

中央氣象局混合海氣偶合模式之初步分析

胡志文¹ 李天明² 馮欽賜¹

¹中央氣象局科技中心 ²美國夏威夷大學氣象系

摘要

本文針對中央氣象局發展中的海氣偶合模式模擬結果進行初步的分析。目前發展中海氣偶合模式有三組，分別為 IOM1, IOM2 及 IOM3。IOM1 為本局大氣環流模式與李天明教授所寫的 CZ 海洋模式偶合，IOM2 為本局大氣模式與韓國漢城大學的 I. S. Kang 教授所修改的 CZ 模式做偶合，IOM3 是用 ECHAM4.0 與夏威夷大學的兩層半模式(Wang, Li and Chang, 1995)做偶合。

IOM1 及 IOM2 為海洋距平模式，兩組模式分別做了強迫海洋(force ocean)及偶合測試。IOM3 的海洋模式所預報的海溫是全場 (total SST)，此偶合模式只做了偶合測試。

初步結果顯示在強迫海洋的模擬中 (IOM1 及 IOM2)，IOM1 的 NINO 指標與觀測場有較大的相關，但其 SST 距平場的水平分佈與觀測場有較大的差距。IOM2 的 NINO 指標跟觀測場的相關性較小，但其 SST 距平的水平分佈與觀測場較相似。

在偶合的測試中，IOM1 有較強的年際變化，此模式也模擬出一個由西向東傳的 Kelvin 波，但其模擬出的 SST 距平場的水平分佈與觀測場有較大的差異。IOM2 也可以模擬出 NINO 指標的年際變化，所模擬出來的 SST 距平水平分佈與觀測場較相近，另一方面，此模式所模擬之 NINO 指標有較強的年週期變化。在 IOM3 的模擬上，模式有能力模擬出赤道區太平洋的年週期變化，也有能力模擬出 NINO 指標的年際變化，但其模擬之 SST 距平的水平分佈有較多的小區域變化。

對各模式未來的改進方向，文中有簡單的討論。

一、前言

中央氣象局 (以下簡稱本局) 正進行「氣候變異與劇烈天氣監測預報系統發展計畫」，本計畫將發展本局的氣候預報系統，其中包含統計及動力的預報方法。動力預報系統中必須有偶合模式，方可對氣候進行預報工作。

經由仔細的評估 (MASL International, 2002)，目前所選定的大氣環流模式有中央氣象局第二代數值預報系統(Global Forecast System)中的全球模式(胡等 2002) (以下簡稱 GFS) 及德國 Max-Planck Institute 的 ECHAM (Version 5; 以下簡稱 ECHAM5)。在海洋模式部分目前選定了三組模式分別為 IOM1 (Intermediate Ocean Model 1), IOM2 及 IOM3。IOM1 及 IOM2 為 Cane-Zebiak 類型的模式(1 1/2 層)，IOM1

為 Chang (1994)及 Li 和 Philander (1996)修正原始的 Cane-Zebiak 模式並加入海氣介面的熱通量效應，用以模擬海表面溫度(Sea Surface Temperature)。Li (1997)進一步的將此模式與 GFDL 的大氣環流模式偶合，研究海氣交互作用對赤道區東太平洋 ITCZ 不對稱分佈的影響。IOM2 是 Kang 和 Kug (2000)利用統計方法取代 Cane-Zebiak 在海面下溫度(sub-surface temperature)的參數化所發展 ENSO (El Niño and Southern Oscillation)預報系統中的海洋模式。IOM1 及 IOM2 最大的差別為 IOM1 利用傳統的定差法並加入了熱通量的作用。IOM2 利用特殊的方法將 Kelvin 波及 Rossby 波分開處理，模式中沒有熱通量的作用。IOM3 為 Wang, Li 和 Chang(1995)所發展的 2 1/2 層海洋模式。IOM3 與前兩組海洋模式最大差異在於 IOM1 及 IOM2 是距平偶合(anomaly couple)模式，而 IOM3 則是用全場(total field)進行偶合。

本文的目的著重在分析以上三組海洋模式的強迫海洋模擬(force ocean)及海氣耦合模擬實驗。

二、模式簡介與實驗設計

本文中將探討兩種型態的測試，一為強迫海洋(force ocean)，另一為海氣耦合模擬。所指的強迫海洋(force ocean)積分是指使用大氣模式 AMIP (Atmospheric Model Intercomparison Project)形式積分的結果來強迫海洋模式。因此在實驗中只有大氣對海洋模式的單邊作用，海洋模式所模擬出的海表面溫度無法影響大氣。在強迫海洋的實驗中所用的大氣模式模擬結果有兩組，一是 GFS 的 50 年(1950-1999)的系集平均場(胡等, 2002)。另一組是 ECHAM5 的 45 年積分(1955-1999)。計算距平時所用的平均值分別為 1950-1999 之 50 年平均(GFS)及 1955-1999 之 45 年平均(ECHAM5)。IOM1 所需的輸入資料包含風應力場(wind stress)，地面的短波輻射，地面長波輻射，潛熱及可感熱等。IOM2 只需要地面風應力場。IOM1 的時步(time step)為 3 小時，大氣的強迫每日改變一次，在同一日中大氣的強迫作用不變。IOM2 的時步為 10 天，大氣的強迫也是 10 天改變一次。在強迫海洋的模擬中，吾人將分別用 GFS 及 ECHAM5 的模擬結果強迫 IOM1 及 IOM2。

在海氣耦合的測試實驗中，吾人將探討 GFS 大氣模式分別與 IOM1 及 IOM2 耦合的結果，也將討論 IOM3 與 ECHAM4 耦合的模擬結果，模式積分長度皆為 20 年。

三、模擬結果

圖一為觀測(虛線)及利用 GFS 模擬結果強迫 IOM1(實線)所得之 1950 到 1999 年 NINO3.4 及 NINO4 指標。所得結果顯示模式的結果與觀測場成負相關。經由對各項大氣強迫的比較發現此為模式的短波輻射較觀測場強所造成。短波輻射在海洋模式的主要作用為阻尼(damping)，GFS 短波輻射過強的結果造成海洋模式的結果與觀測不符。經由修正模式的短波輻射

參數化，吾人再進行一組 AMIP2 形式的 50 年積分，利用此組積分的結果重新強迫 IOM1，所得到的結果在圖二。圖二顯示用修正後的大氣模式模擬結果強迫 IOM1 所得的 NINO 指標與觀測場同號。圖二中也顯示 IOM1 的 NINO 指標與觀測場間的相關係數不高，NINO3.4 只有 0.28，而 NINO4 有 0.44。

經由進一步的比對發現 GFS 模擬出的風應力場在赤道區中太平洋比觀測場小 35% (圖略)，為克服此問題吾人將 GFS 模擬出的東西向風應力在 160°E 到 140°W, 30°S-30°N 乘以 1.5，在 160°E 到 120°E 及 140°W 到 100°W 間所乘上的值依線性由 1.5 減至 1。經由此修正後所得到的 NINO3.4 與觀測場的相關係數上升，但是 NINO4 的相關係數反而下降(圖略)。IOM1 在考慮海面下溫度溢入的效應時，所採用的方法是此溢入效應與海洋斜溫層的深度距平呈正比。為進一步修正模擬結果，吾人將海面下溫度(subsurface temperature)與海洋斜溫層深度距平係數增加 50%。在此修正後 IOM1 模擬出的 NINO3.4 指標與觀測場的相關係數為 0.53，但 NINO4 的相關係數下降到 0.18。

為了探討大氣模式熱通量對 IOM1 模式的影響，吾人刻意忽略大氣模式的熱通量效應，所得的結果圖示在圖三。NINO3.4 的相關係數上升到 0.63，但 NINO4 的相關係數近似於 0。此原因是因為 IOM 模擬出的 SST 距平場與觀測場有較大差異所導致。圖四為 IOM1 模擬出的三個較大聖嬰事件的 DJF 距平場。72/73 年模式沒有模擬出聖嬰現象分佈，在 82/83 及 97/98 年模式雖然有模擬出較大的正距平，但此距平集中於赤道區東太平洋，赤道區中及西太平洋為負距平，由於 IOM1 在聖嬰事件時無法在中太平洋模擬出正距平，因此其模擬出的 NINO4 指標與觀測場幾乎無相關。

上面的結果是因為 IOM1 海面下溫度與海洋斜溫層呈線性的關係所引起，為克服此困難，吾人修正兩者之間的關係。新的公式兩者的關係在東太平洋最大，向西逐漸遞減到 0。運用此新參數化的模擬結果在圖五。圖中顯示 IOM1 NINO4 指標與觀測場的相關由近似於 0 上升到 0.56。此實驗的三個主要聖嬰事件的 DJF 海溫距平(圖六)的水平分佈也與觀測場較類似。

利用 GFS AMIP 模擬結果強迫 IOM2 所得的 NINO

指標圖示在圖七中，此實驗中 GFS 所模擬出的風應力在赤道區中太平洋仍乘上 1.5。所得結果顯示 IOM2 模擬出 NINO3.4 與觀測場的相關係數為 0.49，NINO4 的相關係數也達 0.5。IOM2 所得的主要聖嬰事件 SST 距平的水平分佈與觀測場也有一定程度的相似（圖略）。以上為利用 GFS 模式 AMIP 型態模擬結果強迫 IOM1 及 IOM2 的測試結果。以下將討論利用 ECHAM5 模式 AMIP 型態模擬結果強迫 IOM1 及 IOM2 的測試結果。

基於篇幅的限制，利用 ECHAM5 結果強迫的實驗將以文字為主。ECHAM5 強迫海洋的測試實驗與用 GFS 強迫的程序相同。在 IOM1 測試中，首先不做任何修正，並考慮風應力及熱通量的影響，所得 IOM1 NINO3.4 指標與觀測場的相關係數為 0.39，NINO4 相關係數為 0.12。經由分析 ECHAM5 模式的結果，其風應力與觀測相近，因此不需要修正。接著吾人測試除去熱通量的影響，所得結果 NINO3.4 的相關係數為 0.69，NINO4 的相關係數為 0.33，在此實驗中海面下溫度與海洋斜溫層關係的係數為 1。雖然用 ECHAM5 強迫的 NINO 指標相關係數較 GFS 好，但其三個主要聖嬰現象的 SST 距平仍呈現東太平洋為正距平，西太平洋是負距平的異常分佈。

此異常 SST 距平仍需要修正模式中，海面下溫度與海洋斜溫層的相關。使用新的參數化進行強迫海洋模擬，所得的之 NINO3.4 與觀測場的相關係數為 0.65，NINO4 的相關係數上升到 0.6。模式模擬出的三個主要聖嬰事件 DJF SST 距平場與圖六類似。接著吾人進行 IOM2 的強迫海洋模擬測試，所得的 NINO3.4 指標與觀測場的相關係數有 0.54，NINO4 有 0.53。三個主要聖嬰現象 SST 距平的水平分佈與 GFS 模式的結果相近。

總結強迫海洋模擬的結果，GFS 及 ECHAM5 模式的 AMIP 模擬結果都有能力在 IOM1 及 IOM2 模式中強迫出 SST 的年際變化。由於利用 ECHAM5 模式的模擬結果強迫 IOM1 及 IOM2 時不需要人為的增大赤道區中太平洋的東西風應力場，且在強迫 IOM1 時也不需要加大海面下溫度與海洋斜溫層深度距平的係數，其模擬出的 NINO 指標與觀測場的相關係數也略高於 GFS，由此顯示 ECHAM5 對風應力的模擬較

GFS 好。比較 IOM1 及 IOM2，IOM1 模式的 NINO 指標與觀測場有較高的相關，但 IOM2 所模擬出的 SST 距平較接近觀測場。

在海氣偶合的測試上，目前只測試了 GFS 與 IOM1 及 2，ECHAM4 與 IOM3 等三組模式。三組模式所模擬的 NINO3.4 及 NINO4 的指標分別在圖八到十中。GFS 與 IOM1 可模擬出週期六年的暖水現象，但其 SST 距平較觀測場大。GFS 與 IOM2 在 20 年的模擬中只出現一個較明顯的暖水現象，另一方面此模式所模擬出的 SST 距平有較強的年週期變化。ECHAM4 與 IOM3 的偶合結果也只有一個暖水現象，但此暖水現象持續二年。由赤道區的 SST 距平隨時間變化(圖略)可知，GFS 與 IOM1 所模擬出一個由西向東傳的 Kelvin 波，GFS 與 IOM2 及 ECHAM4 與 IOM3 所模擬出暖水現象與觀測場較為接近。

四、總結

強迫海洋的測試結果顯示，IOM1 模式所模擬出的 NINO 指標與觀測場有較好相關，但其所模擬出聖嬰現象之 SST 距平與觀測場有較大差異。IOM2 所模擬出的 NINO 指標與觀測場相關性較低，但其所模擬出聖嬰之 SST 距平與觀測場較接近。比較用 GFS 與 ECHAM5 強迫 IOM1 及 IOM2 的結果，ECHAM5 所模擬出的風應力場較能強迫出與觀測場相近的海溫變化。

在偶合測試中以 ECHAM4 與 IOM3 的結果較好，GFS 與 IOM1 所模擬出的暖水事件無法持續，GFS 與 IOM2 所模擬出的 NINO 指標出現過強的年週期變化。

以上模式的系統性誤差皆為吾人改進模式的重點，此外吾人將在 IOM2 模式中加入地面熱通量效應，也將測試 IOM1，IOM2，IOM3 與 ECHAM5 偶合，另外也將測試 GFS 與 IOM3 的偶合。

參考文獻：

胡志文，馮欽賜，汪鳳如，陳建和，鄭明典，2002：
中央氣象局全球模式之氣候特徵：東亞夏季季

胡志文，任俊儒，2002：中央氣象局全球模式系集模擬的初步分析。天氣分析與預報研討會論文集編，59-62，台北。

Chang, P., 1994: A study of seasonal cycle of SST in the tropical Pacific Ocean using reduced gravity models. *J. Geophys. Res.*, **99** (C4), 7725-7741.

Kang, I.-S., and J.-S. Kug: An El Niño Prediction system using an intermediate ocean and a statistical atmosphere. *Geophys. Res. Letter*, **27**, 1167-1170.

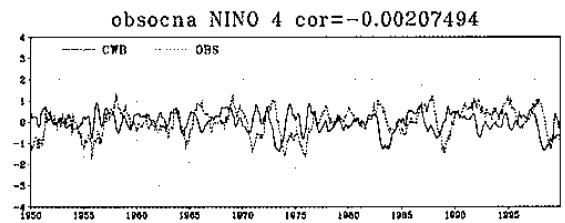
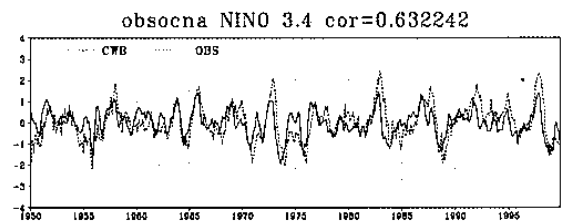
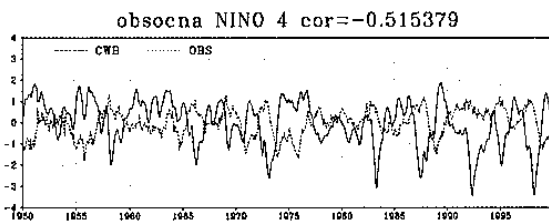
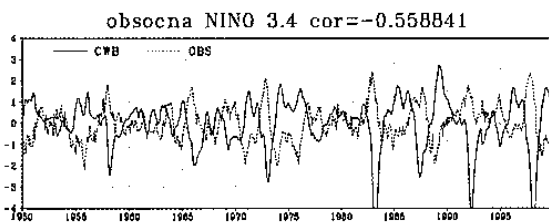
Li, T., 1996, and S. G. H. Philander, 1996: On the annual

cycle of the eastern equatorial Pacific. *J. Climate*, **9**, 2986-2998.

--, 1997: Air-sea interactions of relevance to the ITCZ: the analysis of coupled instabilities and experiments in a hybrid coupled GCM. *J. Atmos. Sci.*, **54**, 134-147.

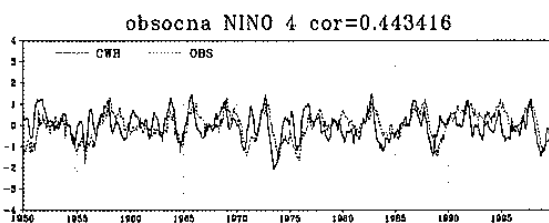
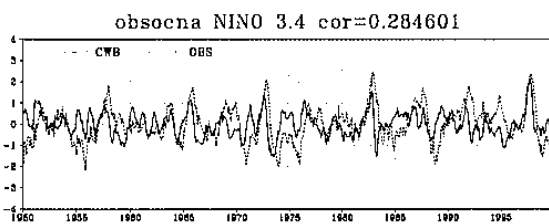
MASL International, 2002: Development of a climate program at the Central Weather Bureau. 中央氣象局委託計畫報告書。

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

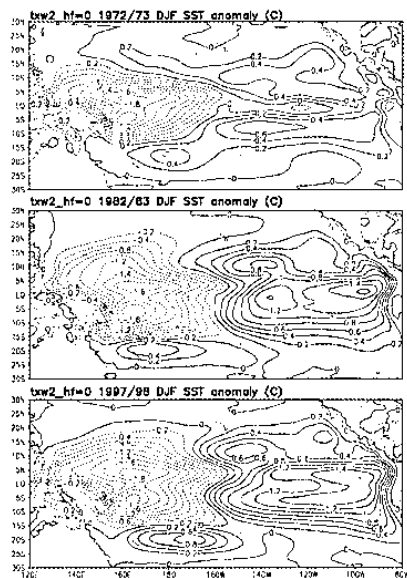


圖一、利用 GFS AMIP 型態模擬之系集平均場結果強迫 IOM1 模式所得(實線)及觀測場(虛線)之 NINO3.4 及 4 指標，兩者的相關係數列於圖上方。

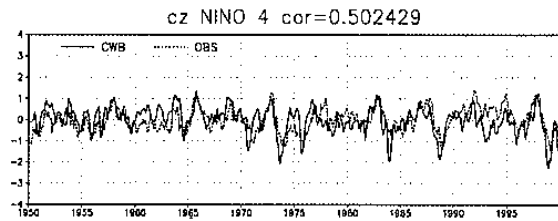
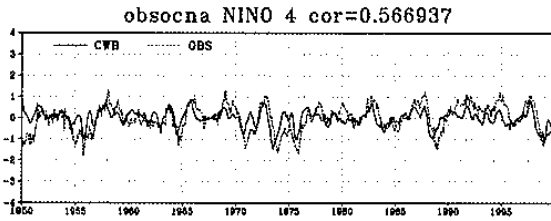
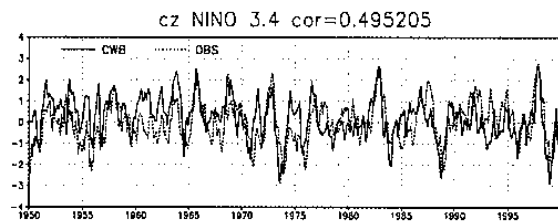
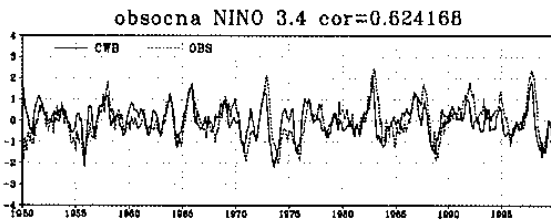
圖三、同圖二，但為修正後 IOM1 及無地面熱通量之結果。



圖二、同圖一，但為修正 GFS 輻射參數化之結果。

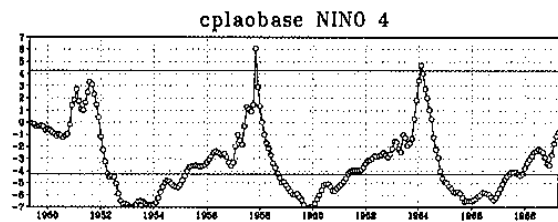
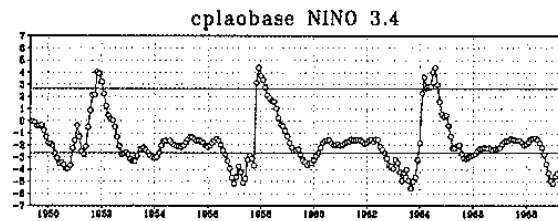
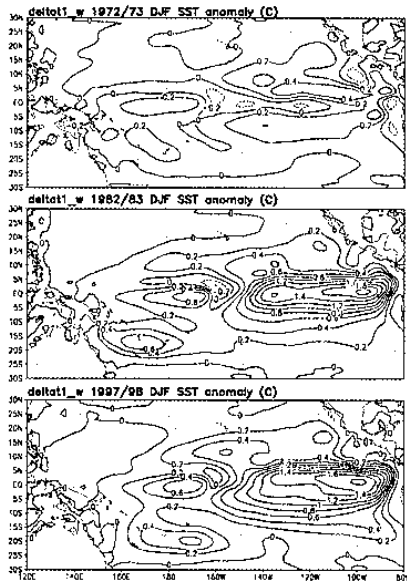


圖四、IOM 模擬出的 72/73, 82/83, 97/98 DJF 海溫距平場。



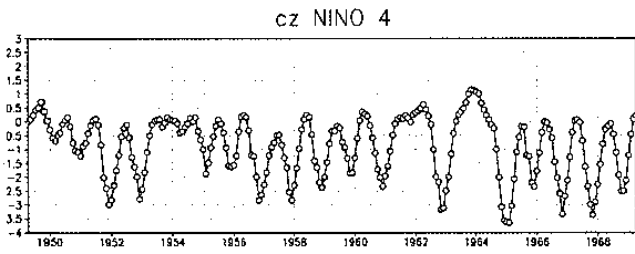
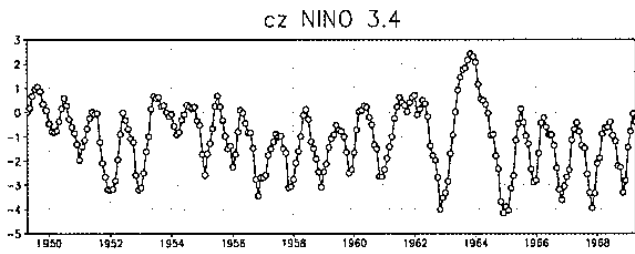
圖五、修正 IOM1 海面下溫度與海洋斜溫關係後的模擬結果。

圖七、利用 GFS AMIP 型態模擬之系集平均場結果強迫 IOM2 模式所得(實線)及觀測場(虛線)之 NINO3.4 及 4 指標，兩者的相關係數列於圖上方。

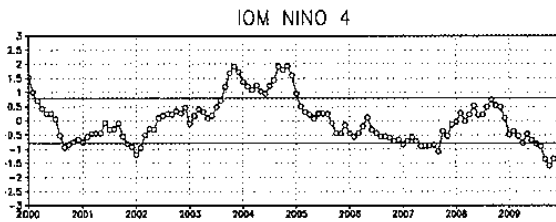
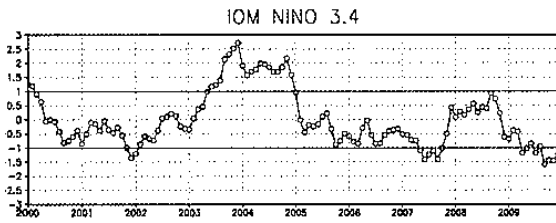


圖六、修正 IOM1 海面下溫度與海洋斜溫關係後模擬出的 72/73, 82/83, 97/98 DJF 海溫距平場。

圖八、GFS 與 IOM1 偶合 20 年積分的 NINO3.4 及 4 指標。



圖九、GFS 與 IOM2 偶合 20 年積分的 NINO3.4 及 4 指標。



圖十、GFS 與 IOM2 偶合 10 年積分的 NINO3.4 及 4 指標。