

一步法海氣耦合氣候預報系統長期積分之診斷與評估

童雅卿
氣象科技研究中心
中央氣象局

摘要

大氣海洋的交互作用為氣候變化之重要因子，因此各國致力發展海氣耦合模式來進行氣候模擬。中央氣象局四期計畫已發展二步法海氣耦合預報系統，先預報出8個月的海溫變化作為大氣模式之下邊界來驅動大氣模式。但此種方式無法適當的模擬出季風區大氣影響海洋的作用，因此需要發展一步法海氣耦合模式，來模擬出大氣與海洋之交互作用。

目前中央氣象局已經建置完成一步法海氣耦合模式(CWB/CFS1T1)，大氣模式採用氣象局所發展之全球模式，其水平解析度約100公里；海洋模式則是採用GFDL的MOM3模式。大氣和海洋模式一天耦合一次，海洋影響大氣，大氣也會影響海洋，更符合實際狀況。

本研究將採用此一步法海氣耦合模式(CWB/CFS1T1)進行自由長期積分，以期了解此模式之特性，並同時評估不同的積雲參數法對此系統特性之影響，在此比較New Simplified Arakawa-Schubert積雲參數法(NSAS版)與Simplified Arakawa-Schubert積雲參數法(SAS版)。CWB/CFS1T1模式分別採用此二版積雲參數法，進行100年積分，取最後30年結果對氣候場、ENSO與季內震盪進行診斷分析。

分析結果顯示不同積雲參數法對氣候場、ENSO與季內震盪的模擬有明顯之差異。NSAS版本積雲參數法對太平洋西岸暖區與印度洋之對流氣候場模擬較佳。對季內震盪特性掌握也優於SAS版本。SAS版本積雲參數法對聖嬰現象之模擬明顯優於NSAS版本。

關鍵字：一步法海氣耦合模式、NSAS、SAS

一、前言

大氣海洋交互作用於不同尺度之氣候預報均扮演非常重要的角色，因此各國致力發展一步法海氣耦合模式來進行氣候模擬。中央氣象局近年亦積極發展一步法海氣耦合模式來進行短期氣候預報，吳等(2014)即就此模式物理過程之測試進行分析。

本局一步法海氣耦合模式(CWB/CFS1T1)所採用之大氣模式為本局所發展之全球模式(GFS)，而海洋模式為GFDL MOM3模式，海洋和大氣模式一天耦合一次，大氣模式提供海洋模式所需要的wind stress、heat flux及降水等資訊給海洋模式，而海洋模式則預報海面溫度作為大氣模式之下邊界資料。

模式初始資料採用CFSR之分析資料。海洋模式的預報範圍限於南緯70度至北緯60度之間的海洋。在南緯70度以南及北緯60度以南地區的海面溫度則用OISST海面溫度之30年日平均資料來給定。

大氣模式為氣象局所發展之全球模式，其為T119之波譜模式，東西方向水平解析度約為經度1度，南北方向之解析度依緯度而異，垂直方向共40層。模式所使用之物理參數法如表一所示，目前模式所使用的積雲參數法為New Simplified Arakawa-Schubert scheme (Pan and Wu 1995, Han and Pan 2011)，在此簡稱NSAS。汪和馮(2015)研究發現此積雲參數法於全球模式進行短期天氣預報可改善原來使用Simplified Arakawa-Schubert

scheme(簡稱SAS)造成颱風強度偏弱之系統性誤差，並可降低積雲降水而增加格點降水。

NSAS積雲參數法於短期天氣預報較SAS積雲參數法為佳，但林等(2015)於發展此一步法海氣耦合模式曾發現NSAS版本對熱帶平均海溫所造成之冷偏差較SAS版本明顯。因此，本研究將利用此海氣耦合模式使用兩種不同之積雲參數法進行100年之長期積分，取最後30年資料，來評估不同積雲參數法對長期氣候模擬結果之影響。

由於長期積分所比較為各種氣候系統之主要特徵，因此實際大氣所顯示之各種氣候特徵由西元1981年至2010年ERSST海面溫度場、GPCP的降水資料和CFSR之2米溫度與風場資料等觀測資料來顯示。

二、氣候場之比較

圖一為二個版本海面溫度、2米溫度與降水之氣候場，由圖中可以發現二版海面溫度和2米溫度之分布類似，均可顯示出溫度之南北變化。降水之氣候場也顯示出二版均有double ITCZ(intertropical convergence zone)的情形發生

圖二為夏季OLR(outgoing longwave radiation at top of atmosphere)與海面溫度(實線)之氣候場。觀測資料顯示OLR偏低的地區為熱帶ITCZ、太平洋西岸與印度洋，也就是對流發展旺盛區。與觀測場比較可以發現NSAS版本OLR分布大致與觀測資料相近，但SAS版本在海洋大陸與印度洋與觀測資料差異較大。類似情形發生在冬季。NSAS版本對SPCZ(South Pacific Convergence Zone)之掌握明顯優於SAS版本。

三、ENSO 模擬之比較

聖嬰現象(ENSO)為赤道東太平洋大範圍的海溫變化，透過大氣與海洋之交相互作用影響全球氣候。

圖 3 是熱帶太平洋地區海面溫度之標準方差 (standard deviation)，顯示海面溫度年際變化最大的地方，由觀測資料顯示變化最大的地區是東太平洋 NINO1+2 區域，反應出 ENSO 的年際變化。NSAS 版本海面溫度年際變化較觀測小，其與觀測資料之相關係數僅 0.34。SAS 版本其標準方差較 NSAS 版本大，但其主要的變化區域是在中太平洋區，與觀測資料之相關係數可達 0.71，較 NSAS 版本佳。

若將 ENSO 分成 CP (central Pacific) ENSO 和 EP (eastern Pacific) ENSO 來比較二版積雲參數法的預報結果。圖 4 為此二種 ENSO 的 EOF pattern。觀測資料顯示 CP ENSO 之最大值出現在國際換日線至西經 120 度之赤道太平洋區域而 EP ENSO 之最大值則出現在秘魯外海的赤道東太平洋。比較二版的預報，可以發現 NSAS 版本尚可模擬 CP ENSO 但對 EP ENSO 之掌握甚差，其與觀測資料的相關係數分別為 0.59 和 0.39。SAS 版本對 CP ENSO 與 EP ENSO 之預報最大值位置均偏西，但其分布型態與振幅均較接近觀測資料。與觀測資料的相關係數分別可達 0.73 和 0.83，遠較 NSAS 版本為佳。

比較 NINO3 的發生頻率，如圖 5 所示，紅線表示資料超過 95% 信心度。觀測資料顯示 ENSO 有 2-7 年的發生頻率，SAS 版本大致展現出相似的發生頻率，但 NSAS 版本則無法掌握。

四、季內震盪之比較

季內震盪(Madden-Julian Oscillation, 簡稱 MJO)，主要是熱帶地區對流東傳，其週期約為 30 至 60 天(Madden and Julian, 1972)。

將南北緯 10 度及東經 80 至 100 度之 30 年平均 OLR 與 850 百帕緯向風場經 band pass filter 檢查其 lag correlation 如圖 6 所示，檢查經向圖可發現觀測資料顯示對流及風場於印度洋附近有明顯東傳訊號。NSAS 版本訊號較弱，但仍顯示向東傳，冬季訊號較夏季明顯。SAS 版本則顯示在東經 90 度以西不論夏季冬季 OLR 與風場均向西傳。檢查緯向圖，觀測資料顯示 MJO 波動由赤道向極區前進。NSAS 版本可掌握此型態但其訊號稍弱。SAS 版本訊號更弱，其型態不如 NSAS 版本。

將南北緯 10 度平均 OLR 日資料計算其時間空間之波數頻率譜圖，如圖 7 所示。觀測資料顯示 MJO 在夏季最大值發生在週期 30-80 天，東傳緯向波數為 1 的區間，西傳的訊號弱。冬季情形類似，緯向波數最大值發生在 1-2 個東傳波。檢查 NSAS 版本，夏季大致可模擬出 30-80 天週期之東傳波，但其波數偏大，且對西傳訊號有高估的現象。冬季情形類似，但東傳最大值發生在的波數是 1 處。SAS 版本夏季主要是西傳的訊號，東傳訊號甚弱，冬季主要東傳波的週期超過 80 天，大部分為西傳波，此結果與 lag correlation 圖所顯示的結果一致。

圖 8 顯示 Wheeler and Hendon(2004)所定義之 multi-variable MJO(RMM) index，觀測資料顯示第一個 EOF pattern 為 MJO 系統在海洋大陸有很強對流發生，在其西方

伴隨著低層西風異常，與高層東風異常，在其東側則有低層東風異常與高層西風異常。第二個 EOF 型態顯示對流系統移至西太平洋，風場配置一併東移。

NSAS 版本的第一個 EOF 型態也能顯示海洋大陸之對流與風場配置大致與觀測資料相當，但其對流強度與西側風場較弱。SAS 版本對流強度稍強但發生位置太過偏西。NSAS 版本的第二個 EOF 型態，對流與風場移至西太平洋區，與觀測資料相若。SAS 版本的對流太偏東至中太平洋區，風場位置尚可。

圖 9 將前面之 EOF 型態依 8 個相位顯示季內震盪的 OLR 與風場型態。夏季，觀測資料顯示對流系統在海洋大陸發展，印度洋有西風，太平洋有東風，對流附近顯示有輻合作用(圖 9a)。隨著時間，對流東傳減弱，有部分對流往西北移動。NSAS 版本大致可掌握此種演進，SAS 版本訊號是甚弱。冬季，海洋大陸的對流配合風場輻合作用，逐漸東傳。NSAS 版本大致相近，只是在赤道東太平洋對流過強。SAS 版本對流與風場訊號皆甚弱。

五、結論

本研究利用中央氣象局一步法海氣耦合模式評估不同積雲參數法對氣候模擬之影響。在此所比較的兩種積雲參數法分別是 Simplified Arakawa-Schubert scheme (簡稱 SAS) 與 New Simplified Arakawa-Schubert scheme (簡稱 NSAS)。將一步法海氣耦合模式進行自由積分，積分 100 年，取最後 30 年之結果分析，比較此二組長期積分對氣候場、ENSO 與 MJO 等現象氣候特徵之掌握。

比較氣候場，發現 NSAS 版本對海洋大陸 OLR 分佈之掌握優於 SAS 版本。但 SAS 版本對 ENSO 特性的掌握較 SAS 版本佳。對 MJO 而言，NSAS 版本可模擬出 MJO 東移與 30-60 天之週期，而 SAS 版本則無法掌握。由各項分析比較發現積雲參數法對各種氣候系統特徵之模擬差異甚大。

目前 CWB/CFSIT1 作業版之積雲參數法採用 NSAS 版本，對東亞地區之氣候場與季內震盪模擬有較佳之表現，但對 ENSO 之掌握仍需改進。

六、參考資料

- 吳子榆, 林欣怡, 劉邦彥, 陳建河, 呂承萱, 莊漢明, 林沛練: CWB CFS 1-tier 模式雲物理過程之改進結果。103 年天氣分析與預報研討會論文, A3-10。
- 林欣怡, 吳子榆, 劉邦彥, 陳建河, 呂承萱, 莊漢明, 林沛練: TCWB 1-tier 模式之 ENSO 訊號結果分析。104 年天氣分析與預報研討會論文, A3-20。
- 汪鳳如, 馮欽賜, 2015: NSAS 與 SAS 積雲參數法於中央氣象局全球預報系統的比較評估。氣象學報, vol. 52, No.1, 19-42。
- Han, J., and H.-L. Pan, 2011: Revision of convection and vertical diffusion schemes in the NCEP Global Forecast System. Wea. Forecasting, 26, 520-533.

Madden, R., and P. Julian, 1972: Description of global scale circulation cells in the Tropics with a 40–50 day period. *J. Atmos. Sci.*, 29, 1109–1123.

Palmer, T. N., G. Shutts, and R. Swinbank, 1986: Alleviation of a systematic westerly bias in general circulation and numerical weather prediction models through an orographic gravity wave drag parameterization. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 112, 1001-1039.

Pan, and W.-S. Wu, 1995: Implementing a mass flux convective parameterization package for the NMC Medium-Range Forecast model. NMC Office Note 409, 40pp.

Wheeler, M. C., and H. H. Hendon, 2004: An all-season real-time multivariate MJO index: Development of an index for monitoring and prediction. *Mon. Wea. Rev.*, 132, 1917–1932.

表一、GFS大氣模式之物理參數表

Soil model	Noah land surface model-4 layer
Vertical turbulence	a first order closure of nonlocal scheme
Shallow convection	turbulent diffusion-based approach
Cumulus convection	NSAS(New Simplified Arakawa-Schubert scheme) (Pan and Wu 1995, Han and Pan 2011)
Grid scale precipitation	Predict cloud water(pcw) and diagnose precipitation with cloud physics (3-time level)
Gravity wave drag	Palmer et al.(1986)
Radiation	Unified two-stream calculation with k-correlated method

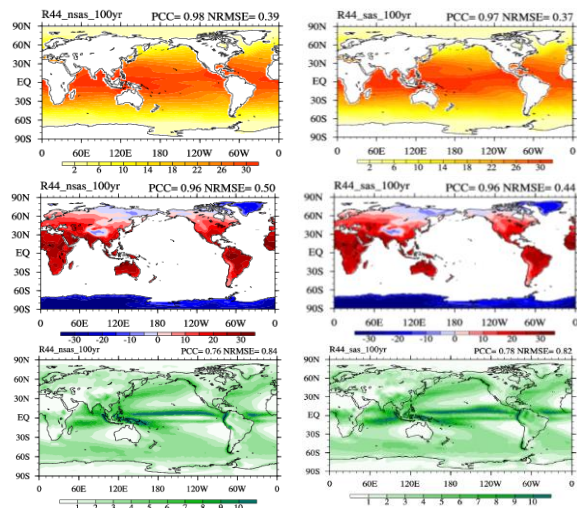


圖 1、30 年平均之氣候場，由上而下分別是海面溫度、2 米溫度與降水。NSAS 版本(左邊)與 SAS 版本(右邊)。

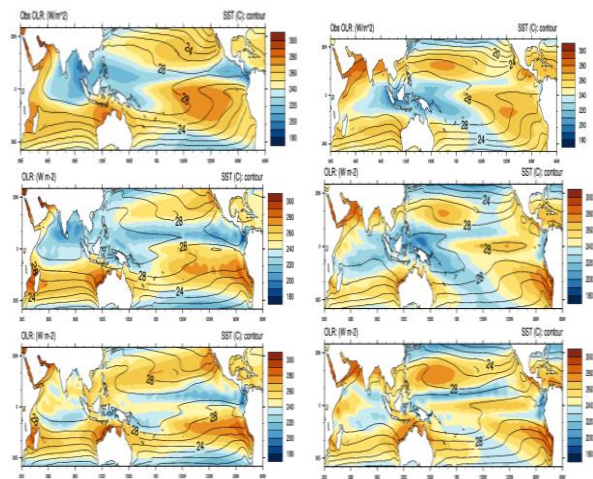


圖 2、30 年平均之 OLR (shading) 與 SST (contour) 圖，右側為 5 至 10 月，左側為 11 月至 4 月，由上而下分別是觀測、NSAS 版本與 SAS 版本。

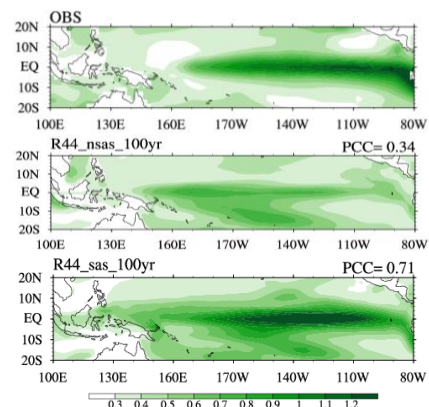


圖 3、熱帶太平洋海面溫度之標準方差，由上而下分別是觀測、NSAS 版本與 SAS 版本，PCC 為模式資料與觀測資料之相關係數。

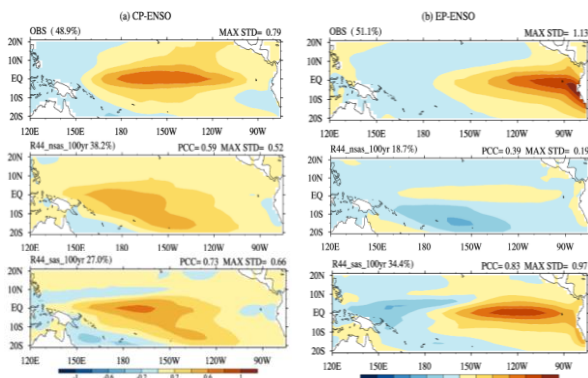


圖 4. 熱帶太平洋地區海面溫度EOF pattern第一個mode，左側為CP ENSO，右側為EP ENSO。最上面是觀測資料，中間是NSAS版本，最下面是SAS版本。PCC為預報與觀測資料之相關係數。

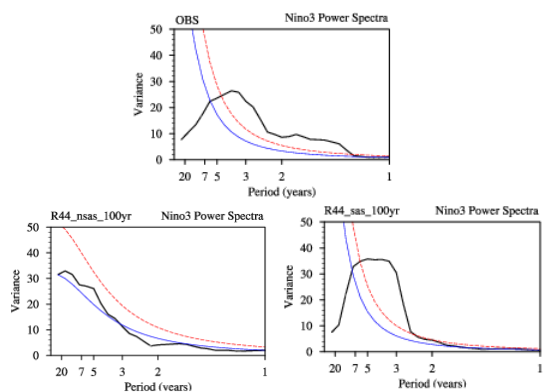


圖 5. NINO3之power spectrum，上面為觀測資料，下面左側為NSAS 版本，右側為SAS版本之power spectrum，紅線和藍線分別表示5%和95%信心度。

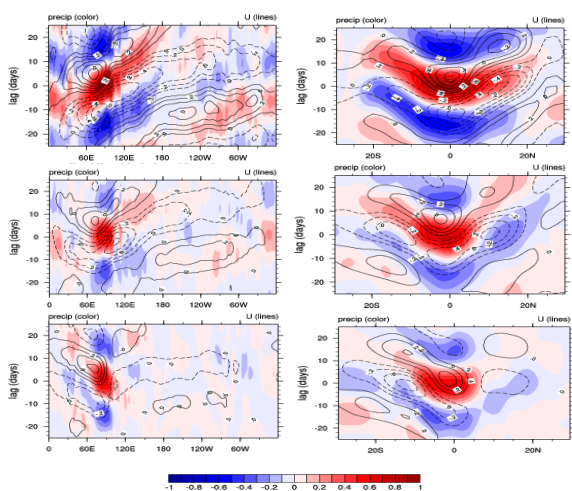


圖 6. 將南北緯10度及東經80至100度之OLR與850百帕緯向風場30年平均值經20至100天之band pass filter檢查其lag correlation，左側為經向圖，右側為緯向圖，由上而下分別是觀測、NSAS版本與SAS版本。

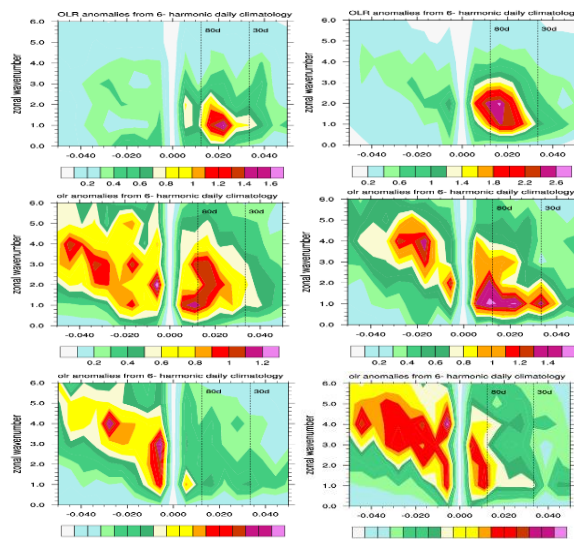


圖 7. 南北緯10度平均之OLR日資料計算其時間空間之波譜圖，左側為夏天，右側為冬天，由上而下分別是觀測、NSAS版本與SAS版本。

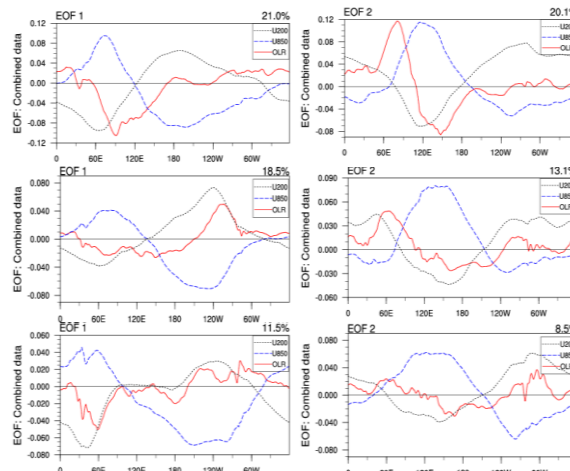
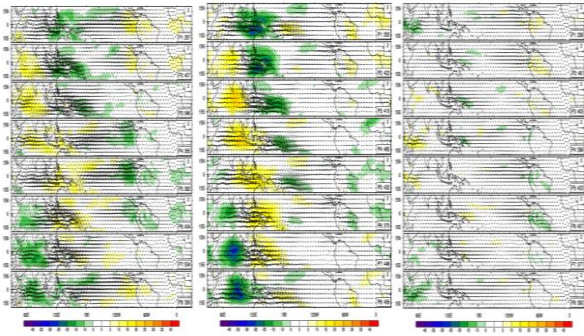


圖 8. 南北緯15度平均之OLR(紅實線)、850百帕緯向風場(藍虛線)與200百帕緯向風場(黑點線)之多變數經驗正交函數之緯向空間結構，左側為第一個mode，右側為第二個mode。由上而下分別是觀測、NSAS版本與SAS版本。

(a)



(b)

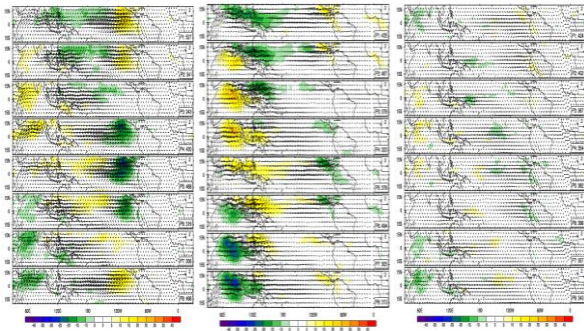


圖 9. (a)夏季(b)冬季南北緯 15 度之 OLR 變異量與 850 百帕風場變異量(箭頭)。由左而右分別是 NSAS 版本、觀測與 SAS 版本。