

一步法海氣耦合模式氣候場修正對模式長期積分之影響 評估

童雅卿 胡志文 吳子榆
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，因此各國致力發展一步法海氣耦合模式來進行氣候模擬和預報。

本局所發展一步法海氣耦合模式，已經正式上線作業，其大氣模式採用本局所發展之全球模式(GFS模式)，海洋模式是採用GFDL MOM3模式，大氣與海洋模式每日耦合一次，由大氣模式提供海洋模式所需之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。

本研究將模式進行30年長期積分，針對氣候場、ENSO與季內震盪進行診斷分析，以期了解此模式之特性，結果顯示模式氣候場有明顯之暖偏差，對ENSO模擬之掌握並不理想。

許多模式和理論研究顯示ENSO發生週期與振幅變化和氣候平均場息息相關。Li and Hogan (1999)發展出修正氣候平均場之方法並顯示出對ENSO預報之改進。本研究參考此方法嘗試對模式的海面溫度及熱帶緯向風應之力之年平值進行調整，結果顯示加入海面溫度通量氣候場之調整可改善模式對ENSO與季內震盪之模擬。

關鍵字：一步法海氣耦合模式

一、前言

一個海氣耦合模式必須能夠在自由耦合之長期積分模擬出聖嬰現象與南方震盪(El Nino-Southern oscillation; ENSO)之變化。ENSO是一種年際變化的擾動，但氣候場對 ENSO 的變化及其 phase locking 現象均有明顯影響(Li, 1997)。因此想要預報合理的 ENSO 演化，海氣耦合模式必須能模擬出接近實際觀測之氣候場。

中央氣象局發展出一個完整之大氣海洋耦合系統(CGCM)。此海氣耦合模式大氣的部分是採用中央氣象局之全球大氣模式(GFS)，其水平解析度為 T119；海洋部分則是採用 GFDL 之 MOM3 海洋模式。

過去研究結果(童,2016)顯示模式有明顯的氣候場偏差，對 ENSO 的氣候特徵的掌握也不理想。

藉由此模式，本研究參考 Li and Hogan(1999)方法修正海面溫度氣候場，評估比較修正與否對模式長期積分後對各氣候系統之模擬與掌握。

二、模式簡介

氣象局於五期計畫所發展之一步法海氣耦合模式，大氣模式採用氣象局所發展之全球模式；海洋模式則是採用 GFDL 的 Module Ocean Model version 3(MOM3)模式。大氣和海洋模式一天耦合一次，海洋模式會藉由海面溫度會影響大氣模式，大氣模式也會藉由各種 heat flux 和 wind stress 影響海洋模式，大氣海洋交互作用的處理方式更符合實際狀況。

此大氣模式為 T119 之波譜模式，其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包括積雲參數法為 New Simplified Arakawa-Schubert scheme (Pan and Wu 1995, Han and Pan 2011)，Noah 4 層土壤模式(Ek et al.,2003)，非局部邊界層參數法(Toren and Mahrt 1986)，淺積雲參數法(Li 1994)，雲水預報決定網格尺度降水參數法(Zhao and Frederick 1997)，重力波拖曳參數法(Palmer et al 1986)及輻射參數法(Fu 1997; Fu and Liou 1992,1993)。大氣模式積分一天，提供所預報之 momentum flux、sensible heat flux、latent heat flux、precipitation、solar radiation、long-wave radiation 等資訊給海洋模式使用。

海洋模式為 GFDL 的 Module Ocean Model version 3(MOM3)模式。其東西方向有 360 個格點，南北方向為 202 個格點，預報範圍限於南緯 70 度至北緯 60 度之間的海洋。海洋模式垂直 40 層，最底層約在 5200 公尺。預報變數包括海流速度、海水溫度與鹽度，採 c.g.s 制。海洋模式預報海面溫度，當大氣模式之下邊界。因受限於預報範圍，在南緯 70 度以南及北緯 60 度以南地區的海面溫度則用 OISSTv2 海面溫度之 30 年日平均資料來給定。

大氣模式初始資料採用 CFSR 之分析資料。海洋模式的初始資料由 NCEP MOM4 之分析資料內插而來。大氣模式預報一天後，提供大氣預報資料給海洋模式，海洋模式預報一天後，提供海面溫度預報資料給大氣模式，如此反覆，可進行長期積分。

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。

三、海面溫度氣候場之調整方法

海氣耦合模式必須能夠在自由長期積分模擬 ENSO 的現象，而氣候平均場對 ENSO 的變化扮演一個重要的角色。因此要預報合理的 ENSO 特性，海氣耦合模式必須能夠模擬出合理之氣候平均場。圖 1 顯示氣象局海氣耦合模式 30 年自由長期積分的全球平均海面溫度，圖中顯示溫度會隨積分時間增長而明顯升高 (30 年升高 1.45°C)，而實際觀測溫度雖因全球暖化而升高但其幅度很小(30 年升高 0.25°C)，因此模式的氣候平均場 18.54°C 遠高於觀測場之 18.23°C，有很明顯的誤差。Li and Hogan(1999)指出氣候場偏差可能會影響模式對 ENSO 的年際變化之掌握。

本研究根據 Li and Hogan(1999)方法嘗試調整模式的氣候平均場，希望改善 ENSO 預報。

首先調整熱帶之緯向風應力場。使用觀測海溫之 annual cycle 當下邊界資料對大氣模式進行 10 年的積分，得到熱帶地區緯向風應力之 10 年平均值，用觀測的 10 年平均值減去此預報平均值即為緯向風應力之修正值。此修正量限於南北緯 10 度之間，南緯或北緯 10 度至 20 度之間則用線性參數控制修正量隨緯度變化調整至 0，也就是南緯或北緯 20 度以外區域修正量為 0。

其次修改海氣耦合模式，將大氣模式對海洋模式之緯向風應力預報值加入此緯向風應力調整量，並於海洋模式中海溫之預報方程式中對最上一層的海面溫度加入一項修正項 A，此修正項會強迫預報海面溫度趨近觀測資料。

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -u \frac{\partial T}{\partial x} - v \frac{\partial T}{\partial y} - w \frac{\partial T}{\partial z} + \dots + A(i, j)$$
$$A(i, j) = -\alpha(T - T_0)$$
$$\alpha = 1/(5 * 86400)$$

其中 T 為海面溫度，T₀ 為 30 年平均 OISSTv2 海面溫度之 annual cycle，α 為 damping factor。

將修改後的海氣耦合模式，進行 10 年的預報，輸出每個預報步驟之 A 值。將 10 年預報之 A 值平均即為海面溫度通量之修正量。

建立一新的修正版的海氣耦合模式，將海洋模式中海面海溫之預報方程式加入前面所算出來的海溫修正項 A，使得海面溫度之氣候值能接近觀測資料。以此新版的海氣耦合模式進行 30 年的長期積分，重新評估模式之表現。

本研究將就原始版本之積分結果(未調整版)與調整過海面溫度年平均場之調整版就氣候場、ENSO 與季內震盪各方面進行診斷比較。

四、氣候場之比較

圖2是30年平均之海面溫度場與觀測資料的差異場。未調整版顯示海面溫度在中高緯有明顯的暖偏差，在熱帶太平洋則有冷偏差。與未調整版比較，調整版之氣候場誤差有明顯得降低。調整版因使用前10年積分來計算氣候值調整量，因此無法完全調整至與觀測資料一致，但其偏差值已明顯縮小。

若檢查全球平均海面溫度隨時間之變化，如圖3所示，同樣可以發現調整版本將誤差修正，降低溫度增長率，接近觀測資料。

圖4檢查各版本熱帶海水溫度分布，可以發現和未調整版比較，調整版中太平洋斜溫層的傾斜度與東太平洋的垂直溫度梯度均有明顯改善。雖僅調整海面溫度之年平均場，但透過海洋模式亦會影響下方海水之變化。

五、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互作用影響全球氣候。

圖 5 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。未調整版之相關係數是 0.67，主要的變化區域是在中太平洋區。調整版不論是標準方差的強度或最大值的區域均最接近觀測資料，相關係數可達 0.78。

若將 ENSO 分成 CP (central Pacific) ENSO 和 EP (eastern Pacific) ENSO 來比較各實驗版的模擬結果。圖 6 為 CP 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。對此中太平洋 ENSO 特性之掌握，診斷分析結果顯示調整版本主要系統變化區域接近觀測資料，但其振幅仍偏弱。

東太平洋 ENSO (EP ENSO) 之 standard deviation 最大值 1.13 出現在秘魯外海的赤道東太平洋，為年際變化最大的區域(如圖 7 所示)。比較模式結果顯示調整海面溫度氣候場能對 ENSO 這種年際變化顯著之系統提供有效之幫助。

說明修正平均場對預報 ENSO 的強度與位置均有明顯改進。

ENSO 發展最強的振幅主要發生在冬季與 annual cycle 有 phase locking 的情形(Rasmusson and Carpenter 1982)。圖 8 檢查 NINO3 standard deviation 的隨季節的變化，觀測 NINO3(黑線)最大的年際變化量發生在 12 月(冬季)，而在 4 月達到最低值，與季節變化有極大的關係。但對未調整版，全年均無明顯變化，而且數值偏低，表示對 NINO3 的海溫預報之年際變化小且無法掌握 ENSO 對季節的偏好性。調整版雖然與觀測資料仍有差距，最小值出現在 9 月，但可顯示出季節變化，最大值出現在冬季，足以顯示調整氣候場能幫助模式對 ENSO phase locking 現象掌握能力之改進。

比較 NINO3 的 power spectrum，可以發現觀測資料顯示 ENSO 有 2-7 年的發生頻率(圖 9)，未調整版本無法顯示出此發生頻率。調整版則可以顯示出類似 2-7 年之週期變化。

六、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)，為影響亞洲與西北太平洋區 sub-seasonal 的主要氣候系統。

將南北緯 10 度 30 年冬季平均降水與 850 百帕緯向風場經 band pass filter 與印度降水計算其 lag correlation 如圖 10 所

示，檢查經向圖可發現觀測資料顯示不論對流及風場於印度洋附近有明顯東傳訊號。未調整版訊號較弱，但仍顯示向東傳。但調整版之東傳訊號其強度較接近實際觀測。

將南北緯 10 度平均 OLR 日資料計算其時間空間之波數頻率頻譜圖，如圖 5-2 所示。觀測資料顯示 MJO 在冬季最大值發生在週期 30-80 天，緯向波數為 1-2 個東傳波。未調整版其最大值出現在緯向波數為 1-2 個東傳波，但其週期大於 80 天，且對西傳訊號有高估的現象。調整版顯示最大值出現在 30-80 天週期，緯向波數為 1 處，最接近觀測資料。

七、結論

由於一步法海氣耦合模式存在明顯的氣候偏差，導致對 ENSO 之模擬不佳。本研究利用中央氣象局一步法海氣耦合模式評估修正氣候場對一些氣候系統模擬之影響。將一步法海氣耦合模式進行自由積分，積分 30 年，比較此二組長期積分對氣候場與 ENSO 現象氣候特徵之掌握。

由於模式本身有系統性誤差，本研究也嘗試修正全球海面溫度通量的年平均値，將大氣模式使用觀測海溫進行 10 年積分，計算其熱帶風場修正量。再將應用此風場修正量之一步法海氣耦合模式進行 10 年積分，來求取全球海面溫度之年平均修正量，再將一步法海氣耦合模式使用此海面溫度修正量，重新進行模式長期預報診斷。

研究結果顯示此修正可明顯改善海面溫度之氣候値，且對其隨時間偏差變大的趨勢有明顯改善。

整體來說，調整全球海面溫度氣候場對年際變化尺度的 ENSO 現象與季內尺度的季內震盪之模擬均有明顯的改進。

氣候場影響模式對聖嬰現象與季內震盪之掌握，目前模式仍有明顯誤差，如何改進模式氣候場，成為未來重要之課題。

八、參考資料

童雅卿：一步法海氣耦合氣候預報系統長期積分之診斷與評估。105 年天氣分析與預報研討會論文，A3-10。

Ek, M., K. E. Mitchell, Y. Lin, E. Rogers, P. Grunmann, V. Koren, G. Gayno, and J. D. Tarpley, 2003: Implementation of Noah land surface model advances in the National Centers for Environmental Prediction operational mesoscale Eta Model. *J. Geophys. Res.*, 108, 8851, doi:10.1029/2002JD003296.

Fu, Q., and K. N. Liou, 1992: On the correlated k-distribution method for radiative transfer in nonhomogeneous atmospheres. *J. Atmos. Sci.*, 49, 2139-2156

Fu, Q., and K. N. Liou, 1993: Parameterization of the radiative properties of cirrus clouds. *J. Atmos. Sci.*, 50, 2008-2025.

Fu, Q., K. N. Liou, M. C. Cribb, T. P. Charlock, and A. Grossman, 1997: Multiple scattering parameterization in thermal infrared radiative transfer. *J. Atmos. Sci.*, 54, 2799-2812.

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.

Li, T., 1997: Phase transition of the El Niño-Southern Oscillation: A stationary SST mode. *J. Atmos. Sci.*, 54, 2872-2887.

Li, T. and T. F. Hogan, 1999: The role of the annual mean climate on seasonal and interannual variability of the tropical Pacific in a coupled GCM. *J. Climate*, 12, 780-792.

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.

Zhao, Q., and F. H. Carr, 1997: A prognostic cloud scheme for operational NWP models. *Mon. Wea. Rev.*, 125, 1931-1953.

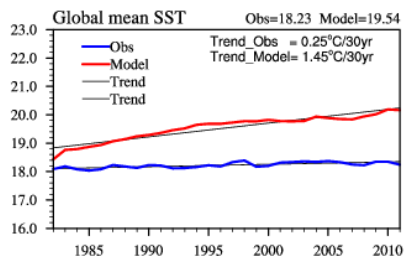


圖 1、海氣耦合模式30年free run逐年全球海面溫度平均圖，紅線為模式之預報海溫，黑線為預報海溫之趨勢線，藍線為觀測海溫。右上角為30年氣候平均值。Trend_obs為30年之觀測資料溫度趨勢變化；Trend_model為30年之模式溫度趨勢變化

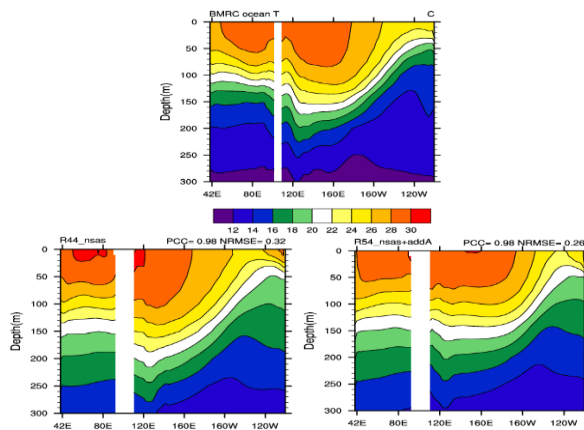


圖4、南北緯5度30年平均之海水溫度分布圖，水平軸為經度，垂直軸為深度。上面是觀測資料，下面左邊是未調整版；右邊是調整版。

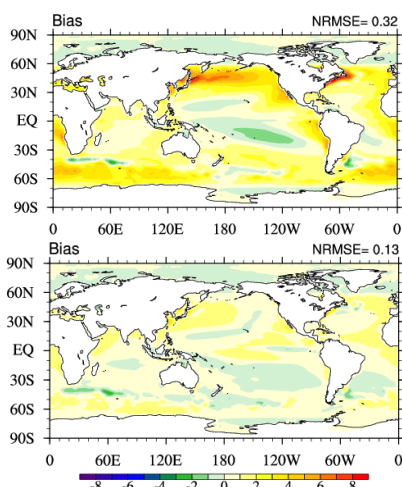


圖2、全球平均海面溫度氣候偏差圖。上面為未調整版，下面為調整版。NRMSE為normalized Root Mean Square Error。

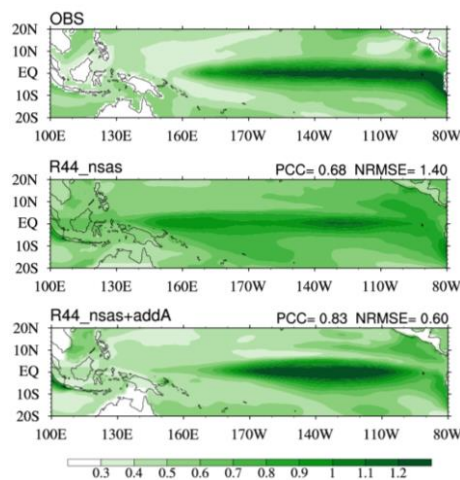


圖5、熱帶太平洋海面溫度之標準方差，由上而下分別是觀測、未調整版和調整版，PCC為模式資料與觀測資料之相關係數。

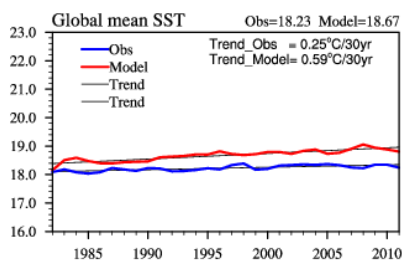


圖3、與圖1相同，但為調整版。

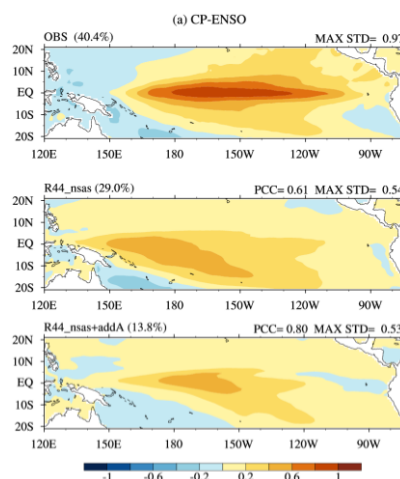


圖6、熱帶中太平洋地區海面溫度 EOF pattern第一個mode，代表CP-ENSO。最上面是觀測資料，中間是未調整版，最下面是調整版。PCC為預報與觀測資料之相關係數。

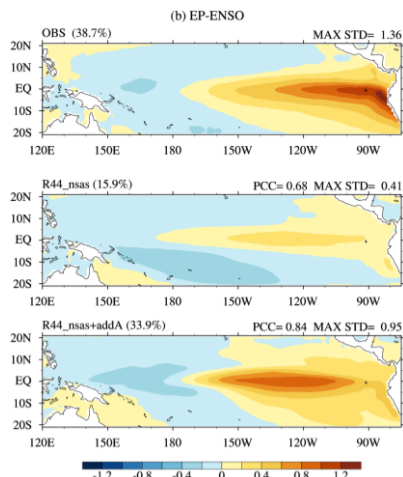


圖 7、同圖6但為熱帶東太平洋地區海面溫度第EOF pattern 第一個mode 代表EP ENSO。

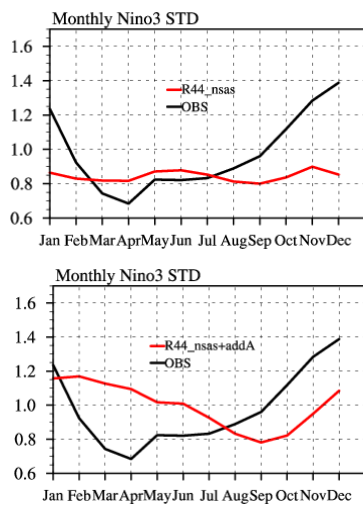


圖 8、NINO3月平均場之standard deviation，黑線為觀測資料，紅線為預報資料。上面是未調整版，下面是調整版。

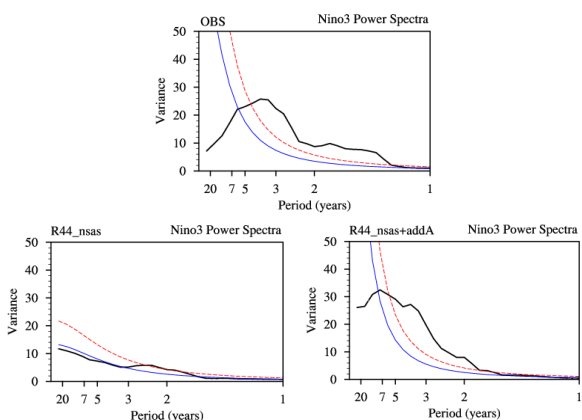


圖 9. NINO3之power spectrum，上面為觀測資料，下面左側為未調整版，右側為調整版之power spectrum，紅線和藍線分別表示 5%和 95%信心度。

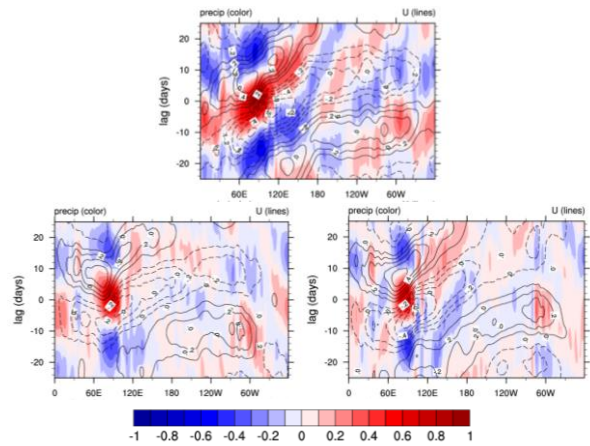


圖10、印度降水與南北緯10度平均之OLR(shading)與850百帕向風場(等值線)30年平均值經20至100天之band pass filter 檢查其lag correlation。橫軸是經度，縱軸是lag日。上面是觀測資料，下面左邊是未調整版；右邊是調整版。

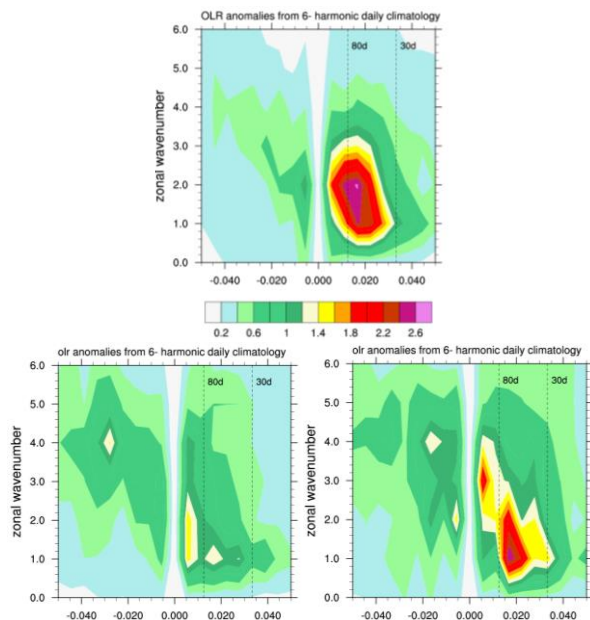


圖 11. 南北緯 10 度平均之 OLR 日資料計算其時間空間之波譜圖(wavenumber frequency spectra)，橫軸為頻率，縱軸為波數。上圖是觀測資料，下面左邊是未調整版，右邊是調整版。