

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫
計畫編號：NSC 89 - 2611 - M - 009 - 003 - OP2
執行期間： 89 年 8 月 1 日至 90 年 7 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：國立交通大學

中 華 民 國 90 年 10 月 30 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—

子計畫六：黑潮上游地區衛星測高觀測)

Satellite altimetry observations of the Kuroshio Upstream (2)

計畫編號：NSC 89 - 2611 - M - 009 - 003 - OP2

執行期限：89年8月1日至90年7月31日

主持人：黃金維

國立交通大學土木工程學系

計畫參與人員：陳松安、高瑞其 國立交通大學土木工程學系

一、中文摘要

本計畫第二年用 TOPEX/POSEIDON (T/P)、ERS-1 及 ERS-2 測高資料，得知 KUDEX 區之海水位高度異常 (Sea Level Anomaly, SLA) 有一年及跨年的變化，而後者則與 ENSO 十分相關。在 KUDEX 上的洋流是以每 10 天為一個間隔來計算，而洋流的形狀可以反映海洋表面的溫度、風應力旋度與渦旋動能。在 1993~2000 期間，KUDEX 上的冷漩渦與暖漩渦是由人工判斷與最小二乘法來辨識。這些渦旋動力特徵的計算與分析也與時間、地點及渦旋半徑有關。為了偵測 KUDEX 地區渦旋之行進路徑，吾人以選定一個暖渦旋求得移動速度，並了解渦旋動力特性、時空演變，及渦旋與台灣東部黑潮的相互關係。

關鍵詞：聖嬰現象、黑潮上游海區、渦旋、海水位異常

Abstract

In the second year of the integrated project, altimeter data from TOPEX/POSEIDON (T/P), ERS-1 and ERS-2 are used to study the Kuroshio Current east of Taiwan and eddies in the Kuroshio Upstream Dynamics Experiment (KUDEX) area. SLA has interannual variation and is correlated with ENSO. Ocean circulations over KUDEX at a 10-day interval are computed and the patterns of circulations are examined with respect to sea surface temperature, wind stress curl and eddy kinetic energy. Cold-cored and warm-cored eddies over KUDEX during 1993-2000 are

identified by a combination of human judgment and a least-squares method. The kinematic properties of these eddies are also computed and analyzed in relation to time, location and eddy radius. Detailed traveling paths, moving velocities of two selected eddies are studied to understand the dynamics and the evolution of an eddy over KUDEX and how it interacts with the Kuroshio Current east of Taiwan.

Keywords: ENSO, KUDEX, eddy, SLA

二、緣由與目的

由於台灣的地理環境是四周環海，在台灣西南方所緊鄰的南海 (South China Sea) 是全球最大的地中海，東北方的東海 (East China Sea) 陸棚更以其寬廣聞名於世，西岸以台灣海峽 (Taiwan Strait) 與中國大陸相隔，東部外海臨西太平洋，為黑潮 (Kuroshio) 上游必經之地。本次研究為黑潮上游海區的海洋動力學範圍，其英文名稱為「Kuroshio Upstream Dynamics Experiment」(KUDEX)。本年度 (第2年) 研究有三大目標：(1) 以 T/P、ERS-1 及 ERS-2 之 T/P 級衛星測高資料來探討黑潮運通量、寬度、中心軸速度、平均海面及海水位異常 (Sea Level Anomaly, SLA)，(2) 以 T/P 衛星測高所得之平均海面及海水位異常來分析相對動力高 (Relative Dynamic Height) 及相對地轉流 (Relativity geostrophic current) 的關係，SLA 與季風的關係，SLA 和海面溫度異常 (Sea Surface Temperature Anomaly, SSTA) 之關

係。(3)以相對地轉流公式、渦旋動能 (kinematic) 特性公式、最小二乘法 (least-squares method,) T/P 衛星所測得之 SLA 資料,藉以分析 T/P 測算隨時間變化的洋流及渦旋,以及其季節性(seasonal)及年變化,渦旋的動力特性,渦旋的時空演變,並以浮球 (drifter) 來加以驗證。

三、資料及方法

3-1 測高資料的可靠性

本計畫第一年於台灣東北及東南 T/P 經過之處,以超幾何函數擬合黑潮剖面之動力高 (dynamic height) 而求出長達 7 年之黑潮運通量、寬度、中心流速及位置之時間序列。Yang (1999) 曾在 KUDEX 海區做過渦旋對黑潮體積運通量的影響之研究,得通過台灣與西表島之間水道(East Taiwan Channel, ETC)的平均體積運通量最佳估算值為 20.9 ± 3.5 Sv,與吾人利用 T/P 測高資料所算得之台灣東北部運通量 19 ± 6 Sv,非常接近 詳見 Hwang and Kao (2001)。

3-2 影響渦旋的因素

本文研究的時間為 1993 年 2 月至 2000 年 3 月,其中包含了 El Niño 及 La Niña 事件。而海水面的變化則深深影響著渦旋的行進方式及渦旋數的多寡,由於本文是利用相對動力高來計算相對地轉流,所以度寬A比較。

面

3-3 渦旋之判識及動力分析

本計畫用相對動力高 (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 SLA。本研究將以人工方式來判識 SLA 等高線及洋流,來決定渦旋是否存在,此法亦被 Siegel et al.(1999)及 Crawford & Whitney(1999)採用。

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) :

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

$$v_i + e_{v_i} = g_{21}[x_n - x_0] + g_{22}[y_n - y_0] + v_c \quad (2)$$

e_{u_i} 、 e_{v_i} 為速度的殘差, $g_{11} = \frac{\partial u}{\partial x}$, $g_{12} = \frac{\partial u}{\partial y}$, $g_{21} = \frac{\partial v}{\partial x}$, $g_{22} = \frac{\partial v}{\partial y}$, 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。

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,當求定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) = $g_{21} - g_{12} = 2 \times$ 角速度 (angular velocity)

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

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

散度 (divergence) = $g_{11} + g_{22}$

經過渦漩判識之後，依渦漩剔除率（表 1），及渦漩個數之時間序列（圖 1），得知：

1. 每年夏季暖渦漩個數較多，而冬季冷渦漩個數較多，其中 1997-1998 年的渦漩個數最少，而且其冷、暖渦漩之間的差異量非常小，此段時間內季節的特性完全無法表達，可以證明和 El Niño 有顯著的關係。
2. 由 1995-1996 年的 eddy 分佈得知，其 eddy 個數為歷年來最多的，而且其冷、暖渦漩之間差異量依季節的不同，冷、暖渦漩出現的時間也不一樣，其季節的特性明顯，可見其和 La Niña 事件相關。
3. 1998-1999 則是受 El Niño 高峰後的影響，冷、暖渦漩的個數，於夏季幾乎找不到冷渦漩，且海水位異常的高。

表 1 KUDEX 海區之渦漩平差前後之數目

KUDEX 海區	平差前	平差後	剔除率 (%)
暖渦漩數目	1251	932	25.5
冷渦漩數目	998	686	31.3
渦漩總數	2249	1618	28.1

渦漩之動力計算，將 KUDEX 海區之 205 個 cycle 所測算之冷渦漩及暖渦漩的動力特性與渦漩半徑（圖 2、圖 3），得知：

1. 討論渦漩之渦度與渦漩半徑的關係，吾人根據渦度為 2 倍角速度之定義，得知正負角速度約呈對稱分佈，即冷渦漩一定為正，暖渦漩一定為負，在半徑 150-250km 之 eddy 具有較大之角速度。
2. 剪切變形、伸縮變形及散度以 $y=0$ 之直線為界約呈對稱分佈，且大都出現於半徑為 150-250km 之 eddy。

將動力特性歸納，得到下列結論（表 2、表 3）：

1. KUDEX 海區（ $115^{\circ} E-140^{\circ} E, 10^{\circ} N-30^{\circ} N$ ）之渦漩數目相當多，約為南海（ $105^{\circ} E-125^{\circ} E, 5^{\circ} N-25^{\circ} N$ ）的 7.5 倍左右，而 KUDEX 海區面積約為南海 1.25 倍，（陳松安, 2001）於南海用 209 個 cycle，測得暖渦漩 124 個，冷渦漩 94 個。相較之下得知 KUDEX 海區為一冷、暖渦漩交替相當頻繁的區域。
2. 由表中得知，冷、暖渦漩之渦度其平均渦度的絕對值非常接近，冷渦漩之剪切變形及伸縮變形之最大值及最小值之絕對值均大於暖渦漩，表示冷渦漩較易變形。

表 2 KUDEX 海區之冷渦漩動大特性統計，渦漩數目為 686

Cold eddy (686)	平均值 ($1 \times 10^6 \text{ rad/s}$)	最小值 ($1 \times 10^6 \text{ rad/s}$)	最大值 ($1 \times 10^6 \text{ rad/s}$)	中誤差 ($1 \times 10^6 \text{ rad/s}$)
渦度	1.657577	0.068	5.236	0.135069
剪切變形	-0.01347	-3.074	2.538	
伸縮變形	0.031058	-2.144	2.93	
散度	0.001539	-0.417	0.722	

表 3 KUDEX 海區之暖渦漩動大特性統計，渦漩數目為 932

Warm eddy (932)	平均值 ($1 \times 10^6 \text{ rad/s}$)	最小值 ($1 \times 10^6 \text{ rad/s}$)	最大值 ($1 \times 10^6 \text{ rad/s}$)	中誤差 ($1 \times 10^6 \text{ rad/s}$)
渦度	-1.47259	-4.589	-0.03	0.123133
剪切變形	0.03925	-1.948	2.326	
伸縮變形	-0.00483	-1.968	1.832	
散度	-2.5E-05	-0.673	0.404	

3-4 渦流之追縱

在渦流的行進途中，常會和其他鄰近的渦流交互作用，而改變其行進路線、及方向，在 1996 年 10 月 29 日時，有個暖渦從東方入侵 KUDEX 海區，其渦流西邊的斜率很陡，到了 1996 年 11 月 8 日就變的較平滑，此時為能量聚集的時候，11 月 18 日時能量又向西傳遞，如此暖渦才算完全進入 KUDEX 海區，中間由於 KUDEX 海區有其他渦流和其相互作用，所以可以其渦流的形狀不是單純的圓形，會有變形的情形產生，當此一渦流到了約 125°E 時，可能遇到了黑潮影響，使得速度不再向西傳遞。

吾人從動力成果中，找出上述渦流之經緯度、半徑大小及渦流中心速度，位置大約都在 22°N-23°N 之間，渦流移動的速度約 6.1 km/day，而渦流半徑為人工判識時所算出之半徑，渦流中心及其中心速度則是經由式(1)、(2)所計算出來的。

四、結論

本計畫第二年已經完成 KUDEX 區之渦流偵測模式，及與 ENSO 的關係，而渦流的追蹤需要長時間的資料來分析，因此需要建立龐大的資料庫，因此建立一套完整的資料管理機制必定為未來研究的方向。由吾人的研究得知 T/P、ERS-1 及 ERS-2 測高資料對於追蹤中尺度渦流之時空演變有相當的可信度。人工判識渦流需要敏銳的判斷力，亦是本研究中最耗時的一個步驟，如能配合影像處理之技術，改以自動化的方式處理，不但可以減少時間，而且可以提昇精度。

第三年計畫將加強海水面高度異常 (SLA) 之研究，並改善第二年計畫中所遇到的問題，提昇衛星測高之精度。本計畫詳細結果公布於 <http://space.cv.nctu.edu.tw/KUDEX>，及(高瑞其, 2001)。本研究結果將發表於 - 國際期刊中。

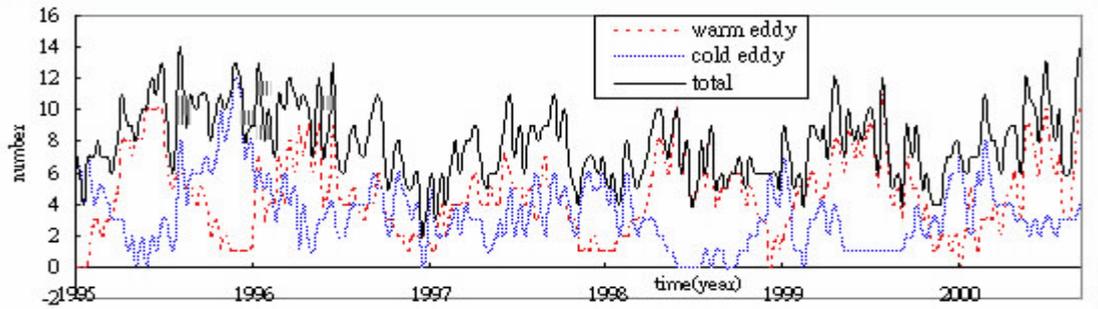


圖 1 渦流個數之時間序列

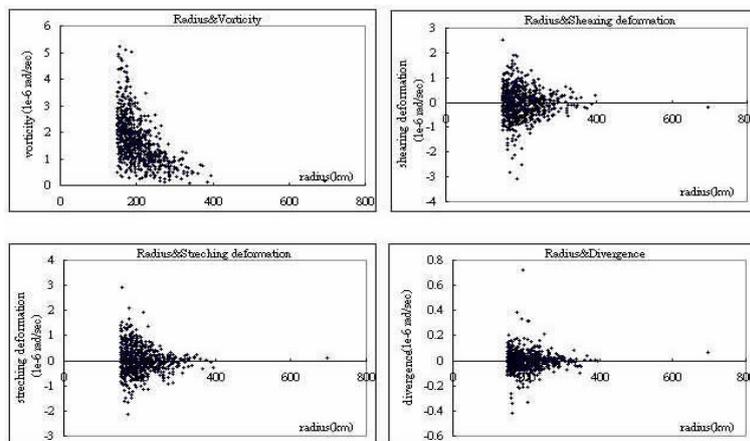


圖 2 KUDEX 海區冷渦流 (686) 之(1)渦度(2)剪切變形(3)伸縮變形(4)散度與渦流半徑的關係

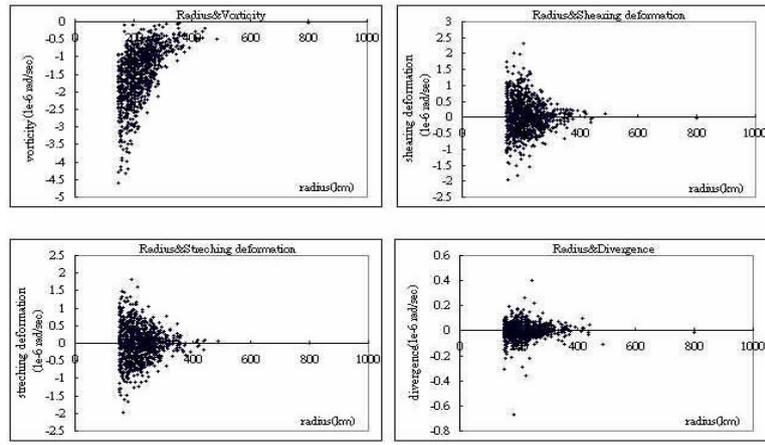


圖 3 KUDEX (932) 海區暖渦之(1)渦度(2)剪切變形(3)伸縮變形(4)散度與渦流半徑的關係

Eddy155_177

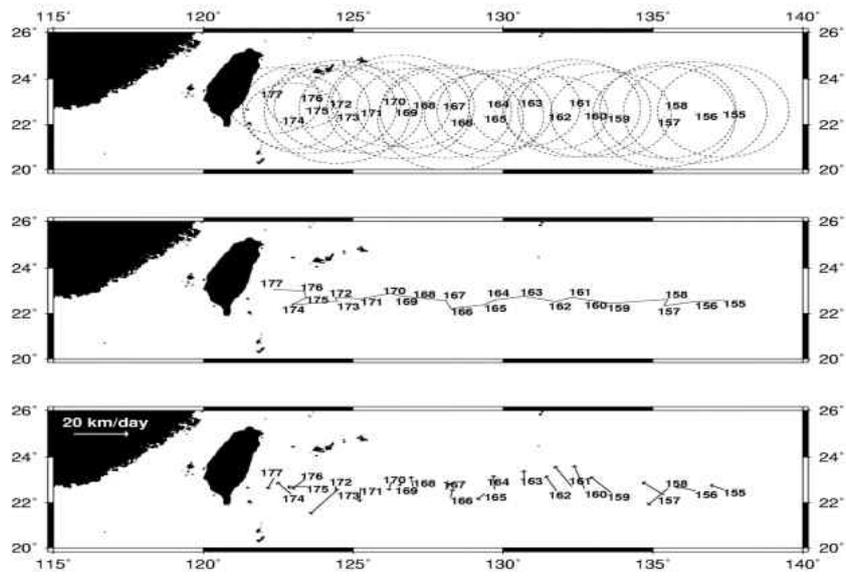


圖 4 eddy155-177 (以 T/P 週期來分) 之渦流半徑、路徑及中心速度

五、參考文獻

- [1] 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。
- [2] 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。
- [3] Crawford, W. R., and F. A. Whitney, Mesoscale eddy aswirl with data in Gulf of Alaska, EOS, Trans., AGU, 80, pp.365, 1999.
- [4] 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.
- [5] Hwang, C., and R. Kao. TOPEX/POSEIDON-derived space-time variations of Kuroshio Current: applications of a gravimetric geoid and wavelet analysis, paper submitted to Geophys. J. Int., 2001.
- [6] Siegel, D. A., D. J. McGillicuddy Jr, and E. A. Fields, Mesoscale eddies, satellite altimetry and new production in the Sargasso Sea, J. Geophys. Res., 104, pp.13359-13380, 1999.
- [7] Wunsch, C., and D. Stammer, Satellite altimetry, the marine geoid, and the oceanic general circulation, Annu. Rev. Earth Planet. Sci., 26, pp. 219-253, 1998.
- [8] Yang, Y., Mesoscale Eddies' Influence on the Taiwan Current (Kuroshio) Volume Transport. PhD thesis, Institute of Oceanography, National Taiwan University, 1999.