

台灣東北海域表層水文時空動態之研究

曾振德* · 林志遠 · 陳世欽

行政院農業委員會水產試驗所 企劃資訊組

摘 要

本研究利用 NOAA 衛星遙測海面水溫影像，以定量及定性方法，統計分析 1991 至 1998 年間，台灣東北海域表層水文時空動態變化。首先利用經驗正交函數 (EOF) 定量分析月平均海面水溫影像，結果顯示該海域主要表層水文特徵 (即第一主成分影像) 以黑潮鋒面分佈型態為主，約佔總變異量的 61%，其形成機制係由黑潮暖流與東海陸棚水交匯作用而形成。此外，由衛星海面水溫影像之定性觀測及統計分析，顯示台灣東北海域之黑潮鋒面及冷渦分佈，幾乎全年發生，並可歸納為以下三種主要分佈型態：第一類型為強勢之黑潮鋒面分佈型態，主要發生在每年 11 月至隔年 3 月。第二類型為冷渦分佈型態，發生於每年 6 至 9 月份。第三類型為黑潮鋒面及冷渦並存之分佈型態，主要發生在每年東北與西南季節風交換之過渡時期，通常以 5、10 及 11 月三個月份最容易發生。此外，利用海面水溫時序資料，進行 Wavelet 小波分析，顯示該海域之海面水溫變化以年週期 (即 12 個月) 之變動為主，因此嘗試利用雙平滑模式 ARIMA (0,1,1) (0,1,1)₁₂ 建立海面水溫時序預測模式，作為未來海面水溫預報系統之重要參考。

關鍵詞：海面水溫、經驗正交函數、黑潮鋒面、冷渦。

前 言

黑潮暖流 (Kuroshio current) 係源自菲律賓東方海域，向北經過台灣東側海域，當其主流軸流經台灣東北海域並受地形效應轉向東北方向延伸時，黑潮暖流之表層與次表層水會受海底地形及季節風雙重作用，產生黑潮水侵入台灣東北陸棚區現象，並與大陸沿岸水及東海混合水產生劇烈之交匯作用，形成顯著之黑潮鋒面 (Kuroshio fronts) 及冷渦 (cold eddies) (Chao, 1991; Beardsley and Ichikawa, 1993; Tang and Tang, 1994)。雖然台灣東北海域形成之黑潮鋒面與冷渦，已由許多海洋學者利用現場船測水文資料或衛星遙測影像加以觀測分析及證實 (Chern and Wang, 1990; Lin *et al.*, 1992; Liu *et al.*, 1992; Tang and Tang, 1994; Sun and Xiu, 1997; Tang *et al.*, 2000; Tseng *et al.*, 2000)，然而該海域長期且全面性連續觀測，卻往往受限於傳統上研究船探測時之時間及空間上限制，無法順利進行。

衛星遙測可近即時 (near real-time) 且廣景覽要 (synoptic view) 重複探測大範圍海域海面水文動態變化，可有效節省利用船隻觀測所需花費之大量人力與經費，況且衛星遙測方式更無時間及空間上之探測限制，適合海洋中大尺度海況探測及定性定量研究分析之應用 (Bane *et al.*, 1981; Saitoh *et al.*, 1997)。由於衛星資料不斷經年累積，已有部分海洋學者開始應用長期衛星海面水溫資料進行大尺度時空水文動態分析。Xie *et al.* (1999) 曾利用 1934 – 1989 年月別海面水溫時間序列資料，以頻譜分析探討南沙及西太平洋暖池海域水溫長期變動狀況。Zhou *et al.* (1999) 使用 1982–1994 年週平均海面水溫時間序列資料研究南海表層水溫年循環之諧波 (harmonic wave) 特徵。Emery *et al.* (2001) 曾比較衛星遙測海面水溫及現場探測水溫之差異，並提出海面水溫預測方法。Yin *et al.* (1998) 則利用 1960 – 1982 年渤海海域十日平均水溫資料，以自我迴歸預測模式預報該海域之水溫變化。本研究將利用衛星遙測海面水溫影像，藉由時間序列資料隱含大量資料組成成分及可預測性之特性，經 Wavelet 小波分析

*通訊作者 / 基隆市和一路 199 號, TEL: (02) 2462-2101;
FAX: (02) 2462-4627; e-mail: ctt seng@mail.tfrin.gov.tw

及選定適當時序資料預測模式，分析台灣東北海域表層水文及黑潮鋒面與冷渦形成之長期時空動態變化。

材料與方法

本研究使用水產試驗所 NOAA/ AVHRR 衛星接收系統歷年所收集的資料，經處理獲得 1991–1998 年海面水溫影像，作為黑潮鋒面及冷渦發生於台灣東北海域之出現頻度 (repeat frequency) 分析。同時利用經驗正交函數 (empirical orthogonal function, EOF) (Lagerloef and Berstein, 1988; Fang and Hsieh, 1993; Gallaudet and Simpson, 1994; Everson *et al.*, 1997; Tseng *et al.*, 2000)，分析連續 8 年間共 96 張之衛星遙測月平均海面水溫影像，該海域之長期表層水溫時空動態，以獲得其主要水文特徵變化。此外，本研究於台灣東北海域選取共 60 個表面水溫採樣點 (Fig. 1)，並以 Wavelet 小波分析方法 (Beneddttto and Frazier, 1994; Shan, 1999) 及 ARIMA 時間序列模式，探討該海域長期表層水溫變動狀況，推導水溫預測模式。

經驗正交函數可將隨時間變化之海面溫度場，分解成相互獨立之特徵向量影像 (空間分佈) 及伴隨之時間域不同振幅變化，EOF 分析獲得之

每一主成分特徵影像，其代表之總變異量百分比不同 (即其解釋方差對總方差之貢獻度)，因此利用前面少數幾個主成分特徵影像，即可代表說明該海面溫度場之主要變化 (Lagerloef and Berstein, 1988; Fang and Hsieh, 1993; Gallaudet and Simpson, 1994; Everson *et al.*, 1997; Tseng *et al.*, 2000)。此外，Wavelet 小波分析係利用不同尺度之基底 (mother wavelet) 函數隨頻率而調整之特性，使得不同頻率之成份波能量在時間域或頻率域上皆有良好的解析能力，以分析時序列資料之頻譜變化 (Beneddttto and Frazier, 1994; Shan, 1999)。

時間序列 (time series) 統計分析法發展至 1970 年代初期，由 Box 和 Jenkins 提出「自我迴歸移動平均整合模式」(autoregressive integrated-moving average models，簡稱 ARIMA 模式) (Cryer, 1986; Wei, 1990; Box *et al.*, 1994)。目前 ARIMA 模式已廣泛應用於許多社會科學及自然科學等領域，成為統計學應用分析不可或缺之一環。所謂時間序列係指一動態系統 (dynamic system) 以時間順序型態發生之一連串觀測值集合 (Cryer, 1986; Wei, 1990)。海洋觀測過程中輕易包含許多時間序列型態之數據，如同一觀測地點之連續性潮汐資料、海平面資料或流速流向資料。其中，水溫時間序列資料可說是最容易取得之水文數據，亦是最常作為時序列長期水文動態分析之水文參數之一。時間序列分析法中依資料特性所區分之平穩型 (stationary) 數列、無定向型 (nonstationary) 數列及季節性 (seasonal) 數列，其應用 ARIMA 模式建立長期預測模式皆有所不同。由於本研究蒐集之水溫數據具季節變化特性，因此僅針對季節性數列 ARIMA 模式加以討論。

事實上，ARIMA 模式係由「自我迴歸模式」(autoregressive model，簡稱 AR 模式) 及「移動平均模式」(moving average model，簡稱 MA 模式) 整合而成。將時間序列中觀測數據以時間順序表示成參數線性組合模式，稱為 AR 模式。亦即 AR 模式係表示大部分時間序列中，各觀測值彼此間存在有一定關係，某一時遲 (time lag) (t) 觀測值 (X_t) 與前期 ($t-1$ 、 $t-2$ 、 $t-3$ 、...) 觀測值 (X_{t-1} 、 X_{t-2} 、 X_{t-3} ...) 有密切相關，其表示式如下：

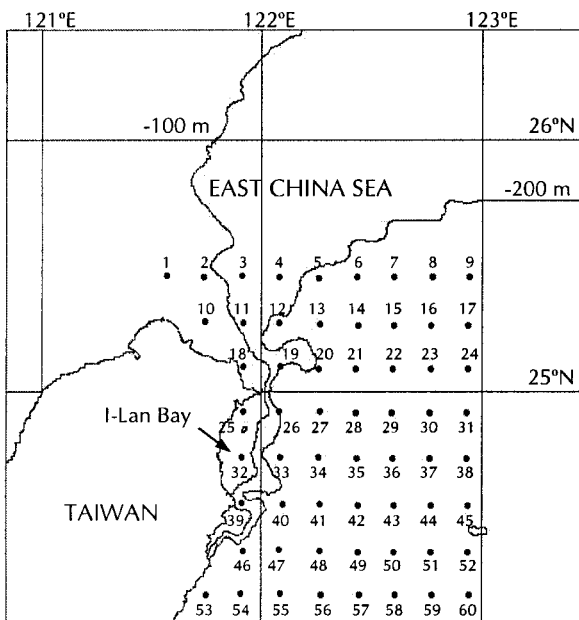


Fig. 1 Study area and sampling locations (St1~St60) in the northeastern Taiwan.

$$X_t = \xi + \phi_1 X_{(t-1)} + \phi_2 X_{(t-2)} + \phi_3 X_{(t-3)} + \dots + \phi_p X_{(t-p)} + \varepsilon_t$$

ξ 為一常數， ϕ_1 、 ϕ_2 、 ϕ_3 ... ϕ_p 為 AR 模式之參數， ε_t 則為隨機誤差 (random error)，上式即稱為 p 階 AR 模式。而將外力擾動或系統雜訊表示成參數線性組合，稱為 MA 模式。亦即 MA 模式係表示時間序列中，某一時遲 (t) 觀測值 (X_t) 與前期 (t-1、t-2、t-3...) 觀測值 (X_{t-1} 、 X_{t-2} 、 X_{t-3} ...) 之隨機誤差 (ε) 有密切相關，其表示式如下：

$$X_t = \mu + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{(t-1)} - \theta_2 \varepsilon_{(t-2)} - \theta_3 \varepsilon_{(t-3)} - \dots - \theta_q \varepsilon_{(q-3)}$$

μ 為一常數， θ_1 、 θ_2 、 θ_3 ... θ_q 為 MA 模式之參數，上式即稱為 q 階 MA 模式。時間序列分析法中，由時間定義域 (time domain) 出發，係利用自我相關函數 (autocorrelation function, ACF) 作為建立不同單變量模式之依據。本研究中時間序列 ARIMA (p,d,q) 模式《d 表示模式使用之差分 (difference) 階數》之建立方法係參考 Cryer (1986)、Wei (1990) 及 Box *et al.* (1994) 所提之內容。

結果與討論

一、海面水溫影像綜合定性分析

由 1991~1998 年處理獲得之 NOAA 衛星遙測月平均海面水溫影像 (Fig. 2)，顯示台灣東北海域表層水文分佈特性大致可歸納成三種型態：

(一) 強勢黑潮鋒面分佈型態

大致發生在每年冬季及隔年初春時期，亦即每年初秋東北季風逐漸增強後，黑潮暖流之表層及次表層水受風壓作用，黑潮主流軸逼近台灣東部沿岸，接著受到蘇澳海脊阻隔之海底地形效應，於蘇澳近岸海域轉向東北方向，並與宜蘭灣內之沿岸冷水形成強烈溫度梯度變化之黑潮鋒面。其次，當黑潮流通過北緯 25 度後，黑潮表層及次表層水受地形效應及慣性作用侵入東海南部之陸棚區，並與東海陸棚上之大陸沿岸水及東海混合水產生劇烈交匯作用，形成顯著之黑潮鋒面結構，並偶而伴隨冷渦發生之主要水文特徵。

(二) 冷渦分佈型態

主要發生於每年夏季時期，該期間黑潮表層

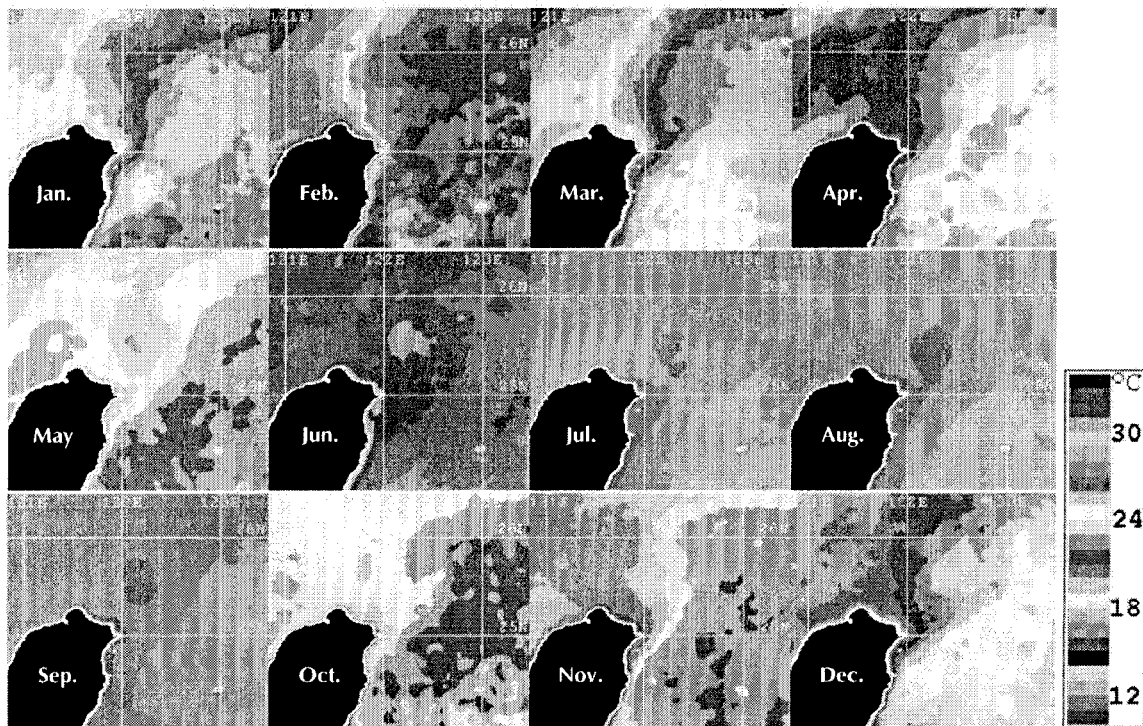


Fig. 2 Monthly sea surface temperature images derived from 1991~1998 NOAA satellite data.

水受海底地形抬升及夏季盛行之西南季風雙重作用，黑潮主流軸離岸偏向外洋側，而黑潮次表層水則湧昇至表面海域，形成顯著之冷渦分佈現象。

(三) 黑潮鋒面及冷渦兩者同時存在型態

大致發生在每年季節風交換之過渡時期，以春、秋兩季最容易發生，此時台灣東北海域之黑潮水與東海陸棚水之交互作用亦最為劇烈，形成強烈溫度梯度變化之鋒面結構及顯著之冷渦現象等水文特徵變化。

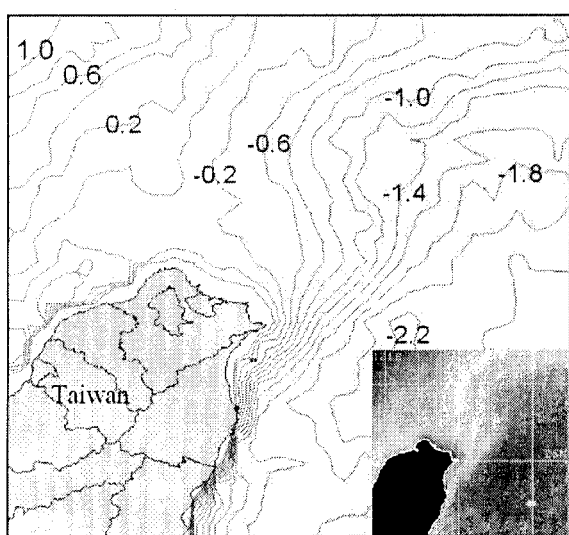


Fig. 3 Image and its contour map of first mode derived from the spatial-variance EOF analysis. The first mode accounts for 61% of the total variance.

二、主要水文特徵分佈之定量分析

利用經驗正交函數 (EOF) 分析 1991–1998 年 NOAA 衛星月平均水溫影像，獲得台灣東北海域主要水文分佈特徵影像 (即第一主成分)，如 Fig. 3 所示，其佔總變異量為 61%，而包含第二主成分影像之後則均僅佔總變異量 10% 以下。由第一主成分影像顯示台灣東北海域表層水文分佈型態係以黑潮水溫鋒面為主，研判該鋒面係由具高溫特性之黑潮暖流與水溫較低之東海陸棚水 (包含大陸沿岸水及東海混合水) 交匯作用而形成，且橫切鋒面之水溫梯度 (gradient) 變化甚大 (特別是宜蘭灣附近海域)，構成顯著之水溫鋒面分佈。過去 Tang (1996) 即曾利用 1934–1988 年水文觀測資料分析東海溫度鋒面，亦發現東海許多溫度鋒面中，黑潮鋒面分佈位置最為穩定。Sun (1987) 曾利用 GEK 資料分析發現黑潮主流軸於東海陸棚邊緣有秋、冬時期較近岸，而春、夏時期較偏向外洋之現象。顯示黑潮暖流於北緯 25 度以南，其主流軸分佈及形成之黑潮鋒面位置與走向受東北海域海底地形效應甚大，因而可發現其長期穩定之鋒面位置發生型態。此外，由第一主成分影像亦顯示黑潮鋒面主要分佈位置，係由台灣東部蘇澳海域開始離岸，經龜山島外側後繼續向東北方向，於北緯 26 度附近略為突向東海陸棚區，然後鋒面朝東北方向延伸。將第一主成分之振幅時間序列 (Fig. 4) 每年區分成西南季風盛行之夏季半

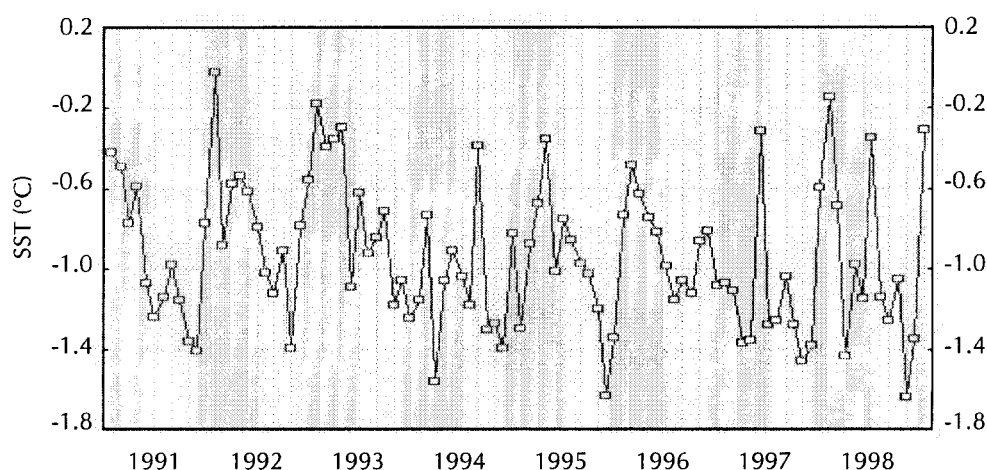


Fig. 4 Time-varying amplitude function corresponding to Fig. 2 for the first mode derived from the spatial-variance EOF analysis. The blue period indicates the cold season (December to May of the following year), and the white period indicates the warm season (June to November).

年 (6–11 月) 及東北季風盛行之冬季半年 (12 月至隔年 5 月)，發現黑潮鋒面主要發生於冬季半年，即東北季風盛行季節。Tang *et al.* (2000) 及 Hsueh *et al.* (1992) 分析錨定及船測水文資料，發現台灣東北海域之黑潮主流於冬季時靠近東海陸棚區，且有侵入陸棚現象，而夏季時黑潮流軸則明顯偏向外海。Yu and Miao (1991) 與 Miao *et al.* (1999) 曾利用水文資料針對東海南部海域之黑潮鋒面進行統計分析，發現黑潮鋒面主要發生在春季 (3–5 月) 及冬季 (12 月至隔年 2 月) 時期。

本研究進一步針對第一主成分之振幅時間序列，利用小波轉換 (wavelet transform) 分析 (Fig. 5)，結果顯示黑潮鋒面發生週期以年週期變動為主，僅於 1997 下半年至 1998 上半年間，轉變為半年週期變動，顯示黑潮勢力有所變化，是否與 1997–1998 年發生之強勢聖嬰年 (El Niño) 有關 (Pan, 1997)，有待進一步研究。另外，本研究同時針對所有 1991–1998 年間處理獲得之 NOAA 衛星水溫影像，統計台灣東北海域發生黑潮鋒面或冷渦之月別出現頻度 (Table 1)，發現黑潮鋒面 (除 8 月份外) 及冷渦幾乎常年存在，其中黑潮鋒面較常發生於每年 10 月至隔年 5 月，各月份含鋒面影像

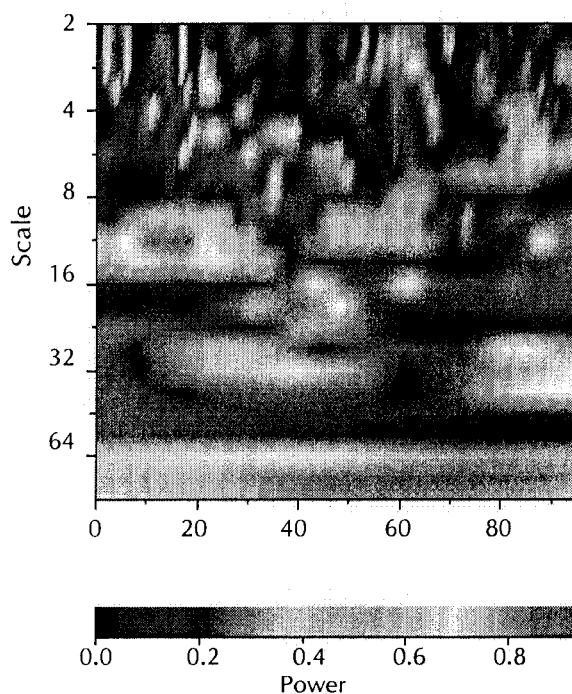


Fig. 5 Wavelet analysis of the time-varying amplitude function corresponding to Fig. 3 for the first mode derived from the spatial-variance EOF analysis. Scale unit: months.

佔總影像數之出現頻度百分比均相當高。冷渦則以每年 5–11 月份為發生高峰期，其出現頻度百分比亦相當高。進一步由 1991–1998 年每年 5–11 月之 NOAA 衛星水溫影像，彙整出月別冷渦之最冷中心分佈位置如 Fig. 6，顯示此期間台灣東北海域所有出現之冷渦皆分佈於 100 與 200 米等深線之間，且春、秋季 (5、6 及 11 月) 之冷渦中心較密集且接近東海陸棚區 100 m 等深線；而夏季 (7–10 月) 之冷渦中心分佈範圍較廣，有部分冷渦中心接近，200 米等深線。Sun and Xiu (1997) 曾指出，台灣東北海域之冷渦出現地理位置，並不穩定地出現於一固定地點和區域，而是隨著季節不同有所移動。研判台灣東北海域衛星水溫影像出現之冷渦中心分佈位置與黑潮主流軸有夏季離岸、冬季近岸現象有密切關係。

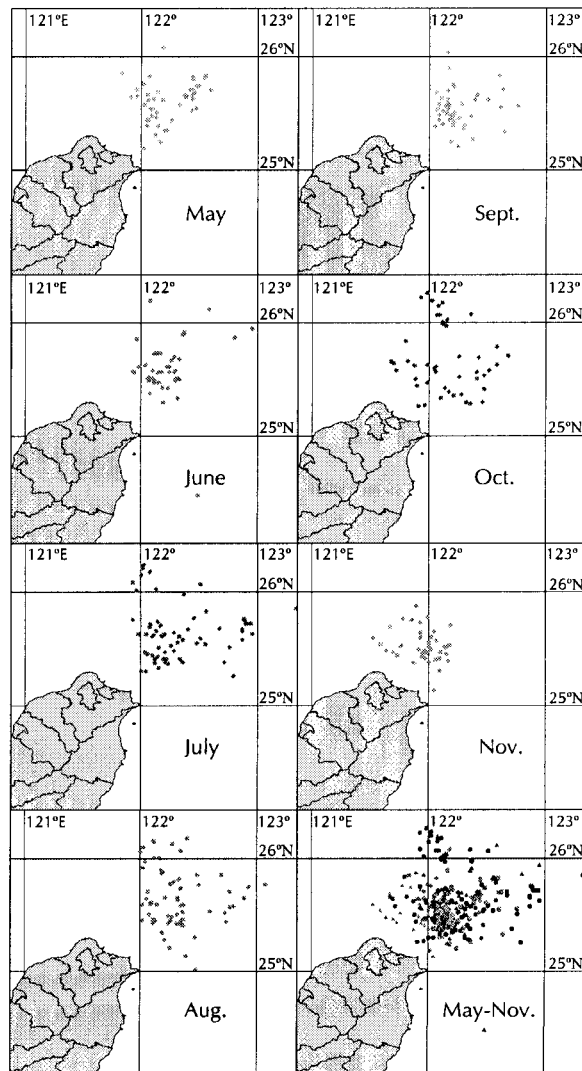


Fig. 6 Monthly locations of cold eddies from 1991–1998 NOAA sea surface temperature images.

因此，台灣東北海域的冷渦雖經常可以由衛星影像發現，但是由於其分佈位置變異較大且不穩定，導致由經驗正交函數分析，並無法獲得顯著冷渦特徵影像。再者，Sun and Xiu (1997) 亦由海洋調查歷史資料歸納出，台灣東北海域除冬季外，春、夏、秋三季皆有明顯之低溫冷水塊發生，並指出冬季冷渦出現頻率偏低現象，可能係冬季低溫之沿岸水易覆蓋冷渦區，因而不顯現。此外，黑潮鋒面及冷渦同時發生之月份以 5、10 及 11 月份為最多，與夏、冬兩季之季節風轉換過程似乎有密切相關。

三、台灣東北海域海面水溫預測模式

為進一步瞭解台灣東北海域表面水溫長期變動狀況，針對 1991–1998 年共 96 張月平均水溫影像，獲得 60 個採樣點 (St1–St60) 月平均表面水溫時序列資料。以頻譜分析探討該海域低頻水文動態變化。Fig. 7 中 St1、St32 及 St60 三個採樣點水溫時間序列資料小波轉換分析結果，顯示主要水溫變動週期為 12 個月，這種年週期穩定變動亦同時發生於其它各採樣點。由於台灣東北海域顯著之水溫年變動週期，利用自我迴歸移動平均整合模式 (ARIMA) 建立該海區水溫變動及預報模式。

Fig. 8 (左) 為 St60 採樣點原始水溫時間序列之自我相關函數，顯示其為無定向型時間數列，經取時遲 12 個月之差分後，其 ACF 顯示該水溫序列為具年週期變動之季節性時間序列 (Fig. 8 右)，因此本研究採用雙平滑模式 ARIMA(0,1,1)(0,1,1)₁₂ 作為該海域水溫預測模式，即：

$$(1-B)(1-B^{12})Z_t = (1-\theta_1)(1-\theta_{12}B^{12})a_t$$

上式中， Z_t 表示第 t 月份之平均水溫值， B 表示後移運算子 (backward shift operator)，即 $B^j a_t = a_{t-j}$ ，將 St60 之水溫數列以上式模式計算，獲得 $\theta_1 = 0.967$ 、 $\theta_{12} = 0.658$ ，其 t 值分別為 36.10 及 7.96，顯見兩個參數均為顯著。因此 St60 之水溫預測模式展開，即：

$$Z_t = Z_{t-1} + Z_{t-12} - Z_{t-13} - 0.967a_{t-1} - 0.658a_{t-12} + 0.636a_{t-13}$$

上式中 a_{t-1} 表示第 $t-1$ 月份之白噪音過程

(white noise process)，利用該模式預測下 12 個月份水溫值如 Fig. 9 所示，顯示預測之偏高海溫發生於夏季時期，最高水溫約 30°C，預測之偏低海溫發生於冬季時期，最低溫約 23°C，圖中短虛線為百分之九十五信賴水準 (confidence level)。同樣之 ARIMA (0,1,1)(0,1,1)₁₂ 模式應用於其它採樣點，亦有相似之結果，初步顯示雙平滑模式 ARIMA(0,1,1)(0,1,1)₁₂ 適合作為台灣東北海域衛星水溫預測模式之建立。

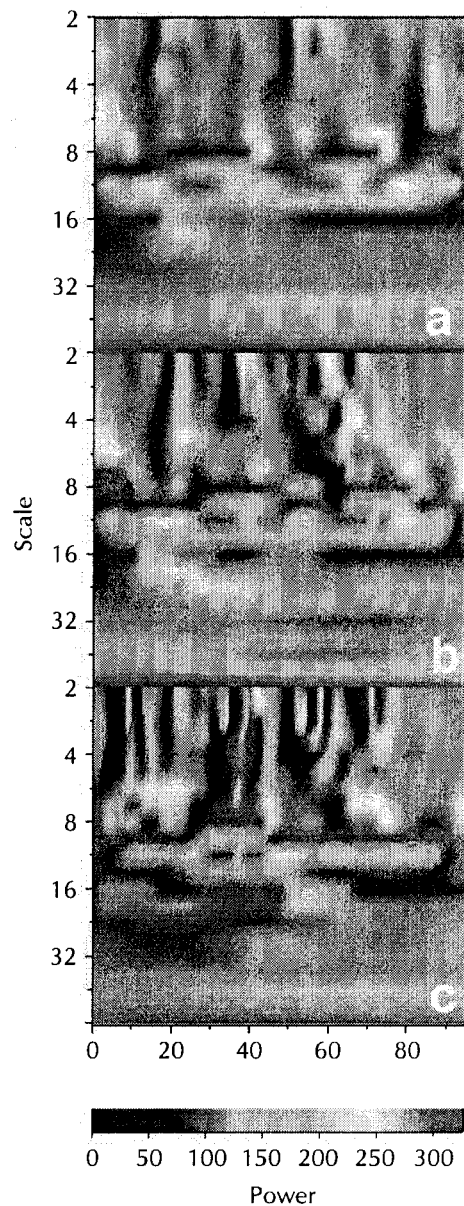
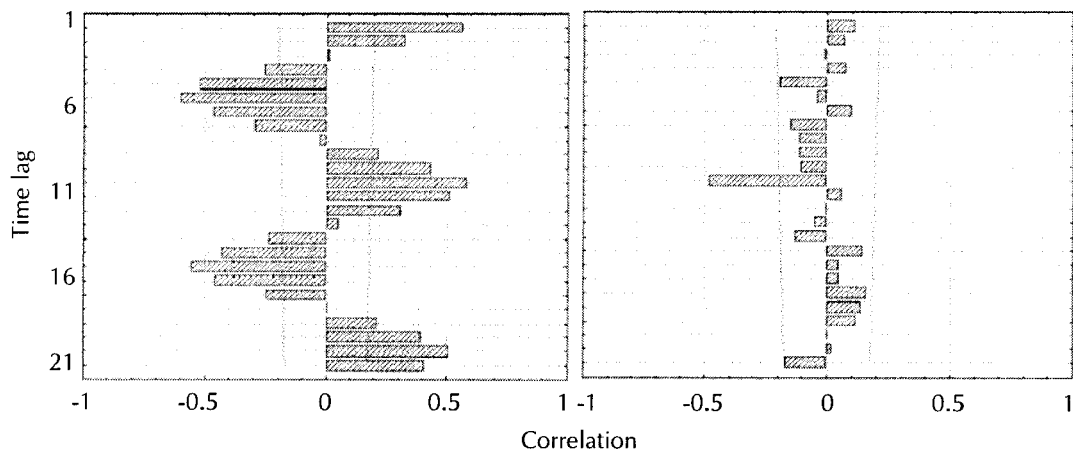
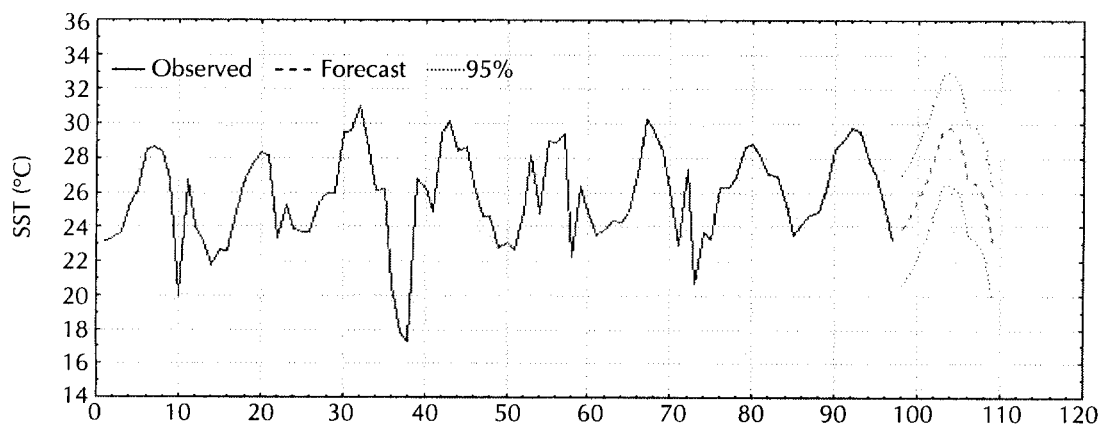


Fig. 7 Wavelet analysis of monthly sea surface temperature data derived from different stations. a: St1; b: St32; c: St60. Scale unit: months.

Table 1 Percentage of the Kuroshio front and cold eddy patterns found from 1991 to 1998 on NOAA satellite sea surface temperature images

Month	A	B	C	D	E
January	39	9	73	53%	12%
February	34	2	86	40%	2%
March	39	4	77	51%	5%
April	38	18	66	58%	27%
May	30	47	54	56%	87%
June	10	40	68	15%	59%
July	6	83	125	5%	66%
August	0	71	105	0%	68%
September	10	52	86	12%	60%
October	52	47	77	68%	61%
November	43	29	71	61%	41%
December	39	7	53	74%	13%
Total	340	409	941	36%	43%

A: No. of Kuroshio front feature found in NOAA SST images; B: No. of cold eddy feature found in NOAA SST images; C: Total SST images; D: Percentage of Kuroshio front; E: Percentage of cold eddy.

**Fig. 8** ACF function of 1991~1998 St60 monthly sea surface temperature data illustrating a nonstationary pattern (left). The ACF function indicated an annual cycle from the difference analysis of 12-month time lag (right).**Fig. 9** The ARIMA(0,1,1)(0,1,1)₁₂ time series model determined to completely imitate the SST forecast model.

結 論

由連續 1991-1998 年之台灣東北海域黑潮流區 NOAA 衛星海面水溫影像定性觀測及定量統計分析結果，顯示該海域主要表層水文特徵係以黑潮鋒面為主，且發生於冬季半年，即東北季風盛行時期。相對地台灣東北海域之冷渦則較常出現於夏季時期之衛星影像，而不論黑潮鋒面或冷渦，其時空動態均受黑潮主流之季節性變動所影響。此外，本研究亦發現黑潮流域之海面水溫動態變化以年週期變動為主，可進一步藉由季節性時間序列預測模式 (ARIMA forecast model) 之推導及建立，作為未來全面水溫預報系統之重要參考依據。然而利用衛星遙測廣景覽要及不受時空限制之特性，雖已可廣泛蒐集研究對象海區表層之大量水文資料，作為大尺度海域表層水文動態之研究。但衛星僅能觀測近表面水文分佈狀況，將來如何配合現場船隻實測資料，進行衛星遙測資料驗證及兩者間相關性之建立，都是本研究未來重要發展課題。

參考文獻

- Bane, J. M., D. A. Brooks and K. R. Lorenson (1981) Synoptic observations of the three-dimensional structure and propagation of Gulf Stream meander along the Carolina continental margin. *J. Geophys. Res.*, 86: 6411-6425.
- Beardsley, R. C. and H. Ichikawa (1993) Temporal and spatial variability of volume transport of the Kuroshio in the East China Sea. *Deep-Sea Res. (Part I. Oceanogr. Res. Papers)*, 40: 583-605.
- Benedetto, J. J. and M. W. Frazier (1994) *Wavelets: Mathematics and Applications*. CRC Press, Inc., 575 pp.
- Box, G. E. P., G. M. Jenkins and C. Gregory (1994) *Time Series Analysis: Forecasting and Control*. Prentice Hall, 598 pp.
- Chao, S. Y. (1991) Circulation of the East China Sea, a numerical study. *J. Oceanogr. Soc. Jap.*, 46: 273-295.
- Chern, C. S. and J. Wang (1990) On the mixing of water at a northern offshore area of Taiwan. *Terrestrial, Atmos. Oceanic Sci.*, 1: 297-306.
- Cryer, J. D. (1986) *Time Series Analysis*. Duxbury Press, Boston, 286 pp.
- Emery, W. J., S. Castro, G. A. Wick, P. Schluessel and C. Donlon (2001) Estimating sea surface temperature from infrared satellite and in situ temperature data. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 82: 2773-2786.
- Everson, R., Cornillon, P., Sirovich, L. and A. Webber (1997) An empirical eigenfunction analysis of sea surface temperature in the western North Atlantic. *J. Phys. Oceanogr.*, 27: 468-479.
- Fang, W. and W. W. Hsieh (1993) Summer sea surface temperature variability off Vancouver Island from satellite data. *J. Geophys. Res.*, 98: 14391-14405.
- Gallaudet, T. C. and J. J. Simpson (1994) An empirical orthogonal function analysis of remotely sensed sea surface temperature variability and its relation to interior oceanic processes off Baja California. *Remote Sensing Environ.*, 47: 375-389.
- Hsueh, Y., Wang J. and C. S. Chern (1992) The intrusion of the Kuroshio across the continental shelf northeast of Taiwan. *J. Geophys. Res.*, 97: 14323-14330.
- Lagerloef, G. S. E and R. L. Bernstein (1988) Empirical orthogonal function analysis of advanced very high resolution radiometer surface temperature pattern in Santa Barbara Channel. *J. Geophys. Res.*, 93: 6863-6873.
- Lin, C. Y., C. Z. Shyu and W. H. Shih (1992) The Kuroshio fronts and cold eddies off northeastern Taiwan observed by NOAA-AVHRR imageries. *Terrestrial, Atmos. Oceanic Sci.*, 3: 225-242.
- Liu, K. K., G. C. Gong, S. Lin, C. Z. Shyu, S. C. Pai, C. L. Wei and S. Y. Chao (1992) Response of Kuroshio upwelling to the onset of northeast monsoon in the sea north of Taiwan: observations and a numerical simulation. *J. Geogr. Res.*, 97: 12511-12526.
- Miao, Y. T., H. H. Yu, D. H. He and C. S. Wang (1999) Characteristics of water type distribution and seasonal variations in the southern East China Sea. *Mar. Sci. Bull.*, 1: 11-24.
- Pan, H. S. (1997) Analysis of the relationship between El Nino Event and change in sea surface temperature in Western Tropical Pacific, Indian Ocean and Kuroshio Current. *Mar. Sci. Bull.*, 16: 22-30.
- Saitoh, S. I., D. Inagake, K. Sasaoka, J. Ishizaka, Y. Nakame and T. Saino (1998) Satellite and ship observations of Kuroshio warm-core ring 93A off Sanriku, northwestern North Pacific, in spring 1997. *J. Oceanogr.*, 54: 495-508.

- Shan, W. C. (1999) First Concepts of Wavelets. Chwa Tech. Publ. Co. Inc., 430 pp.
- Sun, X. (1987) Analysis of surface path of the Kuroshio in the East China Sea. *In* Essays on the Investigation of Kuroshio, Ocean Press, Beijing, 1-14.
- Sun, X. P. and S. M. Xiu (1997) Analysis on the cold eddies in the sea area northeast of Taiwan. *Mar. Sci. Bull.*, 16: 1-10.
- Tang, Y. X. (1996) Distributional features and seasonal variations of temperature fronts in the East China Sea. *Oceanol. Et Limnol. Sinica*, 27: 436-444.
- Tang, T. Y. and W. T. Tang (1994) Current on the edge of the continental shelf northeast of Taiwan. *Terrestrial, Atmos. Oceanic Sci.*, 5: 335-348.
- Tang, T. Y., J. H. Tai and Y. J. Yang (2000) The flow pattern north of Taiwan and the migration of the Kuroshio. *Continental Shelf Res.*, 20: 349-372.
- Tseng, C. T., C. Y. Lin, S. C. Chen and C. Z. Shyu (2000) Temporal and spatial variations of sea surface temperature in the East China Sea. *Continental Shelf Res.*, 20: 373-387.
- Wei, W. W. S. (1990) Time Series Analysis – Univariate and Multivariate Methods. Addison-Wesley Publ. Co., Inc., 478 pp.
- Xie, Q., L. N. Yan, Y. J. Hou and J. F. Hu (1999) Long-period variations and coupling oscillations of SST over the Nansha and warm pool. *Oceanol. Et limnol. Sinica*, 30: 88-96.
- Yin, X. F., F. H. Li and X. D. Kong (1998) Autoregression model for forecast of bottom temperature in Bohai and Huanghai Seas. *J. Oceanogr. Huanghai & Bohai Seas*, 16: 18-22.
- Yu, H. H. and Y. T. Miao (1991) Analysis of characteristics of the Kuroshio front in the East China Sea. *In* Essays on the Investigation of Kuroshio (3), Ocean Press, Beijing, 204-211.
- Zhou, F. X., R. Z. Gao and T. Zhang (1999) Harmonic wave features of the SST annual cycle in the South China Sea. *J. Ocean Univ. Qingdao*, 29: 173-179.

Spatial and Temporal Variation of Sea Surface Temperature in the Northeastern Taiwan

Chen-Te Tseng*, Chi-Yuan Lin and Shih-Chin Chen

Planning and Information Division, Fisheries Research Institute

Abstract

The spatial and temporal variability of sea surface temperatures (SSTs) derived from NOAA/AVHRR infrared imagery obtained between 1991 and 1998 in northeastern Taiwan was investigated. An empirical orthogonal function (EOF) analysis was applied to monthly SST data. Results indicated that the first mode of EOF analysis represented 63% of the total spatial variance. It contained the structure of the Kuroshio frontal pattern, which is the interactive phenomenon of Kuroshio water and continental shelf water of the East China Sea (ECS). In addition, the Kuroshio frontal patterns as well as cold eddies were found to exist throughout the year. They could be classified into three main types of distribution patterns. The first type is the Kuroshio frontal pattern, which is usually found in November to March of the following year. The second type, the cold eddy pattern, is commonly found during summer from June to September, while the third type exists simultaneously with both the Kuroshio frontal and cold eddy patterns, and appears in the interchange period of the northeastern-southwestern monsoon, especially in May, October, and November. Furthermore, a wavelet analysis of the SST image time series was attempted, and the results showed that the dominant period variation of the studied area is an annual cycle (i.e., 12 months). Therefore, the $ARIMA(0,1,1)(0,1,1)_{12}$ time series was determined to completely imitate the SST forecast model which can be used to predict monthly SST data of one or more future time periods.

Key words: sea surface temperature, empirical orthogonal function, Kuroshio front, cold eddy.

*Correspondence: Planning and Information Division, Fisheries Research Institute, 199 Hou-Ih Rd., Keelung 202, Taiwan. TEL: (02) 2462-2101; FAX: (02) 2462-4627; e-mail: ctseng@mail.tfrin.gov.tw