

描述颱風活動的新方法

邱品竣¹ 余嘉裕²
地學研究所博士班¹ 大氣科學系²
中國文化大學

摘要

在颱風氣候的研究上，颱風活躍程度的估計經常用颱風季總生成數、總持續時間或強颱風發生頻率等作為量度指標。本文以ACE (accumulated cyclone energy) 為基礎，提出一種新的，但較精確計算颱風動能的方法--RACE (revised accumulated cyclone energy)；其假設颱風切向風為一理想modified Rankine vortex，求得颱風範圍內單位面積平均動能與最大風速的關係而得。並以分析西北太平洋颱風氣候，比較不同方法之差異。

和颱風生成數及總持續時間相比，ACE、RACE及PDI將颱風強度納入考慮，是較為完整的參考指數。ACE以累計颱風最大風速的平方，PDI累計最大風速的立方，兩者通常會高估了強颱風（或低估了弱颱風）的影響，其中不同颱風強度分布是影響其間差異的主因。在分析西北太平洋颱風活動可以發現，不同指數主要差異在氣候值的區域分布上，南中國海的輕颱風比例較高，在ACE和PDI的反應較其他颱風活動區域小。ENSO現象對颱風活動有顯著影響，在El Niño(La Niña)年，強颱風比例較高(低)，ACE容易高(低)估颱風活動和正常年的差異，RACE則修正了此一缺點。

關鍵字：颱風氣候、累計颱風動能

一、前言

颱風是台灣主要的災害天氣，不僅帶來災害也是夏秋季主要的降水來源；是故颱風氣候在防災和水資源運用上都是重要的議題之一。由於颱風有生成及移動等特性，故在描述颱風活動時常用生成數、生成位置及軌跡等參數。ACE (Accumulated Cyclone Energy) 是 Bell et al. 在 2000 年提出的，以颶風最大風速平方累加以代表颶風動能；Emanuel 在 2005 年提出的 PDI (Power Dissipation Index) 則是累計颶風風速的立方來表示簡化的颶風破壞力。Yu et al. (2009) 參考了 ACE 的算法，假設颱風近地面風場為 modified Rankine vortex，發展出較精確計算熱帶氣旋動能的指數，稱為 RACE (Revised Accumulated Cyclone Energy)，是量度颱風活躍程度較為精確之方法。

本文以數種量度颱風活躍程度方法，分析西北太平洋地區颱風氣候空間分布和年際變化特徵。第二節簡述資料及 RACE 指數計算方法，第三及第四節分別描述颱風活動的空間及時間分佈特徵，第五節以 ENSO 事件分析颱風活動變化，第六節討論主要結果。

二、資料及研究方法

本文使用美國在夏威夷的聯合颱風警報中心 (Joint Typhoon Warning Center, JTWC) 所整理的最佳路徑資料。此資料包含從 1949 迄今的所有颱風發生時間、位置及最大風速，時間解析度為 6 小時。在 2000 年後的部份颱風則有更加詳細的颱風範圍資料。由於衛星在 1965 年左右投入颱風觀測，為了資料準確性和一致性，本文僅分析 1965 年之後的資料。

為了檢視 ENSO 事件對颱風活動的影響，本文使用 NOAA CPC (Climate Prediction Center) 所定義的 El Niño 及 La Niña 年份，選出 14 個 El Niño 及 12 個 La Niña 年作為合成年份的依據。

RACE 是在 Yu et al. (2009) 所提出新的計算颱風動能方法，該法假設近颱風切向風場為 modified Rankine vortex 分布，計算颱風範圍內之颱風平均動能，其方程式如下：

$$RACE = \frac{v_{\max}^2}{\tilde{r}_c^2} \left[\frac{1}{2} + \frac{\tilde{r}_c^{(2-2\alpha)}}{1-\alpha} \right] \quad (1)$$

其中 $\tilde{r}_c = (v_{\max} / v_c)^{1/\alpha}$ 是颱風最大暴風半徑與颱風中心到最外緣(設在風速為 $v_c = 35$ knots 處)距離的比值, v_{\max} 是颱風最大風速, α 為最大暴風半徑外, 風速衰減的速度, 約為 0.51(Yu et al. 2009)。

三、氣候分布

西北太平洋地區颱風主要生成區大致在東經110度到160度、北緯10度到20度之間, 約佔了全部生成個數之76%。其中東經120到125度是菲律賓島, 將生成區一分為二, 分別是西邊的南中國海及東邊的西北太平洋(以下稱菲律賓東方海域)。北緯20度以北、10度以南及東經160度以東則鮮少有颱風生成(圖一)。

圖二是累計颱風生存時數, 主要活動區域包括生成區, 從東經110度到160度; 除了陸地外, 到北緯30度仍有顯著之颱風時數反應; 可以看出颱風僅在生成區活動頻繁, 沿主要路徑在台灣東方海域及以北的區域亦有活動。

ACE指數重視颱風強度, 在空間分布上容易凸顯強颱風的貢獻(圖三)。主要的大值在東經120度以東、160度以西的菲律賓東方海域; 主要路徑經過的台灣東方海域, 向北延伸到北緯30度。雖然南中國海也是主要颱風生成區(圖一), 但是在ACE的反應相對較不明顯, 顯示該區生成之颱風多數為弱颱風。

從RACE的角度來看(圖四), 颱風主要在生成地的南中國海、菲律賓東方海域, 以及主要路徑經過的台灣東方海域活動。整體和ACE相比(圖三), 最大差別在南中國海的部份, 其他地方相似。

比起ACE, PDI更重視颱風強度, PDI的氣候值空間分布(圖五)顯示在南中國海的比重更少, 其他區域則是和ACE相似。由於PDI空間分布與ACE相差不大, 而RACE分布接近颱風存在時數, 下面僅就颱風生成及ACE、RACE進行分析。

四、年際和年代際變化

西北太平洋平均每年生成約27個颱風(圖六), 最少年份僅有18個颱風生成(如: 1998), 最多年

份有35個(如: 1965、1967、1971), 具有明顯年際變化及年代際變化。年際變化方面可以發現有前後年差距很大的例子, 如1973和1975年生成數小於一個標準差, 但1974年則大於一個標準差; 1980年代變動較小, 1994和1996大於一標準差, 1995年卻略低於平均值, 這和年際變化大部份與El Nino/La Nina交替出現有關。年代際變化方面, 在1960年代生成數變化較為極端, 從1970年代中期到1980年代末期, 颱風個數偏少, 1980年代末期到1990年代末期, 颱風個數偏多, 2000年以後颱風個數又再減少。

ACE的年際變化及年代際變化如圖七, 最高值在1997年, 最低1999年, 且從1970年代晚期有上升趨勢, 到1990年代晚期突然轉變為約10年的山型分布。由於強颱風對ACE影響較大, cat4以上的颱風在ACE時間序列上比重較大, 較能看出其時間變化, 由1965開始到1990年代後期, 強颱風活動呈現波谷形式, 最低值落在1970年代中期; 2000年代則有一個波峰, 最大值在2004年。

扣除ACE高估強颱風動能的部份, RACE大致上的走勢和ACE(圖七)及颱風時數類似(圖八), 1970年代前的高值波谷, 之後到1990年晚後期為上升趨勢, 之後是以2004年為峰值的山型分布。在颱風不活躍的1970年代中期, 1973到1977五年內有三年RACE低於一標準差; 而颱風活躍1990年代中, 1993到1997五年間亦有三年RACE高於一標準差。

西北太平洋颱風年變化有著明顯的年代際變化, 並反應在不同的颱風活動指數上。在年代際上1970年代中的低值, 一路攀升到1990年代後期的最高值, 爾後轉以2004年為中心峰值的山型分布; 單就較強颱風而言也有類似的變化, 就全球暖化讓強颱風變多這點來說, 在2000年之後的強颱風活動大約和1990年代同級, 和1970年代相比明顯較高。

五、ENSO事件的影響

為了看氣候事件對颱風活動的影響, 本文根據CPC以海溫定義的El Nino及La Nina年(表一)作

距平成。從 El Nino 年的颱風生成距平（圖九）可以看出颱風生成區域的變化，主要是在靠近中太平洋（東經 140 度以東、北緯 15 度以南）颱風生成變多，靠近菲律賓的海域及台灣東方海域生成減少。南中國海則有生成區東移的傾向。在 La Nina 年生成分布大致上和 El Nino 年反相（圖十）。

相較於生成，ACE 的對 ENSO 事件的反應較有全域性的變化（圖十一），在 El Nino 年幾乎整個西北太平洋颱風活動都有增加，主要增加區域在菲律賓以東、北緯 20 度以南；相對地南中國海颱風活動略有減少。而在 La Nina 年則幾乎完全相反（圖十二），且距平絕對值較 El Nino 年略高。RACE 的結果除了南海的反應較大外，其他海域與 ACE 一致（圖十三、圖十四）。

六、討論

本文利用 JTWC best track 資料以不同參數估算西北太平洋颱風活動，期以得到颱風活動在空間和時間上的特徵。由於本文所分析的指數主要受颱風生存時間及強度影響，由各指數的差異可以作為颱風強度結構的參考。分析發現颱風主要生成區有菲律賓東方海域和南中國海，其中南中國海的弱颱風比例較高，在重視強度的指數（ACE 及 PDI）反應較不明顯；台灣東方海域處颱風主要路徑，易有較強颱風經過。就年際變化上（El Nino 及 La Nina 年），仍需進一步分析。

由颱風活動時間序列可以看出，不同指數間，颱風活躍/不活躍年與正常年間有明顯對比，且都呈現出明顯的年際及年代際變化。但台灣位處大陸及海洋交界，其鄰近颱風活動和整個西北太平洋的颱風活動變化關係較不密切，需要分開檢視。

PDI 及 ACE 單純以颱風強度立方及平方做為能量指數，容易高估較強颱風影響。RACE 假設颱風風速以 modified Rankine vortex 分布計算動能指數，可能是較精確估算颱風活躍程度的方法之一。

參考文獻

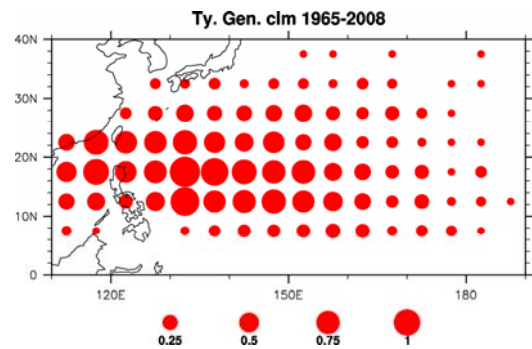
Bell, G. D., Coauthors 2000: Climate assessment for 1999. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **81**, 1328.

Emanuel, K. A., 2005: Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years. *Nature*, **436**, 686–688, doi:10.1038/nature03906.

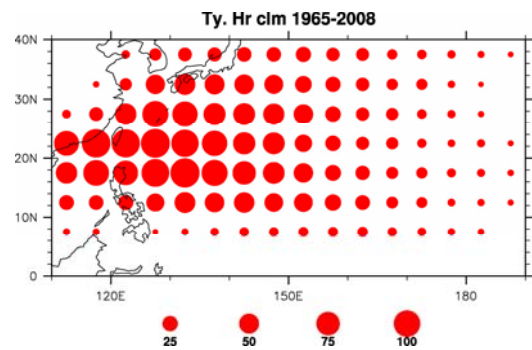
Yu, J.-Y., C. Chou, and P.-G. Chiu, 2009: A revised accumulated cyclone energy index. *Geophys. Res. Lett.*, **36**: L14710, doi:10.1029/2009GL039254.

表一：El Nino 及 La Nina 年份。

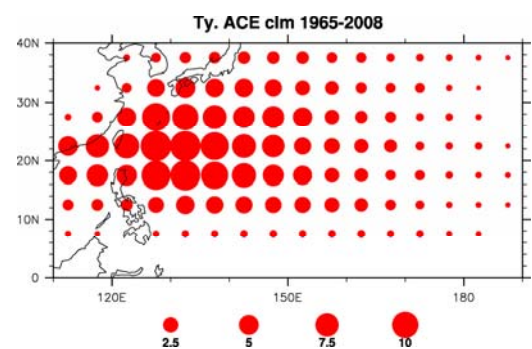
El Nino	1965,1969,1972,1976,1977,1982,1986,1987,1991,1994,1997,2002,2004,2006
La Nina	1970,1971,1973,1974,1975,1984,1988,1995,1998,1999,2000,2007



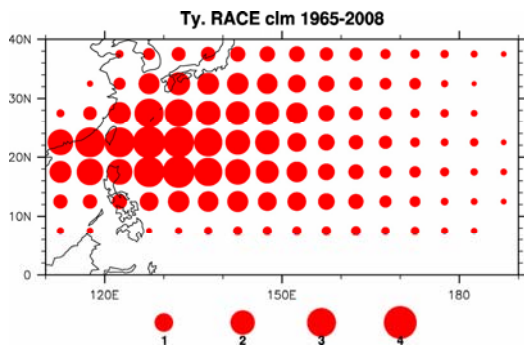
圖一：1965-2008 颱風生成個數年平均空間分布。



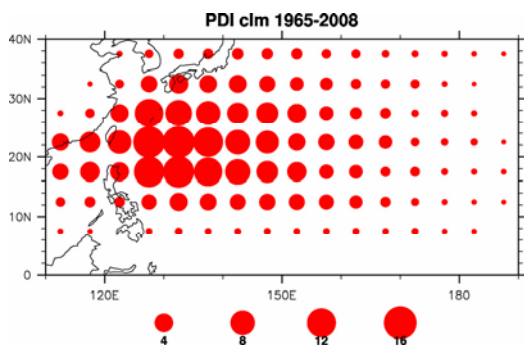
圖二：1965-2008 颱風存在時間，單位小時/年。



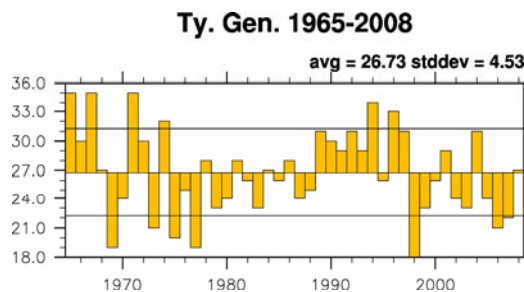
圖三：1965-2008，ACE 空間分布，單位 $10^4 \text{knot}^2/\text{year}$ 。



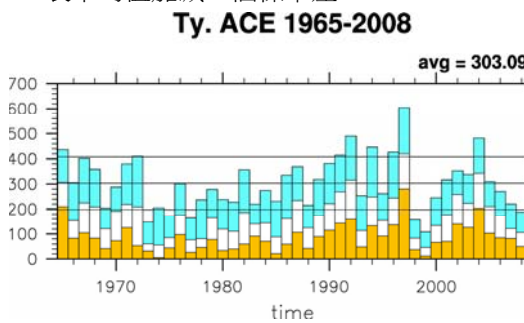
圖四：1965-2008，RACE 空間分布，單位 $10^4 \text{knot}^2/\text{year}$ 。



圖五：1965-2008 氣候 PDI 空間分布，單位 $10^6 \text{knot}^3/\text{year}$ 。

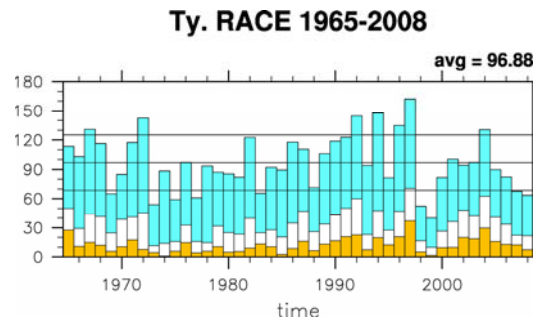


圖六：1965-2008 颱風生成數的年時間序列，細線代表平均值加減一個標準差。

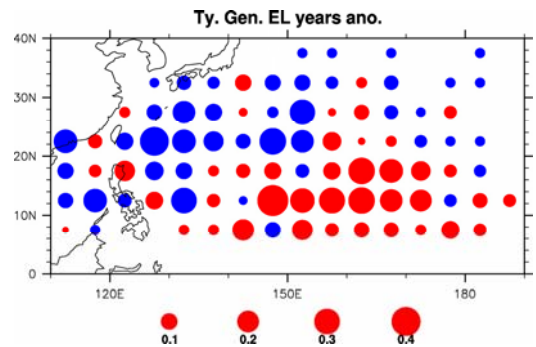


圖七：1965-2008，ACE 的年時間序列，三條細線分別代表平均值及加減一標準差，藍色柱代表較弱颱風(cat. 0+1)的貢獻，白色及黃色則是中颱

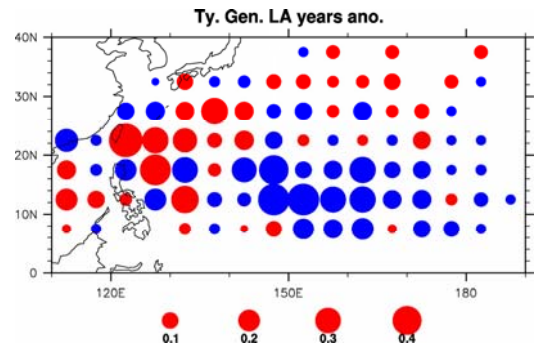
(cat. 2+3)及強颱(cat. 4+)。



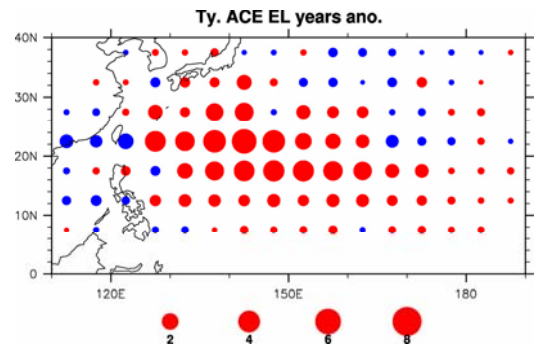
圖八：同圖七，但為 RACE。



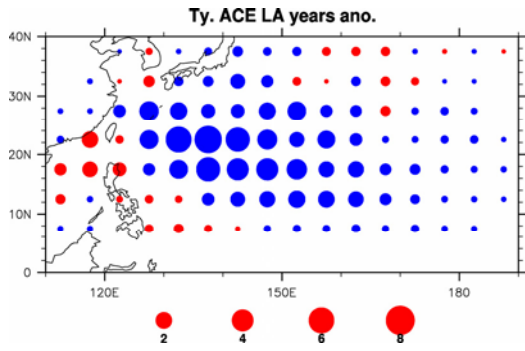
圖九：El Nino 年平均颱風生成數，紅(淡)色點代表正距平，藍(深)色點為負距平。



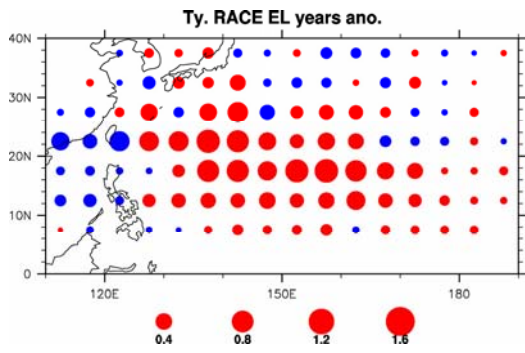
圖十：La Nina 年平均颱風生成數。



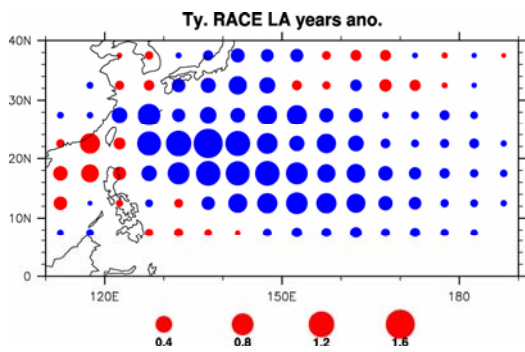
圖十一：同圖九，但為 ACE 分布，單位 $10^4 \text{knot}^2/\text{year}$ 。



圖十二：同圖十，但為 ACE 分布，單位 $10^4 \text{knots}^2/\text{year}$ 。



圖十三、同圖十一，但為 RACE 分布。



圖十四：同圖十二，但為 RACE 分布。