

系集動力模式對於西北太平洋的颱風季節模擬及預測

梁信謙 陳正達 童裕翔 陳建蒲
國立臺灣師範大學地球科學系

摘要

颱風季節預報可以事先幫助沿海附近的居民降低經濟損失及人員傷亡，進一步減少熱帶氣旋登陸時所造成的災害。因此對於亞洲太平洋地區，建立良好的颱風季節預報系統是非常迫切的事務。不過近年來利用動力模式從事這方面的研究大多在大西洋地區，而以低解析度的全球模式為主要的工具，模擬出來的熱帶氣旋具有水平尺度的環流系統以及暖心結構，不過中心強度並不是非常理想。雖然模式本身會有一些偏差，但仍然有能力去模擬出近似於氣候平均和年際變化之現象，甚至還可以模擬出與觀測位置、時間大致皆相同的颱風。本次研究目標是將高解析度的全球模式做為動力預報系統的主軸，進而找尋西北太平洋上的熱帶氣旋。這種模式內部的方程組是以流體力學、熱力學和物理過程為基礎，而不是加入自己所設想的方法和定則，因為必須以朝向正確方向去研究颱風和氣候尺度兩者之間的交互作用。因此在建立預報系統的過程中，我們將會探討及研究一些關於系集模式的解析度、參數化和資料敏感性等問題。

關鍵字：系集預報，颱風，颱風季節預報

一、前言

Manabe 在 1970 年使用低解析度的大氣模式(AGCM)進行熱帶氣旋的模擬，也是第一位利用模式去模擬颱風的研究人員。之後許多科學家開始利用大氣模式去模擬颱風的年際變化、路徑、分佈等等，當然IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)的報告中，熱帶氣旋的模擬也是非常重要的項目之一。

西北太平洋是全世界颱風數量最多的地區，而台灣平均每年有3~5顆颱風侵襲，因此良好的颱風季節預報系統必須建立，以利於減少熱帶氣旋登陸時造成的災害。近年來由於電腦大幅提升，系集動力模式逐漸成為趨勢，大多作業單位都希望模式可以有越多的模擬結果，進一步提升可信度。而本次研究是利用 ECHAM4 和 ECHAM5 兩個 AGCM，各有 5 個 member 及 3 個 member。大致上模式對於年際變化、平均生命期、ACE(Accumulate cyclone energy) 及 路徑 分佈 有 不 錯 的 表 現，不 過 受 到 解 析 度 的 影 韻，模 式 對 於 風 速 的 模 擬 有 一 定 的 範 圍，因 此 沒 有 办 法 使 用 對 於 觀 測 的 定 義 去 做 分 類。

從一些研究指出，ENSO(El Nino and Southern Oscillation)對於颱風的生成位置有明顯的改變，本篇研究也針對此現象進行簡單的分析，可以得知模式對於ENSO的敏感度是存在的，對於聖嬰及反聖嬰現象，都可以掌握住。路徑分佈上，模式幾乎沒有

Recurved 的現象，也許受到了環流場的關係，缺少向北的駛流，造成模式的偏差；另外在季節變化上，颱風季前的數量，模式會高於觀測，反觀颱風季時卻是低於觀測，或許模式對於垂直風切和季風槽的模擬並沒有掌握到。

本次研究是希望能建立系集颱風季節預報系統，研究颱風和氣候尺度兩者之間的交互作用，進行該年度的颱風模擬，進一步提供防災及農業所需，減少在颱風季的傷害和經濟損失。

此篇內容第二部分為介紹資料(包含觀測資料、再分析資料)、分析方法及模式；第三部分則是呈現模擬結果和觀測的比較以及探討偏差原因；第四部則是做一個結論及討論。

二、資料及分析方法

(一) 觀測資料介紹

為了能與模式所模擬的颱風作比較分析，使用 1979-2007 年每 6 小時 IBTrACS(International Best Track Archive for Climate Stewardship) 颱風最佳路徑資料；另外使用 ERSST(Extended Reconstructed Sea Surface Temperature V3) 全球海平面溫度資料(Smith and Reynolds, 2004) 經緯度網格點為 $2^\circ \times 2^\circ$ ；大尺度環流場資料採用 NCAR/DOE Reanalysis-2 的重分析資料，網格點為 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 。

(二) ECHAM 模式介紹

本篇所使用的模式為ECHAM4，採用最高之水平解析度 T106(~120km)，換算至經緯網格點共為320×160個網格點)，垂直方向共為19層。驅動模式的下邊界條件為NCEP-CFS月平均之觀測海溫資料。

ECHAM5大部分都沿用ECHAM4的物理計算方法，唯平流法(advection scheme)改採Lin and Johnson(1996)以及加入估算總水量的預報統計法(prognostic-statistical scheme)(Tompkins 2002)，水平解析度為T106(~120km)，換算至經緯網格點共為320×160個網格點)。

(三) 模式中熱帶氣旋之定義

本次研究對於定義模式中的熱帶氣旋是根據Walsh(2007)所整理的以不同解析度所應該對應之定義，然後再加以調整。本篇模式為ECHAM4T106及ECHAM5T106，標準如下：

1. 850hPa的渦度須大於 8×10^{-5}
2. 最低氣壓中心與正渦度中心之距離不超過4°
3. 暖心梯度(溫度場)為 $-0.4^{\circ}\text{C}/5^{\circ}$
4. 暖心梯度(高度場)為 $-50\text{m}/5^{\circ}$
5. 氣壓梯度為 $-5\text{hPa}/5^{\circ}$
6. 南北緯度為 $\pm 50^{\circ}$
7. 底層風速大於15m/s
8. 下一個時間點(6hr)必須在400km以內有符合前面條件的氣旋才定義為上個時間點風暴之移動
9. 生命期至少1.5天

三、模擬結果

(一) Interannual Variability

圖1為模式對於年際變化的表現，大致上都可以掌握到大概的趨勢，尤其在ENSO的部分，模式也是有模擬出與觀測相同的形態。不過ECHAM4的結果是明顯優於ECHAM5，可能和所定義的颱風條件有關，因為兩種模式在一些內部機制上略有不同，因而產生差異，影響結果。另一個有趣的地方，圖中ECHAM5的颱風個數幾乎都高於實際觀測，是否跟上述所提到的條件有關，使得模式將太多渦旋都定義為颱風。

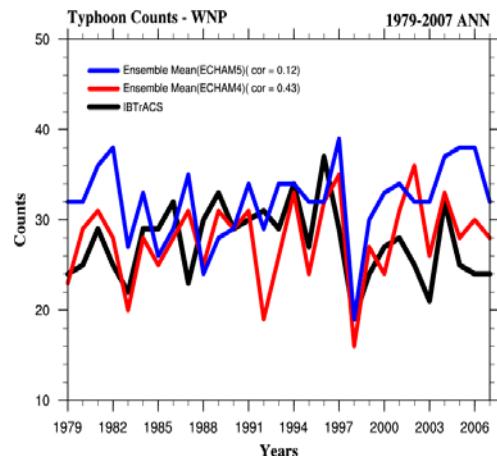


圖1、1979-2007年颱風個數 模式和實際觀測之年際變化圖(黑色線為IBTrACS；紅色ECHAM4 Ensemble mean；藍色為ECHAM5 Ensemble mean)

(二) Accumulate cyclone energy(ACE)

(3.1)

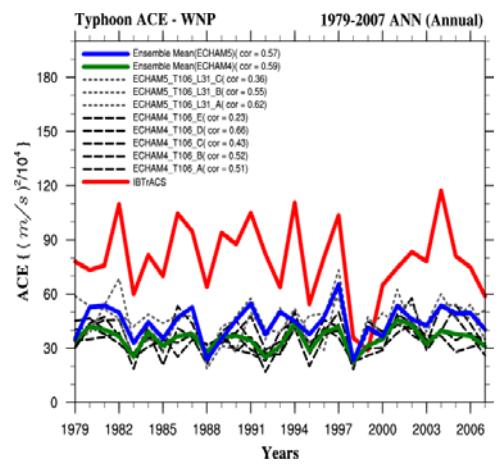


圖2、1979-2007年西北太平洋Accumulate cyclone energy 模式和實際觀測之年際變化圖(紅色線為IBTrACS；綠色ECHAM4 Ensemble mean；藍色為ECHAM5 Ensemble mean)

利用(3.1)式，我們可以計算颱風的Accumulate cyclone energy，簡稱為ACE，它是計算每年的颱風能量，包含了三個部分：個數、生命期和生存時間，可以進一步分析能量的變化。

從圖2可以看出無論是ECHAM4或者是ECHAM5，在年際變化的表現上都有掌握到，特別的是，ECHAM5在個數上和觀測的相關性不高，卻在ACE的表現上的相關係數達到0.57。但因為模式解

析度大約120km，所以在風速上有一定的極限，因此ACE的數值一定比觀測值來的低。

(三) Typhoon Lifetime

圖3是每年颱風的平均生命期，單位為Hours/counts，可以看出ECHAM5的表現比ECHAM4來的好許多，有可能是這個因素，所以使得ECHAM5在ACE(圖2)上有不錯的相關。另外從圖3我們又可以發現在1997年之後，觀測資料的颱風平均生命期有一個落差，不過在本次研究中，並沒有深入去探討。

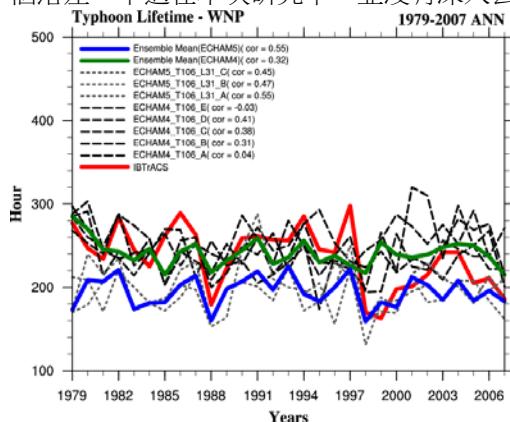


圖3、1979-2007年颱風平均生命期 模式和實際觀測之年際變化圖(紅色線為IBTrACS；綠色ECHAM4 Ensemble mean；藍色為ECHAM5 Ensemble mean)

(四) Surface pressure-wind Relationship

在之前的論述中有提到，由於模式解析度的關係，使得風速模擬有一定的極限，不過ECHAM5可以模擬出較大的風速，可以從圖4和圖5得知ECHAM4的風速大多集中在10~30m/s，最大風速大約40m/s；ECHAM5的風速則是其中在10~40m/s，最大風速可以達到50m/s。

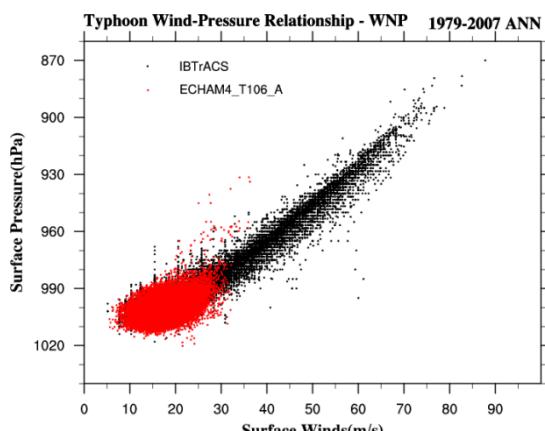


圖4、1979-2007 ECHAM4(member A)地面風速和氣壓散佈圖(黑色的點為IBTrACS；紅色的點為ECHAM4_A)

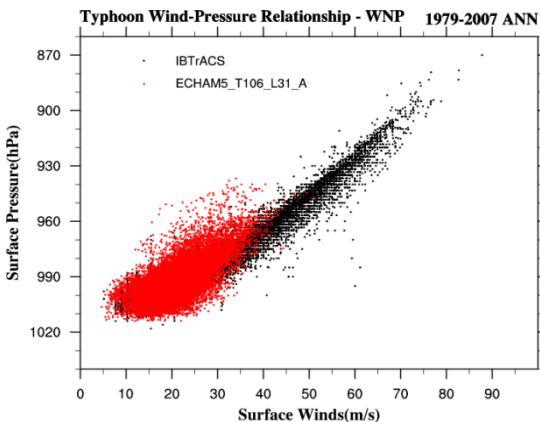


圖5、1979-2007 ECHAM5(member A)地面風速和氣壓散佈圖(黑色的點為IBTrACS；紅色的點為ECHAM5_A)

(五) Seasonal Variability

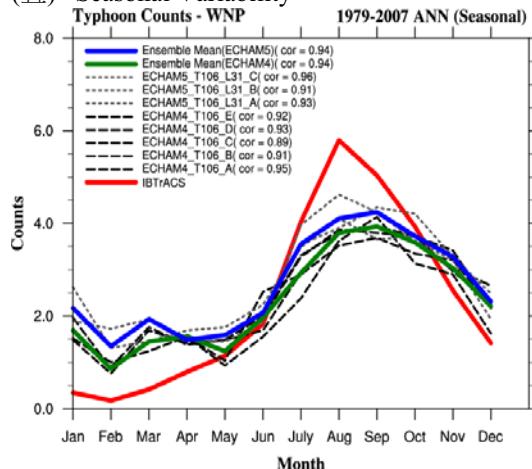


圖6、1979-2007年颱風個數 模式和實際觀測之季節變化圖(紅色線為IBTrACS；綠色ECHAM4 Ensemble mean；藍色為ECHAM5 Ensemble mean)

前幾個章節都以年際變化為主，接著將時間尺度縮小，從圖6發現，模式對於季節變化的模擬良好，不過可以發現，在颱風季(6~9月)模式明顯低於觀測，但在1~5月及11~12月，模式又高於觀測，造成此現象有可能是因為模式對於垂直風切、季風槽等等的大尺度環流沒有掌握住，不過整體來說模式對於季節變化已經有一定程度的表現。

(六) Genesis Location

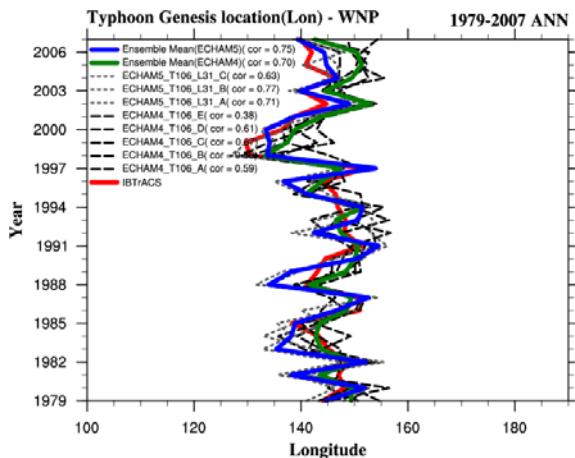


圖7、1979-2007平均生成位置(經度) 模式和實際觀測之年際變化圖(紅色線為IBTrACS；綠色ECHAM4 Ensemble mean；藍色為ECHAM5 Ensemble mean)

根據Wang and Chen(2002)提出，強聖嬰年對於西北太平洋的颱風活動有很重要的影響。在平均颱風季(7~9月)的的生成位置會偏東南象限，意指生成位置會靠近赤道且接近換日線；則強反聖嬰年則相反，偏西北象限。因此反觀模式是否可以表現出雷同的情況，從圖7所示之中可得知，模式在聖嬰及反聖嬰年都有向東及向西偏向的情形，以最強聖嬰年1997年為例，模式的颱風生成位置的確有向東，不過ECHAM5比實際觀測高估，ECHAM4則低估。不過模式對於緯度的年際變化(圖8)的確不理想，ECHAM4的相關係數只有0.05；雖然ECHAM5的相關係數為0.44，但是生成位置都明顯偏高至少2~3個緯度。

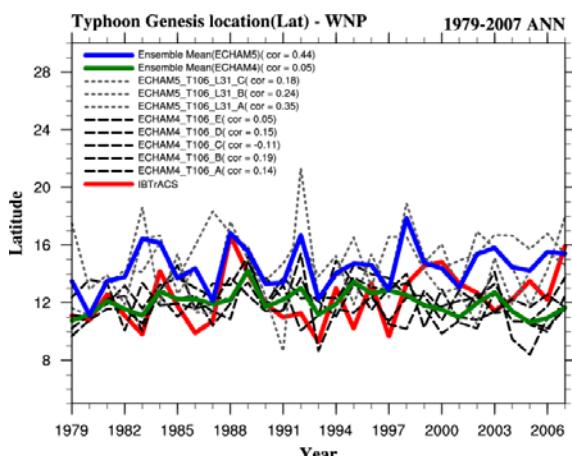


圖8、1979-2007平均生成位置(緯度) 模式和實際觀測之年際變化圖(紅色線為IBTrACS；綠色ECHAM4 Ensemble mean；藍色為ECHAM5 Ensemble mean)

(七) Typhoon Track Density

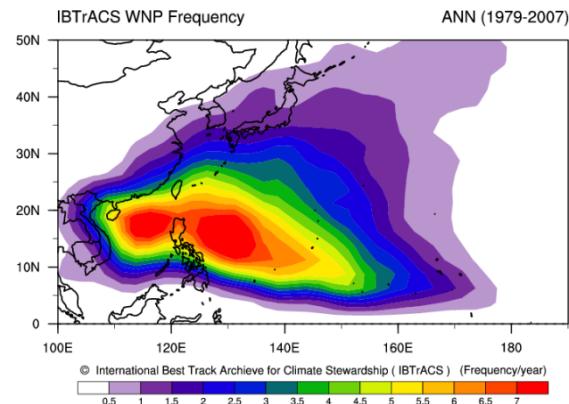


圖9、1979-2007 IBTrACS在西北太平洋颱風路徑密度

圖9、圖10和圖11是定量計算西北太平洋每 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 的網格點上，平均29年颱風所通過的次數累加。可以利用此方式來看颱風主要的活動範圍。從圖9可以得知，颱風主要是向西北移動及Recurved兩種路徑；另外在菲律賓東西兩側為主要是生成位置，因此為最大值之處。在ECHAM4(圖10)模擬中大部份的颱風都向西移動；ECHAM5(圖11)也是大部分向西移動，不過可以看出有些微Recurved的路徑。兩種模式在菲律賓的東西兩側都是數值大值之處，在路徑的部分或許受到大尺度環流影響，向北的駛流不明顯，造成模式的颱風不會向北移動。

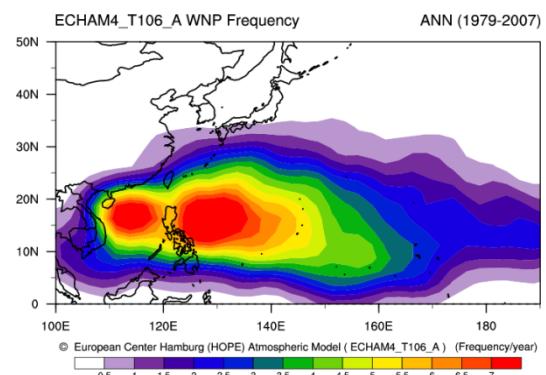


圖10、1979-2007 ECHAM4(member A)在西北太平洋颱風路徑密度

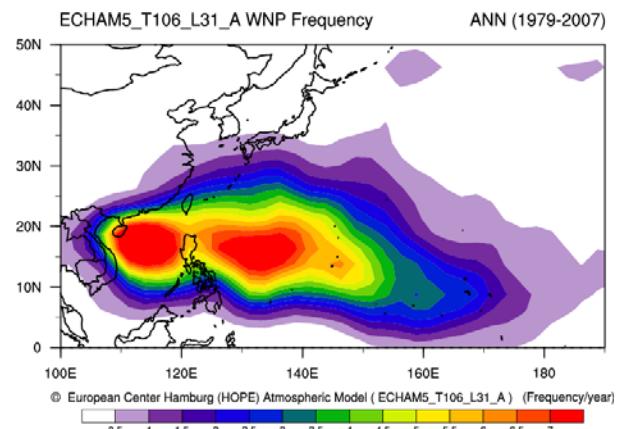


圖11、1979-2007 ECHAM5(member A)在西北太平洋颱風路徑密度

四、結論及討論

從一章節的模擬結果可以得知，ECHAM4對於數量之年際變化的掌握明顯優於ECHAM5，不過在ACE、平均颱風生命期、生成位置及路徑分佈上面，ECHAM5都表現得較為出色，也許因為模式的參數話或其他因素造成。不過所設定的模式定義方式是否真正符合，這是可以進一步再討論。

受到模式解析度的影響，Vitart(2006)認為對於季內震盪(interseasonal oscillation)是沒有辦法模擬的，因此30-60天的氣候尺度和颱風的交互作用，模式的掌握度較低。另外也許模式對於大尺度環流場有些偏差，造成模擬結果，路徑缺乏Recurved的現象，而且季節變化出現非颱風季節數量高於觀測的現象，這也是可以再討論之處。當然解析度對於颱風中心最大風速也有一定影響，因此近年有許多研究人員利用區域氣候模式進行模擬，風速都可以達到和接近實際觀測的大小，不過也有許多科學家認為使用區域氣候模式，會忽略掉許多大尺度環流場的影響，而且進行預報，邊界條件就是一個嚴重的挑戰。

五、參考文獻

- Camargo, S. J., (2002) Improving the detection and tracking of tropical storms in atmospheric general circulation models. *Wea. Forecasting*, 17, 1152–1162.
- Knutson, T. R (2007) Simulation of the recent multidecadal increase of Atlantic hurricane activity using an 18-km-grid regional model. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 88, 1549–1565.
- LaRow T.E, (2008) Atlantic Basin Seasonal Hurricane Simulations, *J. Climate* 2008, 21, 3191-3206
- Manabe, S., J., (1970) Tropical circulation in a time-integration of a global model of the atmosphere. *J. Atmos. Sci.*, 27, 580–613.
- Vitart, F. (2006), Seasonal forecasting of tropical storm frequency using a multi-model ensemble, *Q. J. R. Meteorol Soc.*, 132, 647–666.
- Walsh K.J.E (2007), Objectively Determined Resolution-Dependent Threshold

Criteria for the Detection of Tropical Cyclones in Climate Models and Reanalyses, *J. Climate*, 20, 2301-2314

Wang Bin (2001) How Strong ENSO Events Affect Tropical Storm Activity over the Western North Pacific, *J. Climate* 2002, 15, 1643-1658