 是 profile 的位置，箭頭隔三個 profiles 標一次)

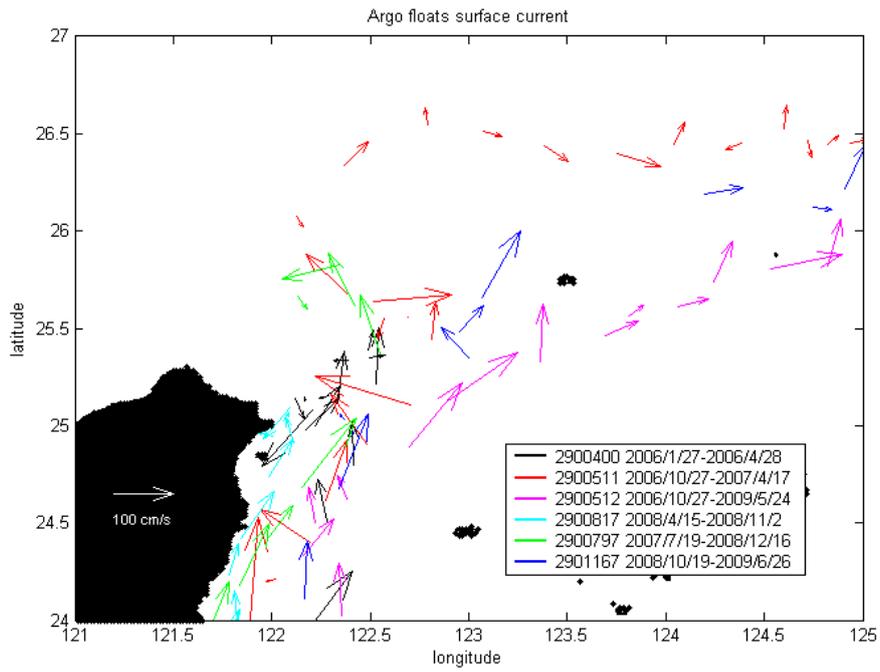


圖 4-3. 台灣東北海域的 6 顆 Argo floats 的表層海流流矢圖。

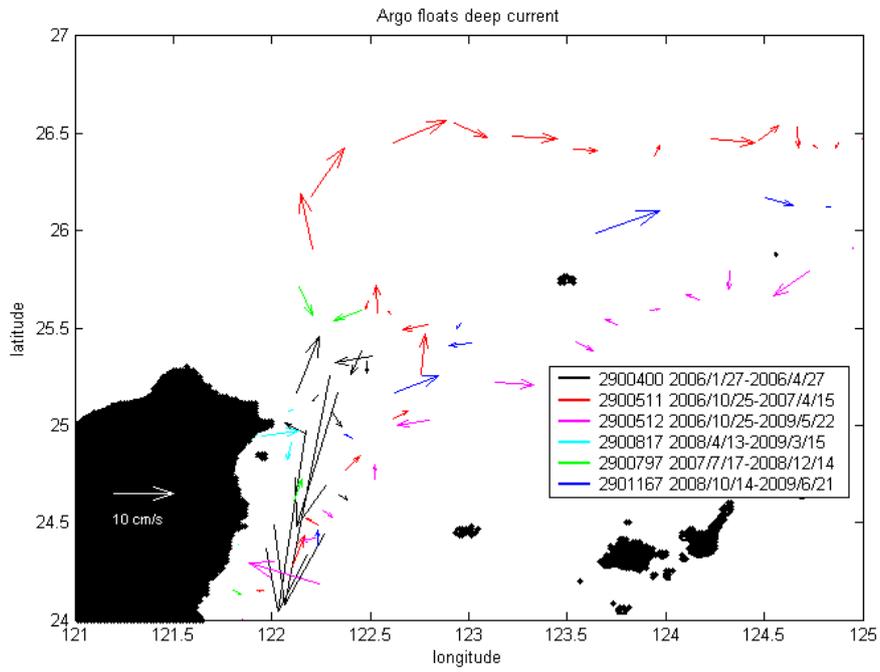


圖 4-4. 台灣東北海域的 6 顆 Argo floats 的深層海流流矢圖。

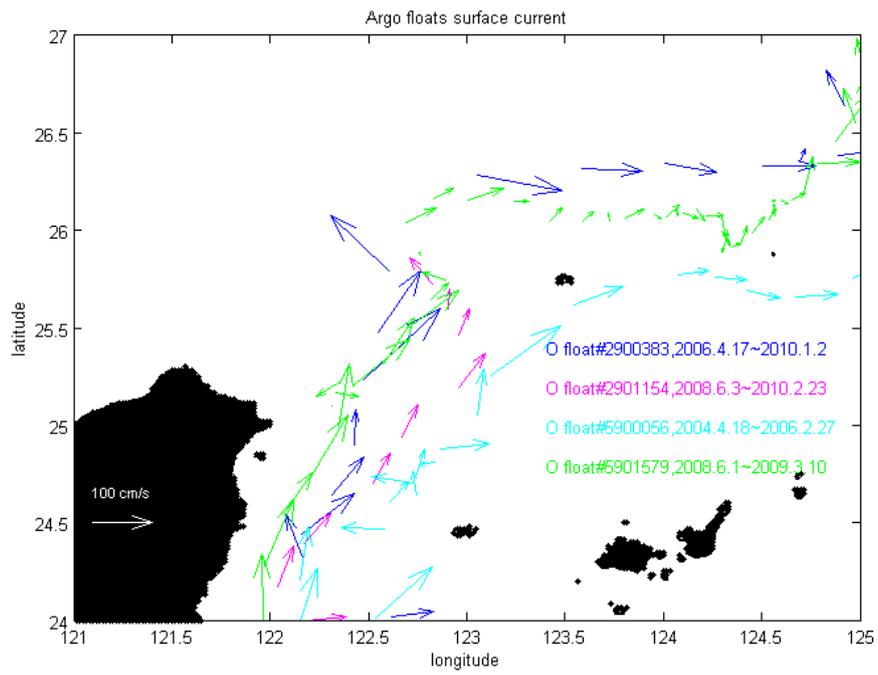


圖 4-5. 台灣東北海域的 4 顆 Argo floats 的表層海流流矢圖。

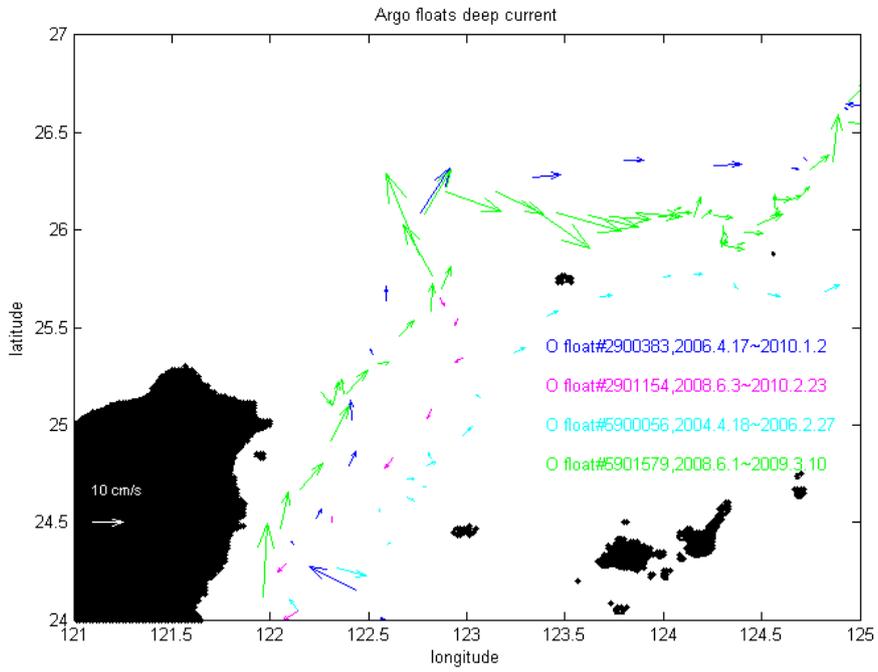


圖 4-6. 台灣東北海域的 4 顆 Argo floats 的深層海流流矢圖。

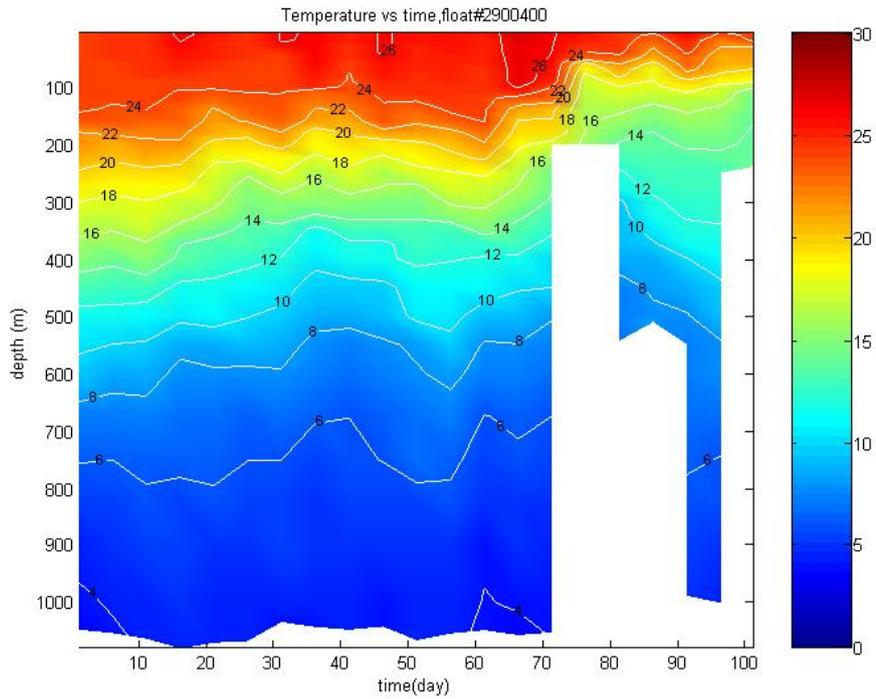


圖 4-7. 台灣東北海域 float#2900400 的連續溫度剖面時序圖 (2006. 1. 17~2006. 4. 27)。

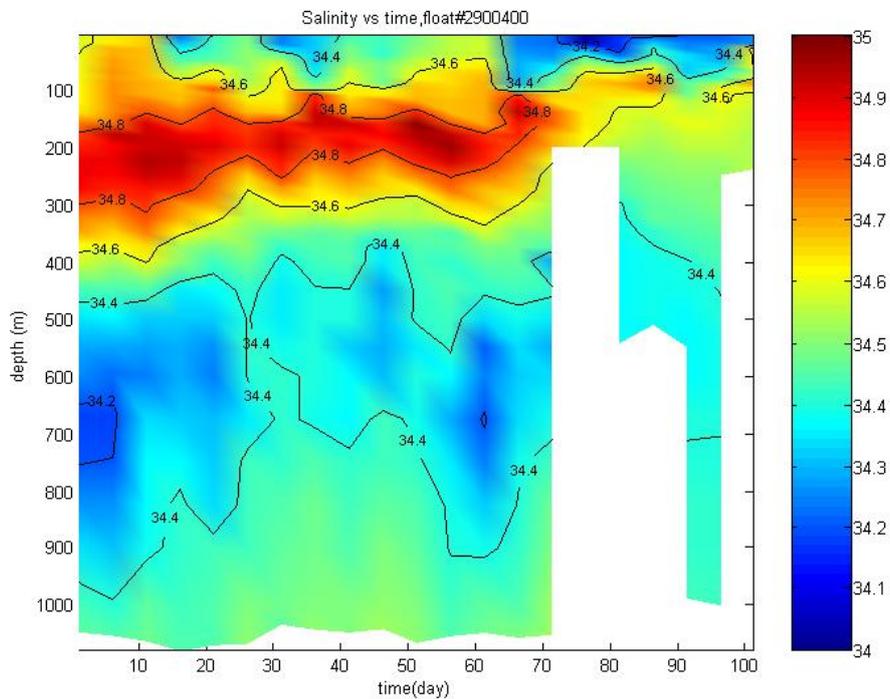


圖 4-8. 台灣東北海域 float#2900400 的連續鹽度剖面時序圖 (2006. 1. 17~2006. 4. 27)。

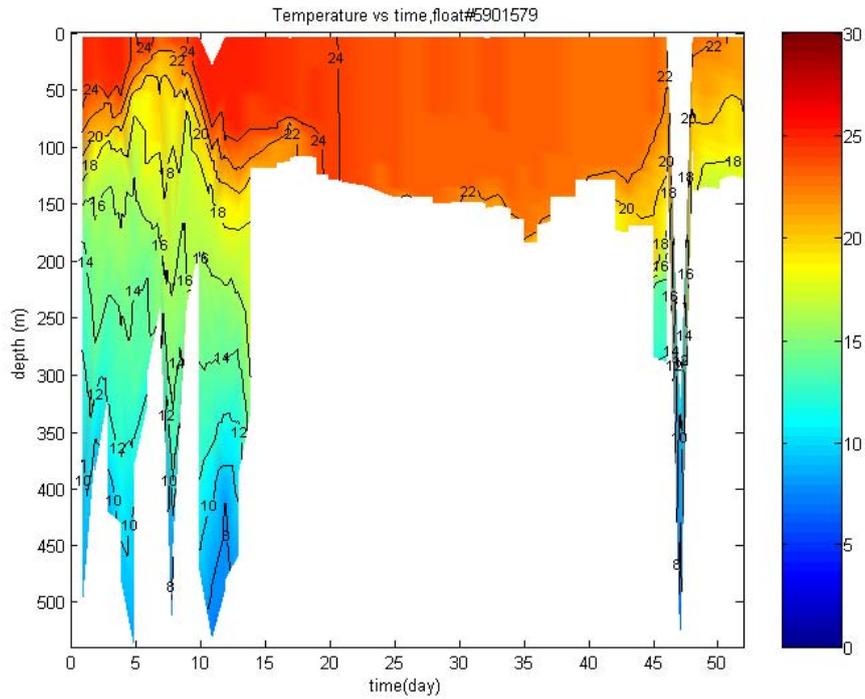


圖 4-9. 台灣東北海域 float#5901579 的連續溫度剖面時序圖 (2008. 12. 24~2009. 2. 13)。

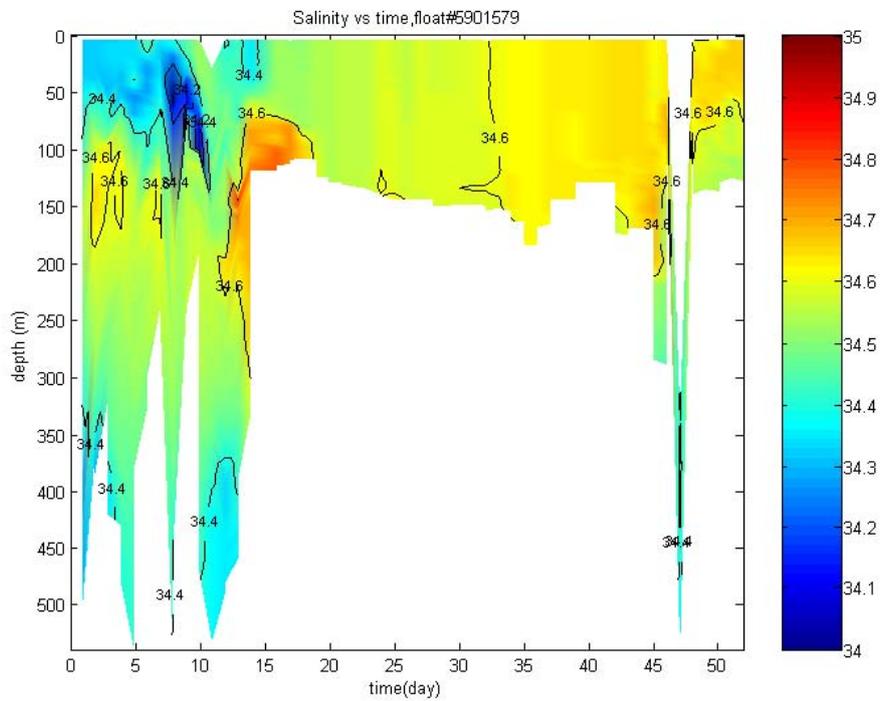


圖 4-10. 台灣東北海域 float#5901579 的連續鹽度剖面時序圖 (2008. 12. 24~2009. 2. 13)。

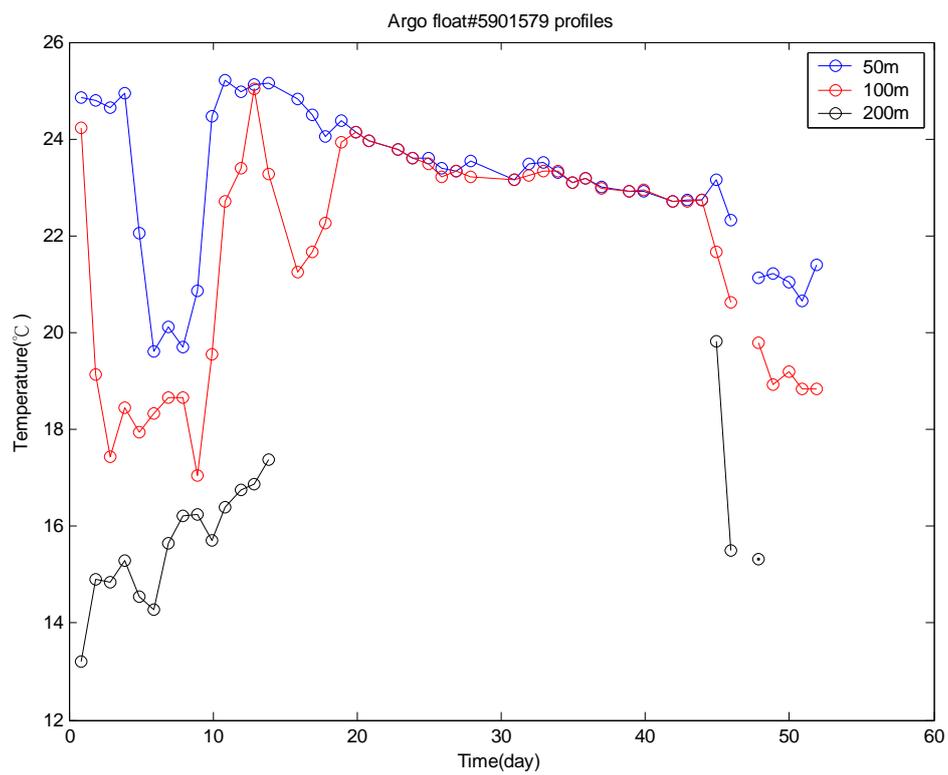


圖 4-11. 台灣東北海域 float#5901579 的 50m、100m 和 200m 深度溫度剖面
(2008. 12. 24~2009. 2. 13)。

表 1. Argo floats 進入台灣東北海域冷渦的時空分佈

ID	Time	經度(°E)	緯度(°N)	Parking 深度(m)	Cycle 時間 (day)	是否受 到冷渦 影響
2900400	2006. 4. 2	122. 4	24. 7	1000	3	是
2900511	2006. 12. 10	122. 7	25. 1	1000	4	是
2900512	2007. 3. 28	122. 8	25. 1	1000	4	否
2900817	2008. 10. 15	122. 1	25. 1	1000	4	是
2900797	2008. 12. 12	122. 4	25. 6	1000	4	是
2901167	2009. 2. 16	122. 4	25	1000	10	是
2900383	2008. 3. 13	122. 4	25. 1	1000	4	是
2901154	2010. 1. 24	122. 9	25. 1	1000	10	是
5900056	2005. 9. 16	123	25	1000	4	否
5901579	2008. 12. 28	122. 4	25. 2	500	1	是

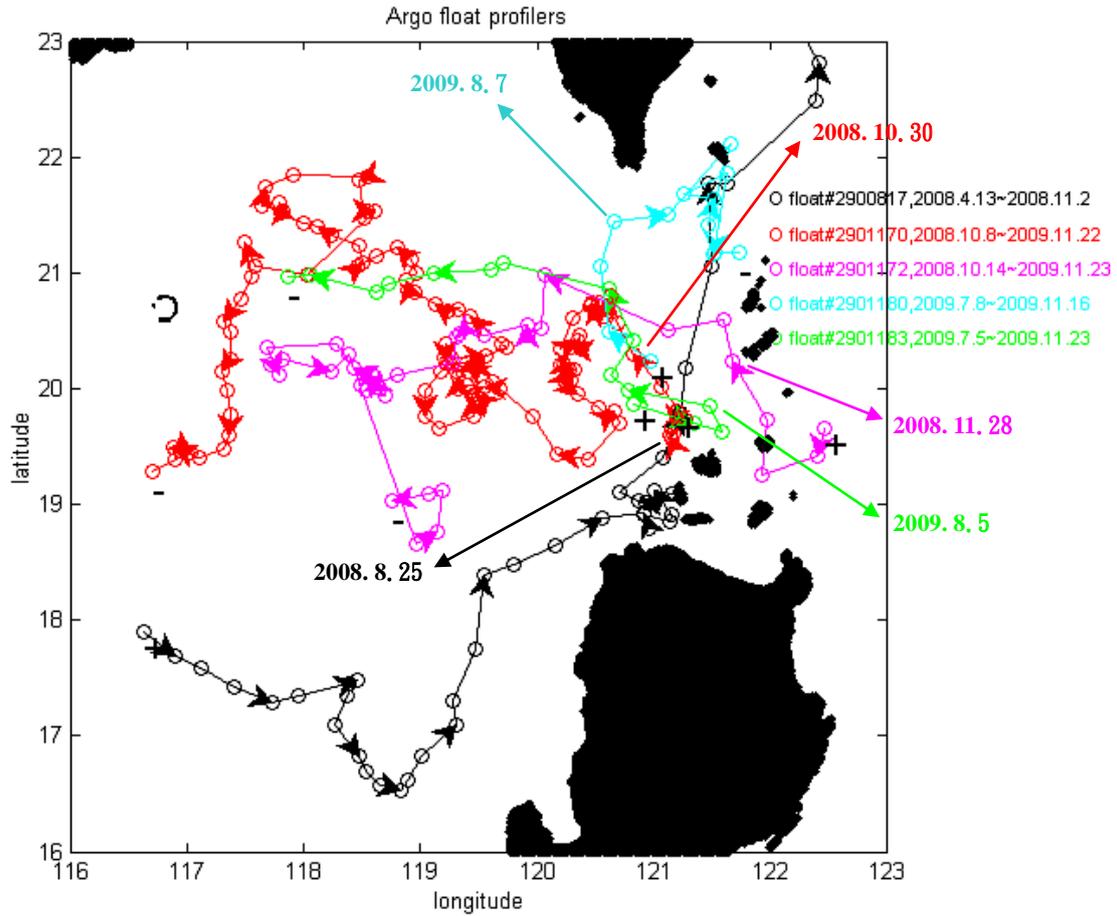


圖 4-12. 呂宋海峽的 5 顆 Argo floats 漂流路徑，開始位置以+號表示，結束位置-號表示。(float#2900817 cycle:4 天; float#2901170 cycle:3 天; float#2901172 cycle:10 天; float#2901180 cycle:10 天; float#2901183 cycle:10 天，o 是 profile 的位置，箭頭隔三個 profiles 標一次)

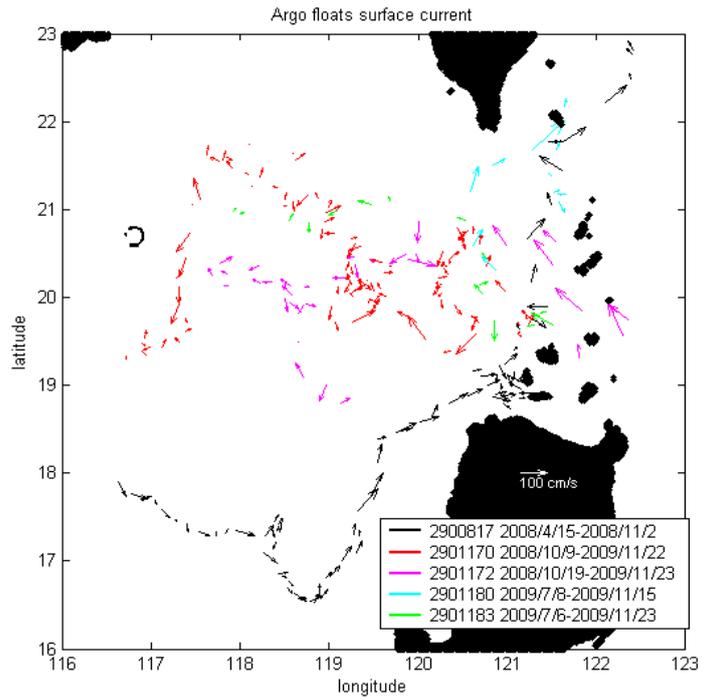


圖 4-13. 呂宋海峽的 5 顆 Argo floats 的表層海流流矢圖。

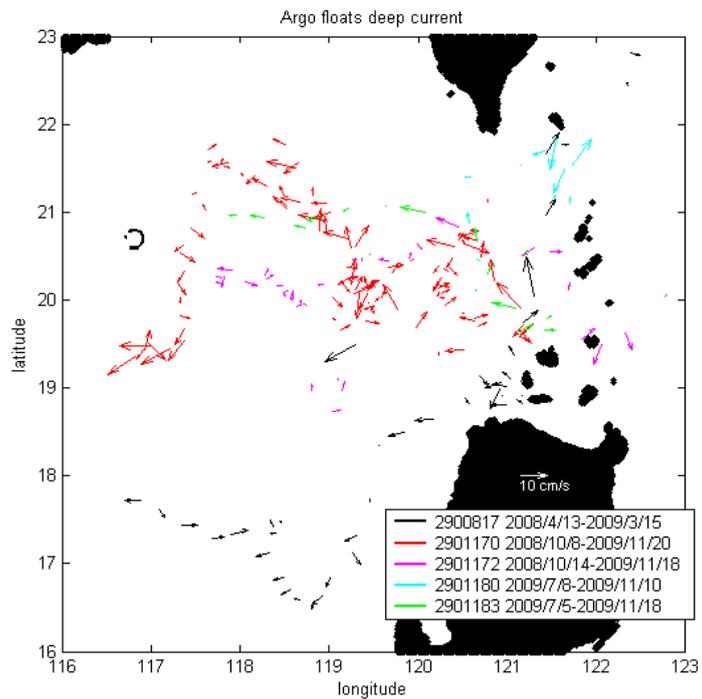


圖 4-14. 呂宋海峽的 5 顆 Argo floats 的深層海流流矢圖。

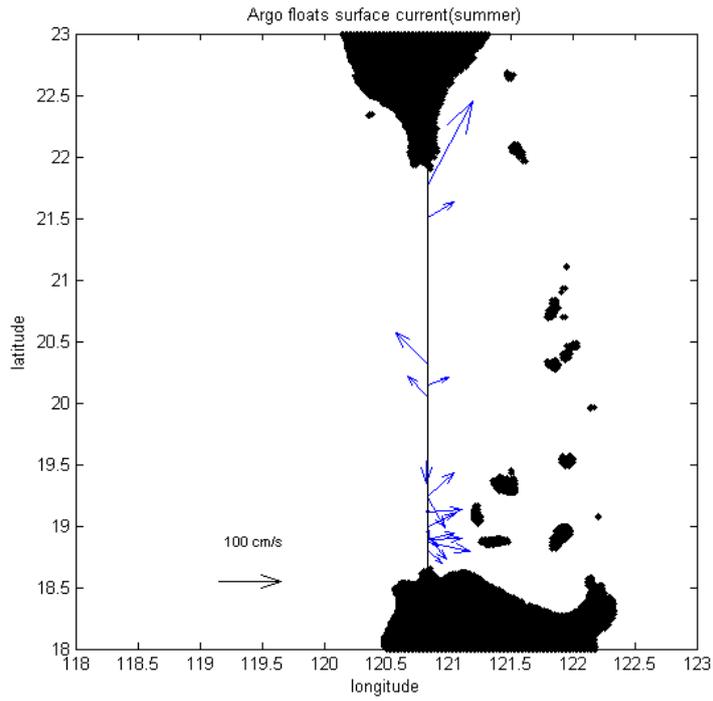


圖 4-15. 呂宋海峽夏季在 120.825°E 測線的表層海流分布。

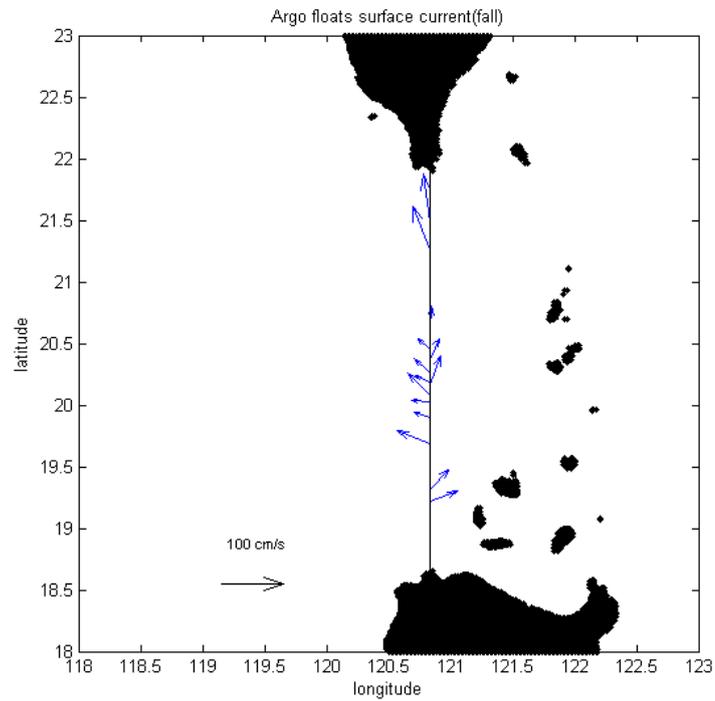


圖 4-16 呂宋海峽秋季在 120.825°E 測線的表層海流分布。

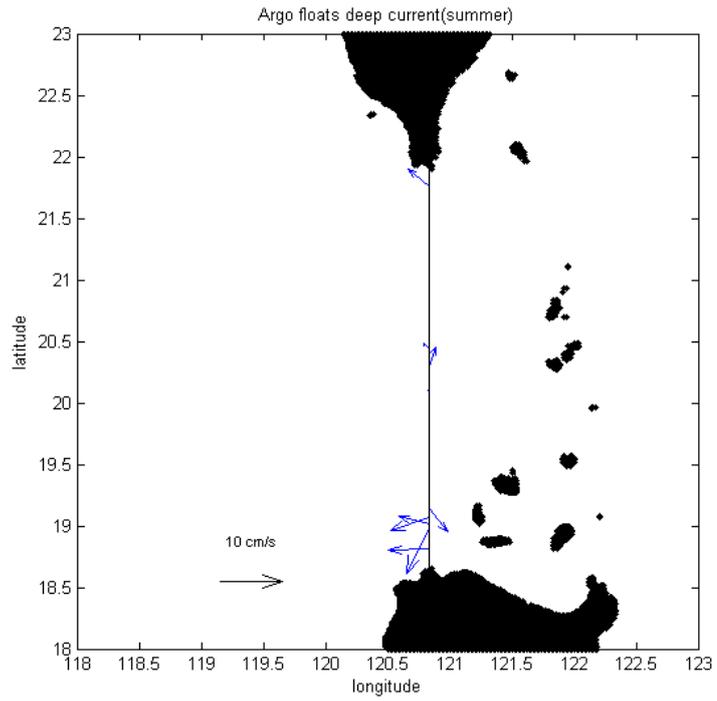


圖 4-17 呂宋海峽夏季在 120.825°E 測線的深層海流分布。

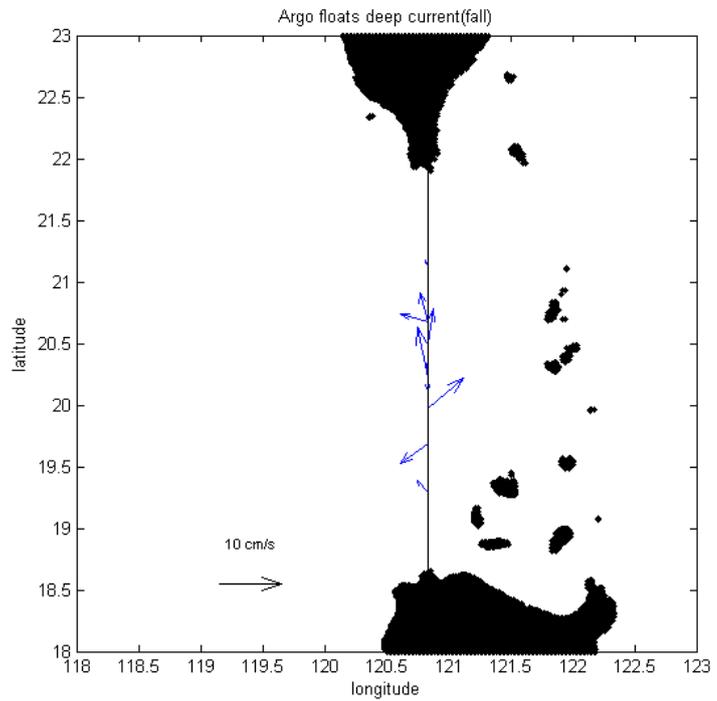


圖 4-18 呂宋海峽秋季在 120.825°E 測線的深層海流分布。

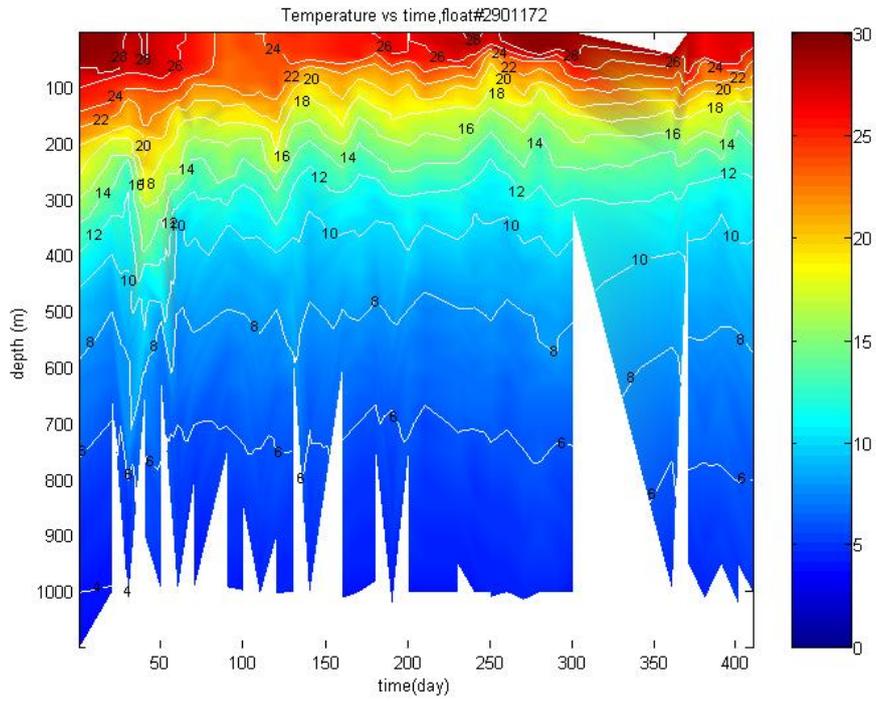


圖 4-19 呂宋海峽 float#2901172 的連續溫度剖面時序圖 (2008. 10. 19~2009. 12. 3)。

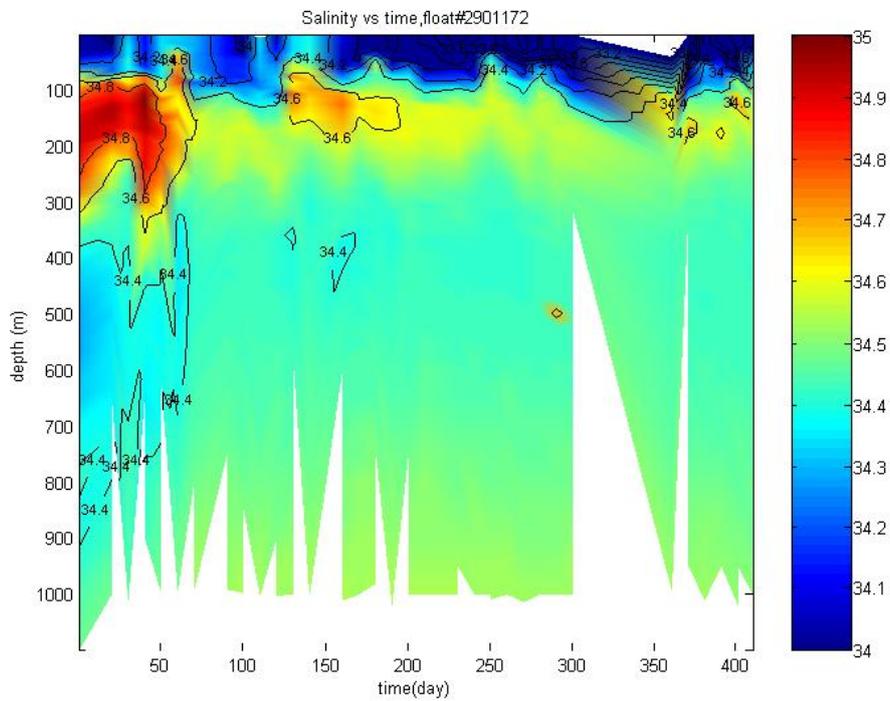


圖 4-20 呂宋海峽 float#2901172 的連續鹽度剖面時序圖 (2008. 10. 19~2009. 12. 3)。

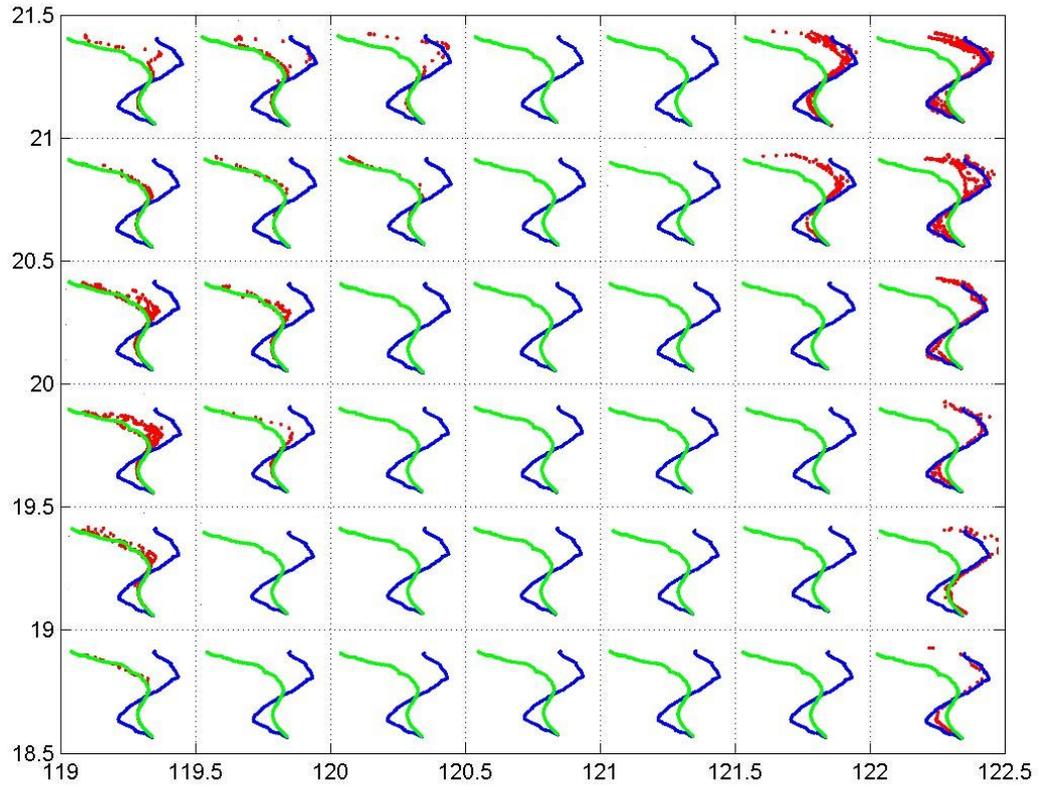


圖 4-21. 呂宋海峽 Argo float 的春季溫鹽空間分佈圖(藍色線為黑潮水，綠色線為南海水，而紅色點為 float 溫鹽資料，參考自 Chen and Huang, 1996)。

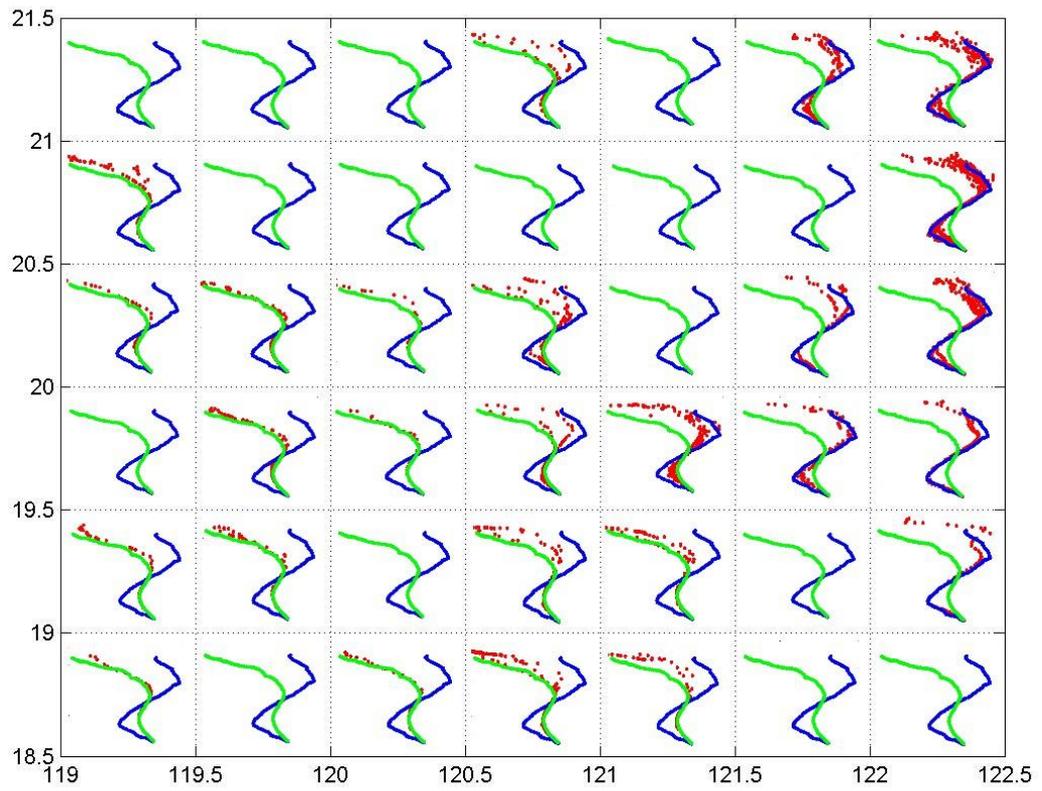


圖 4-22. 呂宋海峽 Argo float 的夏季溫鹽空間分佈圖(藍色線為黑潮水，綠色線為南海水，而紅色點為 float 溫鹽資料)。

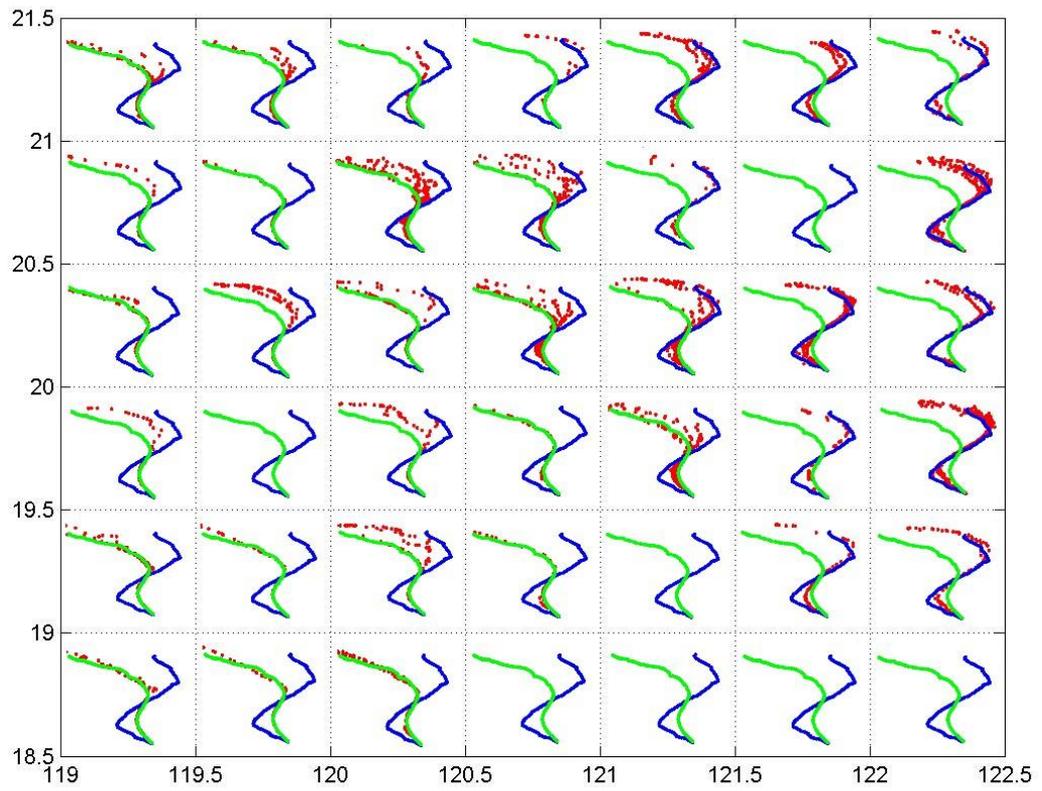


圖 4-23. 呂宋海峽 Argo float 的秋季溫鹽空間分佈圖(藍色線為黑潮水，綠色線為南海水，而紅色點為 float 溫鹽資料)。

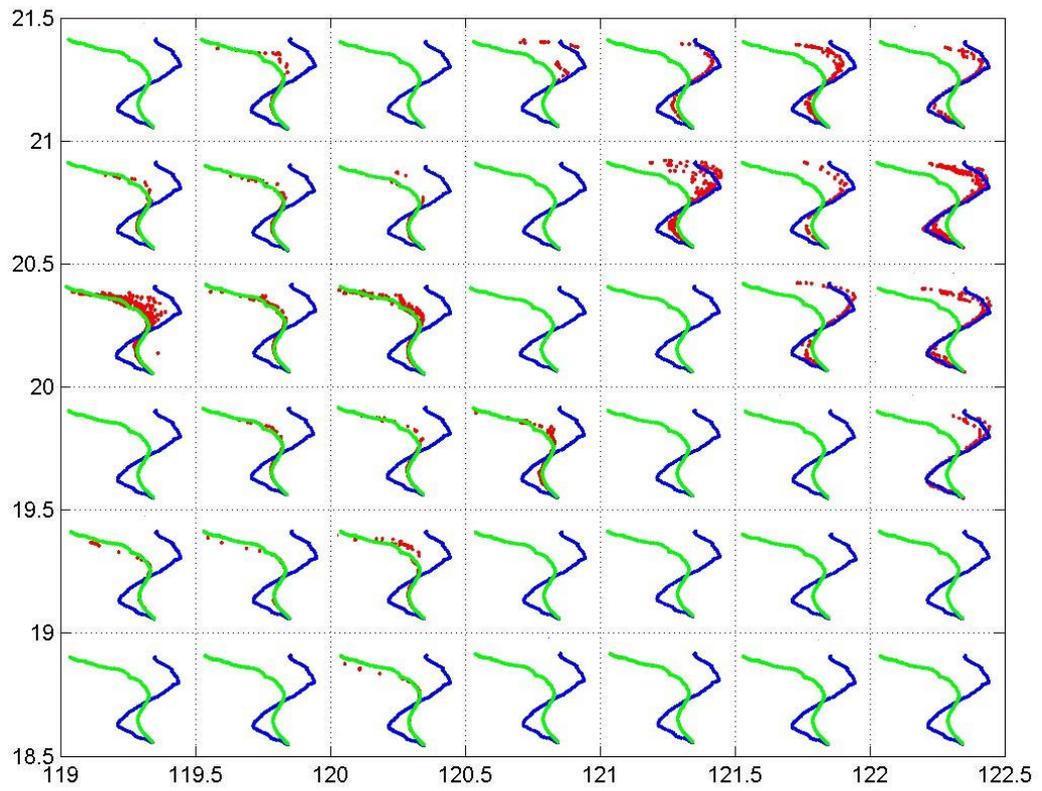


圖 4-24. 呂宋海峽 Argo float 的冬季溫鹽空間分佈圖(藍色線為黑潮水，綠色線為南海水，而紅色點為 float 溫鹽資料)。

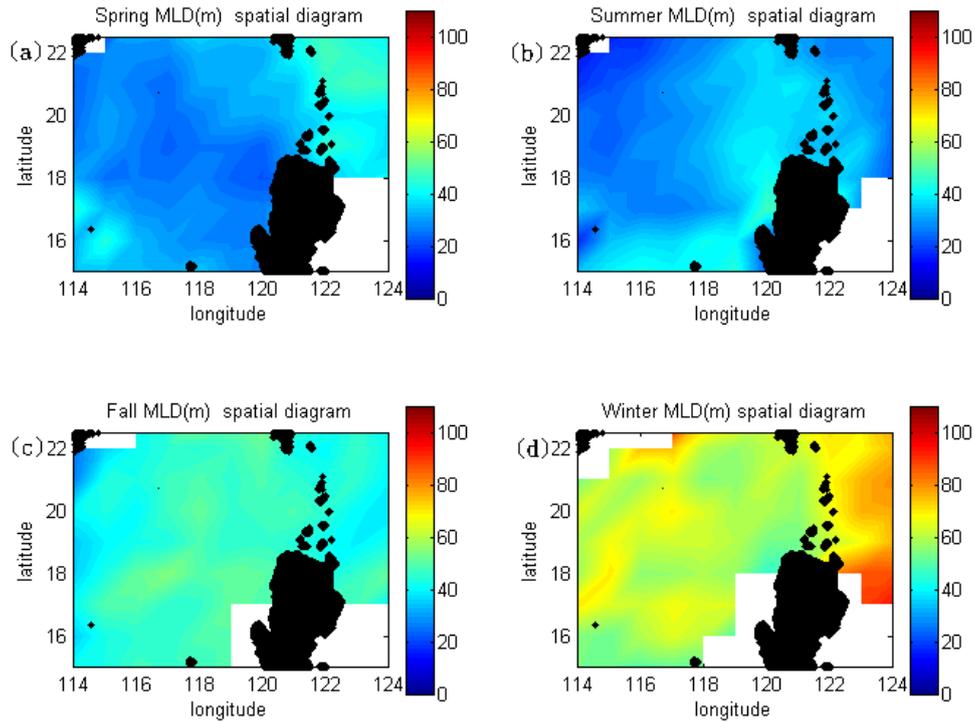


圖 4-25. 南海和呂宋海峽 Argo float 在四季的 MLD 空間分佈 (0.2°)

(a)春(b)夏(c)秋(d)冬。

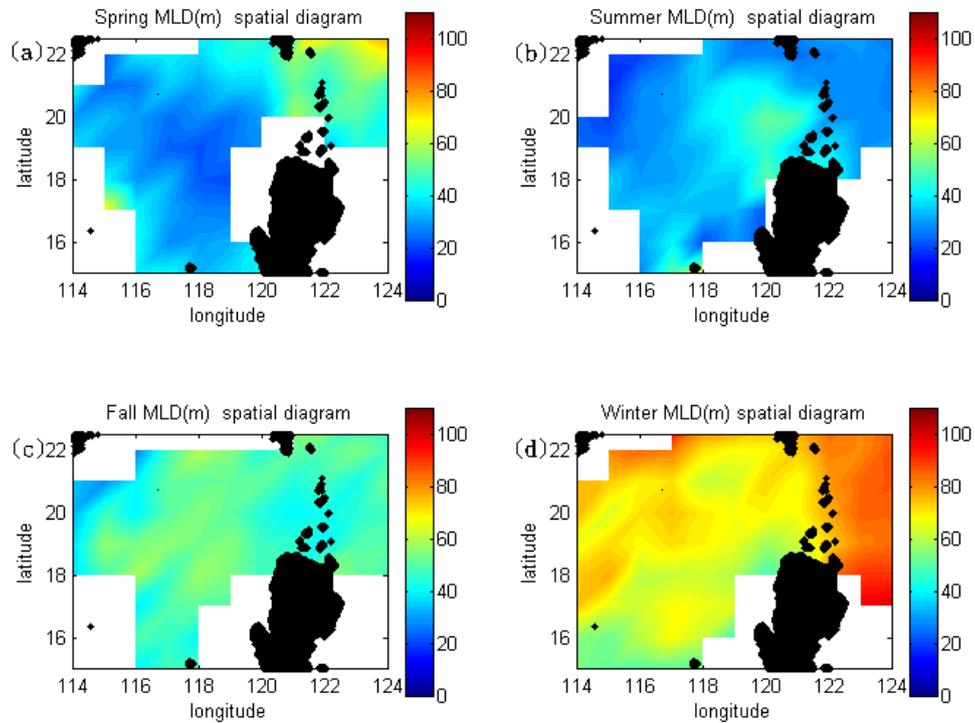


圖 4-26. 南海和呂宋海峽 Argo float 在四季的 MLD 空間分佈(0.125 kg m⁻³)

(a)春(b)夏(c)秋(d)冬。

五、渦漩現象

5.1 台灣西南暖渦

5.1.1 漂流打轉軌跡

圖 5-1 是台灣西南海域的 3 顆 Argo floats 漂流路徑 (a)float#2901169 軌跡(1 月到 4 月)、(b)float#2901169 軌跡(4 月到 5 月)、(c)float#2901169 軌跡(5 月到 7 月)和 (d)float#2900819、float#2901135 和 float#2901169 漂流軌跡，分別被投放在 118.7°E 、 119°E 和 120.7°E ，而緯度約在 20.2°N 、 19°N 和 20.1°N ，#2900819 的 cycle 間隔為 4 天，#2901135 的 cycle 間隔為 1 天、2 天、3 天或 4 天不等，#2901169 的 cycle 間隔為 3 天，parking 深度皆為 1000m。表層海流和深層海流在此區域皆顯示著順時針環流型態，其中進到暖渦區域的時間 #2901169 是冬季到夏季間，#2901135 是秋季，#2900819 則是夏季，#2901135 軌跡是從呂宋海峽西邊先往北後最後再轉入台灣西南海域，時間 2009.4.10~2009.12.6，#2901169 軌跡是從呂宋海峽西北部先進入南海後再轉入台灣西南海域順時針開始打轉，時間 2008.10.9~2009.8.8，#2900819 軌跡是從北南海先往西再轉入台灣西南海域，然後再進入黑潮，最後順著黑潮流至台灣東北方，時間 2008.4.16~2010.1.25。

5.1.2 溫鹽剖面特性

圖 5-2 是台灣西南海域的 2 顆 Argo floats 的連續溫度剖面時序圖

(a)float#2901169 溫度剖面(1 月到 4 月)、(b)float#2901169 溫度剖面(4 月到 5 月)、(c)float#2901169 溫度剖面(5 月到 7 月)和(d) float#2901135 溫度剖面(10 月到 11 月)，圖 5-3 是台灣西南海域的 2 顆 Argo floats 的連續鹽度剖面時序圖(a)float#2901169 鹽度剖面(1 月到 4 月)、(b)float#2901169 鹽度剖面(4 月到 5 月)、(c)float#2901169 鹽度剖面(5 月到 7 月)和(d) float#2901135 鹽度剖面(10 月到 11 月)，為了探討 2009 年 2 月到 7 月間#2901169 觀測到的暖渦特性，以下將軌跡劃分為三圈來討論，剖面浮標軌跡第一圈到第三圈大致上是沿著地形等深線順時針來作打轉，第一圈(圖 5-1a)打轉時上層溫度變化(100m 以上)皆有 22°C 以上，鹽度最小值 34.2，而 140m-220m 之間的溫度則呈現明顯梯度變化，而垂直上鹽度最大值出現在此深度，其溫鹽特性與黑潮混合水一致，打轉範圍大概有直徑 110km，第二圈(圖 5-1b)打轉時上層溫度變化(100m 以上)增加到 24°C 以上，等溫度呈現一致，鹽度同樣在 150m-200m 間有著高鹽值，打轉範圍大概有直徑 48km，第三圈(圖 5-1c)打轉時上層溫度變化(100m 以上)26°C 以上，而 150m-210m 間的黑潮混合水有減弱的跡象，鹽度也沒有前兩圈時為大，至 7 月後則消失不見，打轉範圍大概有直徑 88km，推測其黑潮水來源可能是由於其間歇性入侵、Eddy Shedding 和環流的引導而到達台灣西南，在途中受到南海水混合，變成了混合水。

#2901135 秋季時的溫鹽剖面(圖 5-2d 和圖 5-3d)，也就是剖面浮標進

到暖渦區，時間是 2009.10.3~2009.11.16，表層 0-80m 鹽度大致上都在 33.4-33.8 之間，鹽度最大值發生在 90-220m 深度範圍內達到 34.6，此時的溫度大概在 25°C 左右，剖面浮標出現黑潮水的時間和位置分別在 2009 年夏季的北南海和 2009 年秋冬兩季的台灣西南海域，顯示夏季時有黑潮水進到北南海，而秋冬兩季黑潮水影響可以達到 200m 深，而相同的在鹽度高值出現時，其 400-600m 深度範圍也伴隨會出現一個鹽度低峰值可降到 34.4，鹽度相差了 0.2 左右，應該是相同位置時間上下層分別有黑潮水主導 90-220m 深度範圍的水層，而南海水則主導 400-600m 深的水層。

#2901169 的表面溫度 0-10m 深度範圍最高值時發生在 2008 年秋季的北南海和 2009 年夏季的台灣西南海域到達 28°C 以上，表層 0-10m 最低溫發生在 2009 年冬季 float 正轉北進入順時針渦漩時可降到 23°C 左右，圖 5-7 表層 0-100m 鹽度大致上都在 34-34.2 之間，鹽度最大值發生在 150-210m 深度範圍內達到 34.7，且此時的溫度大概在 18°C 左右，出現黑潮水的時間和位置分別在 2008 年秋季的北南海和 2009 年春季的台灣西南海域，同樣表示秋冬兩季的黑潮水影響到 200m 深，而相同的在鹽度高值出現時，其 300-600m 深度範圍也伴隨會出現一個鹽度低值可減至 34.4，鹽度相差了 0.3 左右，研判應該一樣也是由黑潮水主導 150-210m 深度的水層，而南海水則主導在 300-600m 深度範圍。

圖 5-4 到 5-5 分別為暖渦垂直溫度變化比較和垂直鹽度變化比較，可以看

出進入暖渦後的在深度 170m 溫度可以相差到 2°C，兩測站間垂直上的溫度，300m 以上每個相同深度的溫度明顯大於未進入暖渦時的溫度，在 300m 以下才慢慢接近一致，鹽度在 200m 深度皆有極大值 34.57~34.6 存在，應該是黑潮水的核心位置所在。

研究也利用 2006 年 1 月~2009 年 11 月間的剖面浮標溫鹽資料，探討在台灣西南海域 119°E~120.5°E 及 21.5°N~22.5°N 之間的水文特性，圖 5-6 到 5-9 分別是四個季節的水團分佈，春季時黑潮水明顯地出現在經緯度 119°E~120.5°E 及 22°N~22.5°N 之間的區域，夏季時則出現些微黑潮水在經緯度 120°E~120.5°E 及 21.5°N~22°N 之間的區域，應該是黑潮水入侵減弱之故，秋季時似乎在經緯度 119°E~120.5°E 及 21.5°N~22.5°N 之間的區域都有出現，此時黑潮水入侵最為強烈，冬季時在經緯度 119°E~119.5°E 及 21.5°N~22.5°N 之間的區域有黑潮水的蹤跡，所以總體表示在台灣西南海域秋季受黑潮水的影響最明顯，春冬兩季次之，夏季則不明顯，打轉期間都伴隨著黑潮混合水，只有在夏季會開始減弱，此區域的水文特性和黑潮水侵入的強弱有密切相關。

5.1.3 Sb-ADCP 流速與風應力旋度

圖 5-10 到 5-11 是根據#2901169 在 2009 年 2 月 8 月間所計算出來的表層及深層海流，表層海流的 u 向量平均為 2.14 cm/s，v 向量平均為 3.84 cm/s，總平均速率為 4.39 cm/s，平均流向朝東北，深層海流的 u 向量平

均為 -0.73 cm/s ， v 向量平均為 -0.36 cm/s ，總平均速率為 0.81 cm/s ，平均流向朝西南，表層流速最大值出現在5月初，流速為 105 cm/s ，渦漩表層的直徑最大有 110 km ，也影響到深層 1000 m 處，圖5-12是2009年一個航次的Sb-ADCP資料(a圖)和CTD資料(c圖)，顯示出在較靠近台灣沿岸處的海流以東南向為主，整體而言與剖面浮標漂流的方向一致，明顯地可以看到一個順時針的暖渦流場，時間上在5月份，表示在經緯度 $119^{\circ}\text{E}\sim 120.5^{\circ}\text{E}$ 及 $22^{\circ}\text{N}\sim 22.5^{\circ}\text{N}$ 之間的區域春季時黑潮水的入侵頗為強烈，另外從Quikscat平均風場在此區域顯示，從2009年2月到5月都吹東北季風，風向在6月和7月才轉成西南季風，圖5-13到5-15是IFREMER的風應力旋度資料，也指出特別在2009年4月初和5月中風應力旋度有比較大的負值，將有利於台灣西南海域順時針渦漩形成，與航次1368的CTD資料對照，有著黑潮混合水的跡象，應該是較強的負風應力旋度發生期間，會加強黑潮水入侵的趨勢，而在其它時間的風應力旋度顯示有正有負。

圖5-16是台灣西南海域float#2901169表層及深層和表面溫鹽時序圖，(a)U總流速、(b)u向量、(c)v向量、(d)表面5m深度溫度對時間序列、(e)表面5m深度溫度對時間序列和(f)QSCAT風場資料，紅色線表示表層海流，黑色線表示深層海流並乘以10倍以便比較，綠色線表示表面溫度，藍色線表示表面鹽度，顯示表層海流U最大值出現在2009年的5月初，可以達到 104 cm/s ，此時期的船測ADCP資料也證實順時針的暖渦存

在，與風應力的資料比較，五月初時的風應力旋度達到最大負值，表面溫度受到季節影響在春冬兩季間最低降到約 23°C，表面鹽度在打轉期間比起未進到暖渦影響時還大，最多可達到 34 以上，由風場的資料來看，冬季吹東北季風，進入暖渦區大部份為東北風，有時則是東南風，表示風的因素可能是次要因素，推測地形跟海流型態應該是造成順時針運動的主要成因。

5.2 台灣以東的渦漩區

圖 5-17 含以下漂流路徑 Argo float #2900401、#2900512、#2900812、#2901153、#2901166、#2901168、#2901171 和 #2901177，分別被投放在 123.6°E、122.4°E、123.5°E、123°E、122.6°E、122°E、122.5°E 和 120.8°E，而緯度約在 20.9°N、22°N、19°N、21.1°N、21.2°N、20.8°N、20°N 和 19.9°N，#2900401 的 cycle 間隔為 5 天，#2900512 的 cycle 間隔為 4 天，#2900812 的 cycle 間隔為 4 天，#2901166 的 cycle 間隔為 10 天，#2901168 的 cycle 間隔為 10 天，#2901171 的 cycle 間隔為 10 天，#2901177 的 cycle 間隔為 10 天，parking 深度皆為 1000m。

圖 5-18 到 5-19 分別為在台灣黑潮以東的表層海流流矢、深層海流流矢圖可以看出，黑潮區的表層海流皆順著黑潮往北流，最大流速可達到

1.8m/s，深層海流則在蘭嶼附近有部份反流存在，量測到的流速約 4 cm/s ~7 cm/s，當地水深為 1000m，黑潮東邊因為常受到當地流場或渦漩的影響，深層海流時常出現順時針流場，表層海流受到季節性影響，順時針的結構反而沒深層區顯著，表層流速測得的最大值 69 cm/s，深層流速最大值可達 16 cm/s，因此將黑潮主軸區和東邊渦漩區來比較，表層海流流速黑潮區是比黑潮以東區為大，而深層海流則是黑潮以東區比黑潮區為大，圖 5-20 到 5-21 分別為#2901168 溫度剖面時序、鹽度剖面時序圖，時間 2009.4.29~2009.12.6，軌跡從呂宋海峽東部往東作一順時針運動，可以看出表面溫度 0-10m 深度範圍最高值發生在 2009 年的 6 月到 10 月間最高可到達 30°C 以上，表層 0-10m 深度範圍最低溫發生在春冬兩季則降到 26°C 左右，表層鹽度 0-100m 深度範圍在夏季在 34.2 左右，在冬春兩季則在 34.6 左右，鹽度最大值整季在 180-350m 深度範圍內達到 34.8，在 400-850m 深度範圍內的鹽度分佈大約 34.4，深層 1000-2000m 深度範圍內的鹽度分佈再增加到 34.6，相對來說 400-850m 深度的水團特性具有低溫、低鹽且高密度水體來自北太平洋中層水，1000-2000m 深度的水團特性具有低溫、高鹽且高密度水體來自南極中層水。

圖 5.22 到圖 5.23 分別是西太平洋由 float 的軌跡(黑色線)與衛星高度計(2006.1.25~2006.3.1)所對應的渦漩現象和西太平洋由 float 的軌跡(黑色線)與衛星高度計(2006.3.8~2006.4.12)所對應的渦漩現象(軌跡選

擇高度計日期前後 10 天內的 float 資料)，可以看到本研究所觀測到的暖渦在 2006 年 1 月到 3 月先從東邊往西邊傳遞，符合 Cushman-Roisin et al. (1990) 所提渦漩是往西傳播，可以到達台灣東半邊海域，接著 3 月到 4 月間滯留在 124°E 上並偏北移動，衛星高度計來看其直徑最大時應該是在 3 月初時，可以達到 300 多公里，軌跡資料則能與暖渦位置相對應，圖 5.24 到圖 5.25 分別是 #2900401 在暖渦中的表層海流和深層海流圖，表層海流在暖渦期間最大值為 89 cm/s，深層海流介於 4.5 cm/s~12.6 cm/s，皆顯示順時針環流，不過深層海流的順時針趨勢比表層更加明顯，圖 5.26 到圖 5.27 分別是 #2900401 在暖渦中的溫度剖面變化和鹽度剖面變化圖，溫度斷面可見該區域受到反氣旋渦漩的影響，表層 100m 以上的海水溫度有 24°C 以上，其中等溫線在 2 月 27 日時先上凸，在 3 月 9 日時再下凹，上凸是受到當時有個冷渦通過邊緣造成，下凹則是剖面浮標被捲入暖渦事件，此時也正是衛星高度計 3 月初時，也是暖渦發展最強的時候，冷暖渦相互作用時最大溫差發生在水深 160m，可以相差到 4.5°C，同時鹽度斷面在冷渦與暖渦作用的過程中，34.8 的高鹽層被由 150m 深往上抬升至 100m 深度，抬升約有 50m 厚度，可見該區域應該存在一個由冷暖水交匯的鋒面，圖 5.28 到圖 5.29 分別是 #2900401 暖渦中的溫度(2006. 3. 29)和離開暖渦時(2006. 5. 8)和暖渦中的鹽度(2006. 3. 29)和離開暖渦時(2006. 5. 8)的垂直比較，表層因為混合作用，混合層厚度較深，易受季節性變化影響，溫

度在 200m 以下才開始有暖渦的高溫特性，最大溫差在水深 450m，可以相差到 2.5°C ，而兩站的鹽度高鹽區都發生在水深 200m，在 200-600m 深的暖渦內的鹽度值是大於離開暖渦時，600m 以下則開始減小，而圖 5.30 的溫鹽圖則全偏向黑潮水屬於高溫高鹽水團。冷渦在接近黑潮後開始減弱，但此暖渦反而能持續存在，且也較穩定，瞭解台灣東側的環流型態是相當重要的，早期的水文資料和表層浮標都表明台灣東邊是渦旋十分活躍的地區，不過對於此區仍缺乏深層觀測資料，而剖面浮標的資料則可以補充深層資料的不足。

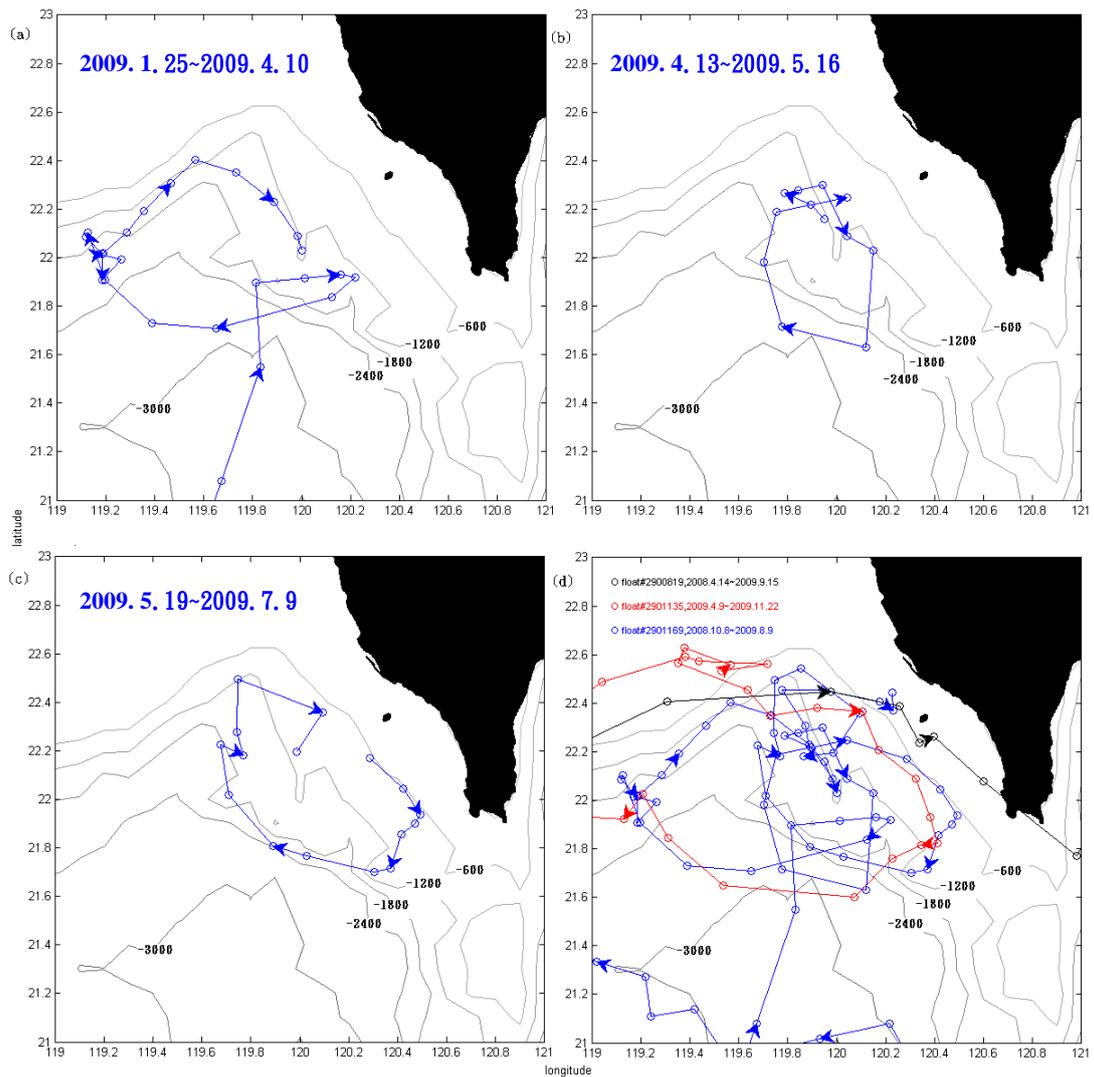


圖 5-1. 台灣西南海域的 3 顆 Argo floats 漂流路徑(a)float#2901169 軌跡(1 月到 4 月) (b)float#2901169 軌跡(4 月到 5 月) (c)float#2901169 軌跡(5 月到 7 月) (d)float#2900819、#2901135 和 #2901169 漂流軌跡(float#2900819 cycle:4 天; float#2901135 cycle:4 天; float#2901169 cycle:3 天, o 是 profile 的位置, 箭頭隔三個 profiles 標一次)

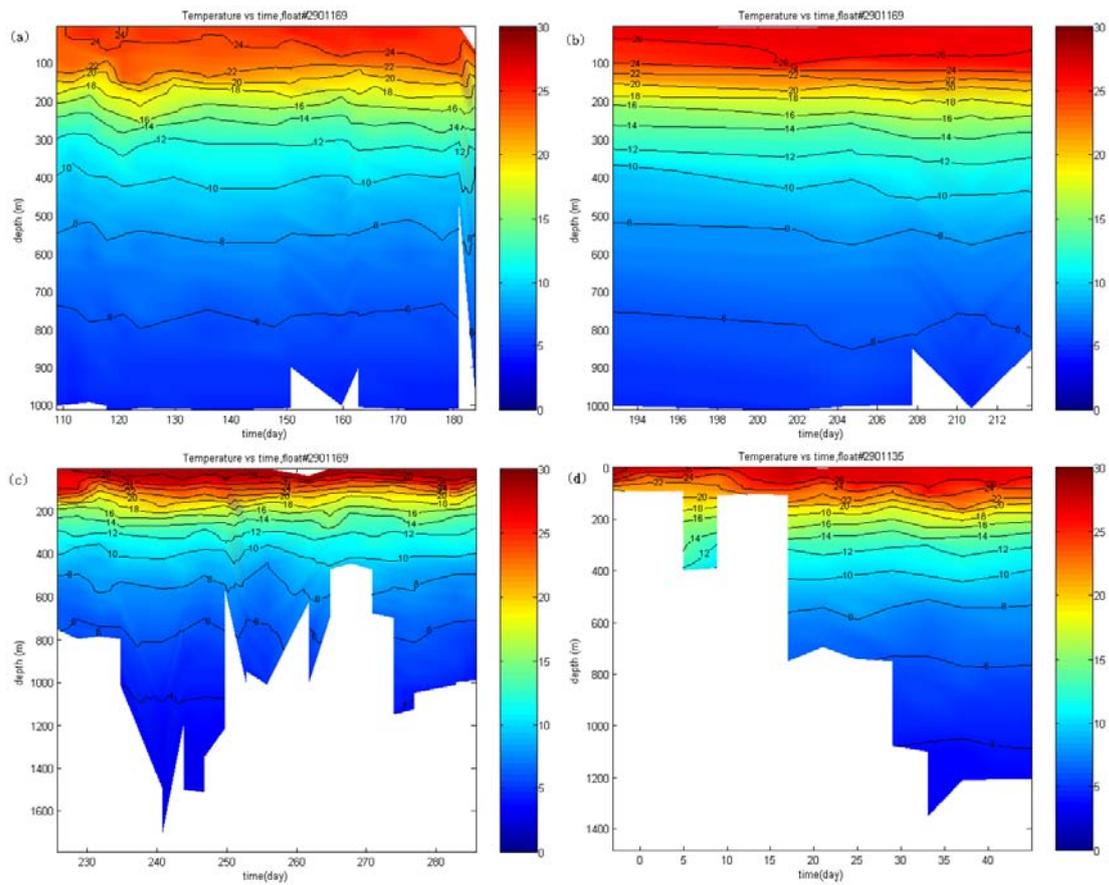


圖 5-2. 台灣西南海域的 2 顆 Argo floats 的連續溫度剖面時序圖
 (a)float#2901169 溫度剖面(1 月到 4 月) (b)float#2901169 溫度剖面(4 月到 5 月)
 (c)float#2901169 溫度剖面(5 月到 7 月) (d)float#2901135 溫度剖面(10 月到 11 月)。

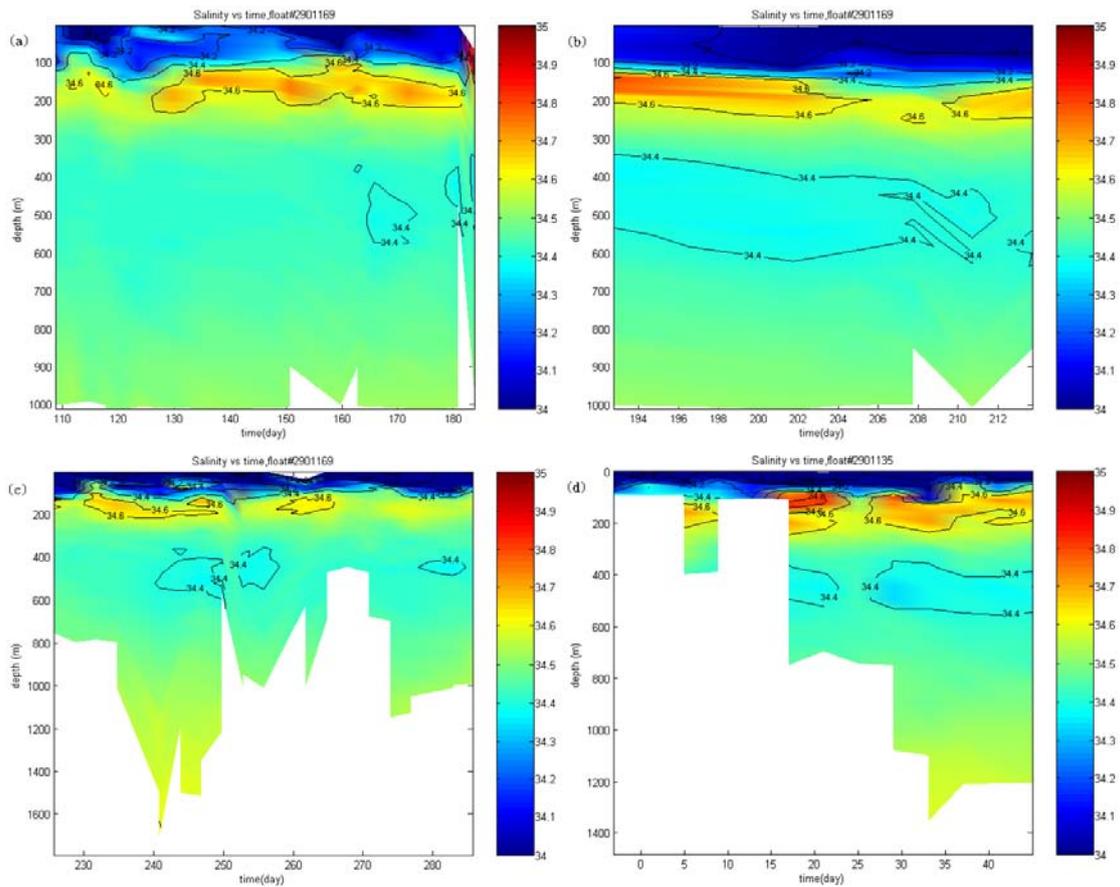


圖 5-3. 台灣西南海域的 2 顆 Argo floats 的連續鹽度剖面時序圖
 (a)float#2901169 鹽度剖面(1 月到 4 月) (b)float#2901169 鹽度剖面(4 月到 5 月)
 (c)float#2901169 鹽度剖面(5 月到 7 月) (d)float#2901135 鹽度剖面(10 月到 11 月)。

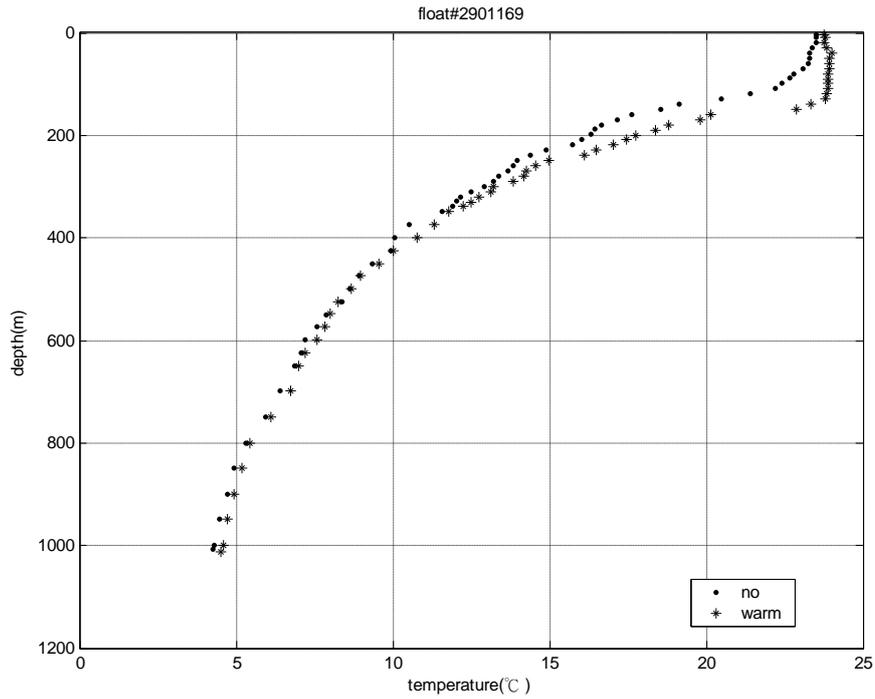


圖 5-4. 台灣西南海域 float#2901169 暖渦外(2009. 1. 22)和暖渦內(2009. 2. 6) 的溫度垂直變化。

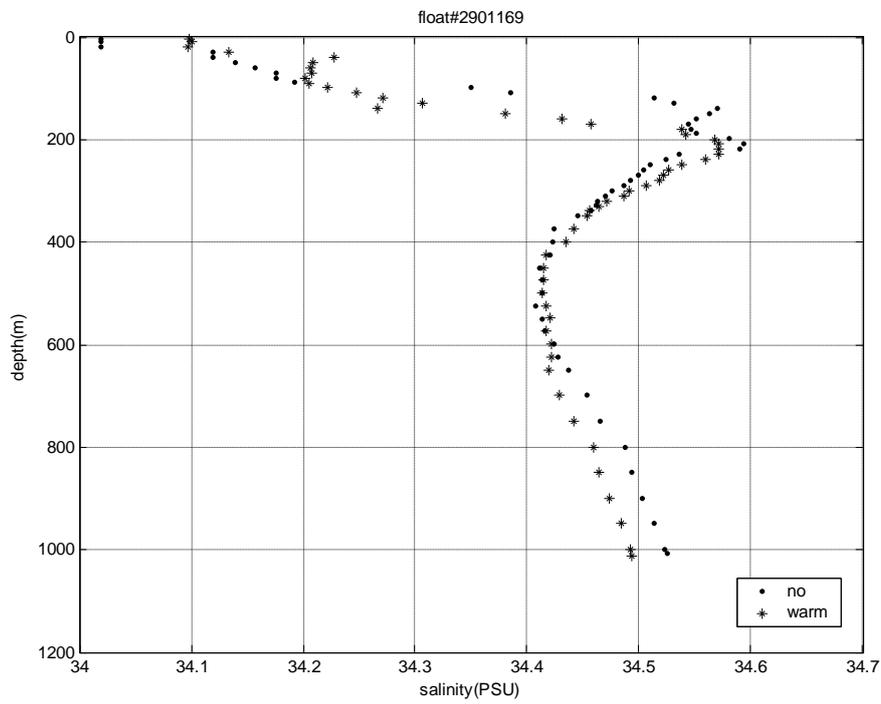


圖 5-5. 台灣西南海域 float#2901169 暖渦外(2009. 1. 22)和暖渦內(2009. 2. 6) 的鹽度垂直變化。

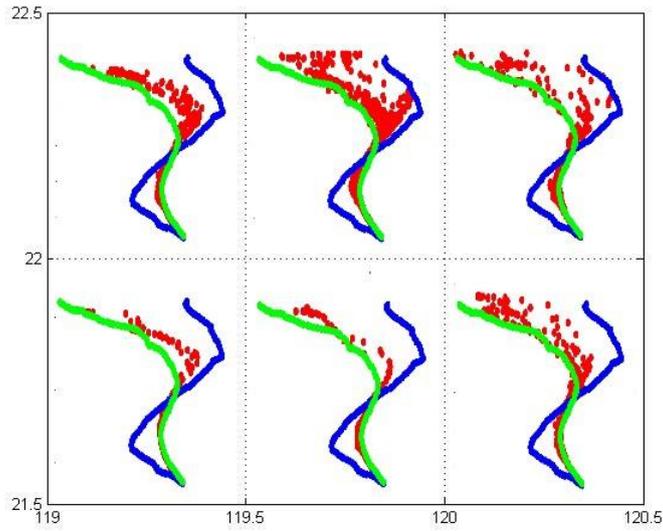


圖 5-6. 台灣西南海域 Argo float 的春季溫鹽空間分佈圖(藍色線為黑潮水，綠色線為南海水，而紅色點為 float 溫鹽資料)。

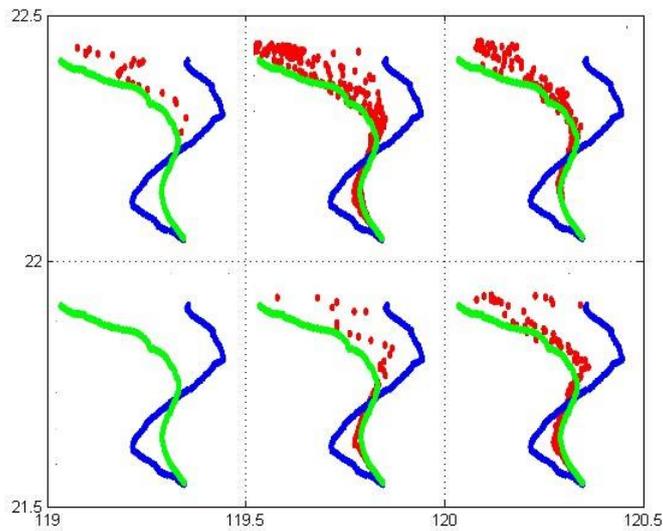


圖 5-7. 台灣西南海域 Argo float 的夏季溫鹽空間分佈圖(藍色線為黑潮水，綠色線為南海水，而紅色點為 float 溫鹽資料)。

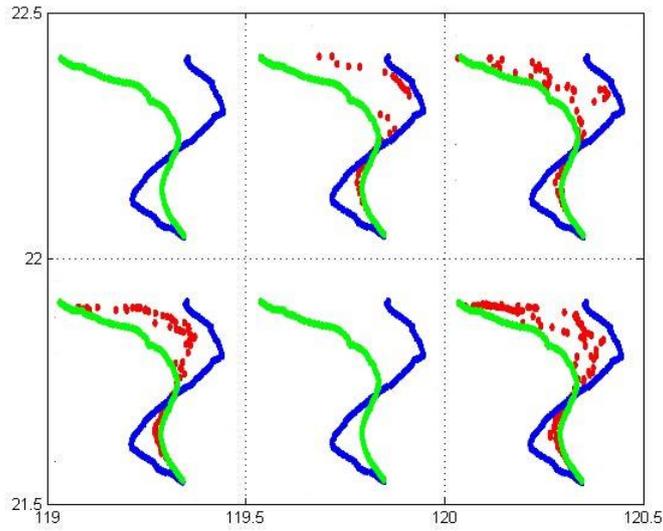


圖 5-8. 台灣西南海域 Argo float 的秋季溫鹽空間分佈圖(藍色線為黑潮水，綠色線為南海水，而紅色點為 float 溫鹽資料)。

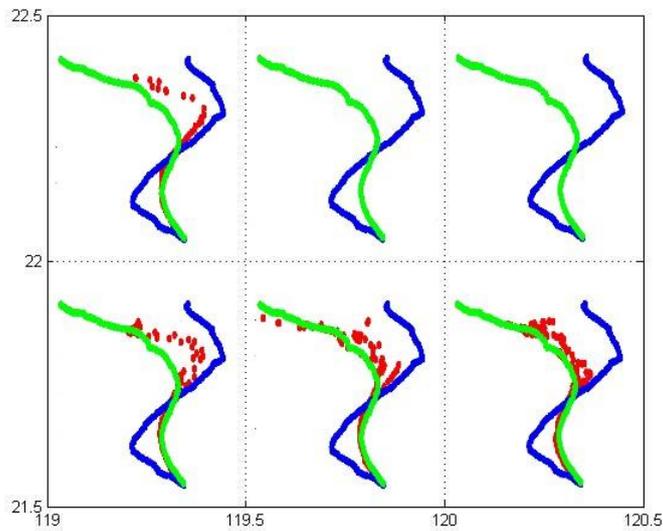


圖 5-9. 台灣西南海域 Argo float 的冬季溫鹽空間分佈圖(藍色線為黑潮水，綠色線為南海水，而紅色點為 float 溫鹽資料)。

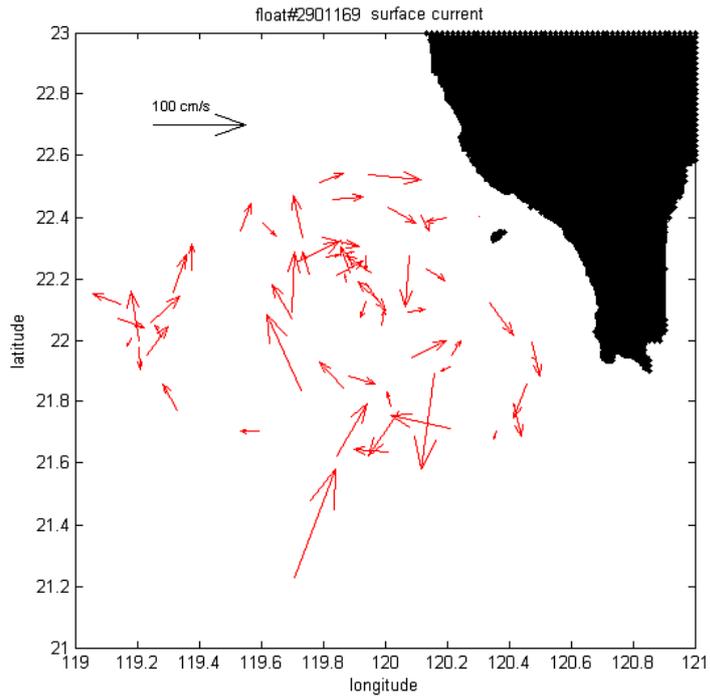


圖 5-10. 台灣西南海域渦旋 float#2901169 的表層海流。

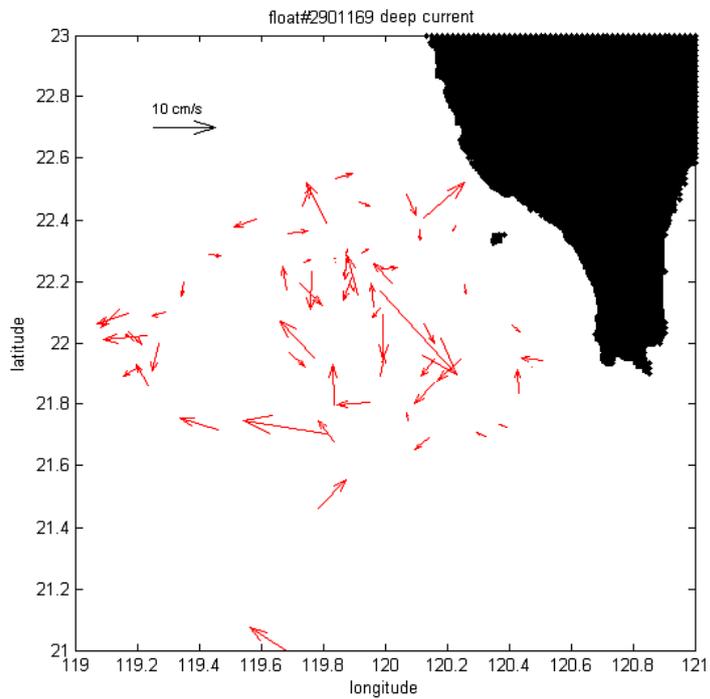


圖 5-11. 台灣西南海域渦旋 float#2901169 的深層海流。

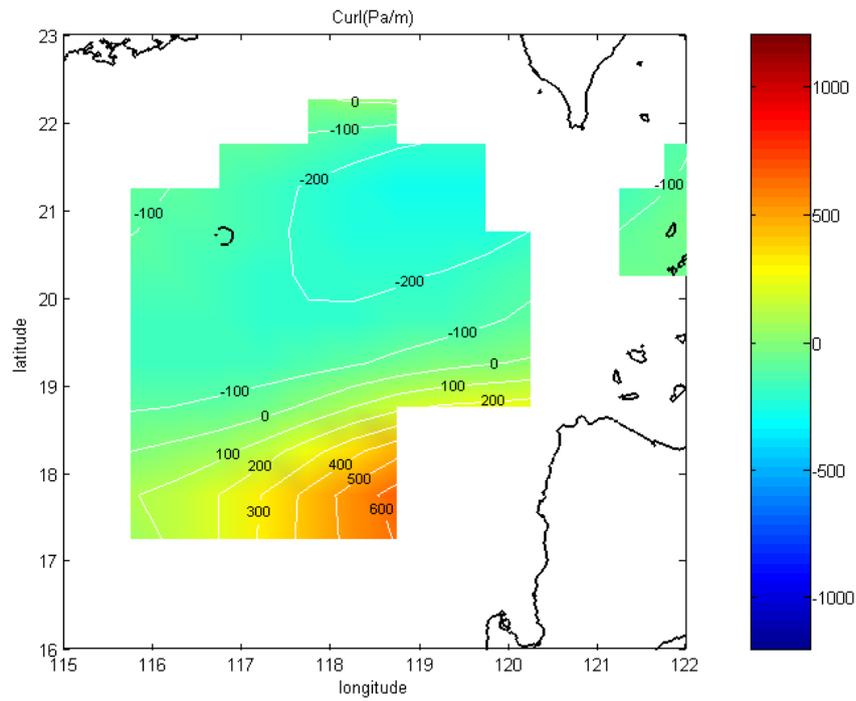


圖 5-13. 2009 年 3 月 30 日到 4 月 6 日的風應力旋度。

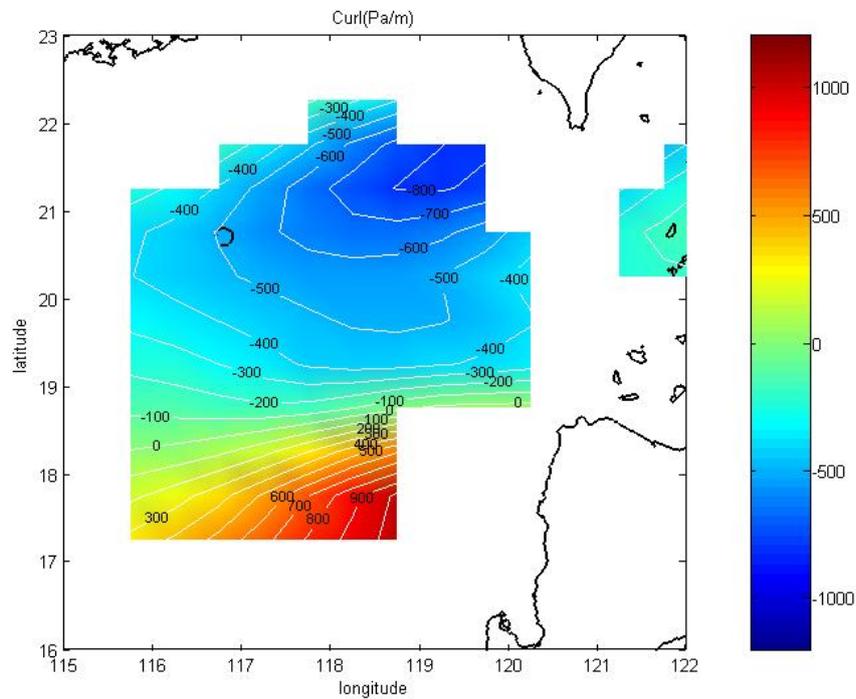


圖 5-14. 2009 年 4 月 27 日到 5 月 4 日的風應力旋度。

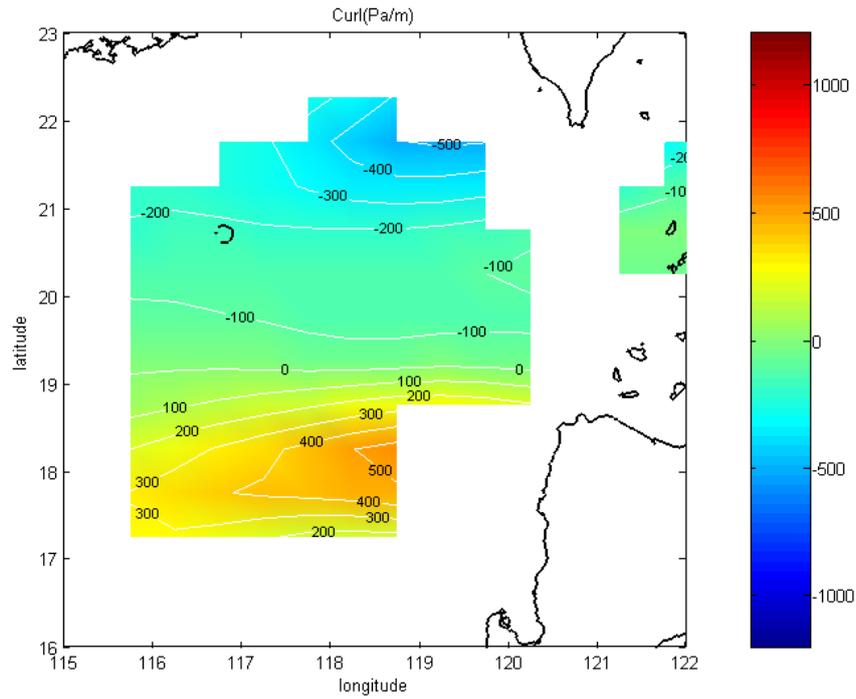


圖 5-15. 2009 年 5 月 4 日到 5 月 11 日的風應力旋度。

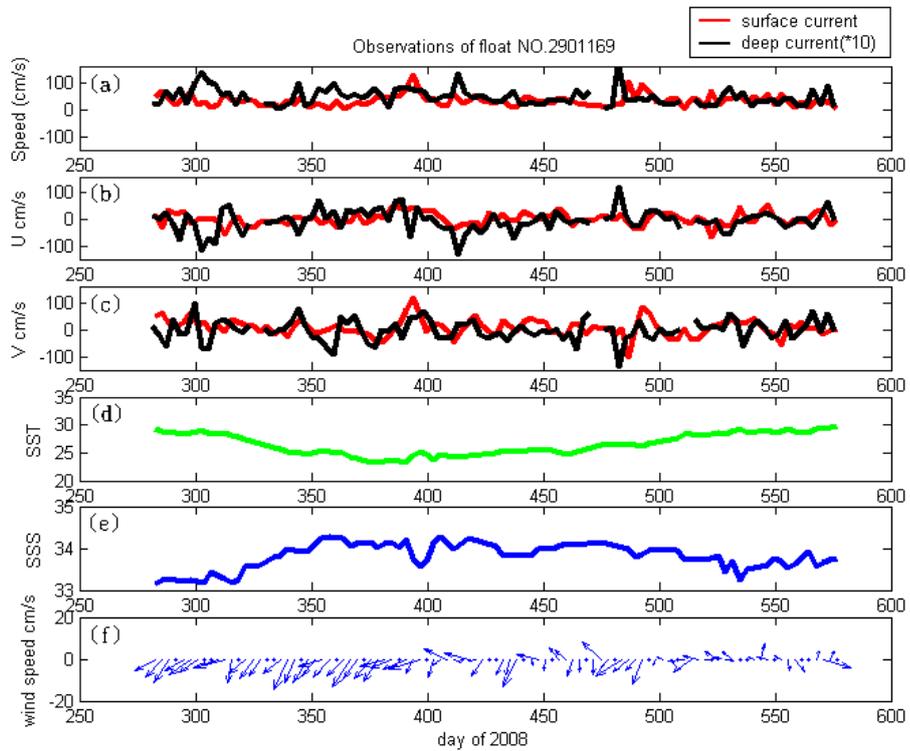


圖 5-16. 台灣西南海域 float#2901169 表層及深層海流和表面溫鹽(a)U 總流速(b)u 向量(c)v 向量(d)表面 5m 深度溫度(e)表面 5m 深度鹽度(f)QSCAT 風場資料。

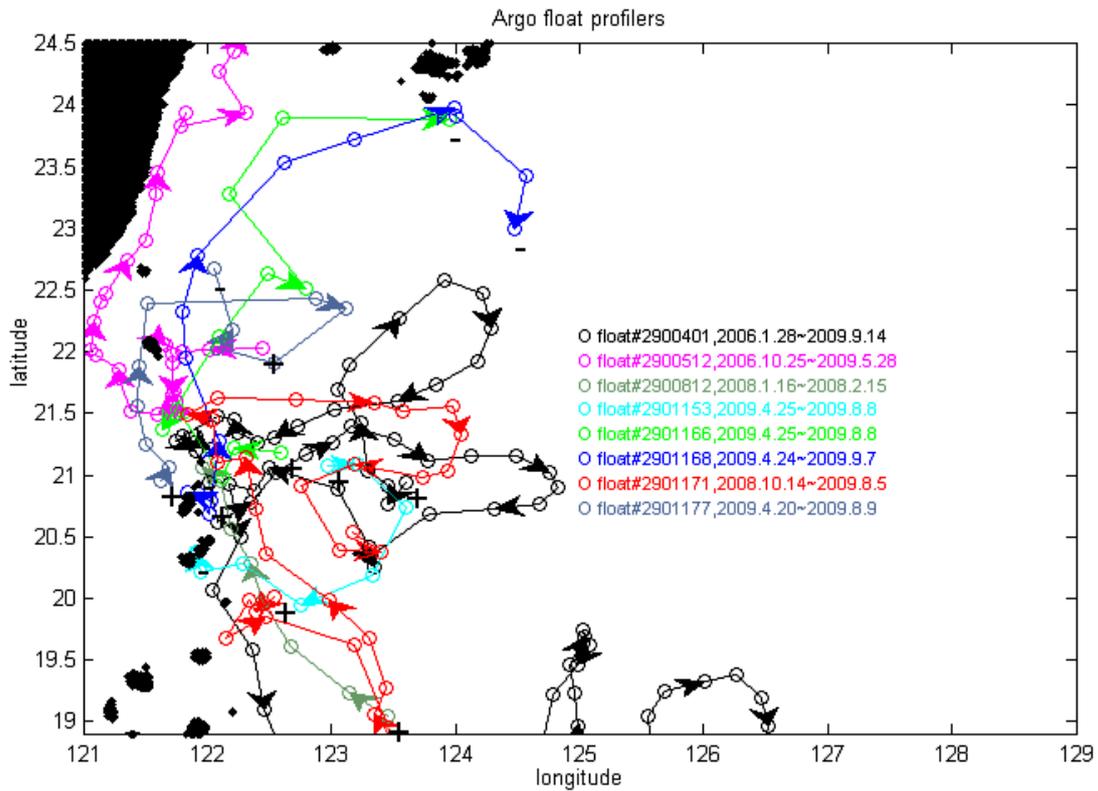


圖 5-17. 台灣黑潮以東的 8 顆 Argo floats 漂流路徑，開始位置以+號表示，結束位置-號表示。(float#2900401 cycle:5 天; float#2900512 cycle:4 天; float#2900812 cycle:4 天; float#2901153 cycle:10 天; float#2901166 cycle:10 天; float#2901168 cycle:10 天; float#2901171 cycle:10 天; float#2901177 cycle:10 天，o 是 profile 的位置，箭頭隔三個 profiles 標一次)

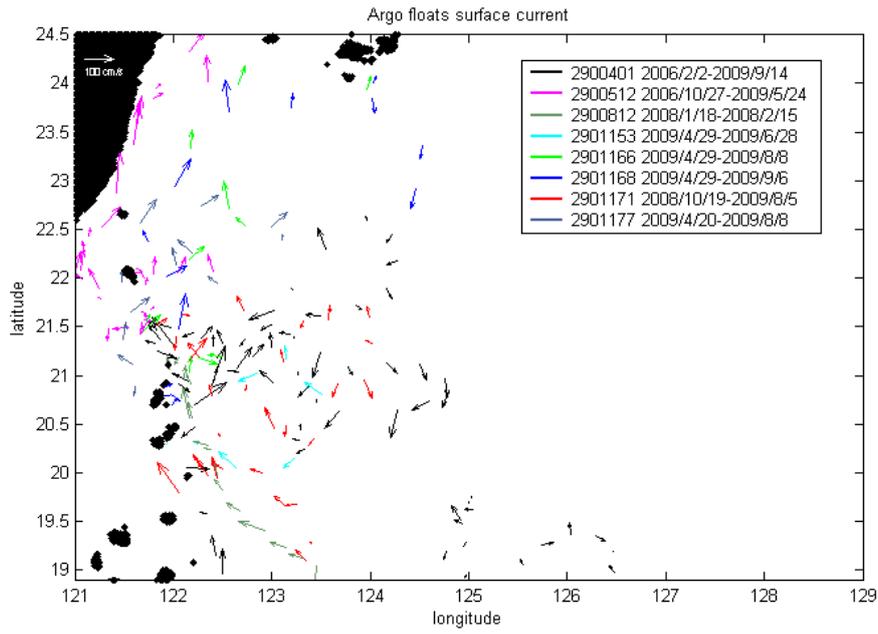


圖 5-18. 台灣黑潮以東的 8 顆 Argo floats 的表層海流流矢圖。

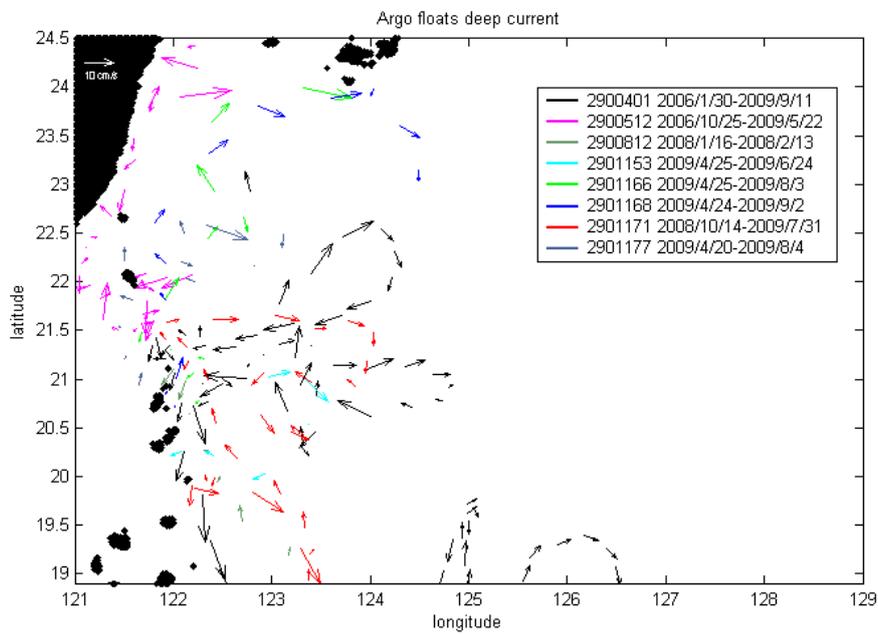


圖 5-19. 台灣黑潮以東的 8 顆 Argo floats 的深層海流流矢圖。

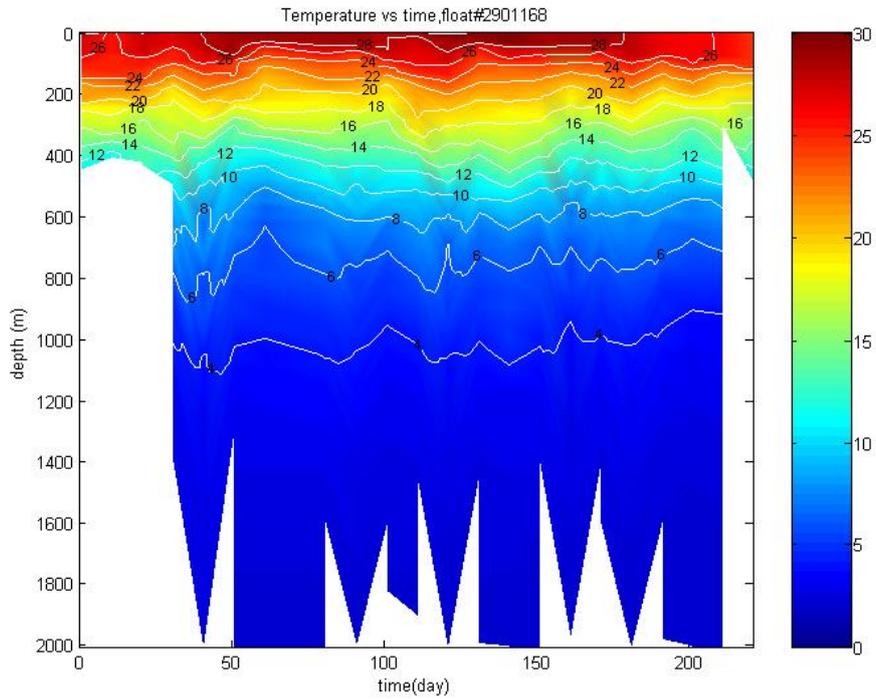


圖 5-20. 台灣黑潮以東 float#2901168 的連續溫度剖面時序圖 (2009. 4. 29~2009. 12. 6)。

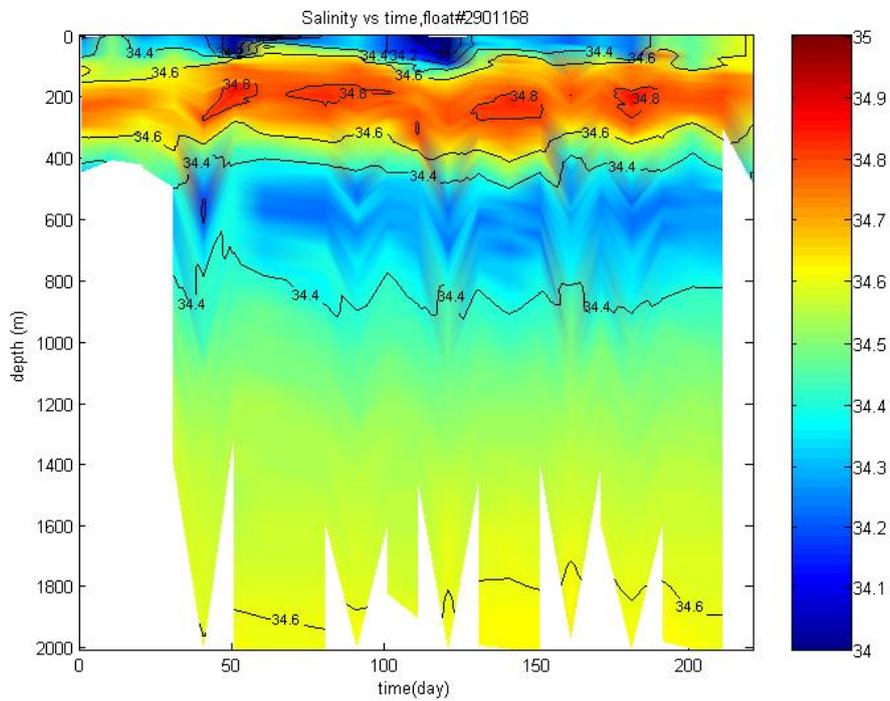


圖 5-21. 台灣黑潮以東 float#2901168 的連續鹽度剖面時序圖 (2009. 4. 29~2009. 12. 6)。

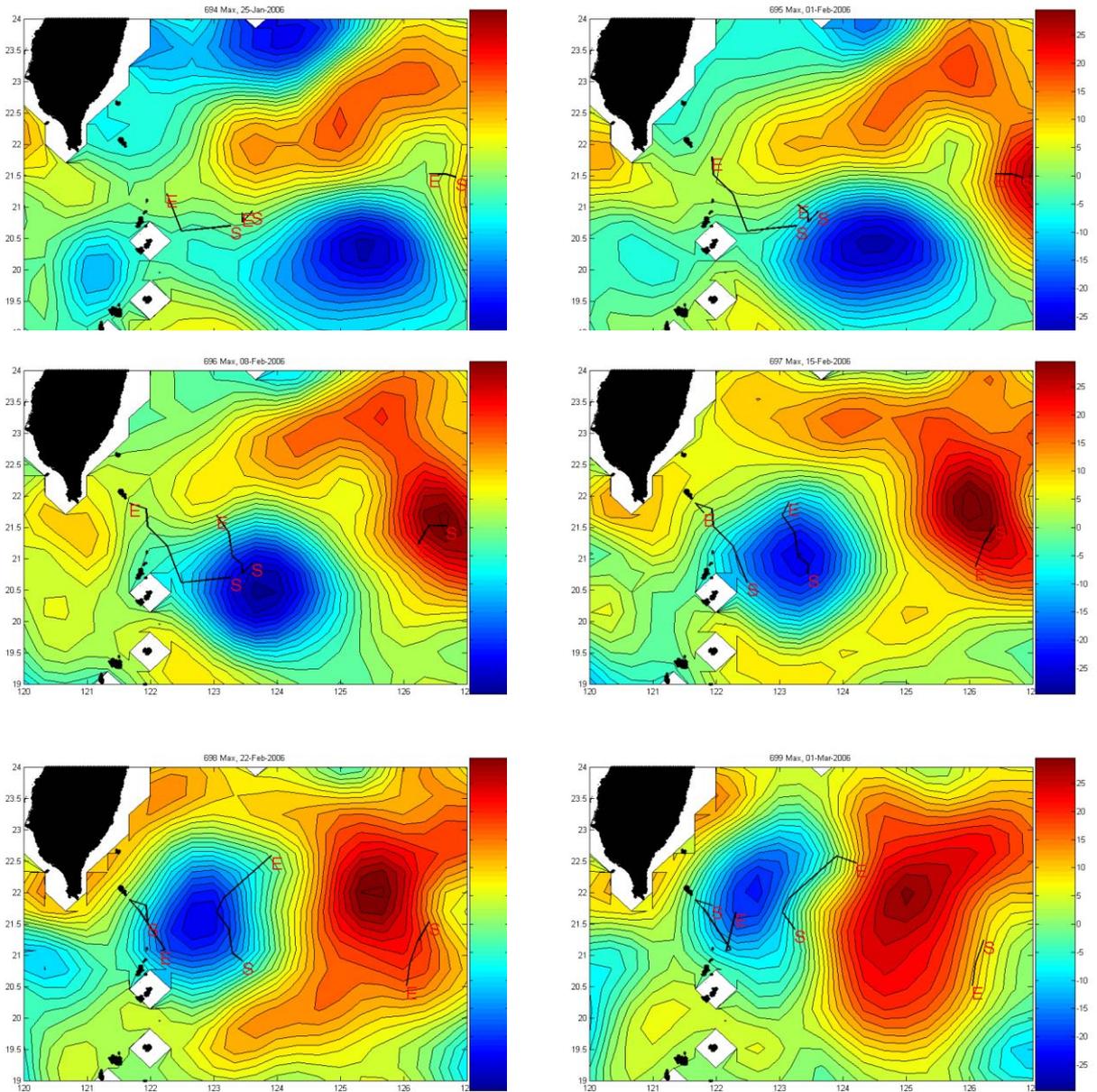


圖 5-22. 西太平洋由 float 的軌跡(黑色線)與衛星高度計(2006. 1. 25~2006. 3. 1)

所對應的渦旋現象(軌跡選擇高度計日期前後 10 天內的 float 資料)。

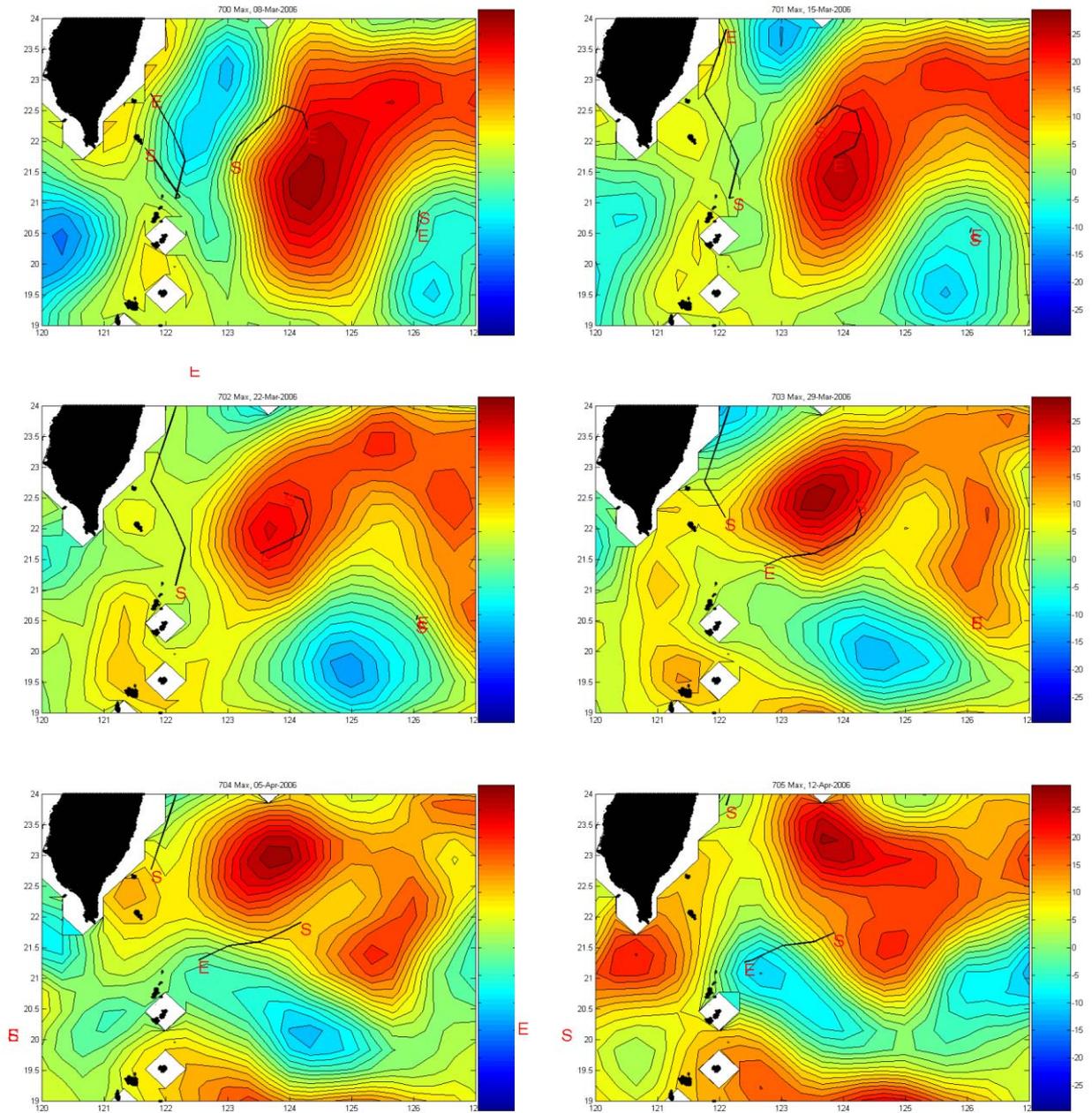


圖 5-23. 西太平洋由 float 的軌跡(黑色線)與衛星高度計(2006. 3. 8~2006. 4. 12)

所對應的渦旋現象(軌跡選擇高度計日期前後 10 天內的 float 資料)。

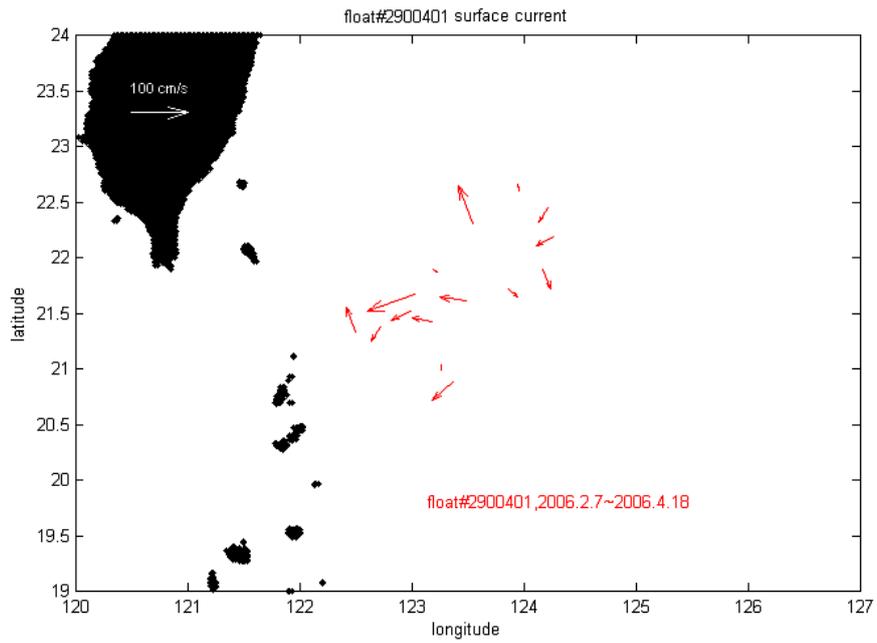


圖 5-24. 台灣黑潮以東 float#2900401 暖渦中的表層海流。

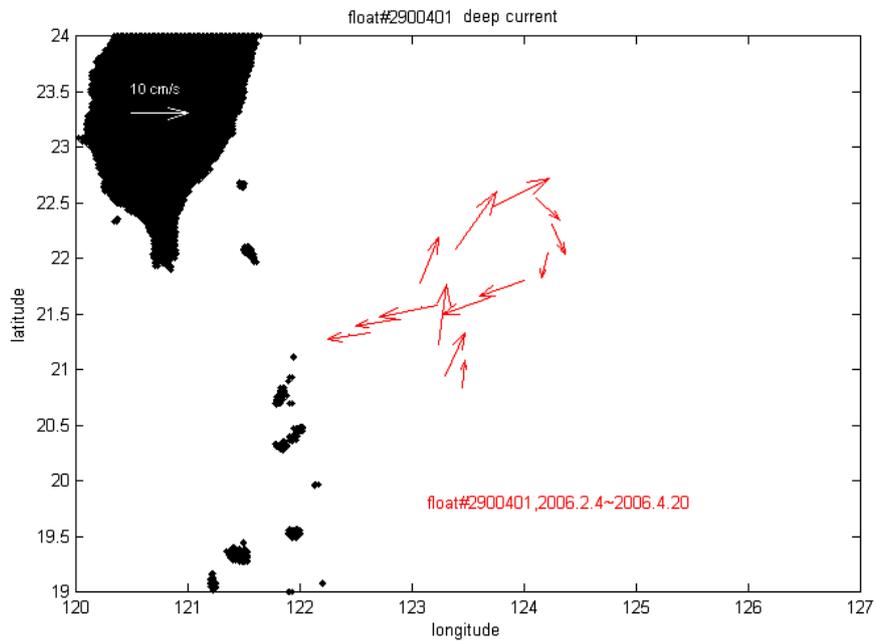


圖 5-25. 台灣黑潮以東 float#2900401 暖渦中的深層海流。

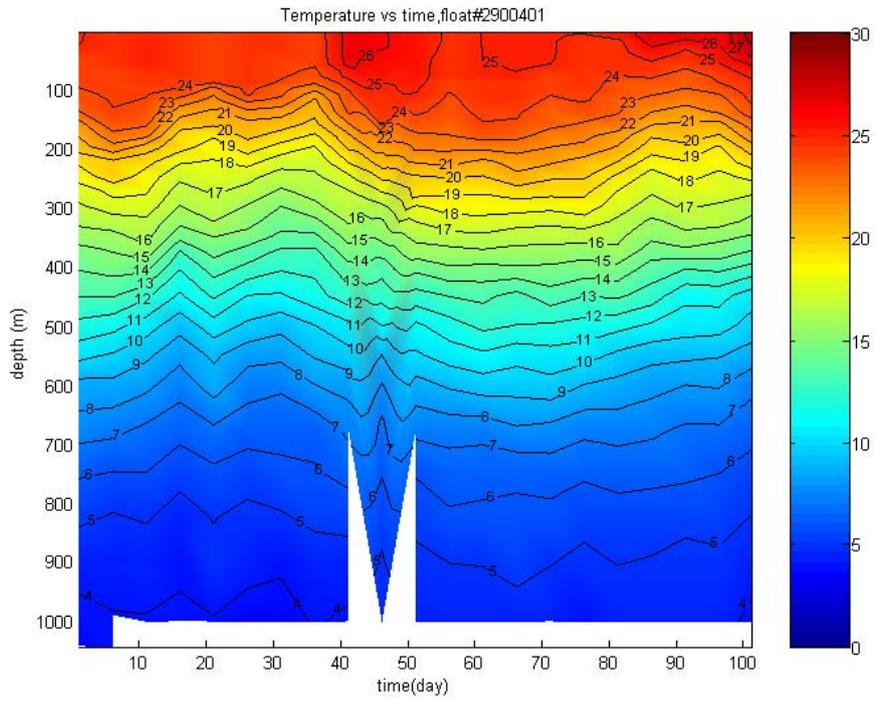


圖 5-26. 台灣黑潮以東 float#2900401 在暖渦中的溫度剖面 (2006. 1. 18~2006. 4. 28)。

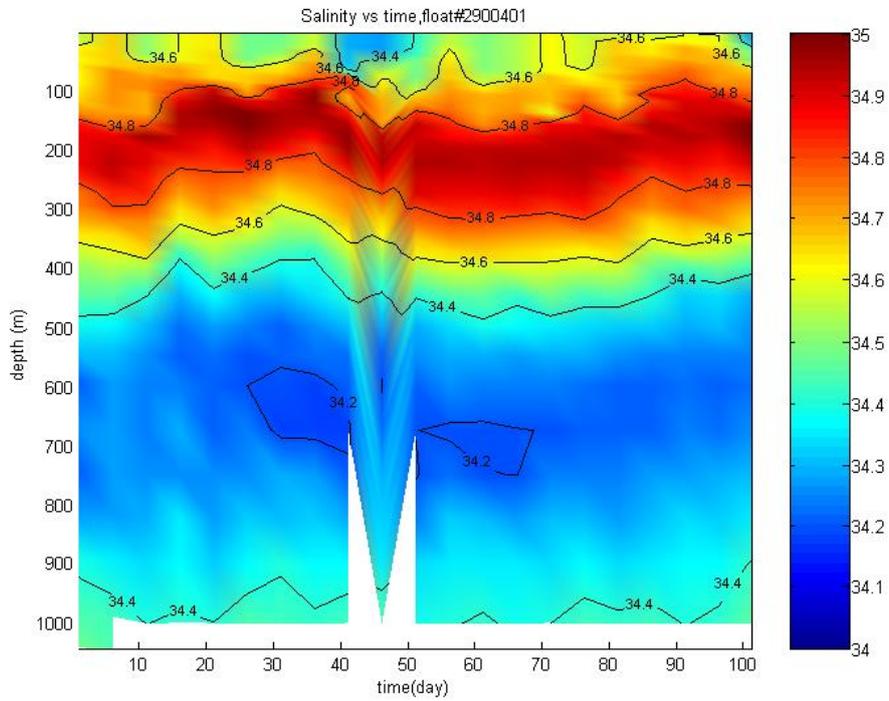


圖 5-27. 台灣黑潮以東 float#2900401 在暖渦中的鹽度剖面 (2006. 1. 18~2006. 4. 28)。

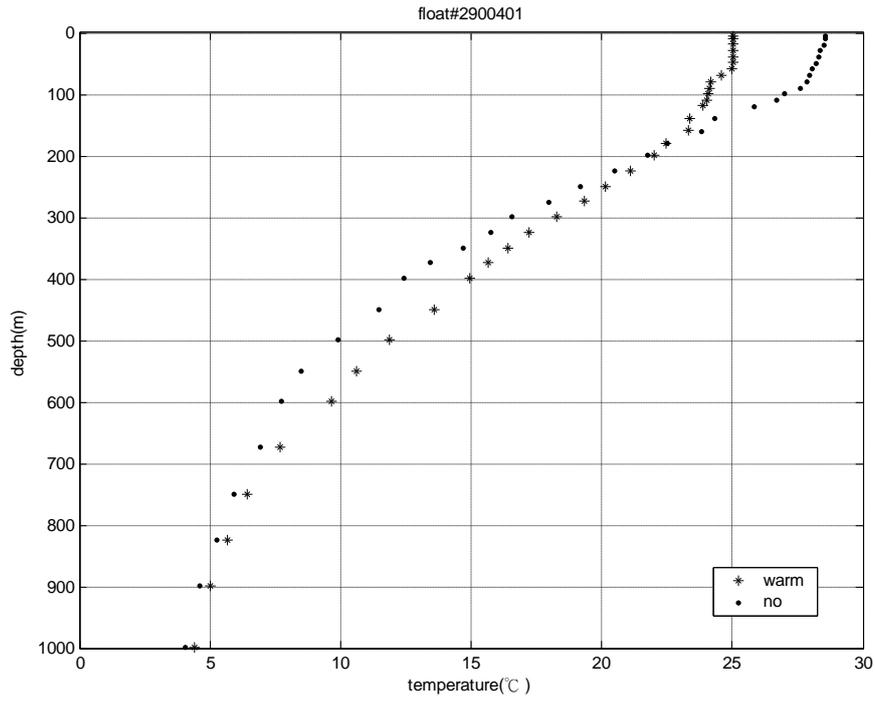


圖 5-28. 台灣黑潮以東 float#2900401 暖渦內(2006. 3. 29)和暖渦外(2006. 5. 8) 的溫度垂直變化。

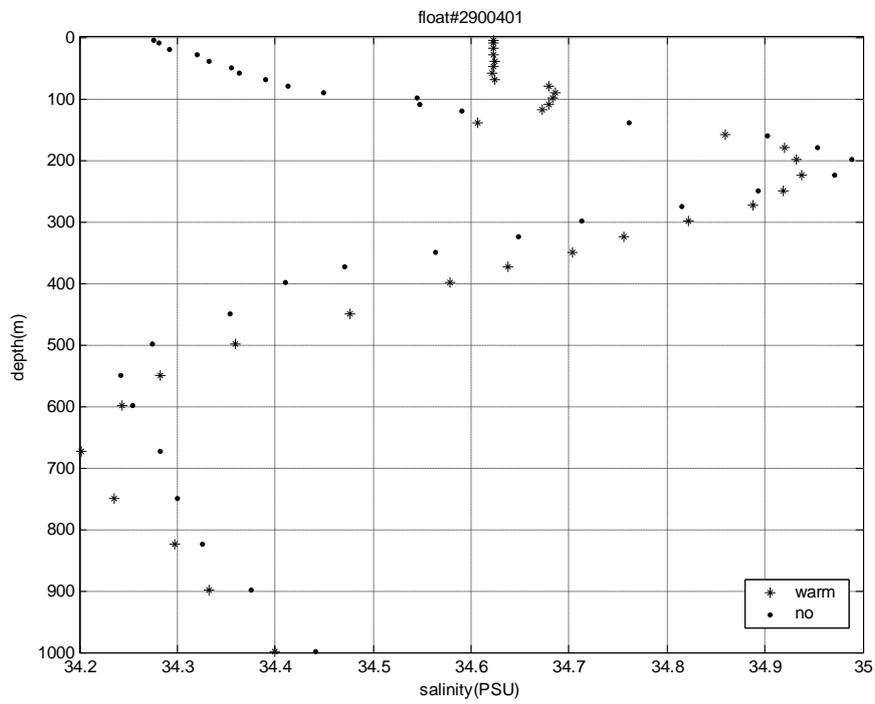


圖 5-29. 台灣黑潮以東 float#2900401 暖渦內(2006. 3. 29)和暖渦外(2006. 5. 8) 的鹽度垂直變化。

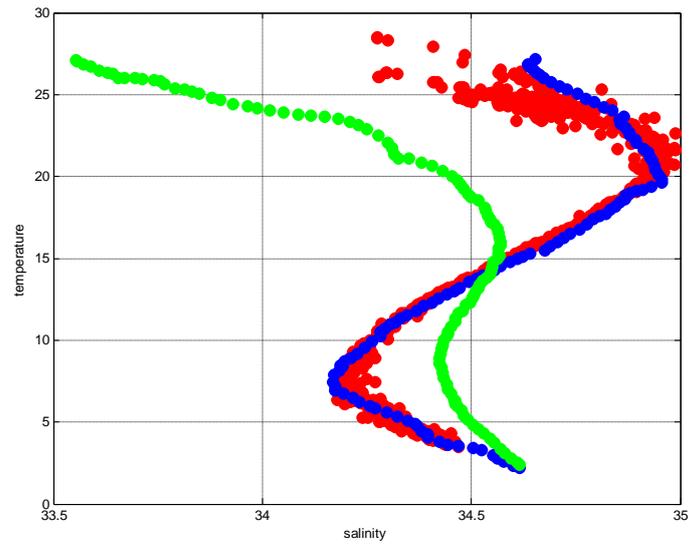


圖 5-30. 台灣黑潮以東 float#290040 暖渦內溫鹽(2006.1.18~2006.4.28)

(2006.1.18~2006.4.28)。

六、結論

本研究利用 2006-2010 年 Argo 剖面浮標資料，估算表層海流、深層海流以及溫鹽特性之時空分佈，並結合實測 Sb-ADCP、IFREMER 風應力旋度、QSCAT 風場和 AVISO 衛星高度計的海面高度異常等資料，分析在台灣周遭所觀測到的一些海洋現象和水文特性，可以獲得以下結果：

1. 台灣東北海域冬季水文特徵，發現冬天時期隨著黑潮北上的 Argo float 最常進入陸棚區域(25°N - 26°N , 122°E - 123°E)，湧升現象在水深 150m 以上非常明顯，由上下層的溫度垂直結構可以看出冷渦的構造，在 50m 和 100m 深的溫降分別達到 5.1°C 和 8°C ，發生冷渦時的表層海流介於 $51.4 \sim 120.1 \text{ cms}^{-1}$ 之間，深層海流介於 $3.6 \sim 10.8 \text{ cms}^{-1}$ 之間，在台灣東北角與黑潮之間存在著一股向南的深層回流最多可達到 30 cms^{-1} ，應該是此區域地形變淺至水深 200m 並受到當地反時針流場造成的海流值。
2. 呂宋海峽的表層海流有季節性變化，夏季為流出南海，秋季主要為流入南海，深層海流則無論夏季或秋季均為流入南海居多，最大流速約為 6 cms^{-1} ，在台灣南端有一個黑潮套流存在，海流進入北南海後海流值較紊亂，可能是受到南海內部海流及黑潮套流等因素影響所致，秋季和冬季黑潮水入侵南海的現象比夏季更明顯，春夏兩季北南海的混合層深度大概 50m 深，冬季呂宋海峽東邊的混合層深達 110m。
3. 研究結果指出台灣西南海域 2009 年時存在一個反氣旋暖渦，渦旋在表

層的最大直徑約為 110 km，漂流打轉期間的表層海流的 u 向量平均為 2.14 cms^{-1} ，v 向量平均為 3.84 cms^{-1} ，總平均流速為 4.39 cms^{-1} ，平均流向朝西北，深層海流的 u 向量平均為 -0.73 cms^{-1} ，v 向量平均為 -0.36 cms^{-1} ，總平均流速為 0.81 cms^{-1} ，表層流速最大值出現在 5 月初，流速為 104 cms^{-1} ，此時期的船測 ADCP 資料亦可証實順時針暖渦的存在，風應力旋度達到最大負值，同時有強化黑潮水入侵的趨勢，打轉期間伴隨著 150-210m 深的黑潮混合水，顯然暖渦的水文特性和黑潮水侵入有所相關，而風應力旋度只是改變渦旋強度的次要因素，地形跟海流型態才是造成順時針運動的主要成因。

4. 台灣黑潮東邊海域的一個暖渦外圍的表層流速最快可達 89 cms^{-1} 左右，深層海流介於 $4.5 \sim 12.6 \text{ cms}^{-1}$ ，曾有冷渦通過其外圍，成熟期直徑可達 300km 以上，冷暖渦交匯的兩天最大溫差發生在水深 160m，與離開暖渦時比較，相差達到 4.5°C ，暖渦內部溫度在 200m 以下才開始有高溫特性，可見暖渦上層有季節性變化，下層則是渦旋結構主導，研究中的暖渦比起冷渦更容易存在，且也較穩定。

參考文獻

- 楊益(1999)：中尺度渦旋對台灣海流(黑潮)體積通量之影響，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。
- 周慧(2006)：北太平洋西邊界流系的某些特徵及變化規律研究，博士論文，中科院海洋研究所。
- 黃企洲，巴士海峽黑潮流速和流量的變化. *熱帶海洋*, 1983, 2(1):35-41
- 劉秦玉，劉倬騰，鄭世培，黑潮在呂宋海峽的形變及動力機制. *青島海洋大學學報*, 1996, 卷(期):413-420
- 蘇京志，盧筠，侯一筠，南海表層流場的衛星跟蹤浮標觀測結果分析. *海洋與湖沼*, 2002, 卷(期):33-2
- 徐洪周，許金電，李立，2001年冬春轉換期間南海東北部水文特徵. *海洋學報*, 2007, 卷(期):29-5
- 蘇京志，王東曉，張人禾，南海 Argo 浮標觀測結果初步分析. *海洋與湖沼*, 2008, 卷(期):39-2
- 劉增宏，許建平，朱伯康，一個 Argo 剖面浮標的觀測過程及其資料應用探討. *熱帶海洋學報*, 2008, 卷(期):27-4
- Carval, T. B. Keeley, Y. Takatsuki and T. Yoshida, 2003: ARG0 data management user' s manual version 2.01.
- Centurioini, 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.
- Chang, Y. L., C. R. Wu and L. Y. Oey, 2009: Bimodal behavior of the seasonal upwelling off the northeastern coast of Taiwan. *J. Geophys. Res.*, 114, C03027, doi:10.1029/2008JC005131.
- Chen, C. T. and M. H. Huang, 1996: A mid-depth front separating the South China Sea Water and the Philippine Sea Water. *J. Oceanogr.*, 52, 17-25.
- Cushman-Roisin, B., E. P. Chassignet and B. Tang, 1990: Westward motion of mesoscale eddies. *J. Phys. Oceanogr.*, 20, 758-768.
- De Boyer Montegut, C., G. Madec, A. S. Fischer, A. Lazar and D. Iudicone, 2004: Mixed layer depth over the global ocean: An examination of profile data and a profile-based climatology. *J. Geophys. Res.*, 109, C12003, doi:10.1029/2004JC002378.
- Emery, W. J. and R. E. Thomson, 1998: *Data analysis methods in Physical Oceanography*. Pergamon, New York, 328-328.
- Fang, G. H., W. D. Fang, Y. Fang and K. Wang, 1998: A survey of studies on the South China Sea upper ocean circulation. *Acta Oceanogr. Taiwan.*, 37, 1-16.

- Farris, A. and M. Wimbush, 1996 : Wind-induced Kuroshio intrusion into the South China Sea. *J. Oceanogr.*, 52, 771 - 784.
- Jia, Y. and Q. Liu, 2004 : The eddy shedding from the Kuroshio bend at Luzon Strait. *J. Oceanogr.*, 60, 1063 - 1069.
- Johns, W. E., T. N. Lee, D. Zhang, R. Zantopp, C. T. Liu and Y. Yang, 2001 : The Kuroshio east of Taiwan : Moored transport observations from the WOCE PCM-1 array. *J. Phys. Oceanogr.*, 31, 1031-1053.
- Lebedev, V. Konstantin, Y. Hiroshi, N. A. Maximenko, and P. W. Hacker: Velocity data assessed from trajectories of Argo floats at parking level and at the sea surface. IPRC Technical Note. 4(2) June 12, 2007
- Lee, I. H., W. S. Chuang and D. P. Wang, 2003 : Structure and propagation of a large cyclonic eddy in the western North Pacific from analysis of XBT and altimetry data and numerical simulation. *Terr. Atmos. and Ocean. Sci.*, 14(2), 183-200.
- Levitus, S., R. Burgett and T. P. Boyer, 1994 : World ocean atlas 1994, Salinity. NOAA Atlas NESDIS 3, 99 pp., NOAA, Silver Spring, Md.
- Li, L. and B. Wu, 1989 : A Kuroshio loop in South China Sea? On circulations of the north-eastern South China Sea. *J. Oceanogr.*, 8, 89 - 95.
- Li, L., W. D. Nowlin, Jr. and J. L. Su, 1998 : Anticyclonic rings from the Kuroshio in the South China Sea. *Deep Sea Res., Part I*, 45, 1469 - 1482.
- Li, L. and T. Pohlmann, 2002 : The South China Sea warm-core ring 94S and its influence on the distribution of chemical tracers. *Ocean Dyn.*, 52, 116 - 122.
- Ohno, Y., N. Iwasaka, F. Kobashi, et al 2009 : Mixed layer depth climatology of the North Pacific based on Argo observations. *J. Oceanogr.*, 65 (1), 1-16.
- Park, J. J., K. Kim and W. R. Crawford, 2004 : Inertial currents estimated from surface trajectories of ARGO floats. *Geophys. Res. Lett.*, 31, L13307, doi:10.1029/2004GL020191.
- Park, J. J., K. Kim, B. A. King and S. C. Riser, 2005 : An advanced method to estimate deep currents from profiling floats. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 22, 1294 - 1304.
- Roemmich, D. and J. Gilson, 2001 : Eddy transport of heat and thermocline waters in the North Pacific : A key to interannual/decadal climate variability. *J. Phys. Oceanogr.*, 13, 675 - 687.

- Shaw, P. T., 1991 : The seasonal variation of the intrusion of the Philippine Sea water into the South China Sea. *J. Geophys. Res.*, 96, 821 – 827.
- Sheremet, V. A., 2001 : Hysteresis of a western boundary current leaping across a gap. *J. Phys. Oceanogr.*, 31, 1247 – 1259.
- Sun, L., Y. J. Yang and Y. F. Fu, 2009 : Impacts of Typhoons on the Kuroshio large meander: Observation evidences. *Atmos. and Oceanic Sci. Lett.*, 2(1), 45–50.
- Tang, T. Y., Y. Hsueh, Y. J. Yang and J. C. Ma, 1999 : Continental slope flow northeast of Taiwan. *J. Phys. Oceanogr.*, 29, 1353–1362.
- Tseng, R. S. and Y. T. Shen, 2003 : Lagrangian observations of surface flow patterns in the vicinity of Taiwan. *Deep Sea Res., part II.*, doi:10.1016/S0967-0645(3)00012-2.
- Wang, G. H., J. L. Su and P. C. Chu, 2003 : Mesoscale eddies in the South China Sea observed with altimeter data. *Geophys. Res. Lett.*, 30(21), 2121, doi:10.1029/2003GL018532.
- Weistein, E. W., 1999 : The CRC concise encyclopedia of mathematics. Chapman & Hall/CRC, p.1047.
- 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., H. F. Lu and S. Y. Chao, 2008 : A numerical study on the formation off northeast Taiwan. *J. Geophys. Res.*, 113, C08025, doi:10.1029/2007JC004697.
- Wyrtki, K., 1961 : Physical oceanography of the Southeast Asian waters. NAGA Rep. 2, 195 pp., Scripps Institution of Oceanography, La Jolla, Calif.
- Xie, J. and J. Zhu, 2008 : Estimation of the surface and mid – depth currents from Argo floats in the Pacific and error analysis. *J. Mar Syst.*, 73, 61–75, doi:10.1016/j.jmarsys.2007.09.001.
- Yang, J., D. Wu and X. Lin, 2008 : On the dynamics of the South China Sea Warm Current. *J. Geophys. Res.*, 113, C08003, doi: 10.1029/2007JC004427.
- Yuan, D., W. Han and D. 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., W. Han and D. Hu, 2007 : Anticyclonic eddies northwest of Luzon in summer – fall observed by satellite altimeters. *Geophys. Res. Lett.*, 34, L13610, doi:10.1029/2007GL029401.

Zhang, D., T. N. Lee, W. E. Johns, C. T. Liu and R. Zantopp, 2001 :
The Kuroshio east of Taiwan: Modes of variability and
relationship to interior ocean mesoscale eddies. *J. Phys.*
Oceanogr., 31, 1054 - 1074.

附錄一 本研究所利用 Argo floats 之參數設定和資訊

台灣東北海域

ID	Time(開始投放至結束 或迄今)	Cycle(day)	Parking depth(m)	投放 經度	投放 緯度	剖 面 數	CTD 測量的最淺 (最深)深度(m)
2900400	2006. 1. 27~2006. 5. 7	5	1000	123. 3	20. 7	23	225. 9(1050. 7)
2900511	2006. 10. 25~2007. 4. 17	4	1000	121. 3	21. 6	44	104. 7(1199. 5)
2900512	2006. 10. 25~2009. 5. 28	4	1000	122. 4	22	237	199. 8(1199. 5)
2900817	2008. 4. 13~2008. 11. 2	4	1000	116. 6	17. 9	51	219(1216. 8)
2900797	2007. 7. 17~2008. 12. 16	4	1000	123. 6	21. 5	130	206. 1(1237. 5)
2901167	2008. 10. 14~2009. 8. 5	10	1000	122. 8	20. 2	27	954. 2(2006. 2)
2900383	2006. 4. 17~2010. 1. 2	4	1000	125. 6	23. 1	340	109. 5(999. 3)
2901154	2008. 6. 3~2010. 2. 23	10	1000	122. 4	21. 4	64	540. 6(2001. 3)
5900056	2004. 4. 18~2006. 2. 27	4	1000	125. 8	21. 8	172	224. 9(999. 3)
5901579	2008. 6. 1~2009. 3. 10	1	500	130. 1	17	284	108. 2(539. 1)

呂宋海峽

ID	Time(開始投放至結束或 迄今)	Cycle(day)	Parking depth(m)	投放 經度	投放 緯度	剖 面 數	CTD 最淺(最深) 深度(m)
2900817	2008. 4. 13~2008. 11. 2	4	1000	116. 6	17. 9	51	219(1216. 8)
2901170	2008. 10. 8~2009. 11. 22	3	1000	121. 2	19. 8	137	442. 5(2005. 9)
2901172	2008. 10. 14~2009. 11. 23	10	1000	122. 5	19. 7	41	980(2019. 9)
2901180	2009. 7. 8~2009. 11. 16	10	1000	121	20. 2	14	168. 3(2000. 2)
2901183	2009. 7. 5~2009. 11. 23	10	1000	120. 8	19. 9	15	1097. 2(2000. 4)

台灣西南海域

ID	Time(開始投放至結束 或迄今)	Cycle(day)	Parking depth(m)	投放 經度	投放 緯度	剖 面 數	CTD 最淺(最深) 深度(m)
2900819	2008. 4. 14~2009. 9. 15	4	1000	118. 7	20. 2	170	127. 4(1224. 5)
2901135	2009. 4. 9~2009. 11. 22	4	1000	119	19	114	93. 3(1482. 8)
2901169	2008. 10. 8~2009. 8. 9	3	1000	120. 7	20. 1	76	395(2014. 5)

台灣黑潮以東

ID	Time(開始投放至結束 或迄今)	Cycle(day)	Parking depth(m)	投放 經度	投放 緯度	剖 面 數	CTD 最淺(最深) 深度(m)
2900401	2006. 1. 28~2009. 9. 14	5	1000	123. 6	20. 9	268	998. 4(1044)
2900512	2006. 10. 25~2009. 5. 28	4	1000	122. 4	22	237	199. 8(1199. 5)
2900812	2008. 1. 16~2008. 2. 15	4	1000	123. 5	19	8	1188. 3(1195. 8)
2901153	2009. 4. 25~2009. 8. 8	10	1000	123	21. 1	11	2002. 6(2019. 3)
2901166	2009. 4. 25~2009. 8. 8	10	1000	122. 6	21. 2	11	1099. 5(2012)
2901168	2009. 4. 24~2009. 9. 7	10	1000	122	20. 8	14	409(2006. 5)
2901171	2008. 10. 14~2009. 8. 5	10	1000	122. 5	20	30	1944. 5(2007. 3)
2901177	2009. 4. 20~2009. 8. 9	10	1000	120. 8	19. 9	12	649. 6(2000. 3)

附錄二 本研究之 Argo floats 處理時使用的軟體

美國網站 USGODAE(<http://www.usgodae.org/>)下載的剖面浮標資料格式為 NetCDF(簡稱 NC)格式,資料分別有 meta、profile、trajectory 和 technical 四個部分,NOAA(<http://www.nodc.noaa.gov/dsdt/tools/ADE/index.htm>)提供的 Argo Data Explorer version 1.2(簡稱 ADE_1_2)程式,將其轉成 ASCII 格式,另外也可安裝 ncbrowse 瀏覽 NC 檔裡的訊息。

法國網站 IFREMER(<http://www.coriolis.eu.org/>)則下載溫鹽剖面資料,可選擇格式有 ASCII 和 NetCDF。