

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)

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 89 - 2611 - M - 009 - 001 - OP2

執行期間： 88 年 08 月 01 日至 89 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 89 年 10 月 09 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

計畫編號：NSC 89 - 2611 - M - 009 - 001 - 0P2

執行期限：88 年 08 月 01 日至 89 年 07 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

本計畫第一年已將 KUDEX 區之 geoid 以衛星測高、重力資料求得，自 1993 年 1 月到 2000 年 4 月的 TOPEX/POSEIDON(T/P) 測高資料已處理完並於 KUDEX 海域求出每隔 10 天一次之 KUDEX 相對地轉流流場及渦旋分布，有助於解釋渦旋之時空演變及其與黑潮之交互作用。本計畫並於台灣東北及東南 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。

關鍵詞：衛星測高、黑潮、地轉流、漩渦、水準面

Abstract

In the first year of the KUDEX project a geoid model for KUDEX has been computed using satellite altimeter, shipborne gravity anomaly. TOPEX/POSEIDON (T/P) altimeter data from 1993/1 to 2000/4 were processed to generate geostrophic flows and eddy fields at a 10-day interval, which are useful for observing their space and time evolutions and their interaction with the Kuroshio Current. In the northeast and southeast of Taiwan, 7 years of time series of volume transport, width and axis velocity were computed using a hypergeometric model fit to two T/P along-track dynamic heights.

Keywords: satellite altimetry, Kuroshio, geostrophic current, eddy, geoid

二、緣由與目的

黑潮對東亞之漁業、導航、環流等扮演重要角色。黑潮起源於菲律賓東部、北緯約 10 度處，離開台灣東北角後，約沿 200 公尺等深線向北往日本流去。國科會整合型計畫黑潮上游海區海洋動力學實驗，又稱 KUDEX，旨在研究黑潮發源地附近之黑潮動力。本子計畫將以 TOPEX/POSEIDON (1992- 至今)，ERS-1 (1991-1996)，ERS-2 (1996-至今)三種測高資料研究黑潮上游海域之流況、漩渦分佈及其時空演變。再者，黑潮入侵南海的形式眾說紛紜（劉倬騰，1998），本計畫將以測高資料在巴士海峽附近計算地轉流，其結果將提供海洋學家分析及解釋黑潮入南海侵形式之用。

三、結果與討論

1. 測高資料處理

本計畫重新處理 TOPEX/POSEIDON (T/P)之 cycle 10(1992 年 12 月)到 cycle 279(2000 年 4 月)之全球測高資料。處理時以 - 理論軌道 (nominal orbit) 為參考位置，而求得約 7 年的沿軌跡海水位平均值。對於每一 cycle，則以 EGM96 (Lemoine et al., 1998) 之 geoid 值為海水梯度參考值，將每一觀測之海水面高 (SSH) 約化至上述之參考軌道位置而計算海水位異常 (SLA)。另外 ERS-1 及 ERS-2 之軌道則經過交叉點平差，以 T/P 之軌道修正之。用

和 T/P 同樣的原理，吾人亦求得 ERS-1 及 ERS-2 各約 2 年的沿軌跡平均海水位及海水位異常以為本計畫分析用。

2. KUDEX 區之水準面模式

本計畫以最小二乘配置法 (least-squares collocation) 計算 KUDEX 海區之 geoid 模式，使用之資料為船測重力，Seasat，Geosat，ERS-1 和 T/P 測高資料。使用公式為(Hwang，1996)

$$N = N_{ref} + \begin{bmatrix} C_e + D_e & C_{e\Delta g} \\ C_{\Delta g e} & C_{\Delta g} + D_{\Delta g} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} e \\ \Delta g \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中 N 為計算之 geoid 高， N_{ref} 為 EGM96 之 geoid， e 及 Δg 為 geoid 梯度 (由測高資料求得) 及重力異常， $C_e, C_{\Delta g}$ 為梯度及重力異常之協變方矩陣， $C_{e\Delta g}$ 為梯度 - 重力異常之協變方矩陣， $D_e, D_{\Delta g}$ 為 e 及 Δg 之誤差協變方矩陣。圖 1 為 KUDEX 區之 2'x2' geoid 圖。由圖 1 知，因海底地形台灣東部之 geoid 相當複雜，在此處所決定之 geoid 精度 (約 5 - 40 cm) 較其他地區為差。

3. 黑潮運通量、寬度、中心軸速度之時間序列

本計畫依 Hwang (1996) 之方法求得黑潮在台灣東北部及東南部附近之運通量寬度、中心軸速度 約 7 年 (1992 年 12 月到 2000 年 4 月) 之時序列。所使用之動力高 (dynamic height) 可以下式近似之 (Tai, 1990; Hwang, 1996) :

$$\zeta(x) = H \tanh \left(\frac{x - x_0}{L} \right) + \quad (2)$$

其中 ζ 可由海水面高減去上述之 geoid 高而得，且

$$\begin{aligned} \text{運通量} &= 100H \quad (\text{Sv}), \\ \text{寬度} &= 1.89 L \quad (\text{km}) \end{aligned}$$

$$\text{中心軸速度} = \frac{gH}{fL} \quad (\text{cm/sec})$$

x_0 = 沿軌跡之主軸位置

$f = 2\Omega \sin \omega$, (Ω 為地球自轉速度， ω 為緯度)， g 為重力值。

圖 2 顯示，通過台灣東北部及東南部的兩 T/P pass 分別為 d119 及 d081。在實際求上述時間序列時，吾人必給定黑潮流過此兩處大概之範圍，否則計算時將發散。圖 3 及圖 4 分別顯示於台灣東北，東南部由 T/P 求得之黑潮參數時間序列。表一為列序之統計值。其時間間隔為一個月。吾人將 drifter d21160 之軌跡繪於圖 2 中，發現其軌跡恰好經過由 T/P 定出之中心軸位置，而速度分常吻合。為進一步瞭解此些參數之分量，吾人採用小波分析 (wavelet analysis) 技術，以 Morlet 小波將上列時間序列轉換為小波係數，如圖 5 圖 6 所示。小波係數可顯示 - 序列之時間與頻率而有別於 Fourier 分析。由圖 3 至圖 6 之結果，吾人製成表 2，分析上述時間序列中，半年、一年、跨年 (interannual) 分量出現之時及強弱度。

表一 黑潮參數於台灣東北、東南處之平均值及標準偏差

	運通量 (Sv)	寬度 (Km)	中心軸速度 (cm/sec)
台灣東北	19±6	112±27	50±11
台灣東南	26±5	96±13	92±12

表二 黑潮於台灣東北、東南方處之運通量、寬度、中心軸速度分量出現時間

(a) 運通量

分量	東北	東南
半年	1993-1996 (弱)	1993-2000 (弱)
一年	1993-1996 (弱)	1993-1997 (強)
跨年	1993-2000 (強, 週期 2 年)	無

(b) 寬度

分量	東北	東南
半年	1993-1996 (弱)	1993-2000 (弱)
一年	1993-2000 (弱)	1993-2000 (弱)
跨年	1993-2000 (強, 週期: 2 年)	無

(c) 中心軸速度

分量	東北	東南
半年	1995-2000 (弱)	1993-2000 (弱)
一年	1993-2000 (強)	1993-2000 (弱)
跨年	1993-2000 (弱, 週期: 2 年)	1993-2000 (弱, 週期: 2 年)

4. KUDEX 相對地轉流

在 KUDEX 區，除黑潮附近外，平均流均甚小，為避免 geoid 誤差，吾人可採用 Hwang and Chen (2000) 在南海的經驗，用相對動力高計算相對地轉流。相對動力高定義為海水位高與平均海水位高之差。相對地轉流分量之計算公式為 (Apel, 1987)：

$$u = -\frac{g}{f} \frac{\partial \Delta \zeta}{R \partial y} \quad (3)$$

$$v = \frac{g}{f} \frac{\partial \Delta \zeta}{R \cos \theta \partial x} \quad (4)$$

其中 u, v 為東西，南北流之分量， $\Delta \zeta$ 為相對地轉流，其他變數之定義則與 (2) 式中者相同。吾人每 10 天 (即 1 T/P cycle) 製作一張 KUDEX 區之相對地轉流圖，公布於網站：<http://space.cv.nctu.edu.tw/KUDEX> 中。例如，圖 7 為由 cycle 82 (約於 1994 年 12 月 5 日) 之 T/P 資料求得之相對地轉流場。吾人將 drifter d459

之軌跡重疊於圖 7 中，發現 d459 之軌跡非常符合台灣東方之 warm-cored eddy。再者，吾人於 KUDEX 區域根據 T/P 每 10 天之相對地轉流得下列初步結論：

(1) 冬季(12-2月)：1992-1993年，大部份研究區域之 SLA 為負值，且伴隨著冷渦漩，只在北赤道流(North Equatorial Current, NEC)(8°N-16°N)及(25°N 134°E)處有零星的暖渦漩存在。1993-1994年，於北赤道反流(North Equatorial Countercurrent, NECC)(0°N-8°N)及臺灣東方外海為負 SLA，且伴隨著冷渦漩，此年之負 SLA 強度小於 1992-1993年，且冬季末時，負 SLA 只出現於 22°N 以北。1994-1995年的狀況與 1992-1993年類似。1995-1996年，NECC 及 NEC 為正 SLA，且伴隨著暖渦漩，主要之負 SLA 出現於 22°N 左右，且伴隨著冷渦漩。1996-1997年，主要之負 SLA 出現於 NEC 及 Kuroshio，且伴隨著冷渦漩，其它海域則有零星之暖渦漩出現。1997-1998年的狀況與 1992-1993年類似。1998-1999年的狀況與 1995-1996年類似。此季節之渦漩於南大致向西流動，而接近陸地時則朝北流動。

(2) 春季(3-5月)：1993年，於 NECC 及臺灣東方外海為負 SLA，且伴隨著冷渦漩，正 SLA 只出現於 NEC，且伴隨著暖渦漩。1994年，大部份海域為正 SLA，且伴隨著暖渦漩，主要之負 SLA 出現於 24°N 左右，且伴隨著冷渦漩。1995年，春初大部份海域為負 SLA，春末，冷渦漩之數目及盤據之面積減少，而暖渦漩之數目及盤據之面積增加。1996年，正 SLA 大都出現於 19°N 以南，且伴隨著暖渦漩，而主要之負 SLA 出現於 19°N 以北，且伴隨著冷渦漩。1997年，春初大部份海域為負 SLA，春末，正 SLA 出現於 22°N 左右，且伴隨著暖渦漩。1998年，春初大部份海域為負

SLA，主要的暖渦漩位於(25°N 134°E)處，春末之海洋現象與春初相反。此季節之渦漩於南大致向西流動，而接近陸地時則朝北流動。

(3) 夏季(6-8月)：1993年，大部份海域為正 SLA，且伴隨著暖渦漩，冷渦漩出現於 24°N 左右，夏末，NECC 出現負 SLA。1994年之狀況類似 1993年，但比 1993年強烈。1995年之狀況類似 1994年，但比 1994年強烈。1996年之狀況類似 1995年，但比 1995年強烈。1997年之狀況類似 1993年。1998年之狀況類似 1996年，但比 1996年強烈。此季節之渦漩於南大致向西流動，而接近陸地時則朝北流動。

(4) 秋季(9-11月)：1993年，此時大部份海域為暖渦漩，而臺灣東南方海域及 NECC 出現冷渦漩。1994年，秋初，大部份海域為暖渦漩，於臺灣東方外海有冷渦漩之逐漸成長，秋末，冷渦漩已佔據研究區域之中央海域。1995年，大部份海域之 SLA 為正值，而北赤道流流域特別強勁。1996年之狀況類似 1995年，但更強烈。1997年，正 SLA 大都出現於 19°N 以北，且伴隨著暖渦漩，而主要之負 SLA 出現於 19°N 以南，且伴隨著冷渦漩。1998年之狀況類似 1996年，但更強烈。此季節之渦漩於南大致向西流動，而接近陸地時則朝北流動。

基本上，此海研究區域之 SLA 及渦漩的變化受 ENSO 之影響非常顯著，於 1995-1996年 La niña 事件時及 1997-1998年 El niño 事件後之夏季，研究區域大部份海域之 SLA 為正值，且暖渦漩之數目及盤據的面積遠大於冷渦漩。1997年秋季，即 El niño 事件發生時之秋季，正 SLA 大都出現於 19°N 以北，且伴隨著暖渦漩，而負 SLA 出現於 19°N 以南，且伴隨著冷渦漩，George et al. (1997) 於其研究中指出 NECC 於 1987年 El niño 發生時，其強度減弱。於本研究區域含 NECC、NEC、

HE(Halmahera Eddy)(3°N、130°E)、
ME(Mindanao Eddy)(7°N、130°E)、
Kuroshio 及 STCC(Subtropical
Countercurrent)(19°N-27°N)，根據
Qiu(1999, Fig 1)之研究吾人得知，STCC
之海水面變化大於 NEC 及 NECC，即 STCC
有較大之 EKE，特別是 STCC，因此於 STCC
海域，其渦漩活動應非常強烈，此由本研
究亦可得證此論點。

5. 結論

本計畫於第一年已完成 KUDEX 區之
geoid 模式，且由 T/P 測高資料計畫算得
黑潮在台灣東北、東南處之運通量、寬度、
中心軸速度、位置等參數之 7 年時間序。
亦由相對地轉流得知 KUDEX 區地轉時空流
演變之情形。第二年計畫將加強上列分
析，並分析黑潮參數與其他現象，如 ENSO
之交互作用。本計畫之詳細結果公布於
<http://space.cv.nctu.edu.tw/KUDEX>。

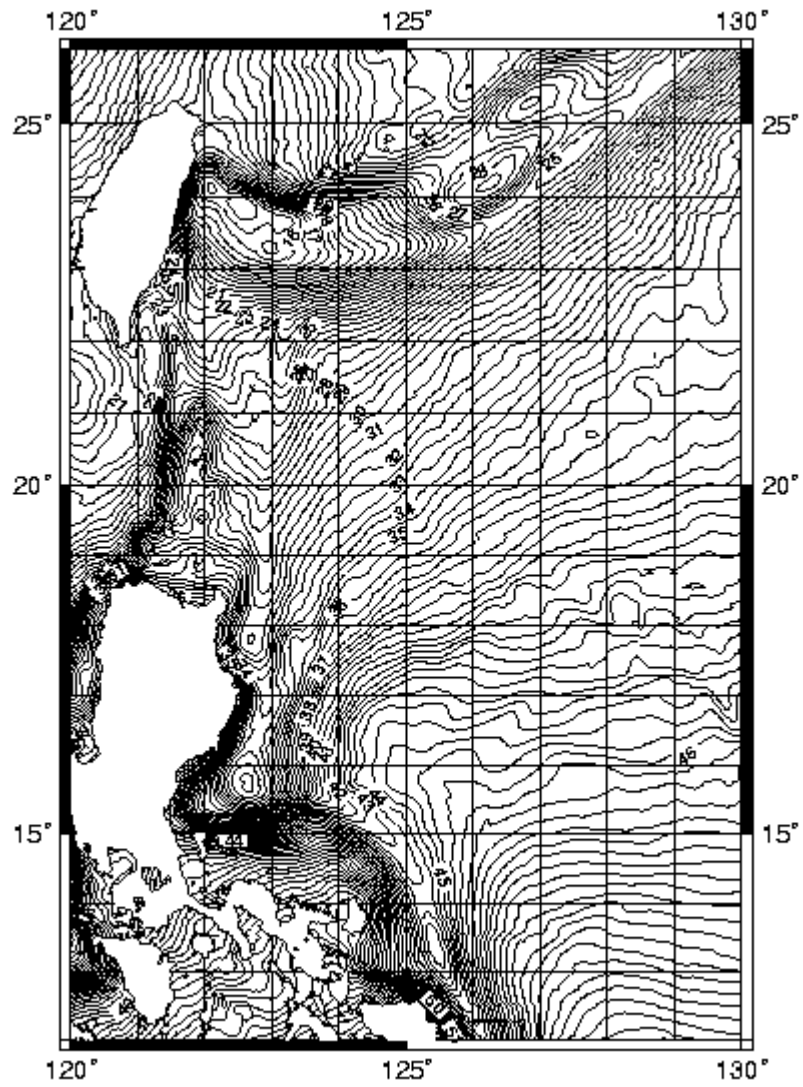


Figure 1: Contours of the geoid model over KUDEX. Contour interval is 0.5 m.

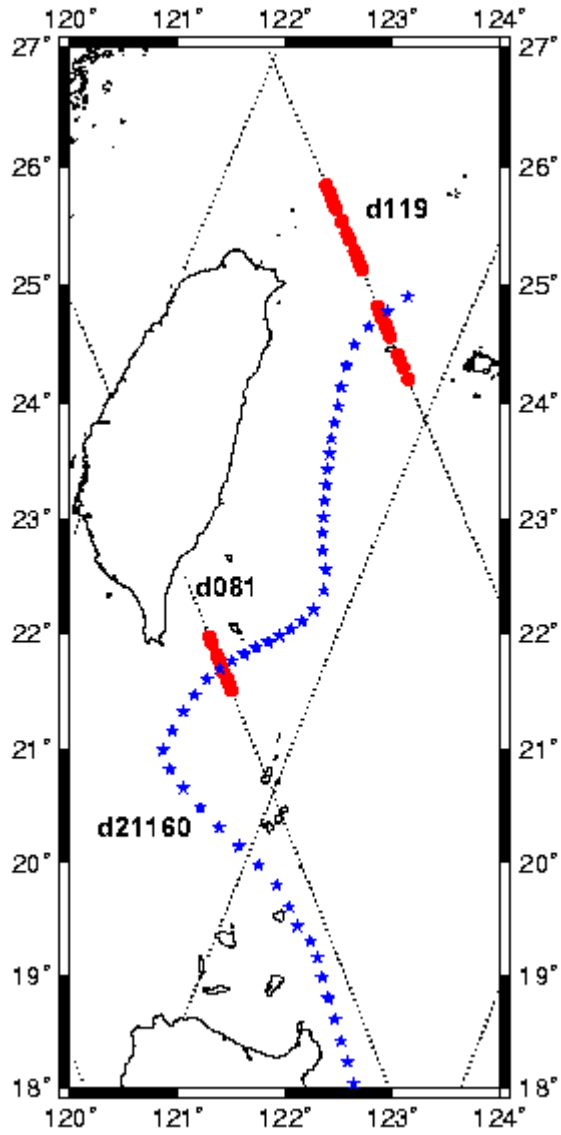


Figure 2: Distribution of TOPEX/POSEIDON tracks over KUDEX. Passes d119 and d081 passes thru the Kuroshio Current at the northeast and southeast of Taiwan, respectively. Circles indicate the locations of the axes of the Kuroshio Current as derived from T/P altimeter data and the geoid model over the period 1993-2000. Stars indicate the trace of drifter d21160 from WOCE.

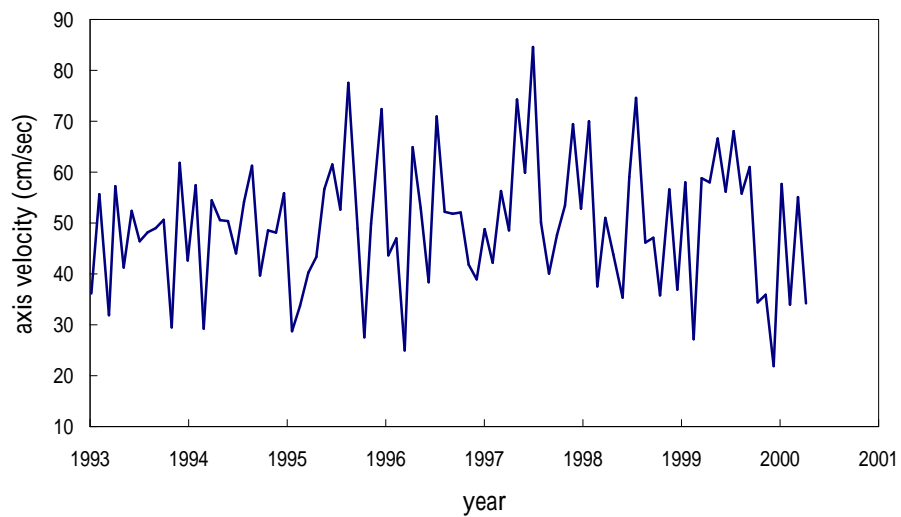
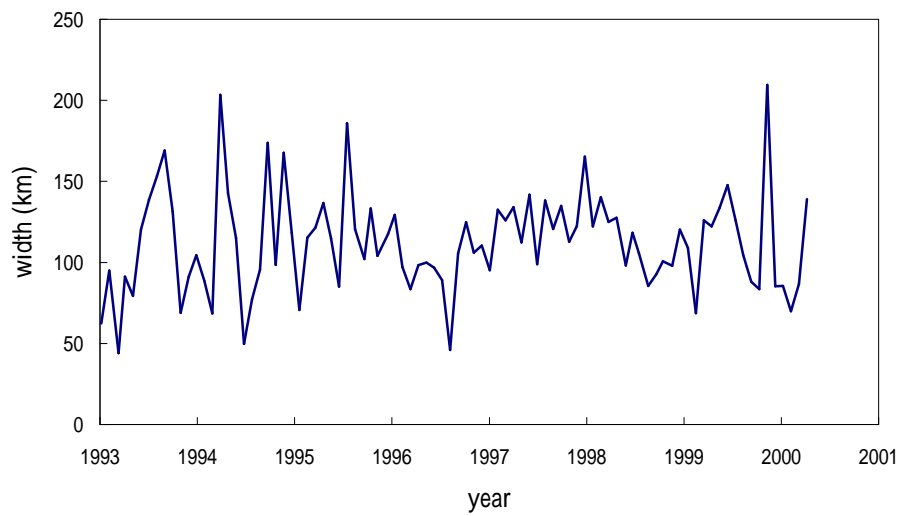
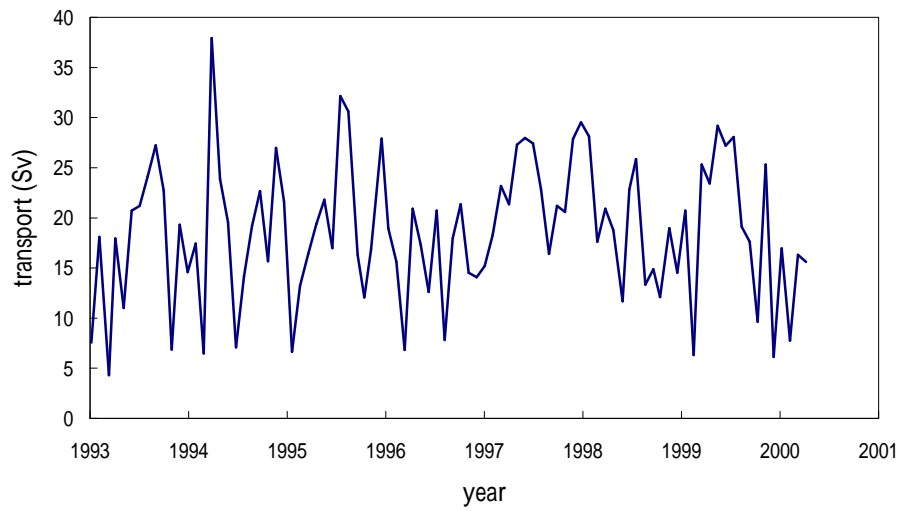


Figure 3: Time series of volume transport (top), width (middle) and axis velocity of the Kuroshio Current derived from the along-track dynamic heights of T/P pass d119.

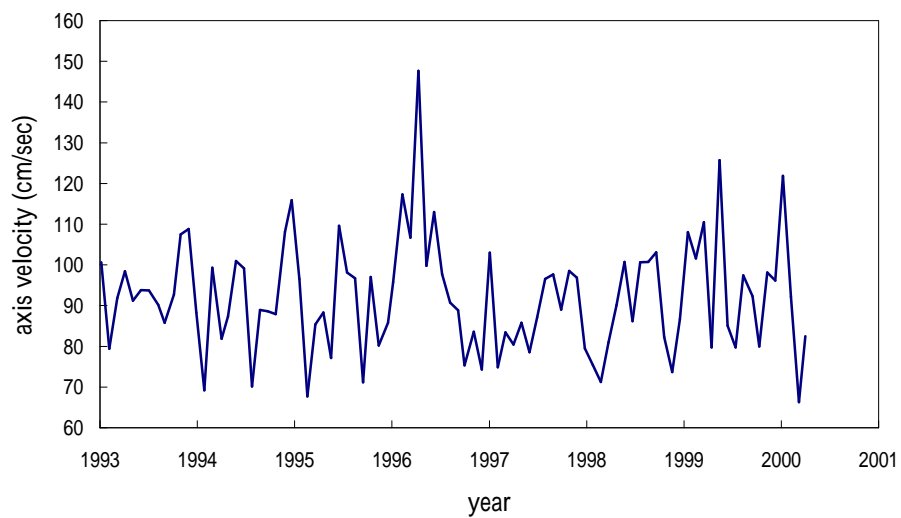
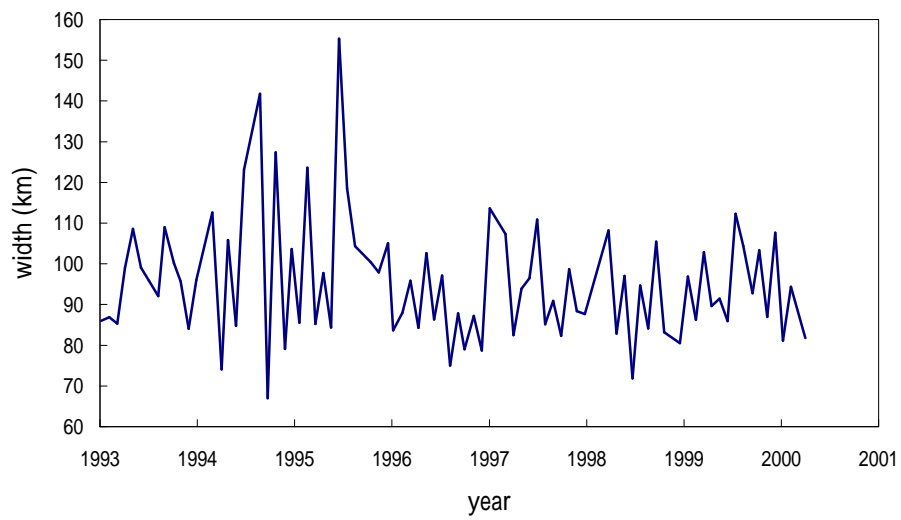
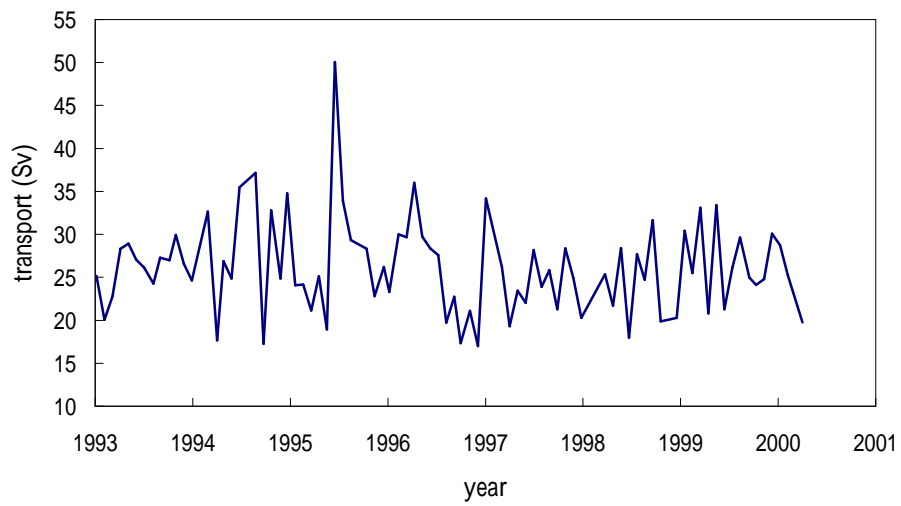


Figure 4: Time series of volume transport (top), width (middle) and axis velocity of the Kuroshio Current derived from the along-track dynamic heights of T/P pass d081.

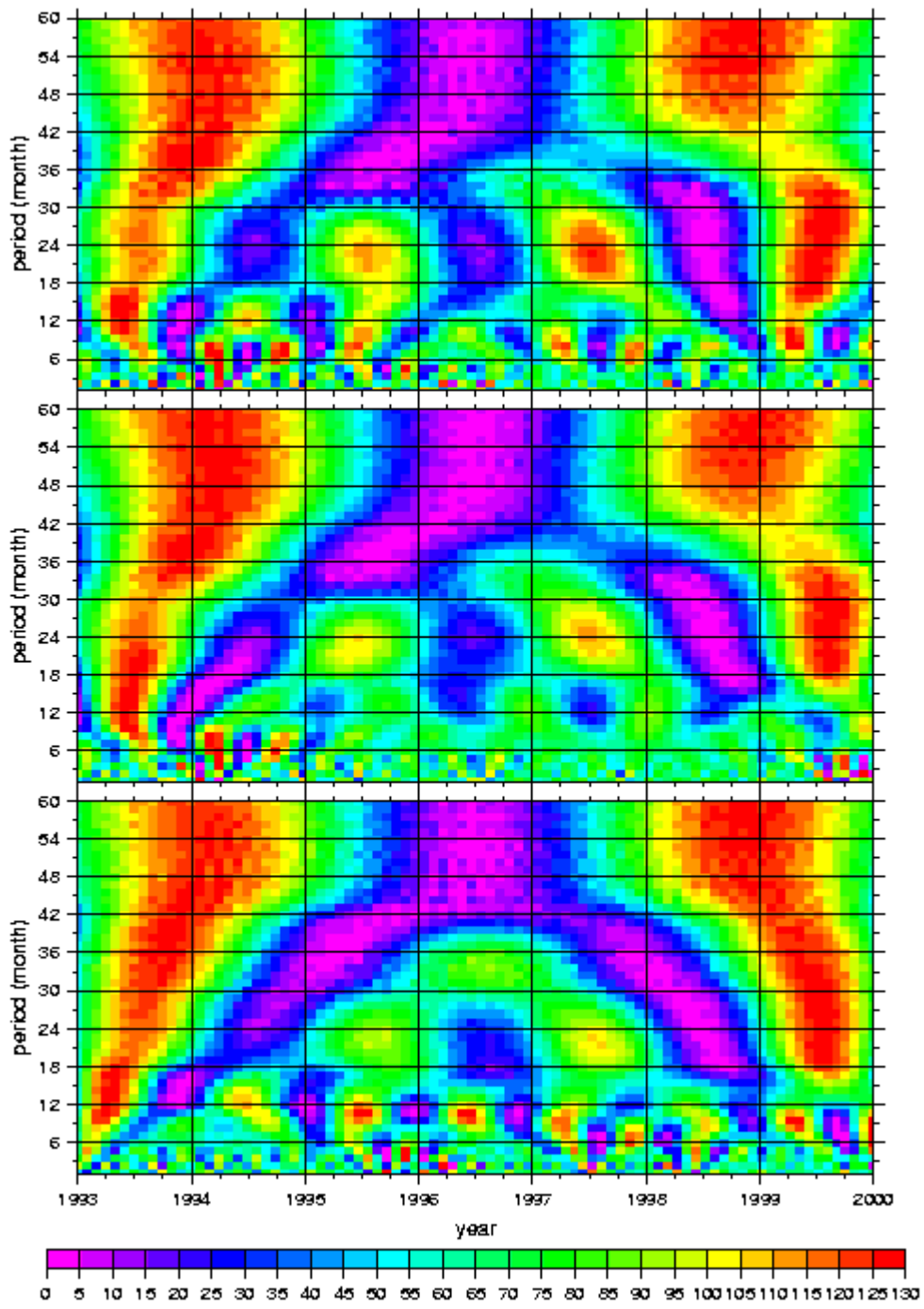


Figure 5: Wavelet coefficients of the time series given in Fig. 3 for transport (top), width (middle) and axis velocity. The Morlet wavelet is used. The color scale is such that zero implies the maximum negative correlation between the Morlet wavelet and a component, 130 implies the maximum positive correlation, and 65 implies zero correlation.

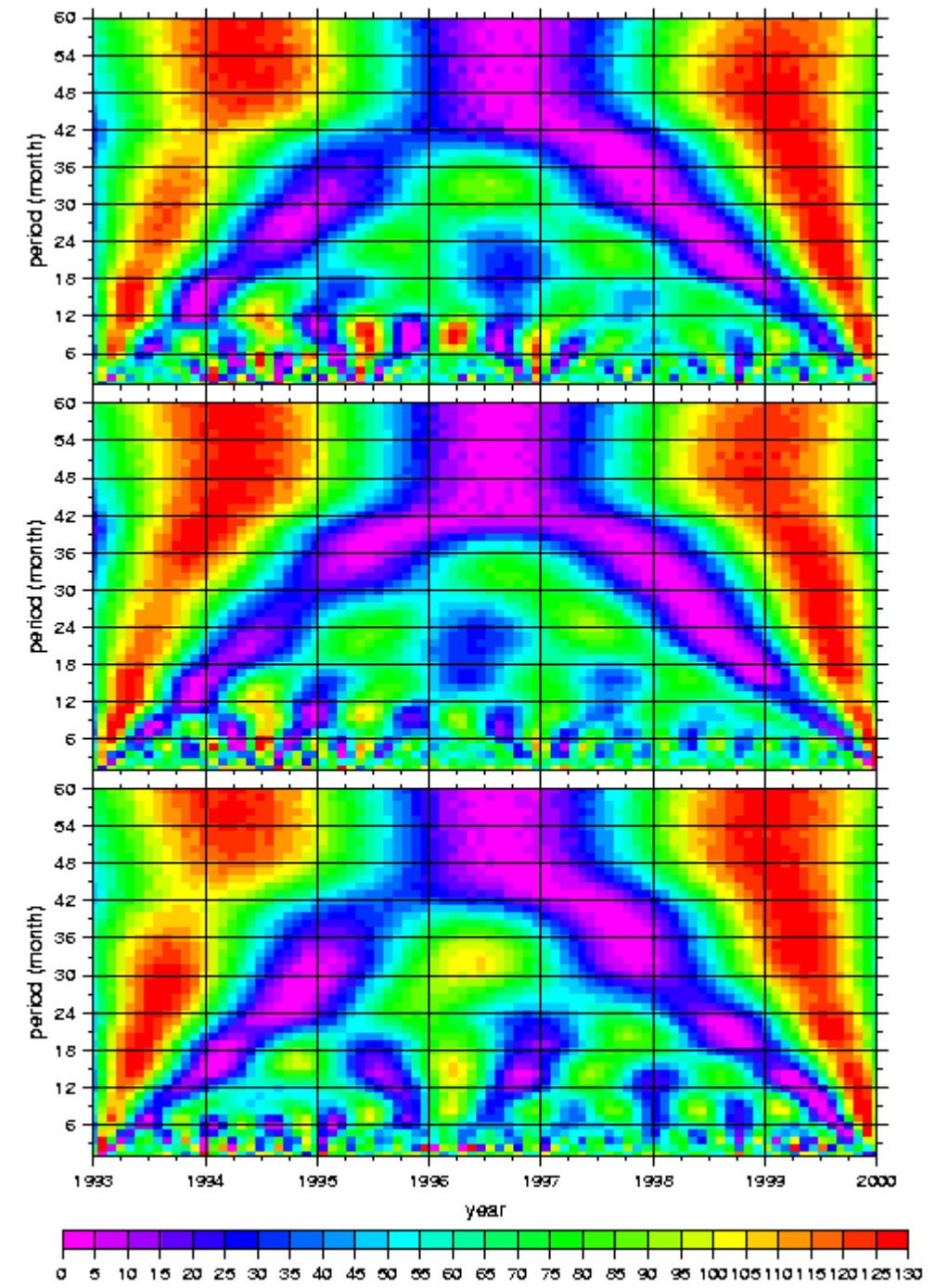


Figure 6: Wavelet coefficients of the time series given in Fig. 4 for transport (top), width (middle) and axis velocity. The interpretation of the coefficients is the same as in Figure 5.

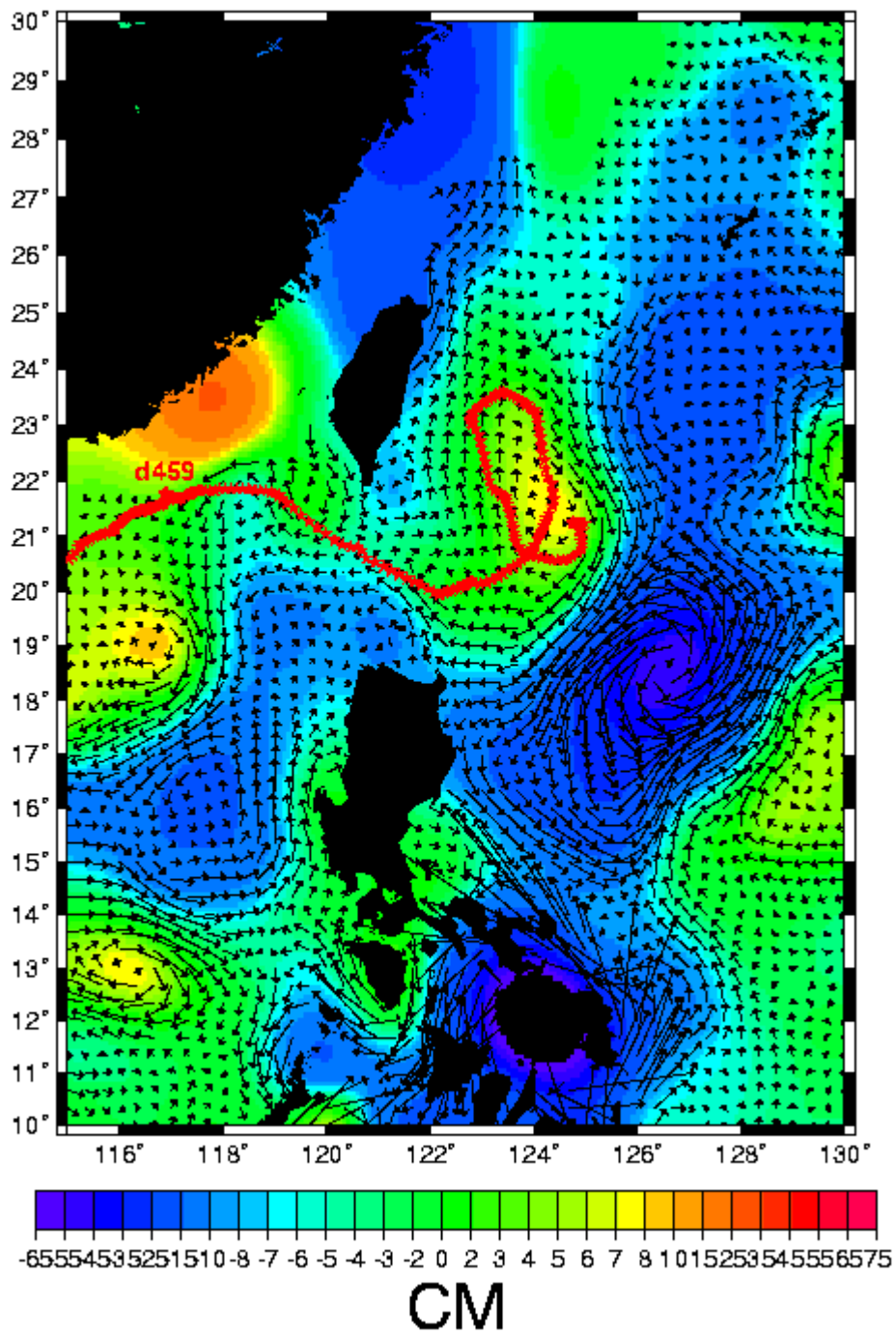


Figure 7: Relative dynamic heights and relative geostrophic velocities derived from T/P over KUDEX around December 5, 1994. Stars indicate the trace of drifter d459.

三、參考文獻

- [1] Apel, J. R., Principles of Ocean Physics, Academic Press, New York, 1987.
- [2] Hwang, C., A study of Kuroshio's seasonal variabilities using a gravimetric-altimetric geoid and TOPEX/POSEIDON altimeter data, J. Geophys. Res., 101, 6313-6335, 1996.
- [3] Hwang, C., and S.A. Chen, Fourier and wavelet analyses of TOPEX/POSEIDON-derived sea level anomalies over the South China Sea: a contribution to SCSMEX, J. Geophys. Res., in press, 2000.
- [4] Hwang, C., and S.A. Chen, Circulations and eddies over the South China Sea derived from TOPEX/POSEIDON altimeter data, J. Geophys. Res., in press, 2000.
- [5] Lemoine, F. G., et al., 1998. The Development of the Joint NASA GSFC and the National Imagery and Mapping Agency (NIMA) Geopotential Model EGM96, NASA/TP-1998-206861, Greenbelt, Maryland.
- [6] Tai, C.K., Estimating the surface transport of the meandering oceanic jet streams from satellite altimetry: surface transport estimates for the Gulf Stream and the Kuroshio Extension, J. Phy. Oceanogr., 20, 860-879, 1990.