

# 行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

※※※

※

※ (黑潮上游地區衛星測高觀測 (三)) ※

※ 冷暖渦漩之追蹤及分析 ※

※※※

計畫類別：個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：

執行期間： 90年08月01日至91年07月31日

計畫主持人：黃金維

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

執行單位：交通大學土木工程學系

中華民國 91 年 10 月 31 日

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

(黑潮上游地區海洋動力學實驗—子計畫五：

黑潮上游地區衛星測高觀測Ⅲ)

計畫編號：NSC 90-2611-M-009-002-OP2

執行期限：90年08月01日至91年07月31日

主持人：黃金維

國立交通大學土木工程學系

E-mail: hwang@geodesy.cv.nctu.edu.tw, Fax: (03) 5716257

計畫參與人員：

## 一、中文摘要

為了追蹤 Subtropical Counter Current (STCC) 區域的中尺度渦漩，本計畫利用 TOPEX/POSEIDON(T/P) 的測高資料來取得相對動力高及地轉流，利用動力模式來求算冷暖渦漩的半徑、中心位置、渦度、剪切變形、伸縮變形、散度及中心速度。所研究的冷暖渦漩大約都經過 220 天左右並沿著 22°N-24°N 的帶狀區域移動到台灣東部的黑潮附近，並影響黑潮的運通量及路徑。在行進的過程中，渦漩的形狀會經常改變，但大致上會維持橢圓形，而經由海水溫度異常(SSTA)及浮球證實了本計劃所追蹤的冷暖渦漩確實存在，所偵測到的暖渦漩行進的平均速度大約是西北向 8.3km/day，而冷渦漩行進的平均速度大約是西南向 7.6km/day，這二個渦漩都遵守著向西移動的原則。

**關鍵詞：**衛星測高、黑潮、地轉流、渦漩、海水位高度異常、動力特徵

## Abstract

Relative dynamic heights and geostrophic fields are derived from TOPEX/POSEIDON altimetry data and then used to track mesoscale eddies over the Subtropical Counter Current. The radii, centers, vorticities, shearing deformation rates, stretching deformation rates, divergences and center velocities of a cyclonic eddy and an anticyclonic eddy are determined using a kinematic model that assumes an instantaneous center velocity and constant velocity gradients. Both eddies survive for about 220 days and propagate westwards along a zonal band near 22°N-24°N to reach the Kuroshio Current east coast of Taiwan, where the eddies are dissipated and in turn affect the Kuroshio in both volume transport and path. Sea surface temperature anomaly data and drifter data confirm the existence of these two eddies. The radii of both eddies vary and their shapes are mostly elliptical during propagation. The anticyclonic eddy has an averaged propagating speed of 8.3 km/day and contains largely westward and northward velocity components. The averaged propagating speed of the cyclonic eddy is 7.6 km/day and the velocity contains largely westward and southward components. The propagations of these two eddies conform to the standard theory of westward motion of mesoscale eddies but with larger speeds and varying directions.

Keywords: satellite altimetry, Kuroshio, geostrophic current, eddy, sea level anomaly, kinematic properties

## 二、緣由與目的

在太平洋西邊的 STCC 所產生的渦漩是由於不穩定的壓力造成，這個結果造成中尺度的渦漩會有向西方向的移動(例如 Cushman-Roisin et al., 1990)，最後到達太平洋西邊的大陸板塊，由其是在台灣東岸。在消逝之前，這些渦漩會和黑潮交互作用並改變黑潮的運通量及路徑(Johns et al., 2001; Yang et al., 2001)，衛星測高的技術已經被廣泛應用在分析渦漩動能及海水面變化方面，在許多文獻中都有提到渦漩的研究。而在黑潮上游本來就有著旺盛的渦漩活動，引發了我們非常大的興趣對於研究黑潮和渦漩交互作用。而在 KUDEX 的子計畫中，本研究的焦點著重在利用 T/P 測高資料來確認 STCC 區域內的渦漩並研究其動力的特性。而衛星所偵測到的渦漩可由浮球資料及? 度來加以證實，在許多的文獻中都有提到如何利用公式來確認渦漩，而完整的渦漩流體力學模式可參考 Carton (2001)，在 Hwang and Chen (2000)中對於渦漩的動力模式也有詳細的介紹。

## 三、結果與討論

### 1. 暖渦漩的追蹤

當渦漩遇到西方邊界流(如黑潮)，會使渦漩變形，最後與邊界流結合(Yang, 1999; Zhang et al., 2001; Johns et al., 2001; Yang et al., 2001)，我們可以由 $22^{\circ}N$ 的海水位高度變化很明顯的得知此一區域之渦漩都是從東向西傳遞(圖 1)，配合 $115^{\circ}E-140^{\circ}E$ 、 $20^{\circ}N-16^{\circ}N$ 的 SLA (圖 2)，圖 2 是取 contour 為 5cm，將 SLA 為負值的去除所製成，可以看見一個暖渦漩? 東方入侵 KUDEX 區，此時受別的渦漩影響，其形狀非常不規則，到了 1996 年 12 月 17 日才算脫離其他渦漩影響，而到了 1997 年 4 月 25 日，受到台灣東部另一個暖渦漩影響，開始在原地徘徊，最後消失(高瑞其, 2001)。

### 2. 冷渦漩的追蹤

為了追蹤一個長時間的冷渦漩，必須取 SLA 為負值的 contour，圖三為 1999 年 3 月 20 日至 2000 年 1 月 2 日的冷渦漩，可以發現其不論是形狀及行進路徑都沒有像暖渦漩那般保持較完整的形狀，為更了解所追蹤到冷暖渦漩的特性，利用渦漩的動力特性來加以分析。

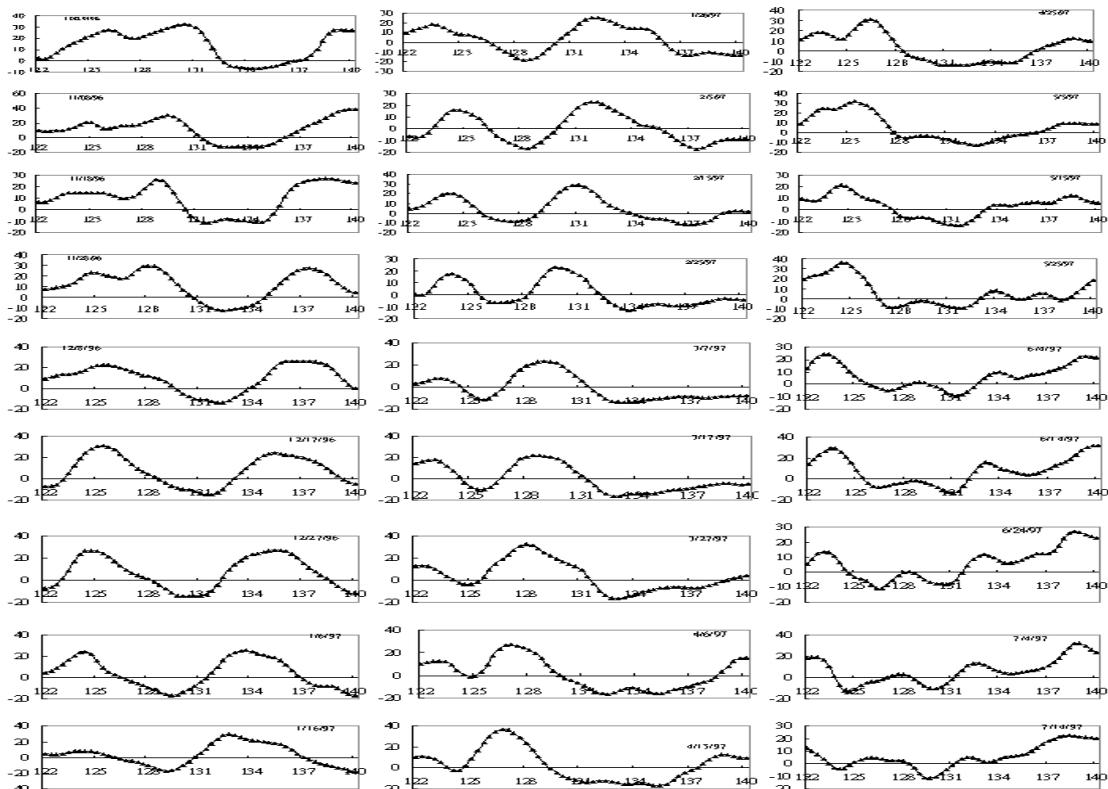


圖 1 在 22°N 的切面上, SLA 的傳遞情形

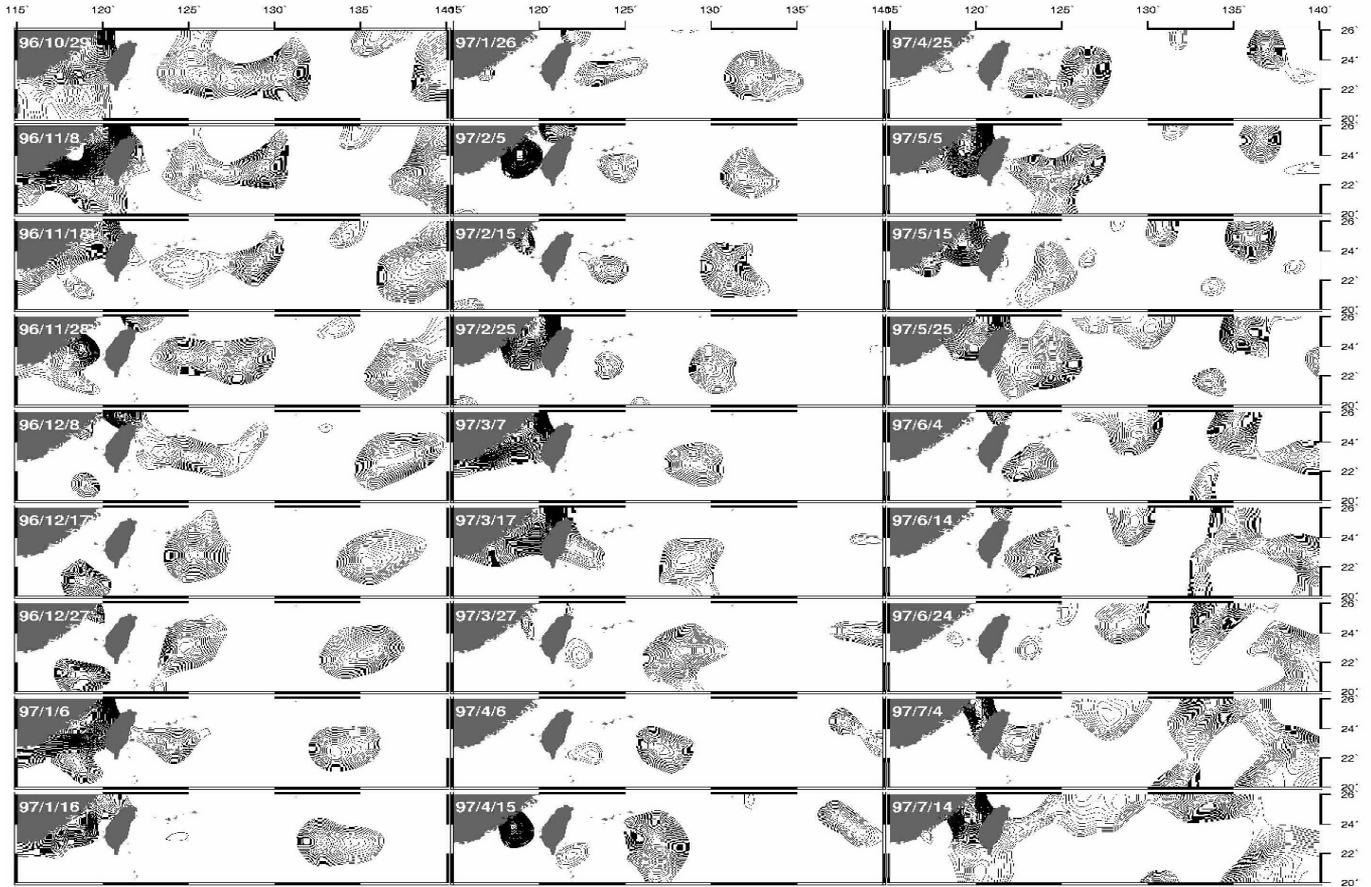


圖 2 暖渦漩入侵 KUDEX 區的情形

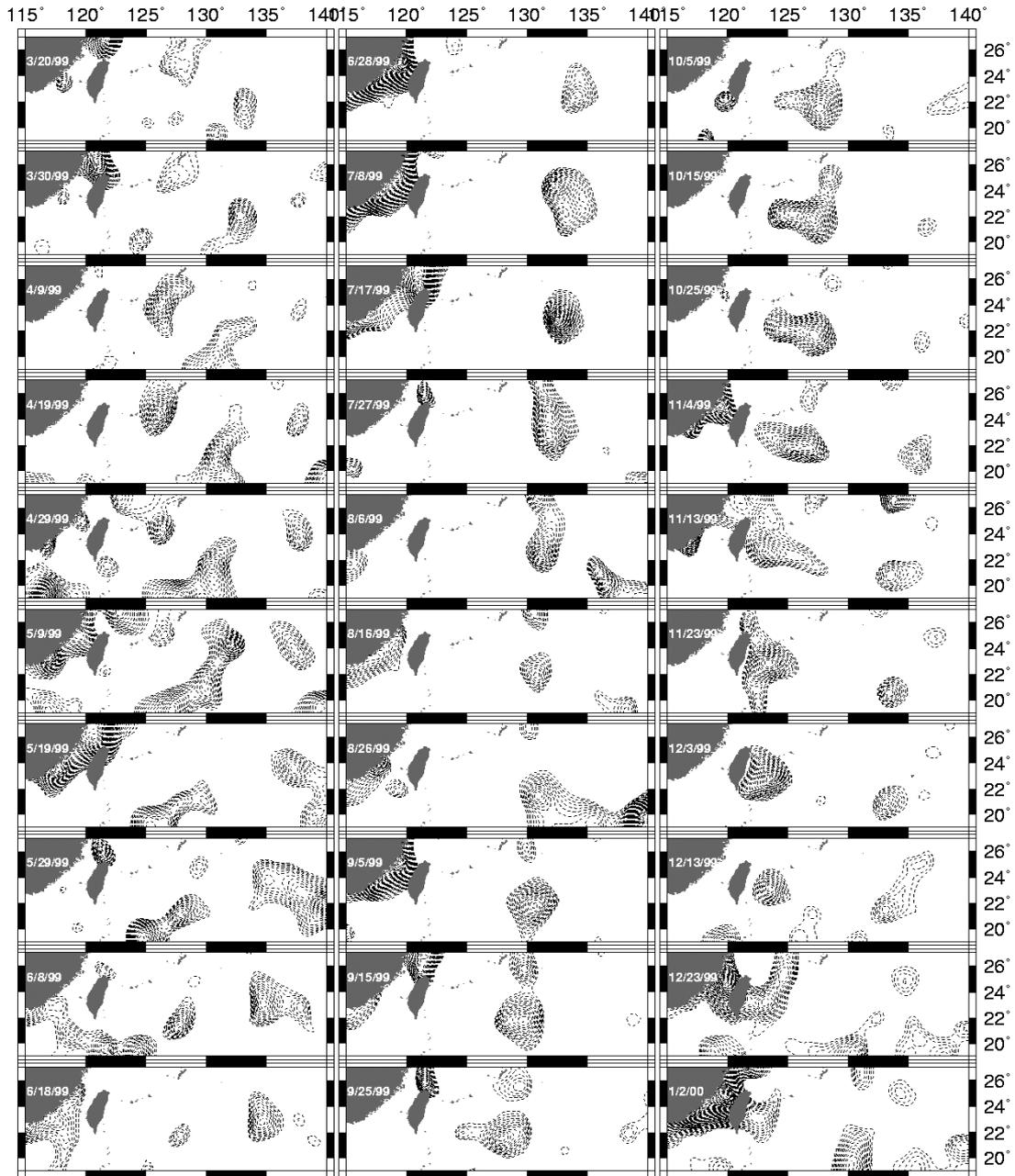


圖 3 冷渦漩入侵 KUDEX 區的情形

### 3. 相對動力高及渦漩動能 (EKE)

地轉流方程式 (geostrophic equation):

$$v = \frac{g}{f} \frac{\partial \zeta}{\partial x} = \frac{g}{f} \frac{\partial \zeta}{R \cos \phi \partial \lambda} = \frac{g}{f} \eta \quad (1)$$

$$u = -\frac{g}{f} \frac{\partial \zeta}{\partial y} = -\frac{g}{f} \frac{\partial \zeta}{R \partial \phi} = -\frac{g}{f} \xi \quad (2)$$

其中  $R$  為地球平均半徑 (mean earth radius),  $\zeta = h - N$  即動力高 (dynamic height),  $h$  為 Sea Surface Height (SSH),  $N$  為大地起伏,  $\eta$ 、 $\xi$  為動力高梯度的東西或南北分量。

在繪製 KUDEX 地區的洋流時, 只對隨時間變化的洋流感興趣, 那麼就只需用相對動力高 (Relative Dynamic Height) 來計算相對地轉流 (Wunsch & Stammer, 1998), 因

同一點之 geoid 不變，故相對動力高其實就是海水位異常，即

$$\Delta\zeta = \zeta - \zeta_s = h - N - (h_0 - N) = h - h_0 = \Delta h = SLA \quad (3)$$

$\zeta_s$  為不隨時間變化的動力高， $h_0$  為 TOPEX/POSEIDON 之 7 年平均海水面， $\Delta h$  為相對動力高，即 (SLA)，簡稱動力高。

洋流變化之強弱可由單位質點的渦旋動能 (Eddy Kinetic Energy, EKE) 表達 (Garraffo et al., 1992):

$$K_e = \frac{1}{2}(u^2 + v^2) \quad (4)$$

$K_e$  越大的地方，洋流的變化越劇烈 (Stammer, 1997) (圖 4)。

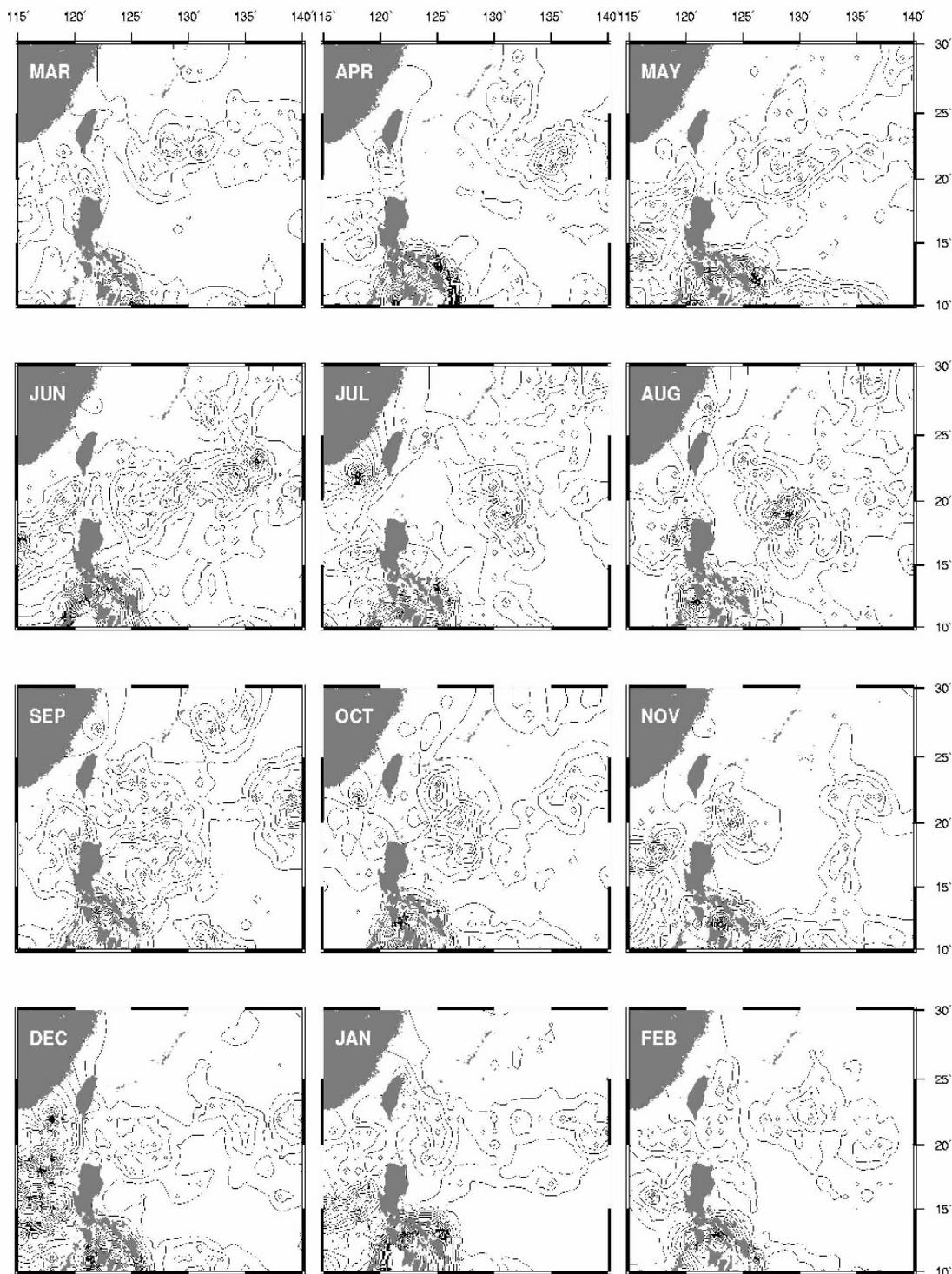


圖 4 7 年平均之 KUDEX 地區 EKE (1993 年 3 月至 2000 年 2 月) 等高線間隔  $5\text{cm}^2/\text{s}^2$

#### 4. 冷暖渦旋的動力分析

在渦旋範圍內，任一質量之速度分量  $u_i, v_i$  可以表示為 (Hwang and Chen, 2000) :

$$u_i + e_{u_i} = g_{11}[x_n - x_0] + g_{12}[y_n - y_0] + u_c, i = 1, \dots, n \quad (5)$$

$$v_i + e_{v_i} = g_{21}[x_n - x_0] + g_{22}[y_n - y_0] + v_c \quad (6)$$

$e_{u_i}$ 、 $e_{v_i}$  為速度的殘差， $x_0$ 、 $y_0$  為渦旋中心坐標， $u_c$ 、 $v_c$  為渦旋中心速度， $n$  為資料點

數目， $g_{11} = \frac{\partial u}{\partial x}$ ， $g_{12} = \frac{\partial u}{\partial y}$ ， $g_{21} = \frac{\partial v}{\partial x}$ ， $g_{22} = \frac{\partial v}{\partial y}$ 。Hwang and Chen (2000) 並不考慮渦旋中

心速度，上面兩式可用一階泰勒展開式線性化，並用最小二乘法求解，令未知數向量為

$\beta = \beta_0 + \Delta\beta$ ， $\beta_0$ ：為近似量、 $\Delta\beta$ ：為改正量。以一階泰勒展開式將 (5)、(6) 線性

化，並以矩陣形式表示為：

$$V = A\Delta\beta - L \quad (7)$$

$V$  為  $e_{u_i}$  和  $e_{v_i}$  所組成之殘向量， $A$  為設計矩陣， $L$  為以測高資料推求觀測速度與以  $\beta_0$  計

算求得之速度差值矩陣。當求得渦旋之南北速度分量及東西速度分量之梯度後，即可用

上式求渦旋之四個動力特性，其定義為：

渦度 (vorticity)  $\Omega = g_{21} - g_{12}$

剪切變形 (shearing deformation)  $\gamma_1 = g_{21} + g_{12}$

伸縮變形 (stretching deformation)  $\gamma_2 = g_{11} - g_{22}$

散度 (divergence)  $\psi = g_{11} + g_{22}$

冷暖渦旋動力特性歸納如表 1.

表 1: 冷暖渦旋的動力特性

| Parameters   | warm eddy    | cold eddy    |
|--|--------------|--------------|
| Center velocity (km day <sup>-1</sup> )              | 3.795/1.845  | 3.181/2.519  |
| Vorticity ( $\mu$ rad s <sup>-1</sup> )              | -2.098/0.633 | 1.513/0.539  |
| Shearing deformation ( $\mu$ rad s <sup>-1</sup> )   | -0.021/0.314 | 0.053/0.570  |
| Stretching deformation ( $\mu$ rad s <sup>-1</sup> ) | -0.174/0.367 | -0.222/0.376 |
| Divergence ( $\mu$ rad s <sup>-1</sup> )             | 0.015/0.046  | 0.001/0.061  |
| Radius (km)  | 273/42       | 240/49       |
| Latitude (°N)  | 22.629/0.200 | 23.074/0.766 |

#### 5. 渦旋之驗證

在渦旋的行進途中，常會和其他鄰近的渦旋交互作用，而改變其行進路線、及方向，為了驗證本研究的正確性及分析 SLA 與 SSTA 的關係，由 Integrated Global Ocean Services System (IGOSS) 下載本研究所提到之冷暖渦旋那段時間的 SSTA，其下載的網址為 [http://ingrid.ldeo.columbia.edu/SOURCES/IGOSS/nmc/.Reyn\\_SmithOIv1/weekly](http://ingrid.ldeo.columbia.edu/SOURCES/IGOSS/nmc/.Reyn_SmithOIv1/weekly).

分別繪製成圖 5 及圖 6，將圖 5 和圖 2 一起比對可以發現當 SLA 較高的位置，其 SSTA

也較高，而將圖 6 和圖 3 一起比對可以發現當 SLA 較低處其 SSTA 也較低，可以說明 SLA 和 SSTA 之間是屬於高相關。

而要測試渦漩的正確性，往往都會想到用浮球來驗證，本研究將 1997 年 1 月 18 日至 1997 年 3 月 22 日的 SLA 平均，並到加拿大之海洋環境資料服務(marine Environmental Data Service, MEDS) 網站下載此一時期的浮球資料，這個網站的位置在 [http://www.meds-sdmm.dfo-mpo.gc.ca/meds/Prog\\_Int/WOCE/WOCE\\_SVP/SVP\\_PS\\_e.htm](http://www.meds-sdmm.dfo-mpo.gc.ca/meds/Prog_Int/WOCE/WOCE_SVP/SVP_PS_e.htm)

，取其名為 20076 的浮球一起繪製在圖 6，發現此一浮球原本在 (128°E,22°N) 後來被暖渦漩牽引一直到後來脫離暖渦漩，其行進路徑成為一個 Ω 型，在這個區域裡可以發現很多這樣子的例子。

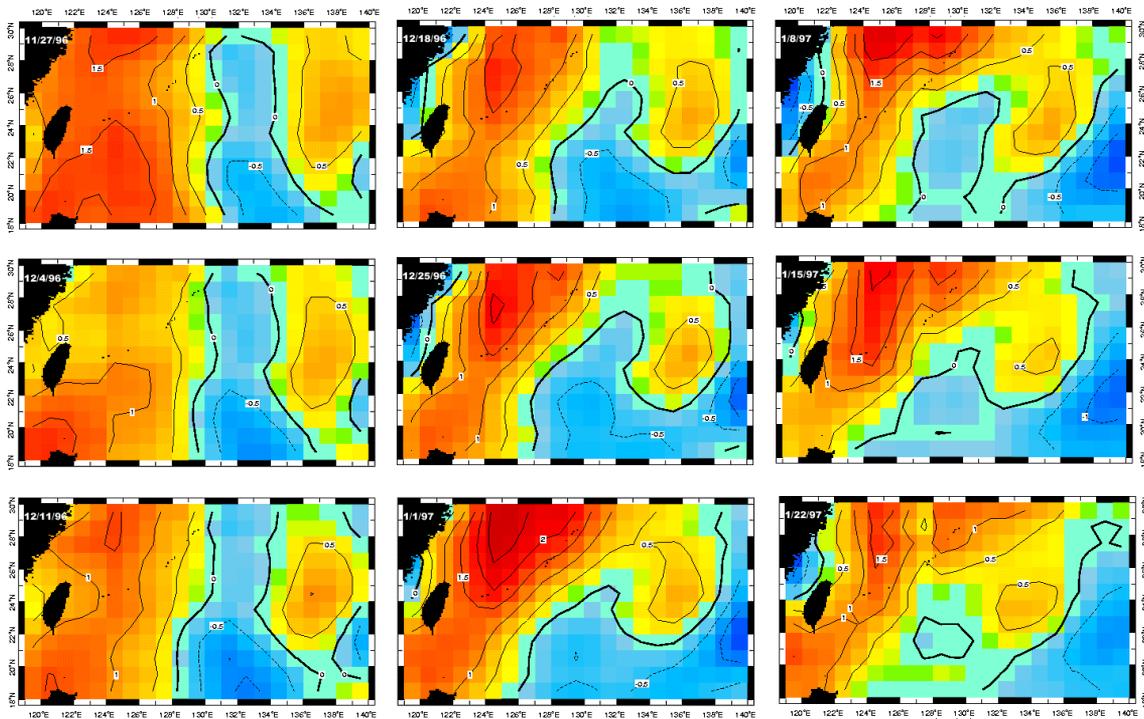


圖 5 1996 年 11 月 27 日至 1997 年 1 月 22 日之 SSTA

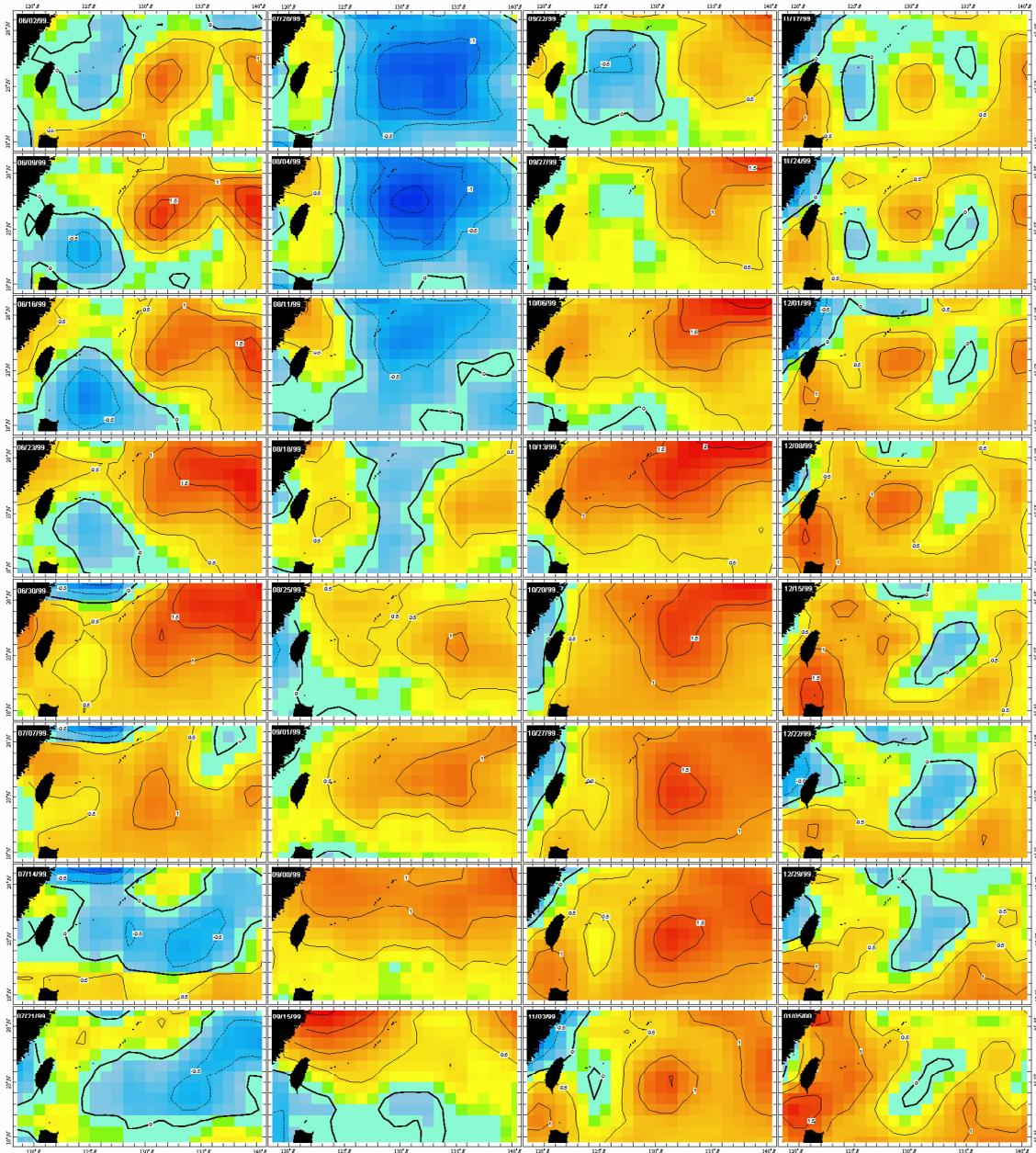


圖 6 1999 年 5 月 12 日至 2000 年 1 月 5 日之 SSTA

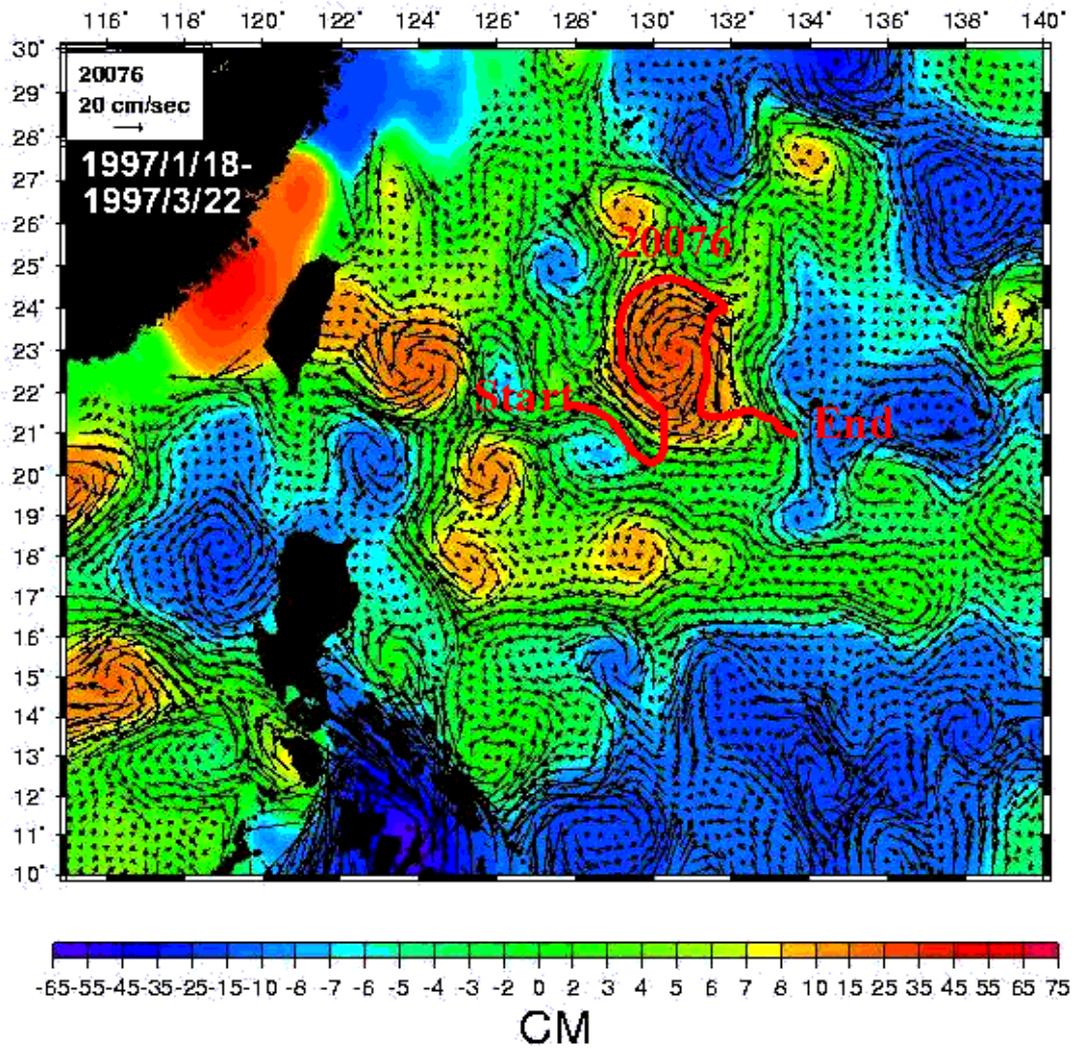


圖 7 暖渦漩及 drifter20076 之軌跡示意圖(紅線為浮球軌跡)

## 6. 結論

本計畫第三年完成冷暖渦漩的追蹤，詳細結果見 Hwang et al. (2002a)。本 KUDEX 子計畫一至三年之成果發表於 Hwang and Kao (2002), Hwang et al. (2002a) and Hwang et al. (2002b)。

#### 四、參考文獻

- 陳松安，「衛星測高資料分析南海海潮、海水位、洋流及渦漩」，博士論文，國立交通大學土木工程研究所，新竹，2001。
- 高瑞其「黑潮上游海區衛星測高觀測:渦漩之決定及分析」，碩士論文，國立交通大學土木工程研究所，新竹，2001。
- Carton, X., Hydrodynamical modeling of oceanic vortices, *Surv. Geophys.*, 22, 179-263, 2001.
- Cushman-Roisin, B., E. P. Chassignet, and B. Tang, Westward motion of mesoscale eddies, *J. Phys. Oceanogr.*, 20, 758-768, 1990.
- Garraffo, Z., S. L. Garzoli, W. Haxby, and D. Olson, Analysis of a general circulation model 2. Distribution of Kinetic energy in the south Atlantic and Kurshio/Oyashio systems, *J. Geophys. Res.*, 97, pp. 20139-20153, 1992.
- Hwang, C., and S. -A. Chen, Circulation's and eddies over the South China Sea derived from TOPEX/POSEIDON altimetry, *J. Geophys. Res.* 105, pp. 23943-23965, 2000.
- Hwang, C., and R. Kao, TOPEX/POSEIDON-derived space-time variations of Kuroshio Current: applications of a gravimetric geoid and wavelet analysis, *Geophys. J. Int.*, in press, 2002.
- Hwang, C., and R. Kao, C.R Wu, TOPEX/Poseidon observations of mesoscale eddies over the Subtropical Counter Current: kinematic characteristics of an anticyclonic eddy and a cyclonic eddy, submitted to *J. Geophys. Res.*, 2002a.
- Hwang, C., and R. Kao, C.R Wu, Spatial and temporal characteristics of mesoscale eddies over the Subtropical Counter Current from TOPEX/Poseidon altimetry, *J. Geophys. Res.*, 2002b.
- Johns, W. E., T. N. Lee, D. Zhang, and R. Rantopp, The Kuroshio east of Taiwan: Moored transport observations from the WOCE PCM-1 array, *J. Phys. Oceanogr.*, 31, 1031-1054, 2001.
- Stammer, D., Global characteristics of ocean variability estimated from regional TOPEX/POSEIDON altimeter measurements, *J. Phys. Oceanogr.*, 27, pp. 1743-1769, 1997.
- Wunsch, C., and D. Stammer, Satellite altimetry, the marine geoid, and the oceanic general circulation, *Anu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 26, 219-253, 1998
- Yang Y., Mesoscale Eddies' Influence on the Taiwan Current (Kuroshio) Volume

Transport. Institute of Oceanography, National Taiwan University, 1999.

Yang Y, Liu CT, Lee TN, et al. Sea surface slope as an estimator of the Kuroshio volume transport east of Taiwan, *Geophys. Res. Lett.*, 28, 2461-2464, 2001.

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