

控制西北太平洋颱風運動之空間尺度

游廷碩 林秉煜 蔡佳伶 林李耀 郭鴻基

台灣大學大氣科學研究所

中文摘要

基本上，颱風運動可以視為渦旋受大尺度環境風場所驅使，而大尺度的風場和位渦場間往往有近似平衡之關係。因此，多大範圍的環境位渦場可以決定颱風的運動路徑，是本研究想探討的主題。

我們參考 Shapiro and Franklin(1999) 結合傳統「駛流」概念與片段位渦反演技術的診斷方法（以下簡稱 SF99），將颱風運動區分為：(1)受颱風中心 1500 公里環狀區域內位渦所主導的「局部控制」情形，和 (2)不能由 2000 公里內天氣系統位渦決定之「非局部控制」兩種類型，透過這個分類方法，來探討西北太平洋地區颱風運動受大尺度駛流場的影響範圍。

此外，我們也針對上層（400hPa 及以上）和下層（500hPa 及以下）位渦進行相同的診斷，並且結合西北太平洋大尺度環流型態的資訊，以探討在西北太平洋地區控制颱風運動的空間尺度。

研究的結果發現，西北太平洋地區主導颱風運動的駛流，只有 19.6% 是由颱風附近天氣系統的位渦所控制，而且大部分都集中在 $25^{\circ}\text{N} \sim 35^{\circ}\text{N}$ 的區域範圍內。上層、下層局部天氣系統的位渦能主宰颱風駛流的機會更小（分別各為 17.6%、12.7%），且在空間上發生的機率分別集中在 30°N 以北與以南。另外，我們也進一步分析「局部控制」個案的特徵，發現此類個案通常都是在颱風移經某個綜觀尺度系統，或是接近副熱帶脊時發生，這些現象與預報作業上的經驗相符，但是我

們也透過統計分析發現，不同的大尺度環流型態對發生「局部控制」的機率並無顯著的影響，隨季節的變化也不明確。

關鍵詞：颱風運動、位渦反演、局部控制

Abstract

Tropical cyclone motion may be explained as a small vortex being advected by a large-scale steering flow. Shapiro and Franklin (1999, hereafter SF99) established a scheme of diagnosis based on piecewise PV inversion. In SF99, the control of tropical cyclone motion can be classified into two classes: "local control" and "large-scale control". The classification is according to the range of PV (within 1500km or over 2000km) contributed to its steering flow.

This research followed the scheme proposed by SF99, and applied to Pacific cases. In this research, we extend the SF99 scheme to include the classification of the upper (400hPa and above)/lower (500hPa and below) layer control of tropical cyclone motion. By examining 102 cases over western north Pacific (WNP), we found that only 20 (19.6%) cases, mostly along a meridional belt at higher latitude, can be defined as "local control" cases. Motions controlled by upper/lower local PV are even more rare (17.6%/12.7%). Furthermore, we considered the large-scale

circulation patterns, which had been shown to be significantly relevant to tropical cyclone track type, over WNP (Harr and Elsberry, 1995). No significant relation between the diagnosis of "local control" and six types of circulation was found. It appears that the subtropical ridge may be a dominant factor to TC motion over WNP. This may imply that for predicting TC motion, the relative distance to subtropical ridge may be more important than adaptive small scale observations near TC center.

Keywords: typhoon motion, PV inversion, local-control

一、前言

李 (2000) 將 SF99 的診斷模式稍做修改，應用於太平洋的颱風個案上。李的研究結果顯示，西北太平洋的颱風運動，有相當大的比例要歸因於局部地區以外的大尺度環流場，但是 SF99 的診斷模式並無法明確的指出是哪個大尺度的系統在主導颱風運動，因此我們有必要對西北太平洋的大尺度環流做進一步的認識。

二、研究方法

本研究在分析控制颱風運動的空間尺度上，是以 SF99 的診斷模式與李 (2000) 的研究結果為基礎，以下我們將介紹此診斷模式的數學形式及物理意義，並且對於一些參數的敏感度進行討論。最後將匯整本研究所使用的研究方法，描述整個分析的流程。

2.1 SF99 診斷模式

SF99 的診斷模式是以片段位渦反演為基礎，分析反演風場與駛流場間的差異度，再依照客觀標準做出診斷。圖 1 為其反演之基本流程圖，相關細節技術請參考

游 (2001) 之碩士論文，分析方法可以分成 5 個步驟：

- (1) 計算觀測位渦
- (2) 全部位渦反演
- (3) 求取軸對稱基本場
- (4) 選取位渦片段
- (5) 片段位渦反演

SF99 診斷模式的診斷目的，是為了判斷某個區域的位渦擾動是否可以決定該時間颱風運動的駛流場，因此需要定義出颱風的駛流與判斷的標準。診斷所用的參數與判準敘述如下：

- (1) 颱風運動向量 (C)：以觀測上颱風實際的運動為準，SF99 中使用的是密集觀測資料，李 (2000) 則是使用關島颱風聯合預警中心 (Joint Typhoon Warning Center, JTWC) 所出版的年度熱帶氣旋報告書 (Annual Tropical Cyclone Report, ATCR) 中記載的最佳路徑資料。
- (2) 「最佳駛流場」 (V_{best}) 與「最佳駛流半徑」 (R_{best})：將無輻散風場 (全部位渦反演得到的風場) 取不同半徑對颱風中心做環狀平均，得到隨半徑變化的環狀平均風場 $V(R)$ ，然後在 $V(R)$ 中選取與颱風運動向量 (C) 差異最小者，定義為最佳駛流場 (V_{best})，而將該半徑定義為最佳駛流半徑 (R_{best})。
- (3) 片段位渦反演風場之環狀平均：將片段位渦反演出的風場也對颱風中心環狀平均，得到隨半徑變化的 $V^i(R)$ 。
- (4) 「局部控制」的診斷標準：「局部控制」的診斷標準，是比較 $V^i(R)$ 在最佳駛流半徑上的風與最佳駛流場的差異。如果在半徑小於 1500 公里的位渦片段之中，任何一個位渦片段比較的結果滿足：

$$\frac{|\bar{V}'_i(R_{best}) - \bar{V}_{best}|}{|\bar{V}_{best}|} < 40\% \quad (8)$$

則判斷該颱風運動個案的駛流受到局部因素的控制。若在 2000 公里內都找不到滿足上式的位渦片段，則將此駛流歸因於「大尺度控制」。

2.2 分析流程

本研究將以 SF99 診斷模式的分析結果為基礎。本研究的診斷流程與 SF99 診斷模式不同之處有三：

1. 擴大選取最佳駛流場的範圍，如同李 (2000) 的做法。
2. 分別以平衡風場與觀測風場為定義駛流的參考，進行診斷。
3. 在圓形的位渦切片中，再區分出上層 (400hPa 及以上) 及下層 (500hPa 及以下) 的位渦，分別進行相同的診斷，檢視局部的上層或下層位渦能否主導颱風的運動。

我們將分析診斷結果在空間上的分布，並將之依照環流型態分類，進一步分析這些結果的意涵。

三、研究結果

3.1 SF99 診斷模式之分析結果

我們對 1982 年 9 月 5 日到 10 月 31 日間西北太平洋發生的 9 個颱風、共 102 個綜觀流場個案進行分析，研究結果發現，只有 20 個 (19.6%) 符合「局部控制」的診斷，而局部的「上層」或「下層」位渦能顯著地影響駛流的機率更低，分別只有 17.6% 和 12.7%。這樣的結果，遠低於 SF99 對大西洋個案的分析結果 (9 個個案中有 4 個屬於「局部控制」)。造成這個現象的原因，除了個案數量的差距外，可能也暗示了西北太平洋颱風運動的某種特徵。為了瞭解這些特徵，我們在下一節

將進一步分析診斷結果的空間分布。

3.2 SF99 診斷結果的空間分布

圖 2 顯示了 102 個個案在空間上的機率分布。我們可以發現，發生「局部控制」的高機率區，大致集中在日本南部以及其南方太平洋上的一條狹長區域，似乎與副熱帶脊的環流有關。

圖 3 與 4 的圖形表示與圖 2 相同，分別呈現對上層及下層位渦進行診斷的結果。由圖 3 可以看出，局部的上層位渦在中緯度地區很容易可以單獨主導颱風的運動，而圖 4 則顯示，局部低層位渦能決定駛流的機會較小，較常發生的位置也偏南。這可能暗示了中緯度的高層槽線與太平洋上低層的季風槽，可能扮演了某種角色。

3.3 不同環流型態下的診斷結果

為了瞭解大尺度環流對「局部控制」診斷的影響，我們依照 HE95a 對西北太平洋大尺度環流的分類法，將 102 個個案的診斷結果分別放入其所屬的環流型態類別中，分析結果發現，不同的環流型態明顯的與個案數目有關，但是對於符合「局部控制」診斷的機率卻沒有顯著的影響 (相關係數-0.02，在單因子變異數分析中也達不到 90% 的顯著水準)。這個差異雖然在統計上並不顯著，但是仍然可以提供我們思考的方向。其中副熱帶脊籠罩整個西北太平洋的環流型態下，有比較高的機會找到「局部控制」的個案，可能反映了副熱帶脊的環流是西北太平洋影響颱風駛流最重要的因素。

3.4 季節變化的影響

季節變化對於診斷的結果影響不甚明顯。本研究總共 149 個綜觀流場的診斷結果，按照個案所屬的月份來排列，結果發現具有「局部控制」特徵的個案比例並未隨著時序進入秋冬而增加，即使只選取

位於 20°N 以北的個案，也無法顯示出該特徵。這樣的結果，一方面可能暗示著與特殊環流系統的相對位置，遠比該系統的強度來得重要；另一方面也提醒我們，中緯度的短波槽顯然並非局部控制颱風運動的唯一因素。

3.5 不同颱風路徑的診斷結果

依據 HE95a 以及本研究的結果都顯示，其環流型態的分類與颱風運動的路徑有很高的關聯性，而且每個颱風個案都經歷了至少兩種環流型態，片面的以大尺度環流型態來代表颱風路徑型態，似乎會遺漏了某些資訊。因此我們也針對不同路徑的颱風(參考表 1)加以診斷，結果發現，「南方轉向」路徑的颱風個案似乎有比較高的機率發生「局部控制」，但是主要是由於 Judy 和 Owen 兩個颱風所造成的，若去掉這兩個颱風的個案，則颱風路徑型態對診斷結果的影響也並不明顯。整體而言，「南方轉向」相較於「直進」路徑的颱風，由於多了在中緯度受到高層槽線影響的機會，因而局部位渦能控制颱風運動的機率稍高。但這個現象在「北方轉向」路徑的颱風並沒有發生，因此很難斷言路徑型態以及診斷結果之間究竟孰為因果，抑或是綜觀天氣系統同時決定了這兩者的變化。

四、結論

從分析西北太平洋 9 個熱帶氣旋，102 個綜觀流場個案的結果發現，在西北太平洋主導颱風運動的駛流，只有 19.6% 是由颱風附近的局部因素所控制，而且大部分都集中在 25°N~35°N 的狹長區域；而局部因素對駛流有重要影響的個案比例，與大尺度環流型態並無明顯的關聯，隨季節的變化也不明確。

至於「局部控制」個案的發生特徵，

通常都是在颱風移經某個綜觀尺度系統，或是接近副熱帶脊時發生，這些現象與預報作業上的經驗相符，也能和過去的觀測以及動力理論研究相互印證。我們找出幾個可能造成「局部控制」的因素：

1. 雙颱風的藤原效應
2. 中緯度高層槽的移入
3. 與季風環流圈的交互作用
4. 移近副熱帶脊

除此之外，當然還可能有其他的綜觀天氣系統可以造成類似的效果，例如：Judy 颱風在進行診斷的前期，高層局部位渦對颱風運動有明顯的影響，在 ATCR 上記錄著當時有熱帶高對流層槽線影響其運動。但整體而言，當沒有特殊的天氣系統在颱風附近時，其駛流通常是被更大尺度的天氣系統所主宰的。

這樣的結果似乎暗示了：在西北太平洋，大尺度環流影響颱風運動的重要性，經常大於颱風中心附近局部區域的天氣系統，因此在企圖提昇颱風路徑預報的精確度時，應該也可以考慮經由增進對大尺度現象的理解，與改善資料的解析度，來達成這個目標。此外，由於駛流之控制因子在大尺度環流型態轉變時，往往也會出現其位渦空間尺度轉變的訊號，這個現象涉及環流型態轉變的過渡狀態，如同 HE95b 中所展示的結果，還需要大量的綜觀分析與統計資料來加以詮釋，也可以提供未來研究的方向。

本研究的結果，可以應用在透過密集觀測以改善颱風路徑預報的策略。由於西北太平洋颱風的駛流較少受到局部因素所控制，因此在進行輔助性觀測的時機上，一是可以選擇駛流不明顯的個案，此時本研究使用的診斷模式並不適用，相對的局部區域的天氣資訊可能對路徑預測相當重要；另一是可以選擇附近有明顯天

氣系統的時間，由本研究的結果可以得知該天氣系統往往對未來颱風運動方向有顯著的影響，此時對颱風中心附近三、四百公里區域進行觀測，所收集的資料對於分析颱風運動才會有較大的意義。

在影響颱風駛流的局部因子方面，綜觀天氣系統移近造成的效果，目前已能有相當程度的掌握，然而對於駛流不明顯、或者路徑不規則變化的狀況，則需要藉助於中、小尺度的動力知識做進一步的探討。由於以位渦反演求取駛流，涉及了準平衡觀念之應用，因此颱風小尺度範圍之路徑變異與非對稱的結構引發的路徑變化，皆不是此方法所能夠掌握的，也因此無法將其納入分析的架構之中。但是本研究分析方法分析的駛流，是影響颱風運動的因素中，決定基本運動方向最重要的原因，因此經由前面的討論，我們對於影響西北太平洋颱風運動的天氣系統特徵也可以有進一步的瞭解。

最後我們要強調的是，本研究結果分析之局部或非局部控制因子，對於 24 小時的颱風預報分析上可以有參考價值，但如果要應用到 48 小時或是 72 小時的颱風預報上，基本上就必須面臨更大範圍區域的位渦場或氣象資訊，因此，局部控制的情形在長時間之預報上將會明顯下降。

五、參考文獻

- [1] Davis, C. A., and K. A. Emanuel, 1991: Potential vorticity diagnostics of cyclogenesis. *Mon. Wea. Rev.*, **119**, 1925-1953.
- [2] Harr, P. A. and R. L. Elsberry, 1995a: Large-scale circulation variability over the tropical western north Pacific. Part I: Spatial patterns and tropical cyclone characteristics. *Mon. Wea. Rev.*, **123**, 1225-1246.

- [3] Harr, P. A. and R. L. Elsberry, 1995b: Large-scale circulation variability over the tropical western north Pacific. Part II: Persistence and transition characteristics. *Mon. Wea. Rev.*, **123**, 1247-1268.
- [4] Shapiro, L. J., and J. L. Franklin, 1999: Potential vorticity asymmetries and tropical cyclone motion. *Mon. Wea. Rev.*, **127**, 124-131.
- [5] 李國豐，2000：影響颱風運動的空間尺度。國立台灣大學大氣科學研究所碩士論文，107 頁。
- [6] 游廷碩，2001：控制西北太平洋颱風運動的空間尺度。國立台灣大學大氣科學研究所碩士論文，67 頁。

六、圖表

路徑型態	定義
直進 Straight-mover	持續向西北運動的路徑。
南方轉向 Recurve-south	經過副熱帶脊，運動方向由西北轉向北，再轉向東北，而且其生成位置在北緯 20° 以南。
北方轉向 Recurve-north	路徑和「南方轉向」相同，而其生成位置在北緯 20° 以北。
南中國海 South China Sea	形成與整個生命期都在南中國海區域內。

表 1：HE95a 中所使用的西北太平洋 4 種典型颱風運動路徑及其定義。

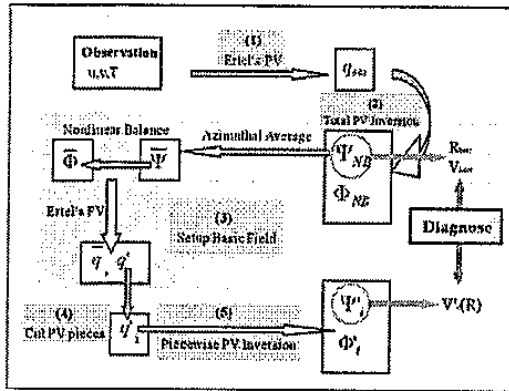


圖 1：SF99 診斷模式的流程圖。片段位渦反演流程可以分為分成 5 個步驟：(1) 計算觀測位渦；(2) 全部位渦反演；(3) 求取軸對稱基本場；(4) 選取位渦片段；(5) 片段位渦反演；最後再用反演的結果進行診斷。

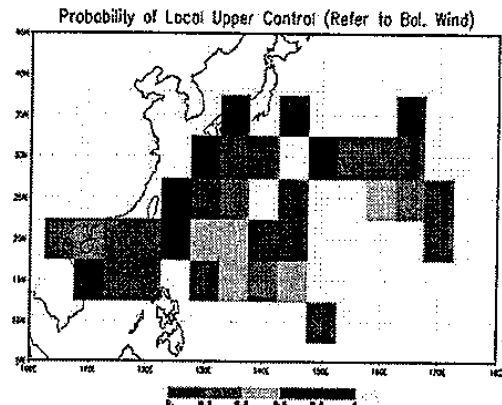


圖 3：102 個綜觀流場個案，對高層位渦(400hPa 及以上)的空間機率分布。由圖中可以看出，局部的上層位渦在中緯度地區很容易可以單獨主導颱風的運動。

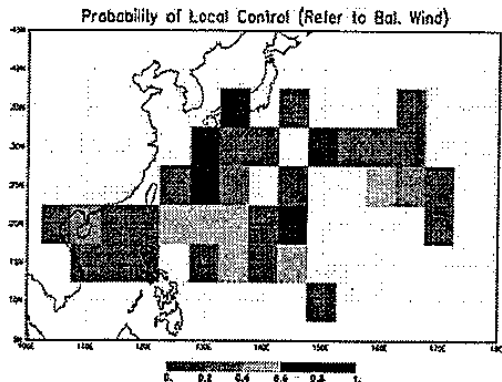


圖 2：102 個綜觀流場個案，對整層位渦診斷結果的空間機率分布。由圖中可以看出：高機率區集中在日本南部以及其南方太平洋上的一條狹長區域。

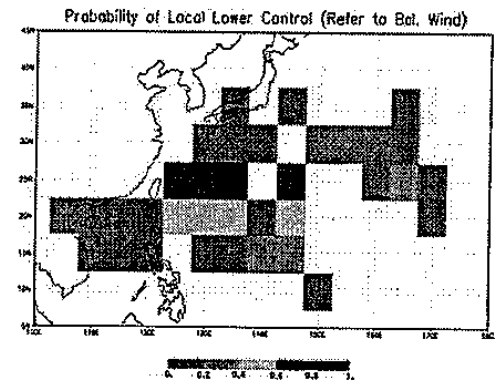


圖 4：102 個綜觀流場個案，對低層位渦(500hPa 及以下)的空間機率分布。由圖中可以看出，局部低層位渦能決定駛流的機會較小，較常發生的位置也偏南。