

中央氣象局混合海氣耦合模式之研發

胡志文

中央氣象局 科技中心

摘要

為因應中央氣象局(以下簡稱本局)「氣候變異與劇烈天氣監測預報系統發展」計畫對氣候預報之需求,本局正進行發展海氣耦合動力預報模式之研究與發展。規劃中需發展中間海氣耦合模式及混合海氣耦合模式,本文之目的在測試不同混合耦合模式的模擬,以期從不同版本的耦合模式中選取較佳的耦合模組作為本局未來海氣耦合模式的作業的基礎。

「氣候變異與劇烈天氣監測預報系統發展」計畫下的混合海氣動力預報模式所選用的大氣模式為環流模式(General Circulation Model),共有兩組分別為中央氣象局全球預報系統(GFS, Global Forecast System)中所使用的大氣環流模式,及德國 Max Planck Institute 發展的 ECHAM(第五版)大氣環流模式。所選用的海洋模式為中間模式(Intermediate Model),共有三組分別為李天明教授(美國夏威夷大學氣象系)設計的 Cane and Zebiak 模式(簡稱 TIM),原始的 Cane and Zebiak(簡稱 CZ_0),Kang 和 Kug (2000)利用觀測資料與 SVD 方法找出深層海水變化與海洋斜溫層深度的關係,再將此關係運用在模式的深層海水逸入項的參數化中(簡稱 CZ_M)及美國夏威夷大學的 2½ 層中間海氣耦合模式(簡稱 UH)。本次實習的主要工作即在測試以上六組模式的耦合。

經過嚴謹測試目前已經有六組耦合模式可以合理的模擬出暖水事件,這六組分別為 GFSTIM, EC5TIM, GFSCZ_0, GFSCZ_M, EC5CZ_0 及 EC5UH。

一、前言

受到非線性作用的影響,對大氣狀態的詳細演變最多只有兩星期的預報能力。氣候預報的可行性主要基於大氣的下墊面(如海洋,地面降雪,海冰)相對於大氣而言有較長的記憶,利用此種下墊面緩慢的變化,可以預報下墊面演變對大氣平均狀態的影響。在做氣候預報前必需先確定哪些因子對氣候有重要的影響,在確定這些因子後即可利用這些因子進行氣候預報。經由前人的分析已經確認赤道區太平洋的聖嬰現象(El Niño)對氣候演變有決定性的影響。

目前世界上先進國家及預報中心對氣候預報主要採取三種方法,分別為統計預報,動力模式(數值模式)預報及動力模式統計預報。統計預報主要是利用不同氣候現象在時間與空間尺度上的統計關係做預報。動力模式氣候預報則是使用一組動力學方程,利用大氣及海洋現在的條件來預報大氣及海洋未來的變化。動力模式統計預報是使用動力模式預報的結果經由統計方法的分析,校正模式的誤差藉以提高模式預報的準確度。本局在「氣候變異與劇烈天氣監測預報系統發展」計畫中對以上三種方法都會進行系統性的發展。個人在「氣候變異與劇烈天氣監測預報系統發展」計畫中主要任務為研發氣候動力模式。

氣候動力模式預報在「氣候變異與劇烈天氣監測預報系統發展」計畫中將發展三種模式,一、中間海氣耦合模式,二、混合海氣耦合模式,及三、完全海氣耦合模式等。本文主要目的在分析混合海氣耦合模式的模擬結果。

二、模式簡介與實驗設計

本文中所指的混合海氣耦合模式中所用的大氣模

式為環流模式(General Circulation Model),海洋模式則為中間模式(Intermediate Model)。

由前人的研究可知,多模式的模擬(預報)不論是用簡單的算術平均或複雜的統計修正,所得的結果平均而言要比單一模式結果為佳。基於以上理由由本局的海氣耦合模式將採取多模式預報的方式。所選用的模式在大氣模式方面有兩組,一為本局天氣預報模式(GFS;胡等,2002),另一為德國 Max Planck Institute 發展的 ECHAM(第五版)模式(Roeckner 等,2003)。兩組大氣模式的動力模組都使用波譜法,水平方向的解析度都是 T42,即水平方向有 128x 64 個網格點。在垂直方向 GFS 有 18 層,ECHAM5 則有 19 層。海洋模式有四個中間模式,第一組為李天明教授(美國夏威夷大學氣象系)設計的 Cane and Zebiak 模式(簡稱 TIM),第二組為原始的 Cane and Zebiak (Zebiak and Cane, 1987;簡稱 CZ_0),第三組是 Kang 和 Kug (2000)利用觀測資料與 SVD 方法找出深層海水變化與海洋斜溫層深度的關係,再將此關係運用在模式的深層海水逸入項的參數化中(簡稱 CZ_M)。第四組為美國夏威夷大學的 2½ 層中間海洋模式(Wang et al., 1995;簡稱 UH)。TIM 模式的水平範圍東西向為全球,南北向為 30°S-30°N,水平解析度為 2°x 1°。CZ 模式的水平範圍東西向為 129.375°E-84.375°W,南北向為 19°S-19°N,水平解析度為 5.625°x 2°。UH 模式的水平範圍與 TIM 模式相同但其水平解析度為 0.5°x 0.5°,UH 模式可以控制模式是否要啟動其模式範圍內各海洋的模擬,在本報告中我們選擇關閉模式大西洋的模擬。以上四組中間海洋模式中 CZ 與 TIM 為距平模式,即模式只預報海水表面溫度之距平值,UH 則預報海水表面溫度的全部變化。在三組距平模式中,CZ 模式只單純的受到大氣動力作用,即大氣與海交界面的風應力(wind stress)的強迫,TIM 模式除了動力作用外模式也可以

加入熱力作用，即大氣與海洋交界面熱通量(長波輻射，短波輻射，潛熱與可感熱)的強迫。UH 模式同時受到大氣動力作用與熱力作用的強迫。

三、 結果與分析

由兩組大氣模式與四組中間海洋模式的偶合可以產生出八組不同的偶合模式，經由測試的結果共有六組組合可以合理模擬出暖水現象，這六組為 GFSTIM, EC5TIM, GFSCZ_0, GFSCZ_M, EC5CZ_0 及 EC5UH, 為節省篇幅本文將報告其中兩組，分別為 GFSCZ_0 及 EC5UH。

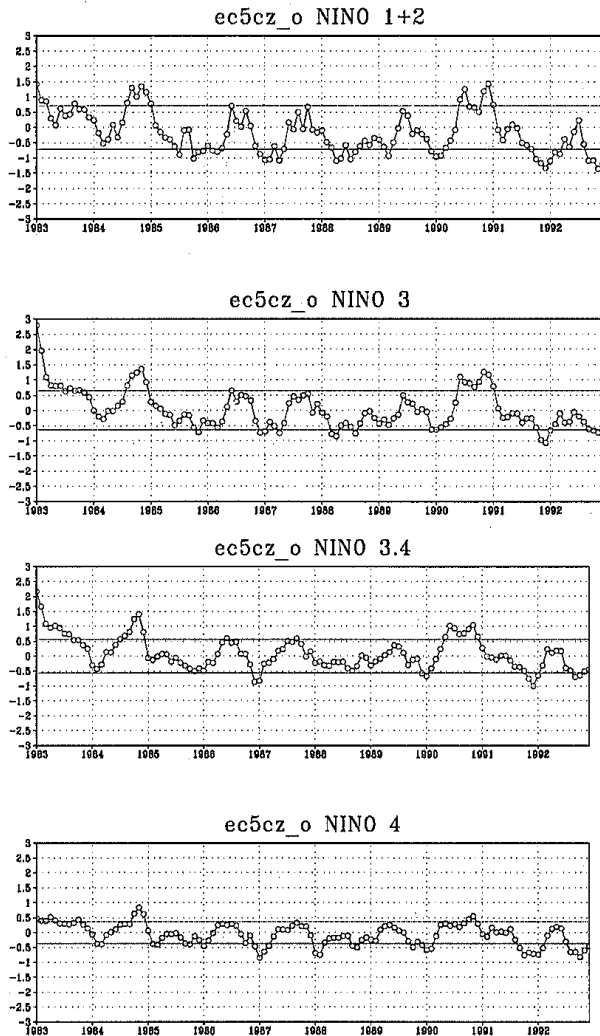


圖 1、GFSCZ_0 聖嬰指標隨時間變化圖。

首先分析 GFSCZ_0 的結果，本實驗使用 1982 年 12 月 31 日 12Z 的海水表面溫度距平場當做海洋模式的初始場，模式積分 10 年。圖 1 是 GFSCZ_0 的聖嬰指標隨時間變化圖，由聖嬰指標的變化顯示模式可模擬出週期不規律的暖水事件，圖 2 是模式赤道區海水表面溫度距平變化圖，模式在十年的模擬中出現兩次較大距平與較有組織的暖水事件，時間分別是 1984 及 1990。由這兩次暖水事件的演變顯示暖水先出現在中太平洋，而後向東延伸進入東太平洋，兩事件的合成圖為圖 3，圖中可以清楚的看出暖水在(0)年春季首先出現在中太平洋，隨後向東延伸且強度加強，暖水最強的時間出現在(0)年秋季，最大的正距平大於 1.6°C 出現在東太平洋。

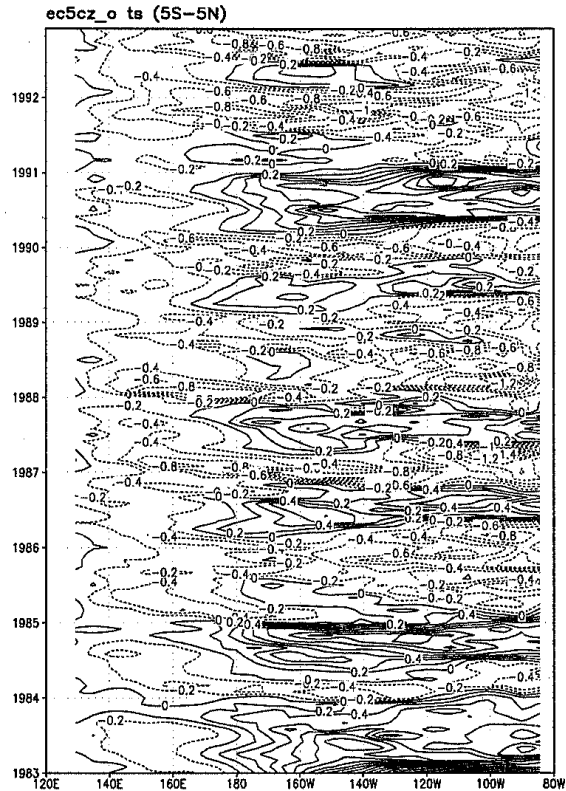


圖 2、GFSCZ_0 模擬之赤道區(5°S-5°N 平均)海水表面溫度距平隨時間變化圖，圖中虛線為負值，實線為正值，等值線間隔為 0.2°C。

以上結果顯示 GFSCZ_0 有能力模擬出暖水現象，下面將分析 EC5UH 的測試結果。

於 EC5UH 的初步測試中發現 UH 模式的海表面溫度在洋面上雲量較多的區域有偏高的現象，經比較模式與觀測場之各項海表面熱通量(短波輻射、長波輻射、可感熱與潛熱)，發現 ECHAM5 的短波輻射在洋面上雲量較多的區域與觀測場和 ECHAM4 有較大的差異，圖 4 自上到下為 ERA40、ECHAM4-ERA40、ECHAM5-ERA40 及 ECHAM5-ECHAM4 的年平均地面短波輻射，圖中顯示 ECHAM5 的地面短波輻射在 ITCZ 與 SPCZ 地區的值較觀測場與 ECHAM4 為高。吾人也分析了 ECHAM5 陸地上的地面短波輻射，結果顯示 ECHAM5 陸地上的地面短波輻射並沒有明顯的系統性誤差(圖略)。

由以上分析我們知道 ECHAM5 模式在海洋面雲量較多的地區(如 ITCZ 與 SPCZ)的短波輻射有系統性偏高的誤差，但此種系統性的誤差並沒有出現在陸地上。在發現以上關係後我們到模式裡短波輻射程式裡尋找，看看有沒有變數在陸地上與海洋上有不同的值或是不同的計算方法，結果在程式 physc.f90 裡面我們找到一個變數 zn2 在陸地上與海洋面上有不同的值。由 Roeckner 等(2003)所寫的 MPI 349 號報告中，此變數用 N_l 表示，所代表的意義是單位體積內的雲滴數目(cloud droplet number concentration)，此值在陸地上邊界層裡設定為 $220 \times 10^{-6} m^{-3}$ ，在海洋邊界層裡則設為 $80 \times 10^{-6} m^{-3}$ ， N_l 在邊界層外不論在陸地或是海洋上皆以指數遞減到 $50 \times 10^{-6} m^{-3}$ 。這個變數的大小會影響模式雲滴冷凍成冰的速率，雲冰

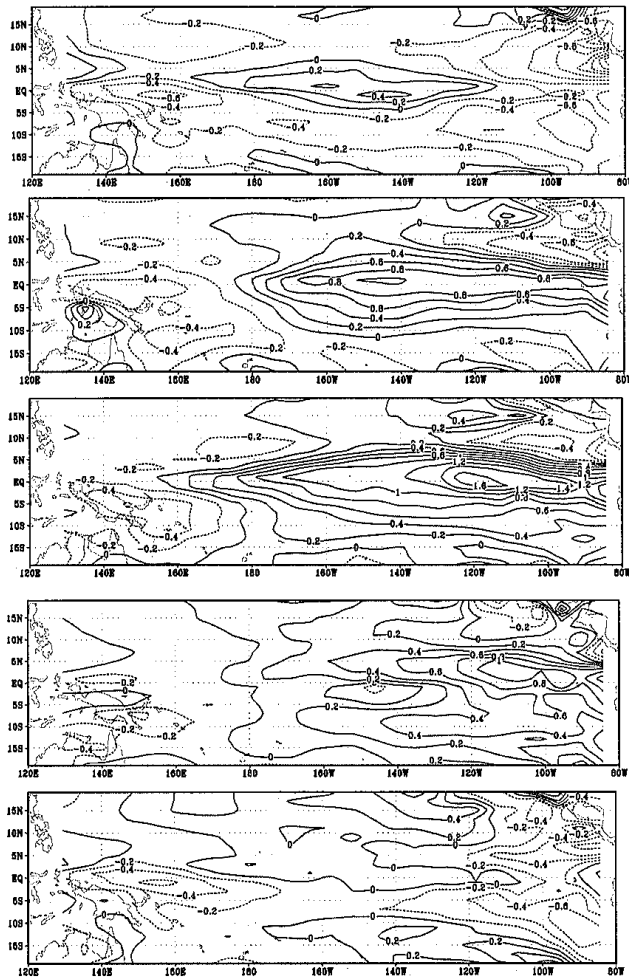


圖 3、GFSCZ_0 模擬之暖水事件合成圖，所選取之暖水事件時間為 1984/85 及 1990/91，所繪之值為季平均海水表面溫度距平，時間從(0)春季到(1)年春季，等值線間隔為 0.2°C。

的多寡對輻射過程的光程(optical depth)有很大的影響，光程的大小又會決定輻射量的大小，因此 N_i 變數的數值應該對模式的短波輻射量有一定程度的影響。

由於 ECHAM4 模式的地面短波輻射在洋面上雲量較多的區域只有較低的系統性的誤差，因此我們比較了 ECHAM4 與 ECHAM5 對雲滴轉成雲冰的處理方法，發現兩個版本使用同一個參數化方法。在 ECHAM4 模式中邊界層以上 N_i 值與 ECHAM5 相同，且在陸地邊界層的 N_i 值也與 ECHAM5 相同，但是 ECHAM4 模式在海洋邊界層的值有兩個，分別為 $100 \times 10^{-6} m^{-3}$ 及 $150 \times 10^{-6} m^{-3}$ ，兩者的差別在於當模式選擇使用 AMIP2 積分時(海溫及海冰邊界條件為觀測值) $N_i = 100 \times 10^{-6} m^{-3}$ ，若模式不選用 AMIP2 積分(海溫及海冰為氣候值)則 $N_i = 150 \times 10^{-6} m^{-3}$ 。由此可以知道不論 ECHAM4 選不選擇使用 AMIP2 積分，在海洋邊界層的 N_i 值都大於 ECHAM5 的 $80 \times 10^{-6} m^{-3}$ 。較

大的 N_i 值會增加雲對短波輻射的吸收與散射，這些作用會減少到達地面的短波輻射，因此我們認為 ECHAM5 模式中在海洋邊界層較小的 N_i 值可能是造成 ECHAM5 在海洋面上雲量較多區域(如 ITCZ 與 SPCZ)短波輻射過強的主要原因。

為了確認 N_i 對 ECHAM5 模式短波輻射的影響，我們將 N_i 的值加大到 $150 \times 10^{-6} m^{-3}$ 再進行 AMIP 的積分。結果顯示使用 $N_i = 150 \times 10^{-6} m^{-3}$ 的 ECHAM5 模式積分結果，ECHAM5 模式在洋面上雲量較多區域的地面短波輻射之系統性誤差已經減小許多(圖略)，另一方面 N_i 值的改變對歐亞大陸的短波輻射並沒有影響(圖略)。

由上面的測試我們知道將 ECHAM5 模式在海洋邊界層的 N_i 值由 $80 \times 10^{-6} m^{-3}$ 增加到 $150 \times 10^{-6} m^{-3}$ 可以充分的改進模式在海洋上雲量較多區域短波輻射過高的現象。因此我們將海洋邊界層的 N_i 設為 $150 \times 10^{-6} m^{-3}$ 進行偶合測試。

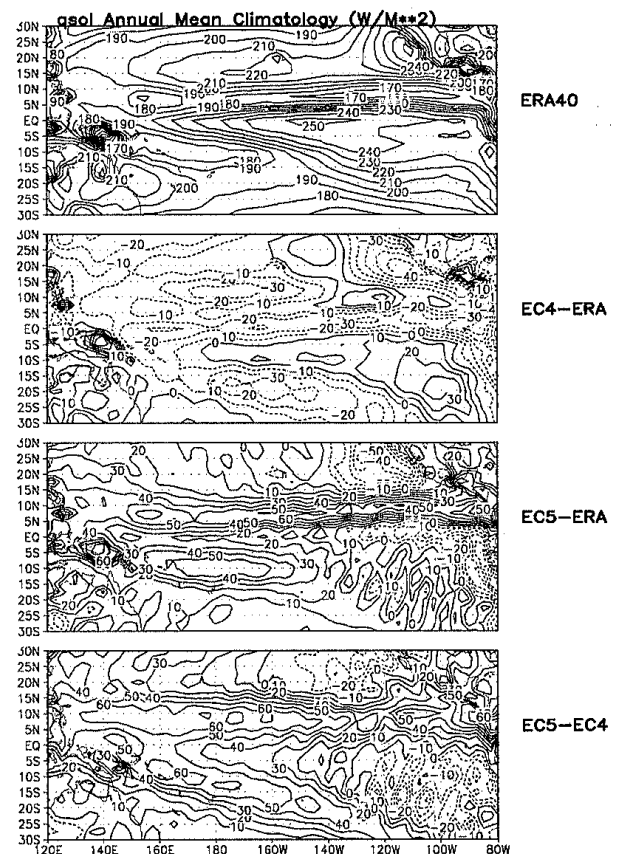


圖 4、年平均地面短波輻射氣候場(qsol)，由上到下分別是 ERA40、ECHAM4.2-ERA40、ECHAM5-ERA40 及 ECHAM5-ECHAM4.2，圖中虛線為負值，實線為正值，等值線間隔為 10 W/M²。

在 ECH5UH 的測試中，海洋模式的初始海水表面溫度場由大氣模式內插到海洋模式的網格點上，磨積分時間為 20 年。

圖 5 是實驗六聖嬰指標隨時間變化圖，圖中顯示

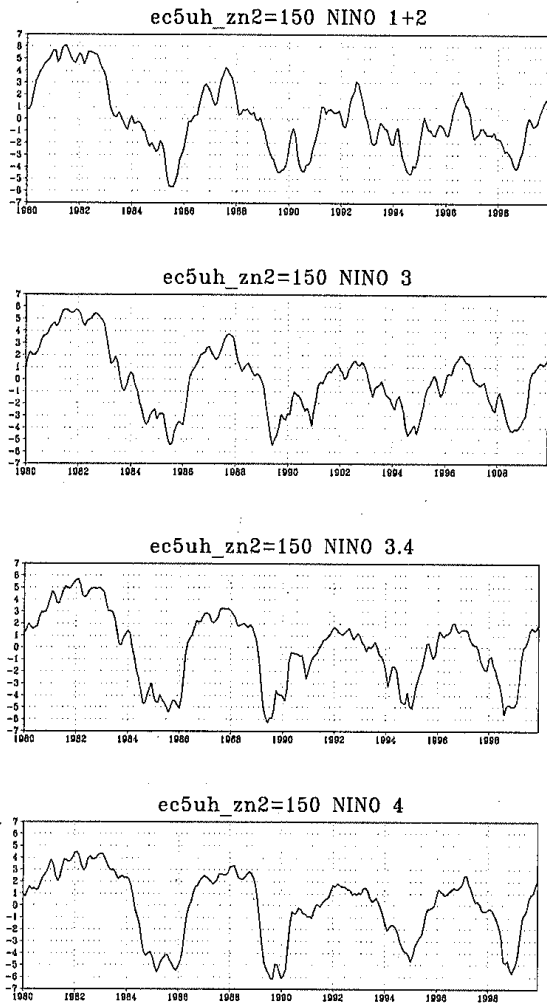


圖 5、EC5UH 模擬之聖嬰指標隨時間變化圖。

模式模擬出一個週期約為四年的年際變化。模式的 20 年季平均海水表面溫度場圖示於 6，與觀測場(圖略)相比，模式可以合理的模擬出海水表面溫度的季節變化，模式模擬與觀測場較明顯的差異是模式的海水表面溫度在雲量較多的區域略高於(1°C)觀測場，且模式在赤道區的冷舌(cold tongue)的南北向範圍較觀測場大。圖 7 是模式赤道區(5°S-5°N 平均)海水表面溫度距平年週期變化，與觀測場相比(圖略)模式能掌握中到東太平洋的海水表面溫度的年週期變化，模式也模擬出正海水表面溫度距平隨時間向西移動的現象，另一方面，模式雖然在西太平洋模擬出半年週期的變化，但是模式在一到二月間所模擬出來的海水表面溫度距平為正值，觀測場則為負值。

圖 8 是赤道區(5°S-5°N 平均)海水表面溫度距平年際變化，由於海洋模式的初始場中只有海水表面溫度值是由大氣模式內插得到，其餘的場為常數(海洋斜溫層)或為零(洋流)，因此模擬的前三年模式處於調整階段，其後模式在 1988/89, 1991/92 及 1996/97 模擬出三個暖水事件，這三個暖水事件的合成圖為 9，由合成圖中可以看出，模式在(0)年夏季到(1)年夏季赤道區中到東太平洋都有正海水表面溫度距平，正距平最強的時間出現在(0)年秋季，此後暖水強度逐漸減弱。模式合成圖也顯示較大的正距平原本位於東太平洋，隨時間此較大正距平會向西移，以上現象與觀測場十分類似。模式模擬與觀測場較大的差異在(1)

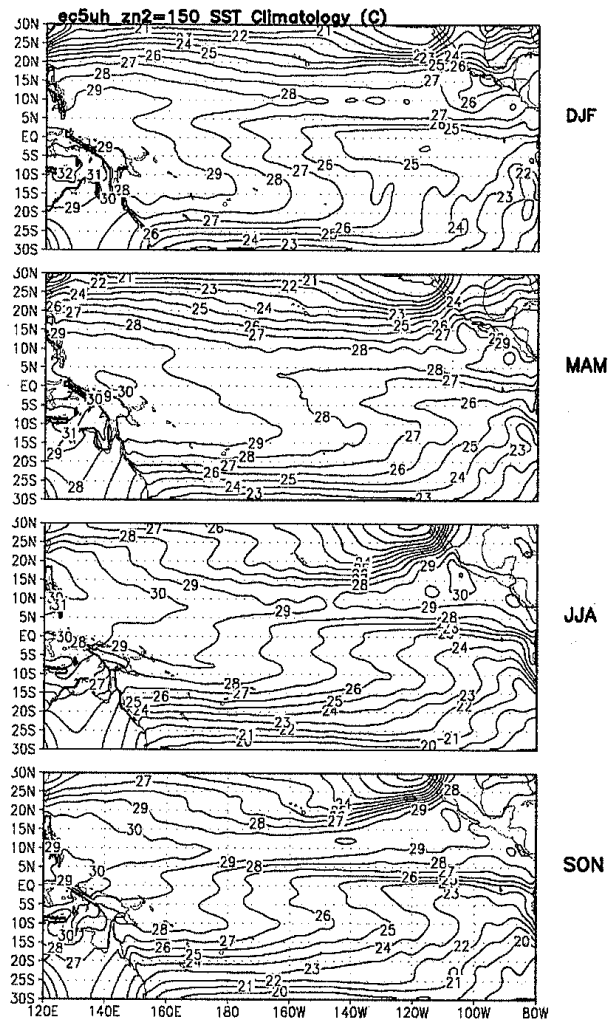


圖 6、EC5UH 模擬之季平均海水表面溫度場(20 年平均)，由上到下分別是冬、春、夏、秋，圖中虛線為負值，實線為正值，等值線間隔為 1°C。

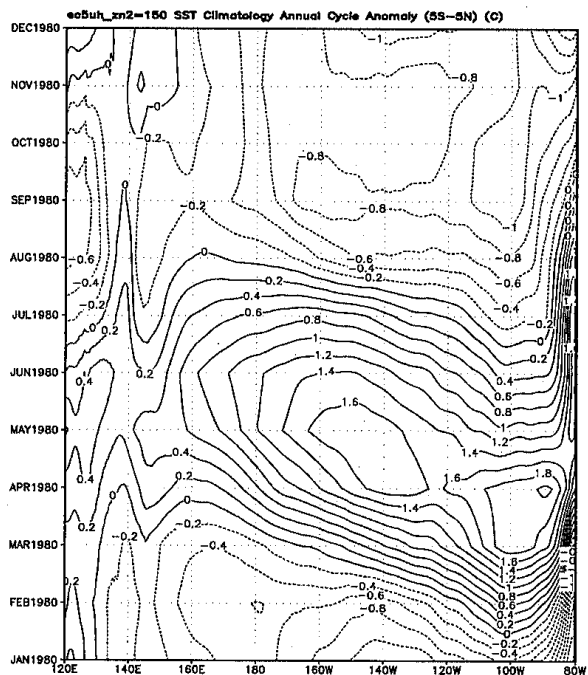


圖 7、EC5UH 模擬之赤道區(5°S-5°N 平均)海水表面溫度距平年週期變化，等值線間隔為 0.2°C。

年的夏季觀測場在赤道區中到東太平洋已有負距平出現，但模式結果仍為正距平。

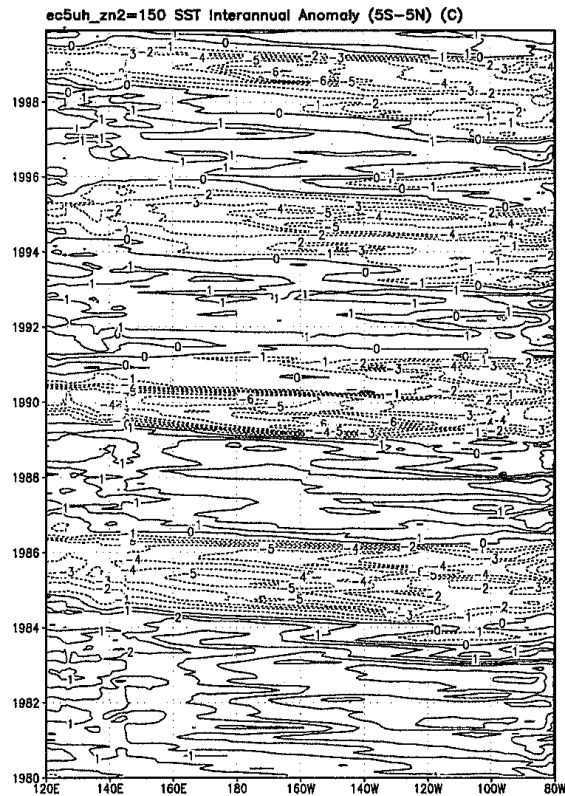


圖 8、EC5UH 模擬之赤道區(5°S-5°N 平均)海水表面溫度距平隨時間變化圖，圖中虛線為負值，實線為正值，等值線間隔為 1°C。

四、小結

經由長時間的測試，本局的混合海氣耦合模式目前已有六組混合海氣耦合模式可以合理的模擬出暖水現象。這六組模式分別是為：GFSTIM、EC5TIM、GFSCZ_0、GFSCZ_M、EC5CZ_0 及 EC5UH，但在以上的六組耦合模式得測試中也發現，不同耦合模式對海洋模式的初始條件有不同的要求，此結果顯示海洋模式初始化的重要性。海洋模式初始化是混合海氣耦合模式下一步發展的重點。

參考文獻：

- 胡志文、馮欽賜、汪鳳如、陳建河、鄭明典，2002：中央氣象局全球模式之氣候特徵：東亞夏季季風。《大氣科學》，30，99-116。
- Roeckner E., G. Bäuml, L. Bonaventura, R. Brokopf, M. Esch, M. Giorgetta, S. Hagemann, I. Kirchner, L. Kornbluh, E. Manzini, A. Rhodin, U. Schlese, U. Schulzweida, and A. Tompkins, 2003: The atmospheric general circulation model ECHAM 5. PART I: Model description. Max Planck Institute for Meteorology Rep. No. 349. 140pp.

Kang, I.S., and J.S. Kug, 2000: An El Nino

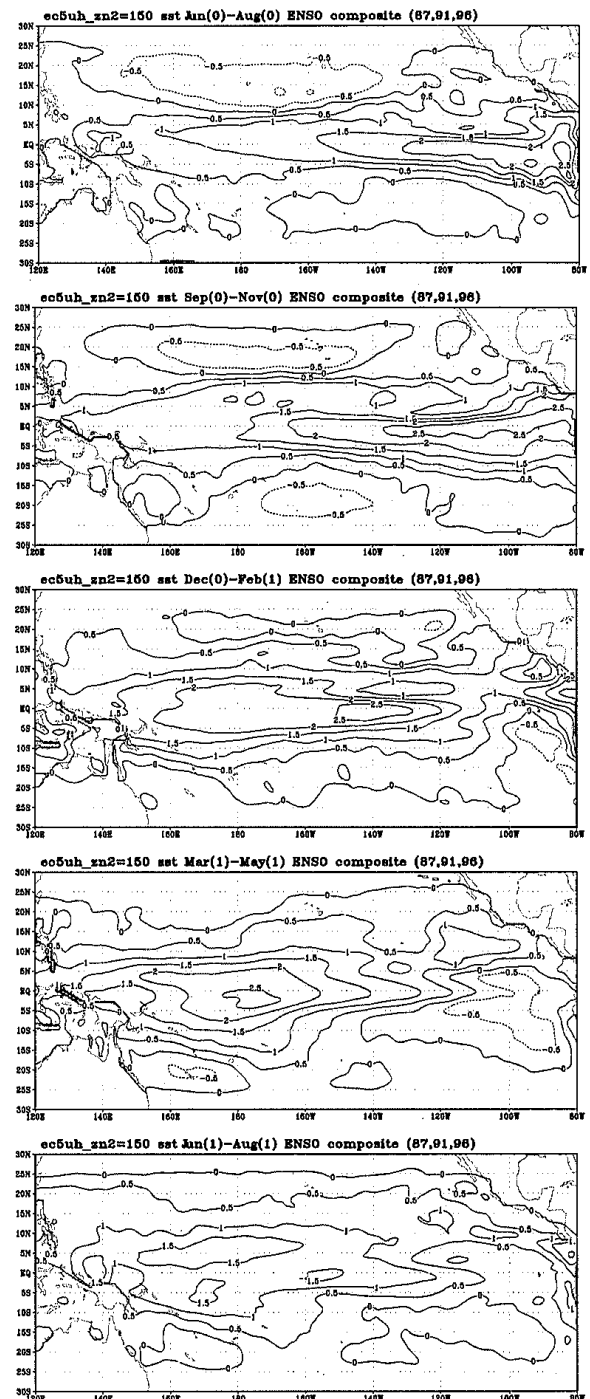


圖 9、模擬之暖水事件合成圖，所選取之暖水事件時間為 1988/89、1991/92 及 1996/97，所繪之值為季平均海水表面溫度距平，時間從(0)夏季到(1)年夏季，等值線間隔為 0.5°C。

prediction system using an intermediate ocean and a statistical atmosphere.

Geophys. Res. Lett., 27, 1167-1170.

Wang, B., T. Li, and P. Chang, 1995: An intermediate model of the tropical Pacific ocean. *J. Phys. Oceanogr.*, 25, 1599-1616.

Zebiak, S.E., and M.A. Cane, 1987: A model ENSO. *Mon. Wea. Rev.*, 115, 2262-2278.