

大氣年代風場特徵驅動海洋之反應研究

張振瑋¹ 余嘉裕²

1. 中國文化大學地學研究所
2. 中國文化大學大氣科學系

摘要

本文採用 NCEP/NCAR 再分析資料之近地面風場、最佳化內差月平均海平面溫度資料，利用奇異值分解法來探討大氣與海洋系統耦合特徵。大氣海洋系統最顯著之耦合特徵為「年代震盪」，其海溫空間分佈在太平洋地區呈現東太平洋和北太平洋反相位分佈，暖（冷）年代時東太平洋海溫升高（降低），北太平洋海溫降低（升高）。

由於缺乏深層海洋之觀測資料，故本研究以透過重建 SVD1 觀測大氣風場 1949~2000 年驅動複雜海洋模式（POP），並分析其模式模擬之結果，我們的研究發現，海洋之年代震盪結構於熱帶地區之混和層海面赤道潛流與赤道反流有最明顯之降溫特徵，也因海洋次表層有較強之梯度特徵，導致深層海水經湧升流與表層海水之交互作用減弱，進而減少上層海水之熱量散失，以致在暖年代時期熱帶地區之表層海水溫度較冷年代時期高。

關鍵詞：年代震盪、混和層

一、前言

最近幾年由於高品質、長時段的大氣與海洋格點資料（如 NCAR/NCEP 與 JEDAC 再分析資料）陸續出現，其資料長度往往超過 4、50 年，科學家開始注意到另一個較長週期的大氣海洋交互作用現象—「年代震盪」（Decadal Oscillation）。Trenberth（1990）是最早注意到大氣具有年代週期變化特徵之科學家，他分析北半球海平面氣壓和溫度長期變化時發現 1977~1988 年間整個北半球地面溫度有上升趨勢，但同時間在北太平洋地區卻有顯著溫度降低的情形，北太平洋降溫使得冬季「阿留申低壓」（Aleutian Low）加深並往東移動，另一方面北美西岸和阿拉斯加冬季卻變得溫暖而潮濕。由於太平洋為大氣與海洋系統內年代際震盪訊號最顯著地區，近年有許多學者也將這種因北太平洋地區海溫年代週期轉變並引起中緯度地區氣候變化現象稱為「太平洋年代震盪」（Pacific Decadal Oscillation，簡稱 PDO）。PDO 最早是由海洋漁業學家 Steven Hare 於 1996 年所提出，當時他根據海洋魚獲量長期記錄（Francis and Hare 1994）發現北美西岸鮭魚產量和北太平洋海溫年代週期變化有關。在 PDO 暖（冷）期，熱帶東太平洋海溫偏高（低），北太平洋海溫則顯著降低（升高），與聖嬰成熟期之海溫距平相似，對應之大氣風場和氣壓場也和南方震盪相仿。Zhang et al.（1997）根據可靠觀測資料發現 20 世紀以來共經歷過 3 次年代震盪相位轉換，分別在 1925 年由冷轉暖相位、1947 年由暖轉冷相位、以及 1977 年由冷再轉回暖相位。Biondi et al.（2001）利用北美洲樹木年輪資料甚至可以追溯自 1661 年起之 PDO 現象，他發現最劇烈年代氣候變化有三次，分別發生在

1750、1905 和 1947 年左右。

雖然 PDO 空間分佈特徵，如海平面溫度、海平面氣壓、近地面風場等皆有許多學者加以探討，但由於缺乏海洋深層物理場觀測資料，深層海洋對於年代震盪之特徵與貢獻尚未詳細討論與研究。由此，本研究透過複雜海洋模式 POP 模式模擬，藉由觀測之大氣場驅動海洋模式，以探討年際震盪中，深層海洋之年代特徵與其對上層海洋與大氣場之貢獻。

二、資料分析與研究方法

本文所採用資料包括 NCEP/NCAR（National Center for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research）再分析資料提供之月平均 1000hpa 風場和降水，其空間解析度為 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 經緯度，時間由 1949~2000 年，總共有 46 年。海平面溫度採用最佳化內差海溫重建資料，其空間解析度為 $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ 經緯度，時間同為 1949~2000 年。由於缺乏深層海洋海溫資料，為探討較深層海洋海溫年代變化之反應，本研究採用由 Los Alamos National Laboratory(LANL)發展之 Parallel Ocean Program (POP) 模式，其海洋垂直解析度為 33 層，最深到達海平面下 5500 公尺，本實驗為節省計算時間，空間解析度設為 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 經緯度之全球範圍，並藉由大氣之觀測風場驅動海洋，以探討其海洋垂直層之年代變化特徵。

為了聚焦在年際和年代變化訊號，月平均資料場皆經過季節變化訊號之濾除。濾除方法為：將一月之月平均資料減去一月長期氣候值、二月之月平均資料減去二月長期氣候值、……，依此類推到十二月，此種濾除季節訊號方法為多數氣候分析者所使用，其優點為可保留時間上解析度。為了瞭解大

氣與海洋介面主要物理量時空耦合特徵，本研究採用奇異值分解法 (Singular Value Decomposition, 簡稱 SVD)，透過求解兩變數 (或多變數) 空間與時間資料之交互協方差矩陣 (cross co-variance matrix)，獲得兩變數 (或多變數) 間最高相關係數下之時空分佈特徵 (奇異向量)，亦即呈現此兩變數 (或多變數) 間之主要耦合型態 (Bretherton et al. 1992 ; Syu and Neelin 1995 ; 張和余 2003)。

三、年代震盪特徵分析

為探討大氣與海洋介面耦合特徵，本節使用海面溫度與近地面 (1000hPa) 風場月平均資料做奇異值分解，同時為了聚焦在較長週期 (一年以上) 氣候變異特徵，季節訊號已被先行濾除。圖 1 為海面溫度與近地面風場第一個奇異值分解 (SVD1) 特徵向量空間分佈 (上圖) 和伴隨主分量時間序列 (下圖)，其中 SVD1 佔全體變異之 45.61%，海溫和風場間相關達 81.31%。由海溫 (紅線) 主分量時間序列發現，1949 年到 1977 年間海溫相對較冷 (主分量平均值為 -3.5)，1979 年到 2000 年間海溫則相對較暖 (主分量平均值為 5.2)，由於冷、暖期有顯著之海溫轉變且持續時間超過 10 年 (a decade)，因此稱 SVD1 為「年代模」(decadal mode)，代表年代震盪時空分佈特徵。

年代震盪空間分佈 (上圖) 顯示海溫有三個主要變異中心：北半球中太平洋、熱帶東太平洋，以及熱帶印度洋，其中前者海溫變異和後兩者呈反相位關係，亦即在暖年代當熱帶印度洋和熱帶東太平洋海溫偏暖時，北半球中太平洋海溫卻偏冷。海溫年代震盪對應之風場顯示，暖年代時在赤道印度洋、西北太平洋、以及東太平洋等海溫主要正區出現輻合氣流，換日線以西的太平洋地區出現跨赤道南風，換日線以東的太平洋地區則出現跨赤道北風。另外在亞洲、北美洲、以及北非洲陸地皆發現反氣旋環流，其中又以亞洲大陸最為顯著，顯示在暖年代時上述地區低層將產生反氣旋 (高壓) 環流距平。反之，冷年代時上述反應則相反。

四、季節循環之年代差異

年代震盪由上一小節分析可知大氣海洋系統的低頻「耦合模」(coupled mode) 最顯著訊號為以太平洋和印度洋為中心，海溫變異週期 20 年以上之年代震盪。為進一步瞭解大氣與海洋系統年代變化特徵，本節將暖年代四季氣候平均值減去冷年代四季氣候平均值，以瞭解季節循環之年代差異特徵，四季氣候值之春季取 3~5 月、夏季取 6~8 月、秋季取 9~11 月、冬季取 12~2 月平均值，並由垂直剖面分析海洋之物理量於年代震盪中之反應與特徵。為分析垂直剖面結構，本研究分析赤道之緯向剖面與換日線之經向剖面，並探討由 180°/45°N 至 120°W/赤道之斜剖面，圖 2 為海平面溫度季節循環之年代

差異，令人訝異的是，除了強度略有改變之外，春夏秋冬四季循環之年代差異分佈特徵極為類似，也和 SVD1 水平分佈 (圖 1) 相近，顯示年代震盪型態並無明顯的季節選擇性，而是整個大氣與海洋系統由一個氣候態轉換到另一個氣候態，圖 3 為太平洋赤道剖面之海溫年代差異，可明顯看到距海面下 30 公尺左右為增溫之特徵，而海面下 30 公尺至 250 公尺之赤道潛流 (Equatorial Undercurrent) 為降溫之特徵並於年代差異中為降溫之最低值，而海面下 250 公尺至 1000 公尺則為增溫之特徵。

五、總結與討論

由奇異值分解法 (SVD) 濾除季節效應計算 1949~2000 年之 SST 與近地面風場結果，由 SVD1 得知在 1976~1981 年為一明顯年代際變化期，除北太平洋與小範圍之南太平洋海域外，大部分海域 SST 皆有增溫趨勢，SVD 不但提供年代際變化證據外，亦提供了近年來全球暖化之另一證明。

由重建 SVD1 之觀測之 1000hpa 風場 1949~2000 年驅動複雜海洋模式 (POP)，並分析其深層海洋之年代特徵，分析結果顯示，海洋之主要年代影響變異區位於次表層海面，亦為海面下 100~300 公尺深之赤道潛流與赤道反流變化。其年代特徵變化強弱與海洋湧升流之垂直交互作用相關，除降低湧升流所帶來之上下層海水交互作用外，亦影響到近海面之海氣交互作用，而導致海面溫度上升。本研究除模式模擬分析外，亦需透過海洋之熱力方程探討，海洋上層熱通量與下層湧升流熱通量收支比重之年代震盪關係。藉此瞭解次表層海洋與深層海洋對於長時間震盪現象之貢獻，進而瞭解底層海洋對上層海洋甚至大氣場之影響。

參考文獻

- 張振璋，余嘉裕，2003：大氣海洋系統年際變異度之初步分析。*華園理科學報*，**20**，209-228。
- 張振璋，余嘉裕，2005：大氣與海洋年代震盪特徵分析。*大氣科學*，**33**，321-340
- Biondi F., A. Gershunov, and D. R. Cayan, 2001: North Pacific decadal climate variability since 1661. *J. Climate*, **14**, 5-10.
- Bretherton, C. S., C. Smith, and J. M. Wallace, 1992: An inter-comparison of methods for finding coupled patterns in climate data. *J. Climate*, **5**, 541-560.
- Francis, R. C., and D. E. Harrison, 1994: Decadal-scale regime shifts in the large marine ecosystem of the Northeast Pacific: a case for historical science. *Fish. Oceanogr.*, **3**, 279-291.
- Latif, M., and T. P. Barnett, 1994: Causes of decadal climate variability over the North Pacific and North America. *Science*, **266**, 634-637.
- Syu, H.-H., and J. D. Neelin, 1995: Seasonal and interannual variability in a hybrid coupled GCM.

J. Climate, **8**, 2121-2143.

Trenberth, K. E., 1990: Recent observed interdecadal climate changes in the northern hemisphere. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **71**, 988-993.

Zhang, Y., J. M. Wallace, and D. S. Batisti, 1997: ENSO-like interdecadal variability: 1900-93. *J. Climate*, **10**, 1004-1020.

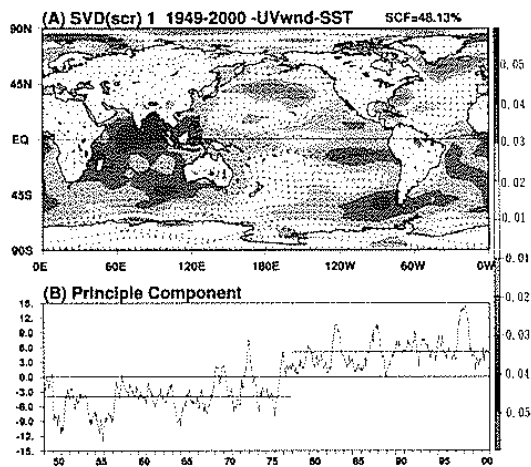


圖 1：濾除季節效應後 1949 年到 2000 年海面溫度與 1000hPa 風場之第一個奇異值分解分佈，可解釋變異量佔總變異量之 48.31%，兩變異量相關 81.31%。1956 年到 1975 年主分量平均值為 -0.277，1982 年到 2001 年之主分量平均值為 0.275。圖中之特徵向量最大和最小值介於 0.05（深紅色區）和 -0.05（淡紫色區）之間，等值線間距為 0.01。

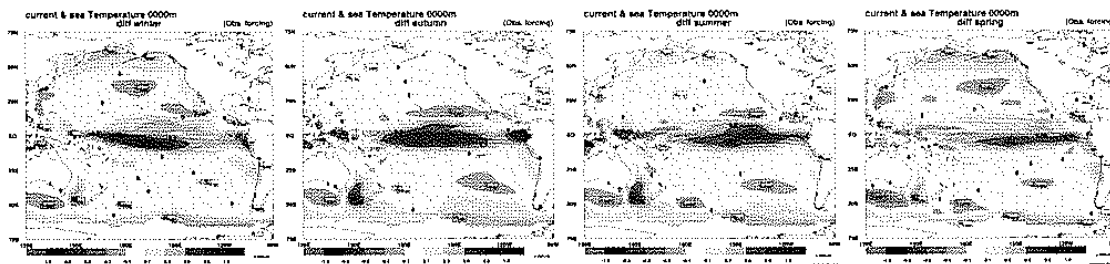


圖 2：太平洋地區暖年代與冷年代海表面溫度與海流差異（暖年代減去冷年代），左至右圖為春天、夏天、秋天、冬天。

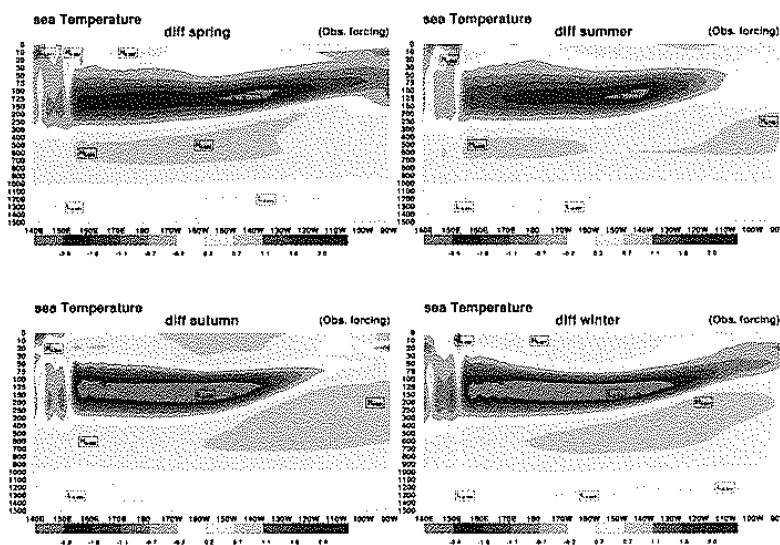


圖 3：承圖 2，太平洋赤道地區垂直緯向剖面圖。

On the Oceanic Response to Decadal Atmospheric Wind Forcing

Cheng-Wei Chang^{1*} and Jia-Yuh Yu²

1. Institute of Geography, Chinese Culture University, Taipei, Taiwan,
cwchang@atmos.pccu.edu.tw, +886-2-28610511 ext25901

2. Department of Atmospheric Sciences, Chinese Culture University

Abstract

In this presentation, NCEP/NCAR reanalysis near-surface monthly winds and Optimum Interpolation monthly sea surface temperature (SST) are used to examine the coupled characteristics in the atmosphere-ocean system by employing the Singular Value Decomposition (SVD) method. The most dominant coupled mode of the atmosphere-ocean system is the so-called “decadal oscillation”. Its SST spatial pattern exhibits opposite phase between eastern Pacific and North Pacific, with warm (cold) SST in the eastern Pacific while cold (warm) SST in the North Pacific during “warm epoch” (“cold epoch”), much similar to the ENSO variability.

To study the air-sea interaction processes in details, observational, theoretical, and modeling studies are needed. In this study, observed surface winds are utilized to force Parallel Ocean Program (POP) model to simulate the internal oceanic response. The temperature profile of the ocean exhibits significant interdecadal oscillation. This oscillation is found to be maintained by the weakening of upwelling in the equatorial mixed layer, which results in an increase of SST in the eastern Pacific during warm epoch. We also use surface winds based on the 1st SVD to force POP to get the pure decadal signals in the ocean. The heat budget within the mixed layer shows that both surface heat flux term and advection term play positive role in maintaining the decadal SST pattern resembling El Nino during warm epoch.

Key Words: Decadal Oscillation, mixed layer, heat budget