

# 米勒颱風(2003)行徑之位渦診斷分析

吳俊傑<sup>1</sup> 楊忠權<sup>2</sup> 潘大綱<sup>2</sup> 周昆炫<sup>1</sup>

國立台灣大學大氣科學系暨研究所<sup>1</sup>

國防部空軍氣象聯隊氣象中心<sup>2</sup>

## 一、中文摘要

2003年10月底小型輕度颱風米勒(Melor)在菲律賓東方洋面形成後,即在環流場的導引下,一致地朝西北偏西方向行進,通過呂宋島後其行走路徑並未依許多作業單位(JMA、NOGAPS、NCEP-GFS等)數值預測模式所預期的往西運動,而逐漸偏北朝台灣恆春半島接近,在接近恆春約200公里處轉向東北,通過蘭嶼西方洋面,最後與中緯度槽線結合減弱為普通低壓。

米勒生命期台灣地區時序已進入秋季,此時太平洋副熱帶高壓勢力西伸的能力有限,北方中緯度槽線系統則逐漸建立,並伴隨大陸冷高壓離開源地而逐漸南移到中低緯度;這時大陸冷高壓與槽線系統,對於低緯度熱帶氣旋系統的運動與發展將產生舉足輕重的影響。也就是說,相較於夏季控制秋颱運動的環流場顯然更加複雜。相對地,作業單位在秋季颱風路徑預報所面臨的挑戰更加嚴峻。

國科會颱風重點研究—『追風計畫』(Wu et al. 2004b),在米勒颱風離開呂宋島進入巴士海峽時,進行該計畫啟動後的第二次台灣地區颱風飛機投落送觀測,獲取米勒颱風近中心及週圍環流相當寶貴的觀測資料,適時提供作業人員重要的參考資訊及改善數值模式初始條件的品質,此觀測資料亦值得深入研究與應用。

本研究參照Wu et al. (2003)位渦診斷定量分析方法,透過美國國家環境預報中心(NCEP)全球分析資料(Aviation)進行位渦診斷分析,試著探討以下幾個有趣議題:1)研究米勒颱風轉向的原因為何?2)瞭解米勒侵台期間大氣系統的特徵因子及彼此互動的關係;3)探討數值預報模式預報失誤的可能原因;4)評估有無同化飛機投落送觀測資料分析場經位渦計算後的差異及影響。

關鍵詞:位渦反演,米勒颱風,深層平均環流

## Abstract

Tropical cyclone motion and intensity are often affected by the nearby synoptic features and the terrain/topography. In particular, unusual patterns of tropical cyclone motion are sometimes observed when the storm is near Taiwan during the autumn season. Tropical cyclone Melor (2003) had an unexpected track when it entered the straits of Bashi after leaving Luzon. It appears that the understanding of the dynamics of tropical cyclone Melor and its interaction with the terrain of Luzon and Taiwan, and the forecasting of track, intensity, and mesoscale wind and precipitation distribution are very interesting scientific and forecasting problems.

The data used in this study are the Global analysis fields of the Aviation model (AVN) from the National Centers for Environmental Prediction (NCEP). Based on the use of potential vorticity diagnosis (Wu et al. 2003), in this paper we address the following issues: 1) the factors affecting the unexpected turn of Melor; 2) the physical processes involved in Melor's interaction with the synoptic system and the terrain; 3) the reasons why most numerical models failed to predict the northeastward turn of Melor; 4) the impact of the dropsonde data on the analysis and forecast of Melor.

Key Words: PV inversion, Typhoon Melor, deep-layer-mean steering flow

## 二、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)其伴隨降水卻又是台灣地區重要之水資源。現今對於颱風的瞭解,不論是在其運動、強度及結構上仍然存在許許多的不確定性;因此,颱風研究可謂是台灣地區大氣科學界最重大的研究議題之一。2003年11月初小型輕度颱風

米勒(Melor)不足 30 小時的時間即帶給恆春半島墾丁測站 554 毫米的累積雨量(資料來源：中央氣象局米勒颱風警報單)，造成一死三失蹤的人員傷亡及不可勝數的經濟損失。

圖一顯示米勒颱風生命期美軍聯合颱風警報中心(JTWC/PGTW)、日本氣象廳(JMA/RJTD)、中央氣象局(CWB)、北京氣象局(BABJ)及空軍氣象中心(CAF)對米勒颱風 24 小時路徑預報誤差的趨勢，很顯然在 2003 年 11 月 01 日 1800 UTC 開始各作業單位對於米勒颱風平均 24 小時的路徑預報誤差即達 100 海浬，此結果與美軍聯合颱風警報中心 1998-2002 年在西北太平洋地區平均 24 小時路徑預報誤差 90 海浬略高，隨著時間此平均誤差甚至達 140 海浬。此結果突顯對於米勒颱風路徑預報的困難度及挑戰性。

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, 2004a)，運用位渦反演探討颱風運動已可達到相當精確量化的程度，有助於釐清真實颱風運動過程的不確定性。

### 三、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

$$\vec{V}_{SDLM} = \frac{\int_{25hpa}^{300hpa} \vec{V}_s(p) dp}{\int_{25hpa}^{300hpa} dp},$$

其中

$$\vec{V}_s(p) = \frac{\int_0^{\beta} \int_0^{2\pi} \vec{V} r dr d\theta}{\int_0^{\beta} \int_0^{2\pi} r dr d\theta}.$$

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

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

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/AVN 全球分析場(以下簡稱 AVN)，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。

### 四、研究結果

美軍聯合颱風警報中心對小型輕度颱風米勒生命期間的運動路徑圖(圖二)，顯示颱風米勒在 2003 年 10 月 30 日 1200 UTC 形成後，穩定地朝西北偏西方向運動。在 11 月 01 日 0000 UTC 左右登入菲律賓呂宋島，之後運動路徑轉向西北方向。在 11 月 01 日 1200 UTC 颱風中心逐漸移出呂宋島而進入巴士海峽，在巴士海峽期間米勒移動速度逐漸減慢，運動方向也轉為北北西並緩慢轉向北方，有直撲恆春半島之趨勢。在 11 月 02 日 0600 UTC 至 1200 UTC 之間米勒路徑突然地轉向北北東方向，當時各作業單位仍然預測

米勒會往台灣海峽南部行進(日本氣象廳是最先反應米勒颱風路徑即將轉向的作業單位)。

2003年10月31日1200 UTC至2003年11月03日0000 UTC每12小時一張700 hPa重力位高度場(圖三 a~f)，圖中顯示副熱帶太平洋高壓(SH)勢力初期逐漸西伸，而在關鍵時刻(即米勒颱風轉向北北東)11月02日0000 UTC至1200 UTC之間，副高勢力範圍沒有顯著改變，僅中心高壓脊軸線自東北東-西南西調整為東西方向。北方槽線(TR)系統一波波通過 $120^{\circ}$  E附近，在11月02日0000 UTC雖有一淺波槽在華中，但很快地併入合流槽內。大陸冷高壓(CH)隨著鋒面系統逐波南下，大部分時間反氣旋式環流淺薄且微弱佔據在華南，僅11月03日0000 UTC另一波較強冷空氣南下，才見到強而明顯的反氣旋式環流。

每一片段位渦造成米勒颱風相對深層平均駛流的時間序列，如圖四所示。其中所有擾動位渦( $q'$ )造成米勒颱風的伴隨駛流 $[\bar{v}_{SDLM}(q')]$ 與米勒颱風的最佳路徑向量相當吻合，顯示米勒颱風的運動可利用位渦方法計算的深層平均駛流表示。為了進一步瞭解米勒颱風與周圍天氣系統的互動關係，將所有擾動位渦( $q'$ )切割成包含副熱帶高壓( $q'_{SH}$ )、大陸高壓( $q'_{CH}$ )及中緯度槽線( $q'_{TR}$ )等三片主要擾動位渦塊，亦即以方程式表示為 $q' = q'_{SH} + q'_{CH} + q'_{TR} + q'_{Others}$ 。透過 $[\bar{v}_{SDLM}(q'_{SH})]$ 、 $[\bar{v}_{SDLM}(q'_{CH})]$ 與 $[\bar{v}_{SDLM}(q'_{TR})]$ 的比較知，主要主導米勒颱風運動的駛流來自副熱帶高壓，中緯度槽線在11月02日1200 UTC起對於米勒轉向北北東駛流的貢獻有明顯的增加。

透過以上駛流的定義與分析結果，我們清楚瞭解利用位渦反演計算的駛流可以代表及詮釋實際颱風的運動狀況。為了進一步量化各個片段位渦對米勒颱風在移動方向造成的貢獻，各片段位渦擾動伴隨駛流在沿颱風行進方向的投影比值(AT值)。本個案 $AT(q')$ 的平均(標準差)為0.98(0.35)，由此分析再次顯示所有片段位渦引起米勒颱風的相對駛流和米勒颱風的運動相當一致。圖五顯示在分析期間 $AT(q'_{SH})$ 始終高過1.0，顯示副熱帶高壓對於米勒運動的影響佔極重要的角色。在11月01日1800 UTC前 $AT(q'_{CH})$ 對於

米勒運動方向為正貢獻，之後為負貢獻(負值)。相反地，中緯度槽線 $AT(q'_{TR})$ 在11月02日1200 UTC前對於米勒行進方向扮演阻擋的角色，之後則有加速米勒颱風朝北北東方向運動的作用。

總之，上述結果顯示NCEP/AVN分析場對於副熱帶高壓的處理始終有過估的現象(AT值大部分時間大於或等於1)，或許是這個原因造成數值模式對於米勒偏西路徑的模擬。

## 五、結論與討論

中緯度槽線系統對於米勒颱風重要關鍵點轉向期間的貢獻似乎不顯著，但當米勒轉向東北後，伴隨中緯度槽線系統的駛流明顯增加。到底控制米勒轉向的機制為何？簡單從位渦反演的結果(單一分析場)無法完全釐清此問題。我們認為當時台灣地形所扮演的角色亦可能不容忽視，針對此問題我們正藉由數值模式的模擬實驗來加以驗證。另外我們亦進行有無同化飛機投落送觀測資料來評估額外資料之可能影響。

## 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 vortex 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).

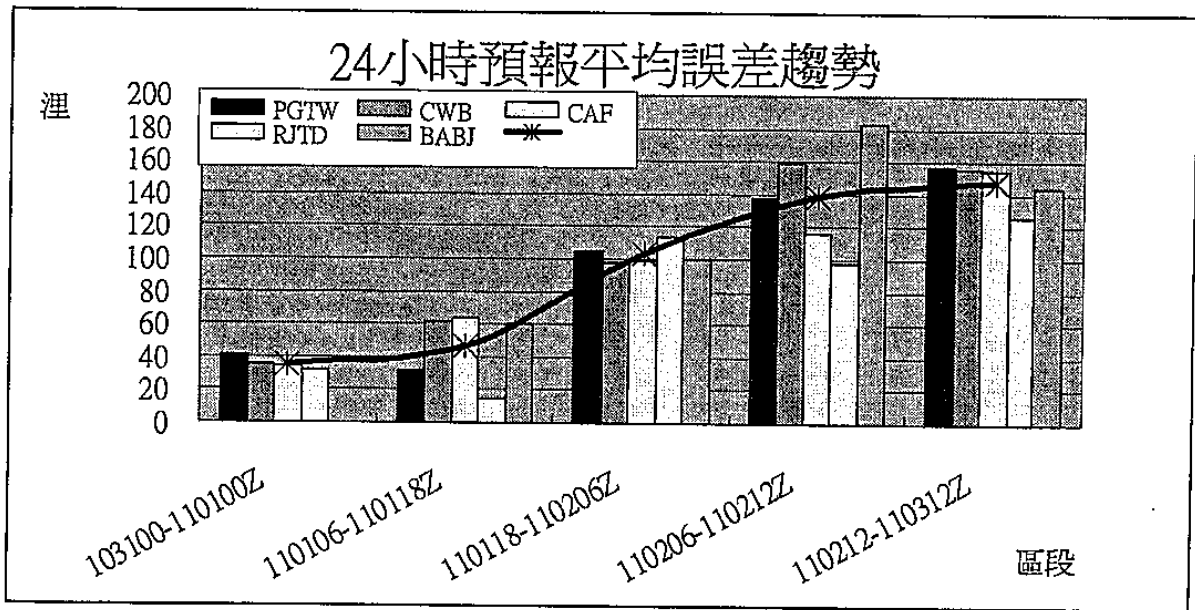
*Mon. Wea. Rev.*, **123**, 69-92.

\_\_\_\_\_, 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.

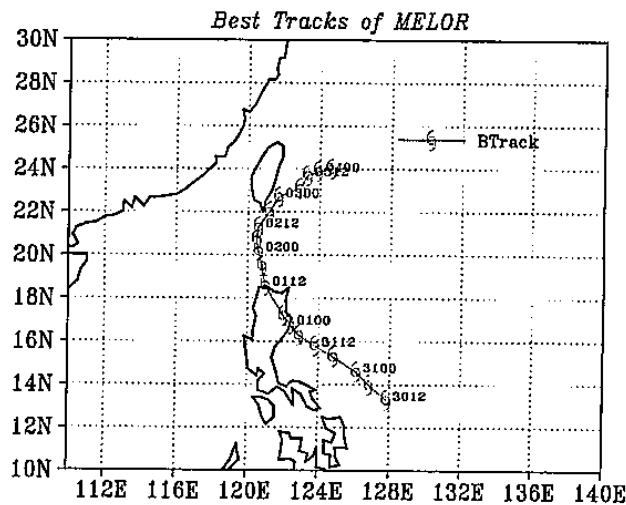
\_\_\_\_\_, T.-S. Huang, and K.-H. Chou, 2004a : Potential vorticity diagnosis of the key

factors affecting the motion of Typhoon Sinlaku (2002), *Mon. Wea. Rev.* (in press).

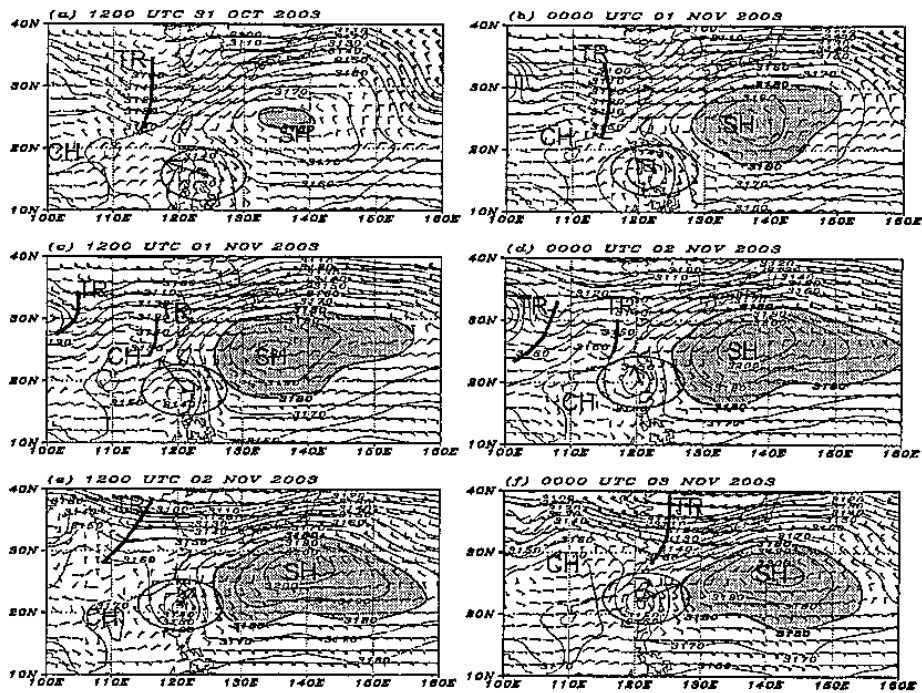
\_\_\_\_\_, P. H. Lin, S. D. Aberson, T.-C. Yeh, W.-P. Huang, J.-S. Hong, G.-C. Lu, K.-C. Hsu, I.-I. Lin, K.-H. Chou, P.-L. Lin, and C.-H. Liu, 2004b : Dropsonde Observations for Typhoon Surveillance near the TAIWAN Region (DOTSTAR): An overview (submitted to *Bull. Amer. Meteor. Soc.*).



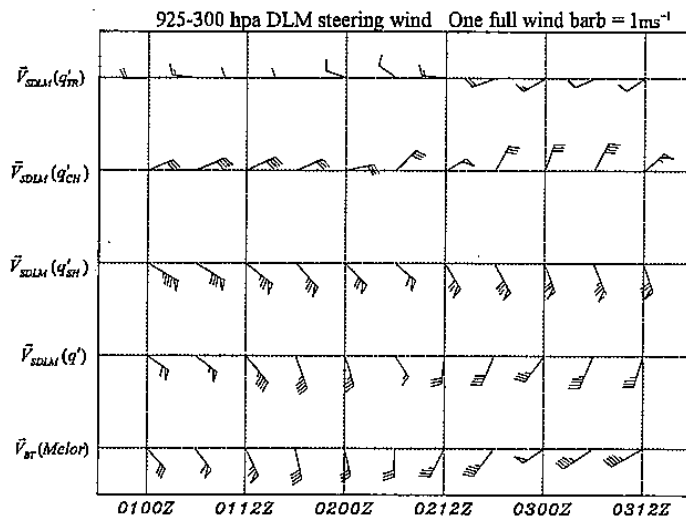
圖一 2003年10月31日0000 UTC至11月03日1200 UTC美軍聯合颱風警報中心(JTWC/PGTW)、日本氣象廳(JMA/RJTD)、中央氣象局(CWB)、北京氣象局(BABJ)及空軍氣象中心(CAF)對米勒颱風24小時路徑預報誤差的趨勢。



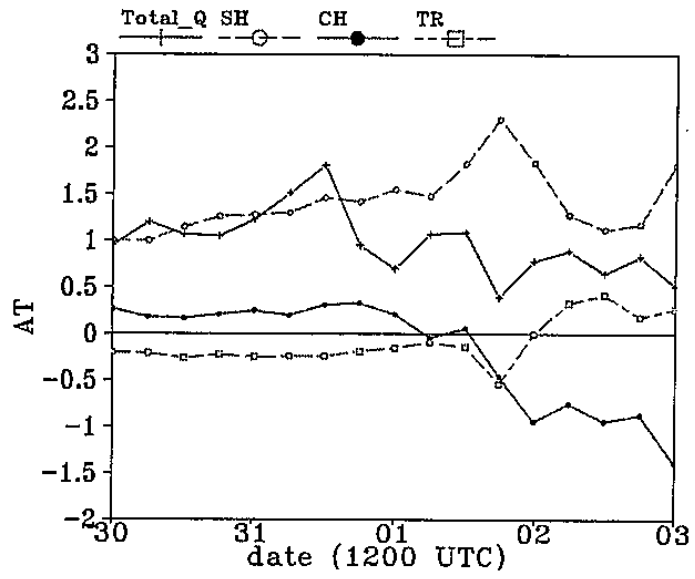
圖二 2003年10月30日1200 UTC至11月04日0000 UTC美軍聯合颱風警報中心(JTWC)米勒(Melor)颱風每六小時一點的最佳路徑。緊接符號的數字前二位數表日期，後二位數表時間，如3012表30日1200 UTC。



圖三 NCEP/AVN 全球分析，2003 年 10 月 31 日 1200 UTC 至 2003 年 11 月 03 日 0000 UTC 每 12 小時一張(a~f)，700 hPa 重力位高度場（單位：gpm，陰影區表重力位高度大於 3180 gpm），與 700 hPa 水平風場。風標全桿表 10 kt (8-12 kt)，半桿表 5 kt (3-7 kt)，無風標桿表風速小於 3 kt，無風則以 0 表示。颱風符號表米勒颱風的中心位置，箭頭表颱風前後 6 小時之運動向量，大小以半徑 10 kt 之圓表示。



圖四 從 2003 年 11 月 01 日 0000 UTC 至 03 日 1200 UTC 每 06 小時，米勒颱風之最佳運動向量  $\vec{V}_{BT}(Melor)$ 、所有片段擾動位渦  $\vec{V}_{SDLM}(q')$ 、副熱帶高壓  $\vec{V}_{SDLM}(q'_{SH})$ 、大陸高壓  $\vec{V}_{SDLM}(q'_{CH})$  及中緯度槽線  $\vec{V}_{SDLM}(q'_{TR})$  對米勒颱風引起的伴隨深層平均(925-300 hPa)駛流場。其中三角形風標表 10 kt，一個全桿表 2 kt，半桿表 1 kt。



圖五 NCEP/AVN 全球分析資料，2003 年 10 月 30 日 1200 UTC 至 11 月 03 日 1200 UTC 各片段擾動位渦的相對駛流沿基本場（米勒）颱風運動方向投影比例隨時間的序列。