

# 2004 年侵台颱風敏督利與艾利路徑特徵之位渦診斷分析

楊忠權<sup>1</sup> 吳俊傑<sup>2</sup>

<sup>1</sup>國防部空軍氣象聯隊氣象中心

<sup>2</sup>台灣大學大氣科學系暨研究所

2

## 摘要

2004 年西北太平洋共出現 32 個熱帶氣旋，其中有 28 個被命名為颱風。從整個颱風季所有熱帶氣旋路徑顯示，多數氣旋的軌跡剛開始以直線型路徑朝西北西或西北方向行進，隨著時間大部分氣旋路徑逐漸向北偏轉，而後轉向北北東或東北方向加速移動；少部分氣旋路徑持續朝東亞大陸接近，隨後出現偏西南西或西南方向運動的路徑類型。是什麼主要的天氣因子造成颱風呈現不同類型的運動路徑？颱風行進過程中，是何種原因導致颱風運動速度減速或加速？是因為太平洋高壓強度的變化（減弱或增強）、太平洋高壓脊西伸或東退、多重天氣系統抗衡的結果（鞍型場）、亦或是颱風本身強度的演變導致其運動速度發生或快或慢的變化。諸如上述颱風的移動是颱風與周圍環境場間或本身強度交互作用後的結果。

關鍵字：位渦反演，敏督利颱風，艾利颱風，深層平均駛流

## 一、前言

颱風是台灣地區天然災害的重大肇因之一，但在某些特殊時刻(缺水期)其伴隨而來的降水卻又是台灣地區重要之水資源。現今對於颱風的了解，不論是在其運動、強度及結構上仍然存在許許多多的不確定性；因此，颱風研究可謂是台灣地區大氣科學界最重要的研究議題之一。

台灣位處西太平洋熱帶氣旋活動最頻繁的區域，每年夏季平均有三到四個颱風光臨台灣本島。眾所皆知，在颱風強大風速及挾帶豐沛雨量的侵襲下，常帶來不可勝數的災損，給予國計民生及社會無情的打擊。在這種高衝擊性的天然災害裡，社會大眾對於負責颱風警報發佈的氣象作業單位，往往賦予過高的寄望，期望對於颱風運動路徑和強度及未來即將受其侵襲的地點給予精準分析與預報。然而，由於台灣東面一片汪洋，傳統綜觀天氣觀測的測站非常稀少，加上美軍自 1987 年就停止西太平洋地區的颱風飛機觀測，使得作業單位獲取到實際颱風周遭的氣象資訊相當有限，如此要能更精準掌握即將侵襲台灣颱風的能力，儼然是極為嚴峻的挑戰。

數值模式發展至今已近五十年，對於綜觀尺度天氣系統的預報能力已有很好的表現；隨著數值技術與理論的演進，也針對中尺度系統（如颱風）的需求，開發出專屬的中尺度預報模式，此等颱風預報模式的表現隨著模式本身的設計及初始分析場的品質，常會有不一致的結果。因而使現階段颱風模式預報的產品，僅能提供客觀的參考價值。大氣運動屬於流體運動的一環，一個渦旋在流體內運動將受到周圍流體塊的牽引。同樣地，颱風的運動過程也將受到環境流場的導引，即一般所熟知「颱風駛流」的概念。當數值預報模式未能有效提供精準颱風路徑預報時，對於找出實際主導颱風運動的駛流場就顯得非常重要。

由於位渦具有保守、可反演及疊加的特性，只要給定適當的平衡條件、參考基本場及邊界條件，即可反演探知天氣系統運動的動力過程（Hoskins et al. 1985）。Wu and Emanuel (1993, 1995) 首先將位渦的概念引進到颱風運動的議題，歷經一連串的發展(Shapiro 1996, 1999; Wu et al. 2003, 2004;

Yang and Wu 2004)，運用位渦反演探討量化颱風運動，有助於釐清真實颱風運動過程的不確定性。

## 二、研究方法與使用資料

本研究參照 Wu et al.(2003)位渦診斷定量分析方法。根據 Wu et al.(2003)駛流場( $\vec{V}_{SDLM}$ )的定義：以通過基本場颱風中心 3 個緯度半徑內的深層平均風加以軸對稱平均，代表驅駛該颱風運動的駛流，即

$$\vec{V}_{SDLM} = \frac{\int_{925hpa}^{300hpa} \vec{V}_S(p) dp}{\int_{925hpa}^{300hpa} dp},$$

其中

$$\vec{V}_S(p) = \frac{\int_0^3 \int_0^{2\pi} \vec{V} r dr d\theta}{\int_0^3 \int_0^{2\pi} r dr d\theta}。$$

颱風的最佳路徑向量使用 12 小時的最佳路徑位置估計，即

$$\vec{V}_{BT} = \frac{\vec{X}_{t+6h} - \vec{X}_{t-6h}}{12h}。$$

為量化各個片段位渦在颱風移動方向造成的貢獻，Wu et al.(2003)提出定義 AT 的方法：各片段位渦擾動伴隨駛流在沿颱風行進方向的投影比值，即

$$AT(q'_s) = \frac{|\vec{V}_{SDLM}(q'_s) \cdot \vec{V}_{BT}|}{|\vec{V}_{BT}|^2}$$

比值為 1.0 表示沿路徑方向的伴隨駛流和實際移速相同。為了更進一步瞭解個別片段位渦的相對駛流與所有片段位渦的相對駛流之間的比值，楊(2003)延續 Wu et al.(2003)的方法定義新的 AT 值如下：

$$AT(q'_{FS}) = \frac{|\vec{V}_{SDLM}(q'_{FS}) \cdot \vec{V}_{SDLM}(q')|}{|\vec{V}_{SDLM}(q')|^2}。$$

此一 AT 值除可用來繼續探討個別片段位渦引起基本場颱風的相對駛流和基本場颱風運動之間的關係，更可以釐清每個片段擾動位渦的相對駛流在總擾動位渦的相對駛流中所佔的比例。因此，透過

Wu et al.(2003)位渦診斷定量分析的方法，可以運用在觀測資料或數值模式輸出，進行量化釐清控制基本場颱風運動的主要因子，甚至是更複雜的雙颱風互動過程。相信此量化的位渦診斷工具，對於作業單位提升颱風渦旋路徑預報的能力有相當助益。

本研究分析場採用 NCEP/GFS 全球分析場(以下簡稱 GFS)，為一高解析度的網格資料，時間解析一天 4 次，空間水平為  $1^\circ \times 1^\circ$  的間距，高空部分在 10 百帕層(含)以下緊密區隔成 26 層，計有 1000, 975, 950, 925, 900, 850, 800, 750, 700, 650, 600, 550, 500, 450, 400, 350, 300, 250, 200, 150, 100, 70, 50, 30, 20 及 10 hPa。

## 三、敏督利(Mindulle)颱風

2004 年生成於西北太平洋第一個直接侵襲台灣並且中心登陸陸地的颱風敏督利，對台灣地區造成的災害令人印象深刻。根據統計資料顯示，敏督利襲台期間造成 21 人死亡、8 人受傷及 14 人失蹤，農業損失達 82 億元以上，其災損超過 2001 年桃芝颱風、僅次於 1996 年的賀伯颱風。敏督利颱風生命期中另一個特徵是：當作業單位對外發布颱風警報後(2004 年 6 月 28 日 0600 UTC)，其運動速度異常地減速，直到 2004 年 7 月 2 日 0900 UTC 颱風警報解除，整個警報持續時間長達四天又三個小時。第三個特徵是在 2004 年 6 月 30 日 0600 UTC 至 1200 UTC 間，敏督利路徑突然近乎垂直地往北偏轉直撲台灣。敏督利颱風行徑異常減速及轉向是本研究的重點。

2004 年 6 月 22 日熱帶雲簇在關島南方海域活躍發展，由於環境垂直風切微小，有利於熱帶雲簇逐漸發展形成熱帶低壓(23 日 0600 UTC)，JTWC 於 23 日 1200 UTC 將此熱帶低壓提升為熱帶氣旋。受到環境駛流導引敏督利路徑由西北西偏轉為西南西方向，強度維持 45kt 至 55kt。26 日 0600 UTC 開始敏督利轉向西北方向運動，強度有逐漸增強趨勢；於 27 日 0600 UTC 增強為中度颱風(圖 1)，此時位於  $25^\circ N$  附近的中層副熱帶高壓脊軸線逐漸減弱東

退，位於其東側的婷婷(Tingting)颱風維持向西運動，副高東退後在中國大陸留下一個獨立的高壓環流中心，北方槽線系統則始終維持在  $30^{\circ}$  N 以北，因此導引敏督利運動的駛流漸趨不明顯。在緩慢移動的過程中，敏督利強度繼續增強，於 28 日 1800 UTC 發展至生命期內的最大強度 125kt。29 日 1200 UTC 原退至  $150^{\circ}$  E 附近的副熱帶高壓逐漸增強並往西南西方向快速伸展，同時婷婷颱風路徑轉向北方進入西風帶後加速遠離，大陸華中的高壓強度略有增強，環境流場導引敏督利颱風緩慢向西北西方向朝巴士海峽接近(圖未示)。30 日 0600 UTC 敏督利如數值模式模擬路徑開始有比較明顯往北運動的分量，強度漸趨減弱。於 7 月 01 日 1440 UTC 左右在花蓮縣壽豐鄉登入台灣陸地，之後穿越中央山脈於 7 月 02 日 0300 UTC 在台北縣淡水附近出海，強度已減弱為輕度颱風。

圖 2 及圖 3 顯示 2004 年 6 月 27 日 0000 UTC 至 7 月 02 日 1200 UTC 500 hPa 總擾動位渦(單位: PVU, 陰影區表位渦大於 1.0 PVU), 與 925 hPa 至 300 hPa 之深層平均風場。伴隨副熱帶高壓、婷婷颱風、大陸高壓及中緯度槽線的個別擾動位渦塊, 其所處地理位置隨著時間的變化與 500 hPa 重力位場(圖未示)所對應的槽脊系統位置相一致。但值得注意的是, 從 500 hPa 總擾動位渦場發現在敏督利颱風西南側始終存在呈帶狀的正位渦擾動塊(約 2-4 PVU), 推測此正位渦擾動應是一般所稱之間熱帶輻合區(ITCZ)。為深入瞭解伴隨於颱風渦旋之間熱帶輻合區, 對於敏督利颱風運動路徑駛流所扮演的角色, 本研究個案特將此輻合帶的位渦擾動納入個別片段位渦反演, 進行比較分析探討主導敏督利運動的天氣系統。

根據 Wu et al.(2003)駛流場( $\vec{v}_{SDLM}$ )的定義, 得到每一片段位渦造成敏督利颱風相對深層平均駛流的時間序列(圖未示)。所有擾動位渦( $q'$ )造成敏督利伴隨駛流 $[\vec{v}_{SDLM}(q')]$ 與敏督利颱風的路徑向量相當一致。為了進一步瞭解各個片段擾動位渦與敏督利颱風運動之間的關係, 將所有擾動位渦( $q'$ )切割成副熱帶高壓( $q'_{SH}$ )、婷婷颱風( $q'_{Tingting}$ )、間熱帶

輻合帶( $q'_{CV}$ )、大陸高壓( $q'_{CH}$ )及中緯度槽線( $q'_{TR}$ )。比較伴隨各個擾動位渦造成敏督利颱風運動的相對駛流, 得知控制敏督利颱風運動的駛流主要源自副熱帶高壓 $[\vec{v}_{SDLM}(q'_{SH})]$ 的貢獻, 扮演次要角色的是與敏督利相鄰之間熱帶輻合區 $[\vec{v}_{SDLM}(q'_{CV})]$ 。而婷婷颱風對於敏督利運動駛流的影響, 則是提供偏南南東方向行進的駛流; 中緯度槽線的相對駛流 $[\vec{v}_{SDLM}(q'_{TR})]$ 僅供應 2-5 kt 偏東運動的駛流, 後期(7 月 2 日 1800 UTC)中緯度槽線對於敏督利的導引漸趨重要; 而大陸高壓的相對駛流 $[\vec{v}_{SDLM}(q'_{CH})]$ 則驅駛敏督利朝西南西方向運動。

為了進一步量化各個片段位渦對敏督利颱風在移動方向造成的貢獻, 由圖 4 得到  $AT(q')$  的平均(標準差)為 1.98 (0.39)。圖中顯示造成敏督利颱風運動的駛流貢獻主要來自副熱帶高壓的導引, 伴隨間熱帶輻合區造成敏督利運動的駛流仍具重要的角色, 大陸高壓在 6 月 29 日 1800 UTC 前對於敏督利運動方向供給推波助長的作用, 之後則是負貢獻但不顯著。另一方面, 中緯度槽線除了最後十二小時加速敏督利颱風往北行進外, 其餘時間與婷婷颱風則在敏督利行進方向扮演阻擋的角色。

#### 四、艾利(Aere)颱風

艾利颱風運動軌跡的特徵(如圖 5), 在 2004 年 08 月 24 日 1200 UTC 之前穩定朝西北方向運動, 之後 24 小時偏西方向移動通過台灣北部外海, 25 日 1200 UTC 進入大陸福建省後朝西南方向行進, 最後減弱為熱帶氣旋。艾利颱風生命期周圍的片段擾動位渦塊包括太平洋高壓、佳芭(Chaba)颱風、大陸高壓、中緯度槽線及間熱帶輻合區(ITCZ)。由圖 6 結果顯示, 08 月 25 日 1200 UTC 之前艾利颱風的運動主要受到伴隨太平洋高壓駛流的導引, 當艾利進入大陸後導引其向西南方向的駛流來自大陸高壓的貢獻。當艾利颱風外圍環流與間熱帶輻合區連結時, 此時伴隨間熱帶輻合區對於艾利颱風運動的駛流不容忽視, 幾乎是扮演驅駛艾利移動次要的角色。至於佳芭颱風及中緯度槽線對於艾利運動方向駛流的貢獻比較不顯著, 甚至偶爾呈現負的貢獻。

## 五、結論與討論

總而言之，根據本研究二個颱風個案位渦診斷分析結果顯示，主要導引西北太平洋颱風運動的駛流分量，絕大部分來自副熱帶高壓的貢獻；伴隨颱風的副熱帶輻合區所提供的駛流分量，僅次於副高。尤其當颱風有向北轉向趨勢時，伴隨輻合區的駛流將加速颱風往北偏轉。大陸高壓對於颱風運動的導引，相對而言比較不顯著，但當颱風接近東亞陸地時，其驅使颱風往西南方向運動的駛流分量具重要角色。中緯度槽線系統對於颱風的牽引作用，需視副熱帶高壓的發展強度及颱風要有明顯偏較高緯度移動，此時才會凸顯中緯度槽線加速颱風朝東北方向運動。

## 六、參考文獻

楊忠權，2003：鳳凰與風神(2002)雙颱風交互作用之位渦診斷研究。國立台灣大學大氣科學系，碩士論文，94頁。

Hoskins, B. J., M. E. McIntyre, and A. W. Robertson, 1985: On the use and significance of isentropic potential- vorticity maps. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **111**, 877-946.

Shapiro, L. J., 1996: The motion of Hurricane Gloria: A potential vorticity diagnosis. *Mon. Wea. Rev.*, **124**, 1497-2508.

———, 1999: Potential vorticity asymmetries and tropical cyclone motion. *Mon. Wea. Rev.*, **127**, 124-131.

Wu, C.-C., and K. A. Emanuel, 1993: Interaction of a baroclinic vortext with background shear: Application to hurricane movement. *J. Atmos. Sci.*, **50**, 62-76.

———, and ——, 1995: Potential vorticity diagnostics of hurricane movement. Part I: A case study of Hurricane Bob (1991). *Mon. Wea. Rev.*, **123**, 69-92.

———, T.-S. Huang, W.-P. Huang, and K.-H. Chou, 2003: A new look at the binary interaction:

Potential vorticity diagnosis of the unusual southward movement of Tropical Storm Bopha (2000) and its interaction with Supertyphoon Saomai (2000). *Mon. Wea. Rev.*, **131**, 1289-1300.

———, ——, and K.-H. Chou, 2004: Potential vorticity diagnosis of the key factors affecting the motion of Typhoon Sinlaku (2002). *Mon. Wea. Rev.*, **132**, 2084-2093.

Yang, C.-C., and C.-C. Wu, 2004: Binary interaction between Typhoon Fengshen (2002) and Fungwong (2002) based on the potential vorticity diagnosis. *Preprint, 26th Conf. on Hurricane and Meteorology*, Amer. Meteor. Soc., Miami, Florida, 663-664.

Tracks of MINDULLE (2004/06/24/0000~07/03/0000 UTC)

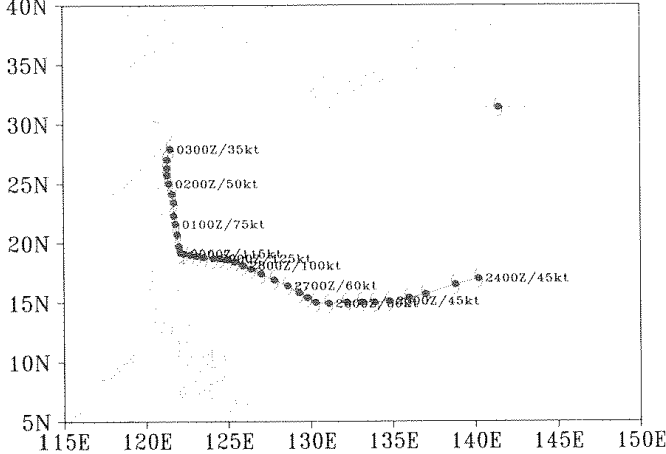


圖 1 2004 年 6 月 24 日 0000 UTC 至 7 月 3 日 0000 UTC 美軍聯合颱風警報中心 (JTWC) 發佈敏督利 (Mindulle) 颱風每六小時一點的最佳路徑。颱風符號表敏督利颱風位置。緊接符號的數字前二位數表日期，後二位數表時間，如 2400Z 表 24 日 0000 UTC。颱風最大風速值緊接在後 (單位: kt)。

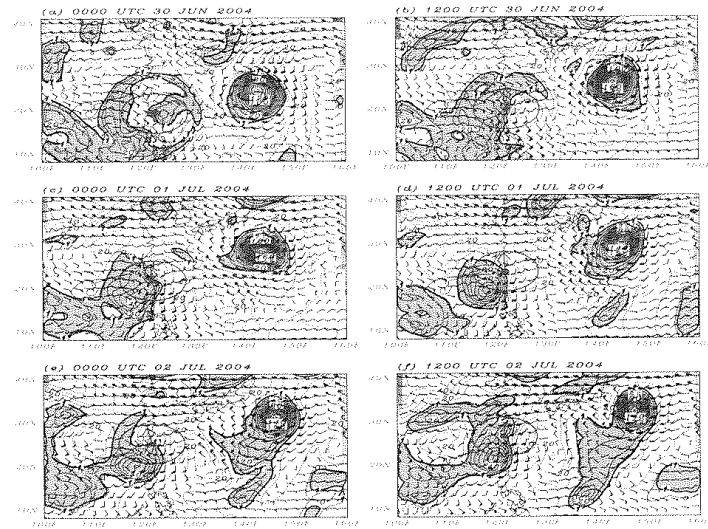


圖 3 同圖 2，但時間為 2004 年 6 月 30 日 0000 UTC 至 2004 年 7 月 2 日 1200 UTC。

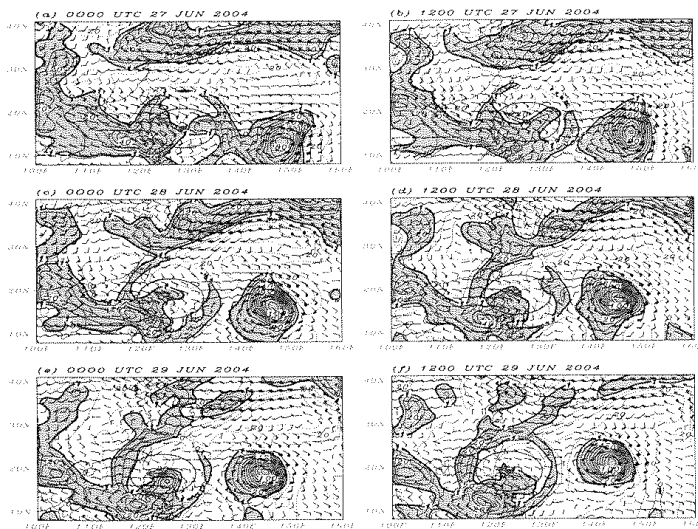


圖 2 NCEP/AVN 全球分析，2004 年 6 月 27 日 0000 UTC 至 2004 年 6 月 29 日 1200 UTC 每 12 小時一張 (a ~ f)，500 hPa 總擾動位渦 (單位: PVU，陰影區表位渦大於 1.0 PVU)，與 925 hPa 至 300 hPa 之深層平均風場。風標全桿表 10 kts (8-12 kts)，半桿表 5 kts (3-7 kts)，無風標桿表風速小於 3 kts，無風則以 0 表示。颱風符號表敏督利颱風的中心位置，箭頭表颱風前後 6 小時之運動向量，大小以半徑 10 kts 之圓表示。

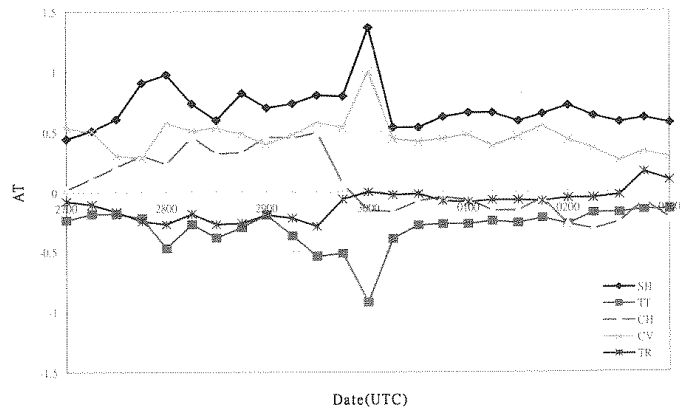


圖 4 NCEP/GFS 全球分析資料，2004 年 6 月 27 日 0000 UTC 至 7 月 03 日 0000 UTC 各片段擾動位渦的相對駛流沿基本場 (敏督利) 颱風運動方向投影比例隨時間的序列。

Tracks of AERE (2004/08/19/1200~08/26/1200 UTC)

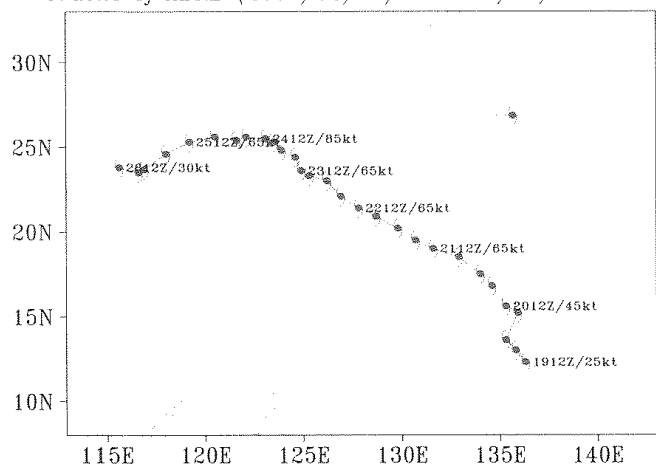


圖 5 2004 年 8 月 19 日 1200 UTC 至 8 月 26 日 1200 UTC 美軍聯合颱風警報中心 (JTWC) 發佈艾利 (Aere) 颱風每六小時一點的最佳路徑。颱風符號表艾利颱風位置。緊接符號的數字同圖 1 的說明。

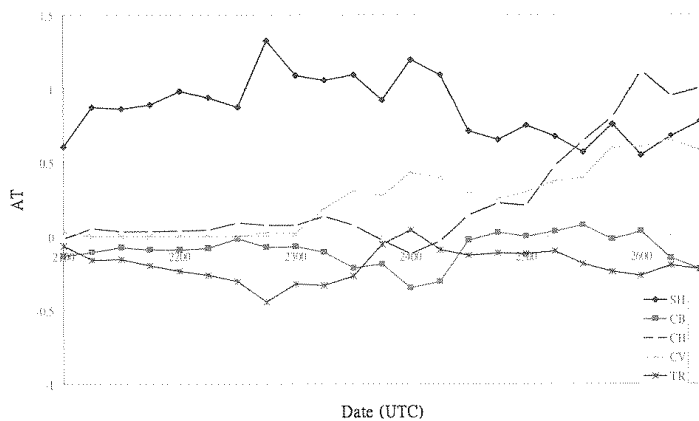


圖 6 NCEP/GFS 全球分析資料，2004 年 8 月 21 日 0000 UTC 至 8 月 26 日 1200 UTC 各片段擾動位渦的相對駛流沿基本場 (艾利) 颱風運動方向投影比例隨時間的序列。