



Reprint 570

西北太平洋熱帶氣旋活動的長期變化

胡文志、張文瀾、梁延剛

第十九屆粵港澳氣象科技研討會，  
中國，廣東陽江，2005年3月1-3日

# 西北太平洋熱帶氣旋活動的長期變化

胡文志 張文瀾 梁延剛  
香港天文台

## 摘要

香港天文台的熱帶氣旋最佳路徑分析顯示，最近 10 年，即 1995 年至 2004 年，有 7 年西北太平洋上的熱帶氣旋數目是少於 1961-1990 年的長期年平均 31 個。近期偏少的趨勢與 1980 年代中期至 1990 年代中期上升的趨勢恰恰相反。雖然這個反覆的趨勢反映西北太平洋熱帶氣旋活動受到十年年際變化影響，但分析顯示，在 1961-2004 這期間，熱帶氣旋活動確有長期下降的趨勢。熱帶氣旋強度則無加強的跡像。

熱帶氣旋活動的長期下降趨勢，跟西北太平洋表面海水增溫以及一些模式提出的「熱帶氣旋活動應隨海溫上升而增加」的看法不一致。另一方面，西北太平洋的平均向外長波輻射在 1961 至 2004 年間有長期上升趨勢，也就是說，在這期間，對流有所減少。這意味著西北太平洋熱帶氣旋活動的減少，其中一個可能原因是對流受到抑制。

## Long-term Change in Tropical Cyclone Activity in the Western North Pacific

M. C. Wu, W. L. Chang and Y. K. Leung  
Hong Kong Observatory

### Abstract

The Hong Kong Observatory's tropical cyclone best track data show that in 7 of the recent 10 years between 1995 and 2004, the annual number of tropical cyclones in the western North Pacific was below the 1961-1990 normal of 31. This below normal activity represents a reversal of the increasing trend observed between the mid-1980s to the mid-1990s. While such an alternation reflects the modulating influence of inter-decadal variability, analysis shows that a long-term decreasing trend is also discernible between 1961 and 2004. On the other hand, the intensity of tropical cyclones does not appear to be increasing.

The long-term decreasing trend in tropical cyclone activity does not seem to be in line with the apparent increase in western North Pacific sea surface temperatures nor with the increase in tropical cyclone activity due to rising Sea Surface Temperature as suggested by some models. On the other hand, it was found that the outgoing longwave radiation (OLR) averaged over the tropical western North Pacific has a long-term increasing trend between 1961 and 2004. That is, convection was decreasing during this period. This suggests that the decrease in tropical cyclone activity might in part be associated with this suppression of convective activity.

## 1. 引言

在西北太平洋，平均每年約有超過 30 個熱帶氣旋出現，是眾多海洋區域中最多的(陳聯壽、丁一匯 1979)。Chan 和 Shi (1996)指出，西北太平洋熱帶風暴加颱風年總數目以及颱風年總數由 60 年代初期至 70 年代中期有下降的趨勢，但從 70 年代中期至 90 年代中期則呈上升的趨勢。

在 1995-2004 這 10 年間，有 7 年西北太平洋熱帶氣旋數目是少於 1961-1990 年長期年平均的 31 個。這意味著近年來熱帶氣旋可能又重拾 60 年代初期至 70 年代中期的下降傾向。有關西北太平洋熱帶氣旋活動長期趨勢的研究不多，Chan and Shi (1996)外，Chan and Liu (2004)在分析西北太平洋颱風活動和海溫關係一文中提過近期西北太平洋颱風活動的變化，但他們對此變化未作詳細的統計分析。在這背景下，本文利用 1961 至 2004 年的數據，探討西北太平洋熱帶氣旋活動在這四十多年期間的長期趨勢及週期特徵。本文也分析 1961-2004 年間西北太平洋熱帶氣旋強度的變化，看看它在全球變暖和海溫上升的前題下有否增加。

另外，因為在南中國海形成或進入南中國海的熱帶氣旋可能影響華南沿岸及香港，本文也對 1961-2004 年間南中國海上的熱帶氣旋活動進行分析，以了解其長期趨勢和週期變化。

## 2. 數據和方法

### 2.1 數據

本研究的熱帶氣旋及颱風數據是源自香港天文台由1961年至2004年的最佳熱帶氣旋路徑分析資料。向外長波輻射(Outgoing Longwave Radiation, 簡稱 OLR)數據則來自美國氣候診斷中心(Climatic Diagnostic Centre)的網頁 <http://www.cdc.noaa>。

### 2.2 方法

本文跟隨 Wigley and Raper (1990) 研究氣候系統自然變化一文中所採用的定義，把週期在十年或以上的變化(包括長期趨勢)定為低頻或長週期變化，週期在十年以下的定為高頻或短週期變化，並用高斯濾波(Gaussian filter, 見 Hanna and Capellan 2003)把熱帶氣旋時間序列長週期部份先大致描劃出來，以助檢視及初步分析。本文也用奇異譜分析(Singular Spectrum Analysis, 簡稱 SSA)來試圖提取長週期變化的成份，藉以探討它所解釋的方差(explained variance)。有關 SSA 的細節可參考江志紅、丁裕國(1998)，及 Golyandina 和 Zhigljavsky (2001) 等。

本文的長期趨勢是經線性迴歸法及 t-測試得出的(見 Easterling *et al.* 1997, IPCC 2001)，並與 Mann-Kendal 非參數法(簡稱 MK 法)所得的結果作比較。MK 法的優點是受檢驗的數據不需遵守正態分佈，可應用於帶有線性或非線性趨勢的數據，它亦不受少數歧異值(outliers)的影響，細節可見 Sneyers (1990)及符淙斌、王強(1992)等。因 MK 法不給出長期趨勢，本文用 Sen's 非參數法來計算這參數。與 MK 法相同，Sen's 非參數法的好處在於不受歧異值的影響，受檢驗的數據也不需遵守正態分佈，具體方法可見 Sen (1968)。

年際變化特徵的辨認則是以 Multitaper Method (MTM) 所得的頻譜分析作為依據。MTM 的優點在於頻譜中的方差相對其他方法如快速富利葉轉換 (FFT) 較少，而且分辨率高(見 Ghil 2002 等)。因為各時間序外的自相關均大於零，本文用紅噪音 (red noise) 譜作為測試譜值置信水平 (confidence level) 的臨界譜(見 Wilks 1995)。

### 3. 西北太平洋上的熱帶氣旋和颱風活動的長期趨勢及年際變化

#### 3.1 初步分析

圖一顯示西北太平洋的熱帶氣旋及颱風年數目的時間序列。透過高斯濾波，可見熱帶氣旋年數目呈下降的長期趨勢。相對來說，颱風年數目的長期趨勢則不明顯。

熱帶氣旋和颱風年數目長週期變化相關系數為 0.81，達 5% 統計顯著水平，表示這兩時間序列的長週期變化很相似。這兩時間序列都在 60 年初和 80 年後期或 90 年代初期呈偏高值，在 70 年代中期和 90 年代末期或 20 世紀初又出現偏低值。也就是說，它們的十年間 (inter-decadal) 長週期變化是一致的，雖然幅度不大。

短週期或高頻變化方面，即是原時間序列減去經高斯濾波所得的長週期序列後的剩餘序列 (residual series)，熱帶氣旋及颱風年數目相關系數較低，為 0.56，也達 5% 統計顯著水平。

以下本文利用在第二節所述的方法對長期趨勢及年際變化作出定量分析。

### 3.2 長期趨勢

用線性迴歸法，得出西北太平洋 1961 至 2004 年間熱帶氣旋數目的長期線性趨勢為每十年減少 1.6 個，t-測試得出遞減率達 5%統計顯著水平。用 MK 法也得出 1961-2004 整段期間，下降趨勢達 5%統計顯著水平。Sen' s 方法推算的線性趨勢變化幅度為每十年減少 1.3 個，比迴歸法的 1.6 個略少。

線性迴歸法亦顯示，在 1961 至 2004 年間，颱風年數目不呈統計上顯著的趨勢。MK 法也得到同樣的結果。這意味著雖然西北太平洋的海面水溫有上升的傾向(Chan and Liu 2004)，熱帶氣旋的強度，在過去的四十多年，並沒有相隨增加。

### 3.3. 年際變化

圖二為熱帶氣旋與颱風年數目的 MTM 譜估計及相應紅噪音臨界譜。由圖可見，對熱帶氣旋來說，最大的譜值在准 2.4 年、准 3.4 年及准 18 年，但祇有准 3.4 年的譜值達 5%紅噪音置信水平。准 18 年的譜值雖然偏高，示意十年間變化的存在，但未達 5%紅噪音置信水平，一個可能性是相對短週期來說，長週期的變化幅度偏小。

在颱風而言，最大的幾個譜值在准 2.4 年、准 3.4、3.9 年及准 17 年，但祇有准 3.4 和 3.9 年的譜值達或超過 5%紅噪音置信水平。與熱帶氣旋的情況一樣，准 17 年的譜值雖然未如准 3.4、3.9 年那樣達 5%紅噪音置信水平，也是偏高的，表示時間序列帶有十年間長週期的變化。對西北太平洋颱風年數目，Chan and Shih (1996) 用方差分析(variance analysis)法所得出的周期為準 2、5 及 7 年，前二週期與這裏的結果接近。

准 2.4 年及准 3.4 至 3.9 年的週期分別與大氣中的准二年振盪 (Quasi-Biennial Oscillation, QBO) 及厄爾尼諾 (El Niño-Southern Oscillation, ENSO) 的 2 至 7 年週期吻合。准 17 至 18 年的週期可能與太平洋十年振盪 (Pacific Decadal Oscillation, PDO) 的 15 至 25 年週期有關，但這尚待確定。

奇異譜分析 SSA 顯示，熱帶氣旋和颱風年數目序列十年或以上的長週期變化 (包括長期趨勢)，分別佔解釋方差約 26% 及 18%。換句話說，這兩個序列主要的變化來自十年以下的短週期年際變化。

#### 4. 南中國海熱帶氣旋和颱風活動的長期趨勢及年際變化

##### 4.1 初步分析

南中國海熱帶氣旋和颱風在 1991-2004 年間的年數目，及經高斯濾波後的長週期變化，示於圖三。兩長週期序列相關係數為 0.38，達 5% 統計顯著水平。短週期變化的相關係數是 0.49，也達 5% 統計顯著水平。

熱帶氣旋長週期序列，似有長期下降趨勢，2002、2003 及 2004 年的年數持續比 1961-1990 長期平均 12.4 個少約三份之一。但長週期序列的週期性相對較雜亂，除長期的趨勢，初步看不見一些顯著的准週期。颱風的長期下降趨勢並不明顯，但它的長週期性卻較清楚，有小幅度的十年左右的週期變化。

##### 4.2 長期趨勢

用線性迴歸法，得出南中國海 1961 至 2004 年間熱帶氣旋數目的長期趨勢為每十年減少 0.8 個，t-測試得出遞減率達 5% 統計顯著水平。MK 及 Sen' s 方法亦得同樣結果。至於颱風年數目，迴歸及 MK 法均顯示無顯著趨勢，表

示南中國海熱帶氣旋的強度並無增加。

### 4.3. 年際變化

圖四為南中國海熱帶氣旋與颱風年數目的 MTM 譜估計及相應紅噪音臨界譜。由圖可見，熱帶氣旋的最大譜值在准 3.6 年，譜值超過 5%紅噪音置信水平，這與西北太平洋的情況一樣。另外幾個較大的譜值在准 3.2、6 和 8 年，但譜值皆不達 5%紅噪音置信水平。劉春霞(2000) 給出登陸廣東省熱帶氣旋的週期為 3 年和 8 年，謝炯光、紀忠平(2000)給出影響廣東省熱帶氣旋的週期為 3 年和 8 年，與這裏的結果是一致的。

對南中國海颱風的年數目，最大的譜值在准 2.9 至 3.2 年，譜值達或超過 5%紅噪音置信水平。雖然初步分析看不出 12 年週期的存在，但 MTM 譜分析亦給出了准 12 年的週期。雖然譜值不達 5%紅噪音置信水平，但也相對偏高，反映南中國海颱風的長週期變化是受十年間變化影響的。

SSA 顯示，南中國海熱帶氣旋十年或以上的長週期變化所佔的解釋方差是 18%左右。至於颱風序列，SSA 未能有效提取長和短週期的成份，所以分辨不出兩者所解釋的方差。SSA 能否成功提取週期變化與很多因素有關，如時間序列的性質、長短等(見 Golyandina 和 Zhigljavsky 2001)。

## 5. 討論

西北太平洋熱帶氣旋活動呈統計上顯著的長期下降趨勢，與海溫上升以及一些模式所提出的熱帶氣旋活動應隨海溫上升而增加的看法不一致(Chan and Liu 2004)。

另一方面，如圖五所示，西北太平洋上(取 5-25°N, 130-180°E)的年平均向外長波輻射 OLR 在 1961 至 2004 年間有統計上顯著的長期上升趨勢



( $r=0.59$ ，達 5%統計顯著水平)，OLR 的增加，意味著對流的減少。

OLR 與西北太平洋熱帶氣旋年數目的相關係數是 $-0.52$ ，達 5%統計顯著水平。這示意西北太平洋熱帶氣旋活動的減少，部份原因可能是該海域上對流活動受到抑制。在很少熱帶氣旋生成的西北太平洋赤道附近( $5^{\circ}\text{S}$ – $5^{\circ}\text{N}$ ,  $130$ – $180^{\circ}\text{E}$ ) 的 OLR 在 1961–2004 年間亦有顯著的長期上升趨勢( $r=0.44$ ，達 5%統計顯著水平)，可推測這裡所得的西北太平洋大範圍 OLR 的顯著長期上升，並非是 Sobel 和 Camargo (2004)所提的熱帶氣旋活動與 OLR 的反饋作用引起的。

## 6. 結論

在 1961–2004 期間，經迴歸法得西北太平洋熱帶氣旋數目呈顯著的長期下降趨勢，幅度約為每十年減少 1.6 個。導致這下降趨勢的一個可能性是對流的減少。西北太平洋的颱風數目在 1961–2004 間則沒有顯著的長期趨勢，示意著熱帶氣旋的強度沒有增強的跡像。南中國海的情況也大致相同，熱帶氣旋每十年減少約 0.8 個，颱風則無顯著的長期趨勢。

西北太平洋熱帶氣旋和颱風以及南中國海熱帶氣旋活動，十年以上的長週期變化(包括長期線性趨勢)不及短週期的年際變化的重要，所解釋的方差分別約為 26%、18%和 18%。在短週期年際變化方面，准三年週期的變化最為明顯。

## 參考文獻

Chan, Johnny C. L., and Kin-Sik Liu, 2004: Global warming and Western North Pacific typhoon activity from an observational perspective. *J. Climate*, **17**, 4590–4602.

- Chan, J. C. L., and J. Shi, 1996: Long-term trends and interannual variability in tropical cyclone activity over the western North Pacific. *Geophys. Res. Ltrrs*, **23**, 2765-2767.
- Easterling, D.R., B. horton, P.D. Jonnes, T.C. Peterson, T.R. Karl, D.E. Parker, M.J. Salinger, V. Razuvayev, N. Plummer, P. Jamason, C.K. Folland, 1997: Maximum and minimum temperature trends for the Globe, *Science*, **277**, 364-367.
- Ghil, M, M. R. Allen, M. D. Dettinger, K. Ide, D. Kondrashov, M.E. Mann, A. W. Robertson, A. Saunders, Y. Tian, F. Varadi and P. Yiou, 2002: Advanced spectrum methods for climatic time series. *Rev. Geophys.*, **40**, 1-1-1-41.
- Golyandina, N., Nekrutkin, V. and Zhigljavsky, A., 2001: *Analysis of time series structure: SSA and related techniques*. Chapman and Hall, 305pp.
- Hanna, E., and J. Cappelen, 2003: Recent cooling in coastal southern Greenland and relation with the North Atlantic Oscillation. *Geophys. Res. Ltrrs.*, **39**, 32-1-3.
- IPCC, 2001: *Climate Change 2001: The Science of Climate Change*, Contribution of the Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton, J. T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X.Dai, K. Maskell, C.A. Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881pp.
- Sen, P. K., 1968: Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *J. Amer. Stat. Assoc.*, **63**, 1379-1389.
- Sobel, A.H., and S.J. Camargo, 2004: Influence of western North Pacific tropical cyclones on their large-scale environment, *J. Atmos. Sci.*, (submitted).
- Sneyers, R. 1990: *On the statistical analysis of series of observations*. WMO Tech. Note 143.
- Wigley, T. M. L., and C. B. Raper, 1990: natural variability of the climate

system and detection of the greenhouse effect. *Nature*, **344**, 324-327.

Wilks, Daniel S., 1995: *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. Academic Press, 467pp.

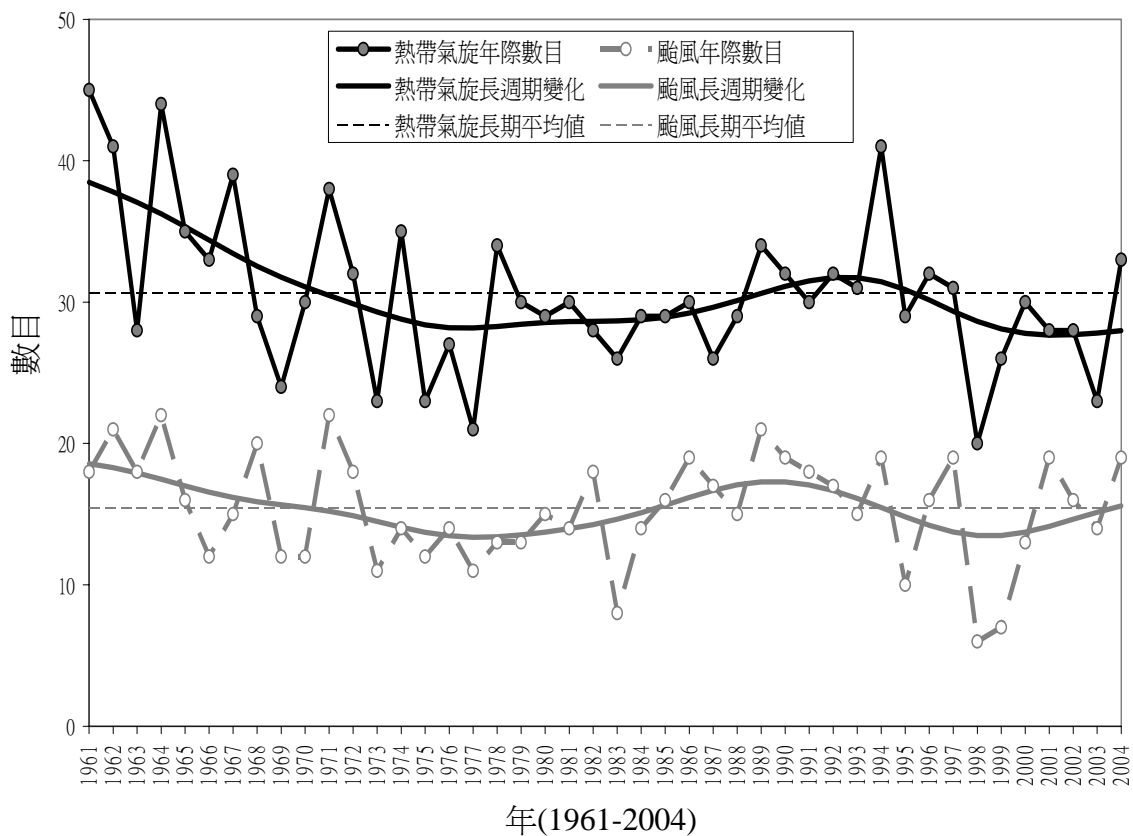
陳聯壽、丁一匯，1979: *西太平洋颱風概論*。科學出版社，共 491 頁。

符淙斌、王強。 1992: 氣候突變的定義和檢驗方法, *大氣科學*, **16**, 482-493。

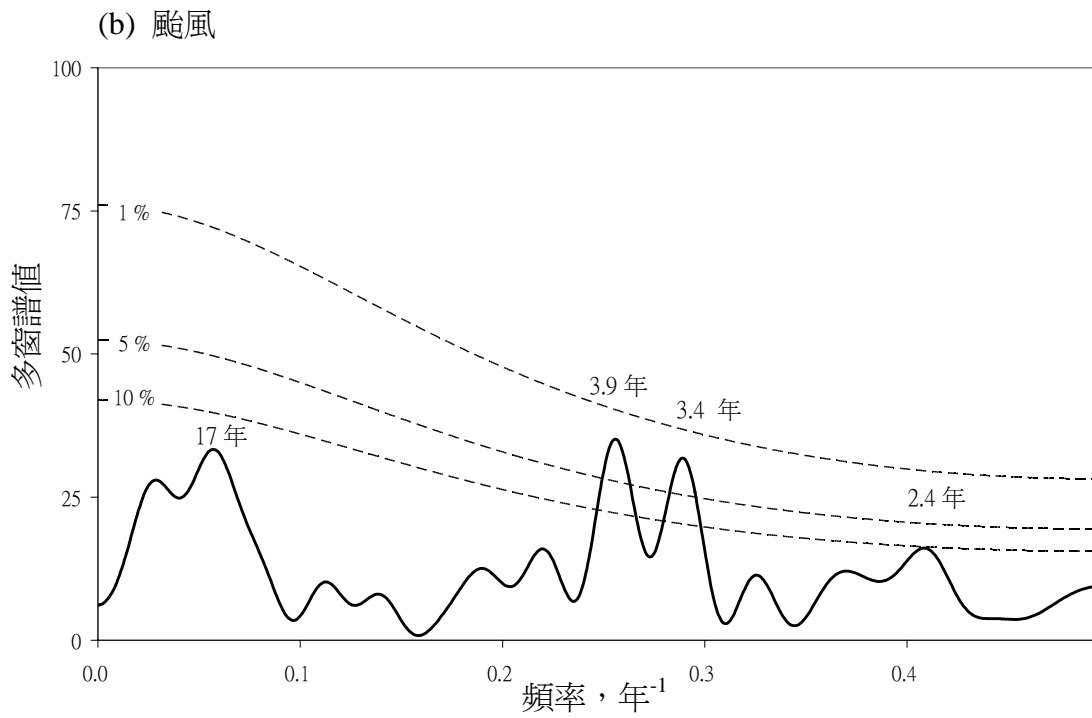
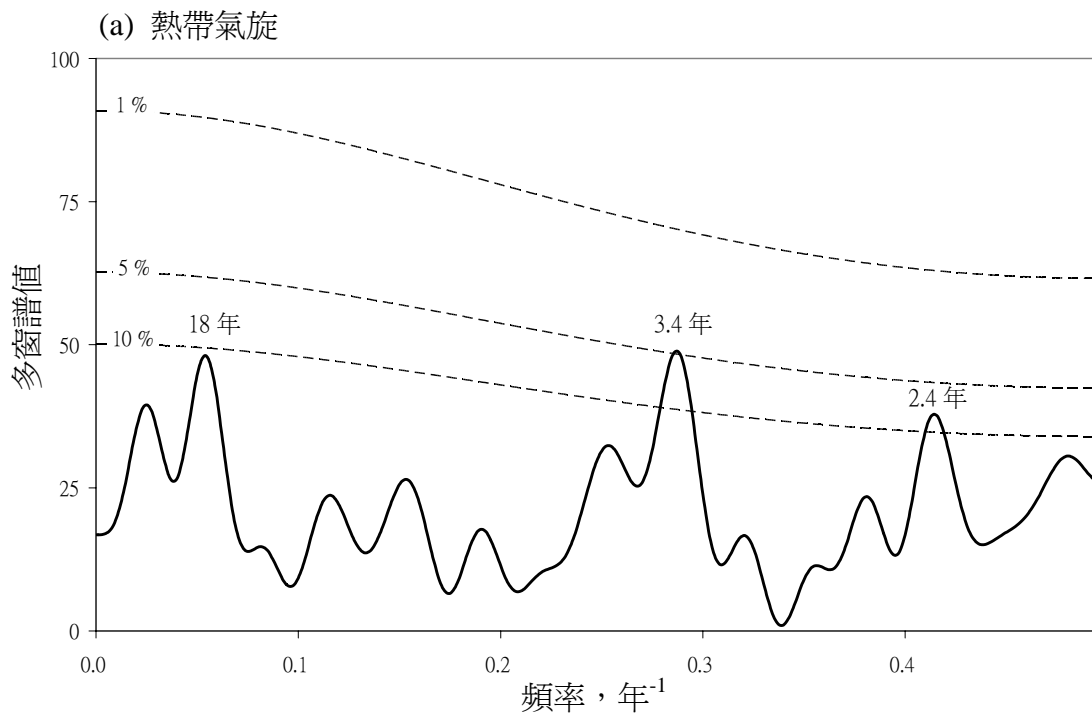
江志紅、丁裕國，1998: 奇異譜分析的廣義性及其應用特色。 *氣象學報*, **56**, 736-743。

劉春霞，2000: 廣東省熱帶氣旋的小波分析。 *廣東省短期氣候預測研究*，黃增明、吳尚森、梁建茵主編。氣象出版社， 233-241。

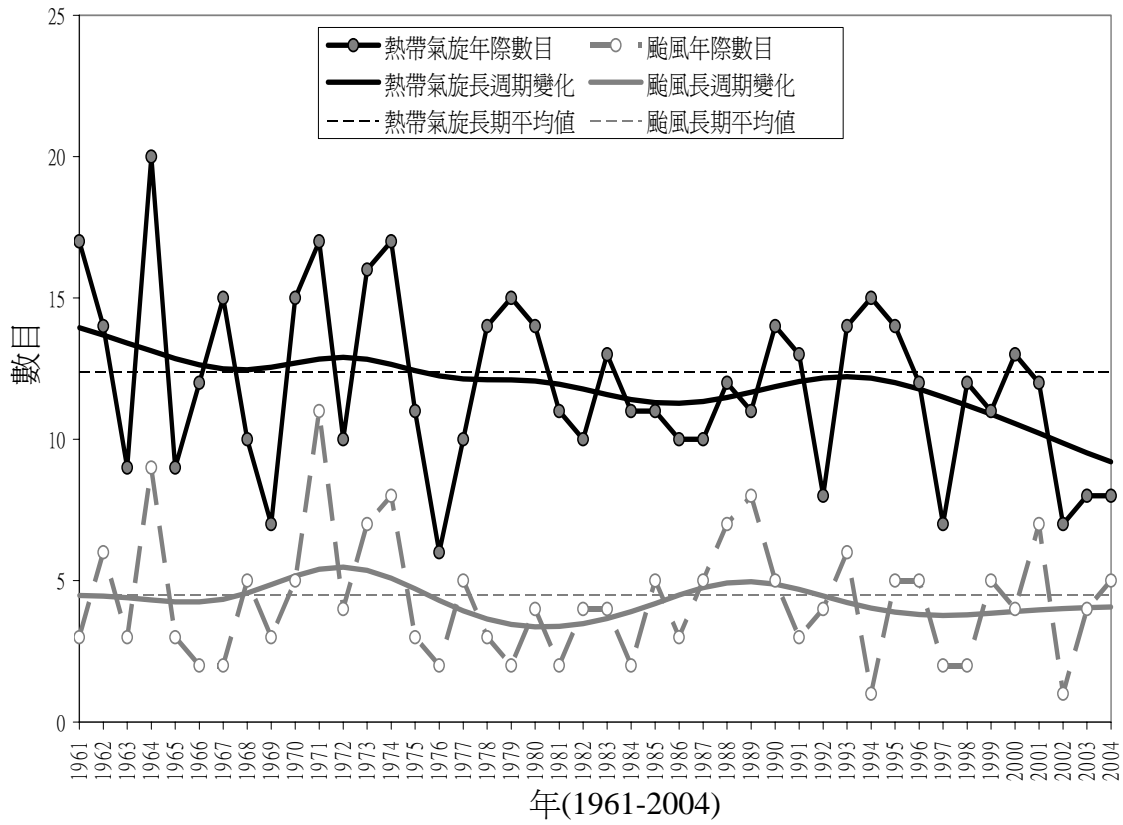
謝炯光、紀忠平， 2000: 登陸廣東熱帶氣旋的奇異譜分析。 *廣東省短期氣候預測研究*，黃增明、吳尚森、梁建茵主編。氣象出版社，261-264。



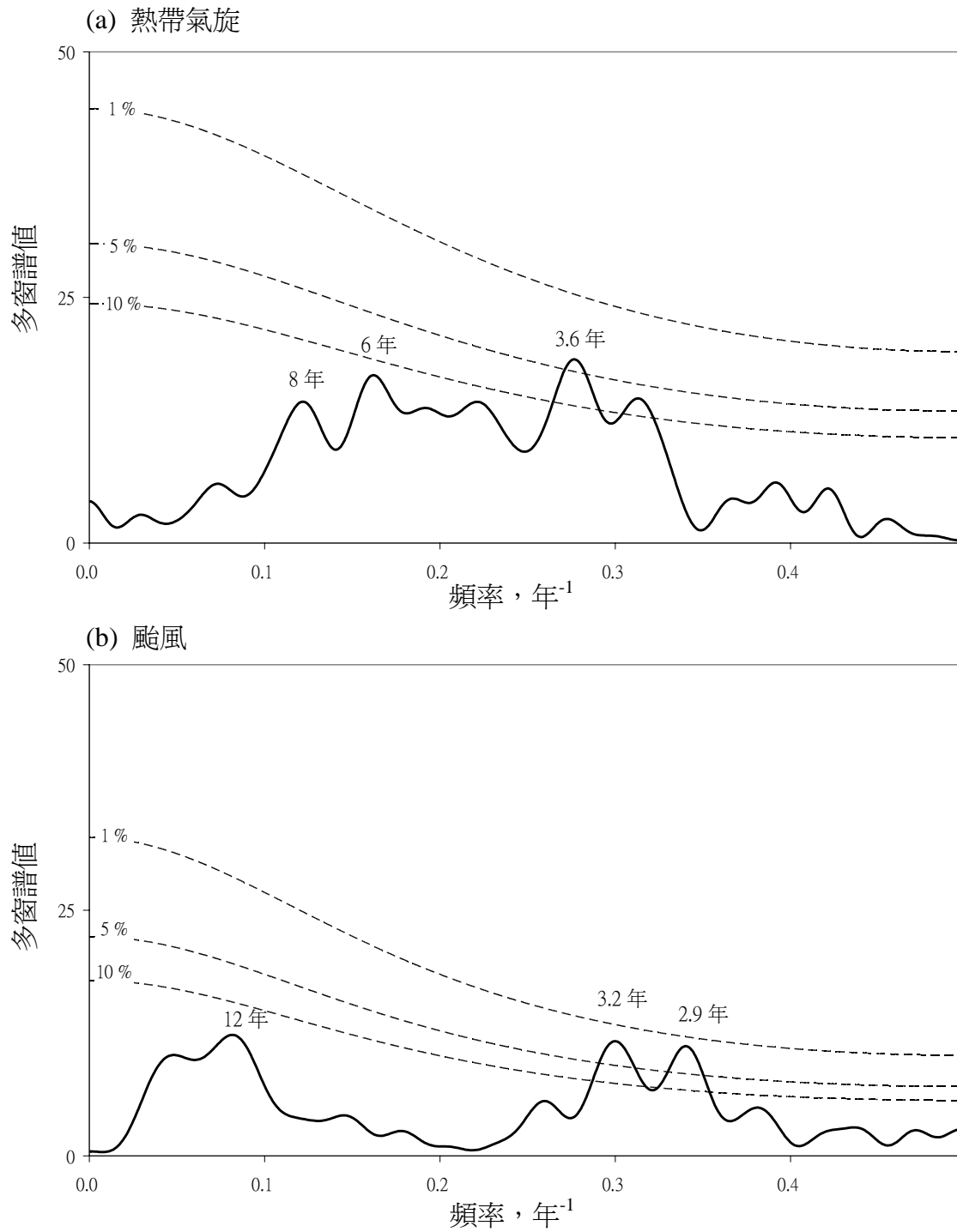
圖一 西北太平洋的熱帶氣旋及颱風年數目。長週期變化是用高斯濾波器濾掉十年以下週期變化而得的。



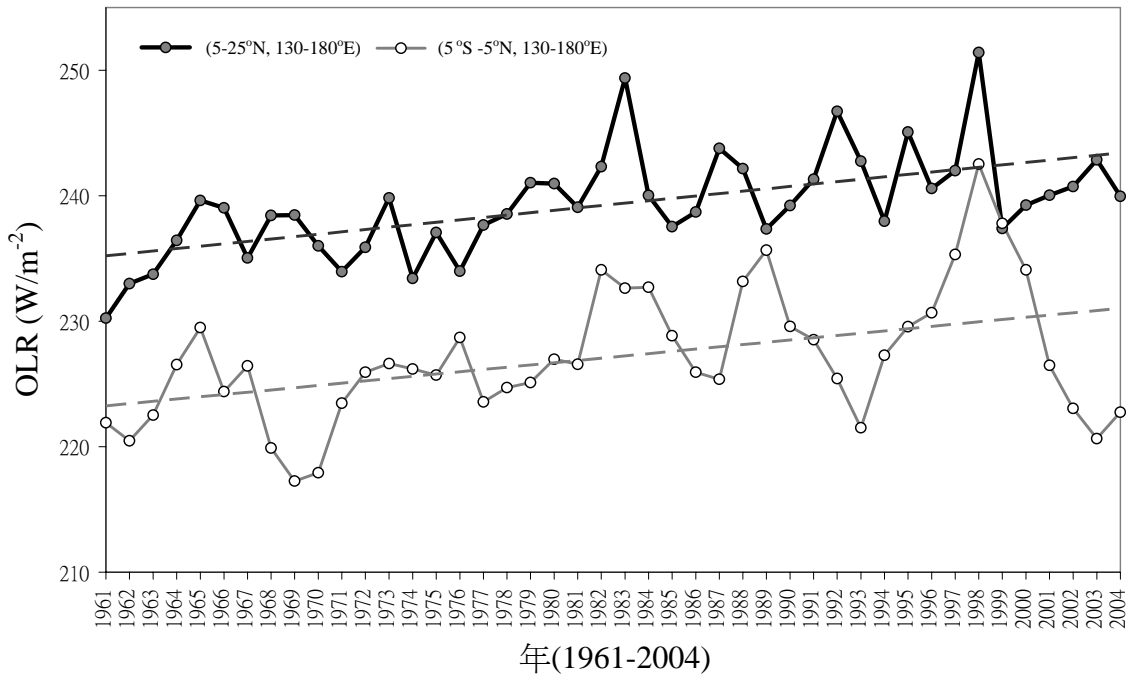
圖二 西北太平洋的(a)熱帶氣旋及(b)颱風年數目的 MTM 譜估計及相應的紅噪音臨界譜。



圖三 南海的熱帶氣旋及颱風年數目。長週期變化是用高斯濾波器濾掉十年以下週期變化而得的。



圖四 南海的(a)熱帶氣旋及(b)颱風年數目的 MTM 譜估計及相應的紅噪音臨界譜。



圖五 太平洋的熱帶地區(5-25°N,130-180°E)及(5°S -5°N,130-180°E)的年平均向外長波輻射(OLR)的時間變化曲線。虛線為各自的長期線性趨勢。